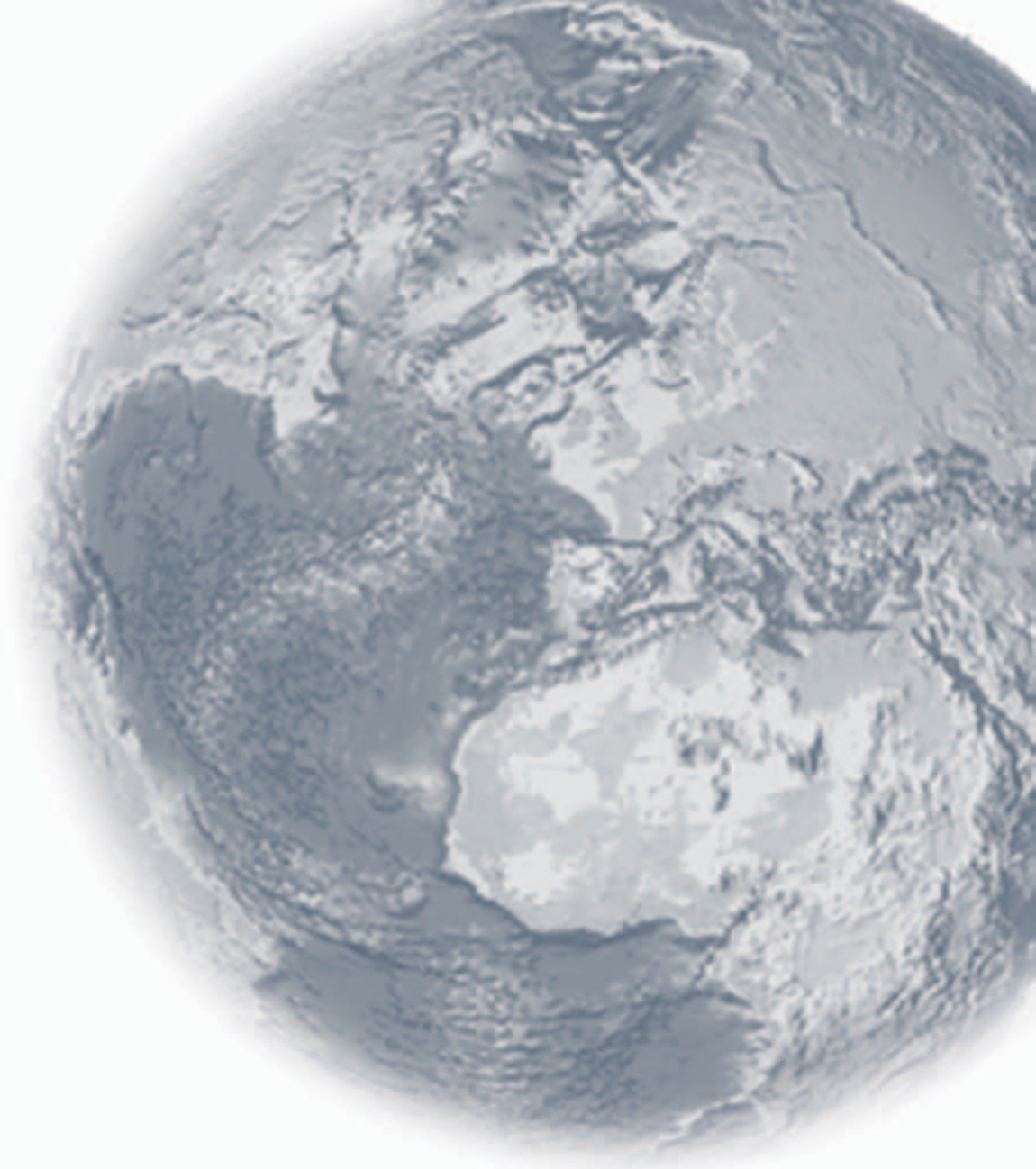


Monografie istituzionali INGV
Volume IX - appendice II, 2006

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia



Convenzione **DPC - INGV** 2004-2006

**Rendiconto dell'attività svolta nel
primo semestre 2006**

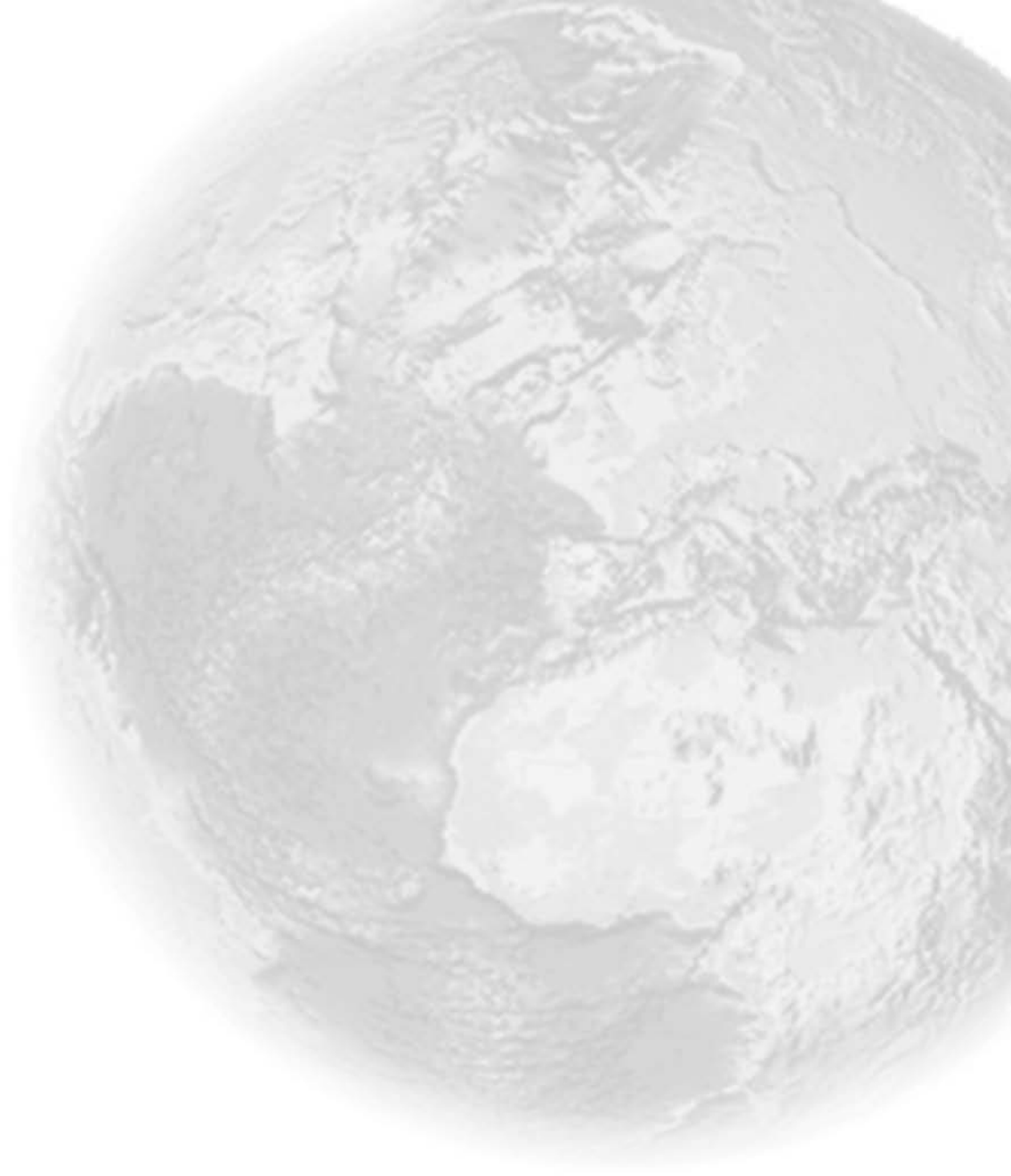
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata 605 - 00143 Roma

tel 06518601 • fax 065041181

www.ingv.it





Convenzione DPC - INGV
2004-2006

**Rendiconto dell'attività svolta nel
primo semestre 2006**



Direttore Responsabile:

Enzo Boschi

Coordinamento Editoriale:

Edoardo Del Pezzo, Antonio Meloni, Gianluca Valensise

Redazione Testi:

Giuseppe Di Capua

Progetto Grafico:

Laboratorio Grafica e Immagini - INGV Roma

Progetto Editoriale:

Francesca Di Stefano - Centro Editoriale Nazionale - INGV Roma

© 2006 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605 - 00143 Roma

Tel. 06/518601 Fax 06/5041181

<http://www.ingv.it>

Sommario

Introduzione	7
VOCE A: ATTIVITÀ DI MONITORAGGIO E SORVEGLIANZA	11
Vulcani siciliani	13
<i>Introduzione</i>	13
<i>Monitoraggio vulcanologico</i>	15
<i>Monitoraggio sismico</i>	16
<i>Monitoraggio delle deformazioni del suolo</i>	16
<i>Attività di sala operativa</i>	18
Sorveglianza sismica del territorio nazionale	21
<i>Introduzione</i>	21
<i>Servizio di sorveglianza sismica</i>	22
<i>Analisi dei dati: il Bollettino della Sismicità Italiana</i>	25
<i>La manutenzione ordinaria e straordinaria della Rete Sismica Nazionale, della Rete Mednet e delle altre reti sismiche gestite dal CNT-INGV</i>	29
<i>Rete CGPS (GPS continuo) in Italia: stato di avanzamento</i>	32
Vulcani dell'area napoletana e Stromboli	35
<i>Monitoraggio sismico</i>	35
<i>Attività della rete mobile e del Laboratorio Analisi Avanzate (LAV)</i>	56
<i>Misure di livellazione di precisione ai Campi Flegrei</i>	73
<i>Rete GPS dell'area vulcanica napoletana</i>	85
<i>Rete tiltmetrica</i>	93
<i>Rete mareografica</i>	97
<i>Interferometria SAR</i>	105
<i>Misure gravimetriche</i>	108
<i>Sorveglianza geochimica al Vesuvio</i>	122
<i>Sorveglianza geochimica ai Campi Flegrei</i>	127
<i>Monitoraggio del cratere della Solfatara mediante telerilevamento prossimale all'IR termico</i>	136
<i>Sorveglianza vulcanologia</i>	143
Monitoraggio geochimico dei vulcani attivi e quiescenti italiani	149
<i>Premessa</i>	149
<i>Etna</i>	149
<i>Vulcano</i>	153
<i>Stromboli</i>	155

<i>Panarea</i> _____	157
<i>Vesuvio</i> _____	158
<i>Campi Flegrei</i> _____	158
<i>Ischia</i> _____	159
<i>Pantelleria</i> _____	159
VOCE B: POTENZIAMENTO DELLE RETI DI MONITORAGGIO _____	161
Vulcani siciliani _____	163
<i>Monitoraggio vulcanologico</i> _____	163
<i>Monitoraggio sismologico</i> _____	164
<i>Monitoraggio delle deformazioni del suolo</i> _____	164
<i>Ottimizzazione della sala operativa</i> _____	165
Sorveglianza sismica del territorio nazionale _____	169
<i>Reti di monitoraggio sismico</i> _____	169
<i>Rete CGPS (GPS continuo) in Italia: sviluppo</i> _____	174
Stazioni accelerometriche in Italia settentrionale _____	179
Vulcani dell'area napoletana e Stromboli _____	185
<i>Monitoraggio sismico</i> _____	185
<i>Manutenzione e potenziamento della rete GPS dell'area vulcanica napoletana</i> _____	185
<i>Rete gravimetrica</i> _____	186
VOCE C: PROSECUZIONE DELLE ATTIVITÀ DI STUDI E RICERCHE SULLA SISMICITÀ E SUL VULCANISMO DELLE AREE DI STROMBOLI E PANAREA E PER STUDI E RICERCHE SU ZONE DI PARTICOLARE INTERESSE SPECIFICAMENTE INDIVIDUATE _____	189
Progetti sismologici e vulcanologici di interesse per il Dipartimento della Protezione Civile _____	191
<i>Progetto S1: proseguimento della assistenza a DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ord. PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi</i> _____	194
<i>Progetto S2: valutazione del potenziale sismogenetico e probabilità dei forti terremoti in Italia</i> _____	224
<i>Progetto S3: scenari di scuotimento in aree di interesse prioritario e/o strategico</i> _____	257
<i>Progetto S4: stima dello scuotimento in tempo reale e quasi-reale per terremoti significativi in territorio nazionale.</i> _____	283
<i>Progetto S5: definizione dell'input sismico sulla base degli spostamenti attesi</i> _____	323
<i>Progetto V1: prosecuzione delle attività già finanziate nel 2003</i> _____	360
<i>Progetto V2: attività di ricerca e monitoraggio a Stromboli e Panarea</i> _____	368
<i>Progetto V3_1: Colli Albani</i> _____	379
<i>Progetto V3_2: Campi Flegrei</i> _____	390
<i>Progetto V3_3: Ischia</i> _____	401

<i>Progetto V3_4: Somma-Vesuvio</i>	413
<i>Progetto V3_5: Vulcano</i>	422
<i>Progetto V3_6: Etna</i>	432
<i>Progetto V3_7: Pantelleria</i>	448
<i>Progetto V4: concezione, verifica e applicazione di tecniche innovative per lo studio dei vulcani attivi</i>	455
<i>Progetto V5: emissioni gassose in Italia</i>	461
<i>Progetto SV: Edurisk</i>	470
RENDICONTAZIONE FINANZIARIA	477
Voce B: potenziamento delle reti di monitoraggio	479
INGV – Sezione di Catania	481
INGV – Centro Nazionale Terremoti	483
INGV – Osservatorio Vesuviano, Napoli	485
INGV – Sezione di Palermo	487
Voce C: prosecuzione delle attività di studi e ricerche sulla sismicità e sul vulcanismo delle aree di Stromboli e Panarea e per studi e ricerche su zone di particolare interesse specificatamente individuate	489
ALLEGATI	501
<i>Allegato 1</i>	503

INTRODUZIONE

Questo documento costituisce il Rapporto sull'attività svolta nel I semestre 2006 nell'ambito della Convenzione stipulata in data 15/04/'04 tra il Dipartimento della Protezione Civile (DPC) e l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). La convenzione prevede lo svolgimento di attività di sorveglianza sismica e vulcanica sul territorio nazionale, di consulenza tecnico - scientifica e di studi sul rischio sismico e vulcanico, anche con riferimento a zone di particolare interesse.

Il rapporto è costituito da quattro capitoli: i primi tre, suddivisi nelle voci - lett. a), b), c) - previste all'art. 5 della Convenzione, contengono la descrizione delle attività svolte, rispettivamente:

- per il monitoraggio e la sorveglianza sismica e vulcanica - lett. a);
- per il potenziamento delle reti di monitoraggio - lett. b);
- per la prosecuzione delle attività di studi e ricerche sulla sismicità e sul vulcanismo delle aree di Stromboli e Panarea e per studi e ricerche su zone di particolare interesse specificatamente individuate.

Il rapporto è inoltre corredato da una dettagliata rendicontazione finanziaria per quanto concerne le spese relative alle attività di cui all'art. 5, lett. b) e lett. c) della suddetta Convenzione. Si ricorda che le spese relative alle attività di cui all'art. 5, lett. a) non devono essere rendicontate.

Per quanto concerne la rendicontazione delle spese relative alle attività di cui alla lettera b) dell'art. 5 della Convenzione, finalizzate agli investimenti tecnologici per il potenziamento delle reti di monitoraggio, si precisa che:

- nel corso del primo semestre 2006 le predette spese sono state sostenute dalle sezioni coinvolte nelle attività di monitoraggio a valere su un unico capitolo appositamente istituito tra le uscite in tutti i centri di responsabilità (cap. 1210202); a tale capitolo sono stati imputati anche i costi accessori rispetto alle spese in discorso;
- i rendiconti sono stati redatti per competenza: essi ricomprendono gli impegni di spesa assunti dal 01/01/'06 al 30/06/'06 a prescindere se il relativo pagamento sia intervenuto o meno nel periodo di riferimento; ovviamente, nel caso che il pagamento sia intervenuto entro la data del 30/06/'06, vengono indicati gli estremi del pagamento;
- parallelamente alle spese finalizzate al potenziamento delle reti di monitoraggio sono state rendicontate spese di personale; i relativi impegni di spesa sono stati assunti a valere sui fondi ProCiv di cui all'art. 5, lett. b) della Convenzione, dal momento che le risorse umane in discorso (n. 13 unità di personale con contratto a tempo determinato ex art. 23 DPR n. 171/'91) sono state interamente adibite alle attività scientifiche connesse con gli investimenti finalizzati al potenziamento delle reti di monitoraggio; in particolare, sono stati rendicontati i costi omnicomprendivi del suddetto personale riferiti ad un semestre;

- sono state rendicontate, infine, le spese generali, nella misura del 5% delle spese di funzionamento 2005 riferite ad un semestre (50% del totale degli impegni 2006 sulla CAT. IV = € 7.276.168,20; quota del 5% = 363.808,41, arrotondata = € 364.000,00).

Per quanto concerne la rendicontazione delle spese relative alle attività di cui alla lettera c) dell'art. 5 della Convenzione in discorso, finalizzate alla prosecuzione delle attività di studi e ricerche sulla sismicità e sul vulcanismo delle aree di Stromboli e Panarea e per studi e ricerche su zone di particolare interesse specificatamente individuate, si precisa che:

- nel corso del primo semestre 2006 sono state sostenute spese per lo sviluppo di alcuni progetti di interesse per il DPC. In particolare:
 - nell'ambito di una intesa tra INGV e DPC finalizzata al recupero e alla riorganizzazione dei dati accelerometrici disponibili per terremoti italiani è stato avviato il progetto "Data base dei dati accelerometrici italiani relativi al periodo 1972 – 2004" (Progetto S6), coordinato da Lucia Luzi per l'INGV e da Fabio Sabetta per il DPC. Il progetto è stato avviato nel gennaio 2006. Pur essendo agganciato agli altri progetti sismologici dal punto di vista delle attività e dello scambio di informazioni, questo progetto si svolge con una sua propria tempistica. In particolare, non è articolato in due annualità distinte come gli altri progetti e, data la sua natura "di servizio", non è sottoposto a valutazioni periodiche da parte del Comitato di Valutazione internazionale. Informazioni di dettaglio su questo progetto sono disponibili alla pagina <http://esse6.mi.ingv.it/>.
 - nell'ambito di un contratto già in essere tra INGV e SGA – Storia, Geofisica, Ambiente per la realizzazione di un catalogo dell'attività storica dell'Etna, è stata avviata nell'aprile 2006 la seconda e ultima fase delle ricerche. Tale catalogo sarà completato entro il mese di ottobre 2006, e costituirà il riferimento unico e ufficiale per le attività all'interno del progetto V3_6 – Etna;
 - nell'ambito delle attività relative al progetto "V2: Attività di ricerca e monitoraggio a Stromboli e Panarea", è stato avviato un contratto di prestazione d'opera con il Dott. Giorgio Caramanna, per una durata di 12 mesi (dal 1 aprile 2006 al 31 marzo 2007) per l'esecuzione di campionamenti periodici delle emanazioni gassose al largo di Panarea mediante immersioni con respiratore.
 - nell'ambito delle ricerche della UR9 (resp. Scientifico M.T. Mariucci, INGV Roma) all'interno del progetto V3_1 – Colli Albani, e sentito il parere del Comitato di Valutazione internazionale dei progetti INGV-DPC in Vulcanologia, sono state potenziate le attività relative alla perforazione di un pozzo nell'area dei Colli Albani. La perforazione è stata eseguita nei mesi di aprile-maggio 2006, e le relative spese sono state interamente rendicontate al termine della prima fase dei progetti (giugno 2006)
- per il funzionamento dei Comitati di Gestione e dei Comitati di Valutazione; le spese sono state sostenute dall'Amministrazione Centrale su input dei responsabili dei progetti DPC;

- parallelamente alle predette spese sono state rendicontate spese di personale; i relativi impegni di spesa, sono stati assunti a valere sui fondi ProCiv di cui all'art. 5, lett. c) della Convenzione, dal momento che le risorse umane in discorso (n. 45 unità di personale con contratto a tempo determinato ex art. 23 DPR n. 171/'91, n. 21 titolari di assegni di ricerca e n. 20 titolari di borse di studio) sono state interamente adibite alle attività scientifiche connesse ai progetti di ricerca di interesse per il DPC; in particolare sono stati rendicontati i costi omnicomprensivi del suddetto personale riferiti a un semestre.

Come si evince dalla tabella di seguito riportata, l'ammontare delle spese rendicontate in questo rapporto risulta essere sensibilmente inferiore rispetto alle previsioni. Questo dipende dal fatto che le spese sostenute dall'INGV per la realizzazione dei progetti ex art. 5, lett. c) della Convenzione risultano addensate nel II semestre '05 quando sono stati rendicontati i trasferimenti delle prime annualità dei contributi di ricerca assegnati a n. 150 unità di ricerca esterne all'INGV nonché a n. 110 unità di ricerche INGV per l'avvio dei progetti di ricerca sismologici e vulcanologici di particolare interesse per gli Organi di Protezione civile e risulteranno addensate nel secondo semestre 2006 relativamente alla erogazione della seconda annualità dei contributi stessi.

ART. 5, LETT. B CONVENZIONE - POTENZIAMENTO RETI DI MONITORAGGIO		
		I SEM. 2006
<i>INVESTIMENTI e SPESE ACCESSORIE</i>		
C/O SEZ. DI CT	160.614,80	
C/O CNT	289.269,70	
C/O SEZ. DI NA - OV	227.502,12	
C/O SEZ. DI PA	175.509,50	
TOT. INVESTIM. e SPESE ACCESSORIE		852.896,12
<i>SPESE PERSONALE</i>		
N. 13 UNITA' PER N. 6 MESI	260.000,00	
TOT. SPESE PERSONALE		260.000,00
<i>SPESE GENERALI</i>		
5% Cat. IV '06 al 50%	364.000,00	
TOTALE SPESE GEN.		364.000,00
TOTALE GENERALE		1.476.896,12
PREVISIONI		1.500.000,00
<i>DIFF. RISPETTO PREVISIONI</i>		23.103,88
ART. 5, LETT. C CONVENZIONE - PROGETTI DI RICERCA DI INTERESSE PROCIV		
		I SEM. 2006
<i>TRASFERIMENTI PER PROGETTI</i>		
PROGETTI S - SECONDA ANNUALITA'	-	
PROGETTI V - SECONDA ANNUALITA'	-	
PROGETTO S/V - SECONDA ANNUALITA'	-	
<i>SPESE TRASFERIMENTI PER PROGETTI</i>		-
<i>SPESE PERSONALE</i>		
N. 45 UNITA' PER N. 6 MESI	900.000,00	

N. 21 ASSEGNI DI RICERCA PER N. 6 MESI	199.500,00	
N. 20 BORSE DI STUDIO PER N. 6 MESI	160.000,00	
<i>TOT. SPESE PERSONALE</i>		1.259.500,00
<i>ALTRE SPESE</i>		
SVILUPPO PROGETTO V3 - 1	50.000,00	
AVVIO PROGETTO S6 "DATA BASE DATI ACCELEROMETRICI '74 - '04"	260.000,00	
CATALOGO ATTIVITA' STORICA ETNA	130.000,00	
CONTRATTO COLLABORAZIONE OCCASIONALE CAMPIONAMENTI PANAREA	14.688,00	
SPESE DI VIAGGIO COMITATI VALUTAZIONE	6.418,41	
SPESE DI VIAGGIO COMITATI GESTIONE	12.386,15	
<i>TOT. ALTRE SPESE</i>		473.492,56
TOTALE GENERALE		1.732.992,56
PREVISIONI		3.000.000,00
<i>DIFF. RISPETTO PREVISIONI</i>		1.267.007,44
TOTALI GENERALI		
		I SEM. 2006
TOTALE GENERALE		3.209.888,68
PREVISIONI		4.500.000,00
<i>DIFF. RISPETTO PREVISIONI</i>		1.290.111,32



Voce A

Attività di **M**onitoraggio e
Sorveglianza

VULCANI SICILIANI

(a cura del Dott. Alessandro Bonaccorso, Direttore della Sezione di Catania)

INTRODUZIONE

Le attività di monitoraggio dei vulcani attivi e quiescenti siciliani (Etna, isole Eolie con particolare riferimento a Vulcano e Stromboli, Pantelleria) si articolano nei settori geofisico e vulcanologico. In particolare, l'INGV-CT conduce il monitoraggio e lo studio dei vulcani attraverso sistemi osservativi multidisciplinari composti da reti permanenti di monitoraggio visivo (telecamere), sismico, geodetico e geofisico. Inoltre sono gestite le reti sismiche e geodetiche ubicate sulle principali aree sismogenetiche della Sicilia orientale (Peloritani - Stretto di Messina, Iblei - fascia Sicilia sud-orientale).

Viene mantenuta attiva H24 una Sala Operativa, con turnazioni e reperibilità in diversi settori scientifici e tecnici, per il controllo dei sistemi di monitoraggio e l'attivazione delle apposite procedure di allerta. Tutte le attività di monitoraggio sono corredate da diverse attività di sviluppo e implementazione tecnologico nonché da studi e ricerche avanzate nel campo della vulcanologia e geofisica.

Per quanto riguarda il settore del monitoraggio vulcanologico viene garantito il controllo dell'attività eruttiva dei vulcani Etna, Stromboli e Vulcano mediante il mantenimento del servizio di reperibilità vulcanologica (ricercatori) ed aiuto vulcanologo (tecnici e tecnologi). Il servizio di reperibilità vulcanologica comprende sull'Etna rilievi almeno settimanali e produzione di rapporti settimanali, comunicati giornalieri, e rilievi giornalieri o plurigiornalieri nel corso di eventi eruttivi regolarmente inviati al DPC. Il monitoraggio dell'attività eruttiva dello Stromboli viene effettuato anche tramite analisi semi-automatica delle immagini delle telecamere di Stromboli (sistema VAMOS) con produzione di rapporti settimanali. A questo si aggiunge il servizio di monitoraggio petrologico con campionatura ed analisi dei prodotti emessi dai vulcani Etna e Stromboli per l'interpretazione dei fenomeni eruttivi, con produzione di rapporti di dettaglio e pubblicazioni scientifiche. Etna, Stromboli e Vulcano vengono anche monitorati con mappature termiche periodicamente effettuate sia da terra che da elicottero. Per quanto riguarda i periodi inter-eruttivi o quelli caratterizzati da sola attività esplosiva, viene effettuato il monitoraggio delle ceneri emesse sia dall'Etna che dallo Stromboli con quantificazione dei componenti, analisi petrochimiche, definizione della morfoscopia ed interpretazioni utili alla definizione dei fenomeni in atto, e produzione di rapporti di supporto per il DPC poi anche pubblicati sul sito web dell'istituto. Le misure dei parametri sedimentologici vengono adesso velocizzate grazie all'impiego di uno strumento di misura innovativo (CAMSizer) di recente acquisizione. Al monitoraggio vulcanologico contribuiscono anche le misure sui gas emessi dai crateri sommitali, dai suoli e dalle strutture tettonicamente attive. Queste vengono effettuate attraverso campagne di misura periodiche con apparecchiature COSPEC e USB2000 per la misura del flusso di SO₂, FTIR per rilevare i rapporti tra specie gassose, sonde portatili per mappature di radon, CO₂ ed elio, e reti fisse (radon e CO₂ con due stazioni all'Etna, e UV-scanner su Stromboli (4 stazioni) ed

Etna (5 stazioni) di recente installazione per la misura continua, durante le ore diurne, del flusso di SO₂.

Per quanto riguarda il settore del monitoraggio sismologico le attività di monitoraggio e sorveglianza coprono la sistematica e regolare acquisizione, pre-elaborazione e analisi dei dati provenienti dal sistema di rilevamento sismico disposto sui vulcani attivi siciliani e sulle aree tettoniche della Sicilia Nord-Orientale, Calabria Meridionale e degli Iblei. Inoltre viene garantito il controllo dell'attività sismica delle aree tettoniche e di quelle vulcaniche attive della Sicilia Orientale mediante il mantenimento di un servizio di reperibilità sismologica (ricercatori) e di reperibilità tecnica e informatica (tecnici e tecnologi), e con la partecipazione del personale afferente ai turni H24 nella sala di sorveglianza dell'istituto. Il servizio di reperibilità sismologica comprende la produzione di rapporti settimanali e di comunicati giornalieri nel caso in cui si verificano eventi sismici significativi. A questo si aggiungono le attività del gruppo Macrosismico nel caso di eventi particolarmente energetici, fortemente avvertiti o oltre la soglia del danno.

L'elevata densità di stazioni sismiche presenti in Sicilia Orientale (62 sono i siti di rilevamento della Rete Sismica Permanente) permette oggi di disporre di un accurato controllo della sismicità anche di bassa magnitudo nelle aree monitorate. Il confronto con il sistema di rilevamento sismico nazionale (Rete Sismica Nazionale Centralizzata, RSNC gestita da INGV-Centro Nazionale Terremoti) conferma che l'elevata capacità di detezione degli eventi sismici da parte di una densa rete, permette di ottimizzare le attività di sorveglianza, monitoraggio e ricerca in questa parte dell'Italia a maggior rischio sismico e vulcanico. In sintesi i dispositivi di misura gestiti dall'INGV-CT possono essere raggruppati in due tipologie:

Rete Sismica Permanente (RSP): rappresenta il dispositivo di misura continuo costituito da 62 stazioni distribuite in tutta la Sicilia orientale con acquisizione e trasmissione automatica dei dati presso il Centro di Acquisizione Unificato Dati (CUAD) e presso la Sala Operativa di Catania.

Nel complesso la RSP copre 4 grandi aree:

- Area Etnea.
- Area Eoliana.
- Area Calabro-Peloritana.
- Area Iblea.

Per ogni area è impiegata sia strumentazione digitale di nuova generazione in trasmissione numerica e satellitare sia strumentazione analogica ereditata dagli enti confluiti nell'INGV. Nel complesso sono operanti nelle varie aree 28 stazioni digitali 3-Componenti, delle quali 26 a larga-banda e 2 corto periodo, e 34 analogiche corto periodo di cui 15 a 3-C.

Rete Sismica Mobile (RSM): rappresenta il dispositivo di misura temporaneo utilizzato all'occorrenza per integrare le strumentazioni della RSP o per condurre esperimenti e campagne anche al di fuori delle aree di competenza monitorate dalla Sezione di Catania. Allo stato attuale la rete mobile è dotata di 6 stazioni e di un furgone per la centralizzazione dei dati.

Il monitoraggio delle deformazioni del suolo è assicurato mediante appropriati dispositivi di misura continui e discreti.

I dispositivi di misura continui sono: le reti clinometriche permanenti dell'Etna (10 stazioni), delle Eolie (Vulcano e Stromboli, 9 stazioni), di Pantelleria (3 stazioni) e degli Iblei; le reti di stazioni GPS permanenti dell'Etna (13 stazioni), delle Eolie (Vulcano, Lipari e Stromboli, 8 stazioni), di Pantelleria (3 stazioni) e dei Peoloritani; la rete estensimetrica dell'Etna; la stazione integrata clinometrica ed estensimetrica dell'osservatorio di Pizzi Deneri.

I dispositivi di misura discreti (cioè misurati con cadenza periodica) sono: le reti di trilaterazione EDM dell'Etna, delle Eolie (Vulcano e Lipari), degli Iblei e di Pantelleria; le reti geodetiche GPS dell'Etna, delle Eolie (Vulcano e Lipari), degli Iblei, dei Peloritani e di Pantelleria.

Un contributo geofisico al monitoraggio dello stato dei vulcani è poi anche fornito dalla rete di stazioni gravimetriche permanenti dell'Etna e dalla la rete di stazioni magnetiche permanenti dell'Etna e di Stromboli, che all'Etna sono anche integrate da misure periodiche gravimetriche e magnetiche.

MONITORAGGIO VULCANOLOGICO

La ridotta attività eruttiva ha consentito l'analisi dei dati raccolti nel corso delle ultime eruzioni effusive, sia dell'Etna che dello Stromboli. In particolare, lo studio delle immagini termiche dello Stromboli ha consentito di dettagliare i processi che hanno causato l'attività effusiva, la formazione dei campi lavici, ed in seguito l'interruzione dell'effusione lavica e la ripresa dell'attività esplosiva.

Al monitoraggio vulcanologico contribuiscono anche le misure sui gas emessi dai crateri sommitali, dai suoli e dalle strutture tettonicamente attive. Queste vengono effettuate attraverso campagne di misura periodiche con apparecchiature COSPEC e USB2000 per la misura del flusso di SO₂, FTIR per rilevare i rapporti tra specie gassose, sonde portatili per mappature di radon, CO₂ ed elio, e reti fisse (radon e CO₂ con tre stazioni all'Etna, e UV-scanner su Stromboli (4 stazioni) ed Etna (5 stazioni) di recente installazione per la misura continua, durante le ore diurne, del flusso di SO₂. Inoltre, grazie all'acquisto di una nuova telecamera termica portatile, è stato effettuato un esperimento sul campo fumarolico dell'isola di Vulcano nel corso del quale sono state confrontate diverse strumentazioni ed è stata individuata una metodologia per il controllo del rilascio di energia termica all'isola di Vulcano. Questi rilievi saranno propedeutici per l'installazione di una telecamera termica fissa sul bordo del cratere, che verrà effettuata nel secondo semestre del 2006.

Durante i primi sei mesi del 2006 sono stati prodotti circa 90 rapporti informativi, alcuni con cadenza settimanale (rapporti di reperibilità vulcanologica all'Etna e rapporti sullo stato di attività di Stromboli valutato dalle immagini delle telecamere fisse) regolarmente trasmessi al DPC e poi a seguire pubblicati anche sulla pagina web dell'istituto. A questi rapporti interni si aggiungono diversi comunicati giornalieri e pluri-giornalieri inviati alla protezione civile in occasione degli eventi di esplosivi e di emissioni di cenere che hanno interessato l'Etna nei primi mesi dell'anno.

MONITORAGGIO SISMICO

Nel primo semestre del 2006 è continuata l'attività di monitoraggio e sorveglianza attraverso la normale gestione, manutenzione ed ottimizzazione (laddove ritenuto necessario) dei sistemi osservativi sismici nonché garantite le normali attività di turnazione e reperibilità.

Il Laboratorio Elettronico di Sismologia, il Laboratorio Informatico di Sismologia, il Laboratorio di Analisi e Sorveglianza, il Laboratorio Rete Mobile di pronto intervento e il Task di Pronto Intervento Macrosismico, hanno normalmente condotto le loro attività. All'Etna si è proceduto alla realizzazione di 2 nuovi siti nel versante meridionale e orientale del vulcano; ambedue le stazioni sono state dotate di nuova strumentazione digitale e di trasmissione satellitare.

- Installazione stazione sismica analogica 3-C 40s di Nicolosi (ENIC).
- Installazione stazione sismica analogica 3-C 40 s di Pozzillo (EPOZ).

Inoltre:

- sempre in collaborazione con l'UF Sala Operativa, si è proseguito nello sviluppo di software proprietario relativo alle necessità di visualizzazione dei dati sismici in Sala Operativa e alle analisi automatiche (ottimizzazione dei sistemi di localizzazione in automatico). E' stato notevolmente migliorato il sistema di visualizzazione dei dati attraverso lo sviluppo di software interattivo per il personale turnista e per l'immediato calcolo off-line dei dati relativi ad un evento sismico.
- Relativamente alla banca dati, è in fase sperimentale la banca dati multiparametrica per diverse tipologie di dati acquisiti dai diversi sistemi di monitoraggio/sorveglianza. Sono ora disponibili su Internet in forma più estesa i dati parametrici delle localizzazioni riviste dal gruppo di analisi.
- Sono proseguite, infine, quelle attività di ricerca del gruppo di sismologia finalizzate ad ottimizzare le attività di sorveglianza, attraverso gli studi sui precursori di terremoti ed eruzioni per le aree Tettoniche e Vulcaniche della Sicilia Orientale.

MONITORAGGIO DELLE DEFORMAZIONI DEL SUOLO

Nell'ambito delle attività di monitoraggio geodetico, le principali attività di monitoraggio condotte nel corso del primo semestre 2006, sono le seguenti.

1. Esecuzione di campagne geodetiche discrete nelle aree di Lipari-Vulcano, dell'Etna e degli Iblei. Complessivamente sono state effettuate oltre 100 giornate/uomo di misure GPS ed EDM, su circa 80 capisaldi.
 - 1.1. A febbraio è stata completata la misura della rete GPS del settore settentrionale dell'altopiano Ibleo già iniziata a fine 2005 nel corso dell'esercitazione EUROSST 2005. Data la bassa dinamica dell'area, le due campagne (i.e. quella dell'ottobre 2005 e del febbraio 2006) possono essere considerate come unica. Con l'occasione, la rete è stata

profondamente modificata nella geometria al fine di meglio adeguarla alle principali strutture sismotettoniche e di rendere le operazioni di misura meno onerose.

- 1.2. Seguendo la prevista programmazione annuale, a maggio si è proceduto alla misura congiunta delle reti GPS denominate di Lipari-Vulcano e di Vulcano-Nord (25 capisaldi). La rete della Forgia (13 capisaldi) è stata rilevata con tecniche distanziometriche e di triango-laterazione.
 - 1.3. All'Etna, nei mesi di maggio e giugno, sono state misurate la rete GPS (circa 80 capisaldi) e quella EDM del fianco sud-occidentale. Si fa rilevare che d'ora in poi non si prevedono, nell'ordinario, ripetizioni delle misure EDM sulla rete del fianco Sud (14 capisaldi), essendo stato ultimato nel 2005 l'intervento di ristrutturazione della rete GPS che permette un monitoraggio più adeguato ed efficiente di questo settore del vulcano con tecniche satellitari. A febbraio e giugno sono state condotte le previste campagne di misura delle due reti GPS locali della Faglia della Pernicana.
 - 1.4. A Stromboli si è proceduto alla manutenzione ordinaria e straordinaria del sistema THEODOROS, per il monitoraggio dei movimenti della Sciara del Fuoco; in tale ambito sono stati svolti diversi interventi, richiesti anche a seguito di problemi infrastrutturali verificatisi nel sito (in genere legati a sbalzi di tensione sulla rete di alimentazione elettrica) che ne hanno penalizzato gravemente l'efficienza durante diversi periodi del semestre in esame. A tal fine è stato definitivamente modificato il sistema di alimentazione adesso basato interamente su pannelli solari. Allo stesso tempo si è duplicato il sistema di trasmissione, aggiungendo un nuovo sistema basato su radio-modem di back-up di quello WiFi già esistente. Tra le attività svolte vi è stata anche la manutenzione ordinaria della Stazione Totale, attuata nell'ambito del contratto di assistenza con la ditta produttrice, che ha portato alla re-istallazione del sensore a fine giugno.
2. Manutenzione ordinaria e straordinaria dei sistemi osservativi clinometrici ed estensimetrici. Oltre a quelle di normale manutenzione, si segnalano alcune attività che contribuiscono significativamente al miglioramento dei sistemi osservativi attualmente in funzione.
- 2.1. Relativamente al parco strumentale, sono stati inviati all'estero, presso la ditta che ha costruito gli strumenti, 6 clinometri del tipo bore-hole, per la sostituzione e/o riparazione di parte dell'elettronica. Questa attività consentirà il recupero, a costi relativamente bassi, di strumentazione di ottimo livello per le prossime installazioni in aree vulcaniche e sismiche.
 - 2.2. Ad aprile-maggio sono stati realizzati quattro fori in prossimità della centro di raccolta dati dell'INGV (CUAD) per la realizzazione di un sito di calibrazione e test dei sensori clinometrici prima della loro installazione nelle stazioni definitive. Il sito sarà ultimato nei prossimi mesi con la realizzazione delle infrastrutture necessarie al suo funzionamento..
 - 2.3. Per quanto riguarda la rete estensimetrica dell'Etna, è stata installata una nuova stazione lungo la faglia di Trecastagni (in sostituzione di una precedentemente dimessa per problemi logistici), realizzando anche le necessarie infrastrutture (trincee, sito per l'elettronica, etc.).

3. Manutenzione ordinaria e straordinaria dei sistemi osservativi di reti GPS permanenti. Oltre a quelle di normale manutenzione, che sono state particolarmente impegnative all'Etna dopo il forte innevamento dell'inverno 2005-2006, si segnalano alcune attività che hanno significativamente migliorato i sistemi osservativi attualmente in funzione.
 - 3.1. Di è potenziato il sistema di trasmissione radio della rete di Stromboli con la centralizzazione dei dati all'Osservatorio di Lipari. Inoltre, sempre sull'isola di Stromboli, si è provveduto alla sostituzione dei sensori alle stazioni di Timpone del Fuoco (STDF) e Punta Lena (SPLN) per adeguarle a standard più aggiornati.
 - 3.2. Anche all'Etna sono stati sostituiti i sensori alle stazioni di M. Fontane (EMFN) e C.da Farelle (EFAR), analogamente a quanto fatto a Stromboli. Inoltre, al fine di garantire l'acquisizione del dato anche in condizioni ambientali estreme, come quelle delle alte quote dell'Etna, tutti i sensori delle stazioni dell'area sommitale del vulcano sono stati potenziati con memory card adeguate (4 Gb).
 - 3.3. Nel corso del primo semestre 2006 è stato messo a regime un sistema prototipale di acquisizione e visualizzazione di tutti i dati delle reti geodetiche permanenti presso la Sala Operativa di Piazza Roma. Questo sistema è stato realizzato sia per una gestione ottimizzata dei sistemi osservativi sia per mettere alla prova i sistemi hardware e software per un possibile futuro utilizzo di routine dei dati geodetici in Sala Operativa.

ATTIVITÀ DI SALA OPERATIVA

Nell'ambito delle attività di monitoraggio e sorveglianza svolte dalla Sala Operativa, quelle condotte nel corso del primo semestre 2006 possono così riassumersi:

- a) Normale attività di gestione, manutenzione dei sistemi presenti in Sala Operativa, con particolare riferimento al normale svolgimento delle attività di turnazione e reperibilità. Sono stati condotti, ove necessario, degli interventi di ripristino dei sistemi da parte del personale reperibile. Parte integrante del lavoro svolto riguarda la gestione hardware e software degli apparati presenti. Inoltre sono stati migliorati i sistemi di controllo dei dati sismici (basati su protocollo Earthworm), ormai da anni interamente sviluppati all'interno della UF e di elaborazione, anche grafica, degli stessi. Sono stati condotti studi e tesi di laurea riguardanti i sistemi di trasmissione wireless e l'analisi dei dati sismici in Sala Operativa.
- b) Rete Informatica: E' stata svolta la normale manutenzione della rete e di tutti gli apparati che interconnettono le varie sedi afferenti alla Sezione di Catania. A Stromboli, di concerto con il DPC Nazionale, sono stati sostituiti i principali apparati di rete informatica portando i collegamenti interni alla velocità del gigabit. E' stato inoltre effettuato un importante lavoro di ripristino del collegamento remoto in fibra ottica, indispensabile per il trasferimento di gran parte dei dati alla sede del COA. Analogo criterio è stato seguito per la rete della Sede, con progettazione, acquisizione e test dei sistemi necessari alla nuova interfaccia gigabit.

c) Telecamere: normale attività di manutenzione di tutta la rete di telecamere. Un guasto alla telecamera Termica di Nicolosi ha portato alla sostituzione dell'apparato con uno di caratteristiche superiori. Presso la stazione di Milo sono state condotte operazioni di ottimizzazione degli impianti al fine di rendere più stabile l'intera stazione. Per quanto concerne le telecamere ubicate alle isole Eolie a Lipari e Stromboli sono state condotte operazioni di manutenzione ordinaria con importanti evoluzioni dei sistemi, meglio documentate nella relativa parte di potenziamento. E' stato implementato e testato a lungo per il tuning dei parametri il sistema di riconoscimento degli eventi New Saraterm. Si tratta di un prodotto software interamente sviluppato presso la Sala Operativa che ha il preciso scopo di allertare i turnisti al verificarsi di anomalie visibili dalle telecamere. I test sono stati ottimizzati per la telecamera FLIR A40 che fornisce anche dati radiometrici di grande utilità per tali operazioni. Sono stati condotti studi di fattibilità e prove sul campo di utilizzo di stazioni mobili con lo scopo di poter fruire di segnali video in breve tempo anche da siti in cui non sono presenti telecamere fisse appartenenti già alla rete.

SORVEGLIANZA SISMICA DEL TERRITORIO NAZIONALE

(a cura del Dott. Alessandro Amato, Direttore del Centro Nazionale Terremoti)

INTRODUZIONE

Nel corso del primo semestre del 2006 le attività dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (nel seguito INGV) per il monitoraggio sismico del territorio nazionale sono proseguite secondo le modalità consuete. Le procedure in uso per il servizio di sorveglianza sono state descritte in dettaglio nelle relazioni precedenti e non verranno quindi ripetute. Sono stati fatti ulteriori progressi nel sistema di monitoraggio del territorio italiano. E' proseguito l'ampliamento e il miglioramento delle reti sismiche operanti sul territorio italiano, gestite dal Centro Nazionale Terremoti (CNT) dell'INGV, e di conseguenza è ulteriormente aumentata l'affidabilità e la rapidità del sistema di allerta.

Le attività in cui è stato impegnato il personale del CNT durante il primo semestre del 2006, previste dalla convenzione triennale con il Dipartimento, riguardano principalmente quattro tematiche:

- 1) Il servizio di sorveglianza sismica su tutto il territorio nazionale, ivi comprese le attività di acquisizione e archiviazione dei dati registrati dalla Rete Sismica Nazionale e dalle reti collegate.
- 2) Il bollettino sismico, ossia le attività legate all'interpretazione e alla distribuzione dei dati della Rete Sismica Nazionale (RSN).
- 3) La manutenzione ordinaria, straordinaria e il potenziamento della Rete Sismica Nazionale, della Rete MedNet e delle altre reti sismiche gestite dal CNT-INGV.
- 4) Lo sviluppo e la gestione della rete GPS nazionale.

Sono stati apportati numerosi miglioramenti nelle procedure per la sorveglianza sismica. Nel primo semestre del 2006 sono state ulteriormente perfezionate le procedure per la comunicazione delle informazioni sui terremoti alla Sala Operativa del Dipartimento.

Come già rilevato per il secondo semestre 2005, la nuova procedura di comunicazione tra INGV e DPC ha comportato un impegno maggiore del personale in turno presso la Sala Sismica dell'INGV a Roma, ma ha standardizzato e reso più efficaci le procedure di comunicazione.

È stata utilizzata la nuova procedura di analisi dei dati sismici per la produzione dei bollettini periodici, introdotta nell'aprile 2005 e descritta nella relazione relativa al secondo semestre 2005.

Il mantenimento e lo sviluppo delle reti Sismiche e GPS del periodo in questione verrà descritto in questo rapporto, mentre gli investimenti effettuati sono descritti nel rapporto delle spese sostenute.

Avanzamenti significativi sono stati fatti anche nella progettazione e nei test degli strumenti OBS/H costruiti nei laboratori dell'Osservatorio di Gibilmanna del CNT.

La rete sismica mobile è intervenuta con una configurazione leggera in occasione di un terremoto in Sicilia (Patti-Milazzo) di Magnitudo 4.1.

SERVIZIO DI SORVEGLIANZA SISMICA

Nel corso del primo semestre del 2006 il servizio di sorveglianza sismica è stato ancora espletato con ricercatori, tecnologi e tecnici in servizio H24, organizzati in squadre composte da 3 unità di personale di differente qualifica. E' stata posta grande attenzione alle nuove modalità di comunicazione dei terremoti al Dipartimento della Protezione Civile, secondo le modalità riportate sotto. Tali modalità, come già descritto nei rapporti del 2005, richiedono un maggiore impegno del personale sia per i terremoti in Italia che per quelli che avvengono nel resto del mondo, in particolare nell'area mediterranea. Per quanto riguarda la sismicità italiana, la procedura di comunicazione prevede attualmente:

- 1) una prima informazione al DPC (mediante telefonata sulla linea dedicata) entro due minuti dall'evento, con le prime informazioni disponibili;
- 2) una seconda telefonata entro 5 minuti dall'evento sismico, con i dati preliminari di localizzazione, magnitudo e aree colpite;
- 3) una terza comunicazione entro 30 minuti via telefono, posta elettronica (o fax) con i dati ricontrollati e definitivi, dopo esame dei sismogrammi, rilocalizzazione dell'evento e calcolo della magnitudo.

Va rilevato che, rispetto al protocollo concordato tra INGV e DPC, l'oggetto della prima comunicazione (entro 2 minuti) è molto spesso già più esaustivo del previsto. Invece di dare soltanto una generica indicazione della regione colpita e dell'energia dell'evento, i turnisti INGV forniscono spesso una localizzazione precisa e una magnitudo calcolata, anche se questi valori sono talvolta soggetti a revisione (modesta in genere) nei minuti successivi.

Nel corso del I semestre 2006 è proseguito il servizio di invio automatico delle informazioni relative ai terremoti, attraverso e-mail e SMS su cellulare, a funzionari del DPC-SSN, per tutti gli eventi localizzati con magnitudo superiore a 3.2. Questi SMS giungono a destinazione generalmente entro 3-4 minuti dal tempo origine del terremoto. Successivamente alla rilocalizzazione del terremoto (dopo il punto 3 della lista sopra) viene spedito un secondo e-mail e SMS con i dati rivisti e la localizzazione definitiva. Il valore di magnitudo fornito attualmente è quello relativo alla magnitudo locale (o Richter) che viene determinata sui sismogrammi digitali sulla base della massima ampiezza delle onde sismiche in un determinato periodo (MI). Precedentemente veniva usata la cosiddetta magnitudo-durata (Md). Questo passaggio, finalmente possibile grazie al miglioramento della Rete Sismica Nazionale avvenuto negli ultimi anni, ha garantito delle stime affidabili anche per terremoti più forti (sopra magnitudo 4) per i quali i valori della Md erano spesso sottostimati. L'adeguamento del servizio di sorveglianza sismica a questi nuovi standard ha comportato un notevole impegno per il personale: è proseguito il continuo e lento "training" sul campo (la Sala Sismica). Si ricorda che il personale che si alterna in turno è di circa 90 unità, oltre ai funzionari reperibili, circa 10. Le attività collegate al Servizio di Sorveglianza Sismica, oltre alla diffusione delle informazioni e alla gestione della Banca Dati, hanno riguardato principalmente l'ulteriore sviluppo di strumenti di analisi, di visualizzazione e di controllo che costituiscono

l'interfaccia tra l'operatore e il sistema di acquisizione dei dati sismici in tempo reale. In questo ambito, sono state ulteriormente migliorate le seguenti applicazioni: SisMap (visualizzazione in tempo reale degli epicentri e dei risultati dell'elaborazione), SisPick! (visualizzazione e analisi di registrazioni sismiche), Locator (strumento di revisione della localizzazione per effettuare una nuova localizzazione dopo la revisione dei dati). È proseguito lo sviluppo di un'applicazione web per il controllo da remoto dei processi di acquisizione; in particolare, mediante questa applicazione, il turnista può controllare lo stato della rete e dell'acquisizione dati, i "triggers" dei canali acquisiti, nonché inviare comandi ai processi in esecuzione.

Tabella 1. Comunicazione di eventi sismici nel I semestre 2006 e raffronto con il 2005

	Terremoti Comunicati 1° sem. 2006	Terremoti Totali 1° sem. 2006	Terremoti Comunicati 1° sem. 2005	Terremoti Totali 1° sem. 2005
Totali	319	2.964	299	2.407
Localizzati	319	2.958	296	2.335
Fuori Rete	56	299	51	398
Non Localizzati	0	6	3	72

Nel I semestre 2006 sono stati riconosciuti dagli operatori di sorveglianza INGV 2964 terremoti in totale; di questi, 319 sono stati comunicati al Dipartimento di Protezione Civile, seguendo il criterio che prevede di comunicare un evento sismico se ha una magnitudo superiore a 2.5 circa, o se comunque può essere risentito dalla popolazione (per il dettaglio si veda fig. 1). Il numero degli eventi comunicati nel primo semestre 2006 è lievemente superiore a quello relativo al I semestre 2005 (319 contro 299). Anche il numero totale degli eventi localizzati (comprendente quindi la microsismicità) è superiore (2958 contro 2407). Prosegue quindi la tendenza all'aumento della sismicità rilevata e localizzata, già evidenziata negli anni precedenti, legata principalmente al miglioramento della rete sismica nazionale. Si nota inoltre anche un leggero aumento degli eventi fuori rete comunicati (56 contro 51), a causa della maggiore attenzione richiesta per i terremoti che avvengono nell'area mediterranea e nel resto del mondo. In figura 2 si può vedere il dettaglio dei terremoti comunicati raggruppati per magnitudo.

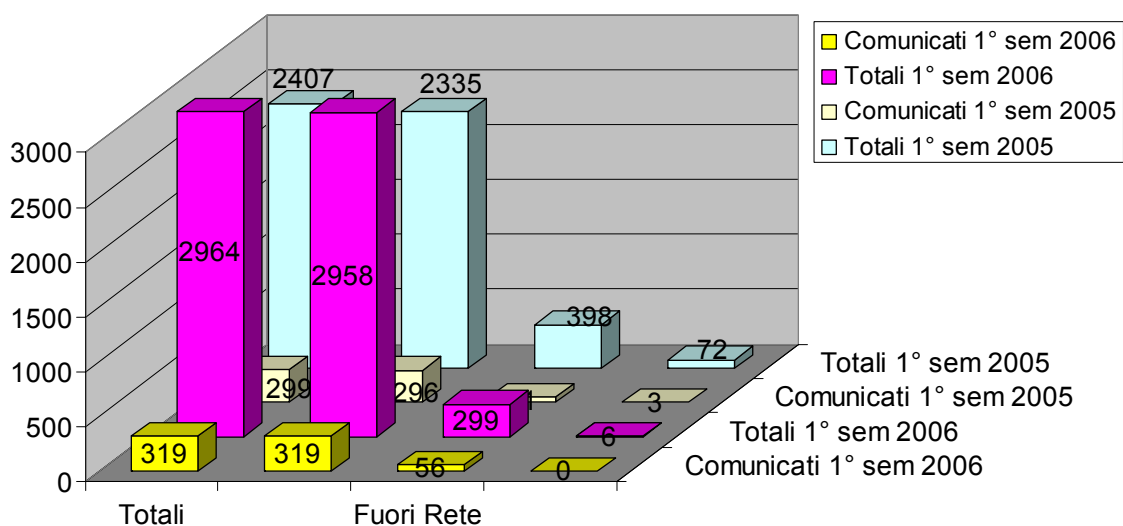


Figura 1. Numero dei terremoti localizzati e comunicati al DPC nel I semestre del 2006 e confronto con il I semestre del 2005.

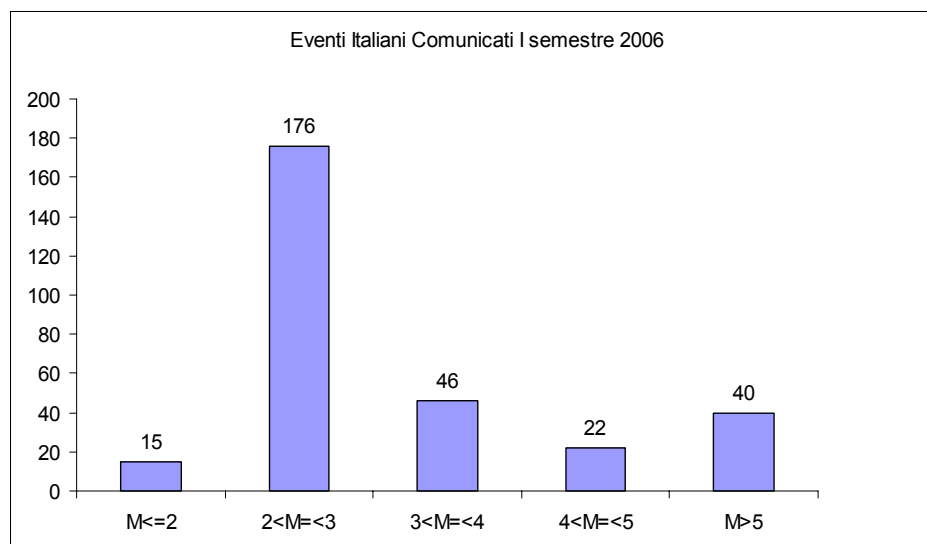


Figura 2. Distribuzione dei terremoti localizzati e comunicati al DPC nel I semestre del 2006, per classi di magnitudo.

Come si vede dalla figura, la maggior parte dei terremoti comunicati sono nella classe di Magnitudo compresa tra 2 e 3, ossia terremoti avvertibili solo a breve distanza dall'epicentro. I casi di terremoti con Magnitudo superiore a 4, risentibili in regioni piuttosto estese, sono comunque numerosi (22), circa 4 al mese. Va tuttavia rilevato che i terremoti più forti (inclusi i 40 con Magnitudo maggiore di 5) comprendono quelli al di fuori della regione italiana.

Come già in passato, terminate le procedure di comunicazione degli eventi sismici al Dipartimento di Protezione Civile, i dati essenziali di ogni terremoto localizzato e comunicato (al di sopra quindi della soglia della presunta avvertibilità) sono state pubblicate sul web, con un accesso che permette di visualizzare la localizzazione dei terremoti dell'ultima settimana:

<http://www.ingv.it/%7eroma/webterrNew/last/week.php>

o dell'ultimo mese:

<http://www.ingv.it/%7eroma/webterrNew/last/month.php>

Per ogni evento sismico localizzato viene anche pubblicata su web una carta con l'ubicazione, corredata dai dati caratteristici (latitudine, longitudine, profondità ipocentrale, magnitudo, centri abitati più vicini all'epicentro).

Questo servizio è molto importante per la popolazione, contribuendo a informare e tranquillizzare le persone che avvertono uno scuotimento sismico; si sta lavorando per svilupparlo ulteriormente, fornendo maggiori informazioni.

Sono state inoltre gestite le procedure operanti in tempo reale per la notifica del verificarsi di eventi sismici mediante i servizi di posta elettronica e SMS.

ANALISI DEI DATI: IL BOLLETTINO DELLA SISMICITÀ ITALIANA

Nel I semestre del 2006 sono state mantenute e aggiornate tutte le procedure di analisi dei segnali e dei parametri di sorgente utilizzate per il servizio di sorveglianza sismica a scopo di Protezione Civile.

Archiviazione dei segnali

E' proseguita la memorizzazione continua di tutti i segnali provenienti da stazioni a banda larga e allargata; dato il numero di stazioni attuale, i dati memorizzati ammontano a circa 12GB al giorno. E' proseguita l'archiviazione di segnali "a trigger" che ha dato origine, nella prima metà del 2006, alla memorizzazione di circa 920.000 forme d'onda, il 20% delle quali è stato generato da terremoti. Sono stati individuati 3958 terremoti, dei quali 3115 sono stati localizzati in Italia e nelle regioni limitrofe. Sono stati registrati i segnali di oltre 800 telesismi (terremoti a distanze superiori a circa 2000 km).

Banca dati relazionale

Nel corso del primo semestre 2006 è proseguito l'utilizzo della Banca Dati Relazionale delle reti sismiche INGV, nella parte relativa alla gestione dei guasti di stazione e in quella relativa alle caratteristiche strumentali. Sono state sviluppate procedure per l'immissione di informazioni parametriche di evento estratte dal Bollettino sismico.

Integrazione in tempo reale dei dati di altre reti sismiche

E' proseguita l'attività di integrazione in tempo reale delle registrazioni sismiche prodotte dalla rete sismica nazionale con i segnali provenienti da altre reti dell'INGV (rete del Belice, rete INGV-OV, rete INGV-CT, MedNet) e da altre reti europee confinanti (Francia, Svizzera e Austria). I dati parametrici (tempi di arrivo e localizzazioni) vengono inoltre integrati in tempo reale con altri dati parametrici inviati tramite posta elettronica (rete IGG, rete OGS-CRS, rete INGV-CT).

Produzione e aggiornamento del Bollettino Sismico Italiano

Dopo le analisi in tempo reale effettuate nei primi minuti da ogni terremoto dagli operatori di Sala Sismica, tutti gli eventi vengono rianalizzati nei giorni successivi da personale specializzato, allo scopo di fornire un Bollettino della sismicità italiana il più possibile completo e omogeneo.

Anche nel I semestre 2006, è quindi proseguita la revisione sistematica dei terremoti sul nuovo sistema di acquisizione che già da alcuni anni assicura le localizzazioni in tempo reale per la sorveglianza sismica italiana. L'analisi della sismicità è oggi condotta sulla base della lista di terremoti già riconosciuti come tali e localizzati in tempo reale dal sistema automatico; questa lista è integrata con altri terremoti eventualmente individuati dai sismologi durante il turno di sorveglianza per la Protezione Civile.

Come già evidenziato per la sismicità rilevata durante il servizio di sorveglianza sismica, anche la sismicità rivista mostra un notevole numero di micro-terremoti che la rete sismica nazionale permette di localizzare (figura 3).

L'uso di nuove procedure di analisi e lo sviluppo attuale della Rete Sismica Italiana ha permesso di raggiungere un grado più elevato di completezza del Bollettino Sismico Italiano. L'insieme di tutti i terremoti localizzati in Italia nella prima metà del 2006 risulta completo nel range di magnitudo 1.5 – 4.2 (figura 4). L'apparente non completezza del catalogo per magnitudo maggiori a di $ML=4.2$ è da attribuire alla presenza di eventi esterni.

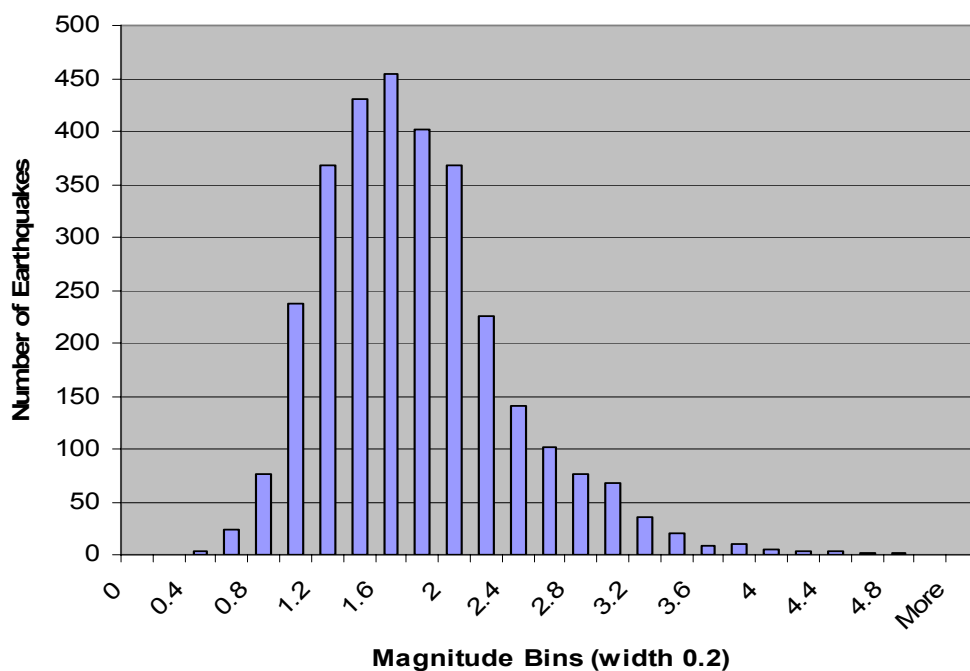


Figura 3. Distribuzione dei terremoti analizzati per il Bollettino sismico durante il primo semestre 2006, raggruppati per intervalli di magnitudo di 0.2.

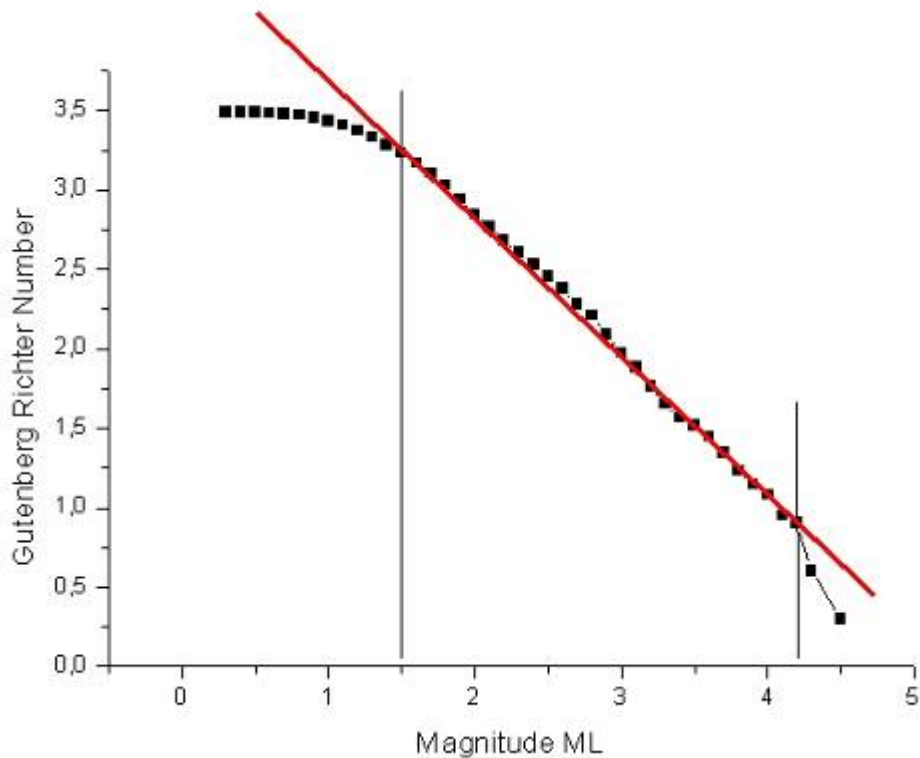


Figura 4. Distribuzione Gutenberg-Richter dei terremoti analizzati per il Bollettino sismico durante il primo semestre 2006. Si nota la completezza per $M > 1.5$ circa.

Sismicità Italiana nella prima metà del 2006

Anche i primi 6 mesi del 2006 sono stati caratterizzati da sismicità diffusa su tutto il territorio nazionale che si concentra soprattutto lungo le dorsali Appenninica e Alpina, nel Tirreno meridionale e in Sicilia. L'evento di massima magnitudo ($M_L=4.8$) è avvenuto il 29 maggio sul promontorio del Gargano, a circa 30 chilometri di profondità, tra Carpino, Cagnano Varano e Monte Sant'Angelo. Vari eventi di magnitudo superiore a 4 sono avvenuti in mare nell'Adriatico centro settentrionale, nel golfo di Taranto, nel mar Ionio, nel canale d'Otranto e nel basso Tirreno. Alcuni di questi hanno interessato la popolazione perché avvenuti vicino alla costa: il 17 aprile si è verificato un terremoto ($M_L=4.3$) nel mar Ionio al largo della costa calabra, a nord-est di Cariati e Crucoli. Analogo terremoto ($M_L=4.3$) è avvenuto il 22 giugno nel golfo di Taranto, non lontano dalla costa calabra (circa 15 chilometri a nord-est di Corigliano Calabro). Il 27 febbraio è avvenuto un terremoto di magnitudo $M_L=4.1$ nel golfo di Patti e di Milazzo, in prossimità della costa, a nord di Barcellona. Il 24 marzo un terremoto di magnitudo intorno a 4 è avvenuto vicino alla costa meridionale della Sardegna, a sud di Capo Spartivento. Il 16 aprile si è verificato un terremoto di magnitudo $M_L=4.1$ sull'Appennino forlivese, presso Premilcuore. Il 10 aprile un terremoto di $M_L=4.0$ ha colpito la provincia di Macerata, presso Recanati. L'Appennino centrale rimane l'area con il più alto numero di terremoti registrati e localizzati, sebbene di bassa magnitudo. Si conferma la presenza di sismicità profonda nel basso Tirreno, con localizzazioni, nel periodo in esame, fino a 330 chilometri di profondità.

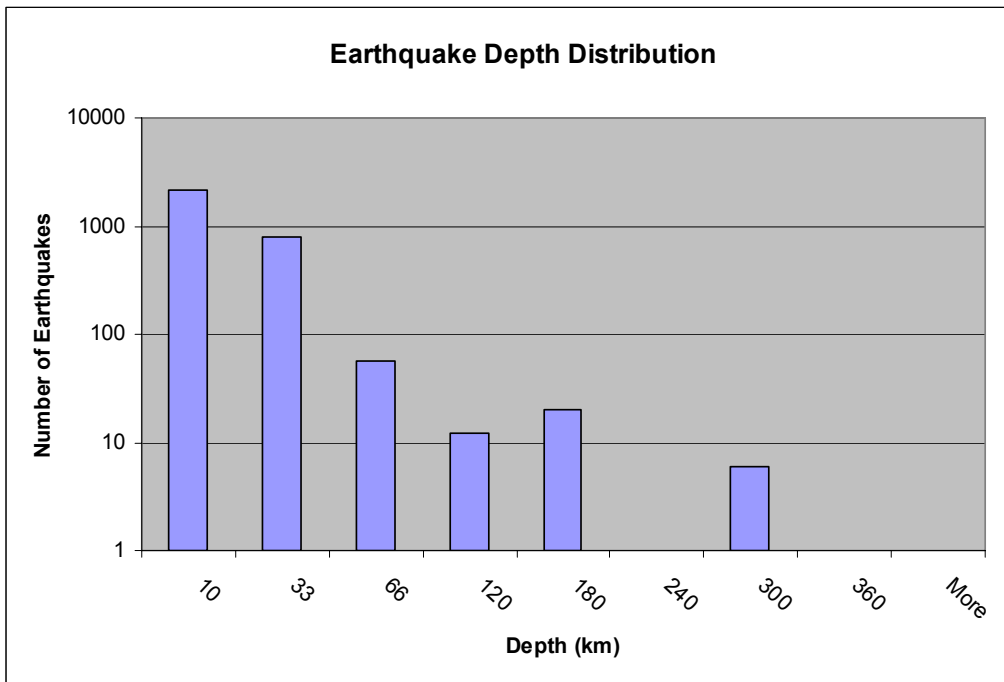


Figura 5. Distribuzione in profondità dei terremoti analizzati per il Bollettino sismico durante il primo semestre 2006. La maggioranza dei terremoti è localizzata a profondità crostale (prime due classi in figura). Terremoti intermedi e profondi sono avvenuti nel Tirreno meridionale. Si noti che la scala in ordinate è logaritmica.

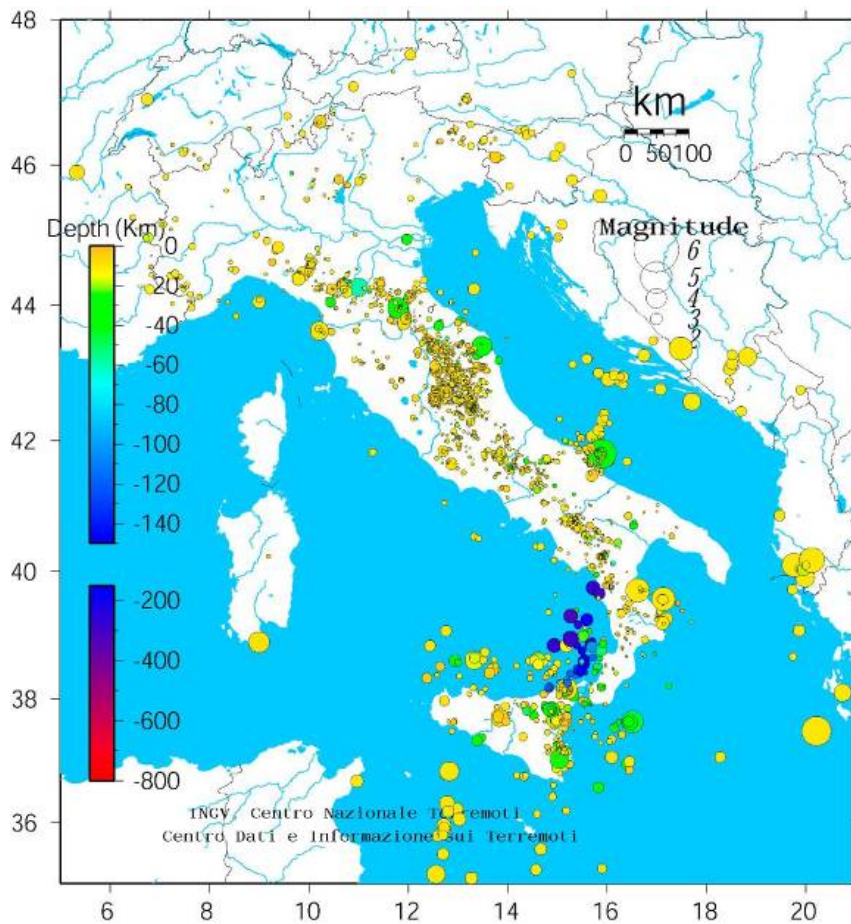


Figura 6. Distribuzione epicentrale dei terremoti analizzati per il Bollettino sismico durante il primo semestre 2006. Si nota la grande quantità di piccoli terremoti superficiali (simboli gialli) lungo la catena appenninica, i terremoti intermedi e profondi (simboli blu) nel Tirreno sud-orientale, una attività sismica diffusa nel canale di Sicilia e nel Mar Ionio.

Gestione delle richieste di dati sismologici e diffusione di informazioni

Sono state esaudite le richieste di informazioni sismologiche provenienti da istituzioni scientifiche nazionali ed internazionali, da organismi istituzionali dello Stato, da società private, nonché quelle inoltrate da singoli cittadini.

Per il primo semestre 2006 è proseguita la pubblicazione su web del Bollettino Sismico del Centro Nazionale Terremoti, suddiviso in periodi di 15 giorni. Il materiale pubblicato fornisce i parametri degli eventi sismici localizzati (tempo origine, coordinate ipocentrali, magnitudo, regione epicentrale), i tempi di arrivo e le magnitudo calcolate alle varie stazioni; per gli eventi telesismici vengono forniti i tempi di arrivo delle fasi, l'ampiezza massima e il periodo alle varie stazioni, senza indicazioni di localizzazione e magnitudo (che possono essere reperite da organismi internazionali, quali il NEIC e lo CSEM). Il bollettino viene pubblicato nel formato internazionale GSE 2.0. I dati sono disponibili su:

<http://www.ingv.it/~roma/reti/rms/bollettino/index.php>

E' stata istituita un'area ftp pubblica in cui è possibile reperire i segnali sismici generati dai terremoti. Essa è stata realizzata per scopi scientifici: l'area permette di distribuire i segnali prodotti dalla Rete Sismica Nazionale a tutti i centri di ricerca sismologica (INGV e non) situati in Italia e all'estero.

LA MANUTENZIONE ORDINARIA E STRAORDINARIA DELLA RETE SISMICA NAZIONALE, DELLA RETE MEDNET E DELLE ALTRE RETI SISMICHE GESTITE DAL CNT-INGV

Funzionamento e aggiornamento della Rete Sismica Nazionale

Nel primo semestre del 2006 si è tenuta in efficienza la Rete Sismica Nazionale, sia la parte a trasmissione analogica che quella digitale. Sono state effettuate numerose missioni per riparazione di guasti, per il miglioramento dei siti di stazione, per la ricerca di nuovi siti e per le nuove installazioni. A giugno 2006, il numero totale di stazioni collegate al sistema di acquisizione era di 219, di cui circa due terzi costituito da stazioni digitali a tre componenti e ad elevata dinamica.

Per la parte satellitare, la rete consta a metà 2006 di oltre 70 stazioni, sparse a coprire in modo ormai abbastanza omogeneo il territorio nazionale; a queste vanno aggiunte le stazioni per il monitoraggio dell'Etna, delle Isole Eolie e della Sicilia orientale, che condividono scelte tecnologiche e vettori trasmissivi con la rete nazionale. Per la gestione di questa parte di rete, sono stati provati nuovi meccanismi di interscambio dati tra i vari hub (Roma, Catania, Grottaminarda) tramite software idonei, in modo da garantire la completezza del flusso dati nelle varie sedi anche in caso di guasti degli apparati di ricezione o di operazioni di manutenzione straordinaria. Per le reti a trasmissione terrestre, è proseguita la migrazione dei collegamenti sulla rete RUPA (Rete Unificata per la Pubblica Amministrazione); a giugno 2006, 55 stazioni risultavano collegate tramite questa tecnologia. Va segnalato che verso la fine del periodo in questione (maggio-giugno 2006) siamo stati informati dal CNIPA del passaggio della nostra amministrazione da PathNet (Telecom) a Fastweb, a seguito dell'esito della gara per il Servizio di Pubblica Connettività (SPC).

La rete sismica MedNet per il monitoraggio dell'Italia e del Mediterraneo

Archiviazione e distribuzione dati

I dati in tempo reale sono stati inoltrati ad ORFEUS (NL) ed IRIS (USA). Oltre alle collaborazioni già stabilite con le altre Istituzioni europee, che gestiscono reti nazionali, si sono stabilite delle relazioni di scambio dati con Albania, Serbia, Svizzera e Francia. Lo scopo rimane quello di disporre prontamente di dati esteri per la determinazione dei tensori momento e per la determinazione degli ipocentri di terremoti in prossimità dei confini nazionali. L'immissione dei dati nel database avviene in modo quasi automatico. La distribuzione è tuttora affidata alla pagina web degli eventi e ai due gestori automatici di richieste AutoDRM e NetDC (tramite mail agli indirizzi, rispettivamente, autodrm@ingv.it e netdc@ingv.it). La collaborazione internazionale per l'integrazione delle reti e lo scambio dati iniziate negli anni scorsi, è proseguita con varie iniziative. Alla fine del semestre parte il progetto della comunità europea NERIES, durante il quale sarà costituita (fra le molte attività che vedono l'INGV in prima linea) una banca dati distribuita, denominata EIDA (European Integrated Data Archive). Il CNT, per il tramite di MedNet partecipa ad un altro progetto (EERWEM, finanziato dalla Comunità Europea) per la collaborazione e lo scambio dati nel Mediterraneo Occidentale, regolato da un Memorandum of Understanding che è stato provvisoriamente siglato per un anno, ma che si auspica venga esteso, non appena tutte le parti avranno convenuto sulla sua validità. Inoltre, nel mese di giugno 2006, l'INGV ha partecipato al secondo workshop per la costituzione del NEAMTWS (North-Eastern Atlantic and Mediterranean Tsunami Warning System), in qualità di Chairman (A. Amato) di uno dei 4 Working Groups (quello delle reti sismiche e geofisiche). Questa attività, organizzata dall'Unesco, prevede che la rete MedNet partecipi in qualità di leader al futuro sistema di sorveglianza degli tsunami nel Mediterraneo. Per questo scopo sono stati effettuati studi della disponibilità dei dati in tempo reale delle varie reti euro-mediterranee, requisito fondamentale per un sistema di allarme dei maremoti. Una mappa aggiornata della rete MedNet, i dati analizzati in automatico per il calcolo della magnitudo e quando possibile del momento tensore sono disponibili su: <http://mednet.ingv.it>.

La rete sismica di pronto intervento

Durante il primo semestre del 2006, è stata mantenuta la reperibilità H24 del personale, per eventuali interventi in emergenza. Sono stati inoltre effettuati test sulle stazioni sismiche adibite al pronto intervento. E' stata effettuata una campagna di test dell'intera strumentazione in Italia meridionale (Basilicata). Sono state inoltre messe a punto delle nuove procedure automatiche per la rilettura ed elaborazione dei dati sismici della rete. Sono stati anche sperimentati dei sistemi di trasmissione dati su vari acquisitori della rete mobile.

Intervento Rete Mobile del 28 febbraio 2006

A seguito del terremoto di magnitudo $M_I = 4.1$, verificatosi nel Golfo di Patti il 27 febbraio 2006 alle ore 04:34 GMT, localizzato circa 1.5 km a sud-ovest di Barcellona - Pozzo di Gotto, è stato deciso un intervento della rete mobile dell'INGV a cui hanno partecipato il Centro Nazionale Terremoti –

Osservatorio di Gibilmanna e la rete mobile dell'INGV della sezione di Catania. Lo sciame sismico nelle prime 24 ore dall'evento principale ha fatto registrare oltre cento eventi. Il giorno seguente, il 28 febbraio, sono state installate 6 stazioni della rete mobile secondo la tabella e la carta allegate.

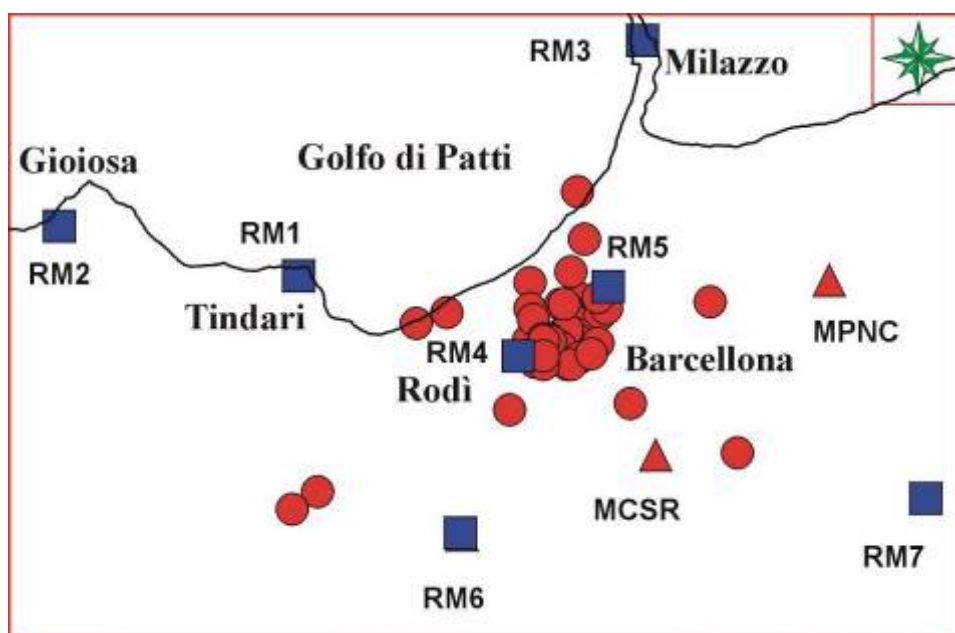


Fig. 12 ● Epicentri ■ Stazioni rete mobile ▲ Stazioni rete permanente

Sigla	Acquisitore	Sensore	Località	Data Installazione
RM1	REFTEK	Le 3D 5 sec	Tindari	28/02/06
RM2	REFTEK	Le 3D 5 sec	Gioiosa Marea	28/02/06
RM3	REFTEK	Le 3D 5 sec	Milazzo	28/02/06
RM4	Lennartz M24	Le 3D 20 sec	Rodi Milici	28/02/06
RM5	Lennartz M24	Le 3D 20 sec	Barcellona Pozzo di Gotto	28/02/06
RM6	Lennartz M24	Le 3D 20 sec	Novara di Sicilia	01/03/06
RM7	Lennartz M24	Le 3D 20 sec	Ali Superiore	28/02/06

Le stazioni della rete mobile sono rimaste installate per 25 giorni durante i quali hanno acquisito circa 50 eventi di cui 40 sono stati registrati e localizzati utilizzando le sole stazioni della rete mobile in quanto non sono stati rilevati dalle stazioni della rete permanente.

RETE CGPS (GPS CONTINUO) IN ITALIA: STATO DI AVANZAMENTO

Trasmissione dati

Nel primo semestre 2006 sono state utilizzate con successo le tecniche di trasmissione satellitare Nanometrics e RUPA, già sperimentate nel corso del primo semestre dello stesso anno, nelle stazioni in cui è presente una stazione sismica della nuova rete digitale (Fig. 13 e 14). Questo tipo di comunicazione ha il vantaggio di ridurre i costi di gestione della stazione e di migliorare il trasferimento dati e il controllo del ricevitore GPS remoto. Le linee telefoniche Telecom o GSM vengono usate in caso

di collocazione di sola stazione GPS. I dati delle linee telefoniche vengono convogliati presso i server dell'INGV-CNT a Roma e Bologna e quindi trasferiti al server GPSSiving della rete GPS nazionale RING.

Mantenimento delle stazioni

Sono state effettuate missioni finalizzate al mantenimento delle stazioni e alla riparazione di guasti. La buona qualità della strumentazione e i siti protetti hanno fatto sì che fossero necessari solo pochi interventi, effettuati perlopiù per ripristinare l'alimentazione o la linea di comunicazione dati. In un solo caso è stata ristrutturata completamente una stazione (Monte Terminillo).



Fig. 13. Stazione integrata sismica e GPS con trasmissione satellitare Nanometrics. Si nota l'antenna GPS sulla destra, i pannelli solari per l'alimentazione dell'intera stazione, la parabola per la trasmissione dati a sinistra, il pozzetto per il sismometro in basso a sinistra.



Fig. 14. Due delle fasi principali di installazione della stazione permanente GPS di Pesaro (giugno 2006) con trasmissione del segnale mediante linea etHernet e collegamento RUPA.

VULCANI DELL'AREA NAPOLETANA E STROMBOLI

(a cura del Dott. Giovanni Macedonio, Direttore dell'Osservatorio Vesuviano)

MONITORAGGIO SISMICO¹

La Rete Sismica delle aree vulcaniche napoletane

La Rete Sismica dell'Osservatorio Vesuviano (RSOV) è costituita da stazioni sismiche analogiche a corto periodo (20 a una componente e 12 a 3 componenti), stazioni digitali a larga banda (4 a 3 componenti) e dilatometri (6) con trasmissione continua dei segnali al Centro di Monitoraggio. La Rete è progettata per il monitoraggio delle aree vulcaniche attive della Campania (Vesuvio, Campi Flegrei, Ischia) e fornisce informazioni relative alla sismicità a scala regionale in collaborazione con la Rete Sismica Nazionale Centralizzata (INGV – Centro Nazionale Terremoti). L'attuale geometria della rete, in condizioni di basso rumore sismico di fondo, consente di localizzare in maniera affidabile anche alcuni eventi sismici con $M \leq 1$, nelle aree del Vesuvio e dei Campi Flegrei. La ricezione dei segnali delle stazioni della RSOV è centralizzata presso un punto di raccolta dati sito in via Manzoni ed è basato prevalentemente su trasmissione radio e subordinatamente su linee telefoniche dedicate. Da qui i dati sono trasmessi al Centro di Monitoraggio, sito in via Diocleziano mediante protocollo TCP/IP su linea dedicata. In Tab. 1 sono riportati i dettagli di configurazione delle stazioni della rete permanente OV e nella Fig. 1 è rappresentata la relativa mappa. Le stazioni analogiche sono equipaggiate con sismometri a corto periodo (1s); quelle a componente verticale con sensori Mark L4-C o Geotech S13, mentre quelle a tre componenti sono dotate di sensori Mark L4-3D o terne di sensori Geotech S13. Gli apparati di amplificazione e modulazione sono stati sviluppati e realizzati dal Laboratorio di Manutenzione e Sviluppo della Rete Sismica (sistema MARCAP). Questi apparati hanno sostituito i precedenti modulatori in esercizio (Lennartz Mars-66), ormai obsoleti. La trasmissione dei segnali è effettuata prevalentemente mediante telemetria UHF con apparati radio sintetizzati a banda stretta (ERE PMDU2000) programmabili via porta RS-232 su tutta la banda operativa (430-450 MHz). Per alcune stazioni (NIS, STH, DMP, SFT, PE9 e TR9) la trasmissione è realizzata mediante linea telefonica dedicata (CDA). Le stazioni digitali a larga banda sono equipaggiate con sensori a 3 componenti Guralp CMG-40T con risposta tra 60s e 50Hz. I dati sono digitalizzati a 100 cps da un acquirente locale costituito da una stazione Kinometrics K2 e trasmessi in continuo via porta seriale RS-232 a 9600 baud mediante telemetria UHF. Gli apparati ricetrasmittitori sono costituiti da radio-modem SATEL mod. SATELLINE 3AS a banda stretta con canalizzazione a 12.5 kHz. Per tutte le stazioni il sistema di alimentazione primaria è garantito dalla linea elettrica o da pannelli solari da 75W. Un sistema di alimentazione a tampone con caricabatteria KERT da 3A e batterie al piombo sigillate FIAMM da 70 A/h garantisce un'autonomia di 3-4 giorni in caso di interruzione della corrente elettrica. I sistemi di ricezione ed acquisizione dei dati della rete analogica sono ospitati dal febbraio 2004 in un container messo a

¹ A cura di: M. Martini, G. Borriello, C. Buonocunto, M. Capello, A. Caputo, L. D'Auria, W. De Cesare, A. Esposito, F. Giudicepietro, D. Lo Bascio, M. Orazi, R. Peluso, P. Ricciolino, G. Scarpato, G. Talarico

disposizione del Dipartimento di Protezione Civile. L'attuale sistemazione di detti sistemi è da ritenere provvisoria in attesa di una collocazione più idonea.

Tabella 1. Stazioni della rete sismica al 30/06/2006.

Stazione	Sigla	Tipologia	Trasmissione
Osservatorio Vesuviano	OVO	Analogica 3C	Radio diretta
Bunker Est	BKE	Analogica 3C	Radio ponte su PPV
Cappella Vecchia	CPV	Analogica 3C	Radio diretta
Ercolano	HR9	Analogica 1C	Radio diretta
Torre del Greco	TDG	Analogica 1C	Radio diretta
San Sebastiano	SSB	Analogica 1C	Radio diretta
S. Maria del Castello	SMC	Analogica 1C	Radio ponte su Nola
Ottaviano	OTV	Analogica 1C	Radio ponte su Nola
Terzigno	TRZ	Analogica 1C	Radio ponte su PPV
Pompei	PPV	Analogica 1C	Radio diretta
Array Bunker Est 1	BE1	Analogica 1C	Radio ponte su PPV
Array Bunker Est 2	BE2	Analogica 1C	Radio ponte su PPV
Array Bunker Est 3	BE3	Analogica 1C	Radio ponte su PPV
Osservatorio Vesuviano	OVB	Digitale Larga Banda	Fibra ottica+Wireless
Pollena	POB	Digitale Larga Banda	Radio diretta
Nitida	NIS	Analogica 3C	Linea telefonica CDA
Solfatara Tennis Hotel	STH	Analogica 3C	Linea telefonica CDA
Deposito Marina	DMP	Analogica 3C	Linea telefonica CDA
Solfatara	SLF	Analogica 3C	Linea telefonica CDA
Pozzuoli	POZ	Analogica 1C	Radio ponte su BAC
Baia	BAC	Analogica 1C	Radio diretta
Astroni Est	ASE	Analogica 1C	Radio diretta
Astroni Ovest	ASO	Analogica 1C	Radio diretta
Posillipo	CAP	Analogica 1C	Diretta via cavo
Solfatara	SOB	Digitale Larga Banda	Radio diretta
Casamicciola	OC9	Analogica 3C	Radio diretta
Castello Aragonese	CAI	Analogica 3C	Radio diretta
Forio d'Ischia	FO9	Analogica 1C	Radio ponte su Massico
San Gregorio Matese	SGG	Analogica 3C	Radio ponte sul Vesuvio
Trevico	TR9	Analogica 3C	Linea telefonica CDA
Sorrento	SOR	Analogica 3C	Radio diretta
Monte Massico	MSC	Analogica 1C	Radio ponte sul Vesuvio
Pescosannita	PE9	Analogica 1C	Linea telefonica CDA
Nola	NL9	Analogica 1C	Radio diretta
Monte Stella	MT9	Analogica 1C	Radio diretta
Array Vesuvio	ARV	16 Digitali 3C	Fibra ottica+Wireless
Camaldoli della Torre	CMDT	Dilatometro	Link ADSL
Osservatorio Vesuviano	EROV	Dilatometro	Fibra ottica+Wireless
S.Anastasia	SANA	Dilatometro	Link ADSL

Quarto	QUAR	Dilatometro	Link ADSL
Monte Ruscello	MRUS	Dilatometro	Link ADSL
Arco Felice	ARCO	Dilatometro	Link ADSL
Dip. Fisica M.S. Angelo	MSA	Digitale Larga Banda	Link Internet GARR

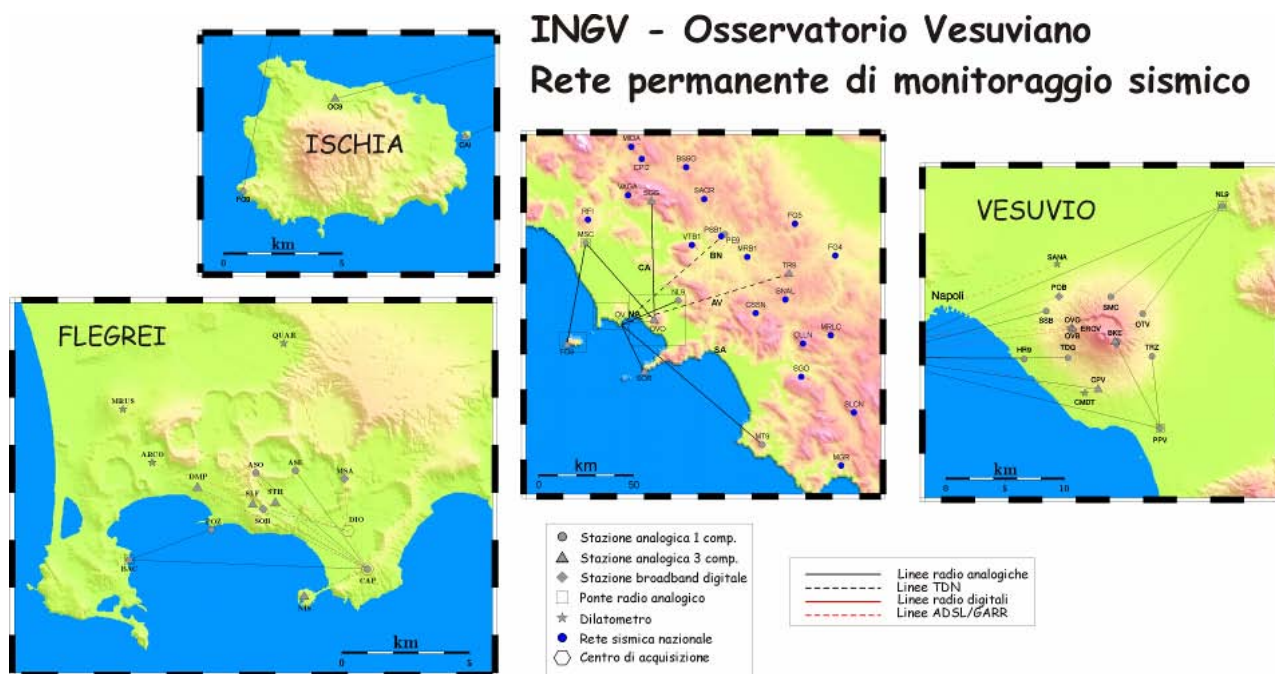


Figura 1. Mappa della Rete Sismica

La Rete Sismica Broadband di Stromboli

L'installazione della Rete Sismica Broadband di Stromboli (RSBS) è iniziata nel Gennaio 2003, in conseguenza dell'emergenza relativa alla crisi eruttiva dello Stromboli, iniziata nel Dicembre 2002. Tale rete consta attualmente di 13 stazioni broadband digitali in trasmissione continua verso le sedi INGV di Napoli, Catania e Roma (Fig. 2 e Tab. 2). Tutte le stazioni sono dotate di sensore broadband Guralp CMG 40T e acquisitore digitale GAIA. La trasmissione avviene via radiomodem UHF verso i centri di acquisizione a Stromboli (presso COA) e verso Lipari (Osservatorio INGV). Da questi centri i dati vengono poi trasmessi attraverso la rete GARR. È in corso di realizzazione una infrastruttura wireless sull'isola di Stromboli (Fig. 3). Attualmente tale rete consiste di 9 nodi e copre circa il 75% del perimetro dell'isola. La rete wireless attuale consente la trasmissione di 2 stazioni verso un punto (posto a Labronzo) servito dalla fibra ottica, connessa direttamente al COA ed è già predisposta per la trasmissione dei segnali del dilatometro che sarà installato in località Timpone del Fuoco (Ginostra) nel II semestre 2006.

Tabella 2. Stazioni delle Rete Sismica Broadband di Stromboli.

Stazione	Sigla	Trasmissione
Le Mandre	STR1	Radiomodem Stromboli
Semaforo S.Vincenzo	STR3	Radiomodem Stromboli

Punta Lena	STR4	Wireless+Fibra ottica
Vigna Vecchia	STR5	Radiomodem Lipari
Guardiani	STR6	Radiomodem Lipari
Chiappe Lisce	STR8	Radiomodem Stromboli
Valle della Luna	STR9	Radiomodem Lipari
Pizzo	STRA (ex STR2)	Radiomodem Stromboli
Serro delle Capre	STRB (ex STR7)	Radiomodem Lipari
Timpone del Fuoco	STRC	Wireless+Fibra ottica
Serro Barabba	STRD	Radiomodem Lipari
Filo del Fuoco	STRE	Radiomodem Labronzo+Fibra ottica
Labronzo	STRF	Radiomodem Labronzo+Fibra ottica

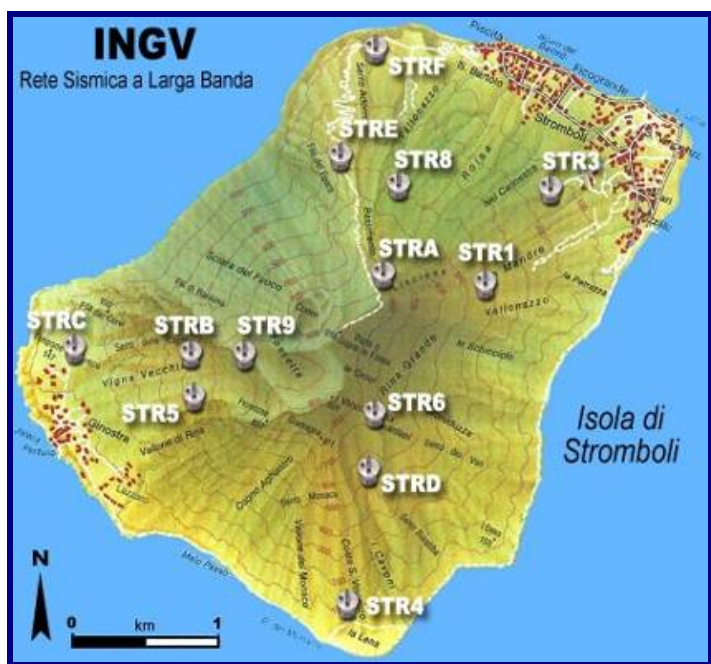


Figura 2. Mappa della Rete Sismica Broadband di Stromboli.



Figura 3. Mappa della rete wireless di Stromboli.

Sala di monitoraggio

La sala di monitoraggio dell'Osservatorio Vesuviano è destinata alla sorveglianza del Vesuvio, dei Campi Flegrei e di Ischia. In essa, dal maggio 2003, si svolgono anche le attività per la sorveglianza sismica dello Stromboli, utilizzando i segnali in trasmissione continua della rete a larga banda installata sull'isola a seguito della crisi eruttiva Dic. 2002 - Lug. 2003. La sala riceve i dati trasmessi da 48 stazioni sismiche (di cui 13 da Stromboli), tra monocomponenti e triassiali e 6 dilatometriche (con 6 canali ciascuna), per un totale di 138 canali, installate nelle aree citate ed è dotata di sistemi per la visualizzazione e l'analisi dei segnali in tempo reale, con procedure automatiche e manuali. Nella sala si svolgono i turni di sorveglianza 24h e da qui partono le comunicazioni alle autorità di Protezione Civile. Dal gennaio 2000 l'acquisizione, parte della trasmissione dati, la visualizzazione e l'analisi automatica dei segnali della rete analogica sono effettuati utilizzando i moduli software del Sistema Sismometrico Modulare Integrato (SISMI), sviluppato presso l'Osservatorio Vesuviano. Per l'analisi manuale "off Line" è utilizzato il programma Winpick, in uso anche presso il laboratorio sismico. Per l'acquisizione dei segnali delle stazioni a larga banda della rete di monitoraggio dei vulcani della Campania è stato installato un sistema, considerato provvisorio, che sfrutta il software di acquisizione IASPEI e realizza la temporizzazione dei segnali grazie a un dispositivo hardware-software sviluppato presso l'Osservatorio Vesuviano. Oltre ai sistemi fin qui citati nella sala di monitoraggio dell'Osservatorio Vesuviano è utilizzato anche Earthworm (USGS) per le localizzazioni automatiche degli eventi sismici delle aree flegrea e vesuviana e per l'importazione ed esportazione dei dati da e verso le altre sezioni INGV ed i sistemi di acquisizione remoti della rete a larga banda di Stromboli.

Analisi e archiviazione dei dati

I dati acquisiti dalla rete sismica sono analizzati quotidianamente dal personale del laboratorio sismico che effettua la detezione, la classificazione, la stima della Magnitudo e la localizzazione ipocentrale degli eventi. I risultati delle analisi (letture delle fasi, parametri ipocentrali) e le forme d'onda, sono inserite in una banca dati relazionale (GeoVes) che è dotata di un'interfaccia web dinamica per un accesso rapido ai dati. Tale struttura consente inoltre di effettuare in maniera immediata analisi statistiche su tutto il data set. Il laboratorio sismico cura, inoltre, l'aggiornamento dei cataloghi sismici delle aree vulcaniche monitorate ed effettua analisi di maggior dettaglio per eventi di particolare interesse. All'interno del database GeoVes sono inseriti anche i segnali acquisiti da alcune stazioni MARS5800 della rete mobile del Vesuvio (Fig. 4) e della stazione CSI ai Campi Flegrei. Oltre al database con i dati rivisti è presente un sistema per la detezione e la localizzazione automatica degli eventi, basato su Earthworm (WBSM). Tale sistema fornisce, nel caso di eventi significativi, una localizzazione di buona qualità in poche decine di secondi dalla detezione dell'evento stesso. I risultati delle analisi sono conservati in un database relazionale (MySQL) e sono interfacciati mediante pagine web dinamiche. Le forme d'onda delle stazioni a 3 componenti, sia analogiche che digitali e dei dilatometri sono archiviate in maniera completa, mentre per le altre stazioni sono conservate solo le forme d'onda relative agli eventi. I dati provenienti dalle stazioni sismiche di Stromboli, vengono archiviati in continuo, in formato SAC

compresso. I dati vengono analizzati in tempo reale, fornendo dati sull'ampiezza del tremore vulcanico, sulla detezione degli eventi Very-Long-Period (VLP), sulla loro localizzazione e polarizzazione, sull'inversione del tensore momento e sulla funzionalità della rete. Le procedure di analisi sono implementate sotto Linux, mediante moduli software compatibili con il sistema EarthWorm. Alcune delle procedure (detezione VLP e inversione tensore momento) che richiedono un elevato costo computazionale, sono eseguite in tempo reale su un cluster Linux di 132 processori (MASTER). I risultati delle analisi sono archiviati in un database relazionale (MySQL) e un'interfaccia WEB (EOLO) consente di interrogare il database fornendo in tempo reale una serie di parametri utili alla compilazione dei bollettini quotidiani sulla sismicità dello Stromboli.

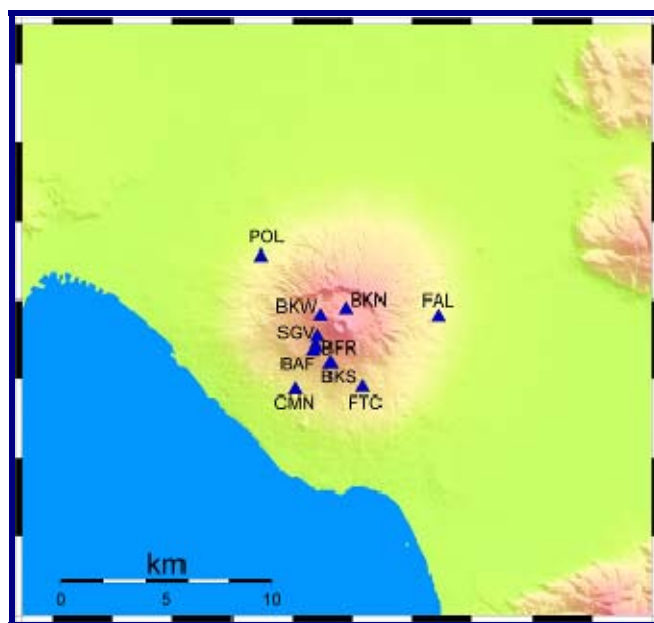


Figura 4. Stazioni della rete mobile vesuviana inserite nel database GeoVes.

Interfacce WEB

I database relazionali di GeoVes, WBSM (Web Based Seismological Monitoring) ed EOLO sono interfacciati con il mondo esterno attraverso interfacce WEB dinamiche. L'interfaccia del sistema EOLO (<http://eolo.ov.ingv.it>) è accessibile pubblicamente. Tale interfaccia consente di ottenere statistiche riassuntive sulla sismicità, su intervalli temporali arbitrari. Tali informazioni vanno dall'ampiezza media del tremore vulcanico, al numeri di eventi VLP, alla loro localizzazione. Inoltre è possibile visionare i parametri di ogni singolo evento VLP presente nel catalogo, in termini di parametri ipocentrali, polarizzazione e tensore momento. L'interfaccia è basata su tecnologie PHP, Java e Javascript. Per il catalogo delle localizzazioni automatiche (WBSM) è presente un'interfaccia WEB (accessibile dai link sulla homepage <http://www.ov.ingv.it> o direttamente all'indirizzo <http://193.206.115.71:8585/servlet/Eqvedi?id=-1>). Tale interfaccia consente di accedere ai parametri ipocentrali degli eventi recenti e di visualizzare in maniera interattiva le tracce sismiche dell'evento. L'interfaccia WBSM è realizzata mediante tecnologie ASP e Java. Per le detezioni automatiche e riviste manualmente, rispettivamente nei database WBSM e GeoVes

esiste un'interfaccia unica (PLINIO), realizzata in tecnologie PHP e Java, che al momento è limitata ad uso interno. Tale interfaccia permette di fare un'interrogazione congiunta ai due database, mostrando i dati del database GeoVes, fin dove presenti e quelli di WBSM per i periodi più recenti, non ancora rivisti manualmente. Questa funzionalità permette dunque di avere sia informazioni rapide, in tempo reale sulla sismicità, sia un catalogo storico rivisto nella stessa interfaccia. I parametri, sono visualizzati direttamente in forma grafica. Molte delle figure presente nel presente rapporto sono state realizzate usando l'interfaccia PLINIO.

Sismicità

Nel corso del I semestre 2006 la rete sismica permanente dell'Osservatorio Vesuviano ha registrato 1214 eventi, di cui 564 eventi artificiali (probabili esplosioni) (vedi Tab. 3). La distribuzione per area geografica degli eventi registrati è mostrata in Fig. 5, mentre la distribuzione per tipologia è riportata in Fig. 6.

Tabella 3. Eventi locali registrati dalla rete sismica, raggruppati per tipologie ed area.

	VESUVIO	CAMPI FLEGREI	ISCHIA	REGIONE CAMPANIA	TOTALE
TERREMOTI	267	9	1	225	502
LONG PERIOD	4	0	0	0	4
ESPLOSIONI	295	13	4	3	315
FRANE	37	0	0	0	37
ALTRO	76	4	4	3	87
TOTALE	679	26	9	231	945

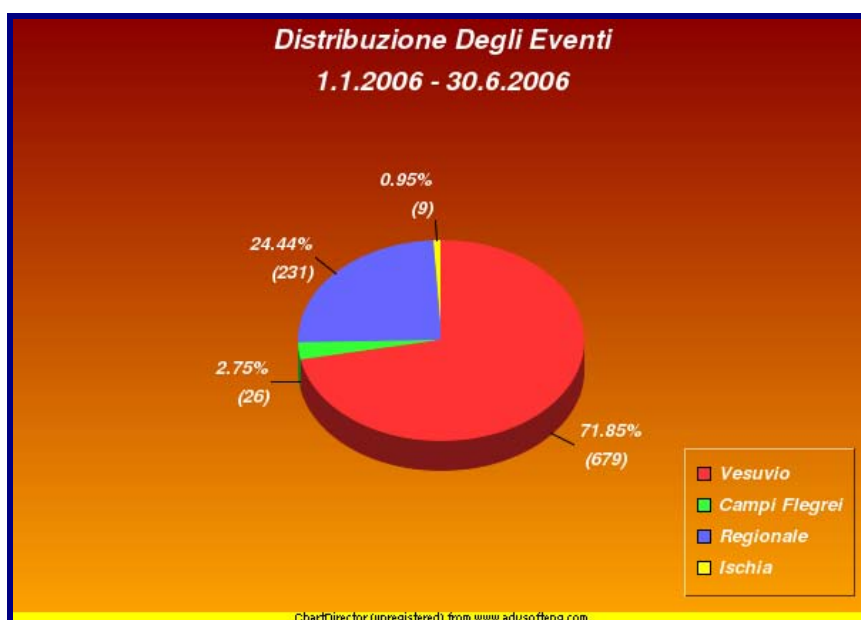


Figura 5. Distribuzione percentuale degli eventi per area geografica nel I semestre 2006.

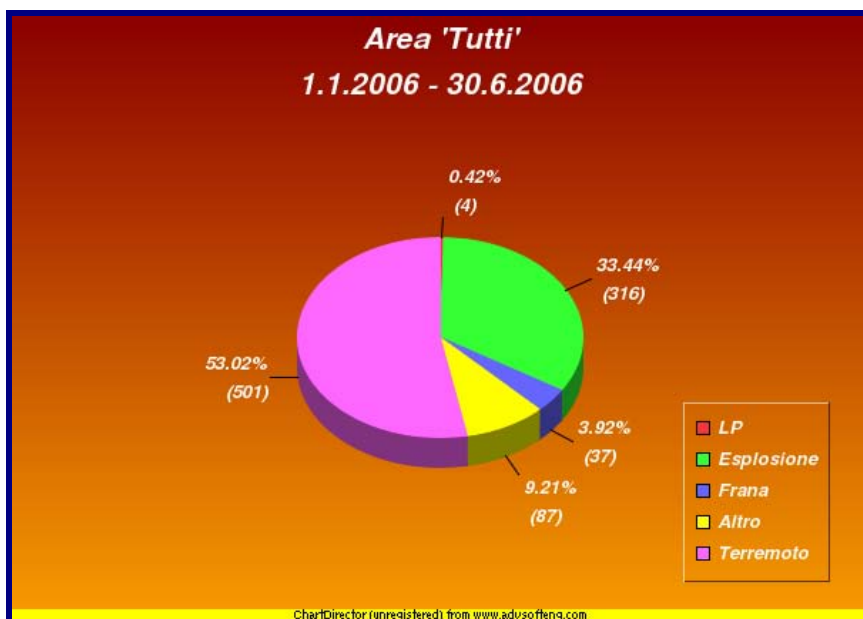


Figura 6. Distribuzione percentuale degli eventi per tipologia nel I semestre 2006.

Vesuvio

Nel corso del I semestre 2006, la rete sismica del Vesuvio (Fig. 7) ha registrato un totale di 502 eventi locali ripartiti nelle diverse tipologie riportate in Fig. 8.

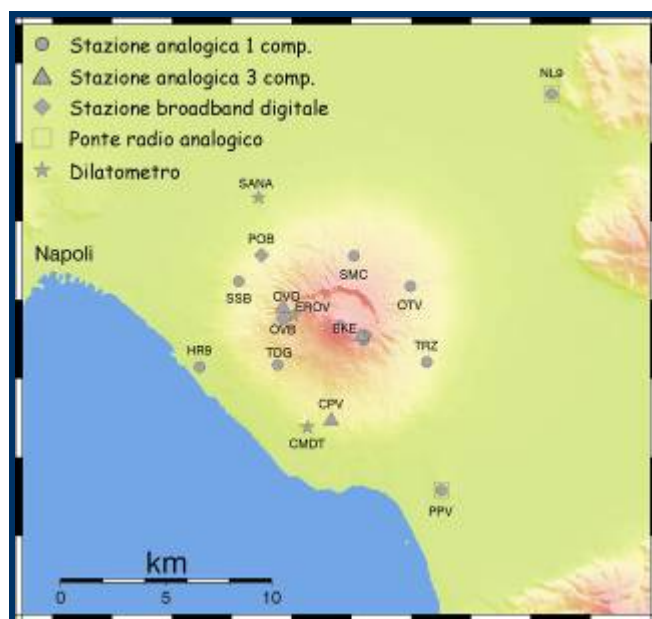


Figura 7. Dettaglio della rete sismica del Vesuvio.

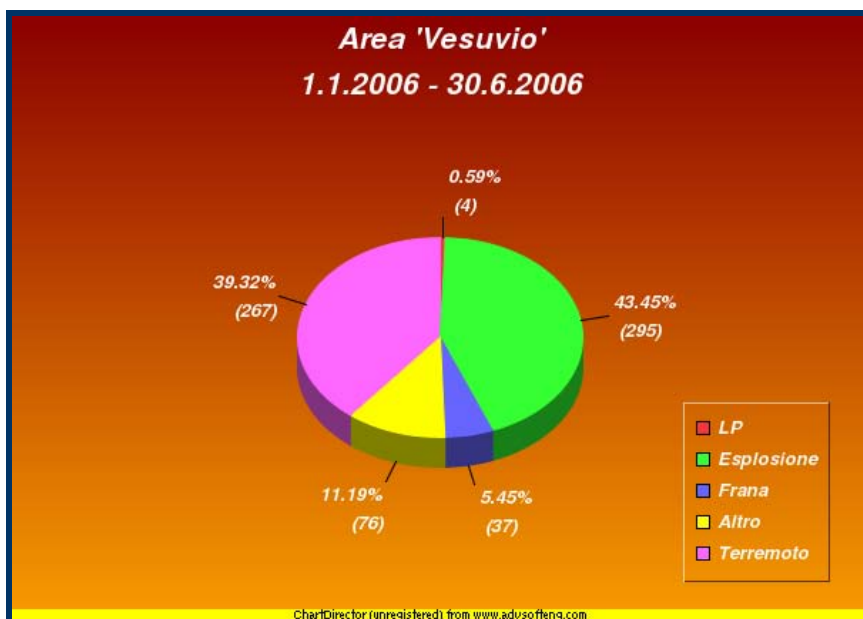


Figura 8. Distribuzione percentuale degli eventi vesuviani per tipologia nel I semestre 2006.

La maggior parte dei segnali sismici transienti registrati nell'area vesuviana sono dovuti ad esplosioni di natura artificiale legate ad attività antropiche locali. Vi sono poi alcuni segnali attribuibili a frane che interessano l'area craterica. Altri tipi di segnali dovuti a fenomeni naturali (es. tuoni) e a diverse attività antropiche sono compresi nella tipologia "altro". Per quanto riguarda l'attività sismica naturale nel corso del I semestre 2006 sono stati registrati 267 terremoti, la maggior parte dei quali di magnitudo inferiore a 1.8 (Fig. 13, Fig. 15). Il numero totale di eventi registrati, non si discosta significativamente da quello medio degli anni precedenti (Fig. 9). Non si evidenziano particolari trend né nella frequenza di accadimento mensile (Fig. 10), né nelle profondità ipocentrali (Fig. 12), né nella distribuzione temporale delle Magnitudo (Fig. 13).

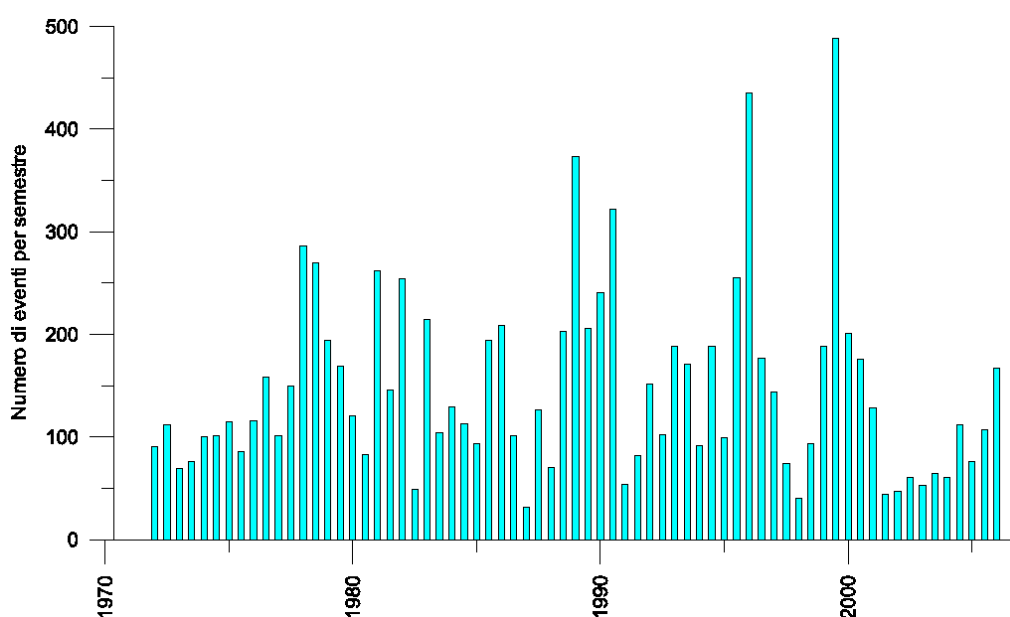


Figura 9. Numero di eventi sismici vesuviani per semestre (registrati alla stazione OVO) dal 1972 al 2006.

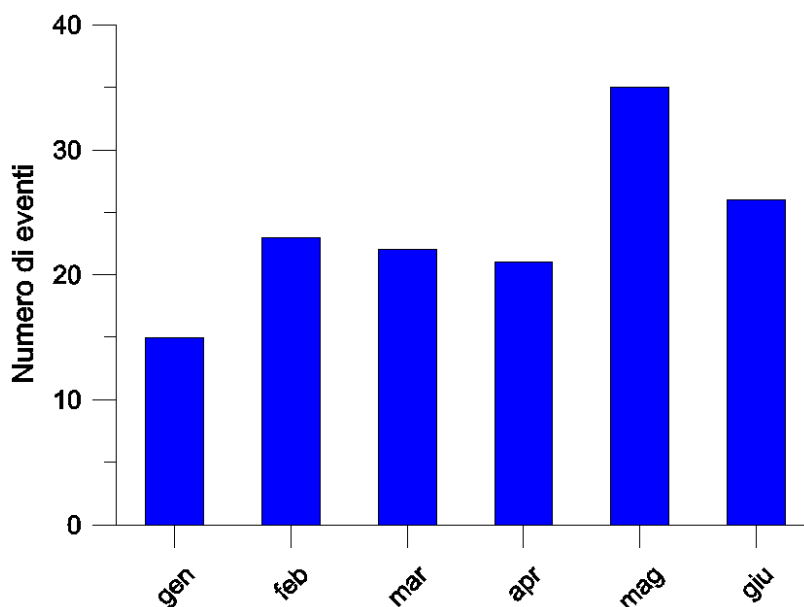


Figura 10. Frequenza mensile dell'accadimento dei terremoti (registrati alla stazione OVO) nel I semestre 2006.

Tutti i terremoti risultano localizzati al di sotto dell'area craterica, con ipocentri fortemente concentrati nei primi tre chilometri di profondità (Fig. 11 e 12). Il modello di velocità attualmente utilizzato è stato introdotto dal gennaio 2001 e deriva dai risultati della tomografia sismica. Tale modello a strati omogenei è riportato di seguito:

Tabella 4. Modello di velocità del Vesuvio.

Profondità iniziale	Profondità finale	V_p
Topografia	0 Km	2 Km/s
0 Km	2 Km	3 Km/s
2 Km	semispazio	6 Km/s

Il rapporto V_p/V_s è assunto costante e pari a 1.9.

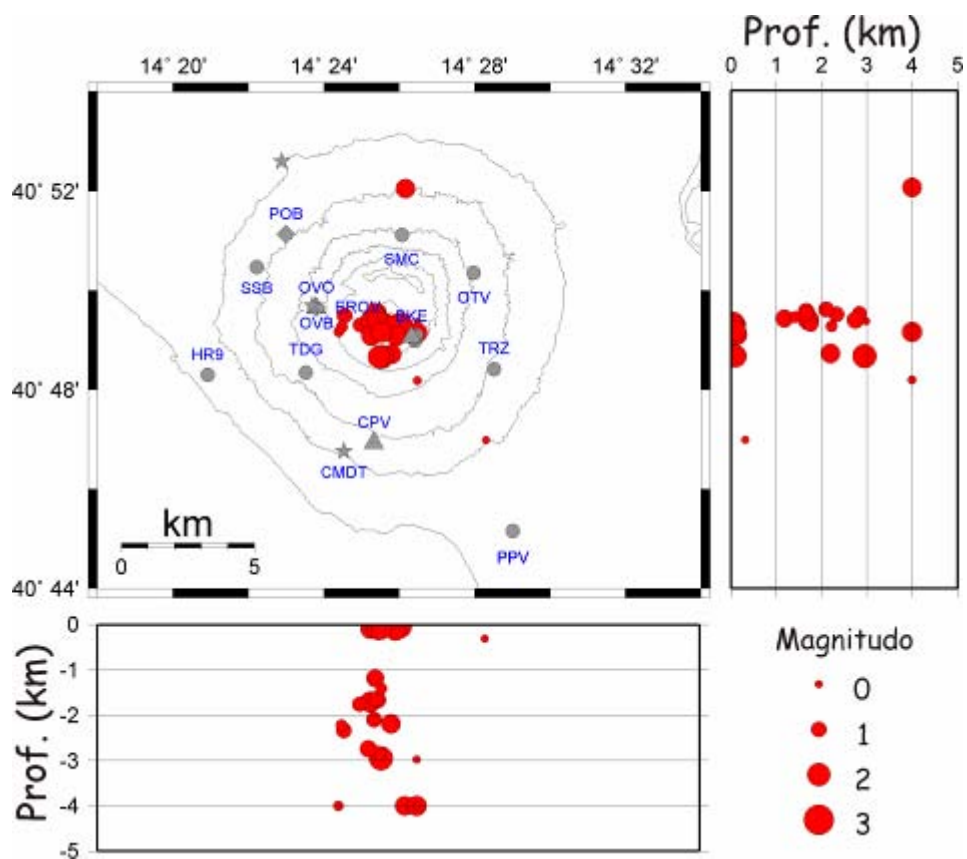


Figura 11. Localizzazione degli ipocentri nell'area vesuviana durante il I semestre 2006.

I parametri ipocentrali degli eventi di magnitudo maggiore o uguale a 1.9, sono riportati in Tab. 5.

Tabella 5. Parametri ipocentrali degli eventi con $M_d \geq 1.9$ durante il I semestre 2006.

Data	Ora	Lat.	Long.	Prof. (Km)	Md
2006/03/04	04:41:51	40°48'40"	14°25'32"	2.95	2.2
2006/05/06	07:33:11	40°49'19"	14°26'02"	0.04	2.1
2006/06/03	09:40:04	40°48'40"	14°25'28"	0.09	1.9

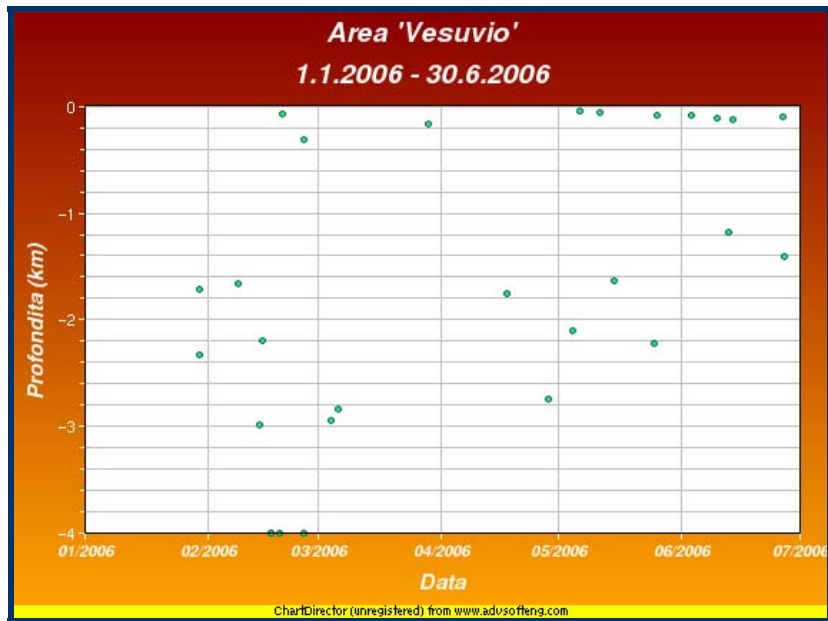


Figura 12. Variazione temporale della profondità ipocentrale dei terremoti vesuviani, nel corso del I semestre 2006.

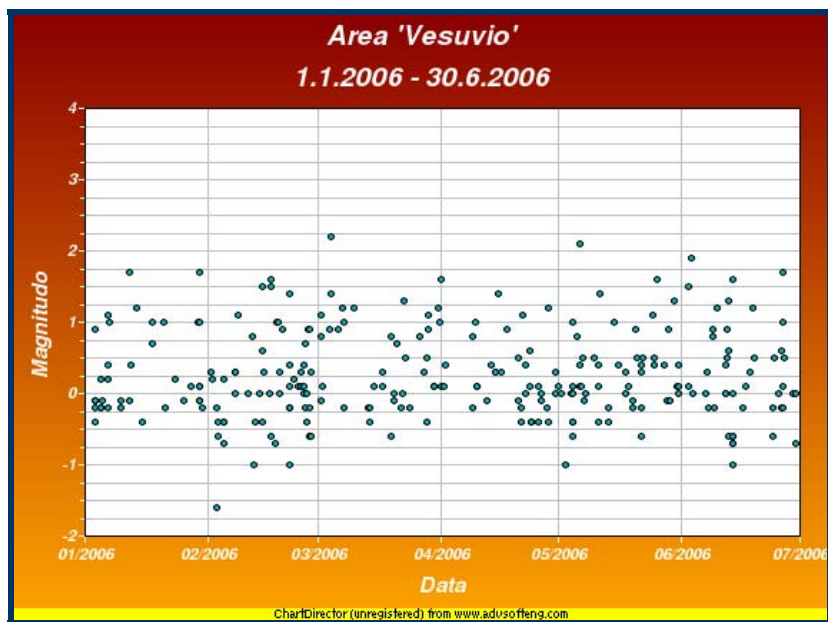


Figura 13. Variazione temporale della magnitudo dei terremoti vesuviani, nel corso del I semestre 2006.

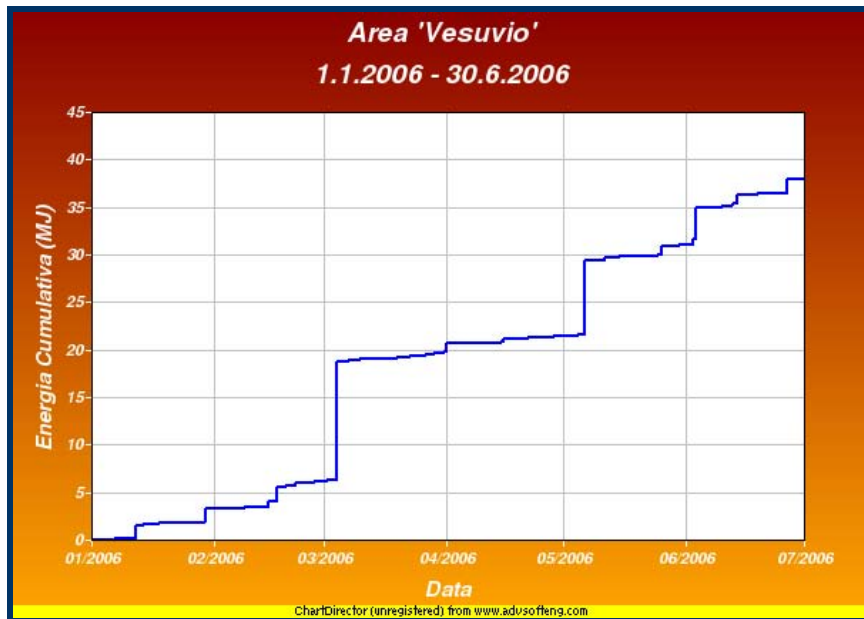


Figura 14. Andamento cumulativo dell'energia rilasciata dai terremoti vesuviani nel corso del I semestre 2006, calcolato attraverso la relazione $\log E = 9.9 + 1.9 M$.

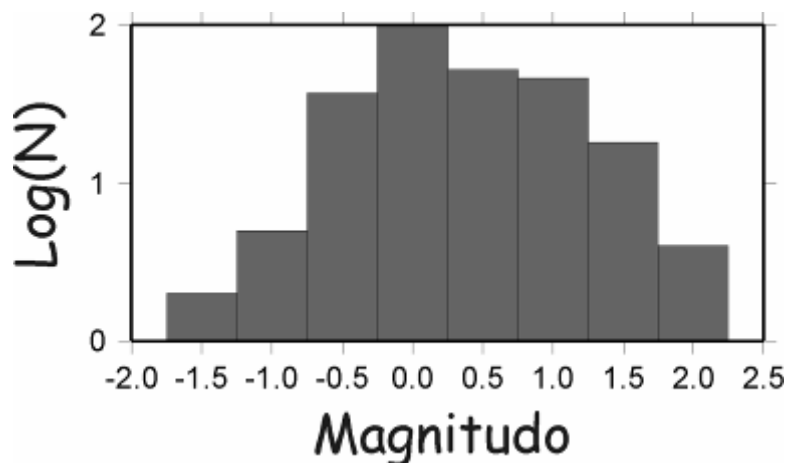


Figura 15. Diagramma di Gutenberg-Richter per i terremoti vesuviani nel I semestre 2006.

Eventi Long Period del 14 Maggio 2006

Il 14/05/2006 tra le 06:11 GMT e le 06:15 GMT sono stati registrati, dalla rete sismica vesuviana, quattro piccoli eventi sismici, che in base alle caratteristiche spettrali sono stati classificati come eventi Long Period (LP). In Tab. 6 sono riportati i tempi di arrivo a BKE dei 4 eventi. L'unico evento localizzato è quello delle 06:11 ed il suo ipocentro è riportato in Fig. 17. Lo spettrogramma della componente NS della stazione BKE è riportato in Fig. 16. E' evidente che per tutti gli eventi il contenuto in frequenza è concentrato tra i 2 e i 4 Hz. L'origine di questi eventi può essere attribuita alla dinamica del sistema geotermale vesuviano, in particolare al movimento di fluidi idrotermali pressurizzati all'interno di sistemi di fratture.

Tabella 6. Tempi di arrivo degli eventi LP del 14/5/2006.

Tempo di arrivo a BKE (GMT)
06:11:53
06:12:19
06:14:01
06:14:15

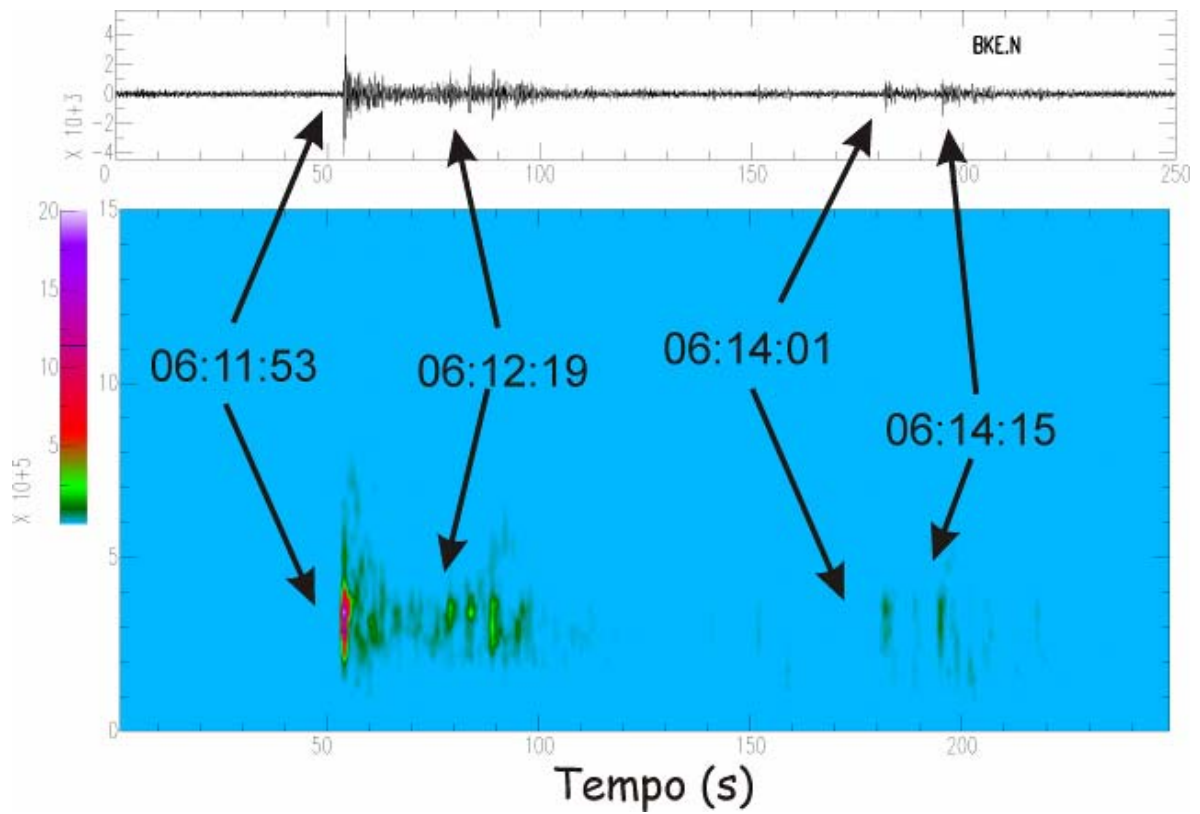


Figura 16. Spettrogrammi degli eventi del 14/05 (componente NS di BKE).

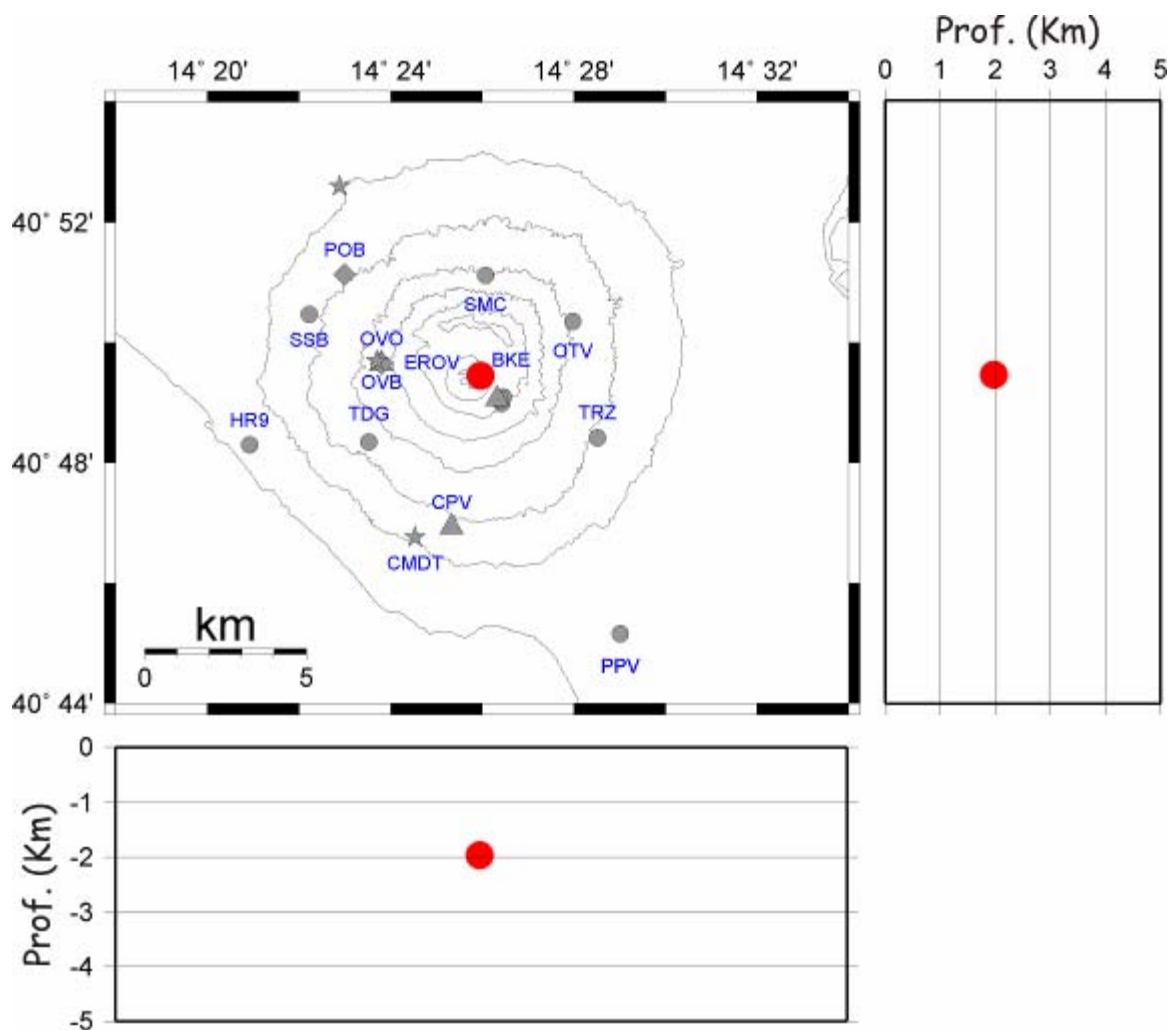


Figura 17. Ipocentro dell'evento LP delle 06:11.

Campi Flegrei

Nel corso del I semestre 2006 le stazioni installate nell'area Flegrea (Fig. 18) hanno registrato 9 eventi sismici di piccola magnitudo. Tutti questi eventi sono stati classificati come vulcano-tettonici. In Tab. 7 sono riportati gli eventi con $M \geq 0.6$.

Tabella 7. Parametri ipocentrali degli eventi ($M \geq 0.6$) registrati nel I semestre 2006 ai Campi Flegrei.

Data	Ora (GMT)	Lat	Long	Prof (Km)	Md
2006/01/29	19:52	40°50'30"	14°07'44"	2.0	0.6
2006/02/22	10:28	ND	ND	ND	1.3
2006/03/01	14:57	40°50'59"	14°06'56"	1.17	0.7
2006/04/08	07:09	40°49'31"	14°08'43"	1.57	0.9

Le localizzazioni (Fig. 19) sono state effettuate secondo il modello di velocità in tab. 8.

Tabella 8. Modello di velocità dei Campi Flegrei.

Profondità iniziale (Km)	Profondità finale (Km)	V_p (Km/s)
0	0.5	1.7
0.5	1.0	2.0
1.0	3.0	3.0
3.0	10.0	5.5
10.0	23.0	5.7
23.0	37.0	6.7
37.0	semispazio	8.2

Il rapporto V_p/V_s è assunto costante e pari a 1.7.

La maggior parte degli eventi localizzati (Fig. 19), ricade nell'area compresa tra la Solfatara ed Agnano. Tale area è la stessa interessata dalla maggior parte degli eventi sismici negli ultimi anni. Oltre agli eventi sismici naturali, sono state registrate anche 13 esplosioni artificiali nel Golfo di Pozzuoli.

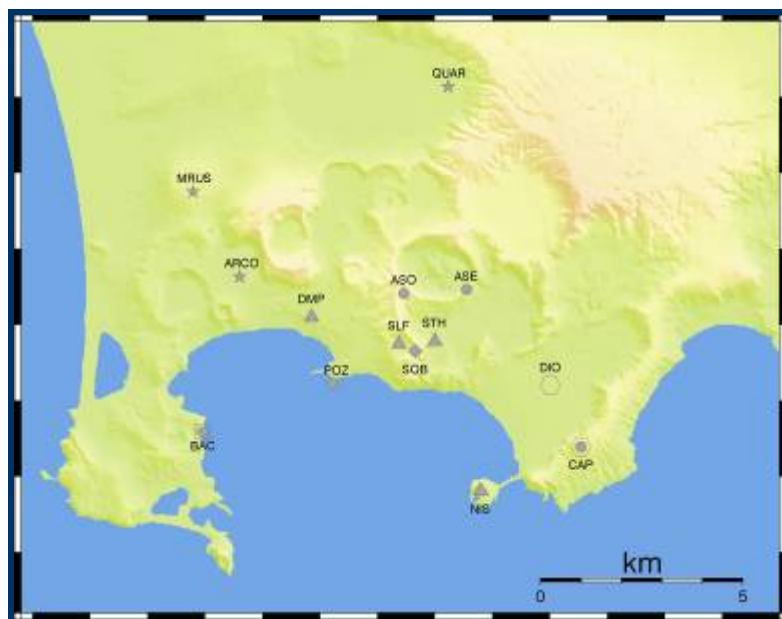


Figura 18. Dettaglio della rete sismica dei Campi Flegrei.

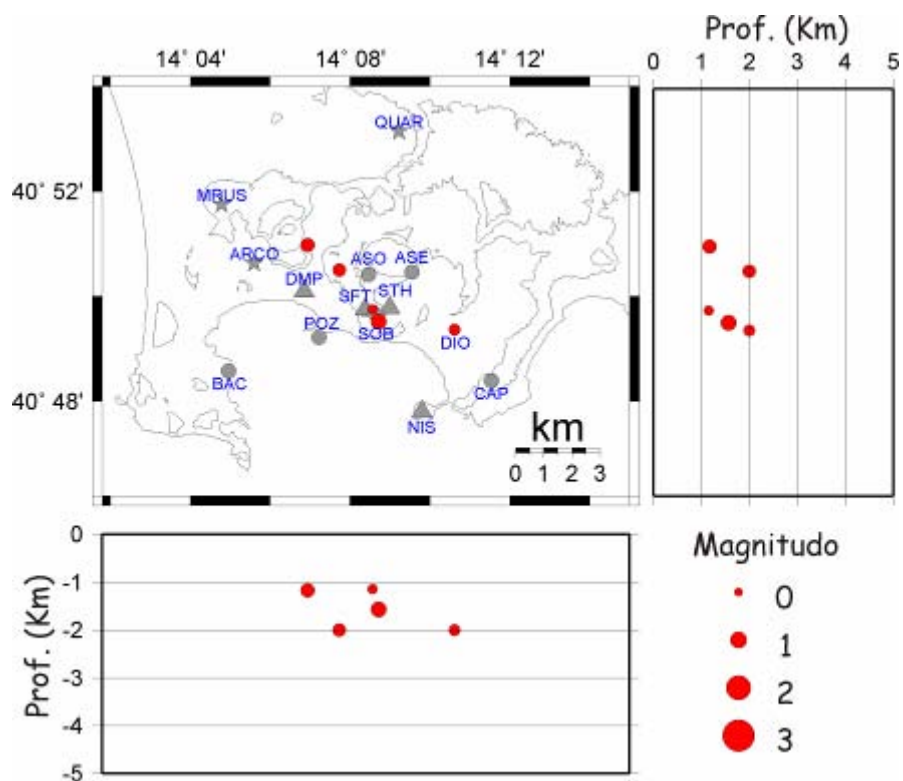


Figura 19. Localizzazione degli ipocentri nell'area flegrea durante il I semestre 2006.

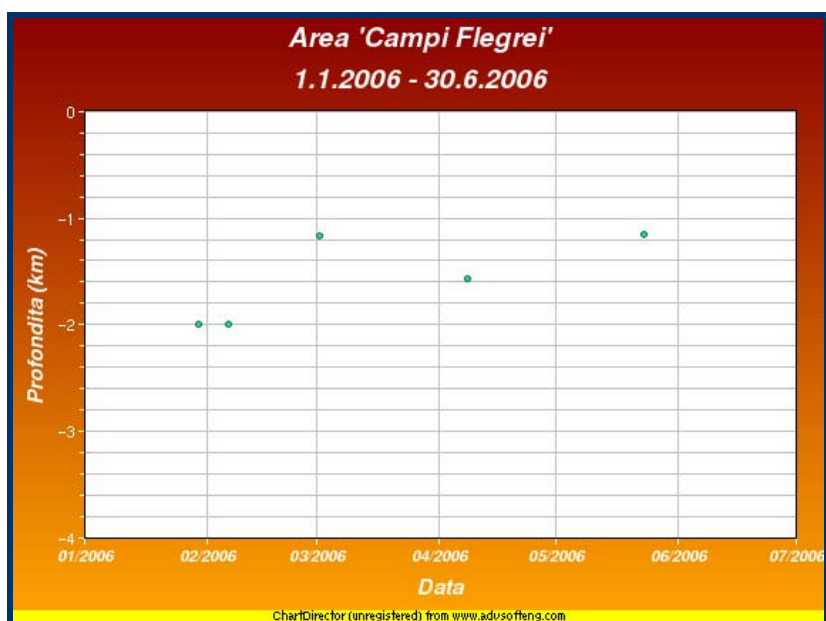


Figura 20. Variazione temporale della profondità ipocentrale dei terremoti flegrei, nel corso del I semestre 2006.

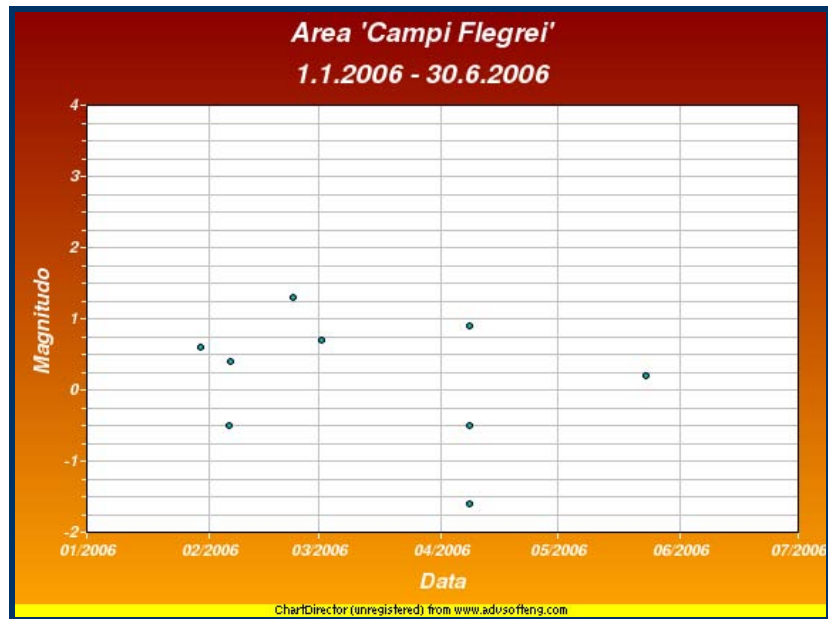


Figura 21. Variazione temporale della magnitudo dei terremoti flegrei, nel corso del I semestre 2006.

Ischia

La rete sismica di Ischia (Fig. 22) ha registrato durante il I semestre 2006 un solo evento sismico avvenuto il 19/03/2006 alle 21:21 GMT. La durata misurata alla stazione OC9 è di circa 15 s e la forma d'onda indica che è di tipo vulcano-tettonico.



Figura 22. Dettaglio della rete sismica di Ischia.

Stromboli

Nel corso del I semestre 2006, oltre alla normale attività sismica, associata all'attività stromboliana, è stato registrato uno sciame di eventi atipici. Tali eventi (le cui magnitudo sono riportate in Tab. 9) non sono frequenti a Stromboli. Il loro spettrogramma (Fig. 23) e la chiara occorrenza di fasi P ed S (Fig. 24) indicano che si tratta di eventi vulcano-tettonici. Gli eventi con magnitudo superiore a 3 sono stati avvertiti dalla popolazione (con un grado MCS di circa V). L'ultima osservazione riportata di eventi di simile entità risale al 1948. Le localizzazioni (Fig. 25) indicano che gli ipocentri hanno una profondità compresa tra i 5 ed i 6 Km, con l'eccezione del piccolo evento del 10/4 che ha un ipocentro più superficiale. I meccanismi di tutti gli eventi (Fig. 26) sono compatibili con una dilatazione verso la direzione E-NE dell'asse craterico. Questo sembra suggerire che gli eventi siano stati innescati da una pressurizzazione del sistema magmatico profondo. Questa evidenza è supportata dal fatto che a partire da Marzo 2006 si è osservato un aumento di vari parametri monitorati (Fig. 27).

Tabella 9. Magnitudo degli eventi registrati.

Data	Ora (GMT)	Magnitudo durata
10/4	12:28	1.7
18/4	19:31	3.2
5/5	20:49	3.4
6/5	21:09	2.3
22/5	19:21	2.4

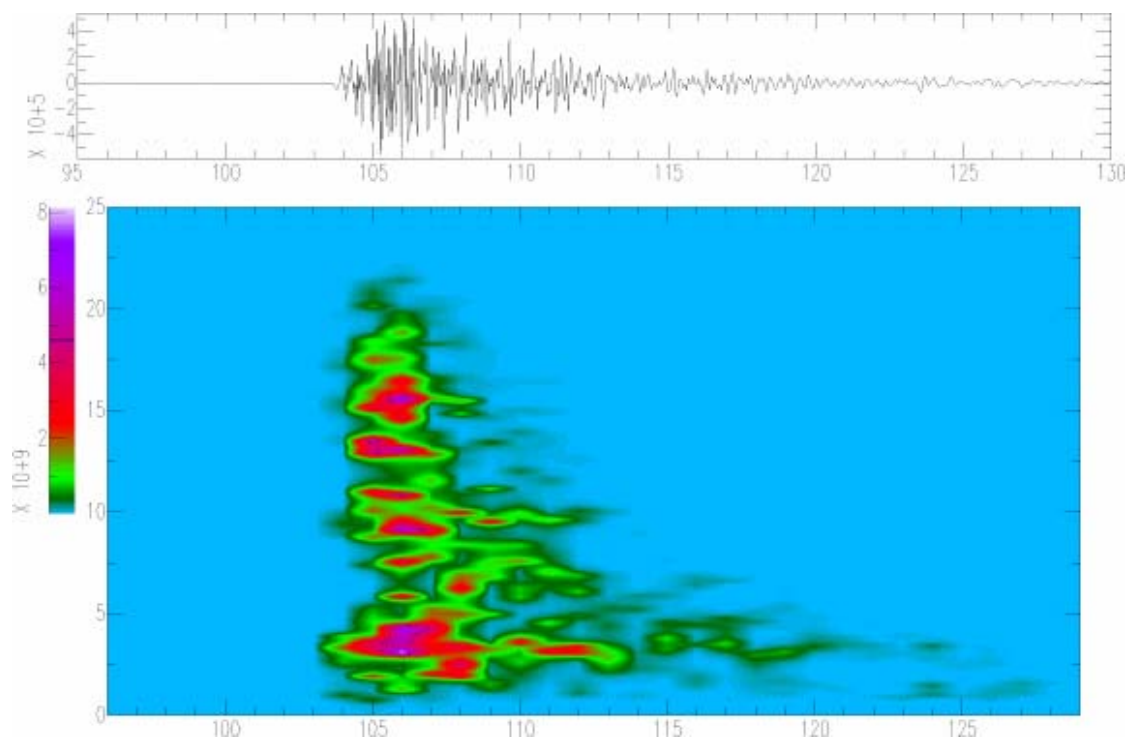


Figura 23. Spettrogramma dell'evento del 18/4 (STR4 comp. N).

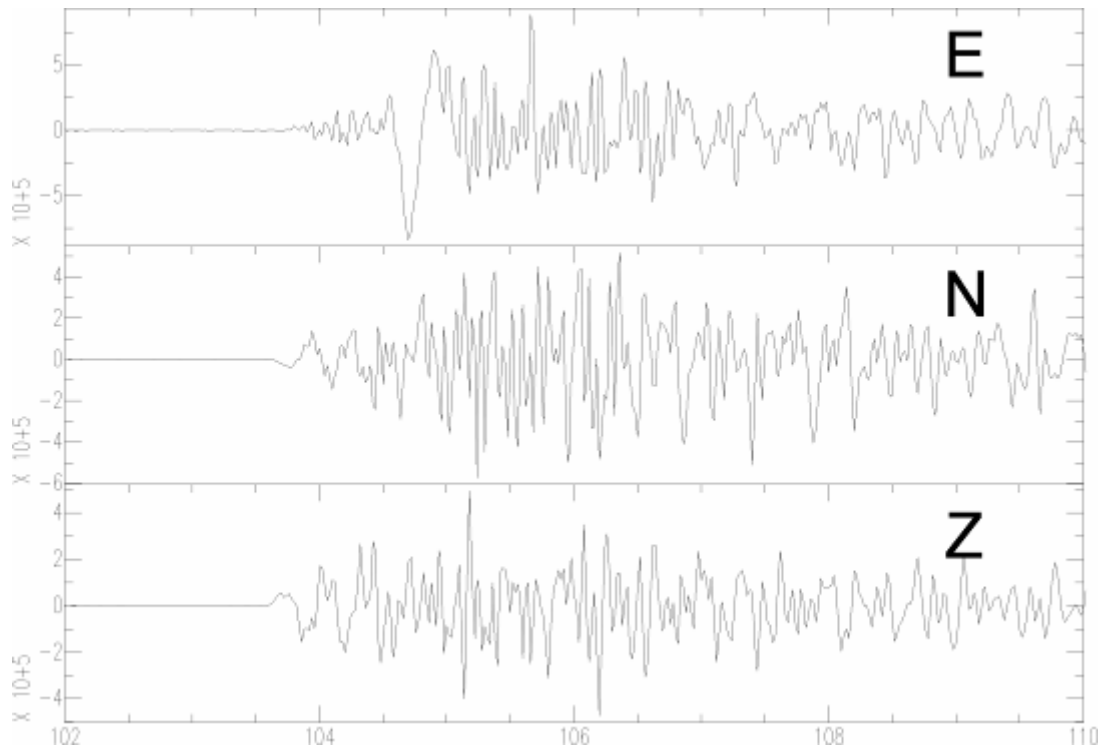


Figura 24. Forme d'onda dell'evento del 18/4 (STR4).

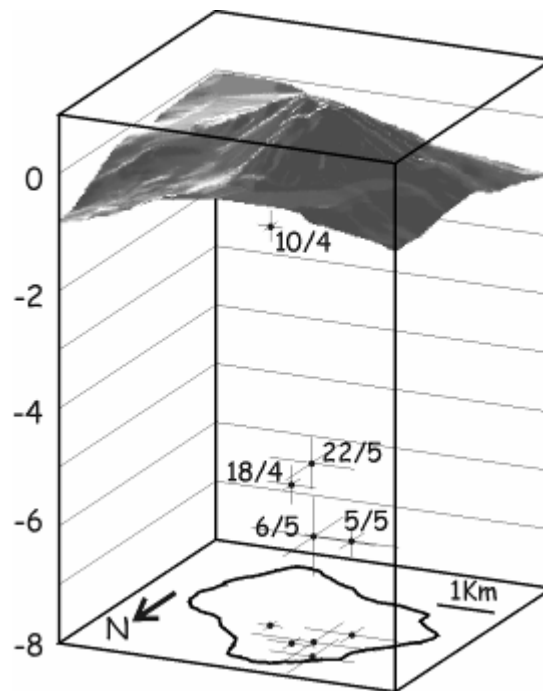


Figura 25. Ipocentri degli eventi.

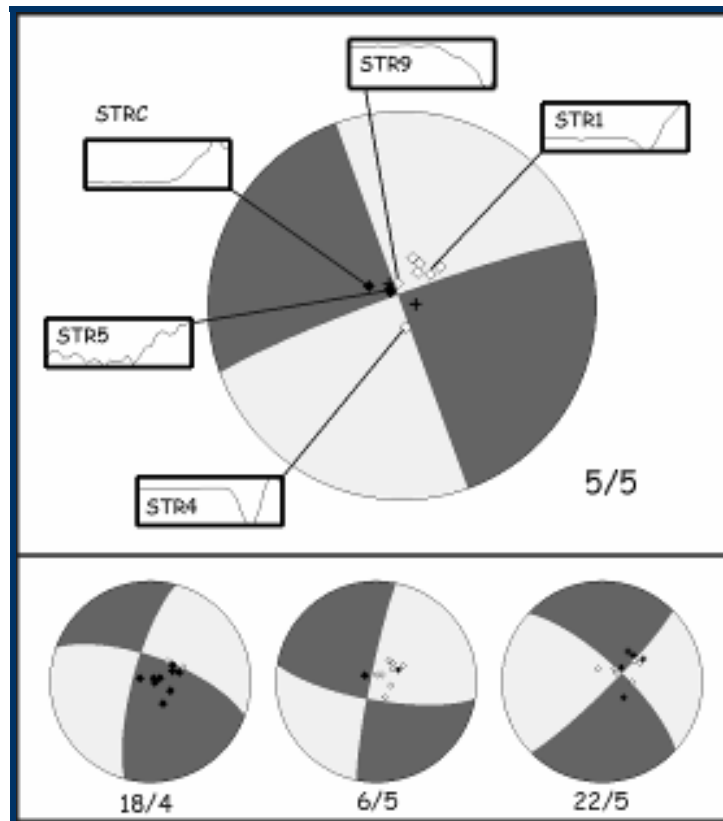


Figura 26. Meccanismi dei 4 eventi maggiori.

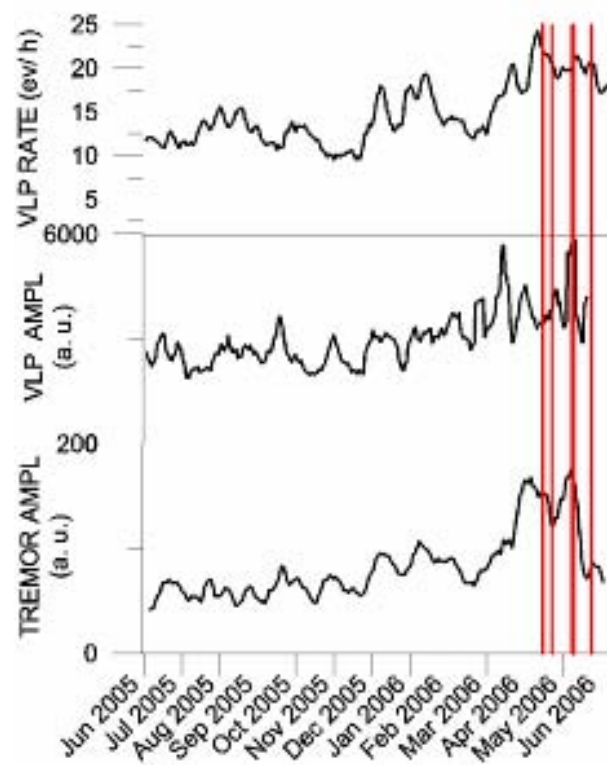


Figura 27. Andamento temporale dell'ampiezza del tremore, del numero di VLP/ora e dell'ampiezza dei VLP. I marker rossi indicano l'accadimento degli eventi sismici.

ATTIVITÀ DELLA RETE MOBILE E DEL LABORATORIO ANALISI AVANZATE (LAV)

La rete mobile²

Nel primo semestre del 2006 la Rete Sismica Mobile dell'Osservatorio Vesuviano ha continuato l'attività di ricerca sia sui vulcani campani, nell'ambito dei compiti istituzionali, che in altre aree vulcaniche come l'Etna e il Colima (Messico) nell'ambito di progetti di ricerca specifici. All'Etna sono tuttora operativi sei sismometri a corto periodo installati dall'estate 2004 in configurazione di array in località Cratere del Piano. Quattro stazioni Lennartz Marslite con sismometri Lennartz LE3D/20s sono state installate sul vulcano Colima, in Messico, da novembre 2005 fino a maggio 2006, nell'ambito di un progetto internazionale in collaborazione con l'Università di Colima e l'Università di Granada (Spagna). Nei primi mesi del 2006 sono state installate tre stazioni sismiche nelle province di Avellino e Salerno, lontano dalle aree vulcaniche, idonee al monitoraggio della sismicità locale e regionale. Le tre stazioni, i cui dettagli tecnici sono riportati in Tab. 10 sono: MIRK (Monteforte Irpino), SCP2 (San Cipriano Picentino), SMFK (Castel San Giorgio).

Tabella 10 - Situazione a tutto Giugno 2006 e caratteristiche strumentali della Rete Sismica Mobile operativa in ambito regionale.

Rete Sismica Mobile INGV-Osservatorio Vesuviano – Regionale				
Stazione	Acquisitore	Sensore	Data installazione	Sampling (sps)
MIRK	Nanometrics Taurus	Episensor FBA ES-T	Gennaio 2006	100
SCP2	Nanometrics Taurus	LE3D/20s	Gennaio 2006	100
SMFK	Lennartz Marslite	Episensor FBA ES-T	Gennaio 2006	125

Per quanto riguarda i vulcani campani, diversi interventi sono stati realizzati al Vesuvio e ai Campi Flegrei con lo scopo di:

- Registrare dati di elevata qualità, in caso di eventi sismici importanti, utilizzando la migliore strumentazione sismica disponibile.
- Monitorare il rumore sismico al fine di evidenziarne eventuali variazioni imputabili a cambiamenti nello stato dinamico del vulcano.
- Studiare le caratteristiche sismiche di diversi siti in modo da definirne il background. Tale informazione è essenziale qualora essi debbano essere occupati da strumentazione in caso di emergenza.
- Affiancare la Rete Sismica Permanente, incrementando così il numero di stazioni broad band installate nelle aree vulcaniche.

Due nuove stazioni sono state installate nel primo semestre 2006 nell'area dei Campi Flegrei ed altre due al Vesuvio. Pertanto, a Giugno 2006 le stazioni della Rete Mobile installate sui vulcani campani erano 15, di cui 6 a corto periodo e 9 a larga banda (3 di queste sono di tipo multisensore,

² A cura di: M. La Rocca, D. Galluzzo, M. Castellano, G. Saccorotti, F. Bianco, E. Del Pezzo.

cioè dotate di sismometro a larga banda e accelerometro). Le Tab. 11, 12 e 13 riassumono la situazione operativa al 30 Giugno 2006. Tutte le stazioni della rete mobile acquisiscono i dati in modalità locale su vari tipi di supporto (hard disk, card PCMCIA, flash card, minidisk). Periodicamente si provvede alla sostituzione dei supporti di acquisizione che vengono decodificati nel Laboratorio Rete Mobile. Per le stazioni dotate di sismometri a larga banda (Marsslite, M24, Taurus) l'acquisizione è continua, mentre per le stazioni PCM5800, dotate di sismometri a corto periodo, l'acquisizione avviene utilizzando idonei parametri di trigger. Le stazioni multisensore sono uno dei punti di forza della Rete Mobile in quanto garantiscono una registrazione ottimale di ogni tipo di segnale sismico in una banda di frequenze estremamente ampia, non eguagliabile utilizzando un solo sensore. Infatti il sismometro a larga banda Guralp, caratterizzato da risposta piatta in velocità nel range 0.016-50 Hz ed elevata sensibilità, è lo strumento ideale per registrare tutti i segnali sismici comunemente osservabili in ambiente vulcanico, dal tremore agli eventi VLP. D'altra parte l'accelerometro ha risposta piatta in accelerazione nel range di frequenze 0-50 Hz. Pertanto è utilizzabile sia per osservare gli eventi sismici legati all'attività vulcanica e tettonica, che per osservare segnali di periodo estremamente lungo. In pratica l'accelerometro è equivalente ad un tiltmetro in una banda di frequenze molto ampia. Inoltre il range dinamico di 144 dB nominali dell'acquisitore, corrispondente a 24 bit, associato alle caratteristiche dinamiche dell'accelerometro, garantiscono una registrazione ottimale dei segnali sismici associati al massimo evento atteso nelle aree del Vesuvio e dei Campi Flegrei.

Interventi della Rete Sismica Mobile al Vesuvio

Durante il primo semestre del 2006 è continuata la gestione delle stazioni della Rete Sismica Mobile già operative al Vesuvio (Tab. 12, Fig. 28). Inoltre, nei primi mesi dell'anno, sono state installate due nuove stazioni in località Bunker Nord (BKNG) e San Vito (SVT)

La stazione BKNG

La stazione BKNG è costituita da un acquisitore Nanometrics Taurus equipaggiato con un sensore a larga banda Guralp CMG-40T. L'acquisizione è continua a 100 campioni al secondo, mentre il range dinamico nominale è di 144 dB (24 bit). La memorizzazione dei segnali avviene su PC-card e la temporizzazione è ottenuta mediante la ricezione del codice GPS. E' stata installata nello stesso sito della stazione BKN in quanto caratterizzato da un buon rapporto segnale/rumore e per un confronto tra i due sistemi di acquisizione. L'alimentazione della strumentazione avviene mediante batteria ricaricata da pannelli solari.

La stazione SVT

La stazione SVT è costituita da un acquisitore Lennartz PCM 5800 a 12 bit, che con un sistema di acquisizione a guadagno variabile raggiunge i 120 db di dinamica, equipaggiata con un sensore Lennartz LE-3Dlite a corto periodo smorzato al 70% del valore critico. L'acquisizione viene effettuata a trigger mediante l'algoritmo standard STA/LTA su registratori digitali Sony Hi-MiniDisc dotati di supporti magneto-ottici rimovibili da 1GB. La frequenza di campionamento è di 125 sps e

la temporizzazione avviene mediante codifica del segnale DCF. I parametri di trigger sono impostati tenendo conto del livello di sismicità attesa e del rumore di fondo presente nell'area. La stazione è stata installata all'interno di una cantina di una proprietà privata in località San Vito ed è alimentata dalla corrente di rete.

Le altre stazioni vesuviane

A tutto Giugno 2006 le stazioni digitali della Rete Sismica Mobile installate al Vesuvio sono 7, di cui 2 a larga banda (di queste 1 è di tipo multisensore, cioè dotata di sismometro a larga banda ed accelerometro) e 5 a corto periodo le quali sono state installate con lo scopo di acquisire eventi sismici locali di magnitudo medio-alta che porterebbero alla saturazione la Rete Sismica Permanente costituita prevalentemente da stazioni analogiche a bassa dinamica. Per le specifiche delle stazioni già operative si rimanda ai Rendiconti di Sorveglianza precedenti; le caratteristiche salienti sono comunque riportate in Tab. 11.

Tabella 11. Situazione a tutto Giugno 2006 e caratteristiche strumentali della Rete Sismica Mobile operativa al Vesuvio.

Rete Sismica Mobile INGV-Osservatorio Vesuviano – Vesuvio				
Stazione	Acquisitore	Sensore	Data installazione	Sampling (sps)
BKS	Lennartz PCM 5800	LE-3Dlite	Aprile 2003	125
TRBB	Lennartz M24	Guralp CMG-40T	Giugno 2004	125
FTC	Lennartz PCM 5800	LE-3Dlite	Dicembre 2004	125
BKN	Lennartz PCM 5800	LE-3Dlite	Dicembre 2004	125
FAL	Lennartz PCM 5800	LE-3Dlite	Gennaio 2005	125
SVT	Lennartz PCM 5800	LE-3Dlite	Febbraio 2006	125
BKNG	Nanometrics Taurus	Guralp CMG-40T	Febbraio 2006	100

Esempi di eventi registrati con la Rete Sismica Mobile al Vesuvio

Nel primo semestre del 2006 la sismicità del Vesuvio si è mantenuta su livelli bassi, sia per quanto riguarda il numero di eventi che per l'energia liberata. L'evento di maggiore energia (MD = 2.2) si è verificato il 4 Marzo 2006 alle ore 04:41 UTC. Alcuni eventi, anche di magnitudo più bassa, mostrano forme d'onda più chiaramente riferibili ad eventi da fratturazione con un netto sviluppo della fase "S". A titolo di esempio si riporta la registrazione della stazione FTC dell'evento di magnitudo MD = 1.7 avvenuto il 30 Gennaio 2006 alle ore 02:01 UTC. Inoltre, è stato registrato dalle stazioni BKS, TRBB e BKNG anche un evento a bassa frequenza avvenuto il 14 Maggio 2006 alle ore 06:11 UTC (vedi sezione LAV – Laboratorio Analisi aVanzate).

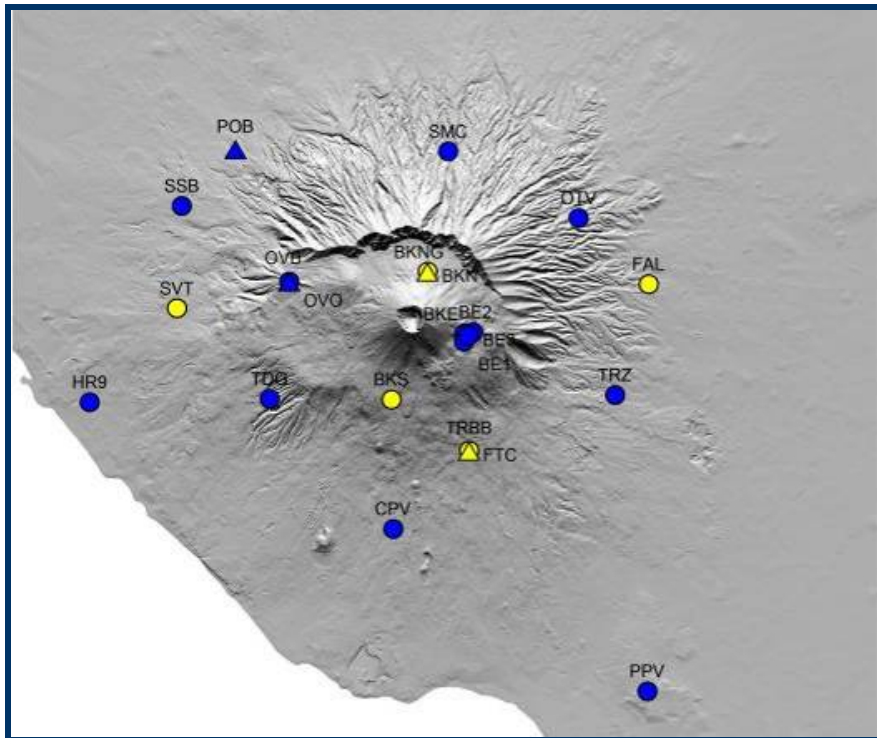


Figura 28. Rete Sismica Mobile installata al Vesuvio. I cerchi gialli identificano le stazioni Lennartz PCM 5800 equipaggiate con sensori a corto periodo, i triangoli rappresentano le stazioni (Lennartz M24 e Nanometrics Taurus) dotate di sensori a larga banda. Per le specifiche della strumentazione installata si veda la Tab. 12. I simboli blu identificano le stazioni della Rete Sismica Permanente.

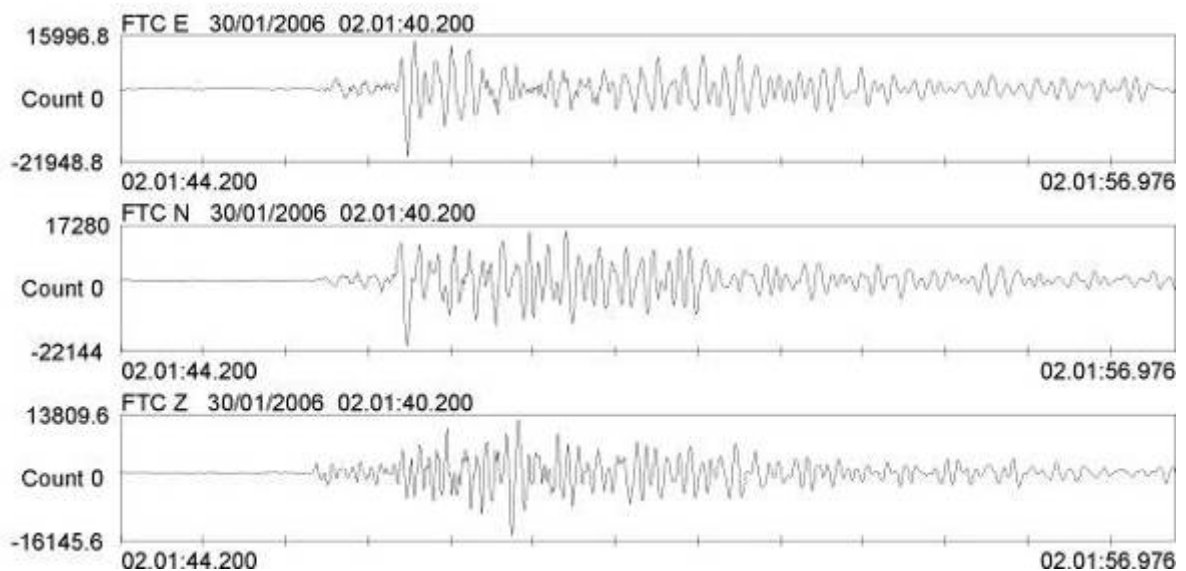


Figura 29. Evento sismico del 30 Gennaio 2006 02:01 (UTC), MD=1.7 registrato alla stazione FTC (Forestale Trecase).

Nonostante siano state programmate per la registrazione di terremoti locali di energia medio-alta, le stazioni Lennartz PCM 5800 installate al Vesuvio hanno registrato anche eventi regionali e terremoti provenienti dal bacino del Mediterraneo, nonché esplosioni artificiali legate ad attività estrattiva nelle cave del settore sud-orientale e ad attività di pescatori di frodo al largo del litorale di

Torre del Greco. In Fig. 30 sono mostrati, a titolo di esempio, i segnali della stazione BKS relativi all'evento della Grecia del 24 Giugno 2006 alle ore 02:50 UTC di MD = 5.0.

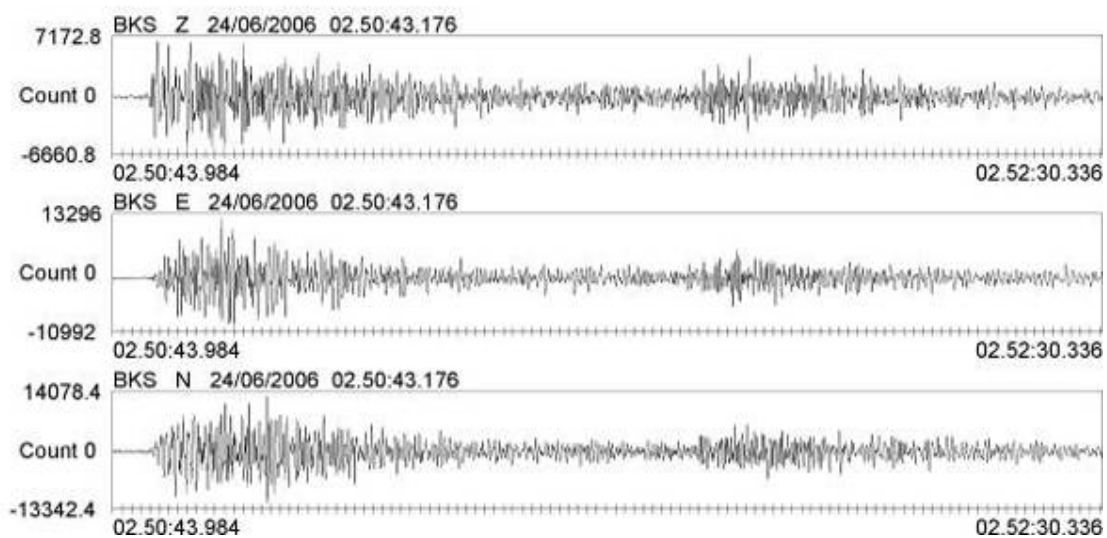


Figura 30. Evento sismico della Grecia del 24 Giugno 2006 02:50 (UTC), MD=5.0 registrato alla stazione BKS (Bunker Sud).

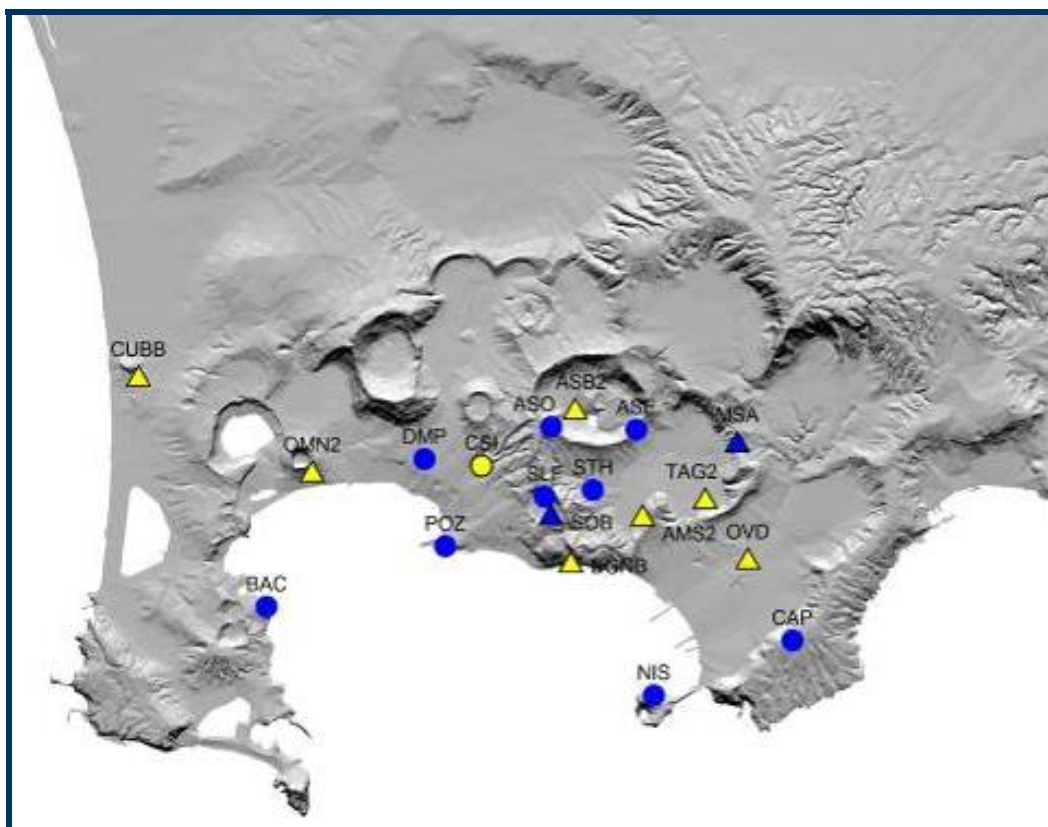


Figura 31. Rete Sismica Mobile installata ai Campi Flegrei. I triangoli gialli identificano le stazioni (Lennartz M24 e Lennartz MARSlite) dotate di sensori a larga banda. Il cerchio giallo rappresenta la stazione Lennartz PCM 5800 equipaggiata con un sensore a corto periodo. Per le specifiche della strumentazione installata si veda la Tab. 13. I simboli blu identificano le stazioni della Rete Sismica Permanente.

Interventi della Rete Sismica Mobile ai Campi Flegrei

Nel primo semestre del 2006 due stazioni sismiche della Rete Mobile sono state installate nell'area dei Campi Flegrei: ASB2 e CSI. Esse si aggiungono alle sei già operative: OVD, ASB2, OMN2, TAGB, BGNB e CUBB (Fig. 31). Ad eccezione di CSI, tutte sono a larga banda e ampio range dinamico, come riassunto in Tab. 13, e quindi sono ideali per la registrazione di tutti i tipi di segnali sismici solitamente associati ad attività vulcanica.

La stazione AMS2

La stazione AMS2 è stata installata a Gennaio 2006 in una abitazione privata situata alla base del Monte Spina (Agnano), versante nord. E' composta da acquisitore Marslite e sismometro LE3D/20s, tutta strumentazione prodotta dalla Lennartz Electronic. L'acquisizione è continua a 125 campioni al secondo. L'energia elettrica necessaria per il funzionamento della strumentazione è gentilmente messa a disposizione dai proprietari della casa che la ospita.

La stazione CSI

Questa stazione è stata installata a Febbraio 2006 in una proprietà privata a Nord dell'abitato di Pozzuoli. E' stata impiegata una stazione Lennartz PCM5800 che acquisisce a trigger i segnali provenienti da un sensore a corto periodo Lennartz LE-3Dlite installato in un pozzetto scavato nel terreno e protetto da un contenitore in PVC. L'algoritmo di trigger è basato sul semplice rapporto STA/LTA (Short Term Average / Long Term Average), particolarmente efficace specialmente per eventi localizzati a poca distanza dalla stazione. La stazione è alimentata con un pannello solare.

Le altre stazioni flegrei

A tutto Giugno 2006 le stazioni digitali della Rete Sismica Mobile installate ai Campi Flegrei sono 8, di cui 7 a larga banda (di queste 2 sono di tipo multisensore, cioè dotate di sismometro a larga banda ed accelerometro) e 1 a corto periodo. Per le specifiche delle stazioni già operative si rimanda ai Rendiconti di Sorveglianza precedenti; le caratteristiche salienti sono comunque riportate in Tab. 12.

Tabella 12. Situazione a tutto Giugno 2006 e caratteristiche strumentali della Rete Sismica Mobile operativa ai Campi Flegrei.

Rete Sismica Mobile INGV-Osservatorio Vesuviano – Campi Flegrei				
Stazione	Acquisitore	Sensore	Data installazione	Sampling (sps)
OVD	Lennartz M24	LE-3D/20s	Dicembre 2003	100
ASB2	Lennartz MARSlite	LE-3D/20s	Novembre 2004	125
OMN2	Lennartz MARSlite	LE-3D/20s	Giugno 2005	125
TAGB	Lennartz M24	LE-3D/20s	Agosto 2005	125
CUBB	Lennartz MARSlite	Guralp CMG-40T	Ottobre 2005	125
BGNB	Lennartz M24	Guralp CMG-40T	Ottobre 2005	125
AMS2	Lennartz MARSlite	LE-3D/20s	Gennaio 2006	125
CSI	Lennartz PCM 5800	LE-3Dlite	Febbraio 2006	125

Durante il primo semestre 2006 la stazione TAGB ha continuato ad essere dotata di modem GSM che ha reso possibile controllarne il funzionamento ed effettuare lo scarico dati da un computer del Laboratorio Rete Mobile. Dopo un primo periodo di sperimentazione, con esiti molto soddisfacenti, si è pianificato di implementare, in tempi brevi, tale forma di collegamento su un numero maggiore di stazioni.

Esempi di eventi registrati ai Campi Flegrei

Nel primo semestre 2006 sono stati registrati 9 microterremoti classificabili come eventi vulcano-tettonici (VT) e diversi eventi di natura artificiale attribuiti a esplosioni localizzate soprattutto nel golfo di Pozzuoli. In Fig. 32 sono mostrati i sismogrammi registrati in occasione del terremoto dell' 8 Aprile 2006, mentre in Fig. 33 sono riportati i sismogrammi relativi all'evento di natura artificiale registrato il 31 Marzo 2006. La Fig. 34 mostra invece i segnali sismici registrati dalle componenti verticali delle stazioni della Rete Mobile in occasione del terremoto del Gargano del 29 Maggio 2006, che è stato il terremoto più forte localizzato nel territorio italiano durante il primo semestre 2006.

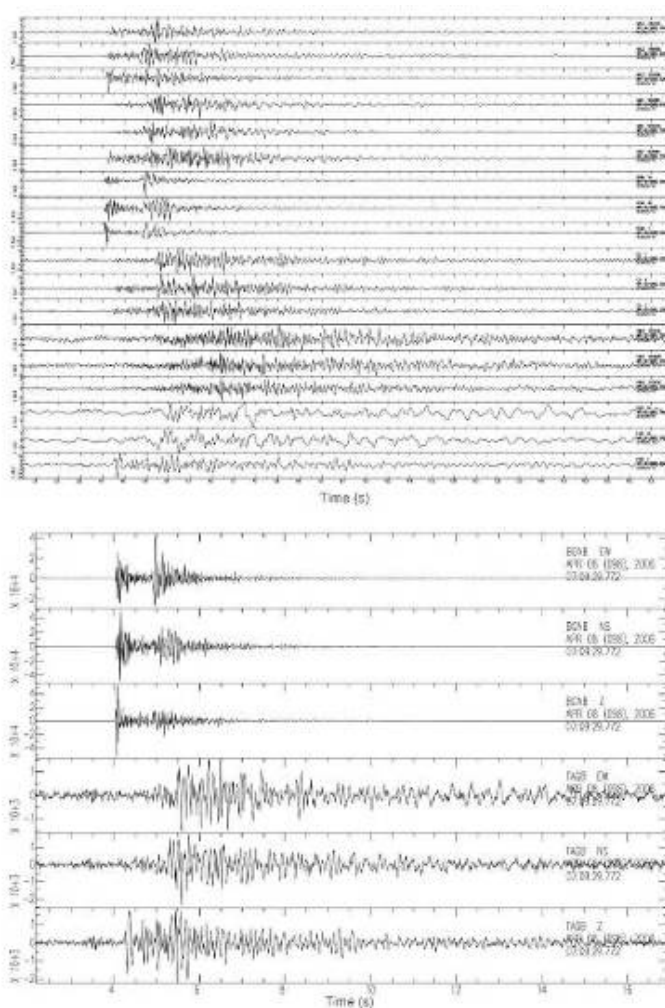


Figura 32. Evento locale registrato alle stazioni velocimetriche (pannello superiore) ed accelerometriche (pannello inferiore) della Rete Sismica Mobile installata ai Campi Flegrei, il giorno 8 Aprile 2006 alle 07:09.

Esplosione nel golfo di Pozzuoli, 31-03-2006 01:16 UTC, 0.2 - 15 Hz

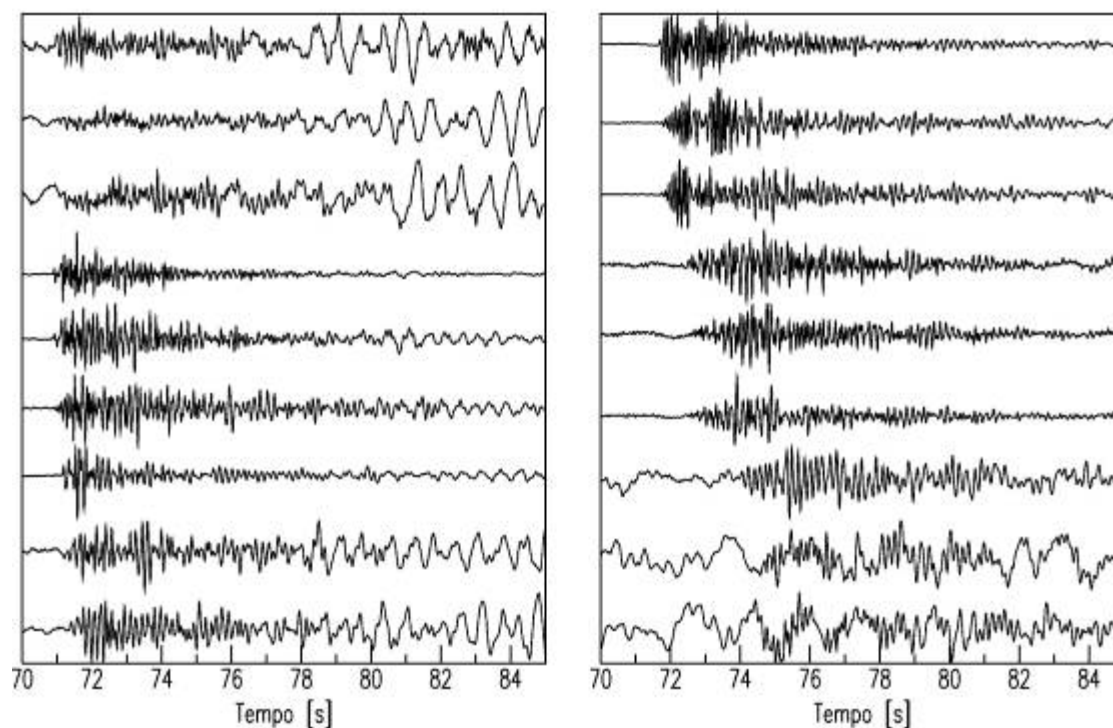


Figura 33. Evento di natura artificiale registrato alla Rete Sismica Mobile installata ai Campi Flegrei il giorno 31 Marzo 2006.

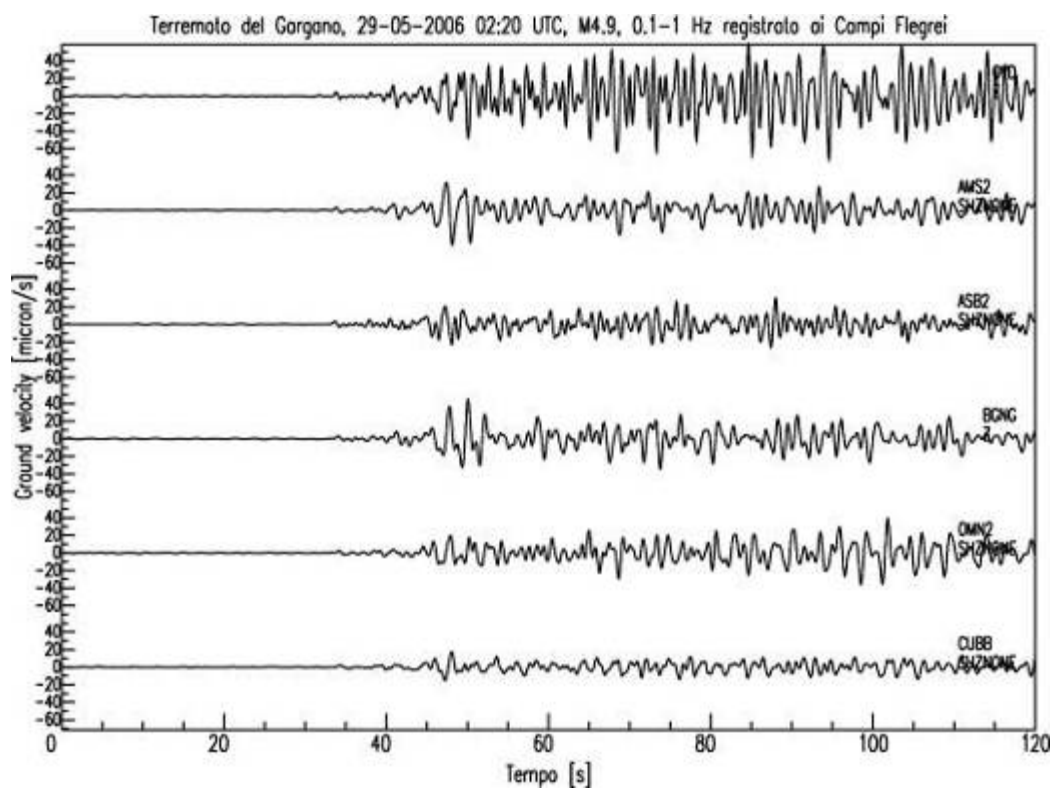


Figura 34. Terremoto del Gargano del 29 Maggio 2006 registrato alla Rete Sismica Mobile installata ai Campi Flegrei.

Alcuni esempi di telesisma

Le caratteristiche strumentali delle stazioni della Rete Mobile consentono una buona registrazione dei telesismi, nonostante il rumore sismico di fondo sia piuttosto elevato nella maggior parte dei siti utilizzati a causa della elevata urbanizzazione dell'area. Il primo esempio mostrato in Fig. 35 è il terremoto avvenuto il 20 Aprile 2006 in Kamchatka, Russia. I parametri della sorgente sono: lat = 60.9490°, lon = 167.0890°, prof = 22 km, T₀ = 23:25:02.15, M_w = 7.6, distanza = 8445 km = 75.95°, azimuth = 339.16°, back-azimuth = 13.21°. I segnali, registrati alla stazione CUBB, sono filtrati in due diverse bande di frequenza in modo da evidenziare le onde di volume, che costituiscono la parte principale del segnale nei primi 20 minuti, e le onde superficiali che dominano il sismogramma dopo i primi 20 minuti e a frequenza inferiore a 0.1 Hz. Un altro esempio di telesisma è mostrato nella Fig. 36. Questo terremoto, avvenuto il 16 Maggio 2006, è stato localizzato nell'Oceano Pacifico con i seguenti parametri: lat = -31.7790°, lon = -179.3130°, prof = 151.6 km, T₀ = 10:39:23.34, M_w = 7.4, distanza = 18443 km = 165.86°, azimuth = 313.58°, back-azimuth = 54.46°. La enorme distanza della sorgente, superiore al limite della zona d'ombra, fa in modo che per questo evento siano visibili numerose fasi P propagatesi secondo diversi percorsi che coinvolgono il nucleo esterno e il nucleo interno. Al contrario non ci sono fasi S ben evidenti perché filtrate dal nucleo esterno.

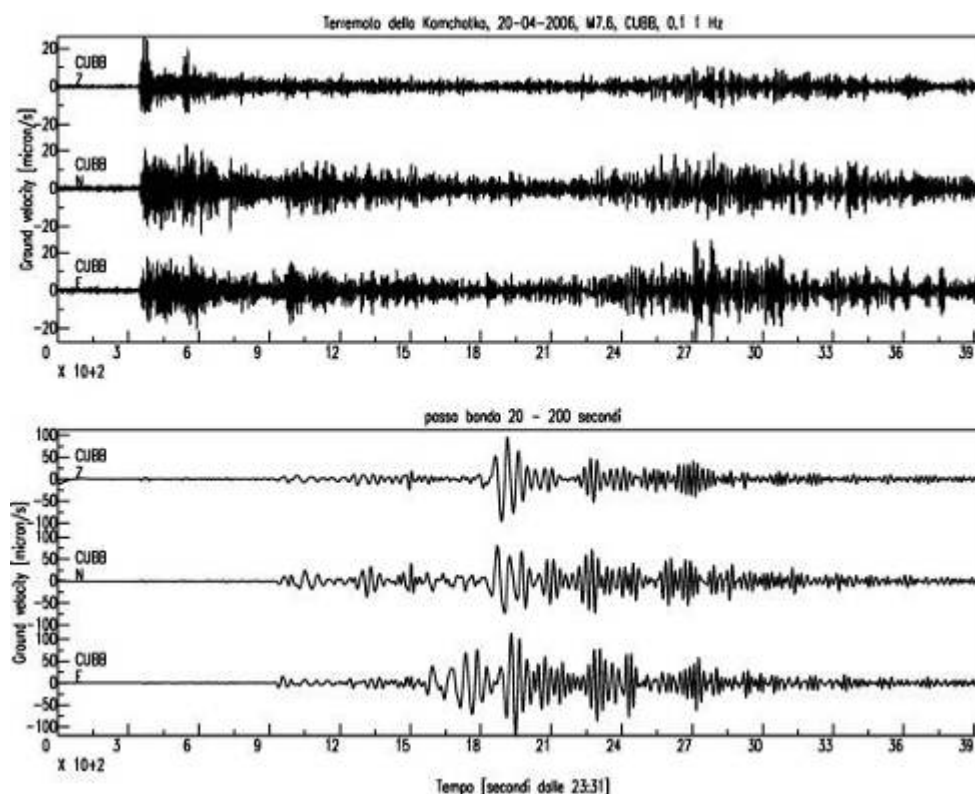


Figura 35. Telesisma del 20 Aprile 2006 registrato alla Rete Sismica Mobile installata ai Campi Flegrei.

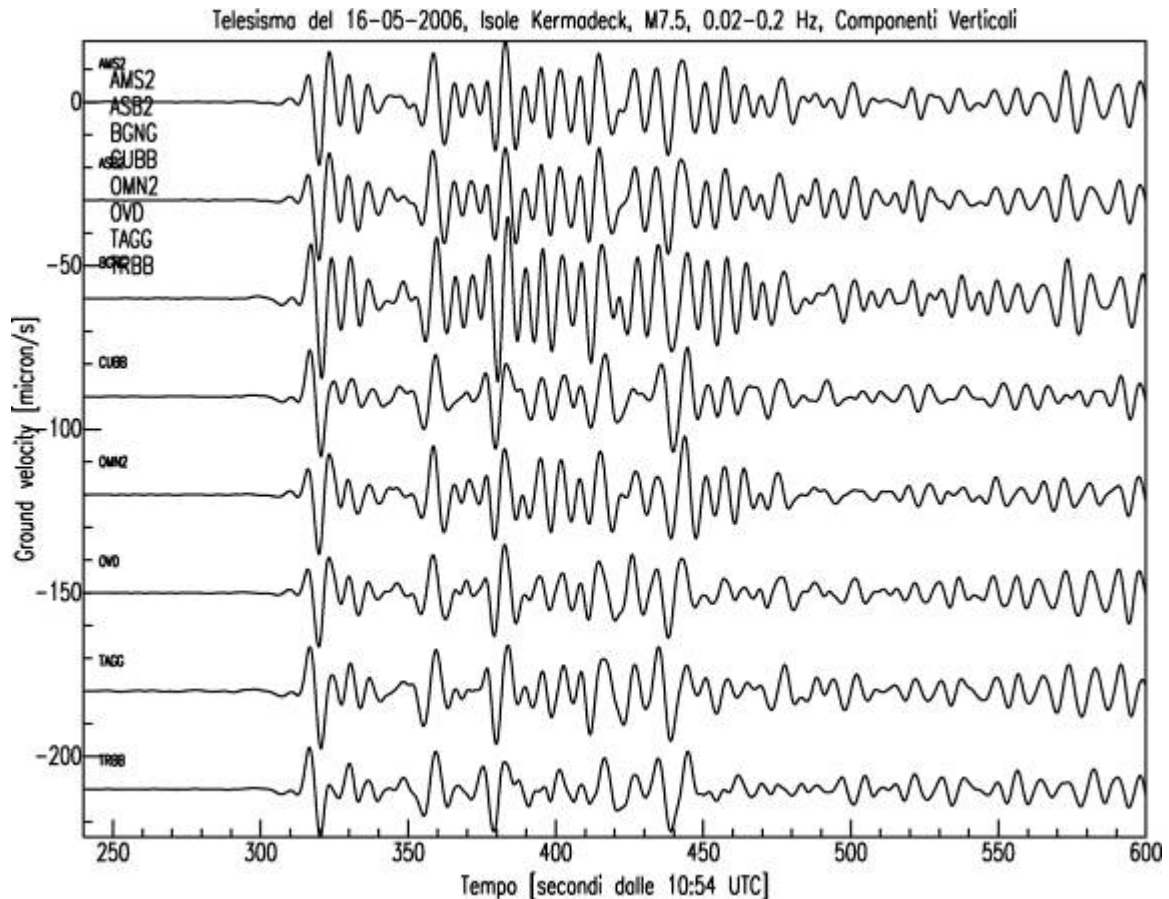


Figura 36. Telesisma del 16 Maggio 2006 registrato alla stazione CUBB della Rete Sismica Mobile installata ai Campi Flegrei.

Il Laboratorio di Analisi avanzate (LAV)³

Il Laboratorio di Analisi avanzate (LAV) è la struttura afferente alla UF Sismologia che si occupa di effettuare analisi off-line dei dati sismici quali localizzazioni 3D ad alta risoluzione, definizione dei parametri spettrali, studio del rumore sismico, analisi temporale dei parametri di splitting. Nel corso del I semestre 2006 il LAV ha fornito i risultati di seguito descritti.

Vesuvio

Le localizzazioni probabilistiche dei terremoti rilevati nel periodo Gennaio – Giugno 2006 sono state ottenute utilizzando il modello di velocità 3D (Scarpa et al., 2002) mediante algoritmi di ricerca su griglia (Lomax et al., 2000). I picking dei tempi di arrivo delle fasi P ed S sono stati effettuati sui segnali rilevati sia alla Rete Permanente che alla Rete Mobile. In Fig. 37 sono mostrate le tre sezioni (orizzontale, Nord-Sud, Est-Ovest), con le localizzazioni ottenute per il data-set analizzato. La sismicità risulta concentrata in area craterica ed interessa i primi 4 Km di crosta.

³ A cura di: S. Petrosino, P. Cusano, E. del Pezzo, M. Castellano & F. Bianco

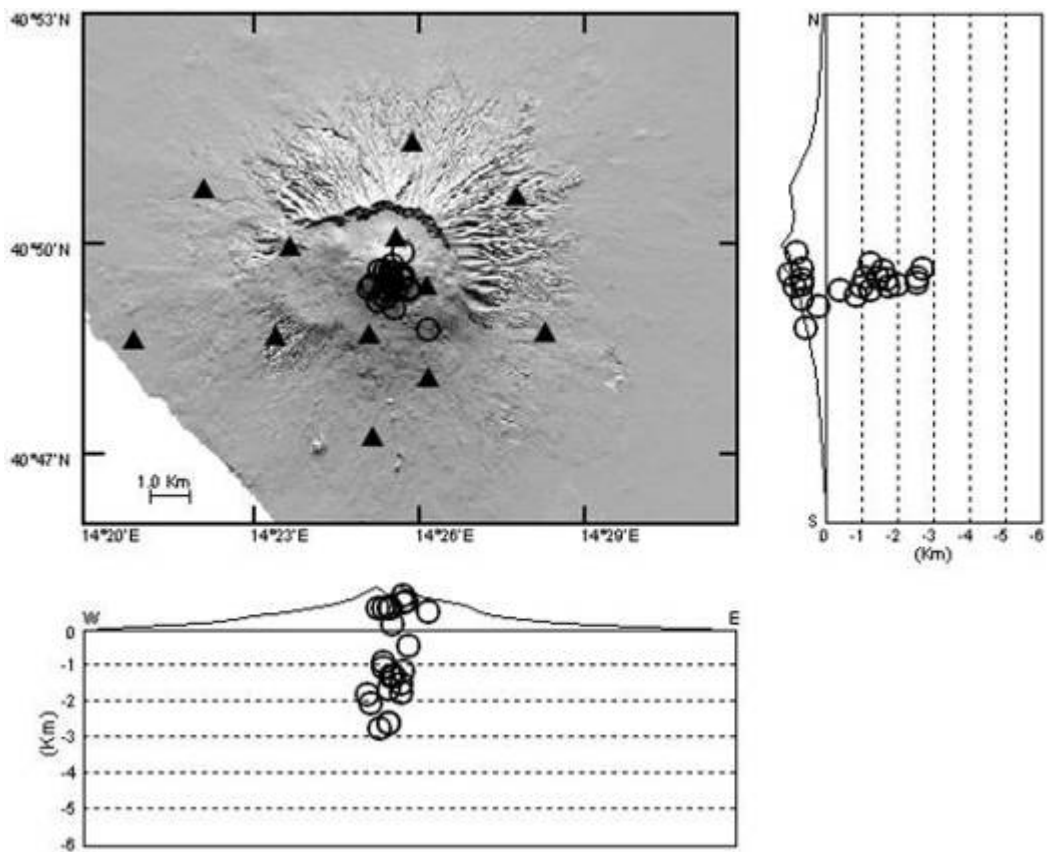


Figura 37. Localizzazione delle sorgenti sismiche al Vesuvio; il cerchio corrisponde al valore delle coordinate spaziali per cui la probabilità è massima

Eventi particolari

Il giorno 14 Maggio alle ore 06:11 UTC è stato registrato un segnale con le caratteristiche presunte di un evento LP. Le forme d'onda rilevate alle stazioni della rete mobile BKNG (larga banda) e BKS (corto periodo) sono mostrate in Fig. 38.

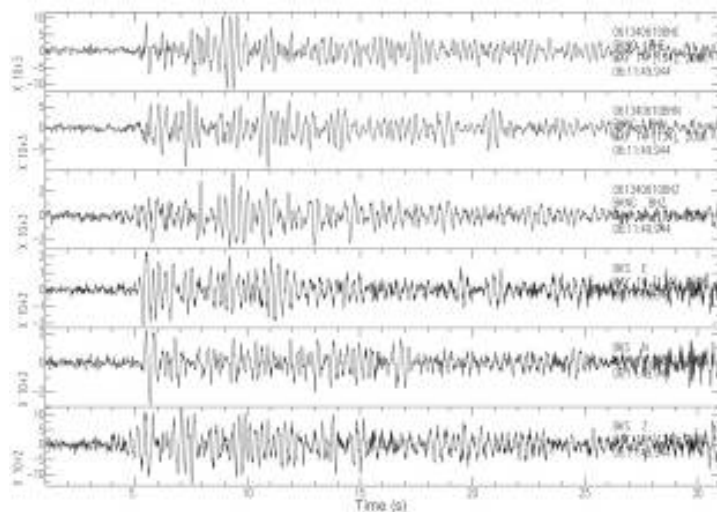


Figura 38. Forme d'onda dell'evento avvenuto il giorno 14 Maggio 2006 alle 06:11, rilevato alle stazioni a larga banda e corto periodo della Rete Mobile

Tale evento è infatti caratterizzato da un contenuto spettrale nella banda di frequenza 1-5 Hz, come si può notare dagli spettrogrammi riportati in Fig. 39. Le componenti orizzontali del moto del suolo alla stazione BKE mostrano una certa correlazione, con quella del primo evento LP registrato al Vesuvio il 20 luglio 2003 (Fig. 40; Bianco et al., 2005)

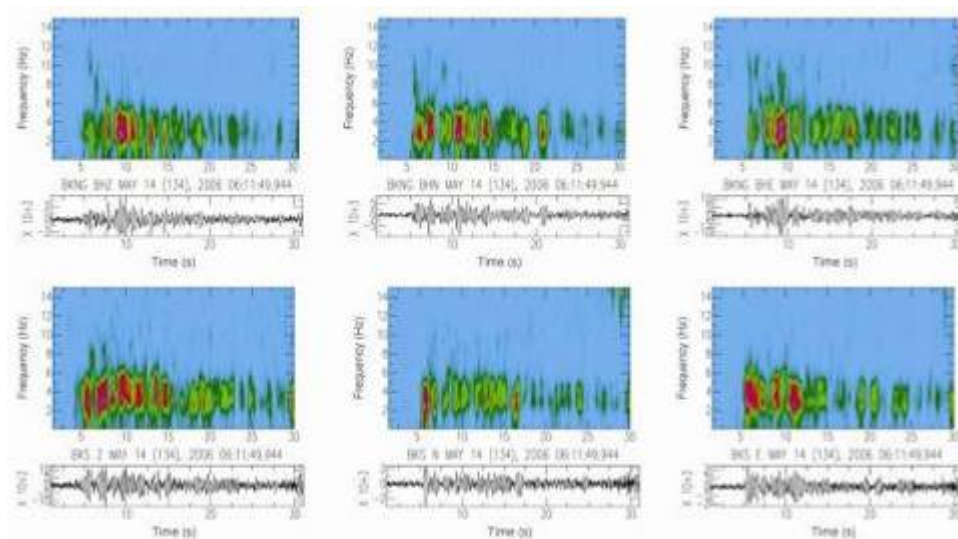


Figura 39. Evento del giorno 14 Maggio 2006 alle 06:11: spettrogrammi delle 3 componenti del segnale rilevato alla stazione BKNQ (in alto) e BKS (in basso).

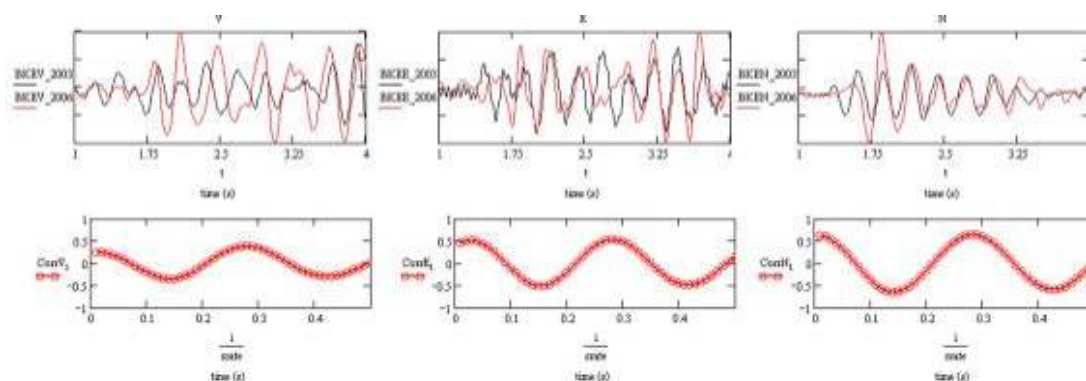


Figura 40. Confronto tra le forme d'onda dei segnali rilevati il 14 Maggio 2006 alle 06:11 e il 20 Luglio 2003 alle 3 componenti della stazione BKE. I grafici in basso mostrano la correlazione tra la 3 componenti delle forme d'onda.

L'evento LP risulta localizzato in area craterica ad una profondità di circa 4 km (s.l.m.) (Fig. 41), approssimativamente nello stesso volume in cui è stato localizzato anche l'evento LP del 2003.

Campi Flegrei

L'area dei Campi Flegrei è stata interessata da un livello di sismicità estremamente basso (meno di 10 eventi registrati in tutto il periodo), ma non nullo. Tali eventi sismici sono caratterizzati da un contenuto in frequenza concentrato nella banda 5-20 Hz. In Fig. 42 è mostrato un esempio di

spetrogramma relativo all'evento del giorno 8 Aprile 2006 (per le relative forme d'onda si veda la Fig. 32).

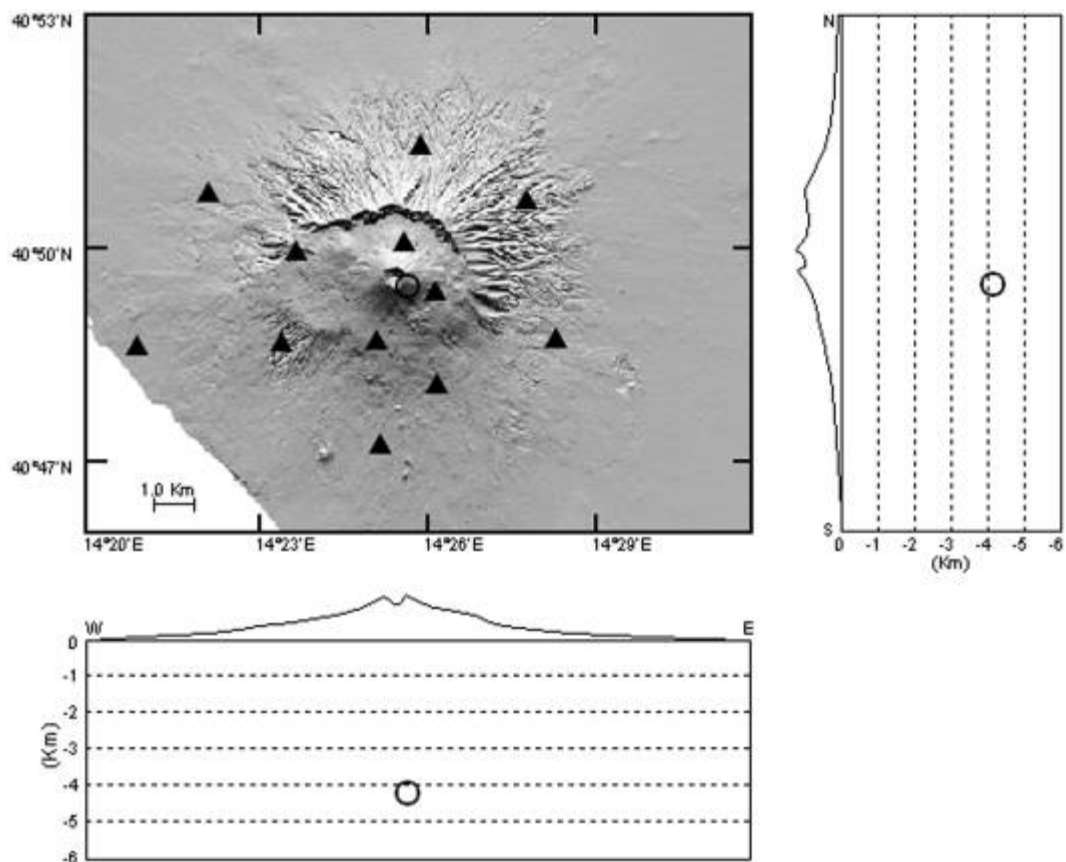


Figura 41. Localizzazione dell'evento LP; il cerchio corrisponde al valore delle coordinate spaziali per cui la probabilità è massima.

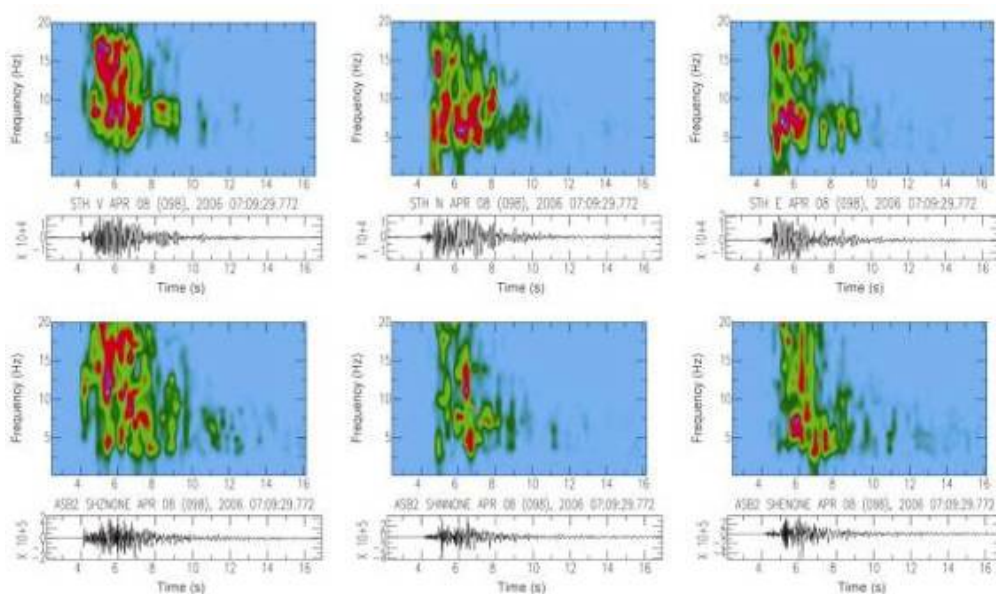


Figura 42. Evento del giorno 8 Aprile 2006 ore 07:09: spettrogrammi delle 3 componenti del segnale rilevato alla stazione STH (in alto) e ASB2 (in basso).

Le localizzazioni probabilistiche dei terremoti sono state ottenute mediante algoritmi di ricerca su griglia (Lomax et al., 2000), utilizzando sia il modello di velocità 1D in uso per le localizzazioni di routine presso l'Osservatorio Vesuviano, sia il modello 3D (Zollo e Judenherc, 2004) derivato da una recente tomografia. I picking dei tempi di arrivo delle fasi P ed S sono stati effettuati sui segnali rilevati sia alla Rete Permanente che alla Rete Mobile. La maggior parte della sismicità risulta concentrata nell'area della Solfatara con profondità ipocentrali distribuite nei primi 3 Km al di sotto del livello del mare. Da questo andamento si discostano due eventi (29/01/2006 ore 19:52 e 01/03/2006 ore 14:57) localizzati a nord-ovest della Solfatara e due (06/02/2006 ore 08:33 e ore 09:33) localizzati ad est, nella zona di Agnano. In Fig. 43 sono mostrate le localizzazioni associate ad un basso valore di rms (<0.5).

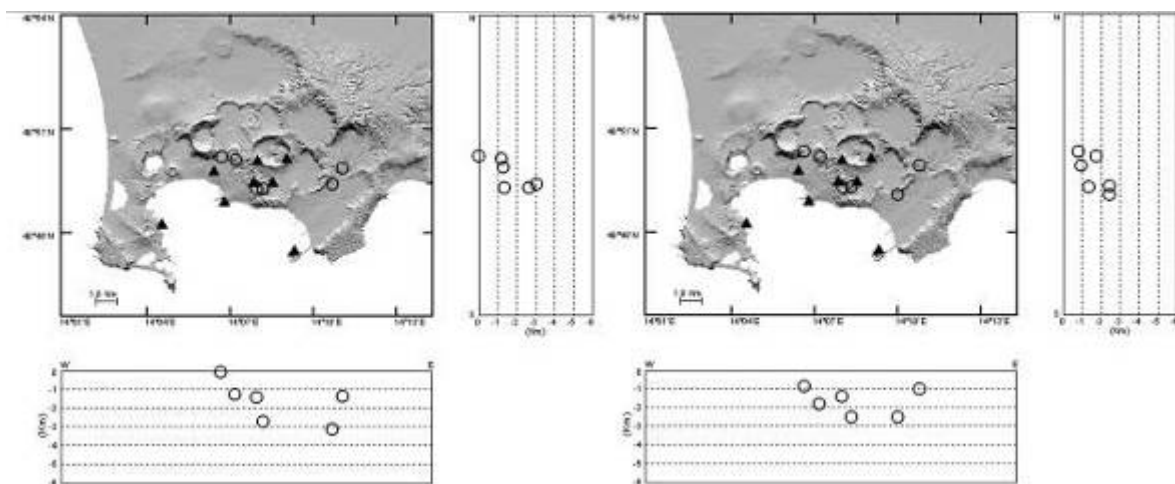


Figura 43. Localizzazioni dei terremoti avvenuti ai Campi Flegrei nel primo semestre 2006, effettuate con il modello di velocità 3D (a sinistra) e 1D (a destra); il cerchio corrisponde al valore delle coordinate spaziali per cui la probabilità è massima.

Per 5 terremoti ben localizzati, sono stati calcolati i parametri di sorgente attraverso la stima del momento sismico e della frequenza d'angolo. I risultati ottenuti corrispondono a valori del raggio di Brune dell'ordine dei 30-40 m e stress drop compreso tra 1 e 6 bar, come riportato nella Tab. 13.

Tabella 13. Parametri di sorgente per gli eventi sismici flegrei rilevati nel corso del primo semestre 2006.

Data	Ora	Md	Mw	Momento Sismico (J)	Raggio Brune (m)	Stress Drop (bar)
2006/01/29	19:52	0.6	0.6	1.12e+010	31	1.6
2006/02/06	09:33	0.4	1.1	6.01e+010	44	3.2
2006/03/01	14:57	0.7	0.8	1.83e+010	28	3.5
2006/04/08	07:09	0.9	1.1	5.25e+010	34	5.9
2006/05/23	02:46	0.2	0.5	7.25e+009	28	1.4

Analisi temporale del rumore sismico

Il monitoraggio delle variazioni di ampiezza del rumore sismico viene effettuato sui dati rilevati alla stazione sismica a larga banda della Rete Mobile ASB2, installata agli Astroni. Tale parametro viene monitorato per rilevare eventuali incrementi nei livelli di rumore che potrebbero essere correlati all'insorgenza di tremore vulcanico. Il valore medio (RMS) dell'ampiezza del rumore viene calcolato su finestre temporali di 10 minuti estratte dalle registrazioni giornaliere notturne e diurne. L'RMS viene calcolato sia sul segnale non filtrato, sia in 3 bande di frequenza (0.05-0.1 Hz, 0.1-1 Hz, 1-5 Hz). Nell'area Flegrea non si evidenziano particolari variazioni nei livelli di rumore sismico rilevati da Gennaio a Giugno 2006. Dal confronto tra la fascia oraria notturna (Fig. 44) con quella diurna (Fig. 45), si nota che il livello del rumore non mostra sostanziali differenze nelle due bande di frequenza al di sotto di 1 Hz. D'altra parte, il livello medio dell'RMS calcolato tra 1 e 5 Hz risulta inferiore durante la fascia oraria notturna rispetto ai valori delle rilevazioni diurne che, peraltro, evidenziano una periodicità di 7 giorni. Ciò è da attribuire alla forte attività antropica diurna, che contribuisce all'incremento del rumore nella banda di frequenza 1-5 Hz.

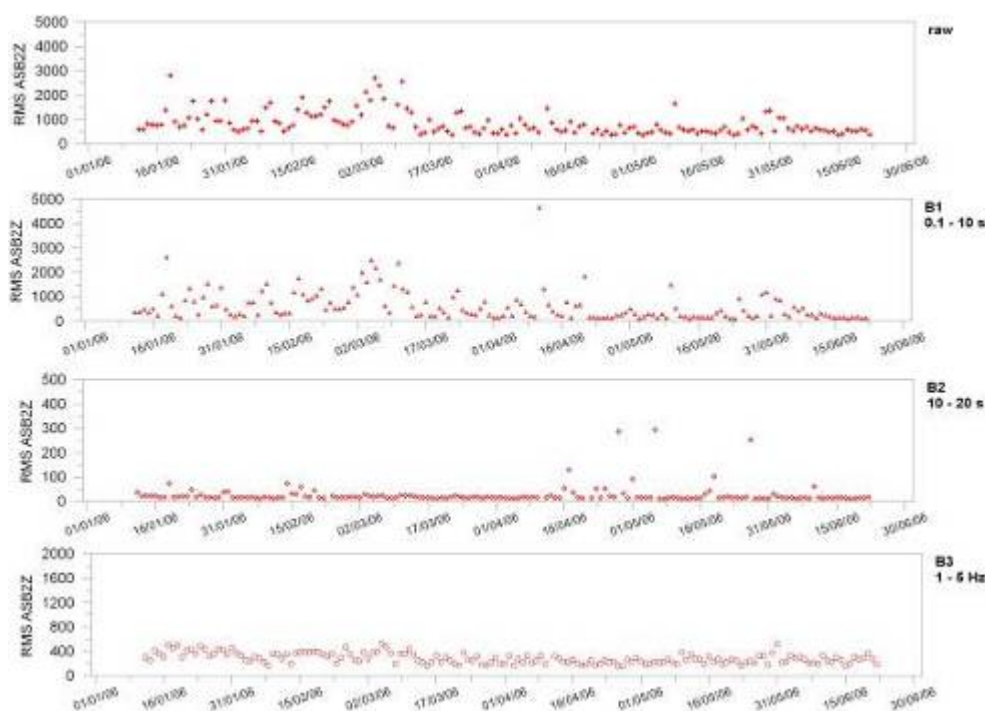


Figura 44. Andamento temporale del valore medio dell'ampiezza (RMS) del rumore (fascia oraria notturna) rilevato dalla stazione ASB2 (componente verticale).

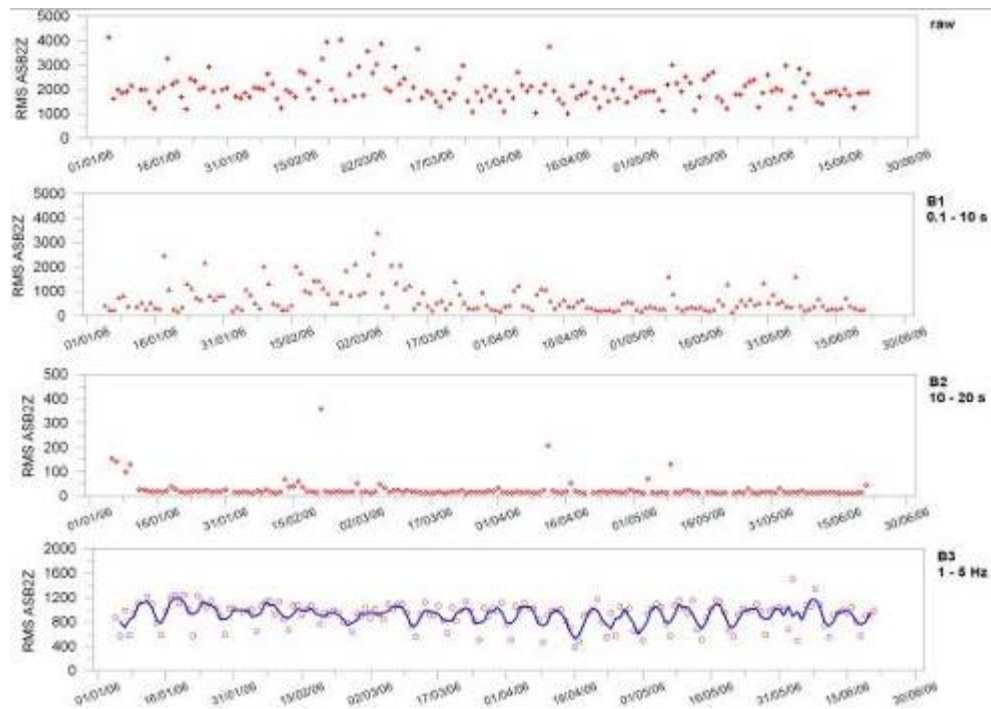


Figura 45. Andamento temporale del valor medio dell'ampiezza (RMS) del rumore (fascia oraria diurna) rilevato dalla stazione ASB2 (componente verticale).

Analisi temporale dei parametri di splitting

I parametri di splitting (T_d , ovvero il time delay tra la fase $qS1$ e la $qS2$, ed L_{spd} , ovvero la direzione di polarizzazione dell'onda di taglio più veloce) costituiscono una misura del campo di stress che agisce in una determinata area; variazioni nel tempo di tali parametri permettono di definire eventuali variazioni del campo di stress. Tale fenomeno generalmente prelude l'accadimento di terremoti o/e eruzioni. La misura dei parametri di splitting può avvenire solo se sono realizzate tutte le seguenti condizioni:

- Segnali all'interno della shear wave window (ovvero incidenza inferiore a 35°).
- Alto rapporto segnale rumore.
- Fasi S ben visibili.

Le condizioni di cui sopra si sono realizzate sinora soltanto per 3 eventi registrati alle stazioni ASB2, AMS2 e BGNB della Rete Mobile (Fig. 4).

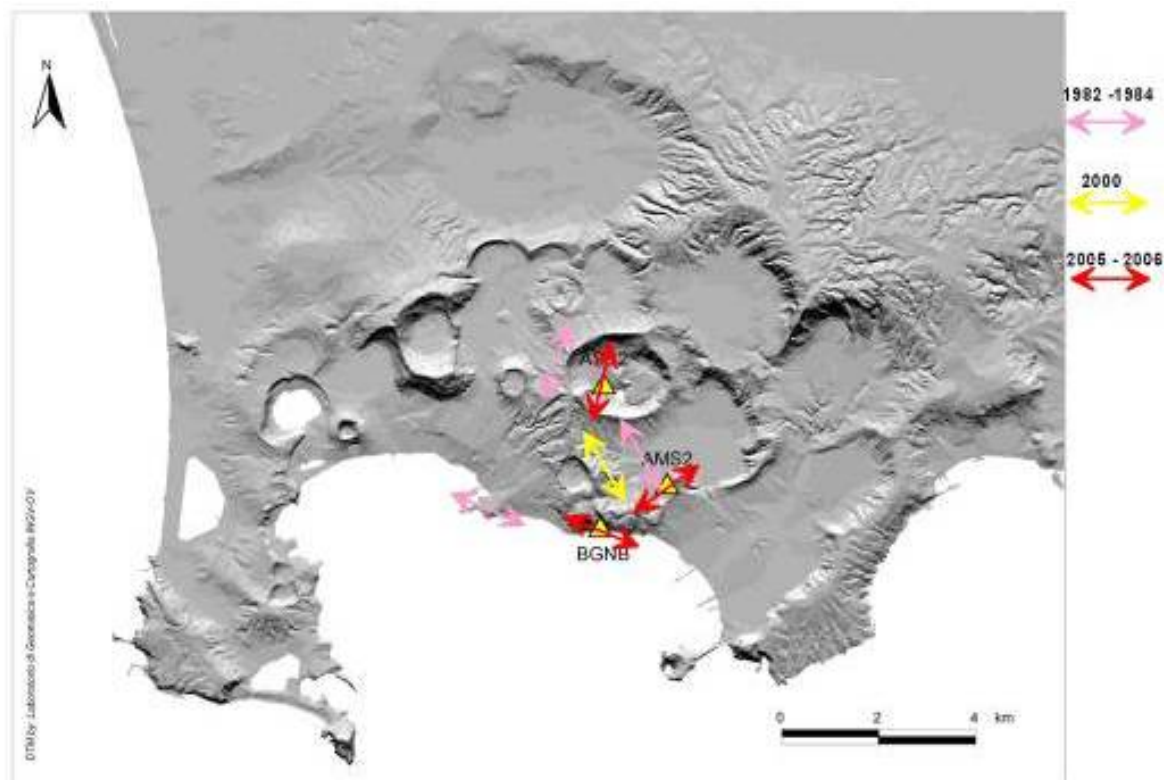


Figura 46. Lo splitting dell'onda di taglio: direzione dell'onda di taglio splittata più veloce per la crisi del 1982 – 1984 (freccie rosa), per la crisi del 2000 (freccia gialla) e per la crisi in corso (freccie rosse).

I parametri di splitting sono stati ottenuti utilizzando le caratteristiche di ortonormalità della SVD (Singular-Value Decomposition). I risultati ottenuti, data l'esiguità del data set analizzato, non hanno attendibilità statistica, tuttavia è evidente (Fig. 46) una congruenza tra le direzioni di Lspd misurate in questa occasione e quelle ottenute per le precedenti crisi del 2000 e del 1982 – 1984. La percentuale di anisotropia (S_{wa}) ottenuta è pari al 3%, quindi finora inferiore al valore misurato per la crisi del 2000 ($S_{wa} = 4\%$) e molto al disotto del valore della crisi del 1982 – 1984 ($S_{wa} = 7\%$) per la quale si era superata la soglia di criticità. Anche se non ancora statisticamente attendibile, il valore di S_{wa} misurato attualmente suggerisce che il fenomeno che si sta osservando ai Campi Flegrei (Del Gaudio et al., 2005) non è sostenuto, al momento, da una dinamica critica.

Bibliografia

- F. Bianco, P. Cusano, S. Petrosino, M., Castellano, C. Buonocunto, M. Capello and E. Del Pezzo (2005). Small-aperture array for seismic monitoring of Mt. Vesuvius. *Seismological Research Letters*, 76, 3, 345-355
- Del Gaudio C., Ricco C., Aquino I., Brandi G., Serio C. e Siniscalchi V. (2005); Misure di livellazione di precisione e dati tiltmetrici per il controllo delle deformazioni del suolo ai Campi Flegrei. INGV-Osservatorio Vesuviano Open File Report 4-2005, 9pp.
- Lomax A., Virieux J., Volant P. and C. Berge, 2000. Probabilistic earthquake location in 3D and layered models: Introduction of a Metropolis-Gibbs method and comparison with linear locations, in *Advances in Seismic Event Location* Thurber, C.H., and N. Rabinowitz (eds.), Kluwer, Amsterdam, 101-134.

Zollo A. and Judenherc S., 2004. The Bay of Naples (southern Italy): Constraints on the volcanic structures inferred from a dense seismic survey. *J. Geophys. Res.*, 109, B10312.doi: 10.1029/2003JB002876.

Ringraziamenti

Si ringrazia per la collaborazione tutta la UF Sismologia, in particolare, Maurizio Ciampi, Norma Damiano, Luca De Siena, Vincenzo Nisii, Lucia Zaccarelli. Si ringraziano inoltre Marco Capello, Patrizia Ricciolino, l'Oasi Naturalistica del WWF degli Astroni, l'Ente "Terme di Agnano", la Sovrintendenza ai Beni Culturali di Napoli, il Comune di Pozzuoli e la S.E.P.S.A. e le famiglie Nardacchione e Iaccarino. Si ringrazia Ferruccio Ferrari (INGV-CT) che ha reso disponibili i programmi SEISM e CONWIZ con i quali vengono, rispettivamente, analizzati e convertiti nel formato SAC i dati delle stazioni Lennartz PCM5800.

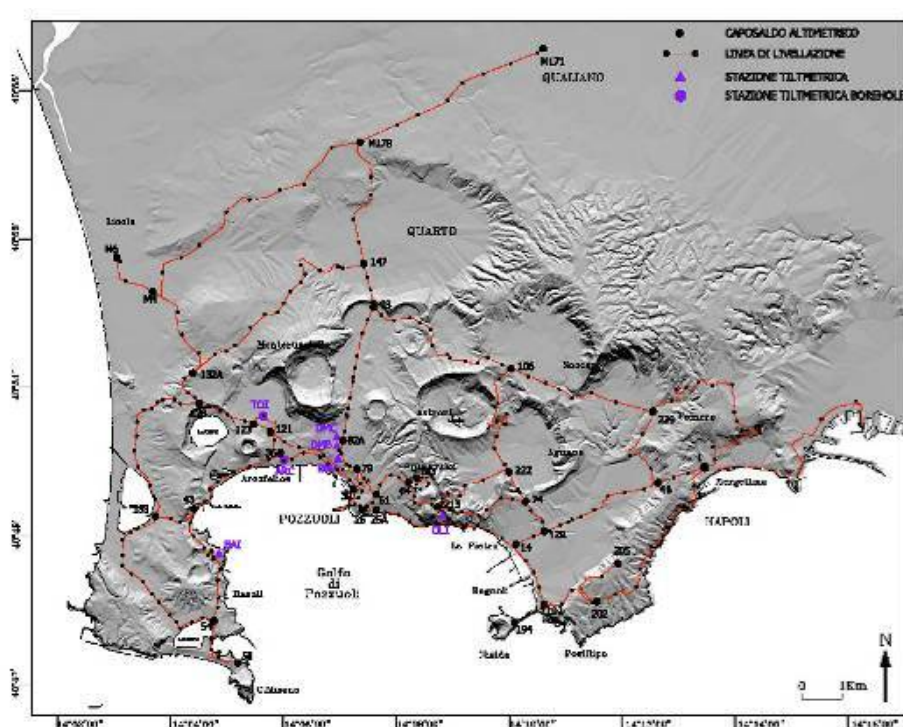


Figura 47. Rete di livellazione dei Campi Flegrei comprensiva dei tratti "Quarto-Qualiano" e "Napoli Mergellina – Napoli Molo Carmine" che rappresentano le linee di collegamento alle altre reti altimetriche dell'area vulcanica napoletana. In figura è rappresentata anche la rete di monitoraggio tiltmetrico.

MISURE DI LIVELLAZIONE DI PRECISIONE AI CAMPI FLEGREI⁴

La rete altimetrica di precisione dei Campi Flegrei, istituita dall'Istituto Geografico Militare (IGM) nel 1905, dal 1975 è gestita dall'Osservatorio Vesuviano, Sezione di Napoli dell'INGV. La rete, dopo vari interventi di ampliamento, eseguiti soprattutto durante la crisi bradisismica del 1982-1984 (Berrino G. et al. 1984), fu completamente ristrutturata nel 1987 e poi ulteriormente ampliata in varie fasi negli anni successivi. Attualmente l'area investigata è di oltre 160 km² con circa 130 km di linee, organizzate in 14 circuiti concatenati con 330 capisaldi (CS) posizionati ad una distanza

⁴ A cura di: C. Del Gaudio, C. Ricco, I. Equino.

media di 400 m (Fig. 47). Le misurazioni periodiche dei movimenti verticali del suolo ai Campi Flegrei, eseguite tramite livellazioni geometriche di precisione, costituisce parte integrante del programma di sorveglianza geofisica svolto nell'area. I rilievi, di norma, vengono eseguiti annualmente lungo l'intera rete altimetrica e semestralmente lungo il tratto della linea costiera (CS 4B – CS 30) selezionato in modo che i risultati ottenuti siano sufficientemente rappresentativi dell'andamento e dell'entità della deformazione all'interno della caldera flegrea. I dati di ogni campagna di livellazione di precisione, nel rispetto dei limiti imposti dalla metodologia, sono validati tramite la verifica degli errori di chiusura dei vari circuiti e quindi sottoposti a compensazione ai minimi quadrati con il metodo delle osservazioni indirette, imponendo come riferimento la quota del CS "1" localizzato a Napoli Mergellina ($Q_0=2.7540$ m slm). Le ultime misure riguardanti l'intera rete, a partire dal 2003, sono state effettuate a Marzo 2003 e Maggio 2004 (Fig. 47) mentre a Novembre 2003 e 2004, Maggio e Ottobre 2005 e Marzo 2006 sono state eseguite misurazioni riguardanti tratti più o meno estesi della rete flegrea (Fig. 48-51). Ogni campagna è stata eseguita rispettando gli standard di alta precisione tramite l'utilizzo di strumentazione ottica e stadie con graduazione centimetrata su nastro in invar. In Tab. 14 sono riportate le deviazioni standard per unità di peso (σ_0) relative alle campagne di cui sopra.

Tabella 14.

Marzo	2003	$\sigma_0=0.94$ mm
Novembre	2003	$\sigma_0=0.42$ mm
Maggio	2004	$\sigma_0=0.90$ mm
Novembre	2004	$\sigma_0=0.47$ mm
Maggio	2005	$\sigma_0=1.09$ mm
Ottobre	2005	$\sigma_0=0.55$ mm
Marzo	2006	$\sigma_0=0.66$ mm

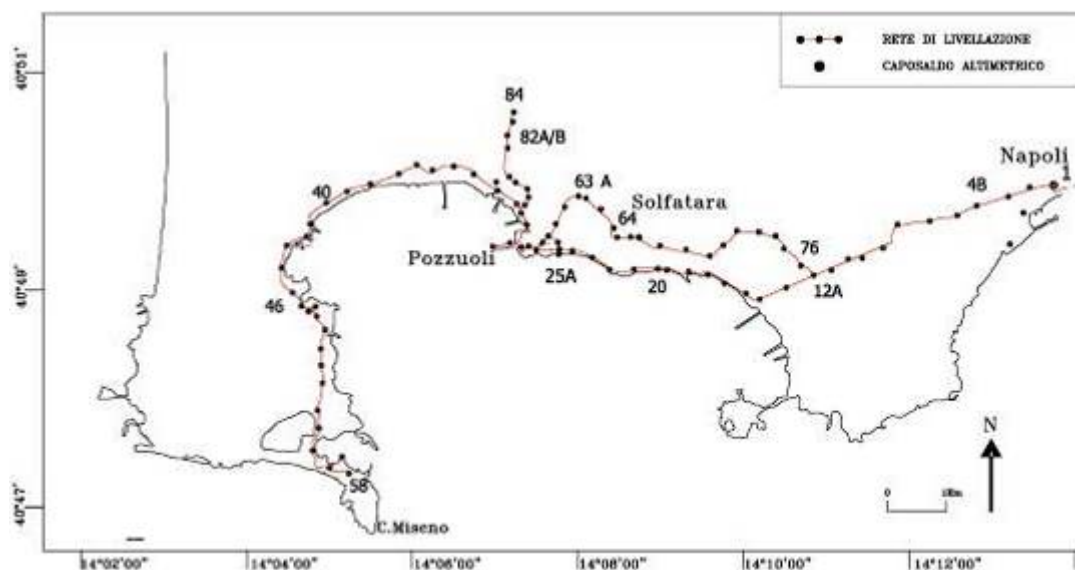


Figura 48. Tratti della linea di livellazione dei Campi Flegrei interessati dalle misurazioni eseguite a Novembre 2004.

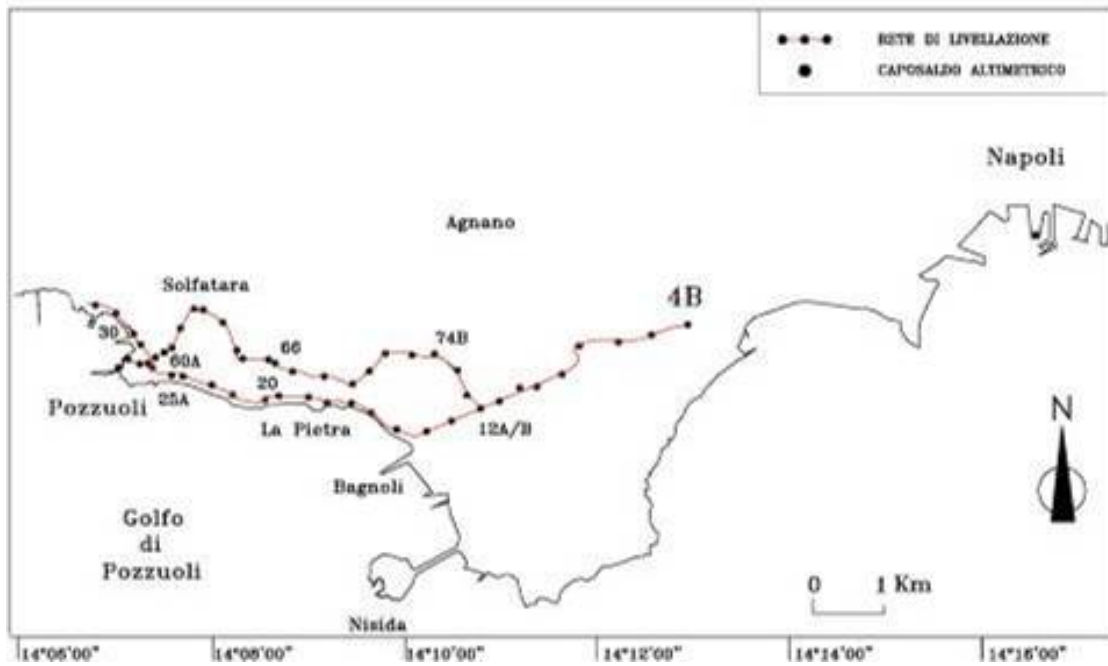


Figura 49. Tratti della linea di livellazione dei Campi Flegrei interessati dalle misurazioni eseguite a Maggio 2005.

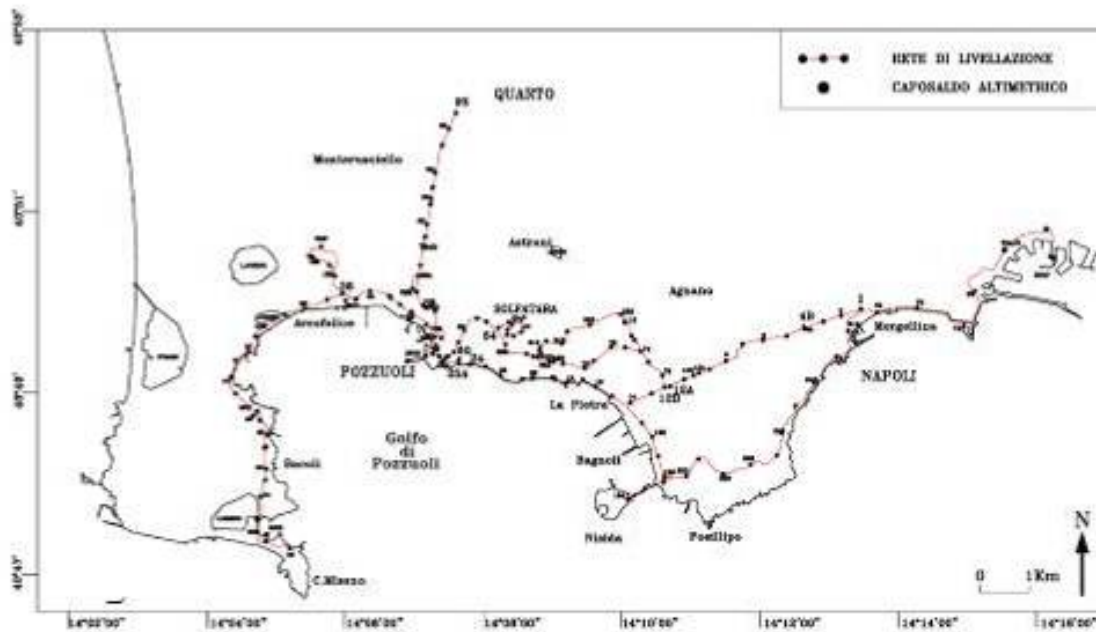


Figura 50. Tratti della linea di livellazione dei Campi Flegrei interessati dalle misurazioni eseguite a Ottobre 2005.

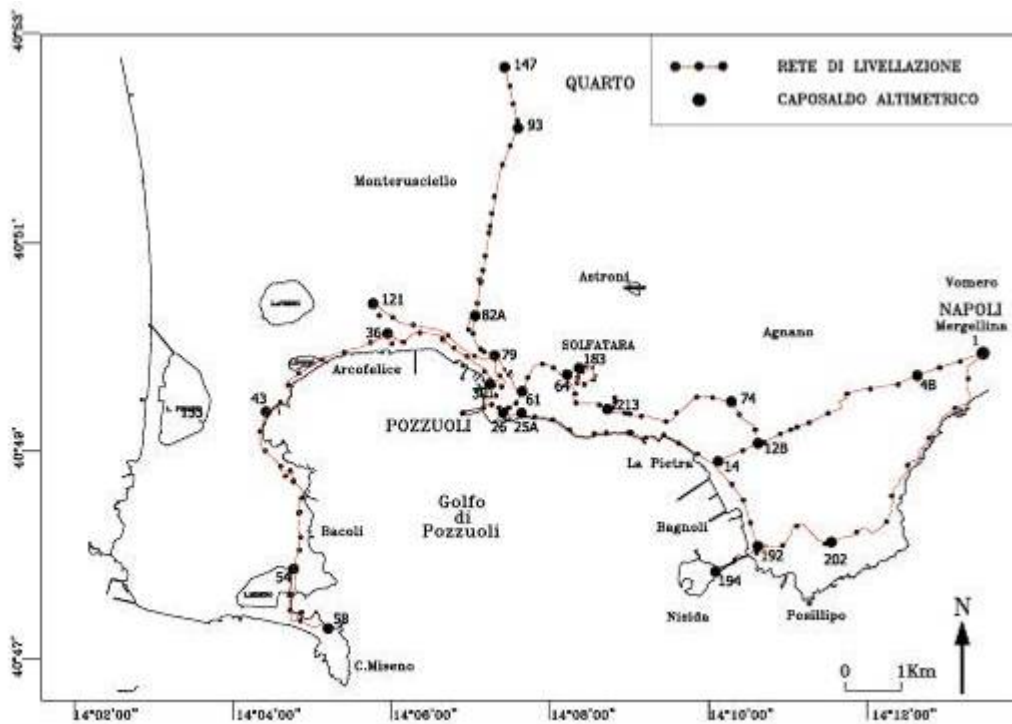


Figura 51. Tratti della linea di livellazione dei Campi Flegrei interessati dalle misurazioni eseguite a Marzo 2006.

Analisi dei dati

Dai rilievi altimetrici effettuati tra Novembre 2003 e Maggio 2004 è stato osservato un rallentamento nella fase di subsidenza successiva al sollevamento del suolo verificatosi nel 2000 (Fig. 52, valori in blu ed in rosso), nonché una geometria anomala rispetto alla classica forma a campana assunta dalla deformazione flegrea (Fig. 53) (G. Orsi et al 1999). Queste misure hanno mostrato che l'area compresa tra Napoli Mergellina (CS 1) e Napoli Bagnoli (CS 16) non presenta significative variazioni di quota mentre quella ad Ovest di Bagnoli fino a Miseno è stata interessata da una evidente subsidenza con andamenti "anomali" lungo i tratti compresi tra il CS 19A ed il CS 28 e tra il CS 31 ed il CS 37. La successiva campagna di livellazione eseguita a Novembre 2004 (Fig. 52, valori in nero), ha confermato il perdurare dell' anomalo campo di spostamento verticale ad Ovest di Bagnoli (Rend. Att. Sorveglianza 2004).

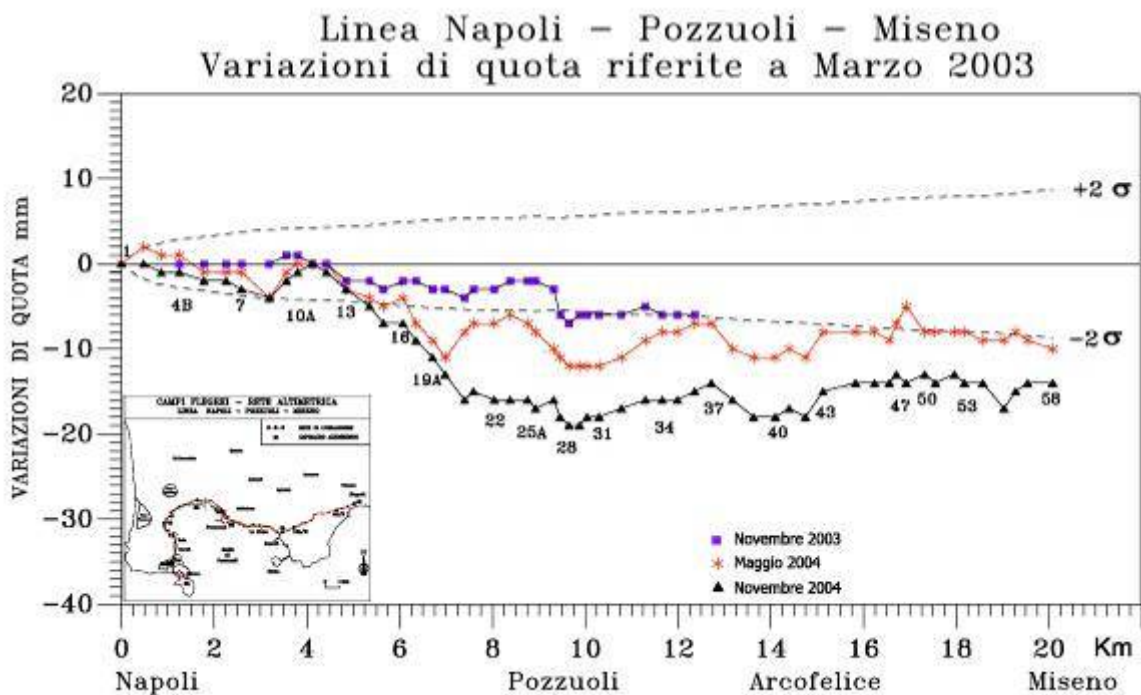


Figura 52. Variazioni di quota, riferite a Marzo 2003, ottenute dai rilievi effettuati a Novembre 2003, Maggio e Novembre 2004. Le linee tratteggiate delimitano i limiti di confidenza al 95% ($\pm 2\sigma$).

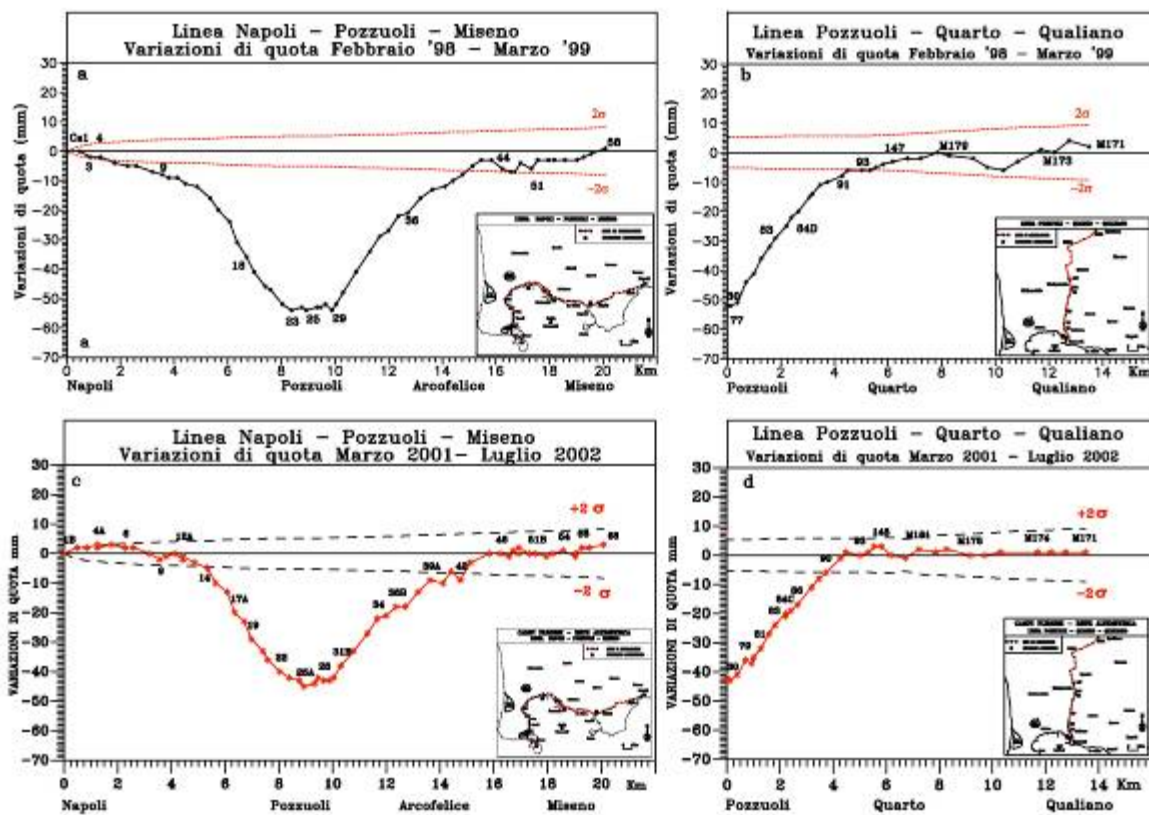


Figura 53. Variazioni di quota lungo la linea costiera da Napoli a Miseno e lungo la direttrice NS da Pozzuoli a Quarto. In queste figure, riportate come esempio, è ben evidenziato il classico andamento a campana del campo di spostamento verticale in fase di significativa subsidenza.

Complessivamente, nel periodo Maggio - Novembre 2004, l'area flegrea ha mostrato ancora una subsidenza, ai limiti della significatività, lungo tutto il settore ad Ovest di Bagnoli con due picchi di abbassamento, estremamente localizzati, rispettivamente di -10 mm sulla linea "Napoli - Pozzuoli Solfatarà - Averno" al CS 64 ed al CS 65 e di -8 mm al CS 24 ed al CS 25A lungo la linea di costa (Fig. 54-55).

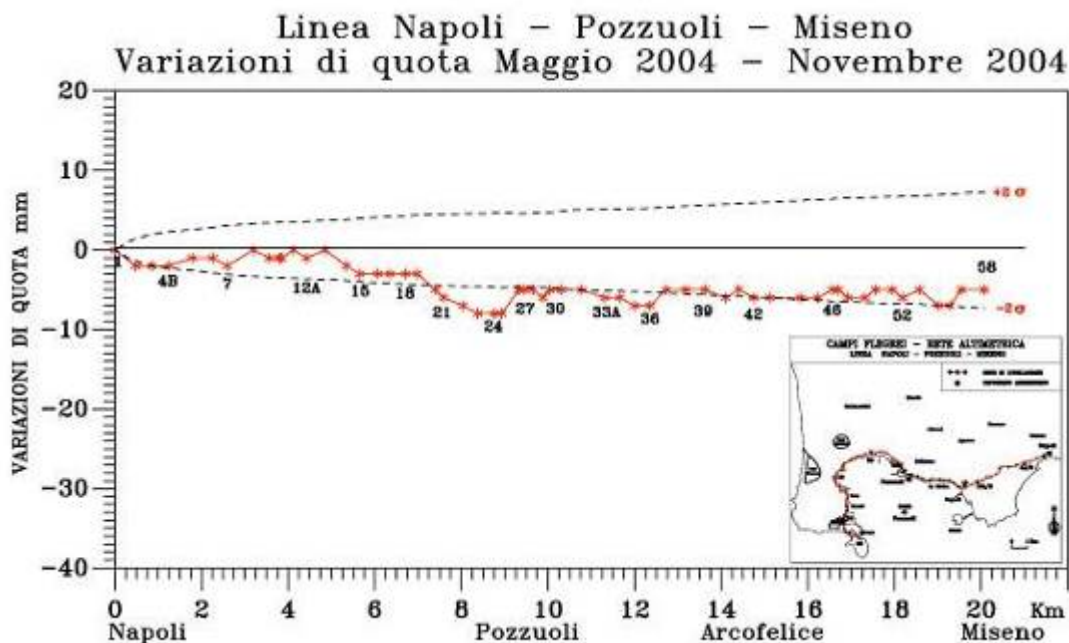


Figura 54. Variazioni di quota Maggio-Novembre 2004. Si evidenzia l'andamento "anomalo" della deformazione ad ovest di Napoli Bagnoli.

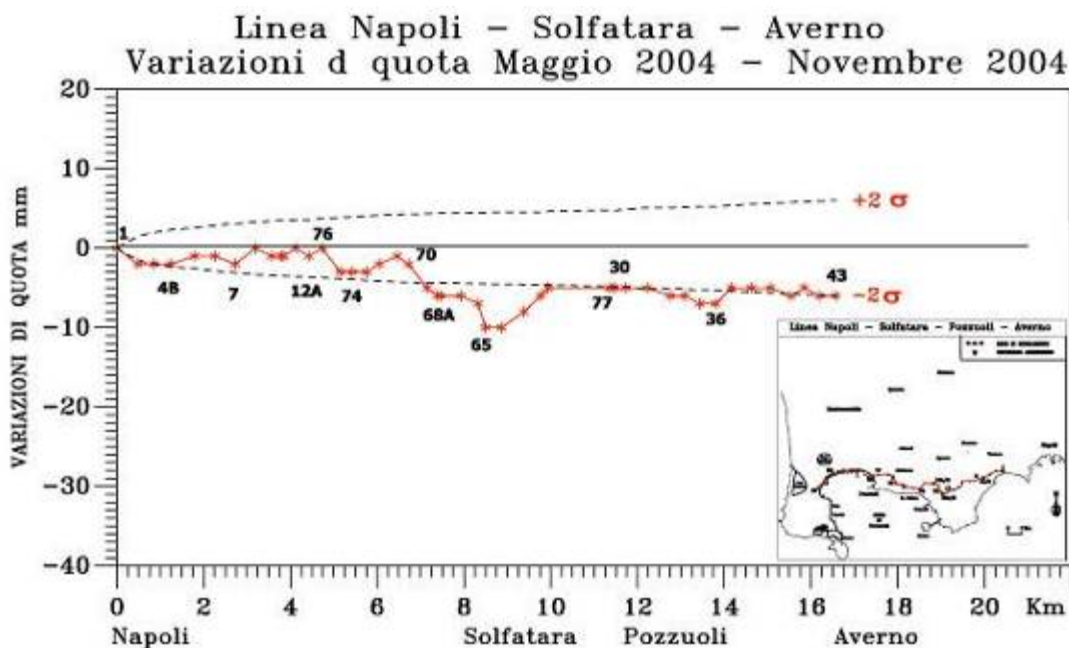


Figura 55. Variazioni di quota Maggio-Novembre 2004. Lungo questo profilo si evidenzia il picco di abbassamento riscontrato in corrispondenza dei CS 64 e 65 localizzati nei pressi della Solfatarà.

Anche le stazioni tiltmetriche installate ai Campi Flegrei hanno registrato il rallentamento della subsidenza nell'area in termini di diminuzione della velocità di inclinazione del suolo in direzione S. La stazione DMB (situata a circa 2 km dall'area di massima deformazione verticale), ha registrato inoltre un'inversione in direzione N anche se di piccola entità ($3 \mu\text{radianti}$) a partire dal secondo semestre 2004 (Rend. Att. Sorveglianza INGV-OV 2004). A Maggio 2005, in seguito ad una nuova inversione del segnale tiltmetrico registrato alla stazione DMB si è ritenuto opportuno eseguire una serie di misurazioni altimetriche lungo il circuito chiuso che, partendo dal CS 4B (Napoli Galleria 4 Giornate), prosegue lungo la linea costiera, collega il CS 30 (Pozzuoli Serapeo) e si ricongiunge al CS 4B seguendo la linea denominata "Solfatara" (Fig. 49)⁵ (Del Gaudio et al., 2005). Le misure di Maggio 2005 confrontate con quelle di Novembre 2004 hanno confermato i dati registrati dalla rete tiltmetrica flegrea, evidenziando che nell'area era in atto una fase di sollevamento del suolo con valori statisticamente significativi, sia lungo parte della linea "Costiera" che della linea "Solfatara". Il valore massimo di sollevamento risultava al CS n. 24 con +11 mm (Fig. 56).

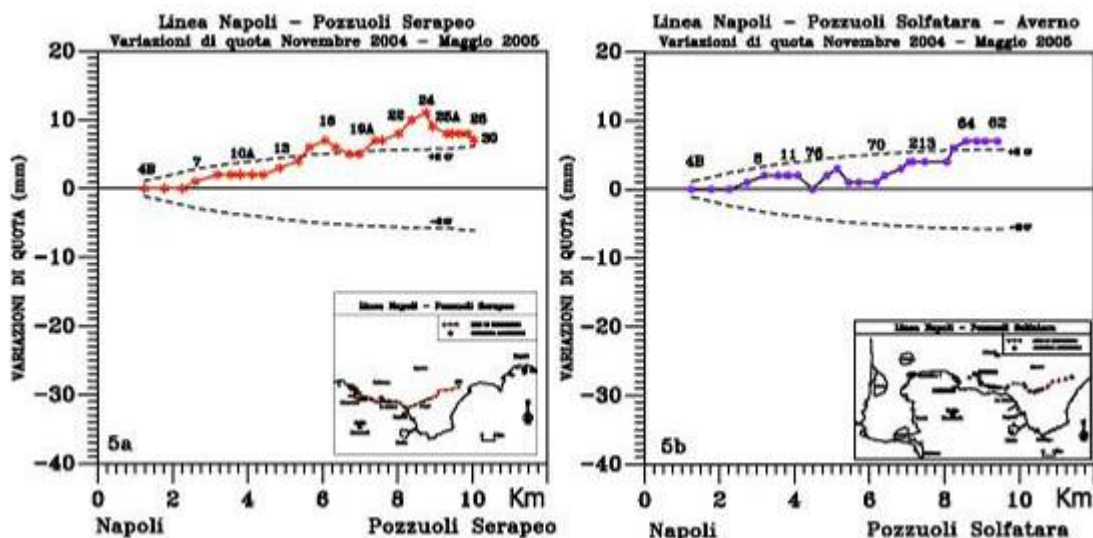


Figura 56. Variazioni di quota Novembre 2004 – Maggio 2005 lungo la linea "Costiera" (a) e la linea "Solfatara" (b). E' evidente la fase iniziale di sollevamento dell'area che mostra due picchi significativi lungo la linea di costa (a), di cui uno nell'area di Napoli Bagnoli compresa tra il CS 14 ed il CS 17 ed un'altra nell'area di max deformazione (CS 23, 24 e 25A).

La campagna di misure del Maggio 2005, pur avendo interessato un tratto limitato della rete, ha fornito importanti informazioni sulla ripresa del sollevamento del suolo; ad Ottobre dello stesso anno è stata eseguita una nuova serie di misure al fine di integrare i dati rilevati dalle reti di monitoraggio. Anche le misurazioni di Ottobre 2005 sono state eseguite su un tratto parziale della rete flegrea di circa 54 chilometri comprendente tre circuiti chiusi e varie appendici di collegamento

⁵ Circa sei mesi dopo la campagna di livellazione che interessa l'intera rete, si esegue una serie di misurazioni lungo un tratto parziale della linea costiera compreso tra Napoli Fuorigrotta (CS 4/B galleria 4 Giornate) e Pozzuoli Via Miliscola (CS 32), lungo la linea denominata "Solfatara" e su un tratto della linea Pozzuoli – Quarto dal CS n. 30 (Pozzuoli Serapeo) al CS 82A/B (Pozzuoli Via Campana (stazioni tiltmetriche). Il CS 4B, di norma è utilizzato come riferimento relativo nel calcolo delle quote compensate, quando vengono eseguite misurazioni lungo parte della rete altimetrica. Questo caposaldo, infatti, è sufficientemente rappresentativo in quanto il valore della componente verticale del campo di deformazione dell'area in cui è localizzato, è circa il 3% di quello calcolato in corrispondenza dei capisaldi localizzati nell'area di massima deformazione verticale. (CS 24-25A-60).

(Fig. 49). I dati discreti ottenuti hanno mostrato una sostanziale stasi del fenomeno nel periodo Maggio – Ottobre 2005 (Fig. 57) confermando quindi il sollevamento del suolo misurato nella precedente campagna.

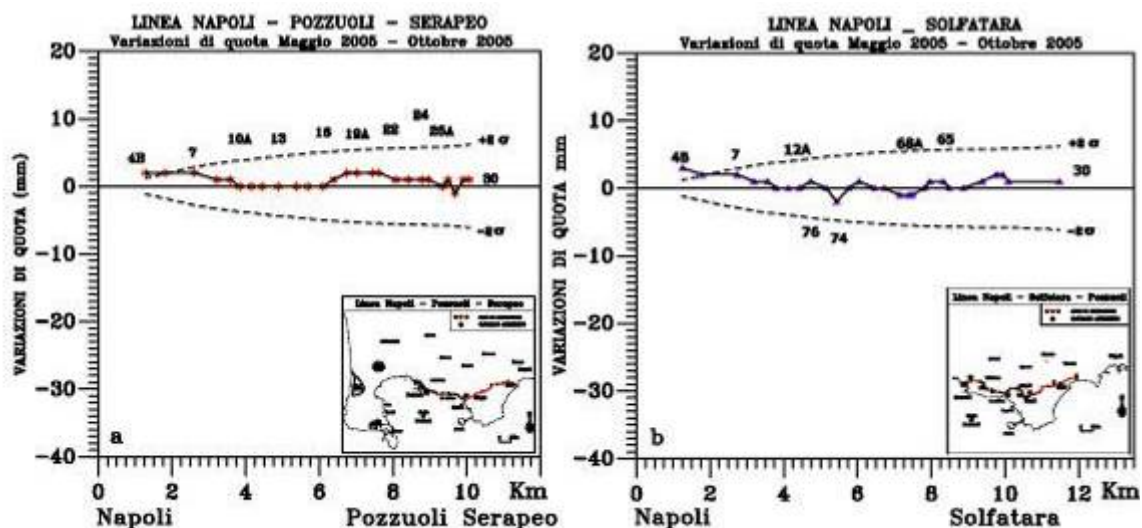


Figura 57. Variazioni di quota Maggio – Ottobre 2005 lungo la linea “Costiera” (a) e la linea “Solfatara” (b). Nel periodo considerato è evidente un rallentamento della fase di sollevamento del suolo nell’area.

Inoltre il confronto Novembre 2004 - Ottobre 2005, ha mostrato che la fase di sollevamento interessava gran parte della linea “Costiera” con un’anomalia in corrispondenza dei capisaldi numerati da 39 a 43, localizzati nell’area compresa fra Arcofelice e Punta Epitaffio (Fig. 47-49, Fig. 58).

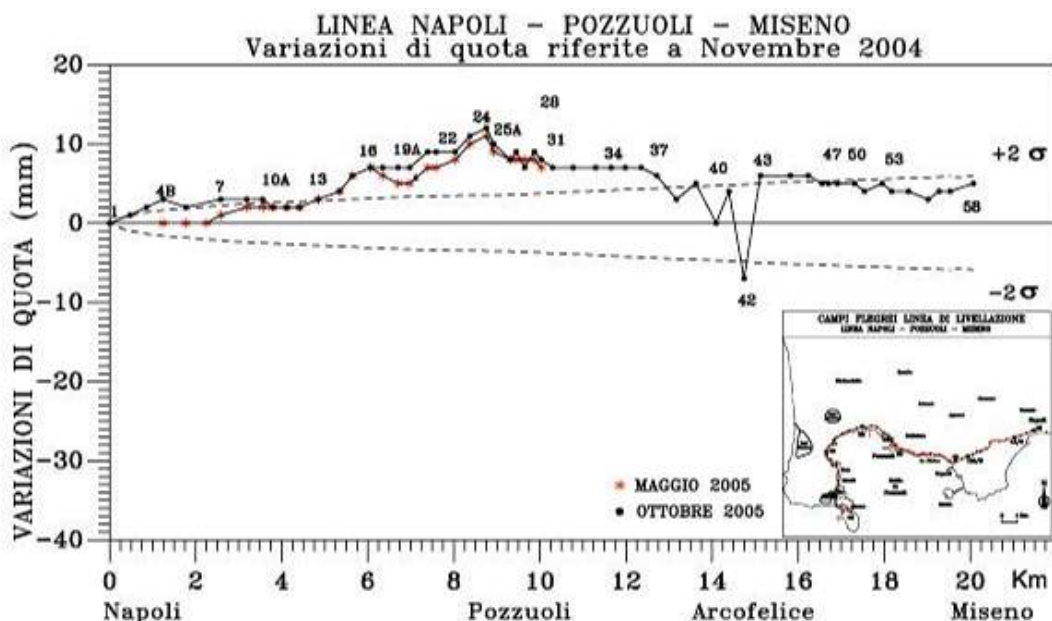


Figura 58. Variazioni di quota rilevate a Maggio 2005 e ad Ottobre 2005 con riferimento Novembre 2004 lungo la linea “Costiera”. Nel periodo Maggio-Ottobre non si nota un incremento nella fase di sollevamento del suolo.

Alla fine del 2005 le stazioni GPS in continuo localizzate in prossimità dell'area di massima deformazione verticale (Rione Terra e Accademia Aeronautica), hanno mostrato una accelerazione della fase di sollevamento con velocità intorno ai 2.5 mm/mese. Poiché tale fase è proseguita anche nei primi mesi del 2006, nel periodo fra fine Febbraio e Marzo è stata eseguita una nuova campagna di livellazione parziale (Fig. 50). I risultati delle misurazioni, realizzate a carico del progetto "Piattaforme Evolute di Telecomunicazioni e di Information Tecnology per Offrire Servizi al settore Ambiente" (PETIT-OSA), sono state oggetto di un open file report e di una relazione consegnata al Direttore della Sezione OV-INGV in Aprile c.a. (Pingue et al. 2006). I dati rilevati a Marzo 2006, confrontati con quelli di Ottobre 2005, hanno confermato sia il perdurare del sollevamento che l'incremento della velocità di deformazione suolo nell'area flegrea (Fig. 61-60).

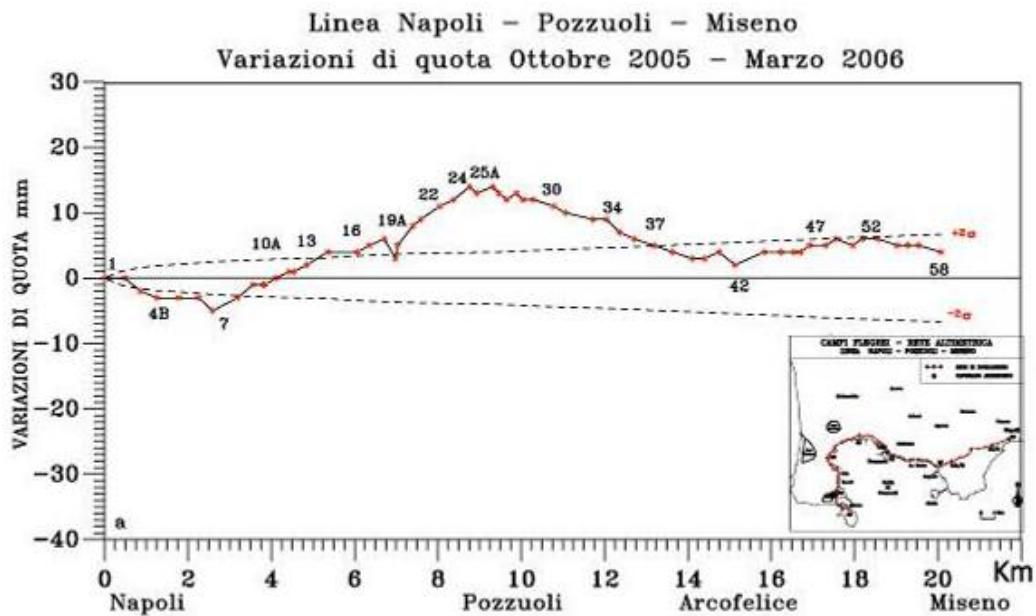


Figura 59. Variazioni di quota nel periodo Ottobre 2005 - Marzo 2006 lungo la linea "Costiera".

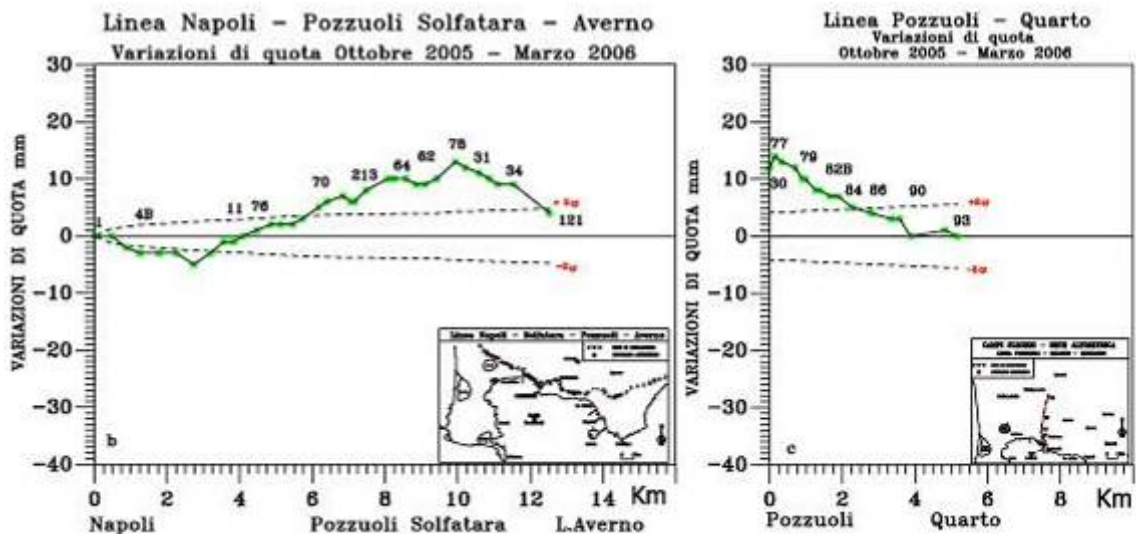


Figura 60. Variazioni di quota nel periodo Ottobre 2005 - Marzo 2006 lungo le linee "Napoli - Solfatara - Averno" (E-W) e "Pozzuoli - Quarto" (S-N).

Il valore massimo del sollevamento da Ottobre 2005 è risultato di 14 mm ai CS 24, 26 e 77 (localizzati in prossimità del Rione Terra). Complessivamente da Novembre 2004 a Marzo 2006, l'area flegrea mostra un sollevamento massimo di +26 mm. (Fig. 61-62) in corrispondenza del CS 24 (Pozzuoli Lungomare S. Pertini). I dati di Marzo 2006 mettono in evidenza che anche l'area ad Ovest di Pozzuoli, in subsidenza fino al Novembre 2004, è stata interessata da una significativa fase di sollevamento la cui geometria sta lentamente assumendo il classico andamento a campana. Resta ancora l'andamento anomalo nell'area di Punta Epitaffio dal CS 40 al CS 43 ed un'anomalia molto localizzata nella zona di La Pietra ai CS 19A e 19B.

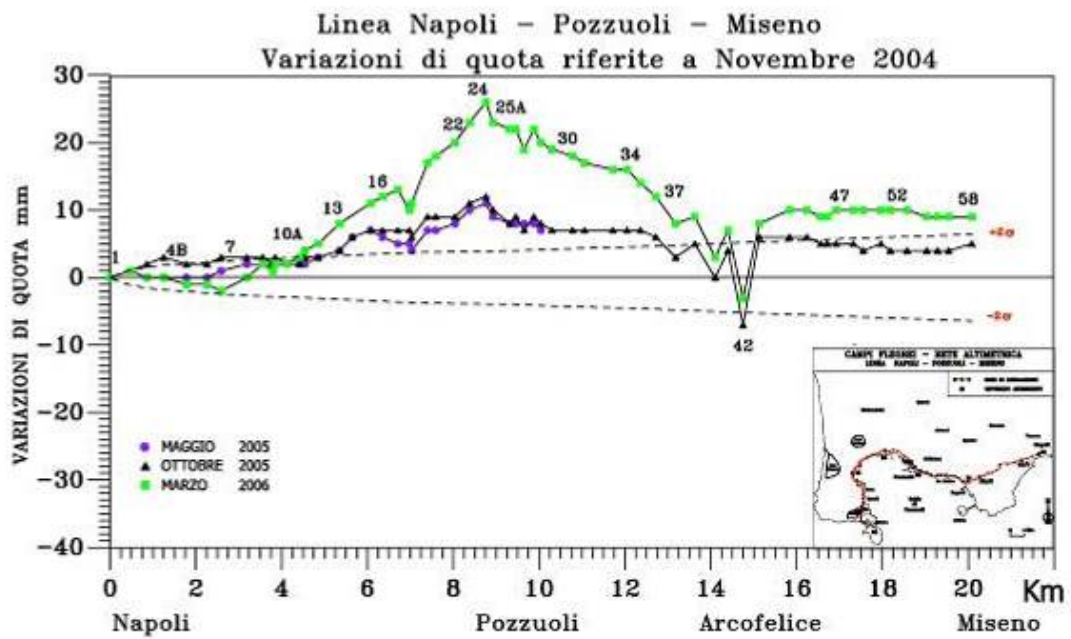


Figura 61. Variazioni di quota riferite a Novembre 2004 lungo la linea: "Napoli-Pozzuoli-Miseno".

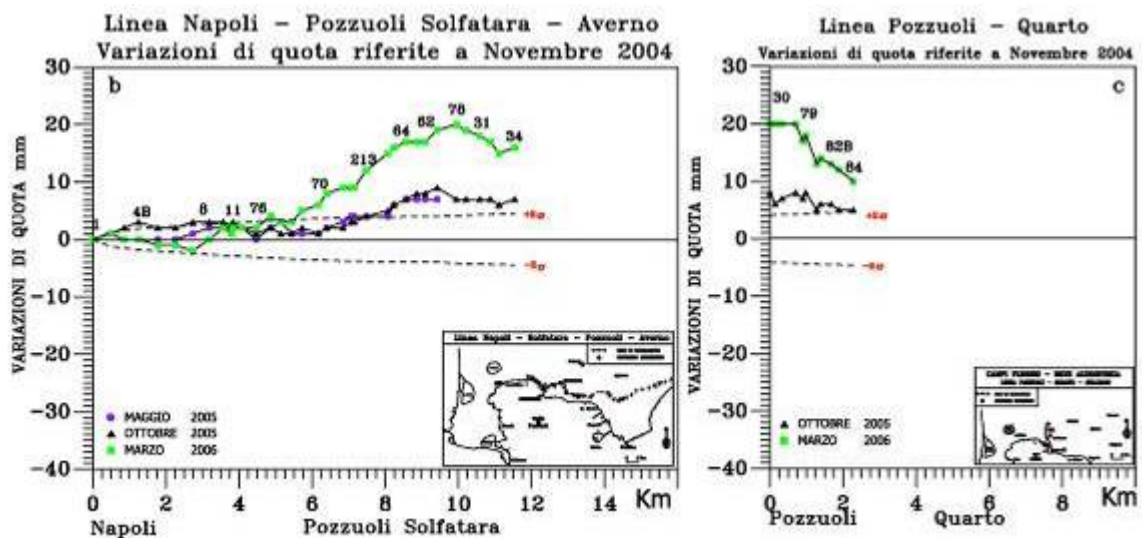


Figura 62. Variazioni di quota riferite a Novembre 2004 lungo la linea E-W "Napoli - Solfatara - Averno" (sinistra) e lungo la linea N-S "Pozzuoli - Quarto" (destra).

Conclusioni

Da Gennaio 1985, quando si concluse la crisi bradisismica durata tre anni (1982-1984), l'area flegrea è stata interessata da una fase di abbassamento, interrotta all'inizio della Primavera del 1989 (Luongo G. et al. 1989; Ricco C. et al. 1991), nell'Agosto del 1994 (Ricco C. et al. 1994; Civetta L. et al. 1995) e durante la Primavera-Estate del 2000 (Berardino P. et al. 2002; Lanari R. et al. 2004; Borgström S. et al. 2006), da brevi fasi di sollevamento (durate da 3 a 5 mesi) caratterizzate da notevole velocità, come evidenziato nel grafico di Fig. 63. Le fasi iniziali dei tre eventi sono state inizialmente individuate dall'analisi dei segnali tiltmetrici e successivamente confermate dall'integrazione con i dati dei numerosi rilievi altimetrici eseguiti nell'area.

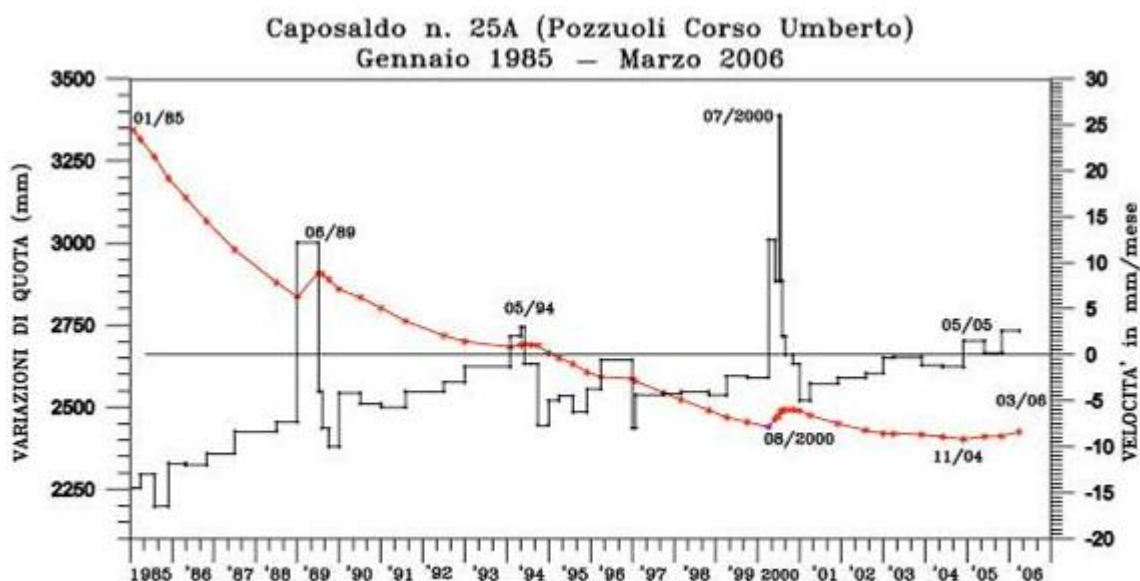


Figura 63. Variazioni di quota (in rosso) calcolate al CS 25A: si riconoscono le varie fasi di inversioni del moto del suolo avvenute dal 1989 al 2006. In colore nero è riportata la velocità del suolo calcolata su base mensile.

Ogni sollevamento è stato sempre seguito da un incremento della velocità di abbassamento (con crescita del tasso di subsidenza) seguito da una decelerazione.

In particolare, dopo il 2000 la fase di subsidenza è ripresa con velocità di circa 5 mm/mese che poi è diminuita fino a raggiungere valori comparabili alla fase precedente il sollevamento. Durante il 2003 la velocità di abbassamento è ancora diminuita raggiungendo valori prossimi allo zero e nei primi mesi del 2004 è aumentata per poi diminuire nel 2005 fino a mostrare valori positivi.

Dall'inizio dell'estate del 2004 è iniziata dunque una nuova fase di sollevamento, anche se con caratteristiche sensibilmente diverse da quelle relative alle crisi avvenute dopo il 1985. Tra piccole accelerazioni e stasi del fenomeno, il sollevamento prosegue da due anni e (almeno fino all'ultimo rilievo altimetrico) le velocità del moto del suolo risultano sensibilmente inferiori a quelle registrate durante le altre crisi (Fig. 63 e 64).

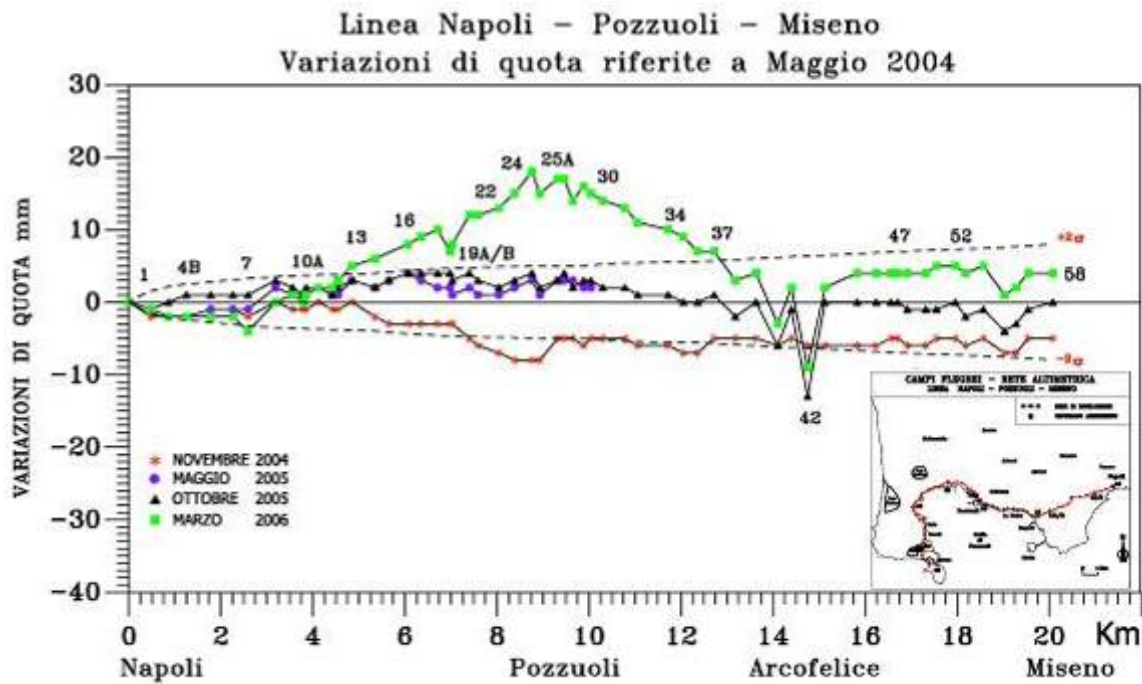


Figura 64. Variazioni di quota da Maggio 2004 a Marzo 2006 lungo la linea: "Napoli-Pozzuoli-Miseno".

L'attuale fenomeno è stato caratterizzato fino ad Ottobre 2005 da un pattern di deformazione diverso rispetto a quello passato che invece dagli ultimi dati rilevati a Marzo 2006 sembra ricondursi alla classica forma a campana (Fig. 64).

Di fondamentale importanza sarà il monitoraggio della deformazione del suolo nei prossimi mesi. Lo studio integrato delle varie metodologie di sorveglianza potrà fornire importanti informazioni sull'evoluzione del fenomeno in atto che sembra presentare caratteristiche simili a quelle degli eventi di sollevamento avvenuti dal 1975 al 1981, successivi alla fase di parziale recupero della deformazione avvenuta durante la crisi del 1969-1972 (sollevamento di 1.77 m) (Corrado G. et al. 1969; Corrado et al. 1977; Orsi et al. 1999).

Bibliografia

- Berardino P., Borgström S., Cecere G., Del Gaudio C., De Martino P., Fornaro G., Lanari R., Ricciardi G.P., Ricco C., Sansosti E., Sepe V., Siniscalchi V. "Un approccio multimetodologico per il controllo delle deformazioni nell'area flegrea". Atti della 6° Conferenza Nazionale dell'ASITA, Perugia 5-8 Novembre 2002, 1: 409-416.
- Berrino, G., Corrado, G., Luongo, G., Toro, B., (1984). Ground deformation and gravity changes accompanying the Pozzuoli uplift. Bulletin Volcanologique 47, 187-200.
- Borgström S., Aquino I., Del Gaudio C., De Martino P., Ricco C., Siniscalchi V., Solaro G., Tizzani P., Ricciardi G.P. "A new approach for ground deformation monitoring in volcanic areas: the case of the Phlegrean Fields (Naples, Italy)". Atti del 3° Workshop AIT sul Telerilevamento a Microonde, Napoli 25-26 Novembre 2004, Volume Speciale della Rivista Italiana di Telerilevamento, 2006, 35: 7-19.
- Corrado, G., Palumbo, A., (1969) Osservazioni sul bradisismo flegreo. Boll. Soc. Nat., Napoli 78, 11-16

- Corrado, G., Guerra, I., Lo Bascio, A., Luongo, G., Rampoldi, F., 1977. Inflation and microearthquake activity of Phlegraean Fields, Italy. *Bull. Volcanol.* 40 (3), 169-188.
- Civetta, L. et al. (1995). *La Sorveglianza delle Aree Vulcaniche Napoletane (1995)*. Pubblicazione Osservatorio Vesuviano Settembre 1995.
- Del Gaudio C., Ricco C., Aquino I., Brandi G., Serio C., Siniscalchi V. (2005). Misure di livellazione di precisione e dati tiltmetrici per il controllo delle deformazioni del suolo ai Campi Flegrei. *Open File Report Osservatorio Vesuviano*, n. 4.
- Gaeta F. S., Peluso F., Arienzo I., Castagnolo D., De Natale G., Milano G., Albanese C., Mita D. G. (2003). A physical appraisal of a new aspect of bradyseism: The miniuplifts. *Journal of Geophysical Research*, 108, 20921-20933, doi:10.1029/2002JB001913.
- Lanari R., Berardino P., Borgstrom S., Del Gaudio C., De Martino P., Fornaro G., Guarino S., Ricciardi G. P., Sansosti E., Lundgren P. (2004). The use of IFSAR and classical geodetic techniques in civil protection scenarios: application to the Campi Flegrei uplift event of 2000. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 133, 247-260.
- Luongo G., Del Gaudio C., Obrizzo F. & Ricco C. (1989). Deformazione del suolo dell'area flegrea durante la fase di bradisismo discendente 1985-1989. *Boll. GNV*, 1:327-343.
- Orsi G., Civetta L., Del Gaudio, C., de Vita, S., Di Vito, M.A., Isaia R., Petrazzuoli, S.M., Ricciardi, G. & Ricco, C. (1999). Short-term ground deformations and seismicity in the resurgent Campi Flegrei caldera (Italy): an example of active block-resurgence in a densely populated area. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, Special Issue "Volcanism in the Campi Flegrei" Orsi G., Civetta L., Valentine G.A. (Eds), 91 (2-4): 415-451.
- Ricco C., Del Gaudio C., Obrizzo F. & Luongo G. (1991). Misurazioni delle variazioni delle inclinazioni del suolo ai Campi Flegrei. *Atti 10° Convegno GNGTS, Roma*, II:1003-1012.
- Ricco C., Del Gaudio C., Ricciardi G.P. & Civetta L. (1994). *Rapporto sulla crisi bradisismica del 23-26 Agosto 1994*. Technical Report Oss. Vesuviano, settembre 1994.
- Ricco C., Aquino I., Del Gaudio C. (2003). Ground tilt monitoring at Phlegraean Fields (Italy): a methodological approach. *Ann. of Geophys.*, 46 (6): 1297-1314.

RETE GPS DELL'AREA VULCANICA NAPOLETANA⁶

La rete GPS permanente (CGPS) dell'area vulcanica napoletana è composta da 22 stazioni (Fig. 65) di cui 3 installate sull'isola d'Ischia, 1 sull'isola di Procida, 9 nell'area flegrea, 7 in quella vesuviana, 1 sulla Penisola Sorrentina ed una (PACA) installata sul bordo nord-orientale del Graben campano. In Tab. 15 è riportato l'elenco dei siti della rete CGPS con l'indicazione del tipo di ricevitore ed antenna installati.

I ricevitori GPS sono impostati per l'acquisizione in locale di file giornalieri con intervallo di campionamento di 30 secondi ed angolo di cut-off di 15 gradi. Tutte le stazioni sono provviste di collegamento tramite linea telefonica (PSTN o GSM) per la gestione remota delle stesse e le procedure automatiche di scarico dei dati tramite il software GeoGloSS.

Le stazioni hanno due sistemi di alimentazione: quello principale costituito dalla linea elettrica o da pannelli solari (sito BKE1) e quello secondario, consistente in una batteria ed un caricabatteria, che garantisce continuità di funzionamento in caso di black out elettrico.

⁶ A cura di: U. Tammaro, P. De Martino, G. Brandi, A. D'Alessandro, M. Dolce, S. Malaspina, F. Obrizzo, F. Pingue, C. Serio

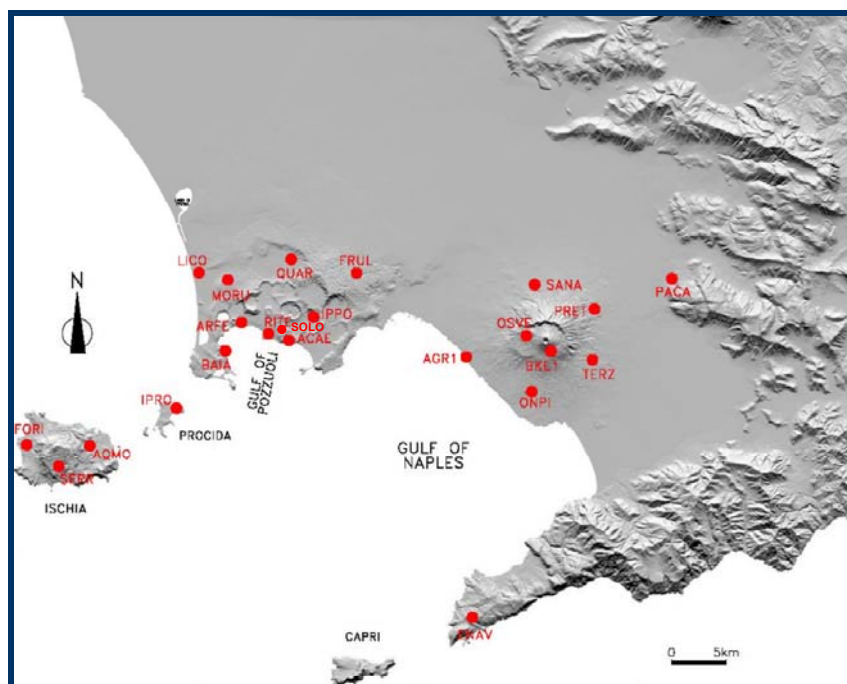


Figura 65. Rete GPS permanente (CGPS) dell'area vulcanica napoletana (giugno 2006).

Tabella 15. Elenco dei siti della rete CGPS e strumentazione installata.

Sito	Ricevitore	Antenna
ACAE	Trimble 4000SSI	TRM29659.00
AGR1	Leica RS500	LEIAT504 con Radome
AQMO	Trimble 4000SSI	TRM33429.00+GP
ARFE	Leica RS500	LEIAT504 con Radome
BAIA	Trimble 4000SSI	TRM29659.00
BKE1	Leica RS500	LEIAT504 con Radome
ENAV	Leica RS500	LEIAT504 con Radome
FORI	Trimble 4000SSI	TRM29659.00
IPPO	Trimble 4000SSI	TRM29659.00
IPRO	Leica RS500	LEIAT504 con Radome
LICO	Leica RS500	LEIAT504 con Radome
MORU	Trimble 4000SSI	TRM29659.00
ONPI	Leica RS500	LEIAT504 con Radome
OSVE	LeicaRS500	LEIAT504 con Radome
PACA	Leica SR520	LEIAT504
PRET	Leica RS500	LEIAT504 con Radome
QUAR	Trimble 4000SSI	TRM29659.00
RITE	Trimble 4000SSI	TRM29659.00
SERR	Leica RS500	LEIAT504 con Radome
SOLO	Leica RS500	LEIAT504 con Radome
SANA	Leica RS500	LEIAT504 con Radome
TERZ	Leica RS500	LEIAT504 con Radome

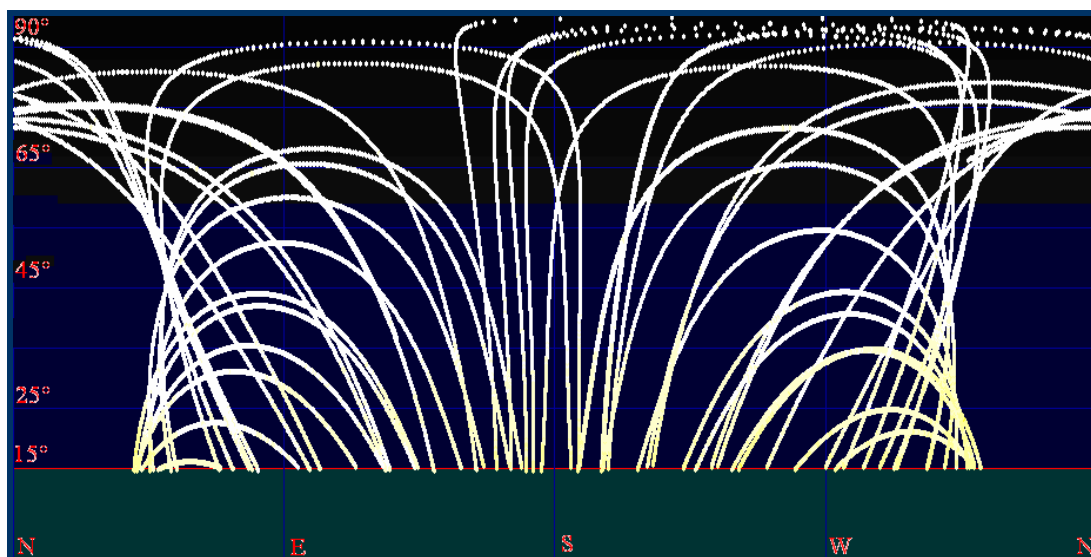


Figura 66. Rapporto segnale rumore della frequenza L1 per la stazione SOLO. Sulle ascisse sono riportati gli azimut e sulle ordinate gli angoli di elevazione.

Analisi di qualità dei dati

Successivamente allo scarico automatico dei dati raw vengono avviate procedure automatiche per la creazione dei file rinex e il controllo di qualità dei dati. A tale scopo si impiega il software TEQC dell'UNAVCO, il modulo DQE (Data Quality Evaluation) del software NDA (Network Deformation Analysis) ed il software SETA, messo a punto all'interno del gruppo che cura la manutenzione e lo sviluppo della rete CGPS e l'elaborazione dei relativi dati. L'analisi di qualità sui dati della rete è effettuata seguendo nel tempo, anche per classi di elevazione, l'andamento di alcuni parametri, come il rapporto osservati/attesi, il multipath su entrambe le frequenze e il numero di salti di ciclo. Come esempio delle analisi effettuate, in Tab. 16 sono mostrati i valori medi della percentuale di dati osservati rispetto a quelli attesi nel periodo che va dalla prima installazione della stazione al 30 giugno 2006 e nel primo semestre di questo anno. Come si evince dalla tabella le medie semestrali sono praticamente coincidenti con quelle relative all'intero periodo di funzionamento della stazione, confermando la costanza del buon livello di acquisizione nel tempo. Fa eccezione la stazione FORI che presenta una significativa differenza fra le due medie, dovuta ai numerosi interventi tecnici effettuati nel corso del 2005 per migliorare la qualità e la quantità dei dati acquisiti, che hanno causato però delle interruzioni nell'acquisizione.

Tabella 16. Valori medi della percentuale di dati acquisiti rispetto a quelli attesi. Per la stazione SOLO si rimanda alla Tab. 2 di pag. 179.

Sito	Intero periodo di funzionamento	I semestre 2006
ACAE	98.64	98.66
AGR1	97.29	97.05
AQMO	98.01	98.37
ARFE	99.32	99.33
BAIA	98.62	98.54

BKE1	92.63	92.55
ENAV	96.36	96.67
FORI	92.85	98.63
IPPO	98.48	98.35
IPRO	99.29	99.31
LICO	99.27	99.24
MORU	97.65	97.72
ONPI	98.20	97.78
OSVE	99.19	99.21
PACA	99.22	99.26
PRET	99.15	99.27
QUAR	98.68	98.67
RITE	98.62	98.58
SERR	99.30	99.33
SANA	99.03	99.07
TERZ	91.14	91.86

Elaborazione dati

L'elaborazione dei dati GPS è effettuata impiegando due procedure automatizzate, una basata sul software Bernese v. 4.2 e l'altra sul software NDA (Network Deformation Analysis). I principali parametri di elaborazione utilizzati dal software Bernese sono quelli tipici per l'elaborazione di reti locali e sono riassunti in Tab. 17.

Tabella 17. Principali parametri di processamento utilizzati nell'elaborazione dei dati GPS con il software Bernese v. 4.2.

Orbite e file ERP	Orbite Broadcast e file BULLET_A.ERP
Centro di fase delle antenne	File di calibrazione PHAS_IGS.01 e NGS
Reference Frame	WGS84
Angolo di cut-off	15 gradi con elevation dependent weighting (cosz)
Sampling rate	30 secondi
Baseline indipendenti	SHORTEST – Distanza minima tra le stazioni
Risoluzione Ambiguità	Strategia QIF
Soluzione finale	L3 fixed
Ionosfera	Eliminata usando la combinazione L3
Troposfera	Parametri TZD stimati ogni 2h con la funzione mappante "dry Niell" e senza modello a priori

La soluzione finale giornaliera viene ottenuta in modalità multibase vincolando fortemente (al livello di 0,1 mm) le coordinate di una stazione. Come stazioni di riferimento sono state scelte QUAR per l'area flegrea, ischitana e procidana, mentre per l'area vesuviana la stazione ENAV e/o PACA. La stabilità nel tempo delle stazioni di riferimento viene continuamente monitorata tramite un'elaborazione con stazioni esterne (CAGL, MATE, MEDI, NOT1) della rete IGS e/o EUREF ed inquadramento nel sistema ITRF00. La seconda procedura automatica di elaborazione, basata sul software NDA, effettua elaborazioni giornaliere per singola baseline rispetto ad una stazione di

riferimento. In Tab. 18 sono elencati i principali parametri di calcolo utilizzati dal software NDA. I risultati delle due diverse procedure di elaborazione, come già evidenziato nei precedenti rapporti, sono coerenti tra loro, data anche la dimensione locale della rete. I risultati ottenuti con il software Bernese mostrano una minore dispersione, soprattutto in quota, dovuta all'uso di più sofisticate tecniche di modellazione degli effetti troposferici.

Tabella 18. Principali parametri di calcolo utilizzati nell'elaborazione dei dati GPS con il software NDA.

Orbite	Effemeridi Broadcast
Centro di fase delle antenne	File di calibrazione PHAS_IGS.01 e NGS
Reference Frame	WGS84
Angolo di cut-off	15 gradi
Sampling Rate	30 secondi
Baseline indipendenti	Relative a una stazione di riferimento
Risoluzione ambiguità	Strategia Lambda
Soluzione finale	L3 fixed
Ionosfera	Eliminata usando la combinazione L3
Troposfera	Stima del ritardo troposferico allo zenit TZD

Risultati

Vesuvio

I dati della rete relativi all'area vesuviana sono elaborati considerando PACA come stazione di riferimento. Nella Fig. 67 sono riportate le serie temporali, elaborate con il software NDA, delle variazioni giornaliere in Nord, Est ed Up delle coordinate delle stazioni dell'area vesuviana.

La stazione OSVE (Sede Storica dell'Osservatorio Vesuviano) è una delle prime stazioni installate (1998) che, però, nel tempo si è andata sempre più deteriorando a causa di forti interferenze e. m., fino ad essere completamente fermata. Dal 30 luglio 2005 ci si accorse che i disturbi erano drasticamente diminuiti e che l'acquisizione era di nuovo possibile. Dopo 5 mesi di prova la stazione OSVE è stata inserita nella rete e per il prossimo semestre si provvederà ad inserire nelle serie temporali anche i dati del periodo di test. L'analisi dei dati conferma, come già evidenziato nei precedenti rapporti, la presenza di modeste oscillazioni delle componenti Nord, Est ed Up, senza particolari indicazioni di significative fenomenologie in atto a livello del complesso vulcanico. Solo la stazione TERZ sembra presentare nel periodo considerato una modesta subsidenza.

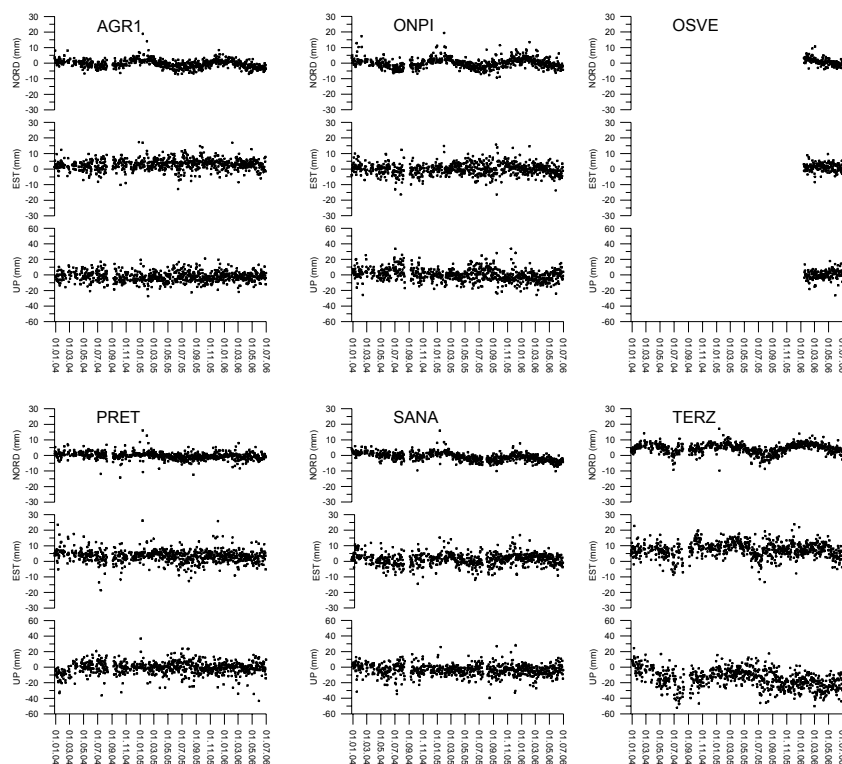


Figura 67. Serie temporali delle variazioni giornaliere in Nord, Est, Up delle coordinate delle stazioni AGR1, ONPI, OSVE, PRET, SANA e TERZ, relativamente a PACA. Per la stazione OSVE si presentano solo i dati relativi al I semestre 2006. Elaborazione con il software NDA.

Campi Flegrei

Dopo il notevole sollevamento avvenuto nel periodo 1982-84 (circa 1.80 m), l'area flegrea è stata interessata da una fase di subsidenza. Tale fase, peraltro interrotta da episodi di "mini-uplift" della durata di qualche mese (l'ultimo dei quali è avvenuto nel 2000), negli ultimi anni si è esaurita ed è iniziata una fase di sollevamento tuttora persistente. In Fig. 68 sono mostrate le serie temporali delle variazioni settimanali delle coordinate delle stazioni permanenti ACAE, ARFE, BAIA e RITE dal 2000 al giugno 2006, relativamente a QUAR. In Fig. 69 sono evidenziate le variazioni occorse nel periodo maggio 2004- giugno 2006, con le barre d'errore $\pm \sigma$. Dalle due figure risulta che da circa ottobre 2004 è iniziata una fase di modesto sollevamento, proseguito per quasi tutto il 2005. Da novembre 2005 circa vi sono evidenze di un aumento della velocità di sollevamento, molto evidente alle stazioni CGPS di RITE, ACAE ed ARFE, con un massimo, a giugno 2006, di circa 2 cm. Va notato che anche le componenti planimetriche delle stazioni presentano un trend simile a quello mostrato dalle stesse nella fase di sollevamento del 2000, con spostamento verso est di ACAE e verso ovest di BAIA ed ARFE.

Ischia

In Fig. 70 sono mostrate le serie temporali delle variazioni giornaliere in Nord, Est ed Up delle coordinate di due stazioni dell'area ischitana (AQMO e SERR) e di quella procidana (IPRO). L'elaborazione è stata effettuata con il software Bernese ver. 4.2, utilizzando QUAR come stazione di riferimento.

Dall'analisi delle serie temporali si evince che il vertice SERR, situato nel settore meridionale dell'isola, mostra un leggero trend in subsidenza ed un lieve spostamento verso nord.

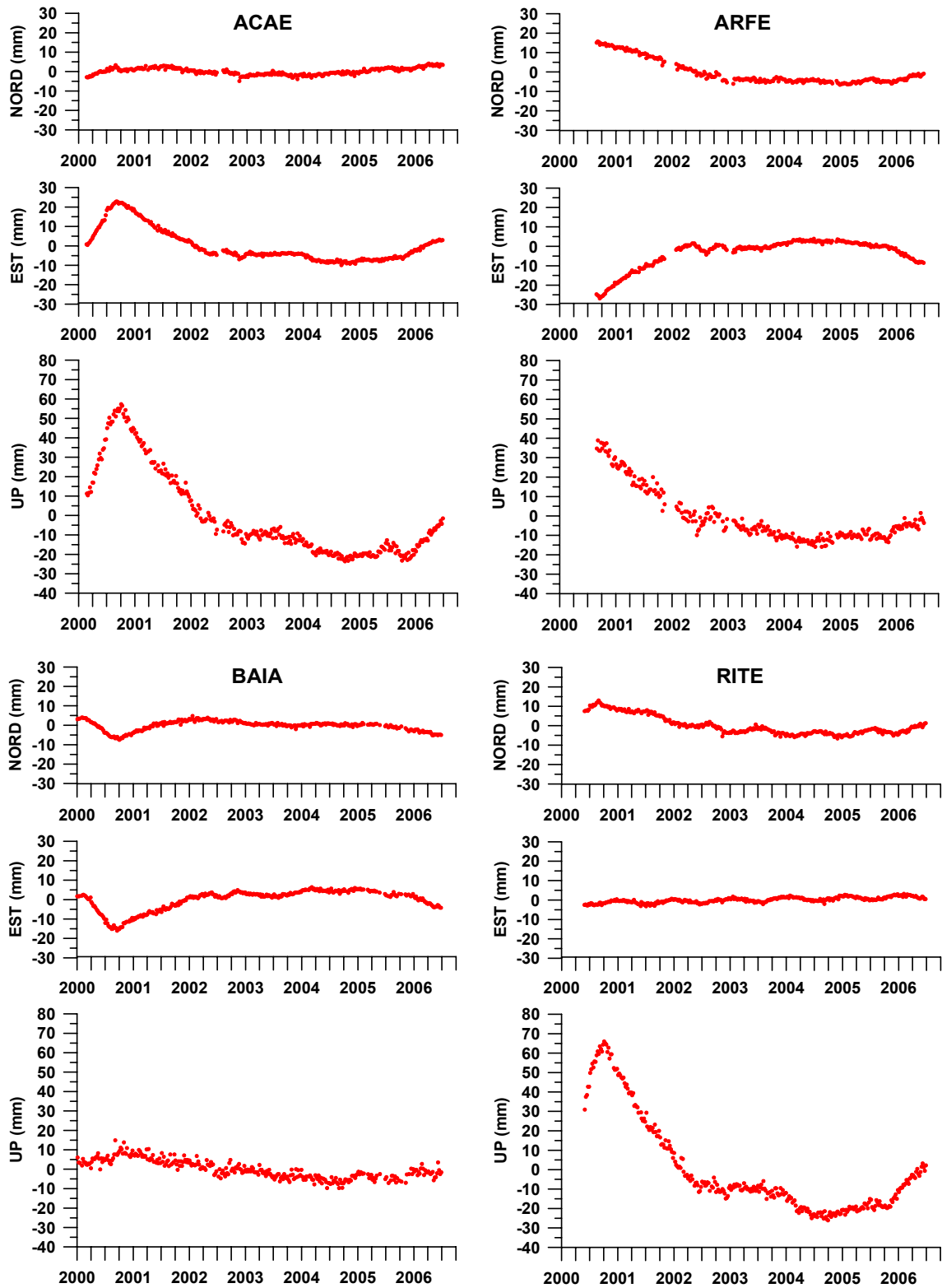


Figura 68. Serie temporali, dal 2000 al giugno 2006, delle variazioni settimanali in Nord, Est, Up delle coordinate delle stazioni di ACAE, ARFE, BAIA e RITE relativamente a QUAR. Elaborazione con il software Bernese v. 4.2.

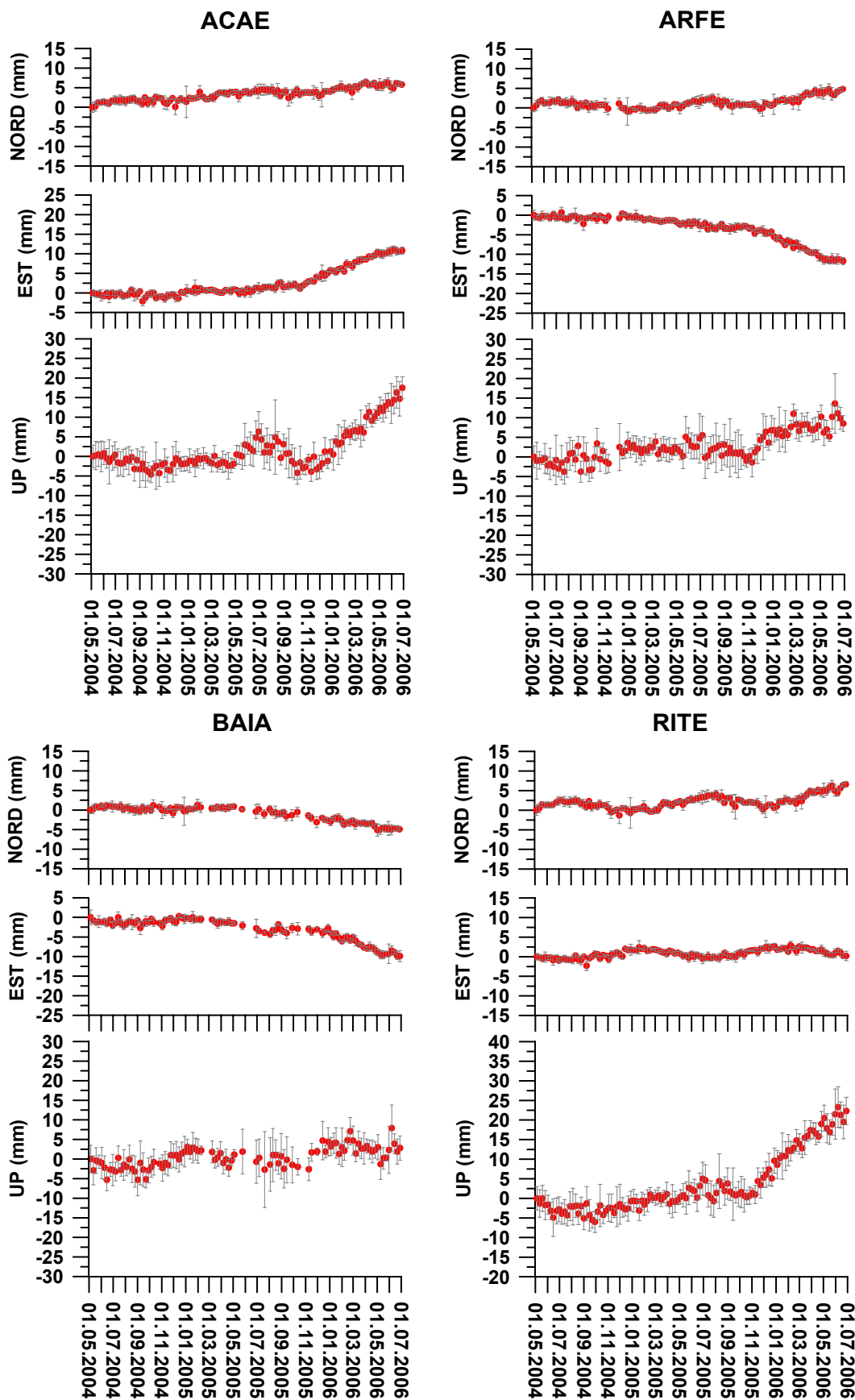


Figura 69. Serie temporali, da maggio 2004 a giugno 2006, delle variazioni settimanali in Nord, Est, Up delle coordinate delle stazioni di ACAE, ARFE, BAIA e RITE relativamente a QUAR. Elaborazione con il software Bernese v. 4.2.

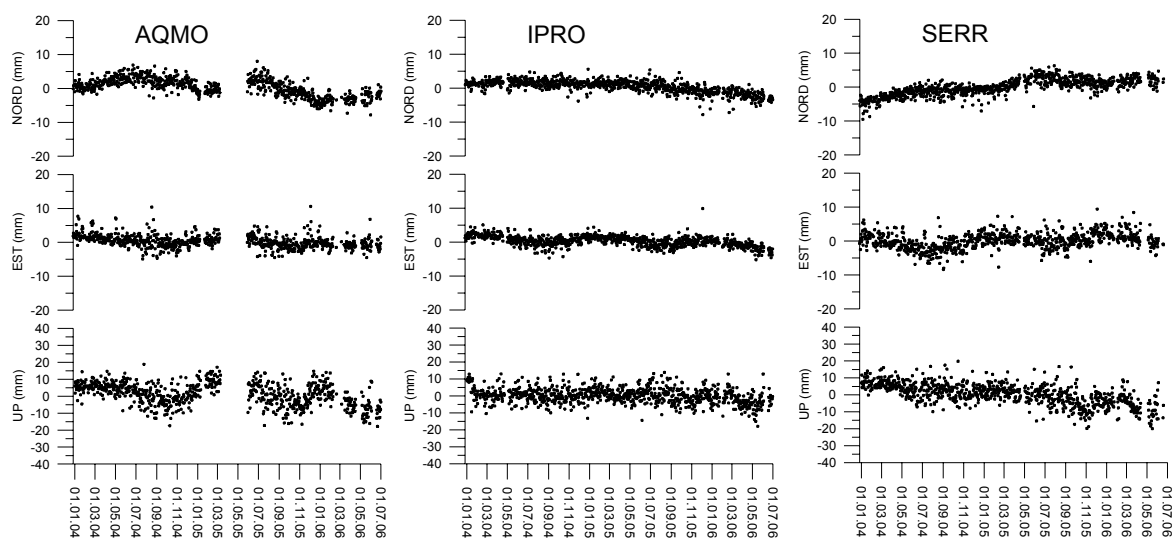


Figura 70. Serie temporali delle variazioni giornaliere in Nord, Est, Up delle coordinate delle stazioni di AQMO, IPRO e SERR relativamente a QUAR. Elaborazione con il software Bernese v. 4.2.

RETE TILTMETRICA⁷

Vesuvio

I segnali acquisiti nel primo semestre 2006 dalla rete tiltmetrica vesuviana, attraverso le tre stazioni in registrazione continua (poste a diverse quote lungo il settore WNW-SSE del M.te Vesuvio) OVO, CMD e TRC ubicate rispettivamente a 2.5 km a WNW, 5 km a SSW e 2.5 km a SSE dal cratere, mostrano poche differenze rispetto a quelli relativi al 2005 e delineano assenza di rilevanti deformazioni del suolo. Solo la componente NS della stazione TRC mostra nel 2006 una contrazione dell'inclinazione verso N a parità di temperatura esterna (Fig. 71). (Confronto tra segnali tiltmetrici totali e termici relativi alle tre stazioni vesuviane OVO, TRC e CMD registrati nel 2006 (in rosso) e nel 2005 (in blu). Per esigenze di visualizzazione è stato imposto un range di 260 μ radianti e 22 °C alle componenti tiltmetriche ed alle relative termiche di TRC e CMD mentre per OVO esso è stato fissato a 90 μ radianti e 3 °C. Valori di tilt crescenti nel tempo indicano sulla componente NS una inclinazione a N e su quella EW una inclinazione ad E). Le direzioni lungo le quali il suolo si inclina preferenzialmente sono rispettivamente NE/SW per la stazione OVO, N/S per TRC e NNE/SSW per CMD ed esse sono dovute essenzialmente alla risposta termoelastica del suolo all'irraggiamento solare su periodo annuale. Gli allineamenti visibili in Fig. 72. (Plot vettoriale del tilt registrato alle stazioni vesuviane. Le curve continue in viola riportate in ogni \square riangoli rappresentano la risultante vettoriale dei singoli segnali registrati e sottoposti a media mobile con periodo di 1 giorno. Ogni quadratino nero della griglia ha per coordinate l'inclinazione totale registrata dalla stazione tiltmetrica ogni 5 giorni; i triangolino blu identificano il primo dato acquisito e l'ultimo mentre la linea in blu rappresenta il vettore totale) sono dunque dovuti a questo campo di deformazione indotto dalla temperatura.

⁷ A cura di: C. Ricco, C. Del Gaudio, I. Equino

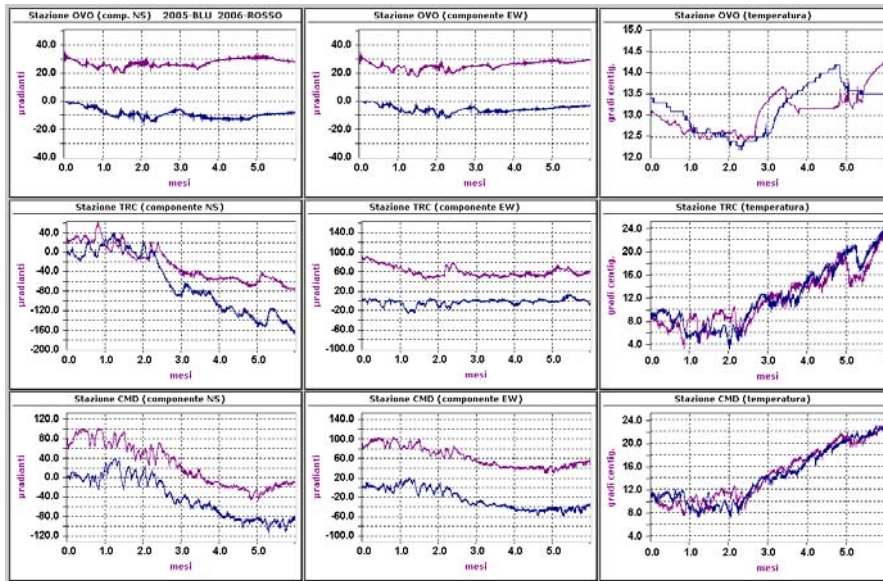


Figura 71.

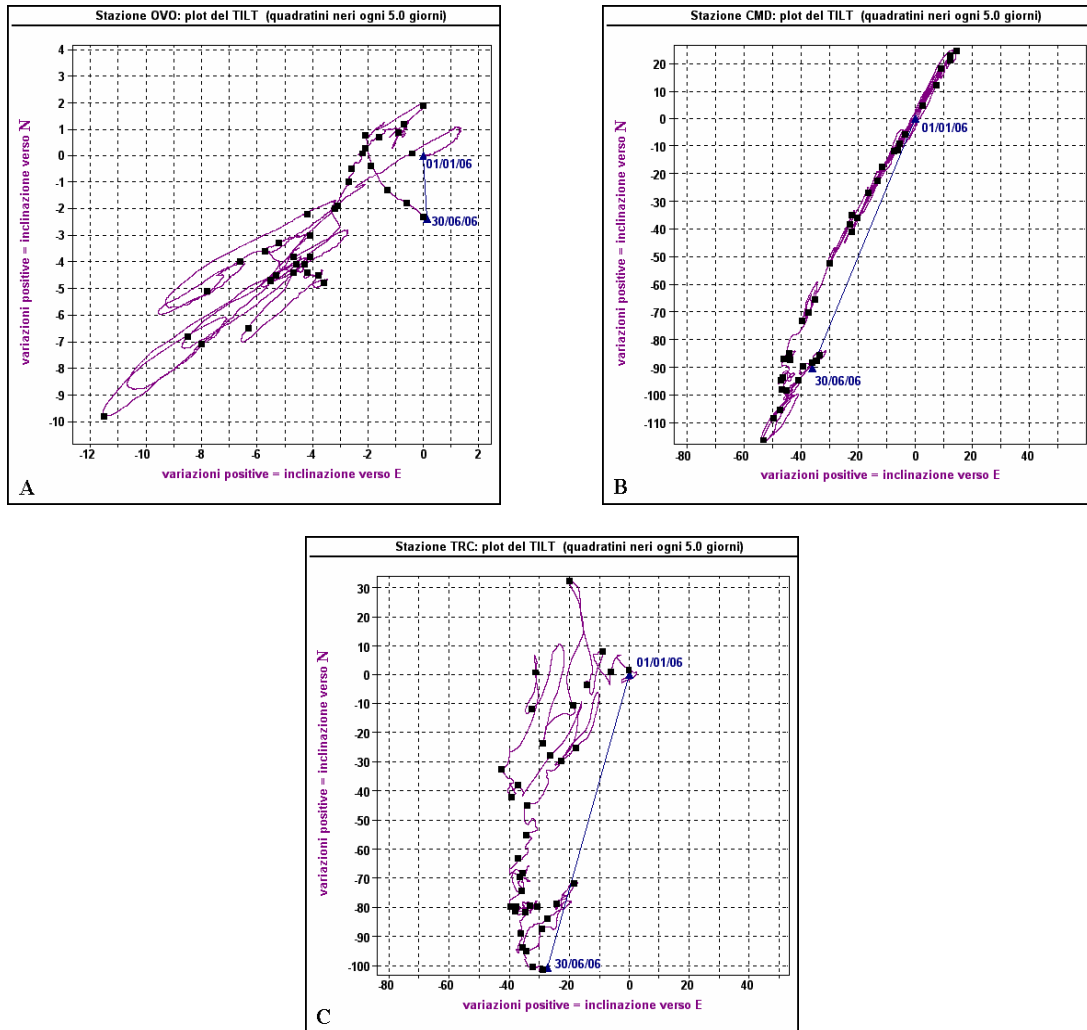


Figura 72.

Campi Flegrei

I dati acquisiti nel corso del primo semestre 2006 dalla rete tiltmetrica flegrea evidenziano un generale sollevamento del suolo anche se di entità modesta, benché altre fasi di uplift erano state registrate dai tiltmetri già a partire dal secondo Semestre del 2004 e dal Marzo 2005.

Dall'estate del 2004 è dunque cambiato l'andamento della deformazione ai Campi Flegrei; tale asserzione si basa sull'interpretazione dei segnali tiltmetrici registrati dal 2000 a tutt'oggi.

È stato innanzitutto osservato che la direzione lungo la quale il suolo si inclina preferenzialmente in corrispondenza dei punti di monitoraggio ha un azimuth compreso tra 180° e 190° (da N in senso orario) alla stazione DMA (situata 1.6 km a NNW da Pozzuoli), tra 130° e 140° a DMB (1.8 km a NNW), tra 160° e 180° a BAI (4 km a WSW), tra 230° e 240° a TOI (3.6 km a WNW) e tra 60° e 70° ad ARC (2.6 km a WNW). Nel corso di ogni anno solare, inoltre, l'inclinazione avviene nel periodo compreso tra il Solstizio d'Estate e quello d'Inverno (II semestre) mediamente in direzione N-NW/S-SE (e verso N-NW) a DMA e DMB, in direzione SSE/NNW (e verso SSE) a BAI, in direzione SW/NE (e verso SW) a TOI ed in direzione NE-ENE/SW-WSW (e verso NE-ENE) ad ARC. Tali direzioni privilegiate sono dovute essenzialmente alla risposta termoelastica del suolo all'irraggiamento solare su periodo annuale. Sovrapposto a questo campo di deformazione indotto se ne osserva un altro regolato essenzialmente dal bradisismo flegreo.

Dall'Estate del 2000 e fino al primo semestre 2004, periodo in cui nell'area flegrea si è verificato un abbassamento del suolo con velocità decrescente, DMA ha registrato anno per anno un'inclinazione nel II semestre sempre a NW/SE ma successivamente e fino al Giugno 2006 la direzione di inclinazione è ruotata in senso orario e quindi a NNW/SSE.

La stazione DMB ha invece registrato nel II semestre di ogni anno, a partire dal 2000, un'inclinazione sempre in direzione NW/SE ma con il vettore tilt traslato sempre più a SE che dal 2004 ad oggi ha subito invece un progressivo arretramento a NW.

BAI ha mostrato fino al 2004 un'inclinazione in direzione SSE/NNW ma con il vettore tilt traslato sempre più a SSE e dal 2004 finora ha subito un progressivo arretramento a NNW. Delle due stazioni borehole, TOI mostra dal 2000 e sempre nel II semestre di ogni anno un'inclinazione in direzione SW/NE ma con il vettore tilt traslato sempre più a SW mentre dal 2004 ha subito un progressivo arretramento a NE.

ARC (istituita nel 2004) mantiene inalterata la sua direzione di inclinazione che però trasla parallelamente a se stessa verso NW.

Risulta chiaro che la componente a lungo periodo dei segnali registrati dalla rete tiltmetrica ha subito una variazione di trend negli ultimi due anni.

Un'altra stazione tiltmetrica (OLB) è stata installata quest'anno in un pozzetto profondo 1 m e distante 150 m dall'ingresso della galleria ex SEPSA di Monte Olibano (1.5 km a ESE da Pozzuoli) ed a 90 m dalla costa. Per essa sono disponibili al Giugno 2006 solo cinque mesi di dati per cui non possono essere fatte ancora inferenze sul comportamento del segnale tiltmetrico a seguito delle variazioni di temperatura su periodi lunghi.

In Fig. 73 è riportato il plot del tilt totale registrato nel primo semestre 2006 dalle stazioni DMA (a), DMB (b), BAI (c), TOI (d), ARC (e) ed OLB (f).

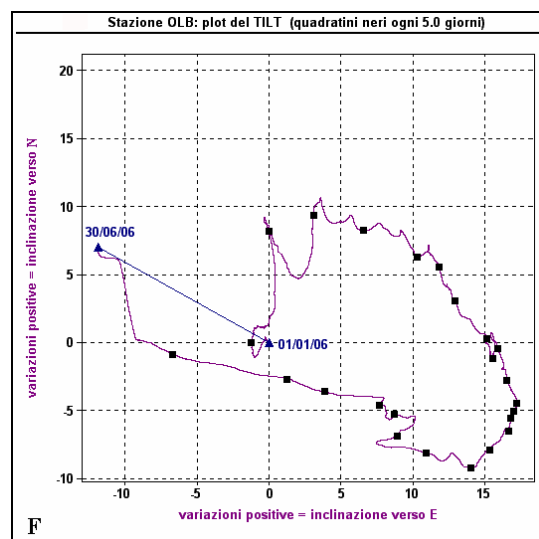
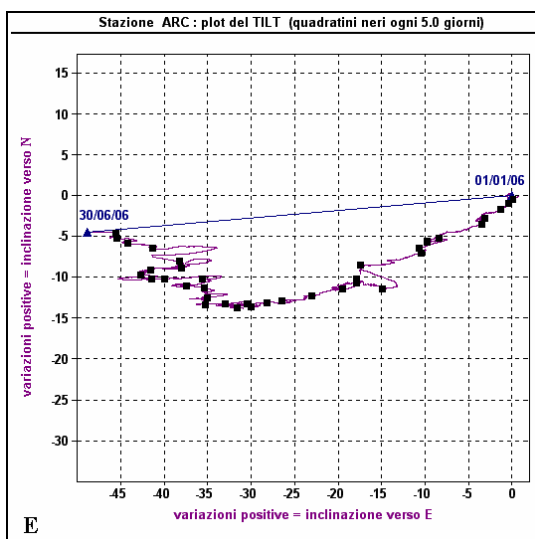
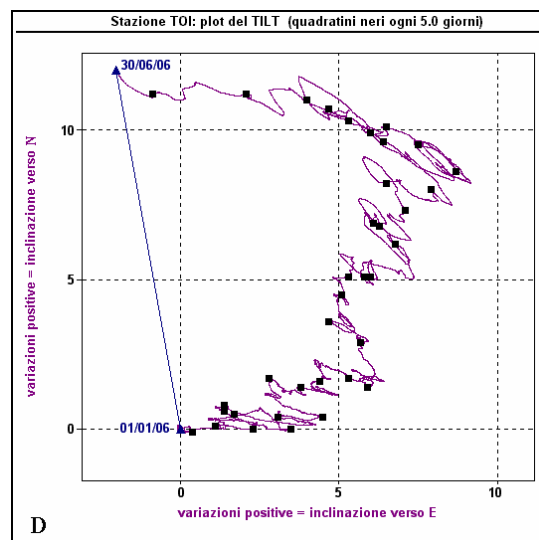
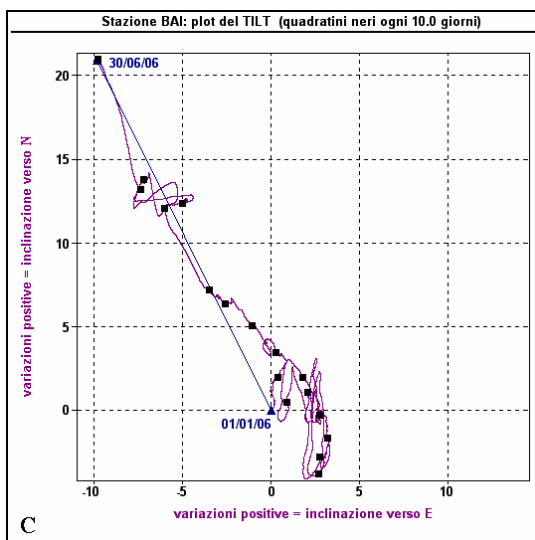
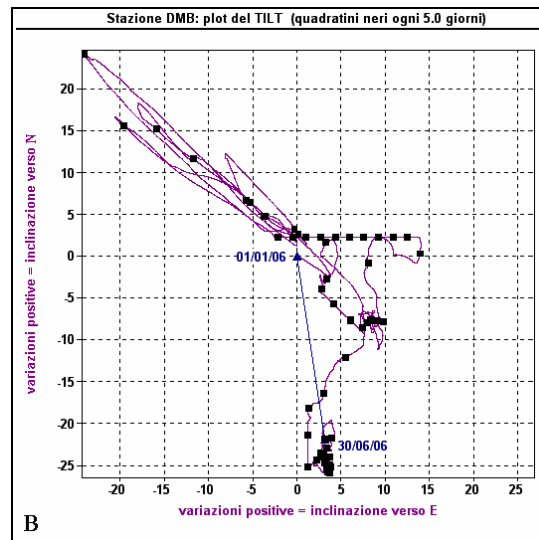
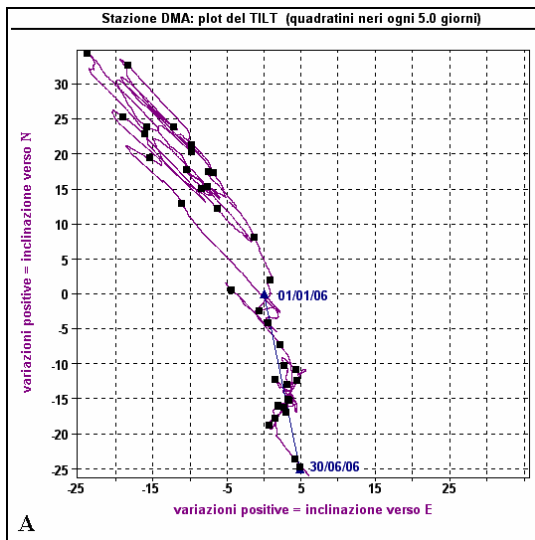


Fig. 73. Plot vettoriale del tilt registrato alle stazioni flegree. Le curve continue in viola riportate in ogni odogramma rappresentano la risultante vettoriale dei singoli segnali registrati e sottoposti a media mobile con periodo di 1 giorno. Ogni quadratino nero della griglia ha per coordinate l'inclinazione totale registrata dalla stazione tiltmetrica ogni 5 giorni; i triangolini blu identificano il primo dato acquisito e l'ultimo mentre la linea in blu rappresenta il vettore totale.

RETE MAREOGRAFICA⁸

Vesuvio

Il monitoraggio dei movimenti verticali del suolo è effettuato, oltre che con le tecniche geodetiche classiche e satellitari, anche tramite l'uso dei mareografi che rilevano, in continuo, il livello marino lungo le coste dove si impostano i vulcani attivi dell'area napoletana: Vesuvio e Campi Flegrei.

La rete mareografica dell'Osservatorio Vesuviano è operante nell'area vesuviana a partire dal 1985. Il livello del mare è attualmente registrato con continuità dalle stazioni mareografiche di Castellammare di Stabia, Torre del Greco e Napoli Porto (figg. 74, 75, 76). La strumentazione operante nel sito di Napoli è ubicata all'interno della stazione mareografica dell'APAT facente parte della Rete Mareografica Nazionale.

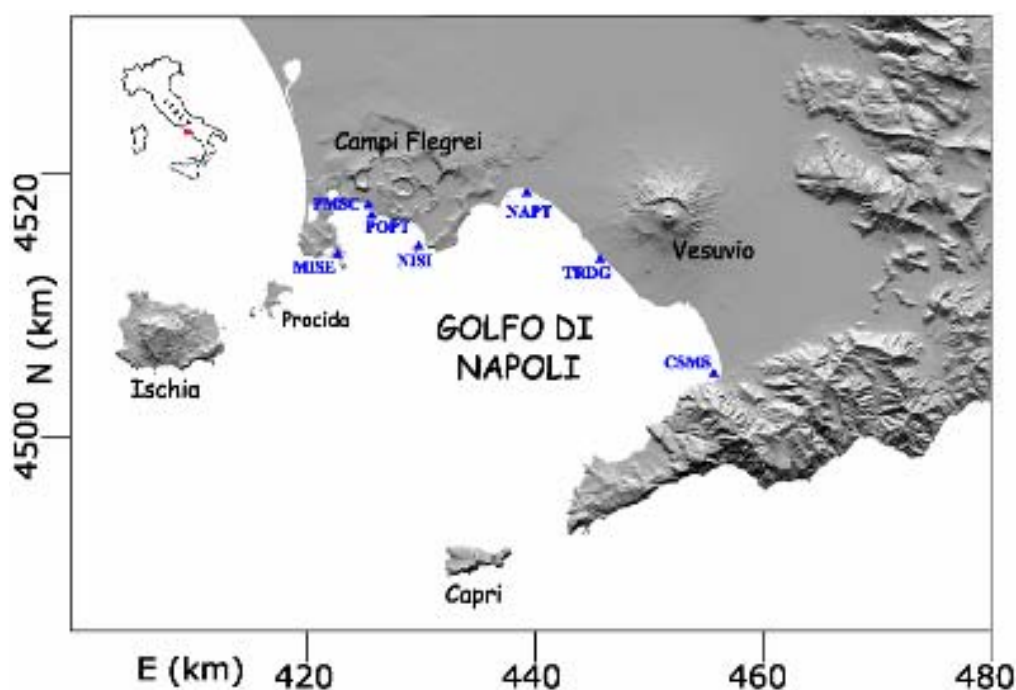


Figura 74. Rete mareografica dell'area vulcanica napoletana: Vesuvio e Campi Flegrei. Area vesuviana: NAPT = Napoli Porto, stazione di riferimento; TRDG = Torre del Greco; CSMS = Castellammare di Stabia.

Le stazioni sono attrezzate sia con mareografi meccanici con sistema a galleggiante-contrappeso e registrazione su carta, che con sensori digitali a galleggiante-contrappeso i cui dati vengono trasmessi via GSM. Attualmente i sensori digitali, per le finalità di monitoraggio, campionano il livello marino ogni 5 minuti (con possibile riduzione fino ad un minuto). Con tale frequenza di campionamento è possibile un accumulo di circa 100 giorni di dati sulla memoria interna della centralina di acquisizione, prima che questa venga sovrascritta. Essa viene interrogata, in automatico, per il trasferimento dati al Centro di Sorveglianza dell'Osservatorio Vesuviano ogni 12 ore. Con la trasformazione digitale della rete di sensori si è raggiunto l'obiettivo di aumentare la

⁸ A cura di: P. Capuano, A. La Rocca, F. Obrizzo, F. Pingue, S. Pinto, A. Russo, U. Tammaro

frequenza di campionamento, di evitare la successiva digitalizzazione del segnale analogico e di ottenere la connessione e lo scarico dei dati in tempo quasi reale (l'intervallo di 12 ore del tempo di connessione può essere ridotto).

Nel periodo gennaio – giugno 2006 è proseguito il programma di miglioramento e potenziamento della rete e sono state effettuate le ordinarie operazioni per il buon funzionamento delle stazioni mareografiche. Gli interventi di manutenzione straordinaria sulle stazioni sono eseguiti entro le 24-36 ore dall'insorgere del problema.

Oltre a ciò, nell'ambito del potenziamento della rete mareometrica, sono state rese operative le procedure necessarie per l'installazione di due stazioni la prima nel Porto di Forio localizzato sulla costa occidentale dell'isola d'Ischia e la seconda nel Porto di Agropoli (Salerno). Tali stazioni saranno equipaggiate con sensori digitali e trasmissione dati via GSM.

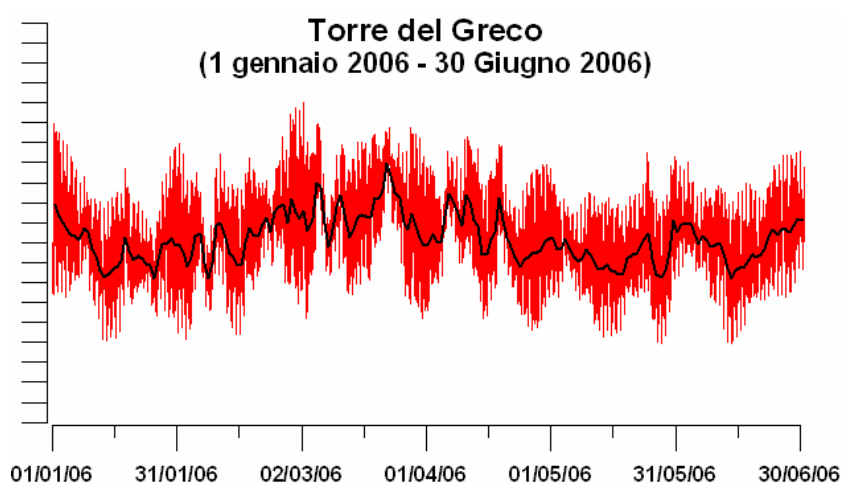


Figura 75. Variazioni del livello del mare al Porto di Torre del Greco (TRDG) nel periodo gennaio - giugno 2006 rilevate dal sensore digitale. Le variazioni riportate rappresentano le medie orarie. La curva in nero riproduce la media giornaliera. La scala verticale presenta intervalli di 5 cm.

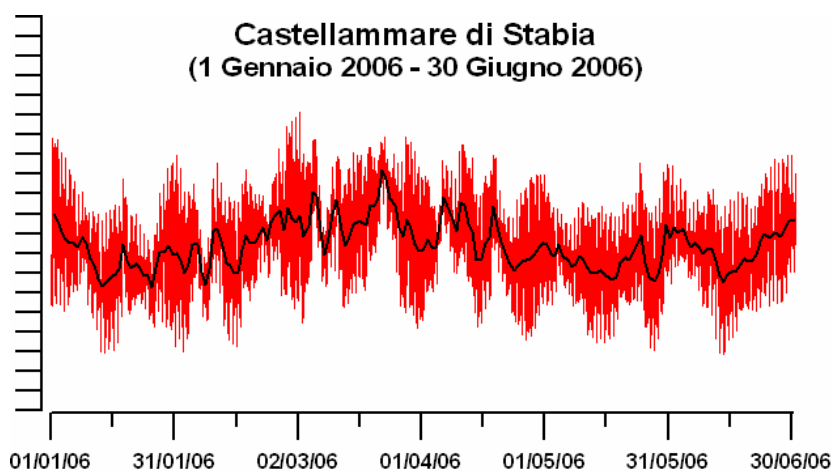


Figura 76. Variazioni del livello del mare al Porto di Castellammare di Stabia (CSMS) nel periodo gennaio - giugno 2006 rilevate dal sensore digitale. Le variazioni riportate rappresentano le medie orarie. La curva in nero riproduce la media giornaliera. La scala verticale presenta intervalli di 5 cm.

L'analisi dei movimenti verticali del suolo, per l'area vesuviana, viene eseguita riferendo le misure del livello del mare, registrate a Torre del Greco, alla stazione di Napoli Porto e di Castellammare di Stabia. La stabilità relativa della stazione di riferimento viene periodicamente verificata tramite livellazioni di precisione effettuate sul caposaldo posto in prossimità del mareografo e collegato alla rete di livellazione.

Durante gli ultimi sette anni (2000-2006), nei limiti degli errori, non vengono evidenziati significativi movimenti verticali del suolo alla stazione di Torre del Greco (figg. 77, 78). Alla stazione di Castellammare di Stabia, inoltre, nel periodo gennaio-giugno 2006 (fig. 79) non si osservano significativi movimenti verticali del suolo.

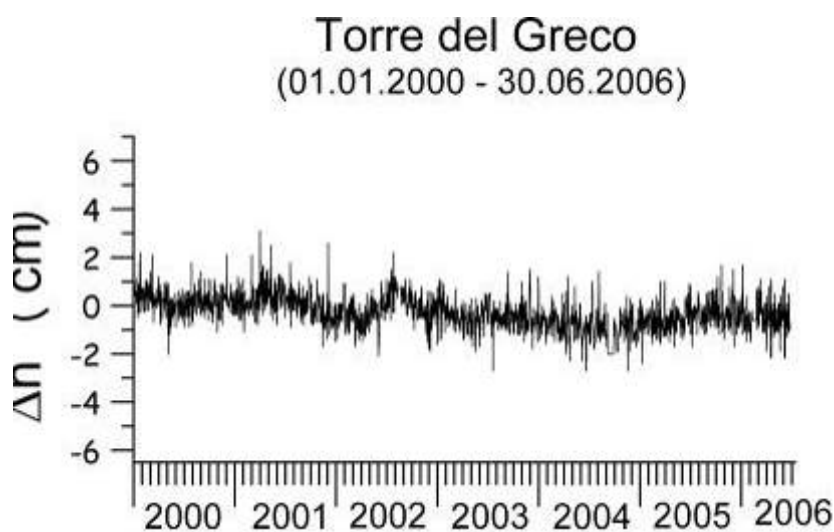


Figura 77. Movimenti verticali del suolo, nel periodo 2000-2006, dedotti dalla analisi dei dati rilevati alla stazione mareografica analogica di Torre del Greco, considerando come riferimento la stazione del Porto di Napoli. Le variazioni riportate rappresentano le medie giornaliere.

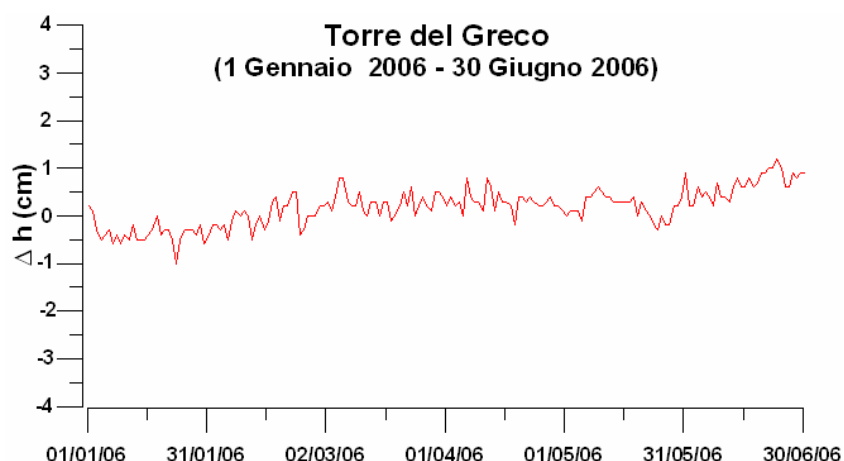


Figura 78. Movimenti verticali del suolo, nel periodo gennaio – giugno 2006, dedotti dall'analisi dei dati rilevati alla stazione digitale di Torre del Greco, considerando come riferimento la stazione del Porto di Napoli. Le variazioni riportate rappresentano le medie giornaliere.

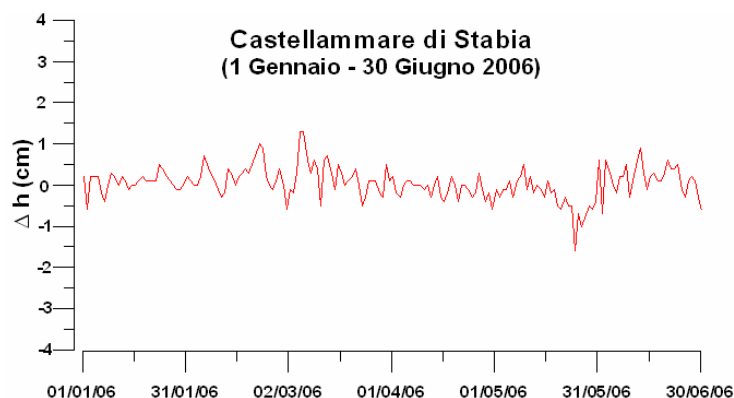


Figura 79. Movimenti verticali del suolo, nel periodo, gennaio – giugno 2006 dedotti dall' analisi dei dati rilevati alla stazione digitale di Castellammare di Stabia, considerando come riferimento la stazione el Porto di Napoli. Le variazioni riportate rappresentano le medie giornaliere.

Campi Flegrei

L'acquisizione continua del livello del mare tramite stazioni mareografiche lungo la costa della caldera dei Campi Flegrei, si affianca alle tecniche geodetiche classiche e satellitari utilizzate per il monitoraggio dei movimenti verticali del suolo nelle aree vulcaniche attive. La rete mareografica dell'Osservatorio Vesuviano è operante ai Campi Flegrei dal 1970 ed ha permesso di seguire sia le crisi bradisismiche del 1969-72 e 1982-84 sia le relative fasi successive, caratterizzate da una prevalente subsidenza interrotta da brevi e deboli sollevamenti. La rete è costituita da 4 stazioni mareografiche ubicate a Nisida, Pozzuoli Porto, Pozzuoli Molo Sud-Cantieri e Miseno (figg. 80-83). Oltre alle stazioni sopra riportate è operante il mareografo di riferimento ubicato nel Porto di Napoli (fig. 84), ospitato nella stazione mareografica dell'APAT facente parte della Rete Mareografica Nazionale. Le stazioni sono attrezzate sia con mareografi meccanici, con sistema a galleggiante-contrappeso e registrazione su carta, sia con sensori digitali a galleggiante-contrappeso i cui dati vengono trasmessi via GSM.

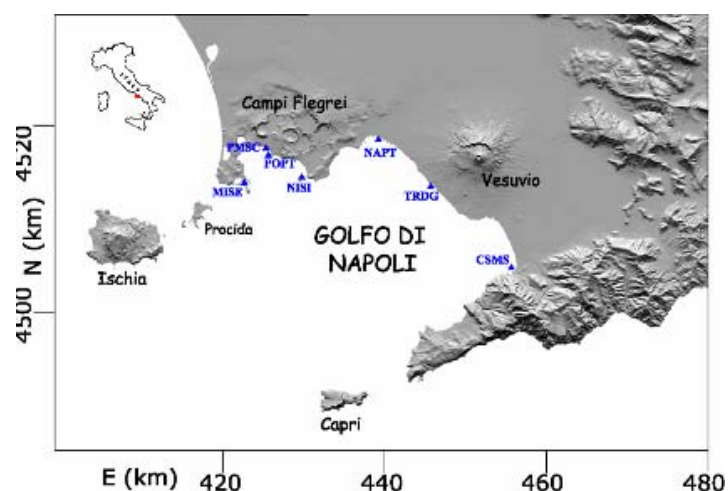


Figura 80. Rete mareografica dell'area vulcanica napoletana: Vesuvio e Campi Flegrei. Campi Flegrei: NAPT = Napoli Porto, stazione di riferimento; POPT = Pozzuoli Porto; PMSC = Pozzuoli Molo Sud Cantieri; NISI = Nisida; MISE = Miseno.

I sensori digitali, per le finalità di monitoraggio, campionano il livello marino ogni 5 minuti (con possibile riduzione fino ad un minuto). Con tale frequenza di campionamento è possibile un accumulo di circa 100 giorni di dati sulla memoria interna della centralina di acquisizione, prima che questa venga sovrascritta. Essa viene interrogata, in automatico, per il trasferimento dati al Centro di Sorveglianza dell'Osservatorio Vesuviano ogni 12 ore.

Con la trasformazione digitale della rete di sensori si è raggiunto l'obiettivo di aumentare la frequenza di campionamento, di evitare la successiva digitalizzazione del segnale analogico e di ottenere la connessione e lo scarico dei dati in tempo quasi reale (l'intervallo di 12 ore del tempo di connessione può essere ridotto).

Nel primo semestre del 2006 è continuato il programma di miglioramento della rete e sono state effettuate le ordinarie operazioni per il buon funzionamento delle stazioni mareografiche.

Gli interventi di manutenzione straordinaria sulla rete sono eseguiti generalmente entro le 24-36 ore. Inoltre è operativa un'altra stazione ubicata in prossimità del Porto Pozzuoli (Molo Sud Cantieri), equipaggiata con sensore digitale e trasmissione via GSM (figg. 83, 85), in modo da infittire il campionamento spaziale nel centro della caldera (Pozzuoli), area dove si sono osservati i valori massimi dei movimenti verticali del suolo sia durante il sollevamento sia in subsidenza.

Oltre a ciò, nell'ambito del potenziamento della rete mareometrica, sono state rese operative le procedure necessarie per l'installazione di due stazioni la prima nel Porto di Forio localizzato sulla costa occidentale dell'isola d'Ischia e la seconda nel Porto di Agropoli (Salerno). Tali stazioni saranno equipaggiate con sensori digitali e trasmissione dati via GSM.

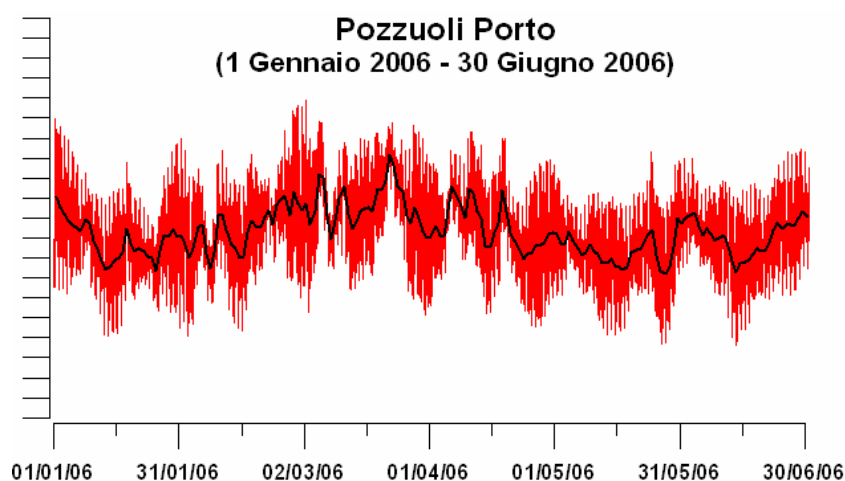


Figura 81. Variazioni del livello del mare al Porto di Pozzuoli (POPT) nel periodo gennaio – giugno 2006 rilevate dal sensore digitale. Le variazioni riportate rappresentano le medie orarie. La curva in nero riproduce la media giornaliera. La scala verticale presenta intervalli di 5 cm.

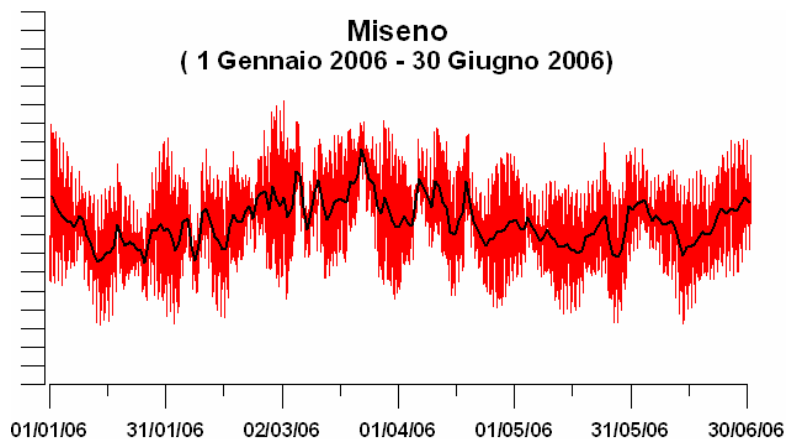


Figura 82. Variazioni del livello del mare a Miseno (MISE) nel periodo gennaio-giugno 2006 rilevate dal sensore digitale. Le variazioni riportate rappresentano le medie orarie. La curva in nero riproduce la media giornaliera. La scala verticale presenta intervalli di 5 cm.

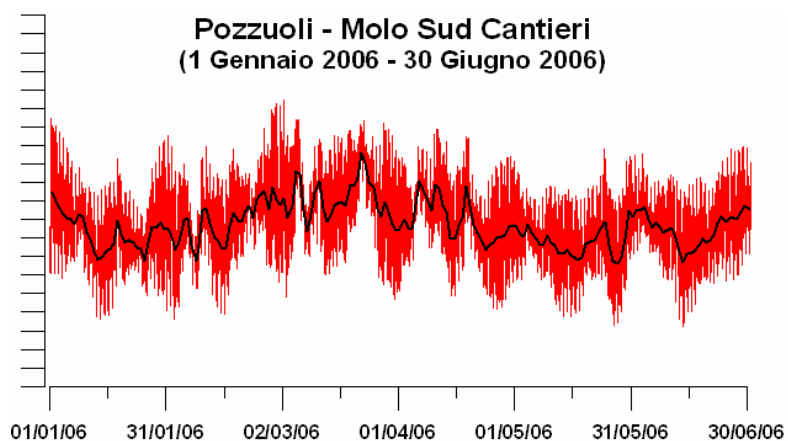


Figura 83. Variazioni del livello del mare a Pozzuoli Molo Sud Cantieri (PMSC) nel periodo gennaio - giugno 2006 rilevate dal sensore digitale. Le variazioni riportate rappresentano le medie orarie. La curva in nero riproduce la media giornaliera. La scala verticale presenta intervalli di 5 cm.

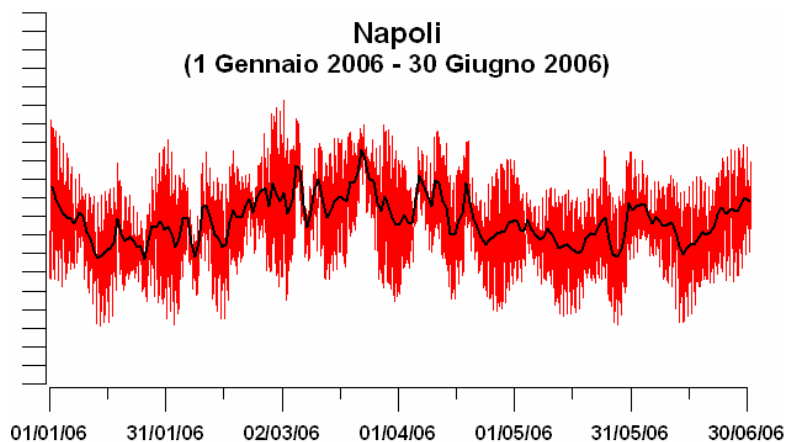


Figura 84. Variazioni del livello del mare al Porto di Napoli (stazione di riferimento)(NAPT) nel periodo gennaio-giugno 2006 rilevate dal sensore digitale. Le variazioni riportate rappresentano le medie orarie. La curva in nero riproduce la media giornaliera. La scala verticale presenta intervalli di 5 cm.

L'analisi dei movimenti verticali del suolo nella caldera flegrea viene compiuta riferendo le misure del livello marino delle stazioni flegree alla stazione di riferimento di Napoli. La stabilità relativa della stazione di riferimento viene periodicamente controllata tramite la livellazione di precisione effettuata sul caposaldo prossimo al mareografo e collegato alla rete di livellazione. L'elaborazione dei dati mareografici disponibili ci consente di effettuare le seguenti considerazioni sui movimenti verticali del suolo:

- l'area centrale della caldera flegrea (Pozzuoli Porto), è stata interessata da un sollevamento del suolo (figg. 80, 85, 86) del periodo novembre 2005 – giugno 2006 (circa 2 cm), mentre precedentemente (maggio 2004-ottobre2005) le oscillazioni rimangono confinate entro il centimetro, ovvero entro la soglia di significatività delle misure mareografiche. La serie temporale disponibile a partire dal gennaio 2000 (fig. 87) evidenzia, che dopo la fase di sollevamento (primo semestre 2000) e il successivo significativo abbassamento (2000-2002), si osservano delle lievi oscillazioni del moto del suolo che tendono a decrescere nel tempo fino ad essere poco significative nel corso del 2005 quando nel novembre inizia un fase di sollevamento che a maggio-giugno 2006 raggiunge il valore massimo;
- l'area ubicata ai bordi della caldera flegrea (MISE) è interessata da lievi oscillazioni che rimangono confinate entro il centimetro, ovvero entro la soglia di significatività delle misure mareografiche (figg. 80, 88).

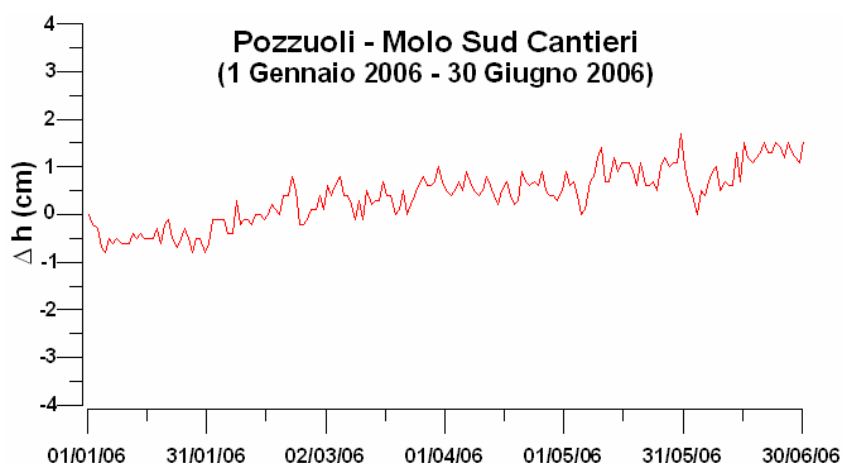


Figura 85. Movimenti verticali del suolo, nel periodo gennaio - giugno 2006, ottenuti dall'analisi dei dati acquisiti dal sensore digitale alla stazione mareografica di Pozzuoli - Molo Sud Cantieri (PMSC), ubicata in prossimità dell'area centrale della caldera flegrea. Le variazioni riportate rappresentano le medie giornaliere e sono riferite alla stazione di riferimento Porto di Napoli.

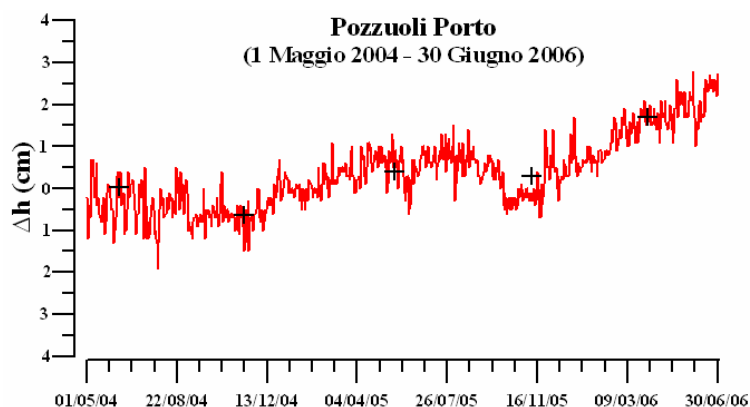


Figura 86. Movimenti verticali del suolo, nel periodo maggio 2004 - giugno 2006, ottenuti dall'analisi dei dati acquisiti dal sensore digitale alla stazione mareografica di Pozzuoli Porto (POPT) (area centrale della caldera flegrea). Le variazioni riportate rappresentano le medie giornaliere e sono riferite alla stazione di riferimento Porto di Napoli. Sono riportate inoltre le variazioni di quota (+) rilevate al caposaldo della rete di livellazione sito in prossimità della stazione mareografica di Pozzuoli Porto.

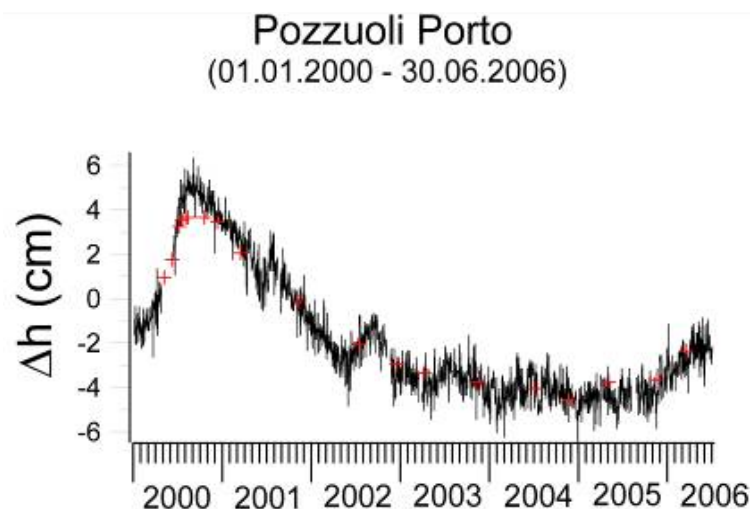


Figura 87. Movimenti verticali del suolo, nel periodo 2000-2006, ottenuti dall'analisi dei dati acquisiti dal sensore analogico della stazione mareografica di Pozzuoli Porto (POPT) e riferiti a quella del Porto di Napoli. Sono riportate inoltre le variazioni di quota (+) rilevate al caposaldo della rete di livellazione sito in prossimità della stazione mareografica di Pozzuoli.

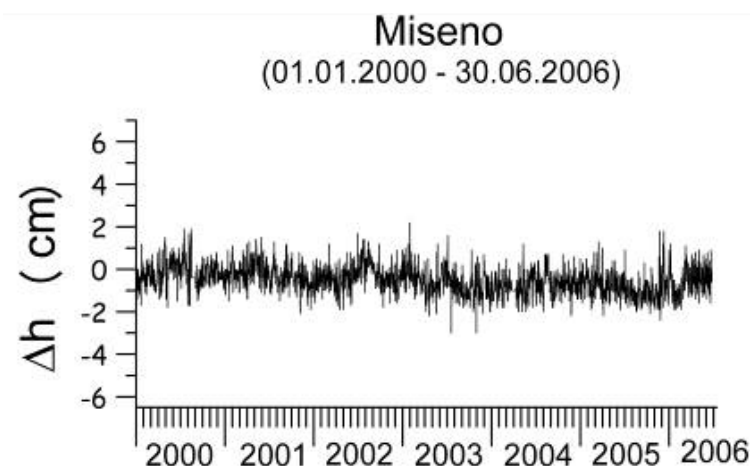


Figura 88. Movimenti verticali del suolo, nel periodo 2000-2006, ottenuti dall'analisi dei dati acquisiti dal sensore analogico della stazione mareografica di Miseno (MISE) e riferiti a quella del Porto di Napoli.

INTERFEROMETRIA SAR⁹

L'analisi delle deformazioni del suolo mediante interferometria SAR è da tempo diventata una tecnica complementare di monitoraggio geodetico, in quanto l'alta campionatura temporale, e la grande superficie investigata dal satellite, consente di estrarre informazioni altrimenti non ottenibili con le reti di geodesia classica.

Le attività di monitoraggio interferometrico presso l'Osservatorio Vesuviano-INGV, svolte sia in ambito Category-1 ("Integration of SAR Interferometry with classical geodetic techniques for ground deformation monitoring in the Neapolitan volcanic area", CAT-1 1065 resp. G.P. Ricciardi) che "MINERVA project" dell'ESA, hanno consentito, non solo, una maggiore definizione del campo di deformazione su grande scala delle aree vulcaniche sorvegliate, ma anche di creare una banca dati di prodotti interferometrici di immagini ERS ed ENVISAT, dell'area vulcanica napoletana da differenti orbite e image swath.

Recentemente le reti di monitoraggio geodetico hanno segnalato l'inizio di un sollevamento del suolo nell'area flegrea a cominciare dal novembre 2004, pertanto, per una maggiore definizione spazio-temporale del fenomeno bradisismico in atto, sono state acquisite 24 immagini ascendenti del satellite ENVISAT ASAR (IS2, track 129, frame 810), dei passaggi dal febbraio 2003 ad aprile 2006.

Il data set è stato elaborato presso i laboratori dell'IREA-CNR di Napoli nell'ambito della convenzione INGV-IREA, utilizzando una particolare tecnica DIFSAR denominata SBAS (Small Baseline Subsets), sviluppata presso l'IREA, nell'ambito delle attività sul telerilevamento attivo a microonde. Tale tecnica SBAS è già stata utilizzata con successo dal gruppo di lavoro congiunto OV-IREA per lo studio di deformazioni su larga scala dei Campi Flegrei, del Vesuvio e di Ischia.

In Fig. 89 si riporta la serie temporale sul pixel in cui è ubicato il caposaldo di livellazione cs 25, che storicamente è il punto di massima deformazione e maggiore dinamica a terra dell'area flegrea.

Il trend deformativo, validato con i valori di spostamento altimetrico del cs 25, mostra una lenta subsidenza dell'area dal 2003 al novembre 2005. Da questa data si ha un piccolo sollevamento che rientra dopo pochi mesi. Nel giugno 2005 si ha una lenta ripresa bradisismica che fino ad aprile 2006 (ultima scena acquisita) ha raggiunto un valore di circa 3.0 cm con una velocità media di 2.5 cm/anno.

In Fig.90 viene riportata la mappa di velocità di deformazione, calcolata sulle ultime 12 acquisizioni disponibili, (da gennaio 2005 ad aprile 2006). Si nota un'area di deformazione massima localizzata tra il Porto di Pozzuoli, Via Napoli e Solfatara (riquadro A) con velocità massime anche superiori a 2.0 cm/anno. La deformazione si estende verso ovest e nell'area circostante Mt. Nuovo (riquadro B).

In Fig. 91, 92 è mostrato uno zoom di queste aree A e B con relativa serie temporale.

⁹ A cura di: G. P. Ricciardi

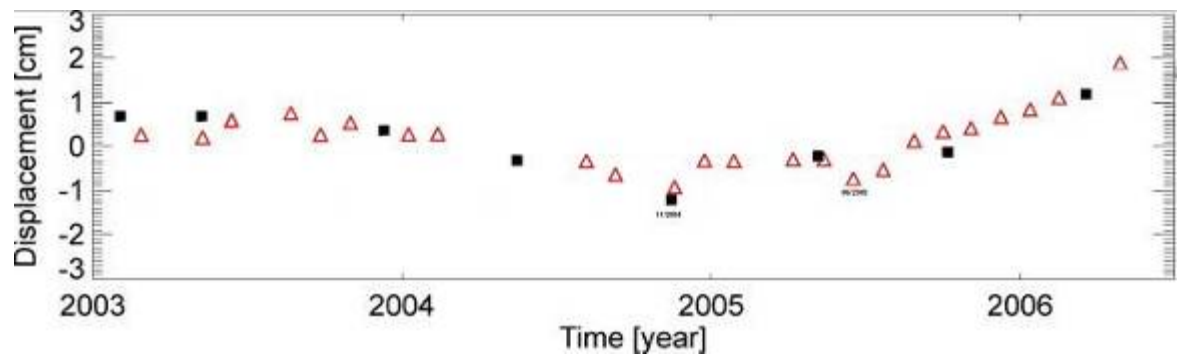


Figura 89. Serie temporale dello spostamento (febbraio 2003 – aprile 2005, confrontato con i dati altimetrici del cs.25).

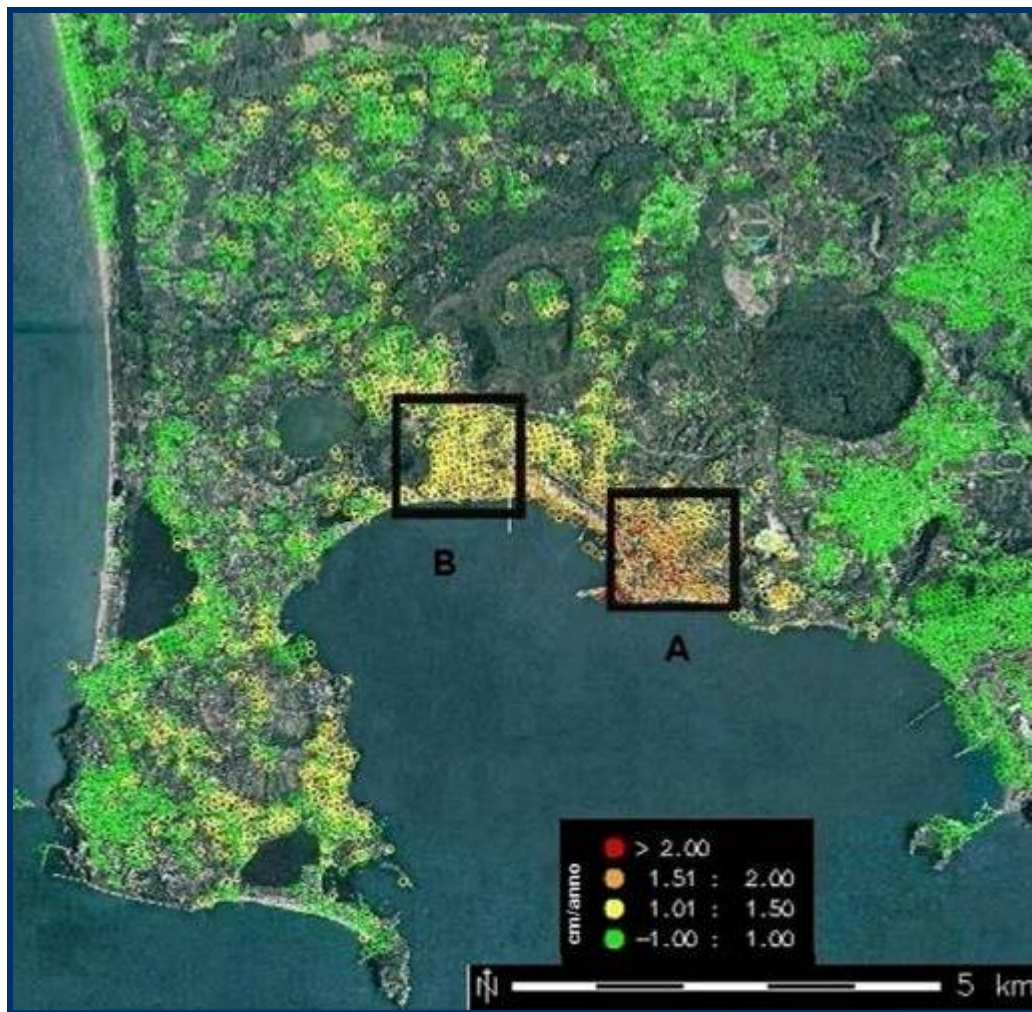


Figura 90. Mappa di velocità (in linea di vista del satellite) per il periodo gennaio 2005- aprile 2006.

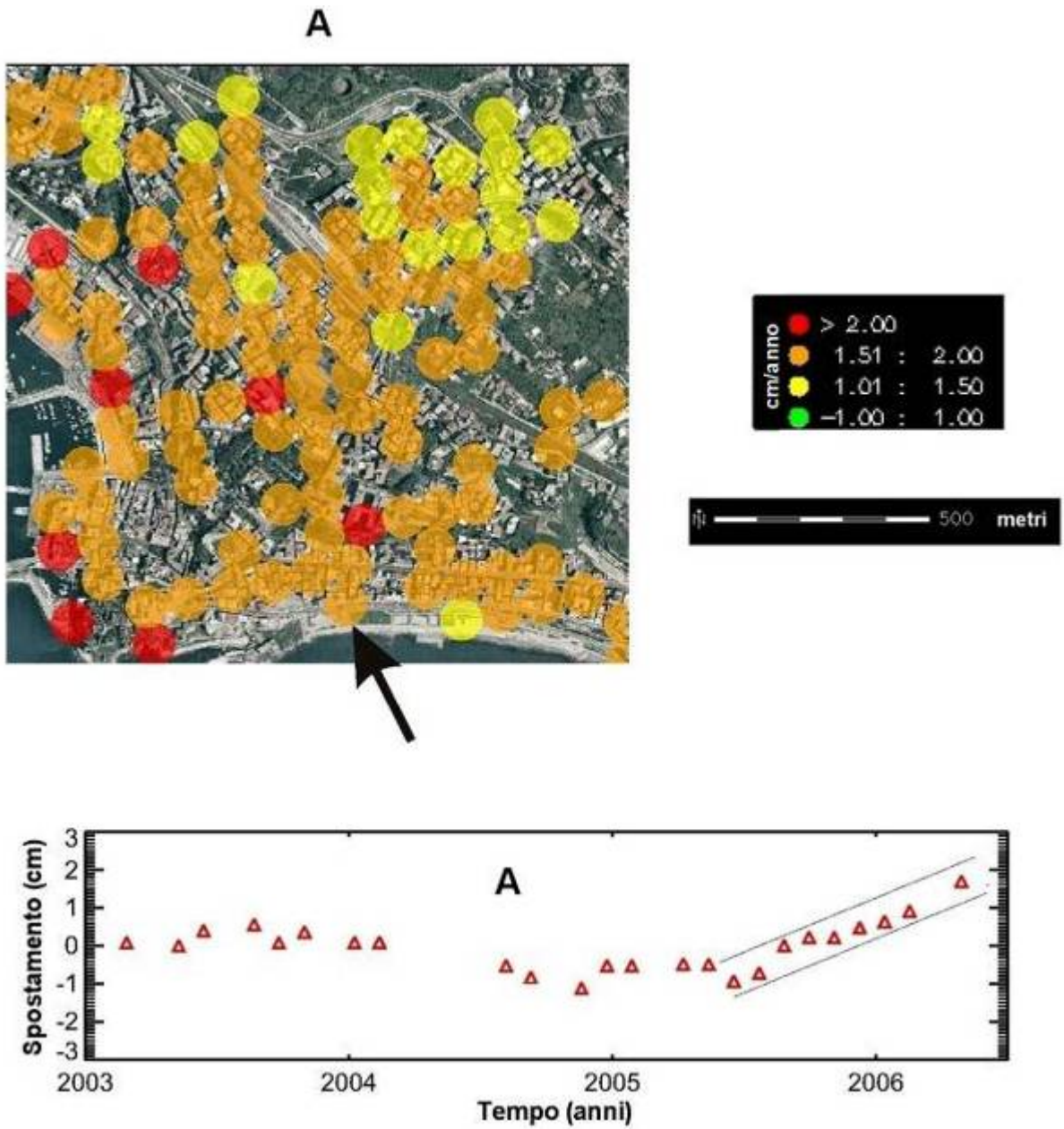


Figura 91. Particolare del riquadro A della mappa di velocità di fig. 90. La freccia indica la serie temporale del pixel nell'area dove è ubicato il caposaldo altimetrico cs.25.

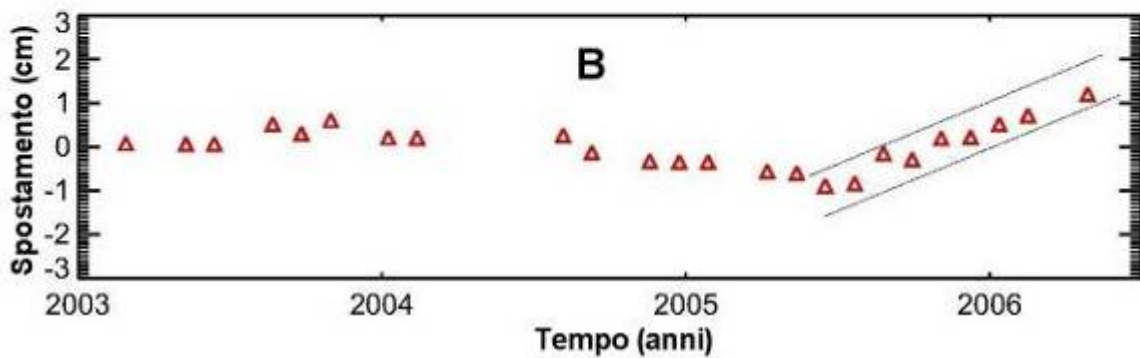
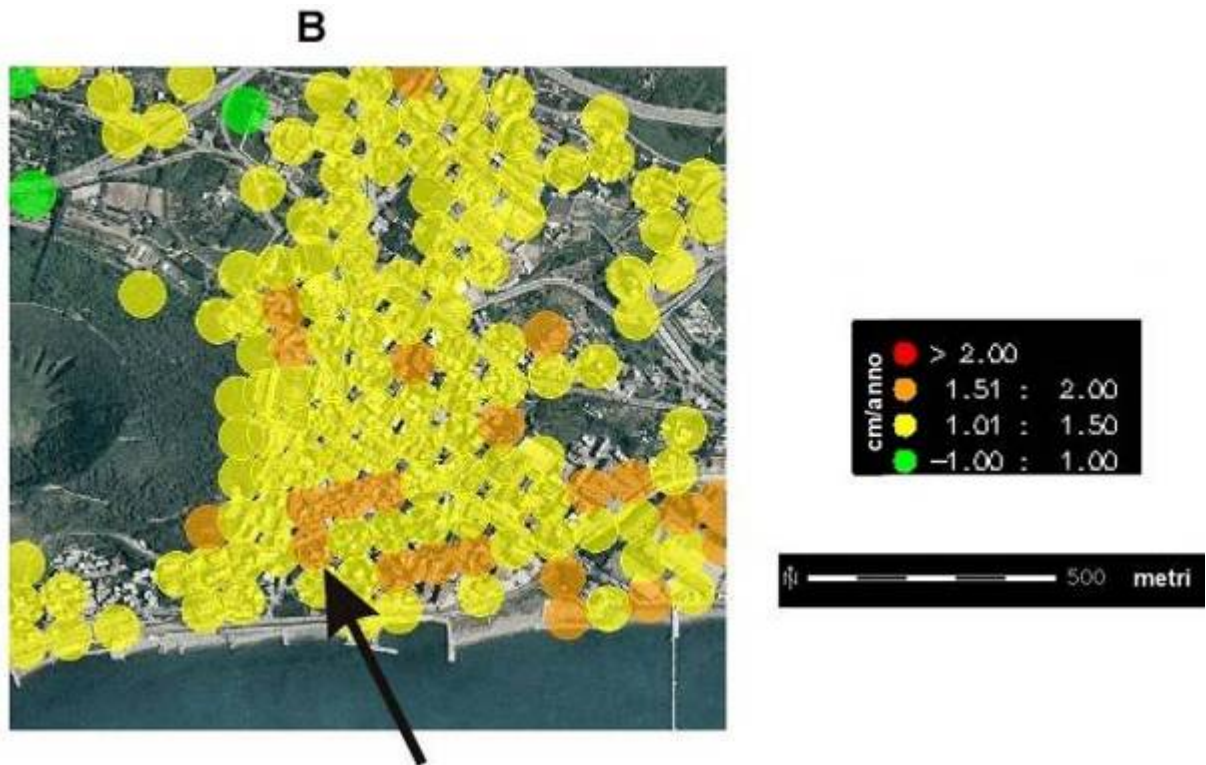


Figura 92. Particolare del riquadro B della mappa di velocità di fig. 90. in prossimità del caposaldo cs 122.

MISURE GRAVIMETRICHE¹⁰

Vesuvio

Nel corso del primo semestre del 2006, oltre ad una campagna di misure gravimetriche di precisione estesa sull'intera area vesuviana, è stata anche ripristinata la stazione gravimetrica registratrice nella galleria della Sede Storica dell'Osservatorio Vesuviano.

Di seguito si illustrano i risultati ottenuti sia dalle misure discrete che da quelle in continuo.

¹⁰ A cura di: G. Berrino, V. d'Errico, G. Ricciardi

Campagna di misure

La campagna di misure g è stata eseguita nel mese di maggio 2006. Le misure sono state rilevate sull'intera rete costituita da 32 vertici (Fig. 93) e, come di consueto, sono state riferite alla stazione assoluta di Napoli Università.

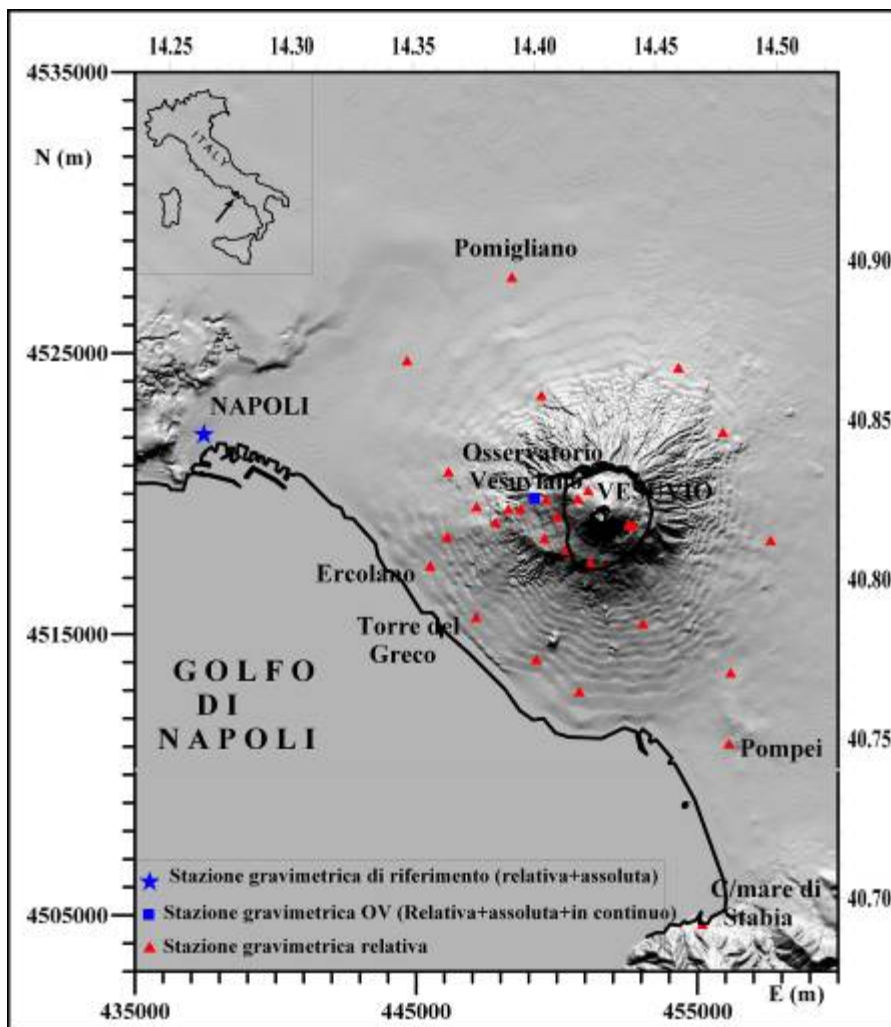


Figura 93. Rete gravimetrica nell'area vesuviana.

Le letture gravimetriche sono state eseguite con il gravimetro LaCoste & Romberg, modello D numero 85 (LCR-D85) seguendo le procedure standard per misure di alta di precisione. Le misure sono state rilevate su tratte indipendenti in modo da costituire i circuiti chiusi e concatenati necessari per la compensazione rigorosa; l'errore medio è risultato $\pm 16 \mu\text{Gal}$.

Le differenze di gravità tra le singole stazioni e quella di riferimento di Napoli sono state confrontate con quelle rilevate nella campagna precedente del dicembre 2005, il cui errore è risultato $\pm 9 \mu\text{Gal}$. Sono state, quindi, considerate statisticamente significative solo le variazioni superiori ai $20 \mu\text{Gal}$ e, pertanto, il campo delle variazioni di g (Fig. 94) è stato tracciato con un'equidistanza di $20 \mu\text{Gal}$.

Le variazioni di gravità relative al periodo 12/2005-5/2006 sono state calcolate solo per le stazioni ubicate alla base della struttura vulcanica e per quelle distribuite lungo le direttrici Ercolano - Osservatorio Vesuviano e Boscoreale – Vesuvio, posizionate entro i 600 metri di quota, poiché durante la campagna del dicembre 2005 le condizioni meteorologiche avverse non permisero di operare sulla porzione alta della rete (base Cratere e Forestale) facendo limitare così le misure solo a 24 delle 32 stazioni costituenti la rete.

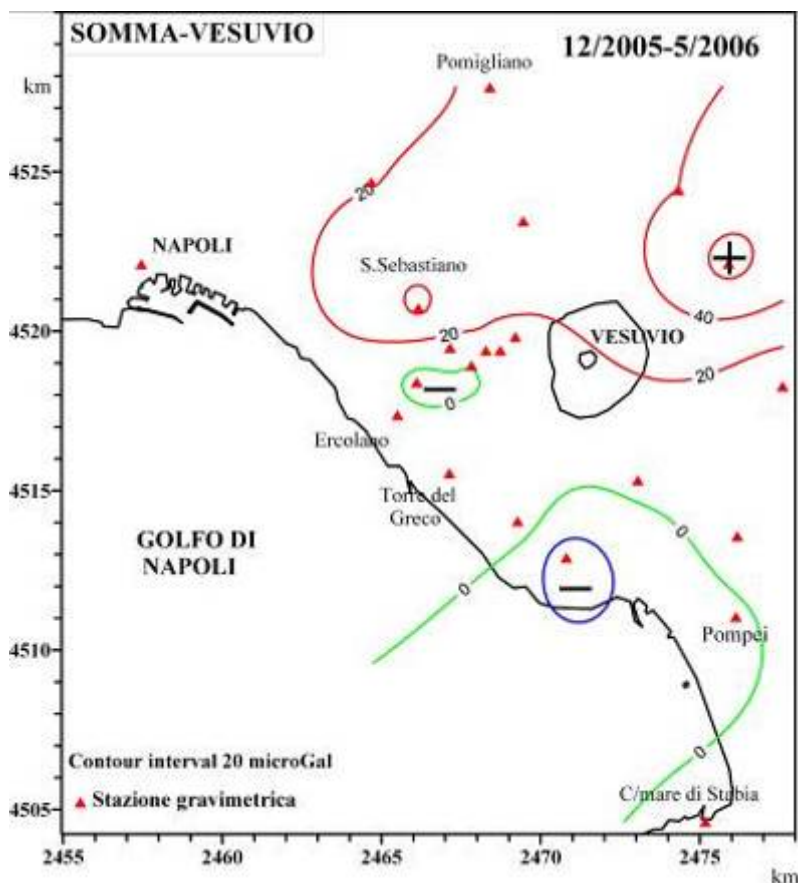


Figura 94. Variazioni di gravità nell'area vesuviana, con riferimento alla stazione assoluta di Napoli, nel periodo dicembre 2005 – maggio 2006.

Il campo ottenuto mostra solo un significativo aumento di gravità, a Nord-Est della struttura vulcanica (area Terzigno - Ottaviano), con il valore massimo di 68 μGal centrato sulla stazione di Ottaviano, mentre nella restante area sono state rilevate variazioni ai limiti della significatività statistica.

Al fine di ridurre o eliminare la presenza di eventuali effetti stagionali e per valutare anche le variazioni verificatesi nel settore alto del vulcano (oltre i 600 m di quota), i dati sono stati confrontati con quelli rilevati l'anno precedente nello stesso periodo stagionale (maggio 2005). Sempre tenendo conto dell'errore ottenuto dalla compensazione dei dati, il campo della distribuzione areale delle variazioni di g (Fig. 95) è stato tracciato con equidistanza di 20 μGal . La variazione positiva di gravità osservata nel settore nord-orientale scompare completamente suggerendo che esso

potrebbe rappresentare una variazioni stagionale; le uniche variazioni di gravità significative sono rappresentate da una diminuzione di g , con valore massimo di $-70 \mu\text{Gal}$ alla base della struttura craterica, comunque molto localizzata.

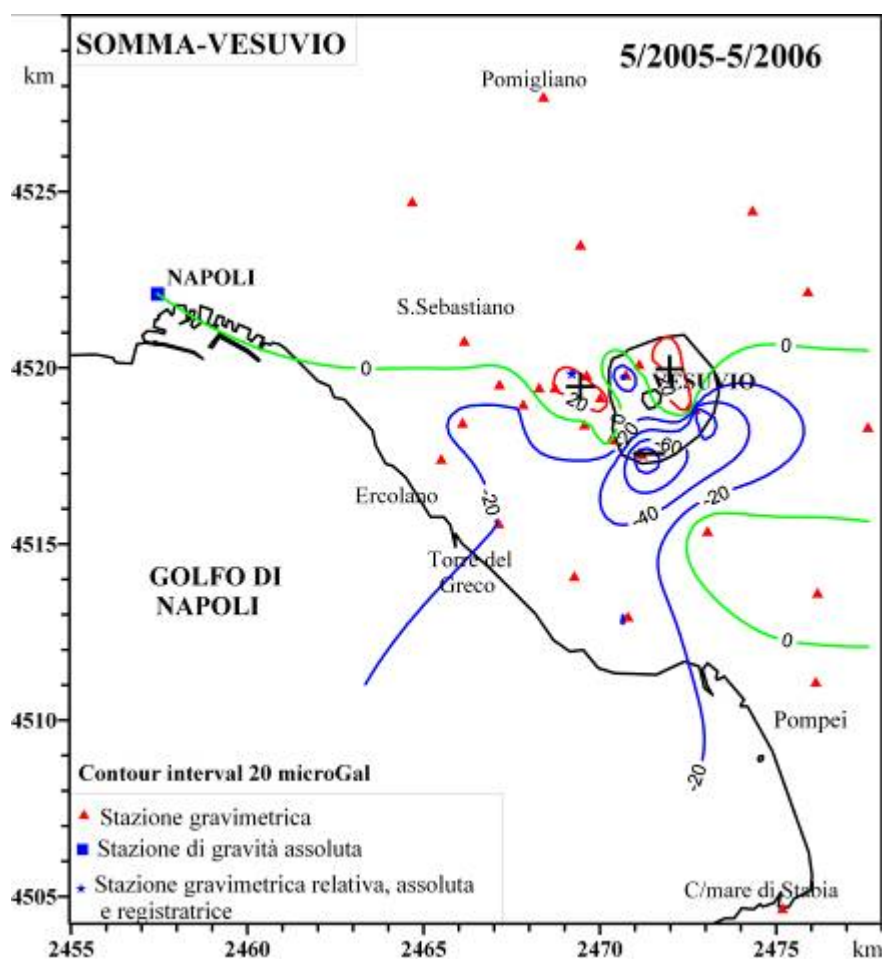


Figura 95. Variazioni di gravità nell'area vesuviana, con riferimento alla stazione assoluta di Napoli, nel periodo maggio 2005 – maggio 2006.

Gravimetria in continuo

Nel gennaio 2006 è stata ripristinata, seppure in fase di prova, nella Galleria della Sede Storica dell'Osservatorio Vesuviano (Fig. 93), la stazione gravimetrica registratrice già operativa dal 1987 al 1991 e dal 1994 al 2000, finalizzata alla misura in continuo delle variazioni di gravità. All'epoca la stazione rappresentava una delle stazioni laboratorio realizzate nell'ambito del Working Group "Tidal Measurements and Geodynamical Researches" operante in seno alla International Commission on Earth Tides (I.C.E.T.) della International Association of Geodesy (I.A.G.) e perciò assemblata con un gravimetro modificato con sistema di Feed-back elettronico e con un sistema di acquisizione entrambi realizzati a costo zero e gestita senza alcun supporto finanziario istituzionale e di personale tecnico. Il sistema di feed-back installato sul gravimetro operante al Vesuvio (il LaCoste & Romberg modello D numero 126 –LCR-D126), necessario per renderlo idoneo alla

misura in modalità continua, fu realizzato presso l'Observatoire Royal de Belgique (ORB). La stazione fu dismessa per problemi strumentali.

Al fine di ripristinare la stazione registratrice al Vesuvio, nel 2005 il sensore gravimetrico allora utilizzato (LaCoste & Romberg, modello D-126 modificato) è stato inviato all'ORB per una verifica generale e l'aggiornamento e lo sviluppo del sistema di feed-back. In tale fase l'output dello strumento è stato modificato e attualmente è possibile acquisire il segnale di uscita sia in frequenza che in tensione. Contemporaneamente, lo stesso sistema di feed-back è stato installato anche sul gravimetro LCR-G737 non utilizzato per le misure di precisione, in quanto non idoneo, ed in passato destinato esclusivamente alle prospezioni gravimetriche.

Inoltre, è stato anche fatto realizzare un sistema di acquisizione e trasmissione idoneo per la nuova strumentazione e dedicato alla gravimetria in registrazione.

I due gravimetri sono stati installati, al fine di controllare la loro intercomparabilità, su uno stesso pilastro nella Galleria della Sede Storica del Vesuvio. Per prima cosa è stata effettuata una prima calibrazione della catena strumentale per definire i parametri di conversione dell'output dei gravimetri in variazione della gravità (espressa in nm/s^2 : $1 \text{ nm/s}^2 = 0.1 \text{ } \mu\text{Gal}$).

La procedura di calibrazione adottata è quella standard, consistente nel registrare la variazione del segnale di output (frequenza e/o tensione) allo spostamento di predeterminati intervalli del sistema micrometrico di lettura (espressi in "ndiv", ovvero numero di divisioni). Lo schema di calibrazione adottato è illustrato nella Fig. 96, mentre in Fig. 97 è mostrata la variazione di tensione, espressa in Volt, registrata ai due gravimetri nel corso della calibrazione.

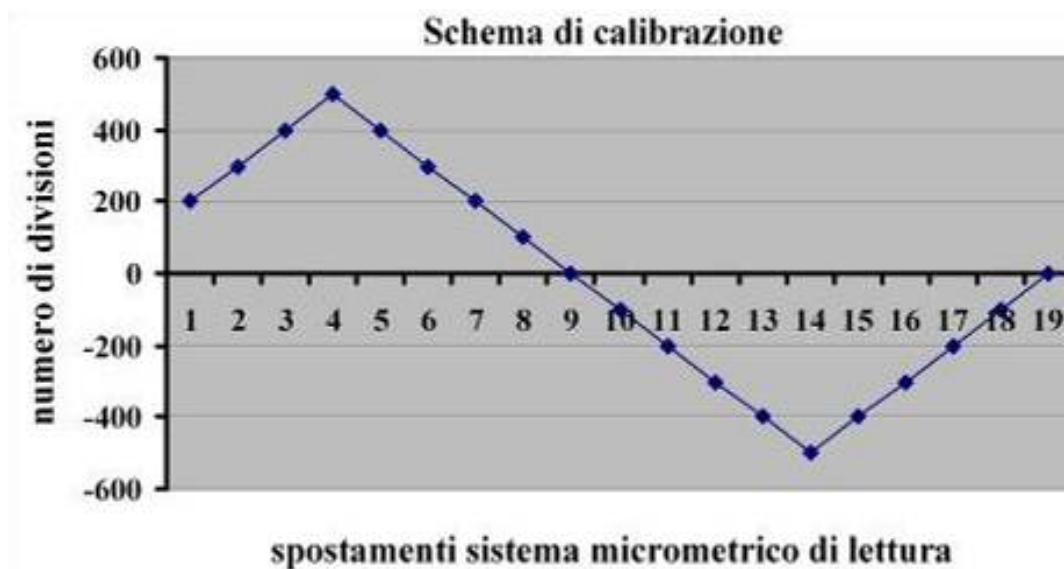


Figura 96. Schema della procedura di calibrazione adottata.

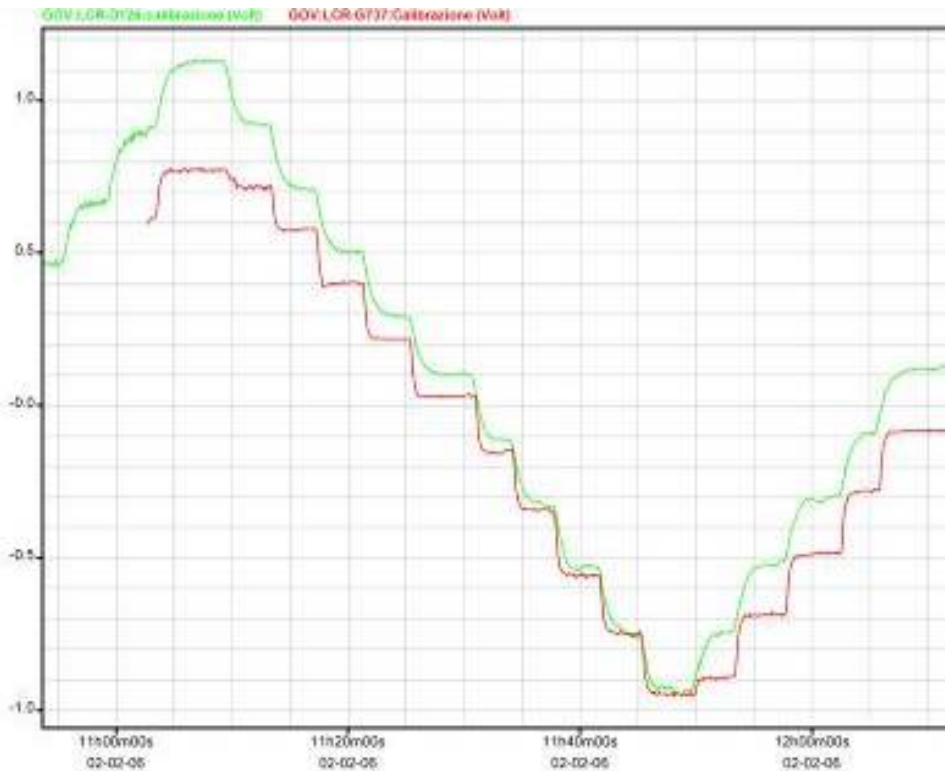


Figura 97. Variazione dell'output dei due gravimetri installati nella galleria della Sede Storica dell'Osservatorio Vesuviano nel corso della procedura di calibrazione.

Dalla regressione lineare (Fig. 98) tra i numeri di divisione, convertiti in μGal o nm/s^2 e depurati dell'effetto della marea solida, e la corrispondente variazione del segnale di output, in Volt o kHz o nshots, si ottiene il fattore di conversione.

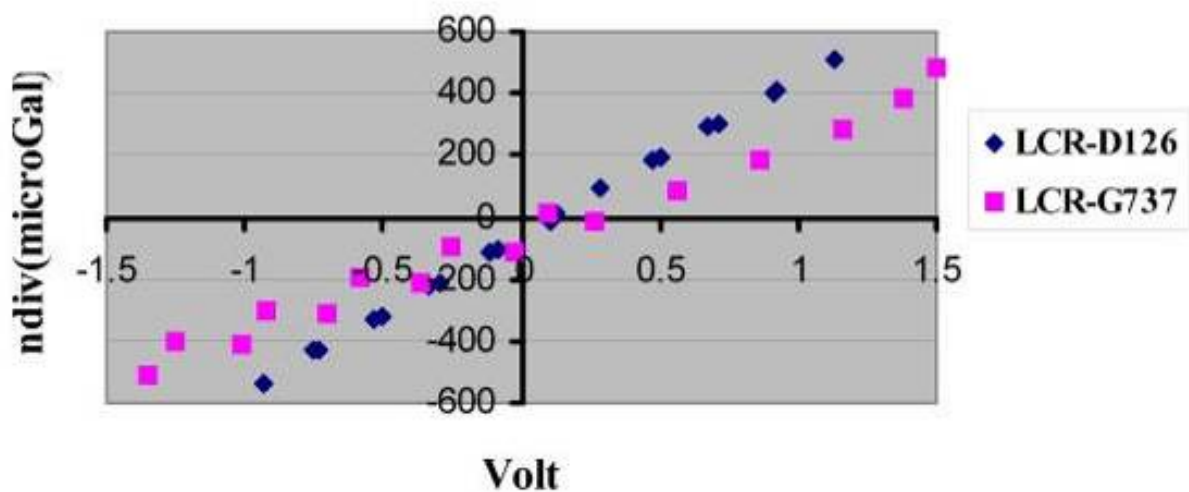


Figura 98. Regressione lineare tra l'output del gravimetro espresso in Volt e il corrispondente spostamento del sistema micrometrico di lettura (ndiv convertito in μGal).

In fase di prova, e nel corso dell'intero semestre, il nuovo sistema di acquisizione, che si ricorda è stato costruito ad hoc, ha evidenziato una serie di problemi quali, in particolari, blocchi continui del sistema con conseguente perdita dei dati.

Perciò nel mese di marzo esso è stato rimosso per un ulteriore sviluppo sia dell'hardware che del software ed è stato reinstallato alla fine del mese di maggio.

Un esempio di registrazione ottenuto nei primi periodi, in particolare dal 15 gennaio al 2 febbraio 2006, è mostrato nella parte alta della Fig. 99.

Nella stessa figura sono anche illustrati, nell'ordine dall'alto al basso: la registrazione convertita in nm/s² e depurata di tutte le discontinuità (quali i reset dello strumento, eventi sismici, etc.), il confronto tra la registrazione "detrendizzata" (ovvero depurata dell'effetto di deriva strumentale) e la marea normale calcolata per l'area vesuviana considerando i parametri mareali ottenuti dalle registrazioni 1987-2000, i residui gravimetrici ottenuti sottraendo la marea calcolata dalla marea registrata.

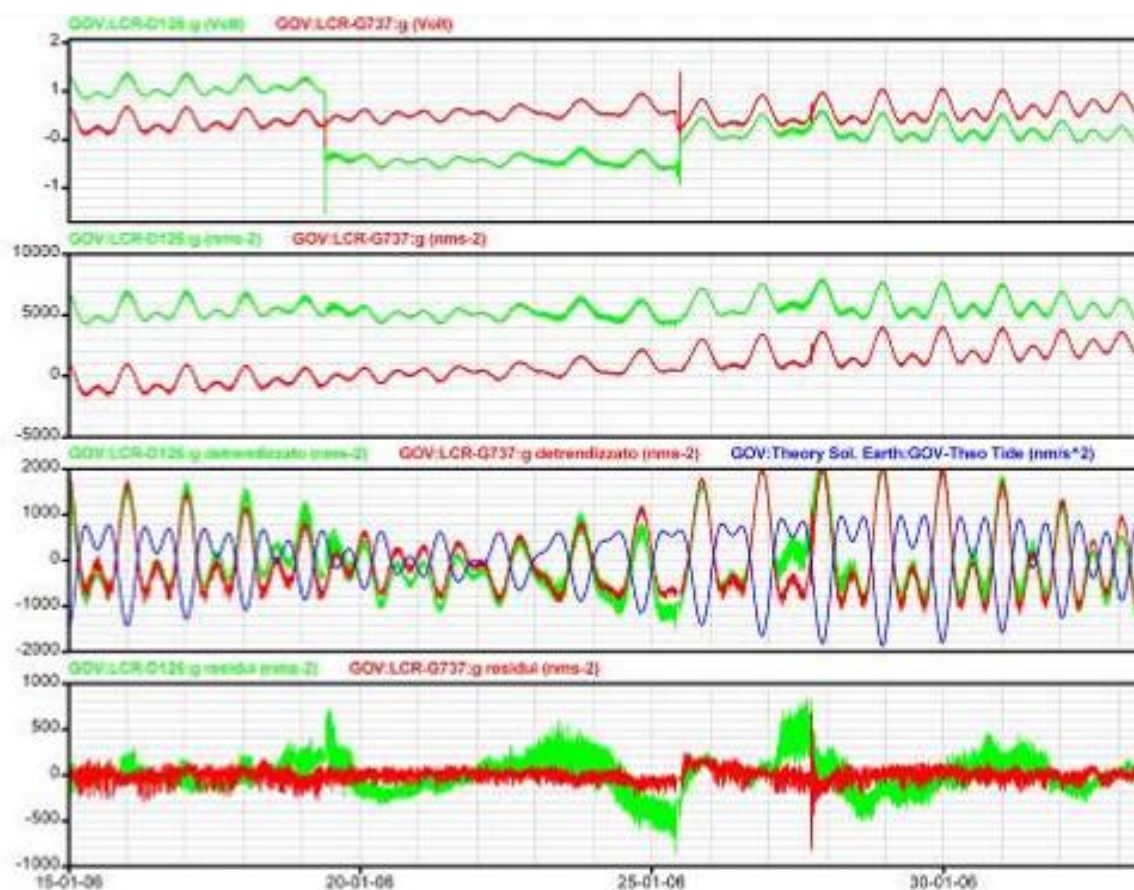


Figura 99. Registrazione gravimetrica ottenuta nel periodo 15 gennaio – 2 febbraio. Per i dettagli si faccia riferimento al testo.

Risulta dal comportamento dei due strumenti che il gravimetro modello D esibisce un livello di noise in generale sensibilmente più elevato del modello G. Dai dati non è stato ancora rimosso l'effetto del campo barico.

Ulteriori problemi sono sorti a partire dalla metà del mese di giugno, quando si è cominciato a registrare un disturbo molto forte sul gravimetro D, di ampiezza tale da rendere inutilizzabile la registrazione (Fig. 100).

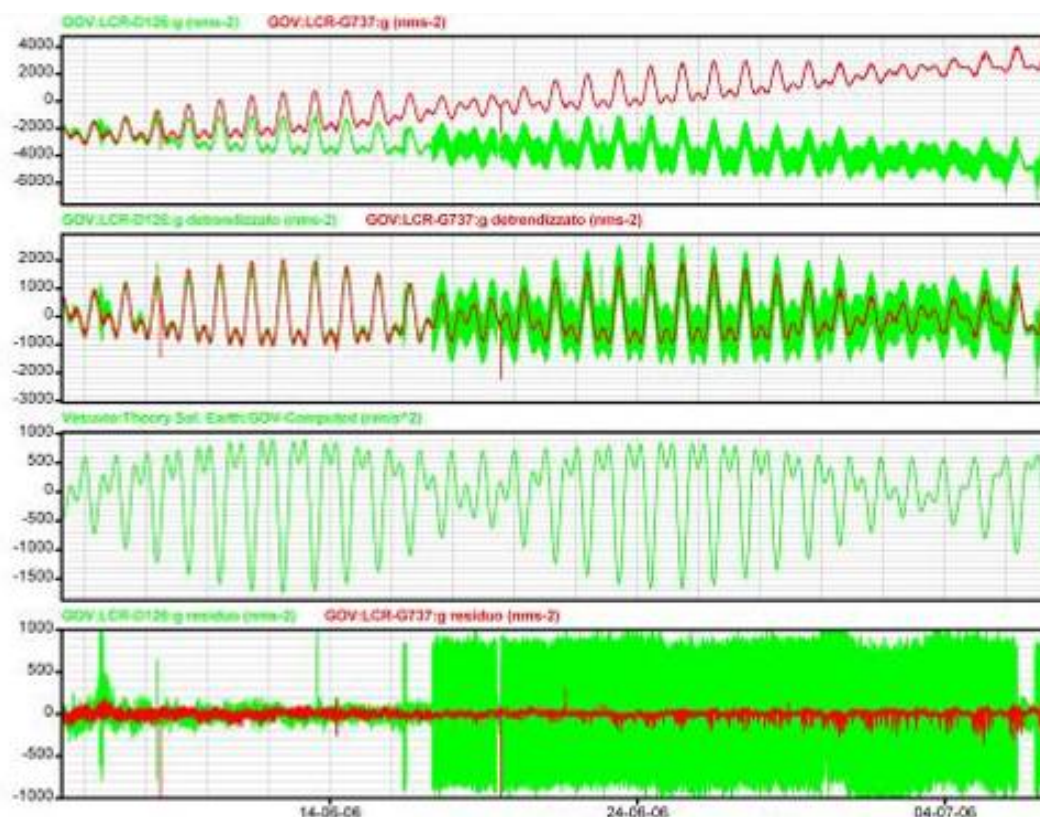


Figura 100. Registrazione gravimetrica ai due gravimetri nel periodo 5 giugno – 7 luglio. Dall'alto in basso: registrazione dell'output analogico in Volt; registrazione convertita in nm/s² e depurata delle discontinuità; marea solida normale; residui gravimetrici.

Purtroppo, la carenza di personale tecnico attualmente assegnato al settore gravimetrico (due unità, di cui una a contratto a tempo determinato ed in prossima scadenza, totalmente impegnati nelle campagne) non ha permesso controlli frequenti e ha comportato un notevole ritardo nell'individuare gli inconvenienti rilevati. Il complesso delle indagini necessarie per individuare le sorgenti del disturbo è oneroso in quanto dovrà essere focalizzato sia sul sensore gravimetrico che sul sistema di acquisizione, oltre ovviamente ad indagare su possibili fonti di disturbo esterne, e tutte le prove dovranno essere effettuate "on site" con il necessario supporto di personale tecnico qualificato. Nel frattempo si è provveduto a fare installare un punto rete nel sito di registrazione per la futura trasmissione del segnale via Internet.

Campi Flegrei

Tra i mesi di aprile e maggio 2006 è stata effettuata una campagna di misure gravimetriche ai Campi Flegrei. Le misure sono state rilevate su tutti i vertici della rete, incluse le stazioni di Agnano Pisciarelli, Via Scarfoglio (a Nord-Est e ad Est del cratere Solfatara) e quelle all'interno del cratere

Solfatara istituite nell'aprile 2005 nell'ambito dei progetti IGV-PC 2005-2006. La rete è attualmente costituita da 26 vertici (Fig. 101) tutti posizionati in corrispondenza, o in prossimità, di capisaldi della rete di livellazione e collegati alla stazione assoluta di Napoli assunta quale riferimento.

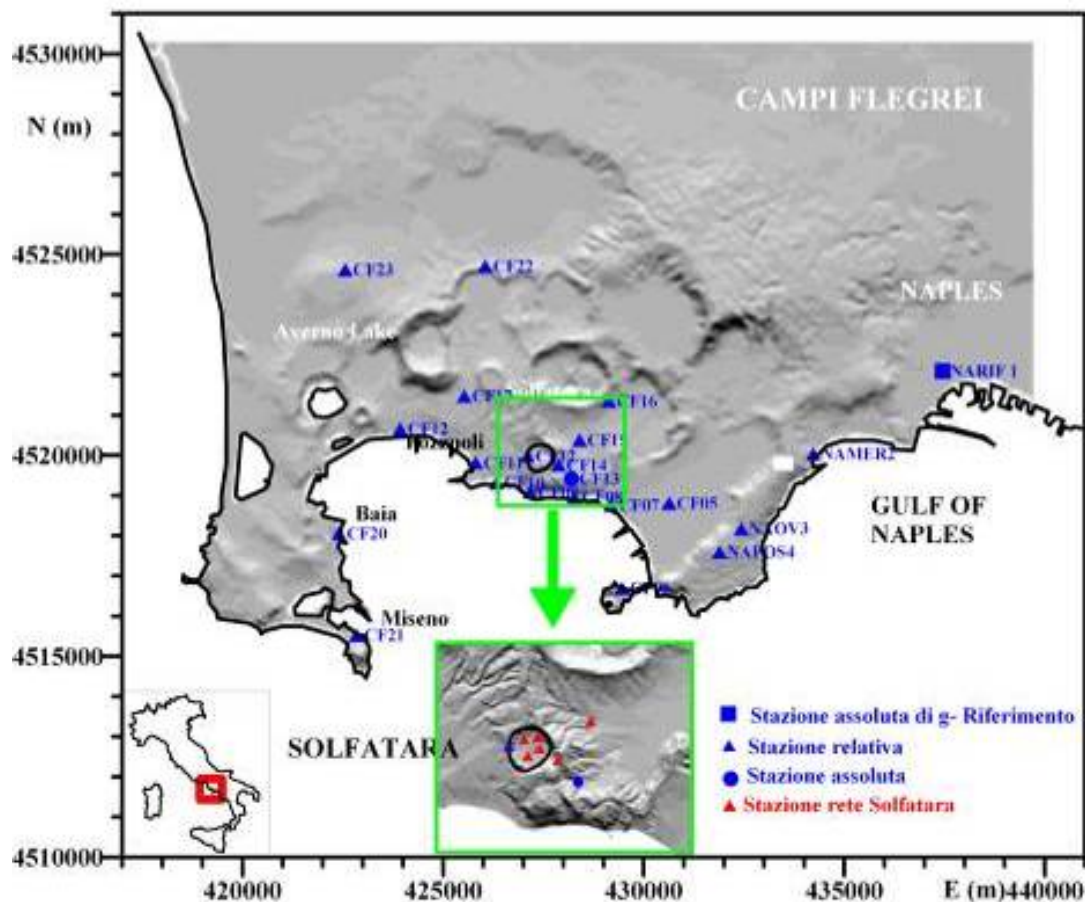


Figura 101. Rete gravimetrica ai Campi Flegrei.

Le letture gravimetriche sono state eseguite con il gravimetro LaCoste & Romberg, modello D numero 85 (LCR-D85), affiancato dal gravimetro LCR-D62, e, come di consueto, rilevate su tratte indipendenti in modo da costituire circuiti chiusi e concatenati per essere poi sottoposte a compensazione rigorosa; l'errore medio è risultato $\pm 13 \mu\text{Gal}$. Le differenze di gravità tra le singole stazioni e quella di riferimento di Napoli sono state confrontate con quelle della precedente campagna, eseguita nel novembre 2005, il cui errore medio era risultato di $\pm 8 \mu\text{Gal}$. Tenendo conto degli errori ottenuti nelle singole campagne, il campo della distribuzione spaziale delle variazioni di gravità è stato tracciato con equidistanza di $15 \mu\text{Gal}$; esso è illustrato in Fig. 102.

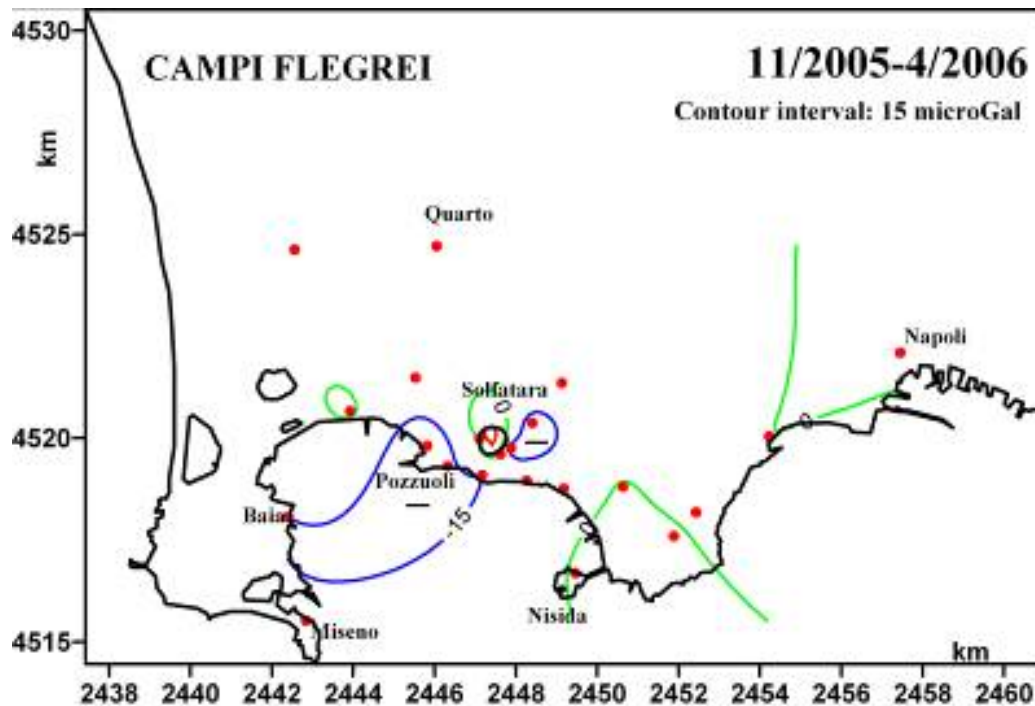


Figura 102. Variazioni di gravità ai Campi Flegrei, riferite alla stazione assoluta di Napoli ed inserendo anche le stazioni all'interno del cratere Solfatara, nel periodo novembre 2005-aprile 2006.

Il confronto mostra che nell'intervallo di tempo considerato, l'intera area flegrea è stata interessata da variazioni di gravità ai limiti della significatività statistica; tuttavia è interessante osservare che l'area centrale della caldera è stata affetta da una generale diminuzione di g . L'unica zona dove si osserva un aumento di g , sempre comunque ai limiti della significatività statistica, è l'interno del cratere della Solfatara, che si riconfermerebbe comportarsi in maniera "anomala" rispetto al resto dell'area, come già fatto osservare in precedenti rapporti (rif. Rendiconti sull'attività di sorveglianza INGV - Osservatorio Vesuviano 2005 e 2006).

I dati rilevati nel 2006 sono stati confrontati anche con quelli dei periodi precedenti a partire dal novembre 2003 per avere un quadro complessivo della dinamica che ha interessato l'area flegrea, poiché negli ultimi due anni le variazioni di g osservate, come già sottolineato nei rapporti precedenti, sono le poche che dopo l'evento bradisismico 1982-1984 mostrano una distribuzione spaziale con una geometria ben definita e omogenea. Infatti già nell'aprile 2004 è stato rilevato il formarsi di una fase di diminuzione di gravità localizzata nella zona centrale della caldera estesasi successivamente, e comunque fino al novembre 2004, all'intera area. Nell'aprile 2005 si è, invece, osservato il formarsi di un aumento di gravità, anch'esso successivamente estesosi all'intera area flegrea, come rilevato nel novembre 2005. Tali evidenze hanno portato alla conclusione che gli eventi significativi (diminuzione/aumento) si sono sviluppati prevalentemente in due distinti periodi, novembre 2003-novembre 2004 (Fig. 103a) e novembre 2004-novembre 2005 (Fig. 103b). Poiché, come ben noto, il confronto tra stessi periodi dell'anno permette di eliminare o ridurre gli effetti stagionali, le variazioni di gravità osservate sono attribuibili ad una ben precisa causa il cui effetto si è invertito, a partire dal novembre 2004. Inoltre, come già evidenziato nel rapporto relativo al

Rendiconto sull'attività di sorveglianza INGV-Osservatorio Vesuviano Il semestre 2006, il confronto complessivo novembre 2003 – novembre 2005 evidenzia che i due episodi sopra discussi, paragonabili sia per entità che per estensione, svaniscono pur se permane un residuo negativo nel centro della caldera. Considerando la diminuzione di g osservata nel 2006, è stata valutata la diminuzione di gravità complessiva, e relativa al periodo novembre 2003 – aprile 2006 (Fig. 103c).

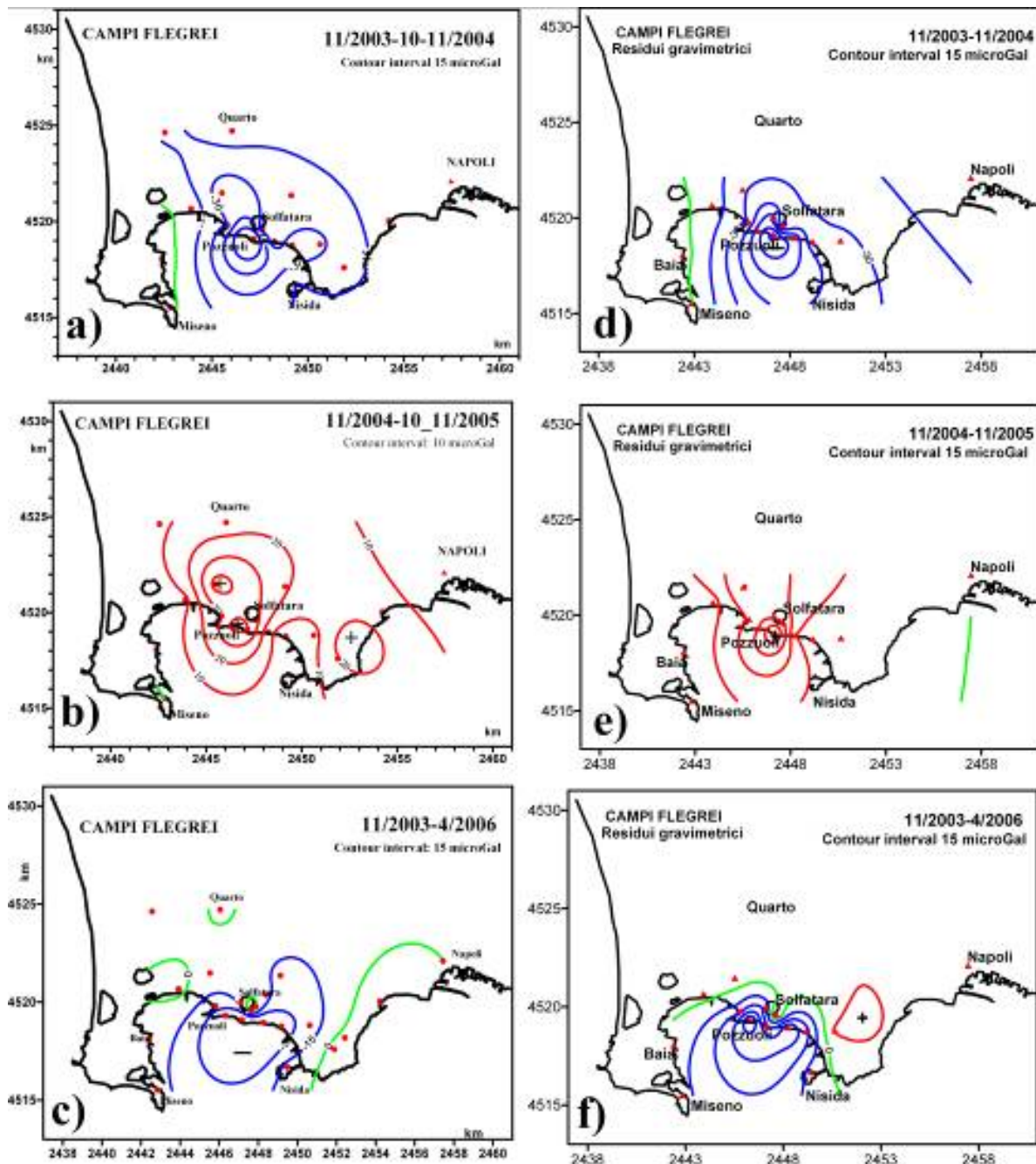


Figura 103. Variazioni di gravità ai Campi Flegrei nei periodi: a) novembre 2003 – novembre 2004; b) novembre 2004 - novembre 2005; c) novembre 2003 - aprile 2006. In d), e) ed f) sono rappresentati i campi delle distribuzioni dei residui gravimetrici per gli stessi intervalli di tempo.

Laddove disponibili i dati altimetrici, le variazioni di gravità sono state corrette dell'effetto del movimento verticale del suolo verificato negli stessi intervalli di tempo considerati; ciò al fine di ottenere i residui gravimetrici, indicativi di variazione e /o redistribuzione di masse in profondità, la cui distribuzione spaziale, relativa ai tre periodi analizzati, è mostrata nelle Fig. 103d-f.

Le variazioni di gravità e quelle di quota mostrano, come solitamente osservato nell'area, una correlazione inversa, ma contrariamente a quanto osservato durante fenomeni significativi di sollevamenti e/o abbassamenti, il contributo dei movimenti del suolo è minimo, e perciò le variazioni di gravità osservate sono da attribuirsi quasi esclusivamente a effetti di variazioni di massa; tanto è vero che i campi delle variazioni di g e dei residui gravimetrici risultano molto simili. L'entità e l'estensione dei campi di distribuzione dei residui indicano che la fenomenologia osservata può essere associabile alla dinamica di una sorgente la cui profondità è compresa tra 1.8 e 2.0 km per entrambi i periodi 11/03-11/04 e 11/04-11/05, mentre per il periodo globale 11/03-11/06, comprendente la variazione negativa permanente di Fig. 103f, essa risulta inferiore al chilometro. Ciò suggerisce che le variazioni di g rilevate potrebbero essere dovute all'effetto congiunto di due fenomeni sovrapponibili di cui quello più profondo, anche il più significativo e prevalente, perdurato dal 2003 al 2005, si è totalmente annullato. Tali sorgenti possono essere individuate nella dinamica del sistema idrotermale dell'area.

Alla stessa conclusione si perviene se si analizzano le relazioni dirette tra variazioni di gravità (Δg) e variazioni di quota (Δh) alle singole stazioni e per i tre intervalli di tempo separatamente. Confrontando i gradienti sperimentali mostrati in Fig. 104a con quelli indicati in uno schema teorico (Fig. 104b), proposto da Gottsmann et al. (2003: EPSL, 211, 296-309) ed ottenuto dalla fusione dei risultati di due diversi modelli interpretativi della relazione $\Delta g/\Delta h$, si evidenzia molto chiaramente che le variazioni di g rilevate sono da attribuire a processi superficiali quali ad esempio l'attività del sistema idrotermale e/o fluttuazioni nelle emanazioni gassose. Come anche indicato nello schema teorico, un tale tipo di relazione esclude, o indica come improbabile, attività eruttive.

Si ricorda che nel corso dell'ultimo fenomeno bradisismico, durante la fase di sollevamento 1982-1984, le variazioni di gravità erano correlate inversamente a quelle di quota (a sollevamenti corrispondevano diminuzioni di gravità), ma i residui gravimetrici risultavano positivi, ovvero opposti alle variazioni misurate di g e le relazioni $\Delta g/\Delta h$ come quelle sopra analizzate indicavano variazioni di massa associata ad arrivo e redistribuzione di nuovo magma, comunque insufficiente ad innescare un'eruzione (Ref. Berrino et al., 1984: Bull. Volcanol., 47, 188-200; Berrino, 1994: J.VG.R., 61, 293-309; Gottsmann et al., 2003: EPSL, 211, 296-309). La relazione $\Delta g/\Delta h$ ottenuta per i dati rilevati durante il periodo 2/82-1/85 e considerando tutte le stazioni è riportato in Fig. 104c, congiuntamente a quelli relativi ai periodi analizzati nel presente rapporto, al fine di poter effettuare un facile confronto.

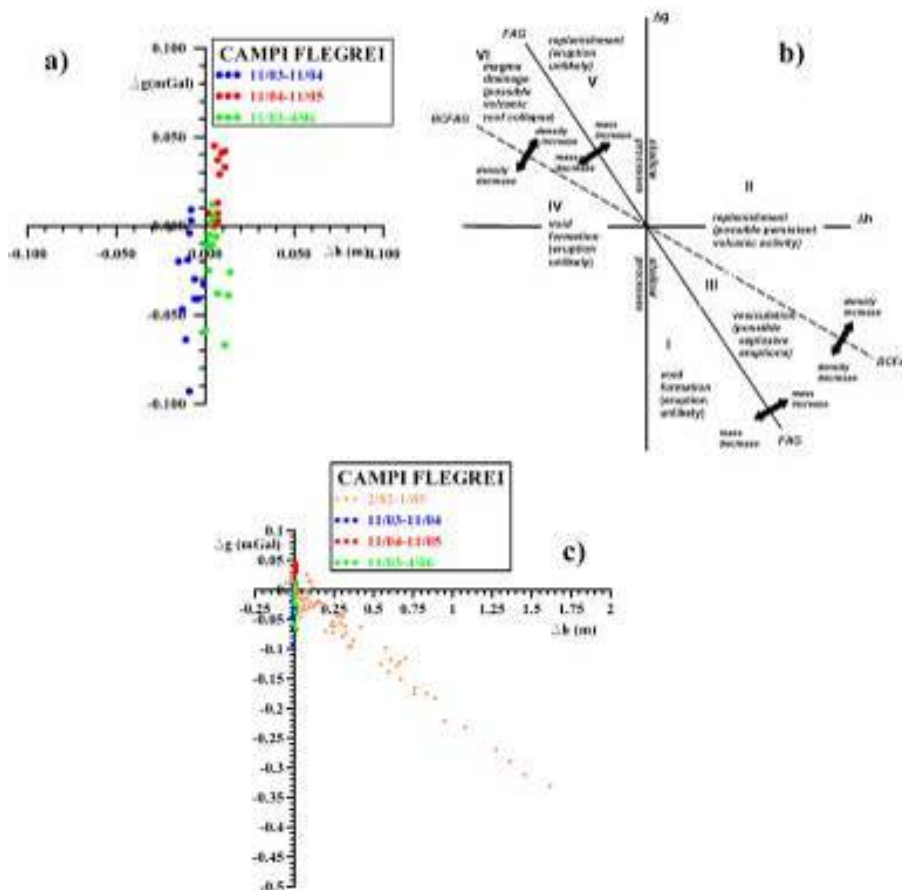


Figura 104. a) relazioni $\Delta g/\Delta h$ per i periodi 11/03-11/04, 11/04-11/05 e 11/03-4/06; b) schema teorico per l'interpretazione delle relazioni $\Delta g/\Delta h$ (da Gottsmann et al., 2003: EPSL, 211, 296-309); c) confronto tra le relazioni $\Delta g/\Delta h$ relative ai periodi analizzati e quella ottenuta per la fase di sollevamento del bradisismo 82/84.

Ischia

Nel mese di giugno 2006 è stata effettuata una campagna gravimetrica all'isola di Ischia, dove le misure vengono condotte con frequenza biennale a causa della debole attività. La rete di stazioni è costituita da 25 vertici (Fig. 105) per la quasi totalità coincidenti con capisaldi altimetrici. La rete è collegata alla stazione assoluta di Napoli, costituente il riferimento esterno, mediante collegamenti con la stazione di Ischia Porto (ISG01), che viene utilizzato come riferimento locale in caso di impossibilità ad effettuare i collegamenti con quello esterno.

Le letture gravimetriche sono state rilevate con il gravimetro LaCoste & Romberg, modello D numero 85 (LCR-D85) ed i collegamenti tra coppie di stazioni, tutti indipendenti, sono stati organizzati in circuiti chiusi e concatenati per procedere alla compensazione dei dati; l'errore medio sui Δg è risultato di $\pm 8 \mu\text{Gal}$.

Le differenze di gravità alle singole stazioni sull'isola, riferite a Napoli, sono state confrontate con quelle rilevate, con la stessa strumentazione, nella precedente campagna del maggio 2004 e il cui errore medio è di $\pm 15 \mu\text{Gal}$. Nel corso della campagna del 2004 le letture gravimetriche furono effettuate anche con il gravimetro LCR-D62, messo a disposizione dal Dipartimento di Geofisica e Vulcanologia dell'Università "Federico II" di Napoli ed utilizzato nelle campagne precedenti, allo

scopo di ottenere i parametri di trasferimento e un riferimento temporale per il gravimetro D-85, all'epoca di recente acquisizione e per la prima volta utilizzato ad Ischia. Ciò per rendere possibile qualsiasi eventuale confronto sul lungo termine.

Tenendo conto dell'errore ottenuto sulle variazioni di gravità nell'intervallo di tempo considerato, vengono considerate significative solo quelle superiori a $20 \mu\text{Gal}$. Il campo della distribuzione della variazione di gravità relativo al periodo investigato (Fig. 106) mostra che in generale l'isola è stata interessata da variazioni di g ai limiti della significatività statistica; ciò vale anche per le stazioni più vicine all'area interessata dal fenomeno franoso verificatosi nell'Aprile 2006 nel settore sud-orientale dell'isola, dove sono state rilevate variazioni nulle o diminuzioni di g non significative statisticamente, come d'altronde atteso data l'estensione dell'area interessata dalla frana. Aumenti di gravità significativi si evidenziano solo in due stazioni posizionate nel settore centro-settentrionale dell'isola, precisamente nella zona compresa tra Casamicciola Porto e l'Epomeo (ISG14- $51 \mu\text{Gal}$ e ISG18- $42 \mu\text{Gal}$), e alla stazione di Fiaiano (ISG19- $42 \mu\text{Gal}$), posizionata nella porzione centro-orientale di Ischia. Tali variazioni sono indicative di fenomeni molto locali e superficiali; inoltre il fatto che nessuna significativa variazione di gravità è stata misurata tra la stazione in Ischia Porto e quella di riferimento di Napoli e la geometria chiusa delle isoanomale (Fig. 106) suggeriscono che anche le variazioni a carattere più esteso, seppure si ripete ai limiti della significatività statistica, sono da ritenersi limitate all'isola.

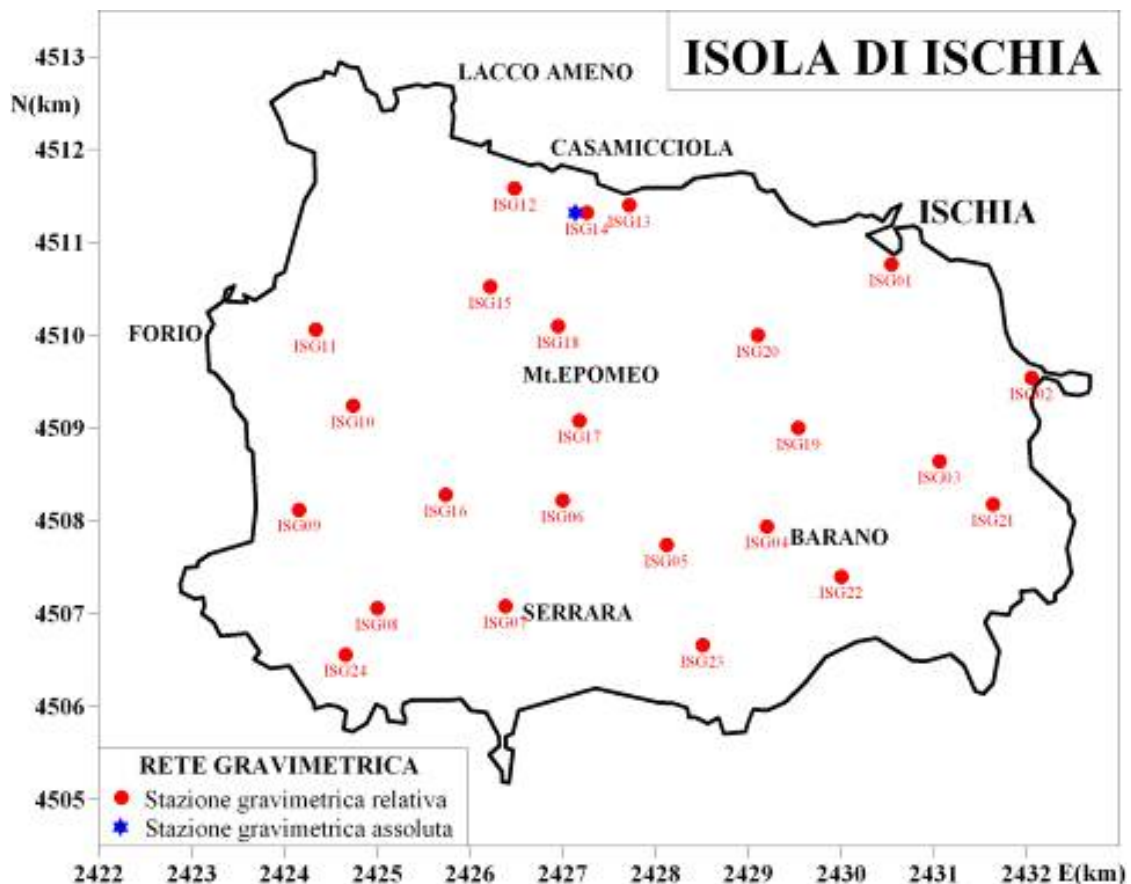


Figura 105. Rete gravimetrica all'isola di Ischia.

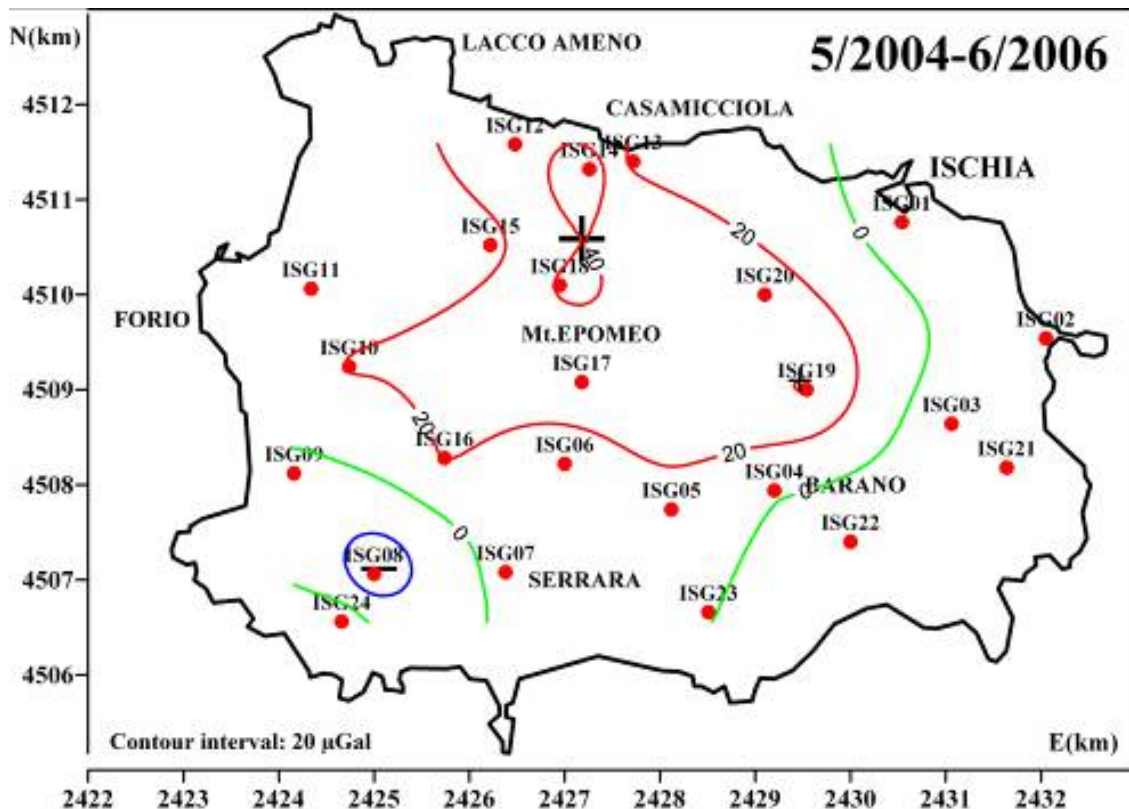


Figura 106. Variazioni di gravità, con riferimento alla stazione assoluta di Napoli, osservate all'Isola di Ischia nel periodo maggio 2004-giugno 2005.

SORVEGLIANZA GEOCHIMICA AL VESUVIO¹¹

La sorveglianza geochimica dell'area Vesuviana, effettuata dall'Unità Funzionale di Geochimica dei Fluidi dell'Osservatorio Vesuviano nel corso del primo semestre del 2006, ha riguardato il monitoraggio del processo di degassamento nell'area craterica e lo studio delle emissioni fumaroliche presenti al fondo e sul bordo del cratere. Il monitoraggio del processo di degassamento è stato effettuato attraverso la misura discontinua dei flussi di CO₂ in 15 punti fissi ubicati sul bordo orientale del cratere (area anemometro) e attraverso l'acquisizione in continuo del flusso di CO₂ e di alcuni parametri atmosferici tramite la stazione FLXOV4 installata all'interno del cratere.

Flussi di CO₂

Il monitoraggio del processo di degassamento nell'area vesuviana è stato effettuato attraverso:

- l'esecuzione di numero 3 indagini veloci;
- il monitoraggio in continuo attraverso la stazione FLXOV4.

¹¹ A cura di: R. Avino, S. Caliro, G. Chiodini, V. Di Matteo, D. Granieri, C. Minopoli, R. Moretti, M. Russo

Monitoraggio discontinuo dei flussi di CO₂ (indagini veloci)

Le indagini veloci sono state effettuate periodicamente a partire dal febbraio 1998, sul bordo orientale del cratere. Le misure dei flussi di CO₂ e delle temperature del suolo a 10 cm di profondità vengono effettuate in 15 siti selezionati. I valori medi dei flussi di CO₂ di ciascuna campagna sono riportati, insieme al numero di scosse mensili, nel cronogramma di Fig. 107, dove è possibile riconoscere due periodi; il primo periodo, dall'inizio 1998 alla fine del 1999 è stato caratterizzato da un trend crescente del flusso di CO₂; il secondo periodo, invece, iniziato in seguito all'evento sismico dell'ottobre 1999, è caratterizzato da valori mediamente più bassi di flusso, le cui oscillazioni cicliche, sono imputabili a variazioni dei parametri ambientali. I valori più elevati di flusso di CO₂ sono relativi al periodo di maggiore sismicità (ottobre 1999). Le misure discontinue di flusso di CO₂ effettuate in questo primo semestre 2006, non hanno evidenziato variazioni significative rispetto ai periodi precedenti.

Stazioni in continuo: ubicazione, sensoristica e risultati

Il monitoraggio geochimico in continuo al cratere del Vesuvio viene eseguito tramite la stazione automatica FLXOV4 che misura, ad intervalli di 4 ore, il flusso di CO₂ dal suolo e la temperatura del suolo a circa 20 cm di profondità. La stazione è operativa dall'agosto 1999, ma ha richiesto continui interventi di manutenzione sia per la continua caduta di materiale dalle pareti del cratere del Vesuvio, sia per mancanza di irraggiamento diretto all'interno del cratere del Vesuvio durante le stagioni invernali. Il record di dati presenta pertanto delle lacune in alcuni periodi dell'anno. La stazione ha subito un danneggiamento nel settembre 2005 ed è stata ripristinata all'inizio di aprile 2006. I valori di flusso registrati nel periodo aprile-giugno 2006 hanno mostrato un valore medio di circa 3000 gm⁻²d⁻¹ (Fig. 108), che risulta un valore tipico per il periodo di riferimento (periodo primaverile). Nei giorni 11-13 aprile 2006 è stato registrato un picco di degassamento caratterizzato da un valore medio di circa 7300 gm⁻²d⁻¹ ed un valore massimo di circa 16000 gm⁻²d⁻¹. La temperatura del suolo, riportata nella Fig. 108, è stata registrata nel 2005 in un sito diverso (sito II) di quello monitorato fino al settembre 2003 (sito I). Dall'aprile 2006 è stato reinstallato il sensore di temperatura del suolo nel sito originario (sito I). La stazione meteorologica (ABC 7030), ubicata sul bordo occidentale del Vesuvio è stata completamente distrutta da una scarica elettrica atmosferica nell'ottobre 2005 ed attualmente non è operativa.

Composizione chimica delle fumarole al Vesuvio

Nel corso del primo semestre 2006 sono state eseguite n. 2 campagne di campionamento delle fumarole interne al cratere vesuviano e 3 campagne di campionamento della fumarola B1 del bordo cratere (Tab. 19). Una dettagliata descrizione del modello geochimico interpretativo delle fumarole del Vesuvio è riportata nei precedenti rapporti e riassunta nei precedenti rapporti di sorveglianza in cui sono state segnalate variazioni della composizione delle fumarole interne al cratere (fig 3 e 4): a partire dal terremoto del 9 ottobre 1999 (Md=3.6) sono state misurate per 2 anni aumenti nel tempo sia del rapporto He/CO₂ che della pCO₂ stimata sulla base di geoindicatori gassosi per una brine satura in NaCl. Contemporaneamente si è verificata la diminuzione dei

rapporti H_2/CO_2 e CH_4/CO_2 (vedi rapporto finale 2001 e 2002). A partire dall'autunno 2002, i risultati delle analisi chimiche hanno mostrato e mostrano tuttora un graduale ritorno dei suddetti valori verso le condizioni precedenti il terremoto. Le variazioni riscontrate, che hanno registrato i massimi valori nel 2002, e il contemporaneo aumento del flusso di CO_2 rilevato alla stazione FLXOV4 (Fig. 109), sono state probabilmente causate ad un aumento dell'input di gas profondo, forse favorito dall'evento sismico dell'ottobre 1999. Durante il 2005 ed i primi sei mesi del 2006, i valori stimati di pCO_2 non hanno evidenziato variazioni significative rispetto ai periodi precedenti (Fig. 109). Nello stesso periodo i rapporti CH_4/CO_2 , He/CO_2 e H_2/CO_2 (fig 4) hanno anch'essi mostrato un'evoluzione verso valori simili a quelli registrati precedentemente all'evento sismico dell'ottobre 1999.

Conclusioni

Nel corso del primo semestre 2006 le misure in continuo del flusso di CO_2 alla stazione automatica FLXOV4 sono state effettuate solo per brevi periodi a causa di un malfunzionamento della stazione. La stazione meteorologica, ubicata sul bordo occidentale del cratere, colpita da scarica elettrica atmosferica nel settembre 2004 è stata reinstallata nel maggio 2005, ma nuovamente danneggiata ad ottobre 2005. Le misure discontinue di flusso di CO_2 effettuate nel 2005 e 2006, non hanno evidenziato variazioni significative rispetto al periodo precedente. Anche per quanto riguarda i parametri chimici delle fumarole e la pCO_2 stimata non si sono registrate variazioni significative rispetto al periodo precedente. I valori dei rapporti H_2/CO_2 , CH_4/CO_2 e He/CO_2 , che in seguito all'evento sismico dell'ottobre 1999 avevano subito variazioni imputabili ad un aumento dell'input di gas profondo, si stanno lentamente riportando verso valori caratteristici del periodo precedente l'ottobre 1999.

Tabella 19. Analisi chimica dei campioni della fumarola FC2 del fondo cratere e della fumarola B1 del bordo cratere (le analisi sono espresse in $\mu\text{mol/mol}$).

Campione	Data	T°C	H ₂ O $\mu\text{m/m}$	CO ₂ $\mu\text{m/m}$	H ₂ S $\mu\text{m/m}$	Ar $\mu\text{m/m}$	O ₂ $\mu\text{m/m}$	N ₂ $\mu\text{m/m}$	CH ₄ $\mu\text{m/m}$	H ₂ $\mu\text{m/m}$	He $\mu\text{m/m}$	CO $\mu\text{m/m}$
FC2	24/03/2006		933335	65552	255.3	0.546	0.008	113.1	39.8	704.3	0.362	28.013
FC2	07/05/2006	95	938599	60365	239.4	0.202	0.038	94.4	36.9	665.0	0.342	28.071

Campione	Data	T°C	%Ar	%O ₂	%N ₂	%CH ₄	%CO ₂
B1	10/01/2006		0.881872	19.75504	73.57571	0	1.342094
B1	31/03/2006	68.5	0.878135	19.65806	77.16097	0.018949	1.649406

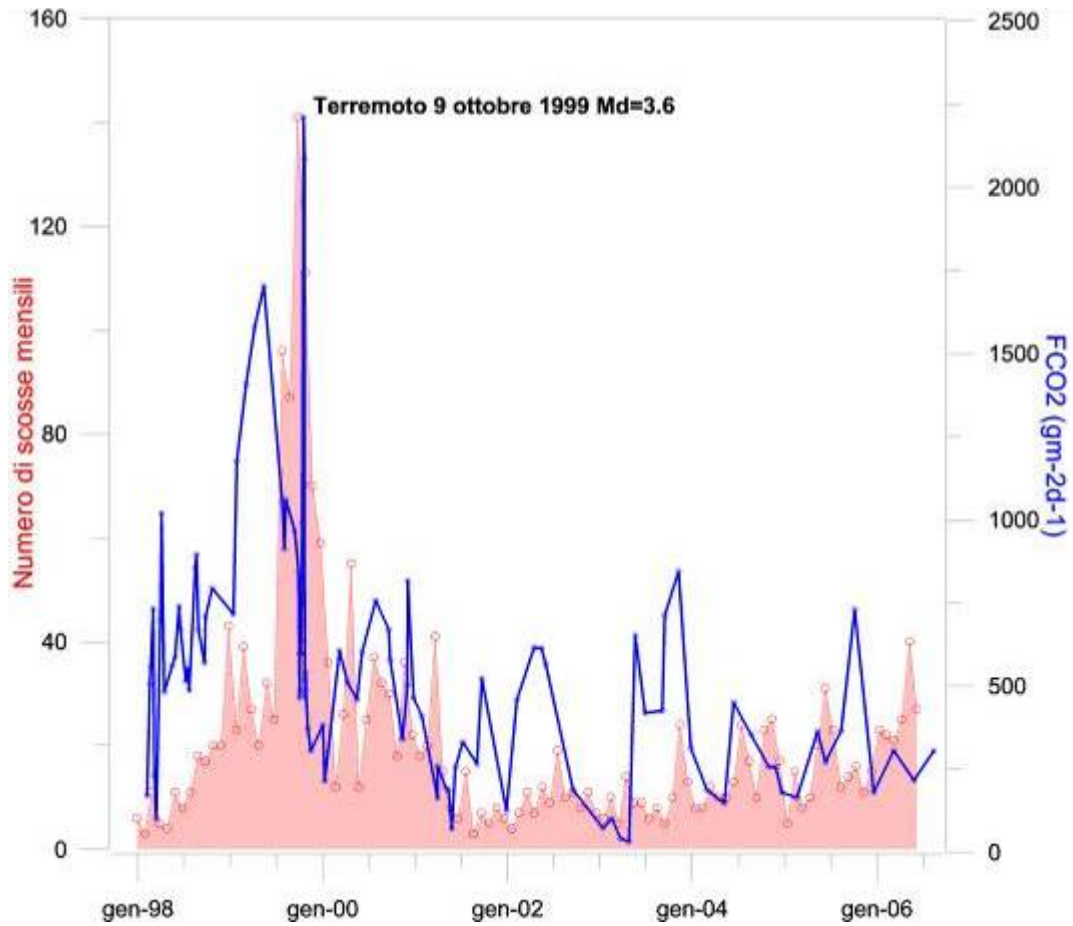


Figura 107. Valori medi del flusso di CO₂ in 15 punti del bordo craterico del Vesuvio, area anemometro (per l'ubicazione esatta del sito vedi i rapporti di sorveglianza 1999). Nel grafico è anche riportato il numero mensile di eventi sismici.

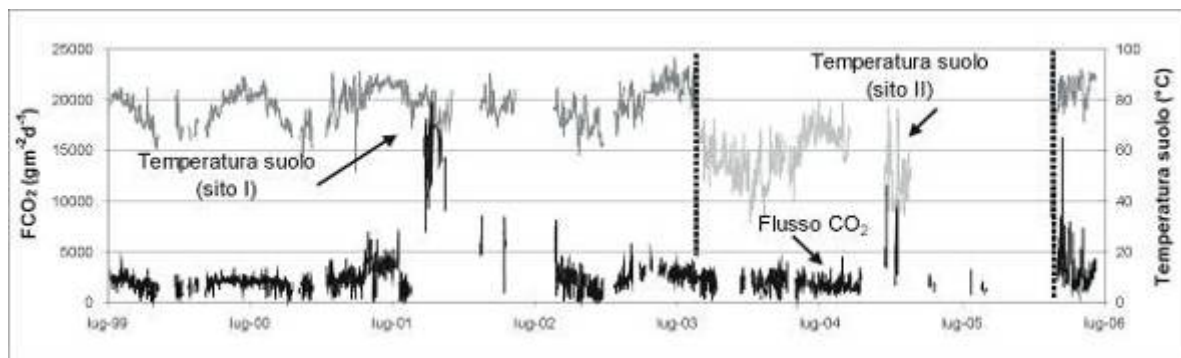


Figura 108. Flusso di CO₂ e temperatura del suolo a circa 0.2 m di profondità, all'interno del cratere del Vesuvio. Dall'aprile 2006 è stato ripristinato il controllo della temperatura del suolo nel sito I.

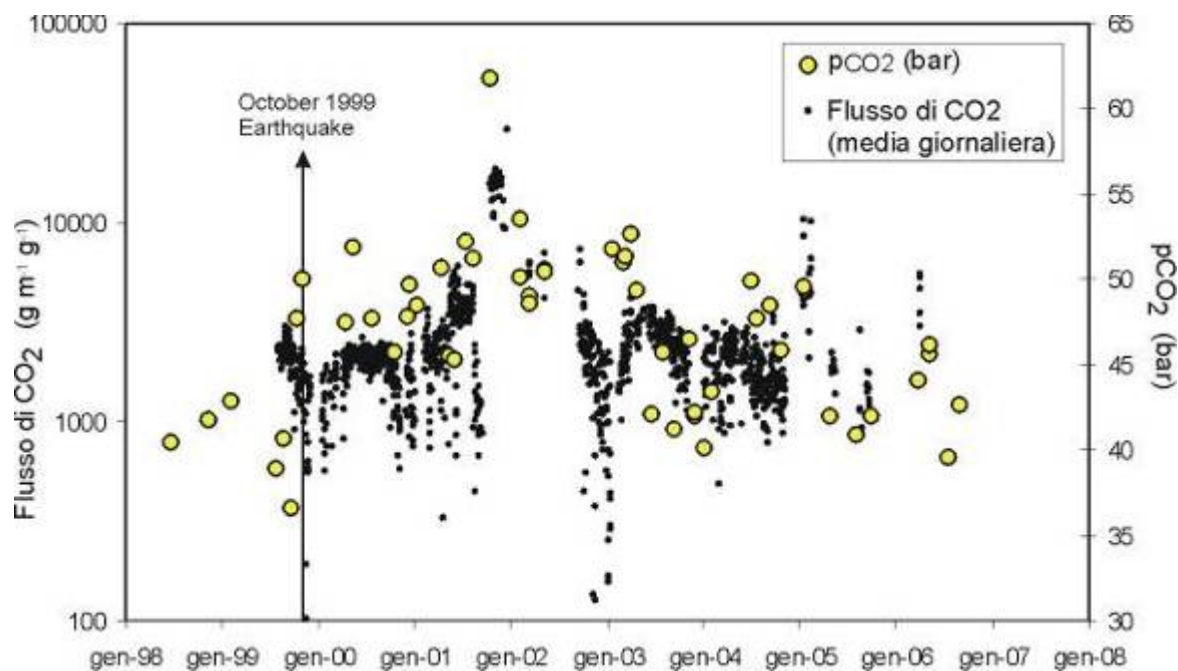


Figura 109. pCO₂ stimata sulla base dei gas emessi dalla fumarola FC2 (brine NaCl 3M) e medie giornaliere del flusso di CO₂ alla stazione FLXOV4 (1998-2006).

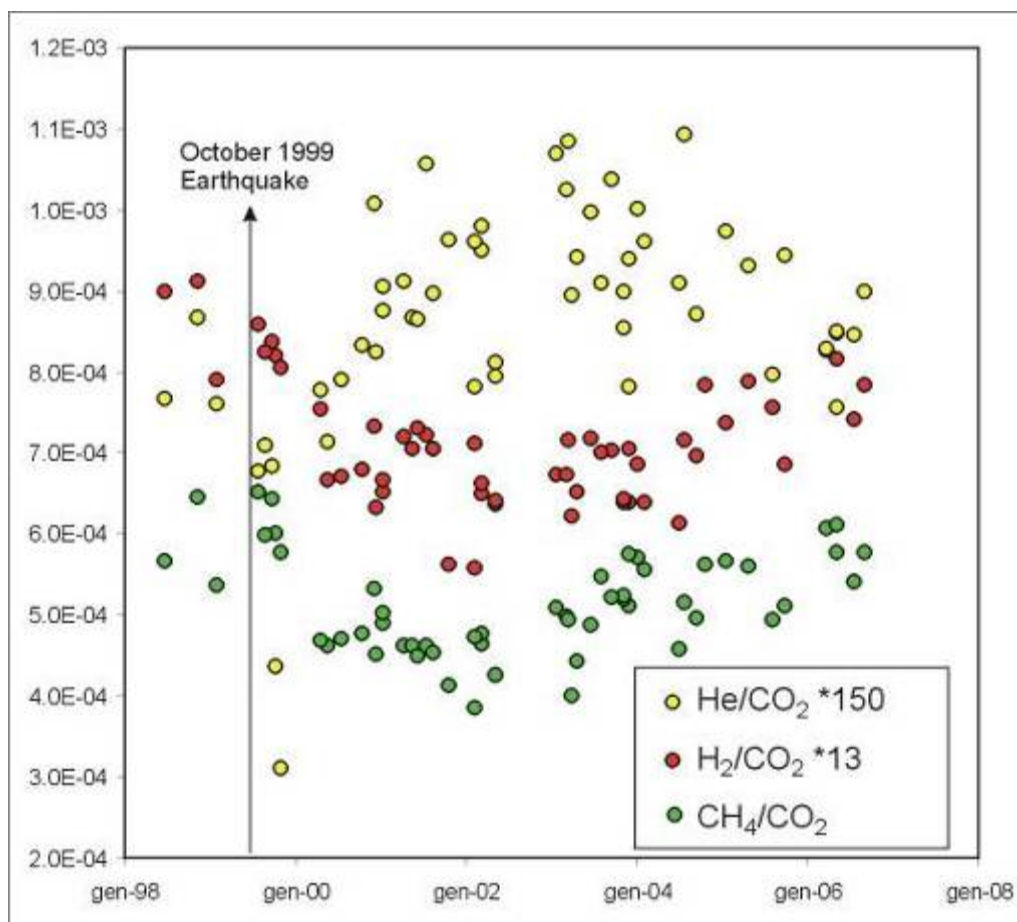


Figura 110. Variazioni composizionali della fumarola FC2 nel periodo 1998-2006.

SORVEGLIANZA GEOCHIMICA AI CAMPI FLEGREI¹²

La sorveglianza geochimica dell'area flegrea svolta nel primo semestre 2006 dall'Unità Funzionale di Geochimica dei Fluidi istituita presso l'Osservatorio Vesuviano, ha riguardato il monitoraggio continuo e discontinuo dell'area craterica della Solfatara di Pozzuoli e dei Pisciarelli di Agnano. Il monitoraggio in continuo dell'area craterica della Solfatara di Pozzuoli è stato effettuato mediante 5 stazioni automatiche poste all'interno del cratere stesso. Queste stazioni permettono: la misura dei flussi di CO₂ dal suolo (stazione FLXOV1); l'acquisizione di parametri ambientali (FLXOV1 e ABC 7203); la misura del flusso termico e del gradiente di temperatura nel suolo (ABC 7030); la misura del flusso di CO₂ dal suolo mediante misure di concentrazione in aria e dei parametri atmosferici (Eddy Correlation); la valutazione dello stato termico del suolo mediante sistemi di monitoraggio ad immagine, tarati sulle lunghezze d'onda dell'IR termico (stazione RMS). La stazione per la misura dei flussi di CO₂ dal suolo (FLXOV3) è stata nuovamente messa in funzione nella zona dei Pisciarelli di Agnano. Il monitoraggio discontinuo ha riguardato campagne specifiche di misura dei flussi di CO₂ dal suolo della Solfatara e dei Pisciarelli, campagne di campionamento delle fumarole della Solfatara di Pozzuoli (Bocca Grande e Bocca Nuova) e dei Pisciarelli di Agnano.

Monitoraggio discontinuo dei flussi di CO₂

Il monitoraggio discontinuo dei flussi di CO₂ nel primo semestre del 2006 è stato eseguito attraverso 6 campagne (indagini veloci) consistenti nella misura del flusso di CO₂ e della temperatura del suolo a 10 cm di profondità, in 71 punti fissi ubicati all'interno del cratere della Solfatara (l'ubicazione dei punti di misura è riportata nel rapporto 2004). Le misure di flusso di CO₂ sono state eseguite con il metodo della camera d'accumulo, già descritto nei precedenti rapporti di sorveglianza. Di seguito commenteremo i dati relativi a 30 dei 71 punti per cui si ha un set continuo di valori a partire dal 1998. In Fig. 111 si nota che i flussi di CO₂ sono correlati alle deformazioni del suolo (nella figura è riportata per confronto la variazione di quota del caposaldo 25) suggerendo ancora il ruolo primario del degassamento di un corpo magmatico in profondità nel fenomeno bradisismico. In particolare si osserva la forte diminuzione dei flussi registrata tra il 1998 e 1999 seguita da un picco positivo nel 2000-2001, da una diminuzione nel 2002-2003 ed un nuovo incremento negli anni successivi. Tale aumento è tuttora in corso e ha caratterizzato il periodo di sollevamento di questi primi sei mesi del 2006. La temperatura del suolo ha subito un'ovvia variazione con i cicli stagionali mostrando i valori più alti nel periodo estivo e quelli più bassi in quello invernale (Fig. 112). E' stato quindi operato un filtraggio dei dati sia attraverso una regressione con la temperatura atmosferica media registrata nei giorni delle campagne ed il calcolo dei residui, sia con il calcolo delle temperature medie annuali del suolo. Diagrammando il cronogramma dei residui della temperatura osservata meno quella calcolata con la regressione e le temperature medie annuali si osserva un sostanziale accordo: un primo periodo di diminuzione delle temperature (1998-1999) è interrotto da una fase di stabilità seguito da un debole aumento iniziato nel 2005 e tuttora in corso (Fig. 113). Nel complesso l'andamento delle temperature del

¹² A cura di: R. Avino, S. Caliro, G. Chiodini, V. Di Matteo, D. Granieri, C. Minopoli, R. Moretti, M. Russo

suolo, proporzionale al rilascio di energia termica, mostra un andamento simile sia con i flussi di CO₂ che con le deformazioni del suolo (vedi Fig. 111). Infine, nel primo semestre 2006, sono state eseguite 2 campagne di misura dei flussi di CO₂ e temperatura del suolo alla profondità di 10 cm, in 28 punti fissi ubicati nell'area dei Pisciarelli. I valori misurati di flusso di CO₂ (~ 5500 g m⁻² d⁻¹) e della temperatura al suolo (media ~55°C) non hanno mostrato variazioni significative nel periodo considerato a parte la forte diminuzione di temperatura del suolo misurata a gennaio 2006, diminuzione verosimilmente dovuta alle basse temperature ambientali (Fig. 114).

Indagine di dettaglio

A gennaio 2006 è stata effettuata una campagna di misure del flusso di CO₂ e della temperatura del suolo, a 10 cm di profondità, in circa 220 punti ubicati all'interno del cratere della Solfatara secondo una maglia regolare di 20 metri. In Fig. 115 è riportato il cronogramma dei flussi di CO₂ misurati a partire dal 1997. Il valore di flusso di CO₂ misurato sembra mostrare un trend positivo a partire dal maggio 2005.

Stazioni in continuo: ubicazione e sensoristica

Il sistema di monitoraggio geochimico in continuo dell'Osservatorio Vesuviano comprende attualmente due stazioni per l'acquisizione dei parametri geochimici (FLXOV1, in Solfatara e FLXOV3 nell'area dei Pisciarelli), una stazione per la misura del flusso termico e delle temperature del suolo (ABC 7031) e una stazione meteorologica (ABC 7203) ubicate all'interno del cratere della Solfatara di Pozzuoli. La stazione FLXOV1 acquisisce, ad intervalli di due ore, il flusso di CO₂ dal suolo ed alcuni parametri ambientali. La stazione è operativa dal novembre 1997 e le sue specifiche tecniche sono state indicate nei precedenti rapporti di sorveglianza. La stazione ABC 7031, ubicata nello stesso sito della stazione FLXOV1 e operativa dall'ottobre 2001, misura in automatico il flusso termico e la temperatura del suolo a tre differenti profondità (0.1, 0.2, 0.3 m); anche questa stazione è stata già descritta nel rapporto precedente. La stazione ABC 7203 acquisisce, in automatico e con frequenza oraria, alcuni parametri atmosferici ed ambientali all'interno del cratere della Solfatara. Essa è operativa dal 14 luglio 2003 nello stesso sito della stazione FLXOV1. Nel giugno 2004 è stata inoltre installata una stazione per la misura del flusso di CO₂ dal suolo basata sulla tecnica di Eddy Correlation (stazione EC già descritta nel rapporto 2003). L'area indagata da ogni singola misura di EC è rappresentativa di una superficie conica con vertice coincidente con la stazione stessa e rivolta verso la regione della Fangaia. La stazione automatica per il monitoraggio del flusso di CO₂ dal suolo (FLXOV3) è stata reinstallata dall'ottobre 2005 nell'area dei Pisciarelli di Agnano, area anomala sia per l'entità del degassamento di CO₂ dal suolo sia per la temperatura del suolo. Questa stazione, acquisisce ad intervalli di due ore il flusso di CO₂ dal suolo ed alcuni parametri ambientali.

Risultati del monitoraggio in continuo

In Fig. 116 è riportato l'andamento del flusso di CO₂ nel sito FLXOV1, mediato su intervalli mensili ed annui. Il degassamento diffuso di CO₂ nel sito mostra un marcato trend decrescente nel periodo

1998-2001, un andamento all'incirca costante nel periodo 2001-2003 e un trend leggermente decrescente negli anni 2004-2005 e nel primo semestre del 2006. L'andamento medio mensile ha evidenziato variazioni stagionali già riconosciute negli anni precedenti con valori più elevati di flusso in concomitanza della stagione umida (autunno - inverno). Il picco di flusso di CO₂ registrato nella stagione umida 2005-2006 appare tuttavia di ampiezza più limitata rispetto a quelli registrati nei tre anni immediatamente precedenti. Come evidenziato nei precedenti rapporti di sorveglianza i picchi positivi di alta frequenza del flusso di CO₂ (Fig. 117) sono tutti correlati con gli eventi piovosi dell'area flegrea che provocano un aumento nel contenuto d'acqua nel suolo e variazioni positive del flusso di CO₂ nel sito di monitoraggio. Durante il periodo umido autunno 2005-inverno 2006 e per tutto il primo semestre del 2006 questa correlazione appare molto meno evidente e, malgrado si siano registrati periodi piovosi, il flusso di CO₂ mostra un generale andamento costante. La stazione meteorologica ABC 7203 completa il set di dati ambientali (atmosferici e del suolo) relativi al cratere della Solfatara. La stazione ABC 7031 è posta in prossimità della stazione FLXOV1 e registra le temperature del suolo a differenti profondità (Fig. 118). I valori di temperatura del suolo mostrano un generale andamento sinusoidale per effetto delle variazioni termiche stagionali. Durante il primo semestre del 2006 la stazione ha subito un intervento di manutenzione e, pertanto, la serie di dati è interrotta nel periodo marzo-maggio 2006. Il sensore di temperatura posto a 30 cm di profondità ha presentato anomalie di funzionamento dal giugno 2006 e, per il calcolo del gradiente termico nel suolo, sono stati utilizzati i dati acquisiti a 10 e 20 cm di profondità. Il valore medio del gradiente termico, per il primo semestre del 2006, è di 47 ± 12 °C/m che corrisponde ad un flusso termico conduttivo di circa 50 Wm^{-2} , considerando un valore tipico di conducibilità termica del suolo ($\approx 1 \text{ Wm}^{-1}\text{C}^{-1}$, per i suoli caldi della Solfatara). Durante il primo semestre del 2006 è continuato il test di Eddy Covariance (EC) alla Solfatara di Pozzuoli per l'acquisizione del flusso di CO₂ tramite tecnica micrometeorologica. La stazione EC comprende un rilevatore combinato all'infrarosso open-path per la concentrazione di CO₂ ed H₂O in aria, un anemometro sonico per la misura delle tre componenti della velocità del vento (anemometro trisonico), due sensori dedicati per la misura della pressione atmosferica e della temperatura dell'aria ed un datalogger per la memorizzazione locale ed il pre-processing dei dati acquisiti. La frequenza di acquisizione è di 10 Hz. Attualmente è in corso la validazione delle serie di dati acquisiti. Nell'area di Pisciarelli la stazione geochimica FLXOV3 è operativa dall'ottobre 2005 e durante il primo semestre del 2006 ha funzionato regolarmente malgrado la "severità" del sito monitorato (alta emissione di gas acidi ed alta temperatura del suolo). Nello stesso sito era stata operativa una stazione simile fino al 2003 ed aveva fornito valori di flusso di CO₂ oscillanti intorno al valore di $10.000 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$. Il valore medio di flusso per il periodo ottobre 2005-giugno 2006 (Fig. 119) è di circa $10.800 \pm 1430 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$ e non appare troppo dissimile da quello registrato precedentemente.

Indagini nell'Infrarosso termico

Per poter meglio monitorare il rilascio termico, che ricordiamo costituisce la parte più rilevante del rilascio energetico degli interi Campi Flegrei, nel 2004 è stato reso operativo un sistema di

monitoraggio in continuo delle temperature superficiali dei suoi mediante una camera IR. Allo stato attuale è in fase di test un software dedicato all'interpretazione automatica delle immagini IR, al filtraggio dei dati dall'influenza dei parametri ambientali (temperatura dell'aria, vento, eventi piovosi, ecc.) ed all'estrazione dei parametri utili alla sorveglianza vulcanica.

Composizione chimica delle fumarole dell'area flegrea

A partire dal 1983 è iniziato il campionamento periodico della fumarola a più alta temperatura (BG, $T \cong 160^\circ\text{C}$) della Solfatara di Pozzuoli; successivamente è iniziato il campionamento sistematico delle fumarole BN (cratere della Solfatara, dati dal 1995) e Pisciarelli (dati dal 1999). Durante il primo semestre 2006 sono stati eseguiti 6 campionamenti della fumarola BG, 6 della fumarola BN e 4 della fumarola dei Pisciarelli di Agnano (i dati sono riportati in Tab. 20). Attualmente sono disponibili circa 300 analisi chimiche ed isotopiche dei fluidi fumarolici. Durante tutto il corso del primo semestre 2006 il rapporto $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ delle fumarole ha continuato a mostrare il trend crescente cominciato nel 2001 (Fig. 120). Per interpretare in modo corretto tali variazioni, l'intero data set è stato recentemente re-interpretato con l'obiettivo fra l'altro di aggiornare il modello concettuale di riferimento. La compatibilità fisica di questo modello è supportata da simulazioni numeriche del sistema idrotermale eseguite utilizzando un appropriato codice di calcolo bifase (gas-liquido) e bicomponente ($\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$) (TOUGH2). Nel modello, così come nelle simulazioni chimico-fisiche, le variazioni composizionali dei fluidi della Solfatara sono causate dall'input di gas magmatici ricchi in CO_2 durante i periodi bradisismici. Questo processo causa una variazione del segnale chimico in profondità (cioè l'aumento del rapporto $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$) che viene osservato in superficie qualche mese dopo che l'input anomalo di fluidi magmatici è finito e che il massimo sollevamento è stato raggiunto. L'attuale "lento" trend di crescita del rapporto $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ indicherebbe di conseguenza un debole aumento nel tempo nella frazione di gas magmatici. Il rapporto He/CO_2 non ha mostrato variazioni significative rispetto al 2005, confermando comunque l'aumento del contenuto in He registrato fra il 2002 ed il 2004 (Fig. 121).

Conclusioni

Durante il primo semestre del 2006 le metodologie di monitoraggio geochimico applicate all'area dei Campi Flegrei, in particolare alla Solfatara e all'area di Pisciarelli, non hanno rilevato forti variazioni dei parametri presi in esame. Tuttavia va segnalato la continua e lenta crescita del rapporto $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ delle fumarole della Solfatara (indicativa secondo le più recenti interpretazioni di un aumento nella frazione di fluidi magmatici) e i deboli aumenti nei flussi di CO_2 e nelle temperature del suolo mediate sui dati di 71 punti fissi misurati periodicamente. Al momento tali aumenti non sono registrati dalla stazione in continuo.

Tabella 20. Dati della composizione chimica delle fumarole in $\mu\text{mol/mol}$ monitorate nell'area Flegrea durante il primo semestre 2006.

Fumarola	data	T°C	H ₂ O $\mu\text{m/m}$	CO ₂ $\mu\text{m/m}$	H ₂ S $\mu\text{m/m}$	Ar $\mu\text{m/m}$	O ₂ $\mu\text{m/m}$	N ₂ $\mu\text{m/m}$	CH ₄ $\mu\text{m/m}$	H ₂ $\mu\text{m/m}$	He $\mu\text{m/m}$	CO $\mu\text{m/m}$
BG	09/01/2006	159,1	809150	188429	1462	0,443	0,034	485,10	17,69	453,20	1,9364	0,658
BG	08/03/2006	162,0	796650	198451	1488	30,812	0,000	2875,18	17,91	483,88	2,1283	0,685
BG	13/03/2006	161,7	812407	185258	1355	0,579	0,011	505,46	17,56	453,71	1,9113	0,619
BG	24/04/2006	163,3	804573	192958	1487	0,928	4,697	513,39	17,12	442,96	1,9440	0,721
BG	22/05/2006	161,7	797316	200327	1365	0,576	0,165	507,57	17,39	464,05	2,0880	0,649
BG	21/06/2006	163,0	801725	195897	1401	1,027	0,192	511,06	17,94	444,78	1,9667	0,723
BN	09/01/2006	145,0	825017	173098	1011	0,381	0,033	440,91	13,27	418,07	1,7482	0,626
BN	08/03/2006	144,6	817478	180531	1036	0,580	0,012	488,63	14,04	449,90	1,8734	0,729
BN I	24/04/2006	145,5	810642	187268	1097	1,288	8,624	521,06	13,62	447,22	1,9641	0,744
BN II	24/04/2006	145,5	813500	184492	1080	0,853	4,255	484,75	13,44	422,29	1,8430	0,733
BN	22/05/2006	146,1	804909	193205	923	0,572	0,110	486,78	13,44	460,26	1,8861	0,695
BN	21/06/2006	145,0	818585	179465	1011	0,859	0,082	486,36	13,91	436,25	1,8794	0,710
Pisciarelli	12/01/2006	97,4	863731	135067	577	0,540	0,050	386,42	12,41	224,65	1,4323	0,048
Pisciarelli	24/04/2006	95,3	851530	147188	591	0,888	3,374	431,50	12,94	240,72	1,5036	0,081
Pisciarelli	22/05/2006	99,5	851500	147280	564	0,955	0,080	406,78	11,50	234,87	1,4561	0,118
Pisciarelli	21/06/2006	101,4	855715	143071	562	0,937	0,098	406,96	12,31	231,54	1,4767	0,200

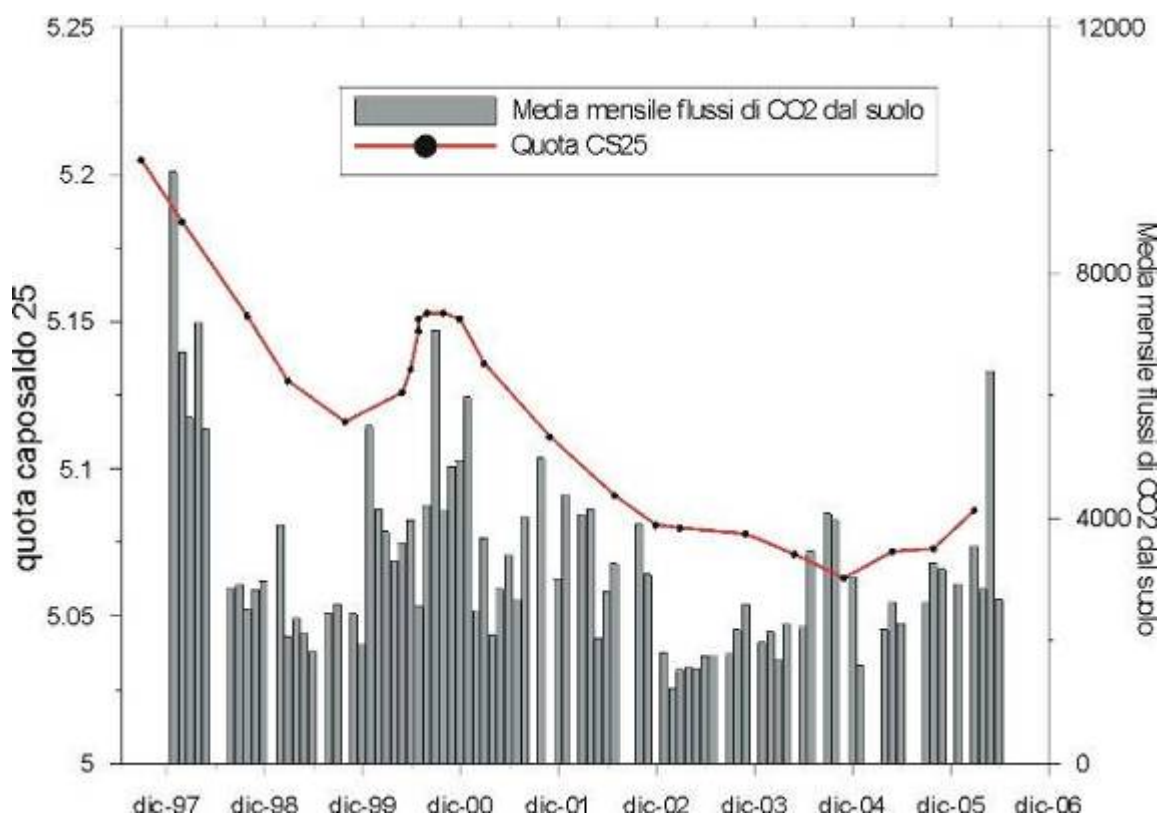


Figura 111. Media mensile dei flussi di CO₂ (campagne periodiche, 30 punti) e quota del caposaldo 25.

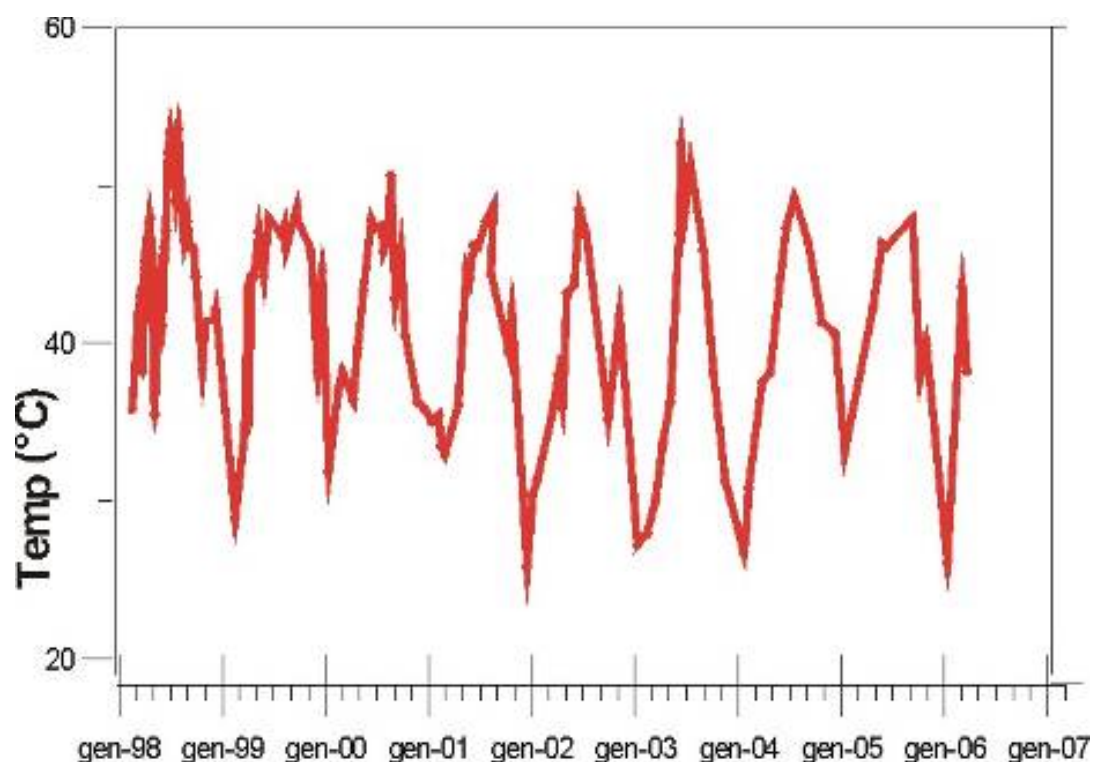


Figura 112. Temperature medie a 10 cm di profondità alla Solfatara (campagne periodiche, 30 punti).

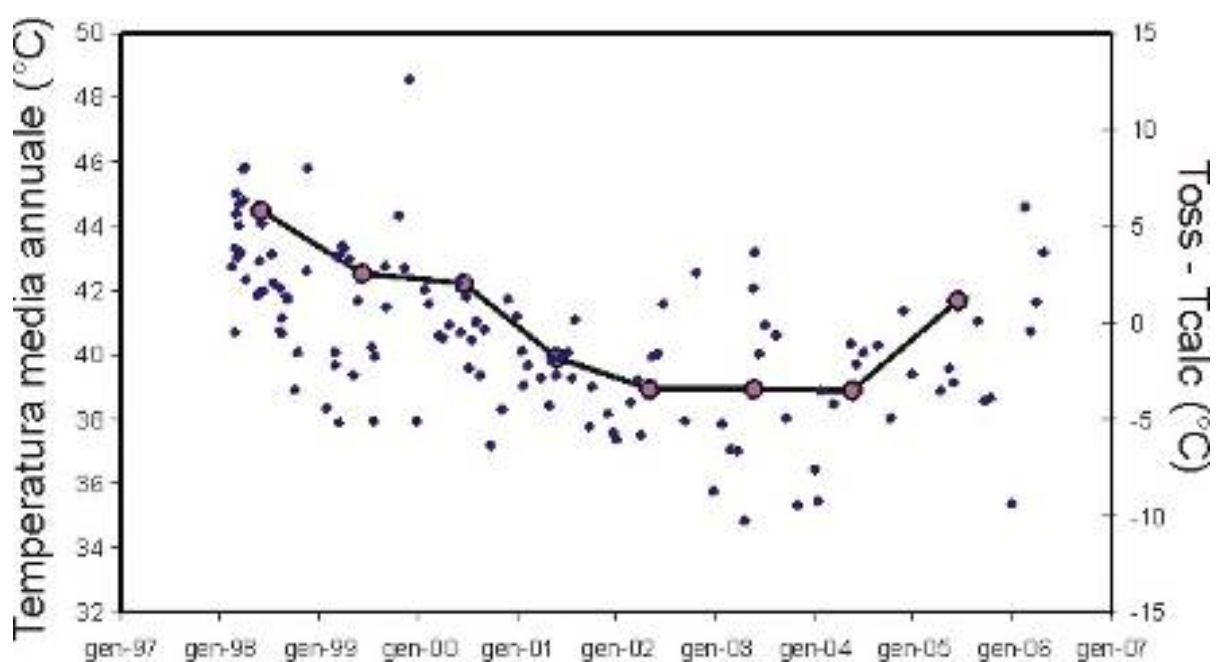


Figura 113. Residui della temperatura osservata meno quella calcolata e temperature medie annuali a 10 cm di profondità alla Solfatara (campagne periodiche, 30 punti).

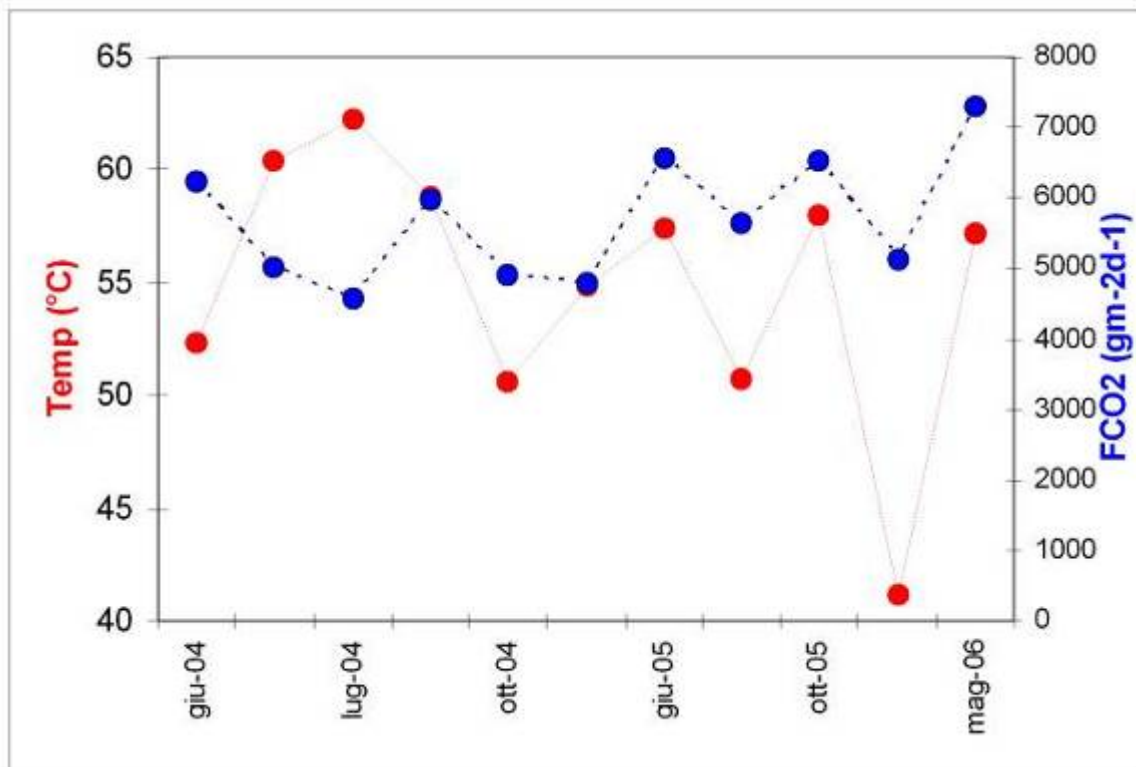


Figura 114. Media delle temperature al suolo ad una profondità di 10 cm (linea rossa) e media delle misure di flusso di CO₂ (linea blu) per le misure effettuate nell'area di Pisciarelli.

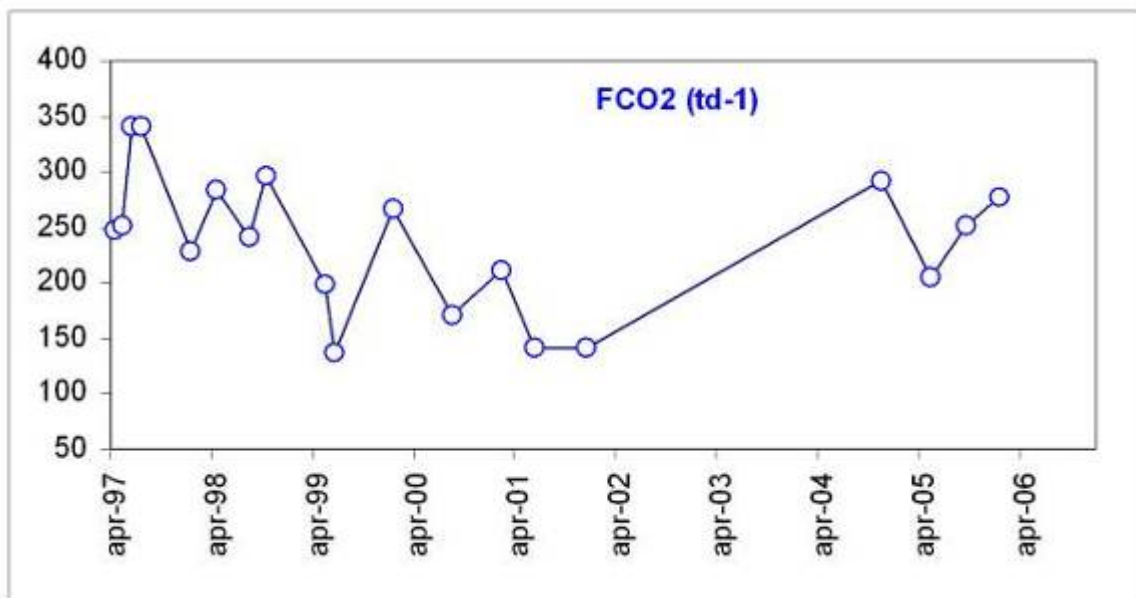


Figura 115. Media dei flussi di CO₂ misurati in 220 punti della Solfatara secondo un grid regolare.

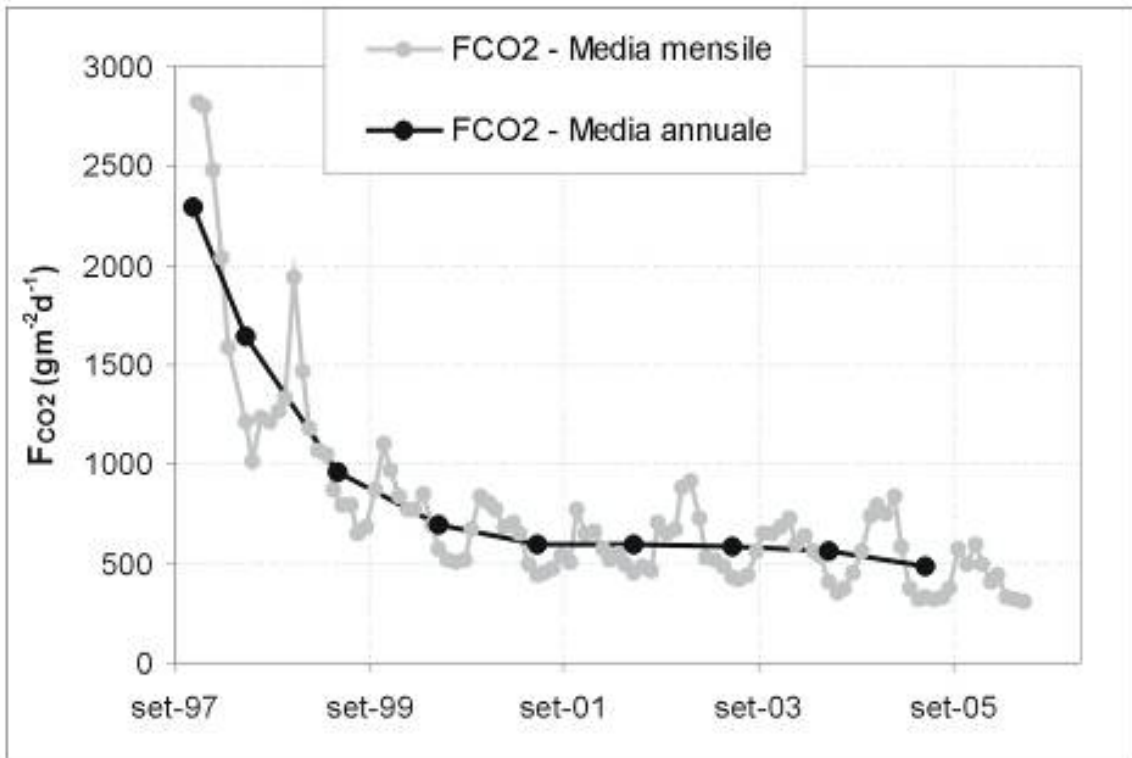


Figura 116. Flusso medio annuo (linea nera) e mensile (linea grigia) alla stazione FLXOV1. Il dato relativo all'anno 1997 è riferito al periodo novembre - dicembre, per l'anno 2006 si riportano soltanto le medie mensili.

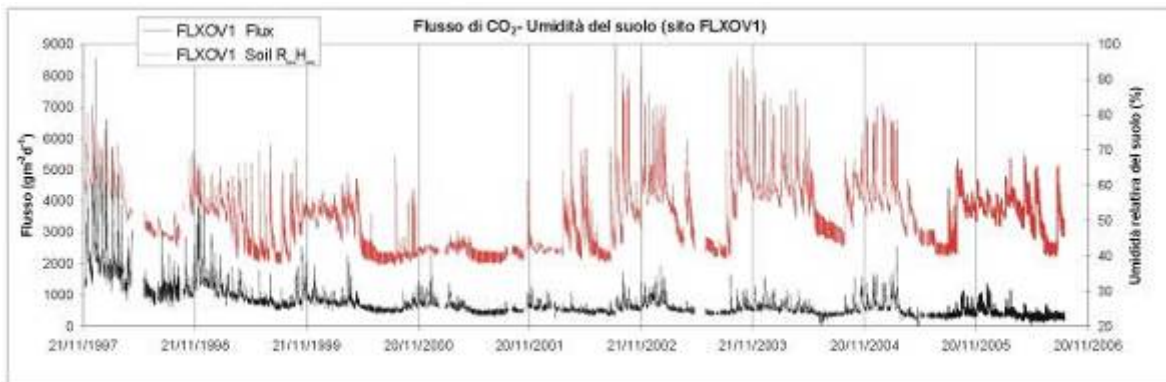


Figura 117. Flussi di CO_2 ed umidità del suolo alla stazione automatica FLXOV1, registrati ogni 2 ore, a partire dal novembre 1997.

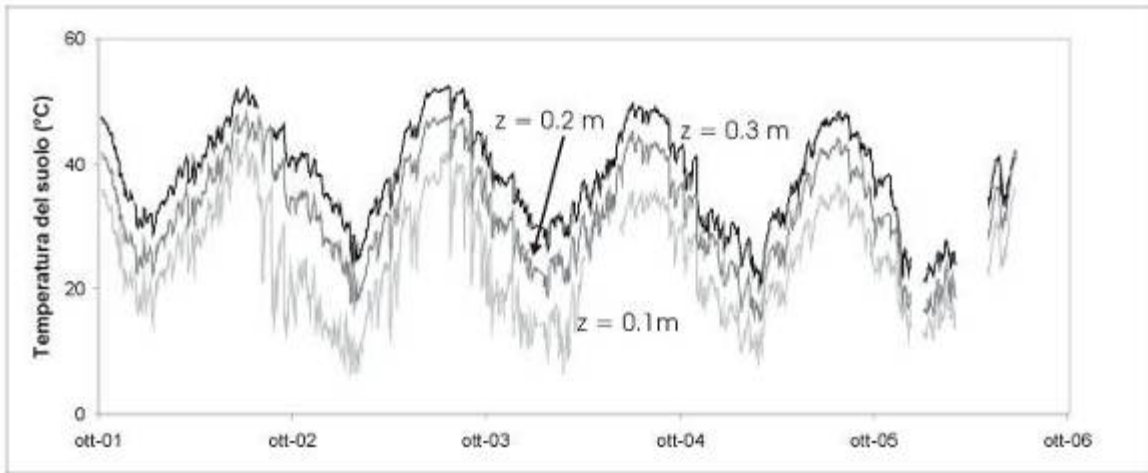


Figura 118. Cronogramma delle temperature del suolo a diversa profondità, z. I valori sono acquisiti ad intervalli orari ma nel grafico sono riportate le medie giornaliere. Il sensore posto a z = 0.3 m presenta anomalie nel suo funzionamento.

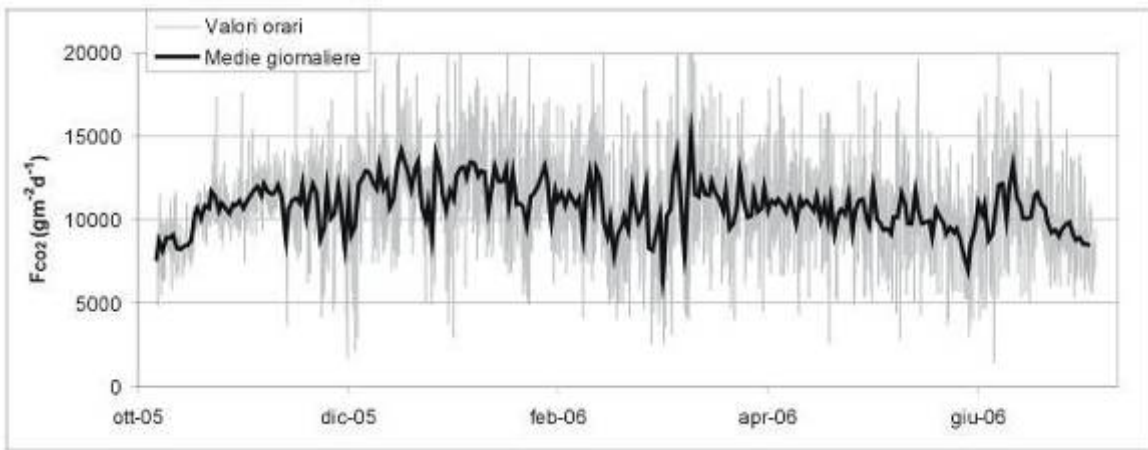


Figura 119. Valori orari (linea grigia) e giornalieri (linea nera) di flusso di CO₂ dal suolo alla stazione FLXOV3.

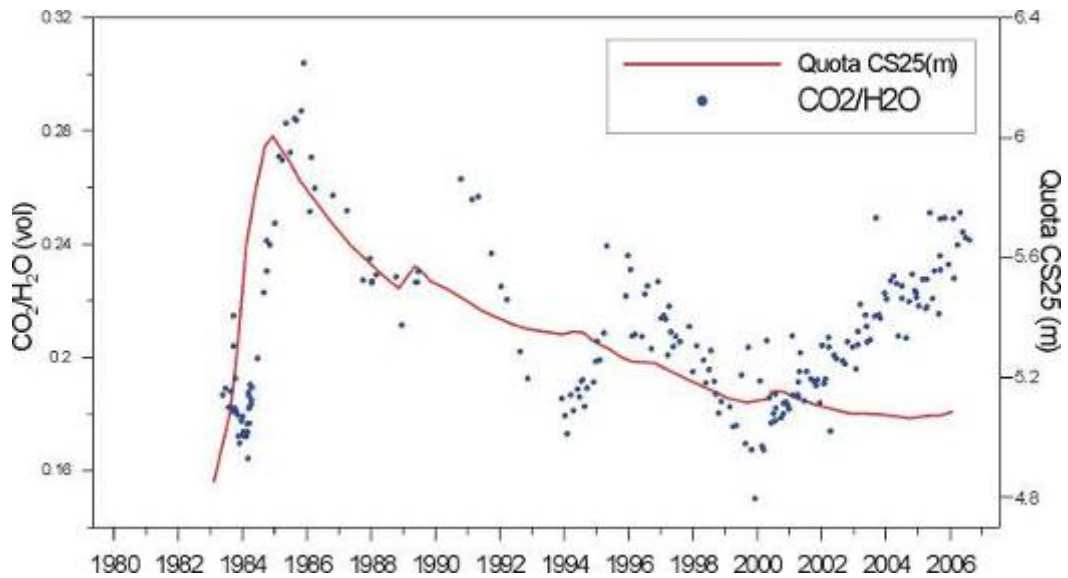


Figura 120. Variazioni del rapporto CO₂/H₂O misurate alle fumarole della Solfatara confrontate con le variazioni di quota del caposaldo 25.

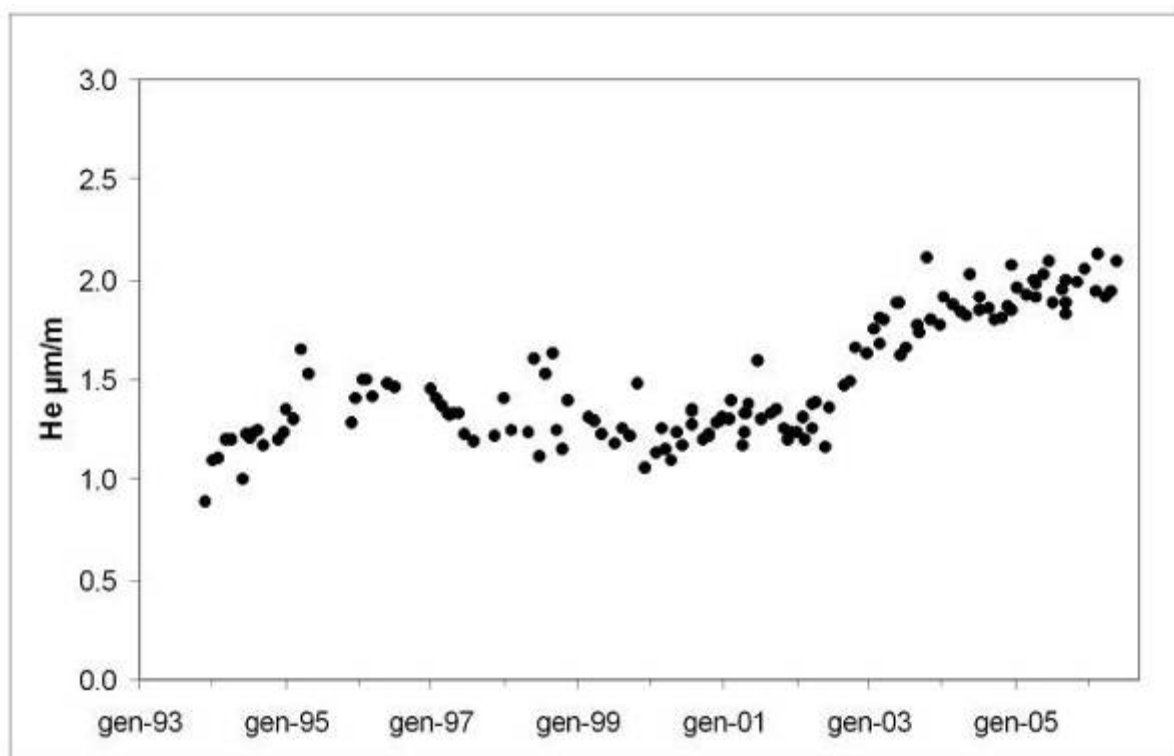


Figura 121. Variazione del rapporto He/CO₂ nel tempo.

MONITORAGGIO DEL CRATERE DELLA SOLFATARA MEDIANTE TELERILEVAMENTO PROSSIMALE ALL'IR TERMICO¹³

La realizzazione operativa degli obiettivi del progetto TIIMNet (Thermal Infrared Imagery Monitoring Network), finanziato nell'ambito del PON 2000-2006 "Ricerca Scientifica, Sviluppo Tecnologico, Alta Formazione", ha consentito, nel corso degli ultimi anni, la messa in opera di un sistema strumentale di sorveglianza vulcanica basato sull'acquisizione di dati immagine tarati sulle lunghezze d'onda dell'infrarosso termico (TIR). La rete TIIMNet è stata concepita per rispondere alle esigenze di sorveglianza in continuo della struttura termica superficiale di vulcani attivi ed è stata progettata in funzione di installazioni delle telecamere termiche in due postazioni remote ubicate rispettivamente sul bordo del cratere del Vesuvio ed all'interno del cratere della Solfatara (Campi Flegrei) (Fig. 122). Nel suo insieme il sistema è costituito da due stazioni di misura fisse (Fig. 123), a controllo remoto delle funzionalità di calibrazione e ripresa dei sensori ad immagine tarati sulle lunghezze d'onda lunghe dell'infrarosso termico (Lwave TIR), ed una centrale di controllo, collocata presso il centro di sorveglianza dell'OV-INGV di Via Diocleziano in Napoli, costituita da un elaboratore e dalle periferiche necessarie alla gestione degli apparati remoti. La funzione principale della centrale di controllo è la gestione della rete di stazioni remote realizzata mediante un sistema di comunicazione basato su due distinte soluzioni tecnologiche: un sistema primario di trasmissione via modem GSM ed un sistema di emergenza che prevede l'utilizzo di modem radio. Sulla base di tale sistema di connessione tra centro di controllo e stazioni di misura

¹³ A cura di: G. Vilardo, G. Chiodini, D. Granieri, V. Augusti

remote sono quindi gestiti l'impostazione ed il controllo dei parametri di ripresa e la centralizzazione automatica delle immagini acquisite dalle stazioni di misura. Il centro di controllo provvede inoltre ad effettuare la conversione delle immagini termiche trasferite dal loro formato proprietario in matrici numeriche contenenti i valori di temperatura. Le attività di messa in opera dell'intero sistema di acquisizione e centralizzazione dei segnali sono state completate tra mesi di luglio e settembre 2004, periodo questo in cui sono state ultimate le installazioni delle due stazioni di rilevamento remoto.

Analisi dei dati immagine TIR

A partire dalla data di installazione degli apparati di misura e dei sistemi di centralizzazione dei dati immagine sono iniziate le attività finalizzate all'implementazione del database delle osservazioni ed allo sviluppo di processi semi-automatici di analisi dei dati immagine. Il complessivo database relativo alle acquisizioni effettuate alla Solfatara, nel periodo che va dal 10 settembre 2004 al 31 maggio 2006 risulta essere costituito da quasi 1600 immagini termiche notturne, acquisite al ritmo di tre per notte nei seguenti orari: 00:00, 02:00 e 04:00 (UTC) (Fig. 124). Per quanto attiene le analisi condotte sulla serie temporale dei dati immagine TIR, queste hanno previsto l'applicazione di differenti tecniche d'analisi statistica applicate sia sull'intera area dell'immagine sia su differenti porzioni dell'immagine stessa corrispondenti alle aree di maggior flusso termico (Fig. 125). In particolare, è stata sviluppata una procedura che consente di correggere i dati di temperatura sulla base della temperatura media del background e di estrarre dalla matrice così corretta differenti parametri numerici (valore minimo, massimo, valore medio, deviazione standard) utilizzati per rappresentare l'evoluzione temporale dei valori di temperature osservati (Fig. 126). Tali parametri vanno, inoltre, ad implementare un database in cui confluiscono anche una serie di parametri ambientali (temperatura del suolo e dell'aria, pressione barometrica, velocità del vento, umidità dell'aria) e geochimici rilevati, contemporaneamente all'acquisizione delle immagini all'infrarosso termico, dalla stazione meteorologica e dai sistemi di rilevamento geochimico tradizionali ubicati nel medesimo sito di rilevamento delle immagini TIR. In aggiunta a ciò ed allo scopo di rappresentare con maggior chiarezza l'andamento spazio-temporale del campo di temperature è stata sviluppata una procedura innovativa di analisi e rappresentazione del dato immagine. A tal fine è stata adottata una rappresentazione dell'evoluzione temporale della distribuzione delle temperature presenti nell'immagine molto simile alla rappresentazione definita spettrogramma ed utilizzata nelle analisi sismologiche per rappresentare l'evoluzione temporale del contenuto spettrale di sismogrammi. Nella rappresentazione adottata, denominata "Cronogramma degli istogrammi di temperatura dei pixel" (CTPH: Chronogram of the Temperature Pixels Histograms), sull'asse verticale è riportato l'intervallo di temperatura, l'asse orizzontale rappresenta l'asse del tempo e la scala cromatica è rappresentativa della percentuale dei pixel dell'immagine che si trova alla corrispondente temperatura individuata sull'asse Y (Fig. 127). Come ulteriore approfondimento dell'analisi, è stata infine applicata una tecnica di filtraggio dei dati grezzi di temperatura e ciò allo scopo di rimuovere con maggiore efficacia il contributo di fattori esterni (ambientali) ed evidenziare eventuali variazioni del campo di temperature superficiali. Tale tecnica prevede l'applicazione di

un'analisi di regressione multipla (MRA) ed una ricerca del miglior subset (BSS: Best Subset Search) al fine di determinare il numero minimo di parametri da inserire nel modello. In un secondo tempo, viene effettuato un filtraggio della serie temporale dei valori residui ottenuti dall'analisi precedente mediante applicazione di un modello ARIMA (Integrated Auto Regressive Moving Average) che consente di quantificare l'andamento a lungo termine e le periodicità a più alta frequenza (Fig. 128).

Discussione dei risultati

Prima di illustrare i risultati ottenuti dall'analisi delle serie temporali dei parametri estratti dall'elaborazione delle immagini TIR acquisite alla Solfatara nei 20 mesi di osservazioni ed al fine di una loro corretta interpretazione bisogna necessariamente sottolineare i seguenti punti:

- Non risultano realizzate applicazioni per monitoraggio ambientale da stazioni fisse permanenti e tanto meno in ambienti estremi come quelli vulcanici precedenti alla messa in opera della rete TIIMNet; a tutt'oggi l'utilizzo delle immagini all'infrarosso termico per l'osservazione dei fenomeni geotermici e per il monitoraggio delle aree interessate da degassamento non ha alcun significativo precedente a cui riferirsi.
- Poco più di un anno e mezzo di acquisizioni risulta essere un periodo di osservazione troppo breve per consentire un adeguato filtraggio dei valori di temperature osservati mediante rimozione degli effetti dovuti alle variazioni cicliche dei parametri ambientali (periodicità annuale od a minor periodo).
- Risulta estremamente difficile calibrare radiometricamente l'intera immagine effettuando le opportune correzioni atmosferiche che tengano conto della distanza sorgente-ricevitore o delle variazioni nei parametri ambientali. Ciò è dovuto principalmente al fatto che l'area campionata dall'immagine termica presenta, per ogni singola acquisizione, forti variazioni spaziali del flusso delle emissioni gassose (CO_2 ed H_2O) che a loro volta determinano un assorbimento della radiazione termica fortemente disomogeneo. Per tale motivo si è scelto di elaborare i dati in termini di variazioni relative dei valori di temperatura osservati rispetto ai valori di temperatura rilevati in aree di riferimento (background); pertanto, i valori di temperatura riportati sugli assi Y delle Fig. 126 e 127 non vanno intesi in senso assoluto.

Alla luce delle precedenti considerazioni e sulla base dei risultati riportati nelle Fig. 125, 126 e 127 è possibile fare le seguenti osservazioni. Tutte le analisi statistiche effettuate evidenziano che le fluttuazioni di ampiezza maggiore osservate nelle serie temporali dei parametri estratti dalle immagini TIR sono strettamente correlate alle variazioni dei parametri ambientali, in primo luogo temperatura ed umidità dell'aria (Fig. 126 e 128). Correggendo i valori di temperatura osservati in base alle temperature stimate per il background si osserva che la variazione a periodo annuale risulta sufficientemente filtrata (in basso, Fig. 125), ma al contempo si evidenzia la presenza di ulteriori ciclicità a frequenze maggiori.

In ogni caso, sia l'andamento complessivo della distribuzione temporale mostrato in Fig. 126 (in basso), sia l'andamento dei residui tra i valori osservati e quelli stimati con l'applicazione del modello ARIMA (Fig. 128) mostrano che le oscillazioni si attestano intorno ad un valore medio estremamente stabile. Al contrario, la rappresentazione CTPH (Fig. 127) evidenzia, a partire dal mese di ottobre 2005, un sensibile incremento della percentuale di pixel a temperature minori non riscontrabile nello stesso periodo dell'anno precedente. E' necessario sottolineare nuovamente che, a causa dell'ancor breve copertura temporale delle osservazioni TIR nell'area della Solfatara, può risultare azzardato interpretare come anomalo tale andamento. Pur tuttavia, va rilevato che, nel mese di ottobre 2005 si osserva una singolare concomitanza temporale fra l'inizio di un trend in sollevamento del suolo evidenziato dai dati tiltmetrici, dai dati di livellazione e dai dati delle stazioni permanenti GPS, l'accadimento di uno sciame sismico (anche se di energia estremamente ridotta) ed il simultaneo aumento delle aree a temperatura minore osservato nel grafico CTPH prodotto sulla base delle immagini acquisite nella banda spettrale dell'infrarosso termico. In conclusione si ribadisce che, al momento, sono in fase di studio e di sperimentazione differenti tecniche d'analisi delle serie temporali di dati TIR e l'interpretazione dei risultati preliminari ottenuti è tuttora in fase di validazione. In ogni caso, risulta senza dubbio evidente che, anche se di recentissima applicazione nel campo della sorveglianza vulcanica, la tecnica di monitoraggio mediante telerilevamento prossimale all'IR termico sembra poter essere in grado di fornire ulteriori ed utili contributi alla definizione delle dinamiche in atto nelle aree attualmente monitorate.

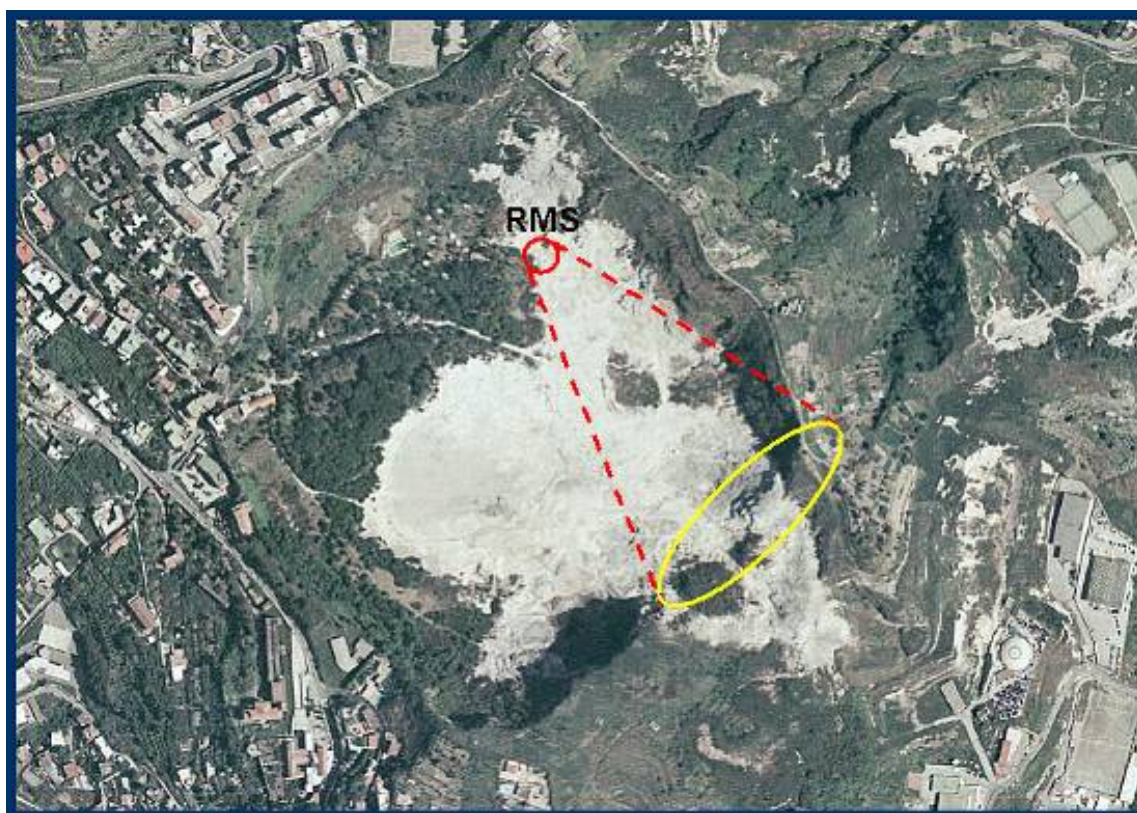


Figura 122. Geometria di ripresa alla Solfatara. RMS = ubicazione della stazione di monitoraggio remoto.



Figura 123. Stazione della Rete TIIMNet alla Solfatara.

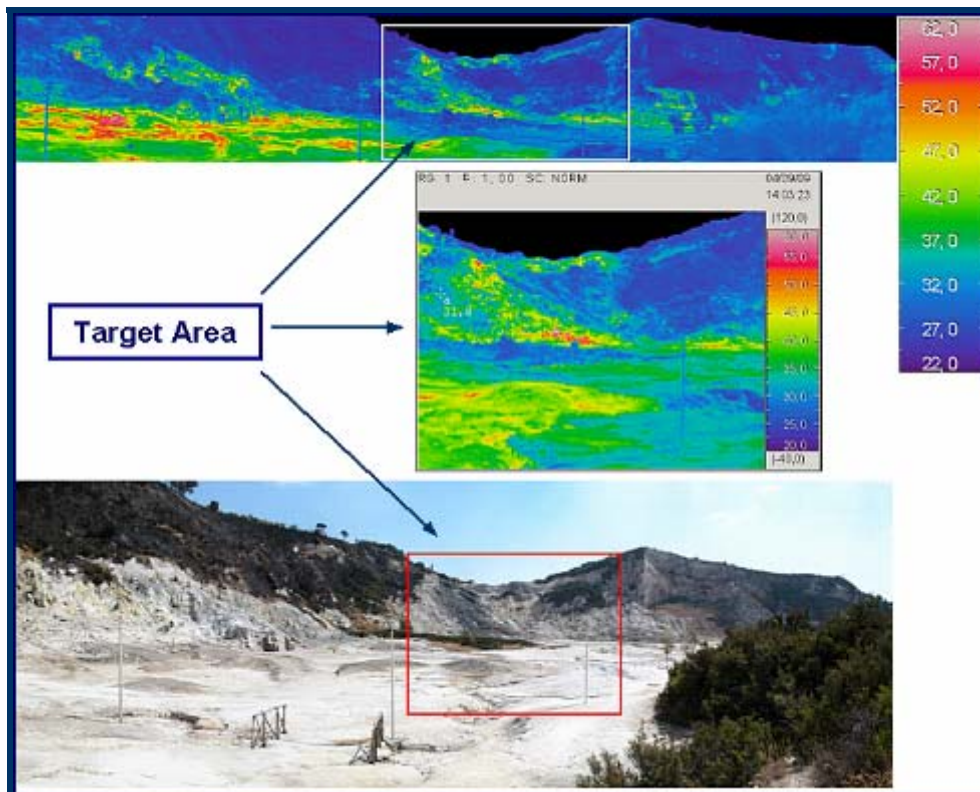


Figura 124. Immagini del cratere della Solfatara nello spettro dell'infrarosso termico e del visibile. In alto: mosaico immagini TIR. Al centro: area campionata. Dimensione immagine 240x320 pixel, Distanza media: 400m, Dimensione pixel: 0.56 m. In basso: mosaico immagini visibile.

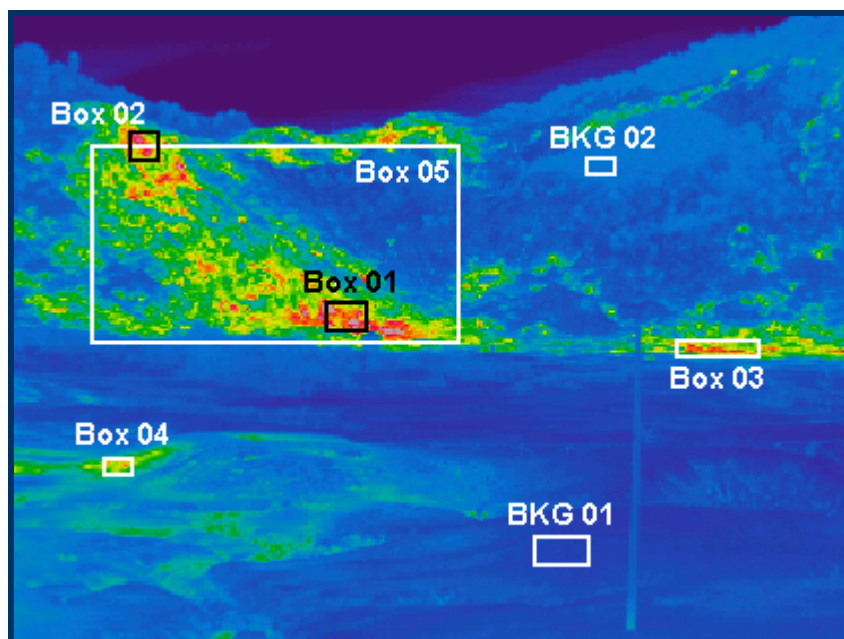


Figura 125. Immagine TIR della Solfatara. I rettangoli rappresentano le differenti aree per cui sono stimati con processi semi-automatici i parametri statistici relativi ai valori di temperatura in esse contenute.

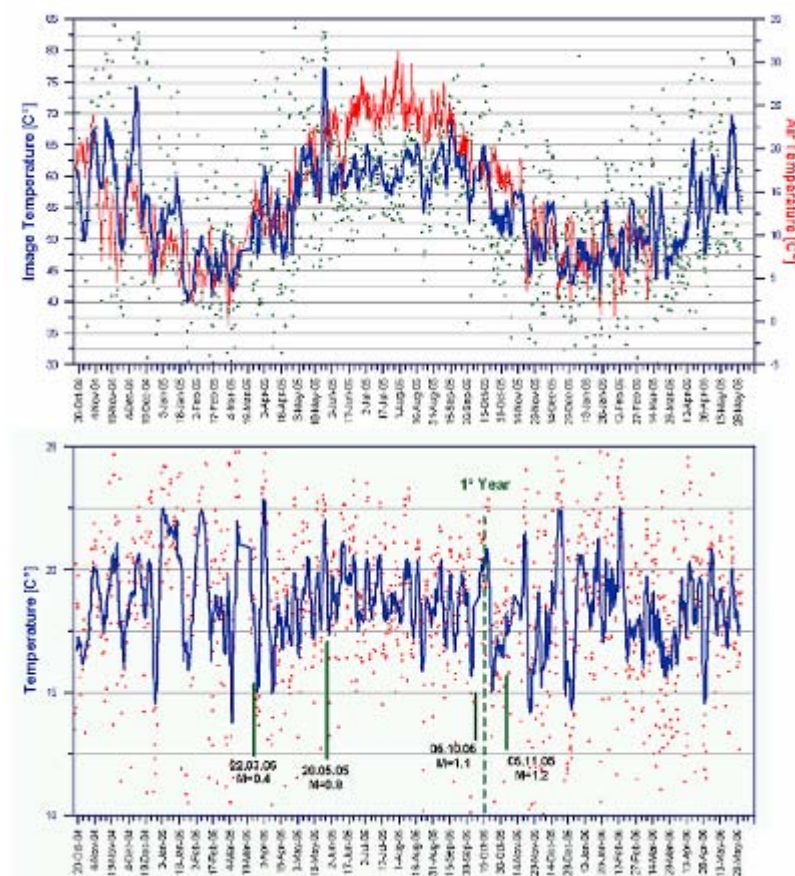


Figura 126. Dati TIR Solfatara, Periodo 16 ottobre 2004 – 31 maggio 2006. In alto: temperatura massima immagine (punti verdi); media mobile dei valori di temperatura su 9 punti (linea blu); temperatura dell'aria (linea rossa). In Basso: valori medi della media delle temperature dei Box 1, 2, 3 e 4 (Fig. 125) (punti rossi); media mobile dei valori di temperatura su 9 punti (linea blu). Parametri estratti da immagini corrette per la temperatura di background (BKG01 in Fig. 125). Le barre verticali mostrano l'occorrenza di eventi sismici. La barra verticale tratteggiata indica il compimento del primo anno di acquisizioni.

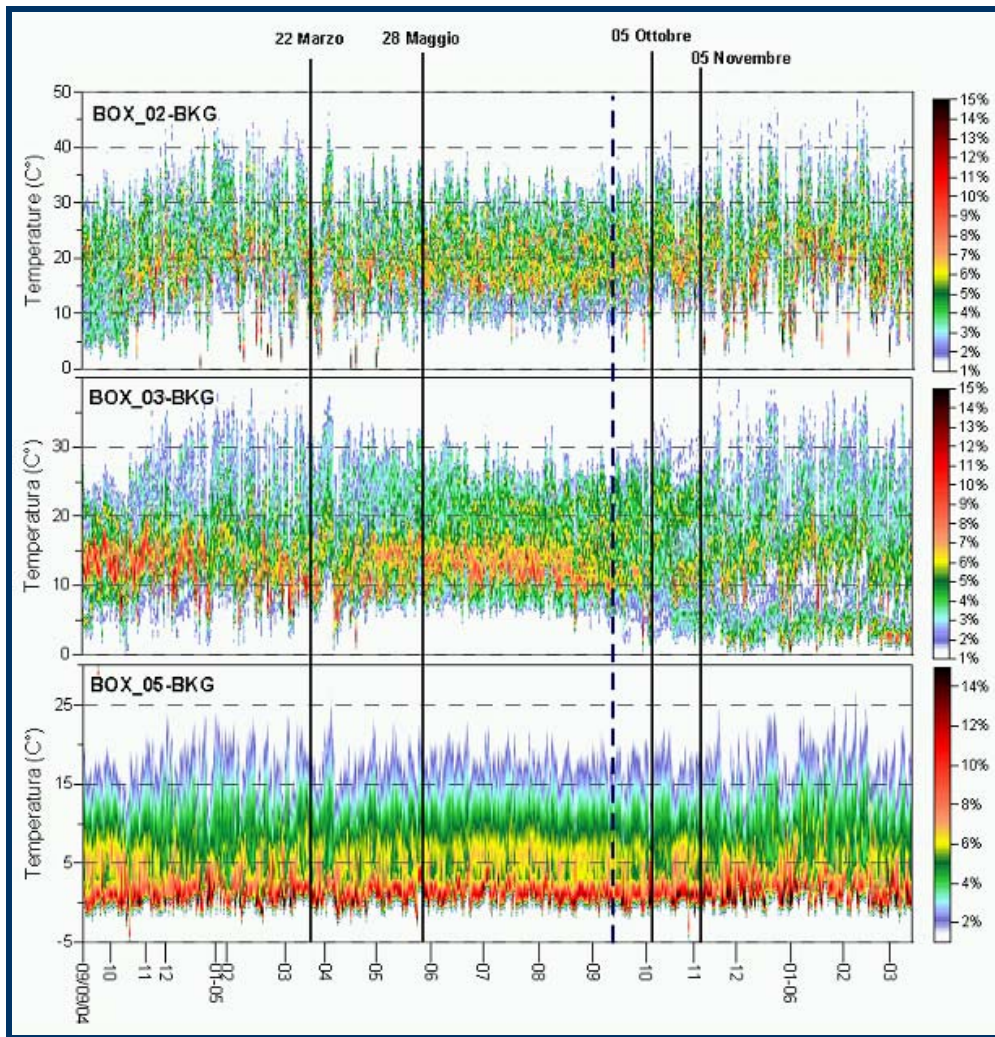


Figura 127. Cronogrammi degli istogrammi di temperatura dei pixel per il periodo 10 settembre 2004 – 13 marzo 2006. In alto: Box01; al centro: Box02; in basso: Box05 (Fig. 125). Parametri estratti da immagini corrette per la temperatura di background (BKG01 in Fig. 125). Le barre verticali mostrano l'occorrenza di eventi sismici. La barra verticale tratteggiata indica il compimento del primo anno di acquisizioni. Lo schema dei colori a sinistra indica per ogni area la percentuale dei pixel ad una data temperatura.

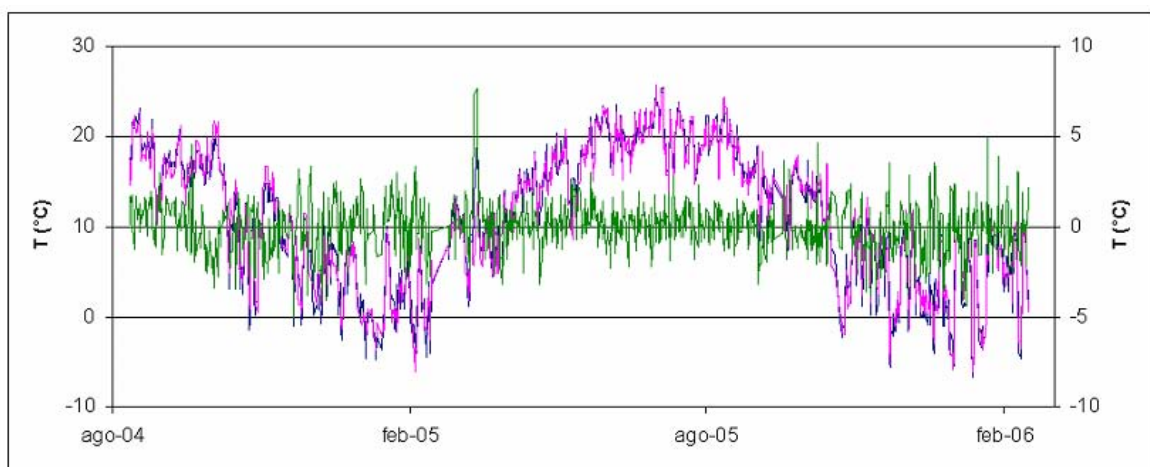


Figura 128. Risultato di un modello preliminare sviluppato sulla base dei parametri numerici estratti dalle immagini TIR e dei parametri ambientali ad esse associati. Rosso: valore stimato; Blu valore osservato; Verde: residui (asse Y a destra).

SORVEGLIANZA VULCANOLOGIA¹⁴

Nel 2006 è iniziata presso l'U.F. Vulcanologia e Petrologia dell'Osservatorio Vesuviano la costituzione di una rete multiparametrica per il monitoraggio vulcanologico dei vulcani attivi con l'acquisizione e la messa in opera di appropriata strumentazione. La rete che si sta allestendo ha due obiettivi principali. Il primo obiettivo è monitorare i tre vulcani quiescenti dell'area napoletana (Vesuvio, Campi Flegrei, Ischia), mentre il secondo è monitorare eruzioni vulcaniche. Un altro obiettivo della rete è lo studio di fenomeni pericolosi correlati al vulcanismo, quali frane. La progettazione della rete e la sua attivazione sono state fortemente condizionate da vincoli sia scientifici che di ordine pratico. Il principale vincolo scientifico è il fatto che un vulcano è un sistema geologico il cui assetto attuale, risultante dalla sua storia passata, ne condiziona il comportamento e l'evoluzione. Da ciò deriva che per un dato vulcano attivo, e in particolare per i vulcani quiescenti come quelli dell'area napoletana, i parametri da monitorare e i siti in cui effettuare le misure non possono prescindere dal suo assetto attuale e dal suo comportamento nel passato. Il vincolo di ordine pratico dominante è l'opportunità che la strumentazione che si va acquisendo presso l'Osservatorio Vesuviano sia integrabile con quella già esistente nell'INGV, in particolare con quella della sezione di Catania dedicata alla stessa finalità. In quest'ottica, a valle di un primo periodo di affiancamento e proficua collaborazione con i colleghi dell'U.F. Vulcanologia e Geochimica della sezione di Catania, durante l'eruzione dell'Etna del marzo 2005, e dell'esperienza maturata durante l'eruzione del vulcano Boina in Etiopia, il personale dell'U.F. Vulcanologia e Petrologia, ha iniziato la programmazione e la realizzazione della rete di monitoraggio vulcanologico dei vulcani attivi dell'area napoletana. Ciò è avvenuto con l'acquisto di strumenti che fossero, come detto, compatibili e integrabili con quelli disponibili presso la sezione di Catania. Tali strumenti sono indispensabili per garantire tanto l'autonomia, quanto, all'occorrenza, la perfetta sovrapposibilità dei due gruppi (Napoli e Catania) impegnati nell'attività di sorveglianza vulcanologica.

La rete

La strumentazione acquisita costituisce l'embrione di una rete mobile multiparametrica per il monitoraggio vulcanologico. Essa consiste prevalentemente in: Distanziometro Laser Leica Vectronix VECTORTM modello B, GPS Leica mod GS20, Termocoppie Tersid, Igrometro/Termometro digitale portatile modello 635, Camera digitale Canon MVX350i, Macchina fotografica Canon powershot S2 IS, Termofreatimetri MATP/FREA-13 (L=150 m), Campionatore acqua MATP/CAMP-2 (C=250cc, L=100 m). Il monitoraggio dei vulcani quiescenti napoletani sarà effettuato in aree selezionate di ciascuno dei tre vulcani e consisterà in osservazioni e misure periodiche di parametri utili a individuare eventuali variazioni nel loro stato di attività. Le aree da monitorare sono state individuate sulla base delle conoscenze geologiche e vulcanologiche sin qui acquisite. I parametri che saranno monitorati sono tra quelli che possono dare indicazioni su eventuali variazioni dello stato di stress di ciascun vulcano quali la geometria di campi di fratture e/o di singole fratture, la temperatura di emanazioni gassose attraverso di esse, e il livello piezometrico e la temperatura dell'acqua di una falda freatica. Le osservazioni e le misure

¹⁴ A cura di: G. Orsi, P. Belviso, A. Carandente, S. de Vita, M. Di Vito, E. Marotta, F. Sansivero

effettuate nell'attuale periodo di quiescenza dei vulcani attivi napoletani, consentiranno di definire il livello di base per i parametri monitorati, a cui fare riferimento per quantificare eventuali variazioni nel loro stato di attività. Il monitoraggio delle eruzioni vulcaniche in atto consisterà nella determinazione di parametri utili alla definizione della dinamica eruttiva, e per la previsione dell'evoluzione dell'evento e del suo impatto sull'ambiente. L'assenza di attività vulcanica nel primo semestre del 2006 ha consentito inoltre di mettere a punto tecniche, collaborazioni, strumentazioni e metodi di misura da applicare durante eventuali fasi di crisi che potranno verificarsi in futuro. Le osservazioni, le misure e i rilievi, programmati sui vulcani attivi dell'area napoletana, e la strumentazione necessaria per effettuarli, sono di seguito brevemente descritti.

Distanziometria laser

Lo studio e il monitoraggio di campi di fratture e/o di singole fratture, finalizzati all'individuazione di eventuali variazioni nella geometria saranno effettuati tramite l'impiego di un distanziometro laser. Quest'ultimo, oltre a fornire misure di distanze dirette e indirette (tramite misurazioni di angoli) e di altezze, accoppiato a un dispositivo GPS, consente di ricavare la posizione dei punti osservati, permettendo la georeferenziazione e la mappatura delle strutture. Le misure ripetute nel tempo consentiranno di verificare eventuali variazioni nella geometria delle fratture esistenti, e di evidenziare la formazione di nuove fratture. Le misure distanziometriche sono estremamente importanti anche durante eruzioni vulcaniche. Ad esempio esse consentono di determinare con estrema precisione l'accrescimento nel tempo di coni di scorie, e lo sviluppo di colate laviche, sia in termini di variazione di lunghezza, larghezza e altezza, sia in termini di variazione della portata. Fenomeni pericolosi come movimenti gravitativi superficiali, sono spesso associati all'attività dei vulcani, anche se possono verificarsi fino a decenni o secoli dopo un'eruzione vulcanica. Misure effettuate con il distanziometro laser possono contribuire alla ricostruzione della geometria dei corpi geologici prodotti da questi fenomeni, dei percorsi seguiti fino alla loro messa in posto, e delle aree di distacco. Il distanziometro laser trova inoltre impiego in abbinamento con una telecamera termica portatile, per le opportune misure utili per la taratura di questo strumento.

Rilievi termici

Rilievi termici periodici di campi di fratture e/o di singole fratture danno informazioni, oltre che su eventuali variazioni dello stato di attività dei sistemi vulcanici, su variazioni dello stato delle strutture monitorate. Sui vulcani napoletani attivi, essi consisteranno in misure di temperatura effettuate per mezzo di termocoppie rigide, su una maglia regolare di punti, a profondità costante, e ripetute in diverse condizioni ambientali, per valutare eventuali effetti indotti da variazioni giornaliere e/o stagionali. In un prossimo futuro i rilievi termici saranno effettuati utilizzando anche una telecamera termica portatile. Le termocoppie semirigide (o flessibili) saranno utilizzate per la misura della temperatura delle lave durante un'eruzione effusiva. Le termocoppie trovano inoltre impiego in abbinamento con una telecamera termica portatile, per le opportune misure utili per la taratura di questo strumento.

Idrogeologia

Importanti informazioni sullo stato di attività dei sistemi vulcanici saranno dedotte dalla definizione delle variazioni nel tempo di parametri quali il livello piezometrico e la temperatura delle acque di falda. La misura di questi parametri, ripetuta in diverse condizioni ambientali per valutare gli effetti di variazioni giornaliere e/o stagionali, sarà effettuata tramite l'uso di termofreatimetri. Questi permettono di rilevare sia la temperatura che il livello dell'acqua all'interno di pozzi, fino a profondità di oltre 100 m. L'uso di campionatori di liquidi in pozzo, consentirà di prelevare campioni di acqua fino a 60 m sotto il livello di falda, che potranno essere analizzati qualora ci fossero laboratori interessati.

Analisi di immagini e restituzione cartografica

Sono state messe a punto e applicate con successo tecniche di rilevamento a distanza attraverso l'uso di un distanziometro laser e una telecamera termica per la mappatura di corpi geologici, tramite ortorettificazione e georeferenziazione di immagini digitali ad alta risoluzione. Ad esempio, un corpo lavico o un corpo di frana possono essere cartografati con la ricostruzione dei loro limiti nell'arco di poche ore tramite procedure che utilizzano fotografie digitali di alta qualità prese da elicottero, intergrate con i dati prodotti utilizzando un distanziometro laser e una telecamera termica. Le procedure di analisi utilizzate permettono di rimuovere la distorsione geometrica indotta dall'obiettivo della fotocamera, dall'angolo con la verticale e dalla topografia, restituendo una foto rettificata e georeferenziata (ortofoto) che è sovrapponibile alla cartografia preesistente. Le foto ortorettificate e georeferenziate sono importate in ambiente GIS ed utilizzate come base per tracciare i limiti del corpo geologico. La precisione della ricostruzione di tali limiti è funzione principalmente della risoluzione, della qualità, dell'angolo con la verticale e dell'altezza dei punti di presa delle foto da elicottero, e della risoluzione e della scala delle ortofoto preesistenti, che devono essere sufficientemente recenti in modo da ben rappresentare la morfologia precedente l'eruzione. La speditezza dell'intera procedura e la buona qualità del prodotto ottenuto rendono possibile, nel caso di eruzione vulcanica effusiva, la ricostruzione dell'evoluzione giornaliera del campo lavico, fornendo dati preziosi per eventuali simulazioni nel corso dell'eruzione. Un importante banco di prova per la parte di strumentazione della rete già acquisita dall'U.F. Vulcanologia e Petrologia-OV, per l'occasione affiancata dalla strumentazione della U.F. Vulcanologia e Geochimica-Catania, è stato l'emergenza frane, verificatasi a Ischia nell'aprile del 2006. Le attività svolte nel corso di quella emergenza sono sintetizzate nel capitolo seguente. I risultati conseguiti dimostrano la perfetta integrabilità tra le strumentazioni delle due sezioni dell'INGV, a conforto di quanto auspicato in fase di progettazione della rete di monitoraggio vulcanologico.

Emergenza frane a Ischia (aprile 2006)

La mattina del 30 aprile 2006, in seguito a prolungati eventi piovosi, si sono prodotte colate rapide di fango lungo il versante settentrionale del Monte Vezi (392 m s.l.m.) a Ischia (Fig. 129). Due di queste colate hanno distrutto un edificio provocando la morte di 4 persone. Giovanni Orsi, Enrica

Marotta e Fabio Sansivero dell'U.F. Vulcanologia e Petrologia-OV e Sonia Calvari e Luigi Lodato della U.F. Vulcanologia-Catania, trovandosi sull'isola per ricerche relative a un progetto INGV-DPC, hanno collaborato con il Dipartimento della Protezione Civile, che coordinava un intervento straordinario, e colleghi dell'Università di Firenze. Gli obiettivi dell'intervento erano definire le caratteristiche del fenomeno franoso avvenuto e valutare la possibilità che un simile evento potesse ripetersi nella stessa area o in quelle circostanti.

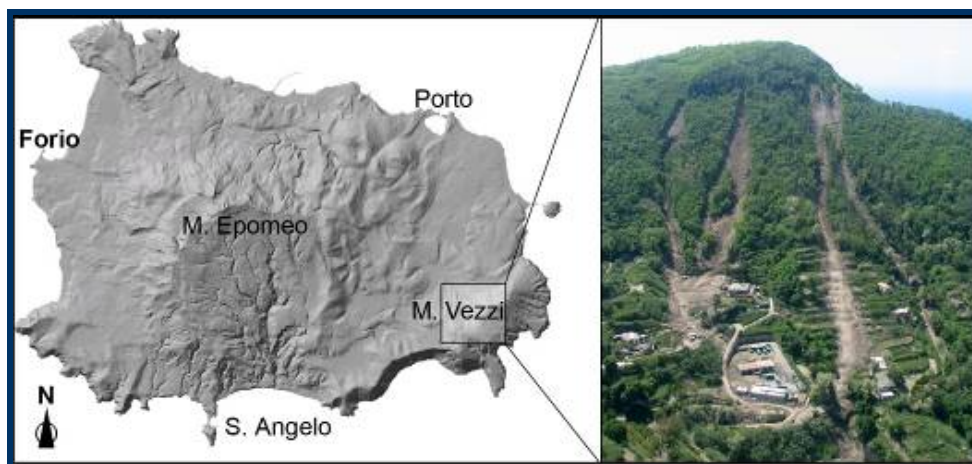


Figura 129. Ubicazione delle frane del 30 aprile 2006 al Monte Vezi e vista delle stesse da NW.

Raccolta dati da elicottero

Nel corso dei rilievi da elicottero, messo a disposizione dal Dipartimento della Protezione Civile, effettuati il 3 e 5 maggio, sono state raccolte immagini termiche e foto digitali e sono state effettuate riprese video utili per la mappatura delle nicchie di distacco e delle aree di accumulo delle frane (Fig. 130 e 131). La fitta vegetazione ha impedito un rilievo di dettaglio della porzione circostante le nicchie di distacco. Le immagini termiche hanno mostrato l'estensione delle nicchie di distacco e delle aree di accumulo, ma la loro definizione è limitata dal basso contrasto di emissività e/o temperatura del mezzo. Nonostante ciò, il rilievo effettuato ha mostrato l'assenza di fumarole nelle aree delle nicchie di distacco delle frane. Ciò, pur dimostrando la potenzialità del metodo, ha messo in evidenza che le mappature termiche devono essere effettuate in condizioni migliori di irraggiamento solare sull'area di interesse, e ripetute nel tempo a intervalli regolari.



Figura 130. Immagine termica (a sinistra) e nel visibile (a destra) del versante interessato dalle frane.

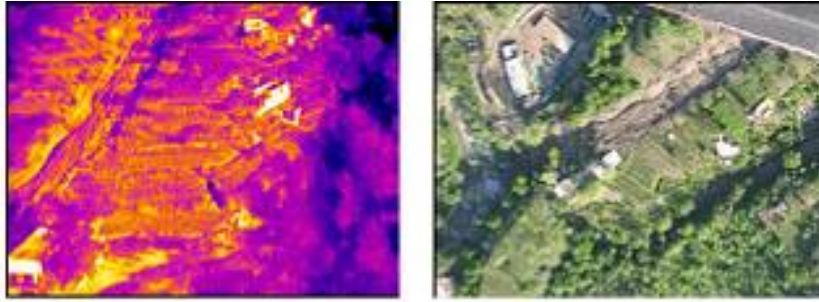


Figura 131. Immagine termica e foto da elicottero della parte bassa della frana n. 2 come da Fig. 5a.

Raccolta dati da terra

Il versante su cui si sono sviluppate le frane è stato rilevato utilizzando un distanziometro laser Leica Vectronix VECTORTM modello B montato su treppiedi. Le misure, la cui precisione è di ± 2 m, sono state effettuate dalla località San Antuono, ubicata di fronte al versante interessato dalle frane, a una distanza media di 1.125 m. Per definire la geometria dei corpi di frana sono state misurate 112 distanze, utilizzando 5 punti di riferimento esterni ai corpi di frana per il corretto posizionamento delle misure (Fig. 132). A queste si aggiungono 25 distanze misurate tra la nicchia di distacco ed il punto di osservazione, e le misure GPS prese direttamente sul terreno.



Figura 132. Versante settentrionale del Mt. Vezzi interessato dagli eventi franosi del 30 aprile 2006, visto dalla località San Antuono. Le barre bianche indicano i tratti in cui è stata misurata la larghezza del corpo di frana utilizzando un distanziometro laser. I cerchi rossi indicano i punti di misura della distanza tra il punto di osservazione e le nicchie di frana; quelli blu, i punti di misura della distanza tra il punto di osservazione e i punti di riferimento esterni al corpo di frana.

Alcune foto digitali ad alta risoluzione scattate dall'elicottero sul versante settentrionale del Monte Vezzi interessato dagli eventi franosi. sono state ortorettificate e georeferenziate con un software

dedicato (Erdas Imagine). Tale elaborazione è stata sovrapposta alla base cartografica della Regione Campania (scala 1:5000) in ambiente GIS per ricostruire la geometria dei corpi di frana. Da tale cartografia sono stati tracciati i profili topografici longitudinali utili per la modellizzazione dei fenomeni. Le misure effettuate con il distanziometro laser in località San Antuono e in corrispondenza dei fronti delle colate sono state integrate nel GIS per meglio ricostruire le geometrie. La disponibilità di foto aeree dell'area in studio (AvioRiprese), prese successivamente agli eventi franosi, ha permesso di dettagliare ulteriormente i limiti delle colate. E' stato quindi possibile calcolare i principali parametri geometrici (area, lunghezza e larghezza) e ricostruire i profili longitudinali dei corpi di frana in questione.

MONITORAGGIO GEOCHIMICO DEI VULCANI ATTIVI E QUIESCENTI ITALIANI

(a cura del Dott. Rocco Favara, Direttore della Sezione di Palermo)

PREMESSA

Nel primo semestre 2006, la sezione di Palermo dell'INGV ha svolto attività di sorveglianza geochimica nelle aree maggiormente soggette a rischio vulcanico (Vulcano, Panarea e Stromboli (Isole Eolie), l'Etna, il Vesuvio ed i Campi Flegrei, Ischia e Pantelleria). Le attività di monitoraggio sono consistite nell'osservazione dei fluidi naturali quali le acque di falda ed i gas in esse disciolti, le emissioni fumaroliche, le emissioni di gas diffuso dai suoli (mofete e maccalube), etc. Esse sono state svolte da personale altamente specializzato attraverso prospezioni periodiche o mediante reti di monitoraggio automatico; queste ultime consistono in stazioni installate in località remote che misurano alcuni parametri geochimici in fluidi naturali quali i flussi di CO₂ diffusi dai suoli, i parametri chimico – fisici nelle acque di falda, i rapporti CO₂/SO₂ nei plume, etc. Studi di dettaglio effettuati negli anni passati, hanno consentito di individuare le località potenzialmente sensibili alle variazioni dell'attività vulcanica, in cui oggi sono installate le stazioni di monitoraggio automatico. Le ampie variazioni di flusso di CO₂ registrate con largo anticipo rispetto l'inizio delle recenti eruzioni in area etnea, confermano quanto sia importante l'impiego di questa tipologia di strumenti nell'ambito del monitoraggio dell'attività vulcanica. Di seguito viene riportata una sintesi delle attività di monitoraggio geochimico svolte nel primo semestre del 2006. In alcune di queste aree, (Vulcano, Stromboli ed Etna) le attività di monitoraggio sono state affiancate da un forte potenziamento delle reti automatiche di misura.

ETNA

Le attività di monitoraggio sono state svolte in accordo ai programmi di sorveglianza previsti per l'anno 2006:

- Monitoraggio automatico dei principali parametri chimico-fisici della falda (pH, conducibilità elettrica, temperatura, livello freatico) in 6 siti con trasmissione dati ed in 3 siti con registrazione locale dei dati.
- Monitoraggio discreto del chimismo e della composizione isotopica delle acque di falda attraverso prospezioni periodiche effettuate con frequenza mensile.
- Monitoraggio discreto del flusso diffuso di CO₂ dai suoli in 4 settori dell'edificio etneo (prospezioni mensili su una rete fissa di complessivi 142 punti di misura).
- Monitoraggio discreto del chimismo e della composizione isotopica dei gas emessi in aree periferiche e sommitali del vulcano (frequenza da settimanale a mensile);
- Misura dei rapporti S/Cl, S/C, Cl/F e S/Cl nei gas del plume.
- Monitoraggio automatico del flusso di CO₂ emesso dai suoli in 10 siti mediante rete automatica di monitoraggio continuo.

- Sviluppo delle reti di monitoraggio attraverso la progettazione di nuovo hardware e ricerca di nuovi siti di osservazione.
- Sviluppo di nuovi moduli software per la gestione automatica dei dati nelle sale di monitoraggio geochimico.

Le indagini svolte durante il primo semestre del 2006 hanno messo in evidenza variazioni di grande rilievo che riguardano quasi tutti i parametri monitorati. Tali variazioni rispecchiano lo stato di instabilità del sistema vulcanico che mantiene elevata la sua potenzialità eruttiva. In particolare, va segnalato un incremento del rapporto isotopico dell'elio nel periodo Marzo-Aprile che interessa tutti i siti periferici. Tale incremento segna l'ingresso di nuovo magma, ricco in gas, nelle porzioni più profonde del sistema di alimentazione del vulcano. Ciò viene confermato, nei mesi successivi, dalla comparsa di numerose anomalie nei flussi diffusi di CO₂ dai suoli e nelle falde acquifere in tutti i settori dell'edificio etneo e delle aree pedemontane. Il repentino incremento del rapporto C/S registrato nel mese di Maggio accompagnato dall'aumento del contenuto delle specie ridotte nei gas fumarolici campionati in quota, indica che il magma ha raggiunto le porzioni sommitali dei condotti eruttivi del vulcano. L'insieme dei dati acquisiti indica, pertanto, che nel corso del primo semestre 2006 il sistema vulcanico etneo è stato interessato da un processo di ricarica magmatica e del successivo trasferimento di magma verso le porzioni più superficiali del vulcano. L'attività eruttiva osservata a fine Luglio è frutto di tali fenomenologie.

Sorveglianza geochimica delle acque sotterranee

L'attività di sorveglianza svolta nel corso del 2006 è consistita in campionamenti mensili attraverso 17 siti (pozzi, sorgenti e gallerie drenanti) ubicati prevalentemente sul fianco orientale (Zafferana-S. Venerina) e sud-occidentale (Paternò-Belpasso) dell'edificio vulcanico. Sui campioni sono stati determinati i principali parametri chimico fisici (temperatura, pH, conducibilità elettrica), i tenori dello ione bicarbonato e la pressione parziale teorica di CO₂ nonché i tenori dei costituenti ionici maggiori (Na, K, Mg, Ca, F, Cl, Br, NO₃ ed SO₄) ed il contenuto dei gas disciolti. Durante il primo semestre del 2006, le acque sotterranee etnee non hanno evidenziato variazioni di temperatura che eccedono le normali oscillazioni stagionali. Al contrario, a partire dal mese di settembre 2005 si osserva un trend crescente della pressione parziale di CO₂ disciolta che, con oscillazioni di ampiezza variabile, raggiunge il massimo nel marzo 2006 e si mantiene elevata per tutto il semestre. Nel mese di marzo, questa anomalia è stata accompagnata da un picco nei valori di CO disciolta. Alcuni siti, inoltre, mostrano limitati ma significativi aumenti del contenuto di solfati e cloruri.

Monitoraggio continuo delle acque sotterranee

I principali parametri chimico-fisici delle acque sotterranee dell'Etna vengono monitorati attraverso una rete di stazioni con trasferimento automatico dei dati con modem GSM (rete ETNAACQUE) e stazioni con registrazione locale dei dati (ETNAT). La rete è stata realizzata nell'estate del 2001 ed attualmente consta di 6 stazioni ubicate presso i siti Difesa (Belpasso), Ciapparazzo (Bronte),

Rocca Campana (Piedimonte), Valcorrente (Belpasso), Ponteferro (Santa Venerina) e Cherubino (Santa Maria di Licodia) ed acquisisce dati riguardanti T, pH, conducibilità elettrica e livello freatico con frequenza oraria. Le 3 stazioni che costituiscono invece la rete ETNAT, con registrazione locale dei valori di temperatura, sono installate in prossimità di Currone (settore SW dell'edificio vulcanico), Bongiardo ed Ilice (settore Est dell'edificio vulcanico). I dati acquisiti durante il primo semestre del 2006, non evidenziano variazioni di particolare rilievo ai fini della sorveglianza dell'attività vulcanica. Le deboli anomalie che è possibile evidenziare riguardano piccoli apporti di energia termica e di fluidi di origine profonda verso le falde. Infine, le variazioni di pH misurate dalle stazioni installate a partire dalla seconda metà del 2004, risultano compatibili con le variazioni di PCO_2 rilevate attraverso il monitoraggio discreto delle stesse falde. Soltanto la stazione di monitoraggio Rocca Campana sita a Piedimonte Etneo lungo la faglia Pernicana, a partire dal mese di marzo è stata caratterizzata da un trend decrescente del pH che ha determinato una riduzione di circa 0.3 unità pH; tale variazione risulta in perfetto accordo con l'aumento della pressione parziale di CO_2 osservato nello stesso sito.

Monitoraggio discreto delle emissioni diffuse di CO_2 dai suoli

Le campagne mensili per la misura del flusso diffuso di anidride carbonica dai suoli sono state condotte attraverso una rete di circa 142 punti fissi ubicati in quattro aree del vulcano:

- a) il basso versante sud-occidentale attorno al paese di Paternò;
- b) il versante orientale del vulcano attorno ai paesi di Zafferana Etnea e S. Venerina;
- c) il medio versante nord-orientale, attorno agli abitati di Vena e Presa lungo la parte bassa della faglia Pernicana o in prossimità di essa;
- d) medio-alto versante nord-orientale, nei pressi del Villaggio Mareneve, lungo la porzione alta della faglia Pernicana.

Sono stati inoltre monitorati due siti, P39 e P78, che rappresentano i punti a più alto degassamento delle aree di Paternò e Zafferana Etnea-S. Venerina (ZE-SV), rispettivamente. La parte iniziale del 2006 è stata caratterizzata da un elevato e rapido incremento dei flussi di CO_2 in tutte le aree indagate. Tale incremento è risultato particolarmente elevato nell'area di Paternò, ove si è potuto anche osservare un modesto incremento della estensione areale delle anomalie. I valori di flusso misurati si mantengono particolarmente elevati in tutte le aree investigate anche negli ultimi mesi del primo semestre del 2006.

Monitoraggio continuo del flusso diffuso di CO_2 dai suoli

Le stazioni remote che costituiscono la rete di monitoraggio Etnagas acquisiscono i dati riguardanti il flusso di CO_2 dai suoli e i principali parametri meteo (T, P, direzione e velocità del vento, piovosità ed umidità dell'aria). Le emissioni diffuse di CO_2 relative al periodo in esame mostrano, in generale, un trend crescente del tasso esalativo. Almeno 6 delle 10 stazioni installate evidenziano un chiaro incremento dei flussi di CO_2 (SML1, MSM1, SV1, P78, N1, N2). Va notato che le stazioni

N1 ed N2 sono ubicate a circa 50Km SE rispetto all'edificio etneo; anche in quest'area così distante dall'edificio etneo le anomalie di flusso risultano sincrone con quelle evidenziate sui fianchi e nelle aree periferiche dell'edificio etneo. Ciò è stato osservato anche nel corso dell'eruzione 2004-2005. L'aumento del tasso esalativi inizia mediamente nei primi di maggio. Le restanti quattro stazioni della rete (Maletto, Albano, Primoti, P39) non hanno evidenziato variazioni di rilievo nel loro tasso esalativo.

Composizione chimica ed isotopica dei gas fumarolici

Nel periodo di riferimento, nell'area etnea sono state effettuate campagne con cadenza mensile in siti ubicati sia ad alta quota (TDF, BLV, RNE situati a quote > 2000m slm) che in zone più periferiche (P78 ~ 700m slm). Nei campioni di gas, sono state determinate la composizione chimica (tenori di CO₂, He, H₂, O₂, N₂, CH₄ e CO) ed isotopica ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$). Nelle fumarole sono state anche misurate le temperature di emissione del gas e le corrispondenti temperature dell'aria. I dati acquisiti evidenziano in tutti i siti variazioni significative in alcuni dei parametri monitorati. A partire dal mese di marzo si registra un aumento nelle concentrazioni di CO₂, più evidente nell'area di S.Venerina, sino a raggiungere, a giugno, valori simili a quelli precedenti l'eruzione 2004-2005. La composizione isotopica del $\delta^{13}\text{C}$ mostra un progressivo incremento dei valori nel periodo Maggio-Giugno. Nello stesso periodo, alcune specie ridotte (CO e H₂), mostrano anch'esse un significativo aumento rispetto ai mesi precedenti.

Sorveglianza geochimica discreta del plume

La misura della composizione chimica del plume dall'Etna, svolte nel recente passato attraverso tecniche in-situ o remote, ha fornito preziose informazioni riguardo i meccanismi di degassamento e l'evoluzione temporale dell'attività vulcanica. In particolare, i dati raccolti nell'ambito delle recenti eruzioni 2001 e 2002-2003, hanno permesso di definire un modello di degassamento riguardante le specie acide S, Cl e F, la cui applicazione fornisce un'indicazione quantitativa delle condizioni di degassamento del magma presente nelle porzioni più superficiali del condotto eruttivo. Sin dal 2003, viene svolta un'attività di monitoraggio del plume emesso dai crateri sommitali del vulcano, allo scopo di valutare quantitativamente le dinamiche di degassamento sia in periodi non eruttivi, sia nel corso delle recenti eruzioni. La frequenza di campionamento è bisettimanale in accordo alle variabili condizioni meteorologiche. Vengono misurate le concentrazioni di SO₂, HCl ed HF nei gas emessi dal cratere di NE e dalla Voragine mediante metodologia filter-packs. Inoltre, viene effettuata la misura simultanea delle concentrazioni di CO₂ ed SO₂ nel plume con una strumentazione portatile che alloggia un sensore IR per la CO₂ ed un sensore elettrochimico per l'SO₂. Tali misure forniscono un ulteriore contributo per la valutazione dello stato di degassamento del magma nelle porzioni sommitali dei condotti di alimentazione del vulcano e sull'eventuale apporto di magma fresco, non degassato. I rapporti SO₂/HCl del plume rilasciato dal NEC sono stati compresi, nel corso degli ultimi due anni, fra 0.2 e 2.6, mentre la Voragine è tipicamente e sistematicamente arricchita in zolfo (SO₂/HCl: 0.9-7). Alla luce dei modelli di degassamento recentemente proposti, tale differenza composizionale dipende da un maggior apporto di magma fresco e ricco in volatili verso la Voragine. Tale indicazione è peraltro confermata dall'analisi dei

rapporti C/S ai due crateri, che risultano tipicamente più alti al cratere della Voragine. Riguardo il periodo in esame, le determinazioni periodiche del chimismo del plume vulcanico hanno mostrato significative variazioni dei rapporti CO_2/SO_2 e SO_2/HCl (Voragine). Dopo la fine dell'eruzione 2004-05, il rapporto SO_2/HCl ha evidenziato un moderato e graduale aumento fino a settembre 2005 che, insieme a rapporti CO_2/SO_2 in diminuzione, indicano condizioni di degassamento sempre più superficiali di un batch di magma probabilmente richiamato dallo svuotamento dei condotti nel corso dell'eruzione. La continua diminuzione dei rapporti CO_2/SO_2 e SO_2/HCl da settembre 2005 ad aprile 2006 suggerisce l'assenza di nuovi apporti di magma fresco, non degassato. Il trend si è bruscamente invertito da maggio 2006, con i rapporti CO_2/SO_2 che hanno subito un incremento, culminato il 10 luglio 2006.

Composizione chimica ed isotopica dei gas periferici

Il monitoraggio dei gas periferici, durante il primo semestre del 2006, è stato effettuato con le consuete modalità (frequenza quindicinale) nei cinque siti di campionamento ben noti (P39, Vallone Salato, Salinelle di Stadio e Fondachello in area etnea, Mofeta dei Palici in area iblea). Nei campioni di gas prelevati sono state determinate le composizioni chimiche (concentrazioni di CO_2 , He, H_2 , O_2 , N_2 , CH_4 e CO) ed isotopiche ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_2}$, He). La composizione isotopica dell'elio non ha mostrato variazioni di rilievo fino a fine Marzo, allorquando è stato osservato un incremento del rapporto isotopico di circa due decimi di R/Ra in tutti i siti monitorati. Tale variazione si è esaurita in Aprile. Nei mesi successivi i rapporti sono rimasti costantemente alti, con valori mediamente superiori rispetto agli ultimi due anni. Il chimismo non ha evidenziato variazioni di uguale importanza durante il periodo di riferimento. In particolare, i rapporti chimici He/ CO_2 ed He/Ne, utilizzati come indicatori di dinamica magmatica nel sistema di alimentazione, sono rimasti sostanzialmente stabili. In tal senso, costituisce eccezione il sito di Mofeta dei Palici, il quale ha mostrato una variazione non trascurabile durante il periodo Febbraio-Aprile.

VULCANO

Nel corso del primo semestre 2006, il monitoraggio geochimico condotto in questa area vulcanica ha riguardato:

- le emissioni fumaroliche site sul bordo e sulla parete interna del cratere La Fossa;
- le emissioni di gas (CO_2) diffuso dai suoli nell'area dell'abitato di Vulcano Porto;
- le falde acquifere, attraverso i pozzi presenti all'interno ed in prossimità del centro abitato Vulcano Porto.

Il calendario dei campionamenti è stato svolto in accordo con quanto previsto dal programma di sorveglianza definito per l'isola di Vulcano. Parallelamente ai campionamenti discreti, alcuni tra i parametri in osservazione sono stati monitorati mediante sistemi di misura in continuo (in particolare, le emissioni di gas diffuso dai suoli di Vulcano Porto e le temperatura di emissione nelle fumarole crateriche).

I dati acquisiti nei primi mesi del 2006 hanno segnato la totale scomparsa dell'anomalia di degassamento osservata alla fine del 2005. Peraltro, tale anomalia non sembra avere interessato sensibilmente la falda acquifera termale. Il debole e temporaneo coinvolgimento delle sistemi periferici di smaltimento dei fluidi vulcanici suggerisce che l'evento magmatico avvenuto intorno alla fine del 2005 sia stato di entità limitata in termini di masse ed energie coinvolte. Nel luglio 2006, l'area fumarolica craterica della Fossa è stata interessata da una ripresa dell'attività esalativa che si è manifestata principalmente attraverso l'aumento del rapporto $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$, ed i più modesti incrementi della temperatura di emissione acquisita in continuo. L'insieme dei parametri geochimici suggerisce un aumento della componente gassosa magmatica nei fluidi fumarolici. Con l'eccezione della temporanea anomalia di flusso osservata in giugno, il monitoraggio della CO_2 diffusa dal suolo nell'area di Vulcano Porto, e delle condizioni chimico-fisiche delle falde non indica un permanente coinvolgimento dei sistemi periferici del vulcano. Ciò potrebbe essere legato alla limitata entità del fenomeno in atto, come anche al fatto che esso sia in una fase iniziale della sua evoluzione.

Monitoraggio chimico-isotopico dei fluidi fumarolici

I fluidi fumarolici nell'area del cratere La Fossa di Vulcano sono stati monitorati mediante campionamento di quattro fumarole (FA, F11, F0 ed F5AT) con frequenza bimestrale. Si è acquisita la temperatura ed il chimismo dei gas emessi, insieme alla composizione isotopica di He e CO_2 . Nel corso del primo semestre dell'anno corrente, l'estensione e la distribuzione delle aree fumaroliche non ha mostrato variazioni sostanziali, sia sul fianco interno del cratere che lungo l'orlo dello stesso. Le temperature dei fluidi fumarolici hanno evidenziato modeste variazioni, comunque contenute entro la normale variabilità di ciascun sito di misura. L'orlo craterico è rimasta la zona caratterizzata dalle maggiori temperature di emissione durante tutto il semestre, con valori compresi tra 430 e 460°C. I gas fumarolici hanno mostrato solo modeste variazioni composizionali fino alla campagna di maggio. Al contrario, il campionamento di luglio 2006 indica un rilevante incremento delle concentrazioni delle specie magmatiche (He, N_2 e CO_2) che è stato osservato in tutte le emissioni fumaroliche monitorate. Coerentemente, sono variate anche le composizioni isotopiche di elio e carbonio. Le anomalie osservate non sono state accompagnate da un aumento nei tenori di zolfo ed alogeni, che hanno invece mostrato variazioni contenute entro i normali intervalli composizionali.

Monitoraggio discreto delle emissioni diffuse di anidride carbonica dai suoli

L'area ricoperta dalle misure si estende per circa 2.2 km² alla base dell'edificio vulcanico e comprende l'intero abitato di Vulcano Porto e le aree termali e maggiormente esalanti, poco distanti dall'abitato (Faraglione, Acque Calde, centrale ENEL e TELECOM, Camping Sicilia). I flussi di CO_2 dai suoli sono stati misurati attraverso una maglia di 53 punti di misura. L'ubicazione di tali siti non viene modificata dal 1988 allo scopo di mantener basso l'errore relativo fra le campagne ($\pm 4\%$). Le prospezioni sono state condotte con frequenza mensile.

A partire da gennaio 2006 e durante i primi mesi del semestre, i valori di flusso di CO₂ dai suoli dell'area di Vulcano Porto si sono mantenuti prossimi al back ground. La prospezione di giugno ha invece evidenziato un sensibile incremento di flusso (fino a 3.5×10^{-4} cm³cm⁻²s⁻¹) che ha interessato tutti i siti di misura. Tale anomalia è comunque risultata di breve durata, scomparendo totalmente nel successivo campionamento.

Monitoraggio discreto delle acque dei pozzi

Il monitoraggio geochimico delle falde termali nell'area di Vulcano Porto è stato effettuato mediante campionamenti bimestrali in 7 pozzi. Le indagini sono consistite nella misura in campo di alcuni parametri chimico-fisici (pH, Eh, temperatura) e nella determinazioni in laboratorio della composizione chimica ed isotopica delle acque campionate. Se confrontati con quanto osservato negli anni precedenti, i dati acquisiti non evidenziano variazioni di particolare rilievo sia nel regime termico che nel chimismo delle acque termali dell'area di Vulcano Porto.

Monitoraggio continuo delle emissioni fumaroliche e dei flussi diffusi di CO₂ dai suoli

Il sistema di monitoraggio è attualmente costituito da 7 stazioni remote collegate mediante link radio su frequenza dedicata e rete GSM alla sala di monitoraggio della Sezione di Palermo dell'INGV. Le stazioni periferiche, misurano e memorizzano ad intervalli orari la temperatura delle fumarole, le emissioni di CO₂ dal suolo ed i parametri meteo. Le stazioni sono ubicate a Lipari (Caolino – misura la temperatura fumarolica e funge da ripetitore), sul cratere “La Fossa” (due stazioni che monitorizzano i valori di temperatura delle fumarole Fratt/B1, Fratt/B2, F5 ed F5 AT ed FA), sulla spiaggia di levante (misura della temperatura fumarolica), in prossimità del Campo sportivo di Vulcano Porto, alla base del sentiero per il Cratere ed in contrada Grotta dei Palizzi (tre stazioni per la misura del flusso di CO₂ dai suoli). Infine la rete dispone di una stazione per la misura dei parametri meteo, installata presso il Centro Carapezza. Nel bimestre gennaio-febbraio 2006, i sensori per il monitoraggio continuo installati sia nell'area fumarolica dell'orlo craterico (stazione Vulcra F5AT) che sul fianco interno del cratere (stazione Vulcra2 FA) hanno mostrato una diminuzione della temperatura. Tra marzo e giugno le temperature si sono mantenute pressoché costanti, comprese tra 340 e 400 °C. Al contrario, intorno alla metà del mese di luglio, si è osservato un sensibile incremento termico, durante il quale la temperatura delle emissioni è aumentata di circa 30°C in una settimana, rimanendo successivamente stabile sui nuovi valori raggiunti.

STROMBOLI

Stromboli, il vulcano più attivo dell'intero arco eoliano, è caratterizzato da un degassamento sommitale a condotto aperto permanente e da una persistente attività esplosiva. Occasionalmente si verificano esplosioni più violente associate ad emissioni di lava. Uno studio geochimico, condotto nel corso del triennio 2000-2003, ha fornito informazioni necessarie per l'individuazione dei siti geochimici sensibili, potenzialmente utili per il monitoraggio dell'attività vulcanica; attualmente sull'isola è attiva una rete pluviometrica ed una rete di monitoraggio continuo dei flussi di CO₂

dai suoli e di alcuni parametri chimico fisici delle acque di falda; periodicamente, infine, vengono condotte prospezioni di campionamento dei gas fumarolici e delle acque termali. Le misure svolte nel corso del primo semestre 2006 evidenziano l'ingresso di nuovo magma, non degassato, nei condotti di alimentazione del vulcano come testimoniato dall'aumento del flusso di CO₂ diffuso dai suoli. Dalla fine del mese di Aprile 2006 fino alla fine del semestre, le anomalie si sono totalmente esaurite. Le variazioni evidenziate, se confrontate con quelle osservate in precedenza e durante l'eruzione 2002-2003, indicano che il fenomeno ha avuto proporzioni di modesta entità; tale fenomeno, in accordo al rapido decremento delle emissioni diffuse di CO₂ indica che questa fase di ricarica può essere considerata conclusa.

Monitoraggio continuo del flusso diffuso di CO₂ dai suoli

La rete di monitoraggio del flusso di CO₂ consiste di due stazioni ubicate in zone di degassamento anomalo. STR01 si trova in località Scari all'interno del centro abitato di Stromboli mentre STR02 è ubicata nella parte sommitale del vulcano in località Pizzo Sopra La Fossa. Quest'ultima stazione, durante l'ultimo evento parossistico 2002-2003, ha fornito importanti indicazioni sulle variazioni di attività vulcanica evidenziando, alcuni mesi prima dell'evento eruttivo del 28 Dicembre 2002 e dell'esplosione del 5 Aprile 2003, variazioni di grande ampiezza del flusso di CO₂ (fino a 80000 g m⁻²d⁻¹). Durante il primo semestre del 2006, come segnalato nell'ambito del comunicato del 10 Marzo, sono state osservate anomalie in alcuni dei parametri geochimici monitorati sia attraverso la rete che mediante prospezioni periodiche. In particolare, il flusso di CO₂ ha mostrato valori molto più elevati rispetto al normale back ground per quest'area vulcanica (4000 g m⁻²d⁻¹, valore osservato durante normali fasi di attività stromboliana). A partire da Novembre 2005, i valori sono aumentati sensibilmente definendo un trend caratterizzato da repentine variazioni. Alla fine di Dicembre 2005 e nel periodo fine Febbraio - inizio Aprile 2006, è possibile individuare due massimi esaltativi principali rispettivamente pari a 14000 e 11000 g m⁻²d⁻¹. Successivamente i valori hanno ripreso a diminuire attestandosi a 2000 g m⁻²d⁻¹, valore che si osserva fino alla fine del semestre. La comparazione delle variazioni osservate in questo semestre con quelle registrate durante l'ultimo evento parossistico (2002-2003) suggerisce che l'ingresso di nuovo magma, non degassato, nei condotti di alimentazione del vulcano a cui devono essere ricondotte le variazioni di flusso osservate, è di modesta entità e, attualmente, non desta particolare preoccupazione.

Monitoraggio della falda acquifera

I pozzi termali monitorati con frequenza mensile (Cusolito, Limoneto, Fulco, Zurro e Saibbo), sono caratterizzati da temperature comprese nel range 35 a 47°C ed un ampio range di salinità (8200 < TDS < 40000 mg/l) dovuto ad un variabile contributo di acqua di mare. Le acque monitorate, infatti, sono il risultato di un mescolamento tra un termine marino ed uno più ricco in HCO₃⁻, quest'ultimo legato ad un variabile input di CO₂ di origine magmatica. La composizione isotopica del carbonio della CO₂ in fase gassosa, in equilibrio con le falde, nonostante subisca processi di frazionamento isotopico in seguito all'interazione con i fluidi superficiali, indica una chiara origine magmatica della CO₂. L'entità del frazionamento è maggiore nelle acque più saline e con pH più elevato, a causa

della maggiore solubilità della CO₂ e di un maggiore scambio isotopico con le specie carbonatiche disciolte. L'effetto finale è un progressivo arricchimento nel gas residuale di specie poco solubili in acqua rispetto alla CO₂ e di ¹²C rispetto al ¹³C. La composizione isotopica dell'elio disciolto in tutti i siti analizzati, conferma l'esistenza di processi d'interazione tra falde superficiali e fluidi profondi di origine magmatica. La composizione isotopica dell'He oscilla intorno al valore 4.5 R/Racorr, superiore a quelli riscontrati nelle fumarole crateriche. La comparazione dei dati isotopici dell'He disciolto, determinati nei pozzi termali posti all'interno del centro abitato di Stromboli e nella fumarola SC5 sita nell'area sommitale, indica un aumento della quantità di gas nei condotti eruttivi del vulcano negli ultimi mesi dell'anno 2005. Le fasi di ricarica evidenziate con l'arrivo della CO₂ nell'area sommitale discusse precedentemente vengono confermati da variazioni di circa un fattore 3 nella CO₂ disciolta nelle acque del pozzo Zurro (da 10 cm³STP/litro a 30 cm³STP/litro). Anche in questo caso, le variazioni osservate risultano circa un ordine di grandezza inferiori rispetto a quanto osservato in concomitanza dell'eruzione 2002-2003. Anche nella falda, le anomalie si sono progressivamente ridotte prima della fine del semestre.

Chimismo del plume vulcanico

Durante il primo semestre 2006 è continuato lo sviluppo di un prototipo di stazione per il monitoraggio continuo del rapporto CO₂/SO₂ nei gas del plume. La stazione, installata nella parte sommitale del vulcano, è stata assemblata con un sensore elettrochimico per la misura dei tenori di SO₂ ed uno spettrofotometro all'infrarosso per le determinazioni di CO₂. I dati acquisiti vengono memorizzati localmente e trasmessi, con frequenza giornaliera, alla sala di Monitoraggio di Palermo dell'INGV. La stazione è ancora in fase di sviluppo, sia riguardo le strumentazioni di misura impiegate che riguardo il sistema di trasferimento dati. La stazione, comunque, negli ultimi mesi del semestre ha iniziato a fornire dati attendibili e con continuità. A conferma della validità del lavoro svolto, i valori del rapporto CO₂/SO₂ misurati in questo periodo risultano compresi nel range 2-6 già evidenziato da misure discrete effettuate in precedenza in quest'area con tecniche di misura differenti (filter packs). Tali variazioni sono perfettamente compatibili con la fase di attività stromboliana che ha caratterizzato questo vulcano nel corso del semestre.

PANAREA

L'attività esalativa dell'isola di Panarea, è caratterizzata dalla presenza di attività idrotermale eminentemente sottomarina con numerose emissioni gassose e sorgenti di acque termali con temperature fino a 130°C al punto di emissione ad una profondità circa 20m. Durante il primo semestre 2006 sono stati prelevati campioni di gas ed acque termali con l'ausilio di operatori subacquei allo scopo di monitorare lo stato dell'attività vulcano-esalativa. Sono stati determinati gli elementi maggiori e minori (Na, K, Mg, Ca, Cl, SO₄, NO₃, HCO₃ e CO₃) e la composizione isotopica del δD e δ¹⁸O nei campioni di acque termali, unitamente alla composizione chimica ed isotopica (isotopi di elio e carbonio) dei gas. Le aree di prelievo sono state le stesse delle campagne precedenti con particolare attenzione all'area in prossimità di Bottai sede dell'ultima crisi di attività del 2002-2003. Le analisi effettuate indicano che le acque campionate sono il risultato di fenomeni

di mixing in varie proporzioni tra acque di origine marina e geotermica mentre i gas sono di origine profonda, riequilibrati a varie temperature. Le portate dei gas sono risultate paragonabili rispetto alle osservazioni precedenti. Riguardo le emissioni gassose presenti nel fondo del cratere formatosi nel novembre 2002 si registra un netto decremento unitamente ad un continuo riempimento della conca craterica, la cui profondità massima è diminuita da 15 a 12 metri. Le indagini svolte nel primo semestre 2006 non evidenziano, pertanto, variazioni rilevanti rispetto a quanto osservato nel corso del precedente anno.

VESUVIO

L'acquifero superficiale del Vesuvio è monitorato dal 1999 mediante campionamento mensile di 8 pozzi e 3 sorgenti ubicati, per la maggior parte, sul fianco sud-occidentale del vulcano (area caratterizzata dalla maggiore emissione di fluidi vulcanici) e, in misura inferiore, sui fianchi settentrionale ed orientale dell'edificio vulcanico, in prossimità di strutture tettoniche attive. Su ciascun campione viene determinata la composizione chimica dell'acqua in termini di costituenti maggiori (Na, K, Mg, Ca, Cl, SO₄, NO₃, alcalinità), la composizione chimica dei gas disciolti e la composizione isotopica dell'elio disciolto su quattro siti. Inoltre, in due punti di campionamento sono state installate stazioni di misura in continuo della temperatura, con frequenza di campionamento oraria: si tratta della sorgente Olivella, ubicata sul fianco settentrionale dell'edificio vulcanico e del pozzo 14, nel comune di Torre Annunziata. Nel corso del I semestre 2006 si è osservata una condizione generalmente stazionaria nella composizione chimica dell'acquifero vesuviano. In alcuni siti, dove nel corso degli ultimi due anni si è misurata una diminuzione della salinità e delle temperature, a causa di un maggiore apporto di una componente idrica più superficiale che tende a prevalere su quella profonda più salina, non si osservano variazioni significative rispetto al 2005. L'aumento del flusso idrico superficiale rispetto ai fluidi profondi ha determinato inoltre un aumento del frazionamento fra le diverse specie gassose, legato alla loro differente solubilità in acqua. Il rapporto CH₄/CO₂, già aumentato nel corso del 2005 a causa dell'arricchimento preferenziale del CH₄ nella fase gassosa rispetto alla CO₂, si mantiene su valori piuttosto elevati, a conferma di un ridotto apporto di CO₂ e/o di gas profondi nell'acquifero rispetto alla componente idrica superficiale. Le temperature medie delle acque sotterranee, corrette rispetto al trend stagionale, mostrano inoltre una tendenza alla diminuzione, confermando quindi l'ipotesi di una maggiore influenza di fluidi di origine superficiale nella ricarica degli acquiferi vesuviani.

CAMPI FLEGREI

I Campi Flegrei consistono in un complesso sistema vulcanico ubicato sul margine meridionale tirrenico della catena appenninica, in un'area interessata da movimenti tettonici di tipo distensivo. In tempi storici, l'attività vulcanica è consistita nell'eruzione del monte Nuovo avvenuta nel 1538 e da diversi cicli bradisismici, la cui ultima crisi si è manifestata nel periodo 1982-1984. Le attività di monitoraggio geochimico, svolte dalla Sezione di Palermo dell'INGV nel corso del primo semestre 2006 in quest'area, sono consistite nello studio delle variazioni temporali del chimismo, della composizione isotopica di He e CO₂ dei gas fumarolici emessi dalla Solfatara di Pozzuoli. In

particolare, in relazione alla ridotta attività che ha caratterizzato l'area negli ultimi anni, sono state condotte campagne di prospezione e misura con frequenza trimestrale in due delle principali aree di emissione: Bocca Grande (BG) e Bocca Nuova (BN). Le temperature misurate in questi due siti sono risultate in linea con quanto osservato negli anni precedenti (160°C) così come i rapporti $^3\text{He}/^4\text{He}$ ($^{BG}\text{R}/\text{Ra}=2.91\text{Ra}$ e $^{BN}\text{R}/\text{Ra}=2.96$) e la composizione isotopica CO_2 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}=-1.60$ vs PDB in entrambi i siti). Anche i rapporti gas/ H_2O e le concentrazioni di CH_4 , che in passato hanno mostrato ampie variazioni in relazione all'attività bradisismica, sono risultati paragonabili rispetto alle misure svolte in precedenza (rispettivamente 0.25, e 1.5×10^{-3} mol%). I dati acquisiti nel corso di questo primo semestre non mostrano, pertanto, variazioni di rilievo ai fini della monitoraggio dell'attività vulcanica nell'area.

ISCHIA

L'attività esalativa dell'isola di Ischia, la cui eruzione più recente risale al 1301, è caratterizzata dalla presenza di numerose fumarole e sorgenti termali. Durante il primo semestre 2006, in maggio, sono stati prelevati campioni di acque termali (sorgenti e pozzi) e di gas liberi allo scopo di valutare l'attività vulcanica. Nei campioni di acque termali sono stati determinati gli elementi maggiori e minori (Na, K, Mg, Ca, Cl, SO_4 , NO_3 , HCO_3 e CO_3), la composizione isotopica del δD e $\delta^{18}\text{O}$ dell'acqua, la composizione chimica dei gas disciolti e la composizione isotopica del TDC. Le analisi effettuate indicano che le acque campionate sono il risultato di fenomeni di mixing in varie proporzioni tra acque di origine meteorica, marina e geotermica; la maggior parte di esse risultano termali o debolmente termali con temperature comprese tra 18 e 82°C. Le acque termali presentano caratteristiche chimico-fisiche differenti in relazione al grado di interazione che subiscono durante il loro tragitto verso la superficie. Ciò determina una variabilità della conducibilità elettrica ($1.0 < \text{cond.} < 70$ mS) e del pH ($5.8 < \text{pH} < 8.1$) che è anche fortemente influenzato dall'interazione acqua-gas. Nei gas campionati è stata determinata la composizione chimica (He , H_2 , O_2 , N_2 , CO , CH_4 , CO_2) ed isotopica del C e O della CO_2 e dell'He. I gas sono tutti a CO_2 dominante e presentano una composizione isotopica della CO_2 e dell'He tipica dei gas di origine magmatica. I dati acquisiti non evidenziano variazioni rilevanti rispetto a quanto osservato negli anni precedenti.

PANTELLERIA

L'isola di Pantelleria è un vulcano attivo in stato di quiescenza, sede di un sistema geotermico con temperature comprese tra i 150 ed i 250 °C. Nel 1° semestre 2006, sono stati effettuati campionamenti delle sorgenti e dei pozzi che meglio rappresentano i circuiti idrologici dell'area in esame. Nelle acque sono stati determinati in situ i parametri chimico-fisici (T, pH, conducibilità) mentre in laboratorio è stata determinata la composizione chimica (in termini di elementi maggiori e minori), la composizione delle specie gassose disciolte e la composizione isotopica del δD e $\delta^{18}\text{O}$ dell'acque e del $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ delle specie del C disciolte (TDC). Le acque campionate sono tutte termalizzate con temperature che variano tra 23° e 55°C e valori di pH generalmente prossimi a 6.0 con la sola eccezione del lago di Venere ed il pozzo Armani in cui i valori sono prossimi

superiori a 9. La loro composizione chimica è piuttosto variabile nello spazio in quanto regolata dai fenomeni di interazione acqua-roccia e acqua-gas che subiscono durante il tragitto verso la superficie. I gas sono tutti a CO₂ prevalente con una composizione isotopica della CO₂ e dell'He tipica dei gas di origine magmatica. Nell'arco degli ultimi 10 anni non sono state osservate variazioni di particolare importanza sia nella composizione delle acque che dei gas monitorati. Le variazioni deboli variazioni registrate sono riconducibili ad interazioni superficiali dovute principalmente ad ingresso di acqua marina ed all'emungimento dei pozzi. Ciò è ulteriormente testimoniato dalla stabilità delle T del reservoir profondo determinate attraverso geotermometria. Le variazioni composizionali che interessano il lago di Venere dipendono invece da un diverso apporto meteorico e da fenomeni di evaporazione. I dati acquisiti nel corso di questo primo semestre non evidenziano variazioni di particolare importanza ai fini del monitoraggio dell'attività vulcanica.



Voce B

Potenziamento delle
Reti di **M**onitoraggio

VULCANI SICILIANI

(a cura del Dott. Alessandro Bonaccorso, Direttore della Sezione di Catania)

MONITORAGGIO VULCANOLOGICO

Per quanto riguarda il monitoraggio della cenere, lo scorso anno è stato acquistato il CAMSIZER per la caratterizzazione rapida della granulometria della cenere. Nei primi tre mesi dell'anno in corso si è proceduto alla fase di testaggio e messa a punto dello strumento, che si è rivelato di alta qualità in quanto permette anche una descrizione morfologica dei granuli ed una più continua curva granulometrica a causa dell'elevato numero di classi granulometriche misurate rispetto ai metodi tradizionali, ed è adesso pienamente operante. Per quanto riguarda il monitoraggio dei gas emessi dal suolo, la rete di sonde radon con associati sensori di temperatura acquistate per l'Etna consiste al momento di 5 stazioni di misura continua (sonde tipo barasol) che misurano sia il radon che la CO₂. I segnali sono campionati automaticamente ad intervalli prefissati (frequenza massima = ogni 10-20 minuti). Essi sono registrati dalle strumentazioni e sono periodicamente scaricati attraverso un computer portatile. Alle misure continue si aggiungono altre misure puntuali nello spazio/tempo dei gas Radon, Elio, CO₂ e Mercurio attraverso strumentazione portatile. Una sonda aggiuntiva viene utilizzata per la calibrazione di laboratorio e per eventuali sostituzioni in caso di avaria del sistema. Questa sonda è andata infatti a sostituire quella ubicata a Torre del Filosofo, che nei primi mesi dell'anno aveva subito dei guasti a causa dell'ambiente altamente corrosivo in cui si trova ad operare. Nel primo semestre del 2006 sono state acquistate altre due sonde per il completamento della rete minimale, ed un'altra sonda non accessoriata da laboratorio. Le due sonde accessoriate sono complete di un sistema di teletrasmissione dei dati, e di due stazioni meteorologiche per le correzioni atmosferiche. Al momento si è in attesa che questo materiale arrivi in istituto, e l'installazione di queste sonde è prevista entro due-tre mesi dal loro arrivo, presumibilmente entro la fine dell'anno. Per quanto riguarda la misura del flusso di SO₂ dai crateri sommitali del vulcano, dopo l'installazione all'Etna della prima rete di 5 stazioni UV-scanner con trasmissione dati via modem si dispone adesso di una registrazione pressoché continua (durante le ore diurne) del flusso emesso dai crateri sommitali del vulcano. A queste misure si aggiungono quelle discrete, effettuate normalmente usando il metodo della traversa, che consiste nel portare lo strumento di rilevazione dell'SO₂ sotto il plume con autovettura, eseguendo una sezione dell'emissione gassosa. La rete di stazioni fisse completata nel 2005, chiamata rete FLAME-Etna (FLux Automatic MEasurement), apporta significativi vantaggi rispetto al metodo tradizionale di rilevamento del flusso di SO₂. In particolare:

- (i) misure giornaliere durante le ore diurne;
- (ii) elaborazione dei dati in tempo reale;
- (iii) più alta risoluzione temporale.

La rete consiste attualmente di 5 stazioni distribuite su due direttrici: una ad est e l'altra a sud dell'Etna. La collocazione delle stazioni è stata selezionata seguendo la direzione principale del vento che per il 75% circa del tempo è verso sud ed est. Ogni stazione consiste di una scheda di controllo dedicata, appositamente realizzata per coordinare sia l'acquisizione di uno spettrometro UV (della Ocean Optics) sia l'angolo di scansione dello strumento tramite un motore. I dati vengono inviati alla sede INGV di Catania usando un modem GSM. Malgrado i tanti vantaggi di quest'approccio il sistema di traverse eseguite in maniera tradizionale è ancora essenziale sia per garantire la qualità della misura automatica della rete, che per dare continuità al monitoraggio del flusso di SO₂ anche quando la direzione del vento non è al di sopra delle direttrici della rete. Nell'ambito del monitoraggio termico dell'isola di Vulcano, nel mese di luglio verrà installata una camera termica in località Fossa Cratere, allo scopo di mappare l'estensione areale delle fumarole nel tempo e le variazioni delle temperature di una parte consistente del campo fumarolico. Inoltre, insieme ai dati radiometrici provenienti dalla telecamera, entro il mese di settembre-ottobre verranno anche acquisiti e registrati i dati meteorologici.

MONITORAGGIO SISMOLOGICO

Le attività di potenziamento dei dispositivi di monitoraggio sismico delle aree vulcaniche (Etna e Isole Eolie) e delle aree sismogenetiche della Sicilia Orientale (area Iblea e Peloritani-Calabria merid.) hanno riguardato essenzialmente lo sviluppo/potenziamento della rete sismica permanente (potenziamento nel settore meridionale/orientale dell'Etna). In maggior dettaglio:

- 1) si è provveduto alla acquisizione delle strumentazioni necessarie a potenziare il central HUB, sia a scopi di ridonza che a seguito dell'incremento del numero di stazioni in trasmissione satellitare della rete INGV-CT.
- 2) Sono state realizzate le infrastrutture di 2 stazioni permanenti sismiche nel versante meridionale e orientale dell'Etna ed in particolare nell'area di Nicolosi (ENIC) e in prossimità del paese di Pozzillo (EPOZ). Sia la stazione di ENIC che quella di EPOZ (di tipo multiparametrica in quanto ospita anche una stazione GPS) sono state realizzate seguendo gli standard recentemente adottati per le nuove installazioni della rete sismica permanente.
- 3) Presso i 2 siti si è proceduto ad installare la strumentazione digitale ad elevata dinamica e sensoristica a larga-banda (broad-band, BB), adottata negli ultimi anni sia dall'INGV-CT che dalla rete Nazionale. Sono inoltre continuate le attività in collaborazione con il gruppo geodetico "Rete GPS permanente" al fine di poter utilizzare il sistema Nanometrics e in particolare la parte di trasmissione satellitare come vettore trasmissivo anche per i segnali GPS in continuo.

MONITORAGGIO DELLE DEFORMAZIONI DEL SUOLO

Le attività di potenziamento dei dispositivi di monitoraggio geodetico delle aree vulcaniche e sulle principali aree sismogenetiche siciliane hanno riguardato i seguenti temi: realizzazione della rete GPS permanente italiana, potenziamento sul settore orientale dell'Etna e realizzazione di una rete mobile GPS. In attesa della fornitura della strumentazione per le stazioni clinometriche e delle reti

GPS permanenti e di quella mobile, le cui procedure di acquisto sono in fase di espletamento, nel corso del primo semestre 2006 si è provveduto alla realizzazione delle infrastrutture di due stazioni permanenti GPS sul versante orientale dell'Etna ed in particolare nell'area del paese di Pozzillo (EPOZ) e di quello di Piedimonte (EPDM). Entrambe le stazioni sono multiparametriche (stazione sismica+GPS) e sono state realizzate seguendo gli standard già consolidati per le reti GPS permanenti; potranno quindi anche essere considerate come facenti parte della rete nazionale GPS, qualora se ne ravvisi l'opportunità.

OTTIMIZZAZIONE DELLA SALA OPERATIVA

Nell'ambito delle attività di potenziamento dei sistemi gestiti e dalla Sala Operativa, quelle principali condotte nel corso del primo semestre 2006 possono così riassumersi:

- a) Software: in particolare è stato sviluppato un software, in collaborazione con specifica Unità di Progetto (Ref. Dott. Coltelli), per la acquisizione ed elaborazione automatizzata dei dati meteo. E' possibile quindi visionare in Sala Operativa, attraverso una opportuna interfaccia, l'evoluzione temporale dei venti a differenti quote con particolare riferimento alle quote che possono rivelarsi utili in caso di presenza di nubi vulcaniche. Inoltre sono stati migliorati i sistemi di controllo dei dati sismici (basati su protocollo Earthworm), ormai da anni interamente sviluppati all'interno della UF e di elaborazione, anche grafica, degli stessi. Sono stati condotti studi e tesi di laurea riguardanti i sistemi di trasmissione wireless.
- b) Rete Informatica: a Stromboli, di concerto con il DPC Nazionale, sono stati sostituiti i principali apparati di rete informatica portando i collegamenti interni alla velocità del gigabit. Analogo criterio è stato seguito per la rete della Sede, con progettazione, acquisizione e test dei sistemi necessari alla nuova interfaccia gigabit.
- c) Telecamere: un guasto irreparabile al sensore termico posto a Nicolosi ha suggerito al gruppo preposto di effettuare una operazione di upgrade dello stesso: la telecamera modello M320 è stata permutata con una Flir A40 termografica, ma con caratteristiche superiori in quanto abilitata alla generazione di dati radiometrici. E' stato inoltre implementato un sistema di controllo e scarico dati real time di tipo WiFi, che trasmette alla sede di Nicolosi tutti i dati necessari al corretto funzionamento del sensore. Nell'ambito dell'attività di monitoraggio dell'isola di Vulcano è stata installata, in stretta collaborazione con apposito task della UF Vulcanologia e Geochimica, una telecamera radiometrica Flir A40 per lo studio dell'attività fumarolica. Anche in questo caso un sistema WiFi consente il remotaggio completo degli apparati presenti. E' stato fatto inoltre uno studio di un sistema hardware appositamente progettato, basato su logica a microprocessore, in grado di interconnettere e controllare, attraverso un stazione meteo remota, le calibrazioni interne alla telecamera e di trasferire dati utilissimi alla comprensione dei dati termici appena acquisiti. Alcuni test in laboratorio, superati con successo, hanno suggerito una immediata collocazione presso la stazione per la successiva analisi dei dati. A Stromboli, la progettazione e realizzazione di un sistema basato su microcontrollore permette alla telecamera IR di ripristinare correttamente i parametri in caso

di guasto e di effettuare quindi il ripristino della configurazione iniziale in modo del tutto automatico.

SORVEGLIANZA SISMICA DEL TERRITORIO NAZIONALE

(a cura del Dott. Alessandro Amato, Centro Nazionale Terremoti)

RETI DI MONITORAGGIO SISMICO

Nel corso del primo semestre del 2006, sono stati fatti alcuni investimenti per potenziare le reti di monitoraggio e le infrastrutture connesse. In particolare, gli investimenti riguardano il settore principale descritto nell'allegato tecnico alla Convenzione triennale INGV - Dipartimento di Protezione Civile:

- Reti di Monitoraggio Sismico (Rete Sismica Nazionale) e i relativi sistemi di archiviazione dati.

Gli investimenti fatti nel primo semestre 2006 sono relativi a: a) strumentazione per la rete Sismica Nazionale: b) computer e sistemi per l'archiviazione dei dati sismici e geodetici.

Strumenti per la rete Sismica Nazionale

In questo primo semestre 2006, sono stati pagati IVA e diritti doganali per la strumentazione Nanometrics e Kinematics acquistata nel 2005. Si tratta di strumenti per l'acquisizione e la trasmissione dei dati sismici e GPS via satellite (Nanometrics), per gli accelerometri (Kinematics). Sono stati inoltre progettati e realizzati i box per le stazioni sismiche GAIA-2 (CaPlast), per connettori destinati agli strumenti da fondo mare (Euroceanique).

Sistemi per l'archiviazione e l'elaborazione dei dati

Allo scopo di archiviare, utilizzare efficacemente e distribuire i dati prodotti dalle reti di monitoraggio, che allo stato attuale producono molti Gigabyte di dati ogni giorno, nel 2005 si era deciso di realizzare una Rete dedicata all'Area di Immagazzinamento dei dati sismologici e geodetici (SAN = Storage Area Network). Nel primo semestre 2006 è stata acquistata ulteriore memoria per l'archiviazione dei dati (stimati in circa 12 Gbyte al giorno = circa 5 Terabyte/anno). Sono state inoltre acquisite nuove macchine di calcolo per l'elaborazione dei dati sismici, per la visualizzazione dei segnali da parte del personale in turno di sorveglianza sismica, per il controllo delle stazioni remote.

Aggiornamento della Rete Sismica Nazionale

E' proseguito il miglioramento della Rete Sismica Nazionale, già portato avanti in maniera significativa negli anni precedenti (si vedano le relazioni 2001-03, 2004 e 2005). È proseguita la conversione in digitale della rete e l'utilizzo delle nuove tecnologie di trasmissione dati. Come noto (si vedano i rapporti precedenti), tale trasformazione prevede da un lato l'utilizzo di tradizionali vettori trasmissivi terrestri (linee telefoniche dedicate), dall'altro l'adozione di canali trasmissivi satellitari. A giugno 2006, il numero totale di stazioni collegate al sistema di acquisizione era di 219, di cui circa due terzi costituito da stazioni digitali a tre componenti e ad elevata dinamica. Per

la parte satellitare, la rete consta a metà 2006 di oltre 70 stazioni, sparse a coprire in modo ormai abbastanza omogeneo il territorio nazionale; a queste vanno aggiunte le stazioni per il monitoraggio dell'Etna, delle Isole Eolie e della Sicilia orientale, che condividono scelte tecnologiche e vettori trasmissivi con la rete nazionale. Per la gestione di questa parte di rete, sono stati provati nuovi meccanismi di interscambio dati tra i vari hub (Roma, Catania, Grottaminarda) tramite software idonei, in modo da garantire la completezza del flusso dati nelle varie sedi anche in caso di guasti degli apparati di ricezione o di operazioni di manutenzione straordinaria. Nei primi mesi del 2006 è stato inoltre sperimentato con esito positivo un differente provider satellitare (Hellasat, il primario è Intelsat) in modo da garantire un ulteriore livello di ridondanza e quindi di affidabilità del sistema nel suo complesso. Per le reti a trasmissione terrestre, è proseguita la migrazione dei collegamenti sulla rete RUPA (Rete Unificata per la Pubblica Amministrazione); a giugno 2006, 55 stazioni risultavano collegate tramite questa tecnologia. Va segnalato che verso la fine del periodo in questione (maggio-giugno 2006) siamo stati informati dal CNIPA del passaggio della nostra amministrazione da PathNet (Telecom) a Fastweb, a seguito dell'esito della gara per il Servizio di Pubblica Connettività (SPC). Questo ha comportato un'attività di revisione, per il momento solo di progetto, della configurazione della rete sismica. Nel secondo semestre 2006 verrà avviata la migrazione dei circuiti al nuovo operatore. In parallelo all'aumento dei collegamenti su RUPA, nel primo semestre 2006 sono stati diminuiti drasticamente i collegamenti CDN (Telecom), che verranno azzerati entro la fine del 2006. Sono state inoltre gestite le stazioni e i collegamenti di circa altre 40 stazioni collegate con varie tecnologie di trasmissione digitale, e circa 80 stazioni della tradizionale rete a trasmissione analogica. Anche per queste ultime, è in corso un processo di migrazioni e diminuzione del numero totale dei collegamenti, a vantaggio dei collegamenti digitali, più efficaci. In alcuni siti permangono doppie installazioni, per garantire ridondanza e per test. Dal punto di vista della sensoristica, il nuovo standard della rete nazionale prevede sensori broad-band: a giugno 2006 oltre 90 stazioni centralizzate in tempo reale sono dotate di sensori di questo tipo, rendendo possibile lo sviluppo di tecniche di analisi dati sempre più sofisticate (si veda ad esempio la relazione del progetto S4). Si sta inoltre procedendo con la sperimentazione di sensori da pozzo, sia broad-band che corto periodo: a giugno 2006 due stazioni di questo tipo sono operative, e in altre 3 si sta procedendo all'allestimento logistico. È proseguita l'installazione di sensori accelerometrici in parallelo a quelli broad-band

Sviluppi tecnologici: l'acquisitore sismico GAIA2

Nel primo semestre 2006 sono stati fatti ulteriori progressi sul progetto "GAIA-2", il nuovo acquisitore sismico realizzato nei Laboratori del Centro Nazionale Terremoti dell'INGV. A marzo 2006 il prototipo è stato presentato pubblicamente ai colleghi delle altre sezioni INGV e ad altri operatori di reti sismiche (Università di Genova, OGS, ENEL, ENI, ecc.). Si veda la scheda tecnica presentata in occasione del convegno (Allegato 1: GAIA2-brochure). La versione portatile è stata messa a punto e utilizzata per acquisizione di dati accelerometrici in Lombardia (da parte della Sezione INGV di Milano), sul vulcano Stromboli (in collaborazione con la Sezione INGV Osservatorio Vesuviano), ed è in preparazione per altre reti in Italia e all'estero. La versione

permanente è stata installata su alcuni siti della Rete MedNet e della Rete Nazionale per test approfonditi. Nella seconda metà dell'anno verranno installate numerose unità sui siti della Rete Nazionale. Rispetto alla GAIA, che è funzionante su circa 40 siti della RSN, su Stromboli, sul vulcano Nyiragongo (Congo), la GAIA-2 presenta caratteristiche di maggiore compattezza, versatilità, minore consumo e minore costo (fig. 1).

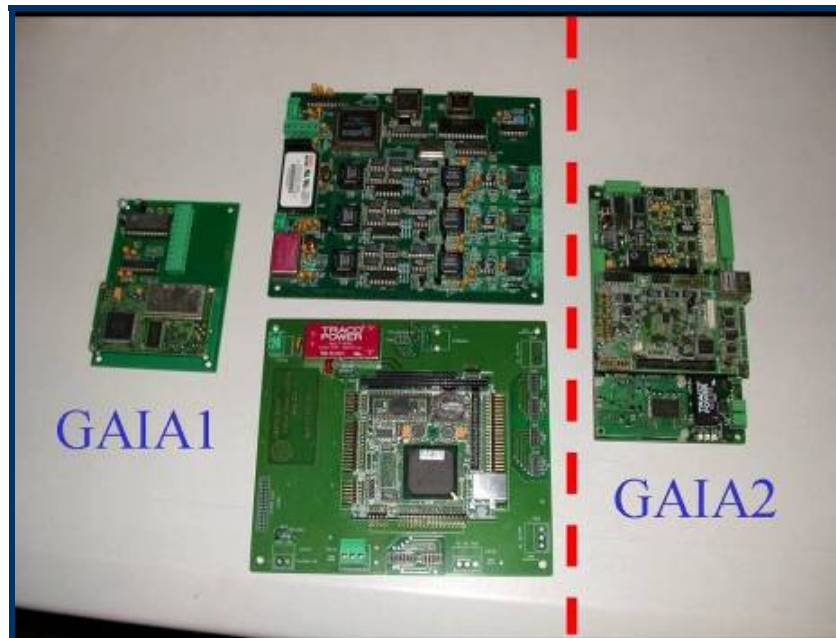


Figura 1. Confronto tra la scheda della nuova stazione GAIA-2 (a destra) con la GAIA-1, utilizzata finora sulla Rete Sismica Nazionale. La GAIA-2 offre prestazioni molto migliori a fronte di una compattezza molto maggiore, di un consumo sensibilmente più basso e di un costo minore.



Figura 8. Una stazione sismica GAIA-2 nell'alloggiamento utilizzato per installazioni permanenti. Si nota il pannello esterno superiore, con i led per verificarne il funzionamento e gli alloggiamenti per le memorie di vario tipo. Sui lati esterni i connettori per l'alimentazione, per i sensori e i collegamenti in rete.

Sviluppi tecnologici: Sismometri da fondo mare (OBS/H)

Durante il primo semestre del 2006 è stato realizzato presso l'Osservatorio di Gibilmanna del Centro Nazionale Terremoti il prototipo dell'OBS/H (Ocean Bottom Seismometer with Hydrophone) INGV. Si tratta del primo OBS/H a larga banda realizzato in Italia e servirà per studi di faglie e vulcani sottomarini, oggi studiati soltanto con strumenti a terra, quindi con scarsa precisione. Il prototipo è composto da: un frame in Derlin-polietilene ed acciaio Inox AISI 316L, equipaggiato con boe per una spinta complessiva di 127 Kg, da un vessel in Ergal 7075 T6 per l'alloggiamento delle batterie e dell'elettronica, da un sensore sismico a larga banda, da un Idrofono o in alternativa da un DPG (Differential Pressure Gauge), da un telecomando acustico con trasponder e da un sistema di recupero in emergenza che sfrutta la comunicazione satellitare. Il peso complessivo dello strumento è di 450 kg in aria e di 30 kg in acqua. I componenti sono stati progettati per resistere ad una pressione massima di 600 atm e quindi per operare ad una profondità massima di 6000 metri. Il vessel è stato testato in camera iperbarica ed ha superato il test a +600 atm (Figg. 9 e 10). Inoltre l'intero sistema, dopo i test di laboratorio, è stato testato in bacino chiuso (porto di Cefalù, PA) per prove di deposizione, accoppiamento del sensore, livellamento, sgancio e recupero (Fig. 11). L'OBS/H ha superato tutti i tests previsti ed affronterà l'ultimo test definitivo in mare e ad alte profondità programmato nel prossimo mese di luglio.



Figura 9. Prove di funzionamento in Pressione dello strumento OBS/H costruito nei laboratori dell'Osservatorio di Gibilmanna del CNT.



3. conclusioni

I cicli di pressione hanno evidenziato un mantenimento dei valori di pressione impostati senza cali significativi (le variazioni registrate di 1 bar sono normalmente imputabili a fattori esterni quali variazioni di temperatura, assestamenti, presenza di piccole bolle d'aria residue) dimostrando l'ermeticità del vessel confermata dal mantenimento del vuoto impostato e dalla verifica visiva di assenza d'acqua all'interno del vessel.

Le verifiche dimensionali eseguite dopo i cicli di pressione hanno evidenziato alcune piccole variazioni che rientrano nei criteri di accettabilità definiti dai tecnici INGV (+/- 1 mm sul diametro).

Alla luce di queste considerazioni e verifiche il test in pressione del vessel ha dato esito positivo.

Figura 10. Rapporto di collaudo del test in pressione effettuato presso i laboratori Sonsub della Saipem nel mese di giugno 2006: esito positivo.

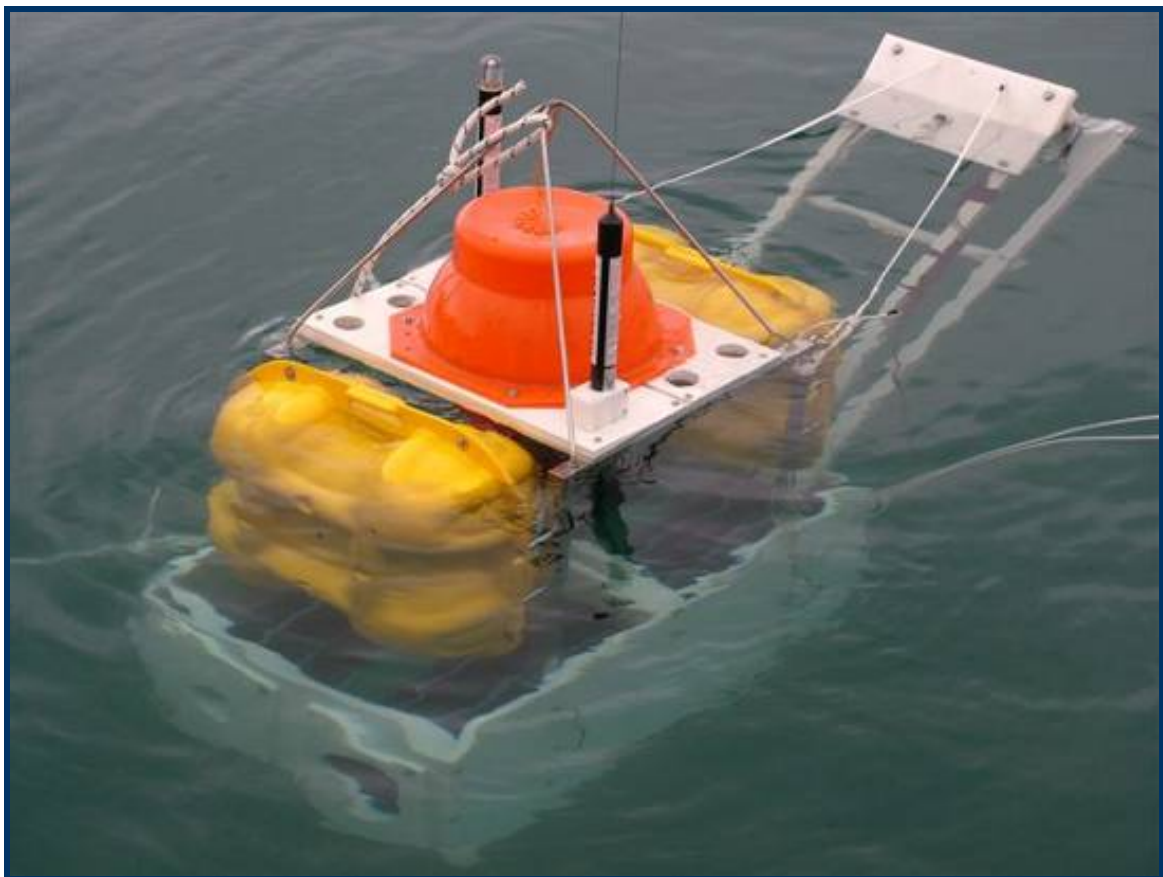


Figura 11. Giugno 2006: test in porto (Cefalù, Palermo) dell'OBS/H. Anche questo test ha avuto esito positivo. A luglio verrà effettuato il test in mare profondo.

La rete sismica MedNet per il monitoraggio dell'Italia e del Mediterraneo

Oltre al continuo lavoro di manutenzione e aggiornamento dell'esistente, la rete continua ad essere ampliata con altre stazioni, con un'attenzione particolare all'area italiana e alle aree meno coperte da altre reti. Nel primo semestre 2006 è stata svolta una missione in Repubblica Ceca per un'installazione temporanea del sensore di altissima qualità Streckeisen STS1. Purtroppo uno dei due sensori orizzontali ha mostrato un comportamento non regolare ed è stato riportato in Italia per controllo. L'installazione sarà completata non appena possibile, dopo aver ricalibrato lo strumento. E' stato avviato uno studio di un nuovo sito di altissima qualità in Val Ridanna (Bolzano). Si tratta di una miniera in disuso, adesso adibita a museo, che offre la possibilità di un sito ipogeo particolarmente favorevole all'installazione di una stazione a larghissima banda (la galleria è profonda 3.5 km).

La rete sismica di pronto intervento

Sono state messe a punto delle nuove procedure automatiche per la rilettura ed elaborazione dei dati sismici della rete. Sono stati anche sperimentati dei sistemi di trasmissione dati su vari acquisitori della rete mobile.

RETE CGPS (GPS CONTINUO) IN ITALIA: SVILUPPO

La costruzione della rete GPS nazionale ha subito nel corso del primo semestre 2006 una ulteriore crescita rispetto al 2005. La crescita della rete, sia nel numero di stazioni che per tecniche di trasferimento e analisi dati, ha beneficiato della convenzione INGV-DPC (Italia centro-nord) e dal Progetto PROSIS del MIUR per l'Italia meridionale. L'obiettivo finale è quello di disporre di una rete GPS permanente omogenea per tutto il territorio italiano per il monitoraggio continuo delle deformazioni della crosta terrestre, per approfondire le conoscenze dei fenomeni che guidano la sismicità, per fornire vincoli decisivi alla stima della pericolosità sismica e per studi della deformazione cosismica in caso di forti terremoti. La realizzazione delle rete è avvenuta anche in forte sinergia con la nuova rete sismica, con cui condivide buona parte dei siti e soprattutto la tecnologia della trasmissione dati. Di seguito sono illustrate le attività portate avanti nel corso del primo semestre 2006, che proseguono quelle iniziate nel 2004 e 2005. Vengono descritte in questa relazione soltanto le attività legate allo sviluppo della rete, previste dalla convenzione. Le numerose attività di analisi dei dati non verranno descritte in dettaglio in questa sede.

Rete CGPS Italia centro nord: stato di avanzamento al 30 giugno 2006

Sulla base del piano di sviluppo della rete GPS nazionale, nel primo semestre 2006 sono stati effettuati numerosi sopralluoghi per la ricerca di nuovi siti (Tab. 1). In particolare sono state installate le stazioni selezionate dai sopralluoghi e test effettuati nel corso del 2005 e 2006, al fine di procedere nella configurazione della rete, prevista con una maglia di 50-100 km e un numero totale di circa 40 stazioni nell'area del centro nord Italia. Si prevede l'installazione della strumentazione e l'attivazione delle ulteriori stazioni nel secondo semestre del 2006.

Tabella 1 Situazione delle realizzazioni e dei sopralluoghi per la rete GPS permanente nel centro-nord Italia, aggiornata al 30 giugno 2006. Sono state attivate 13 stazioni, costruito un nuovo monumento e iniziata la ristrutturazione di una stazione. In tabella sono riportati i tipi di collegamento remoto usati, previsti o possibili, la regione in cui ricade la stazione, il periodo del sopralluogo e infine lo stato della stazione (attiva, idonea, non idonea e altri commenti). In neretto le attività del I semestre 2006.

N.	Stazione	Stato stazione sismica, stato stazione GPS, tipo collegamento	Regione	Data sopralluogo	Valutazione / attivazione
1	MORG (Morgex)	satellitare	Valle D'Aosta	ottobre 2005	Attivata ottobre 2005
2	LSD (Lago Serrù, Ceresole Reale)	Satellitare	Valle D'Aosta	Settembre 2005	idonea
3	PZZ (Val Maira, presso DOI)	?	Piemonte	Primavera 2005	Non idonea
4	STUE (Stuetta)	Rete LAN	Piemonte	Primavera 2005	Attiva da marzo 2006
5	MONC (Moncucco)	Satellitare	Piemonte	dicembre 2004	Attiva da maggio 2005
6	RESU (Reno Superiore)	Satellitare	Piemonte	Giugno 2005	Attiva da maggio 2006
7	PCP (Ponzone A.)	RUPA	Liguria	Primavera 2006	Da valutare test
8	IMPE (Imperia)	?	Liguria	Giugno 2006	Idonea
9	VMGL (Ventimiglia)	Satellitare ?	Liguria	Giugno 2006	idonea
10	LASP (La Spezia)	LAN, GSM	Liguria	Giugno 2005	Attiva da giugno 2005
11	MDI (Monte Dinese)	GSM o comm.	Lombardia	Gennaio – febbraio 2005	Da valutare test
12	SALO (Salò)	Satellitare	Lombardia	Settembre 2005	Attiva da novembre 2005
13	MAGA (Magasa)	RUPA	Lombardia	settembre 2004	Attiva da aprile 2006
14	SBPO (San Benedetto Po)	Telecom	Lombardia	Maggio 2005	Attiva da maggio 2005
15	MILA (Milano)	Rete LAN	Lombardia	Giugno 2006	In corso di valutazione
16	FEMB (Ferrara di Montebaldo)	Telecom	Veneto	Maggio 2005	Idonea
17	ROVE (Roverè Veronese)	Telecom	Veneto	Maggio 2005	Idonea
18	LAPL (La Plose)	Radio + RUPA	Trentino	Novembre 2005	idonea
19	BOLZ (Bolzano-Appiano)	Radio + RUPA	Teentino	Maggio 2006	Non idonea
20	BOBB (Bobbio)	Telecom, GSM	Emilia R.	Febbraio/settembre 2005	Idonea con difficoltà
21	BOB (Bobbio)	Telecom, GSM	Emilia R.	febbraio 2005	Idonea, con difficoltà

22	RAVA (Ravarino)	Telecom, RUPA	Emilia R.	Gennaio/maggio 2005	Da valutare
23	PARM (Parma)	Rete LAN	Emilia R.	Novembre 2004	Attiva da ottobre 2005
24	SGIP (San Giovanni in Persiceto)	Telecom	Emilia R.	febbraio 2005	Attiva da maggio 2005
25	MPAS (Monte Pastore)	GSM	Emilia R.	Febbraio/giugno 2005	Da valutare
26	NOVE (Novellara)	Telecom	Emilia R.	Febbraio 2005	Idonea
27	FIUM (Fiumalbo)	Telecom	Emilia R.	Febbraio 2005	Non idonea
28	MODE (Modena)	Rete LAN	Emilia R.	Ottobre 2004	Attiva da gennaio 2006
29	CAMP (Campotto Po)	Telecom	Emilia R.	Gennaio 2005	Non idonea
30	LASC (Lagoscuro)	Telecom (?)	Emilia R.	Febbraio 2005	Non idonea
31	BRIS (Brisighella)	Telecom, GSM	Emilia R.	Maggio 2006	idonea
32	ZCCA (Zocca)	Rupa	Emilia R.	Ottobre 2005	Da valutare
33	AREZ (Arezzo)	Rete LAN	Toscana	Luglio-novembre 2005	Da valutare
34	GORG (Gorgona)	Satellitare	Toscana	Febbraio-aprile 2005	Attiva da luglio 2005
35	CPES (Castiglion della Pescaia)	Satellitare	Toscana	Febbraio-aprile 2005	Idonea, in costruzione
36	MAON (Monte Argentario)	Satellitare	Toscana	Febbraio-aprile 2005	Attiva da maggio 2005
37	CARM (Carmignano)	Satellitare	Toscana	Aprile 2006	Idonea, in costruzione
38	SACS (San Casciano Bagni)	Satellitare	Toscana	febbraio 2006	Attiva da gennaio 2006
39	MACC (Macchie)	Telecom	Umbria	novembre 2005	Non idonea
40	CESI (Cesi)	Satellitare- RUPA	Umbria	Giugno 2005	Costruito monumento giugno 2006
41	MGAB (Monte Gabbione)	Satellitare	Umbria	Giugno 2005	In costruzione
42	MPEG (Monte Peglia)	Telecom	Umbria	Luglio-novembre 2005	Non idonea
43	PESA (Pesaro)	telecom	Marche	Giugno 2006	Attiva giugno 2006
44	ANCO (Ancona)	Telecom	Marche	Febbraio 2006	In corso di valutazione
45	CING (Cingoli)	satellitare	Marche	Marzo 2005	non idonea

46	FAGN (Fagnano)	satellitare	Abruzzo	Marzo 2005	non idonea
47	TERO	satellitare	Abruzzo	Marzo 2005	Idonea con difficoltà
48	INTR (Introdacqua)	satellitare	Abruzzo	Gennaio – febbraio 2005	Da valutare diversa collocazione
49	TERA (Teramo)	Telecom, GSM	Abruzzo	Marzo 2005	Non idonea
50	San Demetrio Ne Vestini	Telecom, GSM	Abruzzo	aprile 2005	Idonea
51	LNSS (Leonessa)	RUPA	Lazio	Marzo 2006	Attiva maggio 2006
52	CERT (Cerreto)	satellitare	Lazio	Marzo 2006	Attiva da marzo 2006
53	VENT (Ventotene)	RUPA	Lazio	Febbraio – marzo 2005	Attiva da gennaio 2006
54	RDPA (Rocca di Papa)	Telecom	Lazio	Ottobre 2005	Attiva da maggio 2006
55	MARI (Marino)	Telecom	Lazio	Marzo 2006	idonea
56	RPRA (Rocca Priora)	Telecom, GSM	Lazio	Maggio 2006	Attiva come temporanea da maggio 2006
57	NEMI (Nemi)	Telecom, GSM	Lazio	maggio 2006	Attiva da maggio 2006
58	MPOR (Monteporzio)	Telecom	Lazio	Aprile 2006	Attiva da maggio 2006
59	VIVA (Vivaro)	Telecom, GSM	Lazio	Maggio 2006	Idonea
60	MART (Marta)	satellitare	Lazio	Maggio 2005	non idonea
61	PONZ (Ponza)	Telecom, GSM	Lazio	Luglio-dicembre 2005 o 2006	Da valutare
62	ITRI (Itri)	Telecom, GSM	Lazio	Luglio-dicembre 2005 o 2006	Idonea, da valutare test
63	GIUL (Giuliano di Roma)	RUPA	Lazio	Dicembre 2005	Da valutare differente collocazione
64	GUAR (Guarcino)	RUPA	Lazio	Maggio 2006	Attiva da maggio 2006
65	GAET (Gaeta)	Telecom	Lazio	Ottobre 2005	Non idonea
66	CIBA (Civita di Bagnoregio)	Telecom, GSM	Lazio	Febbraio Marzo 2006	Idonea
67	VITE (Viterbo)	Telecom, GSM	Lazio	Febbraio 2006	Idonea
68	NEPI (Nepi)	Telecom, GSM	Lazio	Febbraio 2006	Idonea
69	MTTO (Terminillo)	Telecom	Lazio	Attiva dal 2004	Ristrutturata giugno 2006

70	POFI (Posta Fibreno)	Satellitare (?)	Lazio	Giugno 2006	idonea
71	OSCHI (Oschiri)	RUPA (?)	Sardegna	Aprile 2006	idonea
72	CUPO (Cupone)	Telecom	Calabria	Luglio 2005	Idonea

I monumenti geodetici della stazioni GPS della rete permanente sono stati progettati e realizzati con materiali di elevata qualità per essere duraturi nel tempo al fine di disporre di dati geofisici significativi. La collocazione nel territorio è avvenuta prevalentemente su roccia, adottando pilastri in cemento armato con criteri costruttivi adeguati ai terreni presenti e fondazioni dimensionate rispetto al litotipo affiorante. Si veda la relazione 2005 per alcuni dettagli.

Test di qualità

La realizzazione delle stazioni è stata sempre preceduta da test di acquisizione per verificare il rapporto segnale rumore mediante test di qualità. L'analisi è stata effettuata con il software TEQC (acronimo di Translate, Edit, Quality Check), (Estey and Meertens, 1999; www.unavco.ucar.edu), che consente di analizzare la qualità dei dati, dal conteggio delle riflessioni multiple (multipath) sulle due frequenze per tutti i satelliti disponibili al momento del test, fino ad una serie di informazioni aggiuntive, come ad esempio la visualizzazione e il conteggio dei salti di ciclo (cycle slips). Seguendo questi criteri, sono stati in genere scartati i siti dove i test di acquisizione presentavano valori di multipath (MP1 e MP2) superiori a 0.50 m (rms) e 0.65 m (rms) che indicano la presenza di sorgenti di disturbo critiche per l'acquisizione di dati di buona qualità. La stima della qualità del dato viene eseguita effettuando prove di acquisizione per almeno due o tre giorni consecutivi (48/72 ore di dati). Nei casi incerti vengono ripetuti anche per periodi più lunghi prima di procedere alla eventuale costruzione della stazione.

STAZIONI ACCELEROMETRICHE IN ITALIA SETTENTRIONALE

(a cura del Dott. Massimiliano Stucchi, Direttore della Sezione di Milano)

Come rendicontato nel precedente rapporto, relativo al II semestre 2005, la Sezione ha elaborato un progetto, denominato "Stazioni accelerometriche in Italia Settentrionale", finalizzato nel giugno 2005 e che ha visto l'avvio con un finanziamento iniziale di 180.000 Euro sui fondi DPC-Convenzione 2004-2006, art. 5b. Nell'ambito del potenziamento delle reti di monitoraggio, si stanno dunque sviluppando gli aspetti relativi all'acquisizione e gestione dei dati accelerometrici nel settore dell'Italia Settentrionale. L'area di studio, come mostrato in Fig.1, ricade principalmente in Lombardia e Veneto. Con la dotazione finanziaria disponibile si è proceduto all'acquisto di 30 sensori accelerometrici (sensore Episensor FBA ES-T, un accelerometro triassiale con oltre 155 dB di dinamica prodotto dalla Kinematics Inc.).

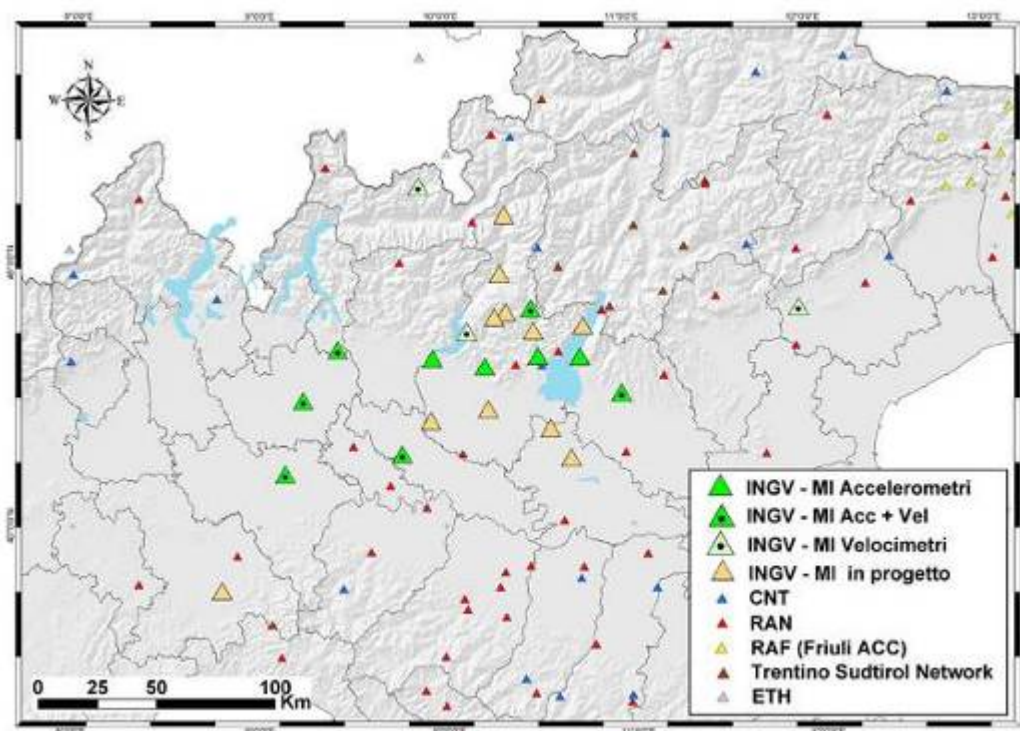


Figura 1. Stazioni di registrazione esistenti (giugno 2006) ed in fase di installazione.

Al termine del progetto di potenziamento si ridurrà l'interdistanza media delle stazioni accelerometriche in questo settore dai 50 km del novembre 2004 a circa 15-20 km, permettendo inoltre di strumentare aree attualmente sprovviste di sensori accelerometrici di moderna generazione. Nel primo semestre di attività (luglio-dicembre 2005) si era pianificata l'area di intervento, era stata effettuata la scelta della strumentazione (al termine di una fase di test comparativi con differenti sensori) e si erano confrontati i segnali registrati da accelerometri e velocimetri nel medesimo sito di riferimento. I primi 3 accelerometri di moderna generazione erano stati installati già nel corso di tale periodo. Al termine del Progetto, per la memorizzazione dei

segnali, saranno adottati gli acquisitori prodotti dal Laboratorio Strumentale del CNT (GAIA2 a 24 bit). Due prototipi, con trasmissione dei segnali via modem gsm ed interfaccia Ethernet, sono stati consegnati a fine giugno 2006. E' stata avviata una prima fase di sperimentazione con installazione in siti di prova. I primi risultati indicano una ottima rispondenza della nuova strumentazione sia nei termini di dinamica che in quelli della affidabilità della trasmissione dati, la comunicazione può avvenire in tempo reale o a richiesta ed i dati sono sempre comunque registrati su supporto locale. Nel frattempo gli accelerometri sono stati comunque utilizzati accoppiati ad altri acquisitori a disposizione della nostra Sezione. Sono state utilizzate due diverse configurazioni, nel primo caso gli acquisitori Mars88/MC a 20 bit che, pur con una dinamica inferiore, sono assolutamente affidabili in termini di efficienza di trasmissione e semplicità d'uso nella gestione dell'acquisizione dei segnali, ad esempio attraverso criteri di soglia di coincidenza su più stazioni. In altri siti gli accelerometri sono stati invece associati agli acquisitori Reftek 130-01, sia nella configurazione a 3 che a 6 canali (Tabella 1). In un primo tempo tali stazioni sono state utilizzate con memorizzazione su flash memory card da 4 Gb unicamente in remoto, con la necessità dunque di recarsi nei siti di installazione mediamente ogni 3 settimane per lo scarico dei dati (la registrazione avviene in continuo sulle 3 componenti ad un passo di campionamento di 0.01 secondi). Dopo attente verifiche della stabilità nella trasmissione e con la generazione di opportuni codici per la gestione dello scarico dei dati, con l'estrazione delle parti di segnale contenenti eventi sismici dalle registrazioni effettuate in continuo, si sta provvedendo a dotare ognuno di tali acquisitori di un collegamento via modem gsm. I primi risultati sono anche in questo caso incoraggianti e risulteranno utili anche nel prossimo utilizzo dei nuovi acquisitori Gaia2. A giugno 2006 risultano installate 10 stazioni accelerometriche. In questo primo semestre sono stati avviati i contatti con diversi Comuni e con privati per l'installazione di tutte le stazioni disponibili e sono stati valutati oltre una trentina di siti attraverso misure di microtremore. Di questi 11 sono risultati idonei per le successive installazioni. Per quanto concerne la qualificazione dei siti di registrazione è stata inoltre formalizzata nel maggio 2006 una convenzione gratuita con l'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente (ARPA) della Lombardia, in particolare per la caratterizzazione geologico-geotecnica, a partire da dati dei pozzi esistenti nei pressi dei siti di installazione delle stazioni accelerometriche. Una ulteriore attività ha riguardato la progettazione e la realizzazione di un sito web (<http://accel.mi.ingv.it>) appositamente realizzato per questo progetto. La pagina iniziale del sito è visibile in Fig. 2.

Tabella 1. Elenco stazioni accelerometriche.

Sigla Stazione	Località Comune	Provincia	Latit. Nord	Longit. Est	Quota (m)	Sensore (Full Scale)	Sistema Acquisizione	Sistema Trasmissione	Alimentazione	Data Installazione	Note
LAB1	Milano	Milano	45.4803	9.2321	125	Episensor (2.0g)	Mars88	Modem GSM	220 V (Rete)	30/09/2005	sino al 01/06/2006
MILA	Milano	Milano	45.4803	9.2321	125	Episensor (1.0g)	Reftek 130-A1/6	In locale	220 V (Rete)	01/06/2006	
MER8	Merate	Lecco	45.6725	9.4182	350	Episensor (2.0g)	Mars88	Modem GSM	220 V (Rete)	25/10/2005	
PAV8	Pavia	Pavia	45.2026	9.1349	82	Episensor (2.0g)	Mars88	Modem GSM	220 V (Rete)	06/12/2005	sino al 26/06/2006
EUCT	Pavia	Pavia	45.2026	9.1349	82	Episensor (2.0g)	Reftek 130-01/6	In locale	220 V (Rete)	26/06/2006	
CTLB	Castelleone	Cremona	45.2763	9.7622	66	Episensor (2.0g)	Mars88	Modem GSM	Pannelli Solari	07/06/2006	
BAG8	Bagolino	Brescia	45.8228	10.4664	807	Episensor (2.0g)	Mars88	Modem GSM	220 V (Rete)	15/06/2006	
CONC	Concesio	Brescia	45.6060	10.2170	126	Episensor (2.0/0.25g)	Reftek 130-01/6	In locale	220 V (Rete)	03/05/2006	
CAPR	Capriolo	Brescia	45.6372	9.9345	215	Episensor (1.0g)	Reftek 130-01/3	In locale	220 V (Rete)	31/05/2006	
VOBA	Vobarno	Brescia	45.6429	10.5040	292	Episensor (2.0g)	Reftek 130-01/3	Modem GSM	220 V (Rete)	28/06/2006	
NEG8	Negrar	Verona	45.4966	10.9491	184	Episensor (2.0g)	Mars88	Modem GSM	Pannelli Solari	29/06/2006	
ZEN8	S. Zeno di Montagna	Verona	45.6378	10.7319	596	Episensor (2.0g)	Mars88	Modem GSM	220 V (Rete)	30/06/2006	
ASO7	Asolo	Treviso	45.8049	11.9180	221	Episensor (2.0g)	Reftek 130-01/3	Modem GSM	220 V (Rete)	03/08/2006	

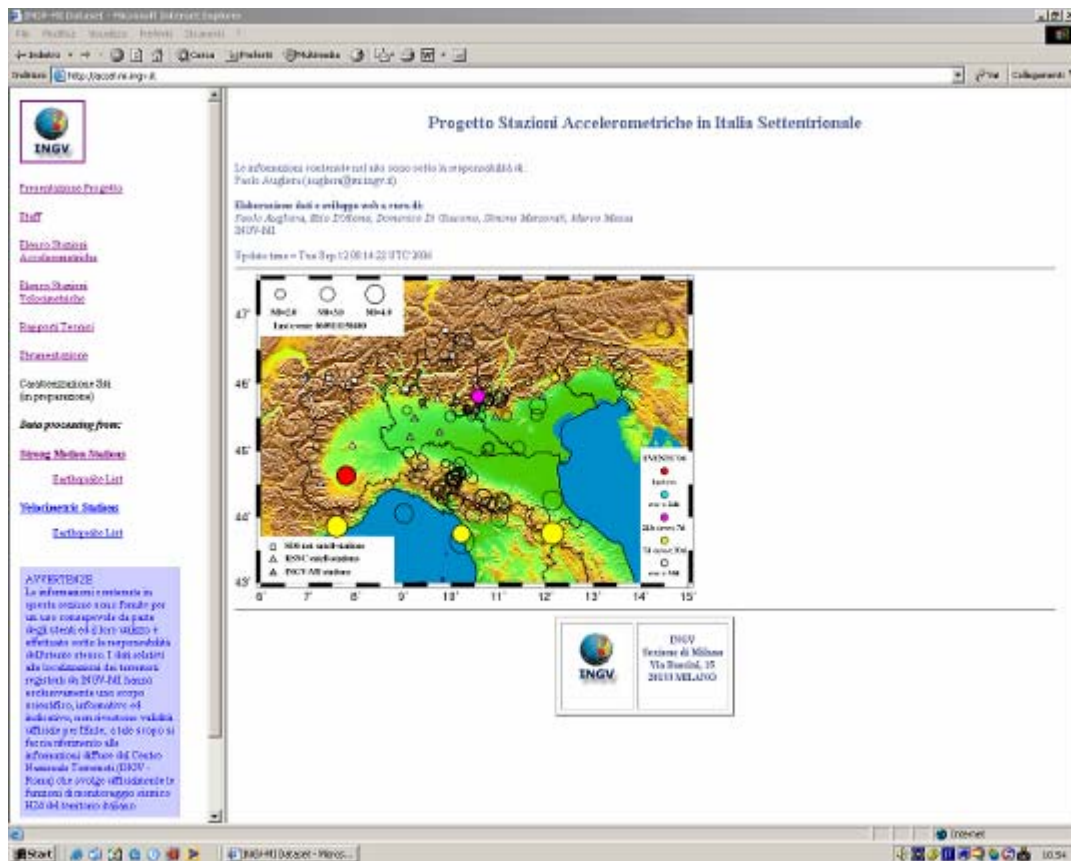


Figura 2. Frames iniziali del sito <http://accel.mi.ingv.it>.

Il sito è stato sviluppato e validato seguendo le raccomandazioni e gli standard W3C; oltre alla presentazione del progetto, dal sito è possibile ottenere informazioni sulla strumentazione utilizzata, visualizzare le forme d'onda registrate oltre ai parametri della determinazione focale (Fig. 3). Oltre alle forme d'onda ed alle mappe che illustrano la disposizione delle stazioni relativamente all'epicentro dell'evento, è possibile visualizzare i valori di picco in accelerazione, velocità e

spostamento sia in forma grafica (in funzione della distanza ipocentrale) che in forma tabellare (Fig. 4).

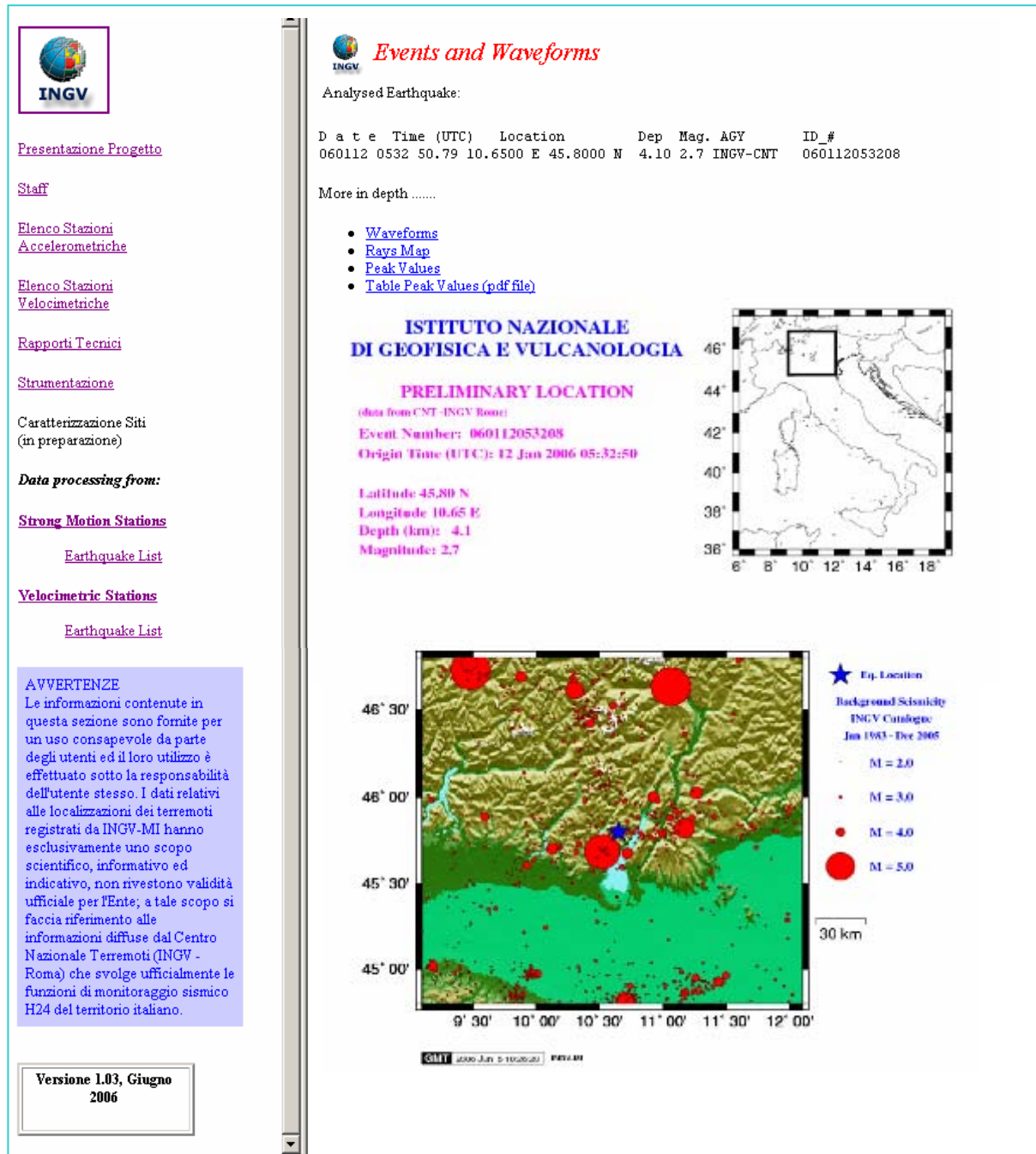


Figura 3. Visualizzazione parametri focali evento sismico.

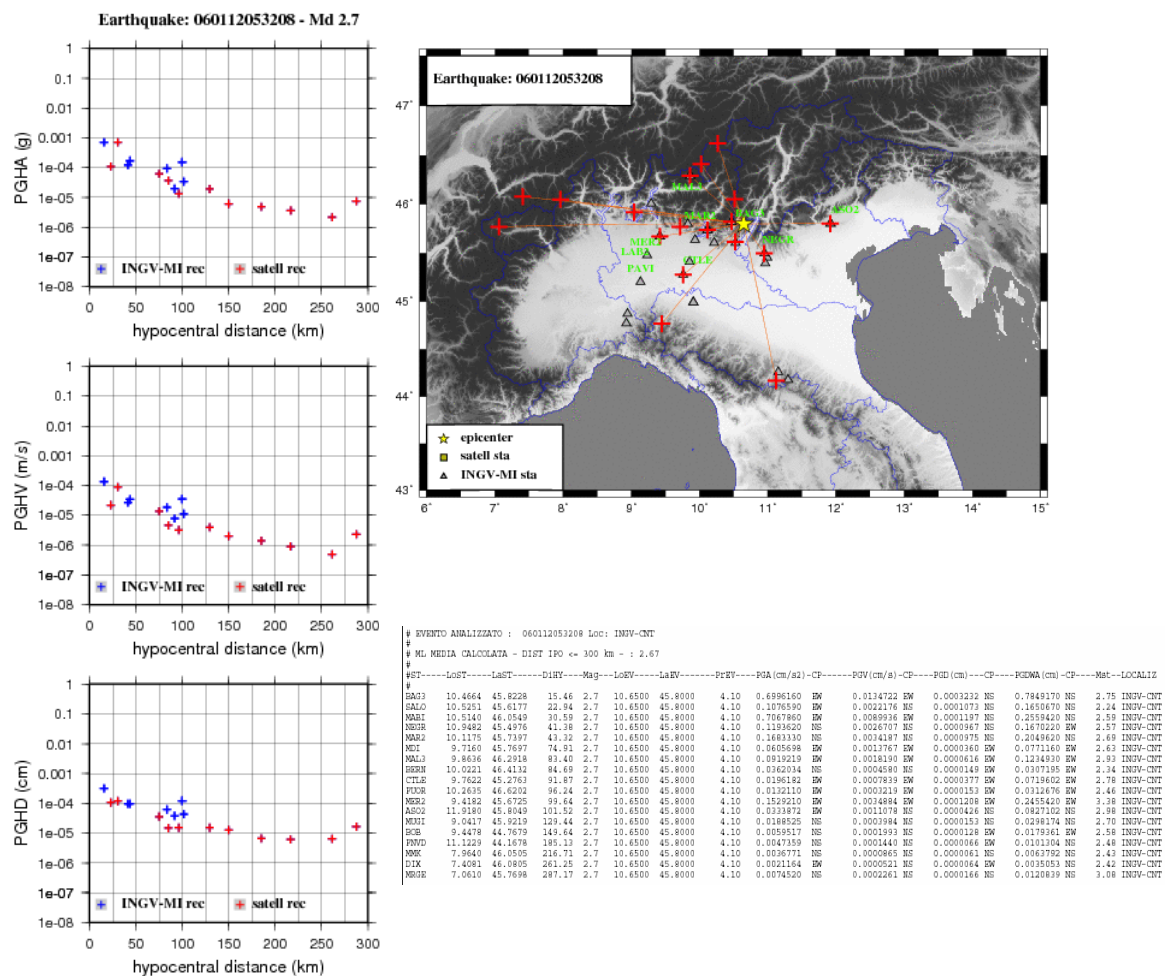


Figura 4. Picchi in accelerazione, velocità e spostamento e raggi sismici.

L'analisi dei dati registrati dalle stazioni accelerometriche INGV-MI viene completata utilizzando sia le stazioni satellitari velocimetriche INGV-CNT che quelle del servizio sismologico svizzero (SED) trasformando i valori da velocità in picchi di accelerazione tenendo opportunamente conto delle caratteristiche strumentali (Fig. 4). I futuri sviluppi del sito <http://accel.mi.ingv.it> riguarderanno il calcolo dei rapporti spettrali e la possibilità di fruire in automatico, attraverso un collegamento ftp, delle forme d'onda dei segnali registrati.

VULCANI DELL'AREA NAPOLETANA E STROMBOLI

(a cura del Dott. Giovanni Macedonio, Direttore dell'Osservatorio Vesuviano)

MONITORAGGIO SISMICO¹⁵

La sviluppo della rete sismica delle aree vulcaniche napoletane

Nel corso del I semestre 2006 è stata aggiunta una nuova stazione broadband digitale (con sigla MSA), installata presso il Dipartimento di Fisica nel Complesso Universitario di M.S. Angelo (Fuorigrotta, Napoli). Tale stazione è collegata direttamente alla rete Internet del Dipartimento e trasmette in tempo reale verso il Centro di Acquisizione di Via Diocleziano. Presso la sede storica è stata implementata un'infrastruttura per la trasmissione dati attraverso fibra ottica. Tale collegamento consente di centralizzare i dati provenienti dalla stazione digitale OVB, dal dilatometro EROV e dall'array multicanale in test (ARV). I dati vengono poi ritrasmessi attraverso collegamento wireless punto-punto al centro di acquisizione di Posillipo.

Tabella 1. Nuove installazioni I semestre 2006.

Codice	Località	Lat.	Long.	Data inizio trasmissione
MSA	Monte S.Angelo (Campi Flegrei)	40°50'18"	14°10'54"	Giu. 2006

Il potenziamento della rete mobile¹⁶

Durante il I semestre 2006 la Rete Mobile ha incrementato il parco sensori acquisendo 3 sensori di pressione PM1L e 4 idrofoni GRAS mod. 10CD. Tali sensori sono stati sottoposti alle opportune procedure di calibrazione in laboratorio e verranno impiegati nell'ambito delle attività di monitoraggio dell'area Flegrea per la registrazione di segnali sismo-acustici nel Golfo di Pozzuoli.

Si è inoltre proceduto all'implementazione delle stazioni Lennartz PCM 5800 acquisendo 5 registratori SONY Hi-MD e 9 convertitori GPS/DCF che sono stati installati sulle stazioni a corto periodo sia nell'area vesuviana che in quella flegrea. Si sono inoltre acquisiti 4 modem con antenne per la trasmissione dati in GSM da utilizzare per il trasferimento dati ed il controllo in remoto della stazioni a larga banda.

MANUTENZIONE E POTENZIAMENTO DELLA RETE GPS DELL'AREA VULCANICA NAPOLETANA¹⁷

L'attività di manutenzione e potenziamento è rivolta essenzialmente alla ricerca di nuovi siti e all'aumento dell'autonomia delle stazioni in assenza di energia elettrica.

¹⁵ A cura di: M. Martini, G. Borriello, C. Buonocunto, M. Capello, A. Caputo, L. D'Auria, W. De Cesare, A. Esposito, F. Giudicepietro, D. Lo Bascio, M. Orazi, R. Peluso, P. Ricciolino, G. Scarpato, G. Talarico

¹⁶ A cura di: M. La Rocca, D. Galluzzo, M. Castellano, G. Saccorotti, F. Bianco, E. Del Pezzo.

¹⁷ A cura di: U. Tammaro, P. De Martino, G. Brandi, A. D'Alessandro, M. Dolce, S. Malaspina, F. Obrizzo, F. Pingue, C. Serio

Nell'area dei Campi Flegrei, nel corso del primo semestre 2006, è stata materializzata una nuova stazione GPS permanente (SOLO) ubicata nelle adiacenze della Solfatara. Su tale vertice le registrazioni sono iniziate il 15 giugno 2006 ed i risultati dell'analisi di qualità effettuata sui dati registrati fino al 30 di giugno sono mostrati in Tab. 2. In Fig. 66, invece, è mostrato il grafico che illustra il rapporto segnale rumore della frequenza L1, da cui si ricava l'assenza di ostacoli al di sopra dei 15°. Nello stesso mese di giugno sono iniziati anche i test di acquisizione del segnale sul sito VICA (non riportato in Fig. 65) posizionato lungo la direttrice Sud-Nord, che va dal porto di Pozzuoli a Quarto. L'analisi di qualità dei primi dati fa prevedere l'installazione di questa stazione nel secondo semestre del 2006.

Tabella 2. Per la nuova stazione SOLO sono riportati il valore minimo (Min), massimo (Max) e la media (μ) per le seguenti grandezze: numero di acquisizioni teoriche, numero di quelle osservate, percentuale di dati osservati rispetto a quelli attesi, valore del multipath relativo alla L1 ed alla L2. I valori riportati riguardano il periodo 15 giugno – 30 giugno 2006.

	Acquisizioni Teoriche	Acquisizioni Osservate	Osservati/Attesi (%)	MP1 [m]	MP2 [m]
Min	19032	18933	96.20	0.03	0.07
Max	19866	19643	99.60	0.10	0.15
μ	19352	19162.10	99.03	0.06	0.09

Nell'area vesuviana, la stazione BKES che presentava nel passato problemi di ricezione del segnale è stata disattivata nel maggio 2005 ed è stata sostituita dalla stazione BKE1, che ha iniziato a funzionare il 21 dicembre 2005. Durante il primo semestre 2006, su tale sito si sono sperimentate monumentazioni di diverse altezze in modo da determinare il giusto compromesso fra livello di acquisizione e protezione dall'inquinamento elettromagnetico presente nell'area. Fino al 2005 ogni stazione era dotata di un sistema di alimentazione secondario a tampone con batterie al piombo di 40 A/h. Nel primo semestre 2006, per aumentare l'autonomia in caso di black out elettrico, si è iniziato a dotare i siti di un sistema a tampone costituito da caricabatteria Kert da 3A e da batterie a gel da 70 A/h. In particolare il sito BKE1, posto a circa 900 m di quota sulle pendici del Vesuvio, è attualmente l'unico sito alimentato con pannelli solari. A causa dello scarso irraggiamento solare nei periodi invernali, si è dotato BKE1 di 2 batterie da 70 A/h e si è provveduto a sostituire i due pannelli solari da 48 W con due da 90 W, che hanno un ingombro paragonabile ai precedenti. Grazie ad una collaborazione con il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università Federico II di Napoli è stata inserita nella rete CGPS anche la stazione di PACA e sono stati recuperati i dati a partire dal 2004.

RETE GRAVIMETRICA¹⁸

Nel corso del primo semestre 2006 è stata acquisita la strumentazione di seguito elencata al fine di potenziare sia le stazioni registratrici che la strumentazione utilizzata nel corso delle periodiche campagne gravimetriche condotte su reti. Per le stazioni gravimetriche registratrici ripristinate o in via di realizzazione, sono stati acquistati quattro trasduttori di pressione atmosferica YM Young, di

¹⁸ A cura di: G. Berrino

cui due in cassetta, con segnale di uscita per la registrazione e 2 (due) complessi Vaisala per misura di temperatura e Umidità relativa dell'aria con segnale di uscita per la registrazione e tre Modem GSM Siemens MC35i per la trasmissione dei segnali acquisiti. Per le campagne gravimetriche è stato acquistato un PC Portatile per effettuare la pre-elaborazione dei dati rilevati in campagna.-



Voce C

Prosecuzione delle
Attività di **S**tudi e **R**icerche sulla
Sismicità e sul **V**ulcanismo delle
Aree di **S**tromboli e **P**anarea e per
Studi e **R**icerche su **Z**one di
Particolare **I**nteresse
Specificatamente **I**ndividuate

PROGETTI SISMOLOGICI E VULCANOLOGICI DI INTERESSE PER IL DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE

(a cura del Dott. Gianluca Valensise e del Dott. Paolo Papale, coordinatori dei Comitati di Gestione)

Con Decreto n. 179 del 18 maggio 2005 il Presidente dell'INGV ha avviato formalmente le ricerche di cui alla lettera c) dell'art. 5 della Convenzione tra il Dipartimento della Protezione Civile (DPC) e l'INGV, finalizzate alla *“Prosecuzione delle attività di studi e ricerche sulla sismicità e sul vulcanismo delle aree di Stromboli e Panarea e per studi e ricerche su zone di particolare interesse specificatamente individuate”*. Si tratta di 10 progetti di ricerca, di cui 5 a carattere sismologico (S1-S5) e 5 a carattere vulcanologico (V1-V5), ideati per rispondere a specifiche istanze e necessità del DPC, a cui va aggiunto un progetto di divulgazione scientifica a carattere misto sismologico-vulcanologico, denominato EduRisk (SV) avviato con Decreto INGV 484 del 29 luglio 2005.

I progetti di ricerca sono stati elaborati e istruiti nel corso del I semestre 2005. Le attività relative alla prima annualità hanno preso l'avvio nel II semestre 2005 e sono proseguite nel I semestre 2006. Successivamente all'avvio dei primi undici progetti, e sempre a valere sugli stessi fondi di cui alla lettera c) dell'art. 5 della Convenzione, sono state elaborate e finanziate le ulteriori attività di ricerca di seguito descritte:

- nell'ambito di una intesa tra INGV e DPC finalizzata al recupero e alla riorganizzazione dei dati accelerometrici disponibili per terremoti italiani è stato avviato il progetto “Data base dei dati accelerometrici italiani relativi al periodo 1972 – 2004” (Progetto S6), coordinato da Lucia Luzi per l'INGV e da Fabio Sabetta per il DPC. Il progetto ha un costo complessivo di 275.000 Euro (di cui 260.000 Euro, che sono stati erogati nel I semestre 2006, e 15.000 Euro, che sono stati erogati nel II semestre 2006) ed è stato avviato nel gennaio 2006. Pur essendo agganciato agli altri progetti sismologici dal punto di vista delle attività e dello scambio di informazioni, questo progetto si svolge con una sua propria tempistica. In particolare, non è articolato in due annualità distinte come gli altri progetti e, data la sua natura “di servizio”, non è sottoposto a valutazioni periodiche da parte del Comitato di Valutazione internazionale. Informazioni di dettaglio su questo progetto sono disponibili alla pagina <http://www.ingv.it/progettiSV/>.
- nell'ambito di un contratto già in essere tra INGV e SGA – Storia, Geofisica, Ambiente per la realizzazione di un catalogo dell'attività storica dell'Etna, è stata avviata nell'aprile 2006 la seconda e ultima fase delle ricerche, per un costo complessivo di 130.000 euro. Tale catalogo sarà completato entro il mese di ottobre 2006, e costituirà il riferimento unico e ufficiale per le attività all'interno del progetto V3_6 – Etna;
- nell'ambito delle attività relative al progetto “V2: Attività di ricerca e monitoraggio a Stromboli e Panarea”, è stato avviato un contratto di prestazione d'opera con il Dott. Giorgio Caramanna, per una durata di 12 mesi (dal 1 aprile 2006 al 31 marzo 2007) ed un costo complessivo di Euro

14.688,00, per l'esecuzione di campionamenti periodici delle emanazioni gassose al largo di Panarea mediante immersioni con respiratore.

- nell'ambito delle ricerche della UR9 (resp. Scientifico M.T. Mariucci, INGV Roma) all'interno del progetto V3_1 – Colli Albani, e sentito il parere del Comitato di Valutazione internazionale dei progetti INGV-DPC in Vulcanologia, sono state potenziate le attività relative alla perforazione di un pozzo nell'area dei Colli Albani, per un costo aggiuntivo complessivo di 50.000 euro a gravare sulla voce "Integrazione e potenziamento delle ricerche all'interno dei progetti della Convenzione", settore Vulcanologia. La perforazione è stata eseguita nei mesi di aprile-maggio 2006, e le relative spese sono state interamente rendicontate al termine della prima fase dei progetti (giugno 2006).

Ulteriori dettagli sulla struttura dei progetti, sulle loro finalità, sulle modalità del loro avvio e sullo stato di avanzamento sono disponibili nella sezione "Documenti" della pagina Internet dedicata ai progetti stessi (<http://www.ingv.it/progettiSV/>). Complessivamente i progetti coinvolgono circa 260 Unità di Ricerca e oltre 1.500 ricercatori, distribuiti in un ampio spettro di enti ed istituzioni di ricerca italiani e stranieri e in rappresentanza di molteplici ambiti disciplinari. Per l'assegnazione dei fondi e per la loro gestione e rendicontazione sono state elaborate una serie di regole, in parte mutuata dai contratti a suo tempo elaborati dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti e dal Gruppo Nazionale per la Vulcanologia, allineate con le regole e le consuetudini amministrative dell'INGV e con la normativa vigente. Un modello di contratto per Unità di Ricerca esterna all'INGV è riportato come All. 1. Per le Unità di Ricerca dell'INGV è stata prevista una "comunicazione di assegnazione fondi" che, pur non configurandosi come un contratto vero e proprio, impone anche ai ricercatori INGV il rispetto delle stesse norme di funzionamento valide per le Unità di Ricerca esterne. Le norme riguardano:

- le scadenze di rendicontazione, sia scientifica che finanziaria;
- le tipologie e l'eleggibilità dei costi sostenibili;
- la proprietà di eventuali beni inventariabili;
- la possibilità di spostare fondi da una voce di spesa ad un'altra;
- la gestione di eventuali residui non spesi né impegnati.

In particolare, le norme sulla gestione dei fondi non spesi hanno l'obiettivo di disincentivare richieste finanziarie immotivate e allo stesso tempo di consentire la redistribuzione di una frazione dei fondi assegnati per la prima annualità a Unità di Ricerca che si siano particolarmente distinte e che si sono dimostrate in grado di approfondire ricerche e attività particolarmente promettenti. Infine, con una lettera al Presidente dell'INGV datata 16 novembre 2005 i coordinatori dei Comitati di Gestione dei progetti hanno formulato delle proposte in ordine all'utilizzo dei fondi di cui all'art. 5 (lettera c) della Convenzione tra DPC e INGV non direttamente assegnati ai progetti. In particolare, i coordinatori hanno chiesto di accantonare 180.000 Euro per sostenere le spese dei Comitati di Valutazione e Monitoraggio previsti dal Decreto 387/04 e ulteriori 115.000 Euro per coprire tutte le spese sostenute per le attività di coordinamento. La richiesta è stata accolta dal Presidente

dell'INGV, il quale ha dato disposizione di provvedere all'Amministrazione dell'INGV. La Tabella 1 fornisce il dettaglio delle somme accantonate e delle attività a cui sono destinate.

Tabella 1. Quadro sinottico delle somme accantonate per la gestione dei progetti della Convenzione. L'accantonamento si riferisce a fondi residui a valere sul finanziamento di cui all'art. 5 (lettera c) della Convenzione tra DPC e INGV.

Voce	Attività per cui viene richiesto l'accantonamento	Somma accantonata	Note
1	Comitati di Valutazione e Monitoraggio previsti dal Decreto INGV n.387/04	180.000 Euro	<i>di cui:</i> 100.000 Sismologia 80.000 Vulcanologia
2	Coordinamento dei Progetti della Convenzione	115.000 Euro	<i>di cui:</i> 40.000 Sismologia 75.000 Vulcanologia
3	Organizzazione di Workshop di interesse trasversale ai Progetti della Convenzione	90.000 Euro	<i>di cui:</i> 45.000 Sismologia 45.000 Vulcanologia
4	Integrazione e potenziamento delle ricerche all'interno dei progetti della Convenzione	300.000 Euro	<i>di cui:</i> 150.000 Sismologia 150.000 Vulcanologia

In data 31 maggio 2006 tutte le Unità di Ricerca dei progetti S1-S5, V1-V5 e SV hanno presentato la rendicontazione scientifica e amministrativa relativa alla prima annualità, comprensiva degli impegni di spesa per il giugno 2006. Nel mese di giugno 2006 si sono svolti incontri tra i Responsabili dei progetti e i Comitati di Valutazione internazionali nominati dall'INGV di concerto con il DPC (Decreto INGV 387 del 26 novembre 2004). Questi ultimi hanno in seguito redatto due rapporti di valutazione delle attività svolte nel corso del primo anno dai progetti in campo sismologico e vulcanologico, anch'essi disponibili in rete all'indirizzo <http://www.ingv.it/progettiSV/>. Le rendicontazioni scientifiche e amministrative di dettaglio dei progetti, elaborate per ogni singola Unità di Ricerca, unitamente alle valutazioni effettuate dai due Comitati di Valutazione internazionali, sono state trasmesse al Dipartimento della Protezione Civile nel mese di luglio 2006 mediante CD-ROM.

Di seguito si riportano le sintesi dei risultati conseguiti, rispettivamente, dai progetti sismologici, dai progetti vulcanologici (comprensivi dell'integrazione al progetto V3 denominata "Ricerche storiche" e avviata con Decreto INGV 484 del 29 luglio 2005), e dal progetto misto EduRisk. Tali sintesi sono state elaborate dai responsabili di ciascun progetto.

PROGETTO S1: PROSEGUIMENTO DELLA ASSISTENZA A DPC PER IL COMPLETAMENTO E LA GESTIONE DELLA MAPPA DI PERICOLOSITÀ SISMICA PREVISTA DALL'ORDINANZA PCM 3274 E PROGETTAZIONE DI ULTERIORI SVILUPPI

Responsabili: G. M. Calvi (Eucentre, Pavia), M. Stucchi (INGV - Sezione di Milano)

Obiettivi del progetto

Questo progetto rappresenta la continuazione di attività che INGV, con alcuni collaboratori esterni, ha intrapreso a favore di DPC a partire dalla seconda metà del 2003 per la redazione della mappa di pericolosità sismica denominata MPS04 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004). Gli obiettivi principali sono:

- 1) completare le elaborazioni relative a MPS04, con riferimento alle valutazioni di amax per le isole, per altri periodi di ritorno e per diverse ordinate spettrali; valutazioni sperimentali di amax provenienti da un albero logico più complesso di quello utilizzato per MPS04; valutazioni sperimentali di amax e di spettri di risposta calibrate per condizioni locali; realizzazione di valutazioni di pericolosità sismica in termini di intensità macrosismica, utilizzando l'impianto adottato per MPS04; sviluppo del sito web per la disseminazione dei risultati del progetto (Task 1);
- 2) realizzare valutazioni di pericolosità sismica in termini di intensità macrosismica, utilizzando approcci di sito, ed effettuare confronti fra tali valutazioni, MPS04 e dati osservativi (Task 2);
- 3) contribuire alla definizione di priorità di intervento per edifici non adeguati sismicamente, attraverso il pieno utilizzo del potenziale informativo di MPS04 e il confronto con elaborati basati su ipotesi non stazionarie di sismicità, già disponibili o realizzabili in tempi brevi (Task 3);
- 4) aggiornare i database sismologici non altrimenti aggiornati da INGV o da altri enti, con particolare riferimento al database macrosismico e ai prodotti correlati: catalogo parametrico, stime di completezza, ecc. (Task 4).

In aggiunta, il progetto formula suggerimenti e contributi per:

- a) la gestione delle problematiche derivanti dall'applicazione dell'Ordinanza 3274 e successive disposizioni;
- b) l'aggiornamento delle azioni di progetto delle norme sismiche;
- c) la definizione degli input per il progetto S5;
- d) l'eventuale aggiornamento di MPS04.

Il progetto prevede il rilascio di circa 20 deliverables, il cui stato di avanzamento è presentato al paragrafo 4. Il progetto non ha fra i suoi obiettivi la redazione di mappe basate su modelli non stazionari della sismicità. Pur concordando sulla opportunità che gli enti di ricerca sviluppino questo settore di ricerca, non è stato ritenuto automatico, né indispensabile, che tali sviluppi avvengano nell'ambito di questa convenzione con DPC, che non lo richiede e le cui risorse non

sarebbero comunque sufficienti. In altre parole, il progetto ritiene di concentrare sforzi e risorse per rispondere al meglio alle reali esigenze del Committente, e di ricercare altre sedi e altri finanziamenti per lo sviluppo di ricerche innovative i cui risultati non siano direttamente o immediatamente utilizzabili da parte del Committente stesso. Il progetto ritiene comunque opportuno che il tema degli sviluppi metodologici venga affrontato nell'ambito dei suggerimenti e contributi citati più sopra avviando, a partire dal secondo anno, un gruppo di lavoro, aperto anche alla partecipazione di ricercatori designati dal progetto S2, con il compito di proporre iniziative future. Al progetto partecipano 12 UR, il cui contributo ai vari Task è presentato in tabella:

UR	Ente	Responsabile	Task1 Meletti Rebez	Task2 Albarello Gasperini	Task3 Strobbia Montaldo	Task4 Camassi Gasperini Stucchi	Mesi persona cofin.
1	INGV-Milano	Meletti	@	@	@	@	64
2	INGV-Milano	Meroni	@			@	26
3	INGV-Bologna	Camassi			@	@	58
4	INGV-Catania	Azzaro		@		@	18
5	INGV-Roma1	Gasparini				@	12
6	INGV-Napoli	Marturano				@	12
7	EUCENTRE PV	Strobbia	@		@		16
8	UNISiena	Albarello		@		@	8
9	UniBologna	Gasperini		@		@	18
10	UniGenova	Spallarossa			@		30
11	CNR-Milano	Rotondi		@			4
12	OGS Trieste	Rebez	@	@		@	17
Totale							283

Stato di avanzamento del progetto: aspetti generali

Le attività del progetto nel corso del periodo giugno 2005 – maggio 2006 hanno riguardato tre punti principali:

- a) l'assistenza al Dipartimento della Protezione Civile per l'aggiornamento della normativa, e a Regioni e utenti vari per l'utilizzo dei dati di pericolosità sismica;
- b) il completamento di iniziative di ricerca in corso e in particolare:
 - i) le elaborazioni relative alla mappa di pericolosità sismica MPS04;
 - ii) il database macrosismico utilizzabile come input per le valutazioni di pericolosità sismica in termini di intensità;
- c) la messa a punto di ipotesi e metodologie per la realizzazione di nuove elaborazioni e l'avvio della loro sperimentazione, in prospettiva dell'utilizzo nella seconda fase.

Punto a)

Nel periodo di attività del progetto si sono determinate a livello politico le condizioni per una chiarificazione dei ruoli e delle competenze dello Stato in materia di normativa sismica. Il “Testo Unitario delle Norme Tecniche per le Costruzioni” (Decreto del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti del 14 settembre 2005) ha riaffermato la suddivisione delle azioni sismiche di progetto in quattro classi di a_{max} , cui corrispondono quattro zone sismiche anch’esse individuate da classi di a_{max} . In seguito, con la collaborazione dei coordinatori del progetto e dello staff del DPC, è stata redatta l’Ordinanza 3519 del Presidente del Consiglio dei Ministri (28 aprile 2006, G.U. n.108 del 11/05/2006) che, oltre a ribadire i criteri secondo i quali devono essere compilate le mappe di pericolosità sismica da utilizzarsi per l’aggiornamento delle zone sismiche, propone la mappa MPS04 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004) quale riferimento nazionale in materia. Poiché l’Ordinanza 3519 affida a INGV il compito di mettere a disposizione degli utenti i dati di MPS04 mediante sito web dedicato, replicato da Dipartimento della Protezione Civile e Ministero delle Infrastrutture, è stato ristrutturato a questo scopo il sito web <http://zonesismiche.mi.ingv.it> (fig. 1).

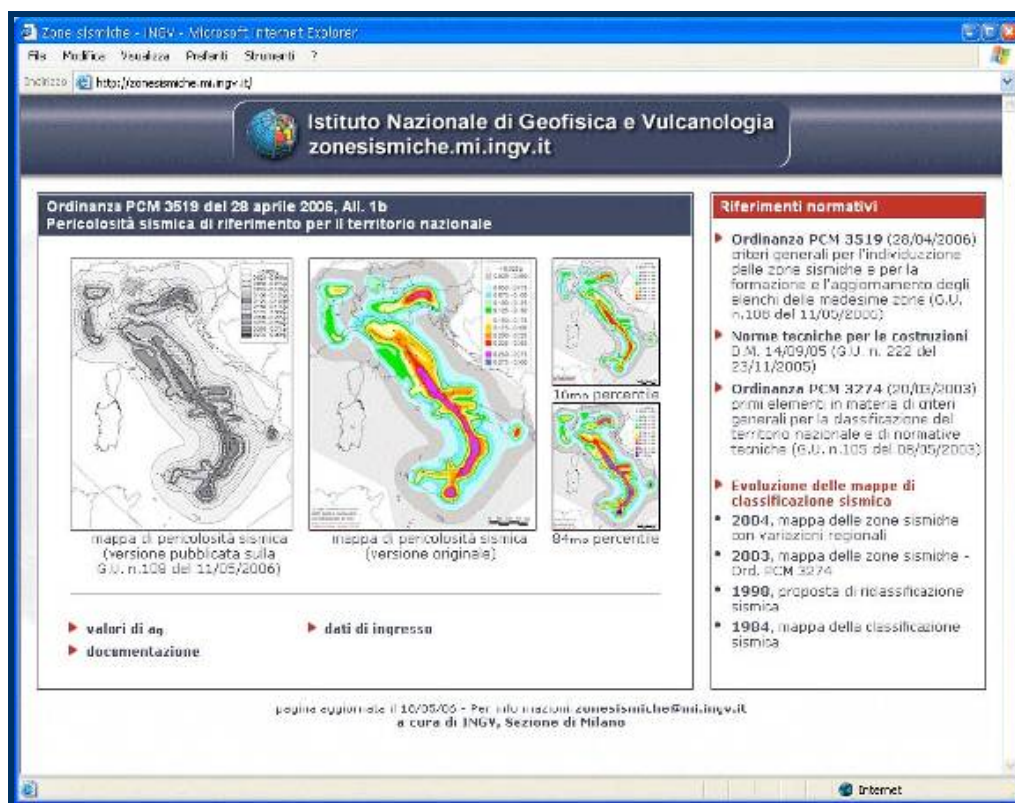


Figura 1. Homepage aggiornata del sito <http://zonesismiche.mi.ingv.it>.

In aggiunta: i) i coordinatori del progetto partecipano per conto del DPC a una commissione che ha il compito di contribuire a rendere definitivo e stabile il quadro normativo; ii) ricercatori afferenti al progetto hanno contribuito ad assistere regioni e categorie professionali nell'utilizzo dei dati di pericolosità sismica attraverso corsi dedicati, giornate di studio e materiali informativi (ad esempio Meletti et al., 2006).

Punto b)

Al completamento delle iniziative in corso hanno contribuito i Task 1 e 4. Task 1, dedicato in gran parte proprio a questo scopo, ha reso disponibili in particolare:

- i) valutazioni ad hoc di a_{max} per le isole Stromboli, Panarea, Alicudi, Filicudi, Ustica, Pantelleria (Deliverable D1), non analizzate in MPS04;
- ii) valutazioni di a_{max} per 7 probabilità di eccedenza in 50 anni (81%, 63%, 50%, 39%, 22%, 5% e 2%, alle quali corrispondono rispettivamente i periodi di ritorno di 30, 50, 72, 100, 200, 1000 e 2500 anni), in termini di 16mo, 50mo e 84mo percentile (D2);
- iii) valutazioni di accelerazioni spettrali per dieci periodi di interesse ingegneristico: 0.10, 0.15, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50, 0.75, 1.00, 1.50, 2.00 sec, per 8 differenti probabilità di eccedenza in 50 anni (D3).

I dettagli di queste elaborazioni vengono presentati nel punto successivo. Task 4 ha completato la compilazione del database macrosismico unificato dei dati di base che sostengono CPTI04, denominato DBMI04 (Gruppo di Lavoro DBMI, 2005; versione 2004 del Data Base Macrosismico Italiano – l'anno sta a indicare la coerenza con CPTI04). Il database contiene 58.926 dati puntuali di intensità, riferiti a 1042 terremoti e 14.818 località; i dati vengono messi a disposizione mediante un sito web dedicato, con una interfaccia simile a quella del precedente database DOM rinnovata nelle funzionalità, che permette di accedere alle informazioni tramite ricerca per terremoto (fig. 2).o per località.

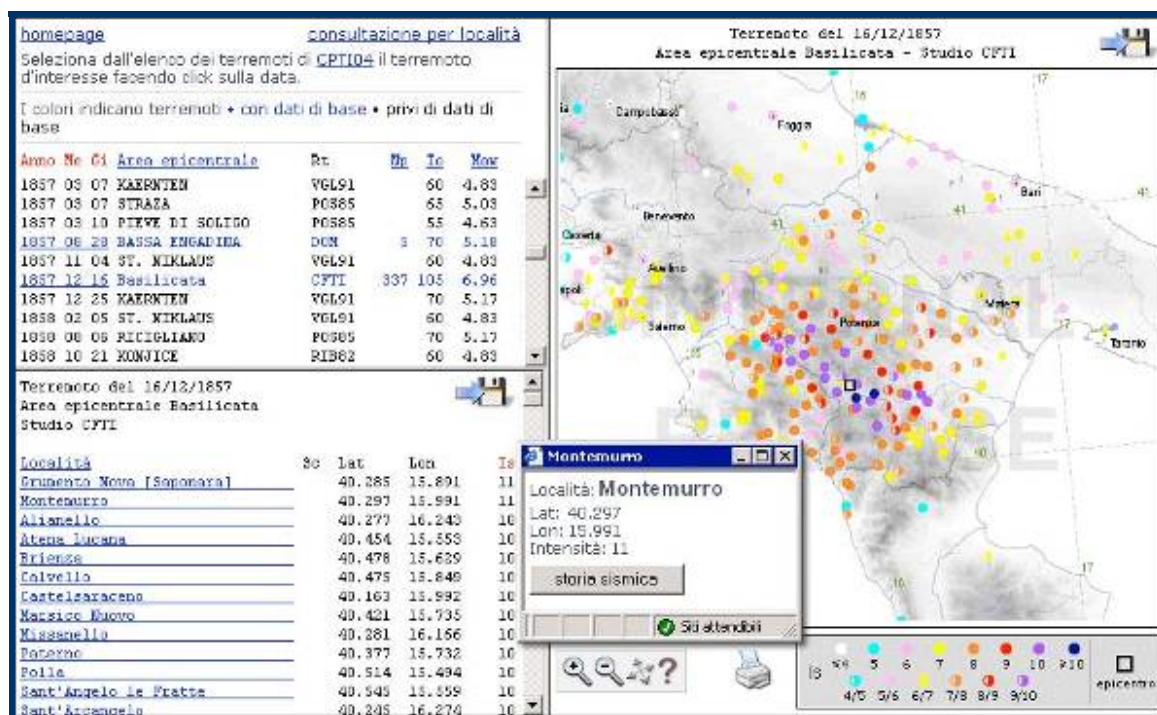


Figura 2. Interfaccia web del database DBMI04 per la consultazione per terremoto, realizzata tramite programmi PHP e il formato grafico vettoriale SVG.

Punto c)

Gli aspetti sperimentali del progetto sono stati sviluppati dai Task 1, 2 e 3 e sono descritti in dettaglio nel paragrafo 2.

In Task 1 hanno riguardato in particolare:

- i) l'esplorazione della variabilità dei valori di pericolosità sismica in relazione ai dati di ingresso, con riferimento particolare a: 1) modello sismogenetico, utilizzando un approccio a sismicità diffusa e le "sorgenti sismogenetiche areali" proposte da DISS 3.1 che racchiudono i principali sistemi di faglia e sono caratterizzate da un maggiore controllo geologico sulla forma e sulle dimensioni delle zone (fig. 3); 2) modalità di valutazione dei tassi di sismicità;
- ii) la valutazione sperimentale di amax e di spettri di risposta calibrati per le condizioni locali;
- iii) la valutazione della pericolosità sismica in termini di intensità macrosismica con varie probabilità di eccedenza in 50 anni, utilizzando lo stesso impianto metodologico di MPS04. Questa valutazione è finalizzata a effettuare una calibrazione preliminare dei valori di pericolosità sismica proposti da MPS04.

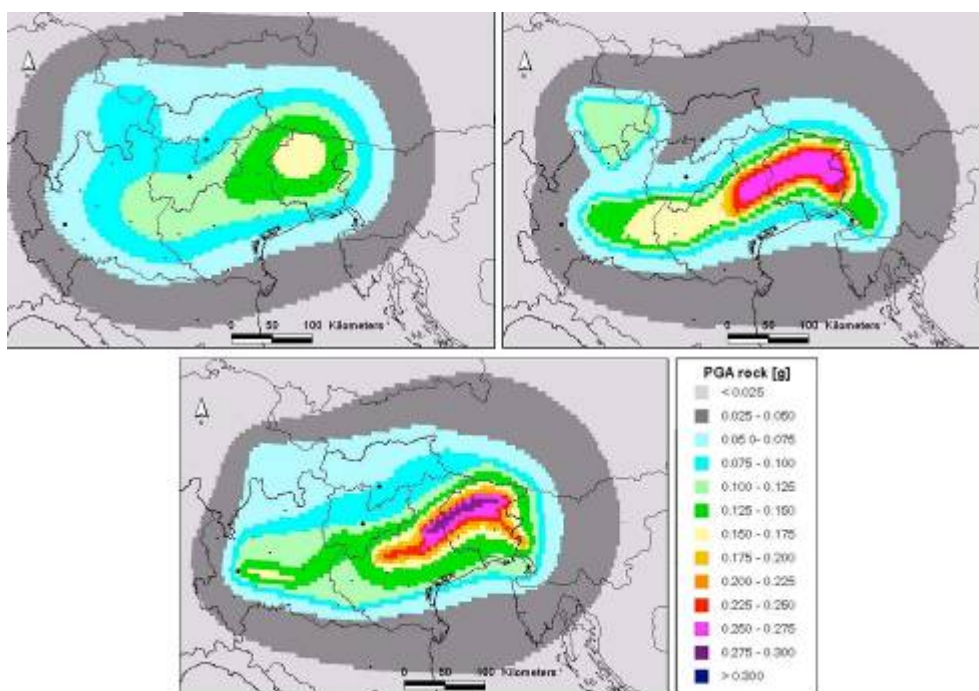


Figura 3. Mappe di pericolosità sismica per l'area del Nord-Est, calcolate utilizzando diversi modelli sismogenetici. Sinistra: approccio a sismicità diffusa senza zone sorgente; destra: zonazione sismogenetica ZS9; in basso: sorgenti sismogenetiche areali.

Task 2 è interamente dedicato allo sviluppo e applicazione di metodologie per la valutazione della pericolosità sismica in termini di intensità macrosismica, prevalentemente a partire da dati di sito (fig. 4). In questo Task è stata determinata una nuova relazione di attenuazione della intensità macrosismica, calibrata sui dati del database DBMI04; inoltre sono state determinate mappe preliminari di pericolosità sismica in termini di intensità macrosismica caratterizzate da una

probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, che sono in fase di confronto con i risultati richiamati in precedenza.

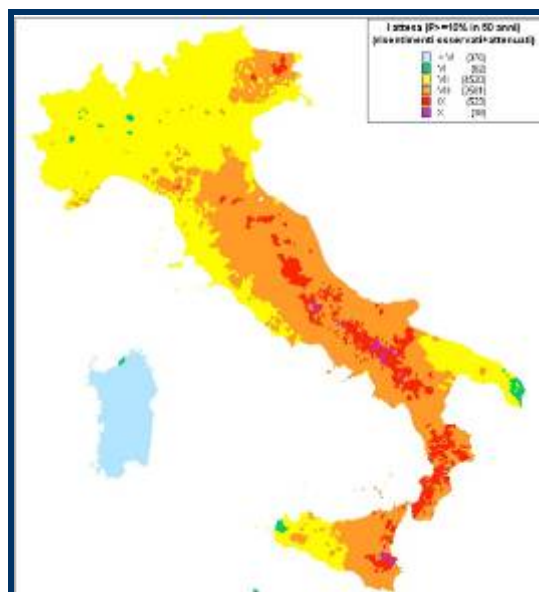


Figura 4. Pericolosità sismica in termini di massima intensità con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, calcolata utilizzando i risentimenti documentati al sito integrati da dati ricavati dalle informazioni epicentrali (CPTI04) mediante relazioni di attenuazione (Albarello e D'Amico, 2004).

Nell'ambito di Task 3, finalizzato alla definizione di priorità di intervento per edifici non adeguati sismicamente, le analisi hanno preso l'avvio dai risultati di una ricerca (Grant et al., 2005) che ha proposto una metodologia basata su successivi livelli di approfondimento dell'analisi della vulnerabilità sismica e della pericolosità sismica. In particolare si è proceduto a:

- 1) calibrare la metodologia;
- 2) predisporre strumenti utili alla immissione nella stessa di elementi sismologici basati su modelli stazionari di sismicità (curve di hazard al sito, schemi di disaggregazione M-D- ϵ) e su modelli time-dependent.

In fig. 5 è mostrata la distribuzione dei valori di a_{max} che competono, secondo MPS04, alle zone nelle quali non è mai stata applicata la normativa sismica; questi valori rappresentano un "deficit" di protezione sismica che può essere adottato come primo elemento di definizione di priorità.

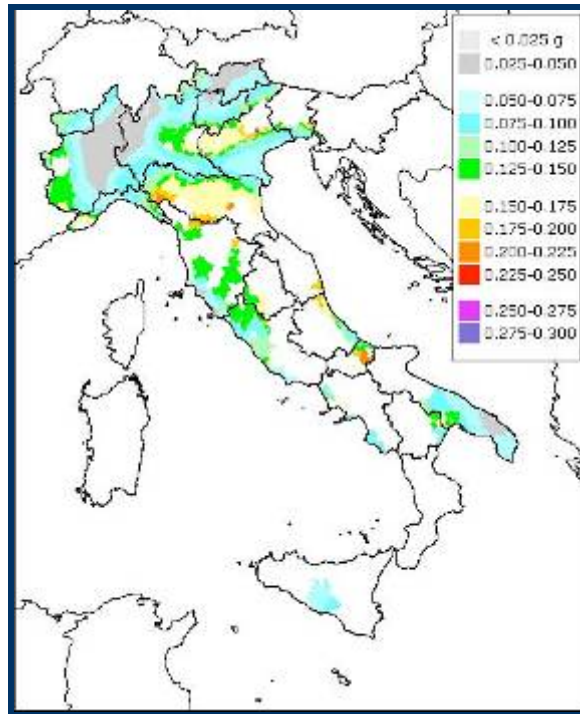


Figura 5. Deficit di protezione sismica (espressa in termini di a_{max}) nelle zone fino a oggi non sottoposte a normativa sismica.

Stato di avanzamento del progetto: aspetti di dettaglio, per singoli task

Task 1: Completamento delle elaborazioni relative a MPS04

Task 1 è dedicato al completamento delle valutazioni della pericolosità sismica del territorio nazionale basate sul medesimo impianto (approccio, dati di base, codici di calcolo, ecc.) utilizzato per realizzare la nuova mappa di riferimento della pericolosità sismica (MPS04; Gruppo di Lavoro MPS, 2004). Il Task ha anche il compito di esplorare nuovi rami della struttura dell'albero logico e la relativa influenza sulle incertezze, e di implementare la diffusione dell'informazione relativa alla pericolosità sismica attraverso lo sviluppo del sito web. In particolare il Task 1 è stato articolato in maniera tale da rilasciare 8 deliverables. Alcuni di essi sono già stati completati; altri sono in uno stato di avanzamento abbastanza progredito. La prima operazione compiuta (deliverable 1, D1) è relativa al completamento della valutazione standard di a_{max} con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni per le isole cui la mappa MPS04 non aveva stimato valori di pericolosità sismica affidabili perché determinati esclusivamente dal contributo di zone sismogenetiche lontane (fig. 6). Nel corso del primo anno si è proceduto a riconsiderare queste aree utilizzando approcci diversi e specifici per ciascuna situazione; va sottolineato che l'analisi delle valutazioni di pericolosità disponibili in letteratura mostra che queste aree non sono mai state studiate opportunamente.

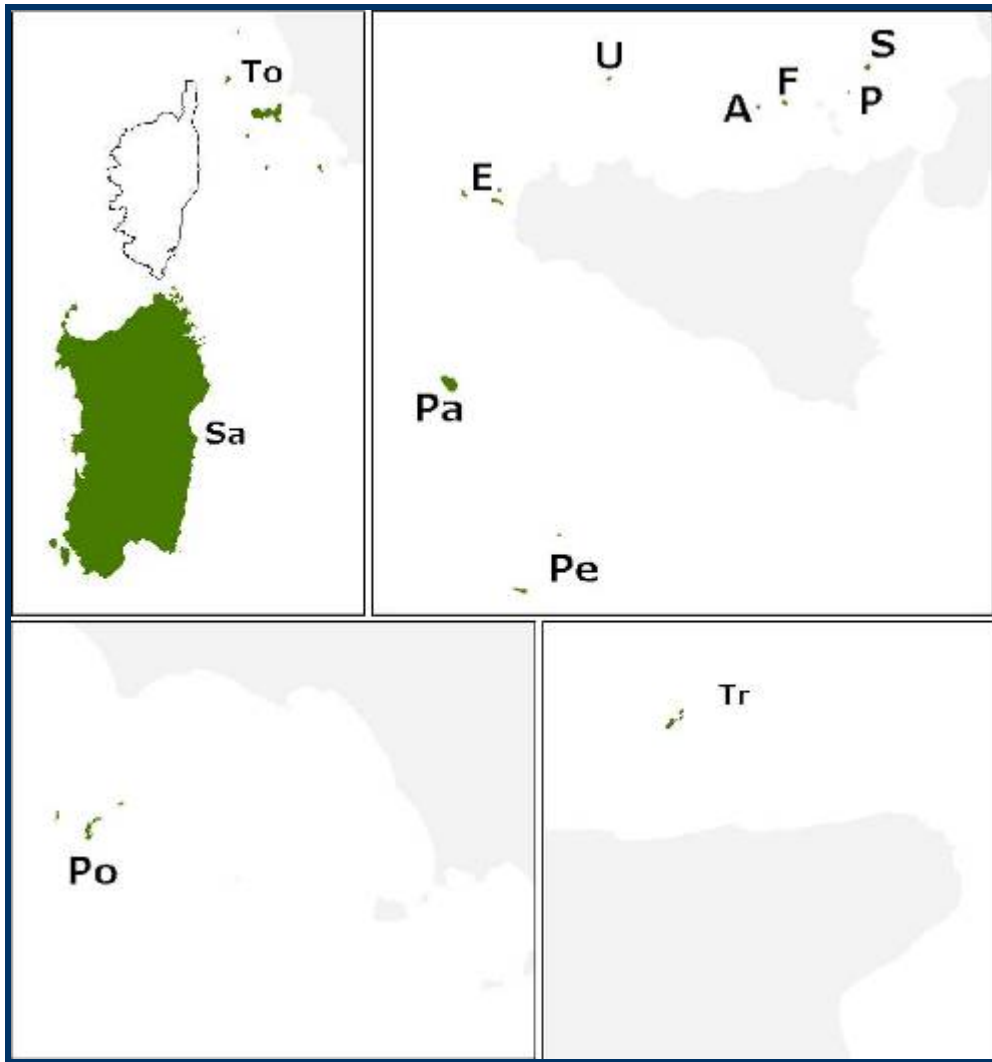


Figura 6. Isole per le quali è stata effettuata una valutazione ad hoc della pericolosità sismica. A: Alicudi; E: Egadi; F: Filicudi; P: Panarea; Pa: Pantelleria; Pe: Pelagie; Po: Ponziane; Sa: Sardegna; To: arcipelago Toscano; Tr: Tremiti.

L'analisi ha portato a considerare 3 situazioni per le quali si propongono le seguenti soluzioni:

- a) isole per le quali i valori di a_{max} forniti da MPS04 sono stati ritenuti comunque validi (arcipelago toscano, isole Ponziane, isole Egadi, isole Tremiti);
- b) isole per le quali sono state eseguite valutazioni ad hoc (Stromboli, Panarea, Alicudi, Filicudi, Ustica, Pantelleria), utilizzando zone sismogenetiche definite per questo scopo e tassi determinati prevalentemente da sismicità strumentale; ad esempio la fig. 7 mostra l'albero logico utilizzato per valutare la pericolosità sismica di Stromboli e Panarea;
- c) isole per le quali la pericolosità sismica non è stata comunque valutata e viene proposto un valore di default (Sardegna, isole Pelagie).

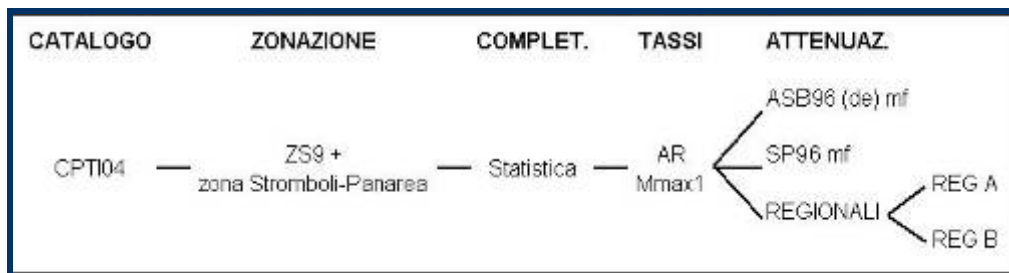


Figura 7. Albero logico utilizzato per calcolare la pericolosità sismica delle isole Stromboli e Panarea.

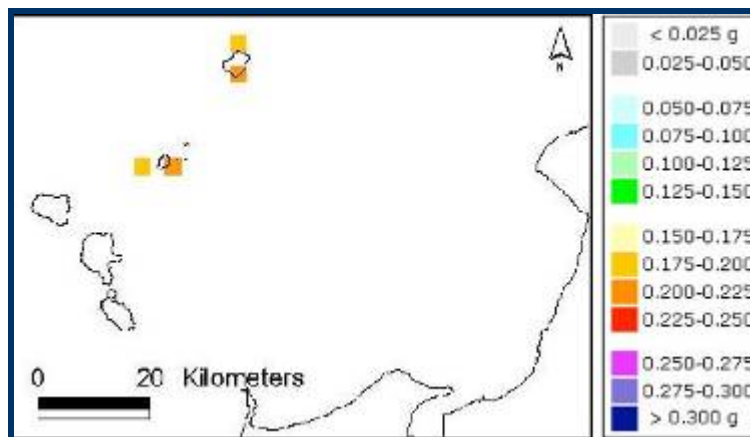


Figura 8. Valori di pericolosità sismica nelle isole Stromboli e Panarea.

D2. Le mappe di pericolosità sismica in termini di a_{max} su suolo di categoria A con probabilità di superamento in 50 anni pari a 81%, 63%, 50%, 39%, 22%, 5% e 2%, cui corrispondono rispettivamente i periodi di ritorno di 30, 50, 72, 100, 200, 1000 e 2500 anni, sono state realizzate seguendo il medesimo approccio adottato per MPS04 e propongono la mediana (50mo percentile), il 16mo e l'84mo percentile della distribuzione di 16 valori di a_{max} corrispondenti ai rami dell'albero logico. Come è ovvio, nell'ipotesi di processo stazionario della sismicità e in assenza di troncature alla distribuzione dei residui della relazione di attenuazione, la pericolosità sismica tende ad aumentare al diminuire del tasso annuale di superamento. I valori massimi di a_{max} variano da 0.099g per probabilità di eccedenza dell'81% fino a 0.625g per probabilità di eccedenza del 2% in 50 anni (fig. 9). D3. Sono state calcolate mappe di pericolosità sismica in termini di accelerazione per diversi periodi spettrali. Per ottenere tali mappe è stato necessario: i) determinare i periodi spettrali comuni alle diverse relazioni di attenuazione utilizzate in MPS04; ii) adattare i dati di input alle caratteristiche del codice di calcolo; iii) trasformare in accelerazione i risultati (alcune delle relazioni di attenuazione utilizzate in MPS04, infatti, sono derivate per velocità spettrali). Le mappe sono state realizzate per periodi spettrali di interesse ingegneristico: 0.10, 0.15, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50, 0.75, 1.00, 1.50, 2.00 sec), in riferimento a 8 probabilità di eccedenza in 50 anni (fig. 10). Questi risultati consentono di tracciare gli spettri a pericolosità uniforme (UHS) per ogni nodo della griglia di calcolo. Fig. 11 mostra il confronto tra gli spettri a pericolosità uniforme calcolati per diversi periodi di ritorno e gli spettri di risposta elastici calcolati secondo la normativa sismica in

vigore, per un sito localizzato in Italia centrale. Gli spettri di risposta elastici sono stati ancorati rispettivamente al valore di a_{max} fornito da MPS04 (0.269g) e al valore di accelerazione di progetto della normativa per un sito localizzato in zona 1 (0.35g).

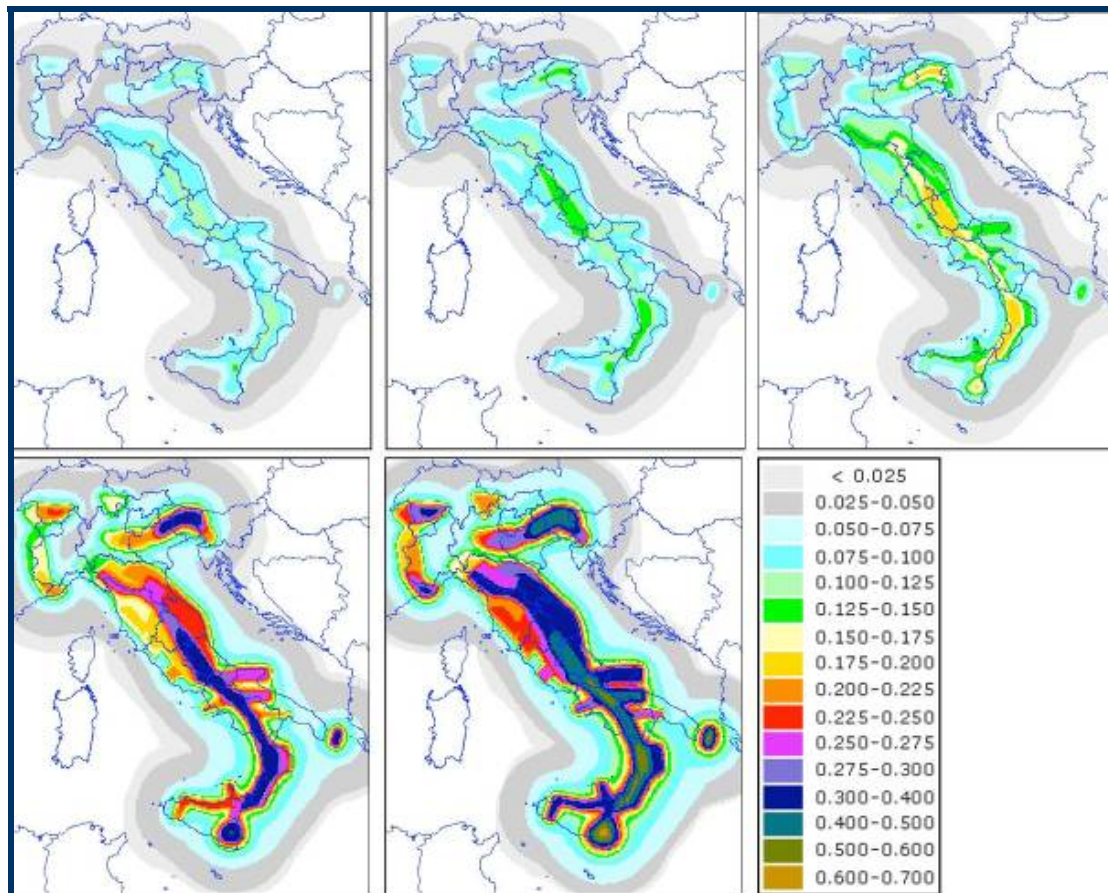


Figura 9. Mappe di a_{max} su suolo di categoria A con probabilità di superamento in 50 anni nell'ordine pari al 50%, 39%, 22%, 5%, 2%.

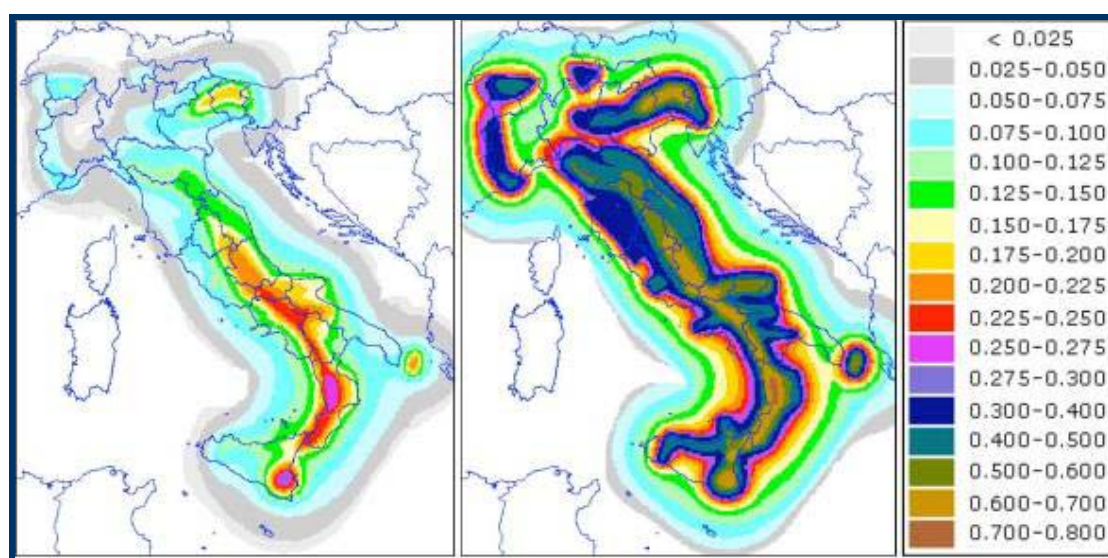


Figura 10. Mappa di pericolosità sismica in termini di accelerazione spettrale a 1 sec. (sinistra) e a 0,2 sec. (destra) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

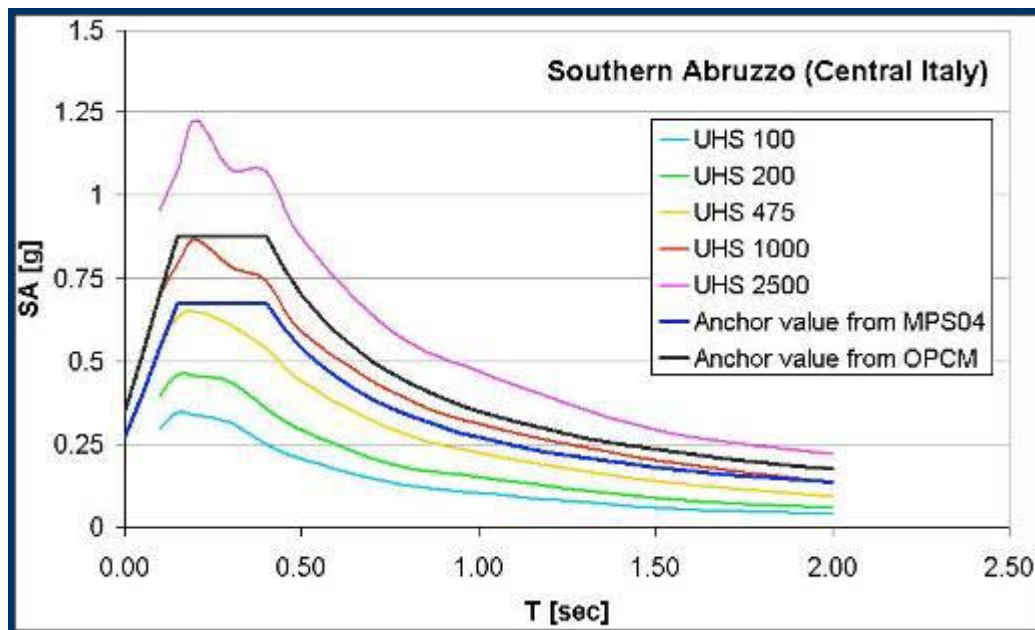


Figura 11. Confronto tra spettri a pericolosità uniforme calcolati per diversi periodi di ritorno e spettri di risposta elastici ancorati a diversi valori di a_{max} .

D4. La valutazione della pericolosità sismica per periodi di ritorno di 5000 e 10000 anni pone problemi di approccio particolari dato che la pericolosità sismica viene espressa dal valore di accelerazione al sito con un tasso annuale di superamento $< 10^{-6}$. Per periodi di ritorno così lunghi, l'analisi probabilistica diventa molto critica rispetto alle scelte che si fanno nella stima della massima magnitudo e del valore massimo di accelerazione (bounding ground motion). Per il momento non sono stati prodotti risultati. D5. Per verificare la possibilità e l'utilità di aumentare il numero di rami nella struttura ad albero logico adottata in MPS04, sono stati esplorati parametri e modelli che rappresentano fonti di incertezza epistemica. In particolare è stata valutata l'influenza dei coefficienti a e b della distribuzione Gutenberg-Richter sul calcolo della pericolosità sismica. Inizialmente sono stati mantenuti i valori di a di MPS04 imponendo $b=1$. In seguito, conservando il b unitario, sono stati calcolati i valori di a per tutte le zone sorgente. A parità di a , imporre $b=1$ determina una diminuzione rispetto a MPS04 dei valori di accelerazione nelle ZS caratterizzate da un valore di $b < 1$ e un aumento in quelle che hanno $b > 1$. Se il valore di a viene ricalcolato, tale andamento si ribalta. E' stata inoltre valutata in un'area del Nord Italia l'influenza di diversi approcci alla caratterizzazione del potenziale sismogenetico (Montaldo, 2006) confrontando l'approccio adottato in MPS04, vale a dire le zone sismogenetiche di ZS9 (Meletti e Valensise, 2004), con: i) un approccio a sismicità diffusa basato esclusivamente sull'utilizzo del catalogo di terremoti; ii) le "sorgenti sismogenetiche areali" proposte da DISS 3.1 (DISS Working Group, 2005) che racchiudono i principali sistemi di faglia e sono caratterizzate da un maggiore controllo geologico sulla forma e sulle dimensioni delle zone; iii) le sorgenti sismogenetiche individuali proposte in DISS 3.1 e quelle pubblicate da Galadini et al. (2005). I primi due modelli sono stati applicati assumendo lo stesso processo stazionario di accadimento dei terremoti utilizzato per il modello ZS9, mentre per l'ultimo modello è stato adottato un processo di rinnovo basato su una distribuzione di probabilità lognormale. L'analisi ha messo in luce sia la variabilità dei risultati (tra il 5 e il 10% di g), sia la necessità di vincolare meglio alcuni parametri (e.g. lo slip rate) che controllano i risultati dell'approccio time-dependent. D6. Per la valutazioni sperimentale di a_{max} e di spettri di risposta calibrati per le condizioni locali non è stato possibile procedere utilizzando relazioni di attenuazione specifiche per diversi tipi di terreno, perché non tutte le relazioni di attenuazione adottate in MPS04 contengono questa informazione. Si è quindi deciso di

procedere applicando i coefficienti moltiplicativi previsti nella normativa sismica vigente, che consentono di trasformare l'accelerazione di picco su suolo di categoria A (roccia) in ordinate dello spettro di risposta elastico e per diverse tipologie di suoli. Utilizzando criteri litologici ed età delle formazioni, si è proceduto a generalizzare la mappa geologica alla scala 1:500.000 (SGI, 1984) in tre categorie di suolo: roccia (A), suolo rigido (B) e suolo soffice (C), definite in base a V_{s30} , e riconducibili alle corrispondenti tipologie di suoli definite dall'Eurocodice 8 (EC8; CEN, 2004). Utilizzando tale mappa dei suoli e i coefficienti moltiplicativi citati sopra, i valori di a_{max} forniti da MPS04 per suoli di categoria A, cioè al bedrock, sono stati convertiti in funzione del tipo di suolo (tab. 1). Con la stessa procedura sono state elaborate mappe delle ordinate spettrali a 0.3, 1 e 2 sec e dell'intensità di Housner. Nella mappa di fig. 12, che mostra i valori di a_{max} in funzione del tipo di suolo, circa un terzo del territorio presenta valori più elevati rispetto a MPS04, con un massimo di 0.332g in Calabria.

Tabella 1. Coefficienti moltiplicativi per PGA in base al tipo di suolo secondo l'EC8 (CEN, 2004).

Classe	PGA coeff.
A - roccia	1.0
B - suolo rigido	1.2
C - suolo soffice	1.15

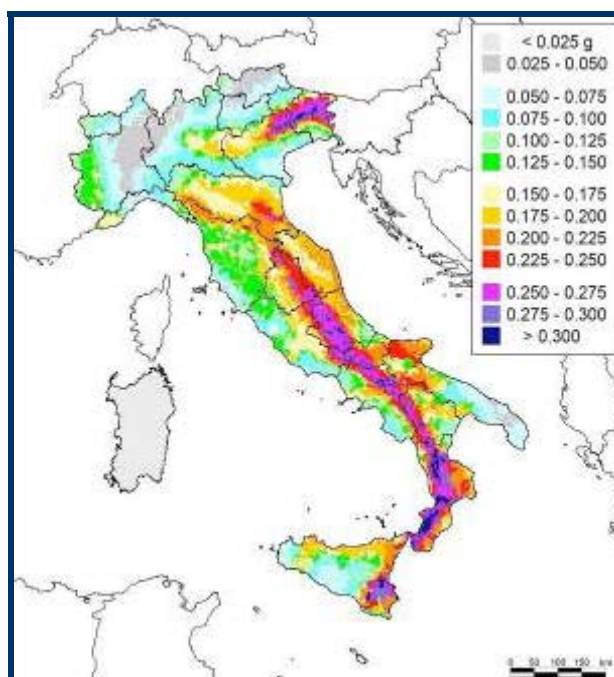


Figura 12. Mappa di a_{max} con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni in funzione del tipo di suolo.

D7. Questa attività ha due obiettivi principali:

- i) produrre mappe di pericolosità sismica in termini di intensità macrosismica con varie probabilità di eccedenza in 50 anni per l'Italia;
- ii) confrontare in via preliminare queste mappe con MPS04.

Una mappa di pericolosità sismica in termini di intensità con probabilità di superamento del 10% in 50 anni per l'Italia continentale e Sicilia è proposta da Gomez Capera (2006). Questa carta è stata ottenuta applicando la metodologia probabilistica classica ed un approccio ad albero logico che sfrutta la zonazione sismogenetica, il catalogo di terremoti e i relativi intervalli di completezza sviluppati per MPS04, insieme a tassi di sismicità calcolati in termini di intensità epicentrale (I_0) e modelli di attenuazione dell'intensità in funzione della distanza epicentrale con le relative incertezze aleatorie (Albarelo e D'Amico, 2004; Azzaro et al., 2006; Gomez Capera, 2006). In particolare Gomez Capera (2006) propone una relazione di attenuazione dell'intensità in funzione della radice cubica della distanza epicentrale, derivata dal database macrosismico DBMI04 (fig. 13). Tale relazione si compone di: i) una equazione generale valida per tutto il territorio nazionale escluse le aree vulcaniche; ii) una relazione valida per l'Etna; iii) due relazioni in funzione del meccanismo di fagliazione prevalente (normale; inverso e trascorrente).

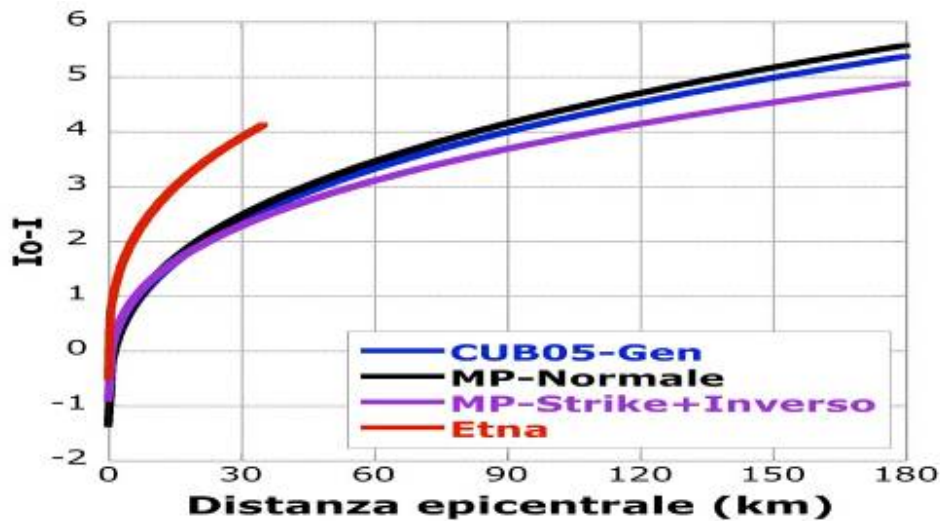


Figura 13.

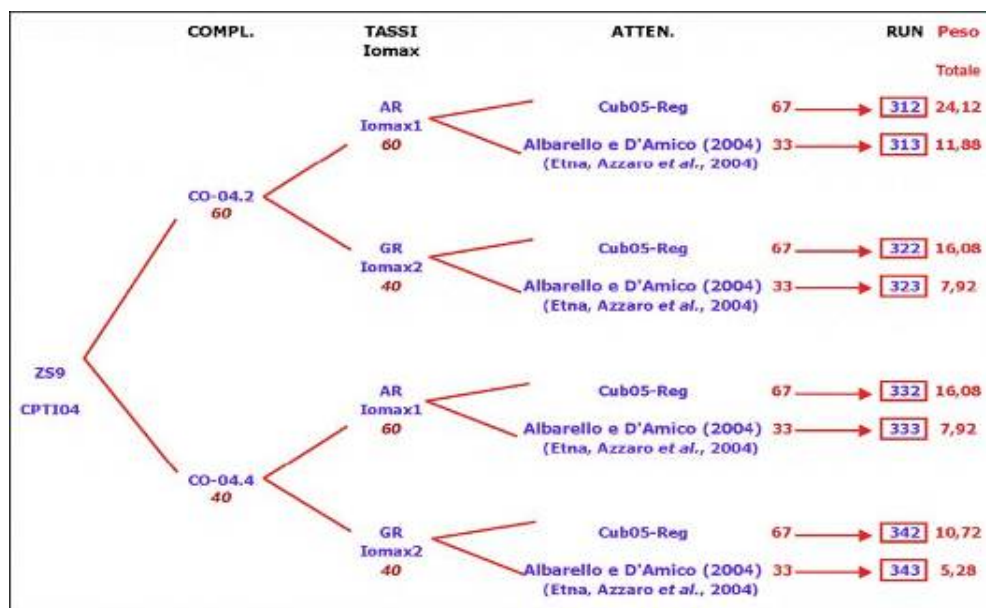


Figura 14.

Utilizzando l'albero logico mostrato in fig. 14, è stata realizzata la mappa di pericolosità proposta in fig. 15: questa rappresenta la mediana ponderata degli 8 rami dell'albero ed è corredata da mappe del 16mo e dell'84mo percentile. I valori di fig. 15 sono stati trasformati in termini di amax applicando due relazioni di conversione empiriche: una proposta da Margottini et al. (1992) e l'altra da Faccioli e Cauzzi (2006). Pesando al 50% i risultati si ottiene fig. 16. I risultati ottenuti sono stati confrontati con MPS04 al fine di valutare e comprendere le differenze principali tra i due approcci.

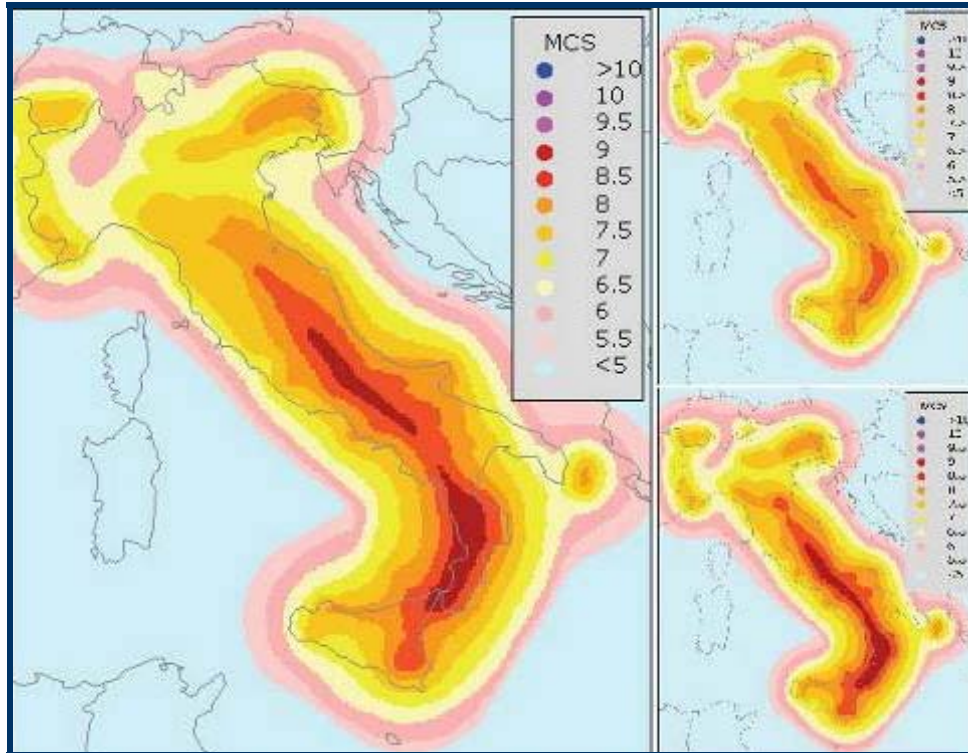


Figura 15. Mappa della pericolosità sismica valutata in termini di intensità macrosismica, con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. A sinistra mappa della mediana di 8 rami dell'albero logico; a destra: in alto, mappa del 16mo percentile; in basso, mappa dell'84mo percentile.

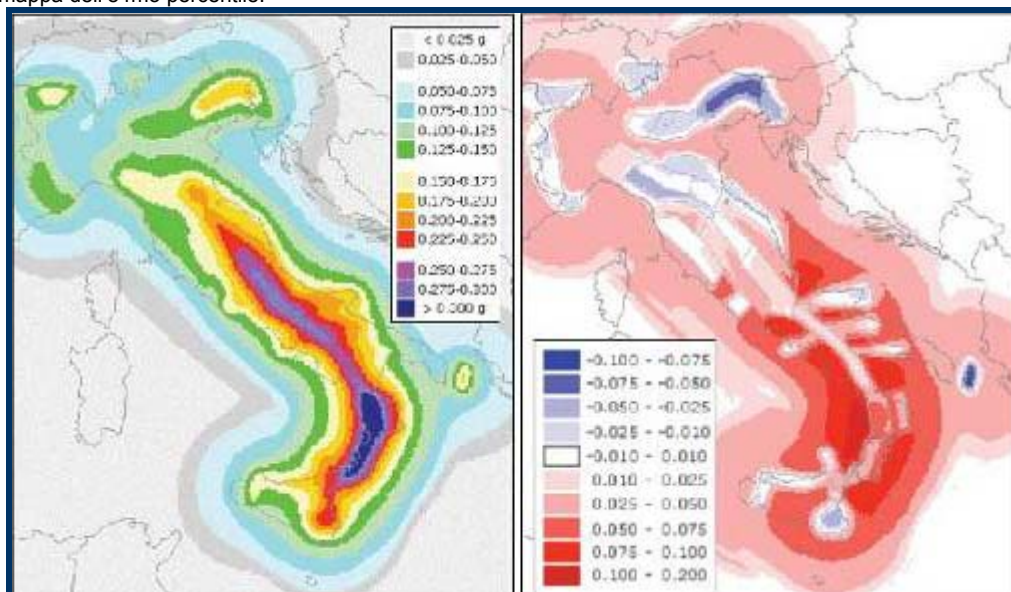


Figura 16. Mappa di fig. 15 convertita da intensità ad amax, utilizzando relazioni empiriche (sinistra); differenze tra i valori della mappa di sinistra e quelli di MPS04 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004).

D8. Il sito <http://zonesismiche.mi.ingv.it> è stato aggiornato in seguito alla pubblicazione dell'Ordinanza PCM n. 3519 del 28 aprile 2006, che rimanda espressamente a questo sito per ottenere i dati di MPS04. Oggi sono disponibili i valori di a_{max} con probabilità di superamento del 10% in 50 anni in termini di 16mo, 50mo e 84mo percentile calcolati su una griglia regolare con passo 0.05°. E' in corso la messa in linea degli stessi dati relativi ai capoluoghi comunali, ai punti di una griglia con passo 0.02°, nonché tutti i risultati dei deliverables D1, D2, D3. Una seconda parte di attività è stata dedicata allo sviluppo dell'interfaccia WebGIS per la consultazione interattiva dei dati di pericolosità sismica, in modo tale che l'utente possa interrogare e zoomare le mappe, selezionare i dati e salvarli sul proprio computer. Per identificare la migliore soluzione sono state sperimentate diverse tecnologie. Parallelamente a test eseguiti con pacchetti commerciali completi come ESRI ArcIMS (che garantiscono lo sviluppo del prodotto), sono state indagate soluzioni equivalenti nel mondo open source quali Mapserver (<http://mapserver.gis.umn.edu>), verificandone prestazioni e possibilità di configurazione/personalizzazione.

Task 2: Realizzazione di valutazioni di pericolosità sismica in termini di intensità macrosismica ed effettuazione di confronti fra MPS04 e le tali valutazioni

In questo primo anno le attività di ricerca di Task 2 sono state rivolte principalmente alla messa a punto degli strumenti di calcolo e delle procedure da utilizzare per nuove valutazioni di pericolosità sismica secondo varie strategie (approccio di sito ecc.) e la loro validazione statistica. Sono state inoltre prodotte alcune mappe preliminari di pericolosità attraverso l'approccio di sito. Il primo strumento sviluppato è quello necessario al calcolo della probabilità di superamento di un dato valore di intensità al sito sulla base delle informazioni disponibili all'epicentro o in altre località. In questo campo sono state seguite più linee di ricerca parallele i cui risultati possono essere utilizzati all'interno delle diverse strategie alternative per il calcolo della pericolosità. Una prima linea di ricerca si basa sull'uso di dati epicentrali ed è focalizzata sulla ricerca di relazioni che possano riprodurre al meglio i dati delle osservazioni macrosismiche contenute nel DBMI04 (Gruppo di Lavoro DBMI, 2005) rilasciato dal Task 4. Uno studio approfondito della letteratura degli ultimi anni con particolare attenzione alle analisi riguardanti l'area italiana (Gasperini, 2001; Albarello e D'Amico, 2004) ha messo in luce come queste non riproducano al meglio l'andamento dell'intensità con la distanza a causa dell'inconsistenza della definizione dell'intensità epicentrale e dell'incompletezza, alle basse intensità, del dataset macrosismico utilizzato. Sulla base di queste considerazioni è stata stimata una nuova relazione di attenuazione che mostra di essere stabile rispetto a possibili scelte alternative dei dettagli della procedura e meno affetta da errori sistematici nella descrizione del campo macrosismico. La relazione preferita è di tipo log-lineare:

$$I(D, I_E) = I_E + c(D-h) + d[\ln(D) - \ln(h)]$$

dove $D = (R^2 + h^2)^{1/2}$ e $I_E = I_{media} + c(h - D_{media}) + d\{\ln(h) - [\ln(D)]_{media}\}$

I_E è l'intensità attesa all'epicentro che, quando i dati macrosismici sono mancanti o insufficienti, può essere anche calcolata empiricamente in funzione di M_w o di I_0 ad esempio attraverso leggi lineari del tipo:

$$I_E = aM + bM$$

$$M_w \quad I_E = aI + bI_0$$

Al momento attuale, le migliori stime dei parametri empirici di attenuazione con la distanza, ottenute dal dataset DBMI04 depurato degli eventi in mare e di quelli delle aree vulcaniche, sono $c = -0.0086 \pm 0.0005$, $d = -1.039 \pm 0.026$, $h = 3.90 \pm 0.27$ ($s = 0.752$). Per quanto riguarda invece le relazioni tra l'intensità attesa all'epicentro e la magnitudo momento riportata su CPTI04 i coefficienti sono $aM = -3.91 \pm 0.26$ e $bM = 2.118 \pm 0.048$ ($s = 0.497$) per la magnitudo e $aI = 0.94 \pm 0.20$ e $bI = 0.888 \pm 0.026$ ($s = 0.615$) per l'intensità. La relazione di attenuazione proposta è caratterizzata da un livello di incertezza compatibile con la variabilità intrinseca del campione dei dati disponibili. Al fine di utilizzare tale relazione in modo "predittivo", nell'ambito delle procedure della stima della pericolosità sismica, occorre collegarla a una definizione della "dimensione" del terremoto (equivalente all'intensità epicentrale). A questo scopo è stata definita per ciascun evento del catalogo una stima del parametro equivalente all'intensità epicentrale da utilizzare per l'impiego della nuova legge di attenuazione e viene messa a disposizione delle diverse unità operative interessate una colonna Ms-Excel contenente la stima di IE per tutti i terremoti del catalogo CPTI04. Una seconda linea di ricerca ha esplorato la possibilità di abbandonare ogni predefinita relazione di attenuazione e regionalizzazione. In questo caso la ricerca si è sviluppata in due fasi. Nella prima fase sono state messe a confronto le modalità di attenuazione dell'intensità con la distanza per 55 terremoti distribuiti sul territorio nazionale con intensità epicentrale che varia dal VII all'XI grado. Le informazioni relative a questi eventi sono state tratte dalla base dati DBMI04. Per eseguire questa analisi sono stati definiti alcuni parametri sintetici rappresentativi del singolo terremoto. Le tipologie attenuative sono state quindi raggruppate mediante un algoritmo di analisi di agglomerazione (Cluster Analysis): scopo di questa indagine è stato quello di raggruppare zone caratterizzate dalle stesse modalità attenuative per le quali fosse possibile definire un'unica legge di attenuazione ben vincolata dalle osservazioni disponibili. Nella seconda fase della ricerca (che si svolgerà nel secondo anno della ricerca) queste leggi di attenuazione "regionali" saranno utilizzate come relazioni di attenuazione "a priori" in uno schema di tipo Bayesiano. In questo schema, la legge data "a priori" verrà adattata allo specifico campo macrosismico relativo al singolo terremoto mediante l'applicazione del teorema di Bayes e utilizzando le informazioni disponibili per quel terremoto. Con questa procedura sarà possibile ricostruire i campi macrosismici relativi a terremoti del passato scarsamente documentati. Una terza linea di ricerca è stata finalizzata alla stima delle probabilità di superamento di un dato valore di intensità al sito a partire dai valori di intensità risentiti per lo stesso terremoto in località vicine. Sono stati predisposti alcuni strumenti di calcolo; in particolare il primo di questi utilizza una tecnica numerica (nearest neighbour) per stimare

l'intensità presunta al sito dai valori di quelle osservate nelle immediate vicinanze. Dall'analisi statistica delle differenze fra i valori calcolati e quelli effettivamente osservati è possibile stimare la probabilità di occorrenza di un certo valore di intensità al sito, posto che nelle località vicine siano noti i valori di intensità per lo stesso evento sismico. Questo tipo di relazione è finalizzato principalmente alla ricostruzione delle storie sismiche utilizzate per la stima della pericolosità sismica secondo l'approccio di sito. Un secondo strumento di calcolo, utile soprattutto per il confronto e la validazione comparata delle stime di pericolosità prodotte utilizzando approcci e basi dati diverse, è un insieme di relazioni affidabili che consenta la "conversione" di stime di pericolosità espresse in termini di parametri macrosismici ad altre espresse in forma di parametri strumentali del moto del suolo (PGA, PSV ecc). La determinazione di queste relazioni ha posto una serie di problemi metodologici. Per esempio, sono note le difficoltà connesse al confronto di dati di tipo puntuale (PGA, PSV ecc.) con altri di tipo "areale" e statistico (intensità macrosismica). Inoltre, esiste il problema della mancanza di una base dati che includa sia osservazioni di tipo strumentale ben omogeneizzate e osservazioni macrosismiche ben connotate sul piano geografico. Nel primo anno di attività è stata avviata la soluzione di tale problema attraverso la costituzione di una base di dati integrata (valori di I e di PGA) che sarà messa a disposizione del progetto a metà del secondo anno. Nei mesi successivi sarà sviluppata l'analisi statistica di tali dati e verranno formulate le relazioni di conversione fra i diversi parametri di interesse. Un terzo strumento consiste in un codice di calcolo finalizzato alla stima puntuale della pericolosità sismica a partire da storie sismiche di sito. In pratica, mediante una procedura automatica vengono ricostruite le storie sismiche di sito utilizzando i dati disponibili in DBMI04. Opzionalmente, queste storie vengono integrate da valutazioni di intensità dedotte da dati epicentrali mediante opportune leggi di attenuazione utilizzate nella loro forma probabilistica completa. Sarà possibile anche utilizzare leggi di attenuazione diverse definite dall'operatore per aree specifiche (Etna). A partire da queste informazioni, il codice esegue una analisi di completezza di tipo speditivo per ciascuna località analizzata e fornisce una stima di pericolosità per ciascuna soglia di intensità. Nel secondo anno del progetto ne verrà fornita una seconda versione dotata di una agevole interfaccia utente (con menù a "tendina") che permetterà una stima della pericolosità su insiemi di località e su griglia regolare. Attraverso tale codice, durante il primo anno sono state prodotte due mappe di pericolosità sismica in termini di intensità per il territorio nazionale. La prima (fig. 17) è ottenuta utilizzando i soli dati effettivamente documentati in ciascun sito. La seconda (fig. 18) è dedotta dall'analisi di storie sismiche ottenute integrando i risentimenti documentati con quelli "virtuali", lasciando ai primi la priorità. Seguendo questo approccio sono state anche prodotte valutazioni di pericolosità sismica in termini di intensità per i siti collocati ai nodi di una griglia regolare identica a quella utilizzata per la mappa di pericolosità sismica MPS04. In questo caso, la storia sismica locale è ricostruita attribuendo a ciascun nodo della griglia il più vicino dei risentimenti documentati in DBMI04 disponibili inclusi in un intorno del punto con raggio pari alla metà delle dimensioni della griglia di riferimento. Mediante questa procedura sono state eseguite anche alcune analisi specifiche su singole località o casi particolari (isole minori della Sicilia). Le diverse carte di pericolosità ed elaborazioni puntuali sono espresse in termini di intensità massima caratterizzata

da una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni. Tutti questi elaborati utilizzano il catalogo epicentrale CPTI04 e il database dei risentimenti DBMI04 ad esso associato. Nel secondo anno queste stime saranno ripetute tenendo conto degli aggiornamenti previsti relativamente al catalogo di riferimento (CPTI06), al relativo database macrosismico (DBMI06), alle leggi di attenuazione dell'intensità macrosismica e a quelle di conversione da intensità a PGA. Utilizzando opportunamente le relazioni di conversione fra intensità macrosismica e PGA queste carte di pericolosità saranno espresse anche in termini di massima accelerazione del suolo caratterizzata da una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

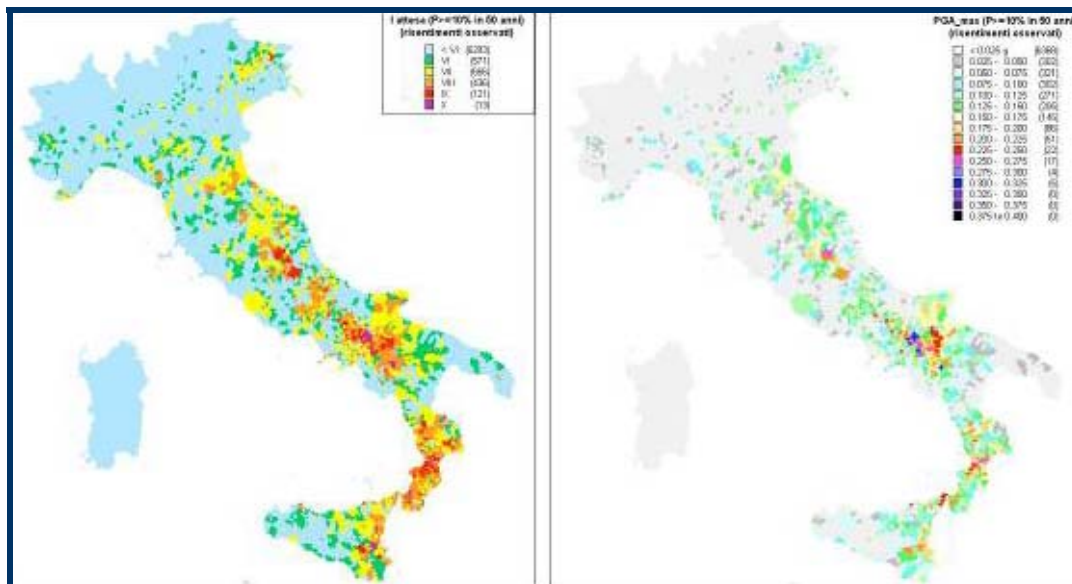


Figura 17. Pericolosità sismica calcolata utilizzando i soli risentimenti documentati al sito. A sinistra, massima intensità con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni. A destra, valori di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni ricavati dalla prima con la relazione di Margottini et al. (1992).

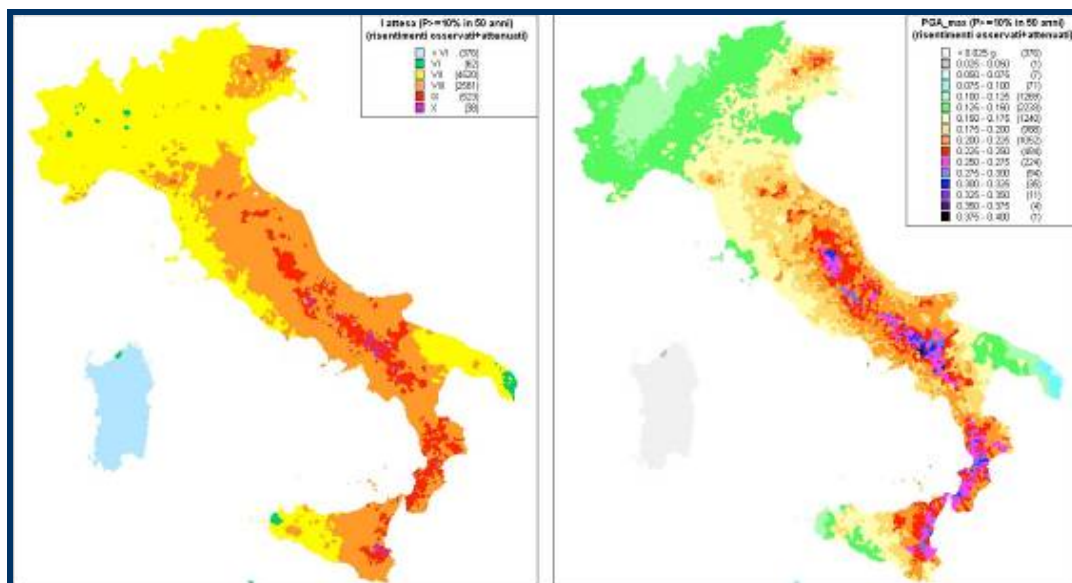


Figura 18. Pericolosità sismica calcolata utilizzando i risentimenti documentati al sito integrati da dati ricavati dalle informazioni epicentrali (CPTI04) mediante leggi di attenuazione (Albarelo e D'Amico, 2004). A sinistra, massima intensità con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni. A destra, valori di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni ricavati dalla prima utilizzando la relazione di Margottini et al. (1992).

Task 3: Contributo alla definizione di priorità di intervento per edifici non adeguati sismicamente

Questo Task ha lo scopo di fornire elementi utili alla definizione della priorità di intervento per edifici di importanza strategica non adeguati sismicamente. Attualmente non esistono metodologie consolidate, né procedure direttamente applicabili in Italia che consentano una valutazione del livello di rischio degli edifici non adeguati sismicamente e una stima dei tempi di intervento. Per questo motivo, le attività del primo anno sono state dedicate prevalentemente al consolidamento di una metodologia basata su successivi livelli di approfondimento dell'analisi della vulnerabilità sismica e della pericolosità sismica (Grant et al., 2005). Tale procedura, valida inizialmente per gli edifici scolastici, potrà essere successivamente estesa anche ad altre tipologie di edifici. L'attività del Task 3 è articolata in due filoni di analisi. Il primo, di carattere essenzialmente ingegneristico, è orientato alla definizione della vulnerabilità degli edifici, alla stima del rischio e quindi alla valutazione delle priorità. Per la valutazione accurata del livello di sicurezza occorrono informazioni precise su domanda e capacità, e la definizione delle priorità deve necessariamente prevedere successivi livelli di approfondimento per ottimizzare le risorse impiegate. Il secondo filone di ricerca, di carattere essenzialmente sismologico, ha lo scopo di introdurre elementi di pericolosità sismica coerenti con la mappa di pericolosità nazionale e con la normativa, oppure dedotti da analisi time-dependent. Il livello più semplice di definizione delle priorità è stato individuato nella classificazione degli edifici per deficit di a_{max} : la domanda è definita mediante il valore di accelerazione di a_{max} con 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni, e come capacità si è assunta la a_{max} di progetto, stimata in base alle norme vigenti nel periodo di costruzione. La distribuzione di tale parametro consente una prima classificazione degli edifici, e permette l'introduzione di una soglia per l'individuazione degli edifici su cui procedere con approfondimenti. Ai livelli successivi il rischio è valutato mediante convoluzione di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione. Un modo semplificato è rappresentato dall'utilizzo rispettivamente del valore standard di PGA, dell'indice di vulnerabilità fornito della scheda GNDT di primo livello e da un termine contenente il numero di occupanti. L'indice di vulnerabilità, sebbene fornisca una valutazione quantitativa e talora discutibile, ha il vantaggio di essere disponibile per numerosi edifici pubblici nelle aree a elevata pericolosità e di poter essere stimato mediante rilievo speditivo. In un approccio più avanzato la vulnerabilità deve essere valutata in modo quantitativo, mediante analisi strutturali semplificate. A questo proposito sono state individuate due metodologie di analisi, basate sugli spostamenti spettrali, per edifici in muratura ed in calcestruzzo armato. Il rischio viene valutato dal rapporto tra capacità, valutata con le metodologie sopraindicate sulla base di informazioni ottenibili mediante rilievo e caratterizzazione, e domanda, ottenuta da forme spettrali di spostamento ricavate da spettri in accelerazione ancorati alla PGA correggendo il rapporto per considerare la pendenza della curva di pericolosità. A questo livello, oltre ad un maggior dettaglio nella caratterizzazione delle strutture, possono essere introdotti ulteriori elementi nella definizione della pericolosità. In questa prospettiva il filone sismologico ha lavorato per estrarre in primo luogo il massimo dell'informazione dalle elaborazioni basate su modelli stazionari della sismicità e per ottenere una stima della probabilità di occorrenza di terremoti forti a breve termine. In particolare sono state utilizzate curve di pericolosità al sito, ottenute applicando lo stesso impianto

metodologico della mappa nazionale. La pendenza delle curve è uno dei parametri che concorrono alla definizione del rischio sismico e la sua influenza è stata valutata confrontando i risultati ottenuti per alcuni edifici tipo con quelli che si hanno applicando i fattori di scala contenuti nelle norme. Per alcune località del territorio nazionale sono stati calcolati scenari sismici tramite un processo di disaggregazione della pericolosità utilizzando: i) un singolo ramo dell'albero logico adottato per il calcolo della pericolosità sismica a scala nazionale, nel quale vengono utilizzati gli intervalli di completezza di tipo prevalentemente storico, i tassi di sismicità intervallari e la relazione di attenuazione di Ambraseys et al. (1996); ii) elaborazioni di pericolosità sismica in termini di PGA, corrispondenti a periodi di ritorno di 475 e 1000 anni; iii) schemi di disaggregazione M-D e M-D- ϵ . Inoltre la probabilità di occorrenza di un terremoto di $M > 5.5$ nei prossimi 10 anni è stata calcolata per ciascuna delle 36 zone sorgente di ZS9 utilizzando l'approccio sviluppato da Faenza et al. (2003). A differenza del metodo originale, i risultati sono stati normalizzati rispetto alla superficie delle singole zone sorgente per escludere l'influenza delle dimensioni delle zone stesse, e quindi del numero di terremoti. Le mappe di probabilità di terremoti così ottenute (fig. 19) possono fornire elementi time-dependent utili a guidare la definizione della priorità di intervento.

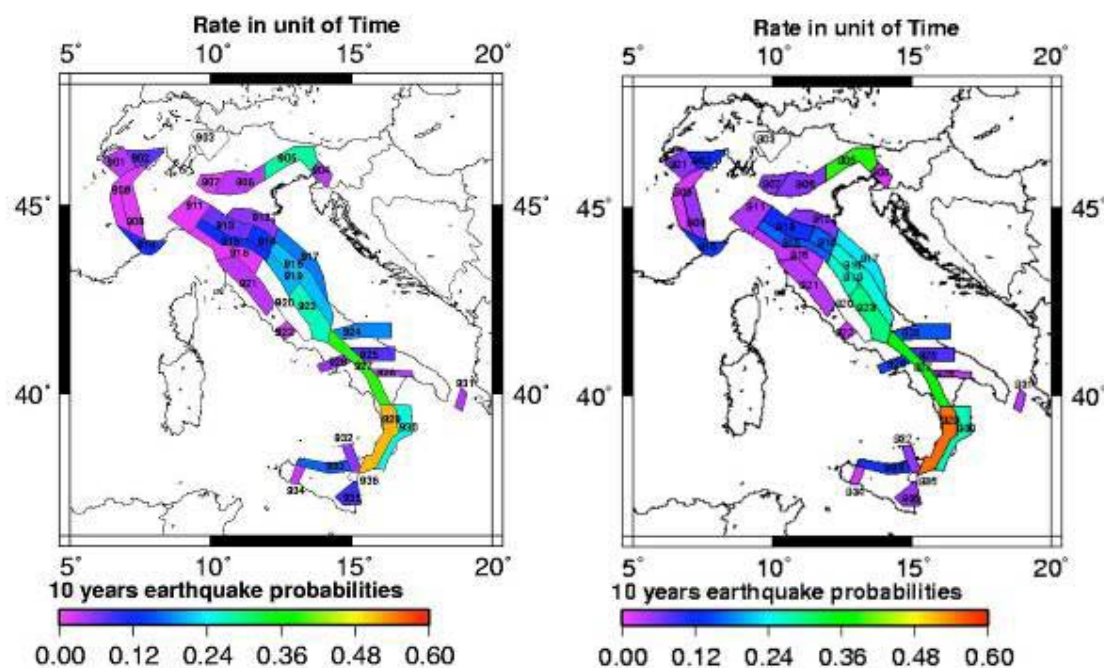


Figura 19. Mappe della probabilità di occorrenza del prossimo grande terremoto, utilizzando eventi di magnitudo maggiore di 5.5 e gli intervalli di completezza storici (a sinistra) e statistici (a destra).

Task 4: Aggiornamento dei database sismologici

Il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004), era stato prodotto nell'ambito delle operazioni per la realizzazione della mappa di pericolosità sismica MPS04. Rispetto alla versione 1999: i) era stata ricompilata integralmente la finestra 1981-1992; ii) era stata compilata ex-novo la finestra 1993-2002; iii) erano stati riquilibrati tutti i valori di magnitudo a partire dallo studio di Gasperini (2004). In particolare, per tutti gli eventi

erano stati determinati in maniera omogenea i valori di magnitudo, utilizzabili in combinazione con le relazioni di attenuazione utilizzate per la redazione di MPS04, ed erano stati rivisti i parametri dei terremoti della zona etnea. Poiché l'obiettivo principale in quella fase era la compilazione del catalogo stesso, il riordino e l'omogeneizzazione dei dati di intensità utilizzati vennero rinviati a una fase successiva, che ha avuto inizio con questo progetto. L'attività principale ha riguardato la necessità di ricondurre i dati puntuali di intensità, provenienti da studi diversi (principalmente dagli insiemi chiamati DOM, CFTI e Bollettino Macrosismico INGV) in passato mai omogeneizzati né resi disponibili insieme, a un unico riferimento geografico, in modo che una stessa località abbia sempre la stessa denominazione e le stesse coordinate. In primo luogo è stato necessario definire un riferimento geografico opportuno, sviluppando e correggendo il "Catalogo ENEL-ISTAT 71 delle località abitate italiane" del 1978 costituito da 69.055 località italiane, non privo di errori di localizzazione, di duplicazioni e di incongruenze di vario genere. Questo repertorio di località è stato poi integrato con 3.525 punti identificati e georeferenziati principalmente dai gruppi di lavoro CFTI e DOM, previa verifica accurata di sovrapposizioni, incongruenze, alternative non conciliabili e interventi di omogeneizzazione, con i medesimi criteri utilizzati per la validazione del repertorio stesso. Dopo la prima fase di associazione dei dati di intensità al riferimento geografico, sono state compiute varie analisi sull'insieme dei dati, svolte sia mediante interrogazioni mirate del database, sia attraverso l'analisi in mappa della distribuzione delle intensità per ogni terremoto. Queste analisi hanno evidenziato problemi derivanti essenzialmente da:

- i) associazione della località citata dalla fonte storica con una località omonima di quella effettiva (fig. 20);
- ii) errori nell'attribuzione delle coordinate ad una determinata località;
- iii) errori nell'identificazione di località non più esistenti o che hanno cambiato denominazione nel corso della storia.

La risoluzione di questi problemi ha richiesto la consultazione integrata di diversi strumenti geografici, quali tra gli altri la cartografia IGM (sia tradizionale sia in formato digitale attraverso il sito del Portale Cartografico Italiano, <http://www.pcn.minambiente.it/pcn/default.htm>), il database on-line Geonames (<http://gnswww.nga.mil/geonames/GNS/index.jsp>), gli Annuari generali dei Comuni e delle frazioni d'Italia (TCI, 1980-1985; 1993) e il Dizionario di Toponomastica UTET (AA.VV., 1990). In molti casi si è resa necessaria anche la consultazione della fonte storica dalla quale il dato di intensità proveniva.

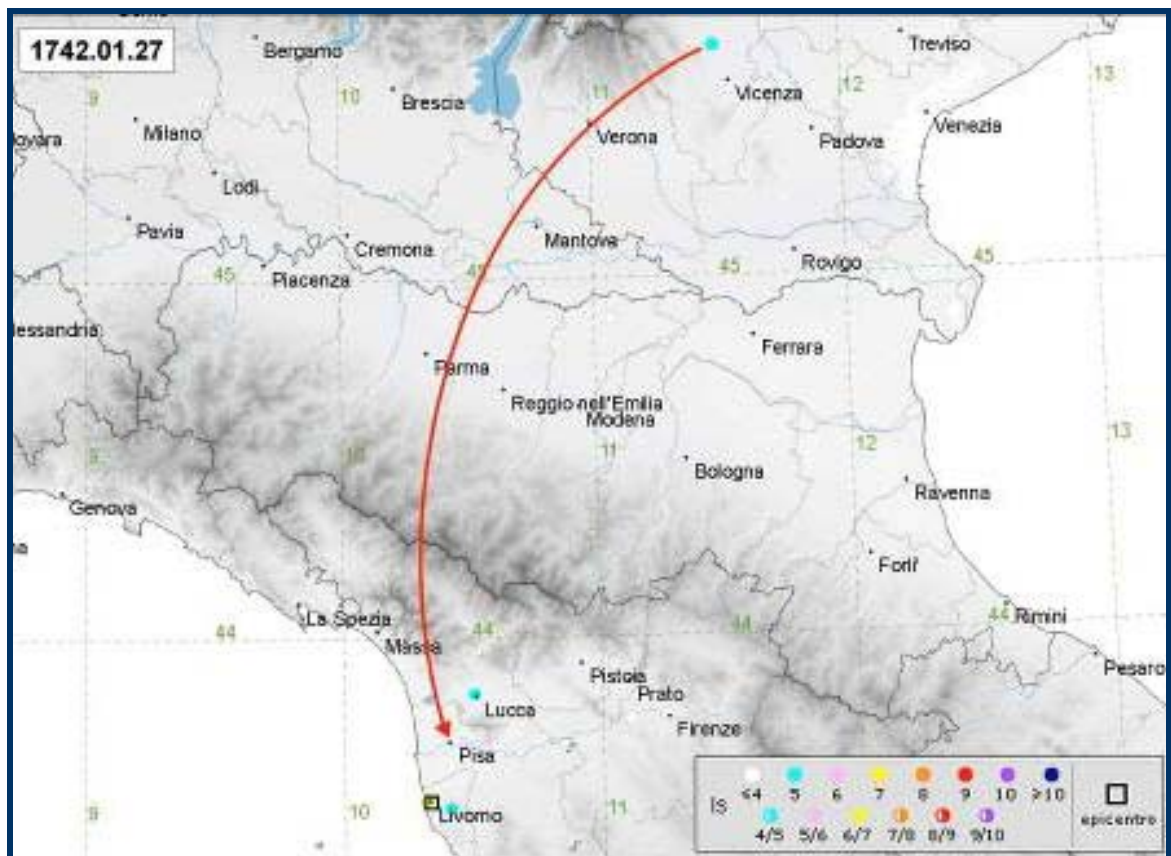


Figura 20. Esempio di correzione di una errata georeferenziazione: il risentimento a Pisa di un terremoto localizzato a Livorno era stato erroneamente assegnato alla località Pisa in provincia di Vicenza, a centinaia di chilometri dall'epicentro.

Complessivamente è stata modificata la georeferenziazione di 2276 punti di intensità (fig. 21) corrispondenti a 1630 località e ogni variazione rispetto al dato originale è stata documentata. Va precisato che questi interventi si sono limitati alla verifica e correzione della georeferenziazione della località, senza mai intervenire sulle stime di intensità. Al termine di questa fase, nel dicembre 2005 è stato rilasciato il database macrosismico unificato dei dati che sostengono CPTI04, denominato DBMI04 (Gruppo di Lavoro DBMI, 2005; versione 2004 del Data Base Macrosismico Italiano – l'anno sta a indicare la coerenza con CPTI04), ed è stato messo a disposizione del Task 2 di questo progetto. Successivamente, dato che le operazioni di omogeneizzazione effettuate sui dati confluiti nel database non erano state di lieve entità, sono state avviate alcune analisi finalizzate a verificare l'impatto di tali operazioni. Il risultato è stato che, a partire dai dati di DBMI04, per diversi eventi si determinano parametri diversi da quelli di CPTI04; pertanto, i due oggetti risultano non del tutto coerenti.

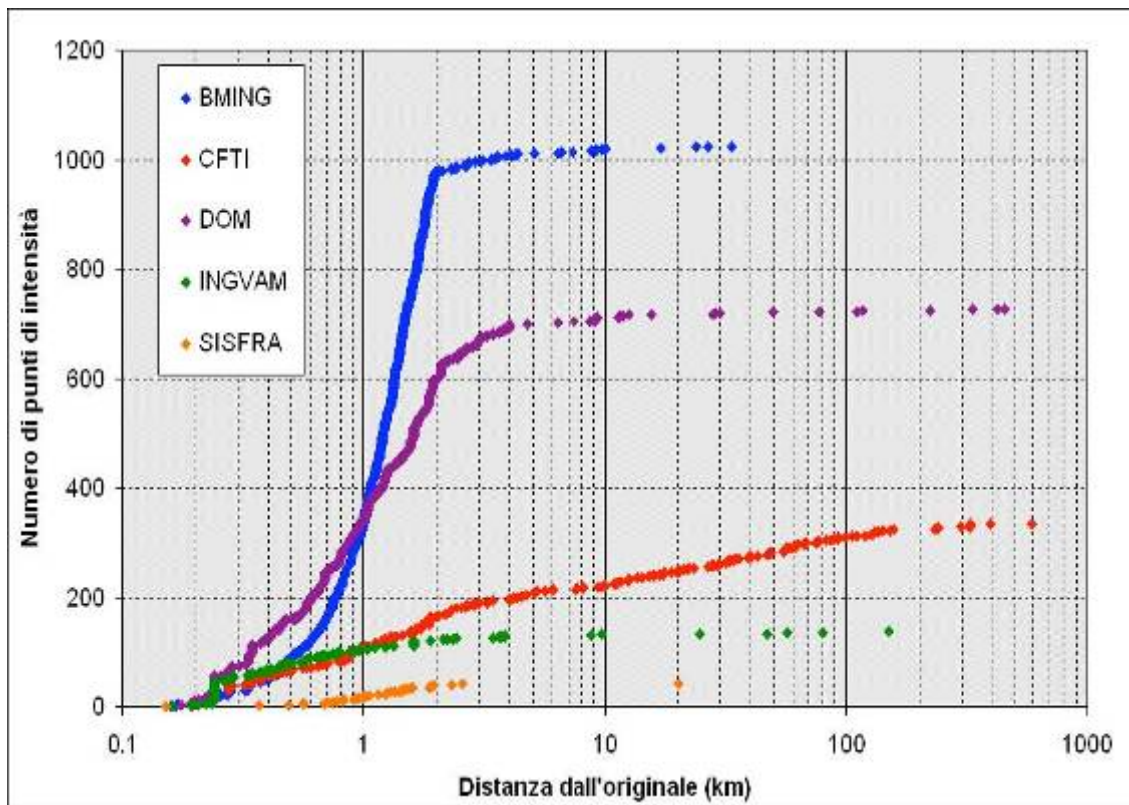


Figura 21.

Per evitare di ingenerare confusione nell'utenza, il database stesso non è stato reso disponibile al pubblico tramite l'interfaccia web predisposta e si è convenuto di accelerare la compilazione di DBMI06, che comprenderà una base di dati molto più aggiornata di quella di DBMI04, e la conseguente compilazione di CPTI06. DBMI06 comprende gli studi più recenti pubblicati fino al 2005, ed essenzialmente:

- a) la versione 3 del Catalogo dei Forti Terremoti Italiani (CFTI3, Boschi et al., 2000);
- b) il database francese SISFRANCE (SisFrance, 2002);
- c) studi monografici sulla sismicità di Catania e Bologna (Boschi e Guidoboni, 2001; 2003);
- d) studi di terremoti realizzati dalla società SGA per INGV relativamente al Molise e all'Italia settentrionale;
- e) studi di terremoti relativi ad aree (Sicilia orientale, Basilicata, Veneto settentrionale, Bassa Padana) o singoli eventi di particolare interesse realizzati da ricercatori INGV (sezioni di Milano e Catania) e SSN (Molin et al., 1999; Galli et al., 2002);
- f) altri studi storico-macrosismici disponibili in letteratura;
- g) rilievi macrosismici di terremoti recenti;
- h) bollettini macrosismici INGV relativi al periodo 1993-2005.

Complessivamente per circa la metà degli eventi considerati si dispone di uno studio più aggiornato rispetto a quello confluito in DBMI04. Gli studi che vanno a sostituire studi precedenti o

a dotare di dati di base terremoti che ne erano privi sono circa 280, e contribuiscono a DBMI06 con quasi 14.000 osservazioni. La compilazione di DBMI06, attualmente in corso e ultimata per i terremoti precedenti al 1980, ha presentato gli stessi problemi affrontati durante la compilazione di DBMI04; l'analisi e la risoluzione di questi problemi ha quindi seguito le stesse metodologie. Con l'inserimento di località nuove rispetto a quelle presenti in DBMI04, durante la compilazione di DBMI06 è stato aggiornato il riferimento geografico, portando il numero di località da 72.580 a 74.186. Come ricordato nel paragrafo precedente, DBMI06 verrà rilasciato in modo progressivo, da un sito web dedicato (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI>), con una interfaccia simile a quella di DOM rinnovata nelle funzionalità, con la disponibilità dei testi degli studi. I principali fattori innovativi rispetto alla vecchia interfaccia sono:

- i) la presenza di mappe interattive utilizzabili anche in locale;
- ii) la visualizzazione di diagrammi delle storie sismiche dinamiche (fig. 22) da cui può essere richiamato direttamente un dato terremoto;
- iii) la possibilità di esportare le tabelle in formato CSV (Comma Separated Values) o DBF.

Il lavoro si è incentrato sulla creazione e ottimizzazione del sistema di webmapping basato sul formato SVG, lo standard XML sul web per la creazione di immagini vettoriali con oggetti controllabili tramite script. Su una mappa di distribuzione delle intensità di un terremoto è ora possibile eseguire lo zoom, lo spostamento e l'identificazione delle località sia cliccando direttamente sui punti in mappa sia selezionando un toponimo dall'elenco del piano quotato. Per migliorare la ricerca delle località è ora possibile riordinare per toponimo, oltre che per intensità, la lista del piano quotato. Per quel che riguarda la versione 2006 del catalogo parametrico (CPTI06), è allo studio un formato innovativo, nel quale coesisteranno tra l'altro localizzazioni macrosismiche e strumentali; è previsto inoltre l'inserimento di un numero consistente di repliche di energia medio-alta, selezionate fra quelle dotate di una base di dati sufficientemente rappresentativa.

Eventuali difficoltà maggiori, modifiche di indirizzo, ecc.

Le difficoltà maggiori che questo progetto incontra sono legate alla natura stessa del progetto, che consiste nella prosecuzione di attività in corso all'interno di un rapporto già avviato con il DPC e che racchiude al suo interno attività time-consuming, molto disomogenee fra loro pur essendo tutte quante necessarie. Il progetto unisce attività fortemente applicative, che richiedono grande flessibilità e adattamento a dinamiche e scadenze dettate dalle amministrazioni pubbliche, a attività sperimentali che richiedono tempistiche diverse. D'altro canto va ricordato che il progetto copre un settore, quello della compilazione del database macrosismico, che richiede molto lavoro pratico, poco visibile e poco compatibile con i termini e i tempi di un progetto di ricerca. L'opera di coordinamento delle attività del progetto è risultata carente, sia per la difficoltà di unire le varie anime del progetto stesso sia, soprattutto, per l'impegno dei coordinatori sul piano dell'assistenza alle amministrazioni pubbliche. Dall'altro lato, il carico derivante dagli adempimenti di cui sopra è

D4	valutazioni sperimentali di amax corrispondenti a periodi di ritorno di 5000 e 10000 anni (<i>deliv. aggiunto, maggio 2005</i>)	12.2006	In corso di completamento le analisi su massima magnitudo da adottare e distribuzione dei residui delle relazioni di attenuazione
D5	valutazioni sperimentali di amax provenienti da un albero logico più complesso di quello adottato per la redazione di MPS04 (<i>deliv. aggiunto, maggio 2005</i>);	12.2006	Effettuati test in Italia settentrionale con diversi modelli di zone sorgente e di stima del <i>b</i> delle distribuzioni GR
D6	valutazioni sperimentali di amax e di spettri di risposta calibrate per le condizioni locali (<i>deliv. aggiunto, maggio 2005</i>);	12.2006	Classificazione del suolo in 3 categorie e applicazione di coefficienti moltiplicativi
D7	mappe di pericolosità sismica in termini di intensità macrosismica, con varie probabilità di eccedenza in 50 anni, utilizzando lo stesso impianto metodologico di MPS04	05.2006	Effettuate definendo una relazione di attenuazione differenziata per meccanismo di fagliazione e con il materiale disponibile da MPS04
D8	ampliamento del sito web per la disseminazione dei dati del progetto	04.2006	Sito web aggiornato con i dati principali di cui all'OPCM 3519. In corso di completamento interfaccia per disseminazione dati macrosismici e di pericolosità
Task2 – Valutazioni di pericolosità sismica in termini di intensità macrosismica e confronti fra MPS04 e le tali valutazioni			
D9	valutazioni di pericolosità sismica in termini di intensità macrosismica utilizzando metodi di sito	05.2006	Effettuate utilizzando storie sismiche documentate al sito e estese alle località vicine
D10	nuova formulazione delle procedure per la stima dell'intensità macrosismica da dati epicentrali o da risentimenti in zone vicine	05.2006	Formulata sulla base dei dati macrosismici aggiornati
D11	aggiornamento delle relazioni amax/l e vmax/l	10.2006	Costituzione di un database di dati strumentali e corrispondenti risentimenti macrosismici
D12	codice per il calcolo della pericolosità sismica da dati di sito (shareware)	05.2006	Realizzato codice per la valutazione delle mappe di cui al punto D9
D13	procedure per la valutazione comparativa di stime di pericolosità anche in rapporto agli osservabili disponibili	10.2006	Messa a punto dell'approccio metodologico al problema

Task3 – Contributo alla definizione di priorità di intervento per edifici non adeguati sismicamente			
D14	disaggregazione dei dati di MPS04 in termini di M-D	05.2006	Per alcune località campione valutazione per un ramo dell'albero logico e per due periodi di ritorno
D15	valutazioni sperimentali di probabilità di occorrenza dei terremoti utilizzando metodologie non parametriche applicate a zonazioni diverse	05.2006	Disponibile stima della probabilità di occorrenza di un terremoto di M>5.5 nei prossimi 10 anni in Italia nelle singole ZS
D16	strumenti speditivi per la definizione di priorità di intervento per edifici non adeguati	05.2006	Definizione del deficit di PGA per comuni e del relativo fattore di rischio
Task4 – Aggiornamento dei database sismologici			
D17	versione aggiornata 2006 del database macrosismico (DBMI06)	05.2006	Rilasciata la versione DBMI04; in corso di compilazione la versione DBMI06
D18	versione aggiornata 2006 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI06)	05.2006	Compilata la versione beta, aggiornata a tutto il 2005
D19	versione aggiornata delle stime di completezza del catalogo	12.2006	Riconsiderazione critica della metodologia
Ulteriori risultati			
D20	suggerimenti per la gestione delle fasce di tolleranza di MPS04	in progress	Fornita consulenza su questo aspetto e su molti altri
D21	suggerimenti per l'adeguamento delle azioni sismiche di progetto delle norme	in progress	Partecipazione in corso a una commissione ministeriale
D22	suggerimenti per l'eventuale aggiornamento di MPS04	07.2007	Stand by

D23	trasferimento al progetto S5 degli elementi di ingresso sismologici più aggiornati e collaborazione per la redazione delle relative mappe	07.2007	Stand by
------------	---	----------------	----------

Fattibilità delle attività previste per il secondo anno: previsioni, esigenze (versione preliminare, in caso di valutazione all'interno del progetto)

Alla luce delle vicende più recenti, già richiamate in precedenza, la fase più impegnativa di assistenza al DPC per la gestione degli adempimenti connessi con l'applicazione dell'Ordinanza PCM 3274 e dei provvedimenti susseguenti sembra in via di esaurimento, e con essa anche lo scopo principale del progetto S1. Resta da garantire nel secondo anno, la diffusione dei dati all'utenza scientifica, politica e professionali; tuttavia la fase iniziata nel 2003, di cui questo progetto rappresenta la continuazione, può considerarsi conclusa e, con essa, anche la funzione degli attuali coordinatori. La struttura attuale del progetto, caratterizzata anche da un finanziamento non molto elevato e poco concentrato sulle attività primarie del progetto stesso, non può assumersi l'onere della definizione di un modello di pericolosità sismica che costituisca, come auspicato dai revisori, un riferimento dinamico, costantemente aggiornato. Va peraltro precisato che una parte consistente dei rendiconti finanziari delle Unità di Ricerca segnalano spese non direttamente riconducibili alle attività previste dal progetto. Per quanto riguarda la continuazione delle attività, si ritiene non praticabile lo sviluppo di Task 3, introdotto peraltro a livello sperimentale e senza particolari extra-costi. Con riferimento alle attività collegate a questo Task si ritiene che: i) gli aspetti metodologici che riguardano la vulnerabilità degli edifici possano essere meglio sviluppati nell'ambito delle ricerche di ingegneria sismica; ii) le ricerche sulla probabilità di occorrenza dei terremoti possano essere ricondotte al progetto S2; iii) la disaggregazione in termini di M-D-ε non richieda ulteriori sviluppi metodologici e i relativi risultati possano essere ricondotti a Task 1. Le attività riferibili a Task 1, 2 e 4 possono proseguire, sia pure tenendo conto di quanto sopra analizzato, sotto l'ombrello di un unico progetto, oppure come tre progetti sostanzialmente indipendenti.

Riferimenti bibliografici

- AA.VV. (1990). Dizionario di Toponomastica. UTET, Torino, 720 pp.
- Albarelo, D. e V. D'Amico (2004). Validation of intensity attenuation relationships. Bull. Seismol. Soc. Amer., 95, 2, 719-724.
- Ambraseys, N.N., K.A. Simpson e J.J. Bommer (1996). Prediction of horizontal response spectra in Europe. Earthq. Eng. Struct. Dyn., 25, 4, 371-400.
- Azzaro R., M. Serafina Barbano, S. D'Amico e T. Tuvè (2006). The attenuation of seismic intensity in the Etna region and comparison with other Italian volcanic districts. Ann. Geophys., in press.
- Boschi, E. e E. Guidoboni (2001). Catania terremoti e lave dal mondo antico alla fine del Novecento. INGV-SGA, Bologna, 414 pp.
- Boschi, E. e E. Guidoboni (2003). I terremoti a Bologna e nel suo territorio dal XII al XX secolo. INGV-SGA, Bologna, 597 pp.

- Boschi, E., E. Guidoboni, G. Ferrari, D. Mariotti, G. Valensise e P. Gasperini (eds.) (2000). Catalogue of strong Italian earthquakes from 461 B.C. to 1997. *Ann. Geofis.*, 43, 4, 609-868.
- CEN (2004). European Committee for Standardisation. Eurocode 8: design of structures for earthquake resistance. Part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings, European Standard EN 1998-1: 2004 (stage 51), Brussels, May 2004, 229 pp.
- DISS Working Group (2005). Database of Individual Seismogenic Sources (version 3.0.1): A compilation of potential sources for earthquakes larger than $M 5.5$ in Italy and surrounding areas. <http://www.ingv.it/banchedati/banche.html>
- Faccioli, E. e C. Cauzzi (2006). Macroseismic intensities for seismic scenarios estimated from instrumentally based correlations. In press.
- Faenza, L., W. Marzocchi e E. Boschi (2003). A non-parametric hazard model to characterize the spatio-temporal occurrence of large earthquakes; an application to the Italian catalogue. *Geophys. J. Int.*, 155, 2, 521-531.
- Galadini, F., M.E. Poli e A. Zanferrari (2005). Seismogenic sources potentially responsible for earthquakes with $M \geq 6$ in the eastern Southern Alps (Thiene-Udine sector, NE Italy). *Geophys. J. Int.*, 161, 3, 739-762.
- Galli, P., D. Molin, F. Galadini e B. Giaccio (2002). Aspetti sismotettonici del terremoto irpino del 1930. In: Castenetto S. e M. Sebastiano (eds.), *Il "terremoto del Vulture" 23 luglio 1930 VIII dell'Era fascista*. Roma, 217-262.
- Gasperini, P. (ed.) (2004). Catalogo dei terremoti CPTI2. App.1 al Rapporto Conclusivo. In: Gruppo di Lavoro MPS (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 allegati.
- Gasperini, P. (2001). The attenuation of seismic intensity in Italy: a bilinear shape indicates dominance of deep phases at epicentral distances longer than 45 km, *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 91, 826-841.
- Gomez Capera A.A. (2006). Utilizzo dei dati macrosismici per la determinazione dei parametri delle sorgenti sismogenetiche e la valutazione della pericolosità sismica. Tesi di Dottorato di Ricerca in Scienze Geologiche e Geotecnologie per l'Ambiente e il Territorio -XVIII Ciclo, Università degli studi di Milano-Bicocca, 160pp.
- Grant, D., J. J. Bommer, R. Pinho e G.M. Calvi (2005). Defining priorities and timescales for seismic intervention in school buildings in Italy. In stampa.
- Gruppo di Lavoro CPTI (2004). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04). INGV, Bologna. <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI/>
- Gruppo di Lavoro DBMI (2005). DBMI04: il database delle osservazioni macrosismiche di supporto al catalogo CPT04. INGV, rapporto interno.
- Gruppo di Lavoro MPS (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 allegati.
- Margottini, C., D. Molin e L. Serva (1992). Intensity versus ground motion: a new approach using Italian data. *Eng. Geol.*, 33, 1, 45-58.
- Meletti, C. e G. Valensise (ed.) (2004). Zonazione sismogenetica ZS9 – App.2 al Rapporto Conclusivo. In: Gruppo di Lavoro MPS (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 allegati.

- Meletti, C., M. Stucchi e E. Boschi (2006). Dalla classificazione sismica del territorio nazionale alle zone sismiche secondo la nuova normativa sismica. In: Guzzoni D. (ed.), Norme Tecniche per le Costruzioni - Analisi e commento del DM 14/09/05. Il Sole 24 Ore, Milano, 139-160.
- Molin, D., F. Galadini, P. Galli, L. Mucci e A. Rossi (1999). Terremoto del Fucino del 13 gennaio 1915. Studio macrosismico. In: Castenetto S. e Galadini F. (eds.), 13 gennaio 1915. Il terremoto nella Marsica, Roma, 321-340 e 631-661.
- Montaldo, V. (2006). Seismic hazard and uncertainty assessment in North-Eastern Italy: comparing approaches with varied geological and seismological background. Tesi di Dottorato in Scienze Geologiche e Geotecnologie per l'Ambiente e il Territorio -XVIII Ciclo, Università degli studi di Milano-Bicocca, 145 pp. + 1 appendice.
- SGI (Servizio Geologico d'Italia) (1984). Carta geologica d'Italia nella scala 1: 500.000 – Fogli 1-5, 1976-1984. Ed. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.
- SisFrance (2002). SisFrance: histoire et caractéristiques des séismes ressentis en France métropolitaine et sur ses abords. <http://www.sisfrance.net/>
- TCI (1980-85). Annuario generale dei Comuni e delle frazioni d'Italia. Touring Club Italiano, Milano.
- TCI (1993). Annuario generale dei Comuni e delle frazioni d'Italia. Touring Club Italiano, Milano.

PROGETTO S2: VALUTAZIONE DEL POTENZIALE SISMOGENETICO E PROBABILITÀ DEI FORTI TERREMOTI IN ITALIA

Responsabili: Dario Slejko (OGS-Trieste) e Gianluca Valensise (INGV-Roma 1)

Obiettivi del progetto

Gli scopi primari del progetto S2 sono l'individuazione delle sorgenti atte a produrre terremoti potenzialmente distruttivi, convenzionalmente identificati con tutti gli eventi di M superiore a 5.5, e la stima della probabilità che tali terremoti si verifichino nel futuro. Il progetto nasce dalla consapevolezza che molti terremoti dell'ultimo ventennio, non solo in Italia, ma anche nei paesi in cui la sismologia è più evoluta, sono stati generati da faglie la cui esistenza era ignota o solo parzialmente ipotizzata. Queste circostanze hanno mostrato con chiarezza che non è possibile assegnare una probabilità di accadimento a un terremoto se prima (1) non sono state identificate in modo esauriente tutte le strutture sismogenetiche capaci di generare un evento distruttivo, e (2) non è stata stimata la velocità e l'efficienza sismica del processo di accumulo di sforzo tettonico. Per l'Italia questi passaggi sono particolarmente cruciali in quanto esistono molte aree il cui potenziale sismogenetico è sottovalutato perché ignoto (non si conoscono le faglie che esistono), e molte aree in cui, al contrario, il potenziale è sopravvalutato a causa di errori nell'identificazione di faglie o di sopravvalutazione del loro valore gerarchico e del loro slip-rate. L'identificazione di nuove faglie potenzialmente generatrici di forti terremoti e, viceversa, l'esclusione di pericolosità per alcune faglie conosciute risulta, pertanto, di rilevante impatto non solo sul piano scientifico, ma soprattutto per una efficace pianificazione delle priorità d'intervento nella riduzione del rischio sismico. A differenza di quanto avviene nelle analisi di pericolosità sismica convenzionali, dunque, questo progetto mira innanzi tutto alla esatta individuazione spaziale delle sorgenti sismiche. L'analisi si fonda sul contenuto del database di sorgenti sismogenetiche DISS e viene centrata sia su sorgenti sismogenetiche individuali ("Individual Sources", presenti già nella prima versione di DISS del 2001), sia su sorgenti areali atte a raccogliere nel loro interno un sistema di faglie omogenee dal punto di vista sismogenetico ("Seismogenic Areas" introdotte con DISS 3 nel 2005). Poiché le conoscenze sulla sismogenesi non sono della stessa qualità per tutta la penisola, un primo importante obiettivo del progetto consiste nell'indirizzare la ricerca verso le zone meno comprese e riequilibrare così il contenuto del database. L'obiettivo immediatamente successivo è quello di inserire le conoscenze già disponibili e di nuova acquisizione in uno schema geodinamico unitario che, attraverso misure dirette di deformazione e ipotesi modellistiche, consenta di omogeneizzare ulteriormente il quadro delle conoscenze. Ogni sorgente (faglia quando possibile, altrimenti sorgente areale) può così essere caratterizzata in termini di terremoto massimo atteso e di sismicità minore associata, e, per le situazioni meglio documentate, può essere espressa la probabilità che tale terremoto massimo si verifichi nel prossimo trentennio. L'obiettivo ultimo del progetto è quello di elaborare stime di probabilità di occorrenza per forti terremoti sul territorio italiano e di contribuire ad ottenere stime di pericolosità sismica del territorio nazionale basate su dati, parametri e concetti innovativi. S2 rappresenta pertanto un passaggio propedeutico alla realizzazione di carte di pericolosità sismica di nuova generazione, compito del progetto S1. Il

progetto S2 fornisce inoltre dati di ingresso essenziali sia per il calcolo di scenari deterministici, attività svolta dal progetto S3, sia per valutare l'azione sismica mediante ordinate dello spettro di risposta dello spostamento, obiettivo del progetto S5.

Stato di avanzamento del progetto: aspetti generali

Il progetto S2 mira a stimare la probabilità di accadimento di forti terremoti in Italia. Si tratta di un obiettivo molto ambizioso e di avanguardia che per essere conseguito richiede le migliori informazioni geologiche e geofisiche disponibili sull'intero territorio nazionale. Questi aspetti hanno motivato l'attivazione di un numero molto elevato di UR. A prescindere da quelli che saranno i risultati finali, due sono le sfide che sono state lanciate:

- a) è possibile acquisire in un tempo relativamente breve nuove informazioni geologiche utili per un deciso salto di qualità nella caratterizzazione della sismogenesi in Italia?
- b) è possibile introdurre un'informazione geodetica globale (a livello nazionale) nei calcoli di pericolosità sismica?

Alla fine del primo anno di attività siamo fiduciosi di poter dare a fine progetto risposta affermativa ad ambedue le sfide. Importanti informazioni geologiche sono, infatti, già emerse e consistenti miglioramenti sono attesi verso una conoscenza esaustiva delle sorgenti dei forti terremoti in Italia. Per quanto riguarda l'utilizzo dei dati geodetici, la stima del tasso di deformazione sul territorio nazionale tramite modellazione fisica calibrata sulle osservazioni geodetiche ha permesso, già in questa fase del progetto, di avere degli esempi di valutazione della probabilità di occorrenza di forti terremoti su alcune specifiche faglie. E' chiaro che la strada è ancora lunga e tortuosa perché bisogna ancora calibrare al meglio alcuni parametri cruciali, come il rapporto fra la componente di deformazione sismica e quella asismica e il rapporto tra le componenti orizzontale e verticale della deformazione. Inoltre, resta ancora da decidere quale sia la metodologia più efficace per stimare il tasso di produzione di terremoti all'interno delle aree sismogenetiche a partire dal tasso di deformazione calcolato. Un risultato certamente positivo raggiunto da S2 è stato l'aver fatto interagire ricercatori di discipline diverse che spesso nel passato avevano operato separatamente. I quattro task, infatti, raccolgono competenze profondamente differenziate: semplificando molto, si passa dall'informatica alla geologia, dalla geodesia alla geofisica d'esplorazione, dalla tettonofisica alla statistica. La partecipazione dei responsabili di task a tutte le riunioni indette da S2 ha determinato la loro immersione nel problema globale del progetto. A questo possiamo aggiungere che, a differenza del passato, anche la maggioranza delle UR ha operato nella piena consapevolezza della natura applicativa del progetto e quindi delle caratteristiche del risultato atteso. Un valido esempio di collaborazione tra task diversi è l'elaborazione di scenari di grandi tsunami, che ha beneficiato di una stretta interazione tra la UR 1.1 Basili, che svolge un lavoro di sintesi di dati geologici tettonici a grande scala, e la UR 2.19b Piatanesi, che utilizza una tecnica alle differenze finite per simulare la generazione, la propagazione e l'impatto delle onde di tsunami. Questo ha consentito di coniugare le migliori conoscenze di sintesi su sorgenti sismogenetiche

estese dell'area mediterranea con competenze di livello mondiale nel settore della simulazione degli tsunami. Anche nell'ambito dello stesso task vanno segnalate interessanti collaborazioni interdisciplinari, come ad esempio quella fra l'UR 2.15 Scandone, con competenze geologico-stratigrafiche, e l'UR 2.16 Siniscalchi, specializzata in geofisica di esplorazione. La collaborazione mira alla verifica del modello crostale dell'avampaese apulo sulla base di dati magnetotellurici, e porta un contributo importante alla comprensione dei fenomeni sismogenetici in un settore della penisola ritenuto pressoché asismico fino a pochi anni fa. Collaborazioni più strette delle attuali sono previste fra S2 e gli altri progetti nel corso del secondo anno, sulla base dei risultati presentati da S2 stesso nel primo anno. L'esempio più ovvio è la possibilità di considerare le "Seismogenic Areas" elaborate nell'ambito di DISS quale dato di ingresso per la realizzazione delle mappe di pericolosità sismica nazionale che verranno prodotte dal progetto S1, pur se nell'ambito dell'approccio sismotettonico standard (processo poissoniano con sorgenti estese).

Task 1 (a cura di R. Basili, INGV - Sezione di Roma 1)

Il Task 1 è rappresentato da tre UR le cui attività sono strettamente interconnesse dal punto di vista logico ma relativamente indipendenti dal punto di vista operativo. Ciò è reso possibile dal fatto che le tre UR svolgono tutte attività già lungamente sperimentate e collaudate. Il compito principale delle tre UR in questo progetto consiste principalmente nell'incrementare e ottimizzare le banche dati utilizzate all'interno del progetto in altri task e, come obiettivo conclusivo, realizzare una banca dati unitaria. Gli obiettivi delle tre UR consistono sinteticamente in:

- aggiornamento e ottimizzazione del sistema DISS e delle sorgenti sismogenetiche basate su dati geologico-geofisici (a cura della UR 1.1 Basili);
- aggiornamento del codice Boxer e della banca dati di meccanismi focali EMMA (a cura della UR 1.2 Gasperini);
- aggiornamento delle sorgenti sismogenetiche basate su dati macrosismici utilizzando il codice Boxer e una versione aggiornata della banca dati macrosismica (a cura della UR 1.3 Albini).

Alla fine del primo anno, i risultati ottenuti nell'aggiornamento della banca dati si possono quantificare come segue:

- incremento delle sorgenti sismogenetiche individuali di circa il 20%;
- incremento delle sorgenti sismogenetiche areali di circa il 50%;
- incremento della consistenza del database EMMA di circa il 27%;
- acquisizione del database macrosismico DBMI04 e riprocessamento delle sorgenti macrosismiche con una versione esistente del codice Boxer (v. 3.3).

Va precisato che l'incremento nel contenuto in sorgenti sismogenetiche è stato ottenuto solo in piccola misura con i risultati del Task 2, che saranno compiutamente disponibili solo durante il secondo anno del progetto. Viceversa, hanno contribuito fortemente a questo incremento dati

messi a disposizione da ricerche già in corso, progetti conclusi in ambito INGV-GNDT, convenzioni con enti locali e attività di ricerca finanziate da altri soggetti. In particolare:

- per diverse zone d'Italia, tra cui l'Appennino meridionale, la Pianura Padana e l'Italia centrale, sono state utilizzate informazioni acquisite nel corso del progetto INGV-GNDT "Terremoti probabili in Italia tra l'anno 2000 e il 2030: elementi per la definizione di priorità degli interventi di riduzione del rischio sismico", coordinato da A. Amato e G. Selvaggi (2000-2004).
- Per il settore nord-orientale del territorio nazionale si è provveduto ad elaborare e a rendere nel formato proprio del database DISS l'informazione sulla sismogenesi acquisita nel corso del progetto INGV-GNDT "Scenari di danno nell'area veneto-friulana", coordinato da M. Ruscetti (2000-2004) (Galadini et al., 2005). Tale attività, svolta in collaborazione con la UR 2.8, ha portato al tracciamento di undici sorgenti individuali e di alcune sorgenti areali potenzialmente responsabili di terremoti con $M \geq 6.0$, collocate al margine settentrionale della pianura veneto-friulana e cinque sorgenti minori responsabili di terremoti con M compresa tra 5 e 6 e collocate sia al margine che nei settori più interni dell'edificio alpino.
- Per il settore marchigiano sono stati integrati in DISS i risultati dello "Studio delle sorgenti sismogenetiche potenzialmente pericolose e degli effetti attesi a seguito di eventi sismici lungo la fascia costiera marchigiana" – una convenzione finanziata dalla Regione Marche (2003-2005; Basili et al. [2005]).
- Per la Toscana sono stati utilizzati anche i risultati della convenzione "Definizione dello stato delle conoscenze in materia di pericolosità sismica del territorio regionale, con approfondimento su elementi e aree particolari", finanziata dalla Regione Toscana (2003-2004; Meletti et al. [2004]).
- Per l'Appennino meridionale sono stati utilizzati i risultati del progetto MIUR-FISR "Diagnostica e salvaguardia di manufatti architettonici con particolare riferimento agli effetti derivanti da eventi sismici ed altre calamità naturali" (2002-2005).

Le principali attività da sviluppare nel corso del secondo anno sono le seguenti:

- riprocessare le sorgenti macrosismiche con la versione aggiornata e collaudata del codice Boxer (V. 4), inclusa l'analisi di congruenza (si vedano la Tab. 1 e la Fig. 2 della relazione dell'UR 1.3 Albini) dei parametri geometrici su tutto il territorio nazionale, e incorporare i nuovi livelli informativi in DISS. Per quest'ultimo aspetto sarà inoltre necessario adeguare la struttura delle tabelle ai nuovi risultati ove necessario e completare la documentazione di supporto allegata alle singole sorgenti.
- Elaborare livelli tematici utilizzando il database dei meccanismi focali EMMA allo scopo di fornire agli utilizzatori di DISS una sintesi delle conoscenze sulle orientazioni degli assi di sforzo derivabili da terremoti strumentali. La Fig. 1 mostra un esempio di integrazione dei dati EMMA con dati DISS.

- Elaborare nuovi livelli tematici utilizzando i risultati di altri task: in particolare le stime di slip rate e strain rate prodotte dalla UR 3.1 Barba.
- Incorporare in DISS i dati geologici acquisiti dal Task 2, anche tenendo conto delle informazioni che emergono dalle elaborazioni svolte dalle UR 1.2 Gasperini e 1.3 Albinisia su sorgenti individuali sia su sorgenti areali. Si veda la relazione del Task 2 per una indicazione sulle aree per le quali sono attesi miglioramenti significativi del contenuto informativo.

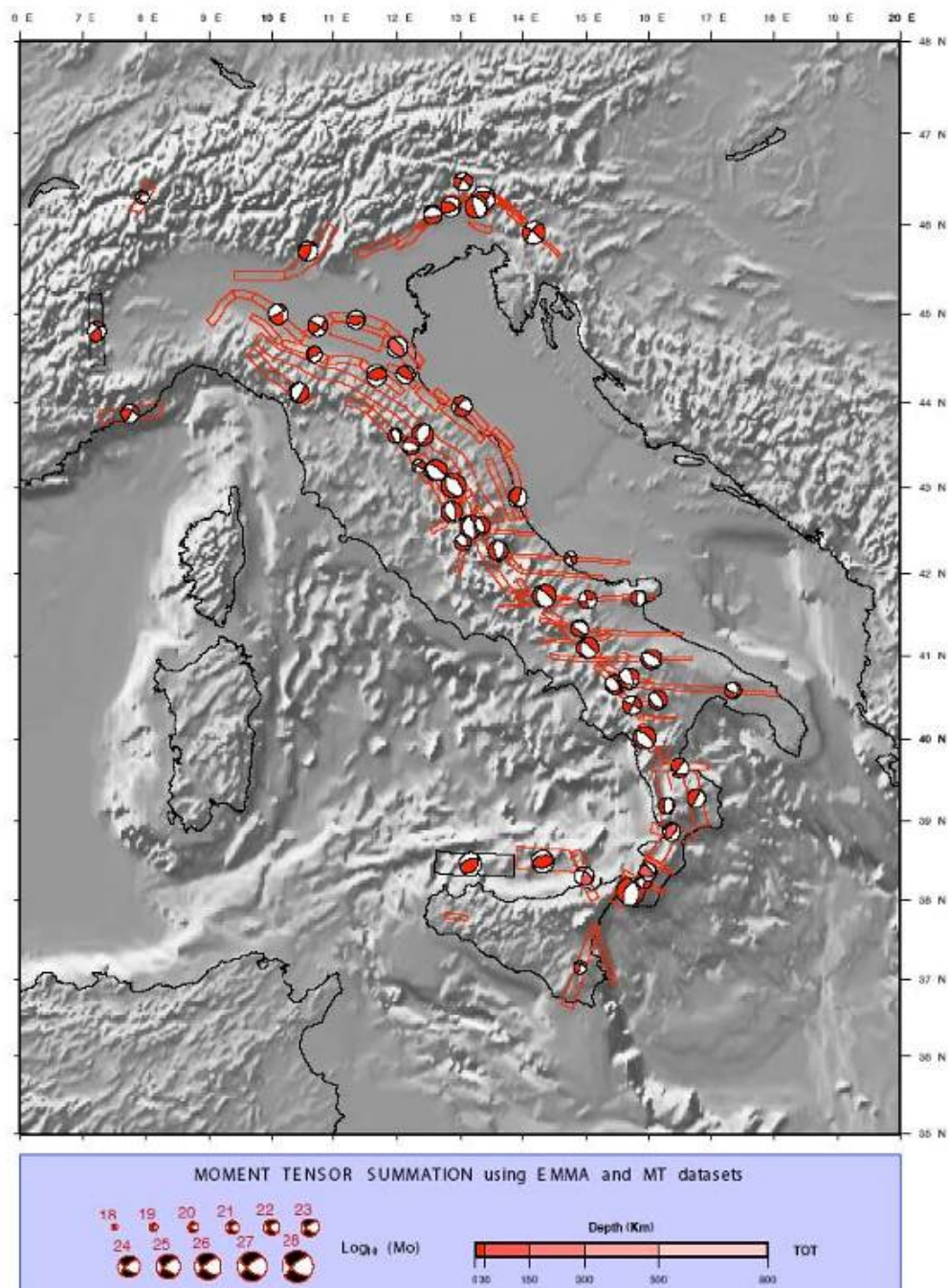


Figura 1. Meccanismi focali medi calcolati a partire dal database EMMA (Vannucci et al. [2004], e successivi aggiornamenti) per le 89 sorgenti sismogenetiche areali di DISS 3.0.1.

Task 2 (a cura di F. Galadini, INGV - Sezione di Roma 1)

Il confronto tra le schede di rendicontazione delle UR afferenti al Task 2 e quelle prodotte in sede di preventivo evidenzia in generale un buon accordo tra attività previste e stato di avanzamento. Il primo anno di attività può essere considerato soddisfacente sotto vari punti di vista. Anzitutto, la prevista fase di acquisizione ha portato nuovi dati la cui elaborazione garantirà quell'incremento atteso nelle conoscenze sulle caratteristiche sismogenetiche di numerose aree del territorio nazionale, delineate sinteticamente in Fig. 2. Le Figg. 3, 4, 5 e 6 presentano una selezione di risultati di particolare interesse, di sicura rilevanza per gli scopi del progetto e conseguentemente di forte impatto per le valutazioni di pericolosità sismica. Un ulteriore aspetto positivo dell'attività fin qui svolta è da individuarsi nella evidente calibrazione delle ricerche sullo scopo progettuale di S2. Molte delle ricerche sono state condotte seguendo lo schema delineato con DISS, ovvero avendo come obiettivo immediato l'indagine della sorgente di un grande terremoto, e solo in seguito estendendo l'indagine geologica alle aree circostanti. Infine, sembra opportuno sottolineare il fatto che nel settore con maggiore densità di indagini in corso (ed evidenti sovrapposizioni di UR su medesime aree, o contiguità delle aree di indagine per diverse UR), vale a dire in Italia meridionale, l'integrazione, la discussione ed il confronto tra i vari gruppi di ricerca è stato continuo e costruttivo.

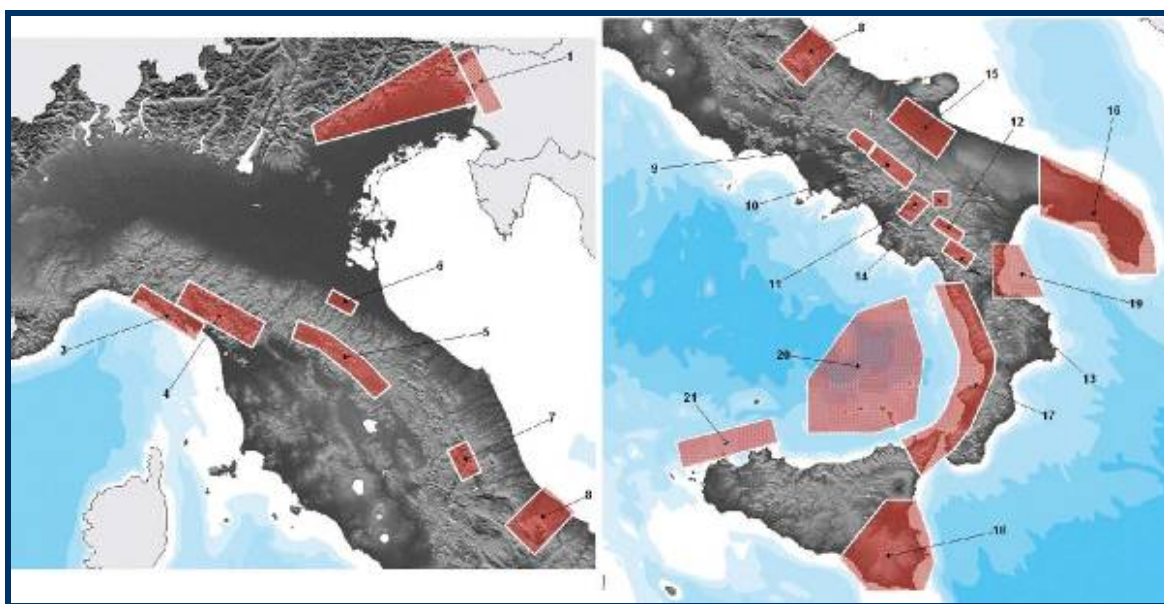


Figura 2. Aree indagate nel corso del primo anno di attività del Progetto S2.

In base a quanto esposto, è evidente che l'attuale rendicontazione rappresenta in pieno uno stato dell'arte di medio termine del progetto. Infatti, anche se alcuni dei risultati presentatisono pressoché definitivi – e alcuni già in corso di sottomissione per la pubblicazione – la gran parte di essi verranno consolidati solo nel corso del secondo anno. Per comodità di lettura, il presente rendiconto è stato diviso in tre capitoli principali e numerosi sotto-capitoli. Si è ritenuto opportuno, infatti, distinguere le ricerche sulle sorgenti a terra da quelle sulle sorgenti a mare e da quelle sui maremoti, per ovvie differenze nelle procedure di acquisizione e analisi dei dati. Le indagini

condotte e i dati acquisiti sono necessariamente presentati in forma sintetica. Il dettaglio sull'attività svolta è derivabile dalle singole schede di UR.

INDAGINI SU SORGENTI SISMOGENETICHE A TERRA

Studi a carattere geologico-geomorfologico

In questa categoria possono essere inserite le seguenti ricerche in corso:

- Nel settore di confine italo-sloveno (1 in Fig. 2), lungo la cosiddetta faglia di Idrija e sui thrust vicarianti S-vergenti tra Kobarid e Bovec, le indagini sul campo sono state indirizzate all'individuazione delle sorgenti dei terremoti del 1511 e del 1998 (UR 2.8 Galadini). Evidenze di tettonica recente sembrerebbero riferibili ai settori più settentrionali dell'area indagata, ed in particolare al bacino di Bovec, caratterizzato da notevoli spessori di depositi quaternari e bordato da una evidente scarpata di faglia (legata ad un thrust ca. E-W).
- Nell'area della Maiella (8 in Fig. 2), le ricerche sono volte alla definizione delle sorgenti sismogenetiche dei terremoti del 1706 e del 1933 (UR 2.8 Galadini e UR 2.14 Pizzi). L'elemento di novità è rappresentato dall'identificazione di una faglia, con direzione ca. N120, che costituisce il proseguimento sud-orientale della faglia del Monte Morrone interessando l'alta valle del fiume Vella e che taglia l'edificio strutturale della Maiella nel settore più meridionale. L'attività recente della faglia in questione è suggerita dalla dislocazione di depositi di versante probabilmente riferibili al Pleistocene superiore finale. L'importanza di questa nuova osservazione risiede nel fatto che potrebbe trattarsi del primo esempio documentato di una struttura di raccordo tra le faglie estensionali appenniniche e le strutture profonde E-W che caratterizzano l'avampaese apulo.
- Nella valle del Tammaro (9 in Fig. 2), sono in corso studi per la definizione della sorgente del terremoto del 1688 (UR 2.4 Burrato e 2.20 Zuppetta). Lo studio geomorfologico mediante fotointerpretazione e l'analisi geomorfico-quantitativa su DTM a 20 m hanno portato alla elaborazione di una mappa di indizi di attività recente. Si tratta di un settore particolarmente problematico, in cui a un forte livello di sismicità fa riscontro una assoluta povertà di evidenze superficiali dirette della fagliazione recente.
- Nella valle dell'Ufita (10 in Fig. 2) le indagini puntano alla definizione della sorgente del terremoto del 1732 (UR 2.4 Burrato), anche in rapporto alla sorgente del terremoto del 1930. È stata elaborata una carta geomorfologica ed esplorata e mappata in dettaglio una scarpata ai piedi del versante destro della valle, comunemente attribuita all'attività di una faglia pendente verso SW.
- Lungo il sistema di faglie Alburni-Pantano di S. Gregorio-Melandro-Pergola (11 in Fig. 2) le indagini in corso propongono un modello regionale di tettonica distensiva basato sulle caratteristiche delle geometrie di superficie e di sottosuolo (reinterpretazione CROP04), su diverse faglie e sulle evidenze di attività tardo-pleistocenica (UR 2.10 Lavecchia). Il nuovo modello evolutivo, simile a quello della Faglia Alto-Tiberina, potrebbe avere un forte impatto sull'interpretazione della tettonica attiva di tutto l'Appennino meridionale.

- Nella Val d'Agri (12 in Fig. 2), le ricerche sono finalizzate alla caratterizzazione della sorgente del terremoto del 1857 (UR 2.4). In questo settore sono stati effettuati rilievi di campagna propedeutici ad analisi paleosismologiche lungo l'emergenza della Faglia dei Monti della Maddalena.
- Nel bacino del Mercure (13 in Fig. 2), sono in corso indagini volte alla definizione della sorgente sismogenetica della sequenza del 1998 (UR 2.10 Lavecchia), con rilevamenti geologici ad hoc nell'area epicentrale ed analisi morfotettonica sviluppata anche tramite la costruzione di modelli digitali del terreno alla scala 1:5.000.
- Nell'area salentina (16 in Fig. 2), le ricerche in corso sono volte all'individuazione di tracce geomorfologiche e strutturali riconducibili all'attività di sorgenti a direzione E-W (UR 2.4 Burrato e 2.11 Mastronuzzi). In questa prospettiva sono state condotte indagini strutturali alla mesoscala, nei settori della costa salentina dove i depositi tirreniani (o più recenti) mostrano evidenze di deformazione fragile. Inoltre, sono stati effettuati rilevamenti delle superfici terrazzate marine, in particolare quelle che individuano la linea di riva dell'ultimo massimo trasgressivo interglaciale (stadio isotopico 5.5), che hanno permesso di aggiornare e dettagliare le conoscenze relative ai movimenti negli ultimi 125ka. Il nuovo dataset conferma che i massimi sollevamenti sono identificabili nella zona di Taranto (fino a 0.22 mm/anno); i sollevamenti decrescono sino ad azzerarsi verso l'estremo meridionale del Salento. Infine sono stati effettuati rilevamenti strutturali in numerose cavità carsiche della Murgia meridionale a cavallo della Soglia Messapica, che hanno permesso di individuare evidenze di almeno tre fasi deformative distinte; la prima sarebbe stata caratterizzata da cinematica normale con una probabile componente transtensiva sinistra; avrebbe quindi fatto seguito una nuova attivazione normale; la fase più recente sarebbe stata caratterizzata da transpressione sinistra.
- Nel settore ibleo (18 in Fig. 2 e Fig. 5), ed in particolare lungo il Graben Scordia-Lentini e la Linea di Scicli, ed inoltre lungo la Valle del Fiume Tellaro, nuovi rilievi geologico-strutturali hanno permesso di riconoscere un'imponente zona di taglio di età plio-pleistocenica orientata circa N130 (UR 2.5 Catalano). Lungo tutti i lineamenti tettonici analizzati sono stati riconosciuti gli effetti di una prolungata evoluzione sotto il controllo di un regime tensionale incompatibile con i dati sismologici, geodetici e con le misure di stress in situ disponibili per l'area, seguita da un'inversione tettonica tardo-quadernaria, determinata dalla riattivazione delle strutture con movimenti coerenti con il regime tensionale oggi attivo.

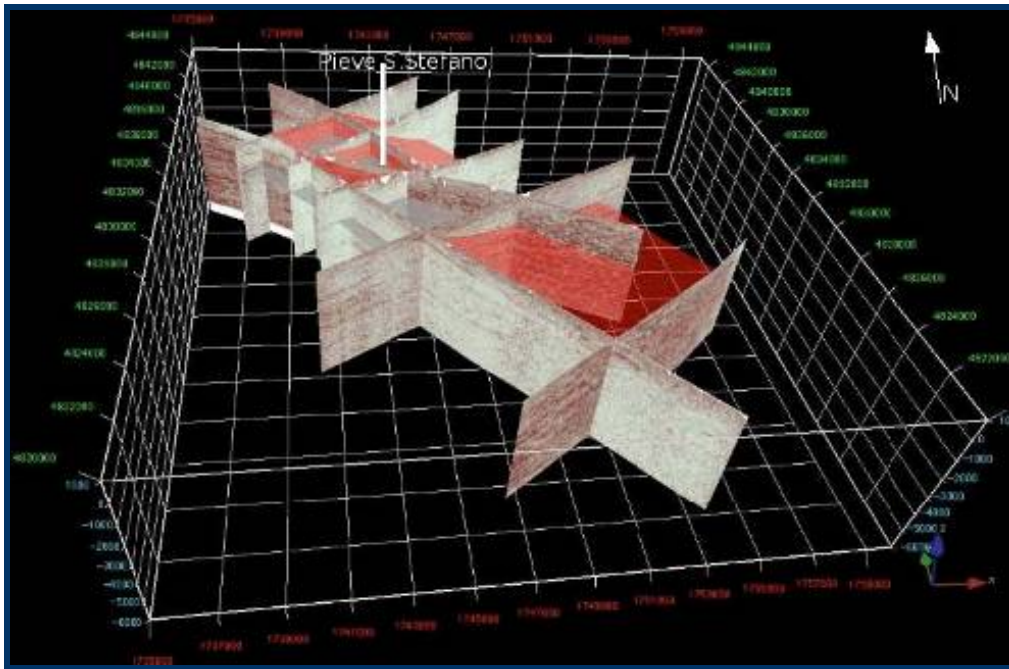


Figura 3. Ricostruzione tridimensionale della faglia Alto Tiberina (in rosso) e del basamento (in grigio) nell'area di Sansepolcro, tarati su profili sismici commerciali, sul pozzo Pieve S. Stefano e sul profilo Crop03. L'indagine, condotta dalla UR 2.3 Barchi, documenta il proseguimento verso NW della faglia Alto Tiberina fino al bacino del Casentino, dove non si registra sismicità storica significativa, mentre la UR 2.15 Scandone ha documentato una struttura di geometria analoga al di sotto della Lunigiana. Entrambe le evidenze supportano l'esistenza dell'Etrurian Fault System, un sistema estensionale con faglie pendenti verso NE esteso dalla Liguria all'Umbria.

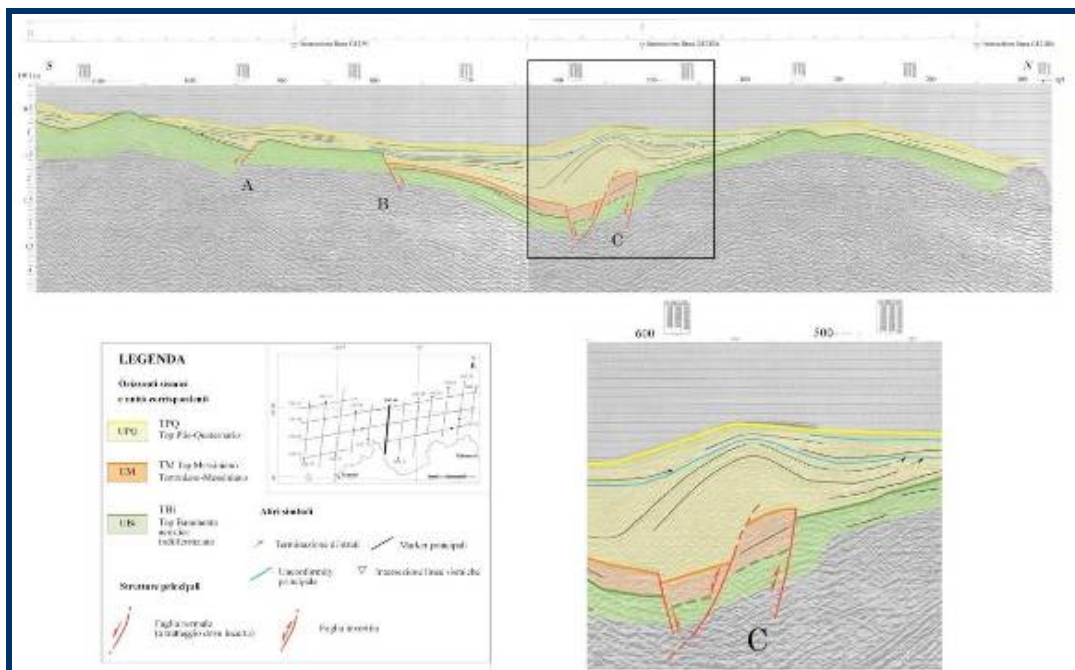


Figura 4. Strutture di inversione tettonica offshore nella zona compresa tra il Canyon di S. Vito e il bacino di Palermo. Le strutture sono attribuibili a faglie orientate ENE-WSW e pendenti verso sud. Sebbene non siano disponibili dati stratigrafici che consentano un'affidabile taratura degli orizzonti interpretati, criteri sismo-stratigrafici e la geometria degli strati di crescita associati alla struttura principale suggeriscono un'attivazione dei processi d'inversione almeno nel corso del Pleistocene. La morfologia positiva del fondo mare al di sopra della struttura d'inversione, associata alla geometria degli strati di crescita, può essere considerata indicativa di una sua attività anche molto recente.

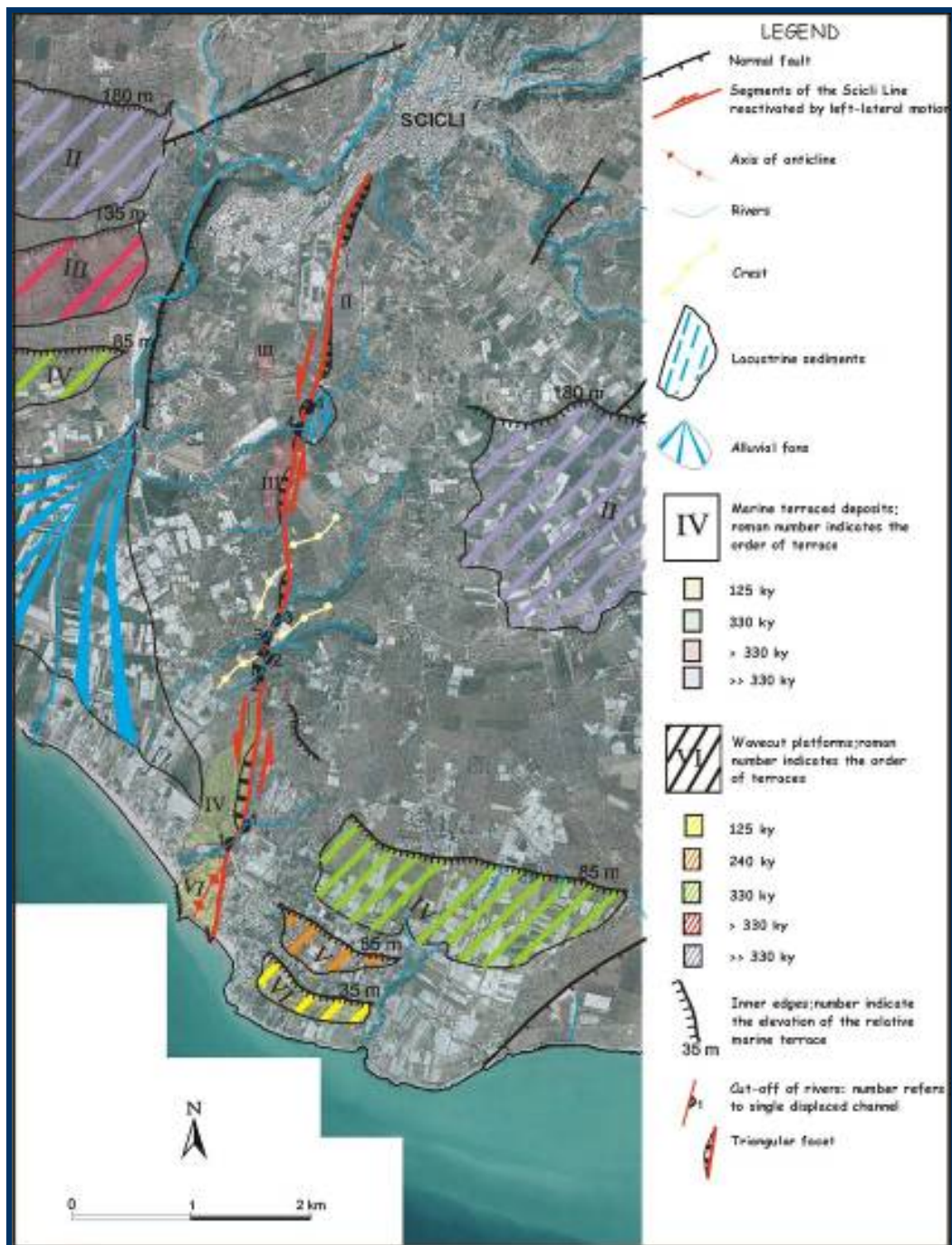


Figura 5. Caratteri geomorfologici della estremità meridionale della Linea Scicli-Ragusa, un lineamento di importanza regionale che taglia da N a S l'intero avampese ibleo e che rappresenta un ovvio candidato come sorgente dei grandi terremoti della Sicilia sud-orientale (es. 1693). I dati acquisiti dalla UR 2.5 Catalano documentano la riattivazione come faglia trascorrente sinistra di questo lineamento, in accordo con le evidenze sismologiche presentate dalla UR 2.4 Burrato, e documentano una dislocazione fino a 150 m del terrazzo tirreniano (125 Ky). Si noti che lo slip rate che se ne deriva, di poco superiore a 1mm/anno, è la prima misura diretta di questa grandezza nell'area iblea e una delle pochissime disponibili per l'intero Arco Calabro.

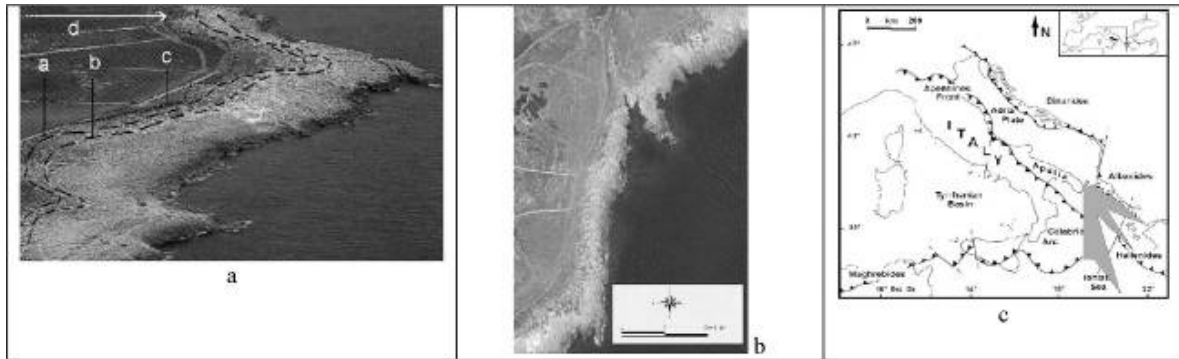


Figura 6. Osservazioni raccolte dalla UR 2.11 Mastronuzzi nel tratto di costa salentina compresa tra Otranto e Santa Maria di Leuca: a) berma costruita dall'accumulo di blocchi attribuibile a uno tsunami; b) studio dell'embriciatura dei blocchi di dimensioni superiori alle 3 tonnellate in località Sant'Emiliano; c) ricostruzione delle direzioni di provenienza dello tsunami. Datazioni effettuate dai ricercatori della UR suggeriscono che queste osservazioni sono evidenza dello tsunami associato al forte terremoto del 20 febbraio 1743, un evento di probabile origine greca ma che ha causato danni fino al IX grado di intensità in tutto il Salento. La localizzazione esatta di questo evento e l'eventuale propensione del Salento a subire anche terremoti di origine locale restano tra gli aspetti meno compresi della sismotettonica italiana.

Prospezioni geofisiche e geochimiche

Sono inserite in questo capitolo tutte le indagini finalizzate alla migliore caratterizzazione strutturale del sottosuolo e all'identificazione di faglie con potenziale ruolo sismogenetico.

- In corrispondenza del settore di confine italo-sloveno (1 in Fig. 2) sono state eseguite misure di degassamento al suolo in prossimità di linee strutturali e campionati i fluidi (gas ed acque) caratterizzati da composizione anomala rispetto alle condizioni meteo-climatiche locali (UR 2.9 Italiano). In tale settore, i fluidi presenterebbero apporti di carattere crostale (radiogenici). Questo aspetto è tipico di strutture tettoniche ad evoluzione recente che arricchiscono le acque (fredde, di origine meteorica e di circolazione superficiale) di fasi gassose di origine decisamente più profonda.
- Nelle aree della Garfagnana e della Lunigiana (4 in Fig. 2) (UR 2.15 Scandone), profili sismici a riflessione acquisiti per ricerche petrolifere hanno rivelato l'esistenza di una faglia a basso angolo immergente verso NE, di importanza regionale, che rappresenta la prosecuzione in profondità del sistema attivo padano-immerso osservato in superficie, nonché l'esistenza di un sistema di faglie ad alto angolo immergenti verso SW che rappresenta l'espressione in sottosuolo del sistema tirreno-pendente osservato in superficie. Le faglie tirreno-immergenti si esauriscono sulla faglia padano-immersa che in corrispondenza del crinale appenninico raggiunge una profondità di 10-12 chilometri. La struttura a basso angolo rappresenta senza dubbio la faglia maestra mentre le faglie ad alto angolo rappresentano il sistema antitetico associato. La faglia maestra e il sistema di faglie antitetico sono le strutture tettoniche più recenti osservate nell'area e se ne conferma quindi il potenziale sismogenetico già ipotizzato in DISS 2.0.
- Nell'area compresa tra la Valle del Tevere e la Val di Lima (strutture di Sansepolcro, Casentino e Mugello) (5 in Fig. 2 e Fig. 3) sono stati raccolti i dati sismici messi a disposizione da Eni (21 profili sismici a riflessione) (UR 2.3 Barchi). L'interpretazione dei profili è stata tarata sulla base

dei dati geologici di superficie, sulla stratigrafia del pozzo Pieve S. Stefano e sull'interpretazione del profilo Crop03 che attraversa il bacino di Sansepolcro. L'insieme dei dati disponibili permette di individuare una prosecuzione della faglia Alto Tiberina anche a nord del profilo Crop03, oltre l'estensione del bacino di Sansepolcro, nell'area di Pieve S. Stefano, in linea con quanto ipotizzato in DISS 3.0. La faglia è stata anche perforata dal pozzo ove si manifesta con un'elisione stratigrafica di circa 1000 m.

- Lungo l'emergenza di presunte faglie ad attività recente in Valle dell'Ufita e Val d'Agri (10 e 12 in Fig. 2), sono state effettuate numerose tomografie geoelettriche ad alta risoluzione (UR 2.16 Siniscalchi). Le sezioni di resistività ottenute hanno messo in evidenza in modo chiaro variazioni laterali di resistività il cui significato tettonico è in fase di interpretazione, attraverso l'integrazione con le evidenze geomorfologiche, le osservazioni geologiche e i dati di pozzo.
- Nella Capitanata (15 in Fig. 2) (UR 2.15 Scandone), carte strutturali al tetto dei carbonati apuli sepolti mostrano l'esistenza di numerose faglie dirette ad alto angolo che dislocano il substrato pre-pliocenico e deformano variamente i soprastanti terreni pliocenico-quadernari. Presso Foggia, è stata osservata una faglia ad alto angolo orientata N130 ed immergente a SW che disloca l'intera successione di depositi quadernari. Un'altra faglia che taglia l'intera pila sedimentaria, avente le stesse caratteristiche geometriche, è stata riconosciuta presso Cerignola. Questi due segmenti di faglia, che verosimilmente fanno parte dello stesso sistema di dislocazione costituiscono la struttura tettonica più recente osservata nell'area e possono essere in relazione con la sorgente del terremoto del 1731, per il quale in DISS 3.0 viene ipotizzata una sorgente E-W profonda.
- Nell'avampese apulo, è stata effettuata una revisione del modello magneto-tellurico lungo un profilo acquisito in precedenza in base alle indicazioni dei dati di sottosuolo (specificamente pozzi e linee sismiche) (UR 2.16 Siniscalchi). I dati magneto-tellurici disponibili riguardano la banda di frequenze 0.002 – 100 Hz. La revisione ha permesso una taratura più raffinata dei dati già esistenti e una stima accurata dell'intervallo di frequenze che risente dei vincoli geologici utilizzati (profondità top Apula, top Dolomie).
- Nell'area peloritana (settore meridionale di 17 in Fig. 2), a ridosso dello Stretto, misure di degassamento al suolo e su fluidi (UR 2.9 Italiano) mostrano la presenza di un notevole contributo di fluidi con marcati segni di apporti dal mantello. Anche questa evidenza confermerebbe l'attività recente degli elementi strutturali peloritani, e segnatamente del lineamento NNW-SSE noto come Tindari-Giardini.

Acquisizione e analisi di dati sismologici e geodetici

In questa sezione vengono riassunti i contributi che derivano i) dall'analisi di sequenze sismiche di bassa magnitudo, per la definizione di limiti di segmento o sorgenti responsabili di terremoti di magnitudo moderata; ii) dall'analisi delle registrazioni di eventi ad energia più elevata, per la caratterizzazione di sorgenti potenzialmente responsabili di terremoti distruttivi; e iii) dalle informazioni geodetiche mirate a definire pattern di deformazione riconducibili a lineamenti regionali o faglie di dimensione significativa.

- Nella Liguria orientale e in Garfagnana-Lunigiana (3 e 4 in Fig. 2), si è proceduto alla catalogazione di registrazioni sismiche e di letture di fasi relative agli anni 1985-2005 (UR 2.18 Solarino). Sono state installate due stazioni velocimetriche nella Liguria occidentale nelle località M.te Ceppo (Febbraio 2006) e Pigna (Aprile 2006). I dati acquisiti sono attualmente in elaborazione.
- Nel settore dei Monti Sibillini-Monti della Laga (7 in Fig. 2), è stato analizzato il segnale geodetico secolare attraverso la faglia della Laga per caratterizzare la geometria della sorgente sismogenetica connessa (UR 2.8 Galadini). Si è ipotizzato un movimento asismico per giustificare la notevole subsidenza geodetica osservata.
- Nell'area di Faenza (6 in Fig. 2), è stata effettuata una revisione della sequenza sismica del 2002, mediante rilocalizzazione degli aftershock, la definizione della successione temporale degli eventi e lo studio della distribuzione dei meccanismi focali (UR 2.4 Burrato).
- Nel settore sannita dell'Appennino meridionale (9 in Fig. 2), è stata analizzata la distribuzione spazio-temporale delle sequenze di bassa energia (1990, 1991-91, 1997) che hanno colpito l'area, per cercare una correlazione tra l'evoluzione della sismicità e le strutture geologiche recenti dell'area (UR 2.4 Burrato).
- Nell'area del bacino del Mercure (13 in Fig. 2), si è proceduto alla revisione della sequenza sismica del settembre-ottobre 1998 (UR 2.10 Lavecchia). In particolare, è stata effettuata l'analisi sismologica e tensoriale con definizione di un appropriato modello di velocità, rilocalizzazione della sequenza, costruzione dei meccanismi focali e loro inversione.
- Nell'area sismica di Potenza (14 in Fig. 2), la ricerca è stata finalizzata alla costruzione di un modello reologico-sismogenetico applicabile alla deformazione attiva del blocco apulo (UR 2.10 Lavecchia). In particolare, è stata considerata l'area interessata dalla sequenza sismica del maggio 1990 ($M_w=5.7$), per la quale è stata ricostruita la stratigrafia crostale, calcolata la geoterma, e costruito il profilo reologico. Quest'ultimo è stato confrontato con la distribuzione in profondità della sismicità opportunamente selezionata in base a criteri di qualità. Nel calcolo del profilo è stato valutato il possibile contributo di fluidi in sovrappressione nella crosta profonda e di aumenti di strain rate dovuti a processi di afterslip.
- Per quanto riguarda l'Arco Calabro (17 in Fig. 2) e i settori offshore limitrofi sono state effettuate indagini tomografiche e analisi per la localizzazione ipocentrale (UR 2.13 Neri) che hanno portato: i) modelli tomografici V_p e V_s di accresciuto dettaglio nella crosta calabra (grid spacing 20x20x5 km, in alcuni settori 10x10x5 km); ii) localizzazioni ipocentrali "definitive" nella crosta calabra con particolare riferimento agli sciame più significativi degli ultimi dieci anni (e relative implicazioni in termini di strutture sismogenetiche); iii) localizzazioni ipocentrali di buona qualità (ma non "definitive") nella crosta siciliana con particolare riferimento agli sciame più significativi dell'offshore tirrenico negli ultimi dieci anni (e relative implicazioni in termini di strutture sismogenetiche).
- Nel settore ibleo (18 in Fig. 2), sono state avviate ricerche per determinare un modello tomografico in velocità della crosta (UR 2.4 Burrato), al fine di meglio identificare le faglie attive

e definirne la loro geometria. Il dataset utilizzato comprende circa 450 terremoti ($1.0 \leq ML \leq 4.6$) registrati tra il 1994 e il 2003 dalla rete sismica locale dell'INGV (rete iblea). In base ai dati disponibili, la sismicità risulta concentrata in tre aree distinte: a) nel settore orientale (inland e offshore); b) ad ovest, nella porzione più settentrionale del sistema strutturale "Scicli-Ragusa"; c) lungo l'avanfossa "Gela-Catania". Nel medesimo settore sono state eseguite le misure GPS sulla rete "Iblei settentrionale", già misurata in precedenza nel 1998 e nel 2000, a cui oggi si aggiungono le stazioni della rete permanente. Le misure eseguite sono in corso di elaborazione.

Acquisizione e analisi di dati storico-sismologici

Rientrano in questo ambito le acquisizioni di dati sulla distribuzione del danno di terremoti storici e l'analisi delle distribuzioni per definire le sorgenti che li hanno causati.

- Nel settore adriatico abruzzese (8 in Fig. 2), sono in corso indagini storiche finalizzate alla migliore caratterizzazione del terremoto del 10 settembre 1881 (UR 2.8 Galadini). Tale evento sismico, attualmente parametrizzato con M_w 5.6, presenta apparenti lacune conoscitive per quanto riguarda la distribuzione del danno. Tali lacune limitano l'interpretazione dell'evento in chiave sismotettonica. Le ricerche in corso hanno finora consentito di individuare altri quattro punti di danno non riportati nei piani quotati precedentemente elaborati.
- Per quanto riguarda l'area irpina (10 in Fig. 2), la UR 2.17 Pettenati ha effettuato l'inversione da dati macrosismici di 4 terremoti (1980, 1930, 1732, 1962). L'operazione sul primo evento, ben definito strumentalmente, è servita per la calibrazione del metodo sull'area indagata. Per il 1980, è stata ottenuta una soluzione compatibile con i meccanismi da dati strumentali, con il risultato dei due piani del meccanismo focale in ambiguità quasi perfetta. Per il 1930 è stato ottenuto un meccanismo strike-slip per direzione 81° , $dip=58^\circ$. Per il 1732 dip-slip per direzione circa SE e strike-slip (piano 1: $strike=217^\circ$, $dip=48^\circ$, $rake=9^\circ \pm 90^\circ$; piano 2: $strike=120^\circ$, $dip=83^\circ$, $rake=134^\circ \pm 90^\circ$). Anche per il 1962 è stata trovata una coppia di soluzioni distinte: un meccanismo dip-slip puro con direzione NE-SW e un meccanismo strike-slip con direzione SSE-NNW.

INDAGINI SU SORGENTI SIMOGENETICHE A MARE

Acquisizione e analisi di dati sismologici

In questo capitolo rientrano le indagini di sismologia strumentale che riguardano settori offshore.

- Nel Tirreno meridionale (20 in Fig. 2) le attività hanno riguardato la conclusione di alcune elaborazioni delle registrazioni sismologiche acquisite durante la campagna di OBS nell'ambito del progetto TYDE-TYrrhenian Deepsea Experiment, e le registrazioni acquisite dall'osservatorio SN-1 nel periodo di funzionamento in modalità autonoma (UR 2.7 Favali e UR 2.13 Neri). In particolare sono state localizzate 53 scosse di bassa magnitudo ($M_{max}=2.9$) verificatesi nel marzo 2001 nella Sicilia nord orientale (sciame di S. Lucia del Mela). Il lavoro

svolto conferma l'approfondimento degli ipocentri verso ovest. L'intervallo di profondità risulta essere compreso tra 27 e 37 km.

- Per il Golfo di Taranto (19 in Fig. 2), si è proceduto al recupero delle forme d'onda disponibili (oltre a quelle della RSNC) per la rilocalizzazione di eventi negli ultimi 6 anni e all'installazione di stazioni temporanee per la localizzazione di nuovi eventi (dal Dicembre 2005) (UR 2.12 Mucciarelli). Per quanto riguarda il primo aspetto, l'operazione si è conclusa con la produzione di una banca dati disponibile su CD-ROM. Per ciò che concerne le stazioni temporanee, la sismicità più cospicua si è manifestata sul lato calabrese del golfo e attualmente si sta procedendo alla rilocalizzazione e alla determinazione di meccanismi focali per la sequenza del mese di Aprile 2006.

Prospezioni geofisiche

In questo capitolo rientrano le indagini di sismica a riflessione a mare per l'identificazione di sorgenti la cui attivazione potrebbe comportare danni a terra o innescare onde di tsunami.

- Per il Tirreno meridionale (21 in Fig. 2e Fig. 4) è stata completata l'interpretazione della sismica ministeriale (Zona G), nel tratto compreso tra il bacino di Trapani ad ovest ed il bacino di Palermo ad est, ed avviata l'interpretazione dei dati sismici delle restanti campagne (UR 2.6 Doglioni). In questo modo, è stato possibile definire meglio la geometria e l'estensione di alcune strutture d'inversione tettonica e riconoscere alcuni settori, con orientazione preferenziale ENE-WSW, che mostrano spessori della copertura quaternaria anomali probabilmente attribuibili a bulging riconducibile all'attivazione o riattivazione di strutture cieche.
- Per il tratto di mare compreso tra la Sicilia nord-orientale e la Calabria meridionale (17 in Fig. 2) è stata predisposta la campagna in mare per l'acquisizione di profili sismici multicanale e di profili Chirp Sonar ad alta risoluzione, finalizzata all'individuazione e caratterizzazione della c.d. faglia di Taormina (UR 2.1a Brancolini e 2.1b Argnani).

INDAGINI SU SORGENTI TSUNAMIGENICHE

Rientrano in questo capitolo sia le modellazioni di tsunami in risposta all'attivazione di definite sorgenti a mare, sia le ricerche, svolte nei settori costieri con le tecniche tipiche della geologia di terreno e della stratigrafia, di sedimenti marini depositati da onde anomale.

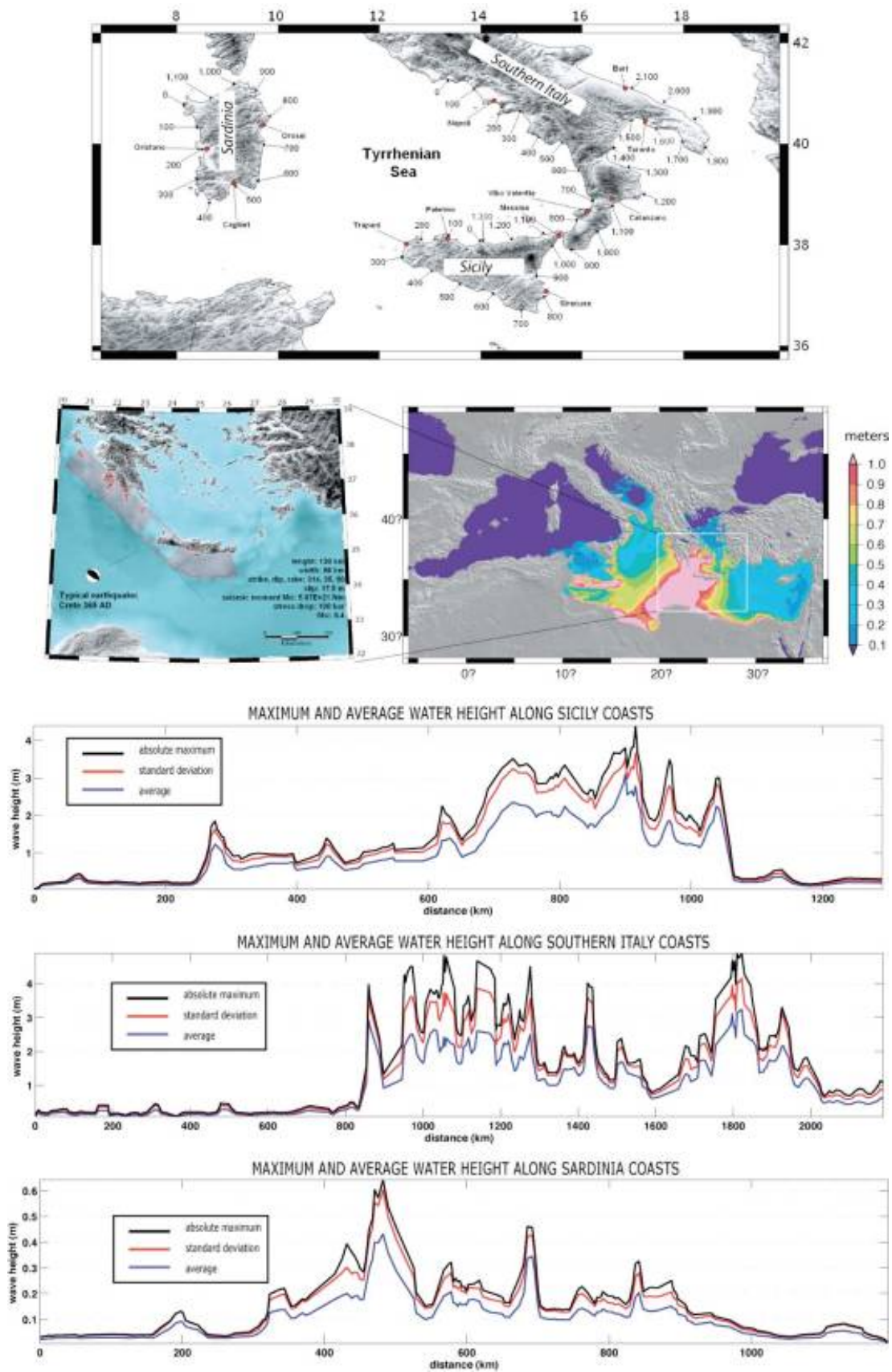


Figura 7. Scenari di tsunami elaborati dalla UR 2.19b Piatanesi. (in alto) Tratti di costa selezionati per valutare l'impatto delle onde di tsunami: i numeri rappresentano distanze lungo costa misurate in km. (in basso) Area sismogenetica dell'arco ellenico. In alto a sinistra un esempio di sorgente, a destra la mappa della maximum water elevation (MWE) su tutto il dominio di calcolo. I restanti tre pannelli mostrano le MWE lungo i tratti di costa selezionati, aggregate per questa area sismogenetica.

- Nel settore salentino (16 in Fig. 2 e Fig. 6) (UR 2.11 Mastronuzzi) si è proceduto allo studio delle evidenze morfologiche dell'impatto di tsunami mediante rilevamento geomorfologico sul terreno e subacqueo, e mediante tecniche DGPS di rilevamento topografico. Al momento, più fruttuoso è stato lo studio delle evidenze riconosciute lungo la costa ionica fra Otranto e Leuca. Qui, sostanzialmente senza soluzione di continuità, è riconoscibile una lunga berma costituita da migliaia di blocchi di calcare dalle dimensioni variabili sino a circa 100 tonnellate di peso, disposta fra i 4 e gli 11 m di quota. Le datazioni C14 effettuate su gasteropodi e la presenza di resti ceramici al disotto dei blocchi suggeriscono che l'evento deposizionale sia da attribuire al terremoto del 1743.
- Per la Sicilia orientale (18 in Fig. 2) (UR 2.2a Barbano e 2.2b De Martini), è in corso una ricerca storica finalizzata ad individuare tracce di tsunami relative ad eventi noti da catalogo. Le informazioni reperite sono state catalogate in un database georeferenziato. I dati sono stati utilizzati sia per tentare di discriminare il tipo di sorgente dei maremoti, sia per indirizzare le ricerche paleosismologiche. Per questo fine è stata svolta un'indagine morfologica per individuare le aree potenzialmente favorevoli alla conservazione dei depositi di tsunami. Fra i sedici siti lacustri e palustri delle zone costiere di retroduna, due sembrano dare riscontri positivi (Fiumefreddo e Priolo). Particolarmente in queste due aree verranno eseguiti ulteriori carotaggi di verifica.
- Per l'area mediterranea in genere, si è provveduto a costruire scenari di tsunami speditivi conseguenti all'attivazione di importanti sorgenti sismogenetiche, note o ipotizzabili (UR 2.19a Tinti e 2.19b Piatanesi). In particolare, la UR 2.19a Tinti ha ricostruito lo scenario relativo a grandi terremoti storici selezionati. A sua volta, la UR 2.19b Piatanesi ha considerato circa 80 sorgenti elaborate dalla UR 1.1 Basili e appartenenti a tre zone sismiche ritenute tsunamigeniche, attivate con la massima magnitudo attesa (arco ellenico, M 8; offshore algerino, M 7.1; Mar Tirreno meridionale, M 6.2; Fig. 7). L'attenzione è stata focalizzata sulle coste italiane maggiormente esposte (Sardegna, Sicilia e Italia Meridionale), calcolando le distribuzioni delle altezze massime dell'onda su tratti di costa selezionati. Le simulazioni per sorgenti dell'arco ellenico mostrano che sono attese onde di altezza superiore a 3 m lungo estesi tratti di costa della Sicilia e dell'Italia Meridionale, mentre le altre aree-sorgente danno valore di un ordine di grandezza inferiore.

Task 3 (a cura di A. Caporali, Università degli Studi di Padova)

L'obiettivo principale di questo modulo è l'inquadramento dei dati sulla sismogenesi, ottenuti con le indagini dei Task 1 e 2, nel quadro più ampio delle conoscenze geodinamiche disponibili per l'Italia. Sono state pertanto previste cinque unità di ricerca, di cui due (la UR 3.1 Barba e la UR 3.2a Caporali) a valenza nazionale, e altre tre (UR 3.2b Braitenberg, UR 3.3 Guerra e UR 3.4 Sepe) a valenza locale. Questo significa che le UR 3.2a Caporali e 3.1 Barba hanno lavorato, rispettivamente nel settore sperimentale e modellistico, per determinare un campo medio di deformazione attivo valido per tutto il territorio nazionale, nel quale vengono poi collocati modelli di

dettaglio per il Friuli (UR 3.2b Braitenberg), per l'arco Calabro (UR 3.3 Guerra) e per il Matese (UR 3.4 Sepe). In questo contesto, la UR 3.1 Barba ha prodotto una rappresentazione agli elementi finiti del campo di deformazione a livello nazionale, che incorpora dati strutturali, sismici e geofisici. Analogamente la UR 3.2a Caporali ha prodotto una mappa, basata su dati GPS raccolti da stazioni permanenti e elaborati in modo omogeneo, dove sono evidenziati i valori di strain rate calcolati nei punti meglio coperti dalle osservazioni. Questo al fine di garantire che quanto presentato è suscettibile di modeste modifiche, man mano che ulteriori dati vengono modificati, in quanto l'attenzione è stata riposta nelle zone già ottimamente coperte da dati. Il risultato in termini di velocità è riportato in Fig. 8, che mostra congiuntamente i dati sperimentali elaborati dalle UR 3.1 Barba e 3.2a Caporali. La Fig. 9 mostra gli strain rates sperimentali elaborati della UR 3.2a Caporali. La Fig. 10 mostra le condizioni al contorno del modello elaborato dalla UR 3.1. Barba e i migliori risultati ottenuti in velocità. Occorre innanzitutto precisare che è da ritenersi un risultato importante del progetto riuscire ad affiancare, anche se in via preliminare, il risultato dell'analisi sperimentale e quello della modellazione numerica. I due elaborati concordano nel valutare un tasso medio di deformazione dell'ordine dei 30–50 nanostrain/anno per la maggior parte del territorio nazionale. Il modello numerico, caratterizzato da una mesh più densa di quanto possa disporre quello sperimentale, evidenzia le zone di maggiore deformazione nel Lazio e sull'arco calabro – versante tirrenico, includendo l'Etna e la parte nord orientale della Sicilia. Non essendo queste zone coperte da un numero sufficiente di stazioni permanenti GPS per un calcolo affidabile del tasso di deformazione, le due UR hanno considerato un database formato da stazioni permanenti e non, reso disponibile da E. Serpelloni della UR 3.1 Barba, e particolarmente denso nelle zone di maggiore deformazione. Il confronto tra risultati sperimentali e modello numerico è riassunta in Fig. 11, dove l'immagine a sinistra si riferisce allo strain rate ottenuto con dati GPS e quella a destra ai risultati del modello. Si riconosce generalmente un discreto accordo, ma occorre sottolineare due fatti:

- 1) il modello numerico porta a valori dello strain rate mediamente inferiori rispetto ai valori sperimentali;
- 2) il campo deformativo ottenuto con le sole stazioni permanenti è di entità generalmente maggiore di quello ottenuto con le stazioni permanenti e non.

Quanto sopra già traccia il lavoro per l'anno successivo: da un lato sarà teso a comprendere e ad approfondire i motivi delle discrepanze su scala regionale; dall'altro dovrà incorporare nelle zone di maggiore deformazione i dati che nel frattempo le altre unità hanno generato, e che di seguito riassumiamo. La UR 3.2b Braitenberg relaziona su misure in Friuli di tipo classico e satellitare. Viene in particolare rilevata la notevole variabilità anche a livello locale del tasso di deformazione. Ad esempio nella zona di Villanova vi è un elevatissimo stato deformativo, intorno ai 400 nstrain/anno, ovvero dieci volte superiore i valori medi rilevati con il GPS. Questo differenziale è rilevato anche con dati clinometrici omogenei: a Villanova il tilt è di circa 100 volte superiore a quello in Grotta del Gigante. I valori di strain rate calcolati da Caporali vengono confermati con una

rielaborazione dei dati relativi all'area friulana. Viene inoltre evidenziato un differenziale di deformazione in pianura (ca 6 nstrain/anno) rispetto alle aree montuose a nord (ca 40 nstrain anno). Infine viene stimata la deformazione verticale, che sembrerebbe essere considerevole. Nel prosieguo della ricerca nel secondo anno queste informazioni verranno attentamente controllate e validate.

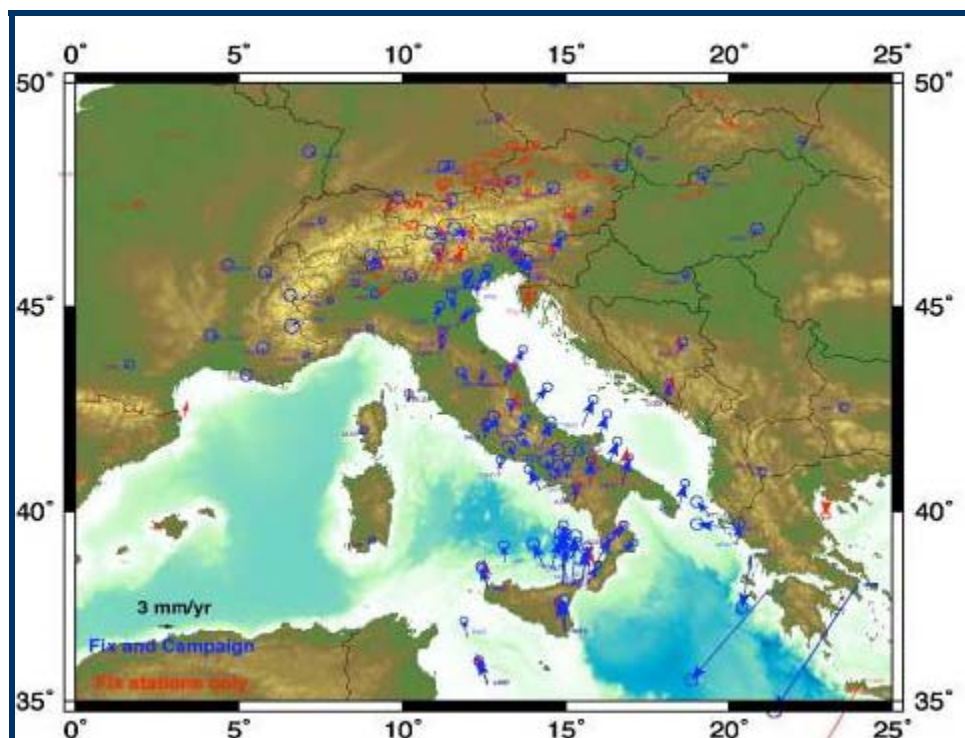


Figura 8. Confronto tra le velocità (in rosso) calcolate dalla UR 3.2a Caporali nella compensazione pluriennale di equazioni normali, con vincoli IGS compatibili, e il database di velocità (in blu) reso disponibile da E. Serpelloni (UR 3.1 Barba). Il confronto dei due set di dati consente di verificarne qualitativamente la compatibilità, dal punto di vista della orientazione e scala.

Veniamo ora ai contributi della UR 3.3 Guerra. Come si è detto questa ha operato in Calabria e si è concentrata nella rilevazione di tre reti GPS di dettaglio, preesistenti da precedenti campagne. L'area è di estremo interesse per la sua elevata pericolosità sismica. Il lavoro del primo anno si è pertanto concentrato in una attenta ricognizione dei pilastri, al fine di accertarne la perfetta efficienza in considerazione dei piccoli spostamenti da rilevare. Sfortunatamente la ricognizione ha evidenziato il cattivo stato di conservazione dei manufatti, e pertanto le operazioni di misura subiranno un piccolo ritardo per consentire il ripristino dei pilastri. La UR 3.4 Sepe ha costituito, per il primo anno di attività, un database relativo ai dati GPS per gli anni 2000, 2002 e 2004 con files RINEX e, per ogni stazione e per ogni anno di misura, un riepilogativo dei parametri di qualità calcolati con il programma TEQC. Trattasi di lavoro preparatorio alle campagne di misura del prossimo anno. Queste si preannunciano di notevole importanza, perché il data base di dati di campagna sembra particolarmente ricco. La ripetizione delle misure sui piastri consentirà indubbiamente una migliore stima dei movimenti locali. Sarà compito della Task 3 in generale

integrare i dati locali con quelli media livello regionale, e ottenere il prodotto principale della ricerca, cioè l'aspetto geofisico e geodetico dello stato della deformazione sul territorio nazionale.

Si può pertanto concludere che le attività di questo primo anno si sono svolte nel rispetto di quanto preventivato. Il lavoro del secondo anno si concentrerà nella ricerca di un maggiore accordo tra i dataset geodetici, e tra questi e il modello numerico della UR 3.1 Barba. Dovranno inoltre essere eseguite le campagne di misura in Sud Italia previste dalle UR 3.3 Guerra e 3.4 Sepe. Infine dopo una attenta valutazione dei risultati delle singole UR, si dovrà combinare le informazioni locali con il modello deformativi a scala nazionale.

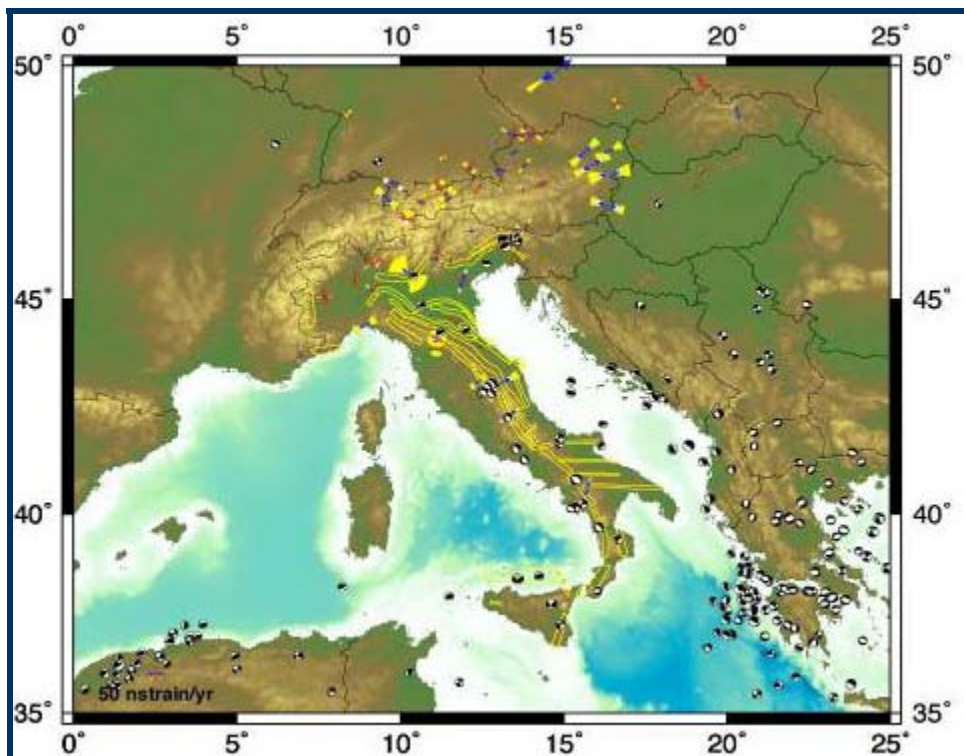


Figura 9. Stile e intensità della deformazione calcolata da serie storiche di stazioni permanenti GPS analizzate in modo consistente secondo standard IGS/EUREF. In giallo le Seismogenic Areas da DISS 3.0.1. Stime dello strain rate effettuate mediante collocazione con l'algoritmo descritto in Caporali et al. (2003) con le velocità di un minimo di 5 stazioni in un raggio di 290 km, pari alla lunghezza di decorrelazione delle velocità. Vengono infine indicati i coni di incertezza (3 sigma) del modulo e direzione degli autovettori del tensore di strain rate, calcolati mediante propagazione dell'errore stimato delle velocità. Per le specifiche aree vengono indicati i valori del massimo shear strain, definito come differenza dei valori assoluti della deformazione compressiva (segno +) e distensiva (segno -): Dolomiti +37 nstrain/yr; Pianura Padana meridionale +44 nstrain/yr; Umbria/Marche -62 nstrain/yr; Irpinia -43nstrain/yr.

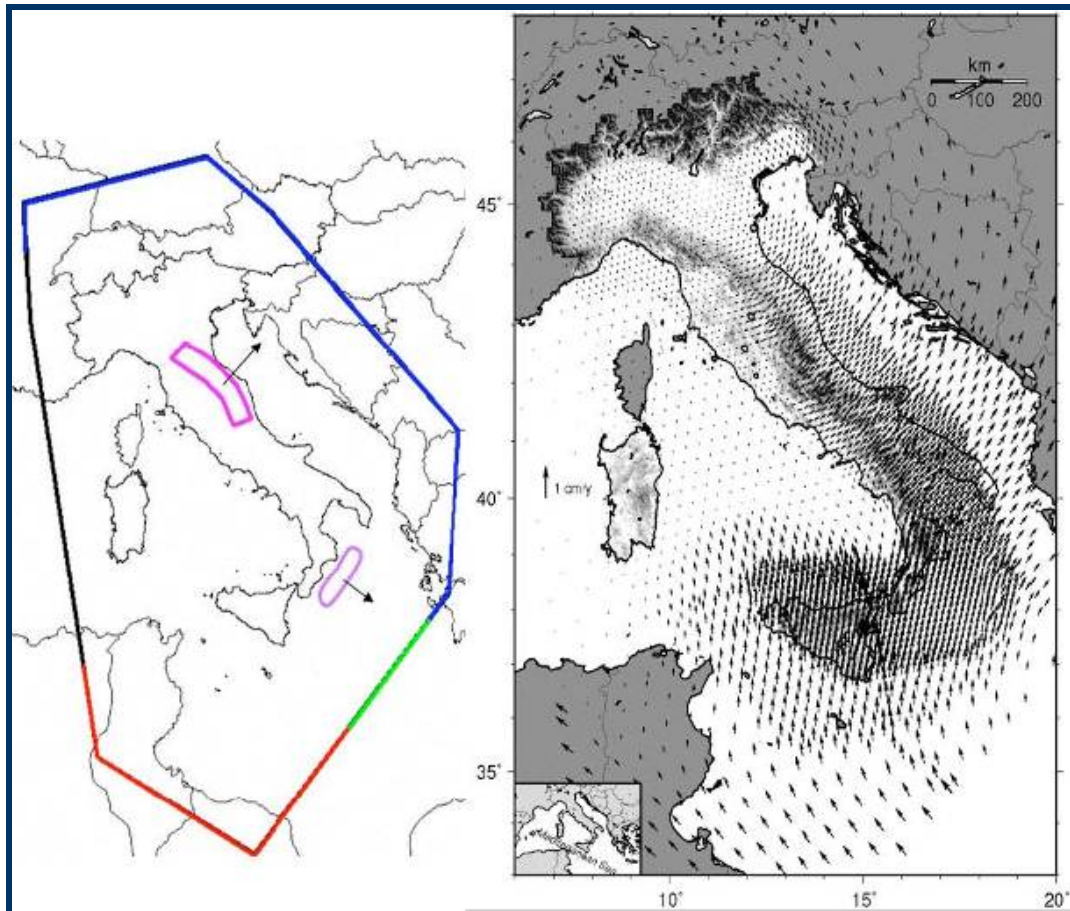


Figura 10. (sinistra) Condizioni al contorno del modello elaborato dalla UR 3.1 Barba: blu: rotazione antioraria di Adria (secondo Serpelloni (2005) e/o Westway (1992)); nero: fisso; rosso: compressione Africa ENE; verde: solidale con Adria, Africa, o libero; viola: trazioni basali con indicata la direzione di movimento (freccia).(destra) Velocità crostali previste dal miglior modello.

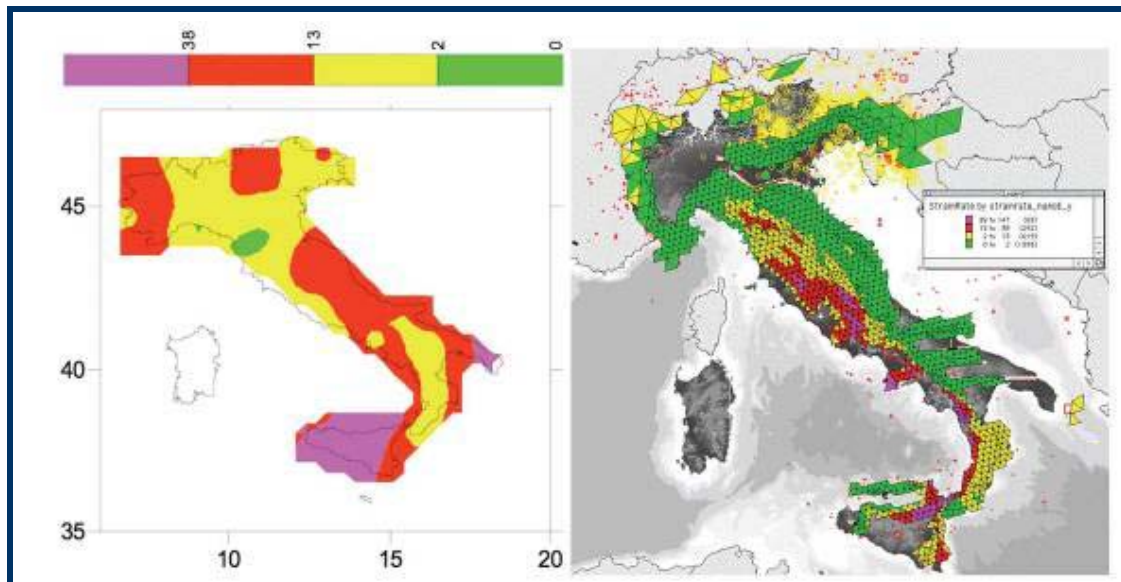


Figura 11. Interpolazione dello shear strain rate usando dati da stazioni permanenti e non (a sinistra) confrontati con il modello di strain rate elaborato dalla UR 3.1 Barba per le aree sismogenetiche di ZS9 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004). Entrambe le figure adottano lo stesso codice di colore. Si nota che i dati geodetici danno valori di strain generalmente maggiori di quelli del modello numerico. Nel prossimo anno di attività sarà quindi necessaria una taratura più attenta dei due modelli.

Task 4 (a cura di L. Peruzza, OGS Trieste)

Il task rappresenta la parte più strettamente computazionale e modellistica della caratterizzazione sismogenetica delle sorgenti, ed è incaricato di stimare la probabilità di attivazione delle strutture individuate e caratterizzate dai Task 1, 2 e 3. Trattandosi di un argomento sul quale non esistono prassi e tecniche consolidate, il Task ha raccolto le proposte di ricercatori che affrontano il problema del calcolo della probabilità di occorrenza di un terremoto con metodi molto diversi tra loro, in parte anche antagonisti. Al coordinamento spettava quindi l'incarico di armonizzare le analisi condotte dalle 9 UR afferenti all'obiettivo, raccordandole al contempo con quanto ottenuto dagli altri task e in particolare dal Task 3. Dopo una approfondita analisi di quanto proposto dalle UR, e la definizione univoca delle basi dati da utilizzare per le elaborazioni, avvenuta tra luglio e ottobre tramite scambio di documenti e riunioni, si è giunti a meglio precisare gli obiettivi e i prodotti finali attesi dalle analisi delle varie UR incaricate del calcolo della probabilità di occorrenza; si è concordata una ristrutturazione del task che individua ancora tre filoni principali di ricerca, ma con un diverso accorpamento e finalizzazione delle UR. I tre prodotti finali su cui si intendono concentrare le indagini sono ora indicati in:

- 1) probabilità di terremoto imminente, da dati strumentali (UR 4.2 Di Giovambattista, 4.5 Godano e 4.7 Murru p.p.);
- 2) probabilità di occorrenza di eventi maggiori con l'ausilio di modelli fisici (UR 4.3 Cinti, 4.6 Mantovani e 4.7 Murru p.p.);
- 3) probabilità di occorrenza di eventi maggiori con l'ausilio di tecniche essenzialmente statistiche, in riferimento a faglie (sorgenti individuali, UR 4.1 Akinci e 4.8 Peruzza), eriferite ad aree più o meno estese (sorgenti sismogenetiche areali, UR 4.4 Garavaglia e UR 4.9 Rotondi).

Per favorire lo scambio reciproco di informazioni, i dati di base, alcune elaborazioni parziali e altri documenti utili sono stati archiviati a beneficio di tutti gli operatori del Task 4 in un sito ad accesso limitato. In questo contesto tutte le UR hanno realizzato delle analisi preliminari, perfezionando gli strumenti di calcolo adottati in rapporto alle informazioni disponibili. Seguendo l'ordine dei filoni di ricerca i risultati della prima fase di ricerca possono essere così sintetizzati. Nel primo filone, le analisi retrospettive proposte dalle UR 4.2 Di Giovambattista e 4.7 Murru (Fig. 12) forniscono elementi incoraggianti nel versante della previsione a "breve" termine, soprattutto per quanto riguarda l'evoluzione di una sequenza sismica; esistono sicuramente problemi di taratura sperimentale di alcuni parametri dei modelli, non sempre facilmente risolvibili per la notevole variabilità nello spazio e nel tempo della completezza dell'informazione; utili risultano anche le sperimentazioni condotte sullo scaling dinamico della G-R proposte dalla UR 4.5 Godano. Il secondo filone ha lavorato essenzialmente nella predisposizione modellistica dei sistemi di interazione fra faglie in Appennino centrale (UR 4.3 Cinti e 4.7 Murru) e del modello geodinamico a larga scala per l'analisi della interazioni Balcani – Appennino meridionale (UR 4.6 Mantovani). Le prime elaborazioni supportano le ipotesi di clusterizzazione della sismicità, simulando una significativa non stazionarietà del tasso di terremoti con sequenze sintetiche (vedi Fig. 2 nella

relazione della UR 4.3 Cinti). Tuttavia esse evidenziano anche che il contributo alla probabilità di accadimento di un terremoto maggiore derivante dai fenomeni di carico/scarico legati all'attivazione di strutture vicine è generalmente modesto (Tab. 1), soprattutto se confrontato con il lungo tempo di ricorrenza atteso per la maggior parte delle sorgenti sismogenetiche italiane. Il terzo filone, infine, ha realizzato come previsto delle analisi preliminari di sensibilità metodologica e di finalizzazione del dato geodetico proveniente dal Task 3. Le indicazioni emerse appaiono molto promettenti, pur in una situazione realistica di forte disomogeneità, per quanto riguarda la significatività dei risultati sull'intero territorio nazionale. Le stime di probabilità condizionata di evento caratteristico, applicate alle strutture individuali (Figg. 13, 14) individuano come esigenza prioritaria la necessità di imporre vincoli più stringenti alla variabilità del parametro di slip-rate attribuito alle faglie, pena la inadeguatezza delle assunzioni a priori implicitamente adottate con il comportamento a "terremoto caratteristico" stesso. I vincoli esplorati durante queste prima fase della ricerca (Fig. 15) sono essenzialmente riconducibili al bilanciamento energetico complessivo, pilotato dal contenuto del catalogo storico dei terremoti, e al confronto ragionato con le indicazioni geodetiche preliminari fornite dal Task 3.

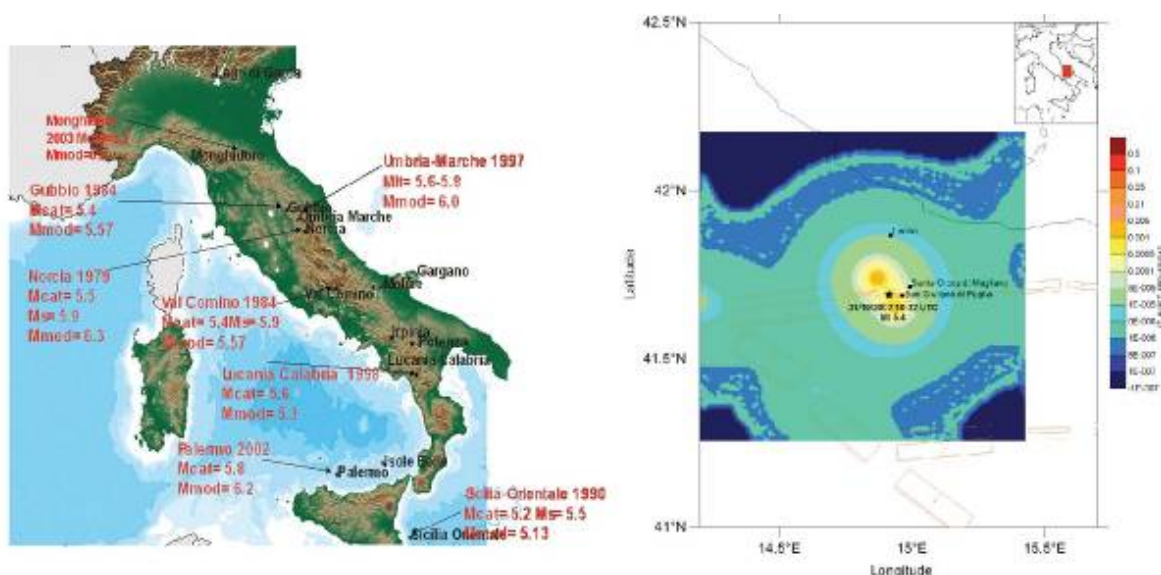


Figura 12. Analisi retrospective per la validazione metodologica del calcolo di probabilità imminente da dati strumentali. Sinistra) applicazione del modello AMR alle principali sequenze italiane degli ultimi decenni (Fig. 2 della scheda dell'UR 4.2 Di Giovambattista): 1/3 delle sequenze analizzate non è stato preceduto da significativa accelerazione del rilascio di energia e si stanno investigando le possibili motivazioni genetiche; la magnitudo prevista dal modello nelle sequenze precedute da attivazioni presenta in alcuni casi sensibili scostamenti rispetto a quanto osservato. Destra) applicazione del modello ETAS alla sequenza del Molise del 2002 (Fig. 4b della scheda dell'UR 4.7 Murru): la clusterizzazione, prevista dal modello, prevede un aumento del numero di eventi attesi (M 5.0, su un'area di 25 km²) al procedere della sequenza, in discreto accordo spaziale con quanto osservato.

Tabella 1. Parametri e risultati ottenuti per alcune strutture individuali dalla modellazione fisico statistica del processo sismogenetico attuata tramite fusione del modello rate-and-state per la nucleazione del terremoto con modello renewal di occorrenza di evento caratteristico (Tab. 1 della UR 4.7 Murru); i tassi (R_0 , pari a $1/T$) e la probabilità di occorrenza di Poisson e condizionati al tempo trascorso sono stati preliminarmente assegnati sulla base di precedenti analisi: i valori modificati ($_mod$) tengono conto della variazione dello stress di Coulomb sulla struttura come variazione del tempo medio caratteristico causata dalla variazione di sforzo agente sulla struttura.

	Ovindoli-Pezza	Sulmona Basin	Fucino Basin	Aremogna-Cinquemiglia
R0_Poisson	6.25e-04	1.18e-03	7.14e-04	4.67e-04
R0_cond	4.29e-03	1.33e-04	5.00e-04	4.07e-03
R0_mod	5.90e-03	1.32e-04	5.00e-04	4.40e-03
Delta_t (anni)	+63.00	-53.00	0.00	+21.30
P(30) Poisson (DISS 3.0.1)	1.90%	3.50%	2.10%	1.40%
P(30) cond (Peruzza, comm. pers.)	12.10%	0.40%	1.50%	11.00%
P(30) mod	16.20%	0.39%	1.50%	12.30%

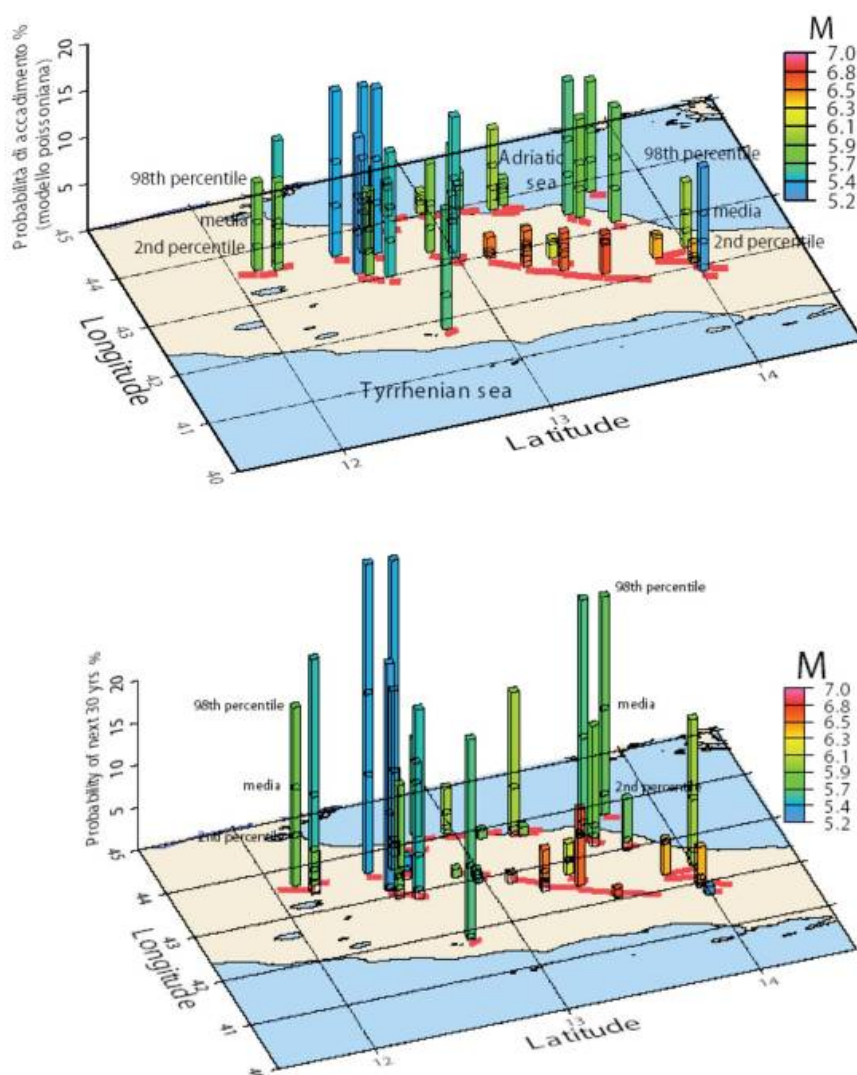


Figura 13. Variabilità della probabilità di occorrenza legata all'incertezza sullo slip rate su strutture individuali in Italia Centrale: sopra) in 30 anni, con modello poissoniano; sotto) nei prossimi 30 anni, con modello Brownian Passage Time ad alfa prefissato (Figg. 5a e 5b della scheda della UR 4.1 Akinci). Le strutture con la probabilità più elevata sono in entrambe le formulazioni quelle caratterizzate da valori inferiori della magnitudo massima attesa (scala cromatica), per cui i tempi medi di ricorrenza sono più brevi.

Le analisi, pur fornendo come prima indicazione degli elementi antitetici (le massime velocità di deformazione delle strutture in Appennino centrale, non sono in grado di giustificare completamente il contributo della sismicità storica, mentre dalla modellazione geodetica si attendono velocità mediamente molto inferiori rispetto a quanto indicato dai compilatori di DISS) trovano in realtà giustificazione e concordanza con altri elementi (le analisi di stazionarietà sul catalogo, i dati geodetici osservativi) e si ritiene potranno comporsi in un quadro unitario col lavoro congiunto dei diversi task. Per quanto riguarda infine lo sviluppo delle stime di probabilità di terremoto maggiore con tecniche statistiche, in riferimento ad aree estese (sorgenti areali), la prima fase dell'attività è stata prevalentemente di sviluppo metodologico, essendosi protratta oltre il previsto la fase di associazione terremoti/sorgenti. Le prime indicazioni a campione emerse (Fig. 16) suggeriscono una marcata preferibilità di distribuzioni mistura rispetto alla semplice esponenziale (modello poissoniano) anche se le variazioni indotte nella probabilità di accadimento condizionata nella breve previsione possono essere modeste.

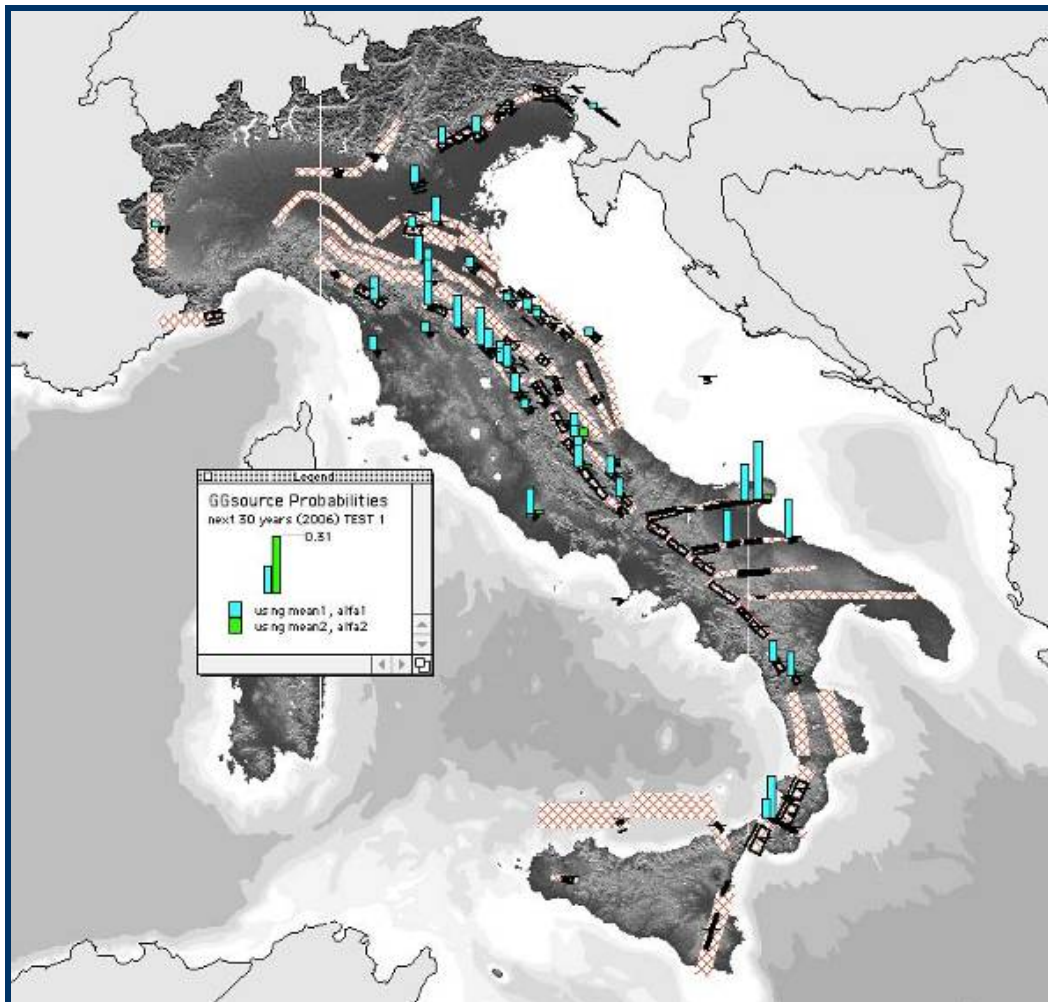


Figura 14. Probabilità di occorrenza di un terremoto caratteristico nei prossimi 30 anni sulle strutture individuali (box nere) del DISS 3.0: il modello renewal utilizzato è la distribuzione Brownian Passage Time, con media e alfa variabile, calcolati in modo da poter ricondurre l'incertezza dei dati ad una componente aleatoria (variabilità della dimensione dell'evento caratteristico, barre azzurre) e una epistemica (variabilità dello slip rate associabile alle strutture, barre in verde) (Fig. 4 della scheda della UR 4.8 Peruzza). Il tempo trascorso dall'ultimo evento, se non noto, è stato imposto pari al tempo medio di ricorrenza. L'incertezza sullo slip rate rende molto marginale il contributo delle sorgenti individuali, per i lunghi periodi di ritorno derivati, e per la limitata periodicità espressa da valori di alfa elevati.

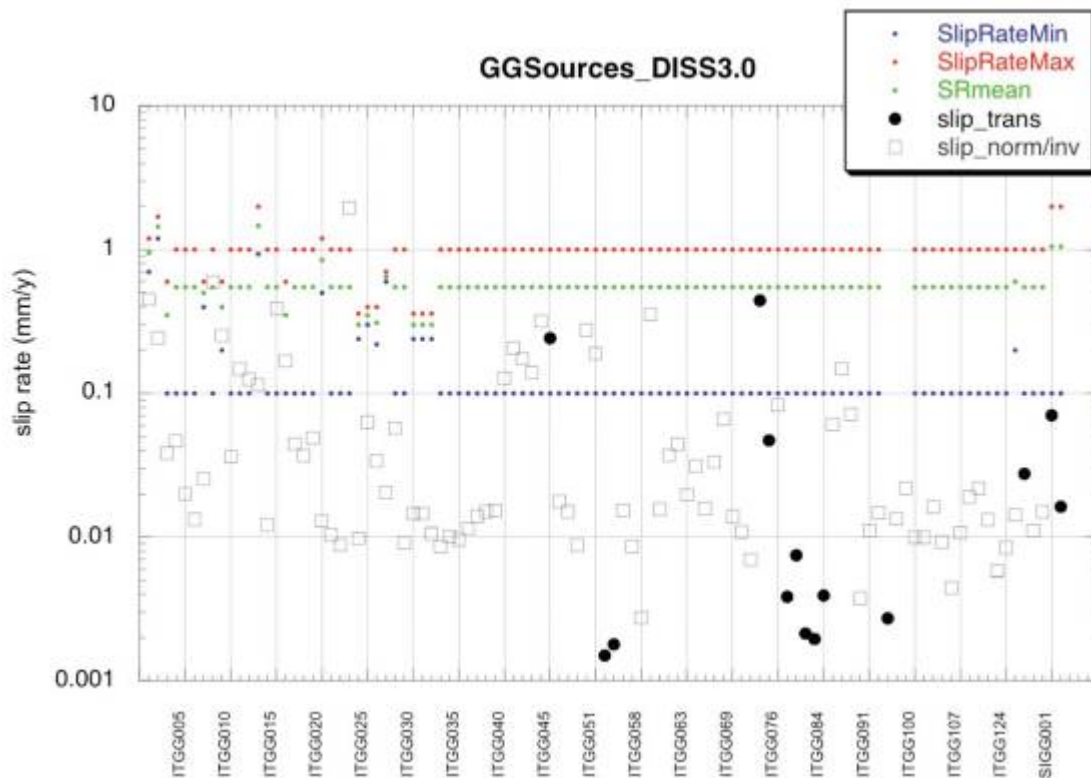
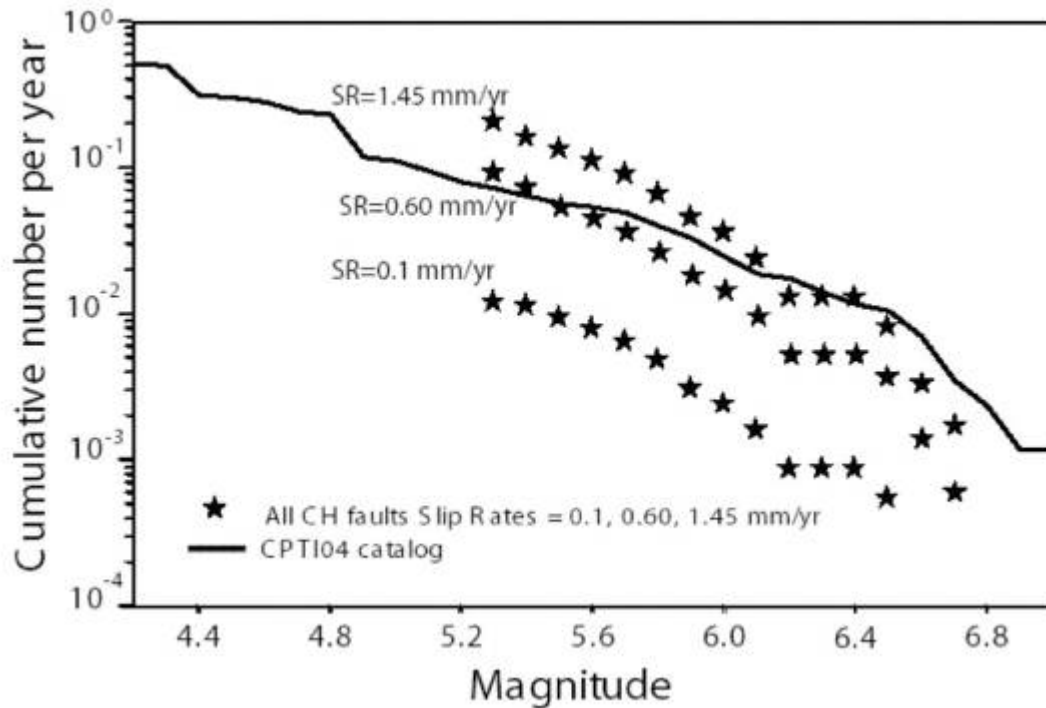


Figura 15. Sperimentazione di tecniche per limitare la variabilità del parametro di slip rate associato alle strutture individuali del DISS 3.0: a) bilanciamento energetico in rapporto al contenuto del catalogo storico (Fig. 3 della scheda della UR 4.1 Akinci); i valori di slip rate minimo forniscono un numero annuo cumulativo di eventi molto inferiore a quanto storicamente osservato, anche se criteri di completezza possono portare ad una sovrastima della cumulata sperimentale. b) confronto fra i valori di slip rate attribuiti alle strutture individuali dai compilatori del DISS e quelli ricavati in modo semplificato dalla informazione sulla deformazione geodetica (Fig. 5 della scheda della UR 4.8 Peruzza). La modellazione preliminare dello strain rate proposta dalla UR 3.1 Barba è stata ricondotta alle strutture individuali e fornisce stime di slip rate molto basse, come peraltro evidenziate dal confronto con i valori sperimentali.

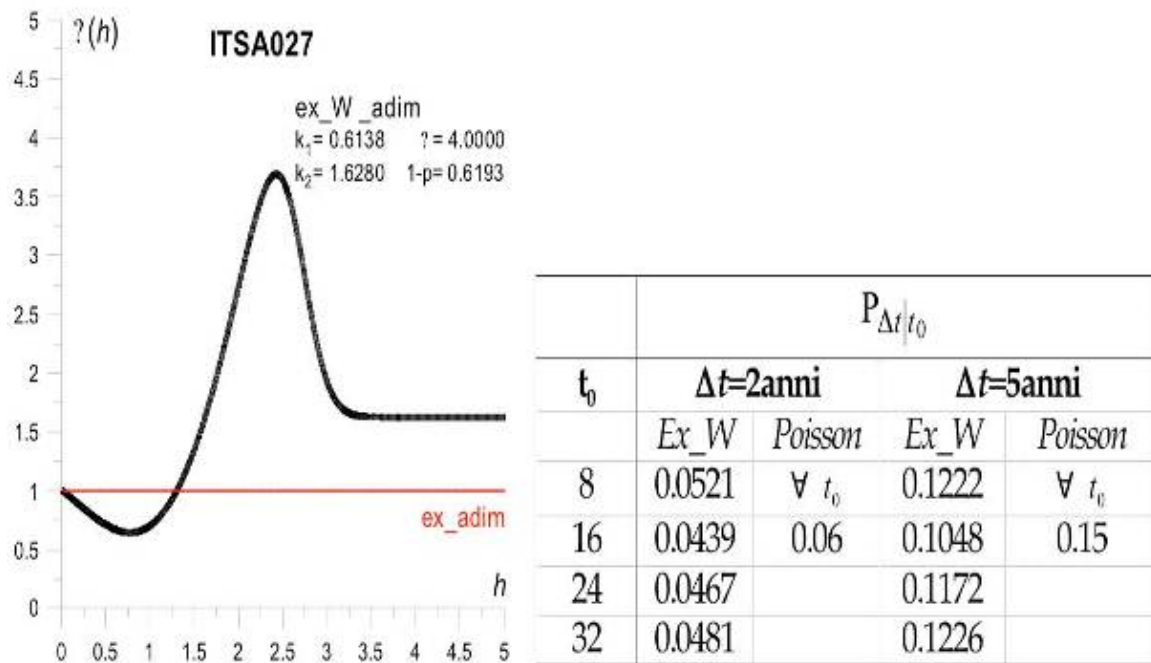


Figura 16. Rappresentazione dell'hazard rate adimensionale, su una distribuzione formata dalla mistura di una esponenziale con una Weibull (Fig.1 e Tab. 2 della scheda della UR 4.4 Garavaglia); la sorgente areale modellata è la SA27 dotata di 13 intertempi. Al variare del tempo trascorso dall'ultimo evento (t_0) la probabilità condizionata si discosta da quanto previsto dal modello stazionario, per tendere, sul lungo termine, a convergere su quest'ultimo.

Eventuali difficoltà maggiori, modifiche di indirizzo, ecc.

Nella sua formulazione originale il progetto S2 presenta un grado di complessità organizzativa notevole. Vi si prevede, infatti, la raccolta di nuove informazioni geologiche a scala nazionale, la loro archiviazione nell'ambito di una versione di DISS su server cartografico facilmente accessibile, il loro utilizzo in chiave statistica secondo procedure diversificate e, in parte, da perfezionare. Oltre a questo, il progetto prevede l'utilizzo di tutte le informazioni geodetiche disponibili, opportunamente catalogate ed elaborate, e la loro inclusione in un modello geodinamico complesso, anch'esso a scala dell'intera penisola. Lo svolgimento di queste operazioni, infine, è per definizione previsto temporalmente in parallelo, mentre sarebbe stata più facilmente gestibile una loro sequenza in cascata. Per la progettazione della ricerca abbiamo pertanto ritenuto opportuno, o quantomeno non controproducente, fare ricorso ad un numero elevato di UR, al fine di non lasciare strade intentate. Consapevoli di queste difficoltà oggettive di realizzazione, abbiamo formulato una scadenza operativa atta al raggiungimento di alcuni risultati preliminari già alla fine del primo anno, lasciando il secondo alla revisione e aggiornamento dei prodotti e al loro completamento. Giunti alla fine del primo anno possiamo dire che alcuni importanti risultati sono stati raggiunti in tutti i quattro task in cui il progetto è suddiviso. Siamo inoltre in grado di fare un esame analitico delle difficoltà riscontrate, di quelle che probabilmente incontreremo in futuro e delle azioni correttive che possono essere messe in atto. Nel Task 1 c'è stato un ritardo nella diffusione della versione preliminare di DISS da utilizzare nei calcoli del Task 4. Tale ritardo è stato determinato da difficoltà incontrate nell'organizzazione del server cartografico su web, da una certa sottovalutazione della mole di lavoro da svolgere rispetto alle forze disponibili e dal venire meno di

alcune risorse-chiave verso la metà del primo anno. Il Task 2 non ha presentato particolari difficoltà né ha richiesto rimodulazioni. Alcuni ritardi sono stati causati dalla difficoltà di organizzare le campagne di misura sul terreno (o in mare) a fronte di varie lentezze amministrative e in relazione alle condizioni meteorologiche. Questo ritardo verrà in gran parte recuperato tra giugno e settembre di quest'anno. Il Task 3 prevedeva la raccolta e l'omogeneizzazione di tutti i dati geodetici esistenti per il territorio nazionale. In particolare, è stato necessario risolvere alcuni problemi di messa a punto dei parametri di elaborazione nel calcolo del tasso di deformazione calibrato sulle stime di velocità ricavate dalle elaborazioni sui dati delle stazioni GPS permanenti e quelle ricavate da un set che include anche dati di campagne di misura (stazioni temporanee). Dato il suo carattere sperimentale e in considerazione del fatto che le attività che vi vengono svolte dipendono dai risultati conseguiti dai task precedenti, il Task 4 è stato avviato come un insieme di UR che in linea di principio erano in grado di dare un contributo agli obiettivi del task stesso, e quindi del progetto. Successivamente, per garantire una migliore coerenza ed efficienza nella realizzazione delle stime di occorrenza dei forti terremoti, si è deciso di procedere ad una rimodulazione dei vari filoni in cui il task si articola. Più precisamente, il nuovo schema proposto alle UR e concordato in una serie di riunioni tematiche mantiene tre filoni di ricerca, individuati rispettivamente come:

- filone 1: probabilità di occorrenza di un evento imminente;
- filone 2: probabilità di occorrenza di un terremoto maggiore, con l'ausilio di modelli fisici;
- filone 3: probabilità di occorrenza di un terremoto maggiore, con l'ausilio di modelli statistici (ulteriormente suddiviso in un sottofilone operante su singole strutture sismogenetiche, ovvero faglie individuali di DISS, ed uno su strutture estese, ovvero sulle "Seismogenic Areas", sempre di DISS).

I tre filoni raccolgono al proprio interno tecniche di calcolo ed approcci anche diversi tra loro, ma sono invece abbastanza omogenei per quanto riguarda il risultato ottenibile, ed è opportuno convergano per quanto riguarda i dati di base da utilizzare. Le UR possono quindi operare utilizzando le stesse informazioni sia dal punto di vista delle sorgenti sismogenetiche, sia dal punto di vista del catalogo storico, per poter giungere ad un confronto significativo dei risultati conseguiti. L'attività del Task 4 è fortemente condizionata dalla disponibilità dei dati di base e dalla loro compatibilità (sia quantitativa che qualitativa) con le metodologie statistiche utilizzabili. Il ritardato rilascio della versione preliminare di DISS ha determinato un parallelo ritardo nelle analisi di fattibilità delle elaborazioni previste. A questo si è in parte sopperito con una serie di test sviluppati sulla recente zonazione sismogenetica utilizzata per il calcolo della pericolosità sismica nazionale.

Stato di avanzamento dei deliverables, per singolo deliverable

Nella formulazione originale del progetto S2 erano stati individuati deliverables di due categorie: i prodotti applicativi e i prodotti di ricerca. Benché siamo solo alla fine della prima fase, esiste almeno un elaborato preliminare relativo a tutti i prodotti attesi. Si precisa che si tratta sempre di prodotti validi a scala nazionale, o quantomeno regionale. Prodotti a scale diverse non vengono discussi qui

ma sono elencati come risultati dei singoli task. I numeri delle figure si riferiscono a immagini contenute nelle singole schede di UR citate.

Prodotti applicativi

1) Database delle sorgenti sismogenetiche del territorio italiano (DISS 3.x), in versione web e standalone, contenente tutte le informazioni disponibili per le sorgenti sismogenetiche individuali e areali candidate a generare terremoti forti e considerate nell'ambito del progetto. L'aggiornamento di DISS è stato curato esclusivamente dalla UR 1.1 Basili ed ha comportato: (1) attività di sviluppo tecnologico e (2) attività di sviluppo scientifico. Per quanto riguarda le prime, possiamo ricordare:

- progetto e realizzazione di un server interamente dedicato allo sviluppo e distribuzione della banca dati (Figg. 1, 2 e 3);
- realizzazione di software per la conversione delle tabelle fondamentali della banca dati tra diversi formati proprietari di varie piattaforme GIS per consentire al personale delle UR del progetto di manipolare i dati utilizzando i software GIS già in loro possesso;
- potenziamento del software per la pubblicazione in Internet della banca dati.

Relativamente alle attività di sviluppo scientifico, va segnalato il consolidamento della consistenza della banca dati relativamente alle sorgenti basate su dati geologici e geofisici (GG e SA). Alla data di inizio del progetto era disponibile la versione 3.0.0 della banca dati, che incorporava lo stato dell'arte sulle sorgenti sismogenetiche introducendo in via sperimentale diverse e significative novità rispetto alla versione DISS 2.0 pubblicata nel 2001. Il 30 novembre 2005 è stata distribuita la versione 3.0.1, che rappresenta la prima versione utilizzabile per le varie elaborazioni e applicazioni previste dai progetti sismologici della convenzione INGV-DPC. Entro la fine di giugno 2006 sarà disponibile la versione 3.0.2. In particolare, per quanto riguarda il contenuto informativo:

- il numero di sorgenti individuali (GG) è passato da 96 per la versione 3.0.0 (inizio progetto) a 115 per la versione 3.0.2 (Figg. 4a, 4b, 4c, 4d);
- le sorgenti areali (SA) sono passate da 53 a 89, e parallelamente è stata completata la copertura di tutte le zone sismogenetiche nazionali (Figg. 4e, 4f, 4g, 4h).

Nella versione per web la banca-dati può essere liberamente consultata all'indirizzo <http://www.ingv.it/DISS/>, dove è possibile anche scaricare del software per visualizzare le sorgenti sismogenetiche in ambiente GoogleEarth (©2006Google™: [http://www.ingv.it/DISS/DISS 3.0.1 kml.zip](http://www.ingv.it/DISS/DISS%203.0.1.kml.zip)). Il contenuto informativo fondamentale della banca-dati può essere scaricato (<http://www.ingv.it/DISS/Downloads.html>) in diversi formati di scambio (MapInfo Interchange, ESRI ArcInfo Export, ESRI Shape, AutoCAD DXF). Su richiesta il DISS Working Group fornisce la versione standalone della banca-dati, utilizzabile in ambiente

MapInfo, mentre la versione 2.0 del 2001 è liberamente scaricabile (<http://www.ingv.it/DISS/DISS2.zip>). Ulteriori dettagli su DISS sono contenuti nella scheda della UR 1.1 (Basili).

2) Mappa con l'individuazione spaziale delle sorgenti sismogenetiche individuate prima del progetto e nell'ambito del progetto stesso, corredate dalla magnitudo attesa e da istogrammi mostranti la probabilità di attivazione di ciascuna delle sorgenti. E' prevista una prima versione sperimentale di queste elaborazioni, ottenuta con diverse tecniche, per la fine del primo anno. I risultati finali saranno ovviamente disponibili alla fine del progetto.

La UR 4.1 Akinci ha calcolato delle probabilità di occorrenza di forti terremoti per i prossimi 30 anni e per un ampio settore dell'Italia centrale, rispettivamente sotto l'ipotesi di comportamento poissoniano (Fig. 5a) e mediante il modello BPT (Fig. 5b).

La UR 4.8 Peruzza ha calcolato la probabilità di occorrenza di un terremoto caratteristico per tutte le sorgenti sismogenetiche della banca-dati DISS (Fig. 4).

La UR 4.7 Murru ha calcolato la variazione dello stress di Coulomb indotto dall'interazione tra alcune importanti sorgenti sismogenetiche dell'Italia centrale e meridionale (Fig.1 e Tab. 1).

3) Mappe di altezza dell'onda di tsunami attesa lungo le coste italiane. Una prima mappatura sarà disponibile alla fine del primo anno. Una mappatura definitiva, che tenga conto anche di tutte le nuove conoscenze accumulate nel corso del progetto, sarà resa disponibile alla fine del progetto.

Grazie ad un'attività congiunta delle UR 1.1 Basili, 2.19a Tinti e 2.19b Piatanesi, è stato possibile elaborare scenari di tsunami generati da una selezione delle più importanti sorgenti sismogenetiche del Mediterraneo. I dati di ingresso sono illustrati nelle Figg. 5a, 5b, 5c e 6della scheda della UR 1.1 Basili. I risultati in termini di tempo di propagazione e di altezza dell'onda attesa sono sintetizzati nelle figg. 1 e 2 della scheda della UR 1.19a Tinti e nelle Figg. 2, 3, 4, 5 della scheda della UR 1.19b Piatanesi. Questi dati possono essere richiesti informa tabellare.

Principali prodotti di ricerca

- Monografie delle sorgenti sismogenetiche individuali e areali studiate nel progetto.
Numerose informazioni in forma testuale, immagini e bibliografia su numerose delle sorgenti sismogenetiche possono essere ricavate dalla consultazione di DISS 3.0x in versione web (per dettagli si veda la scheda della UR 1.1 Basili).
- Codice Boxer in versione 4.x (per analisi automatica di dati di intensità macrosismica).
La UR 1.2 Gasperini ha elaborato una versione 4 del codice Boxer (versioni precedenti disponibili al sito <http://ibogfs.df.unibo.it/user2/paolo/www/boxer/boxer.html>, dove nel corso del secondo anno del progetto verrà resa disponibile a tutti anche la versione 4). Le potenzialità del nuovo programma sono descritte nella relativa scheda di UR.
- Database EMMA in versione aggiornata (meccanismi focali dell'area euro-mediterranea).

La UR 1.2 Gasperini ha presentato una versione 3.0 del database EMMA, ottenuta come evoluzione della versione 2.2 (parzialmente disponibile per consultazione al sito <http://www.ingv.it/seismoglo/atlas>). La banca-dati include 1629 nuovi meccanismi focali, con un incremento del 26% rispetto alla versione precedente, ottenuti dallo spoglio di 36 pubblicazioni. Ulteriori dettagli sono forniti nella relativa scheda di UR.

- Mappe di velocità e strain-rate derivate da dati GPS.

La UR 3.2a Caporali ha generato una mappa di velocità delle stazioni GPS permanenti italiane del Mediterraneo centrale (Fig. 3) e i relativi strain-rates (Fig. 2). La UR 3.1 Barba ha generato una mappa di velocità che include sia stazioni permanenti che stazioni temporanee (Fig. 2). Tutte le mappe sono disponibili in forma tabellare su richiesta.

- Mappe di velocità e strain-rate derivate da modelli numerici tridimensionali.

Utilizzando una metodologia agli elementi finiti la UR 3.1 Barba ha generato mappe di velocità (Fig. 3) e strain-rate (Fig. 4a) su griglie regolari con un passo di 10 km per alcune migliaia di modelli numerici (si vedano i dettagli nella scheda relativa). Ha inoltre generato una mappa di strain-rate calcolato nella aree sismogenetiche della zonazione ZS9 (Fig. 4b).

Ulteriori prodotti di ricerca

In aggiunta ai prodotti elencati, la UR 3.1 Barba ha prodotto una mappa di stress orizzontale e stile tettonico (Fig. 5), sempre a scala nazionale e sempre a partire dal medesimo modello geodinamico numerico. Inoltre, la stessa UR ha utilizzato dati geotermici e reologici per calcolare la profondità dello strato sismogenetico (Figg. 6a e 6b).

Fattibilità delle attività previste per il secondo anno: previsioni, esigenze

Alcune delle attività previste per il secondo anno sono una pura prosecuzione di quanto già avviato con il primo anno e non dovrebbero quindi dar luogo a problemi imprevisti o limitazioni dei prodotti attesi. Ad esempio, nel secondo anno il Task 1 consoliderà il database DISS con i risultati già conseguiti nel primo anno dal Task 2. Inoltre, essendo ormai esaurita l'implementazione del web-server, l'attenzione potrà essere concentrata maggiormente sul consolidamento dei dati già presenti nel database e sull'assegnazione di stime di attendibilità dei diversi parametri. La conclusione di diverse delle attività avviate nel Task 2 dovrebbe portare -e in parte sta già portando -a nuove sintesi e quindi a significative revisioni del quadro sismotettonico in diverse zone della penisola, tra cui segnaliamo:

- il settore di cresta dell'Appennino compreso tra la Lunigiana a nord (4 in Fig. 2) e il bacino di Sansepolcro a sud (5 in Fig. 2). In questo settore nuovi dati geofisici stanno fornendo vincoli ulteriori sulla continuità e la geometria di dettaglio di un sistema di faglie sismogenetiche pendenti verso NE la cui esistenza era stata solo ipotizzata in DISS v. 2.0 (2001);
- l'area dell'avampaese apulo nella sua porzione settentrionale, nel quale vengono riconosciute le sorgenti di terremoti che vanno dal 1706 (Maiella: 8 in Fig. 2), al 1456 (Appennino meridionale), al 1731 (Capitanata: 15 in Fig. 2);

- la porzione meridionale del Salento (16 in Fig. 2), in seguito alla presumibile rilocalizzazione dell'epicentro del grande terremoto del 1743 in mare di fronte alle coste albanesi;
- l'Appennino meridionale, dove sono in corso di revisione alcuni importanti e poco compresi terremoti storici fra cui quello del 1930 (10 in Fig. 2), che sembra appartenere a un dominio di transizione tra il dominio appenninico s.s. (cinematica estensionale pura) ed il dominio apulo (cinematica trascorrente su faglie profonde);
- l'offshore della Sicilia settentrionale (21 in Fig. 2), a seguito della revisione di dati di sismica di esplorazione che dovrebbe consentire di vincolare con buona accuratezza le sorgenti sismogenetiche attive;
- l'offshore della Sicilia nord-orientale (versante ionico: estremità meridionale di 17 in Fig. 2), dove le indagini in corso dovrebbero consentire di confermare o smentire in modo definitivo l'esistenza della cosiddetta Faglia di Taormina come proseguimento verso sud della Faglia dello Stretto di Messina;
- l'area dell'avampese ibleo (18 in Fig. 2), dove si moltiplicano le evidenze di tettonica attiva e dove sono state recentemente ricollocate le sorgenti sismogenetiche dei terremoti del 1693, e plausibilmente anche dei grandi terremoti precedenti avvenuti nella stessa zona (1169, 1542).

In sintesi, anche se il numero complessivo delle sorgenti sismogenetiche censite in DISS non aumenterà in modo drastico, le revisioni riguarderanno le sorgenti dei due più forti terremoti della storia sismica italiana (1456 e 1693) e di alcuni altri forti eventi, la cui comprensione avrà notevoli implicazioni sia di carattere geodinamico, sia sulla comprensione dell'andamento del campo di strain geodetico, sia sulla sismotettonica di eventi minori. Il proseguimento delle attività relative agli tsunami dovrebbe portare a completare il quadro degli scenari derivanti da grandi terremoti mediterranei per le coste italiane. Un eventuale rafforzamento delle UR che elaborano modelli di tsunami (2.19a Tinti e 2.19b Piatanesi) consentirebbe inoltre di elaborare scenari di maggior dettaglio per le aree identificate nel primo anno come maggiormente prone al rischio tsunami, e segnatamente la Sicilia orientale, la Calabria orientale e meridionale e il lato orientale della penisola salentina. Alla luce di quanto riportato nella precedenti sezioni, i task più critici per quanto riguarda il completamento delle attività secondo quanto delineato nella formulazione iniziale del progetto sono il Task 3 e il Task 4. Per quanto riguarda il Task 3, le difficoltà maggiori riguarderanno la messa a punto del modello geodinamico elaborato dalla UR 3.1 Barba. E' previsto che nel secondo anno i responsabili della UR si confrontino con alcuni gruppi di ricerca internazionali per cogliere eventuali manchevolezze del modello e migliorarlo, compatibilmente con i dati disponibili. Viceversa, la seconda anima del Task 3, quella dedicata alla omogeneizzazione dei dati di velocità GPS, dovrebbe poter continuare la propria attività fornendo modelli via via più aggiornati a seguito dell'inclusione di nuove misure delle stazioni "storiche", dei dati di stazioni permanenti di recente istituzione e di dati da reti temporanee. Sulle difficoltà del Task 4 si è già detto nella precedente sezione 3 "Eventuali difficoltà maggiori". E' qui il caso di ricordare che uno dei nodi da sciogliere nel secondo anno riguarda l'assegnazione delle probabilità di accadimento ai diversi tipi di sorgente sismogenetica. Infatti, mentre lo schema di calcolo è abbastanza

consolidato per quanto riguarda le sorgenti individuali, attivate nell'assunzione di un comportamento caratteristico, resta da capire come usare i diversi dati disponibili per le sorgenti areali (geometria, cinematica, strain rate, sismicità strumentale e storica, eventuale rapporto sismico/asismico ottenuto su aree che aggregano più sorgenti areali), per le quali per definizione non viene assunto un modello di ricorrenza. Si prevede di sperimentare vari schemi e di avviare collaborazioni con gruppi di ricerca internazionali attivi sulla stessa tematica.

Riferimenti bibliografici

- Basili R., Burrato P., Mariano S., Mirabella F., Ravaglia A., Valensise G., Vannoli P. (2005). Identificazione e caratterizzazione delle sorgenti sismogenetiche lungo la fascia costiera marchigiana nei tratti "Fano-Senigallia" e "Civitanova Marche-Pedaso" -Rapporto Tecnico Convenzione INGV-Regione Marche, 56 pp. e 39 fig.
- Galadini, F., Poli M. E., Zanferrari A. (2005). Seismogenic sources potentially responsible for earthquakes with $M \geq 6$ in the eastern Southern Alps (Thiene-Udine sector, NE Italy), *Geophysical Journal International*, 161, 739.
- Meletti C., Camassi R., Stucchi M., Valensise G. (2004). Definizione dello stato delle conoscenze in materia di pericolosità sismica del territorio regionale, con approfondimento su elementi e aree particolari, Rapporto Tecnico finale Convenzione con la Regione Toscana, 74 pp. e 51 fig.
- Tinti S., Armigliato A., Pagnoni G., Zaniboni F. (2005). Scenarios of giant tsunamis of tectonic origin in the Mediterranean Sea. *ISSET Journal of Earthquake Technology*, 42(4), 171-188.
- Valensise G., Pantosti D. (2001). Database of Potential Sources for Earthquakes larger than M 5.5 in Italy. *Annali di Geofisica*, 44, Suppl. 1, 18 pp., con CD-ROM.
- Vannucci G., Pondrelli S., Argnani A., Morelli A., Gasperini P., Boschi E. (2004). An Atlas of Mediterranean seismicity, *Annals of Geophysics*, Supplement to Volume 47, N. 1.

PROGETTO S3: SCENARI DI SCUOTIMENTO IN AREE DI INTERESSE PRIORITARIO E/O STRATEGICO

Responsabili: M. Mucciarelli (Università degli Studi della Basilicata) e F. Pacor (INGV - Sezione di Milano)

Obiettivi del progetto

Il Progetto S3 si pone come obiettivo generale il calcolo di scenari di scuotimento in alcune aree italiane nel caso di accadimento del terremoto massimo credibile (Maximum Credible Earthquake). Gli scenari saranno valutati a scala comunale e/o intracomunale e saranno descritti attraverso mappe rappresentative dell'andamento nello spazio di vari parametri del moto sismico atteso (picchi di accelerazione, di velocità, ordinate spettrali etc.) e della loro variabilità. Particolare attenzione sarà dedicata alla valutazione della distribuzione dei valori predetti in funzione della variabilità dei parametri di ingresso dei modelli descrittivi la sorgente sismica, il mezzo di propagazione e la geologia locale. Gli scenari saranno calcolati a diverso livello di dettaglio sia attraverso metodologie semplificate, basate sulla combinazione di leggi d'attenuazione del moto e di zonazioni geologiche/geotecniche a scala urbana, sia attraverso tecniche di simulazione di sismogrammi sintetici a faglia finita, in modo da riprodurre gli effetti dei terremoti nel campo vicino (direttività e generazione di impulsi a bassa frequenza). Il mezzo di propagazione sarà simulato attraverso diverse metodologie di calcolo (campo d'onda completo o in approssimazione ad alta frequenza in mezzi 1-D/3-D). Nel progetto S3 si prevede inoltre di svolgere una serie di attività trasversali e/o propedeutiche al calcolo degli scenari, a carattere prevalentemente metodologico, finalizzate alla definizione e stesura di linee guida da seguire nella generazione di scenari di scuotimento a scala urbana. Tali attività riguarderanno tre argomenti principali:

- 1) La definizione, su basi principalmente sismologiche, dei modelli di sorgente da utilizzare nel calcolo di scenari associati ad eventi sismici futuri, di cui cioè non si conoscono le modalità di accadimento;
- 2) La caratterizzazione e rappresentazione parametrica delle risposte sismiche associate a diverse condizioni di sito comunemente riscontrabili nel territorio italiano; la verifica di vari metodi per la stima di V_{s30} e studi di dettaglio su tipologie di suoli ove questo parametro non sembra una buona approssimazione dell'amplificazione attesa (inversioni di velocità, frane, ammassi rocciosi fratturati, aree con carsismo)
- 3) Lo sviluppo e l'applicazione di metodi di calcolo innovativi per la valutazione del moto sismico a scala locale e/o regionale (integrazione delle tecniche di simulazione stocastiche con quelle deterministiche al fine di ottenere simulazioni realistiche del moto del suolo sia in campo vicino sia lontano su ampia banda di frequenza; introduzione dei risultati ottenuti dalle simulazioni deterministiche a faglia finita del moto del suolo nel classico approccio probabilistico utilizzato per le stime di pericolosità a scala regionale).

Il Progetto si concentrerà su quattro aree italiane, due scelte a scopo previsionale e due a scopo di validazione. Come aree di validazione si individuano quelle ricoperte dai comuni maggiormente danneggiati da due eventi recenti: il terremoto del basso Molise del 31 Ottobre 2002 (M=5.8) e il terremoto del bresciano del 24 Novembre 2004 (M=5.2). A scopo previsionale si identificano l'area urbana di Potenza (PZ) e quella di Gubbio (PG).

Stato di avanzamento del progetto: aspetti generali

Il progetto è stato coordinato direttamente dai responsabili senza la nomina di responsabili di Task; sono state organizzate due riunioni plenarie (30 e 31 Maggio 2005 e 14 giugno 2006 a Roma) e numerosi incontri per singoli Task a cui hanno partecipato le UR coinvolte, quando possibile i referenti DPC e le autorità locali. Nel corso del primo anno il Progetto S3 ha rispettato i tempi e metodi previsti inizialmente. Le variazioni principali hanno riguardato alcune attività sperimentali le quali sono state ridefinite in corso d'opera e descritte in dettaglio nei singoli Task. A favore del Progetto si segnala l'aggiunta di nuove indagini e calcoli inizialmente non previsti che si è potuta ottenere da un lato grazie ad una ottimizzazione delle risorse allocate presso alcune unità, dall'altro grazie al coinvolgimento a titolo gratuito di alcuni gruppi di ricerca che hanno trovato di loro interesse collaborare alle attività proposte attingendo a finanziamenti istituzionali o nell'ambito di altre iniziative in corso (ad esempio il modello 3D della Piana di Gubbio). Particolare attenzione è stata dedicata ai rapporti con gli utenti finali dei prodotti previsti, sia con le amministrazioni locali che con la comunità ingegneristica. Per quanto riguarda il primo aspetto, si forniranno ulteriori dettagli per i task interessati. Va comunque detto che le autorità locali sono state direttamente coinvolte nelle attività di reperimento dati e sono sempre state invitate alle riunioni di progetto che si è cercato di tenere nei luoghi oggetto di studio. Per quanto riguarda invece i rapporti con la comunità ingegneristica (oggetto del task 7), è bene ricordare che il documento istitutivo dei progetti prevedeva che i prodotti di S3 dovessero essere interfacciati con studi di vulnerabilità "altrimenti esperiti" allo scopo di produrre scenari di danno. Durante il primo anno di attività è emersa la necessità di un maggiore confronto sui temi al confine tra prodotti sismologici ed ingegneristici, e si è individuato un naturale interlocutore nel gruppo che rappresenta l'altra metà delle ricerche finanziate dal Dipartimento Protezione Civile, ovvero nei progetti ReLUIS. Il risultato principale e non previsto inizialmente è stata l'organizzazione di un workshop sull'input sismico che si terrà il 12 e 13 giugno. Per quanto riguarda i deliverables previsti per il primo anno, sono già stati tutti predisposti ad eccezione di uno: D24 - Specifiche dei parametri sismici necessari per la generazione di scenari di danno nel presente e immediato futuro per il quale si attendono le conclusioni del workshop sopra citato, che prevede da parte di due rapporteur (un sismologo ed un ingegnere) la redazione in tempo reale di un documento di consenso da discutere ed approvare al termine della riunione. D24 sarà predisposto entro il 15 giugno. Per quanto riguarda il deliverable D8, sono stati elaborati i modelli geotecnici a San Giuliano di Puglia e Ripabottoni; per gli altri tre comuni si attende la pubblicazione dei dati della Microzonazione Sismica effettuata dalla Regione Molise. Rispetto all'elenco iniziale dei Deliverables si forniranno due deliverables aggiuntivi: D0, descrittivo del confronto fra le tecniche di simulazione; e D26 rappresentato dal CD-rom dei dati

registrati nella Piana di Gubbio. Tra gli aspetti generali del progetto vanno menzionate le azioni intraprese a seguito dei commenti del Comitato dei Revisori. I commenti riguardavano:

1. la definizione dei risultati in un formato appropriato per le valutazioni di perdite effettuate da DPC;
2. il trattamento della variabilità aleatoria del moto del suolo ed in particolare come le incertezze saranno propagate al calcolo del danno;
3. la dipendenza esclusiva dal metodo di Nakamura per la caratterizzazione del sito;
4. l'inclusione di aspetti non-lineari e di liquefazione ed utilizzo di tecniche di modellazione dinamica per la sorgente.

Per quanto riguarda il commento 1, si sono intraprese due azioni. La prima riguarda direttamente il responsabile DPC per S3, che ha invitato presso la sede del Dipartimento stesso i coordinatori di progetto e le persone più direttamente coinvolte nella preparazione dei prodotti finali informatizzati, al fine di visionare gli strumenti di cui si sta dotando DPC per la stima di perdite e necessità di soccorso. L'incontro è programmato al termine delle attività di chiusura del primo anno. La seconda attività è consistita nella partecipazione dei due coordinatori ad una esercitazione nazionale di protezione civile svoltasi dal 10 al 14 maggio in Val d'Agri con il coinvolgimento di un migliaio di partecipanti. Per quest'area erano disponibili scenari di scuotimento realizzati da INGV-MI durante i progetti svolti nell'ambito del Programma Quadro 2000-2002 del Gruppo Nazionale Difesa Terremoti. È stato così possibile, assieme agli ingegneri che coordinavano la parte scientifica dell'esercitazione, seguire tutto il processo dall'integrazione con gli studi di vulnerabilità, attraverso le stime di danno fino allo scenario di perdite/soccorsi attesi. In tutto il processo si è tenuto conto delle incertezze e della loro propagazione, giungendo a farne un elemento caratterizzante della stessa esercitazione. Il rappresentante del DPC nel comitato organizzatore, Dott. Casenghini, ha espresso compiacimento per il risultato raggiunto ed in particolare per l'integrazione tra la componente scientifica e quella operativa. L'esperienza si è rivelata molto utile per l'identificazione delle criticità nel processo: come già si sospettava in partenza, il problema principale che viene richiamato anche dal task 7 di S3, è la necessità da parte degli ingegneri di avere dati di ingresso sotto forma di intensità, e possibilmente sia in scala MCS che EMS. Quanto sopra si ricollega anche al secondo commento dei revisori circa il trattamento delle incertezze. Per la propagazione delle stesse alle stime di danno è fondamentale il confronto che ci si attende con la componente ingegneristica nel workshop di giugno. L'impressione attuale è che i modelli che meglio potrebbero tenere conto delle incertezze mediante una convoluzione diretta, come le curve di fragilità, al momento manchino ancora di una base dati estesa e comprensiva di tutte le tipologie di interesse per il territorio italiano. Riguardo al commento circa l'uso esclusivo del metodo di Nakamura come stimatore degli effetti di sito, si ritiene che sia stato originato da un fraintendimento derivante dal fatto che i risultati disponibili alla data del primo incontro con i Revisori e mostrati in quella sede fossero misure di microtremiti. In realtà, il metodo HVNR è utilizzato o in combinazione con misure sugli edifici allo scopo di evidenziare la presenza di fenomeni di risonanza (task 2, 5 e 6) o allo

scopo di estendere spazialmente i risultati ottenuti in un numero limitato di punti di misura/modellazione. Nel task 2 vengono utilizzate molte tecniche, dato che lo scopo è il confronto tra vari metodi per stimare V_{s30} (rifrazione, NASW-REMI, ESAC) e confrontare i risultati di modelli 1-d con l'amplificazione misurata in siti dotati di sensori borehole. Per i due scenari previsionali (task 5 e 6) sono state installate decine di stazioni che hanno registrato centinaia di eventi, e le relative elaborazioni sono descritte in dettaglio al successivo capitolo 2. Per il task 3 si utilizzeranno modelli bi- e tri-dimensionali allo scopo di stimare l'amplificazione per la quale non si hanno misure dirette ottenute durante il mainshock. Per quanto la non-linearità, una stima speditiva degli effetti non lineari secondo il metodo proposto da Bazzurro e Cornell (2004) è già presente tra le attività previste per secondo anno del progetto. Per un errore materiale è riportato solo tra gli esperimenti del task 2 e non anche tra le attività previste nel task 3 per i siti del Molise per cui siano disponibili dati geotecnici di cui al deliverable D8. Per quanto riguarda lo studio di possibili fenomeni di liquefazione, non si ritiene di poterlo eseguire poiché il budget previsto per S3 non consente di effettuare i sondaggi geognostici e le prove geotecniche in situ ed in laboratorio che sarebbero necessarie. Infine, come già discusso, l'utilizzo diretto di tecniche di modellazione dinamica della sorgente per il calcolo degli scenari di scuotimento non era previsto nel Progetto S3; si è, infatti, ritenuto preferibile utilizzare tecniche di simulazione note e già sperimentate in progetti precedenti (progetto GNDT) al fine di garantire risultati applicativi e applicabili a più situazioni. Modelli dinamici saranno utilizzati nell'ambito dello studio parametrico delle sorgenti sismiche per vincolare alcune grandezze quali ad esempio le funzioni sorgente o i range di variabilità del rise time e delle velocità di rottura. Il primo anno del progetto era dedicato all'approfondimento di aspetti teorici della modellazione e soprattutto all'acquisizione dei dati sperimentali. Si può ritenere adempiuto questo compito, senza particolari ritardi e con una buona quantità e qualità dei dati disponibili, come sarà illustrato nel capitolo seguente. Tra i risultati che hanno già iniziato a delinearsi vanno menzionati:

- a. quelli riguardanti V_{s30} : in oltre un terzo dei siti esaminati questo parametro non sembra essere una buona approssimazione dell'amplificazione sismica.
- b. Per quanto riguarda il confronto delle tecniche di simulazione si osserva che in generale i singoli scenari di scuotimento relativi ad un terremoto e calcolati con le diverse tecniche di simulazione hanno valori confrontabili ma distribuzioni areali differenti, dipendendo dalla parametrizzazione della sorgente implementata nella singola tecnica. Le medie di tutti gli scenari hanno valori simili quando analizzati in funzione della distanza, al contrario le deviazioni standard associate variano, dipendendo dal parametro del moto del suolo analizzato.

Stato di avanzamento del progetto: aspetti di dettaglio, per singoli task

Il progetto S3 è diviso in 7 task, come da tabella seguente:

Task	Argomento
1	Scenari di scuotimento
2	Effetti di sito
3	Scenari area 1: Molise
4	Scenari area 2: Garda
5	Scenari area 3: Gubbio
6	Scenari area 4: Potenza
7	Interfacciamento con l'ingegneria ed il DPC

Task 1: Scenari di scuotimento

In questo Task erano previste tre attività di ricerca finalizzate alla calibrazione delle tecniche di simulazione da utilizzare per il calcolo di scenari di scuotimento nelle aree prescelte e per la valutazione della variabilità delle predizioni al variare dei parametri del modello. Si è conclusa l'attività 1 relativa al confronto fra le tecniche di simulazione; i risultati sono presentati nel Deliverable D0, inizialmente non previsto nel Progetto. Le attività 2 e 3 sono in corso di svolgimento; tutti i test parametrici per indagare la variabilità del moto in funzione dei parametri descrittivi la cinematica della sorgente sono stati progettati e saranno conclusi entro il II anno di progetto (attività 2); i primi scenari di scuotimento in termini di intensità macrosismica (attività 3) sono stati elaborati nell'ambito del Task 3 – Molise e Task 4 – Garda. Lo sviluppo di metodi innovativi per la valutazione della pericolosità sismica (attività 3) sta procedendo su due linee: la prima relativa alla calibrazione e validazione della tecnica broad band HIC (Galovic e Brokesova, 2006) proposta dall'UR10, la seconda finalizzata ad un miglioramento della tecnica DSM (Pacor et al., 2005), proposta da UR1 e UR2, attraverso l'introduzione di distribuzioni di slip più realistiche descritte dal modello k2. Inoltre nelle aree di validazione si stanno testando le tecniche di simulazione basate sulle Green Function empiriche (Hutchings; 1994; Irikura; 1986) utilizzando i data set di registrazioni delle sequenze sismiche del Molise e dal Garda. Le ricerche sono state condotte in collaborazione tra le UR (UR1, UR2 e UR10) e a tal fine sono stati organizzati 2 incontri di più giorni a Milano (27 – 30 Giugno 2005 e 7 – 8 Marzo 2006). Per gravi motivi di salute del ricercatore incaricato, l'UR3 non ha partecipato al Task. I fondi destinati alla calibrazione delle tecniche broad band saranno quindi utilizzati, come concordato con il responsabile della UR3, per un rilievo gravimetrico a San Giuliano di Puglia, da effettuare nel II anno di Progetto.

Attività 1

Per il confronto delle tecniche si è utilizzato il terremoto dell'Irpinia del 23 Novembre 1980 (M 6.9) ampiamente discusso in letteratura e per il quale sono disponibili 8 registrazioni accelerometriche in campo vicino. Sono stati definiti i parametri necessari alla simulazione, quali la geometria della sorgente, il modello di rottura, il profilo di velocità e il modello d'attenuazione. Nel confronto sono

state impiegate 4 tecniche: Compsyn (Spudich e Xu; 2002), tecnica deterministica in bassa frequenza che risolve il teorema di rappresentazione con una combinazione di due metodi numerici basati sugli elementi finiti e sui numeri d'onda discreti; la tecnica di Okada (1985) per il calcolo dello spostamento permanente; DSM, tecnica in alta frequenza che estende il metodo stocastico di Boore (2003) al fine di riprodurre alcuni effetti della faglia finita, HIC, metodo parzialmente sviluppato nell'ambito del Progetto, che combina l'approccio deterministico con l'approccio composito, basato sulla somma dei contributi al moto del suolo provenienti da sottofaglie elementari. Il confronto fra dati sintetici e registrati è stato condotto in termini di durata temporale, forme d'onda, valori di picco e ordinate spettrali (Figura 1.1). Il confronto ha evidenziato le buone prestazioni delle tecniche sia alle basse frequenze ($f < 1$ Hz) per Compsyn che alle alte frequenze ($f > 0.5$ Hz) per DSM, nonostante non si sia tenuto conto degli effetti di sito che alterano il segnale ad alcune stazioni. Le simulazioni effettuate hanno mostrato che Compsyn e HIC danno risultati simili per frequenze minori di 1 Hz, mentre DSM ha valori confrontabili con i valori di HIC solo per frequenze maggiori.

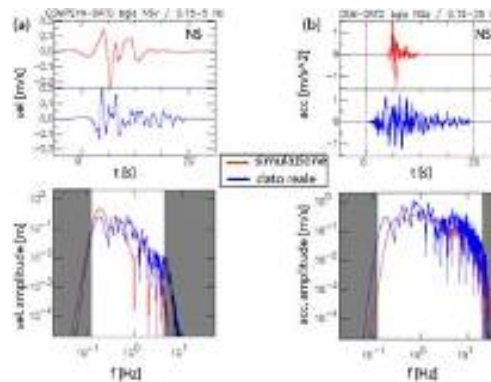


Figura 1.1 Confronto tra sismogrammi simulati e registrati alla stazione accelerometrica di Bagnoli Irpino (BGI, componente NS), nel dominio del tempo e delle frequenze: (a) simulazioni di Compsyn e dati reali filtrati tra 0.15 e 5 Hz (velocità); (b) simulazioni DSM e dati reali filtrati tra 0.15 e 25 Hz (accelerazione).

Diverse mappe di scuotimento fino a 100 km dalla sorgente sono state prodotte per l'evento a 0s con la tecnica DSM e la tecnica HIC, variando distribuzione di slip, velocità di rottura e punto di enucleazione. L'attenuazione media dello scuotimento in termini di PGA e PGV in funzione della distanza dalla faglia R_{JB} , è stata calcolata considerando tutti gli scenari ipotizzati per DSM e per HIC e mediando rispetto all'azimuth (Figura 1.2). I risultati mostrano tendenze medie molto simili per le due tecniche e per i due parametri strong motion considerati. Tuttavia, a causa degli effetti di direttività, con DSM si ottiene una maggiore deviazione standard sulla PGA, rispetto a quanto ottenuto con HIC. La maggiore dipendenza dalla distribuzione di slip di HIC produce invece sulla PGV una maggiore deviazione standard rispetto a DSM. Il confronto con i dati accelerometrici evidenzia un buon accordo tra simulazioni e osservazioni, mentre si osserva che la legge di attenuazione empirica sovrastima le osservazioni. La sovrastima deriva probabilmente dalla definizione di distanza utilizzata, dipendente dalla geometria di faglia adottata.

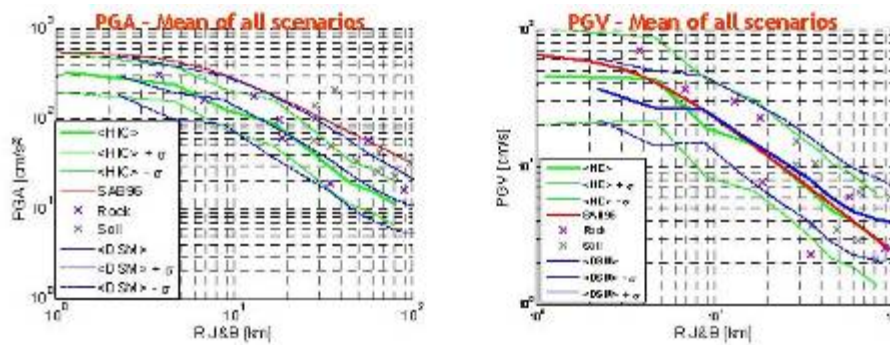


Figura 1.2 Attenuazione media di PGA e PGV con la distanza per DSM e HIC. Per confronto sono riportate le curve di attenuazione empirica di Sabetta e Pugliese (1996) e i picchi registrati.

Task 2: Effetti di sito

Attività 1 - V_{s30}

Scopo dell'attività è un cross-check di tecniche geofisiche speditive da superficie per la determinazione del profilo di velocità, di V_{s30} e dell'amplificazione. I siti dove effettuare misure di confronto sono stati scelti all'interno della rosa originariamente individuata e sono Tito Scalo (PZ), Tomba di Buia (UD) e Roma. A Tito Scalo la coppia di sensori accelerometrici superficie-borehole è in attività da luglio 2005 ed ha già acquisito una dozzina di eventi. È già stata compiuta una misura con array a geometria variabile che ha consentito un'inversione del profilo di velocità mediante algoritmi genetici. Si è predisposta la logistica per le misure di sismica a riflessione, ESAC e mediante il dilatometro Marchetti. Per Tomba di Buia si sono recuperate tutte le registrazioni effettuate durante il periodo di attività del sensore borehole e si è predisposta la logistica per le misure di sismica a riflessione. A Roma si è proceduto all'esecuzione del foro ed all'installazione dei sensori.

Attività 2 - Caratterizzazione di alcune tipologie di sito

Esistono molte tipologie diffuse sul territorio italiano per le quali la semplice caratterizzazione mediante V_{s30} o altri modelli semplici non forniscono risultati soddisfacenti. Ne sono state studiate quattro:

1. Inversioni di velocità

I siti prescelti sono stati Gerace e Tricarico. Gli studi sono in corso. Va segnalato che è stato possibile predisporre un modello di calcolo più complesso del modello bi-dimensionale originariamente previsto, grazie a due dei partner stranieri del progetto (Charles University e GFZ) che hanno deciso di utilizzare Tricarico come caso test di un programma di calcolo che stanno predisponendo. A Gerace l'attività sperimentale del primo anno è consistita nell'esecuzione di prove SASW per la misura delle velocità delle onde di taglio VS nelle argille e nelle calcareniti. Il profilo di VS nelle calcareniti è stato confrontato con i dati di prove CH effettuate per la progettazione degli interventi di consolidamento della rupe. La caratterizzazione geotecnica verrà integrata attraverso un'ulteriore campagna di indagini in foro

con prove DH in entrambi i siti, e misure piezometriche e di permeabilità nelle argille; qui verranno anche prelevati campioni indisturbati sui quali eseguire prove di laboratorio cicliche e dinamiche. Si rimanda per dettagli all'elaborato di UR 7.

2. Carsismo

Lo studio è in corso nell'area della Sicilia orientale. Originariamente erano previste solo misure empiriche, ma ora si sta concretizzando la possibilità di effettuare una modellazione bidimensionale grazie ad un gruppo di geotecnici di Roma¹ che erano alla ricerca di dati sperimentali per validare un loro codice di calcolo. I risultati delle indagini realizzate nelle cavità, allo stato attuale, non mostrano un comportamento univoco. Effetti di amplificazione non sempre vengono osservati. Nei casi in cui sono presenti, si riscontrano a volte in corrispondenza dei siti di campionatura ubicati al di sopra della cavità e a volte sia all'interno che al di sopra della stessa. La presenza o meno di effetti di amplificazione sembra sia da mettere in relazione con le dimensioni della cavità. Tali effetti sembrano infatti riscontrabili solo se quest'ultima ha altezza superiore a circa 4 metri. In alcuni casi è stato inoltre osservato che l'effetto di amplificazione è determinato dalla componente orizzontale parallela alla direzione di allungamento della grotta. Si rimanda per dettagli all'elaborato di UR 8.

3. Fratturazione ammassi

Lo studio è in corso nell'area dell'Appennino Centrale. Si rimanda per dettagli all'elaborato di UR 11.

4. Aree in frana

Le aree oggetto di studio sono in Abruzzo e Basilicata. Su due frane sono in corso registrazioni accelerometriche, i cui risultati preliminari hanno evidenziato caratteristiche comuni nel moto del suolo, prima fra tutte una polarizzazione delle onde di taglio non dipendente dall'azimut di arrivo. Si rimanda per dettagli all'elaborato di UR 5.

A compendio delle due attività, si è inoltre ritenuto opportuno analizzare dati disponibili riguardanti profili Vs e misure di amplificazione di sito. Si sono raccolti sino ad ora dati per 46 siti. Il risultato più interessante emerso sino ad ora evidenzia un'inadeguatezza di V_{s30} in oltre un terzo dei casi considerati.

Task 3: Molise

Le attività svolte hanno riguardato da una parte il calcolo degli scenari a vari livelli di complessità, dall'altra la definizione dei modelli geotecnici dei terreni a San Giuliano di Puglia e nei comuni limitrofi (Deliverable D8). Molto complessa appare la ricostruzione delle strutture sepolte a San Giuliano e nessun modello geologico attualmente proposto appare in completo accordo con le misure geofisiche effettuate nel Progetto. Nel corso dell'anno si sono tenute due riunioni di coordinamento (11 Ottobre 2005 a Roma, 4 Aprile 2006 a Roma). Il Task ha fruito dei molti dati territoriali, geografici e geofisici forniti dalla regione Molise, dal comune di San Giuliano e dal Dipartimento della Protezione Civile, nell'ambito degli studi di microzonazione effettuati a San Giuliano di Puglia subito dopo il terremoto.

SCENARI AL BEDROCK

La definizione degli scenari al bedrock è articolata in 6 attività; di queste è conclusa l'attività 2 relativa alla raccolta di dati velocimetrici e accelerometrici (Deliverable D6) e l'attività 1 relativa alla definizione delle sorgenti sismogenetiche e del mezzo di propagazione; le altre, come previsto da Progetto, si concluderanno entro 18 mesi.

A) Raccolta dati sismometrici e definizione delle leggi attenuazione

Questo lavoro è stato svolto in collaborazione tra UR1 e UR9 e si è articolata in tre fasi, corrispondenti alle attività 2) 3) e 4) del Task. Sono state raccolte le registrazioni disponibili relative alla sequenza molisana del 2002, sia velocimetriche (rete temporanea) che accelerometriche (DPC-SSN). I dati sono stati processati (correzione strumentale, filtraggio, ecc.) in funzione del loro successivo utilizzo. In totale, il data set selezionato consiste di circa 900 registrazioni relative a 100 terremoti e 37 stazioni (Deliverable D6). Le registrazioni velocimetriche sono state utilizzate per calibrare una scala di magnitudo locale. Le leggi di attenuazione per il picco di accelerazione e velocità (Figura 3.1) sono state calibrate con ambedue i data set, sia per la massima componente orizzontale e per quella verticale, considerando come metrica la distanza ipocentrale e suddividendo i siti in due classi, rock ($V_s > 800$ m/s) e soil ($V_s < 800$ m/s). I coefficienti della legge di attenuazione sono stati determinati applicando il modello "random effects" (e. g., Abrahamson and Youngs, 1992) che permette di stimare i contributi alla varianza totale dovuti alla variabilità "inter-event" e "inter-station" (e.g., Bindi et al., 2006). In particolare, l'analisi della distribuzione degli errori "inter-event" non ha evidenziato la presenza di errori sistematici per i terremoti a cui è stata associata la magnitudo locale di catalogo, suggerendo che tali valori sono compatibili con quelli derivati dalla legge calibrata nel presente lavoro.

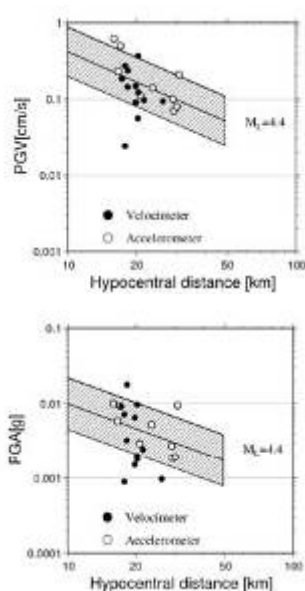


Figura 3.1. Valori di PGA (a sinistra) e PGV (a destra) predetti considerando una stazione appartenente alla classe soil e un terremoto di magnitudo $M_L = 4.4$. L'area indicata rappresenta la media \pm una deviazione standard. I cerchi neri e bianchi indicano i valori osservati.

Al fine di indagare la proprietà attenuative dell'area in funzione delle caratteristiche geologiche è stata condotta un'analisi preliminare di tomografia a scala regionale del fattore di qualità Q, per l'Appennino Meridionale. Dai primi risultati si osservano valori di attenuazione maggiori lungo la catena Appenninica e nel versante Tirrenico rispetto al settore Adriatico. In particolare l'area del Gargano sembra essere caratterizzata da una buona efficienza di propagazione delle onde sismiche.

B) Definizione delle sorgenti sismogenetiche e simulazione dei dati accelerometrici

Questo studio è stato svolto in collaborazione tra le UR1, UR2 e UR10. Il lavoro è stato suddiviso in tre fasi e corrispondenti alle attività 1) 5) e 6) del Task. Le sorgenti sismogenetiche delle scosse principali della sequenza molisana del 2002 ($M_w=5.8$ e $M_w=5.7$ per gli eventi del 31 Ottobre e del 1 Novembre, rispettivamente), sono state definite con la collaborazione del Progetto S2. Due diversi modelli di faglia estesa sono stati esaminati: il primo è quello da letteratura elaborato da Valleè e Di Luccio (2005) (VDL) e il secondo è definito nell'ambito del DISS (Basili e Vannoli, 2006) e denominato BV. I due modelli si differenziano per profondità e dimensioni. Si è utilizzata la tecnica DSM per discriminare la faglia dell'evento principale e calibrare i parametri dei modelli attraverso il confronto con le registrazioni accelerometriche (6 stazioni a $R < 60$ Km) raccolte durante la scossa principale. Complessivamente, per l'evento del 31 Ottobre 2002, il confronto effettuato in termini di ampiezza e contenuto in frequenza favorisce una propagazione unilaterale da Ovest verso Est lungo la faglia BV31. Il modello BV31 è stato impiegato per generare uno scenario di scuotimento del terremoto del 31 Ottobre fino a 150 km di distanza epicentrale. Le simulazioni sono state effettuate su grigliato regolare con punti egualmente spazati di 10 km e in siti sparsi coincidenti con le stazioni accelerometriche. In Figura 3.2 si mostra la distribuzione di PGA ottenuta. A causa della profondità della faglia assunta, l'effetto di direttività si manifesta semplicemente come spostamento verso Est dell'area di massimo scuotimento, che conserva comunque una simmetria circolare.

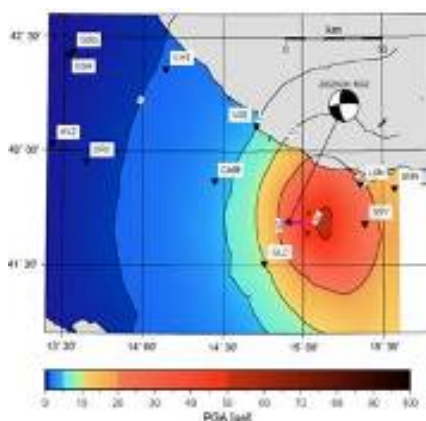


Figura 3.3. Attenuazione della PGA orizzontale ottenuta mediante DSM e HIC con il modello BV31. Le linee continue rappresentano la PGA media e la media ± 1 deviazione standard simulata con DSM su grigliato regolare. I simboli neri e rossi rappresentano le simulazioni ottenute mediante il metodo HIC e le PGA registrate rispettivamente: simboli pieni, componente EW; simboli vuoti, componente NS.

In Figura 3.3 viene riportata l'attenuazione della PGA con la distanza dalla faglia. Le linee continue sono state ottenute mediando su tutti gli azimuth i risultati ottenuti dalla simulazione. vengono riportati i valori di picco registrati e i valori ottenuti da altre simulazioni calcolate con la tecnica broad band HIC. Come si vede, i valori di PGA simulati seguono l'andamento generale dei picchi osservati alle stazioni accelerometriche.

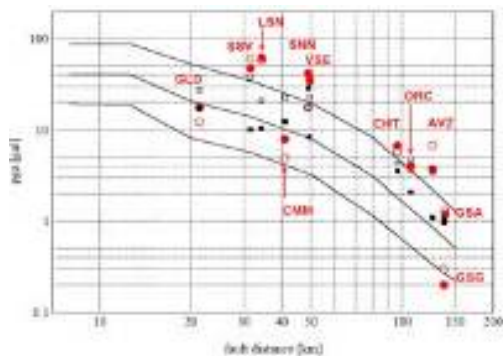


Figura 3.2. Scenario in PGA.

SCENARI AL SITO

Per quanto riguarda le attività al sito, ci si è concentrati sull'elaborazione dei modelli geologico-geotecnici da utilizzare come input per i modelli 3-d (S. Giuliano), 2-d (Bonefro) e 1-d (Ripabottoni ed altre località con danni minori). Come già anticipato, il problema principale per San Giuliano consiste nella non adeguatezza dei modelli geologici disponibili. Le indagini geoelettriche effettuate appositamente per il progetto hanno rilevato come il bedrock sia molto più profondo ed irregolare di come descritto nella letteratura disponibile. In Figura 3.4 si riportano due delle tre tomografie geoelettriche elaborate. Per il sito di san Giuliano sono stati recuperati i dati di oltre 70 sondaggi geognostici, e si è predisposta la logistica per l'effettuazione di prove con il dilatometro sismico. Si è anche valutata la possibilità di aggiungere due ulteriori campagne geofisiche: microgravimetrica (con fondi derivanti da una rivenienza interna ad INOGS) e sismica ad alta risoluzione (prima in lista per finanziamento da eventuali rivenienze dalle UR.). Per Bonefro si è già provveduto alla modellazione, e sono in esecuzione i calcoli sul modello 2-d. Tutti i dati geologici e geotecnici disponibili sono stati raccolti nel deliverable D8.

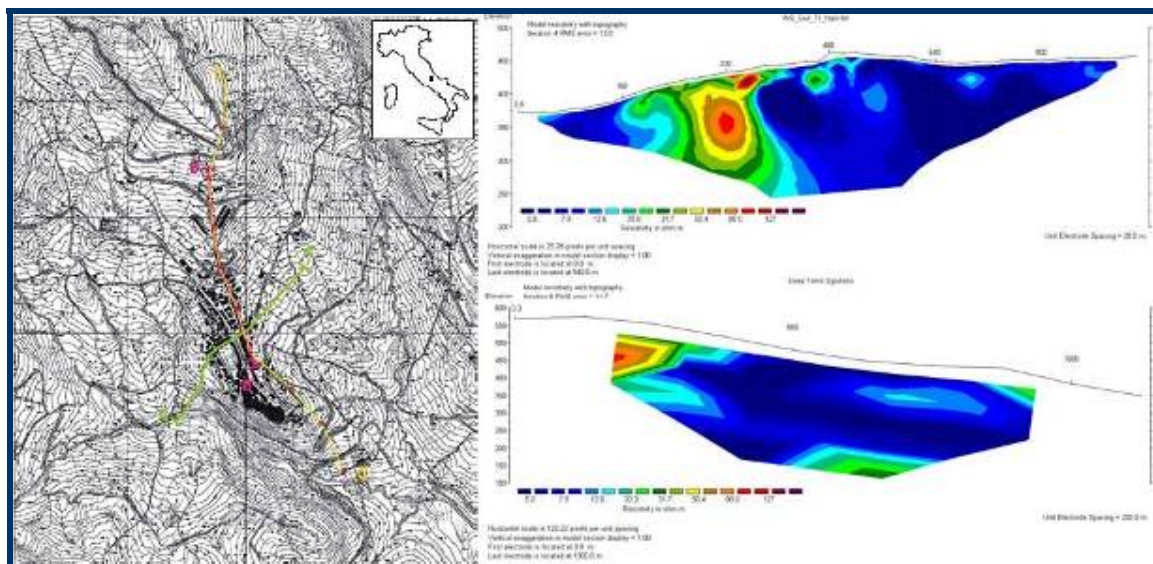


Figura 3.4. Tomografie geoelettriche a San Giuliano di Puglia (CB).

Task 4: Garda

Le attività svolte hanno riguardato da una parte il calcolo degli scenari a vari livelli di complessità dall'altra la raccolta dati esistenti precedenti all'evento sismico del 24 Novembre (studi di vulnerabilità e microzonazione) e successivi (dati macrosismici e dati di danneggiamento). In tale task sono state coinvolte le unità di ricerca UR1 e UR4, le quali si sono coordinate fra loro per lo scambio dei dati e la programmazione delle campagne di misura di rumore sismico. La ricerca ha anche ampiamente fruito dei dati territoriali e geologici forniti dalla regione Lombardia e dalla Provincia di Brescia.

SCENARI AL BEDROCK

La definizione degli scenari al bedrock è articolata in 4 attività; di queste è conclusa l'attività 1 e 2 relative rispettivamente alla definizione della sorgente sismogenetica e alla raccolta dei dati sismometrici della sequenza sismica a seguito dell'evento del 24 Novembre 2004 ($M = 5.2$). Poiché la distribuzione degli eventi in termini di magnitudo e distanza ($M < 3$ e $R < 10$ km) non permette l'elaborazione dei modelli empirici predittivi, l'attività 3 prevista da Progetto non sarà svolta. I dati raccolti saranno viceversa utilizzati da una parte per stimare i fattori di qualità Q e le funzioni di trasferimento empiriche nell'area epicentrale, dall'altra per il calcolo degli scenari di scuotimenti con la tecnica delle Green Function Empiriche. La stima degli scenari di scuotimento (attività 4) è in corso di svolgimento e la validazione si basa sul confronto con il campo macrosismico. Sono state raccolte le registrazioni velocimetriche relative alla sequenza bresciana del 2004. I dati sono stati processati (letture P e S, correzione strumentale, filtraggio, ecc.) in funzione del loro successivo utilizzo. In totale, il data set selezionato consiste di circa 400 registrazioni, relative a 187 eventi 10 stazioni (Deliverable D12). Le caratteristiche del data set sono illustrate in Figura 4.1.

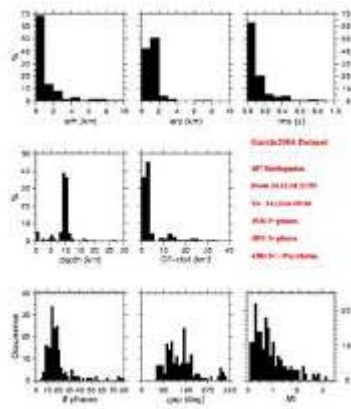


Figura 4.1.

La sorgente sismogenetica è stata fornita dal Progetto S2 e corrisponde alla struttura a basso angolo (24° dip) di dimensioni $2.5 \times 2.5 \text{ km}^2$ illustrata in Figura 4.2a. A partire da questa sorgente sono stati calcolati gli scenari di livello 0 ottenuti mediante l'applicazione di leggi di attenuazione isotropa dell'intensità macrosismica (Grandori et al., 1991; Faccioli e Cauzzi, 2005), e il livello I, basati sulle simulazioni DSM e sulle leggi di conversione $a_{max} - I(\text{MCS})$ e $v_{max} - I(\text{MCS})$ sviluppate da Faccioli e Cauzzi (2005) (Fig. 4.2b e c).

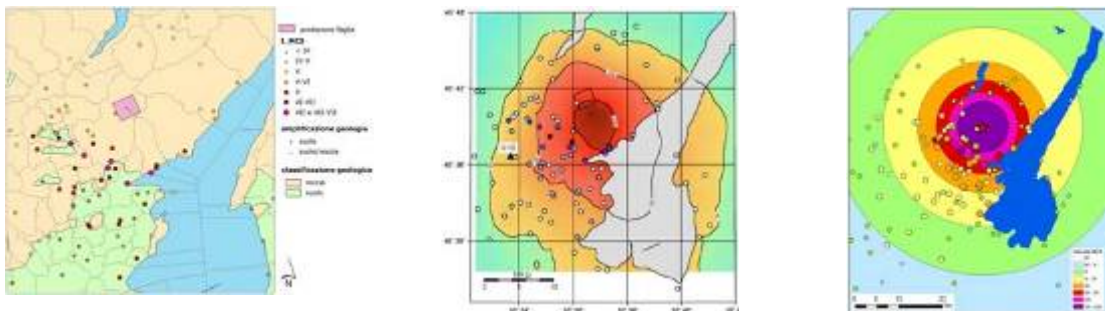


Figura 4.2. a) Modello di sorgente e dati macrosismici. b) Scenari di intensità (livello 0) e c) di scuotimento (livello I).

Le incertezze di localizzazione dell'evento principale della sequenza hanno consentito di variare la posizione del punto di enucleazione sulla faglia ipotizzata ottenendo in tal modo diversi scenari di scuotimento dipendenti dal modello cinematica di rottura, da confrontare (in termini di intensità) con il campo macrosismico.

SCENARI AL SITO

Tale fase è articolata in 8 attività; di queste è conclusa l'attività 1, relativa alla raccolta di dati esistenti di vulnerabilità e di studi di microzonazione, i quali sono disponibili solo in versione cartacea. Sono stati anche raccolti i dati di danneggiamento, definiti a livello comunale. Tutte le attività prevedono la conclusione a 18 e 20 mesi. Per quanto riguarda gli effetti di sito (attività 3), la UR1 e la UR4 hanno effettuato due campagne di misura di rumore in Val Sabbia (BS) in circa 55

siti. Per la loro scelta sono stati considerati sia gli effetti rilevati dall'indagine macrosismica condotta a seguito dell'evento sismico che i danneggiamenti riportati dagli edifici nei comuni interessati. Nelle località di massimo danneggiamento sono state inoltre calcolate i fattori di amplificazione con modelli monodimensionali (attività 6).

Task 5: Potenza

Le attività svolte hanno riguardato principalmente le parte relativa al calcolo degli scenari al sito e si sono concluse le attività relative alla raccolta dati e le campagne di misura per la definizione delle risposte di sito empiriche e le risposte agli edifici (attività 1, 2, 3). Per la parte che riguarda il calcolo degli scenari al bedrock è conclusa la fase di raccolta di registrazioni velocimetriche e accelerometriche digitali a tre componenti per il calcolo delle leggi di attenuazione (Attività 2 - Deliverable D16) e sono state definite, con la partecipazione del gruppo di lavoro DISS del Progetto S2, le struttura sismogenetiche di interesse per la città. Nel corso dell'anno si è svolta una riunione di coordinamento (15 Marzo 2006 a Potenza) in cui hanno partecipato oltre che le UR coinvolte anche le autorità locali. La ricerca ha anche ampiamente fruito dei dati territoriali, geologici e di vulnerabilità forniti dal comune e dalla provincia di Potenza e dalla Regione Basilicata.

SCENARI AL BEDROCK

Oltre alle sorgenti disponibili nel DISS (2006), si è studiato anche il potenziale sismogenico della Faglia Scorciabuoi, non presente nella banca dati INGV. La città è interessata da almeno 7 strutture sismogenetiche. Al momento sono state effettuate le simulazioni con la tecnica DSM e HIC per la faglia responsabile del terremoto dell'Irpinia del 1980. In figura 7.1 si mostra la variabilità del picco di accelerazione, PGA, calcolata a Potenza variando diversi parametri cinematici sulla faglia confrontata con il picco predetto dalla legge di attenuazione di Sabetta e Pugliese.

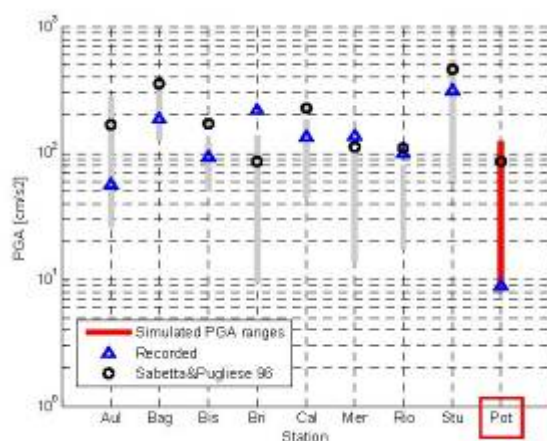


Figura 5.1. Valori di PGA calcolati a Potenza e alle stazioni accelerometriche che hanno registrato il terremoto dell'Irpinia del 1980. I triangoli sono i valori registrati, i cerchi rappresentano i valori predetti dalla legge di attenuazione e le barre indicano la variabilità stimata dagli scenari. Il triangolo a Potenza rappresenta il valore simulato nell'ipotesi che uno strumento avesse registrato l'evento.

SCENARI AL SITO

Si sono recuperati gli studi di microzonazione e studi di amplificazione sismica nel comune di Potenza, oltre ai dati di vulnerabilità del patrimonio edilizio. In collaborazione tra l'UR6 e l'UR 4 (gruppo CNR-IMAA) si sono effettuate misure di rumore sismico in 250 punti sul terreno ed in 40 edifici selezionati tra i più rappresentativi delle classi di vulnerabilità presenti, allo scopo di evidenziare possibili fenomeni di risonanza suolo-struttura. L'elaborazione dei dati di una rete mobile composta di 13 stazioni installata in collaborazione con GFZ, Potsdam ha permesso di ottenere una stima dei fattori di amplificazione. Al momento le misure sono già state elaborate secondo la tecnica HVSR e sono in corso le elaborazioni SSR e GIT. I risultati più importanti emersi sino ad ora sono: la notevole variabilità degli effetti di sito nella città di Potenza, da risposte piatte a picchi mono-frequenziali con ampiezza 6; la somiglianza tra i risultati ottenuti con le diverse tecniche; la notevole somiglianza tra le funzioni di amplificazione ottenute con terremoti e rumore. Poiché anche le modellazioni con i profili di velocità dei D-H disponibili confermano la natura essenzialmente monodimensionale delle amplificazioni osservate, il denso reticolo di 250 punti di misura HVNR consentirà di ottenere un notevole dettaglio spaziale delle funzioni di amplificazione.

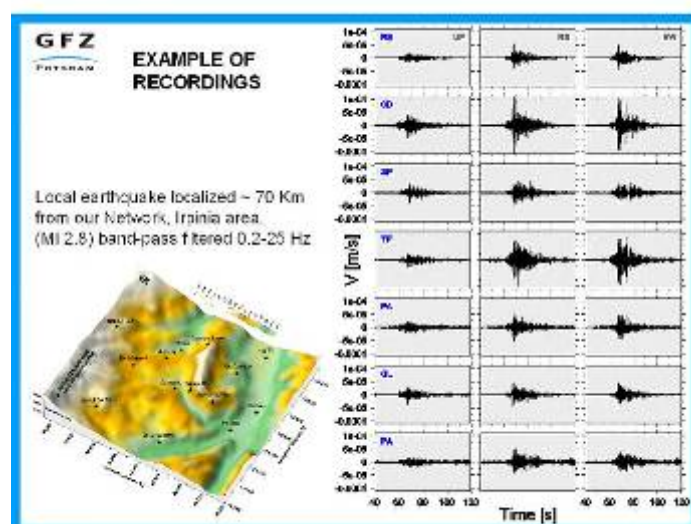


Figura 5.2. Esempio di registrazione ai vari siti a Potenza.

Task 6: Gubbio

Le attività svolte hanno riguardato principalmente le campagne di misura nella piana di Gubbio; queste sono state condotte in stretta collaborazione fra le UR coinvolte (UR1, UR2, UR3, UR4, UR6 e UR11) e hanno goduto della disponibilità dell'amministrazione locale che ha favorito l'installazione della strumentazione fornendo i necessari permessi e prendendo contatti con i privati. Nel corso dell'anno si sono tenute tre riunioni di coordinamento (20 Luglio 2005 a Gubbio, 20 gennaio 2006 a Roma e 24 Maggio 2006 a Roma). Le attività riguardanti il calcolo degli scenari al bedrock, come previsto, saranno svolte nei primi 6 mesi del secondo anno di progetto. Il task ha fruito di molti dati messi a disposizione dal Comune di Gubbio, dalla regione Umbria e dal Prof. Marco Menichetti dell'Università di Urbino.

SCENARI AL SITO

La definizione degli scenari al sito è articolata in 8 attività; di queste sono concluse le attività di monitoraggio effettuate con transetti lineari (attività 1 e 2). Congiuntamente è stato deciso di non installare il sismometro in pozzo (attività 3). Questa scelta è stata motivata dalla profondità del substrato (> 400 m) nella zona della piana soggetta alle maggiori amplificazioni del moto. La difficoltà di realizzare un foro fino a tale profondità e di gestire un'installazione borehole così complessa ha consigliato di rinunciare all'opzione array 3D a favore di un array 2D, che sarà operativo da giugno 2006, e fornirà importanti indicazioni sul tipo di onde che si propagano nel bacino. L'attività 4, che prevedeva la tomografia sismica 3D (attività 4), è stata sostituita con una linea sismica a riflessione di lunghezza di circa 5 km in direzione trasversale al bacino, finalizzata all'individuazione del bedrock. Infine il monitoraggio di edifici (parte dell'attività 5) è stato rinviato di alcuni mesi, poiché i punti di misura effettuati nella piana per la stima delle risposte locali e della profondità del bedrock sono stati in numero maggiore di quanto previsto inizialmente. Nella piana sono stati installati in totale 4 transetti temporanei, illustrati in Figura 6.1. Due transetti sono stati posizionati in direzione trasversale (GFZ, da giugno a dicembre 2005 e UniGE da febbraio a maggio 2006), uno in direzione longitudinale (INGV-RM da novembre a maggio 2006) e l'ultimo (UniGe da ottobre a febbraio 2006) presso il centro storico di Gubbio. Sono stati registrati più di 300 terremoti. I risultati ottenuti evidenziano che la risposta sismica presso il centro storico di Gubbio, in prossimità della parte di versante maggiormente acclive, non presenta particolari effetti di amplificazione locale, caratterizzata da funzioni di trasferimento empiriche praticamente piate. Viceversa i sismogrammi registrati dai transetti nella piana confermano il verificarsi della risonanza a bassa frequenza in un'ampia parte centrale del bacino, mentre in prossimità dei bordi le frequenze amplificate si spostano verso valori $f > 1$ Hz e le amplificazioni rispetto a stazioni di riferimento su roccia tendono a diminuire. Questi risultati appaiono strettamente controllati dalle variazioni degli spessori dei depositi alluvionali. Su tale data set è in corso l'applicazione di metodi non convenzionali (sonogrammi e polarizzazione) per indagare le caratteristiche degli arrivi successivi alle onde di volume, importanti poiché hanno le ampiezze massime e aumentano in modo significativo le durate dei segnali.

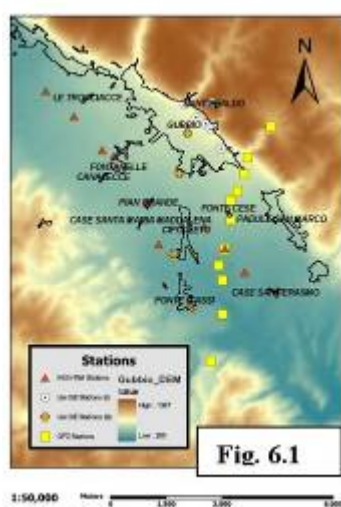


Figura 6.1.

Per l'attività 5 sono state applicate metodologie di indagine di tipo esplorativo basate sull'acquisizione e l'analisi del rumore sismico ambientale con metodi a stazione singola e ad antenna. In particolare, è stata condotta un'ampia campagna di misure di rumore (per un totale di 90 siti indagati) mediante la tecnica a stazione singola (o dei rapporti spettrali HVSR) per la stima delle frequenze di risonanza del sottosuolo. I risultati delle analisi dei microtremori sono in stretto accordo con quelli delle analisi spettrali dei dati velocimetrici. Da una sintesi dei due approcci potranno emergere dei vincoli stringenti sulla geometria del bacino e le proprietà dei depositi alluvionali, soprattutto in termini di topografia del substrato e profilo di velocità della copertura sedimentaria. Parallelamente, sono state realizzate 4 misure di rumore con antenna sismica per la definizione di un profilo medio di velocità delle onde S nei sedimenti soffici rappresentativo dell'area di piana. A partire da questi risultati e quelli ottenuti dai microtremori e utilizzando una relazione semplice fra la frequenza di risonanza, la velocità delle onde S nel sedimento e lo spessore di quest'ultimo, è stata effettuata una valutazione preliminare dello spessore dei sedimenti soffici nell'area di studio, ottenendo così una prima ricostruzione della geometria del bacino (Figura 6.2).



Figura 6.2.

È in corso di svolgimento la ricostruzione del modello geologico-tecnico dell'area della piana di Gubbio per un'estensione di circa 30 km²; a tal fine sono stati condotti studi specifici basati sia sull'acquisizione dei dati esistenti in letteratura sia di quelli raccolti con appositi rilievi in situ e prove di laboratorio. Per la ricostruzione della geologia del sottosuolo della piana, sono stati invece acquisiti ed elaborati dati provenienti da circa 100 punti d'indagine (dati stratigrafici da indagini geognostiche contenute nei documenti tecnici depositati presso gli archivi del Comune di Gubbio nonché di studi tecnici professionali ed Enti pubblici). A partire da tali dati, è stato definito un modello geologico-tecnico preliminare del sottosuolo attraverso la delimitazione, con piani quotati, dell'estensione areale in profondità (fino a una profondità massima di circa 30 m dal p.c. per mancanza di dati stratigrafici profondi) delle unità geologico-tecniche identificate nell'area. Il modello, integrato con gli altri dati sperimentali, sarà successivamente utilizzato per il calcolo delle funzioni di trasferimento teoriche 1D, 2D e 3D; queste ultime inizialmente non previste nel Progetto saranno effettuate dal GFZ.

Task 7: Interfacciamento con l'ingegneria e DPC

L'attività 1 relativa alla definizione dei parametri del moto a scopi ingegneristici è in corso di svolgimento e si concluderà come discusso in precedenza con il workshop organizzato ad Anacapri a Giugno. Per quanto riguarda l'attività 2, dedicata all'informatizzazione degli studi di scenario, le risorse si sono concentrate nell'attività di raccolta dei dati di base e nella loro uniformazione in un unico sistema di coordinate (UTM zona 33) e archiviazione (shapefile e coverages di Arc/Info). I GIS sono stati strutturati in modo tale da essere facilmente trasferibili e consultabili. Nel corso del primo anno è stata organizzata una riunione di coordinamento (20 Marzo 2006 a Milano) in cui è stato presentato lo stato di avanzamento dei sistemi informativi territoriali nelle varie aree e l'utilizzo dei GIS per la ricostruzione del sottosuolo con metodi geostatistici con applicazione a S. Giuliano di Puglia e per la combinazione di scenari di scuotimento. Il responsabile DPC per il Progetto ha mostrato esempi di scenari sismici che vengono elaborati da Dipartimento della Protezione Civile a seguito di un evento sismico. I sistemi informativi territoriali sono stati predisposti nelle aree selezionate, con l'eccezione di Potenza che sarà implementato nel II anno di Progetto.

AREA GARDA

Si è provveduto alla raccolta e organizzazione dei dati al fine di creare un GIS utile per la generazione di scenari di scuotimento. I dati assemblati sono di tipo amministrativo e geografico, prevalentemente forniti dalla Regione Lombardia. I dati di pericolosità sono invece stati prodotti da INGV e riguardano scenari di scuotimento a diverso livello di complessità, piano quotato macrosismico, localizzazione stazioni, sorgente sismogenetica, ecc.

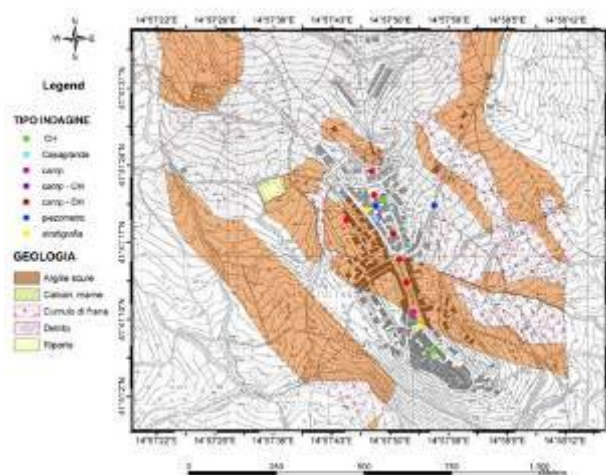


Figura 7.1. Mappa geologica con ubicazione dei sondaggi geognostici.

AREA MOLISE

È stata raccolta una cartografia di base per quanto riguarda l'inquadramento geografico e amministrativo della regione, mentre per i comuni selezionati sono stati immagazzinati i dati di maggior dettaglio. In particolare per il comune di San Giuliano di Puglia sono stati archiviati la carta

geologica di dettaglio, l'ubicazione e le stratigrafie dei sondaggi geognostici (Fig. 7.1), l'ubicazione delle stazioni accelerometriche e la carta del danneggiamento. Si prevede di inserire i dati geofisici in corso di elaborazione nell'ambito del Progetto che saranno utilizzati per la ricostruzione dei modelli 1D, 2D e 3D del sottosuolo.

AREA GUBBIO

Sono state archiviate informazioni di base, come la carta tecnica regionale alla scala 1.10.000, Tutti i sondaggi disponibili sono stati digitalizzati insieme ai punti di ubicazione delle stazioni velocimetriche installate da diversi enti (GFZ, UNIGE, INGV) per la determinazione degli effetti di sito e per lo studio della polarizzazione delle onde di superficie all'interno del bacino stesso. Si prevede nel futuro di disporre della cartografia geologica di dettaglio e della ricostruzione tridimensionale della stratigrafia sepolta, per la ricostruzione dei rapporti stratigrafici esistenti tra le diverse fasi sedimentarie. Il modello 3D servirà all'applicazione di modelli teorici per il calcolo della risposta sismica locale. Oltre a queste attività si sta valutando l'utilizzo del GIS per l'analisi delle mappe di scuotimento che derivano da diverse assunzioni dei parametri di partenza e dalle tecniche utilizzate. Si stanno analizzando diverse tecniche di interpolazione (IDW (Inverse Distance Weight) e TIN (triangulated irregular network) e diverse tecniche statistiche per la loro analisi (Figura 7.2). Per il futuro si propone di implementare all'interno del GIS delle tecniche statistiche per la selezione oggettiva gli scenari di scuotimento che hanno il minimo grado di correlazione. Lo scopo si può raggiungere calcolando il coefficiente di correlazione tra coppie di mappe, che permette di selezionare gli scenari con il minimo grado di correlazione.

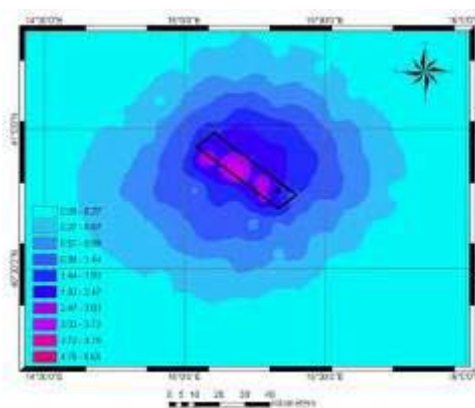


Figura 7.2. Esempio di elaborazione statistica: mappa di sintesi espressa come media tra 40 scenari calcolati.

Eventuali difficoltà maggiori, modifiche di indirizzo, ecc.

Come già accennato nell'introduzione, non si sono rilevate difficoltà particolari nelle attività di ricerca, né si sono rese necessarie modifiche rispetto a quanto previsto. L'analisi del rischio che ha corredato il progetto (cap. 5) evidenziava come elementi a maggiore criticità le misure geofisiche in campagna e l'acquisizione di dati sismologici. In entrambi i casi non si sono rilevati problemi. Il deliverable D24, l'unico non consegnato al 30 maggio, sarà disponibile e visionabile durante la

riunione con i Revisori del progetto. Invece, una difficoltà operativa è stata segnalata da alcune sub-unità che hanno ricevuto i finanziamenti con ritardo rispetto alle unità principali. Questo è stato causato dai passaggi formali necessari tra capofila ed associati, ed il problema ha assunto dimensioni particolarmente allarmanti per sub-unità dipendenti da U.R. principale allocata presso istituti C.N.R. La nuova gestione centralizzata dell'ente ha impedito la necessaria agilità nei passaggi finanziari, ostacolati anche dalla chiusura del programma centrale di contabilità da fine Novembre ai primi di Marzo. Questo ha posto le sub-unità nella condizione di dover anticipare molte spese e quindi di avere a disposizione un tempo molto stretto per formalizzare gli impegni di spesa. L'UR3 dell'O.G.S. è stata costretta a sospendere un assegno di ricerca in atto, a sensi di norma vigente, per sopravvenuta grave malattia del titolare, indirizzando i fondi ad altra attività concordata con i coordinatori.

Stato di avanzamento dei deliverables, per singolo deliverable

I deliverables previsti per i primi 12 mesi di attività erano i seguenti:

Task 1

D0: Confronto fra tecniche di simulazione: applicazione al terremoto dell'Irpinia del 1980 (M = 6.9), Italia Meridionale

Task 3

D6: CD-ROM contenente registrazioni della sequenza sismica del Molise, registrate dalle reti temporanee di Genova, Udine e INGV.

D8: Modelli geotecnici 1D e 2D a San Giuliano di Puglia e comuni limitrofi

Task 4

D12: CD-ROM contenente registrazioni della sequenza sismica nella zona del Garda, registrate dalle reti INGV.

Task 5

D16: CD-ROM contenente i dati delle registrazioni dell'Italia Meridionale utilizzate nel Progetto per il calcolo dell'attenuazione nell'area di Potenza.

Task 6

D26: CD-ROM contenente i dati delle registrazioni sismometriche e di rumore raccolte nella Piana di Gubbio e utilizzate nel Progetto per il calcolo della risposta sismica locale e della geometria del substrato del bacino.

Task 7

D24: Specifiche dei parametri sismici necessari per la generazione di scenari di danno nel presente e immediato futuro

Come descritto in precedenza, D24 sarà predisposto entro il 15 giugno. Per gli altri deliverables si riporta una sintesi del contenuto. In questa sezione vengono anche riportati i prodotti scientifici che non erano originariamente previsti come deliverables, ma che testimoniano comunque il lavoro svolto:

D0

In questo rapporto viene descritto in dettaglio il confronto fra le tecniche di simulazione adottate nel Progetto. Per ogni tecnica sono descritti i principi teorici su cui si basano. Successivamente si illustra l'applicazione al terremoto dell'Irpinia del 1980 descrivendo i parametri utilizzati (geometria della faglia, modello di velocità e attenuazione, parametri cinematici della rottura), gli accelerogrammi registrati e i confronti effettuati fra sintetici e dati. Infine si conclude con i calcoli di scenario in termini di PGA e PGV ottenuti dalle tecniche ibride DSM e HIC nell'ipotesi che si verifichi nuovamente il terremoto ma con diverse modalità.

D6

Il CD-ROM contiene le registrazioni velocimetriche e accelerometriche in formato non corretto relative alla sequenza molisana del 2002 e utilizzate nel Progetto per la calibrazione delle leggi di attenuazione predittive. Il data set velocimetrico contiene 2787 registrazioni in formato SAC, relative a 86 terremoti e 25 stazioni; quello accelerometrico è archiviato in formato ASCII e composto da 24 registrazioni analogiche e 540 digitali, relative a 51 terremoti e 30 stazioni. Per entrambi i dataset, ogni file è corredato di un header che riporta le caratteristiche più importanti della registrazione. Le informazioni relative ai parametri ipocentrali, alla magnitudo e alle caratteristiche delle stazioni di misura (posizione, caratteristiche strumentali, etc.) sono contenute in alcuni files Excel.

D8

In questo rapporto sono descritti i modelli geotecnici 1D e/o 2D per i comuni del Molise selezionati nel Progetto. La caratterizzazione della geometria e delle proprietà geotecniche del sottosuolo a San Giuliano si è basata su una revisione complessiva degli studi geologici di base e delle stratigrafie raccolte dalle indagini geognostiche (più di 80 sondaggi) eseguite dopo l'evento del 31.10.2002. Queste informazioni costituiscono un supporto più che abbondante per la definizione della variabilità delle caratteristiche stratigrafiche in superficie ma dovranno essere integrate con i risultati delle tomografie geoelettriche già eseguite e delle ulteriori indagini sismiche previste dal Progetto, per definire la morfologia profonda di sottosuolo più attendibile per le analisi di scenario. Le proprietà geotecniche dei terreni argillosi sono state invece definite con notevole accuratezza in base ai risultati delle indagini geofisiche in foro (8 prove DH e 3 CH) ed alle numerose prove di taglio torsionale ciclico (CTS) e di colonna risonante (RC) in laboratorio che hanno permesso di ricavare i profili di V_s e V_p con la profondità e le curve di variazione di rigidità normalizzata, G/G_0 , e smorzamento, D , con la deformazione γ . Per il comune di Ripabottoni, i modelli sono stati definiti sulla base delle mappe geologiche e geomorfologiche aggiornate e 3 nuovi sondaggi geognostici e

downholes; inoltre sono state calcolate le funzioni di trasferimento per diversi punti ubicati all'interno del centro storico utilizzando metodi numerici di simulazione 1D e metodologie spettrali basate sui dati raccolti dalla rete sismica temporanea installata dall'Università di Genova. Per quanto riguarda i Comuni di Bonefro, Santa Croce di Magliano e Colletorto i modelli geotecnici non sono ancora definiti essendo in attesa della relazione riguardante l'analisi di microzonazione effettuata presso i sopracitati comuni e redatta dalla Regione Molise sotto il coordinamento della Commissione per la Microzonazione del Molise e con la collaborazione dell'Università di Genova Dip.Te.Ris.

D12

È stato predisposto un DVD anziché un CD visto il volume dei dati. Il DVD contiene le forme d'onda degli eventi registrati dalle stazioni installate a cura della Unità di Emergenza ReteMobile (INGV-CNT) in collaborazione con la Sezione di Milano a seguito dell'evento del 24 novembre 2004 (ore 23:59 locali). Oltre ai dati delle 10 stazioni della Rete temporanea vengono fornite le forme d'onda delle stazioni gestite dalla Sezione di Milano e delle 6 stazioni più vicine della Rete Sismica Nazionale Centralizzata (INGV-CNT). Le forme d'onda sono fornite anche corrette per la risposta strumentale e trasformate in accelerazione e spostamento. In totale sono disponibili 4380 forme d'onda (1460 valori di picco massimo in accelerazione, velocità e spostamento), relative a 187 eventi, registrati sino al 14 dicembre 2004. Sono inoltre disponibili le letture delle fasi P ed S e le localizzazioni di routine degli eventi. Per le determinazioni focali sono state inoltre utilizzati i tempi d'arrivo relativi alla Rete Sismica della Provincia di Trento e alla Rete Sismica del CRS-Udine. Nell'header di ogni file (in formato SAC), oltre ai parametri usuali, sono inserite le letture effettuate e la localizzazione dell'evento.

D16

È stato predisposto un CD che raccoglie le registrazioni digitali a tre componenti disponibili per eventi in un raggio di 300 Km da Potenza, registrati da stazioni ubicate nell'Appennino Lucano. Si tratta sia di registrazioni sismometriche che accelerometriche. I dati sono stati convertiti nel formato SAC. Non è stata eseguita alcuna operazione di correzione. Si è predisposta un'interfaccia in formato HTML che permette l'interrogazione della banca dati secondo i parametri di interesse (magnitudo, localizzazione, disponibilità in più stazioni) e la visualizzazione e gestione delle tracce mediante un applet di SeisGram.

D26

È stato predisposto un DVD anziché un CD visto il volume dei dati. Si sono raccolti i dati velocimetrici digitali a tre componenti registrati dai 4 transetti installati nel Progetto. Le registrazioni sono relative a 270 eventi locali, regionali e telesismici registrati nella Piana di Gubbio da Giugno 2005 fino a marzo 2006. I dati sono forniti nella versione non corretta in formato SAC. Per i dati già processati sono state inserite le immagini delle tracce corrette, componente NS. Sono inoltre inserite le misure di rumore effettuate in 90 siti distribuiti nella piana, in formato ASCII. Il DVD è

completamente navigabile e contiene le principali informazioni relative alle campagne di misura svolte nella Piana.

COMUNICAZIONI A CONVEGNI

- Barani S., De Ferrari R., Ferretti G., Eva C. and Spallarossa D., (2006). Site amplification factor assessment via a multidisciplinary approach: an application in Molise region (Southern Italy),. First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, September 3-8, Geneva, Switzerland
- Cara S. Parolai, G. Monachesi , R. Milkereit, E. Günther, G. Di Giulio, G. Milana, D. Bindi, and A. Rovelli (2006). Test sites in Europe for the evaluation of ground motion amplification: site response of the Gubbio basin (central Italy) using weak motions recorded by linear seismic arrays. First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, September 3-8, Geneva, Switzerland
- Convertito, V., A. Emolo, F. Gallovič, and A. Zollo, A. (2005). Probabilistic-Deterministic Hazard Scenario for the 1980 Irpinia Earthquake M=6.9, Southern Italy, IASPEI General Assembly, October 2-8, Santiago, Chile. Poster presentation
- Convertito, V., F. Gallovič, A. Emolo, and A. Zollo. (2005). Integrated Deterministic and Probabilistic Strong Ground Motion Prediction: Application to 1980 Irpinia Earthquake, M=6.9, Southern Italy, AGU 2005 Fall Meeting, San Francisco, USA, Eos Trans. AGU, 86(52), Fall Meet. Suppl., Abstract S51D-1045. Poster presentation
- D'Amico et al. (2006) Test sites in Europe for the evaluation of ground motion amplification: site response of the Gubbio basin (central Italy) using geological data and seismic noise measurements First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, September 3-8, Geneva, Switzerland, Oral presentation
- Del Gaudio V., Wasowski J., Venisti N. and Pierrri P. (2006): Polarisation and spectral properties of the seismic site response of landslide-prone hillslopes: a case study from Italy. EGU General Assembly 2006, Vienna, 2-7 April 2006. Geophysical Research Abstracts, Vol. 8, 02228, 2006 SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU06-A-02228.
- Emolo, A., and F. Gallovič. (2005). Relations Between Instrumental Ground Motion Parameters and MCS Intensity in Italy, Application to the Simulated 1980 Irpinia Earthquake, M=6.9, Southern Italy, IASPEI General Assembly, October 2-8, Santiago, Chile. Poster presentation
- Guerriero L., Bovenga F., Nutricato R., Wasowski J., Casarano D., Gostelow P., Del Gaudio V., Blonda P. and Refice A. (2006): Developing a Landslide Early Warning System based on satellite measurements. EGU General Assembly 2006, Vienna, 2-7 April 2006. Geophysical Research Abstracts, Vol. 8, 07362, 2006 SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU06-A-07362.
- Luzi L., Morasca P., Zolezzi F., Bindi D., Pacor F., Spallarossa D., Franceschina G. (2006). Ground motion models for Molise region (Southern Italy), First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, September 3-8, Geneva, Switzerland, Oral presentation.
- Pacor, F., G. Cultrera, A. Emolo, F. Gallovič, A. Cirella, I. Hunstad, A. Piatanesi, E. Tinti, G. Ameri, and G. Franceschina. (2006). Effects of Directivity on Shaking Scenarios: an Application to the 1980 Irpinia Earthquake, M6.9, Southern Italy, SSA 2006 Fall Meeting, San Francisco, USA. Poster presentation
- Zonno, G., Carvalho, A. (2006). Modeling the 1980 Irpinia earthquake by stochastic simulation. Comparison of seismic scenarios using finite-fault simulation methods. First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, September 3-8, Geneva, Switzerland.

ARTICOLI

- Convertito V., A. Emolo, and A. Zollo (2006). Seismic-hazard assessment for a characteristic earthquake scenario: an integrated probabilistic-deterministic method. *Bull. Seism. Soc. Am.* 96, 377-391, doi:10.1785/0120050024
- Franceschina, G., F. Pacor, G. Cultrera, A. Emolo, and F. Gallovič (2006). Modelling Directivity Effects of the October 31, 2002 (MW=5.8), Molise, Southern Italy, Earthquake, *Proceedings of the First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, September 3-8, Geneva, Switzerland. in press
- Gallovič, F., and J. Brokešová. (2006). Hybrid k-squared Source Model for Strong Ground Motion Simulations: an Introduction, submitted to *Phys. Earth Planet. Interiors*.
- Keefer D.K., Wasowski J. and Del Gaudio V. (editors) (2006): Special issue from the European Geosciences Union Symposium on landslides induced by earthquake and volcanic activity. *Engineering Geology*, in press.
- Mucciarelli M., M. R. Gallipoli (2006); Comparison between Vs30 and other estimates of site amplification in Italy, *Proceedings of the First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, September 3-8, Geneva, Switzerland in press.
- Lombardo G., Rigano R. 2006. Amplification of ground motion in fault and fracture zones: observations from the Tremestieri fault, Mt. Etna (Italy). *J. Volc. Geoth. Res.*, 153, 3-4, 167-176.
- Pacor F., D. Bindi, L. Luzi, S. Parolai S., S. Marzorati and Monachesi G. (2006). Characteristics of strong ground motion data recorded at Gubbio (Central Italy), Submitted to *Bull. Earthq. Eng.*
- Pessina, V., G. Franceschina, P. Vannoli, L. Luzi and F. Pacor (2006) Damage Distribution and Seismological Model of the November 2004, Salò (Northern Italy) Earthquake, *Proceedings of the First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, September 3-8, Geneva, Switzerland in press.
- Strollo A., S. M. Richwalski, S. Parolai, M. R. Gallipoli, M. Mucciarelli and R. Caputo, (2006) Site effects of the 2002 Molise earthquake, Italy: analysis of strong motion, ambient noise, and synthetic data from 2d modelling in San Giuliano di Puglia (CB). Submitted to *Bull. Earthq. Eng.*
- Silvestri F., Vitone C., d'Onofrio A., Cotecchia F., Puglia R., Santucci de Magistris F. (2006). The influence of meso-structure on the mechanical behaviour of a marly clay from low to high strains. Symposium to celebrate Prof. Tatsuoka's 60th birthday, Roma.

Fattibilità delle attività previste per il secondo anno: previsioni, esigenze, ecc.

Le attività per il secondo anno presentavano sin dall'inizio una minore criticità, essendo focalizzate principalmente sulla elaborazione dei dati ottenuti nel primo anno e su modelli di calcolo. Le U.R. hanno tutte rispettato le scadenze previste ed i compiti assegnati. In alcuni casi hanno anche prodotto (direttamente o per coinvolgimento gratuito di terzi) più di quanto loro richiesto. Non si ravvisano pertanto motivi di ostacolo al corretto e completo svolgimento delle attività previste per il secondo anno.

Nel caso vi fossero rivenienze del primo anno da distribuire, al primo posto delle possibili aggiunte al programma figura una prospezione di sismica a riflessione HR da effettuarsi a San Giuliano di Puglia, dove la geometria del bedrock non è stata ancora completamente chiarita. Richieste di minore entità riguardano aggiustamenti di poche migliaia di Euro per le UR 8 e UR2. Alcune UR hanno richiesto uno spostamento di fondi dal primo al secondo anno, per trasferite in corso di effettuazione a cavallo del periodo di rendicontazione. Una richiesta di finanziamento integrativa è

stata inoltrata da UR1 per attività collegate all'installazione e gestione di 30 sensori accelerometrici in Italia Settentrionale. Tale attività, inizialmente non prevista, potrà infatti contribuire efficacemente alla validazione degli scenari di scuotimento realizzati nell'ambito del Task 4.

Riferimenti bibliografici

- Abrahamson N. A., Youngs R. R. (1992). A stable algorithm for regression analyses using the random effects model, *Bull Seism. Soc. Am.*, 82, 505-510.
- Basili, R., Vannoli, P. (2005). Source ITGG052 San Giuliano di Puglia and Source ITGG053 Ripabottoni. In: DISS Working Group, Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.0.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://www.ingv.it/DISS/> - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
- Bazzurro, P., C. A. Cornell (2004) Ground-Motion Amplification in Nonlinear Soil Sites with Uncertain Properties, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 94, 2090 - 2109
- Bindi D., Luzi L., Pacor F., Franceschina G., Castro R. R. (2006). Ground motion predictions from empirical attenuation relationships versus recorded data: the case of the 1997-98 Umbria-Marche (Central Italy) strong motion data-set, *Bull Seism. Soc. Am.*, in press.
- Boore, D.M. (2003). Simulation of ground motion using the stochastic method, *Pure Appl. Geophys* 160, 635-676.
- DISS Working Group (2006). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://www.ingv.it/DISS/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
- Faccioli, E., Cauzzi, C. (2005). An attempt at improving felt intensity assessment of historical earthquakes by means of instrumentally based correlations. Proceedings of Luis Esteva Symposium - Earthquake Engineering Challenges and Trends - Mexico City, September 12, CD-ROM
- Gallovic, F., Brokesova, J. (2006), Hybrid k-squared Source Model for Strong Ground Motion Simulations: an Introduction, submitted to *Physics Earth. Planet. Int.* (<http://geo.mff.cuni.cz/~gallovic>)
- Grandori, G., Drei, A., Perotti, F., Tagliani, A. (1991). Macroseismic intensity versus epicentral distance: the case of central Italy. *Tectonophysics*, 193, 165-171.
- Hutchings, L. (1994). Kinematic Earthquake Models and Synthesized Ground Motion Using Empirical Green's Functions. *Bull. Seism. Soc. Am.* 84, pp. 1028-1050.
- Irikura K., (1986). Prediction of strong acceleration motion using empirical Green's function, *Proc. 7th Japan Earthq. Eng. Symp.*, 151-156.
- Okada Y., 1985, Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bull. seism. Soc. Am.*, 139, 1135-1154.
- Pacor, F., Cultrera, G., Mendez, A., Cocco, M. (2005). Finite Fault Modeling of Strong Ground Motion Using a Hybrid Deterministic-Stochastic Method, *Bull. Seism. Soc. Am.* 95, 225-240.
- Sabetta, F., Pugliese, A. (1996). Estimation of response spectra and simulation of non-stationary earthquake ground motions, *Bull. Seism. Soc. Am.* 86, 337-352.
- Spudich, P., Xu, L. (2002), Documentation of software package Compsyn svx3.11: programs for earthquake ground motion calculation using complete 1-d green's functions, *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology CD*, Int. Ass. Of Seismology and Physics of Earth's Interior, Academic Press, 2002.
- Vallée, M., Di Luccio, F. (2005), Source analysis of the 2002 Molise, southern Italy, twin earthquakes (10/31 and 11/01), *Geophys. Res. Lett.*, 32, L12309.

PROGETTO S4: STIMA DELLO SCUOTIMENTO IN TEMPO REALE E QUASI-REALE PER TERREMOTI SIGNIFICATIVI IN TERRITORIO NAZIONALE.

Responsabili: D. Spallarossa (Università degli Studi di Genova), L. Malagnini (INGV - Sezione di Roma 1)

Obiettivi del progetto

Una ShakeMap non è altro che un'immagine georeferenziata che rappresenta lo scuotimento sismico a scala regionale ottenuto attraverso l'interpolazione dello scuotimento del terreno realmente osservato (accelerazione di picco, oppure velocità di picco, ovvero accelerazione spettrale a una frequenza fissata, etc.). La ShakeMap è prodotta in modo rapido ed automatico utilizzando tutti i dati accelerometrici e sismometrici disponibili, e tutte le conoscenze sismologiche acquisite per la regione in cui ShakeMap è applicato (caratteristiche di attenuazione regionale, geologia di superficie, etc.). L'obiettivo primario del progetto S4 riguarda l'implementazione e la validazione del programma di calcolo ShakeMap (Wald et al., 1999), per quanto riguarda i terremoti che si possono verificare sul territorio nazionale, ed in zone ad esso limitrofe. Il progetto è suddiviso in cinque Task, ed è articolato nelle seguenti attività:

- integrazione delle reti di monitoraggio regionali, sismometriche ed accelerometriche, afferenti alle istituzioni partecipanti al progetto.
- Sviluppo ed implementazione di procedure mirate al calcolo rapido dei parametri di sorgente.
- Sviluppo ed implementazione a scala regionale di equazioni per la previsione dello scuotimento del terreno.
- Determinazione degli effetti della geologia di superficie, per la correzione dei dati osservati, e per la loro "propagazione" sulla porzione del territorio nazionale interessata dall'evento sismico.

Particolare attenzione è dedicata alle attività indirizzate a garantire la sicurezza e l'affidabilità delle procedure che si vogliono predisporre e alla diffusione e disseminazione dei risultati. Il progetto S4 ha una durata troppo breve per garantire lo sviluppo di procedure automatiche affidabili entro la data della sua conclusione, che siano direttamente utilizzabili dalla protezione Civile; più realisticamente, si prevede di poter sviluppare e validare un insieme di procedure per il calcolo di ShakeMaps che potrà rappresentare un utile strumento per i sismologi impegnati nelle attività di monitoraggio della sismicità del territorio italiano. Tuttavia, a fine progetto, la Protezione Civile beneficerà direttamente delle attività condotte.

Stato di avanzamento del progetto: aspetti generali

Gli obiettivi principali del progetto S4 riguardano la sperimentazione e la validazione di tutte le procedure necessarie alla produzione di mappe di scuotimento in tempo quasi reale, da ottenersi utilizzando il codice ShakeMap. Per tale motivo, lo stato di avanzamento generale del progetto verrà qui di seguito descritto attraverso una breve esposizione dello stato di avanzamento delle

attività relative alle varie fasi necessarie alla produzione di una ShakeMap. Nei paragrafi successivi verranno invece dettagliatamente descritte le attività condotte nell'ambito dei singoli Task.

Elaborazione di ShakeMap presso il centro dati del Centro Nazionale Terremoti (CNT)

DATI SISMOMETRICI E VELOCIMETRICI IN TEMPO REALE

Prima di entrare nel dettaglio sulla disponibilità, alla fine del primo anno di attività, dei dati sismici in tempo reale per il calcolo delle ShakeMaps e più in generale per tutte le attività previste nel progetto S4, appare necessario riassumere brevemente le peculiarità delle attività di monitoraggio sismico in Italia. E ben noto che in Italia convivono due reti di monitoraggio sismico a scala nazionale: la rete di sorveglianza nazionale (RSND) gestita dall'INGV e la rete accelerometrica nazionale (RAN) gestita dall'Unità Servizio Sismico Nazionale del Dipartimento della Protezione Civile (USSN). In linea teorica, nonostante la quasi totale sovrapposizione territoriale, le due reti dovrebbero avere funzioni diverse tra loro, e tra loro complementari. Senza entrare nei dettagli tecnici, occorre specificare le caratteristiche principali delle due reti sismiche. Attualmente, la RAN è costituita da 131 stazioni analogiche e 161 stazioni digitali (Figura 1) dotate (quasi tutte) di accelerometri "strong motion". Tuttavia, per la quasi totalità di esse non è prevista una acquisizione e trasmissione del segnale sismico in tempo reale: in caso di evento sismico significativo il dato sismico (sia quello parametrico che la forma d'onda) viene trasmesso al RAN DATA CENTER attraverso tecnologia GSM. Occorre sottolineare che la RAN è in fase di profonda ristrutturazione ed ammodernamento: nella sua configurazione finale, essa sarà dotata di 400 stazioni, tutte digitali. Nel corso degli ultimi anni, anche la rete di sorveglianza nazionale dell'INGV ha subito profonde mutazioni e sostanziali miglioramenti, che hanno portato alla nascita della Rete Sismica Nazionale Digitale (RSND). Allo stato attuale la RSND è costituita da circa 120 stazioni sismiche (Figura 2), tutte equipaggiate con sismometri BB weak-motion (alcune di esse sono dotate anche di accelerometro). Il dato sismico viene trasmesso in tempo reale al centro dati del Centro Nazionale Terremoti (CNT) dell'INGV. Alla luce di quanto appena descritto, appaiono evidenti quali dovrebbero essere i diversi obiettivi delle due reti sismiche di monitoraggio a scala nazionale, ed emerge chiaramente la necessità di una integrazione tra esse. Anche la RSND sta rapidamente evolvendo verso una rete di sorveglianza moderna: la sua attuale configurazione e le sue caratteristiche tecniche la rendono particolarmente adatta alla detenzione degli eventi sismici, alla localizzazione di essi ed alla caratterizzazione della sorgente sismica. Appare molto probabile che, durante terremoti di energia medio alta (5.5-6-0), molte stazioni della rete RSND ubicate in prossimità della sorgente sismica saranno affette da saturazione. La disponibilità dei dati accelerometrici rimane quindi di fondamentale importanza per una stima affidabile del moto del suolo in condizioni di scuotimento severo, e per vincolare opportunamente il modello di sorgente sismica. Di grande importanza per il progetto è anche la Rete Accelerometrica del Friuli (RAF) che, pur essendo direttamente finanziata dalla Protezione Civile (Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia – Direzione Regionale della Protezione Civile) viene gestita dall'Università di Trieste: essa è costituita da 14 accelerometri digitali ed è dotata di trasmissione in continuo del segnale sismico. Allo stato attuale, per problemi principalmente tecnici collegati al funzionamento della RAN, ma

anche di altro ordine (ad esempio vincoli contrattuali che impongono dei limiti alla disseminazione dei dati accelerometrici), i dati della RAN non sono stati resi disponibili, e quindi non possono essere utilizzati per la realizzazione di ShakeMaps. Nonostante le avversità appena citate, nell'ambito delle attività del Task 1, sono state già state specificate e concordate con il SSN tutte le procedure per inserire nel data base INGV sia tutte le registrazioni in tempo reale (accelerogrammi), sia tutti i dati parametrici relativi ai valori di scuotimento di picco che vengono trasmessi dalle stazioni RAN via GSM. Da parte di S4, tutte le procedure di scambio dati con la RAN sono state già realizzate, come pure è stato messo a punto tutto l'hardware necessario all'operazione di integrazione del data base, e siamo soltanto in attesa dell'apertura del collegamento da parte della RAN. Ad oggi, il database di dati sismologici in tempo reale direttamente utilizzabili per le attività previste da S4 ed in particolare per il calcolo di ShakeMap è quindi costituito dai soli contributi delle reti gestite direttamente da INGV, UniGe (circa 120 stazioni), dalla rete MedNet (19 stazioni), e da quelli provenienti da enti preposti al monitoraggio di alcune nazioni confinanti con l'Italia (Svizzera 8 stazioni; Francia e Austria 2 stazioni; Slovenia 1 stazione). Alla luce della situazione attuale è altamente probabile che la mancanza dei dati accelerometrici della RAN sia destinata a perdurare per tutto il prosieguo del progetto S4, mentre, attraverso il centro di calcolo della Protezione Civile del Friuli-Venezia Giulia di Palmanova, sarà forse possibile ottenere il dato accelerometrico in tempo reale delle stazioni sismiche gestite dal Dipartimento di Scienze della Terra di Trieste (rete RAF), e dal Centro Ricerche Sismologiche (CRS) dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale (INOGS). D'altra parte, nel caso di eventi sismici significativi, è già possibile accedere ("on demand") a dati strong motion: 12 stazioni della rete RSND sono dotate anche di un accelerometro Kinematics K2 (quadrati rossi in Figura 1). È previsto inoltre, di estendere l'installazione di accelerometri, in aggiunta ai velocimetri, a tutte le stazioni RSND dotate di trasmissione satellitare del segnale sismico (circa 80). Per quanto riguarda la creazione dell' "Integrated Italian Seismic Network" ovvero di un portale web (<http://www.iisn.org>) dedicato alla distribuzione di dati sismologici e nel cui ambito le ShakeMaps potranno essere presentate al mondo esterno, è stato riservato il dominio iisn.it, ed è stata avviata la fase di progettazione del portale (definizione dei contenuti e delle modalità di accesso). La realizzazione dell'IISN, pur non essendo strettamente necessaria alla realizzazione dei principali obiettivi del progetto, rappresenta una iniziativa molto importante per lo sviluppo della ricerca sismologia italiana, in particolare per lo sviluppo della cooperazione tra tutti gli enti coinvolti nel monitoraggio sismico. A prescindere della disponibilità del dato accelerometrico della RAN, dunque, l'IISN verrà comunque realizzata e, dopo la scadenza di S4, rimarrà comunque funzionante, almeno per quanto riguarda i contributi al progetto portati da INGV e da UniGe. Data l'importanza di tale argomento esso viene trattato separatamente, alla fine di questo paragrafo. L'importanza della disponibilità del dato accelerometrico nel campo del monitoraggio sismico prescinde dalle finalità specifiche del progetto S4: anche se uno dei suoi più importanti obiettivi risiede nello sviluppo di attività indirizzate allo scambio dati in tempo reale, il processo di integrazione tra la rete RAN e la rete RSND dovrà essere affrontato e risolto a livello istituzionale.

CARATTERIZZAZIONE DELLA SORGENTE SISMICA IN TEMPO QUASI-REALE

- Localizzazione ipocentrale:
 - i metodi “tradizionali” basati su modelli 1D sono già in uso e ampiamente sperimentati; sono in via di sperimentazione tecniche basate su modelli di velocità tridimensionali di tutto il territorio Italiano, ottenuti con tecniche tomografiche;
 - metodi “non tradizionali”: è stato installato ed automatizzato il software di localizzazione NonLinLoc, basato su metodi di ricerca globale.
- Calcolo della magnitudo e del momento sismico:
 - magnitudo locale: viene calcolata automaticamente utilizzando sia i dati della rete RSND, sia quelli delle reti regionali;
 - magnitudo momento (Mw): viene attualmente calcolata utilizzando diversi metodi. Presso il centro dati del Centro Nazionale Terremoti sono state implementate diverse procedure basate sull’inversione del tensore momento:
 - codice sviluppato da Dreger: elaborazione automatica;
 - codice sviluppato da Domenico Giardini e utilizzato presso l’ETH di Zurigo: elaborazione off-line;
 - Regional Centroid Moment Tensor (RCMT): elaborazione off-line.

La partecipazione attiva al progetto S4 del gruppo che si occupa di utilizzare queste tecniche, che era stata richiesta anche dal Comitato di Revisione, era stata prevista per il secondo anno di vita di S4. Si è deciso che tale gruppo dovrà afferire alla UR1 (INGGV-CNT), e dovrà essere previsto un finanziamento accessorio di circa diecimila euro da mettere a disposizione di tale gruppo. Si porta all’attenzione del lettore che questi fondi potranno essere presi dalle rimanenze del finanziamento del primo anno della UR1.

Presso il Centro Elaborazione Dati della Rete Sismica dell’Italia Nord Occidentale è in via sperimentazione una procedura automatica per la stima di Mw calcolata sulla base dell’analisi delle onde di coda. Per la seconda metà di Giugno 2006, è prevista una riunione del gruppo intra-UR che si occupa di propagazione regionale, per la possibile installazione del modulo sviluppato da Malagnini per il calcolo automatico della Mw basato sulla correzione degli spettri delle onde S dirette per la propagazione regionale, e per la distorsione dovuta agli effetti della geologia di superficie

SHAKEMAP

Ad oggi è già stato installato ed automatizzato il software ShakeMaps sia presso il centro dati del Centro Nazionale Terremoti dell’INGV sia presso i Centro Elaborazione Dati della rete RSNI (UniGe). Nella sua configurazione attuale ShakeMaps utilizza sia leggi di attenuazione “strong motion” (Ambraseys et al.; 1996; Sabetta e Pugliese 1996), sia leggi di attenuazione a validità regionale calibrate su dati “weak motion” (Mercuri et al., 2006) sviluppate all’interno del presente progetto. Le mappe di scuotimento così generate sono comprensive degli effetti di amplificazione locale, calcolati sulla base di una preliminare classificazione georeferenziata tipo Eurocode del territorio nazionale prodotta nell’ambito del progetto GNDT 2001-2004 coordinato dal Dr. Amato.

Altre attività non presenti nel progetto originale

Il Comitato di Coordinamento aveva anche suggerito l'inserimento di procedure tipo: "Did you feel it?", da aggiungere alle attività del Task 3. Come spiegato successivamente, tali procedure sono state integrate nel progetto a costo zero per il primo anno. Per il secondo anno, dovranno essere previsti:

- un borsista, su fondi DPC;
- un finanziamento di 15.000 Euro, per fare fronte alle esigenze finanziarie del gruppo di ricerca (3 persone).

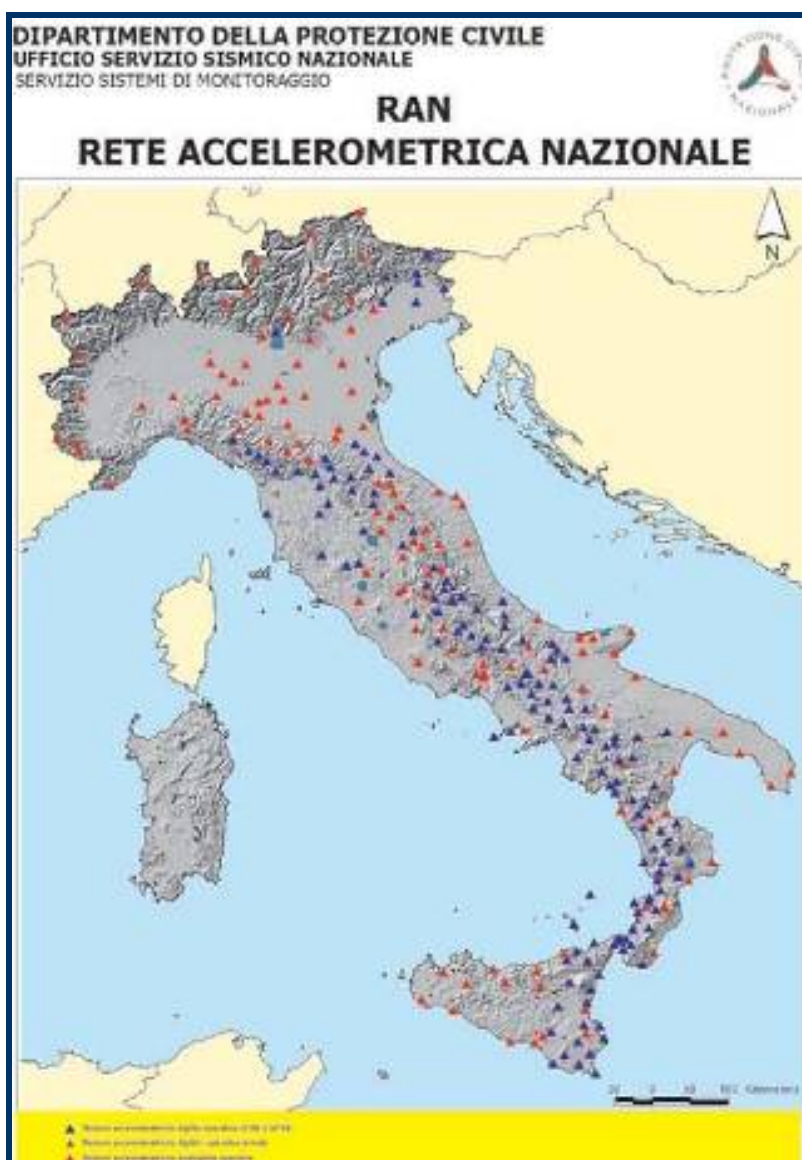


Figura 1. Geometria della Rete Accelerometrica Nazionale (RAN). I triangoli rossi rappresentano le stazioni accelerometriche analogiche operative; i triangoli blu le stazioni accelerometriche digitali operative.

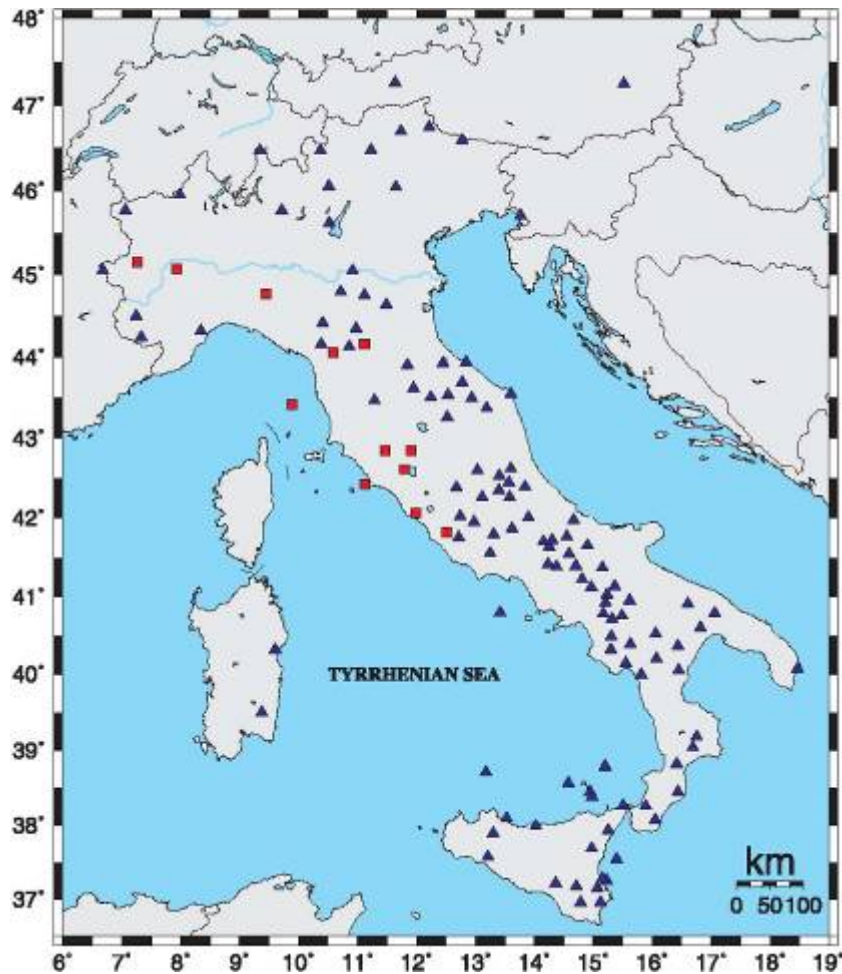


Figura 2. Geometria della Rete Sismica Nazionale Digitale (RSND). I quadrati rossi indicano le stazioni dotate anche di accelerometro.

Stato di avanzamento del progetto: aspetti di dettaglio, per singoli task

Task 1: Organizzazione, integrazione e scambio dati (Responsabili: S. Mazza e F. Mele)

Lo scopo del task è quello di rendere disponibile, in modo organico e veloce, il maggior numero di informazioni possibili per la stima dello scuotimento in tempo reale e quasi-reale di eventi sismici italiani rilevanti. Le attività del primo anno sono state dedicate sia al miglioramento della trasmissione dei dati sismometrici in tempo reale, sia alla progettazione e sviluppo del database sismologico necessario per il funzionamento delle procedure per l'elaborazione di Shakemap. In particolare, nei primi mesi di attività è stato elaborato e definito il progetto dell'intero sistema di archiviazione, verifica e distribuzione dei segnali operante presso il centro dati del Centro Nazionale Terremoti (CNT), sintetizzato in Figura 3. Caratteristica principale del sistema è la sua "reciprocità", ovvero la sua capacità di operare sia come ricevitore di segnali provenienti da altre istituzioni, sia come distributore di segnali verso altre istituzioni.

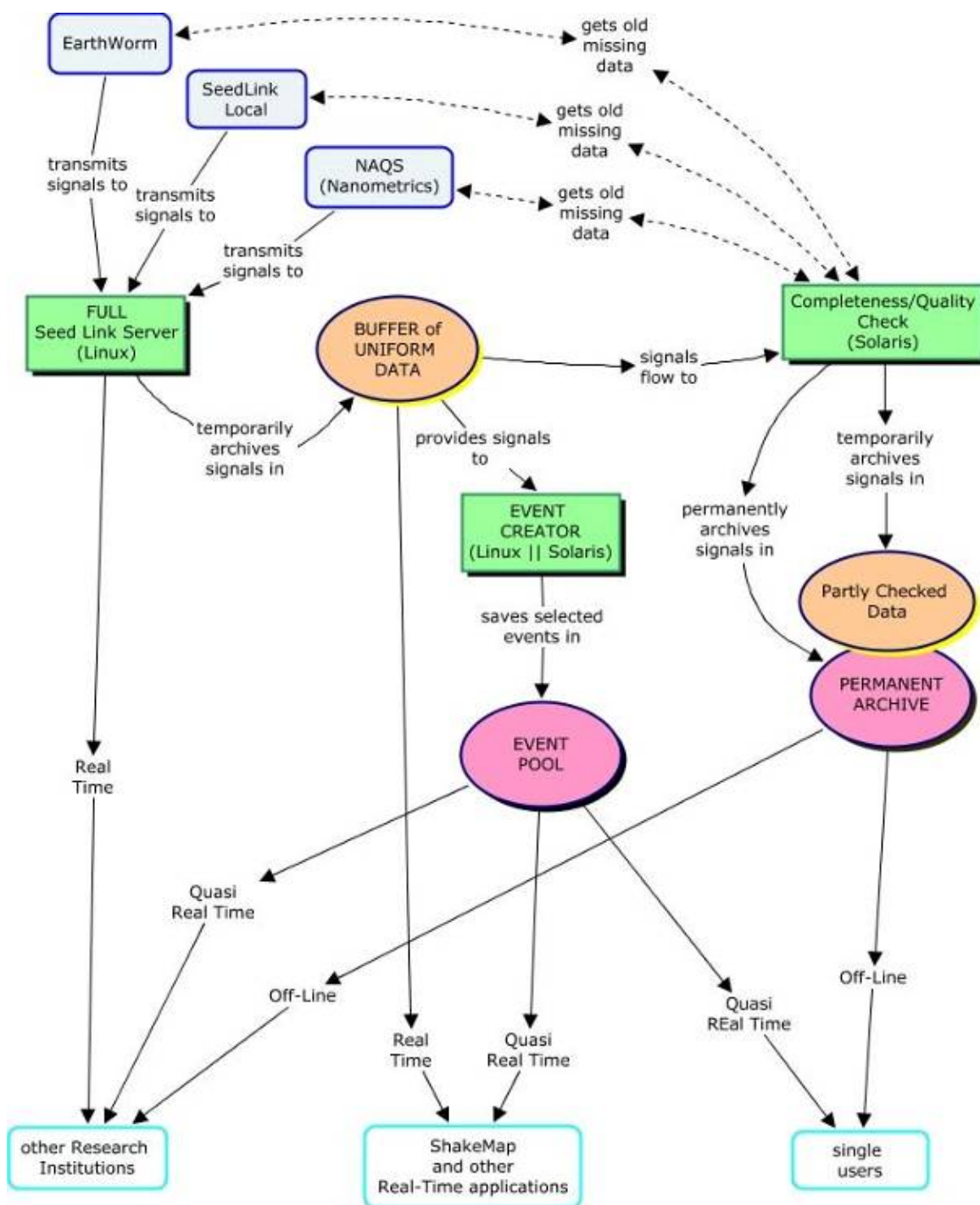


Figura 3. Schema del progetto per la ricezione, archiviazione e distribuzione dei dati in tempo reale.

Il blocco SeedLink Local indica l'insieme di tutte le fonti di dati, costituite da un SeedLink server, che forniscano segnali già in formato Mseed. Il blocco NAQS indica le fonti di dati in formato Nanometrics (ricevuti tramite connessione satellite oppure tramite connessione internet). Il blocco EarthWorm indica le fonti di segnali che giungono in sede appoggiandosi sul sistema EarthWorm. Secondo il progetto il sistema fornisce in primo luogo segnali continui in tempo reale (Full SeedLink Server) a utenti privilegiati (siano essi istituzioni italiane o estere, oppure procedure che operano localmente come ShakeMap); in secondo luogo il sistema fornisce segnali selezionati (a eventi) in

tempo quasi-reale (Event Pool). I singoli utenti (ricercatori di tutti gli enti di ricerca) hanno poi accesso sia ai segnali continui rivisti (Permanent Archive) che ai segnali selezionati per evento (Event Pool).

STORAGE

La preventivata Storage Area Network (SAN) è stata modificata in NAS (Network-Attached Storage): un sistema centralizzato cui si può accedere via IP su rete LAN non separata. Il NAS è attualmente in fase di testing. L'infrastruttura è stata realizzata nella sua parte iniziale: uno storage di 15 TB comprensivo di servers che ne gestiscono funzionamento e accesso via rete. A breve il sistema NAS verrà messo in produzione e andrà a sostituire l'attuale storage del sistema di acquisizione in sala sismica.

DATA BASE

Sono state realizzate e popolate le parti di data-base relative ai parametri di stazione e strumentali. È in corso di popolamento la parte di data-base relativa ai parametri di sorgente (epicentri e magnitudo); in particolare, sono stati inclusi nel data-base gli epicentri estratti dal Bollettino Sismico INGV dal gennaio 1980 all'aprile 2005. È già stata progettata ed è in corso di realizzazione la procedura di immissione nel Data-Base di dati parametrici d'evento operante in tempo reale. Alcune parti della stessa procedura verranno riutilizzate per l'immissione nel Data-Base anche dei dati parametrici d'evento rivisti (sala sismica e Bollettino). Riguardo alle forme d'onda, è stata realizzata una procedura per l'archiviazione in tempo reale, organizzata in file-system, di forme d'onda in formato SAC selezionate (a eventi). Non è ancora realizzata l'organizzazione delle forme d'onda (continue e a eventi) nel data-base.

SCAMBIO DATI IN TEMPO REALE

Sono stati definiti i protocolli di scambio di segnali tra reti nazionali, regionali, locali ed estere: prevalentemente nel formato MSEED, avvalendosi in parte di procedure standard già disponibili (ad esempio SeedLink), in parte di procedure che sono state sviluppate appositamente nell'ambito di S4. Il FULL SeedLink Server (Figura 1) è già installato presso il CNT: assicurerà la possibilità di distribuire a tutte le istituzioni interessate i dati di tutte le reti collegate. Il sistema è già funzionante per la rete MedNet ed è sotto test per 22 stazioni della Rete Sismica Nazionale. Riguardo alle stazioni gestite dall'OGS-CRS, è già stata sottoposta a test la trasmissione di segnali in formato MSEED tramite un sistema Antelope. Il trasferimento di segnali tra Roma e Unige-Dip.Te.Ris è già funzionante e realizzato in formato Nanometrics tramite Internax; vengono trasferiti in tempo reale i segnali di tre stazioni Broad Band ed è previsto il completamento entro fine anno della centralizzazione di tutte le stazioni delle Alpi Occidentali e dell' Appennino Settentrionale). Come già esposto precedentemente, riguardo ai dati della RAN (Rete Accelerometrica Nazionale) e della RAF (Rete Accelerometrici del Friuli), sono state definite le modalità di trasmissione e scambio di informazioni tra l'INGV e il centro USSN-DPC e il centro della Protezione Civile del Friuli-Venezia Giulia: i picchi di accelerazioni saranno diffusi tramite messaggi di mail e i segnali saranno scambiati in due direzioni tramite connessioni di tipo SeedLink tra il FULL-SeedLink Server

dell'INGV e il sistema Antilope dell'USSN. Inoltre lo scambio dati è già attivo con molte Istituzioni di Paesi europei e mediterranei: tramite protocollo SeedLink sono acquisite stazioni da Francia, Grecia, Austria, Slovenia, Serbia, Croazia, mentre i dati provenienti da Svizzera e Albania arrivano tramite Internaqqs.

CONTROLLO DI COMPLETEZZA/QUALITÀ

È stata realizzata presso il CNT, nell'ambito del progetto S4, una procedura automatica per il controllo della qualità dei segnali scambiati tra due sistemi SeedLink. In particolare, la procedura permette di verificare la completezza dei segnali ricevuti da un SeedLink Server e di ripristinare le parti mancanti tramite una apposita interrogazione del SeedLink Server che ha fornito il segnale

DISTRIBUZIONE OFF-LINE DEI DATI A RICHIESTA.

Il protocollo standard NETDC (formato SEED 2.4), per la gestione automatica delle richieste off-line di forme d'onda e di parametri di stazione è stato attivato unicamente sulle stazioni MedNet.

MINI-RETE ACCELEROMETRICA PROTOTIPALE A BASSO COSTO

Presso al UR OGS/CRS è in corso di realizzazione una micro-rete accelerometrica prototipale a basso costo. È stata effettuata una ricerca di mercato per l'individuazione della migliore strumentazione adottabile, sulla base del rapporto qualità/prezzo; è stato deciso di procedere all'acquisto di sensori GeoSIG-IA-1, di facile installazione e connessione (permette l'interrogazione via connessione SSH su LAN o WAN). Nell'installazione prototipale, la connessione avverrà tramite ponti radio di tipo spread-spectrum.

Task 2: Definizione di modelli crostali (Responsabile: C. Chiarabba – tomografia – e A. Michellini – waveform modeling)

Il principale obiettivo di questo Task consiste nella definizione di modelli di velocità del territorio italiano, da utilizzare in primo luogo nella procedura di determinazione delle caratteristiche della sorgente sismica e, secondariamente, per tentare migliorare l'attendibilità delle localizzazioni. In particolare, è previsto di suddividere il territorio italiano in zone a struttura crostale omogenea, di determinarne il profilo di velocità, e di calcolare le funzioni di Green per i vari meccanismi di dislocazione fondamentali. Questa attività del task 2 è di particolare rilevanza per il calcolo del tensore momento sismico per terremoti di magnitudo inferiore a $M=4$, ove è fondamentale la modellazione accurata delle forme d'onda ad "alta" frequenza (fino a 0.1 Hz o superiore). Le attività della task 2 possono essere suddivise in tre filoni di studio principali, di seguito descritti.

INTEGRAZIONE DI DATI DI SISMICA ATTIVA E PASSIVA IN UN MODELLO 3D DELLA MOHO IN ITALIA

È stata implementata una procedura che consente la stima della profondità della Moho e delle velocità crostali dall'utilizzo congiunto di dati di sismica attiva (i numerosi profili sismici CSS, CROP, etc) e le informazioni sulla struttura ricavabili da dati topografici. I valori di profondità della Moho e di velocità crostale delle onde P provenienti dai dati di sismica attiva e passiva, debitamente pesati in funzione della qualità, vengono processati per ricavare una mappa 3D della

profondità della Moho. Il punto di partenza è rappresentato dalla mappa delle profondità della Moho (Figura 4, Di Stefano, 2005) nel Mediterraneo centrale, ottenuta dall'integrazione di tutti i dati di sismica attiva pubblicati, per i quali sia stato possibile verificare sia la qualità del dato di base sia i limiti dell'interpretazione proposta. La redazione della mappa della Moho è stata inoltre realizzata utilizzando i risultati di uno studio tomografico attualmente in corso, finalizzato alla realizzazione di un modello tomografico P ad alta risoluzione (Di Stefano et al., 2006). Nell'ambito del presente progetto, tale modello, e in particolare la mappa delle profondità della Moho, verrà utilizzato per la regionalizzazione dei modelli di velocità utilizzati per l'inversione delle forme d'onda.

DEFINIZIONE DI MODELLI DI PROPAGAZIONE 1D E 3D DELLA LITOSFERA

Per alcuni settori del territorio nazionale, utilizzando l'inversione dei tempi di arrivo di fasi sismiche locali ed altre informazioni, sono stati ottenuti modelli di propagazione monodimensionali. In Figura 5a e 5b sono riportati i modelli di propagazione ottenuti per le Alpi Occidentali e per l'Appennino Settentrionale utilizzando un ampio data set completato di tutti i dati derivanti anche da installazioni di reti temporanee. In Figura 6 è riportata una zonazione dell'Italia nord-orientale ottenuta sulla base di risultati di inversione tomografica e di altre informazioni geologiche e sismologiche. Per ciascuna zona (6 zone) è stato definito un modello geofisico monodimensionale suddiviso in 4/5 intervalli di profondità da 0 a 35/40 km per i quali sono stimati velocità V_p , rapporto V_p/V_s , densità e fattori di qualità Q_p e Q_s .

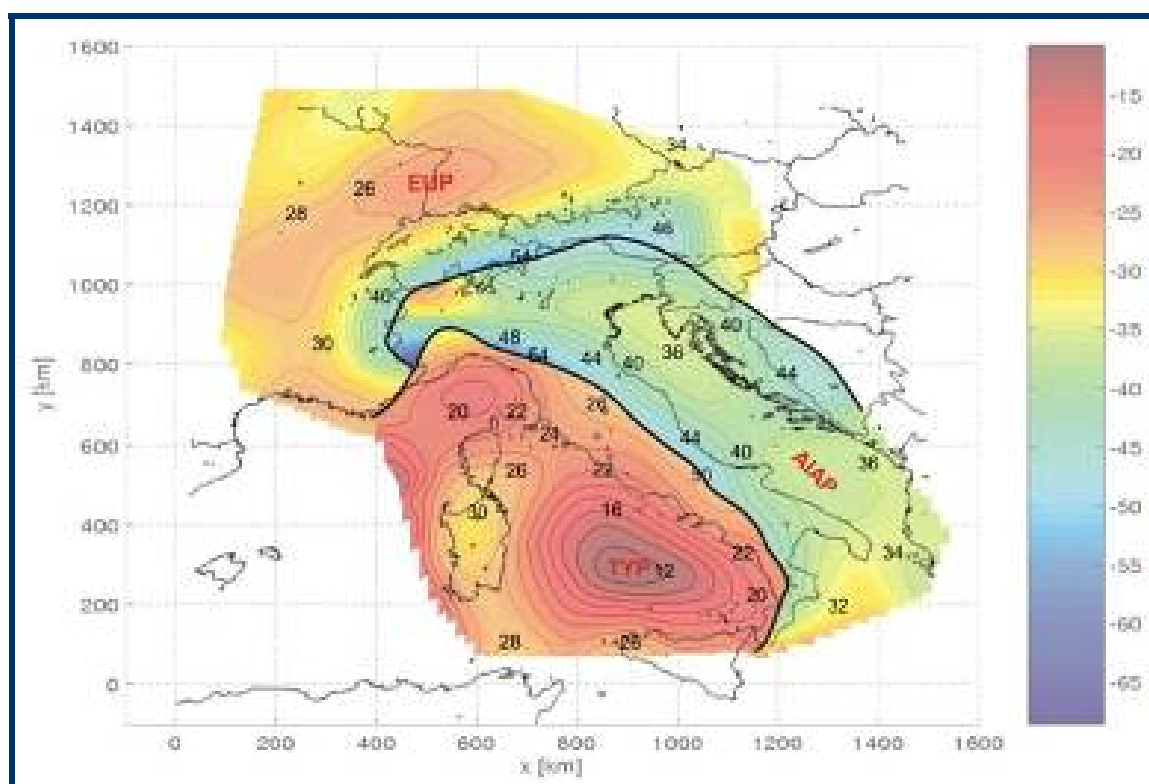


Figura 4. Mappa della Moho ed isolinee della sua topografia, per le tre maggiori unità litosferiche individuate nella regione.

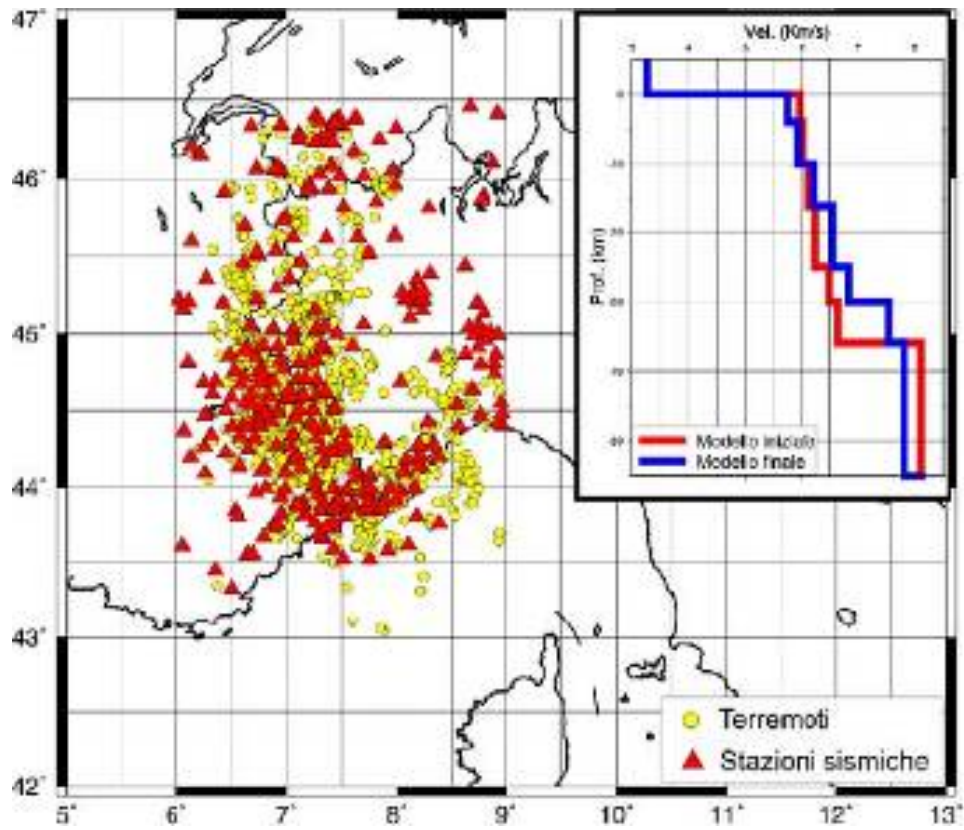


Figura 5a. Modello di propagazione monodimensionale per le Alpi Occidentali.

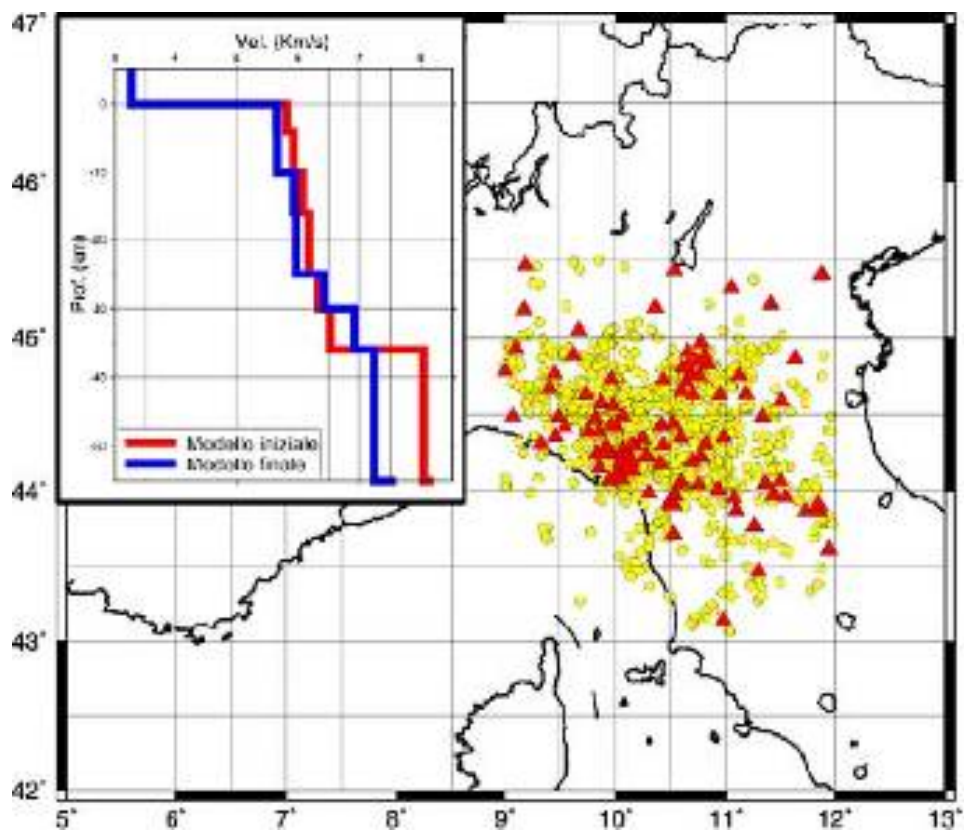


Figura 5b. Modello di propagazione monodimensionale per l'Appennino Nord-Occidentale.

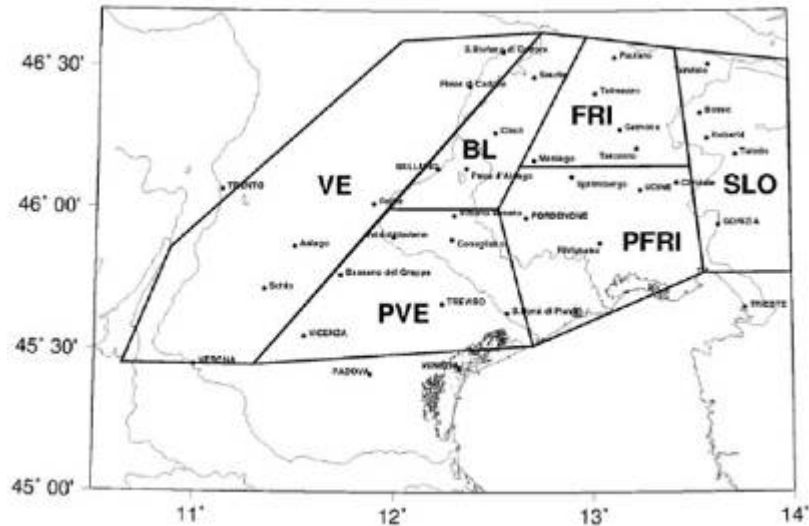


Figura 6. Zonazione dell'Italia nord-orientale per la definizione di modelli di velocità 1D. Come già precedentemente accennato è in inoltre fase di conclusione uno studio tomografico (Di Stefano et al., 2006) per giungere alla definizione di un modello di velocità delle onde P con una risoluzione laterale e verticale di 15 km, ottenuto utilizzando i tempi di arrivo dei terremoti locali e regionali avvenuti negli ultimi 20 anni e registrati da tutte le stazioni sismiche operanti sul territorio. Tale modello potrà essere utilizzato anche per studiare l'attendibilità e l'applicabilità a scala regionale di tecniche di localizzazione dei terremoti basati su modelli tridimensionali di velocità.

CALCOLO FUNZIONI DI GREEN E MODELLI CROSTALI

Uno dei principali obiettivi del presente task è il calcolo delle funzioni di Green per vari meccanismi di dislocazione. Nel primo anno di attività sono stati avviati degli studi per verificare ed implementare alcuni metodi di inversione delle forme d'onda per giungere direttamente alla definizione delle funzioni di Green ed anche del modello di velocità: partendo da soluzioni focali ben vincolate attraverso un algoritmo di inversione a ricerca globale (basato su un algoritmo genetico) si minimizza il misfit tra forme d'onda osservate e calcolate. In una prima fase, sono stati condotti diversi test sintetici "blind test" per verificare l'efficacia del metodo. In Figura 7 è riportato un esempio di test sintetico: il modello di partenza è rappresentato in nero ed il modello ottenuto dall'inversione è rappresentato in rosso. Successivamente, al fine di tentare di giungere ad una regionalizzazione delle funzioni di Green, si è provveduto a scegliere un set di terremoti (una decina con $M > 4$) registrati dalla rete nazionale broadband e per i quali era disponibile una soluzione del tensore momento con cui vincolare il meccanismo. La tecnica di inversione mediante l'algoritmo genetico è stata applicata a questo set di terremoti. In Figura 8 si illustrano alcuni dei "tragitti" fino ad ora esaminati. Il problema maggiore incontrato finora riguarda la regionalizzazione del territorio italiano che appare di notevole complessità. Specificatamente, si sono constatate difficoltà nel fittare i dati di forma d'onda mediante l'utilizzo di semplici profili di velocità 1-D, ove possono sussistere discontinuità laterali rilevanti. A questo fine si è iniziato a svolgere uno studio che si avvale di una tecnica nuova basata sull'analisi del rumore registrato dalle stazioni sismiche (Shapiro et al., 2005). Questa tecnica permette di ricavare la funzioni di Green tra ricevitori e, visto che il dato di rumore è prevalentemente composto da onde superficiali che interessano essenzialmente la crosta superiore, determinare la velocità di gruppo di queste ultime. Le velocità di gruppo ricavate per i diversi tragitti possono poi venir invertite (in 2D) per ricavare delle mappe

delle velocità di gruppo a diverse frequenze in modo da evidenziare le discontinuità laterali. Ci si aspetta, visto il grande incremento di stazioni broadband della rete nazionale, di ottenere una copertura molto maggiore di quella ora ottenibile utilizzando solamente i terremoti registrati con $M > 4$, soglia oltre la quale è ora possibile determinare dei meccanismi focali realistici. Vincoli importanti in questo lavoro saranno forniti dallo studio delle receiver functions che ha già permesso di calcolare i modelli di V_s e definire le principali discontinuità della crosta e del mantello superiore (in particolare la profondità della Moho) per le stazioni a larga banda permanenti della rete.

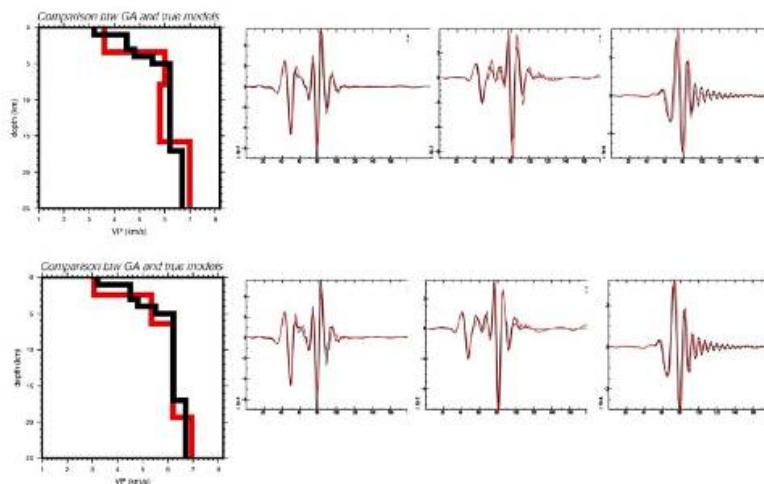


Figura 7. Risultati del “blind test” effettuato con il Prof. Doug Dreger (U. C. Berkeley). La linee di color nero corrispondono al modello (incognito) ed ai sismogrammi (forniti) provvisti da Dreger per il test. Il fit tra sismogrammi osservati (nero) e quelli calcolati (rosso) è molto buono. La struttura litosferica viene parametrizzata imponendo un modello costituito da 4 parametri di velocità delle onde-P, 3 parametri per lo spessore degli strati e un valore di V_p/V_s . La sorgente era posta ad 8 km di profondità e ad una distanza di 175 km dal ricevitore. Il fit è stato fatto nel range di frequenza 0.02-0.1 Hz.

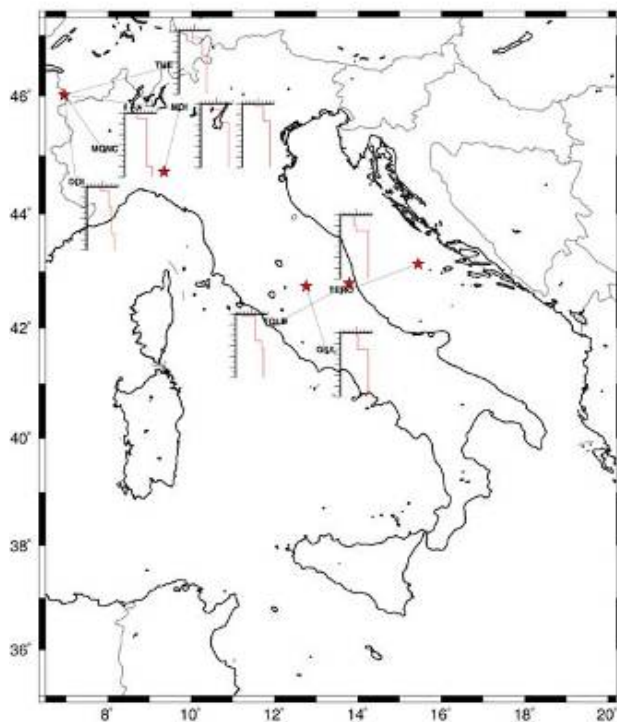


Figura 8. Alcuni dei tragitti per i quali sono state calcolate le strutture di velocità dall'inversione con l'algoritmo genetico delle forme d'onda.

Task 3: Stima rapida delle caratteristiche della sorgente sismica, implementazione di ShakeMap e verifica del suo funzionamento, apertura del portale www.iisn.org (Responsabile: A. Michellini)

L'attività di questo task è centrale per la realizzazione del progetto. La parte principale del task è costituita dalla realizzazione delle mappe di scuotimento (ShakeMap). Il task, tuttavia, prevede l'implementazione di importanti procedure sia strumentali a quella delle ShakeMap (es. localizzazione ipocentrale), sia corollarie ad esse, molto importanti per la corretta caratterizzazione dell'evento sismico.

IMPLEMENTAZIONE/INSTALLAZIONE SOFTWARE PER LA DETERMINAZIONE DELLE LOCALIZZAZIONI MEDIANTE APPROCCI DI RICERCA GLOBALE DELLA SOLUZIONE

Presso il centro elaborazione di CNT è stato implementato ed automatizzato il software di localizzazione NonLinLoc (Lomax, et al., 2000; Lomax, et al., 2001; Lomax, 2005; <http://www.alomax.net/nlloc>; NLL di seguito) ed il relativo software di visualizzazione della localizzazione (SeismicityViewer, Lomax, 2005). I risultati della localizzazione vengono visualizzati utilizzando rappresentando la funzione "densità di probabilità della localizzazione" mediante punti a densità variabile. Un esempio è riportato in Figura 9.

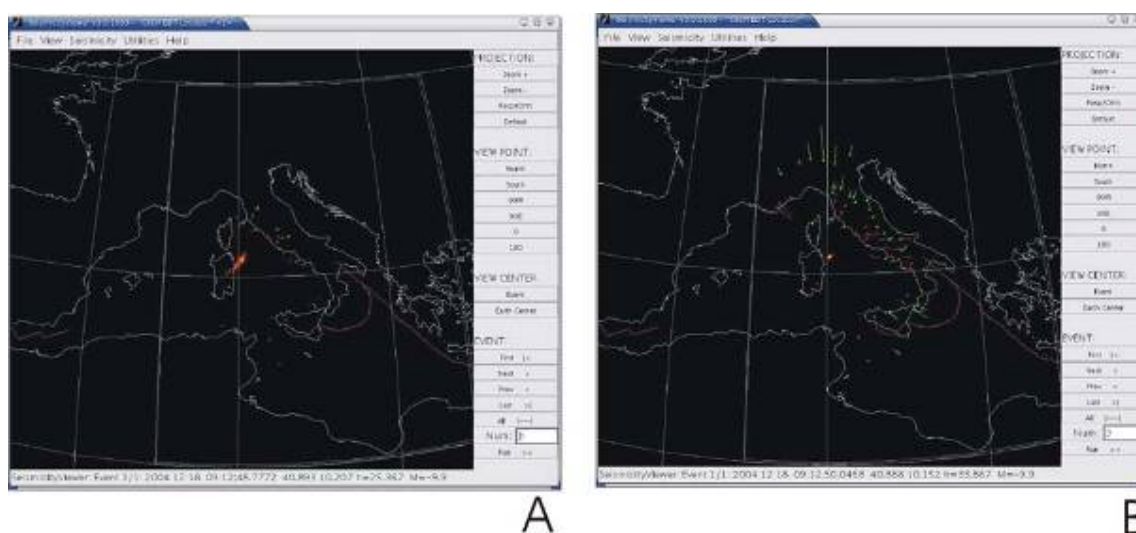


Figura 9. Esempio di localizzazione mediante il programma NLLoc di un evento (200412180912) al largo di Olbia (Sardegna). A) localizzazione con le prime stazioni che registrano l'evento sulla parte tirrenica della penisola, B) localizzazione con un numero maggiore di stazioni.

IMPLEMENTAZIONE/INSTALLAZIONE SOFTWARE PER LA LOCALIZZAZIONE RELATIVA, AD ALTA RISOLUZIONE, DEGLI EVENTI DI UNA SEQUENZA SISMICA

Il software HYPODD (Waldhauser & Ellsworth, 2000) o il software DoubDiff (Michellini & Lomax, 2004) non è stato ancora installato. Si prevede la sua installazione presso CNT durante il secondo anno del progetto.

IMPLEMENTAZIONE/INSTALLAZIONE SOFTWARE PER IL CALCOLO ACCURATO DELLA MAGNITUDO MOMENTO

Presso CNT, ma anche presso i centri elaborazione dati delle reti regionali, sono in via di implementazione e verifica diverse procedure per la stima della magnitudo momento per terremoti anche al di sotto della soglia minima utile per la modellazione del meccanismo focale. È in fase di test la procedura proposta da Tsuboi et al. (1995). Questa tecnica permette di utilizzare le onde P per calcolare il momento sismico (e la magnitudo momento, M_{wp}). In Figura. 10 viene presentato un esempio di calcolo della magnitudo M_{wp} per il terremoto di M6.7 del 8/1/2006 in Grecia. Nei prossimi mesi la procedura verrà automatizzata. Altre tecniche, basate sull'analisi dell'ampiezza dell'onda S (Bodin et al., 2004), sono anche in fase di sperimentazione e la loro implementazione avverrà durante il secondo anno del progetto.

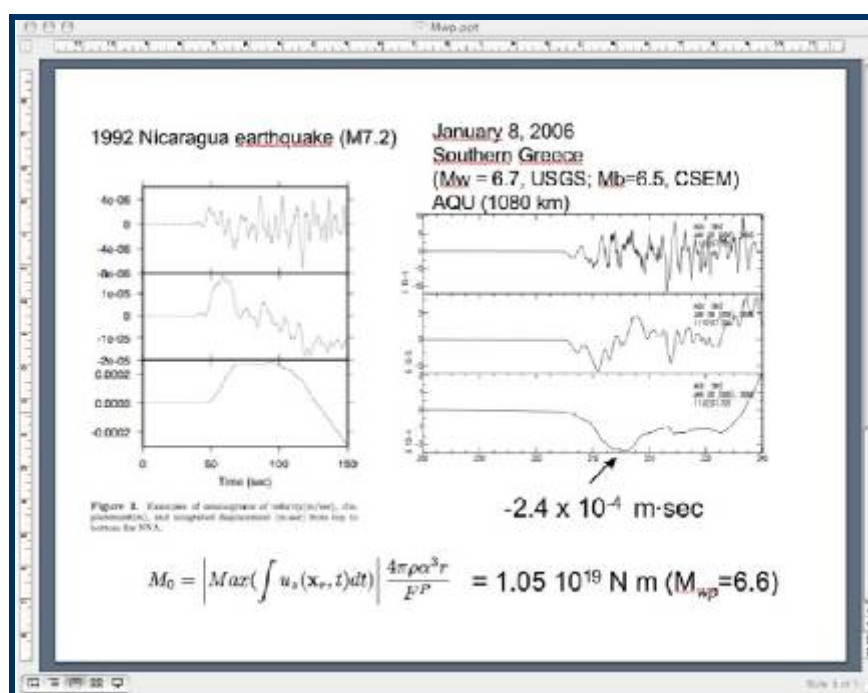


Figura 10. Calcolo di M_{wp} per il terremoto del 8/1/2006 in Grecia. Per confronto, viene mostrato sulla sinistra l'analisi condotta da Tsuboi (2002) per il terremoto del Nicaragua del 1992.

Rete Sismica RSNI

Attualmente, per gli eventi registrati dalla rete sismica dell'Italia Nord Occidentale, viene calcolata automaticamente un valore di MI utilizzando una specifica legge di magnitudo calibrata regionalmente, utilizzando tutti i dati delle stazioni che forniscono il dato sismico in tempo reale (INGV, RSNI, ETH). Per quanto riguarda la valutazione della magnitudo momento, è stata recentemente sviluppata ed implementata una procedura che consente di stimarne il valore in base alle caratteristiche delle onde di coda (Mayeda et al. 2003, Morasca et al. 2005a, Morasca et al. 2005b). In particolare, sono stati ricalibrati per ogni stazione sismica i parametri che definiscono le caratteristiche degli involucri di coda della regione, e le caratteristiche di amplificazione/deamplificazione dei siti. La procedura, testata su un data set di eventi sismici selezionati, si è dimostrata un efficace metodo per ottenere una stabile stima del momento sismico

per eventi di magnitudo anche inferiore a 3.0. Inoltre, il metodo implementato consente di ottenere altre informazioni quali ad esempio l'energia sismica radiata dalla sorgente. In Figura 11 è riportato la distribuzione dei valori dell'energia sismica radiata in funzione della magnitudo momento per un data set di circa 370 terremoti. Quella dell'energia radiata dai piccoli eventi è una stima estremamente delicata, perchè deve essere fatta integrando i contributi della radiazione di alta frequenza, oltre la corner frequency. Quello di Mayeda e collaboratori sembra essere l'unico metodo affidabile esistente al momento, per quanto riguarda i piccoli terremoti.

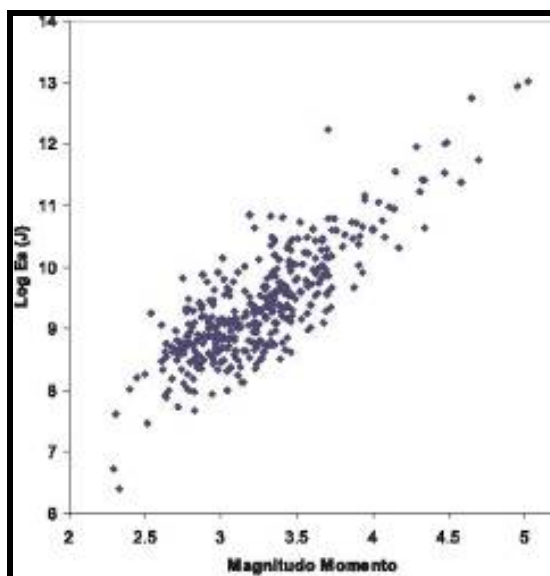


Figura 11. Energia sismica radiata in funzione della magnitudo momento.

RAF (DST - Università di Trieste)

Durante il primo anno del progetto sono state controllate e completate le informazioni sulle calibrazioni e risposte strumentali delle stazioni gestite dal DST nel sistema Antelope. È stato implementato in MATLAB un algoritmo per la stima della magnitudo momento secondo il metodo descritto da Andrews [1986] (usando la frequenza d'angolo e lo spettro di Brune). Il programma è stato testato con successo su un certo numero di segnali.

IMPLEMENTAZIONE/INSTALLAZIONE SOFTWARE PER L'INVERSIONE RAPIDA DEL TENSORE MOMENTO

CNT (INGV)

Attualmente presso il centro elaborazione dati di CNT sono stati installati due programmi per effettuare il calcolo del tensore momento sismico. Il primo programma è il Time Domain Moment Tensor (TDMT) di Dreger mentre il secondo è il Regional Moment Tensor (RMT) sviluppato originariamente da Giardini con il contributo di Barbara Palombo e poi modificato presso l'ETH di Zurigo. TDMT è stato testato in maniera intensiva per eventi, principalmente italiani, con magnitudo ≥ 3.5 . Dalle analisi condotte si è visto che, specialmente per gli eventi più piccoli, per i quali si usano stazioni più vicine all'ipocentro che garantiscono un buon rapporto segnale-rumore, le

soluzioni sono affette dall'indeterminatezza della struttura di velocità. Per quanto riguarda l'automatizzazione del calcolo del TDMT, è stata realizzata (al momento è in fase di test) una procedura che calcola il momento tensore effettuando una ricerca sulle profondità per selezionare la soluzione migliore. Per quanto riguarda l'identificazione delle stazioni da utilizzare nel calcolo del tensore momento, è in fase di sviluppo una procedura che permette di eliminare i dati ridondanti mantenendo quelli che maggiormente vincolano la soluzione. Siamo in grado di calcolare il tensore momento per tutti gli eventi $M > 4.0$ sul territorio nazionale e zone limitrofe. In Figura 12, si presenta un esempio di "moment tensor" ottenuto dall'inversione delle forme d'onda del terremoto di Anzio dell'agosto 2005. Il codice TDMT è inoltre in fase di sperimentazione ed implementazione (applicato ad eventi del passato) presso il CRS (Centro di Ricerche Sismologiche, OGS - Trieste) e la RSNI. RMT è un programma che allo stato attuale può venire usato solamente per eventi $M_w > 4.2$. La procedura automatica si avvale principalmente di dati a banda larga provenienti da sismometri STS1 e STS2, disponibili tramite MedNet, ORFEUS ed IRIS. In merito, si sta effettuando una calibrazione per le velocità di fase e di gruppo per i modi fondamentali di Rayleigh e Love, per cercare di minimizzare l'effetto dovuto alla presenza di forti eterogeneità litosferiche. Questo dovrebbe permettere l'analisi di terremoti con magnitudo $M_w \geq 4.0$.

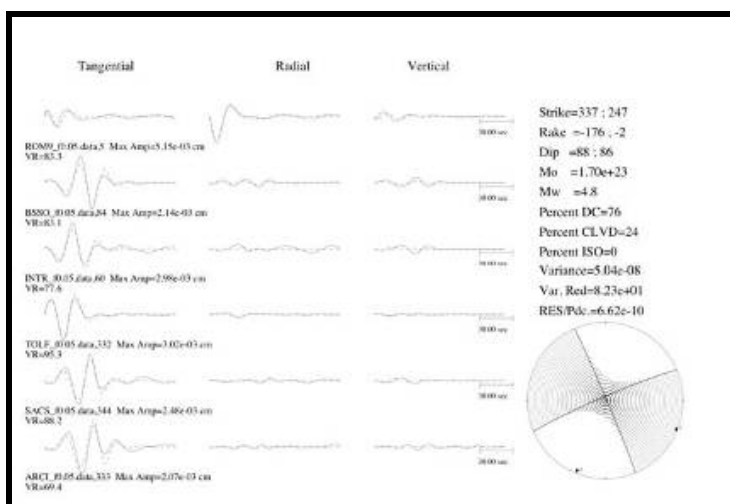


Figura 12. Tensore momento calcolato per il terremoto di Anzio (200508221200) utilizzando il TDMT. di Mwp per il terremoto del 8/1/2006 in Grecia.

IMPLEMENTAZIONE/INSTALLAZIONE SOFTWARE PER IL RICONOSCIMENTO RAPIDO DEL PIANO DI FAGLIA E LA MODELLAZIONE DEL CAMPO DI SLIP

Il programma per l'inversione dello slip su faglia estesa sviluppato da Dreger e Kaverina (2000) è stato implementato e testato presso CNT. Il programma è stato testato sul terremoto di San Simeon 2003 (M 6.5), per il quale erano disponibili i dati della rete digitale di Berkeley, e di cui si conosceva la soluzione dalla letteratura (Dreger et al. 2005). Sono stati effettuati inoltre due test sintetici per un evento trascorrente: il primo test con le stazioni poste ad una distanza di ~50km dalla faglia, ed il secondo test con stazioni a ~100km dalla faglia. Dopo aver ricavato il meccanismo focale con il codice TDMT, sono stati considerati entrambi i piani della doppia coppia

come possibili piani di faglia e si è verificato quale fosse il migliore per riprodurre le forme d'onda. L'inversione ha riconosciuto tra i due piani di faglia quale fosse quello utilizzato effettivamente nei test per produrre i dati, ed ha riprodotto una buona distribuzione del campo di slip sul piano di faglia (Figura 13). In ultimo, si sta cercando di ricostruire con questa tecnica un modello su faglia finita per l'evento di Colfiorito del 26 Settembre 1997, delle 09:40. Si sta inoltre pensando di utilizzare una procedura che, assieme alla modellazione dello slip, inverta anche per la velocità di rottura e per il rise time.

IMPLEMENTAZIONE E VERIFICA DEL FUNZIONAMENTO DEL PROGRAMMA SHAKEMAP

Presso CNT ed anche presso i centri elaborazione dati delle reti regionali il software shakemap è già stato installato e testato. A fine primo anno, ShakeMap (versione 3.1) risulta installata, sul server interno wood.int.ingv.it, la versione 3.1 del pacchetto ShakeMap. Le shakemap vengono elaborate anche in maniera automatica avvalendosi dei moduli per il calcolo dei parametri di scuotimento disponibili nel sistema di acquisizione earthworm. Rimangono da implementare le relazioni di attenuazione a scala regionale estratte dai dati italiani e fornite dal task 4 del progetto. Per le amplificazioni di sito, attualmente viene utilizzata una mappa con la risoluzione di 0.01667 gradi (1') relativa alle classi di terreno A, B, C, corrispondenti a litotipi rock, stiff e soft. (1000, 600 e 350 m/s rispettivamente.). Un esempio di mappa di scuotimento per un terremoto verificatosi recentemente nella zona etnea è mostrato in Figura 14.

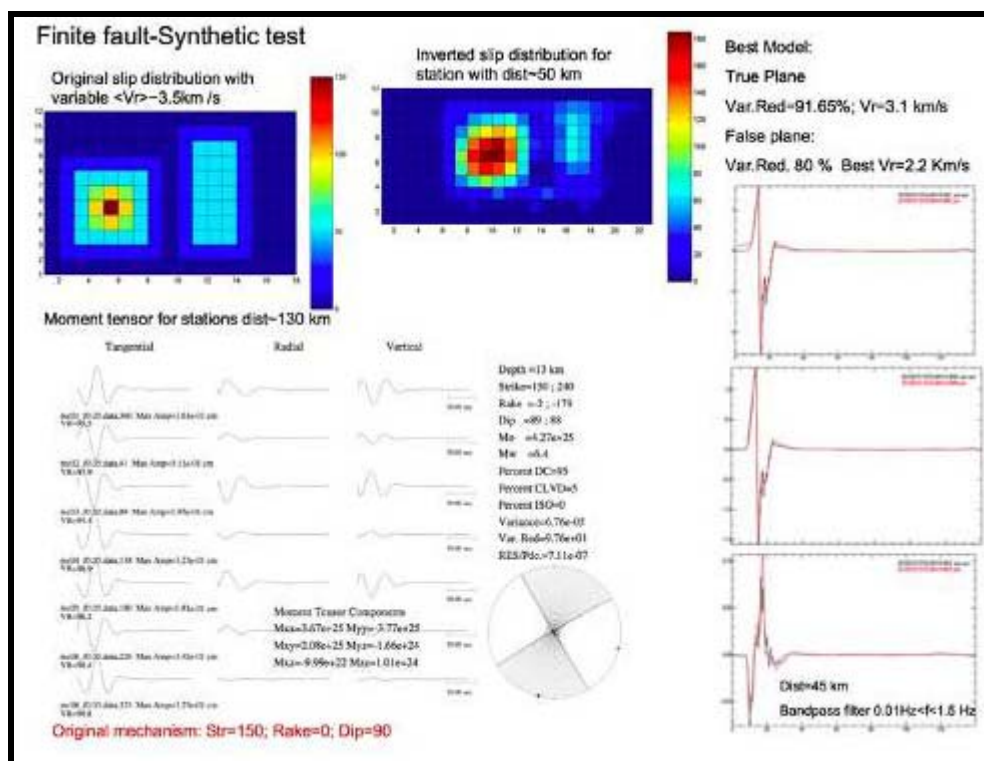


Figura 13. Test sintetico in cui si replica l'intera procedura per ricavarsi lo slip sul piano di faglia a partire dal calcolo del moment tensor per una sorgente puntiforme.

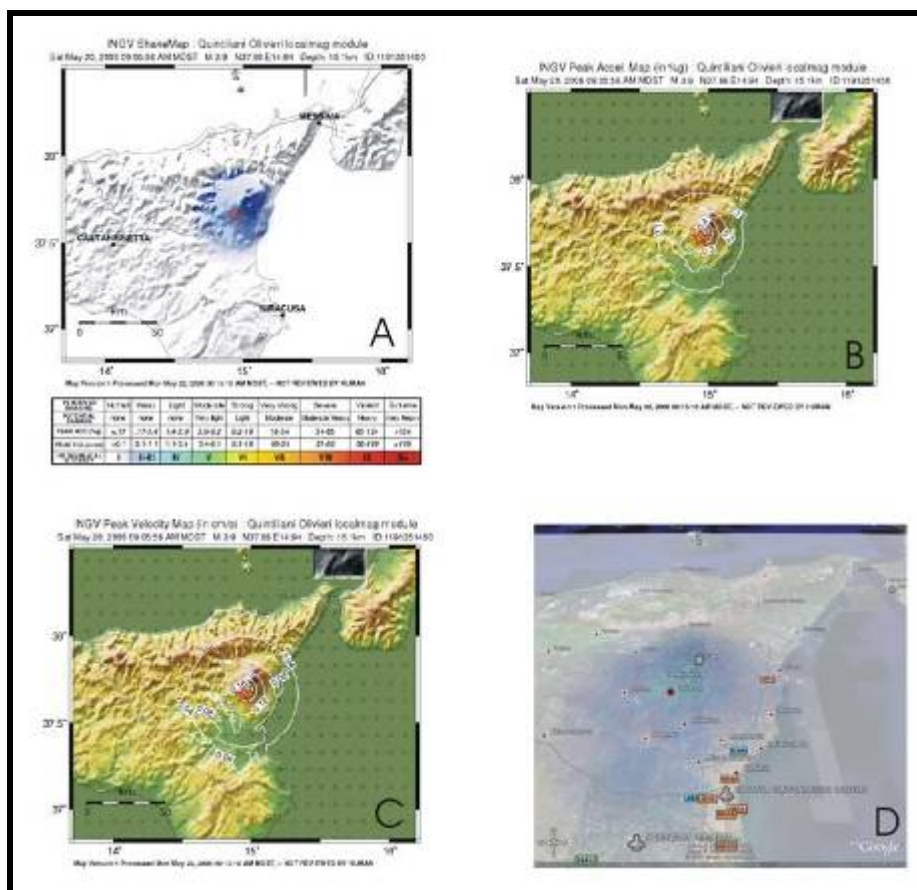


Figura 14. ShakeMaps generate per il terremoto di M3.9 del 20/05/2006 alle 7:05 UTC. A) mappa delle intensità espresse in "instrumental intensity"; B) PGA; C) PGV; D) mappa dell'intensità strumentale visualizzata mediante il programma Google Earth.

Rete Sismica RSNI

ShakeMap è stato installato presso il centro elaborazione dati della RSNI nella sua ultima versione disponibile (v3.1). Sono state sviluppate e quindi implementate in ShakeMap adeguate leggi di attenuazione, aventi validità regionale, calibrate sui dati digitali registrati negli ultimi dieci anni ($2.5 < M < 5.2$). Analogamente, è stata introdotta una legge valida per il territorio italiano (Faccioli e Cauzzi, 2006) utile alla conversione dei parametri di scuotimento sismico PGV in intensità MCS. Per le amplificazioni di sito, anche in questo caso si fa riferimento alla mappa con la risoluzione di 0.01667 gradi (1') relativa alle classi di terreno A, B, C. È in fase di completamento una mappa litologica derivata dai Piani di Bacino Provinciali. In una prima fase, ShakeMap è stato utilizzato per alcuni eventi sismici del passato, e si prevede di automatizzare completamente la procedura implementata in modo da poter elaborare mappe di scuotimento e di intensità relative a ciascun evento sismico significativo ($M > 3.0$) rilevato dalle stazioni della reti operati in Italia Nord-Occidentale. A titolo esemplificativo viene riportata in Figura 15 la mappa di intensità relativa all'evento del 7 Aprile 2006 delle ore 7:35 GMT.

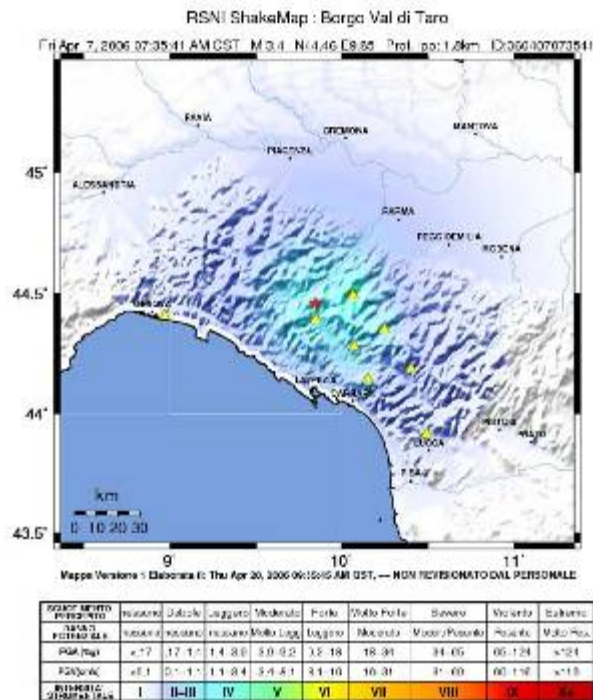


Figura 15. ShakeMaps (in intensità) generate per il terremoto di M3.4 del 07/04/2006 alle 7:35 UTC.

SVILUPPO ED APERTURA DI UN PORTALE WEB DENOMINATO “INTEGRATED ITALIAN SEISMIC NETWORK” ([WWW.IISN.ORG](http://www.iisn.org)) IN COLLABORAZIONE CON IL TASK 1

È stato riservato il dominio iisn.it (il dominio iisn.org non era più disponibile). Si è iniziato a sviluppare il sito web nel quale vengono raccolte le informazioni delle analisi descritte nei punti precedenti (<http://wood.int.ingv.it/~lauciani/earthwormpage>). Questa attività ha due funzioni. La prima è di fare da raccogliitore di quanto viene pubblicato nel Task 3. Ciò permette di confrontare e sintetizzare facilmente i risultati delle singole analisi. La seconda funzione è di fungere da prototipo dal punto di vista grafico per quanto verrà pubblicato sul sito www.iisn.it.

SVILUPPO IMPLEMENTAZIONE DEL SOFTWARE PER LA VALUTAZIONE DELLE VARIAZIONI SPAZIO-TEMPORALI DELL’HAZARD SISMICO

Il software si basa su algoritmi ben collaudati e pubblicati su riviste internazionali, appartenenti alla categoria dei modelli epidemici (ETAS). In questi modelli, il rateo di occorrenza atteso ad un particolare istante in un punto qualsiasi dell’area di interesse viene calcolato tramite il contributo di ogni evento precedente, utilizzando una funzione kernel che tiene conto in varie maniere della magnitudo dell’evento precedente, della distanza spaziale dall’epicentro dell’evento precedente, dell’intervallo temporale intercorso tra il tempo origine dell’evento precedente e l’istante considerato per il calcolo (legge di Omori). Tutti i parametri liberi dell’algoritmo devono preliminarmente determinati tramite una procedura di best fit basata sulla massima verosimiglianza di un catalogo sismico. Nel primo anno di attività il software è stato messo a punto e provato estesamente sul catalogo sismico italiano CSI ed altri cataloghi stranieri. Esso verrà implementato in tempo reale dandogli in ingresso i dati disponibili in tempo reale da CNT. L’uscita del programma mostrerà all’utente una mappa dell’hazard istantaneo in una qualsiasi area italiana di dimensioni volute con aggiornamento automatico ogni 5 minuti, consentendo quindi il controllo immediato dell’evoluzione delle sequenze sismiche. Un recente aggiornamento consente di avere in uscita la mappa della densità dei ratei

attesi di eventi superiori ad una data magnitudo, e quella della probabilità di eccedenza di una data accelerazione di picco (PGA). Una fase successiva del progetto, ancora da mettere a punto, sarà destinata alla validazione statistica dei risultati basata su un congruo periodo di funzionamento in tempo reale.

IMPLEMENTAZIONE/INSTALLAZIONE SOFTWARE PER IL CALCOLO AUTOMATICO RAPIDO DELLA MAGNITUDO MOMENTO, PER APPLICAZIONI TIPO EARLY WARNING

Presso in centro dati di CNT è stato implementato per la rete sismica italiana ed è al momento in fase di test il software ELARMS. Si sta verificando la capacità della rete di fornire rapidi e robusti parametri di sorgente entro pochi secondi dall'occorrenza di un forte terremoto. Il codice, sviluppato da Richard Allen (UC Berkeley) per la California, permette di processare i dati sia in tempo reale che in tempo differito utilizzando i dati presenti in archivio. In particolare, si desidera verificare l'efficienza e l'accuratezza del metodo per l'Italia in modo da capire che sviluppi siano necessari per il caso specifico italiano. Un esempio di localizzazione ottenuto usando ELARMS è presentato in Figura 16.

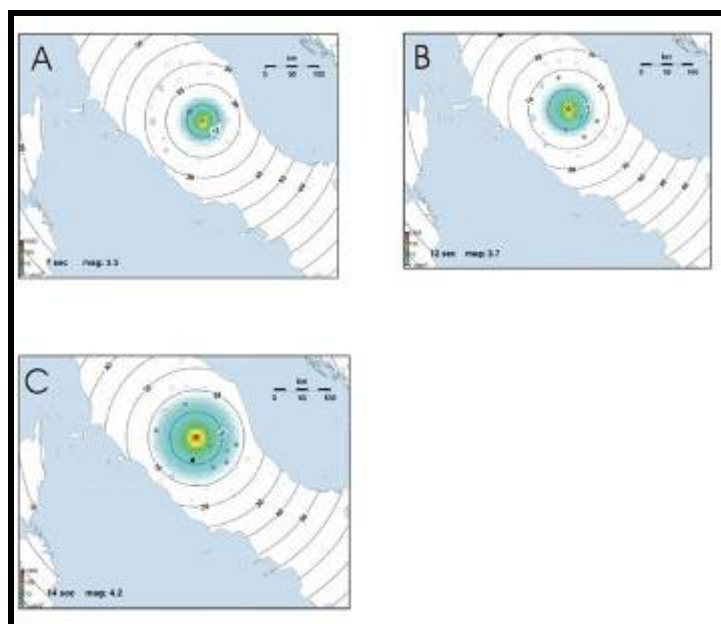


Figura 16. Esempio per un terremoto M 4.2 verificatosi in Italia Centrale. Il diamante identifica la localizzazione dell'evento, i cerchi identificano il tempo a cui la fase S è attesa, i colori rappresentano lo scuotimento stimato in funzione della magnitudo. A) 7 secondi dopo l'evento la localizzazione è fissata sotto la prima stazione, la magnitudo è sottostimata. B) a 12 secondi dall'evento, la localizzazione è corretta ma la magnitudo rimane sottostimata. C) 14 secondi dopo l'evento, il sistema fornisce sia una accurata localizzazione e una realistica stima di magnitudo.

VALUTAZIONE DELLE POTENZIALITÀ DELLE TECNICHE DI TELERILEVAMENTO DA SATELLITE PER LA STIMA DEL DANNO DA TERREMOTI IN AREE URBANE

Nell'ambito del Task 3 il Dipartimento di Ingegneria Elettronica dell'Università La Sapienza di Roma (UniRm2) ha portato avanti una attività di ricerca avente lo scopo di valutare le potenzialità delle tecniche di telerilevamento da satellite (Osservazione della Terra) per la valutazione del danno da terremoti in aree urbane. L'interesse di tali tecniche è determinato soprattutto dalle potenzialità della vista sinottica (osservazioni di grandi aree in tempi brevi) da satellite, anche in regioni poco accessibili e con scarse infrastrutture di comunicazione. Un limite all'utilizzo applicativo è invece

determinato al momento dalla disponibilità di immagini in tempi adeguati, in quanto i vincoli orbitali impongono tempi di accesso che possono arrivare a diversi giorni. Nel primo anno la ricerca è stata focalizzata all'analisi di immagini satellitari ad alta-media risoluzione spaziale (dell'ordine della decina di metri) riprese in occasione di eventi sismici significativi (Turchia, 1999, dati IRS, ERS, Landsat; Italia, San Giuliano, 2002, dati EROS; Marocco, Al Hoceima, 2004, dati Ikonos; Iran, Bam, 2003, dati Envisat, SPOT, Quickbird). Sono state studiate immagini ottiche (nel visibile ed infrarosso) e soprattutto immagini radar (a microonde), che per la qualità di operare in ogni condizione (ora del giorno e anche in presenza di copertura nuvolosa) offre maggiori opportunità di ripresa. Con riferimento al radar, è stato anche condotta una analisi di tipo più teorico per comprendere quali fenomeni (ad esempio la tessitura urbana o la baseline di ripresa di coppie di immagini) possano influenzare il segnale radar in aggiunta ai fenomeni di cambiamento che intendiamo rilevare. L'analisi è stata effettuata nell'area di Roma, dove sono state acquisite ed analizzate un gran numero di immagini a diversa baseline spaziale. L'esperienza del primo anno a messo in luce come le immagini ottiche ad alta-media risoluzione sono in grado di rilevare i cambiamenti associati ai danni alla corrispondente scala spaziale. Le immagini radar attualmente disponibili (stessa scala spaziale ma solo 1-2 canali spettrali) possono contribuire a tali riconoscimenti con informazioni complementari, ma non sono in grado da sole di riconoscere il danno a scala di pixel (decina di metri). Se invece l'obiettivo è una valutazione del grado di danneggiamento su aree più estese (alla scala di diversi blocchi di edifici), allora sia le tecnologie ottiche che radar hanno mostrato buona correlazione con dati macrosismici di grado di danneggiamento (Figura 17). In conclusione, seppure l'insieme delle piattaforme satellitari al momento disponibili non sono in grado di offrire un servizio altamente affidabile in questo settore (elevata tempestività nell'osservazione), quando le immagini siano disponibili esse forniscono in zone remote informazioni interessanti e complementari ai costosi e lenti rilievi macrosismici. Alcune missioni satellitari che verranno lanciate nell'immediato futuro (come la costellazione COSMO-SkyMed dell'Agenzia Spaziale Italiana) sono in grado di migliorare proprio la tempestività di ripresa, attualmente maggiore limite di queste tecniche.

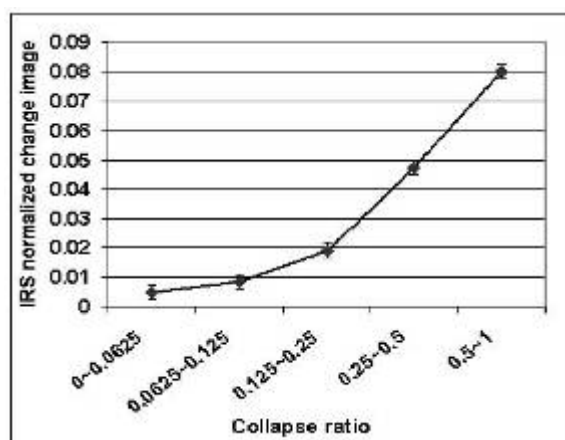


Figura 17. Nel caso della città di Izmit (Turchia) i cambiamenti nella immagini pancromatica IRS (5 metri risoluzione) prima e dopo il terremoto (a sinistra) e il coefficiente di correlazione tra due immagini radar ERS-SAR (30 metri risoluzione)(a destra) si sono mostrati ben correlati ai dai macrosismici di "collapse ratio" (frazione di edifici collassati) rilevati da campagne a terra.

PROCEDURE TIPO "DID YOU FEEL IT?: PROCEDURE DI RACCOLTA ED ELABORAZIONE DEI DATI MACROSISMICI TRAMITE INTERNET

Sfruttando la diffusione delle connessioni in internet, è stato sviluppato presso INGV un metodo di raccolta ed elaborazione degli effetti del terremoto avvertiti dalla popolazione. Tale metodo si basa sulla compilazione di un questionario on-line:

<http://www.ingv.it/~roma/attivita/pererischio/macrosismica/macros/questionari/questit.html>

contenente una serie di domande che riflettono gli effetti della scala M.C.S. Una volta compilati, i questionari vengono elaborati statisticamente al fine di definire il grado macrosismico corrispondente per ogni località ed evidenziare eventuali incongruenze dovute ad errori nella compilazione. L'insieme delle intensità rilevate viene cartografato e reso disponibile in internet:

<http://www.ingv.it/~roma/attivita/pererischio/macrosismica/macros/campi/effettirecenti/lista.html>.

I dati così ottenuti, sebbene provenienti dalla popolazione, permettono una buona rappresentazione del campo macrosismico, non altrimenti ottenibile in un così breve lasso di tempo avvalendosi delle indagini dirette da parte di personale specializzato. Un esempio di mappa del risentimento sismico è riportata in Figura 18.

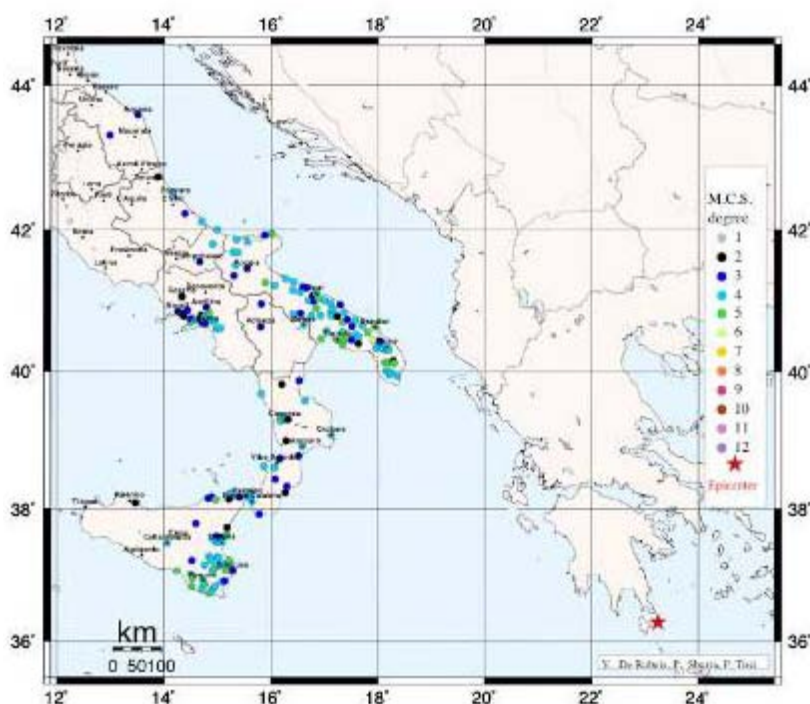


Figura 18. Mappa dei risentimenti macrosismici relativi al terremoto del 08-01-06 nella Grecia meridionale di magnitudo $M_I = 6.7$. La Figura mostra la rappresentazione complessiva delle intensità macrosismiche sulla penisola Italiana, per un totale di 374 questionari compilati.

Task 4: Ground motion scaling regionale (Responsabile: A. Akinci)

Il Task 4 relativo al Progetto DPC-S4 aveva come compito principale lo studio delle Leggi di Attenuazione a scala regionale per l'Appennino Centrale/Meridionale (con nuovi dati), l'Arco calabro e la Sicilia settentrionale.

LEGGI DI ATTENUAZIONE WEAK-MOTION PER L'APPENNINO CENTRALE

Durante il primo anno del progetto è stata elaborata una nuova legge di attenuazione regionale per l'Appennino Centrale, i cui risultati in funzione della distanza, forniti a diverse magnitudo e per diversi intervalli di frequenza, sono stati confrontati con le diverse leggi di attenuazione disponibili. La nuova relazione predittiva per l'Appennino Centrale si basa sulle registrazioni strong e weak motion ottenute anche durante la sequenza sismica di Colfiorito del 1997. Sono stati utilizzati 705 eventi, per un totale di 11565 forme d'onda, registrate durante gli anni 1991 - 2002 da 23 stazioni digitali a tre componenti, gestite dal Servizio Sismico Nazionale (SSN). I segnali sono stati registrati con un passo di campionamento di 125 campioni/sec. Sono stati usati soltanto eventi crostali, con profondità inferiore a 30 km, con distanza ipocentrale variabile tra 1 e 155 km, e magnitudo compresa tra 2.0 e 5.1. Una serie di test ha dimostrato che le relazioni di attenuazione regionalizzate sono complessivamente in accettabile accordo con i valori di picco di registrazioni accelerometriche relative a terremoti avvenuti nella regione. I dati accelerometrici (PGA) utilizzati per il confronto mostrato in Figura 19 sono stati registrati in occasione di diversi terremoti di magnitudo circa 4, 5 e 6. In Figura 20 sono invece usati i picchi di velocità. In generale, da tutti i test fatti si evince che l'accordo per magnitudo intermedie (4.0 – 6.0). Infine, la Figura mostra il confronto tra le curve ottenute dalle nostre relazione e i dati di terremoti della sequenza umbro-marchigiana del 1997-1998. In Figura 19, i valori di PGA registrati si riferiscono a diversi aftershocks di magnitudo M_w comprese tra 4.0 e 5 e i dati relativi al terremoto di Colfiorito del 26 settembre 1997, 09:40 (M_w 6.0). Si osserva che l'accordo tra le stime di PGA ed i valori effettivamente registrati è generalmente buono.

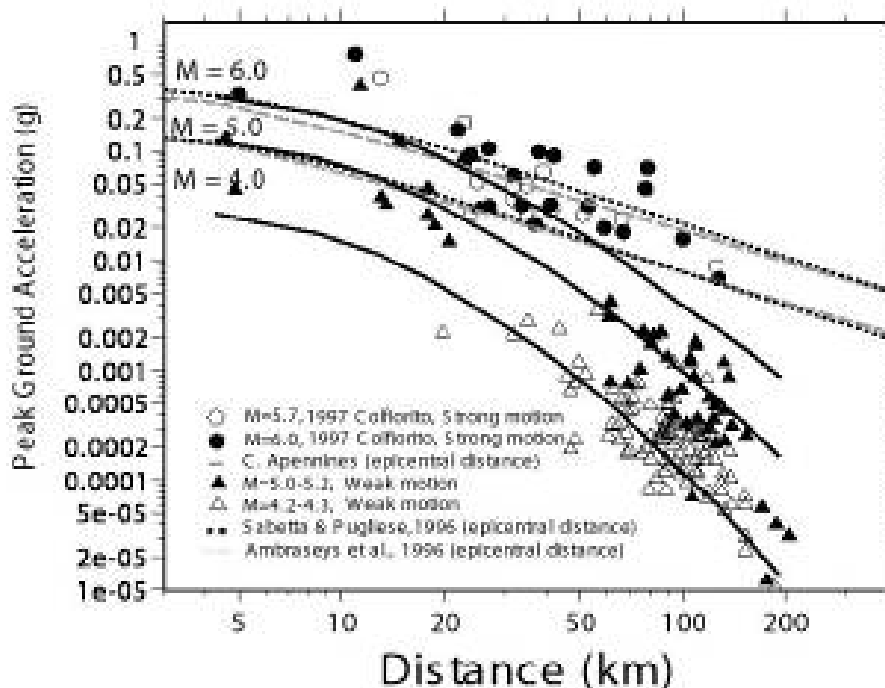


Figura 19. Confronto tra le curve di attenuazione della PGA del presente studio per $M_w = 4, 5$ e 6 (in nero) con i dati di alcuni aftershocks della sequenza umbro-marchigiana del 1997-1998 ($4.0 < M_w < 5$) e confronto delle stesse per $M_w = 6.0$ con i dati strong motion del terremoto di Colfiorito $M_w = 6.0$ e confronto tra le curve per $M_w=6.0$ e 5.0 di Sabetta&Pugliese (1996, curve punteggiate nere) e Ambraseys ed altri (1996) (curve punteggiate grige).

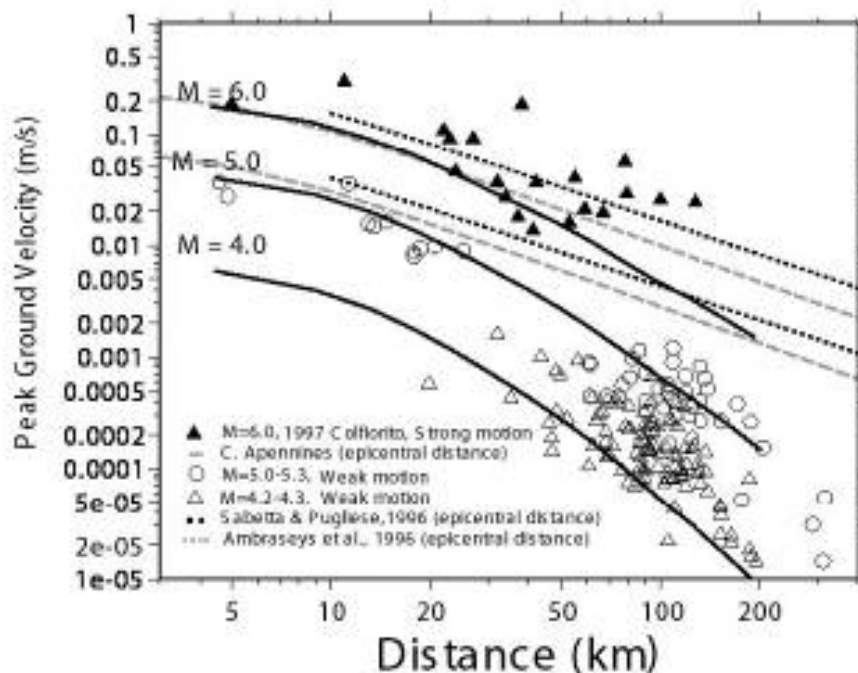


Figura 20. Confronto tra le curve di attenuazione della PGV del presente studio per $M_w = 4, 5$ e 6 (in nero) con i dati di alcuni aftershocks della sequenza umbro-marchigiana del 1997-1998 ($4.0 < M_w < 5$) e confronto delle stesse per $M_w = 6.0$ con i dati strong motion del terremoto di Colfiorito $M_w = 6.0$ e confronto tra le curve per $M_w=6.0$ e 5.0 di Sabetta&Pugliese (1996, curve punteggiate nere) e Ambraseys ed altri (1996) (curve punteggiate grige).

PARAMETRI DI SORGENTE DERIVATI DALLA ANALISI DALLE ONDE DI CODA IN APPENNINO CENTRALE

Sono stati stimati i parametri di sorgente di terremoti locali e regionali registrati nell'Italia Centrale dalla rete regionale dell'Aquilano. L'analisi dei dati ha portato a utilizzare 12 delle stazioni, per un totale di 836 eventi elaborati; con una M_w compresa da circa 2.0 a 5.1, e una distanza sorgente-ricevitore compresa da 1 a 150 km. La banda di frequenza osservata va da 0.4 a 15.0 Hz. Spettri di moment-rate, Magnitudo momento M_w , Momento sismico M_0 , Energia radiata E_R , sono ottenuti attraverso l'analisi delle onde di coda dei sismogrammi utilizzando la tecnica di Mayeda e Walter (1996), modificata da Mayeda et al. (2003). In Figura 21 sono riportati gli spettri di moment-rate dei 7 eventi del data set di cui è nota la M_w da RCMT, oltre agli spettri degli eventi più piccoli, utilizzati per la calibrazione alle alte frequenze. Le magnitudo vanno dal valore di 5.1, per l'evento più grande registrato, fino a valori di 2.5 degli eventi più piccoli, utilizzati per la calibrazione delle ampiezze alle frequenze più alte. In Figura 22 sono mostrati i valori di M_w calcolati automaticamente sulle onde S, e su quelle di coda. Per calcolare le M_w coda, è stata fatta la calibrazione di ognuna delle stazioni della rete. Per il calcolo automatico delle M_w S, ogni spettro è stato corretto per l'attenuazione regionale, e per l'effetto di sito assoluto che caratterizza la specifica stazione di registrazione. L'importanza di questo risultato deriva dal fatto che parte delle stazioni della rete Abruzzese sono state integrate nella rete sismica nazionale digitale INGV. In due di queste stesse stazioni (Barisciano e Castelli) sono state effettuate in questi giorni misure in pozzo per la determinazione della struttura di velocità, e per il calcolo di una funzione di trasferimento teorica da confrontare con i risultati di origine sismologica (si veda il Task 5).

DATASET PER L'ANALISI DELL'ATTENUAZIONE NELLA REGIONE DELL'ARCO CALABRO

Il data set è stato costituito utilizzando dati di registrazioni sismiche provenienti da due diversi progetti sviluppati nell'Italia meridionale: SAPTEX (Southern APennines Tomography Experiment) progetto I.N.G.V e CAT-SCAN (Calabria Apennine Tyrrhenian – Subduccion Collision Accretion Network) progetto congiunto tra Lamont-Doherty Earth Observatory, INGV e Università della Calabria. Le 26 stazioni sismiche del progetto SAPTEX (triangoli blu in Figura 22) sono state installate dal Gennaio 2002 fino alla fine del 2004. Ogni stazione è stata equipaggiata con digitalizzatori Reftek72A07 e sensori a tre componenti Lennartz 3D-5s (passo di campionamento 50 sps). Durante il periodo sopra citato sono stati registrati oltre 350 eventi aventi magnitudo locale $M \geq 2$ e profondità $2 \text{ km} < h < 35 \text{ km}$. Le 42 stazioni del progetto CAT-SCAN (triangoli bianchi in Figura 22) sono state installate per circa 2 anni da Dicembre 2003 all'Ottobre del 2005. In tale periodo sono stati registrati circa 500 eventi con magnitudo locale $M \geq 2$. Le stazioni sono state equipaggiate con digitalizzatori Reftek130 e Reftek72A07 e diversi tipi di sensori a tre componenti (cmg40t, cmg3t, I-22, sts2, trilium40, cmg3esp). In Figura 23 è riportato il settore e i 420 eventi che saranno utilizzati nei successivi studi. Gli eventi riportati in Figura 23 hanno magnitudo $M \geq 2$ e profondità ipocentrale minore di 40 km.

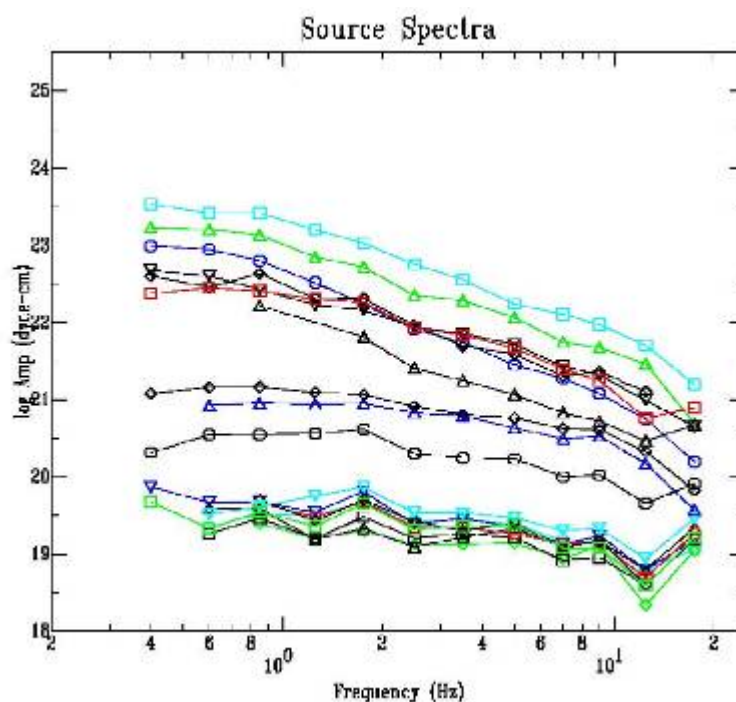


Figura 21. Spettri di moment-rate, calcolati sugli eventi di calibrazione del data set registrato dalla rete sismica dell'Abruzzo (SSN). Sono raffigurati gli spettri di 7 eventi, per alcuni dei quali era nota la M_w da soluzioni RCMT; gli spettri degli eventi più piccoli sono stati utilizzati come funzioni di Green empiriche, per la calibrazione delle correzioni di alta frequenza.

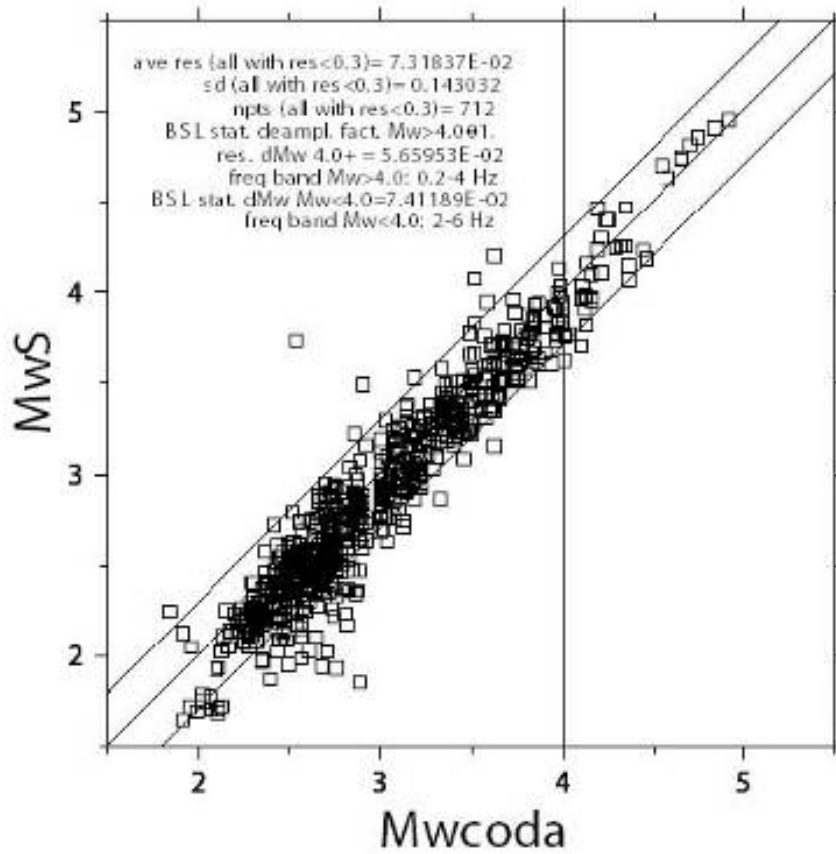


Figura 22. L'immagine è ottenuta usando il codice sviluppato da Malagnini ed altri (2004) per il calcolo automatico della grandezza di momento, dato il $g(r)$, della $Q(f)$, del k_0 , di $T(r)$ ottenuto dallo studio regionale sull'eccitazione e di attenuazione del movimento al suolo. Nonostante lo scattering che caratterizza i valori di magnitudo, riteniamo che questo strumento possa essere molto utile per le attività di monitoraggio sismico del territorio.

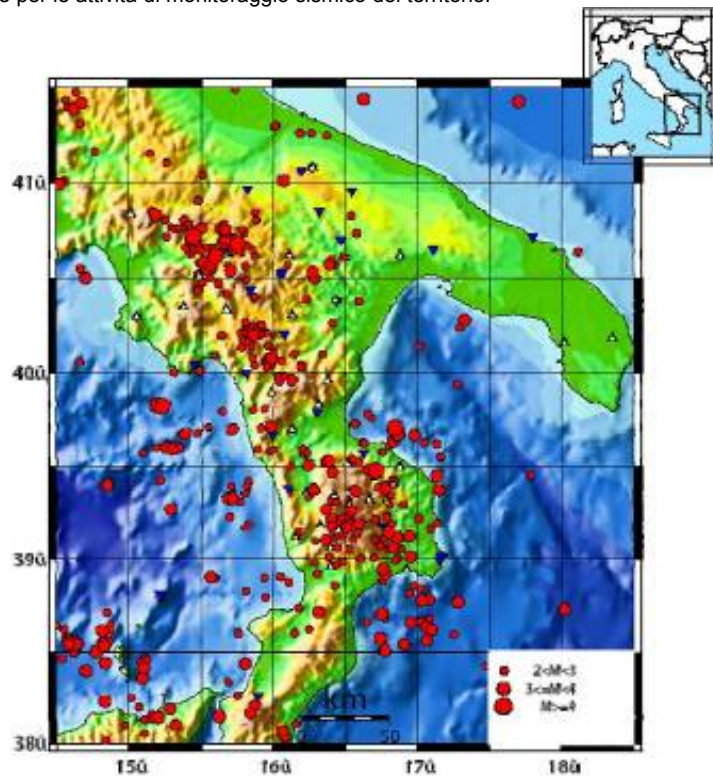


Figura 23. Distribuzione delle stazioni CAT-SCAN (triangoli bianchi) e SAPTEX (triangoli blu), e distribuzione epicentrale degli eventi con magnitudo $M > 2$ e profondità $h < 40$ km. di sorgente Moment-rate.

LEGGI DI ATTENUAZIONE IN ITALIA NORD ORIENTALE

Durante il primo anno di attività, gli sforzi sono stati concentrati sulla modellazione delle leggi di attenuazione: in particolare, i dati accelerometrici (della RAF e ESD) sono stati processati per fornire una relazione tra PGA e magnitudo di durata. I risultati sono in accordo con quanto indicato da Bragato and Slejko (2005), evidenziando una maggiore attenuazione per piccole magnitudo ($M < 5.0$) e per grandi distanze ($d > 100$ km) se confrontate con le leggi proposte da Sabetta and Pugliese (1987; 1996) e Ambraseys et al. (1996). Le leggi di attenuazione sono state calcolate anche separatamente per diversi intervalli di magnitudo: in questo caso lo studio non evidenzia differenze rilevanti nell'usare intervalli con alti o bassi valori di magnitudo. È stato iniziato uno studio per stimare tutti i parametri del moto richiesti in funzione della magnitudo locale, parametro stabile ed appropriato per la generazione di mappe di scuotimento. Differenti cataloghi sono stati utilizzati (CSI_1.0, NEIC, EMSC, OGS) selezionando e confrontando gli eventi di interesse con diverse stime di magnitudo locale (Figura 24); quindi è stata fatta una regressione lineare per ottenere stime di magnitudo conformi a quelle del catalogo OGS (Bragato and Slejko, 2005); i nuovi valori saranno utilizzati come input nello studio delle leggi di attenuazione.

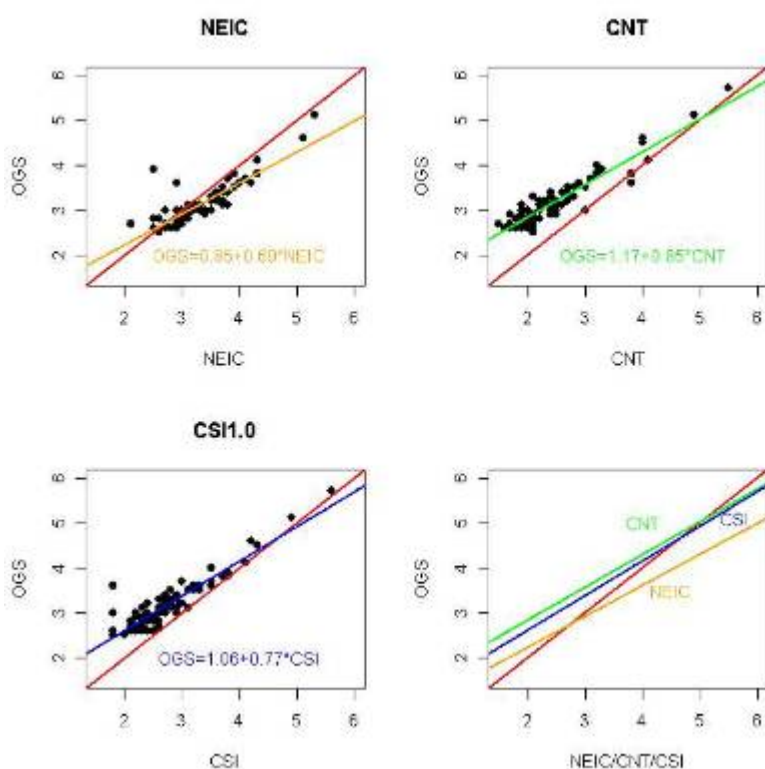


Figura 24. Confronto delle magnitudo locali di eventi contenuti nel catalogo OGS rispetto a quelle contenute nei cataloghi NEIC, CNT INGV.

Per rendere inoltre più agevole il trattamento dei dati è stato riorganizzato tutto il database della RAF, dal 1993 ad oggi, inserendolo nel sistema Antelope. Attualmente si stanno realizzando i seguenti punti:

- Modellazione delle leggi di attenuazione per diversi parametri (PGA, PGV, PSA03, PSA10 e PSA30) nell'area del Friuli-Venezia Giulia.
- Modellazione di una relazione che permetta di stimare l'intensità macrosismica (IMM) in funzione dei parametri ricavati con le leggi di attenuazione nella medesima area.

Task 5: Stima degli effetti di sito alle stazioni di registrazione ed utilizzo di GIS esistente (classificazione del territorio nazionale tipo Eurocode) (Responsabile: G. Milana)

Le attività di questo task sono indirizzate principalmente alla caratterizzazione della risposta sismica locale in corrispondenza dei siti accelerometrici/velocimetrici per "correggere" opportunamente lo scuotimento osservato, ma anche alla implementazione in ShakeMap di un data base "geologico" per generare mappe di scuotimento sismico a scala regionale comprensive di effetti di amplificazione locale. Gli obiettivi generali del Task 5 e le unità di ricerca coinvolte sono riportati nella seguente tabella:

Obiettivo	Descrizione Obiettivo	UR
1	Raccolta informazioni disponibili ai siti e caratterizzazione geologica (litotecnica)	1,2,3,4,5
2	Caratterizzazione geofisica dei siti di registrazione	1,2,3,4,5,7
3	Realizzazione di tabelle e classificazione dei siti di registrazione (EUROCODE)	1,2,3,4,5
4	Analisi rapporti H/V e Nakamura ai siti di registrazione	1,2,3,4,5
5	Modellazione numerica della risposta di sito ai siti di registrazione	1,2,3,4,5
6	Valutazione della risposta sismica assoluta dei siti di registrazione	1,2,3,4,5
7	Verifica e affinamento della classificazione tipo EUROCODE a scala nazionale e sua integrazione in <i>ShakeMap</i>	1,2,3,4

Visto il gran numero di siti di registrazione coinvolti nello studio e considerando che molti di tali siti sono ubicati su terreni rigidi, il dettaglio degli studi non sarà lo stesso per tutte le stazioni di registrazione della rete nazionale dell'INGV e dalle reti gestite dagli altri partners del progetto. In particolare le attività descritte ai punti 2,4,5,6 vanno realizzate solo per un sottoinsieme di siti di registrazione, individuato sulla base delle informazioni attualmente disponibili, mentre l'attività 7 sarà svolta soltanto in alcune regioni campione. Nel seguito, verranno brevemente riassunte per ciascun obiettivo le attività svolte nel primo anno.

OBIETTIVO 1)

Tutte le UR coinvolte nelle attività di scambio di dati sismometrici (UR 1-3-4-5) hanno iniziato la raccolta delle informazioni disponibili ed utili alla caratterizzazione geologica dei siti di propria competenza. Tale attività non può ritenersi conclusa ed impegnerà anche il secondo anno del progetto.

OBIETTIVO 2)

Le unità di ricerca 2 e 7 hanno intrapreso diverse attività in questo settore. Uno dei obiettivi primari degli studi condotti risiede nella valutazione con tecniche speditive degli effetti che la geologia di

superficie produce sullo scuotimento atteso e la verifica, su siti di particolare interesse, della validità dei risultati ottenuti mediante un confronto con tecniche di indagine più complete e sofisticate. In tale contesto, le attività del primo anno hanno principalmente riguardato l'acquisizione e la verifica di strumentazione di nuova generazione (sorgente SH sparker da foro) e la caratterizzazione geofisica di dettaglio di alcuni siti campione. Sono state pertanto pianificate apposite campagne di misura in cui sono da operarsi confronti tra tecniche di stima del profilo di Vs utilizzando array e sorgenti attive (MASW), accompagnate da misure in foro dei profili di velocità, con tecniche più speditive e meno invasive che utilizzano configurazioni geometriche simili ma sorgenti di microtremore (NASW). Sul sito Valmontone (Sito Campione) sono state già effettuate misure cross hole, misure di microtremore a singola stazione: in Figura 25 è riportato un esempio di registrazione di onde SH in foro e in Figura 26 il risultato di una tomografia sismica cross-hole.

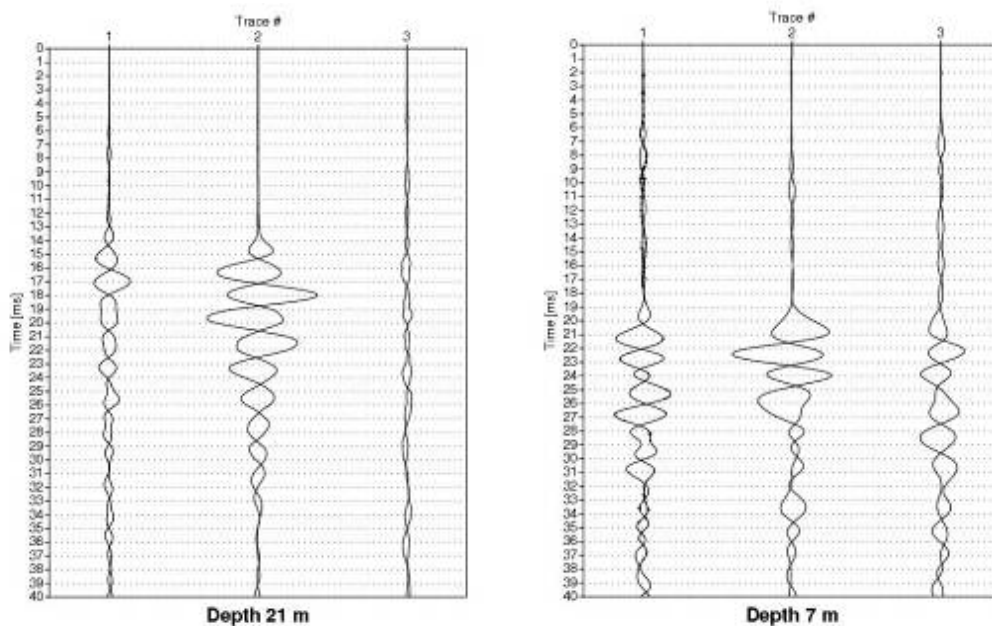


Figura 25. Esempi di sismogrammi acquisiti in località Valmontone (RM).

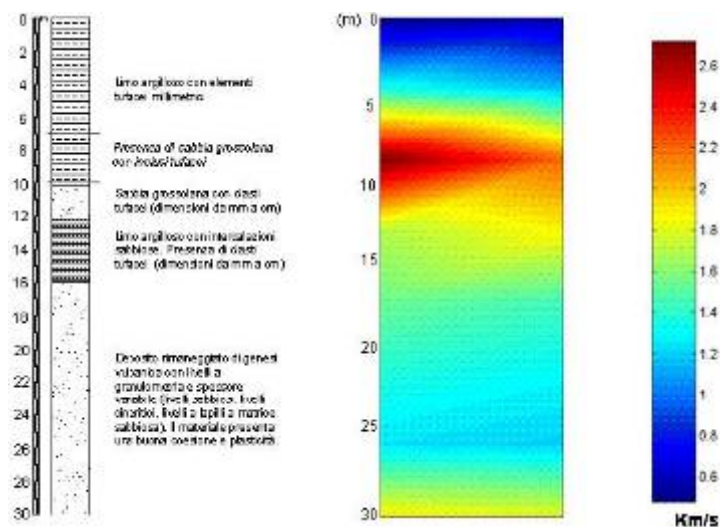


Figura 26. Tomografia sismica in località Valmontone (RM).

Inoltre sono stati individuati altri due siti, Barisciano (Aq) e Castelli (Te), sui quali effettuare indagini geofisiche e geotecniche di dettaglio. In particolare, a Barisciano sono stati effettuati una coppia di fori a profondità di 40 metri che sono stati attrezzati per misure cross hole che sono in corso di effettuazione. Su entrambi i siti sono state anche eseguite misure di microtremore. Tali dati contribuiranno alla valutazione della risposta sismica assoluta dei siti di registrazione della rete locale abruzzese. Tale rete, operativa negli anni 90 a cura del SSN è in fase di ripristino a cura dell'INGV. Per quanto riguarda le stazioni della rete regionale RSNI (UR-4), dopo una valutazione preliminare delle proprietà dei siti di registrazione basata principalmente su dati geologici e sismologici, sono state utilizzate tecniche geofisiche passive (NASW) per caratterizzare (definizione del profilo di V_s e classificazione EUROCODE) due stazioni sismiche centralizzate presso INGV.

OBIETTIVO 3)

Allo stato attuale, sulla base delle informazioni cartografiche di dettaglio (Carta geologica a scala 1:25000 derivata dai piani di bacino), degli studi sismologici e di alcune misure di sito, è stato possibile classificare alcuni siti della rete RSNI (UR-4). È stato inoltre realizzato e sperimentato un prototipo di relazione monografica di stazione contenente tutte le informazioni necessarie per documentare le caratteristiche dei siti di registrazione.

OBIETTIVO 4)

Tutte le UR coinvolte nelle attività di scambio di dati sismometrici (UR 1-3-4-5) hanno effettuato misure o recuperato dati esistenti sui quali valutare i rapporti H/V.

- UR-2 (OGS) è stata effettuata una campagna di misure di rumore sulle stazioni accelerometriche del terremoto del 1976 (6 siti). I rapporti spettrali H/V medi tra 1 e 8 Hz sono stati posti in relazione con i residui medi di stazione rispetto a leggi di attenuazione (logaritmo della PGA) calcolati da Bragato e Slejko (2005). Come mostrato in Figura 27, vi è un'elevata correlazione per 5 stazioni (coefficiente di correlazione 0.91): per esse il rapporto H/V rispecchia molto bene la reale amplificazione osservata. I valori di H/V medi sono stati inseriti nelle leggi di attenuazione regionale della PGA quali fattori di correzione di sito con modalità analoghe a quelle descritte da Bragato e Slejko (2005). Sempre nell'ambito del Task 5 sono stati acquisiti i profili V_p e V_s delle stazioni accelerometriche del 1976 disponibili presso il Servizio Sismico Nazionale.
- UR-4 (UniGe): in base agli ultimi 10 anni di registrazioni, sono stati stimati i rapporti H/V di tutte le stazioni sismiche che operano in Italia Nord Occidentale (circa 25 stazioni) utilizzando sia i dati relativi a terremoti locali (circa 5000 eventi) sia il noise sismico. In Figura 28 sono riportati i rapporti spettrali H/V per tre stazioni della RSNI. In base ai risultati di questa analisi ed utilizzando altre evidenze sismologiche (ad esempio correzioni di stazioni di magnitudo) e geologiche si è giunti ad una prima classificazione (rock o soil e relativo range di amplificazione) di tutte le stazioni prese in considerazione.

- UR-5 (UniTs): Per una prima stima delle amplificazioni relative ai siti delle stazioni della Rete Accelerometrica del Friuli (RAF) sono state confrontate le medie dei valori di PGA registrate con le leggi di attenuazione ottenute sempre nell'ambito di questo progetto (Figura 29).

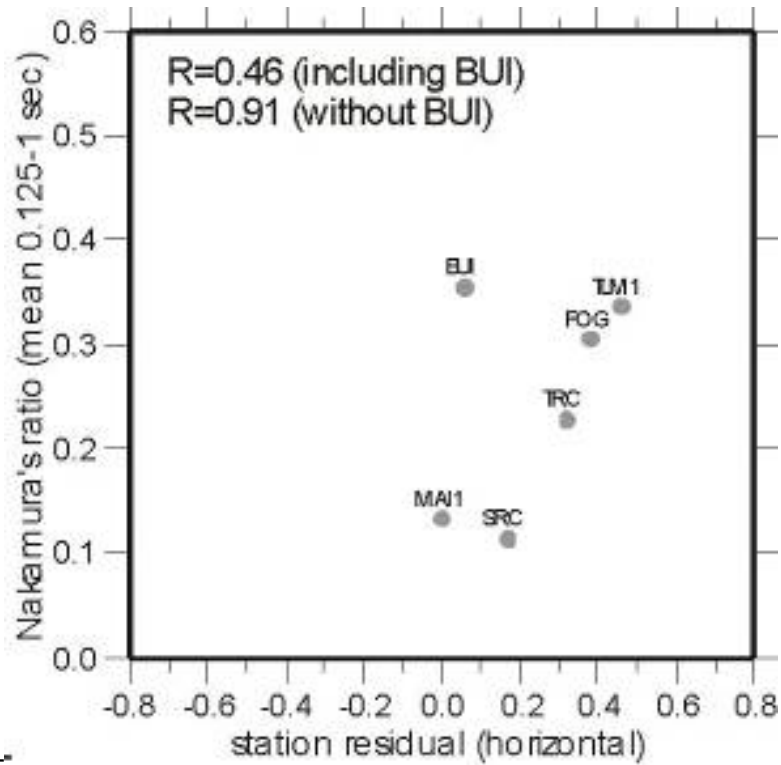


Figura 27. Confronto tra rapporto spettrale H/V medio tra 0.125 e 1 sec (1-8 Hz) e residuo di stazione rispetto alla relazione di attenuazione della PGA.

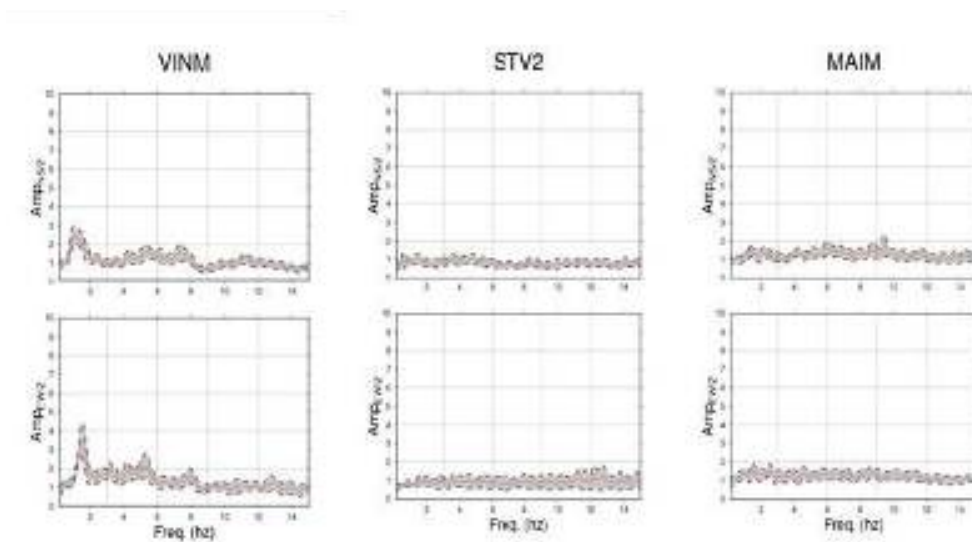


Figura 28. Rapporti spettrali H/V (noise) per tre stazioni della rete RSNi: A) Vinca, B) Sant'Anna di Valdieri, C) Mastiano.

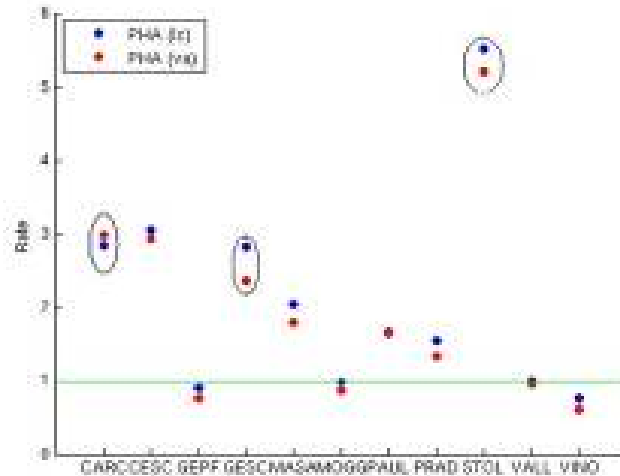


Figura 29. Rapporto tra le medie dei valori di PGA registrate presso le stazione della RAF ed i valori ottenuti dalle leggi di attenuazione

OBIETTIVO 5)

La modellazione dei siti con tecniche numeriche sarà sviluppata nel secondo anno del progetto.

OBIETTIVO 6)

Sono stati condotti (UR-2) studio di completa calibrazione della rete dell'Abruzzo (ex SSN). Tale studio ha prodotto le funzioni di trasferimento assolute dei siti. Sulla base delle informazioni contenute in questo studio, sono stati scelte le stazioni Barisciano e Castelli per le misure di dettaglio.

OBIETTIVO 7)

Nel primo anno di attività, la è stata inserita la classificazione georeferenziata tipo Eurocode del territorio nazionale prodotta nell'ambito del progetto GNDT 2001-2004 coordinato dal Dr. Amato nelle procedure per generare mappe di scuotimento comprensive di effetti di amplificazione locale. Tale classificazione deriva da una mappa geologica in cui sono state differenziate classi di suolo a partire dalla Carta Geologica d'Italia a scala 1:1,000,000 (Servizio Geologico Nazionale,1978). Le unità geologiche sono state accorpate in tre differenti classi di suolo in accordo con la normativa EuroCode8, basata sulle risposte di accelerazione al suolo. Alle tre classi differenziate in A, B e C, corrispondenti alla □classificazione rock, stiff, soft, sono stati attribuiti valori di velocità relativi rispettivamente a 1000, 600 e 350 m/s (Figura 30). Successivamente, è stato prodotto un file ASCII costituito da una matrice dei valori di velocità il cui passo è di 0.016667 gradi espresso in coordinate geografiche (risoluzione in coordinate metriche circa 1 km).

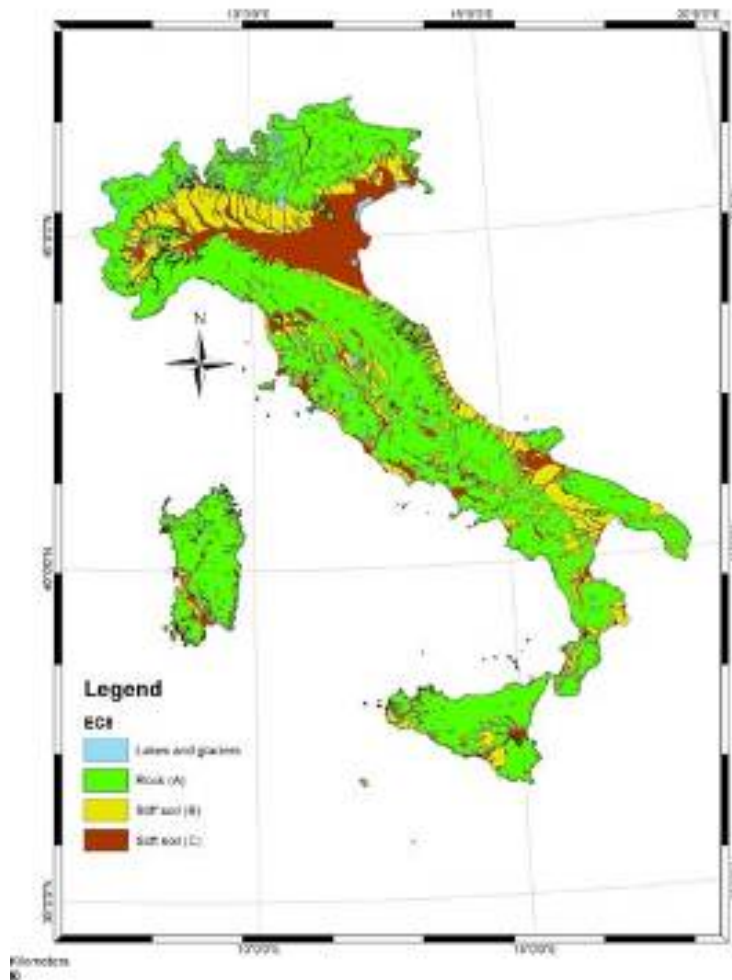


Figura 30. Classificazione del territorio Italiano (Eurocode) basata sulla Carta Geologica d'Italia a scala 1:1.000.000. Questo risultato è stato fornito dal recente progetto GNDT coordinato dal Dr. Amato.

Eventuali difficoltà maggiori, modifiche di indirizzo, ecc.

Cambiamenti

1. Un cambiamento di grande importanza è relativo al principale obiettivo di IISN: non è stata realizzata l'integrazione dei dati di RAN e di RAF entro il database in tempo reale. Come abbiamo detto i precedenza, la nostra impressione è che i dati della RAN non saranno disponibili nemmeno per la seconda parte del progetto, mentre abbiamo ragione di credere che i dati della RAF entreranno a far parte del database in tempi ragionevoli.
2. La persona che inizialmente era stata incaricata di seguire le attività di raffinamento dei modelli cristalli (Task 2, una sismologa con esperienza nella modellazione delle forme d'onda e della inversione del TM) ha rassegnato le sue dimissioni da responsabile di Task per motivi personali. È subentrato C. Chiarabba. Inoltre, una parte importante delle attività del Task 2 è passata sotto il controllo di A. Michellini (modellazione delle forme d'onda, raffinamento dei modelli di velocità, inversione del tensore momento).

3. Un altro marginale cambiamento riguarda le attività di OGS-CRS, relativamente alla progettazione e realizzazione di una stazione sismometrica a basso costo. Essendo stata realizzata industrialmente una stazione di queste caratteristiche, la parte del progetto relativa a queste attività è stata del tutto cancellata.
4. Piccoli cambiamenti sono stati fatti alla scansione temporale delle attività in cui era impegnata la UR 7 (Cardarelli), in quanto le complementari attività di pertinenza della UR 1 e della UR 2 erano previste per il primo anno, e non per il secondo. I cambiamenti sono stati apportati alle attività del Task 5, UR-1. Le attività di prospezione e di indagine geofisica passiva non cambieranno rispetto al progetto iniziale.
5. A. Akinci, responsabile della UR 2 (INGV-Roma1), è entrata in aspettativa per maternità. Al suo posto subentra L. Scognamiglio, che assume anche le funzioni di responsabile del Task 4.

Novità

Nella stesura originale, era stato appena accennato che la UR1 si sarebbe occupata di attività di Early Warning. È stata invece avviata una importante attività di ricerca in questo settore, in collaborazione con la UC Berkeley. Al momento, il finanziamento a carico del progetto riguarda soltanto missioni di personale INGV e visite di personale UC Berkeley.

Valutazioni di rischio

Nel paragrafo sulle valutazioni di rischio delle varie parti del progetto, si affermava che il maggiore fattore di rischio era rappresentato dalla mancata erogazione del flusso dei dati accelerometrici, dalla RAN verso il centro di calcolo di IISN. Alla fine del primo anno, il rischio che tale flusso non venga mai erogato è estremamente elevato. Al momento attuale, un rischio elevato è rappresentato anche dalla mancata erogazione del flusso dati accelerometrici dalla RAF all'IISN. Colloqui informali tra il Direttore di CNT e il responsabile della Protezione Civile Regionale friulana, fanno sperare che in breve tempo sarà possibile attivare un canale di trasmissione tra il centro dati ProCiv di Palmanova ed il centro dati IISN (INGV). Entro S4 sembra che non sussistano altre situazioni di rischio elevato.

Stato di avanzamento dei deliverables, per singoli deliverable

Task 1

1. Progetto e realizzazione di uno Storage Area Network (SAN) presso il CNT: in funzione.
2. Progetto delle procedure di archiviazione: realizzata.
3. Schema logico e fisico del DB: realizzato.
4. Procedure di immissione nel DB di informazioni relative agli strumenti e alle forme d'onda: parzialmente realizzate.
5. Studio di fattibilità dei sistemi di scambio dati accelerometrici con la RAN-SSN: realizzato.
6. Studio dei protocolli di scambio di forme d'onda con le reti nazionali, regionali, locali ed estere: realizzato ed attivato in alcuni casi

7. Ricerca di mercato per l'individuazione della migliore strumentazione sulla base del rapporto qualità/prezzo per la realizzazione di una micro-rete accelerometrica prototipale a basso costo: realizzato.
8. Realizzazione delle procedure di immissione nel DB di informazioni parametriche in tempo reale (fasi, localizzazioni, magnitudo): in fase di test.
9. Implementazione del protocollo standard NETDC (formato SEED 2.4), per la gestione automatica delle richieste off-line di forme d'onda e di parametri di stazione: in funzione solo per le stazioni MedNet.
10. Implementazione dei protocolli di scambio dati con RAN-SSN e altre reti: progettato ed attivato in alcuni casi.
11. Progettazione di una stazione accelerometrica prototipale a basso costo: in fase di sviluppo.

Task 2

1. Modelli 1D: parzialmente realizzato (50 %).
2. Modello 3D: parzialmente realizzato (50 %).
3. Generazione delle funzioni di Green: parzialmente realizzato (20%).

Task 3

1. Implementazione di NLLoc: realizzato.
2. Installazione codici per calcolo automatico momento tensore: parzialmente realizzato in tutte le sedi coinvolte (60 %).
3. Implementazione di ShakeMap; realizzato, in tutti gli Enti coinvolti.
4. Portale www.iisn.org: parzialmente realizzato (10%).
5. Studio preliminare per l'uso di dati tele-rilevati per la stima dei danni in area urbana: realizzato.
6. Procedure tipo: "Did you feel it?": funzionanti sul sito di INGV.
7. Implementazione procedure tipo "Early Warning": funzionanti su dati storici e, automaticamente, su dati in tempo differito.

Task 4

1. Relazioni di attenuazione Appennino Centrale: parzialmente realizzate (80%).
2. Creazione data set Appennino Meridionale-Arco Calabro: realizzato.
3. Implementazione delle relazioni di attenuazione regionale entro ShakeMap: parzialmente realizzato (80%).
4. Relazione di attenuazione per PGA in relazione al valore della magnitudo di durata, dati della RAF (Friuli-Venezia Giulia): realizzata.
5. Stima dei parametri del moto richiesti in funzione della magnitudo locale, dati della RAF (NE Italia): iniziata.
6. Modellazione di una relazione che permetta di stimare l'intensità macrosismica (I_{MM}) in funzione dei parametri ricavati con le leggi di attenuazione Friuli-Venezia Giulia: in fase di realizzazione.

7. Modellazione delle leggi di attenuazione per diversi parametri (PGV, PSA03, PSA10 e PSA30) nell'area del Friuli-Venezia Giulia: in fase di realizzazione.
8. Procedure per il calcolo di M_w sulla base delle informazioni sull'attenuazione regionale: parzialmente realizzate (60%).

Task 5

1. Caratterizzazione delle stazioni: parzialmente realizzata (10 %).
2. Realizzazione di schede di stazione per la RSND: non realizzato.
3. Inserimento effetti geologia di superficie nelle mappe di scuotimento (risultati dal progetto GNDT Amato): realizzato.
4. Stima delle amplificazioni locali alle stazioni della RAF: parzialmente realizzata.
5. Stima degli effetti di sito assoluti di alcune stazioni dell'Appennino Centrale: realizzato.
6. Realizzazione misure geofisiche in pozzo a stazioni di particolare interesse: realizzati 2 pozzi e fatte le campagne di acquisizione in 3 pozzi.

Fattibilità delle attività previste per il secondo anno: previsioni, esigenze, ecc.

Task 1

A parte quanto detto circa il flusso di dati dalle reti della Protezione Civile verso il database IISN, al momento non sussistono motivi per prevedere che quanto previsto non sarà realizzato.

Task 2

Questo Task è stato giudicato di secondaria importanza dal comitato dei revisori, che hanno suggerito di farne una estensione di S4, oltre la durata del resto del progetto. Nonostante questo giudizio, i gruppi di ricerca impegnati in questo Task continueranno le loro attività come pianificato. Riteniamo che un progetto futuro per lo studio della struttura crostale nella regione italiana dovrà essere stilato a partire dai risultati che riusciremo ad ottenere con S4, tenendo bene presenti le esigenze di quanti si occupano di inversione di forme d'onda sismologiche. Uno degli aspetti di maggiore interesse, a parte quello della conoscenza di un modello 1-D regionale, è quello dell'estensione areale delle informazioni legate a modelli 1D (V_s) a singola stazione.

Verrà esteso il calcolo dei modelli 1D (V_s) al maggior numero possibile di stazioni sismiche permanenti a larga banda (o a banda estesa) per avere una miglior copertura areale della regione, intensificando le misure nelle aree dove le informazioni provenienti dalla sismica attiva o dai modelli tomografici sono scarse o meno attendibili (Appennino Meridionale e Sicilia).

Le profondità della Moho ricavate dai modelli 1D (V_s) verranno utilizzate al pari delle informazioni provenienti dalla sismica attiva e dalla tomografia come ulteriori punti per il calcolo della Moho 3D ottenuta in precedenza. Verranno effettuati confronti fra dati e modelli.

Task 3

Molto di quanto è stato proposto nel progetto del Task 3 potrà essere realizzato entro la finestra vitale di S4. Alcune importanti nuove esigenze emergono alla fine del primo anno:

- per quanto riguarda la partecipazione al progetto del gruppo che si occupa della inversione del momento tensore con i codici RCMT (A. Morelli e S. Pondrelli), questa era prevista per il secondo anno di attività. Per il secondo anno, dunque, si dovrà prevedere una cifra accessoria, da aggiungere al finanziamento della UR1 (INGV-CNT), di circa diecimila euro. Si ricorda che la partecipazione di tale gruppo era stata richiesta anche dal Comitato di Revisione.
- Il Comitato di Coordinamento aveva anche suggerito la definizione di procedure tipo: "Did you feel it?", da aggiungere alle attività del Task 3. Durante il primo anno di vita del progetto S4, queste attività sono state incluse a costo zero. Per il prosieguo del progetto, invece, si ritiene necessario integrare il gruppo di lavoro (V. De Rubeis e P. Tosi) con una borsa di studio, e con un finanziamento accessorio di circa quindicimila euro.

Task 4

Si riuscirà certamente a produrre un modello attenuativo definitivo per la regione dell'Appennino Centrale, ed uno per l'Arco Calabro. Per quanto riguarda la regione della Sicilia Settentrionale, si procederà ad una indagine per stabilire la fattibilità di uno studio completo.

Task 5

Per quanto riguarda la caratterizzazione di tutti i siti, in particolare per quelli della RSND che sono molto numerosi, sarebbe necessario prevedere l'ingresso nel progetto di una persona coinvolta a tempo pieno su tali attività. Ad inizio progetto era stata ipotizzata la figura di un borsista, pagato su fondi diversi. Si ritiene che si debba provvedere al più presto all'individuazione di tale figura per avviare le attività in tempi brevi.

Riferimenti bibliografici

- Ambraseys N.N., K.A. Simpson and J.J. Bommer [1996]. Prediction of horizontal response spectra in Europe. *Earthquake Eng. Struct. Dyn.* 25, 371-400.
- Ambraseys N.N. and K.A. Simpson [1996]. Prediction of vertical response spectra in Europe. *Earthquake Eng. Struct. Dyn.* 25, 401-412.
- Andrews D.J. [1986]. Objective determination of source parameters and similarity of earthquakes of different size, in *Earthquake Source Mechanics*, S. Das, J. Boatwright, and C.H. Scholz, Editors, A.G.U. Monograph 37, 259-267.
- Barnaba C., Priolo E. and Vuan A. [2006]. Site effect and strong motion re-evaluation at the Tolmezzo Ambiesta dam accelerometric site (Northeastern Italy), submitted to BSSA.
- Bindi, D.; Spallarossa, D.; Eva, C.; Cattaneo, M. (2005) Local and Duration Magnitudes in Northwestern Italy, and Seismic Moment Versus Magnitude Relationships. *BSSA* 95, 2 p. 592 ? 604.
- Bodin P., L. Malagnini, and A. Akinci [2004]. Ground-motion scaling in the Kachchh Basin, India, deduced from aftershocks of the 2001 Mw 7.6 Bhuj earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.* 94, no.5, 1658-1669.

- Bragato P.L. and Slejko D. [2005]. Empirical ground motion attenuation relations for the eastern Alps in the magnitude range 2.5-6.3, *BSSA*, Vol. 95, No.1, pp.252-276.
- Bressan, G. [2005]. Modelli di velocità 1D dell'Italia nord-orientale, Rapporto OGS Rel. CRS/5/20/2005, OGS, Trieste, Italy.
- Dreger, D., and A. Kaverina [2000]. Seismic remote sensing for the earthquake source process and near-source strong shaking: A case study of the October 16, 1999 Hector Mine earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 27, 1941-1944.
- Dreger, Douglas S.; Gee, Lind; Lombard, Peter; Murray, Mark H.; Romanowicz, Barbara [2005]. Rapid Finite-source Analysis and Near-fault Strong Ground Motions: Application to the 2003 Mw 6.5 San Simeon and 2004 Mw 6.0 Parkfield Earthquakes, *SRL*, 76, 40-48.
- Frisenda M., Massa M., Spallarossa D., Ferretti G. and Eva C. (2005) "An attenuation relationship for peak horizontal accelerations and velocities in Northwestern Italy" *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 9, No. 1 23 -40
- Lomax A., [2005]. A Reanalysis of the hypocentral location and related observations for the great 1906 California Earthquake - *Bull. Seism. Soc. Am.*, 95, 861-877.
- Lomax A., Virieux J., Volant P. e Berge C., [2000]. Probabilistic earthquake location in 3D and layered models: Introduction of a Metropolis-Gibbs method and comparison with linear locations - in Thurber C.H. e Rabinowitz N. (eds.): *Advances in seismic event location* - Kluwer, Amsterdam, 101-134.
- Lomax A., Zollo A., Capuano P. e Virieux J., [2001]. Precise, absolute earthquake location under Somma-Vesuvius volcano using a new 3D velocity model - *Geophys. J. Int.*, 146, 313-331.
- Malagnini, L., K. Mayeda, R. Uhrhammer, A. Akinci, and R. B. Herrmann (2006). Calibration of the Ground Motions in the San Francisco Bay Area: Excitation, Regional Propagation and Absolute Site Responses, *Bull. Seism. Soc. Am.*, submitted.
- Malagnini, L., P. Bodin, K. Mayeda, and A. Akinci (2005). Unbiased moment-rate spectra and absolute site effects in the Kachchh basin, India, from the analysis of the aftershocks of the 2001 Mw 7.6 Bhuj earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.*, submitted.
- Mayeda K., Hofstetter A., Boyle J., Walter W. R. (2003): Stable and Transportable Regional Magnitudes Based on Coda-Derived Moment-Rate Spectra. *Bull. Seism. Soc. Am.* 93, n1, 224-239.
- Morasca, P., Mayeda K., Malagnini, L. and W. R. Walter (2005). Coda Derived Source Spectra, Moment Magnitudes, and Energy-Moment Scaling in the Western Alps. *Geophysical Journal International* 160 (1), 263-275.
- Morasca, P., Mayeda, K., Gök, R., Malagnini, L., Eva C. (2005). A break in self-similarity in the Lunigiana-Garfagnana region (Northern Apennines). *Geophysical Research Letters* Vol. 32, No. 22, L2230110.1029/2005GL024443
- Malagnini, L., K. Mayeda, A. Akinci, and P. L. Bragato (2004). Estimating absolute site effects, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 94, 1343-1352.
- Mayeda, K., L. Malagnini, W. S. Phillips, W. R. Walter, and D. Dreger (2005), 2-D or not 2-D, that is the question: A northern California test, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L12301, doi:10.1029/2005GL022882.
- Mayeda, K. and W. R. Walter (1996). Moment, energy, stress drop, and Source spectra of western United States earthquakes from regional coda envelopes, *J. Geophys. Res.*, 101, 11195-11208.
- Mayeda, K., A. Hofstetter, J. Boyle and W. R. Walter (2003). Stable and Transportable Regional Magnitudes Based on Coda-Derived Moment-Rate Spectra, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 93, 224-239.
- Mercuri A., L. Malagnini, L. Scognamiglio, A. Akinci, G. De Luca [2006]. Calibration of the Ground Motion in Central Italy, *Seism. Res. Lett.*, V. 77, 317

- Michellini A., A. Lomax [2004]. The effect of velocity structure errors on double difference earthquake location, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L09602, doi:10.1029/2004GL019682.
- Shapiro, N., Campillo, M., Stehly, L., Ritzwoller, M. [2005]. High-Resolution Surface-Wave Tomography from Ambient Seismic Noise, *Science*, 307, 1615-1618.
- Tsuboi, S., K. Abe, K. Takano, and Y. Yamanaka, [1995]. Rapid determination of Mw from broadband P waveforms, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 85, 606-613.
- Waldhauser, F., and W. L. Ellsworth [2000]. A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the northern Hayward fault, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 90, 1353 – 1368.
- Sabetta F. and A. Pugliese [1987]. Attenuation of peak horizontal acceleration and velocity from Italian strong motion records. *Bull. Seism. Soc. Am.* 77, 1491-1513.
- Sabetta F. and A. Pugliese [1996]. Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground motions. *Bull. Seism. Soc. Am.* 86-2, 337-352.
- Spallarossa D., Bindi D., Augliera P., Cattaneo M. "An ML Scale in Northwestern Italy" *BSSA* 92 (6)p. 2205 - 2216
- Wald D.J., Quitoriano V., Heaton T.H., Kanamori H., Scrivner C.W. and C.B. Worden [1999]. TriNet "ShakeMaps": rapid generation and intensity maps for earthquakes in Southern California. *Earthquake spectra* 15-3, 537-555.

PROGETTO S5: DEFINIZIONE DELL'INPUT SISMICO SULLA BASE DEGLI SPOSTAMENTI ATTESI

Responsabili: E. Faccioli (Politecnico di Milano), A. Rovelli (INGV - Sezione di Roma 1)

Obiettivi e struttura del progetto

Scopo del progetto è la definizione di un modello dell'azione sismica come spettro di risposta elastico di spostamento (SRS) adatto per la normativa sismica, e la creazione di mappe di pericolosità in termini di spostamento spettrale. I sottoprogetti (Tasks), con i rispettivi obiettivi del 1° anno, sono:

1. Perfezionamento ed integrazioni del modello iniziale di riferimento per lo SRS (FPR04, Faccioli et al. 2004). 1° anno: Conferma/modifica del modello: eventuale formulazione di ipotesi di modello aggiornato .
2. (a) Valutazione dell'influenza di diverse forme di dissipazione sullo SRS 1° anno: Quantificazione fattori riduzione dello SRS, in funzione di duttilità e periodo di vibrazione.
(b) Definizione di spettri di verifica per costruzioni monumentali. 1° anno: Modello dinamico non lineare per la risposta sismica di macroelementi rappresentativi di porzioni di edificio monumentale, e calibrazione di metodi normativi semplificati.
3. Introduzione di effetti near-field (e del meccanismo di faglia) nel modello di riferimento 1° anno: Formulazione quantitativa (di limite superiore), applicabile a relazioni di attenuazione, di modifiche a SRS di riferimento per meccanismo di faglia.
4. Attenuazione dello spostamento su basi osservazionali 1° anno: (a) Prima uscita delle relazioni di attenuazione finali per spostamento di picco del suolo; (b) Per Trentino: quadro attività rete accelerometrica, e ipotesi su modelli di attenuazione weak motion; (c) Correlazioni (intensità-spostamento) a base semiempirica.
5. Attenuazione dello spostamento – modellazioni numeriche di effetti amplificativi di SRS in bacini sedimentari 1° anno: (a) Modelli attenuazione numerica grandi strutture geologiche (pianura Padana); (b) Formulazione di eventuali modifiche ad attenuazione d_{max} (e a forma di SRS) per effetti di bordo in valli e bacini sedimentari – prima uscita.
6. Mappe di pericolosità. 1° anno: Analisi parametriche preliminari su carte di pericolosità in spostamento spettrale, e integrazioni prime uscite da altri tasks per valutare i loro effetti, in particolare per campo vicino e importanti bacini sedimentari.

Avanzamento generale del progetto: risultati principali

Considerazioni d'insieme

I risultati della 1° fase confermano la bontà dell'impostazione iniziale del progetto e la fattibilità degli obiettivi, in particolare, per gli aspetti di sismologia applicata all'ingegneria:

- possibilità di definire la pericolosità mediante una rappresentazione semplificata dello SRS, ancorata ad un solo parametro di lungo periodo (invece dell'approccio puramente empirico di SRS a pericolosità costante, che richiede in teoria una mappa per ogni ordinata spettrale considerata);
- modello iniziale di riferimento (FPR04): (a) sostanziale allargamento della base dati mondiale e conseguente robusto appoggio alla rappresentazione semplificata di cui sopra, (b) introduzione della componente verticale, prima mancante;
- messa a fuoco realistica dell'incidenza degli effetti di meccanismo di sorgente e di campo vicino (near field), sfruttando la qualità e rappresentatività statistica della base dati mondiale;
- possibilità di parametrizzare ai fini dello SRS gli effetti di amplificazione su valli e bacini sedimentari legati alla generazione di onde di superficie;
- saggi già significativi di rappresentazione di carta di pericolosità per 2 diverse regioni italiane.

Per gli aspetti maggiormente legati al modello ingegneristico di azione sismica in spostamento, si è:

- approfondito l'approccio basato sugli spettri sovrasmorzati, allo scopo di definire una relazione tra smorzamento viscoso equivalente e periodo, duttilità e tipologia strutturale;
- sperimentato in forma già avanzata un approccio di tipo "normativo" semplificato di verifica delle costruzioni monumentali.

Avanzamento generale del progetto: risultati principali

Considerazioni d'insieme

I risultati della 1° fase confermano la bontà dell'impostazione iniziale del progetto e la fattibilità degli obiettivi, in particolare, per gli aspetti di sismologia applicata all'ingegneria:

- possibilità di definire la pericolosità mediante una rappresentazione semplificata dello SRS, ancorata ad un solo parametro di lungo periodo (invece dell'approccio puramente empirico di SRS a pericolosità costante, che richiede in teoria una mappa per ogni ordinata spettrale considerata);
- modello iniziale di riferimento (FPR04): (a) sostanziale allargamento della base dati mondiale e conseguente robusto appoggio alla rappresentazione semplificata di cui sopra, (b) introduzione della componente verticale, prima mancante;
- messa a fuoco realistica dell'incidenza degli effetti di meccanismo di sorgente e di campo vicino (near field), sfruttando la qualità e rappresentatività statistica della base dati mondiale;
- possibilità di parametrizzare ai fini dello SRS gli effetti di amplificazione su valli e bacini sedimentari legati alla generazione di onde di superficie;
- saggi già significativi di rappresentazione di carta di pericolosità per 2 diverse regioni italiane.

Per gli aspetti maggiormente legati al modello ingegneristico di azione sismica in spostamento, si è:

- approfondito l'approccio basato sugli spettri sovrasmorzati, allo scopo di definire una relazione tra smorzamento viscoso equivalente e periodo, duttilità e tipologia strutturale;
- sperimentato in forma già avanzata un approccio di tipo "normativo" semplificato di verifica delle costruzioni monumentali.

Risultati principali

CONFERMA/PERFEZIONAMENTO DEL MODELLO DI RIFERIMENTO DELLO SRS (TASK 1), RELAZIONE DI ATTENUAZIONE (TASK 4) E APPLICAZIONE ALLE MAPPE DI PERICOLOSITÀ (TASK 6)

Si sono completati l'assemblaggio della base dati mondiale di registrazioni strong motion digitali, includendo anche la componente verticale e la correzione di linea base di tutti i dati, e si sono eseguite le elaborazioni sugli spettri di risposta. Rispetto al punto di partenza (FPR04), si sono aggiunte le registrazioni di terremoti significativi recenti ($M_w \geq 5.0$), dal 1996 fino al 2005, riconducendo tutte le magnitudo a M_w . Le registrazioni si riferiscono a differenti categorie di suolo, per distanze ipocentrali $0 < R_i \leq 150$ km e $5.0 \leq M_w \leq 7.2$; questi intervalli sono stati definiti in base ad analisi preliminari di pericolosità per disaggregazione su alcune regioni italiane. Onde avere classi di magnitudo e distanza omogenee per l'elaborazione delle forme spettrali mediane sono state selezionate 1399 registrazioni (Tab. 2), contro le 253 di FPR04; le stesse registrazioni, con l'aggiunta di ulteriori 186, si sono usate per ricavare la relazione di attenuazione di $D_{10} = \text{SRS}(10s)$, parametro di ancoraggio dello SRS a lungo periodo, assunto uguale allo spostamento di picco del suolo, d_{\max} , nel predetto intervallo di magnitudo. D_{10} è definito come media geometrica degli SRS a 10s delle due componenti orizzontali, ovvero

$$D_{10} = [\text{SRS}_x(10s) \times \text{SRS}_y(10s)]^{1/2}. \quad (1)$$

Per calcolare gli SRS fino a 10 s e oltre è stata messa a punto una procedura di correzione della linea base degli accelerogrammi (codificata nel programma Matlab basco.m), basata sul raddrizzamento a tratti della linea base della velocità, ottenuta integrando l'accelerogramma non corretto. Dai valori di D_{10} della base dati mondiale si sono ottenute, mediante regressione lineare a due stadi (v. Joyner e Boore 1981), le seguenti relazioni di attenuazione

- tenendo conto delle condizioni di sito:

$$\log D_{10} = - 4.31 + 1.04 M_w - 1.04 \log_{10} R_i + 0.10 S_1 + 0.23 S_2 \quad \sigma_{\log D_{10}} = 0.27 \quad (2)$$

- senza distinzioni di sito:

$$\log D_{10} = - 4.12 + 1.02 M_w - 1.06 \log_{10} R_i \quad \sigma_{\log D_{10}} = 0.28 \quad (3)$$

Le (2) e (3) risultano in sorprendente accordo con la relazione “teorica” per lo spostamento max del suolo derivata in FRP04 dal modello di Brune (per caduta di sforzo “media” $\Delta\sigma = 3$ MPa); esse confermano che D_{10} , almeno fino a M_w 7.0 circa, si attenua con la distanza focale R_i con legge molto prossima a quella delle onde di volume. Per quanto riguarda i terremoti italiani, sono state analizzate 254 registrazioni digitali di componenti orizzontali relative a 17 terremoti con $4.0 < M_w < 6.0$, costituite per il 90% da accelerogrammi della RAN (Servizio Sismico) ed il 10% da velocigrammi (registrati da sismometri a banda larga Trillium 40 s) della rete nazionale dell’INGV. Considerando le basse magnitudo analizzate, il problema dell’effetto del processamento diventa più critico rispetto ai dati della base mondiale poiché il rapporto segnale/rumore tende a diminuire. Per quantificare la variabilità introdotta dal processamento si sono applicati quattro diversi metodi di correzione della linea base e successiva integrazione (doppia o semplice), includendo quella sopra citata (programma basco.m) che hanno messo in evidenza come la variabilità dei valori di D_{10} calcolati con le diverse metodologie sia dell’ordine del 15% a fronte di una dispersione intrinseca del D_{10} pari al 45% circa (derivante soprattutto dalla differenza dei valori nelle due componenti orizzontali di una stessa registrazione). E’ da sottolineare che per i dati mondiali, caratterizzati da rapporto S/N a lungo periodo nettamente superiore a quello dei dati italiani, la variabilità dovuta al procedimento di correzione è sicuramente inferiore al 15%. Infine, nonostante i tentativi compiuti, non è stato possibile acquisire registrazioni simultanee di accelerometri strong motion e velocimetri broadband in una stessa postazione per scosse significative, che permetterebbero di valutare per confronto gli errori introdotti dal metodo di correzione. La dipendenza da distanza focale e M_w dei valori di D_{10} dalle registrazioni digitali italiane, per quanto queste siano in numero limitato, risulta ben rappresentata dalla (3); quest’ultima, assieme alla (2) è stata pertanto scelta strumento base per i calcoli di pericolosità sul territorio nazionale nel seguito del progetto. Sono state anche analizzate 70 registrazioni di terremoti dell’Etna con $3.0 < M_w < 4.8$, le cui forme d’onda mostrano leggi di scala nettamente differenti dai terremoti tettonici prima considerati. Per questi eventi emerge una componente di bassa frequenza che, per magnitudo > 4 , può portare incrementi significativi nei valori di spostamento rispetto alla relazione di attenuazione (3) applicabile per il resto dell’Italia. I dati analizzati, nonostante la limitata disponibilità di registrazioni per la zona in questione, evidenziano la necessità di una correzione del tipo:

$$\log D_{10} = -4.12 + 1.02 (M_w + m) - 1.06 \log R_i \quad (4)$$

dove, dalla regressione dei dati etnei, m risulta pari a 0.7. Nella seconda fase si cercherà di migliorare ulteriormente l’aggiustamento introducendo, se possibile, una correzione anche nel termine dipendente dalla distanza. Le forme spettrali osservate della base dati mondiale, con relativa fascia di dispersione, hanno condotto a formulare un modello di SRS aggiornato e semplificato (rispetto a FPR04): esso ha forma bilineare, linearmente crescente a corto periodo e a valore costante pari a D_{10} a lungo periodo. Il periodo all’intersezione dei due tratti, T_D , è lo stesso introdotto nell’Eurocodice 8 – Parte 1 (CEN 2004), ma, anziché essere costante e pari a 2s per

moto orizzontale, esso è lasciato libero di variare in funzione di M_w e R_i . La scelta cruciale dell'ordinata SRS a 10s come valore di ancoraggio dello spettro è supportata dalle forme spettrali osservate, che mostrano valori di $T_D < 10$ s per $M_w \leq 7$. Per $T \leq T_D$, lo SRS è ottenuto, salvo successive verifiche più approfondite, applicando la relazione pseudospettrale $SRS = S_A / \omega^2$ allo spettro di accelerazione S_A dell'Eurocodice 8 (CEN 2004) nell'intervallo $T_C \leq T \leq T_D$ ed è governato dal valore dell'accelerazione di riferimento a_g . Per le mappe di pericolosità, un primo risultato si è ottenuto individuando, mediante analisi probabilistiche¹⁹ per disaggregazione in molti siti rappresentativi, gli intervalli di M_w e R_i di definizione della relazione di attenuazione (3) per l'applicazione al territorio italiano. Un secondo importante risultato si è raggiunto rappresentando la pericolosità con il modello di SRS bilineare testé introdotto, onde verificare in via preliminare l'applicabilità del modello stesso, in due passi: 1) per un dato sito e un periodo di ritorno prescelto, mediante analisi probabilistica preliminare disaggregata su D_{10} , si è individuata la coppia M, R_i che domina la pericolosità in spostamento; 2) si è poi condotta un'analisi probabilistica²⁰ in accelerazione di picco usando Ambraseys et al. (1996), modificata per distanze epicentrali come in Montaldo et al. (2005)] e una in spostamento con la relazione di attenuazione (3), onde individuare rispettivamente i valori di a_g e D_{10} . Con i risultati del passo 2) si è costruito per ogni sito lo SRS bilineare e lo si è successivamente confrontato con la forma spettrale media osservata (Task 1) per le classi di magnitudo e distanza contenenti la coppia dominante ottenuta nel passo 1) per il sito in esame. Questo primo studio di applicabilità del modello SRS aggiornato è stato condotto per due regioni sismicamente assai diverse: Arco Calabro e Alpi Occidentali. Esso ha fornito risultati assai confortanti, mostrando che gli spettri SRS bilineari forniti dall'analisi probabilistica testé descritta sono quasi sempre compresi nella fascia di dispersione degli spettri mediani osservati a scala mondiale.

EFFETTI DI CAMPO VICINO (E DEL MECCANISMO DI FAGLIA) NEL MODELLO DI RIFERIMENTO (TASK 3)

L'approccio a questo aspetto si è venuto precisando nella 1° fase attraverso le considerazioni seguenti:

1. Essendo il modello SRS di riferimento deterministico, anche le modifiche necessarie per introdurvi gli effetti di direttività e del meccanismo di faglia devono essere di tipo deterministico: si è optato di quantificarle sulla scorta di simulazioni numeriche, dando loro forma analitica;
2. Anche disponendo di una buona conoscenza della geometria delle singole faglie sismogenetiche e delle loro modalità di rilascio di energia in caso di terremoto (conoscenza quasi sempre mancante in Italia), appare arduo dal punto vista analitico e oltremodo oneroso dal punto di vista computazionale introdurre nel calcolo probabilistico gli effetti in esame; i pochissimi esempi con presa in conto esplicita della direttività riguardano calcoli di pericolosità per un solo sito in presenza di una sola faglia sismogenetica;
3. Se i dati di calibrazione della relazione di attenuazione comprendono sottoinsiemi rappresentativi di registrazioni nel campo vicino della sorgente, ben distribuite attorno alla

¹⁹ Con processo poissoniano degli eventi e dati delle ZS come da Gruppo di Lavoro (2004).

²⁰ Con il programma di calcolo CRISIS2003 (Ordaz et al. 1991).

stessa, non appare necessario introdurre nel calcolo probabilistico modificazioni specifiche per tener conto degli effetti in esame, perché essi sono già statisticamente introdotti attraverso la relazione di attenuazione e la sua dispersione (come segnalato dai revisori internazionali nella riunione di Roma del 2005, in particolare dal Prof. M. Ordaz);

4. Gli aggravii apportati da alcune normative recenti (ad es. negli USA) allo spettro di risposta di progetto a periodi medio-lunghi in siti in campo vicino (ad es. componente normale alla faglia predominante su quella parallela) sono tarati per lo più su dati da eventi con $M_w > 6.5$; essi non riguardano peraltro periodi di vibrazione $> 5s$. Inoltre, registrazioni vicine alla rottura di faglia in importanti terremoti recenti (Turchia 1999) non evidenziano significativamente gli effetti in questione.

Si è pertanto proceduto a: a) quantificare per via numerica e analitica le modificazioni da apportare al modello di riferimento, in un'ottica di valutazioni di scenario su singole faglie di caratteristiche note, e b) verificare la rappresentatività dei dati di calibrazione sotto il profilo del punto 3. Per le simulazioni numeriche si è usato un metodo di calcolo in campo completo e sorgente estesa (Spudich e Xu 2003), e un modello con 121 ricevitori (11×11) equidistanti e spazati di 10 km sulla superficie di un semi-spazio omogeneo, e faglia giacente in uno dei piani di simmetria. In questa prima fase, la magnitudo è stata mantenuta costante e uguale a 6.5 con una caduta di sforzo di 3MPa (lunghezza di faglia 30km e larghezza 14km). La velocità di rilascio di dislocazione è tenuta costante lungo la faglia, con arresto graduale ai bordi per evitare eventuali fasi localizzate. I parametri di discretizzazione assicurano stabilità numerica fino a 0.8Hz. Sono state effettuate 36 simulazioni facendo variare il meccanismo focale, il punto di nucleazione e il rapporto fra velocità di rottura v_r e velocità v_β delle onde S, per un totale di 13000 sintetici in spostamento. Si è così riusciti a studiare la dipendenza dello spostamento di picco d_{max} e di un parametro, t_0 di durata significativa del moto, dalla direttività e dal meccanismo focale in funzione di distanza dal centro della faglia (r_c) e angolo di vista (θ), cioè l'angolo nel piano orizzontale fra l'azimut della faglia e il vettore sorgente-ricevitore. Le simulazioni non hanno mostrato alcuna tendenza per t_0 evidenziando invece per d_{max} un aumento lineare al diminuire della distanza, in accordo con la (3), e forte variabilità in funzione dell'angolo θ in campo vicino, dovuta a direttività e profilo di radiazione. Si propone quindi di modificare la relazione di attenuazione del parametro di moto di lungo periodo nella forma seguente, da confrontare con la (3):

$$\log(d_{\max}) + \log(r_c) = \underbrace{M_w - 4.3}_{\text{Faccioli et al. (2004)}} + a + \underbrace{\log(f_R(\theta))}_{\text{meccanismo focale}} + \underbrace{\log(f_d(\theta, v_{app}, \xi))}_{\text{direttività}} \pm \sigma \quad (5)$$

$$f_d(\theta, v_{app}, \xi) = v_{app} \left[\frac{1}{1 - v_{app} \cos(\theta)} + \frac{\xi}{1 + v_{app} \cos(\theta)} \right] \quad (6)$$

$$v_{app} = b \frac{v_r}{v_\beta}$$

in cui: ξ = parametro che governa il grado di unilateralità nella propagazione della frattura, a e b = parametri numerici definiti nel Cap. 3 per diversi meccanismi focali il cui valore è stato dedotto dai risultati delle simulazioni numeriche, e σ = dispersione della stima (aggiuntiva rispetto a quella della (3)), compresa tra 0.11 e 0.19, a seconda del meccanismo focale e della componente del moto considerata (orizzontale o verticale). La (5), sviluppata prima della (3), fa ancora uso di d_{\max} , anziché D_{10} , e della relazione di attenuazione formulata in FPR04, anziché della stessa (3). Gli aggiustamenti per garantire piena coerenza tra la (3) e la (5), anche per quanto riguarda la misura della distanza, verranno apportati nella 2° fase. La funzione f_R è stata alternativamente posta uguale a $\sin(\theta)$ e $\sin(2\theta)$, con significato evidente. Quanto alla rappresentatività della base dati mondiale sotto il profilo degli effetti di sorgente, essa è stata sicuramente accertata: si riportano nel capitolo successivo esempi significativi. L'indicazione principale è che per faglie trascorrenti emerge con chiarezza l'effetto del profilo di radiazione SH sulle due componenti orizzontali nella (1), dando luogo a un effetto di compensazione nella media geometrica, mentre per faglie inverse con propagazione unilaterale si manifesta ugualmente forte su entrambe le componenti l'effetto della direttività.

EVENTUALI MODIFICHE AD ATTENUAZIONE DMAX (E A FORMA DI SRS) SU GRANDI BACINI SEDIMENTARI (TASK 5A), E PER EFFETTI DI BORDO IN VALLI E BACINI SEDIMENTARI (TASK 5B)

Per studiare gli effetti di estesi e profondi bacini sedimentari sulla forma degli SRS, come previsto dal Task 5°, sono stati seguiti diversi approcci. Primo, si sono simulati nell'area della Pianura Padana e Veneto-Friulana degli scenari causati da terremoti di magnitudo medio-alta che avvengono in prossimità dei margini di questi bacini. Si è fatto preliminarmente uso di modelli 1D, costruiti sulla base di dati di letteratura per le velocità (Cassano et al., 1986; Doglioni, 1993) e in analogia con il bacino di Los Angeles per il fattore di qualità Q (Olsen et al., 2003). Modelli più sofisticati (3D) saranno utilizzati successivamente. Utilizzando come riferimento la zonazione ZS9 sono state selezionate come zone sorgente la 905 (Friuli-Veneto Orientale), la 906 (Garda-Veronese) e la 915 (Garfagnana-Mugello). Gli scenari sono stati costruiti facendo variare 3 diverse distribuzioni di slip, 12 punti di nucleazione e 2 velocità di rottura, ed i ricevitori sono stati posti sia sul lato del letto (foot wall) che del tetto (hanging wall) della faglia. Per validazione è stato fatto un confronto tra il risultato degli scenari in stazioni su roccia (V_s del substrato affiorante pari a 2.25 km/s) e le medie degli SRS della base dati mondiale. Questo confronto indica che, soprattutto per

distanze superiori ai 75km, vi è un accordo più che soddisfacente tra simulazioni e dati reali, sia in termini di valori medi che di dispersione. Analizzando gli scenari a diverse distanze all'interno del bacino, l'amplificazione dell'SRS rispetto al corrispondente su roccia risulta intorno ad un fattore 2 per $T > 7-8s$ per la sorgente Friuli-Veneto Orientale, ma l'effetto del bacino diventa decisamente più marcato, soprattutto a distanze minori di 75km (fino ad un fattore 4), per scenari del tipo Garda e Garfagnana, con il massimo delle ordinate spettrali a periodi anche maggiori di 10s. Ciò dipende principalmente dal diverso modello di velocità adottato per la pianura Padana e l'area Veneto-Friulana. L'approssimazione 1D può comunque portare a sovrastimare questi effetti. Converrà attendere l'esito delle simulazioni 3D del secondo anno per modellare definitivamente i termini correttivi. Si sono poi studiati gli effetti di valli e bacini di piccole e medie dimensioni. Per un riconoscimento oggettivo di tali strutture su scala nazionale si è predisposta una procedura in ambiente GIS. I limiti e la geometria della struttura vengono ricostruiti attraverso l'uso congiunto di un modello digitale (nella fattispecie l'SRTM della NASA)²¹ e la carta geologica a scala 1:500.000 del Servizio Geologico. Valli e bacini sono riconosciuti come tali quando attraverso questi strumenti informatici si evince che sussistono due condizioni: (i) esiste un'area sufficientemente estesa a pendenza nulla e (ii) affiorano depositi sedimentari. Si è introdotta una nuova classificazione delle unità geologiche definite a questa scala, opportunamente calibrata per la definizione di bacino o valle (detriti, depositi alluvionali e fluviolacustri e fluvioglaciali, spiagge attuali, alluvioni terrazzate (Olocene), depositi eolici (Olocene, Pleistocenici pro-parte). Per bacini di dimensioni medio-piccole è critica la definizione della dimensione minima W_{min} di interesse. Infatti, nell'ottica di S5, il periodo d'angolo T_D deve risultare minore del periodo di risonanza 1D (T_{1D}) in corrispondenza dello spessore massimo dei sedimenti (h); T_{1D} segnala infatti in prima approssimazione il limite superiore degli effetti di amplificazione 2D o 3D nei bacini in esame. T_D viene a dipendere dalla sismicità, come descritto precedentemente, ed è derivato da analisi probabilistiche, per ogni zona e periodo di ritorno. La lunghezza d'onda λ_D in grado di risentire di effetti legati alla propagazione orizzontale risulta $\lambda_D = T_D * V_S = 4h$. Poiché nella maggior parte dei casi pratici $2h/W \leq 0.25$ (Chávez-García e Faccioli, 2000), ne consegue $W_{min} = 2 (T_D * V_S)$. Per questi bacini sono state messe a punto e calibrate diverse tecniche numeriche, tutte in approssimazione 2D (differenze finite, elementi finiti, elementi spettrali). Per valli e bacini chiusi viene usato il metodo asintotico dei numeri d'onda di Hisada (1994 e 1995) per il calcolo dello spostamento al bedrock (componente statica e dinamica), che entra come input del modello locale sotto forma di forza efficace al contorno. Il problema numerico è risolto mediante un codice (Else) ad elementi spettrali. Per la taratura del metodo si è simulata la risposta di un bacino reale (Gubbio) e sono confrontati i risultati della simulazione numerica con i corrispondenti valori sperimentali. Gli SRS sono stati calcolati in punti (ricevitori) all'interno del bacino e si sono studiate le variazioni rispetto a punti di riferimento su roccia all'esterno del bacino. Analogamente, per i bacini aperti si è predisposta una procedura numerica per studiare in modo parametrico (si variano pendenza del bordo, contrasto di impedenza, spessore del deposito sedimentario) le variazioni di SRS prodotte dalla diffrazione in funzione della

²¹ <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>

distanza dal bordo. Le tecniche usate sono le differenze finite per onde SH e gli elementi finiti per onde P-SV. I risultati preliminari dei due approcci indicano che gli effetti di amplificazione possono essere significativi e che si può superare, nel centro di un bacino, la fascia di dispersione dei dati sperimentali per Classi C e D. Una indicazione importante che emerge è che, nello studio degli SRS, è utile una rappresentazione in funzione del periodo normalizzato al periodo di risonanza $1D$ di centro valle (T/T_{1D}). Questa permette infatti di vedere in quale intervallo siano da apportare le modifiche allo spettro SRS su suolo rigido in presenza di bacini sedimentari (Chavez-Garcia e Faccioli, 2000). Per $T < T_{1D}$, le modifiche andranno tarate sulla risposta dei diversi tipi di bacino ma dovranno in ogni caso applicarsi solo per $T > T_D$, onde non interferire con lo spettro di accelerazione di normativa.

VALUTAZIONE DELL'INFLUENZA DI DIVERSE FORME DI DISSIPAZIONE SULLO SRS (TASK 2A)

Si sono dapprima riesaminate le formulazioni correnti sulla riduzione delle ordinate SRS nel caso di smorzamento viscoso equivalente (ξ) diverso da 0.05 (v. Bommer e Mendis 2005), per valori fino a 0.30 (appropriati per strutture duttili soggette ad elevate deformazioni plastiche), evidenziando un significativo divario di queste rispetto ai risultati ottenuti, dovuto alle diverse caratteristiche delle azioni sismiche considerate nelle formulazioni disponibili. Di qui la necessità di un approfondito studio parametrico con azioni sismiche di diverse caratteristiche. Si sono anche riesaminati i valori di ξ delle formulazioni esistenti, analizzando un ampio numero di equazioni di letteratura, e ottenendo differenze significative. Ciò ha reso evidente anche la necessità di uno studio parametrico ugualmente approfondito sui valori di ξ appropriati per differenti tipologie strutturali, di diversa rigidezza e capacità di spostamento. Successivamente, si è condotto un esteso studio parametrico sulla risposta dinamica di diversi sistemi strutturali non lineari, allo scopo di stabilire una relazione tra ξ equivalente, periodo di vibrazione, duttilità e tipologia strutturale. A causa delle migliaia di analisi richieste, sono stati adottati modelli a 1 GDL per descrivere la risposta di sistemi strutturali reali, usando 6 modelli costitutivi per rappresentare il comportamento non lineare, e adottando un procedimento iterativo per identificare il valore di ξ equivalente per assegnato livello di duttilità e legame costitutivo. Come primo passo, si sono impiegati accelerogrammi spettro-compatibili, per eliminare la variabilità ottenuta con accelerogrammi reali. Le equazioni ottenute per quantificare il valore di ξ equivalente ($\xi_{effective}$), necessario per la riduzione dello SRS, in funzione della duttilità μ e del periodo T della struttura sono:

$$\xi_{effective} = \frac{a}{\pi} \cdot \left(1 - \frac{1}{\mu^b} - 0.1 \cdot r \cdot \mu \right) \cdot \left(1 + \frac{1}{(T+c)^d} \right) \cdot \frac{1}{N} , \quad N = 1 + \frac{1}{(0.5+c)^d} \quad (\text{sistema bilineare}) \quad (7)$$

$$\xi_{effective} = \frac{a}{\pi} \cdot \left(1 - \frac{1}{\mu^b} \right) \cdot \left(1 + \frac{1}{(T+c)^d} \right) \cdot \frac{1}{N} , \quad N = 1 + \frac{1}{(0.5+c)^d} \quad (\text{tutti gli altri sistemi}) \quad (8)$$

Tabella 1. Valori delle costanti nelle (7) e (8) per diversi modelli strutturali non lineari.

Costante	Takeda "snello"	Takeda "tozzo"	Bilineare	EPP	Ramberg Osgood	Ring Spring
<i>a</i>	95	130	160	140	150	50
<i>b</i>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.45	0.5
<i>c</i>	0.85	0.85	0.85	0.85	1	1
<i>d</i>	4	4	4	2	4	3

Si sono inoltre avviate in anticipo alcune attività previste per la seconda fase, quali:

1. Verifica delle equazioni per strutture a molti gradi di libertà (MGDL), incluso edifici con comportamento degradante in rigidezza e resistenza, per vedere se le precedenti equazioni, derivate da sistemi a 1 GDL, applicate a strutture realistiche (telai in CA a MGDL), portano a risultati accettabili. Sono stati considerati modelli diversi di edifici multi-piano, ed eseguiti confronti tra lo spostamento ottenuto da analisi dinamiche non-lineari rigorose con quello di un oscillatore sovrasmorzato a 1 GDL (equazioni sopra). Il valor medio del rapporto (1GDL/MGDL) si è verificato essere leggermente cautelativo: pertanto si sono ritenute applicabili le (7) e (8) a strutture MGDL, anche a comportamento degradante post-picco.
2. Verifica delle equazioni proposte per accelerogrammi reali [nuovo Task]. Poiché le equazioni sono state derivate da risultati ottenuti con accelerogrammi artificiali, diventa necessario verificare la loro validità per accelerogrammi reali, tra cui diversi sono rappresentativi della sismicità in Italia. La bontà delle equazioni è valutata tramite il parametro DR (displacement ratio), rapporto tra lo spostamento ottenuto da un'analisi dinamica non-lineare della struttura (valore "esatto") e quello predetto con lo SRS ridotto per mezzo delle equazioni proposte (valore approssimato, semplificato), come illustrato nel Cap. 3. Pur essendo i valori medi di DR prossimi all'unità, essi sono affetti da forte dispersione, che non è stato ancora possibile interpretare od eliminare. La verifica verrà quindi ulteriormente approfondita.
3. Estensione dei risultati ottenuti (che mirano alla definizione di SRS sovra-smorzati) a SRS anelastici [obiettivo nuovo]. Per garantire una maggiore generalità dei prodotti di questo progetto, i risultati ottenuti verranno post-processati anche in un'ottica di sviluppo di SRS anelastici, tipicamente impiegati in metodologie di progettazione diverse dal Direct Displacement-Based Design (in cui l'input viene definito tramite lo SRS sovra-smorzato).

SPETTRI DI VERIFICA PER LE COSTRUZIONI MONUMENTALI (TASK 2B)

Il danno ed il collasso sismico nelle costruzioni monumentali si sviluppano prevalentemente in forma di meccanismi locali, evidenziando dei "macroelementi" (Doglioni et al., 1994) con comportamento tipo corpo rigido in gran parte autonomo rispetto al resto della struttura. L'estensione alle costruzioni in questione dei criteri di verifica applicabili agli edifici ordinari per i meccanismi locali richiede ancora molti approfondimenti. A tale fine, la 1^a fase della ricerca si è concentrata sulla messa a punto di un modello dinamico non lineare atto a descrivere la risposta sismica di un macroelemento rappresentativo, eseguendo molte analisi dinamiche al passo su

sistemi non lineari a 1 GDL con diversi accelerogrammi di eccitazione, allo scopo di formulare metodi "normativi" semplificati. Il modello usato (Housner 1963) ha comportamento elastico non lineare, con ramo softening, e dissipazione di energia introdotta con un fattore di smorzamento viscoso equivalente. Per i parametri rappresentativi si sono identificati valori plausibili per meccanismi di ribaltamento delle facciate, e si sono usati come eccitazione sia accelerogrammi registrati che artificiali (compatibili con spettro EC8). Il metodo semplificato usa l'approccio cinematico non lineare per descrivere le curve di capacità e gli spettri elastici "sovrasmorzati" per rappresentare la domanda del terremoto: la prestazione della struttura, in termini di spostamenti, è ottenuta dal loro confronto. Per validare il metodo, questi valori sono stati confrontati con lo spostamento massimo e la corrispondente accelerazione ottenuti dalle analisi dinamiche non lineari. Con gli accelerogrammi artificiali, la previsione del metodo semplificato a periodi medio-lunghi ($>2s$) è risultata in perfetto accordo con le analisi dinamiche non lineari. Con gli accelerogrammi reali, se lo SRS ha valori elevati a periodi prossimi a quello di massima risposta del macroelemento, il metodo semplificato sovrastima la risposta dell'analisi dinamica mentre si osserva una sottosima quando lo SRS in concomitanza al suddetto periodo è più basso rispetto ai valori di periodo immediatamente inferiori. Per un SRS privo di picchi o gole significative, il metodo semplificato fornisce buoni risultati. Non è stato ancora possibile correlare questo fatto con grandezze significative dell'input (intensità di Arias, magnitudo, ecc.), e la verifica si sta approfondendo in questo senso. Si è anche notato come per la maggioranza delle registrazioni reali considerate, gli SRS ridotti con fattori di riduzione (Bommer e Mendis 2005) sovrastimino, ai lunghi periodi, quelli derivati dalle analisi nel dominio del tempo, soprattutto per valori elevati di smorzamento equivalente. Nella ricerca si è usato il fattore di riduzione dell'EC8 (CEN 2004).

Stato di avanzamento del progetto: aspetti specifici

Completamento e caratteristiche della base dati mondiale, trattamento dati, elaborazioni degli SRS, relazioni di attenuazione e correlazioni semiempiriche (Task 1, 4a e 4c)

La composizione della base di dati usata per le elaborazioni delle forme spettrali, consistente in 1399 registrazioni accelerometriche digitali a tre componenti, è riportata nella seguente Tab. 2 per classi di M_w , di distanza, e di provenienza geografica. Come già detto, per ricavare la relazione di attenuazione per D_{10} si sono aggiunte alle precedenti 186 ulteriori registrazioni. La distribuzione magnitudo-distanza di questa base "allargata" è illustrata nella Fig. 1. Sono stati rigorosamente esclusi dati da terremoti di subduzione e con profondità focali $> 25km$. Per scegliere il metodo più adatto di correzione della linea base sono stati applicati quattro diversi procedimenti ad un insieme selezionato di 53 registrazioni (non corrette), provenienti da regioni geografiche e sismotettoniche differenti (Europa, Medio-Oriente, Stati Uniti, Giappone, Taiwan e Messico), relative a differenti condizioni di sito e su un intervallo di distanze epicentrali da 0 a 50 km. Per ciascuna di esse si sono considerate le due componenti orizzontali e quella verticale, individuando come "ottimali" le registrazioni i cui SRS non presentano una dipendenza importante dal procedimento di correzione. Da tali analisi è emerso che: (i) i migliori insiemi di dati sono quelli delle reti KNet e KikNet giapponesi (che da soli costituiscono l'86% della base dati) e di Taiwan, (ii) che i dati islandesi,

turchi, iraniani e USA risultano comunque utilizzabili fino a 10s con errori molto modesti, ed infine (iii) che scarti più significativi si trovano nei dati italiani, greci e messicani. Gli effetti di due diversi procedimenti di correzione sono confrontati in Fig. 2: la correzione basata sulla finestra pre-evento (implementata nel programma basco.m) può condurre a forme d'onda in spostamento non realistiche ma le derive compaiono a periodi in genere molto superiori a 10s, valore limite per le applicazioni di interesse di questo progetto. Pertanto questa correzione, facilmente automatizzabile per il trattamento di moli cospicue di dati accelerometrici, è stata usata su tutta la base di dati mondiale (nonché sul sottoinsieme delle registrazioni italiane).

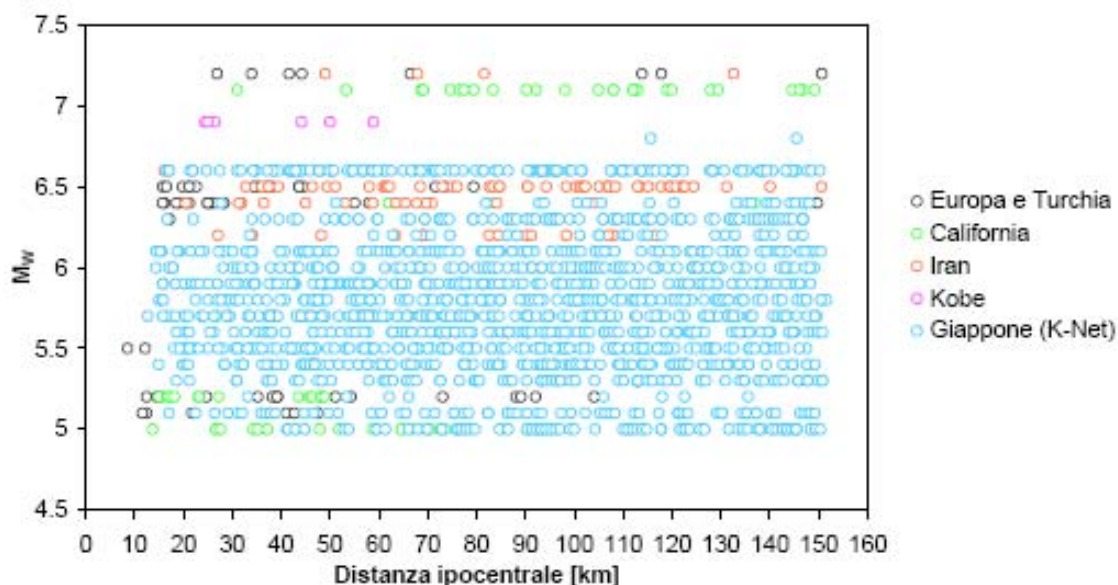


Figura 1. Distribuzione dei valori di D_{10} in termini di magnitudo, distanza ipocentrale (R_i) e provenienza.

Esempi rappresentativi degli SRS (media geometrica dei valori mediani delle componenti orizzontali) ottenuti dalla base mondiale sono mostrati nelle Fig. 3 e 4 per due classi di distanza focale e $5.0 < M_w < 6.6$: si noti come il periodo a cui termina il tratto iniziale crescente dello spettro arrivi a 5-6s per M_w circa 6.5. Non è stato possibile calcolare gli SRS mediani suddivisi per classi di distanza per $M_w > 6.6$ a causa del numero insufficiente di registrazioni, v. Fig. 1. Per determinare gli effetti della categoria di suolo (o di sito), si sono usati i soli dati delle reti giapponesi citate, così da disporre di informazioni omogenee sulle condizioni di sito. Si sono adottate le categorie di suolo A, B, C, D delle recenti normative internazionali e italiane.

Si sono classificate le stazioni con i profili stratigrafici di V_s disponibili fino ad una profondità $z < 30$ m, formulando in particolare una nuova correlazione $V_{s,30}$ vs. $V_{s,z}$, basata interamente su dati provenienti dalla KikNet, ed ottenendo la suddivisione in Tab. 3. Il problema principale è la (relativa) scarsità di stazioni in classe A ed in classe D, che diventa più marcata quando si distinguono ulteriormente le registrazioni per magnitudo e distanza. Si sono poi calcolati gli effetti di sito mediante rapporto tra spettri mediani per classi C e D, rispetto alla classe B, per diversi

intervalli di magnitudo e distanza, non essendo possibile eseguire la stessa operazione rispetto alla classe A, per carenza di dati.

Tabella 2. Composizione (n° registrazioni) della base dati mondiali usata per le elaborazioni SRS.

Mw	Regione	Totale	10-30 km	30-50 km	50-75 km	75-100 km	100-125 km	125-150 km
5.0-5.4	Italia	7	6	0	1	0	0	0
	Turchia	15	1	8	2	3	1	0
	Giappone	282	13	36	42	62	64	65
	Stati Uniti	32	11	10	7	4	0	0
5.5-5.9	Italia	4	3	0	1	0	0	0
	Giappone	578	42	88	116	116	109	107
6.0-6.3	Turchia	1	1	0	0	0	0	0
	Iran	21	2	7	3	5	3	1
	Giappone	257	7	27	44	50	67	62
6.4-6.6	Islanda	28	14	6	5	1	0	2
	Iran	52	2	8	17	8	14	3
	Giappone	73	9	9	10	11	18	16
	Stati Uniti	3	0	0	1	1	0	1
6.7-7.2	Iran	4	0	1	1	1	0	1
	Turchia	8	1	3	1	0	2	1
	Giappone	8	3	1	2	0	1	1
	Stati Uniti	26	0	1	4	7	8	6

Tabella 3. Classificazione siti giapponesi KNet e KikNet.

Classe	n.stazioni	%	n.stazioni	%
	KNet		KikNet	
A	28	2.8	9	8.7
B	458	45.8	61	58.7
C	424	42.4	32	30.8
D	90	9	2	1.9
Tot	1000	100	104	100

Separatamente si è eseguita una quantificazione per le sole stazioni della rete KikNet, per le quali sono disponibili registrazioni sia in superficie che a profondità variabili tra 100 e 200 m. Le principali indicazioni emerse sono le seguenti:

- a) gli effetti di sito maggiori si hanno per basse magnitudo e distanze, probabilmente a causa delle minori lunghezze d'onda in gioco;

- b) gli effetti per suolo B sono <5% per M 6.6, <10% per M 5-5.4, e risulta quindi giustificata l'assimilazione delle classi B e A ai fini di quest'analisi, e delle sue applicazioni;
- c) gli effetti per classe C sono significativi, specie per distanze brevi e magnitudo basse, con fattori di amplificazione variabili tra 1.05 e 1.3;
- d) pur non essendovi dati a sufficienza per la classe D, le analisi suggeriscono effetti molto significativi, con fattori di amplificazione variabili tra 1.5 e 2.3 (o anche maggiori) e dipendenti dalla frequenza.
- e) a parte il caso dei siti D, che richiedono analisi più approfondite, la dipendenza del fattore di amplificazione dal periodo è modesta per $T > 2s$, risultando così giustificata l'introduzione di un fattore di sito indipendente dal periodo;
- f) i risultati sinora ottenuti per la relazione di attenuazione di D_{10} , eq. (2) forniscono un fattore di sito pari a 1.25 per classe C e pari a 2 per classe D, in accordo ragionevole con i risultati sopra riportati, come può vedersi dalla Fig. 5.

Riguardo alla relazione di attenuazione (3) per D_{10} derivata dalla base dati mondiale, i residui (val. osservato/val. predetto) della regressione, pur non mostrando separatamente alcuna tendenza rispetto a M_w e R_i , hanno invece andamento crescente in funzione del valore osservato (Fig. 6), marcato per i dati della classe di magnitudo più elevata (Fig. 7) chiaramente sottostimati dalla relazione. Per approfondire la cause di questo comportamento si è eseguita anche una regressione lineare separata sui soli dati per $6.8 < M_w < 7.2$ e una regressione non lineare su tutti i dati modificando la (3) mediante l'aggiunta ad R_i di un termine a $\exp(bM)$. Dalla Fig. 7 si può constatare come la regressione non lineare, che introduce saturazione per $R_i \rightarrow 0$, non migliora la bontà della predizione, mentre la regressione lineare separata porta ad una attenuazione con la distanza proporzionale a $R_i^{-0.58}$ che indicherebbe un ruolo dominante delle onde di superficie (trascurabile a magnitudo più basse). Si è anche valutata l'influenza di una diversa misura della distanza, adottando per le magnitudo in questione la distanza minima dalla sorgente e modificando conseguentemente la (3). L'analisi del problema è tuttora in corso e sarà ulteriormente approfondita all'inizio della 2ª fase. Rimane peraltro pienamente confermata la bontà della (3) almeno fino a M_w 6.8. La relazione (3) dedotta sulla base dei dati mondiali risulta descrivere in modo soddisfacente l'andamento dei dati italiani per D_{10} , considerati nel loro insieme. La Fig. 8 mostra la bontà dell'aggiustamento per i valori di D_{10} nell'intervallo $4 < M_w < 6$, relativi a 127 registrazioni digitali di buona qualità selezionate tra accelerogrammi (90%) e velocigrammi (10%). E' interessante osservare che per i terremoti italiani la (3) sembra garantire la sua validità anche per $M_w < 5$, limite inferiore della base dati mondiale (v. Fig. 9). Ciò non sorprende, se si considera che la dipendenza da magnitudo e distanza è esattamente quella prevista dal modello fisico (Brune) di riferimento. Per i terremoti dell'Etna, si è trovato che la (3) sottostima in modo significativo i valori di D_{10} per $M_w > 4$. Per eventi di magnitudo minore, la mancanza di stime di M_w non ha ancora consentito di ricavare regressioni affidabili. Tuttavia sono gli eventi con $M_w > 4$ quelli di maggiore interesse per la pericolosità nell'area etnea. Occorre ricordare che nell'ottobre 2002 terremoti con magnitudo $4 < M_w < 5$ causarono danni fino al grado VIII EMS, inaspettato per $M_w < 5$ ma

che risulta coerente con i valori relativamente elevati di D_{10} calcolati dagli accelerogrammi disponibili (Fig. 10). La correzione dianzi proposta nel Cap. 2 (che sostituisce M_w con $M_w + m$ nella (3)) garantisce una buona descrizione dell'andamento di D_{10} per questi eventi (Fig. 10). Il valore ottimale $m = 0.7$ risulta dalla condizione di miglior aggiustamento su 7 accelerogrammi.

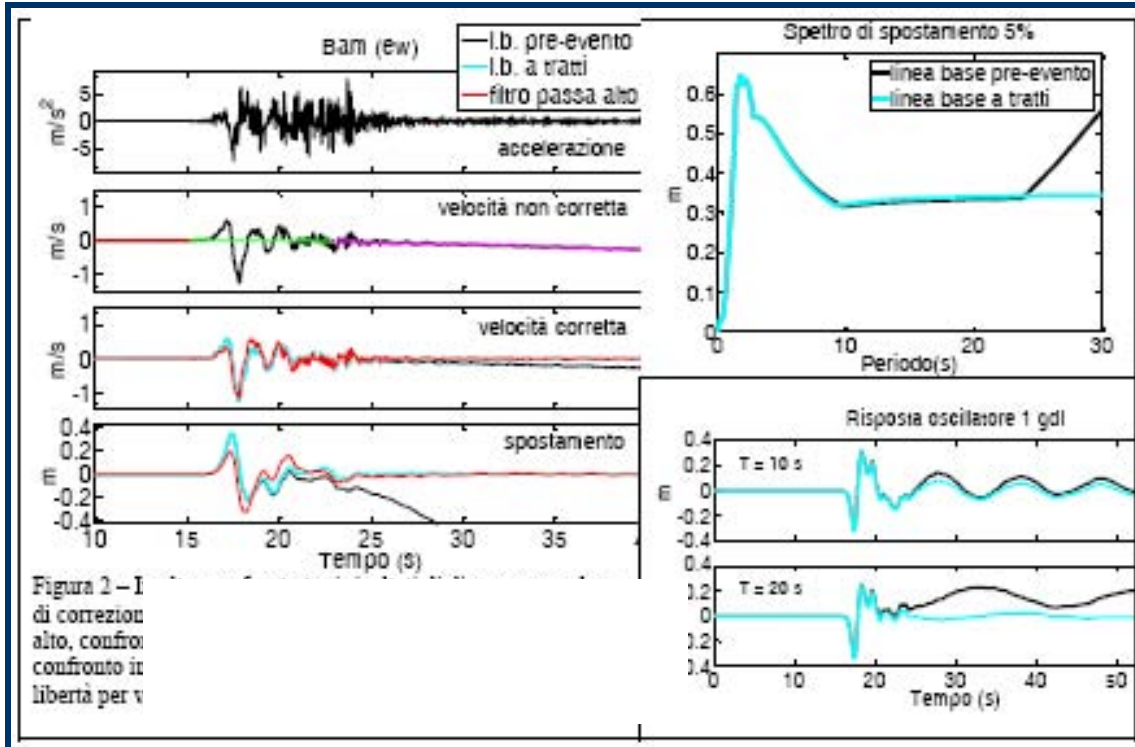


Figura 2. In alto: confronto tra i risultati di diverse procedure di correzione di linea di base (registrazione di Bam); a destra: in alto, confronto in termini di spettri di spostamento; in basso: confronto in termini di risposta dell'oscillatore ad 1 grado di libertà per valori del periodo pari a 10s e 20s.

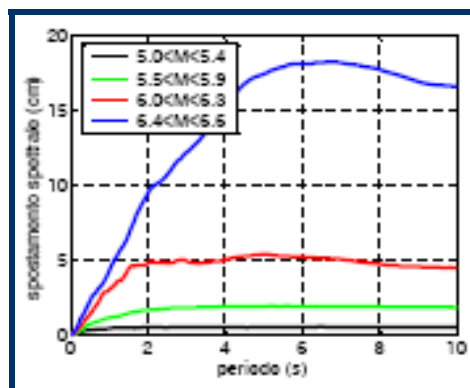


Figura 3. SRS mediani per distanza ipocentrale 10-30km.

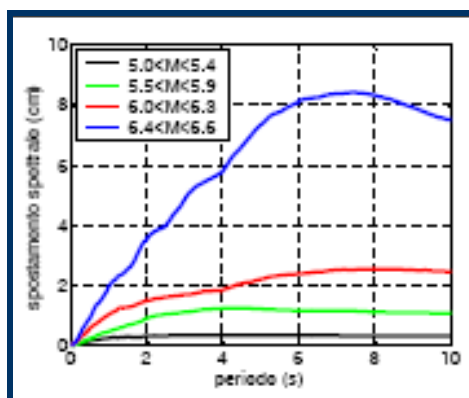


Figura 4. SRS mediani per distanza ipocentrale 30-50km.

Sebbene non relazionato con il modello di riferimento, è tuttavia pertinente al tema dell'attenuazione dei parametri di spostamento a lungo periodo su basi osservative l'argomento delle correlazioni (intensità-spostamento) a base semiempirica, non precedentemente toccato, e il cui scopo è appunto quello di produrre relazioni (tirate sull'intensità macrosismica) di "attenuazione" con la distanza dello spostamento "massimo" corrispondente al periodo $T=10s$ negli SRS con 5% di smorzamento. Un primo risultato consiste nell'aver ricavato, sulla base di 79 dati accelerometrici e di intensità del terremoto di Northridge (1994), la seguente correlazione fra spostamenti orizzontali massimi del suolo (d_{max}) ed intensità MMI (stimate da USGS):

$$\log d_{max} = -1.443 + 0.296 \text{ MMI} \quad R^2=0.66.$$

I valori di d_{max} sono stati ottenuti da accelerogrammi corretti dalle agenzie USC, USGS, DWP, CDMG, registrati a breve distanza dai siti ove sono state stimate cui le intensità. Il lavoro successivamente svolto si è basato su due importanti premesse metodologiche: 1) è preliminarmente necessario verificare l'efficacia dell'algoritmo usato (funzione KF, che tratta solo le onde di volume) in modalità inversa (v. ad es. Pettenati e Sirovich 2003); ovvero, nel caso di terremoti ben osservati strumentalmente e di sorgente nota, che l'algoritmo sia in grado di ritrovare la sorgente, almeno approssimativamente, a partire dalle intensità; 2) che "funzioni" la trasformazione intensità/spostamento, anche con riferimento alle diverse scale di intensità esistenti. Si è così proceduto ad invertire le intensità osservate per i terremoti californiani di Northridge e di Loma Prieta (1989), producendo gli scenari parametrici di spostamento, che sono stati confrontati con gli spostamenti sperimentali forniti da varie agenzie USA. Ne è risultato, pur non essendo il lavoro ancora completato, un accordo ragionevole ma che necessita ancora affinamenti. Come primo caso italiano, è stato considerato il terremoto dell'Irpinia 1980, per il quale è già stata eseguita l'inversione per ritrovare la sorgente, illustrata in Fig. 10 bis. Come si vede, risulta molto buona la concordanza del meccanismo focale, anche se il segmento-intersezione del piano di rottura con la superficie topografica appare troppo spostato verso SW perché l'inversione controlla male la profondità. Si sta elaborando, per via parametrica in modalità diretta, lo scenario in D_{10} .

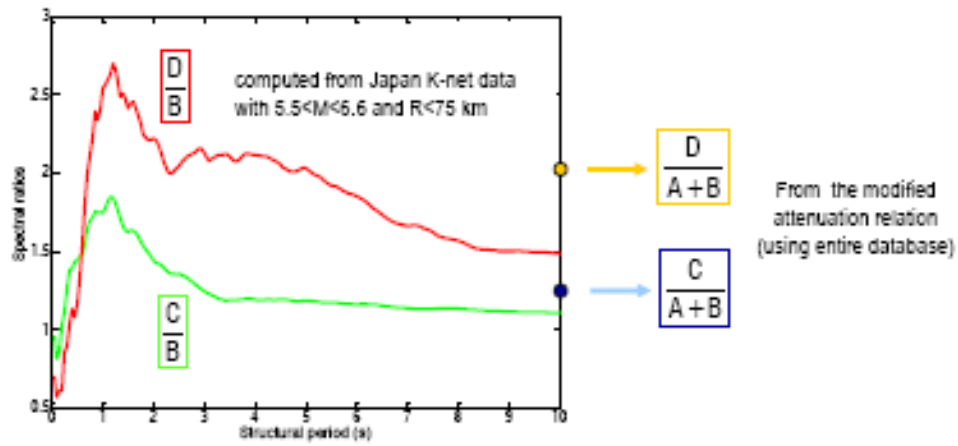


Figura 5. Influenza della classe di suolo sugli SRS: rapporti di SRS mediani e valori di D_{10} da eq. (2).

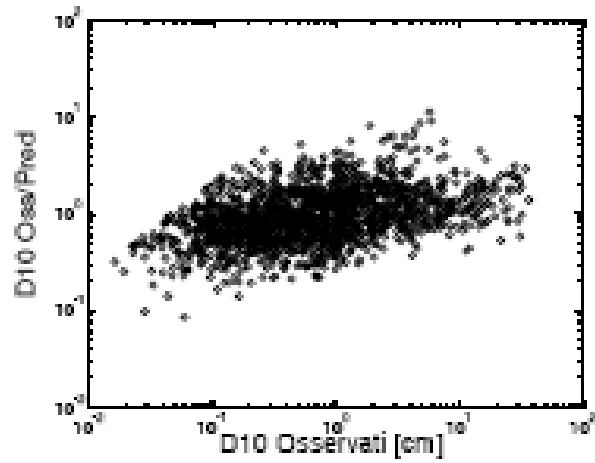


Figura 6. Residui della relazione di attenuazione (3) per D_{10} in funzione del valore osservato.

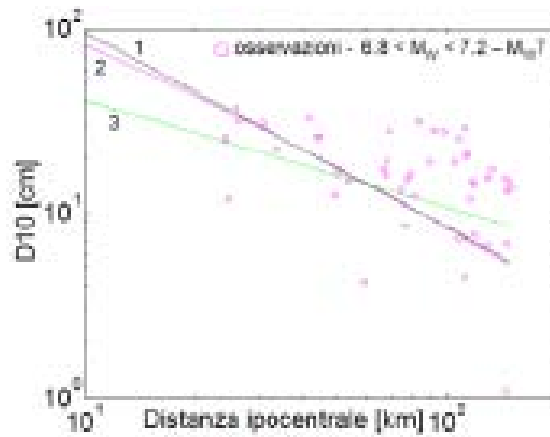


Figura 7. Aggiustamento della (3) (curva 1, M_w 7.0) alle osservazioni: la curva 2 è la regressione non lineare per M_w 7.0 e la curva 3 la regressione lineare eseguita sui soli dati in figura.

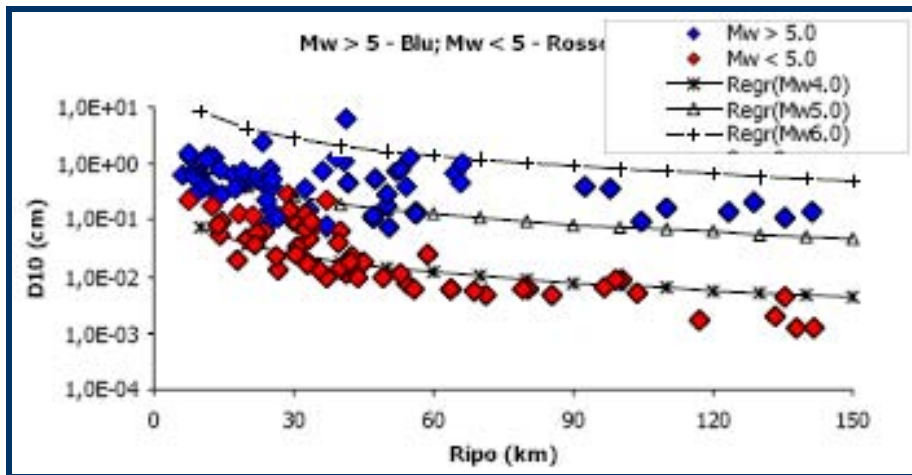


Figura 8. Distribuzione di D_{10} per i terremoti italiani in funzione della distanza ipocentrale, per classi di magnitudo: le curve "Regr" derivano dalla relazione (3) (dati mondiali).

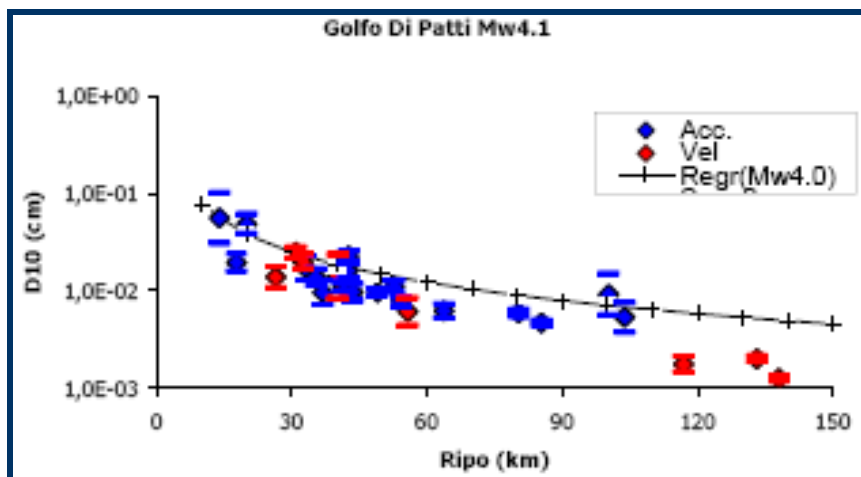


Figura 9. Attenuazione di D_{10} per un singolo terremoto (Golfo di Patti 2006) ben registrato, confrontata con l'andamento previsto dalla (3).

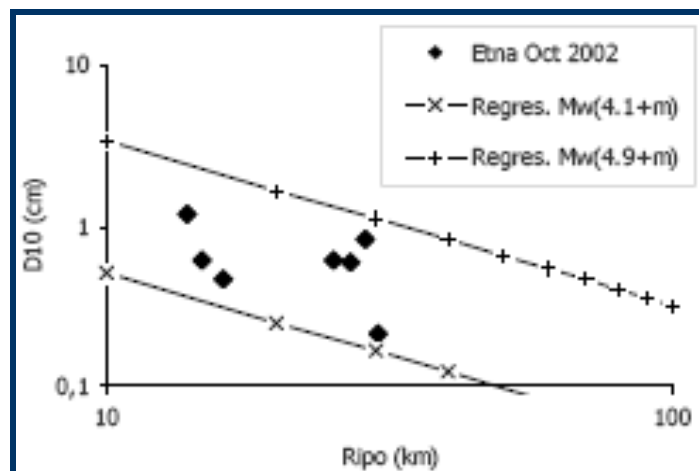


Figura 10. Valori di D_{10} di terremoti etnei per $M_w > 4$. Le curve discendono dalla (3), con una maggiorazione pari a $m=0.7$ della magnitudo degli eventi.

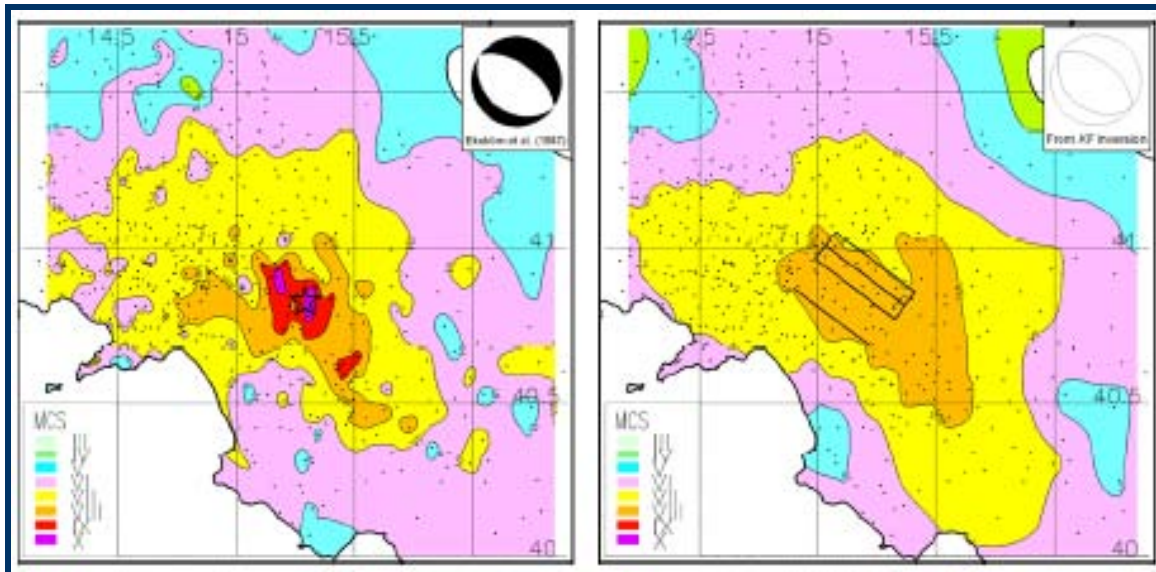


Figura 10 bis. Terremoto dell'Irpinia del 1980. A sinistra: intensità MCS osservate (interpolazione N-N; i punti neri sono i siti esaminati). A destra: intensità sintetiche (metodo KF) del modello a minima varianza trovato automaticamente con algoritmo genetico, con la sorgente determinata per inversione.

Perfezionamento e integrazione del modello di riferimento (Task 1, continua)

La rappresentazione semplificata bilineare dello SRS, già descritta nel Cap. 2 e proposta come perfezionamento del modello di riferimento FPR04, è illustrata nella Fig. 11 ed espressa dalle formule:

per $T < T_C$	SRS è trascurabile	
per $T_C < T < T_D$	$SRS = a_g S 2.5 (T_C T / (2\pi)^2)$	(9)
per $T > T_D$	$SRS = D_{10}$	(10)

dove:

- D_{10} è ottenuto dalla (3), o (2);
- T_D è definito dall'intersezione dei due rami dello SRS (e dipende quindi liberamente da M_w e distanza).

La (9), relativa all'intervallo $T_C < T < T_D$, è tratta dall'Eurocodice 8 – Parte 1 (CEN 2004), e da lì ripresa nelle norme italiane allegate alla OPMC 3431. Mentre i valori di T_C , funzione della classe di suolo, sono quelli fissati dall'Eurocodice, a differenza di quest'ultimo il "periodo d'angolo" T_D non rimane fissato a 2s, ma varierà liberamente sulla base dell'intersezione tra i due segmenti di retta definiti dalle (9) e (10). Anche la stima di $a_g = a_{max}$ (su suolo di classe A) viene eseguita mediante idonee relazioni di attenuazione. In Fig. 12 si confrontano a titolo d'esempio le forme spettrali medie dalla base dati mondiale per la classe di magnitudo 6.4-6.6 ed il corrispondente spettro di riferimento dato dalle (9) e (10). E' in corso di analisi l'armonizzazione tra i valori del fattore di suolo S applicabili allo spettro di accelerazione, e quelli qui ricavati precedentemente discussi (v. Fig. 5).

Per quanto riguarda l'integrazione del modello di riferimento, sono state calcolate dai dati mondiali le forme spettrali mediane per la componente verticale del moto (V), calcolando poi i rapporti spettrali V/H. Onde pervenire ad un modello di riferimento anche per le componenti verticali, si sono confrontati in Fig. 12 i rapporti tra gli spettri mediani delle componenti verticali rispetto a quelli orizzontali, per ciascuna delle classi di M_w e per R_i sino a 100km. Sullo stesso grafico è stato inoltre riportato il corrispondente rapporto tra gli spettri di normativa (OPCM 3431) per la componente verticale (S_{ve}) ed orizzontale (S_e), avendo per la componente verticale considerato $T_D=1s$ (secondo la normativa), nonché due ipotesi alternative: $T_D=2s$ (coincidente con quello definito per S_e) e $T_D=3s$. Quest'ultimo, come mostrato in Fig. 13, fornisce il migliore adattamento ai rapporti V/H osservati, almeno nell'ambito di ipotesi semplici, compatibili le esigenze di normativa. Le elaborazioni statistiche sugli SRS delle componenti verticali delle registrazioni italiane saranno eseguite prossimamente.

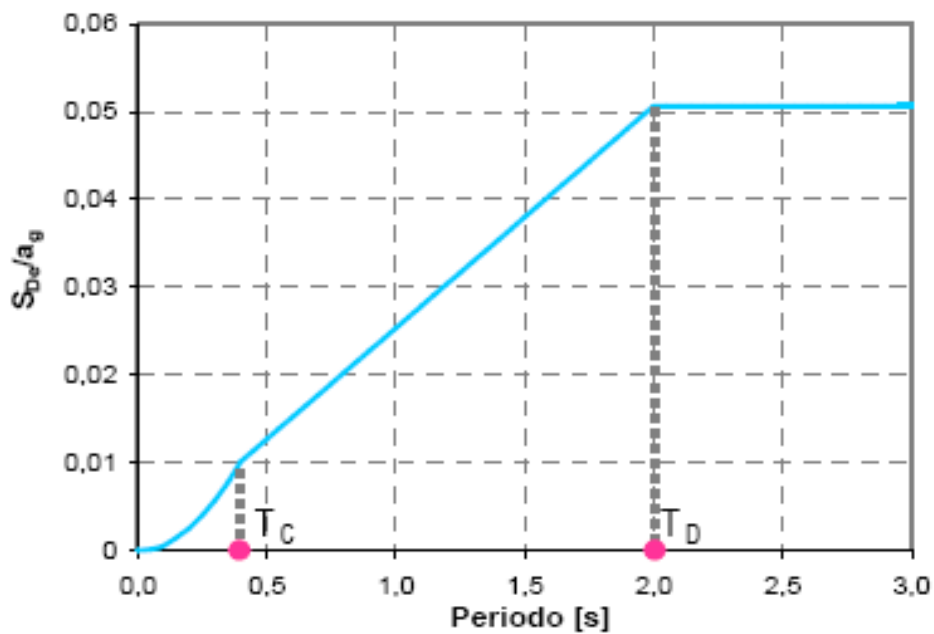


Figura 11. Modello bilineare dello SRS.

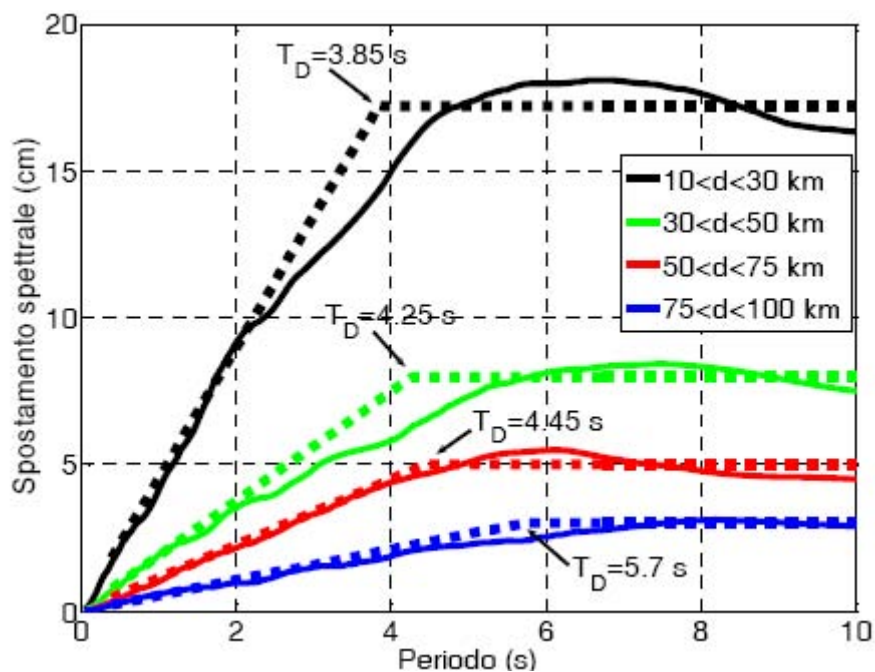


Figura 12. Ipotesi di modello di riferimento per SRS a confronto con spettri mediani della classe $6.4 \leq M \leq 6.6$.

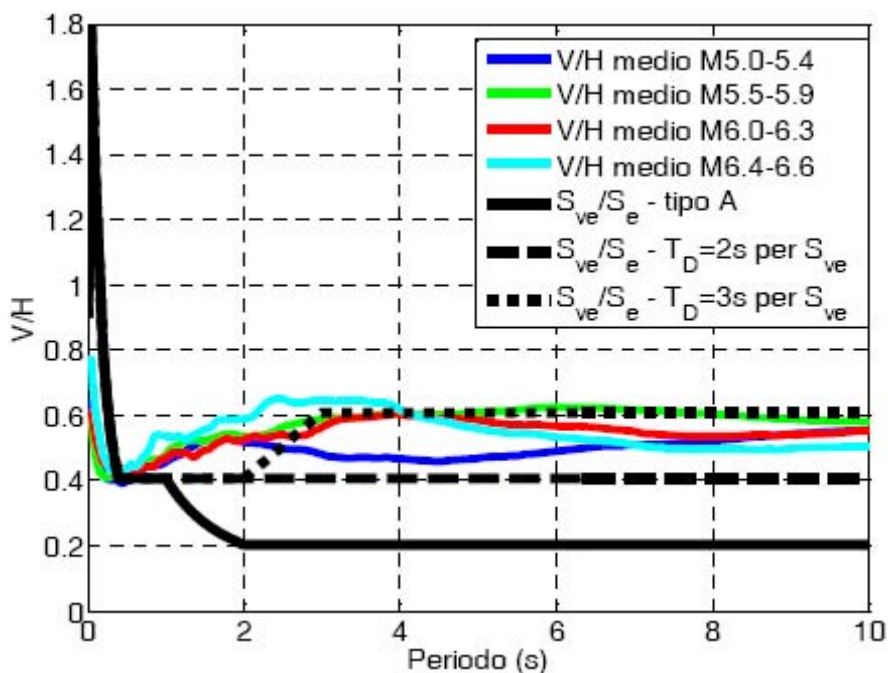


Figura 13. Rapporti tra gli spettri medi della componente verticale rispetto a quella orizzontale.

Introduzione di effetti di campo vicino (e del meccanismo di faglia) nel modello di riferimento (Task 3)

Nella (5), il termine correttivo di campo vicino per meccanismi trascorrenti e inversi o normali risulta ben determinato attraverso le simulazioni numeriche: la Fig. 14 mostra l'andamento del 1° membro della (5) nel caso di 12 delle 36 simulazioni effettuate per il meccanismo trascorrente. Ogni

riquadro differisce per il valore della velocità di rottura e la posizione del punto di nucleazione. I valori, e le espressioni, di alcuni dei termini che compaiono nelle (5) e (6) sono precisati in Tab. 4.

Tabella 4. Valori di a , b , della dispersione σ e della funzione f_R nelle (5) e (6).

	Faccioli et al. (2004)		Inserendo meccanismo focale e direttività			
	a	σ	a	b	f_R	σ
Trascorrente (Z)	-0.755	0.27	-0.577	0.708	$\sin(2\theta)$	0.15
Trascorrente (H)	0.038	0.16	0.307	0.475	-	0.11
Normale/inversa (Z)	-0.416	0.30	-0.304	0.942	$\sin(\theta)$	0.19
Come sopra H (hw)	-0.192	0.27	-0.070	0.778	$\sin(\theta)$	0.18
Come sopra H (fw)			0.141			

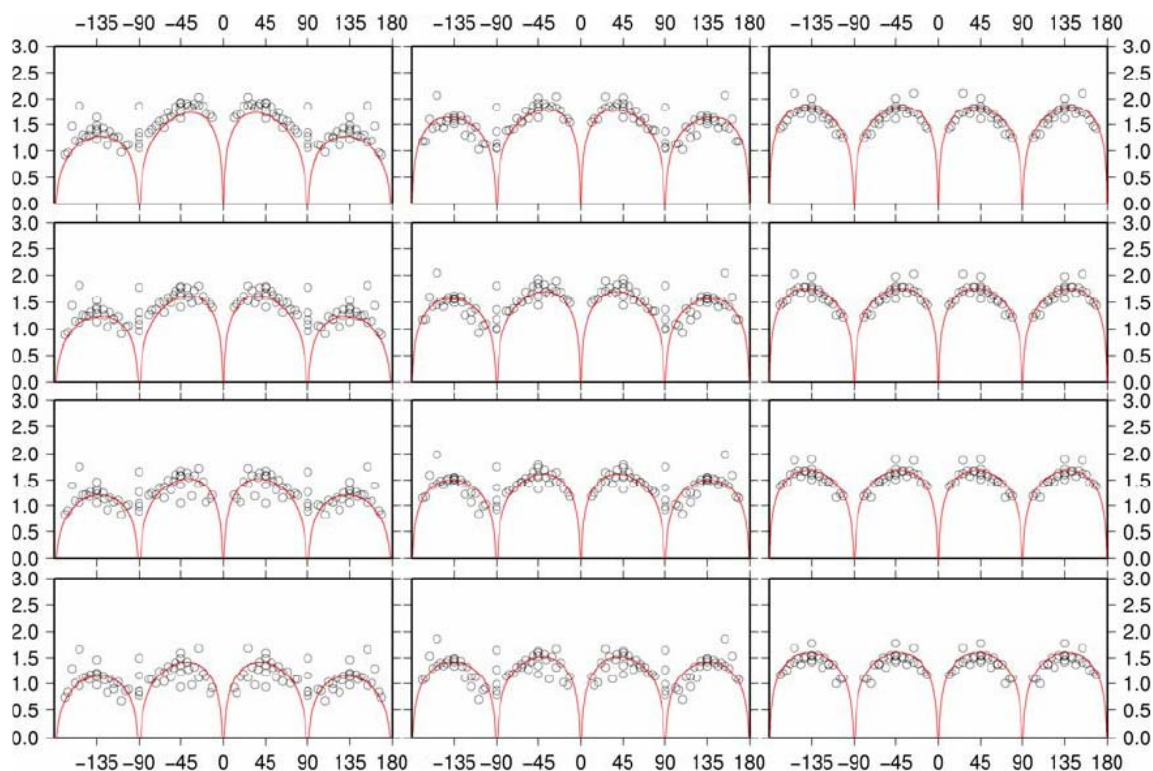


Figura 14. Variazione di $\log(d_{\max} r_c)$, eq. (5), in funzione dell' "angolo di vista" θ per meccanismo focale trascorrente, componente verticale. Ogni riquadro corrisponde ad una rottura di faglia particolare. La linea rossa corrisponde all'eq. (5).

Per quanto riguarda la rappresentatività della base dati mondiale quanto ad effetti di sorgente e meccanismo di faglia (vedi paragrafo relativo) si è verificato che:

1. I valori di $D_{10} \cdot R_i$ da terremoti giapponesi ben registrati (Tottori 2000, Niigata Chuetsu 2004, Kyushu 2005), nonché da alcuni terremoti islandesi, tutti con M_w prossima a 6.5, mostrano – per gli eventi trascorrenti – un andamento azimuthale in accordo con i profili di radiazione teorici per il moto normale (FN) e parallelo (FP) alla faglia, vedansi le Figg. 15 e 16.
2. Per l'evento forte meglio registrato da faglia inversa (Niigata Chuetsu 2004) le componenti FP ed FN hanno andamento del tutto simile e le uniche anomalie nell'andamento azimuthale di entrambe sono quasi certamente dovute a suolo di tipo D.

3. Per entrambi i tipi di meccanismo focale (salvo effetti particolari di sito) il valore di $D_{10} \cdot R_i$ calcolato con la media geometrica delle due componenti orizzontali è grosso modo costante.
4. Anche nelle registrazioni più prossime alla sorgente, per le magnitudo esaminate, la componente FN di D_{10} non prevale sulla FP; si verificherà quanto prima se questo vale anche per ordinate SRS a periodo $T < 10s$.

Tali osservazioni confermano la legittimità della scelta di cui al paragrafo citato.

Modifiche ad attenuazione e a forma di SRS su grandi bacini sedimentari (Task 5a), e per effetti di bordo in valli e bacini di minori dimensioni (Task 5b)

Le variazioni di SRS in presenza di bacini sedimentari di grandi dimensioni in Italia (Task 5a) possono essere significative, in funzione del profilo di velocità crostale (Fig. 17). Si è trovato che gli SRS mediani (con relativa fascia di dispersione) simulati attraverso il modello 1D "rock" di Fig. 17 concordano assai bene con gli SRS mediani dalla base dati mondiale (v. Fig. 3 e 4). La Fig. 18 mostra tuttavia come le variazioni in ampiezza e forma risultino particolarmente ampie nelle regioni in cui lo spessore degli strati con $V_S < 2$ km/s raggiunge i 3-4km, come in alcuni settori della pianura Padana. In questo caso, negli scenari costruiti con modellazioni 1D, le ordinate spettrali sono, rispetto alla previsione su roccia, più che doppie per $T > T_D$ a distanze dal bordo maggiori di 75km, spostando T_D a valori > 10 s. L'effetto risulterebbe ancora più marcato per distanze < 75 km, dove appare più netta la deviazione dalla forma bilineare per SRS. Tuttavia, questi valori di T_D potrebbero essere sovrastimati dal modello 1D, e occorre una verifica da modellazioni 3D, già in corso.

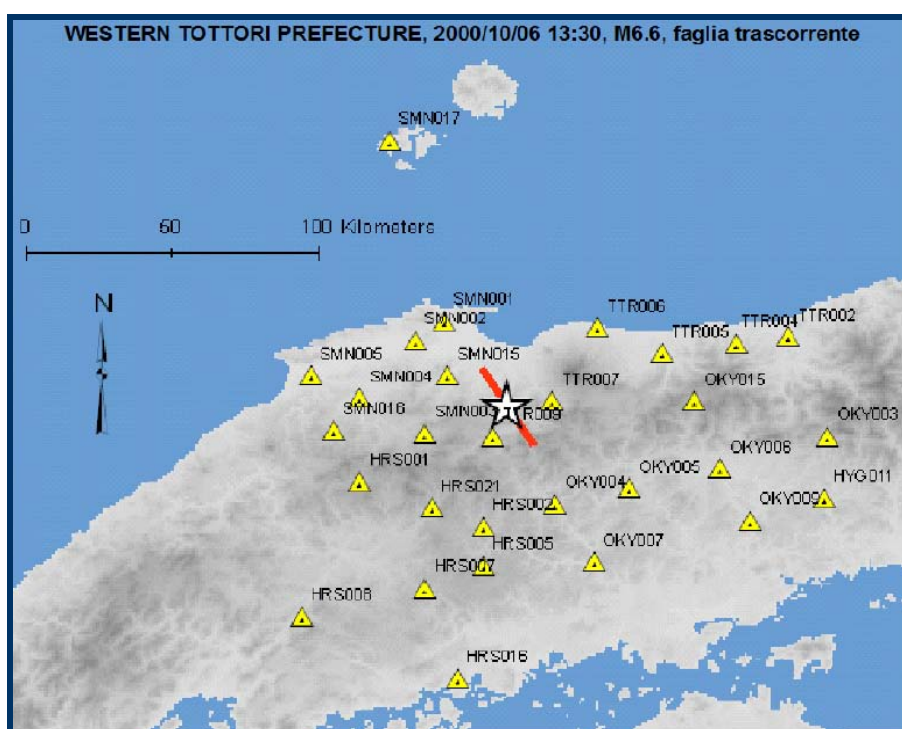


Figura 15. Epicentro, traccia della faglia generatrice e stazioni accelerometriche per il terremoto di Tottori (Giappone) del 2000.

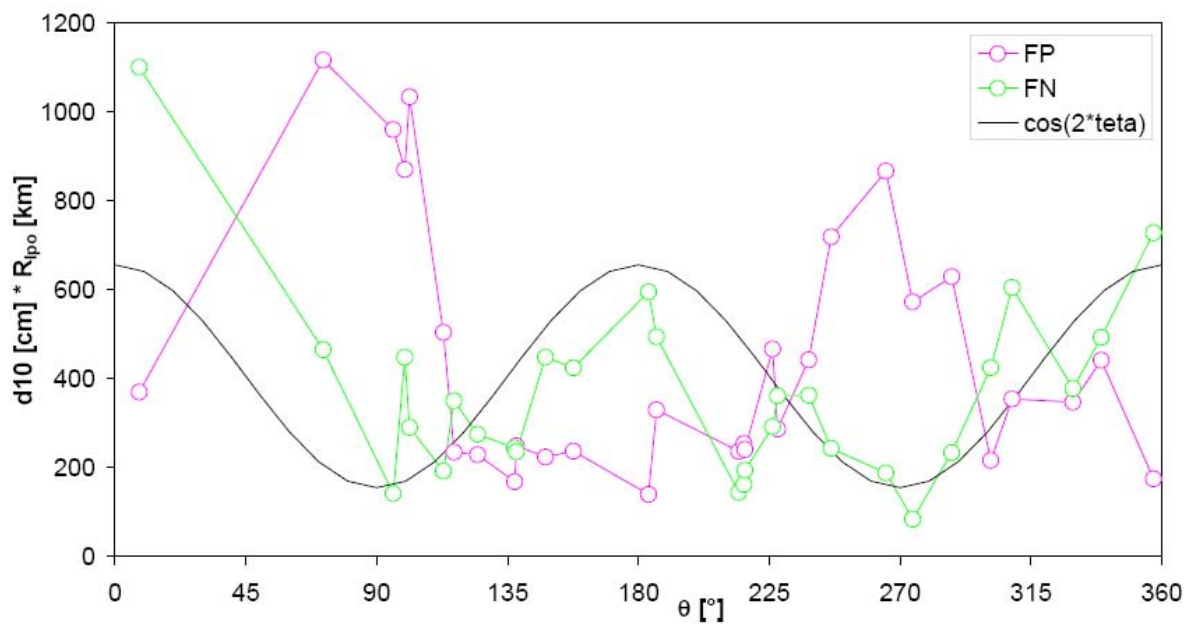


Figura 16. Terremoto di Tottori (v. Fig. 15): andamento di $D_{10} \cdot R_i$ per la componente di moto parallela (FP) e normale alla faglia, in funzione dell'azimut θ della stazione rispetto alla faglia. E' anche mostrato il profilo di radiazione $\cos(2\theta)$ delle onde SH in campo lontano.

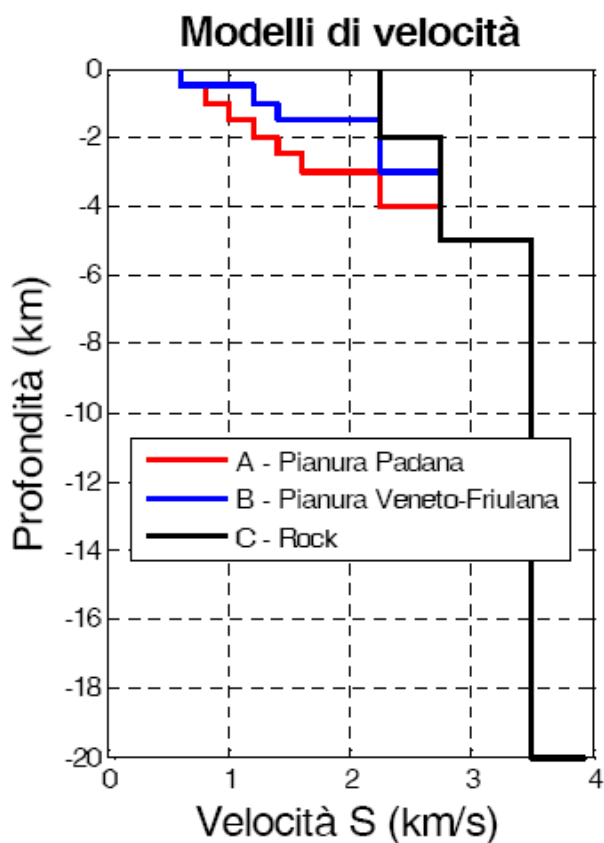


Figura 17. Velocità delle onde S per i diversi modelli strutturali utilizzati: Pianura Padana (A, rosso), Pianura Veneto-Friulana (B, blu), modello di riferimento "rock" (C, nero). A è stato usato per gli scenari relativi ai terremoti Garda-Veronese e Garfagnana, B e C rispettivamente per gli scenari "Veneto" e "Rock".

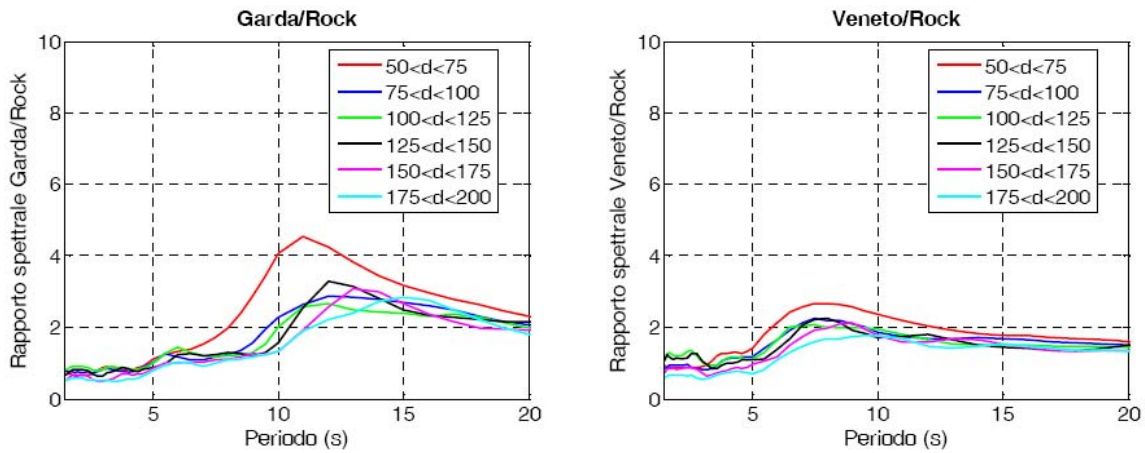


Figura 18. Rapporti tra gli SRS calcolati a partire da un modello strutturale che include un bacino sedimentario profondo (profili A e B di Fig. 17) e quelli ottenuti per il modello “rock” (profilo C in Fig. 17), per due scenari sismici denominati “Garda” e “Veneto”.

Per quanto riguarda i criteri di riconoscimento di bacini e valli sedimentarie di medie e piccole dimensioni, essi sono fondamentalmente rappresentati da (i) aree a pendenza nulla, sufficientemente estese, v. Fig. 19(a), e (ii) simultanea presenza di depositi sedimentari (Fig. 19b). Quanto alla condizione $W_{\min} = 2 (T_D \cdot V_S)$, per la larghezza minima di interesse per un bacino o valle (basata sull'intervallo di periodi rilevanti, v. Fig. 19c), si riporta in Fig. 20 l'esempio della piana di Gioia Tauro, dove l'analisi di pericolosità (illustrata più sotto) fornisce $T_D=3.5s$ (per periodo di ritorno 475 anni); se si assume $V_S=500m/s$ mediamente i sedimenti della piana, risulta $W_{\min} \geq 3.5km$, chiaramente soddisfatta, come si vede dalle sezioni topografiche in Fig. 20.

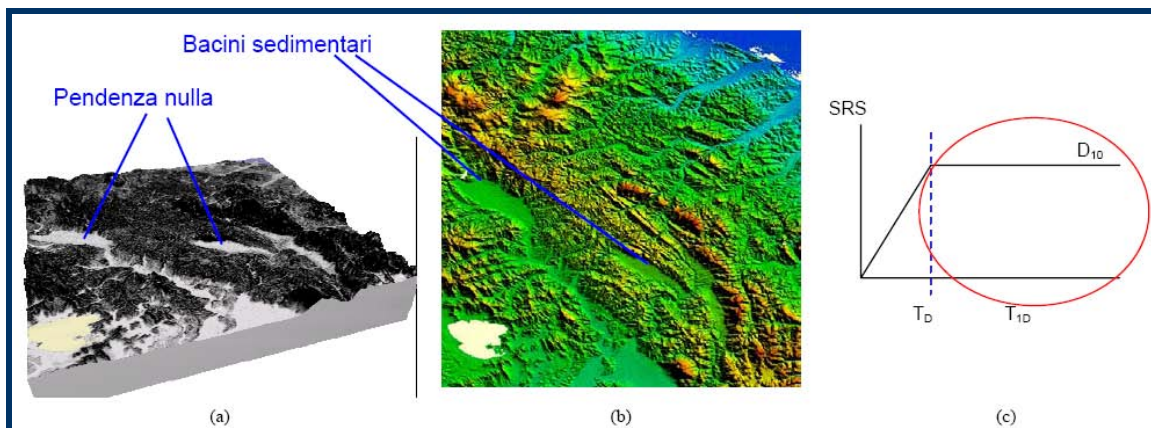


Figura 19. (a) Due esempi di zone a pendenza nulla, (b) dati DEM SRTM, e (c) definizione intervallo di periodi di interesse per S5.

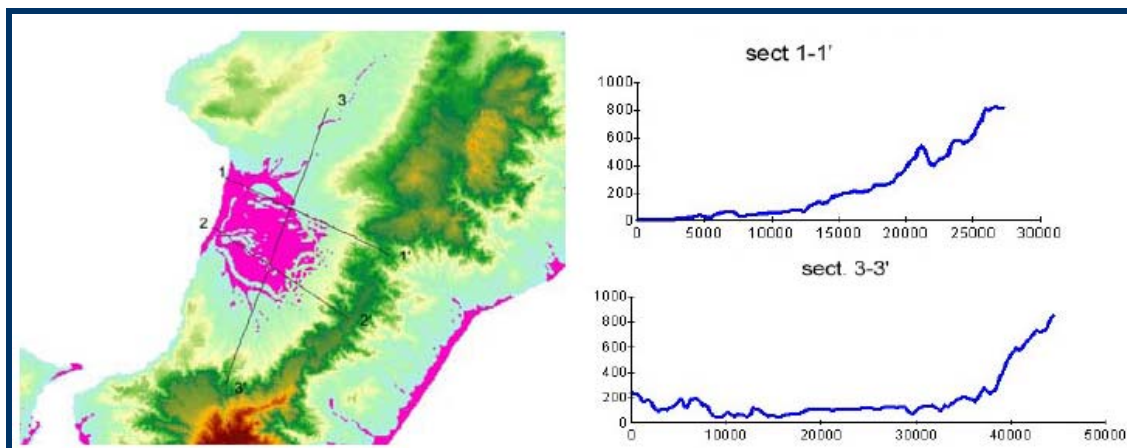


Figura 20. Piana di Gioia Tauro: individuazione tramite GIS dell'area di bacino (in rosa) e relative sezioni.

Nei prossimi mesi si procederà al riconoscimento sistematico di bacini e valli con i criteri testé descritti. Gli effetti legati alle onde superficiali diffratte dai bordi in valli e bacini di medie e piccole dimensioni possono fortemente influire su ampiezza e forma degli SRS. In Fig. 21 vengono mostrati degli esempi di variazioni di SRS, causate da onde SH-Love (a sinistra) e SV-Rayleigh (a destra), calcolate con simulazioni numeriche 2D alle differenze finite di bacini infinitamente estesi. I due casi sono saggi preliminari dello studio parametrico condotto all'interno del Task 5, finalizzato alla stima speditiva di variazioni di SRS in funzione di angolo di incidenza dell'eccitazione, geometria (profondità e pendenza del bordo) e impedenza sismica dei bacini. Come risulta dalla Fig. 21, le variazioni rispetto alle ordinate spettrali su roccia sono soprattutto significative per periodi $T < T_{1D}$ (= periodo fondamentale 1D del bacino nel punto più profondo²²) a causa dell'eccitazione dei modi superiori. Va ribadito che in questo intervallo potrebbe anche risultare $T < T_D$ e quindi l'amplificazione riguarderebbe lo spettro di risposta di accelerazione e non quello di spostamento. Occorre anche sottolineare che in queste simulazioni preliminari si sono usate velocità P ed S costanti nei sedimenti. Nel prosieguo delle ricerche si adotteranno profili di velocità verticali del tipo:

$$V_P(z) = 525 + 60 z^{1/2}$$

e

$$V_S(z) = 260 + 30 z^{1/2},$$

rispettivamente per onde P ed S, in accordo con il modello per le valli alpine definito recentemente nell'ambito del progetto SISMOVALP (2006). L'esito di tali modellazioni più realistiche, già iniziate, consentirà di meglio parametrizzare le variazioni di SRS in presenza di valli e bacini, per $T > T_D$. Si è già menzionato precedentemente come, nell'ambito di questa stessa problematica, relativamente a

²² I periodi dominanti legati a propagazione in 2D e 3D risultano sicuramente inferiori a T_{1D} in quanto derivanti da un modello più vincolato, e quindi più rigido.

valli e bacini con sezioni chiuse, si stia indagando - per meglio focalizzare gli aspetti da tenere maggiormente in considerazione - sul caso reale della piana di Gubbio, modellando la scossa principale della sequenza di Umbria-Marche del 1997 (26.9.97, ore 9.40, M_w 6). Si usano allo scopo analisi 2D con metodi numerici ad elementi spettrali e la tecnica DRM di accoppiamento del dominio di calcolo crostale, che contiene la sorgente, e quello "locale" che contiene il bacino alluvionale (Bielak et al. 2003, Faccioli et al., 2004). La Fig. 22 mostra uno schema del modello della sezione trasversale del bacino (passante per la stazione accelerometrica digitale di Gubbio Piana, GBP), con la stratigrafia adottata; si mostrano anche gli SRS medi calcolati dai sintetici in accelerazione lungo la superficie del bacino, distinti per colore in base alla loro posizione. E' riportato inoltre lo SRS della registrazione di GBP dell'evento citato e l'involuppo delle osservazioni dal database mondiale, per tipo di suolo C+D. Come si nota, l'amplificazione della risposta sui sedimenti è assai significativa: al centro valle gli spettri simulati "bucano" l'SRS medio e la sua fascia di dispersione per periodi compresi tra 1 e 2s mentre quello di GBP lo fa per periodi tra 1 e 5s. E' rilevante osservare che in questo caso T_{1D} è pari a circa 3s, a cui corrisponde il picco molto marcato dello spettro osservato nel sito GBP (Fig. 22).

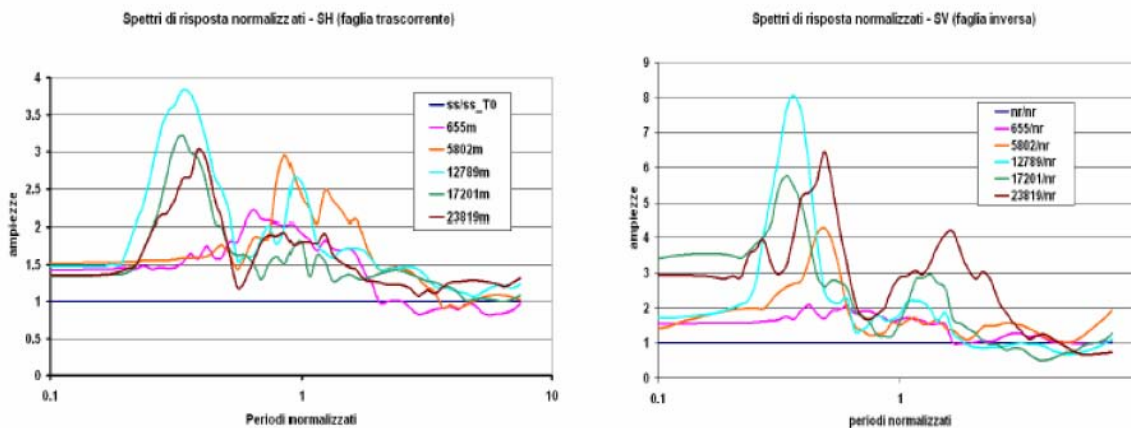


Figura 21. Variazioni (calcolate con modello 2D) dei rapporti spettrali SRS rispetto a roccia affiorante lungo un bacino profondo 600m ed infinitamente esteso, con contrasto di velocità pari a 3, pendenza del bordo e angolo di incidenza entrambi pari a 45°. I diversi colori rappresentano diverse distanze dal bordo e i periodi di vibrazione sono normalizzati rispetto al periodo fondamentale 1D dei sedimenti.

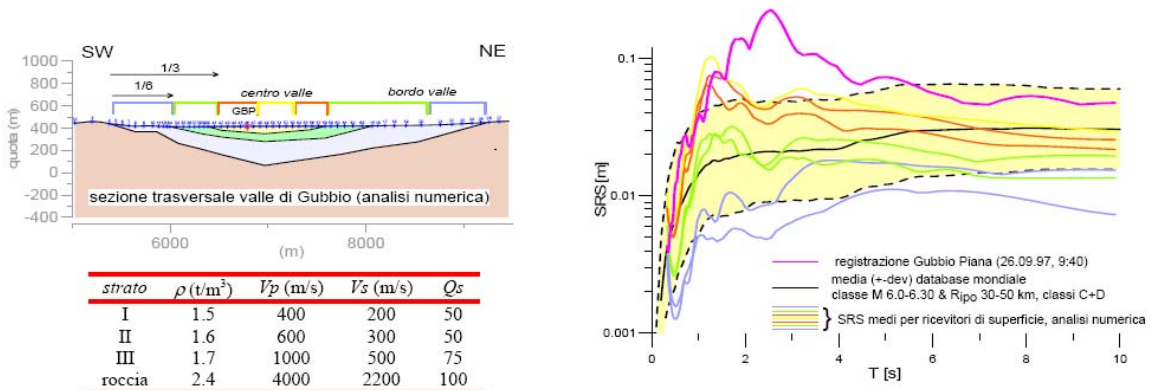


Figura 22. Analisi di risposta sismica lungo una sezione trasversale della piana di Gubbio. A sinistra: schema del modello con proprietà dei materiali. A destra: confronti tra osservazioni e risultati numerici.

Influenza di diverse forme di dissipazione sullo SRS (Task 2a)

A completamento di quanto già illustrato in 2.2.4, appare di particolare interesse la seconda delle attività già iniziate per la fase 2, cioè i confronti dello spostamento calcolato da analisi dinamiche non-lineari rigorose su modelli realistici di edifici a MGDL, usando come eccitazione accelerogrammi registrati, con lo spostamento stimato mediante SRS sovrasmorzato (valido per oscillatore a 1 GDL) per il quale il fattore ξ equivalente ($\xi_{\text{effective}}$) è valutato con le (7) e (8). Si sono usati 29 accelerogrammi registrati, di cui 14 da terremoti italiani, ottenendo la distribuzione risultante dei valori di DR di Fig. 23. Per ogni modello strutturale MGDL non lineare considerato si sono calcolati il valor medio, minimo e massimo dello spostamento massimo al variare dell'accelerogramma di eccitazione, ricavando poi anche il valor medio su tutti i casi. Pur essendo di sicuro conforto che i valori medi di DR sono prossimi all'unità, si è cercato di interpretare l'elevata dispersione risultante (maggiore di quella che risulta con accelerogrammi spetro-compatibili) valutando possibili correlazioni con parametri strong motion quali intensità spettrale di Housner, intensità di Arias, durata significativa e altri. Poiché non si sono finora ottenuti risultati soddisfacenti, tale verifica è in corso di approfondimento.

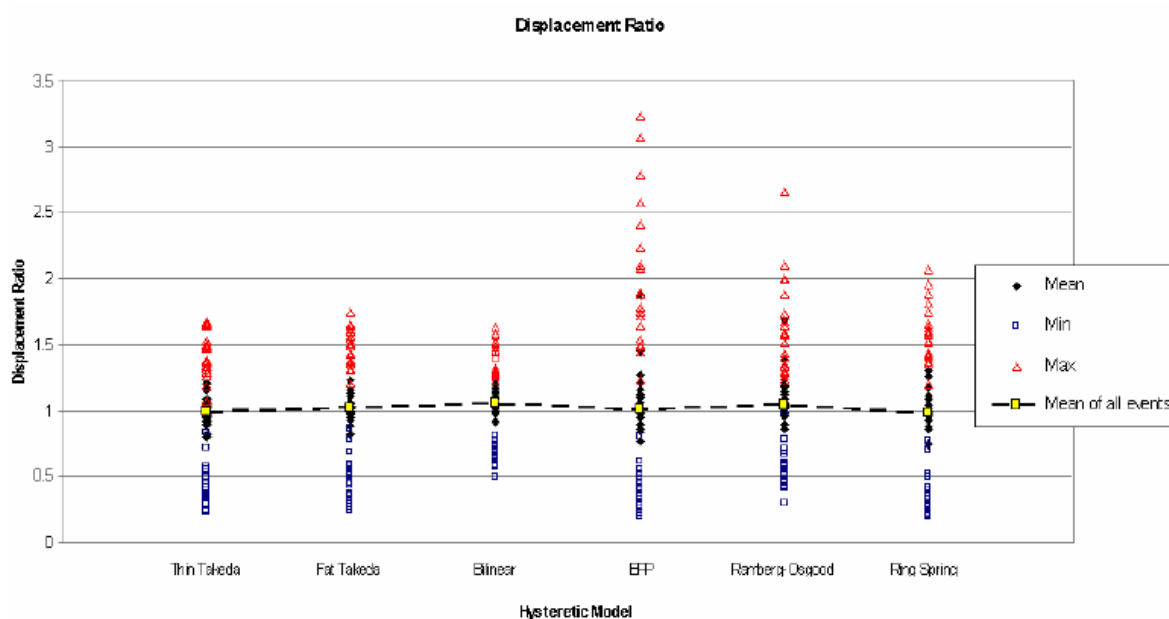


Figura 23. Variazione, per tipo di modello strutturale non lineare, del rapporto (displacement ratio) tra lo spostamento calcolato da analisi dinamica rigorosa della struttura a MGDL (valore "esatto") e quello approssimato ottenuto con lo SRS ridotto (sovrasmorzato) mediante le eq. (7) e (8).

Spettri di verifica per costruzioni monumentali (Task 2b)

Esempi tipici di cinematici di macroelementi in costruzioni monumentali sono mostrati in Fig. 24 e così pure la curva di capacità adottata, di tipo elastico non lineare, derivante dal modello di Housner (1963). Anche qui, come nel precedente Task (par. 3.5), l'obiettivo è di formulare un metodo semplificato (di tipo "normativo"), che usa per calcolare lo spostamento della struttura gli SRS "sovrasmorzati" (per curve di capacità derivanti dall'approccio cinematico non lineare): il metodo semplificato viene validato

confrontando lo spostamento massimo e la corrispondente accelerazione che esso fornisce con quelli ottenuti da analisi dinamiche non lineari passo-passo sul sistema a 1GDL, in cui viene integrata l'equazione di moto:

$$\ddot{\theta} + \gamma \dot{\theta} + p^2 r(\theta) = -p^2 \frac{a_g(t)}{g} \quad (11)$$

con: $\theta = \theta(t)$ grado di libertà rotazionale, γ coefficiente di smorzamento funzione dello smorzamento equivalente ξ_{eq} , $r(\theta)$ forza di richiamo illustrata in Fig. 24(c), $a_g(t)$ l'accelerazione al suolo, e g accelerazione di gravità. Non essendovi dissipazione di tipo isterético nel sistema, lo smorzamento equivalente ξ_{eq} , valutate diverse possibilità, è stato definito in funzione del periodo come segue: 1) $\xi_{eq} = 5\%$ costante per $T \leq T_1$ con $T_1 = 0.4s$ (valore convenzionale), 2) $\xi_{eq} = 20\%$ per $T \geq T_F$, 3) variazione lineare per $T_1 \leq T \leq T_F$. Il valore costante per $T \leq T_1$ è stato imposto con la finalità di rendere la fase non lineare il più possibile indipendente dal periodo iniziale T_0 , affetto da notevole incertezza. Il limite superiore per $T \geq T_F$ è stato introdotto sulla base di evidenze sperimentali (Doherty et al., 2002). Per i sistemi a 1 GDL sono state identificate 864 combinazioni considerando parametricamente intervalli di valori plausibili dei parametri T_0 , accelerazione di attivazione a_0 , e spostamento ultimo d_0 . Per ciascun sistema considerato è stato valutato il periodo secante $T_{max} = T(\theta_{max})$ e calcolato $\xi_{eq} = \xi_{eq}(T_{max})$ secondo la correlazione già descritta. Lo spettro elastico è stato quindi ridotto tramite il fattore proposto dall'Eurocodice 8 (eq. 3.6), in funzione di ξ_{eq} e sono stati valutati lo spostamento $S_d(T_{max})$ e la corrispondente accelerazione $S_a(T_{max})$ sullo spettro sovrasmorzato, secondo il metodo semplificato. Per la validazione, questi valori sono stati confrontati con lo spostamento massimo d_{max} (corrispondente a θ_{max}) e la corrispondente accelerazione $a(T_{max})$ ottenuti dalle analisi dinamiche non lineari. Per sinteticità, si è usata una particolare modalità di rappresentazione dei risultati (Fig. 25), con doppio asse delle ordinate. Sono così raffigurati: 1) lo SRS ($=S_d$) ridotto ed il periodo T ; 2) lo spettro di accelerazione S_a , anch'esso ridotto ed il periodo T ; 3) lo spostamento massimo d_{max} dalle analisi dinamiche ed il periodo T ; 4) l'accelerazione $a(T_{max})$ corrispondente a d_{max} e T . Il metodo semplificato fornisce valori corretti, se il punto d_{max} sta sullo spettro ridotto in S_d e, contemporaneamente, $a(T_{max})$ giace sullo spettro sovrasmorzato in S_a . Per accelerogrammi artificiali spettro-compatibili, e spettri S_d e S_a di confronto dall'Eurodice 8 (ridotti), il commento ai risultati è già stato fatto in precedenza: rispetto agli spettri reali dell'accelerogramma (sovrasmorzati), la previsione del metodo semplificato a periodo medio-lungo è in perfetto accordo con i risultati dinamici. Anche qui la situazione è meno soddisfacente, come già detto, quando l'eccitazione è data da accelerogrammi registrati, come si può vedere dalla Fig. 25, e come è già stato commentato in precedenza: in particolare, se lo SRS dell'accelerogramma reale è "liscio" (smooth), ovvero privo di picchi o gole significative, il metodo semplificato fornisce buoni risultati, come si nota in Fig. 25b per la registrazione di Duzce (1999).

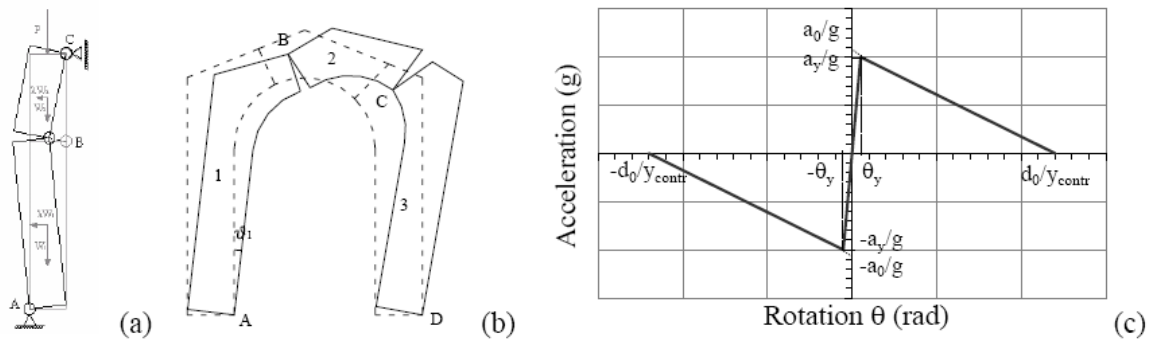


Figura 24. Cinematismi di macroelementi: a) facciata (in presenza di catene); b) arco trionfale; c) curva di capacità (modello di Housner) con ramo elastico in termini di accelerazione (in unità di g) e rotazioni θ .

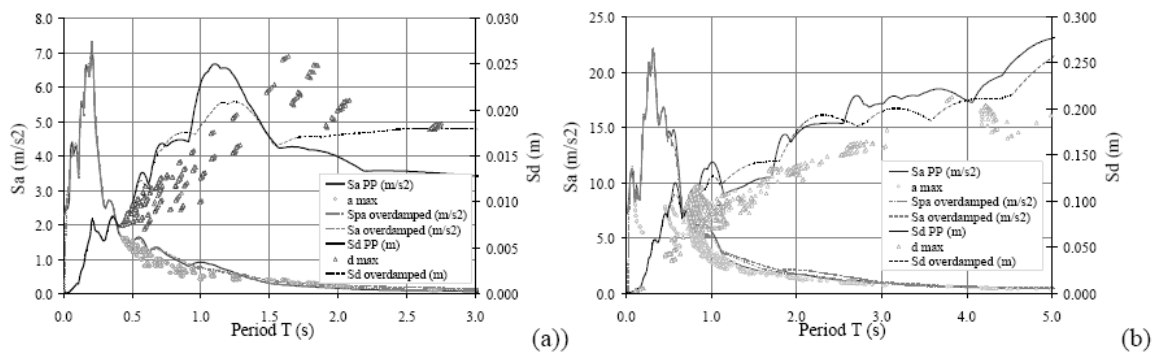


Figura 25. Confronto tra analisi dinamiche e procedura semplificata: (a) Eccitazione data da Umbria-Marche 1997 reg. Colfiorito Casermette; (b) Eccitazione data da Turchia (agosto 1999), reg. di Duzce.

Analisi probabilistiche, saggi di rappresentazione della pericolosità sismica in SRS

Le analisi probabilistiche per disaggregazione condotte (con programma di calcolo elaborato ad hoc, e debitamente validato) su molti siti rappresentativi hanno, come già detto in precedenza, consentito di precisare i limiti degli intervalli di M_w e R_i di definizione della relazione di attenuazione (3) per l'applicazione al territorio italiano²³. Un esempio è illustrato in Fig. 26: sono stati così stabiliti, in relazione alla relazioni di attenuazione (2) e (3) i seguenti limiti di definizione, per periodi di ritorno fino ad almeno 2500 anni:

- magnitudo: $5 \leq M_w \leq 7+$;
- distanza ipocentrale: $5 \text{ km} \leq R_i \leq 150 \text{ km}$ (circa).

Per la verifica preliminare di plausibilità del modello bilineare semplificato di SRS, un risultato esemplificativo per una delle due regioni analizzate (Arco Calabro) è presentato in Fig. 27. Per il sito considerato (Gioia Tauro, in regione ad elevata pericolosità) si ha ottimo accordo tra lo SRS bilineare determinato con analisi probabilistiche separate su accelerazione massima (da cui si determina con la (9) il tratto linearmente crescente) e D_{10} (tratto costante), e lo spettro medio dalle osservazioni mondiali per le classi di magnitudo e distanza contenenti la coppia dominante (nella fattispecie $6.4 \leq M_w < 6.6$ e $10 \text{ km} \leq R_i < 30 \text{ km}$) ottenuta preliminarmente con una analisi per disaggregazione sullo stesso sito. In particolare l'analisi probabilistica è stata condotta sia al 50 che al 84.1 percentile della previsione della relazione di attenuazione. Il buon accordo evidenziato in Fig. 27 è stato riscontrato anche per la quasi totalità delle altre località indicate sulla carta a

²³ Nel calcolo probabilistico per disaggregazione si è usato il 50-percentile della (3) aumentato di uno scarto, come usuale.

sinistra della figura (unica eccezione: Crotona), e anche per l'altra regione studiata: Alpi Occidentali. Sulla scorta di questi risultati assai confortanti sul modello SRS bilineare forniti dall'analisi probabilistica, si prevede che questa verrà estesa in tempi brevi (su suolo rigido) a tutto il territorio nazionale, predisponendo però altre validazioni indipendenti (spettri a pericolosità costante calcolati con relazioni di attenuazione per le ordinate SRS dipendenti dal periodo, ricavate dalla stessa base dati mondiale).

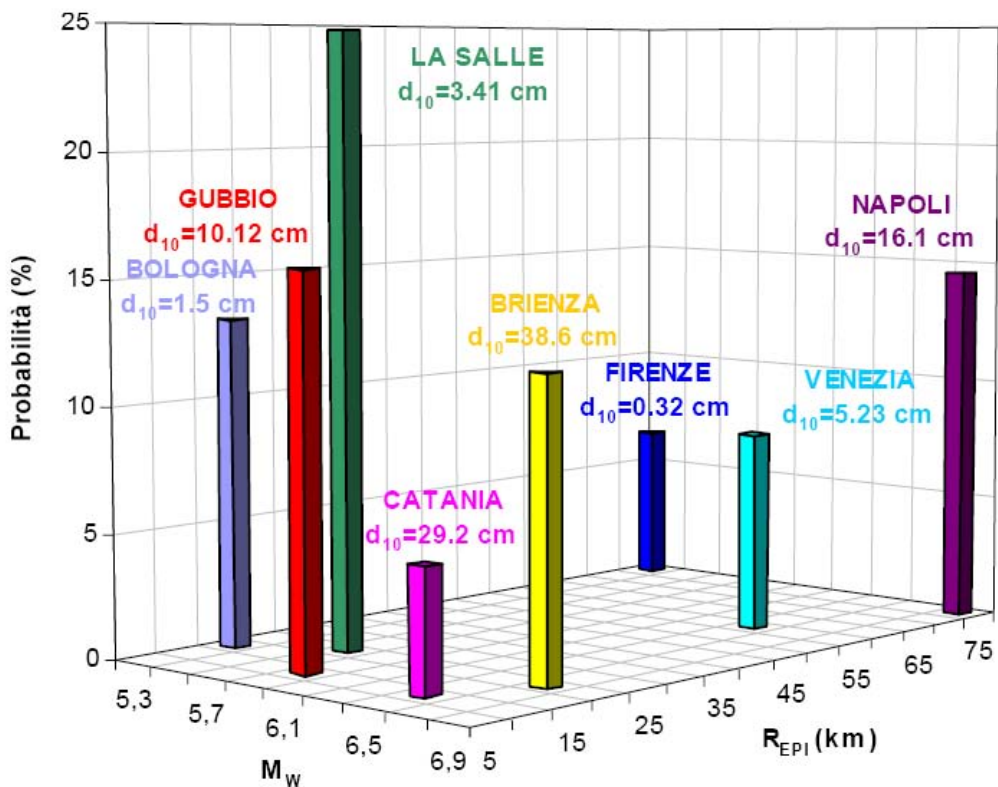


Figura 26. Analisi per disaggregazione della pericolosità in D_{10} per periodo di ritorno 475 anni: ogni barra misura il contributo alla pericolosità (in %) della coppia (M , R_{epic}) che ha maggiore influenza sul sito indicato, del quale è anche dato lo spostamento a 10s (D_{10}).

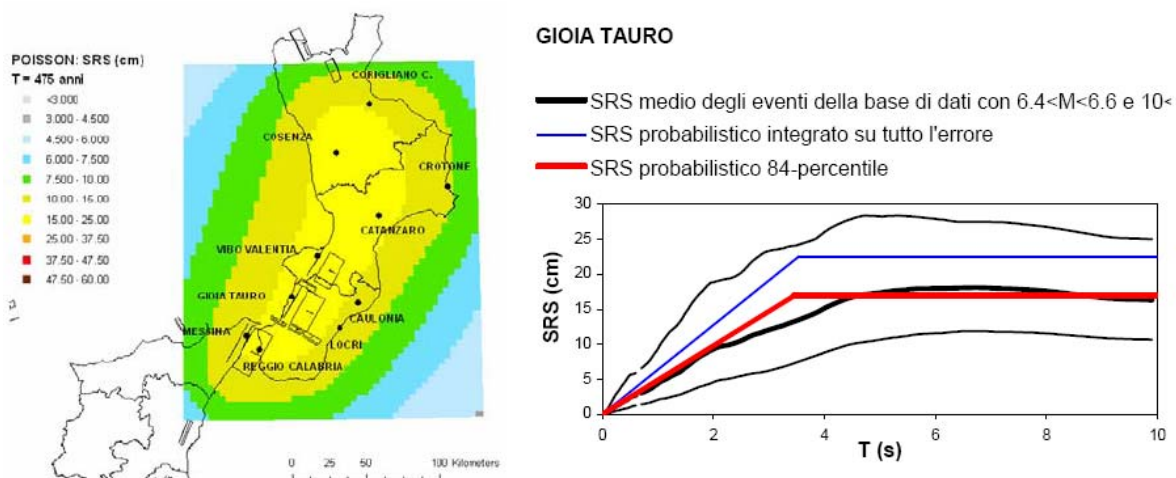


Figura 27. Arco Calabro: pericolosità in D_{10} nell'ipotesi poissoniana sulle ZS929 e 930 per 475 anni (a sinistra) e confronto dello SRS probabilistico bilineare con lo SRS medio dai dati mondiali nell'intervallo di M e R_i corrispondente alla coppia dominante della pericolosità al sito di Gioia Tauro.

Eventuali difficoltà maggiori, modifiche di indirizzo, valutazione dell'attività delle UR, interazione con DPC

Non vi sono state difficoltà maggiori, e non emerge quindi la necessità di apportare modifiche di indirizzo significative al progetto S5. Anche le attività previste per il secondo anno non subiranno pertanto variazioni sostanziali. Vedansi anche i commenti sui singoli Deliverables. Per quanto riguarda la valutazione delle UR, quasi tutte hanno contribuito fattivamente al raggiungimento di una percentuale consistente degli obiettivi prefissati. Tuttavia, si ritiene utile la seguente valutazione più dettagliata del loro apporto:

- E' stato di particolare ampiezza (ben superiore al previsto) e qualità lo sforzo svolto dalle UR 6 (Politecnico di Milano) e UR 3 (INGV Milano), che hanno affrontato la raccolta e organizzazione della base dati accelerometrica mondiale, le elaborazioni statistiche degli spettri e della relazione di attenuazione per D_{10} , l'aggiornamento e perfezionamento del modello di SRS, e i primi saggi concreti di carte di pericolosità in spostamento di parti del territorio italiano.
- Di buon livello, con vari spunti di originalità e del tutto in linea con le previsioni e i DL attesi l'operato delle UR2 (INGV Roma), UR4 (OGS Trieste), UR7 (Eucentre Pavia) e UR8 (Università di Genova).
- La UR5 (OGS Trieste) sembra aver trovato negli ultimi mesi del primo anno il giusto aggancio con le esigenze del progetto, dopo un periodo iniziale di incertezza e difficoltà di messa a fuoco.
- La UR1 (INGV Catania), pur avendo raccolto una notevole quantità di registrazioni weak motion di potenziale interesse ai fini del progetto, ha manifestato notevoli (e talora inspiegabili) difficoltà ad assimilare i criteri di rappresentazione dei dati e del loro uso ai fini richiesti (relazione di attenuazione in D_{10} per i terremoti etnei e sua eventuale anomalia rispetto alla (3)). Nell'ultima parte del primo anno, grazie anche all'interazione molto positiva con UR2, si sono avuti segni sensibili di progresso, manifestatisi positivamente con la proposta della eq. (4). Circa la continuazione dell'attività della UR1 nel secondo anno, si ritiene utile una valutazione più collegiale in sede di comitato di coordinamento dei progetti.
- Meno positiva del previsto la contribuzione della UR9 (Provincia di Trento), peraltro non finanziata dal progetto, dovuta soprattutto a difficoltà logistiche e lentezza nell'installazione delle stazioni della rete accelerometrica, nonché al funzionamento inferiore al previsto di alcuni strumenti.

Il progetto S5 ha goduto di un'interazione continua, e invero assai proficua con i rappresentanti del DPC (responsabile F. Sabetta), che hanno partecipato a tutte e tre le riunioni plenarie del progetto nel primo anno, e hanno partecipato in profondità, anche con suggerimenti importanti, al dibattito scientifico che ivi si è tenuto. Di fatto, si può dire che la loro partecipazione è stata in parte assimilabile più a quella di un'altra UR che a una funzione di controllo di rispondenza del lavoro svolto ai termini del progetto.

Stato di avanzamento dei singoli deliverables

Task 1

6 mesi: D1 - Completamento base dati mondiale di registrazioni strong motion digitali, acquisizione della componente verticale per tutta la base dati, correzione, e processamento degli spettri.

12 mesi: D2 - Conferma/modifica modello di rif. iniziale FPR04; se necessarie modifiche, formulazione di ipotesi di modello aggiornato.

Entrambi i DL ampiamente completati, e si è ad uno stadio avanzato anche per il DL a 18 mesi, come si evince da questa relazione.

Task 2

Tema (a)

6 mesi: D5 - Completamento attività (a), (b) pag. 55

12 mesi: D6 - Quantificazione fattori di riduzione dello SRS, rapportati a spettro standard (smorzamento 5%), in funzione di duttilità e T.

Tema (b)

6 mesi: D8 - Completamento analisi preliminari per scelta di configurazioni caratteristiche in strutture monumentali ai fini analisi SRS.

12 mesi: D9 - Esecuzione e completamento analisi dinamiche non lineari di modelli di configurazioni caratteristiche in strutture monumentali.

Tutti e quattro i DL completati, come illustrato nei precedenti capitoli. Da approfondire le marcate differenze nei risultati a seconda che si usino accelerogrammi di eccitazioni artificiali o artificiali (spettro compatibili).

Task 3

6 mesi: D11 - Formulazione quantitativa preliminare, applicabile a relazioni di attenuazione, di modifiche a SRS per direttività in funzione di T e M.

12 mesi: D12 - Formulazione quantitativa, applicabile a relazioni di attenuazione, di modifiche a SRS per meccanismo di faglia.

Entrambi i DL in larga parte completati (90%), ma rimodulati dalle considerazioni esposte in precedenza, in particolare per il D12 si vedano le eq. (5) e (6), che vanno trasformate in D_{10} ed espresse in funzione di R_i (dist. ipocentrale) anziché di r_c (dist. dal centro della zona di rottura).

Task 4

6 mesi: D14 - (a) Italia: formazione base dati per eventi con $M > 4$ e verifica se regionalizzare o meno attenuazione spostamento di picco (D_{10}); (b) Zona etnea: selezione base dati e prime

formulazioni rel. di atten.; (c) Trentino: layout configurazione finale rete accelerometrica e analisi primi dati.

12 mesi: D15 - (a) Italia e zona etnea: relazioni di attenuazione finali per spostamento di picco del suolo - prima uscita; (b) Trentino: quadro attività rete accelerometrica fine 1° anno, e ipotesi su modelli di attenuazione weak motion.

D14 (a) e (b) completati: non è emersa evidenza che giustifichi relazioni di attenuazione regionalizzate per D_{10} .

D15 (a) in buona parte brillantemente compiuto per i dati italiani (85%, mancano le elaborazioni sulle componenti verticali delle registrazioni), grazie anche al confronto con la regressione dalla base dati mondiale; i dati etnei, per un completo utilizzo nelle regressioni (al momento sono stati usati solo eventi con $M_w > 4$), necessitano di modellazione ad hoc mediante sismogrammi sintetici per la stima di M_w , per magnitudo inferiori a 4 (compimento stimabile al 70% per i dati etnei).

D14 (c) e D15 (b) completati solo parzialmente, causa ritardi per difficoltà logistiche nell'installazione delle stazioni delle rete accelerometrica del Trentino (attualmente 5 stazioni). Dati ancora scarsi.

Task 5

6 mesi: D17 - (a) Definizione configurazioni geologiche e sorgenti (scala decine a centinaia km) da modellare numericamente e uscita primi risultati; (b) impostazione e risultati prime analisi 2D per effetti di bordo bacini sedimentari.

12 mesi: D18 - (a) Modelli attenuazione numerica grandi strutture geologiche, tipo Pianura Padana; (b) Formulazione (eventuali) modifiche ad attenuazione d_{max} per effetti di bordo bacini sedimentari - prima uscita.

I deliverables D17 e D18 hanno raccolto i contributi di numerose unità di ricerca (UR2, UR3, UR4 ed UR6) che, attraverso modellazioni numeriche, hanno fornito valutazioni preliminari delle modifiche agli SRS necessarie in bacini sedimentari di varia forma e dimensione. Per la pianura Padana e Veneto-Friulana, i calcoli con modellazioni 1D sono stati completati, e sono in fase di avanzata elaborazione modellazioni 3D non previste nel piano iniziale (UR4). Per la stima degli effetti 2D e 3D (legati alla diffrazione ai bordi), i metodi di calcolo sono stati calibrati con casi reali (piana di Gubbio, da parte di UR3 ed UR6) e predisposti per test parametrici (UR2).

D17(a), circoscritto a pianure Padana e veneto-friulana, può considerarsi completato, e così pure D17 (b).

D18(a) completato per quanto riguarda modelli crostali 1D. D18 (b) ridefinito: non si tratta più tanto di formulare modifiche ad attenuazione D_{10} (= d_{max}) bensì allo SRS adottato per periodi $T > T_D$, in funzione di pochi parametri geometrici e meccanici e del livello di sismicità. Completati e verificati i criteri di identificazione di valli e bacini, in corso il loro "inventario".

Task 6

6 mesi: D20 - Indagini preliminari su strumenti di calcolo per creazione mappe probabilistiche di pericolosità in termini di SRS.

12 mesi: D21 - Integrazioni prime uscite da altri tasks per verificare effetti loro inclusione su mappe pericolosità, in particolare per campo vicino e importanti bacini sedimentari.

D20 completato e arricchito (v. Cap. 2 e 3 sopra).

D21 completato per un aspetto con decisione di non introdurre esplicitamente effetti di campo vicino in mappe di pericolosità. Per importanti bacini sedimentari, sostanzialmente completato a seguito della ridefinizione descritta sopra, in D18 (b).

Fattibilità delle attività previste per il secondo anno: previsioni, aggiustamenti dei DL, esigenze

Le attività e, in particolare, i DL previsti per il 2° anno appaiono fattibili, con i seguenti aggiustamenti, peraltro di limitata entità:

- D4 (modello SRS comprendente effetti di campo vicino): ritenuto non più necessario, per quanto sopra ampiamente argomentato.
- D7, verrà ampliato con un nuovo obiettivo: i risultati ottenuti (che mirano alla definizione di SRS sovra-smorzati) saranno estesi a SRS anelatici, tipicamente impiegati in metodologie di progettazione diverse dal DDBD (Direct Displacement-Based Design), rispondendo così a una delle richieste dei revisori.
- D13: vi sarà solo la relazione scientifica finale, essendo venuta meno – a ragione di quanto sopra ampiamente argomentato – la necessità di ricorrere a una formulazione semplificata rispetto a modellazioni avanzate.
- D16: per Italia è già stato sostanzialmente completato a 12 mesi. Per i terremoti etnei, la difficoltà maggiore nella prima fase è derivata dalla inadeguatezza delle magnitudo disponibili per gli eventi locali (M_L o M_d , entrambe prive di calibrazione specifica per l'area etnea), che non ha consentito di calcolare regressioni affidabili per D_{10} sulla base delle registrazioni selezionate. Stime di M_w sono attualmente disponibili solamente per gli eventi più forti ($M > 4$), relativi allo sciame di ottobre 2002. Grazie alle registrazioni accelerometriche RAN di questi eventi si è comunque potuto, in via preliminare, modificare la dipendenza dalla magnitudo valida per il resto dell'Italia in modo da rendere la (3) applicabile anche per l'area etnea (eq. 4). Per ovviare alla carenza notata per gli eventi selezionati da UR1, tutti con $M < 4$, la stessa UR procederà nella seconda fase al calcolo di M_0 simulando le forme d'onda di buona qualità disponibili (circa 60) con sismogrammi sintetici. Ciò dovrebbe consentire di migliorare la (4) includendo anche una correzione sulla distanza che riproduca la più rapida attenuazione di questi eventi entro i primi 20-30km.
- D19: viene ridefinito nel senso già spiegato: le modifiche sono da apportare alla forma dello SRS di riferimento, piuttosto che alla relazione di attenuazione.

- D22: qui entra in gioco potenziale interazione con progetti S2 ed S5 (scelta modello zone sismogenetiche da usare per carta di pericolosità), e forse S1. Per evitare rischi legati a non uscite di prodotti attesi dagli altri progetti, verranno usate – con appropriate modalità di inserimento anche in albero logico – le zonazioni sismogenetiche di DISS3 (versione che sarà disponibile al 2007) e la ZS9, con eventuali modifiche che potranno essere rese disponibili da S1.
- D23: è il DL fondamentale di S5. Tenendo anche conto che, allo stato, la sinergia prevista con S1 nella elaborazione delle mappe finali potrebbe essere meno estesa di quanto previsto inizialmente, si delineano sin da ora le seguenti caratteristiche essenziali:
 - il parametro base di rappresentazione della pericolosità sarà D_{10} ;
 - il modello base dello SRS sarà quello bilineare illustrato in questa relazione;
 - gli ingredienti minimi per la costruzione dei rami dell'albero logico saranno: almeno 2 diverse rappresentazioni della geometria delle zone sismogenetiche, modello di terremoto caratteristico accanto a processo poissoniano per alcune zone e faglie sismogenetiche, tassi di occorrenza e criteri di completezza trattati come in Gruppo di Lavoro (2004);
 - in vista della grande robustezza dei risultati ottenuti sull'attenuazione del parametro D_{10} , non si prevede l'uso di altre relazioni di attenuazione;
 - verifica indipendente dei risultati (almeno per alcune regioni) attraverso spettri a rischio uniforme, con relazioni di attenuazione dipendenti dal periodo di vibrazione (che verranno elaborate nella seconda fase dalla base di dati mondiale).

Riferimenti bibliografici

- Bielak J., Loukakis K., Hisada Y., Yoshimura C. (2003), Domain Reduction Method for three-dimensional earthquake modeling in localized regions, Part I: Theory, Bull. Seism. Soc. Am., 93 (2), 817-824.
- Bommer, J.J., Mendis R. (2005). Scaling of spectral displacement ordinates with damping ratios. Earthq. Engng. Struct. Dyn. 34, 145–165.
- Cassano E., Anelli L., Fichera R., e Cappelli, V. (1986). Pianura Padana – interpretazione integrata di dati geofisici e geologici. 73° Congresso Società Geologica Italiana, 29 settembre – 4 ottobre 1986, Roma.
- CEN (Comité Européen de Normalisation) (2004) Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, Brussels, May.
- Chávez-García F. e Faccioli E. (2000). Complex site effects and building codes: Making the leap, J. Seismol., 4 (1), 23-40.
- Doglioni C. (1993). Some remarks on the origin of foredeeps. Tectonophysics 228, 1-20.
- Doglioni, F., Moretti A. & Petrini V. (1994). Le chiese e il terremoto. Trieste: Edizioni LINT.
- Doherty K.T., Griffith M.C., Lam N., e Wilson J. (2002). Displacement-based seismic analysis for out-of-plane bending of unreinforced masonry walls. Earth. Engng. and Struct. Dyn. 31, 833–50.
- Faccioli E., Paolucci R. e Rey J. (2004), Displacement spectra for long periods, Earthquake Spectra, 20 (2), pp. 347-376.
- Faccioli E., Vanini M., Paolucci R., Stupazzini M. (2005), Comment on "Domain Reduction Method for Three-Dimensional Earthquake Modeling in Localized Regions, Part I: Theory," by J. Bielak, K. Loukakis, Y. Hisada, and C. Yoshimura, and "Part II: Verification and Applications," by C. Yoshimura, J. Bielak, Y. Hisada, and A. Fernández, Bull. Seismol. Soc. Am. 95 (2), pp. 763-769. Hisada Y. (1994). An

- efficient method for computing Green's functions for a layered half-space with sources and receivers at close depths, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 84 (5), 1456-1472. Hisada Y. (1995), An efficient method for computing Green's functions for a layered half-space with sources and receivers at close depths (Part 2), *Bull. Seismol. Soc. Am.* 85 (4), pp. 1080-1093. Housner, G.W. (1963). The behaviour of inverted pendulum structures during earthquakes, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 17, pp.40-417.
- Joyner W., Boore M. (1981), Peak horizontal acceleration and velocity from strong-motion records including records from the 1979 Imperial Valley, California, earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.* 71 (6), pp. 2011-2038.
- Montaldo V., Faccioli E., Zonno G., Akinci A., Malagnini L. (2005), Treatment of ground-motion predictive relationships for the reference seismic hazard map of Italy, *J. Seismol.* 9 (3), pp. 295
316. Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (2004), INGV, Rapporto Conclusivo, <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>. Olsen K.B., Day S.M., and Bradley C.R. (2003). Estimation of Q for long-period (>2 sec) waves in the Los Angeles Basin. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93, 2, 627-638.
- OPCM: Ordinanza Presidenza Consiglio dei Ministri 3431 (2005), Ulteriori modifiche e integrazioni all'ordinanza pcm n. 3274 del 20 marzo 2003 , recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", Allegato 2 "Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici ", Presidenza del Consiglio dei Ministri, 3 maggio 2005.
- Ordaz M., Jara J. M., Singh S. K. (1991) Riesgo sísmico y espectros de diseño en el estado de Guerrero. Technical Report, Instituto de Ingenieria, UNAM, Mexico City.
- Pettenati F. e Sirovich L. (2003). Tests of source-parameter inversion of the U.S. Geological Survey intensities of the Whittier Narrows, 1987 Earthquake. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 93 (1), 47-60.
- SISMOVALP (2004). Priolo E.: Sismovalp Project, WP6 – Simulation benchmark, Report 1.6 - Definition of the 2D simulations (final document), Project Report, June 21, OGS Trieste.
- Spudich, P. e Xu L. (2003). Software for calculating earthquake ground motions from finite faults in vertically varying media, in *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*, Academic Press.

PROGETTO V1: PROSECUZIONE DELLE ATTIVITÀ GIÀ FINANZIATE NEL 2003

Responsabili: M. Coltelli (INGV Catania) e F. L. Chiocci (Università degli Studi di Roma “La Sapienza”)

Introduzione

Il progetto V1 era costituito di sei sottoprogetti finanziati nel quadro delle attività avviate in seguito alla crisi vulcanica di Stromboli del 2002-03. Alcuni di tali sottoprogetti avevano una durata di un solo anno, e non sono stati inclusi nel programma INGV-DPC. Altri tre sottoprogetti di durata due anni, e uno di durata tre anni, costituiscono i progetti V1/01-05, come da tabella seguente. Poiché il progetto è stato ereditato da una serie di attività direttamente finanziate dal Dipartimento della Protezione Civile, tali attività non nascevano come parti di un unico progetto, ma come risposte a temi specifici sorti durante l'emergenza. Inoltre, il fatto che alcuni progetti si sono conclusi prima dell'inizio del presente progetto INGV-DPC, ha comportato che un pieno coordinamento tra i sottoprogetti fosse di fatto non realizzabile. Tuttavia, quattro dei cinque sottoprogetti che costituiscono il progetto V1 originavano da un unico progetto (#15) del Programma Quadro GNV 2000-2002, nel quale Tommasi, Marsella e Chiocci erano responsabili di Task relativi a vari aspetti degli studi sull'instabilità del vulcano Stromboli. Di conseguenza, un proficuo scambio di idee e informazioni ha caratterizzato l'attività dei sottoprogetti fin dall'inizio, come testimoniato dalla produzione di articoli scientifici in collaborazione e dalle presentazioni comuni sullo stato di avanzamento delle ricerche in convegni scientifici nazionali e internazionali. Il sottoprogetto V1/04 era invece dedicato agli studi di tipo oceanografico e di simulazione numerica sulla propagazione di onde, per cui gli interscambi con gli altri sottoprogetti sono stati in questo caso minori. Tuttavia, tale sottoprogetto ha utilizzato come dati di input le batimetrie prodotte nel sottoprogetto V1/02.

Risultati scientifici di rilievo

Sebbene una lista precisa di prodotti attesi non esiste nei sottoprogetti originali, in quanto originati in seguito a specifiche richieste da parte del DPC durante la crisi vulcanica 2002-03 a Stromboli, i dati raccolti e le analisi effettuate risultano di indubbia utilità per future analisi di rischio, in particolare quelle condotte all'interno del progetto V2 (Attività di ricerca e monitoraggio a Stromboli e Panarea). Vengono qui riassunti i principali risultati scientifici raggiunti, separatamente per ogni UR in quanto difficilmente raggruppabili per obiettivi comuni come in altri progetti coordinati.

Unità di Ricerca V1/01-03

- a) Realizzazione di una rete di controllo per la definizione di un sistema di riferimento permanente per le attività di monitoraggio fotogrammetrico/topografico.
- b) Processamento di immagini DEM e ortofoto raccolte durante rilievi aerei effettuati dopo l'eruzione (luglio 2003, settembre 2003, agosto 2004, ottobre 2005).

- c) Analisi multitemporale della deformazione e delle variazioni morfologiche della Sciara del Fuoco dopo l'eruzione, utilizzando i DEM processati.
- d) Misure sistematiche di deformazione nell'area corrispondente alla scarpata sommatale della frana del dicembre 2002, condotte dal luglio 2003 al marzo 2006.
- e) Processamento del rilievo aereo fotogrammetrico condotto dal 1938 al 1974 al fine di estrarre cinque DTM per la ricostruzione dell'evoluzione della Sciara del Fuoco nel corso degli ultimi 60 anni.
- f) Realizzazione di un GIS contenente i risultati principali del progetto.

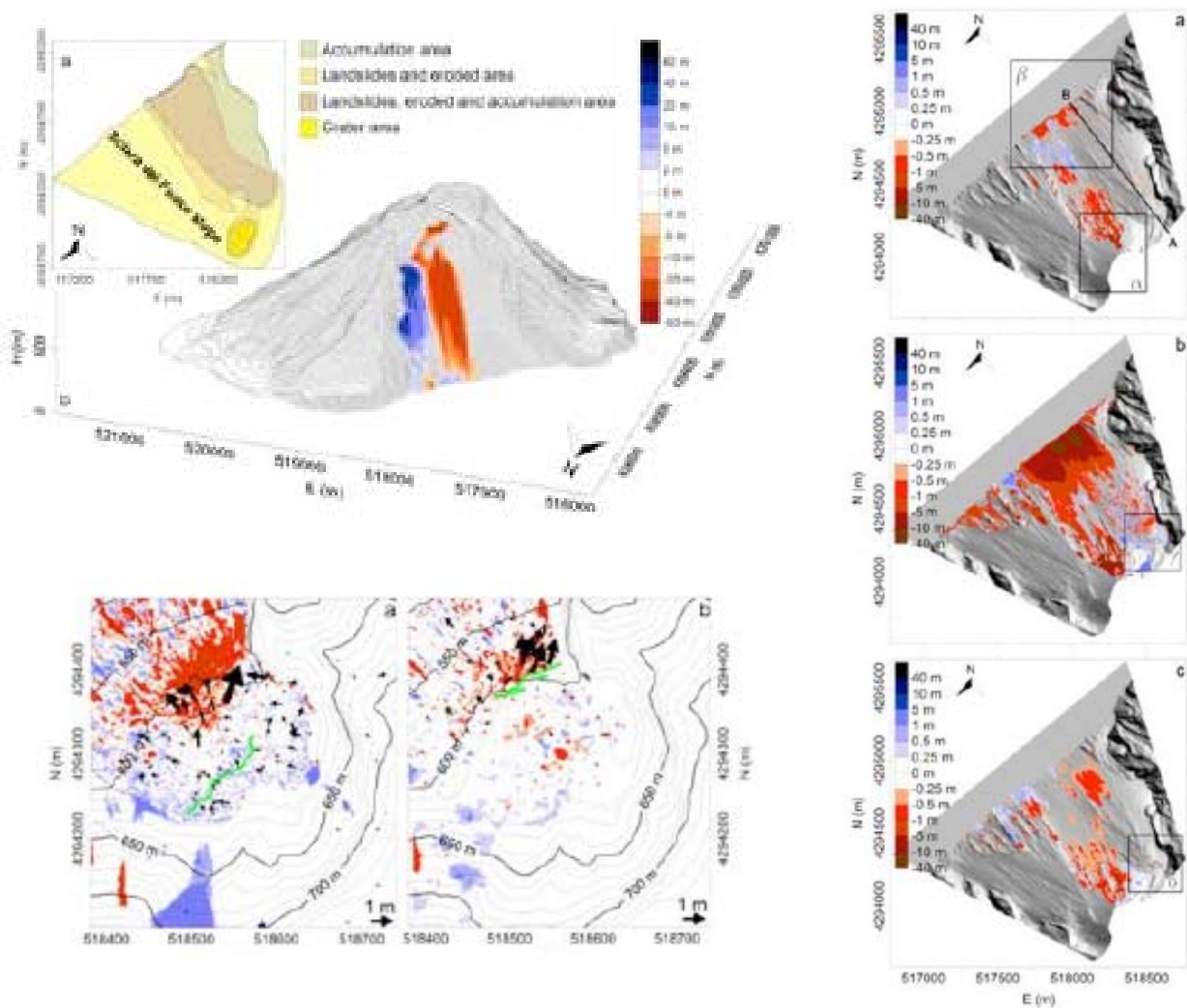


Figura 1.

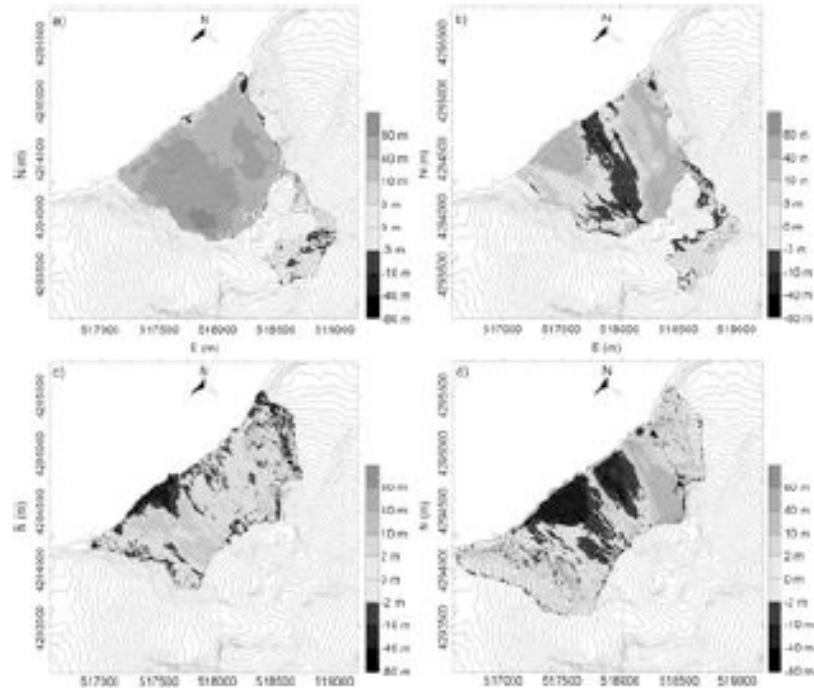


Figura 2.

Unità di Ricerca V1/02

- a) E' stata monitorata l'evoluzione della porzione sottomarina della Sciara del Fuoco e del riempimento della nicchia di frana, ricostruendo le relazioni tra la pila di detriti e la costruzione del delta di lava (50.000 m³ al giorno), ridottosi improvvisamente ad 1/20 a metà febbraio e continuando da allora a diminuire in maniera esponenziale.
- b) La cinematica della frana sottomarina/tsunami del 30/12/2002 è stata ricostruita in collaborazione con i progetti V1/03 e V1/05, attribuendo il primo evento distruttivo ad una frana sottomarina causata dalla improvvisa liquefazione di 6 Mm³. Tale evento è avvenuto con la formazione di un apron di detriti vulcanoclastici formato da un flusso di gravità agente sul pendio subaereo e sulla aprte sommatiale del pendio sottomarino.
- c) Un ruolo rilevante è stato giocato dal bassofondo roccioso al largo della Spiaggia dei Gabbiani sulla parte sub-aerea della Sciara del Fuoco immediatamente a nord-est della frana del 30/12/2002. Le analisi petrografiche hanno dimostrato che tale bassofono è parte del Neostromboli.
- d) Una serie di rilievi multibeam sono stati utilizzati come monitoraggio del bassofondo roccioso, per confronti con la deformazione sul pendio sub-aereo. I risultati escludono una deformazione superiore a 2 mm/giorno e il metodo appare molto promettente.
- e) Nessun altro evento di distruzione di massa è stato prodotto dalle onde di tsunami al di fuori della Sciara del Fuoco. All'interno della Sciara del Fuoco sono invece state osservate due frane minori.

- f) Sono state rilevati svariati indizi di instabilità intorno all'isola, di taglia variabile da frane di detrito a piccoli scivolamenti transizionali.
- g) La valutazione della pericolosità relativa alla stabilità della porzione sottomarina della Sciara del Fuoco ha suggerito tre possibili scenari: rimobilizzazione del materiale di riempimento della nicchia di frana, possibile solo in presenza di agenti esterni quali flussi di gravità che penetrano in mare; approfondimento della nicchia di frana, estremamente improbabile; collasso della porzione intatta dell'apron di detriti nella parte sommatata del pendio sottomarino, con elevato potenziale tsunamigenico e con pericolosità associata dipendente dal verificarsi di una eruzione/intrusione di un dicco nella porzione sud-ovest della Sciara del Fuoco.

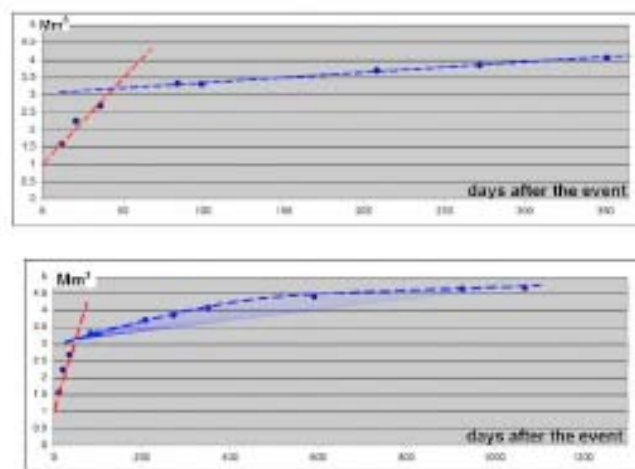


Figura 3. Riempimento della nicchia di frana durante il primo anno (sopra) e in 3,5 anni (sotto). 1 Mm³ di detriti si è messo in posto immediatamente dopo l'evento di frana. Fino a metà febbraio il tasso di riempimento è stato di 50.000 m³/giorno. Dopo tale period oil tasso di riempimento è diminuito in maniera visibile.

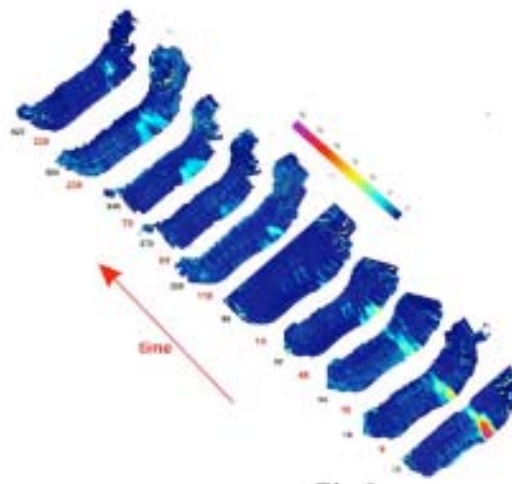


Figura 4. Mappe della porzione sommersa della Sciara del Fuoco in rilievi successivi.

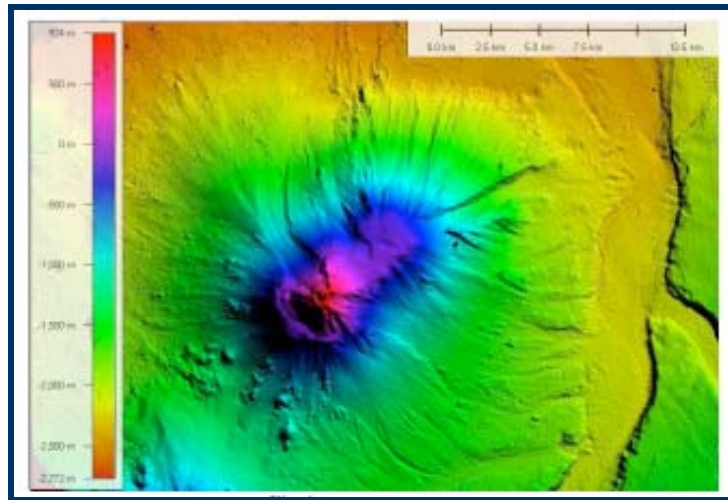


Figura 5. Modello di terreno e marino dell'isola di Stromboli (parte emersa e sommersa).

Unità di Ricerca V1/04

- a) Sistema di allarme pre gli tsunami: l'analisi di segnali marini generici è stata condotta allo scopo di identificare correttamente tutti i componenti in un dato mareogramma e quindi riconoscere qualunque segnale anomalo, in particolare anomalie relative al verificarsi di uno tsunami.
- b) Modellizzazione di frane e tsunami: la maggior parte degli obiettivi relativi alla simulazione dello tsunami del 30 dicembre 2002 sono stati raggiunti. In particolare, sono state condotte simulazioni di tipo "shallow water" attraverso un approccio agli elementi finiti e utilizzando griglie a varia risoluzione e varie ipotesi per la sorgente relativa alla frana alle varie scale (Stromboli, Stromboli+Panarea, Stromboli+ tutte le Isole Eolie, l'intero Tirreno del Sud). Sono stati condotti una serie di test preliminari relativi all'area di inondazione in corrispondenza di Ficogrande. L'avanzamento del codice numerico a considerare sia la frana che lo tsunami è in corso, e si prevede di ottenere risultati preliminari per la fine del progetto.

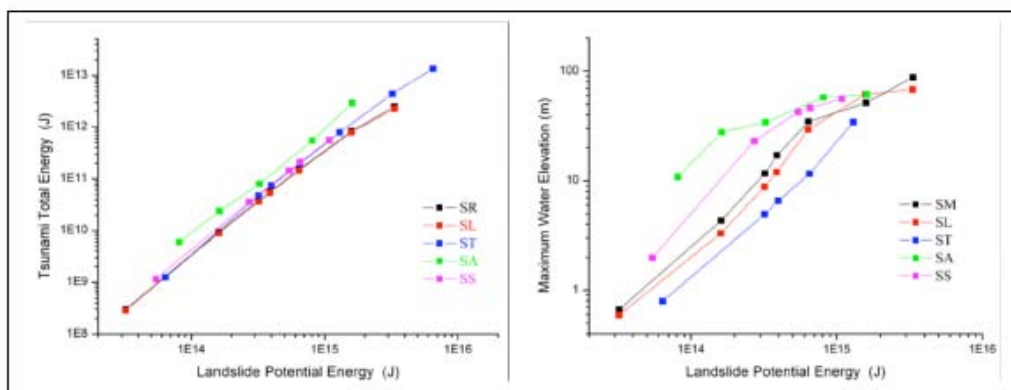


Figura 6. Relazione tra l'energia totale dello tsunami (pannello a sinistra) e della massima altezza dell'onda di tsunami (pannello di destra) dall'energia potenziale della frana, per diversi spessori iniziali della frana e diverse posizioni.

Unità di Ricerca V1/05

- a) Caratterizzazione geotecnica del materiale costituente il deposito della Sciara del Fuoco. In particolare, è stata analizzata la resistenza agli sforzi di taglio le materiale vulcanoclastico: 1) in condizioni anidre a piccole deformazioni (innesco del movimento sub-aereo profondo iniziale) e a grandi deformazioni (evoluzione del pendio sub-aereo durante la frana); 2) in condizioni sature sia in condizioni di drenaggio (innesco del movimento sub-aereo profondo iniziale ed evoluzione del pendio sommerso) e in assenza/parziale presenza di drenaggio (evoluzione prima del cedimento e cedimento del pendio sommerso). Inoltre, sono state ottenute importanti informazioni relative alla deformabilità del materiale vulcanoclastico a lungo termine e dipendente dal tempo, e che spiegano il ritardo nelle deformazioni lungo il pendio.
- b) E' stata studiata la meccanica delle diverse fenomenologie di instabilità, e sono state formulate ipotesi attraverso modelli numerici e concettuali basati su esperimenti: 1) l'effetto della spinta del magma sulle condizioni di stabilità del pendio è stato studiato attraverso l'accoppiamento di osservazioni relative all'attività vulcanica e ad elementi morfologici/strutturali del pendio, con analisi condotte attraverso modelli numerici 3D a reologia elaso-plastica; 2) la suscettibilità del materiale sommerso a destabilizzarsi a causa di una aumento della pressione di poro in seguito a deformazione del pensio (liquefazione statica, liquefazione a seguito di carichi impulsivi). Il meccanismo è stato studiato attraverso prove di laboratorio e valutazione dei tassi deformativi sul pendio sulla base dei cambi morfologici e di altri dati raccolti prima del cedimento (registrazioni sismiche prima dell'evento).
- c) Analisi delle caratteristiche dell'evoluzione storica (ultimi 150 anni) del pendio e delle relazioni con eventi recenti di instabilità.

Problemi incontrati

A parte alcuni problemi minori (come quelli legati all'accessibilità dell'area costiera di Stromboli per campionamenti, o al fallimento di alcune tecniche di indagine geofisica in mare), l'unico problema di rilievo è legato alla mancata disponibilità di dati sperimentali presi in loco necessari per la modellizzazione delle onde marine. Nonostante gli sforzi compiuti a tale scopo, il problema continua a sussistere, ma si spera che sarà risolto nel prossimo anno. L'Unità di Ricerca V1/04 sta comunque utilizzando altri dati (sia di tipo sintetico che da altre fonti) nell'implementazione del proprio codice di calcolo, per cui l'attività prevista è in ogni caso da considerarsi in avanzamento.

Descrizione delle riunioni di coordinamento

Il coordinamento con il progetto V2 (Attività di ricerca e monitoraggio a Stromboli e Panarea) è stato realizzato attraverso una riunione comune all'INGV di Roma, tenutasi il 5 luglio 2005. Poiché le attività del progetto V1 erano partite a seguito della frana/tsunami del 30/12/2002, e quindi le ricerche erano ad uno stato avanzato, la riunione (che rappresentava l'inizio delle attività del nuovo progetto) è stata l'occasione per trasferire i risultati ottenuti dal progetto V1 al progetto

V2. Scambi tra alcune Unità di Ricerca dei due progetti sono inoltre proseguiti su specifici temi di ricerca.

Pubblicazioni

- Baldi P., Fabris M., Marsella M., Monticelli R., 2005. Monitoring the morphological evolution of the Sciara del Fuoco during the 2002-2003 Stromboli eruption using multi-temporal photogrammetry, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol 59/4:199-211.
- Baldi P., Coltelli M., Fabris M., Marsella M., 2006. The morphological evolution of the Sciara del Fuoco slope during and after the landslide triggered by the 2002-2003 Stromboli Eruption, Presented to the 2006 EGU General assembly. *Geophysical Research Abstracts*, 8, EGU06-A- 10021.
- Baldi P., Coltelli M., Fabris M., Marsella M., Tommasi P., 2006. High precision photogrammetry for monitoring the deformation of Sciara del Fuoco after the 2002-2003 Stromboli eruption, *Bulletin of Volcanology* (submitted).
- Boldini D., Wang F., Sassa K., Tommasi P., 2005. Mechanism of landslide causing the December 2002 tsunami at Stromboli volcano (Italy). In Sassa K., Fukoka H., Wang F.W., Wang G.: *Landslide - Risk analysis and sustainable disaster management*, chapter 32: 251-258, Springer Verlag (Berlin) (ISBN: 3-540-28664-0).
- Boldini D., Wang F., Sassa K., Tommasi P., 2005. Application of large-scale ring-shear tests to the analysis of December 2002 tsunamogenic landslides at Stromboli volcano (Italy). Submitted to *Geotechnique*.
- Bosman A., Chiocci F.L., Romagnoli C., Tommasi P., 2004. Fast evolution of a submarine volcanic flank experiencing a large-scale landslide: the case of Stromboli, Aeolian Islands. 37th CIESM Congress, Barcelone, 7-11 Giugno 2004, *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, 37, p.10.
- Chiocci F.L., A. Bosman, C. Romagnoli, P. Tommasi, G. de Alteriis 2003. The December 2002 Sciara del Fuoco (Stromboli Island) submarine landslide: a first characterization. *European Geophysical Society. Geophysical Research Abstracts*, Vol. 5., 12069. Nizza Aprile 2003.
- Chiocci F.L., Romagnoli C., Tommasi P., Bosman A., 2004. The December 2002 submarine landslide at Stromboli volcano: morphologic and tsunamogenic potential definition. 32° International Geological Congress, Firenze, 20-28 Agosto 2004.
- Chiocci F.L., Romagnoli C., Tommasi P., Bosman A., 2005. The submarine slide causing the December 2002 tsunami at Stromboli (Tyrrhenian Sea, Italy). 2nd Int. Symposium on Submarine Mass Movements and Their Consequences, Oslo (Norvegia), 5-7 Sept. 2005.
- Romagnoli C., F.L. Chiocci, A. Bosman 2005. New data on Stromboli evolution from the exploration of the submerged portions - European Workshop, Understanding Processes and Timescales in Magma Systems 6-11 September 2005 Naples – Stromboli.
- Tinti, S., Armigliato, A., Manucci, A., Pagnoni, G., Zaniboni, F., 2005. Landslides and tsunamis of December 30, 2002 at Stromboli, Italy: numerical simulations. *Boll. Geof. Teor. Appl.*, 46: 153- 168.
- Tinti, S., Manucci, A., Pagnoni, G., Armigliato, A., Zaniboni, F., 2005. The 30 December 2002 landslide-induced tsunamis in Stromboli: sequence of the events reconstructed from the eyewitness accounts. *Nat. Haz. Earth Sys. Sci.*, 5: 763-775.
- Tinti, S., Zaniboni, F., 2005. Landslides from Sciara del Fuoco, Stromboli, Italy, and consequent generated tsunamis analysed through numerical models. Abstract presented at the 2nd International Conference on Submarine Mass Movements and Their Consequences 2005, Oslo, Norway, September 5-7, 2005.
- Tinti, S., Armigliato, A., Manucci, A., Pagnoni, G., Zaniboni, F., Maramai, A., Graziani, L., 2005. The Stromboli tsunamis of the December 30, 2002. Abstract presented at the EGU General Assembly 2005,

- Vienna, Austria, April 24-29, 2005, Geophysical Research Abstracts, vol. 7 (on CD-Rom), abstract n. EGU05-A-04786.
- Tinti, S., Pagnoni, G., Zaniboni, F., 2005. Simulation of landslides from the Stromboli volcano, Italy and evaluation of their tsunamigenic effects. Abstract presented at the AOGS 2nd Annual Meeting, June 20-24, Singapore.
- Tinti, S., Maramai, A., Armigliato, A., Graziani, L., Manucci, A., Pagnoni, G., Zaniboni, F., 2006. Observations of physical effects from tsunamis of December 30, 2002 at Stromboli volcano, southern Italy. *Bull. Volcanol.*, 68: 450-461.
- Tinti, S., Pagnoni, G., Zaniboni, F., 2006. The landslides and tsunamis of the 30th of December 2002 in Stromboli analysed through numerical simulations. *Bull. Volcanol.*, 68: 462-479.
- Tinti, S., Zaniboni, F., Pagnoni, G., Tonini, R., 2006. Sensitivity analysis of tsunamis induced by landslides from the Sciara del Fuoco, Stromboli, Italy. Abstract presented at the EGU General Assembly 2006, April 2-7, 2006, Vienna, Austria, Geophysical Research Abstracts, vol. 8 (on CD-Rom), abstract n. EGU06-A-04520.
- Tommasi P., Chiocci F.L., Coltelli M., Marsella M., Pompilio M., 2004. Preliminary analysis of the December 2002 instability phenomena at Stromboli Volcano. *Int. Workshop on Occurrence and Mechanisms of Flows in Natural Slopes and Earthfills*, L. Picarelli Editor, Sorrento, 297-306.
- Tommasi P., Boldini D., Castellini S., Migliazza M., Segalini A., 2004. Indagine sperimentale sui materiali vulcanoclastici di Stromboli mediante prove di laboratorio a diversa scala. *Incontro Annuale dei Ricercatori di Geotecnica*, Trento, CD-ROM publication
- Tommasi P., Baldi P., Chiocci F.L., Coltelli M., Marsella M., Pompilio M., Romagnoli C., 2005. The landslide sequence induced by the 2002 eruption at Stromboli volcano. In Sassa K., Fukoka H., Wang F.W., Wang G.: *Landslide - Risk analysis and sustainable disaster management*, chapter 32: 251-258, Springer Verlag (Berlin) (ISBN: 3-540-28664-0).
- Tommasi P., Boldini D., Rotonda T., 2005. Preliminary characterization of the volcanoclastic material involved in the 2002 landslides at Stromboli, *Proceedings of the International Conference on Problematic Soils GEOPROB 2005 Famagusta*, Bilsel & Nalbantoglu (eds), 3,:1093-1101
- Zaniboni, F., Tinti, S., 2005. Tsunamigenic mass failures from the Sciara del Fuoco, Stromboli, Italy, analysed through numerical models. Abstract presented at the EGU General Assembly 2005, Vienna, Austria, April 24-29, 2005, Geophysical Research Abstracts, vol. 7 (on CD-Rom), abstract n. EGU05-A-04964.

PROGETTO V2: ATTIVITÀ DI RICERCA E MONITORAGGIO A STROMBOLI E PANAREA

Responsabili: D. Patanè (INGV-Catania), A. Tibaldi (Università degli Studi di Milano "Bicocca")

Stato di avanzamento del progetto

Quanto di seguito descritto riassume i risultati principali del Progetto "Stromboli-Panarea", considerati gli obiettivi originali previsti, iniziando a descrivere quanto ottenuto per Stromboli e passando poi a Panarea.

Obiettivo 1: "Studi e ricerche mirate alla ricostruzione della struttura del vulcano e del suo sistema di alimentazione"

In molti casi l'interscambio di dati fra le unità di ricerca (UR) ha permesso di produrre risultati che hanno già di per sé una valenza interdisciplinare. Un esempio è dato dalla "Mappa dei dicchi di Stromboli con distinzione delle intrusioni oloceniche" (Fig. 1), che è stata prodotta in scala 1:5000 e contiene anche una serie di informazioni organizzate in un database georeferenziato in un GIS. Questa mappa contiene, infatti, molti strati tematici ed associate tavole che presentano dati provenienti da diverse UR con metodologie differenti di studio, insieme con la topografia e le informazioni morfologiche. Riguardo allo studio più generale del sistema di alimentazione superiore del vulcano, i dati petro-chimici delle UR Renzulli e Francalanci sono stati correlati con i dati delle UR Tibaldi e Calvari (Fig. 2), al fine di incrociare le informazioni sulla localizzazione dei dicchi, sulle fratture eruttive recenti (periodo del Neostromboli) e sui parametri reologici del magma. Questo è stato anche finalizzato ad analizzare i vari parametri che possono influenzare le diverse geometrie ed ubicazioni dei percorsi di risalita magmatica.

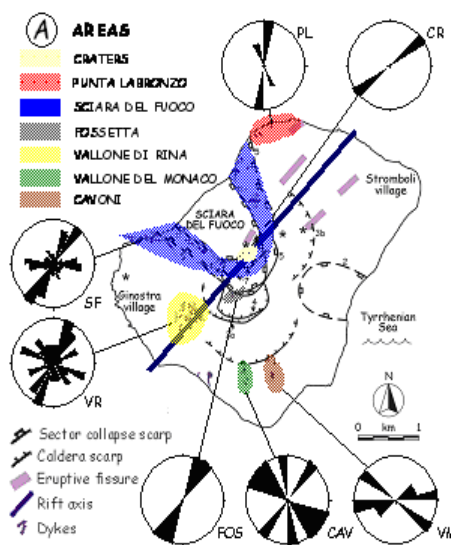


Figura 1. UR Tibaldi - Mappa dei dicchi di Stromboli.

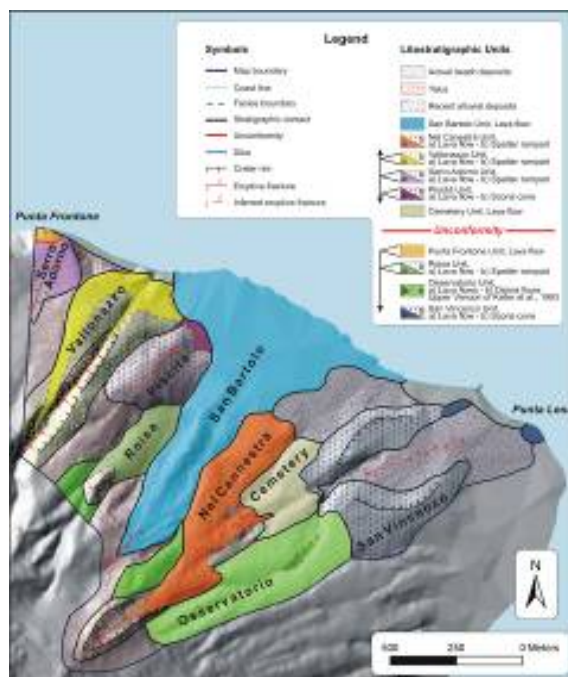


Figura 2. UR Calvari - Mappa Geologica del settore NE dell'isola.

I dati di superficie e delle parti interne del vulcano, riguardanti la porzione dell'edificio posta al di sopra del livello del mare, devono essere correlati anche con quelli delle porzioni più profonde del vulcano e del suo substrato. Un primo passo in questo senso è stato fatto grazie agli studi compiuti dalle UR Castellano e Patanè, i quali ri-analizzarono anche attraverso nuove tecniche di inversione tomografica i dati dei terremoti regionali al fine sia di ottenere dallo studio tomografico un più adeguata caratterizzazione del modello di velocità del Tirreno meridionale che di migliorare le conoscenze della struttura di velocità al di sotto dell'edificio dello Stromboli ad oggi ancora poco conosciuta nel dettaglio. Tali risultati costituiranno inoltre una informazione fondamentale per l'inversione del modello di velocità V_s che deriverà dal calcolo della "Receiver Function" ottenuta sfruttando le registrazioni dei terremoti a distanza telesismica alla rete a larga banda operante sull'isola dal 2003.

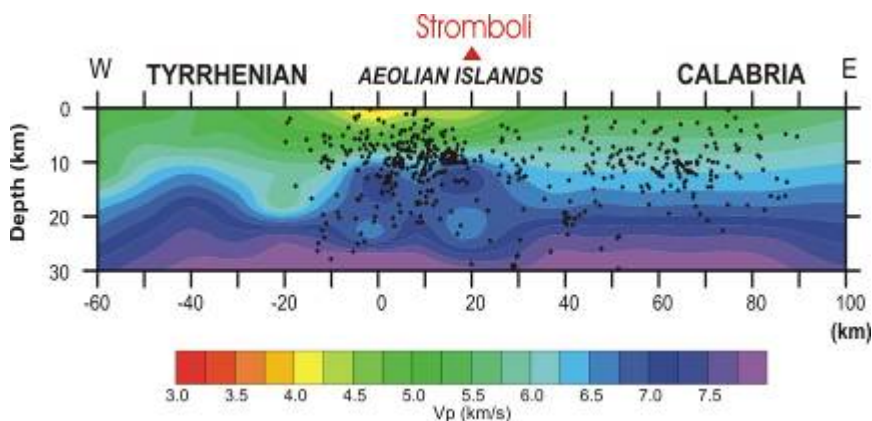


Figura 3. UR Castellano - Sezione O-E del modello topografico di velocità passante per Stromboli ottenuto utilizzando sia le localizzazioni assolute che relative dei dati regionali del basso Tirreno.

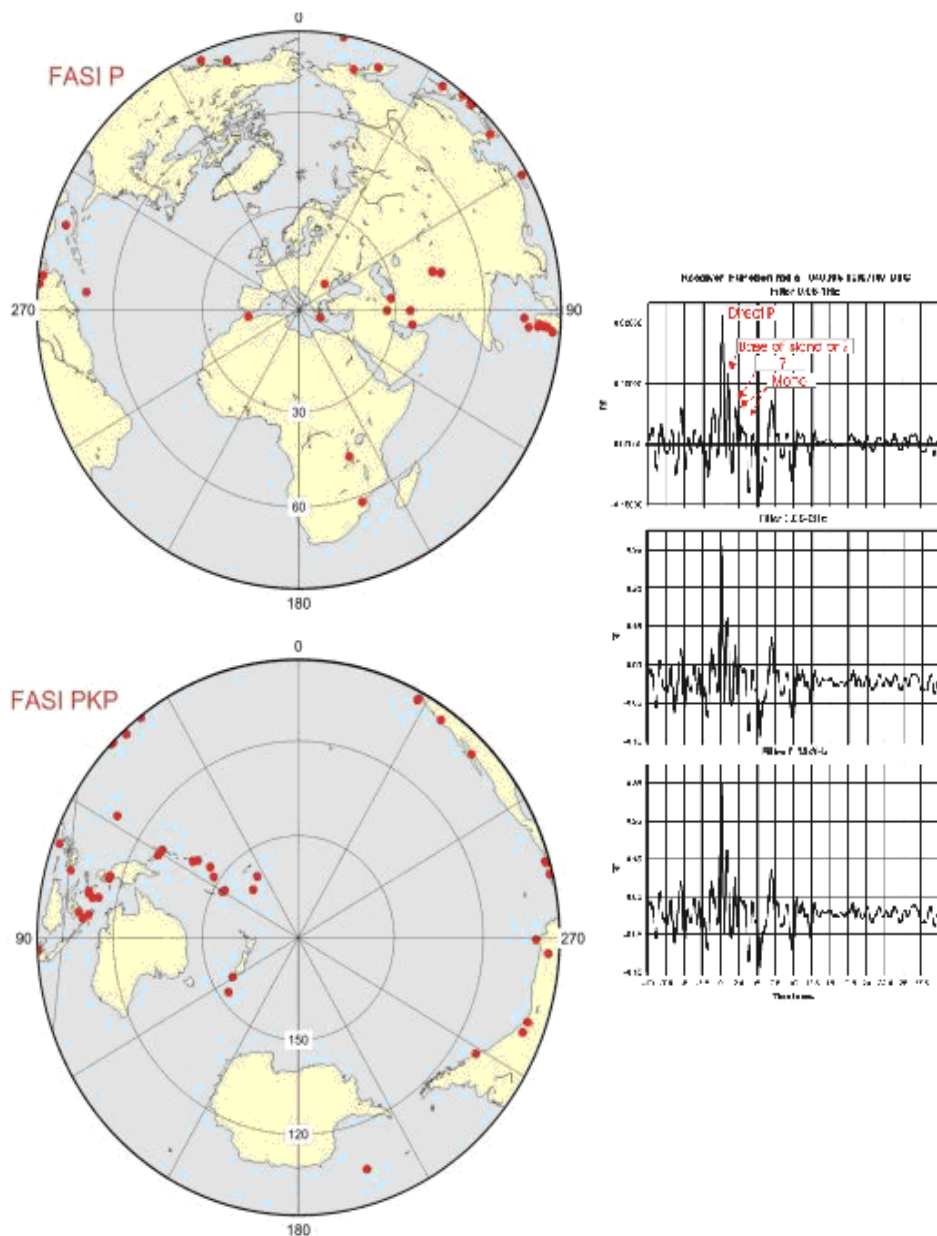


Figura 4. UR Patanè - Distribuzione geografica degli 85 telesismi selezionati per il calcolo della RF ed esempio di RF calcolata per un evento a 3 diverse frequenze di cutoff (1,2 e 3 Hz) alla stazione STR1.

Un ulteriore affinamento deriverà nel prosieguo del progetto dall'esperimento di sismica attiva programmato per la fine del 2006. Infatti, nel corso del primo anno di progetto l'UR Castellano in collaborazione con l'UR Favali hanno proceduto ad eseguire lo studio di fattibilità di un siffatto esperimento. Deve qui essere posto in rilievo il fatto che i progettati scoppi a terra, inizialmente ipotizzati, non potranno essere realizzati a seguito delle difficoltà logistiche a poter raggiungere i siti degli scoppi facilmente e quindi per le forti spese delle perforazioni. Per queste ragioni si è preferito optare per un esperimento esclusivamente basato su scoppi offshore (Fig. 5), che è stato pianificato per la fine del 2006 tenuto conto della disponibilità della nave Urania.

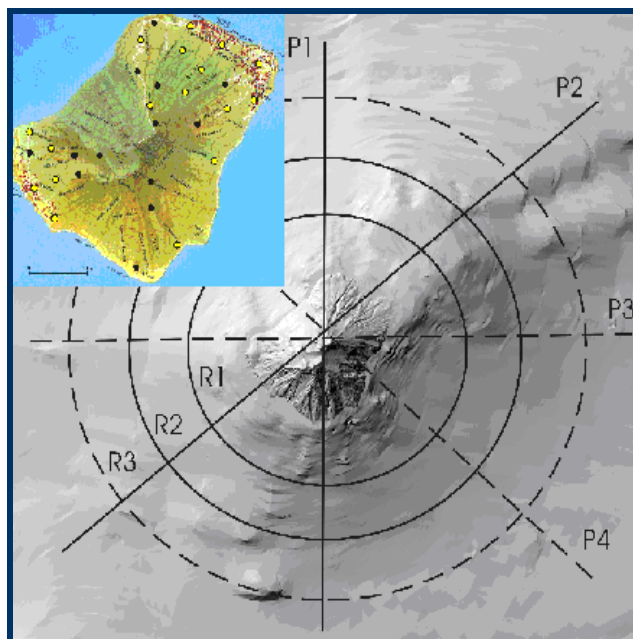


Figura 5. UR Castellano e UR Favali - Geometria degli scoppi offshore e distribuzione della rete temporanea sull'isola ad integrazione di quella permanente.

Obiettivo 2: "Valutazione dei pericoli da attività effusiva ed esplosiva"

Alcune UR hanno lavorato per fornire una serie di prodotti utili per la correlazione tra dati geologico-strutturali e dati geofisici, al fine di definire le modalità di trasferimento del magma nella parte più superficiale del sistema di alimentazione. Questo è il caso del modello del sistema di alimentazione che mostra fratture di direzione NE-SO nell'isola, che sono iniettate periodicamente con nuovi impulsi di magma proveniente da parti più profonde del sistema (Fig. 6), con chiare evidenze di variazioni sia delle deformazione della superficie topografica che dei parametri sismici, come indicato dalla UR Mattia. Sempre la stessa UR ha inoltre realizzato un database di dati geofisici utile per ulteriori e più approfondite analisi.

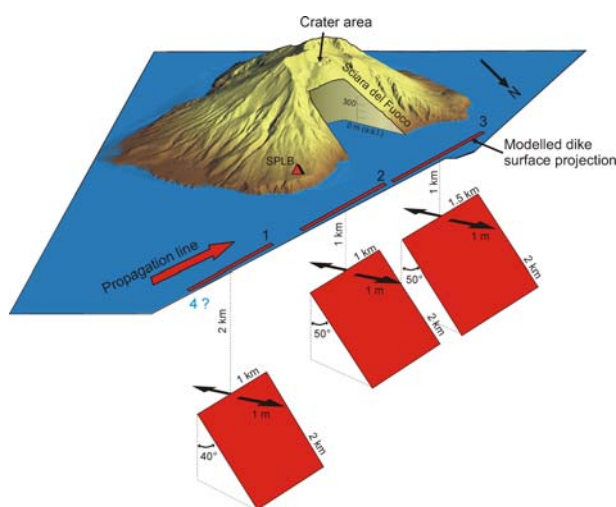


Figura 6. UR Mattia - Modello di propagazione di un dicco dall'inversione dei dati tiltmetrici registrati in Maggio 2005.

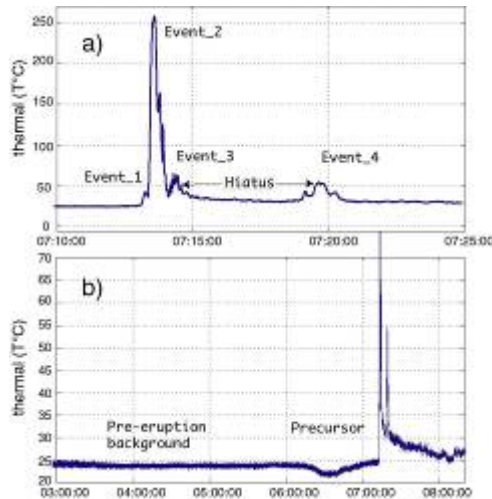


Figura 7. UR Ripepe - Segnali termici ottenuti per il parossismo del 5 Aprile 2003.

Per le condizioni più superficiali, il modello della UR Ripepe mostra variazioni ben-correlate dell'ampiezza dell'escursione termica dei due crateri principali attivi, suggerendo forti evidenze per un loro collegamento ad un sistema comune di alimentazione magmatica. Per il parossismo del 5 Aprile 2003 tale UR riporta, inoltre, nuove evidenze sulla dinamica di questo evento grazie all'uso congiunto della registrazione termica (Fig. 7) e della registrazione sismica e infrasonica. L'UR D'Auria perfeziona un codice di un programma di modellistica 2D al fine di simulare realisticamente fenomeni riferiti a caratteristiche strutturali del condotto magmatico (Fig. 8). Altre UR che operano per il raggiungimento dell'Obiettivo 2) hanno soprattutto lavorato per la correlazione di eventi vulcanici e crolli laterali dell'edificio, al fine di delineare le loro possibili relazioni reciproche. In questo senso, un quadro completo può essere raggiunto correlando insieme le datazioni dei vari eventi e le loro caratteristiche. Analisi di carotaggi marini da parte della UR Rosi hanno individuato evidenze di due grandi frane prodotte dal crollo del fianco NW dello Stromboli, avvenute negli ultimi 5 ka ed intercalate da molte altre frane più piccole. Studi paleomagnetici della UR Speranza hanno fissato un'età < 2 ka per un crollo principale dello stesso fianco del vulcano, nonché hanno datato altri flussi lavici storici.

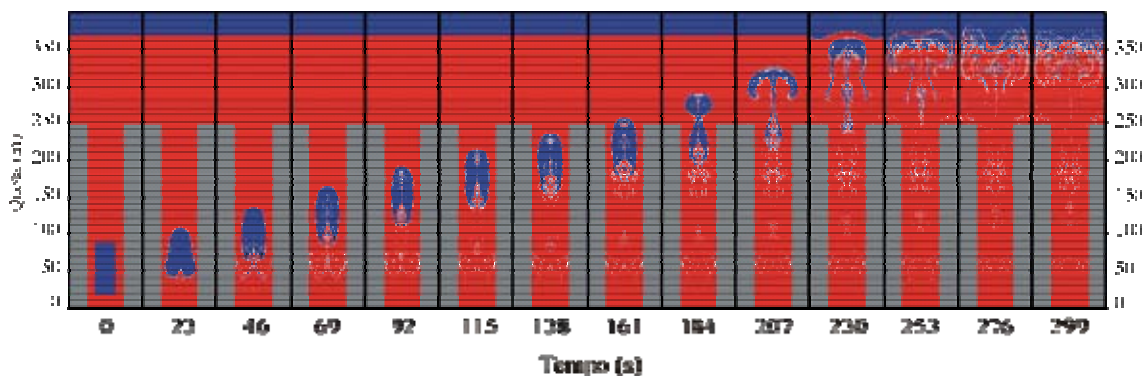


Figura 8. UR D'Auria - Snapshots di uno slug di gas risalente in un condotto.

Lo studio degli eventi esplosivi comprende prodotti sulla caratterizzazione delle eruzioni esplosive oloceniche principali, tra le quali alcune, come i depositi delle Secche di Lazzaro, sono state correlate a crolli del fianco dello Stromboli. I prodotti forniti dal progetto comprendono anche la caratterizzazione dell'attività attuale attraverso osservazioni dirette e modellistica. La prima metodologia ha condotto all'individuazione dell'arrivo periodico di nuovi magmi mafici, e meno radiogenici, nel sistema di alimentazione poco profondo da parte della UR Francalanci. Descrizioni particolareggiate dei prodotti relativi all'attività ordinaria sono disponibili nei singoli rapporti delle UR, con speciale attenzione agli eventi parossistici del 2002-03 (per es. UR Bertagnini). Quanto prodotto comprende anche il riconoscimento di eventi Stromboliani "anomali" di intensità più alta, i quali possono essere classificati tra l'attività ordinaria e i parossismi, mentre l'UR Andronico sviluppa un modello che spiega il ruolo della percolazione dei gas nella fase quiescente di degassazione. Fra i prodotti di questo Obiettivo 2), si ha anche lo sviluppo e collaudo di una piattaforma aerotrasportata per il campionamento delle ceneri. Si tratta in pratica di un piccolo velivolo commerciale per aeromodellismo, adattato allo scopo di prelevare campioni durante singole, selezionate esplosioni (UR Scarlato; Fig. 9).

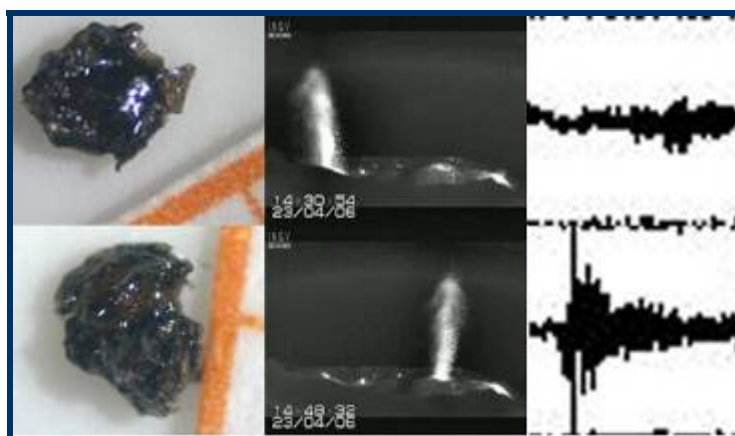


Figura 9. UR Scarlato - Esempio di confronto tra particelle di ceneri campionate mediante l'aeromodello e le registrazioni della telecamera termica e sismiche.

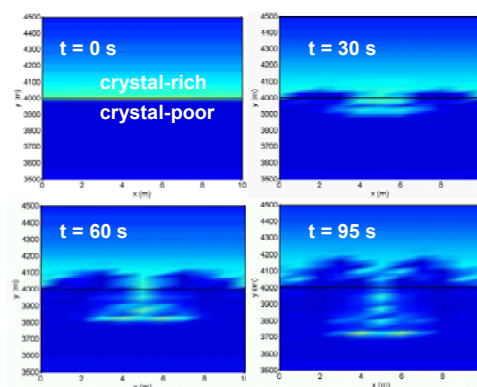


Figura 10. UR Papale - Distribuzione di densità calcolata all'interno del condotto vulcanico (rappresentato come una fessura 2D) a differenti intervalli temporali dopo la destabilizzazione dell'interfaccia del magma.

La modellistica numerica comprende l'inclusione nel codice a elementi finiti GALEs delle equazioni costitutive capaci di descrivere le proprietà dipendenti dalle condizioni P-T dei magmi poveri e

ricchi in cristalli eruttati a Stromboli, nonché la definizione delle condizioni iniziali e al contorno che descrivono il sistema da simulare (UR Papale; Fig. 10).

Obiettivo 3

Il lavoro condotto dalle diverse UR e i relativi prodotti forniti sono stati rivolti a garantire informazioni/dati sullo sviluppo recente e futuro della Sciara del Fuoco (SdF) per quanto attiene la sua stabilità. I prodotti del progetto, riguardanti l'analisi delle deformazioni recenti, comprendono un dataset registrato dal sistema THEODOROS, così come il relativo programma di filtraggio e modellistica da parte della UR Casagli. Questi dati e il software, assieme a varie immagini da satellite, hanno permesso di produrre una serie di mappe della deformazione della superficie topografica della SdF (Fig. 11) e del vulcano intero per gli anni 2002-05.

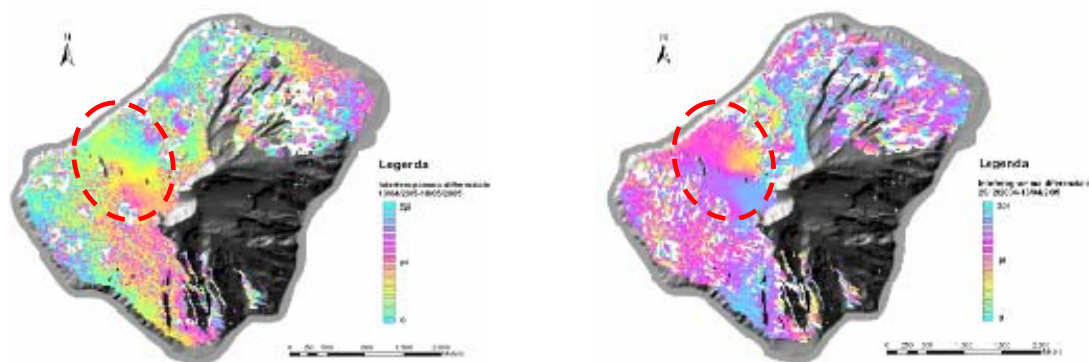


Figura 11. UR Casagli - Interferogrammi differenziali ottenuti dalle immagini SAR Envisat IS2 per 2 differenti intervalli temporali.

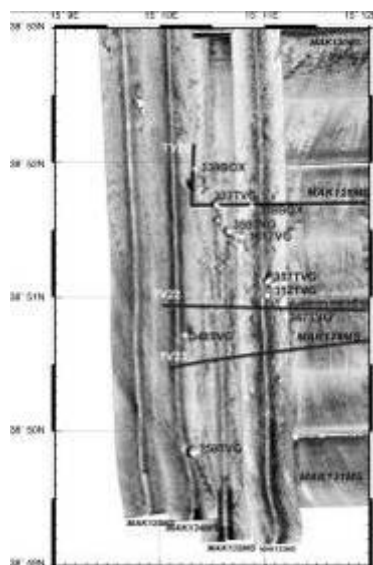


Figura 12. UR Marani - Mosaico dei rilievi con SideScan acquisiti nel 2005 riportante le localizzazioni dei campioni.

Altri prodotti correlati, mirati a descrivere i depositi sottomarini della frana del 2002, provengono da rilievi oceanografici e comprendono profili con sidescan sonar profondo (Fig. 12), immagini con telecamera digitale e campionamenti estensivi da parte della UR Marani. Lo studio dell'instabilità potenziale futura della SdF è stato indirizzato a produrre una valutazione dell'effetto degli scuotimenti sismici, attraverso un'analisi 2D all'equilibrio limite e una modellazione stress-strain (Fig. 13), nonché alla preparazione del modello concettuale per simulare numericamente l'instabilità della coltre sciolta di depositi che riempiono la depressione delle SdF (UR Apuani). Questa UR ha anche prodotto una caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi sopra l'abitato di Stromboli nonché ha individuato nella stessa area una serie di massi potenzialmente instabili. Infine, l'UR Renzulli ha prodotto un dataset delle caratteristiche mineralogiche e geochemiche di numerosi esemplari di ejecta, distinguendo i processi magmatici da quelli idrotermali nel sistema di alimentazione sub-vulcanico, nonché le litologie e le facies che si possono formare all'interfaccia magma/sistema idrotermale. Questi prodotti comportano ricadute anche per la valutazione dei processi idrotermali che possono portare ad un decremento o ad un aumento della stabilità del fianco NO del vulcano e del pendio della SdF.

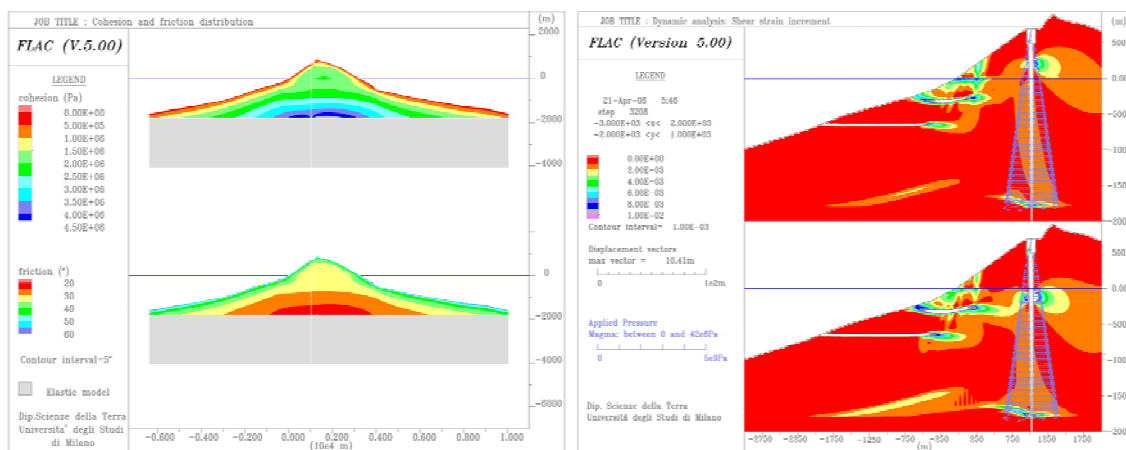


Figura 13. Modellazione tramite FLAC: a) Contours della coesione e della frizione in funzione della distribuzione dello stress, b) Confronto dell'incremento della deformazione di taglio risultante dall'applicazione, lungo il sistema di alimentazione di una sorgente dinamica a differenti profondità e con una pressione magmatica di 42 MPa.

Obiettivo 4

Per l'Obiettivo 4) è stata migliorata, da parte della UR Cigolini, la rete le misure di radon con lo scopo di individuare i settori di maggiore degassamento nell'intera isola (Fig. 14); l'andamento decrescente misurato nel rapporto $(218\text{Po}+214\text{Po})/222\text{Rn}$, potrebbe risultare uno strumento interessante per migliorare ulteriormente la rete multidisciplinare di sorveglianza del vulcano.

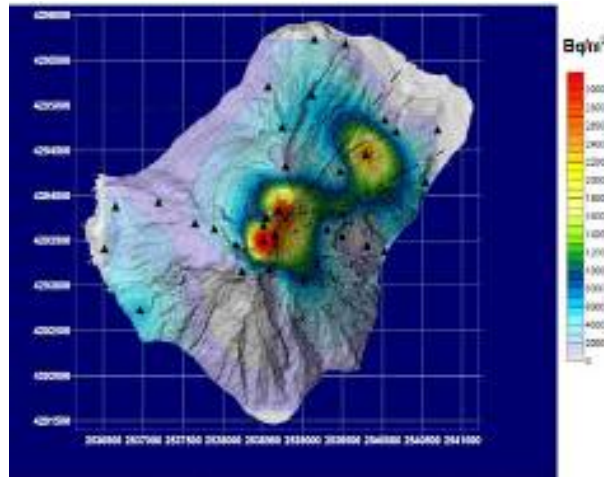


Figura 14. UR Cigolini: distribuzione spaziale dell'emissione di Radon a Stromboli dal 19 al 29 Novembre 2005.

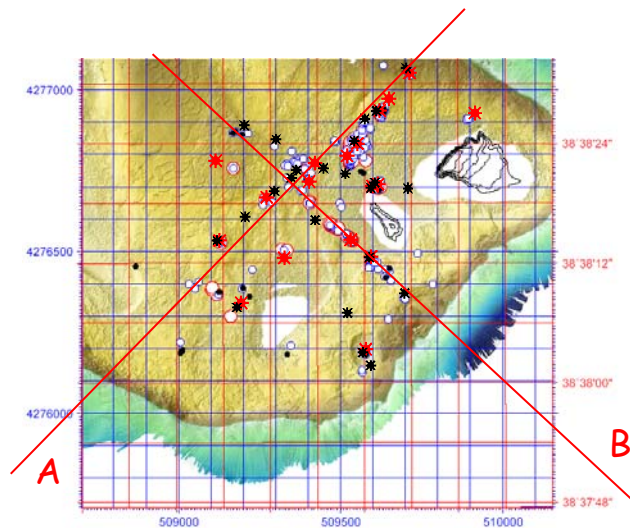


Figura 15. UR Capaccioni - Localizzazioni delle emissioni di gas campionate nel Settembre 2005 (stelle rosse) e nel Maggio 2006 (stelle nere).

Per Panarea, la maggior parte degli sforzi sono stati dedicati a produrre il quadro stratigrafico delle porzioni più recenti della successione di prodotti piroclastici, le aree dei relativi affioramenti, lo spessore, e la loro attribuzione a eventi esplosivi di Panarea o di origine esotica (UR DeRita, UR Tranne, Obiettivo 5). I prodotti relativi all'attività recente di Panarea comprendono anche la valutazione, da parte della UR Mattei, della possibile influenza di terremoti tettonici recenti e regionali sullo stato di stress dell'area, e la caratterizzazione strutturale di Panarea (Obiettivo 6), ed il dataset sulla sorveglianza geochimica da parte della UR Capaccioni (Obiettivo 7; Fig. 15). Alla luce di quanto esposto, possiamo stimare che tutti i prodotti principali del progetto V2 sono stati raggiunti. Solo parti molto minori di alcuni prodotti che dovevano essere forniti sono al momento in fase di completamento. Questo ritardo (limitato) è principalmente dovuto alle condizioni meteorologiche particolarmente severe durante l'inverno 2005-06. Relativamente alle attività di

coordinamento, queste sono state svolte a differenti livelli: 1) a livello più generale è stato nella fase iniziale del progetto un meeting a Roma. Attraverso questo meeting ciascuna UR ed i ricercatori coinvolti, hanno potuto percepire il lavoro svolto dalle diverse UR e comprendere anche il grado di interazione che avrebbero potuto avere con le altre UR e i ricercatori nel corso del progetto. Un secondo meeting è stato tenuto a Catania nel Maggio 2006, al fine di presentare i prodotti e i risultati derivanti dal primo anno di attività. Ciò ha consentito alle diverse UR di avviare uno scambio di dati e risultati, già in parte in corso tra alcune UR, e di definire una migliore interazione tra diverse UR e nuove possibili collaborazioni. 2) a livello di coordinamento dei diversi obiettivi: i coordinatori di ciascuno degli obiettivi del progetto hanno condotto nel corso del primo anno attività di coordinamento tra le diverse UR, anche se ciò non si è ritenuto sufficiente in alcuni casi auspicando per il secondo anno un maggior grado di coordinamento e interazione. Per ulteriori e maggiori dettagli relativi a quanto prodotto dalle diverse UR si rimanda alla versione in Inglese nonché alle schede delle singole UR.

Presentazioni a Convegni e Pubblicazioni che derivano dal Progetto

- Agrusta R., Studio del Vulcano Stromboli attraverso l'analisi di segnali registrati da sismometri marini. Tesi di laurea, Università degli Studi "G. D'Annunzio", Chieti. Relatore: Prof. Paolo Favali, Correlatore: D.ssa Caterina Montuori.
- Apuani T., Masetti M., Uttini A., Vezzoli L., Corazzato C., 2006. Caratterizzazione geotecnica e modellazione numerica ad elementi distinti dei depositi della Sciara del Fuoco (Stromboli, Italia). 2° Congresso Nazionale A.I.G.A, Bari, 15-17 Febbraio
- Barberi, G., Patanè D., Scarfi L., Zhang H., Tomographic images of Northeastern Sicily, Southern Calabria and south Thyrrenian crust by using TomoDD algorithm, SM1-1WE5P-0434, Vienna EGU meeting, April 2006.
- Cigolini, C., G. Gervino, R. Bonetti, F. Conte, M. Laiolo, D. Coppola, and A. Manzoni, 2005. Tracking precursors and degassing by radon monitoring during major eruptions at Stromboli Volcano (Aeolian Islands, Italy). *Geoph. Res. Lett.*, 32, art. n. L12308
- Corazzato C., Menna M., Tibaldi A., Renzulli A., Francalanci L., Petrone C.M., Vezzoli L., Acocella V., 2006. An integrated structural and petrochemical approach to unravel dyke injection conditions and volcano flank instability at Stromboli (Italy). LASI II, Skye, 1-3 April 2006, Visual Geosciences.
- Dolfi D., De Rita D., Cimarelli C., Mollo S., Soligo M., Fabbri M., 2006. Dome growth rates, eruption frequency and assessment of volcanic hazard: insights from new U/Th dating of the Panarea and Basiluzzo dome lavas and pyroclastics (Aeolian Islands, Italy). *Quaternary International*, in press.
- Longo, A., Barsanti, M., Papale, P., 2006. Numerical modeling of the thermofluid dynamics of multicomponent compressible-incompressible flows. *Computer and fluids*, submitted.
- Harlov D., Renzulli A., Ridolfi F., 2006. Iron-bearing chlor-fluorapatites in crustal xenoliths from the Stromboli volcano (Aeolian Islands, Southern Italy): an indicator of fluid processes during contact metamorphism. *European Journal of Mineralogy*, 18: 233-241.
- Harris A.J.L., Ripepe M., Sahetapy-Engel S., Marchetta E. and Patrick M., 2005. Plume ascent velocities measured during explosive eruptions using thermal infrared thermometers, *EOS, Ameri. Trans.*
- Landi, P., Francalanci, L., Pompilio, M., Rosi, M., Corsaro, M.A., Petrone, C.M., Nardini, I., Miraglia, L., 2006. The December 2002-July 2003 effusive event at Stromboli volcano, Italy: insights into the shallow plumbing system by petrochemical studies. *Journal of Volcanology and Geothermal Researches*, in press.

- Mattia M., M. Aloisi, G. Di Grazia, S. Gambino, F. Ferrari, 2006. Geophysical evidences of the plumbing system of Stromboli volcano (Aeolian Islands, Italy). EGU 2006 meeting, Wien (AU), April.
- Papale, P., Moretti, R., Barbato, D., 2006. The compositional dependence of the saturation surface of H₂O+CO₂ fluids in silicate melts. *Chem. Geology*, in press.
- Ripepe, M., E. Marchetti, G. Olivieri, A. Harris, J. Dehn, M. Burton, T. Caltabianco, and G. Salerno, 2005. Effusive to explosive transition during the 2003 eruption of Stromboli volcano. *Geology*, 33, 5, 341-344, doi:10.1130/G21173.1
- Rosi M., A. Di Roberto, A. Bertagnini, M.P. Marani, F. Gamberi, 2006. Cogenetic distal turbidity current deposit documents the 30 December 2002 tsunamigenic landslide of Stromboli volcano (Aeolian Islands, Italy). *Geological Processes at Deep-Sea European Margins - Moscow 30 January-3 February 2006*.
- Rosi M., A. Bertagnini, A.J.L. Harris, L. Pioli, M. Pistolesi, M. Ripepe, 2006. A case history of paroxysmal explosion at Stromboli: Timing and dynamics of the April 5, 2003 event. *EPSL*, 243, 594-606.
- Tibaldi A., 2006. New tectonic indicators of volcano flank instability. *ILP: New Frontiers in Integrated Solid Earth Sciences, Splinter Meeting, EGU 2006, Vienna, Austria, 4 April 2006*.

PROGETTO V3_1: COLLI ALBANI

Responsabili: P. Papale (INGV - Sezione di Pisa), S. Gresta (Università degli Studi di Catania)

Coordinatori: P. Scarlato (INGV - Sezione di Roma 1), M. Gaeta (Università degli Studi di Roma "La Sapienza")

Il Progetto Colli Albani si propone il raggiungimento di obiettivi nel breve e nel medio/lungo termine. Nel breve termine, si vuole definire e modellizzare i potenziali fattori di rischio per la popolazione dell'area (per es. emissioni di gas, stabilità dei versanti dei laghi Albano e Nemi, sismicità). Nel medio/lungo termine si intende valutare lo stato e la struttura del distretto al fine di verificare la necessità di una valutazione del pericolosità. Per le finalità del progetto sono state individuati quattro argomenti riconducibili a quattro diverse task fondamentali:

- 1) Sistema magmatico.
- 2) Geochimica delle acque.
- 3) Struttura della litosfera sottostante il distretto.
- 4) Struttura e dinamica del distretto.

Durante il primo anno di progetto si è garantito il più possibile coordinazione, collaborazione e circolazione di dati tra le quattro task con il risultato di molte sinergie tra diverse unità di ricerca.

Di seguito si riporta una sintesi dei risultati ottenuti dalle diverse task durante il primo anno di progetto. La relazione dettagliata, in lingua inglese, con un maggior numero di grafici e figure e completa di mappe a diversa scala è stata presentata al comitato di valutazione scientifica alla scadenza del primo anno di progetto.

Task 1 – Sistema magmatico

Per il primo anno questa Task proponeva di investigare lo stato attuale del sistema magmatico dei Colli Albani attraverso la definizione del probabile magma parente, la modellizzazione dei processi di differenziazione e la verifica di questi ultimi tramite esperimenti ad alta pressione, alta temperatura e attività dei volatili variabile.

In questo primo anno sono state campionate ed analizzate le lave più primitive affioranti nel distretto e circa 50 inclusi litici granulari mafici. Le caratteristiche geochimiche dei campioni studiati, in accordo con i dati provenienti dagli altri distretti vulcanici della Provincia Romana, indicano che il magma parente dei Colli Albani ha una composizione trachibasaltica (Fig. 1) e si è originato da una sorgente mantellica arricchita in LREE e Sr radiogenico (mantello metasomatizzato).

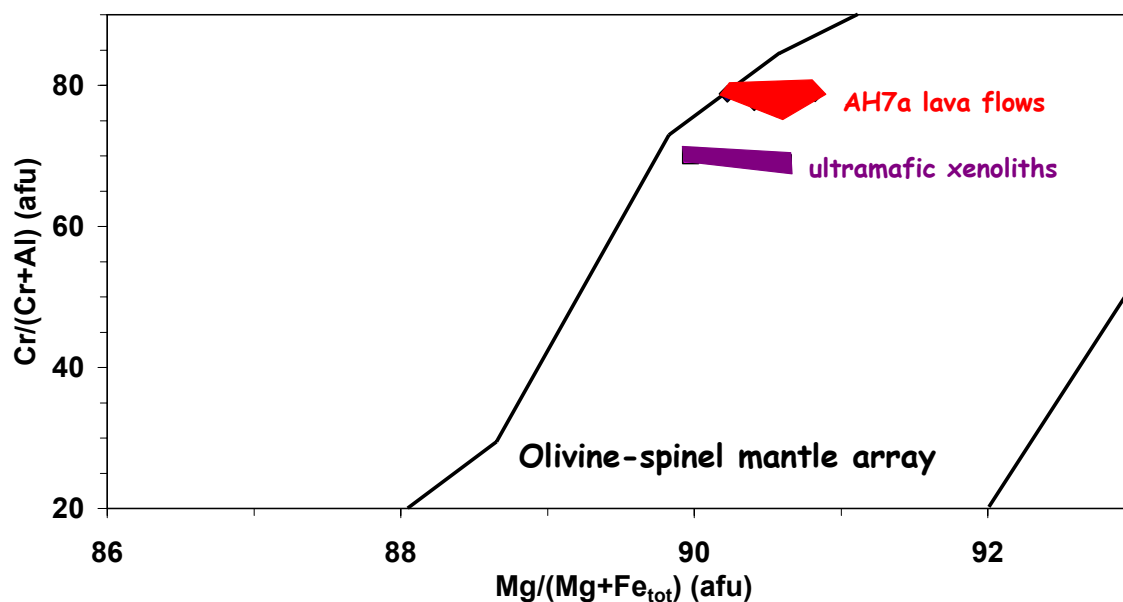
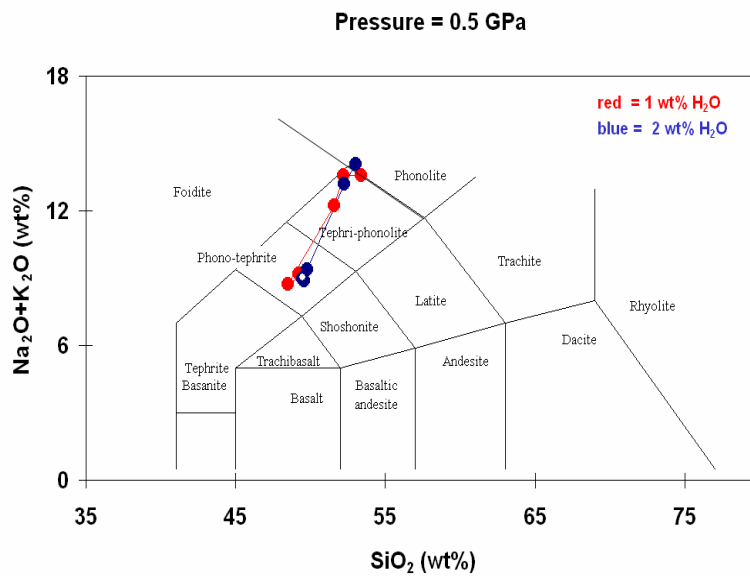
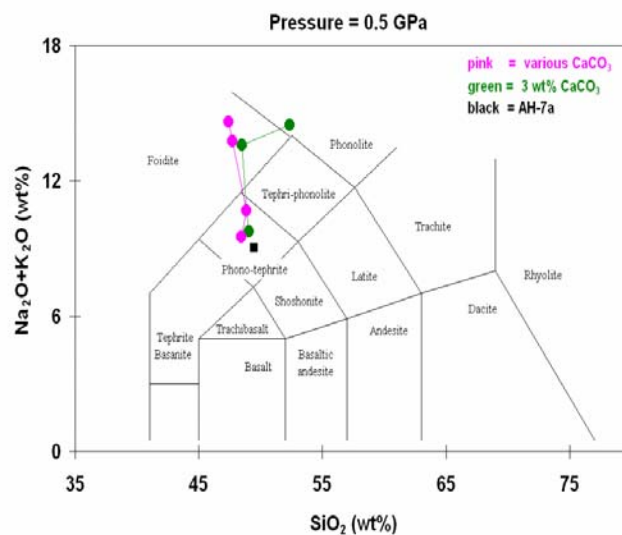


Figura 1. Rapporto Cr/(Cr+Al) negli spinelli vs rapporto Mg/(Mg+Fe_{tot}) nelle olivine provenienti da alcuni campioni di lave primitive e inclusi litici granulari mafici campionati ai Colli Albani. Il diagramma mette in evidenza che i minerali studiati ricadendo nel campo delle olivine e degli spinelli presenti nei basalti primitivi e/o nelle peridotiti di mantello si sono equilibrati con una composizione parente molto primitiva, tipo trachibasalto

La modellizzazione geochimica effettuata ha indicato che, il processo di differenziazione dai termini più primitivi affioranti nel distretto (lave olivin-leucititiche di composizione tefri-fonolitica) verso quelli petrologicamente più evoluti (scorie leucititiche di composizione K-foiditica), è guidato, principalmente, dalla cristallizzazione di Cpx+Lc±Ap±Mgt associata ad assimilazione carbonatica. Con lo scopo di verificare sperimentalmente tale modello geochimico e di definire le relazioni di fase in condizioni variabili di pressione, temperature e fugacità di H₂O, CO₂ e Ca, sono stati quindi condotti una serie di esperimenti utilizzando come materiale di partenza la lava più primitiva affiorante ai Colli Albani (leucitite ad olivina AH-7a, vedi anche Fig. 1). Gli esperimenti effettuati in condizioni anidre o con contenuto di acqua variabile (1 e 2 wt%) hanno prodotto fusi residuali le cui composizioni chimiche (fonolitiche) non sono paragonabili con quelle tipiche dei prodotti naturali affioranti nel distretto (Fig. 2a). Al contrario, gli esperimenti effettuati in condizioni di elevate fugacità di carbonato di calcio hanno prodotto fusi residuali che simulano la linea di differenziazione individuata nei Colli Albani. La presenza di CaCO₃ nel materiale di partenza, infatti, fa sì che la composizione dei vetri sperimentali ottenuti alle temperature più basse (cioè più differenziati) sia K-foiditica, in accordo con quanto osservato per i prodotti naturali (Fig. 2b).



a)



b)

Figura 2. Composizione chimica dei vetri sperimentali idrati (a) e carbonatati (b) riportata nel diagramma TAS. La figura mette in evidenza che solo gli esperimenti condotti in condizioni di elevata attività di CaCO₃ simulano la linea evolutiva dei prodotti naturali che tende verso composizioni K-foiditiche.

Task 2 – Geochimica delle acque

Scopo di questa task è investigare la genesi e la mobilità negli acquiferi e nelle acque superficiali di gas potenzialmente pericolosi per la popolazione. L'obiettivo è stato raggiunto seguendo tre diversi metodi: rilievi e misure sul terreno, analisi di laboratorio e elaborazione ed interpretazione dei dati. Per quanto riguarda gli acquiferi, il loro studio ha rivelato una circolazione veloce delle acque di bassa temperatura nei depositi vulcanici con conseguente scarsa interazione roccia/fluidi. La maggior parte dei campioni studiati sono sottosaturi in minerali carbonatici (calcite e dolomite)

evidenziando una scarsa interazione tra le acque circolanti nelle successioni vulcaniche (superficiali) e quelle circolanti nelle rocce carbonatiche mesozoiche (profonde) (Fig. 3).

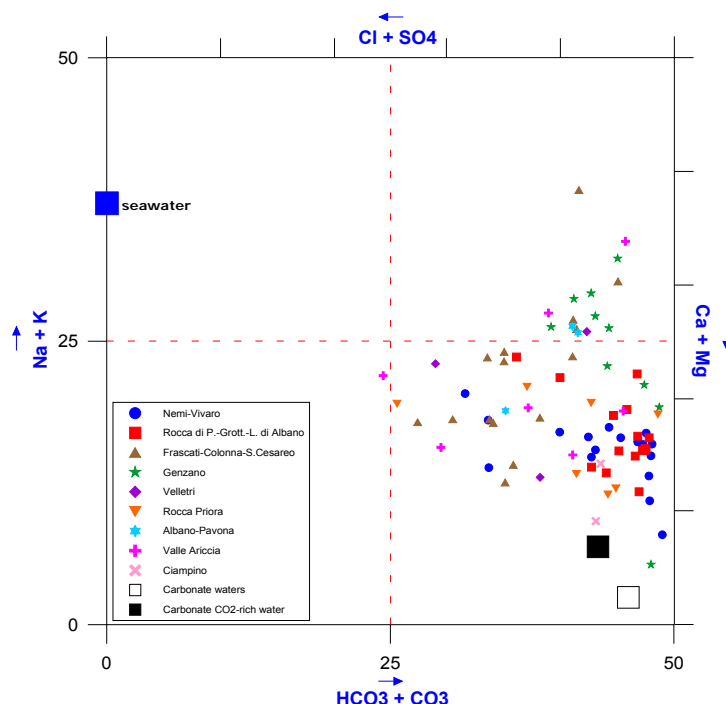


Figura 3. Composizione delle acque di falda dei Colli Albani riportata nel diagramma Ludwig-Langelier. La maggior parte dei punti è posta nel settore delle acque Ca-Mg-bicarbonato e sono relativamente distanti dalla localizzazione nel diagramma delle acque prettamente carbonatiche (indicate con il quadratino bianco in basso a destra). Ciò indicherebbe una circolazione delle acque campionate prevalentemente nei depositi vulcanici con scarsa interazione tra queste acque e quelle circolanti nelle successioni carbonatiche profonde.

In alcuni settori dell'area albana, tuttavia, le acque circolanti nelle successioni vulcaniche ricevono importanti input di gas (soprattutto CO_2) dal basso, suggerendo la presenza di uno strato di roccia impermeabile all'acqua, ma permeabile ai gas (per esempio le successioni argillose plioceniche). Tali dati, in accordo con l'estrema localizzazione del fenomeno di degassamento (Cava dei Selci e Zolfoforata) suggeriscono che l'emissione dei gas avviene in zone ad alta densità di fratturazione e/o dove queste fratture sono rapidamente riattivate. Questa ipotesi è supportata dallo studio degli speleotemi degli ultimi 2000 anni i quali rivelano una emissione pulsante di CO_2 . Un altro obiettivo della task è l'individuazione di eventuali fenomeni di roll-over nelle acque del Lago di Albano che potrebbero innescare pericolose emissioni di gas tipo quelle verificatesi al Lago di Nyos. Nel primo anno di progetto, quindi, sono state effettuate quattro campagne di campionamento e misure dei parametri chimico-fisici delle acque. Le misure, effettuate sempre nello stesso sito lungo profili verticali per tutta la profondità del lago (-173 m), non hanno rilevato variazioni imputabili a fenomeni di roll-over (Fig. 4).

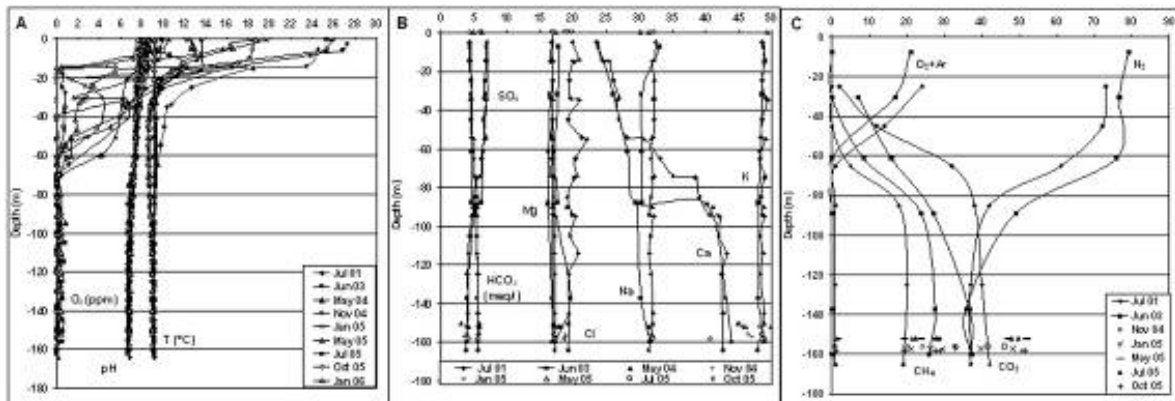


Figura 4. Parametri chimico-fisici delle acque del Lago di Albano misurati sempre nello stesso sito, lungo profili verticali che si sviluppano per tutta la profondità del lago (-173 m). A) variazione di T, pH, e O₂ disciolto, le misure si riferiscono al periodo 2001-2006; B) Variazione della concentrazione di anioni e cationi in mg/l (eccetto HCO₃ in meq/l); C) variazione dei contenuti di gas disciolti (CO₂, N₂, CH₄, O₂+Ar) in vol.%.

Task 3 – Struttura della litosfera sottostante il distretto vulcanico

Scopo di questa task è investigare la struttura profonda dell'area albana e l'origine della sismicità locale attraverso misure di sismica passiva. Durante il primo anno la rete sismica locale è stata incrementata con 15 nuove stazioni sismiche (Fig. 5) ed è stata creata una banca dati delle forme d'onda dei telesismi e dei terremoti regionali e locali. In particolare, il data base degli eventi locali è stato realizzato usando sia il bollettino INGV della sismicità italiana sia le altre fonti disponibili. Il data base degli eventi locali consiste di circa 20 terremoti avvenuti tra il 4 e l'8 gennaio 2006 nel settore nord del distretto vulcanico. Durante questa sequenza sismica, unità di ricerca appartenenti a differenti task hanno lavorato congiuntamente ed in collaborazione con Centro Nazionale Terremoti dell'INGV raccogliendo dati sismici e geochimici che hanno permesso di redigere una relazione a suo tempo inviata agli organi competenti della Protezione Civile. Le nuove stazioni installate nell'ambito di questa task si sono quindi rivelate particolarmente utili ai fini della localizzazione di precisione dei terremoti e dei meccanismi focali della sequenza sismica. Un altro obiettivo della task è quello di sviluppare un metodo per la misura in sito, sotto condizioni controllate di pressione e temperatura, delle velocità soniche in campioni di roccia. Nel primo anno è stato completato il set up del sistema sperimentale.

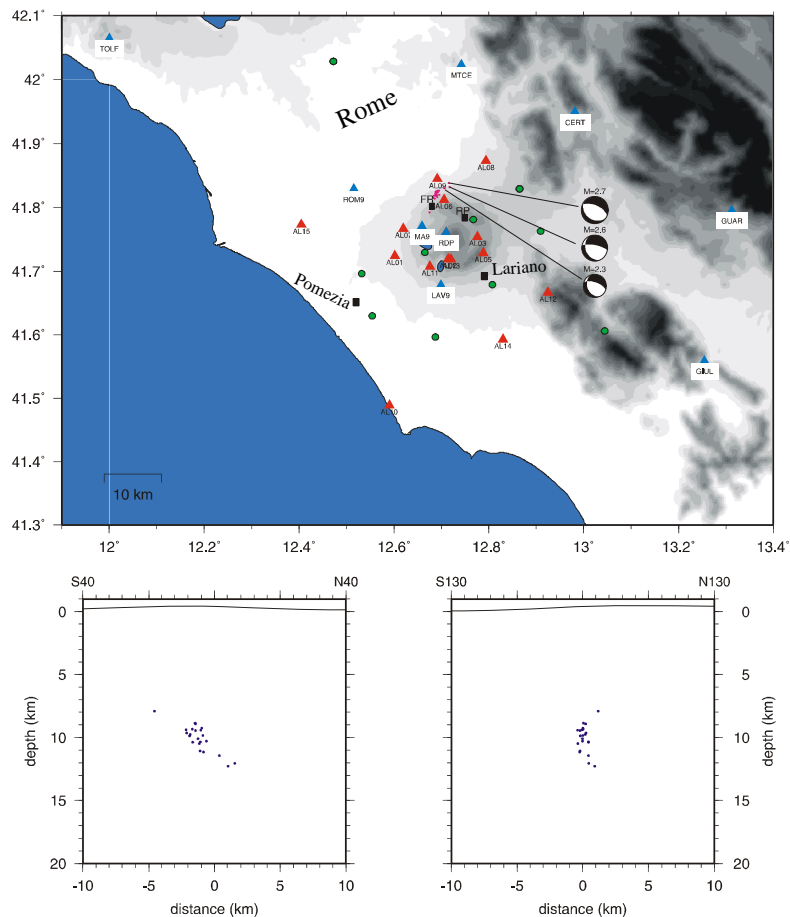


Figura 5. Localizzazione delle stazioni sismiche aggiornata al marzo 2006. i triangoli rossi indicano le nuove stazioni temporanee installate nell'ambito di questo progetto intorno all'edificio vulcanico. I triangoli blu indicano le stazioni permanenti della rete sismica nazionale. I cerchi verdi indicano le stazioni in fase di installazione. I punti rosa indicano gli epicentri degli eventi della sequenza sismica di gennaio 2006; sono riportati anche i meccanismi focali degli eventi principali (alto). Proiezione degli ipocentri della sequenza sismica di gennaio 2006 su sezioni verticali N40 and N130. Il centro delle sezioni corrisponde con la posizione della stazione AL09 (basso).

Task 4 – Struttura e dinamica del distretto vulcanico.

Obiettivo della task è investigare la dinamica morfologica e quella tettonica a bassa profondità del distretto (deformazioni del suolo a scala locale, stabilità dei versanti, eruzioni recenti, gravimetria, campo di stress).

Gli studi hanno riguardato diversi aspetti:

- a) sorgente delle deformazioni e campo di stress;
- b) assetto strutturale e circolazione dei fluidi;
- c) interazione magma/fluidi/rocce nei maar;
- d) impatto sull'attività antropica.

Sorgente delle deformazioni e campo di stress

Questo aspetto integra differenti metodi geodetici per la stima della distribuzione spaziale e temporale delle deformazioni. Sono state effettuate misure di gravità assoluta e relativa con cui sono state realizzate la mappa delle anomalie gravimetriche e del gradiente gravità. Attraverso

l'analisi qualitative delle immagini SAR ed Envisat relative agli ultimi quindici anni è stato evidenziato uno spostamento verso nord delle aree in sollevamento nel distretto. Confrontando i dati recenti con quelli delle campagne di rilevamento geodetico nel periodo 1950-51/1997-99 e 2002 si è osservato che attualmente l'intensità del sollevamento è in diminuzione. Nello stesso ambito è stato effettuato il primo rilevamento batimetrico ad alta risoluzione del Lago di Albano (Fig. 6). Le nuove immagini 2-D e 3-D della morfologia della parte sommersa del maar hanno evidenziato le strutture vulcaniche e la presenza di alcuni importanti corpi di frana. La batimetria, inoltre, non ha messo in evidenza centri di emissione di gas di significativa importanza. Infine, allo scopo di effettuare misure in sito del campo di stress dell'area è stata effettuata una perforazione profonda (350 m) localizzata nell'alto strutturale di Ciampino (Fig. 7).

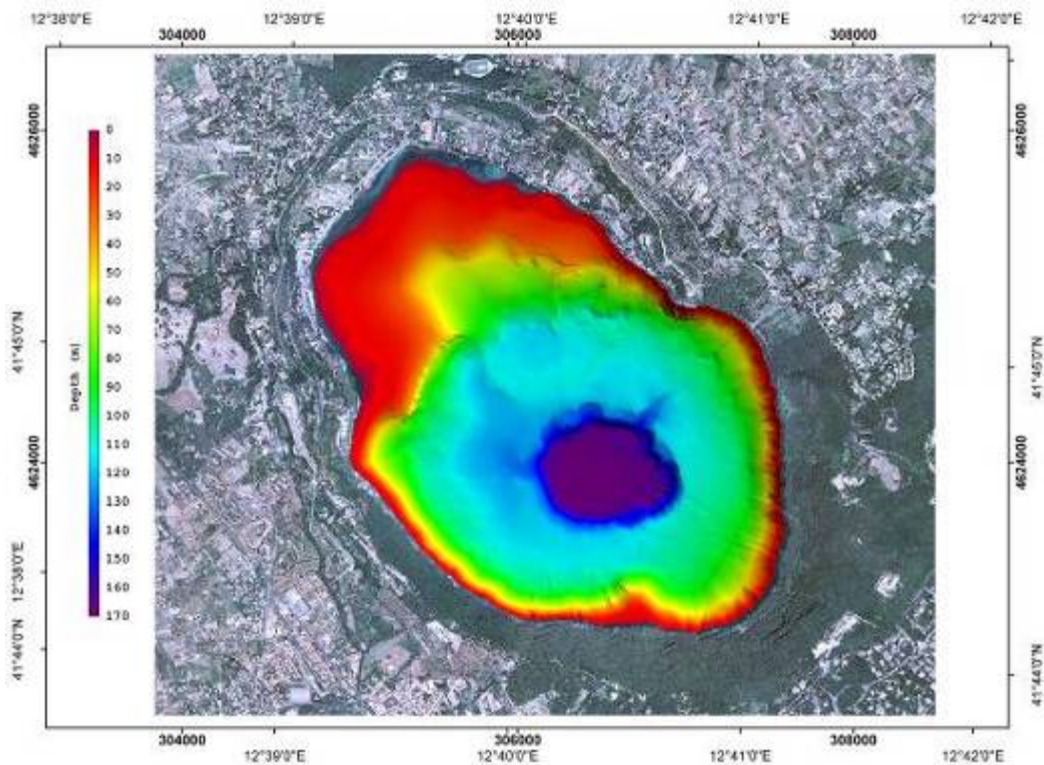


Figura 6. Nuova batimetria ad alta risoluzione del Lago di Albano. Le immagini ben evidenziano le morfologie vulcaniche e il cratere più recente.

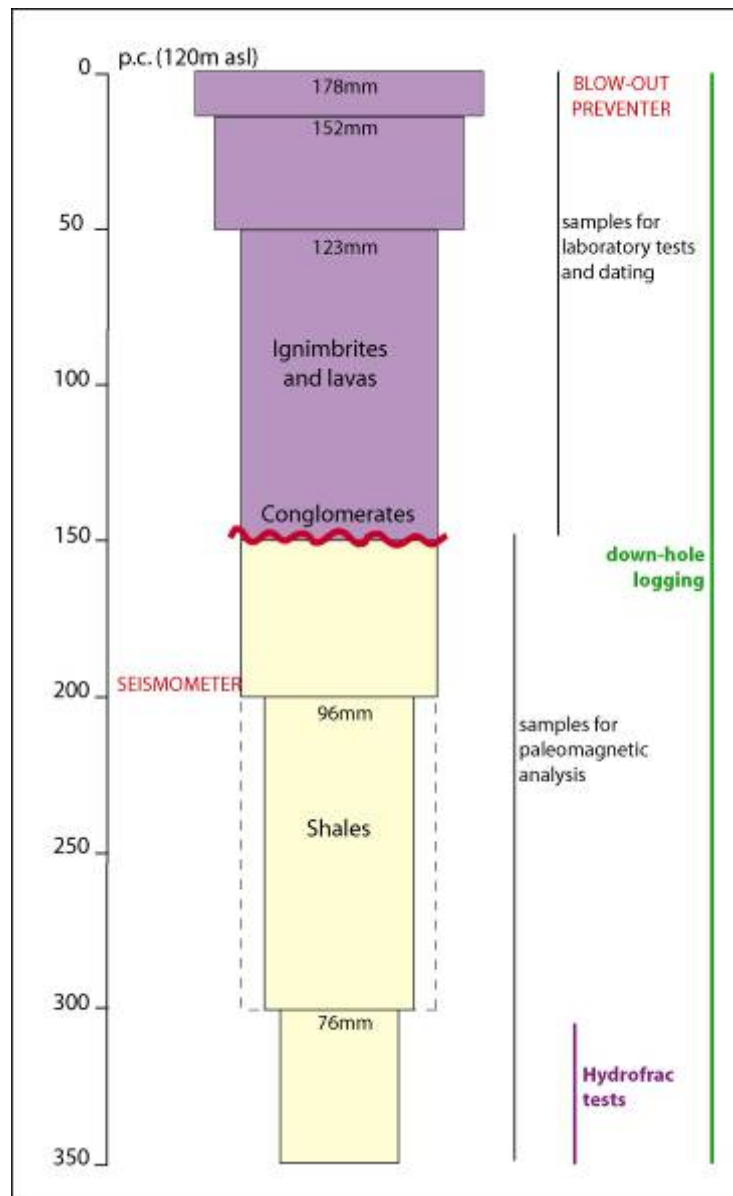


Figura 7. Sviluppo della perforazione profonda per le misure in sito del campo di stress.

Assetto strutturale e circolazione dei fluidi

In questo ambito sono state prodotte due mappe: una relativa ai lineamenti e una relativa alla densità dei lineamenti, entrambe ottenute attraverso l'analisi delle foto aeree della zona. Tali mappe evidenziano che la massima densità dei lineamenti è di circa 2800 e 3500 m/km² ed è localizzata nella zona ovest (Ciampino-Cava dei Selci) e nella zona sud-ovest (La Zolforata) del distretto. L'assenza di minerali idrotermali negli inclusi litici piroclastici e lavici delle unità più recenti dei Colli Albani indica che le argille plioceniche formano una barriera impermeabile alle acque del sistema geotermico profondo.

Interazione magma/fluidi/rocce nei maar. I risultati ottenuti con questo studio indicano che la formazione del Maar di Albano ha coinvolto il substrato sedimentario, le rocce termometamorfiche e le rocce magmatiche ipoabissali e che la profondità e il tipo di interazione magma/incassante è

cambiato nel tempo. Nei due maar studiati (Albano e Prata Porci) sono stati individuati scarsi depositi attribuibili ad eruzioni freatiche mentre la maggior parte sono attribuibili ad eruzioni freato-magmatiche. La dimensione dei crateri e lo studio dei balistici indicano che la massima energia esplosiva avutasi durante gli eventi freato-magmatici è stata di 1016-1017 J. Tuttavia, lo studio del cratere più recente di Albano suggerisce una sua origine legata ad una eruzione prevalentemente magmatica.

Impatto sull'attività antropica

Il rilevamento geologico e geomorfologico delle aree dei laghi di Albano e Nemi ha permesso di realizzare una carta inventario delle frane. Sono stati distinti differenti tipi di frane e il loro stato di attività ed è stato calcolato il volume ed il run-out delle più significative che hanno coinvolto la parte subaerea e sommersa dei versanti del Lago di Albano. Questa carta, associata ai tempi di ritorno dedotto dall'analisi multi-temporale, ha permesso di elaborare una mappa della pericolosità da frana dei versanti dei laghi di Albano (Fig. 8) e di Nemi.

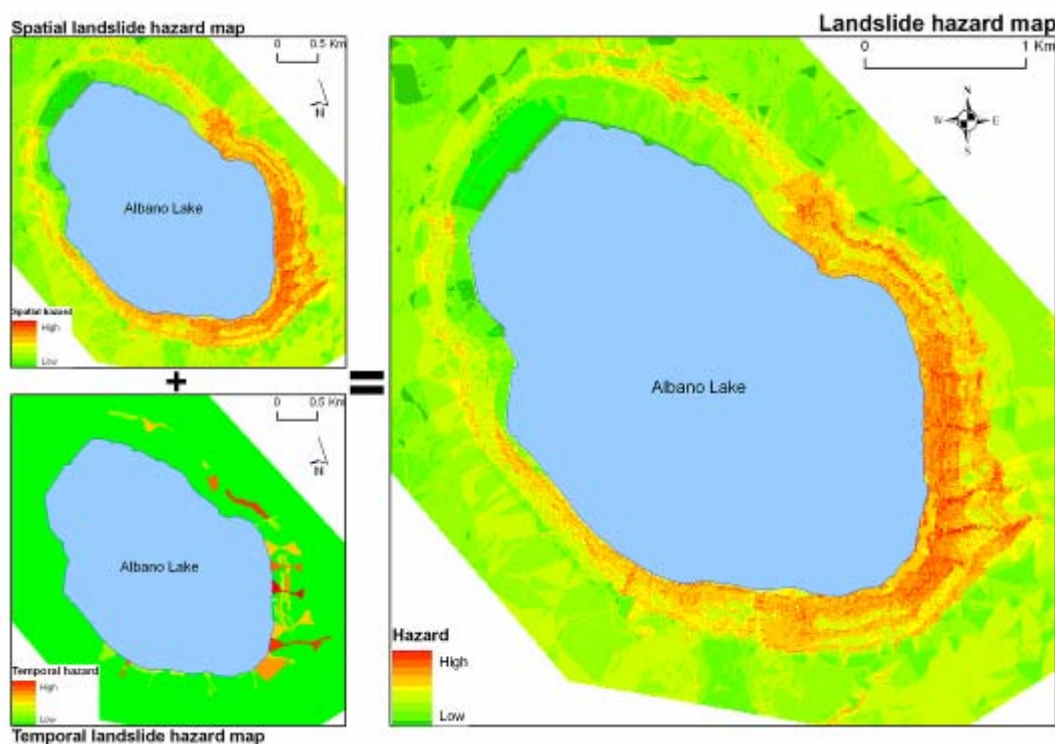


Figura 8. Mappa della pericolosità da frana ottenuta combinando la carta inventario delle frane con i tempi di ritorno dei fenomeni franosi.

L'attuale stato di conoscenza dei fenomeni franosi al Lago di Albano suggerisce uno scenario in cui grandi frane (volume > 106 m³) potrebbero abbattersi sulle acque del lago con una velocità dell'ordine di 10 m/s. Questo studio indica la necessità di valutare il rischio da tsunami, potenzialmente pericoloso per le attività antropiche poste sulle sponde del lago.

Rilevamenti geologici ed archeologici sui depositi vulcanici stratigraficamente più elevati del distretto hanno evidenziato che la dispersione dei prodotti vulcanici correlati con l'attività del Maar di Albano (70-36 ka) è significativamente maggiore rispetto a quanto finora riportato (Fig. 9). Questa maggiore dispersione è stata anche confermata dagli studi archeologici sui siti Pontiniani-Musteriani (120-37 ky). La diversa estensione areale dei prodotti del Maar di Albano suggerisce una magnitudo delle ultime eruzioni maggiore rispetto a quanto ritenuto in passato. Questi dati geo-archeologici risultano in accordo con gli studi vulcanologici sul cratere più giovane del maar che indicano un'origine di quest'ultimo da eruzioni sub-pliniane.

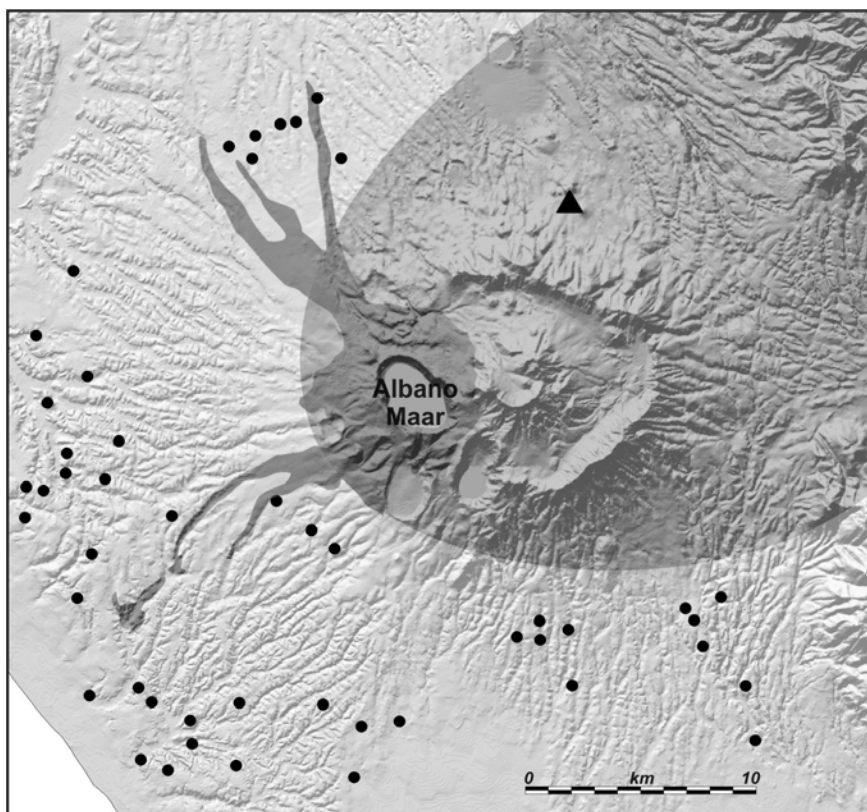


Fig. 9: L'area grigia di forma pseudo-ellittica rappresenta la dispersione areale dei prodotti vulcanici correlati con l'attività del Maar di Albano (70-36 ka) come individuata dai nuovi dati ottenuti nell'ambito del progetto. L'area grigio scura rappresenta invece la dispersione areale degli stessi prodotti secondo gli studi precedenti. I pallini neri rappresentano i siti Pontiniani-Musteriani (120-37 ky) non coperti dai depositi vulcanici del Maar di Albano, mentre il triangolo grigio localizza un sito, della stessa cultura, ritrovato al di sotto di tali depositi.

A latere dei risultati scientifici, le ricerche effettuate nel progetto stanno permettendo lo sviluppo di nuove metodologie: a) misura in sito del campo di stress nelle aree vulcaniche italiane; b) misura delle proprietà elastiche delle rocce in condizioni di elevata pressione e temperatura.

Si ricorda che tutte le carte a cui si fa riferimento sono state allegare alla relazione in lingua inglese presentata al comitato di valutazione scientifica.

Pubblicazioni realizzate nell'ambito del primo anno di progetto

- Carapezza M.L., Cioni R., Guidi M., Lelli M., Tarchini L. Geochimica delle acque dei laghi Albano e Nemi. In: Carapezza et al., "Nuovi dati sull'attività recente del cratere del Lago Albano e sul degassamento dei Colli Albani". Rend. Fis. Acc. Lincei, in press.
- Carapezza M. L., Lelli M., Tarchini L. Geochemistry of the Albano and Nemi crater lakes in the volcanic district of Alban hills (Rome, Italy). Submitted to JVGR. Special volume on "Volcanic crater lakes".
- Di Filippo M., Di Nezza M., Toro B. New gravity interpretations in the northern and eastern side of the Colli Albani Volcanic District: first results, EGU General Assembly 2006, Vienna, Austria, 02-07 April 2006
- Di Nezza M., Di Filippo M., Toro B. A new gravity map in a densely inhabited area (Ciampino and Marino Districts) of Colli Albani Volcanic District characterized by the occurrence of geochemical manifestation. Abstract, Cities on Volcanoes 4 Conference, Quito (Ecuador), January 23-27, 2006
- Freda C., Gaeta M., Scarlato P., Papale P., and Gresta S., The INGV-Italian Civil Protection research program on Italian active volcanoes: Colli Albani Volcanic District (Central Italy). Abstract, Cities on volcanoes 4 Conference, Quito (Ecuador), January 23-27 2006
- Freda C., Gaeta M., Misiti V., Mollo S., Dolfi D., Scarlato P. Crystal Fractionation/crustal interaction processes in ultrapotassic magmas from Alban Hills (central Italy). Abstract, EMPG XI, Bristol (UK), September 11-13 2006.
- Gaeta M., Palladino D.M., Sottili G., Scarlato P., Taddeucci J., Assessing magma-fluid-rock interactions at maar volcanoes of the Colli Albani Volcanic District, central Italy. Abstract, Cities on Volcanoes 4 Conference, Quito (Ecuador), January 23-27, 2006
- Giaccio B., Sposato A., Gaeta M., Marra F., Taddeucci J., Karner D.B., Renne P.R., The late Pleistocene explosive activity of the Albano Maar, Alban Hills Volcanic District, Central Italy – new data for a reappraisal of the eruptive dynamics and history. Abstract, Cities on Volcanoes 4 Conference, Quito (Ecuador), January 23-27, 2006
- Giaccio B., Sposato A., Gaeta M., Marra F., Palladino D.M., Taddeucci J., Barbieri M., Messina P., Rolfo M.F., Mid-distal occurrences of the Albano Maar pyroclastic deposits and their relevance for reassessing the dynamic of the most recent eruptions at the Alban Hills Volcanic District, Central Italy. Submitted to Quaternary International.
- Mariucci M.T., Montone P., Pierdominici S., 2005. Drilling a volcano: scientific experiment at Alban Hills, Italy. EOS Trans AGU, 86(52), Fall Meet. Suppl., Abstract V21D-0643.
- Marra F., Karner D.B. (2005) - The Albano Maar (Alban Hills Volcanic District, Italy): active or dormant volcano? *Il Quaternario*, 18(2), 173-185.
- Misiti V., Behrens H., Freda C., Vetere F., Scarlato P. Solubility of H₂O and CO₂ in potassic melts at 1200 and 1250 °C and 200 and 500 MPa. Abstract, EMPG XI, Bristol (UK), September 11-13 2006.
- Tuccimei P., Giordano G., Tedeschi M., 2006. CO₂ release variations during the last 2000 years at the Colli Albani volcano (Roma, Italy) from speleothems studies. *Earth Planetary Science Letters*, 243: 449-462.
- Tuccimei P., Soligo M., Arnoldus-Huynzenveld A., Morelli C., Carbonara A., Tedeschi M., Giordano G., 2006. Datazione U/Th di depositi carbonatici intercalati ai resti della Via Portuense Antica (Ponte Galeria, Roma): attribuzione storico-archeologica della strada e documentazione cronologica dell'attività idrotermale del fondovalle tiberino. Submitted to *Il Quaternario*, *The Italian Journal of Quaternary Science*, and presented at the Conference "La Geoarcheologia: metodi e applicazioni, Verona, July 7-8 2005.

PROGETTO V3_2: CAMPI FLEGREI

Responsabili: P. Papale (INGV - Sezione di Pisa), S. Gresta (Università degli Studi di Catania)

Coordinatori: P. Papale (INGV - Sezione di Pisa), L. Civetta (Università degli Studi di Napoli)

Stato di avanzamento del progetto

Il progetto V3_2 Campi Flegrei si sta svolgendo nei tempi stabiliti, con ritardi di piccola entità dovuti a cause accidentali, quali ad esempio la rottura di strumenti utili allo svolgimento di esperimenti. Tali inconvenienti sono stati in molti casi compensati da attività inizialmente previste per il secondo anno del progetto. Le attività previste non completate sono comunque state inserite tra quelle programmate per il secondo anno.

La maggior parte delle Unità di Ricerca (RUs) ha completato il lavoro previsto per il primo anno in modo soddisfacente, la ricerca svolta è stata di buon livello e i risultati ottenuti sono molto significativi dal punto di vista scientifico. La coordinazione tra le diverse RUs costituisce un aspetto cruciale del progetto e si sta svolgendo in modo egregio. Sebbene durante il progetto siano state organizzate molte riunioni di coordinazione e ci sono state numerose e quotidiane interazioni tra i ricercatori, per il secondo anno sono previsti ulteriori miglioramenti nel livello di coordinazione tra le varie RUs, le quali dovranno essere pronte a scambiarsi i risultati ottenuti e le nuove idee scaturite dalla prima parte del progetto. In generale, il progetto procede in modo più che soddisfacentemente, anche grazie ai precedenti progetti INGV-DPC Campi Flegrei che costituiscono un substrato ideale sul quale si basa la ricerca che si sta attualmente sviluppando. La maggior parte delle RUs sembra avere un chiaro quadro della meta finale del progetto, relativa alla stima della pericolosità vulcanica a breve, medio e lungo termine. A tale scopo, e per confrontare modelli e idee sperimentali con osservazioni reali, alcuni responsabili del sistema di monitoraggio dei Campi Flegrei (CF), coinvolti nei progetti, sono stati invitati ad intervenire durante le riunioni di coordinazione. La pericolosità vulcanica è l'oggetto di ricerche specifiche nell'ambito del progetto, ed unitamente alle simulazioni numeriche delle dinamiche pre- e sin-eruttive, costituisce lo strumento ideale di integrazione dell'intera ricerca condotta sul sistema vulcanico flegreo, i cui prodotti saranno poi consegnati al Dipartimento di Protezione Civile alla fine del progetto.

Risultati scientifici di rilievo

Di seguito sono sintetizzati alcuni tra gli obiettivi scientifici raggiunti, che appaiono cruciali per le finalità del progetto. I dettagli della ricerca svolta e dei risultati ottenuti sono descritti nei singoli rapporti delle varie UR.

Studi geofisici, in gran parte basati sulla elaborazione di una enorme quantità di dati raccolti durante campagne di tomografia sismica, eseguite negli anni scorsi, così come dati sismici passivi prodotti durante le crisi bradisismiche del 1982-1984 ai Campi Flegrei, stanno permettendo la costruzione di un accurato quadro 3D della struttura della caldera. E' stato ricostruito un modello di velocità delle onde sismiche 3D per l'ubicazione dei terremoti nell'area e nei dintorni dei Campi Flegrei partendo da due immagini tomografiche ad alta-definizione ottenute dopo l'esperimento sismico SERAPIS.

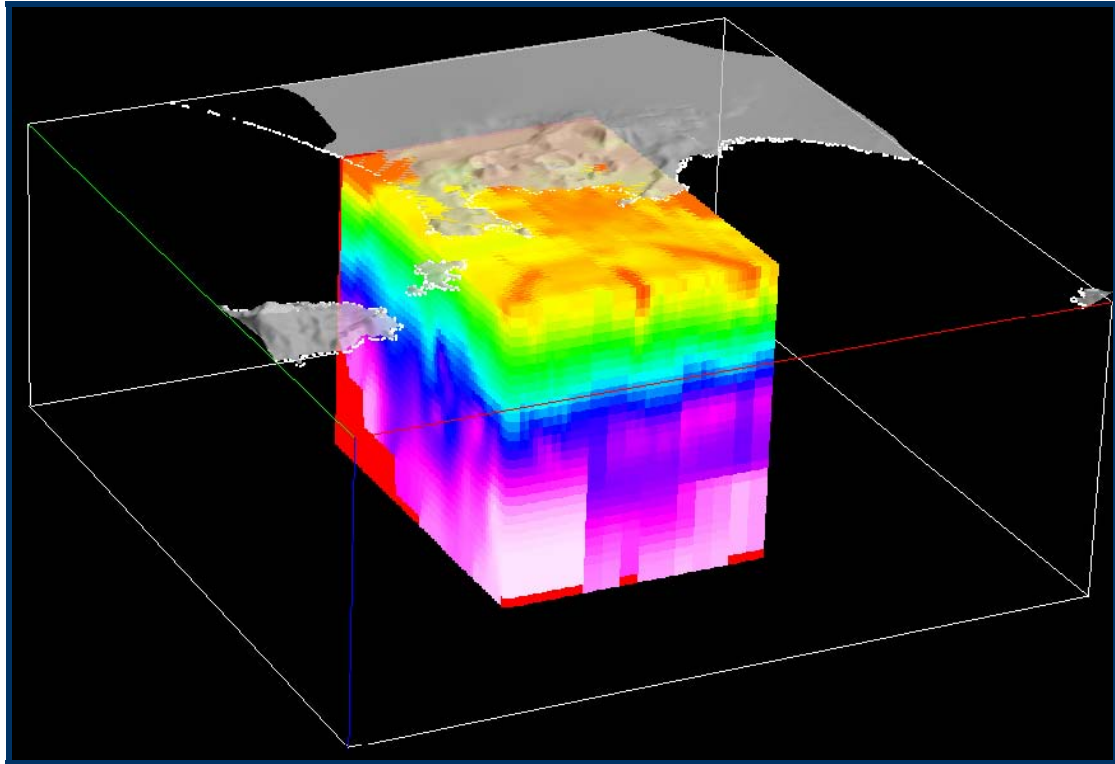


Figura 1. Digital model of the Campi Flegrei Caldera obtained by integration of different resolution tomographic models retrieved by inversion of Serapis data.

I risultati ottenuti hanno permesso di escludere la presenza di corpi magmatici nei primi 4 km di profondità al di sotto dei CF, con volumi maggiori di 1 km³, e di corpi simili tra 4 e 6 km di profondità, con una dimensione orizzontale maggiore di 2 km. La presenza di corpi magmatici di più piccole dimensioni, non è comunque definitivamente esclusa, ma sembra improbabile sulla base del segnale sismico elaborato. Gli stessi studi stanno più chiaramente mostrando l'esistenza di un bordo di caldera sepolto e di una superficie che probabilmente rappresenta il tetto del basamento carbonatico tra 3 e 4 km di profondità al di sotto della caldera. Inoltre, dati sismici e di misure gravimetriche sono stati elaborati per ottenere la distribuzione 1D delle densità e delle proprietà elastiche delle rocce nella caldera, ed ottenere una descrizione realistica dello stato attuale del sistema. A più piccola scala, dati sismici ad alta risoluzione e misure elettromagnetiche stanno producendo un quadro particolareggiato del sottosuolo nelle prime decine di m, all'interno e al di fuori dei margini della caldera. In concomitanza, analisi strutturali stanno contribuendo alla definizione di aree di debolezza dove si concentra lo stress vulcano-tettonico. Le informazioni strutturali, unitamente alla ricostruzione dettagliata dell'ubicazione dei centri eruttivi durante l'ultima epoca di attività vulcanica, sono state utilizzate per ricostruire una mappa probabilistica quantitativa di apertura di bocche eruttive in futuro, che è d'immediata utilità ed importanza per la valutazione della pericolosità vulcanica.

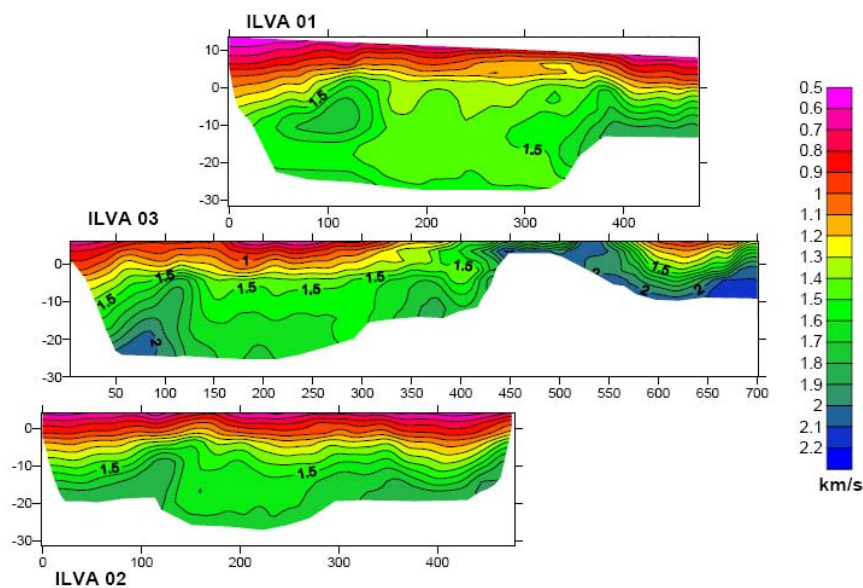


Figura 2. P-wave velocity model of Bagnoli seismic profiles obtained by a non linear tomographic inversion of first arrivals.

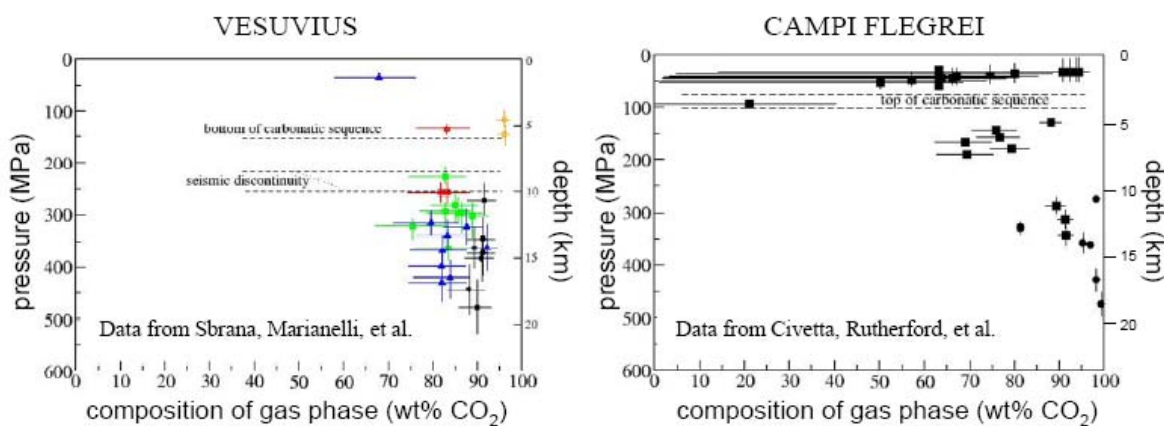


Figura 3. Processing of melt inclusions with the SOLWCAD code for multicomponent H_2O+CO_2 equilibrium in silicate melts.

L'elaborazione di dati su specie volatili intrappolate all'interno di inclusioni vetrose sta contribuendo a dare un quadro del tipo di magma che ha alimentato le eruzioni passate. L'uso di un sofisticato e multicomponente modello di saturazione di H_2O e CO_2 , convalidato attraverso confronti con più di 1000 dati di letteratura relativi a fusi silicatici, rende disponibile una "tomografia petrologica" in grado di fornire la pressione di intrappolamento di inclusioni vetrose e di cristallizzazione dei magmi, e da questa risalire ad una stima della profondità di cristallizzare di corpi magmatici ed ottenere la composizione della fase gassosa all'equilibrio. I risultati sono stati confrontati con quegli ottenuti da dati relativi ai prodotti del Vesuvio, per costruire un quadro generale della struttura sottostante i vulcani napoletani. L'immagine che emerge suggerisce la presenza di una regione comune tra 10 e 20 km di profondità dove risiedono ed evolvono magmi di provenienza mantellica. Tutto ciò ha una buona corrispondenza con la presenza di una discontinuità della velocità delle onde sismiche a 8-10 km di profondità attestata da studi tomografici svolti nell'area del Vesuvio e

interpretati come transizione ad un'area parzialmente fusa. Zone più superficiali di stazionamento di magma sono state evidenziate per entrambi i vulcani, la più superficiale delle quali, ai Campi Flegrei è a solamente 1.5-3 km di profondità, al di sopra del basamento carbonatico riconosciuto da studi sismici. La CO₂ risulta essere il componente più abbondante della fase gassosa del magma che staziona al di sotto del Vesuvio e dei Campi Flegrei, suggerendo che questa specie volatile ha un importante ruolo nella storia magmatica ed eruttiva dei due vulcani. Studi geochimici e petrologici ed investigazioni sperimentali stanno mettendo in evidenza che il mescolamento di magmi in fase pre-eruttiva ai Campi Flegrei è un avvenimento che è avvenuto più volte in passato e che probabilmente avverrà in futuro. Il processo di mescolamento è avvenuto tra magmi di composizione da fonolitica a trachifonolitica che stazionano in zone poco profonde (<3-4 km) e magmi di composizione trachitica provenienti da zone più profonde (circa 10-20 km). Una stima del tempo trascorso tra mescolamento ed eruzione per l'eruzione di Agnano Monte Spina dà un ordine di circa un giorno, suggerendo che i due processi sono strettamente connessi. In tal caso, la capacità di modellare e riconoscere i segnali provenienti dal sistema di monitoraggio, riferiti alla convezione e mescolando di magma in una camera poco profonda, dovrebbe rappresentare un mezzo prezioso per la valutazione a breve termine della pericolosità vulcanica. A tale scopo, simulazioni numeriche di convezione e mescolamento in camere magmatiche in fase di riempimento sono in svolgimento per dedurre la pressione e i cambi di stress ai bordi della camera, e le variazioni prodotte al campo di gravità. Il modello numerico impiegato, sviluppato durante gli anni scorsi e per la prima volta applicato allo studio di sistemi vulcanici, permette una descrizione di variazioni di pressione locali, incluse quelle di alta frequenza (0.1-1Hz), associati al flusso di magma compressibile. Le forme d'onda ottenute, prodotte dalla pressione, sono confrontate col segnale sismico registrato in aree vulcaniche per capire se la convezione che avviene nelle camere magmatiche può essere associata a sequenze di segnali misurabili. I cambi di stress calcolati, prodotti da ingresso di magma in una camera poco profonda, la convezione associata e il mescolamento, saranno utilizzati durante il secondo anno come condizioni per la modellazione della deformazione del suolo nel sistema caldera, allo scopo di definire se una deformazione misurabile può essere associata all'arrivo di nuovo magma in una camera poco profonda. Analisi di dati di sismica profonda, di deformazione, e dati di geochimica dalle crisi bradisismiche del 1982-1984, così come da eventi successivi e minori di sollevamento, consentono il riconoscimento di parametri osservabili. Anche se non possono essere utilizzati per la definizione di precursori, le relazioni che stanno emergendo fra i diversi parametri misurabili permettono la formulazione di ipotesi più realistiche sulle cause che producono il sollevamento ai Campi Flegrei, ed un paragone con i modelli dà la possibilità di controllare queste ipotesi o formularne delle nuove. La modellazione delle dinamiche nelle camere magmatiche, la deformazione del suolo e la circolazione di fluidi idrotermali, svolta nel progetto, è molto promettente, specialmente per gli sforzi che sono stati fatti per unificare i diversi modelli e le dinamiche in diversi domini, e confrontare la magnitudo di variazioni prodotte dai processi diversi. Masse e volumi eruttati durante la lunga storia vulcanica dei Campi Flegrei sono stati sistematicamente raccolti. Ciò rappresenta un passo in avanti significativo riguardo le precedenti conoscenze, secondo cui erano considerate e catalogate solo le aree di dispersione dei prodotti eruttivi. L'analisi della magnitudo (=massa eruttata) delle eruzioni durante l'ultima epoca di attività dei Campi Flegrei, mostra l'esistenza di una grandezza caratteristica delle eruzioni, piuttosto che di una legge di comportamento che spesso caratterizza i processi naturali. Tali informazioni sono state adottate nello schema generale dell' "Event Tree

model” spiegato in dettaglio in seguito. Anche il carattere pulsante di molte eruzioni ai Campi Flegrei è soggetto di specifiche ricerche che puntano a discernere i ruoli dell’attività magmatica e freatomagmatica e il loro peso rispetto alla valutazione della pericolosità vulcanica. Studi di campagna stanno completando la già buona conoscenza della storia vulcanica dei Campi Flegrei, e si sta effettuando la ricostruzione in dettaglio di sequenze di eventi per specifiche eruzioni che sono ritenute rilevanti per la valutazione della prossima eruzione attesa nell’area.

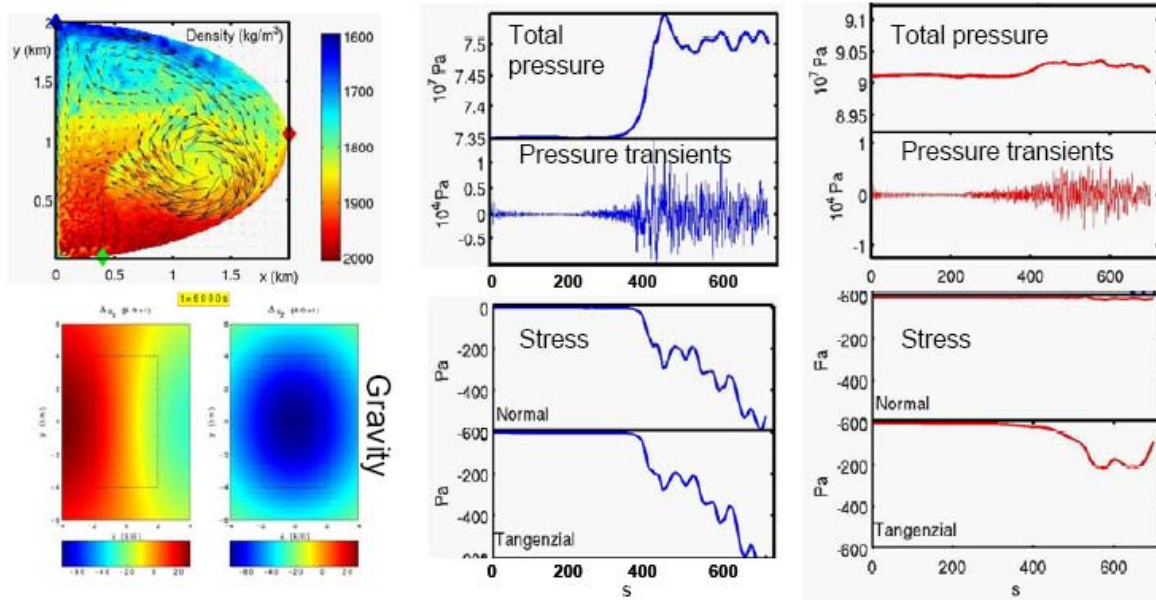
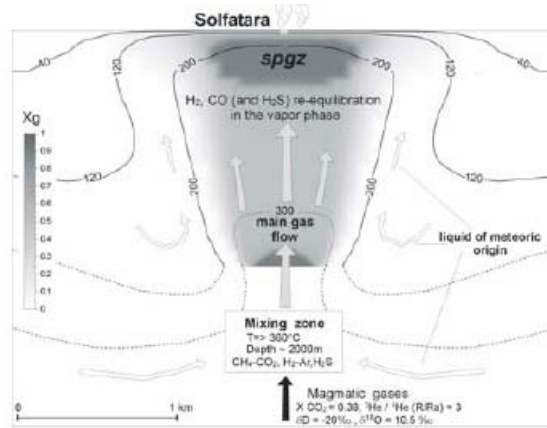
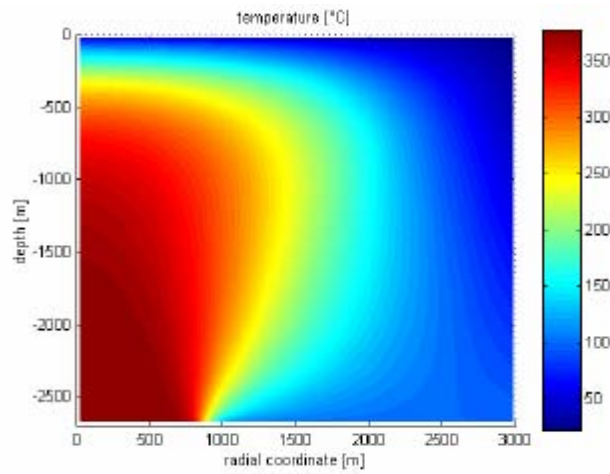


Figura 4. Shallow chamber and low viscosity magma largely enhance the dynamics of convection and mixing. Total pressure, pressure transients, and normal and tangential stresses are reported for the positions corresponding to the blue and red dots on the chamber walls. The x and y components of the gravity field (plane view) assume a 8 km long chamber in the third (not simulated) spatial dimension.

Gli scenari eruttivi sono quindi investigati sia attraverso ricostruzioni di studi di campagna che attraverso modellazioni numeriche. Un significativo set di simulazioni è stato rivolto allo studio delle dinamiche di risalita del magma utilizzando le dinamiche di dispersione di gas e particelle nell’atmosfera. Ciò permette una descrizione 2D-3D della distribuzione spazio-temporale di colonne eruttive o flussi piroclastici che viaggiano su una topografia complessa nella caldera dei CF. Studi particolareggiati cominciati durante il precedente progetto Campi Flegrei e completati nell’attuale progetto, analizzano il ruolo della presenza di CO₂ nelle dinamiche di eruzioni di grande potenza esplosiva, le dinamiche associate alle diverse posizioni delle bocche eruttive, e la capacità di naturali barriere topografiche a contenere flussi di piroclastici. Preliminari simulazioni 3D mostrano le complessità nelle dinamiche di colonne eruttive e flussi piroclastici dovute alla struttura della caldera.



a)



b)

Figure 5. a) Revisited geochemical conceptual model of Solfatara, with the indication of the estimated magmatic gas composition, the deep mixing zone and the possible zone of H_2 , CO and H_2S re-equilibration in the vapor phase. The gas/liquid fractions and the pattern of low- T isotherms with depth, returned by the physico-numerical simulation are also reported. b) Simulated temperature distribution within the caldera.

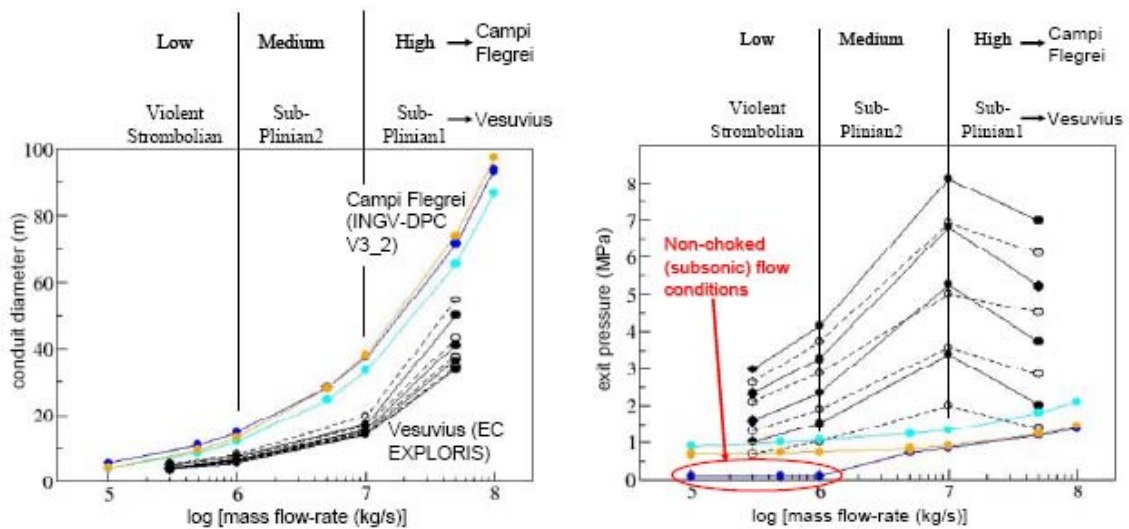


Figure 6. Calculated conduit diameters and exit pressures for expected eruptions at Campi Flegrei and Vesuvius having low, medium and high intensity. The different curves refer to different conditions in terms of H_2O and CO_2 contents.

Queste simulazioni provvederanno, durante il secondo anno del progetto, ad avere un'idea delle aree facilmente raggiungibili, o meglio schermate, da flussi piroclastici originati da specifiche bocche eruttive all'interno della caldera. Queste simulazioni producono direttamente mappe di pericolosità di flussi piroclastici, descrivendo le aree sottoposte alle diverse probabilità di essere raggiunte, secondo diversi valori limite e capaci di produrre danno a diversi livelli.

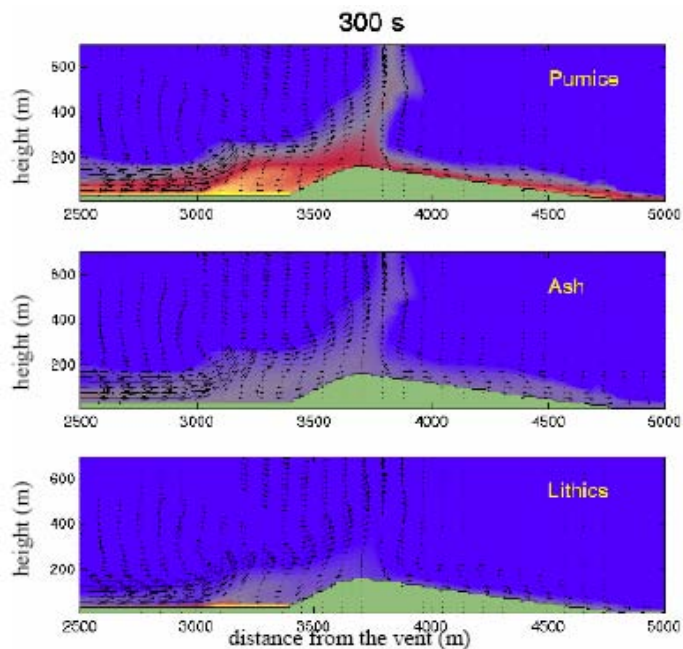


Figura 7. Distribution of particle concentration and velocity field in the proximity of the Posillipo hill, 300 s after the beginning of eruption. The simulation corresponds to the B1 phase of the AMS eruption. Vent conditions computed by numerical simulations of steady 1D magma ascent.

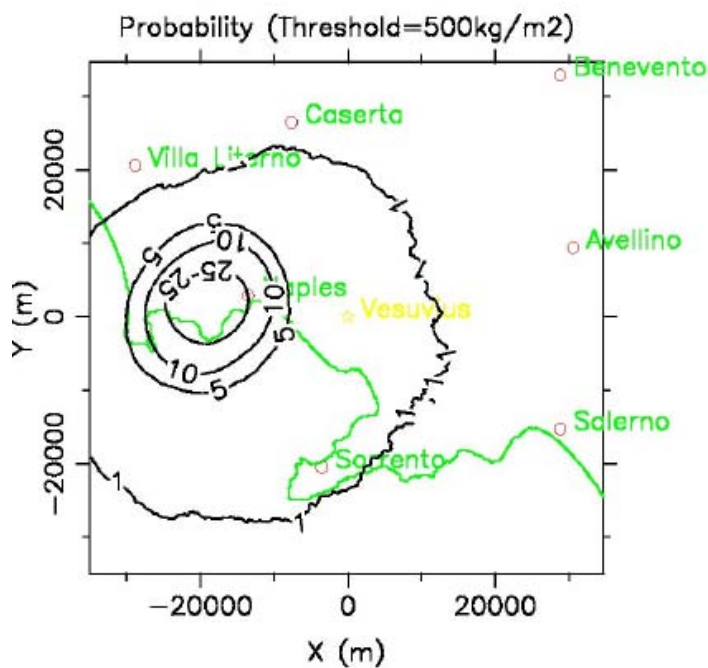


Figura 8. Preliminary hazard map for ash fallout at Campi Flegrei. Curves refer to the probability for ash loading greater than 500kg/m^2 , assuming an eruption similar to the Agnano-Monte Spina one.

L'intera conoscenza guadagnata dal progetto, e quella disponibile in letteratura, è sintetizzata in un modello di Evento ad Albero che è stato sviluppato all'interno del progetto e grazie alla cooperazione col Progetto V4. L'Event Tree Model (BET) è basato su un approccio Bayesiano il quale combina la conoscenza ottenuta attraverso ogni genere di risorsa (dati di campagna, modelli ecc.), nelle varie forme (dati, mappe, osservazioni, opinioni competenti, etc.), coi dati provenienti dalla rete di monitoraggio vulcanico, per restituire una stima della probabilità che avvenga un determinato evento. BET rappresenta per questo un prodotto notevole per il Dipartimento di Protezione Civile. Una delle caratteristiche di maggior pregio di BET è quella di essere "vivo", ovvero, la sua filosofia di lavoro è tale da riuscire a cambiare le sue previsioni in tempi reali. Ciò vuole dire che la valutazione della pericolosità fatta durante fasi di quiescenza del vulcano può essere implementata nel tempo quando saranno disponibili un maggior numero di dati dalla rete di sorveglianza. Alla fine del progetto crediamo di poter avere a disposizione una conoscenza sufficiente e strumenti sufficientemente sofisticati per valutare la pericolosità vulcanica ai Campi Flegrei in modo quantitativo e probabilistico e fornire alle autorità di Protezione Civile uno strumento che rappresenti un mezzo prezioso per la gestione di periodi di crisi vulcaniche.

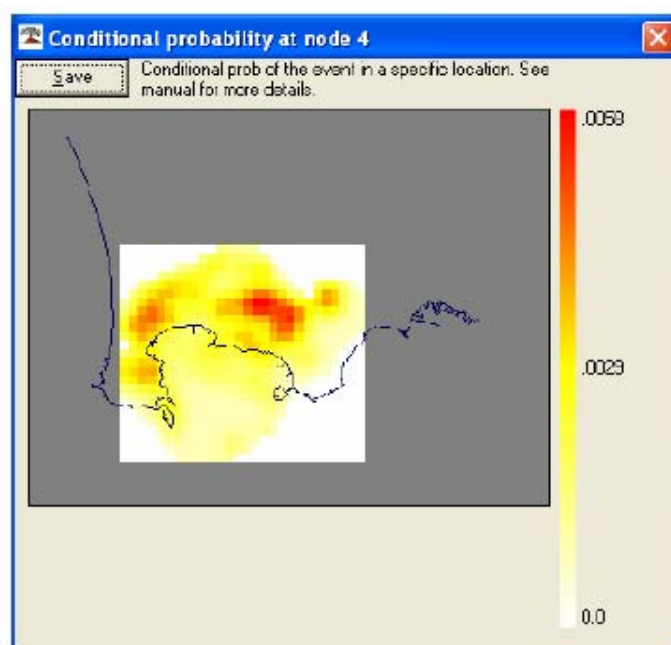


Figura 9. The posterior probability at node 4 (Vent locations) as visualized in BET_EF.

Come considerazione conclusiva generale, questo progetto si propone una modellazione a tutti i livelli, dal comportamento statico e dinamico del sistema magmatico, alle dinamiche di processi pre-sin-eruttivi, al fine di ottenere una valutazione quantitativa della pericolosità vulcanica. Il progetto include ulteriori e significativi sviluppi di modelli e di tecniche, la loro applicazione attraverso un ampio coordinamento tra tutti i partecipanti del progetto, per valutarne i limiti e le possibilità, e indirizzare così la prossima attività di ricerca delle varie Unità.

Descrizione delle riunioni di coordinamento

Il primo meeting di coordinamento si è tenuto a Roma nel Luglio 2005 per tre giorni, appena dopo l'inizio del progetto. Lo scopo della suddetta riunione è stato quello di mettere al corrente tutti i

partecipanti al progetto sulla struttura e gli obiettivi dello stesso ed iniziare una discussione sulle possibili interazioni tra le differenti RUs. Durante il meeting si è deciso di formare due gruppi di lavoro all'interno del progetto, il primo dei quali rivolto alla definizione dello stato attuale del sistema ed il secondo alla definizione degli scenari attesi per le prossime eruzioni ai Campi Flegrei. Nell'ottobre 2005 il gruppo di lavoro per la definizione dello stato del sistema si è riunito a Napoli. Il gruppo ha prodotto un primo documento, che è continuamente in revisione al fine di accogliere i nuovi risultati ottenuti all'interno del progetto, e che rappresenta un riferimento comune a tutte le Unità di Ricerca. Nel novembre 2005 ricercatori del progetto hanno partecipato a una riunione comune a tre diversi progetti (V3_2 Campi Flegrei, V3_4 Vesuvio, e V4). L'obiettivo della riunione era quello di iniziare una discussione sull'utilizzo pratico per i due vulcani coinvolti delle metodologie basate sull'Event Tree e sviluppate all'interno del progetto V4. Nel gennaio 2006 si è tenuta a Napoli una seconda riunione plenaria del progetto, nell'arco di due giorni. L'obiettivo era quello di valutare lo stato di avanzamento delle ricerche e il livello di interazione tra le UR. Nel corso della riunione è stata eseguita una prima elicitazione, i cui risultati sono stati presentati e discussi nelle riunioni successive, sui segnali premonitori di una nuova eruzione ai Campi Flegrei. A questa riunione hanno preso parte anche ricercatori dell'Osservatorio Vesuviano esterni al progetto ma coinvolti nel monitoraggio dei Campi Flegrei. Nel febbraio 2006 il gruppo di lavoro per la definizione degli scenari attesi si è incontrato a Roma nell'arco di un giorno. Il gruppo ha prodotto un documento che definisce le scale di riferimento e le caratteristiche generali di eruzioni attese di scala bassa, media e alta ai Campi Flegrei. Tale documento costituisce un riferimento comune fra tutte le UR partecipanti al progetto. Infine, una terza riunione plenaria si è tenuta nel maggio 2006 a Roma, nel corso di tre giorni. Lo scopo era quello di valutare lo stato delle ricerche prima della fine della prima fase del progetto, e di definire ed eventualmente re-indirizzare in parte le ricerche previste per la seconda fase.

Pubblicazioni

- Bruno, P.P.G., Vincenzo Di Fiore, Zaccaria Petrillo, Giovanni Chiodini, Giovanni P. Ricciardi, Antonio Troiano. The shallow geothermal system at the Solfatara (Campi Flegrei; Italy): inferences from geophysical and hydro-geological data. Submitted to J.G.R.
- D'Antonio M., Tonarini S., Arienzo I., Civetta L., Di Renzo V., in press. Components and processes in the magma genesis of the Phlegrean Volcanic District,(Southern Italy) in: Eds: L. Beccaluva, G.
- Bianchini, M. Wilson, Cenozoic volcanism in the Mediterranean area, Geological Society of America (GSA) special volume.
- Calcaterra D., Coppin D., de Vita S., Di Vito M.A., Orsi G, Palma B., Parise M., 2006. Slope processes in weathered volcanoclastic rocks of Camaldoli hill, Naples (Italy). Geomorphology, in press.
- Capuano P., Zollo A., Auger E., Caielli G., Chiarabba C., Convertito V., D'Auria L., de Franco R., Emolo A., Judenherc S., Lovisa L., Makris J., Michelini A., Moretti M., Priolo E., Russo G., Virieux J., "Campi Flegrei active seismic experiments waveforms compilation", Geophysical Exploration of the Campi (Southern Italy) Caldera' Interiors: Data, Methods and Results, Edited by A. Zollo, P. Capuano and M. Corciulo, Publisher DoppiaVoce ed., Napoli, In press, 2006

- Dello Iacono D., Zollo A. and Judenherc S., "Very high resolution imaging of the shallow structure of Campi Flegrei caldera", *J.Volc.Geoth.Res.*, Submitted, 2006
- de Lorenzo S., Zollo A., Trabace M., Vanorio T., "Three dimensional QP and QS tomographic images of the Campi Flegrei caldera", *Geophysical Exploration of the Campi Flegrei (Southern Italy) Caldera' Interiors: Data, Methods and Results*, Edited by A. Zollo, P. Capuano and M. Corciulo, Publisher Doppiavoce ed., Napoli, In press, 2006
- Esposti Ongaro, T., Papale, P., Neri, A., Del Seppia, D., 2006. Influence of carbon dioxide on the largescale dynamics of magmatic eruptions at Phlegrean Fields (Italy). *Geophys. Res. Lett.*, 33, L06318, doi:10.1029/2005GL025528.
- Klinc P., Priolo E., D'Auria L., Zollo A., Seriani G., Vuan A., "Model construction and forward modelling", *Geophysical Exploration of the Campi Flegrei (Southern Italy) Caldera' Interiors: Data, Methods and Results*, Edited by A. Zollo, P. Capuano and M. Corciulo, Publisher Doppiavoce ed., Napoli, In press, 2006
- Longo, A., Barsanti, M., Papale, P., 2006. Numerical modeling of the thermofluid dynamics of multicomponent compressible-incompressible flows. *Computer and fluids*, under review.
- Misiti, V., Freda, C., Taddeucci, J., Romano, C., Scarlato, P., Longo, A., Papale, P., Poe, B., 2006. The effect of H₂O on the viscosity of K-trachytic melts at magmatic temperatures. *Chem. Geology*, in press.
- Morhange C., Marriner N., Laborel J., Todesco M. and Oberlin C. (2006) Rapid sea-level movements and noneruptive crustal deformations in the Phlegrean Fields caldera, Italy, *Geology*, February 2006, 34 (2), 93–96; doi: 10.1130/G21894.1
- Papale, P., Moretti, R., Barbato, D., 2006. The compositional dependence of the saturation surface of H₂O+CO₂ fluids in silicate melts. *Chem. Geology*, in press.
- Petrini, R.; Slejko, F.F.; Pizzanelli, S.; D'Antonio, M. (2006). Structural characterization and motional properties of hydrous species in volcanic glasses from the Agnano-Monte Spina volcano (Phlegrean Volcanic District, South Italy) by 1H MAS NMR spectroscopy. *Contrib. Mineral. Petrol.*, submitted
- Pizzanelli, S.; Forte, C. and Petrini, R. (2006). Interactions of proton spins in volcanic glasses. *J. Phys. Chem.*, submitted
- Polacci, M., Baker, D., Mancini, L., Tromba, G., Zanini, F., 2006. Three-dimensional investigation of volcanic textures by X-ray microtomography and implications for conduit processes, *Geoph. Res. Lett.* in review.
- Rivalta, E. and Dahm, T. 2006. Acceleration of buoyancy-driven fractures and magmatic dikes beneath the free surface, *Geophys. J. Intern.*, in press.
- Satriano C., Zollo A., Capuano P., Russo G., Vanorio T., Caielli G., Lovisa L., Moretti M., "A 3D velocity model for earthquake location in Campi Flegrei area: application to the 1982-84 uplift event", *Geophysical Exploration of the Campi Flegrei (Southern Italy) Caldera' Interiors: Data, Methods and Results* Edited by A. Zollo, P. Capuano and M. Corciulo, Publisher Doppiavoce ed., Napoli, In press, 2006
- Todesco, M., Neri, A., Esposti Ongaro, T., Papale, P., Rosi, M., 2006. Pyroclastic flow hazard in a caldera setting: application to Phlegrean Fields, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, under review.
- Vanorio T., Virieux J., Zollo A., Capuano P., Russo G., "A Rock Physics and Seismic Tomography Study to Characterize the Structure of the Campi Flegrei Caldera", *Geophysical Exploration of the Campi Flegrei (Southern Italy) Caldera' Interiors: Data, Methods and Results*, Edited by A. Zollo, P. Capuano and M. Corciulo, Publisher Doppiavoce ed., Napoli, In press, 2006
- Zencher, F., Bonafede, M. and Stefansson, R., 2006. Near-lithostatic pore pressure at seismogenic depths: a thermo-poro-elastic model, *Geophys. J. Intern.*, in press.
- Zollo, D. Dello Iacono, S. Judenherc, "Structure of Campi Flegrei caldera: new insights from the inversion of first P-arrival times of Serapis experiment", *Geophysical Exploration of the Campi Flegrei (Southern Italy)*

Caldera' Interiors: Data, Methods and Results, Edited by A. Zollo, P. Capuano and M. Corciulo, Publisher Doppia voce ed., Napoli, In press, 2006

PROGETTO V3_3: ISCHIA

Responsabili: P. Papale (INGV - Sezione di Pisa), S. Gresta (Università degli Studi di Catania)

Coordinatori: G. Orsi (INGV - OV Napoli), A. Aiuppa (Università degli Studi di Palermo)

Stato di avanzamento del progetto

Il Progetto di Ricerca V3_3 coordina le ricerche miranti alla valutazione della pericolosità vulcanica dell'Isola di Ischia. Il progetto è suddiviso in 5 Task e raccoglie il contributo di 14 Unità di Ricerca. Vengono di seguito sintetizzati i principali risultati conseguiti nel primo anno di attività (più dettagliate informazioni sono contenute nella relazione presentata nel Giugno 2006 al Comitato di Valutazione).

Le ricerche pianificate nell'ambito del Task 1 sono state condotte dalle UR 2, 4, 5 e 10. Tutti i deliverables previsti in questo task sono stati raggiunti; inoltre, alcune delle ricerche previste per il secondo anno di attività sono state già intraprese. Il Task 1 si pone l'obiettivo di migliorare le conoscenze sull'assetto strutturale dell'isola e di caratterizzarne la struttura crostale attraverso l'utilizzo e la combinazione di varie metodologie. In tale ambito, l'UR 2 ha interpretato profili sismici acquisiti nella baia di Napoli nell'ambito dell'esperimento SERAPIS nel Settembre 2001, producendo un modello di velocità preliminare 3D dell'area (Fig. 1). Analoghi risultati sulla struttura profonda della baia di Napoli sono raggiunti dall'UR 4 attraverso l'analisi e la re-interpretazione di profili sismici eseguiti dall'OGS nel 1973. L'UR 2 ha inoltre elaborato una mappa gravimetrica del Golfo di Napoli, con particolare riferimento all'area ischitana.

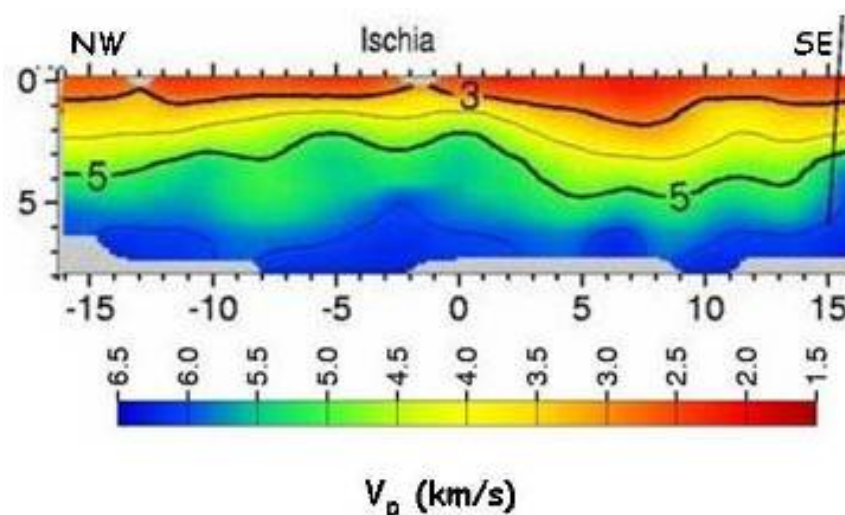


Figura 1. Sezione sismica lungo un profilo NW-SE che attraversa l'Isola di Ischia. Sebbene preliminare, il profilo mostra la profonda eterogeneità laterale del presunto top della sequenza carbonatica (5-5.5 km/s).

L'UR 10 ha condotto dei sorvoli ad alta risoluzione dell'isola di Ischia con un elicottero laboratorio. Sulla base dei dati raccolti ha elaborato una mappa ad alta risoluzione del campo aeromagnetico (Fig. 2), e una mappa di distribuzione del torio. Il contributo dell'UR 5 è consistito nel processamento di un preesistente set di dati magnetici. L'UR 4 ha investigato l'assetto strutturale

dell'Isola d'Ischia, e in particolare la cinematica della risorgenza del Monte Epomeo e le relazioni fra tettonica, vulcano-tettonica e vulcanismo negli ultimi 10 ka. Questa UR ha inoltre sviluppato e messo a punto un apparato per la modellazione analogica dei processi di intrusione e di stazionamento nella crosta dei magmi di Ischia, ed ha condotto i primi test sperimentali di verifica.

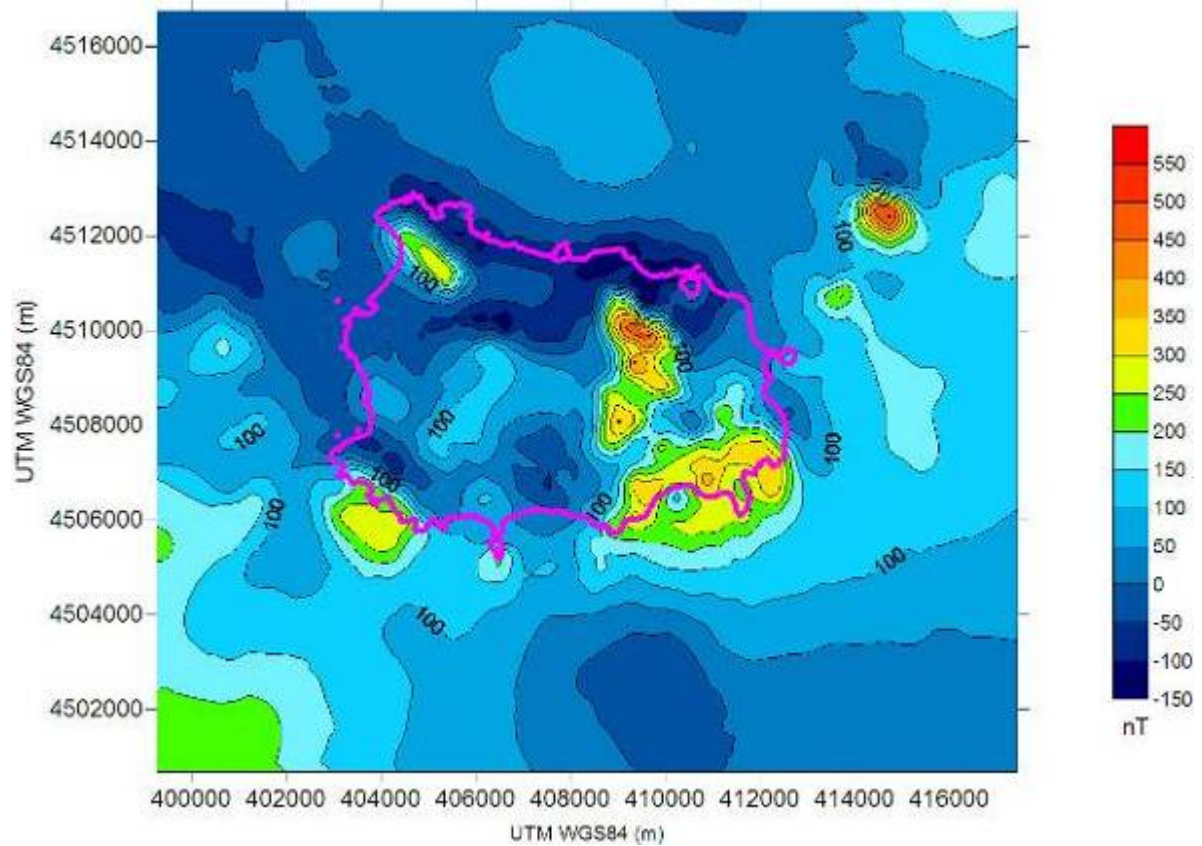


Figura 2. Mappa ad alta risoluzione del campo aero-magnetico dell'Ischia.

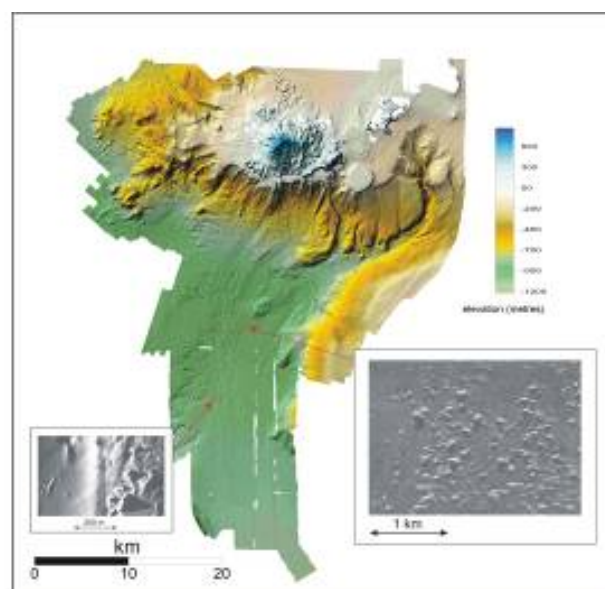


Figura 3. DTM dell'Ischia.

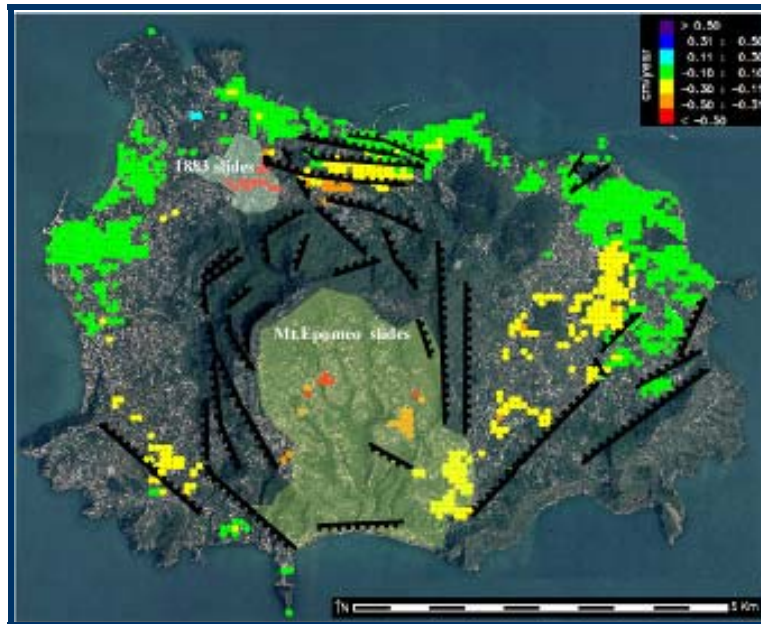


Figura 5. Velocità di deformazione verticale media sull'isola di Ischia.

E' stata indagata la distribuzione areale delle lave e dei duomi. L'UR 6 è stata inoltre impegnata nell'analisi delle numerose evidenze archeologiche riguardanti le interazioni fra vulcanismo e attività dell'uomo, intercorse a partire dal VII secolo a.C. Infine, l'interpretazione di dati di livellazione di precisione e DInSAR ha mostrato che l'isola è caratterizzata da un fenomeno di subsidenza in atto nelle aree di Fango e Fontana, entrambe collegate a fenomeni di collasso gravitativo (Fig. 5). I risultati degli studi paleomagnetici, condotti dalla UR 12 su un carota di sedimenti di 33-m proveniente dal bacino sud-Tirrenico, hanno messo in evidenza che i 9 m superiori della stessa sono stati depositi nel corso degli ultimi 75 ka. Per questo intervallo temporale, è stata definita una stratigrafia isotopica e una ricostruzione biostratigrafica di alta risoluzione. L'UR 8 ha effettuato una fitta raccolta dei campioni da utilizzare successivamente per analisi geocronologiche. Sono stati raccolti campioni da quelle unità che presentano una posizione stratigrafica chiave o incerta, e da quelle che, sulla base delle precedenti datazioni K-Ar, hanno scarsi vincoli temporali. Le ricerche svolte nell'ambito del Task 3 dalle UR 3, 9, 11 e 14 hanno significativamente contribuito a estendere lo stato delle conoscenze sul sistema magmatico di Ischia, consentendo una più accurata conoscenza delle caratteristiche chimico-fisiche dell'area sorgente e una valutazione preliminare di pressione, temperatura e composizione del reservoir magmatico. Lo stato di avanzamento delle ricerche del Task 3 è in linea con le previsioni, sebbene il raggiungimento di alcuni obiettivi è stato rinviato al secondo anno del progetto (paragrafo 1.3). Gli studi petrologici delle quattro UR si sono concentrati su un set comune di campioni relativi a 3 eruzioni rappresentative, selezionate in collaborazione con le UR 4 e 8. Le eruzioni selezionate sono: Cretaio (1860 BP), l'evento di massima magnitudo negli ultimi 10 ka; Arso, l'evento di più bassa magnitudo e più recente (1302 AD); Posta Lubrano (IV secolo B.C.-II secolo A.C.), un evento di media magnitudo. Le eruzioni di Vateliero (> VI-IV secolo B.C.), Molarà (> VI-V secolo B.C.) e Cava Nocelle (ca. 2 ka) sono state oggetto di studio, sebbene con minore dettaglio. L'UR 3

ha effettuato una caratterizzazione mineralogica, geochemica e isotopica (Sr, Nd) delle vulcaniti del periodo 74-55 ka e di quelle delle eruzioni selezionate degli ultimi 10 ka. Sebbene il lavoro analitico sia tuttora in corso e l'elaborazione dei dati sia ancora parziale, gli studi dell'UR 3 hanno prodotto sia uno scenario consistente dell'evoluzione recente (<10 ka) del sistema di alimentazione magmatica di Ischia (Fig. 6), sia importanti informazioni sulle proprietà del sistema precedentemente all'eruzione del Tufo Verde del Monte Epomeo.

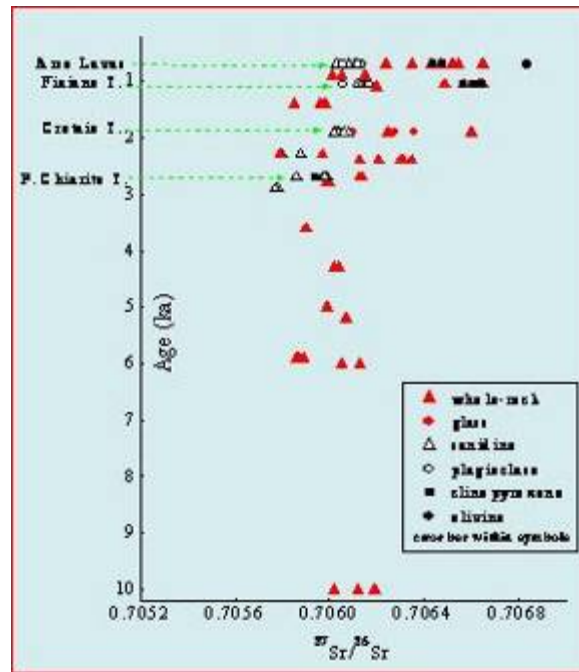


Figura 6. Rapporto isotopico $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ contro l'età di messa in posto delle vulcaniti di Ischia (periodo <10ka-presente).

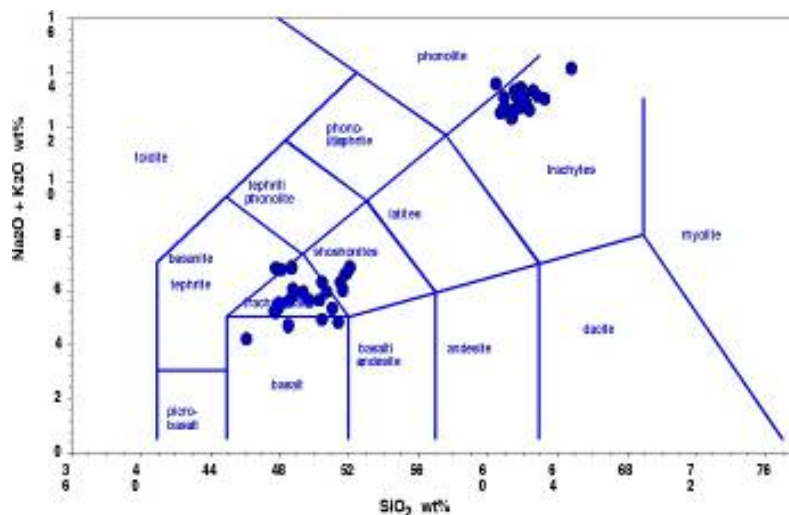


Figura 7. Diagramma TAS per le inclusioni vetrose di Ischia.

L'UR 9 ha investigato sperimentalmente attraverso spettroscopia NMR la speciazione dell'acqua nei vetri delle eruzioni esplosive selezionate per il periodo <10 ka, portando un importante

contribuito alla valutazione dei processi di essoluzione dei volatili e di frammentazione del magma. Le misure micro-termometriche svolte dall'UR 11 hanno permesso di determinare la temperatura di omogeneizzazione delle inclusioni nei fenocristalli, suggerendo per il sistema magmatico un range di temperature comprese fra 950 e 1.140°C. La stessa unità ha anche proposto una caratterizzazione chimica (elementi maggiori e contenuto in volatili) delle inclusioni vetrose, essenziale per una valutazione delle condizioni P-X del reservoir magmatico. L'UR 14 ha determinato le concentrazioni e i rapporti isotopici del boro in un set rappresentativo di vulcaniti di Ischia, contribuendo a una migliore comprensione delle caratteristiche della regione sorgente dei magmi ischitani. Una migliore conoscenza del sistema geotermico di Ischia è derivato dalle ricerche sviluppate nell'ambito del Task 4. L'UR 1 ha effettuato una caratterizzazione geochemica delle acque termali dell'isola; sulla base dei dati acquisiti, sono state elaborate delle mappe idrogeochemiche per molti costituenti chimici (Fig. 8), utili a descrivere l'eterogeneità chimica del sistema idrotermale e il contributo relativo di fluidi di diversa origine (acqua meteorica, acqua di mare, fluidi magmatici o mantellici). Sulla base dell'utilizzo della geotermometria in fase acquosa, è stata stimata la temperatura di equilibrio dei reservoir(s) geotermici sull'isola. Una caratterizzazione chimica e isotopica dell'elio e dell'anidride carbonica disciolta nelle acque ha permesso di verificare che fluidi di origine profonda (magmatici e/o mantellici) interagiscono attivamente con l'acquifero anche durante la presente fase di quiescenza (Fig. 8). Le aree ove l'interazione è più marcata sono state individuate e relazionate al peculiare assetto geologico, tettonico e strutturale dell'isola (in cooperazione con le UR 4 e 8).

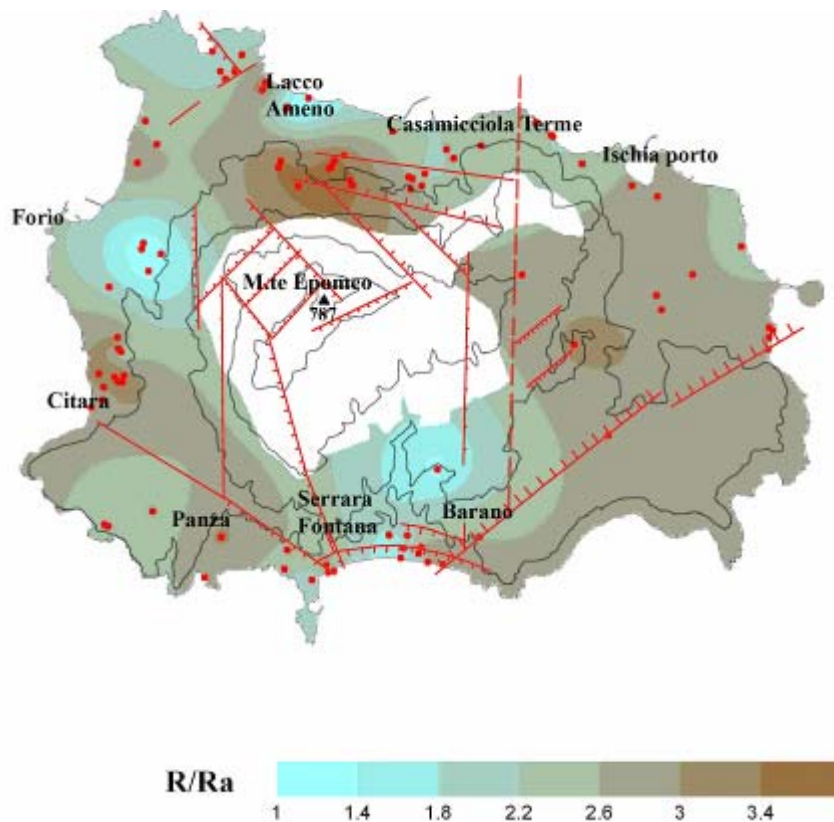


Figura 8. Mappa della composizione isotopica dell'elio disciolto nelle acque termali di Ischia (espresso come R/Ra).

L'UR 11 ha individuato e mappato le aree di diffusa alterazione idrotermale (fossili ed attive). Questi dati, combinati con quelle degli studi idrogeochimici sopra menzionati, hanno migliorato la conoscenza sulla circolazione idrotermale sull'isola. Le principali facies di alterazione sono state identificate attraverso analisi XRD, focalizzata in particolare sull'analisi dei fillosilicati. Nelle aree attive, sono state riscontrate diverse facies di alterazione, da argillitica ad argillitica avanzata. Contrariamente, le ricerche dell'UR 7 presentano un certo ritardo rispetto al programma originariamente previsto, ed il deliverable "graphical two-three dimensional representations for the geometry of the deep-seated hydrothermal reservoirs", che necessita il completamento di misure elettromagnetiche sull'isola, non è stato raggiunto durante il primo anno di progetto (paragrafo 1.3). Gli obiettivi del Task 5 sono stati perseguiti dalle UR 4, 5, 8 e 13. Il raggiungimento dei risultati attesi è dipeso dai cambiamenti operati nell'ambito del Task 2. I dati raccolti dalla UR 8 permettono alcune conclusioni preliminari sulla valutazione della pericolosità vulcanica. Gli ultimi 10 ka di storia eruttiva dell'isola devono essere considerati come periodo di riferimento per la valutazione della pericolosità. Durante questo periodo, il vulcanismo è stato concentrato principalmente nella porzione orientale dell'isola (Fig. 9), corrispondente alla parte in estensione del blocco risorgente.

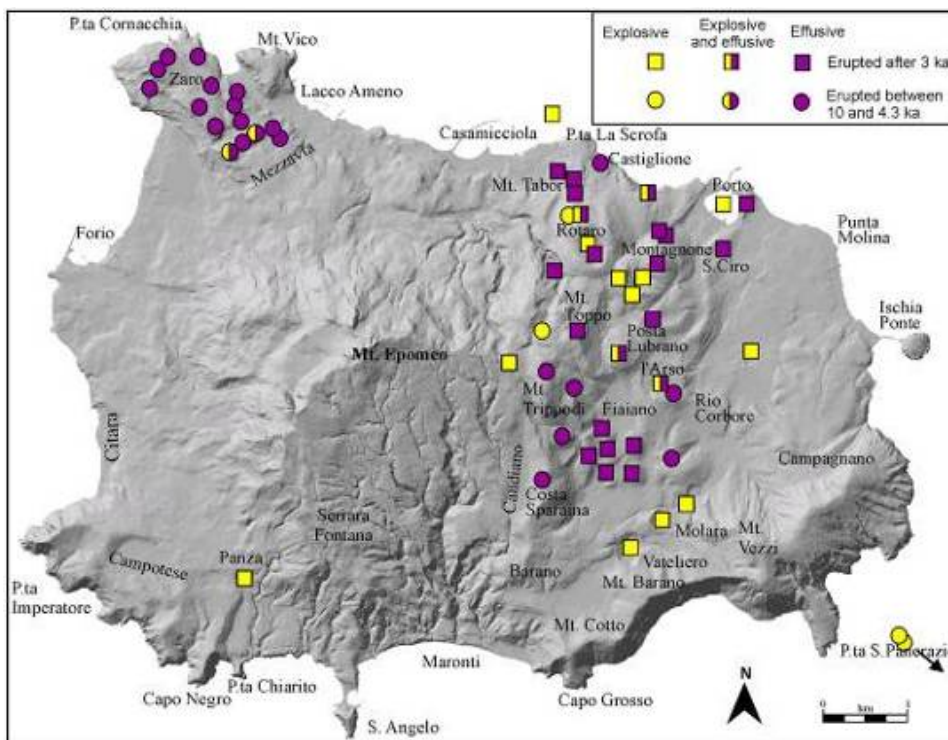


Figura 9. Mappa dell'ubicazione dei centri di emissione attivi negli ultimi 10 ka.

E' pertanto possibile ipotizzare che la ripresa del vulcanismo potrà avvenire qualora una nuova fase di sollevamento del blocco risorgente riattivasse le faglie attraverso le quali il magma potrebbe migrare verso la superficie. Pertanto, la prossima eruzione potrebbe avvenire più probabilmente nel settore orientale dell'isola, e potrebbe essere sia di effusiva che esplosiva. Un evento effusivo potrebbe generare un duomo o una colata lavica, mentre un evento esplosivo potrebbe generare

caduta di particelle o flussi piroclastici. In assenza di dati stratimetrici utili alla costruzione di mappe di dispersione, isopache e isoplete per le ragioni riportate nel paragrafo 1.3, sono state costruite delle mappe di distribuzione areale per ogni unità piroclastica (Fig. 10) e di frequenza di distribuzione, assumendo come area di dispersione il settore in cui l'unità è effettivamente affiorante. Questa assunzione induce una stima conservativa della reale area di dispersione. Inoltre, sono stati raccolti sia i dati di input per parametrizzare i modelli di dispersione, sia i dati topografici per la modellizzazione dei flussi lavici. L'eruzione storica di Cretaio (volume $< 0.02 \text{ km}^3$) è stata selezionata come evento di riferimento per la stima della pericolosità da caduta di particelle, mentre l'eruzione dell'Arso è stata scelta come evento tipo di un'eruzione effusiva. La pericolosità correlata al vulcanismo di Ischia include inoltre movimenti gravitativi superficiali e generazione di tsunami. I depositi vulcanoclastici degli ultimi 5,5 ka legati all'instabilità di versante sono stati classificati dall'UR 4, mentre i movimenti gravitativi sub-acquei sono stati studiati dall'UR 5.

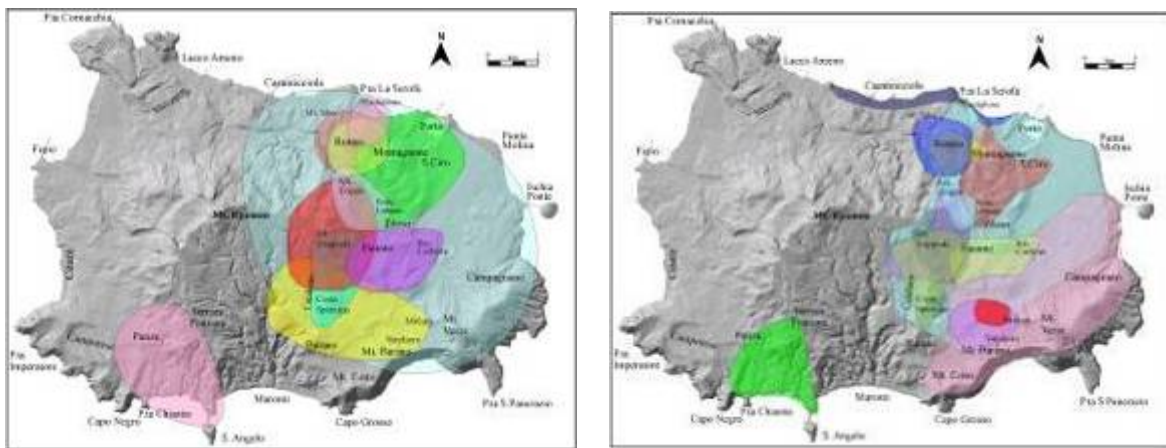


Figura 10. a) Distribuzione areale dei depositi da caduta degli ultimi 10 ka; b) Distribuzione areale dei depositi di correnti piroclastiche degli ultimi 10 ka.

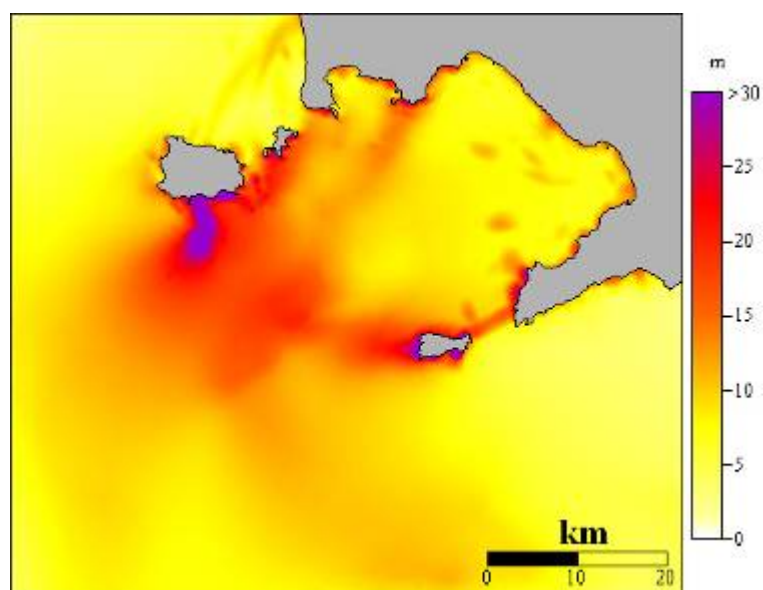


Figura 11. Grafico della massima elevazione dello tsunami, ottenuto dal modello di calcolo parametrizzato in base a un evento franoso di "massima" intensità ad Ischia.

Un caso limite di evento franoso è stato utilizzato dall'UR 13 allo scopo di mettere a punto e ottimizzare un dominio di calcolo per la simulazione numerica degli tsunami. Sono state effettuate simulazioni per valutare per la prima volta la propagazione di tsunami generati a Ischia. In base alle simulazioni (Fig. 11), lo tsunami si propaga dalla costa meridionale di Ischia, entra nel golfo di Napoli ove le onde sono rallentate e attenuate dalla bassa profondità, e raggiungono Napoli e l'intero golfo.

Prodotti scientifici di rilievo

- Produzione ed elaborazione di dati sismici, magnetici, gravimetrici e strutturali di superficie, atti alla definizione dell'assetto strutturale dell'Isola d'Ischia e alla caratterizzazione della crosta sottostante;
- Definizione dell'assetto strutturale del vulcano e della dinamica della deformazione legata alla risorgenza, successiva al collasso calderico;
- Individuazione di almeno 10 eruzioni esplosive nel periodo 74-50 ka, precedentemente ritenuto come una fase di prolungata quiescenza. Questi studi permettono di definire lo stato del sistema vulcanico prima e durante le sue fasi di più drammatico cambiamento;
- Dettagliata ricostruzione della sequenza di eventi eruttivi degli ultimi 10 ka, e caratterizzazione delle dinamiche eruttive. Questa conoscenza è una base essenziale per la valutazione a lungo termine della pericolosità vulcanica;
- Definizione dei movimenti gravitativi superficiali, e loro relazione con vulcanismo e tettonica;
- Definizione dei movimenti gravitativi sub-aerei e sub-acquei potenzialmente in grado di generare tsunami;
- Miglioramento dello stato delle conoscenze sulle caratteristiche chimiche e fisiche della regione sorgente dei magmi, interpretato come un settore di mantello modificato dall'iniezione di fluidi e fusi derivanti dal processo di subduzione;
- Valutazione quantitativa delle condizioni P-T-X del sistema di alimentazione magmatica durante gli ultimi 10 ka, con particolare riferimento al range di temperatura dei reservoir magmatici, stimato fra 950 e 1.140°C;
- Definizione dei processi evolutivi dei magmi durante le fasi di stazionamento nei reservoir cristallini, dominati da cristallizzazione frazionata e fenomeni di mixing/mingling fra magmi acidi e basici;
- Caratterizzazione isotopica dei gas disciolti nelle acque termali, e prima valutazione quantitativa del budget di volatili trasportato dall'acquifero. Circa 5 tonnellate di CO₂ di origine magmatica sono giornalmente trasportate dalle acque sotterranee nell'isola; questa stima rappresenta un valore di base per il livello di gas trasportati durante una fase di quiescenza del vulcano;
- Definizione degli ultimi 10 ka della storia eruttiva del vulcano, come periodo di riferimento per la valutazione della pericolosità vulcanica;
- Definizione degli scenari eruttivi delle eruzioni passate, e della distribuzione spaziale dei centri di emissione, dei duomi e delle colate laviche negli ultimi 10 ka;

- Mappe preliminari della distribuzione spaziale e della frequenza di accadimento dei depositi piroclastici di caduta e flusso;
- Simulazione degli tsunami indotti da fenomeni gravitativi a Ischia.

Problemi specifici che hanno ritardato l'avanzamento del progetto

Una serie di problemi specifici hanno rinviato il raggiungimento di alcuni obiettivi dal primo al secondo anno di attività; tuttavia, tali ritardi non danneggeranno la complessiva qualità/quantità di informazioni che saranno rese disponibili alla fine del progetto. La produzione delle mappe delle isocrone del top del basamento carbonatico (UR 4) è stata ritardata, poiché è stata data priorità alla messa a punto e sperimentazione dell'apparato sperimentale per la modellazione 3D dei processi di intrusione magmatica e stazionamento, attività originariamente prevista nel secondo anno di attività. Il ritardo nella valutazione di magnitudo e intensità delle eruzioni degli ultimi 10 ka e nella costruzione nelle mappe delle isopache e isoplete (RU 8) è conseguenza della scelta di operare una caratterizzazione preliminare dei prodotti di tutto il periodo eruttivo, mentre nel secondo anno di attività si dedicherà maggiore attenzione alla produzione ed elaborazione di dati stratimetrici. Il completamento dei deliverables per il primo anno da parte della UR 6 è stato impedito dall'eccessivo ritardo con il quale i fondi di ricerca attribuiti sono effettivamente risultati operativi presso l'amministrazione dell'istituzione locale (CNRS). Il contratto è stato sottoscritto dalle parti (CNRS e INGV) nel Dicembre 2005, ma i fondi non sono stati disponibili prima di quattro mesi. I deliverables attesi dall'UR 14 per il primo anno sono stati parzialmente modificati. L'attenzione è stata incentrata dall'UR sulla caratterizzazione isotopica del B nelle vulcanite recenti (<10 ka), poiché l'analisi dei prodotti più antichi (74-55 ka), originariamente prevista, è stata compromessa e virtualmente impedita dall'alto grado di alterazione dei vetri. La determinazione del $\delta^{18}\text{O}$ nei vetri e nei minerali è stata rinviata al secondo anno, poiché la coesistenza di diversi tipi di vetri e minerali ha reso necessario un lungo lavoro di separazione. Ugualmente, il basso grado di cristallinità e la rarità di inclusioni ben conservate, ha parzialmente ritardato l'attività della UR 11, mentre la preparazione dei campioni per le analisi chimiche e isotopiche (UR 3) è stata ritardata da motivi contingenti. L'attività dell'UR 7, infine, è stata limitata da seri problemi personali del responsabile, che hanno impedito il raggiungimento degli obiettivi proposti.

Riunioni di coordinamento fra UR

Due riunioni di coordinamento sono state organizzate nell'ambito del primo anno del progetto V3_3. Un kick-off Meeting ha avuto luogo il 14-15 Luglio 2005 presso l'INGV-OV di Napoli. Il meeting ha avuto l'obiettivo di (i) favorire un generale consenso sulle finalità e i metodi del progetto, (ii) fornire le linee guida generali per il suo corretto espletamento, e (iii) promuovere il coordinamento e la collaborazione fra le 14 UR coinvolte. L'agenda dell'incontro ha incluso un'introduzione formale al progetto da parte dei coordinatori, un breve intervento dei responsabili di ogni UR per esporre i principali obiettivi e metodi (11 delle 14 UR sono state regolarmente presenti al meeting con responsabili e/o ricercatori coinvolti), e una tavola rotonda conclusiva. Il kick-off meeting ha con successo ottenuto l'obiettivo di stimolare il coordinamento fra le UR attraverso la

comune partecipazione di dati ed idee, e la fattiva partecipazione ad attività di campagna comuni. Come principale risultato, è stato deciso di istituire un task di coordinazione (coordinata da S. De Vita, OV-INGV) che avesse il compito di pianificare e organizzare il lavoro di campagna a Ischia. In virtù di tale coordinamento, tutte le UR coinvolte nel task 3 (petrologia) hanno avuto a disposizione un comune set campioni di campioni sui quali effettuare le analisi. Questi campioni sono stati raccolti da unità stratigrafiche chiave, selezionate dalle UR del Task 2 come rappresentative dell'evoluzione magmatologica di Ischia. Il coordinamento fra le UR impegnate nello studio dei movimenti gravitativi superficiali (UR de Vita e De Alteris) e nelle simulazioni numeriche della generazione degli tsunami ad opera dei movimenti gravitativi stessi (UR Tinti), è stata particolarmente stimolata, ottenendo in seguito buoni risultati (paragrafi 1.1 e 1.2). Un secondo incontro è stato tenuto a Napoli fra il 28 Febbraio e il 1 Marzo 2006 all'INGV-OV. L'incontro è stato organizzato con l'obiettivo di valutare lo stato di avanzamento delle ricerche in corso, e l'esistenza di problemi che potessero condizionare il raggiungimento degli obiettivi. Durante l'incontro, i responsabili delle UR hanno riassunto lo "stato dell'arte" dei progetti (13 dei 14 responsabili di UR erano regolarmente presenti), e – con poche eccezioni (paragrafo 1.3) – hanno dimostrato che i principali deliverables sarebbero regolarmente stati raggiunti alla fine del primo anno di progetto. Un campagna di rilievo sul terreno, organizzata e condotta dalle UR 4 e 8, è stata condotta nell'Ottobre 2005 allo scopo di raccogliere campioni di vulcaniti da utilizzarsi per le analisi petrologiche dalle UR coinvolte nel Task 3 e dalla UR 6. La campagna ha visto la partecipazione delle UR 1, 3, 4, 8, 9, e 14. La UR 6 non ha potuto prendere parte alla missione per i motivi spiegati nel paragrafo; pertanto, i campioni per le misure geocronologiche sono stati raccolti (in collaborazione con le UR 4 e 8) in una seconda campagna svolta nel Marzo 2006.

Pubblicazioni

- Aiuppa, A., Avino, R., Brusca, L., Caliro, S., Chiodini, G., D'Alessandro, W., Favara, R., Federico, C., Ginevra, W., Ingaggiato, S., Longo, M., Pecoraino, G., Valenza, M., 2006. Mineral control of arsenic content in thermal waters from volcano-hosted hydrothermal systems: insights from island of Ischia and Phlegrean Fields (Campanian Volcanic Province, Italy), *Chemical geology*, in press.
- Brown, R.J., Orsi, G., de Vita, S., 2006. New insights into Late Pleistocene explosive volcanic activity and caldera formation on Ischia (Southern Italy). *Bull. Volcanol.*, submitted.
- Capuano P., De Matteis R., Preliminary 3D velocity model of Ischia Island from the inversion of active seismic data, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 8, 04488, European Geosciences Union, 2006
- Chiocci F.L. and de Alteriis G., 2006. The Ischia debris avalanche: first clear submarine evidence in the Mediterranean of a volcanic island prehistoric collapse. *Terra Nova*, in press.
- D'Antonio M., Andria M.C., Arienzo I., Civetta L., de Vita S., Orsi G., Petrini R., Slejko F., Tonarini S., 2006. Geochemical and isotopic investigations on the volcanic activity of Ischia island (S. Italy) in the past 10 ka: first results and inferences for an evaluation of the behaviour of the magmatic system. *EGU General Assembly 2006*, Vienna, Austria, April 2-7, *Geophys. Res. Abstr.*, 8, 05195.
- de Alteriis G. and Violante C., 2006. Catastrophic and less catastrophic failures of volcano flanks and associated hazards at Ischia island (bay of Naples, Italy). Abstract presented at the EGU Conference, Vienna, April 25-29 2006.
- de Alteriis G., Tonielli R., Passaro S. and De Lauro M., 2006. *Isole Flegree (Ischia e Procida) – serie: Batimetria dei fondali della Campania*, Liguori Editore, Napoli, 78 pp.

- de Vita, S., Marotta, E., Orsi, G., Sansivero, F., 2006. Assessing volcanic and related hazards on islands: the Ischia (Italy) case study. Abstract presented at the EGU Gen Ass, Vienna, April 2-7, 2006.
- de Vita, S., Sansivero, F., Orsi, G., Marotta, E., 2006. Cyclical slope instability and volcanism related to volcano-tectonism in resurgent calderas: the Ischia island (Italy) case study. Eng. Geol., in press.
- de Vita, S., Sansivero, F., Orsi, G., Marotta, E., Piochi, M., 2006. Volcanological and structural evolution of the Ischia resurgent caldera (Italy) over the past 10 ka. AGS Book, submitted.
- Marotta, E., de Vita, S., Orsi, G., Sansivero, F., 2005. Relationships between tectonism, volcano-tectonism and volcanism: the Ischia island (Italy) case. Abstract presented at the 5 AGU Fall Meeting. S. Francisco, December 5-9 2005.
- Orsi, G., de Vita, S., Marotta, E., Sansivero, F., 2006. Possible eruption scenarios at Ischia volcanic island (Italy), inferred from its past behaviour and present structural setting. Abstract presented at the Cities on Volcanoes 4. Quito, Ecuador, January 23-27, 2006.
- Petrini, R.; Slejko, F.F.; Pizzanelli, S.; De Vita, S. and D'Antonio, M. (2006). Obsidian pyroclasts from the Cretaio tephra (Ischia Island, Italy): hydrous species distribution and constraints on their genesis. Bull. Volcanol., submitted
- Pizzanelli, S.; Forte, C. and Petrini, R. (2006). Interactions of proton spins in volcanic glasses. J. Phys. Chem., submitted
- Slejko, F.F.; Petrini, R.; Pizzanelli, S. and de Vita, S. (2006). Coexisting vesiculated and obsidian pyroclasts in the tephra from the Cretaio eruption (Ischia Is., Italy): inference on parental melts and water speciation in the glass structure. Abstract presented at the Cities on Volcanoes 4 Conference, Quito (Ecuador), January 23-27 2006.
- Tinti S., de Alteriis G., Armigliato A., Manucci A., Pagnoni G., Tonini R., Violante C. Zaniboni F., 2006. Preliminary Studies of tsunami generation by the Ischia Debris Avalanche (IDA), Tyrrhenian sea, Italy, Geophys. Res. Abstract presented at the EGU Conference, Vienna , April 25-29 2006.

PROGETTO V3_4: SOMMA-VESUVIO

Responsabili: P. Papale (INGV - Sezione di Pisa), S. Gresta (Università degli Studi di Catania)

Coordinatori: E. Del Pezzo (INGV - OV Napoli), R. Cioni (Università degli Studi di Cagliari)

I Quattro Tasks specifici sono dedicati a:

- 1) definizione del sistema di alimentazione profondo e superficiale attraverso un approccio multi disciplinare;
- 2) caratterizzazione dei fenomeni precursori e definizione dei livelli di criticità del vulcano;
- 3) miglioramento delle attuali conoscenze sulla storia eruttiva del vulcano;
- 4) definizione quantitativa degli scenari eruttivi degli eventi attesi e della pericolosità correlata.

Gli obiettivi previsti dal progetto per il primo anno sono stati conseguiti per la quasi totalità. Alcune delle UR hanno anche raggiunto obiettivi ulteriori, che potrebbero rivelarsi importanti per accelerare e migliorare il conseguimento degli obiettivi finali del progetto.

Task 1

Il Task 1 è finalizzato alla definizione in termini quantitativi della struttura vulcanica, ed a caratterizzare i diversi stili di evoluzione magmatica in termini di composizione, reologia e contenuto in volatili. Una sintesi dei risultati preliminari del progetto individua un sostanziale accordo dei partecipanti sui seguenti punti: a) l'attuale struttura del Vesuvio è caratterizzata da un serbatoio magmatico profondo, la cui sommità è ad una profondità di circa 8 km dal livello del mare; b) camere magmatiche più superficiali si sono formate prima di eruzioni passate per il ripetuto arrivo di distinti "batch" di magma dal reservoir profondo, ma non sono messe in evidenza dalla tomografia geofisica basata su dati attuali; c) la forma e lo spessore del serbatoio magmatico ad 8 km necessitano di una dettagliata definizione; d) a piccola scala, la struttura del Vesuvio mostra forti eterogeneità nella distribuzione spaziale delle quantità fisiche oggetto della tomografia (velocità, attenuazione delle onde sismiche, resistività elettrica) probabilmente correlate alla presenza di acquiferi ed alla ripetuta intrusione nel passato di magma a livelli più superficiali. La litologia delle rocce che ospitano la discontinuità geofisica osservata tra 8 e 10 km e messa in evidenza da TOMOVES deve essere più chiaramente definita. La definizione di tale litologia sarebbe importante per la comprensione dei processi di intrusione e stazionamento magmatico a questa profondità. Studi geochemici, petrologici e sulle inclusioni silicatiche suggeriscono chiaramente l'esistenza di livelli multipli di stazionamento e differenziazione magmatica. In particolare, i risultati della petrologia sperimentale suggeriscono una cristallizzazione ad una pressione di circa 200 MPa per le grosse eruzioni pliniane degli ultimi 8000 anni, mentre una pressione intorno a 100 MPa sembra essere in accordo con la paragenesi mineralogica della eruzione subpliniana di Pollena del 472 dC. I risultati ottenuti nel Task 1 allargano e migliorano le nostre attuali conoscenze sul sistema vulcanico, in termini di forma, profondità, anisotropia, e dei principali parametri fisici e chimici che controllano i processi magmatici. Una nuova inversione 3D

di una mappa gravimetrica di Bouguer estesa a tutta l'area vulcanica napoletana e formata da 2876 stazioni è stata ottenuta tramite l'utilizzo di un nuovo algoritmo di calcolo (UR Berrino). Una rappresentazione schematica del sistema di alimentazione vulcanica ottenuto dalla UR Nunziata indica la presenza di un sottile livello a bassa velocità intorno ad 8 km presente solo localmente nel sottosuolo vesuviano, e di un secondo livello di bassa velocità, ad estensione regionale, intorno a 20 km di profondità. Una definizione della struttura fine del sistema vulcanico è stata ottenuta tramite "imaging" geofisico dalla UR Del Pezzo, attraverso una tomografia in attenuazione e in velocità (Fig. 1). I dati esistenti sono già stati preparati anche per la definizione di una nuova tomografia di scattering. La UR Patella ha fornito sezioni del Vesuvio N-S ed E-W di resistività elettrica, in cui è stato anche considerato l'effetto topografico.

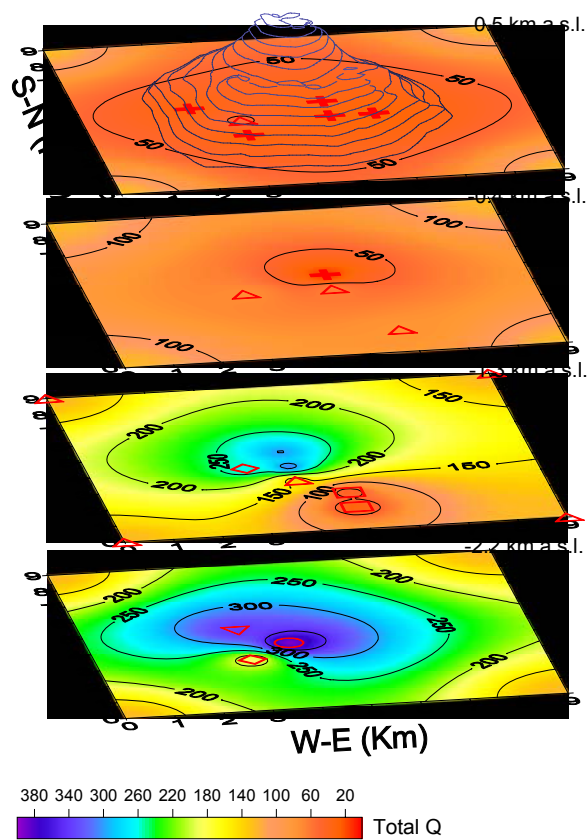


Figura 1. Tomografia di attenuazione ottenuta con il metodo della "normalizzazione delle onde di coda" applicata alle onde S. Il parametro Q è proporzionale alla velocità. Non si hanno evidenze di camere magmatiche superficiali. Da Del Pezzo et al. 2006, PEPI.

Il campo di stress locale attivo durante la formazione dello stratovulcano (30 – 20 ka) e durante la sua attività più recente (post 1631) è stato studiato in dettaglio (UR Mattei). La geometria e la direzione di intrusione del complesso di dicchi esposto lungo le pareti interne della caldera del Somma è stato caratterizzato con studi di terreno, microtessuturali e di anisotropia della suscettività magnetica. Lo stile di fratturazione durante l'attività più recente del Vesuvio è stato investigato osservando il pattern di distribuzione delle bocche laterali e dei sistemi di fessure, e la loro

evoluzione temporale come descritta nelle cronache coeve (Fig. 2). La presenza del rilievo del Monte Somma sembra ridurre la probabilità di apertura di fessure eruttive lungo i pendii settentrionali ed orientali del vulcano.

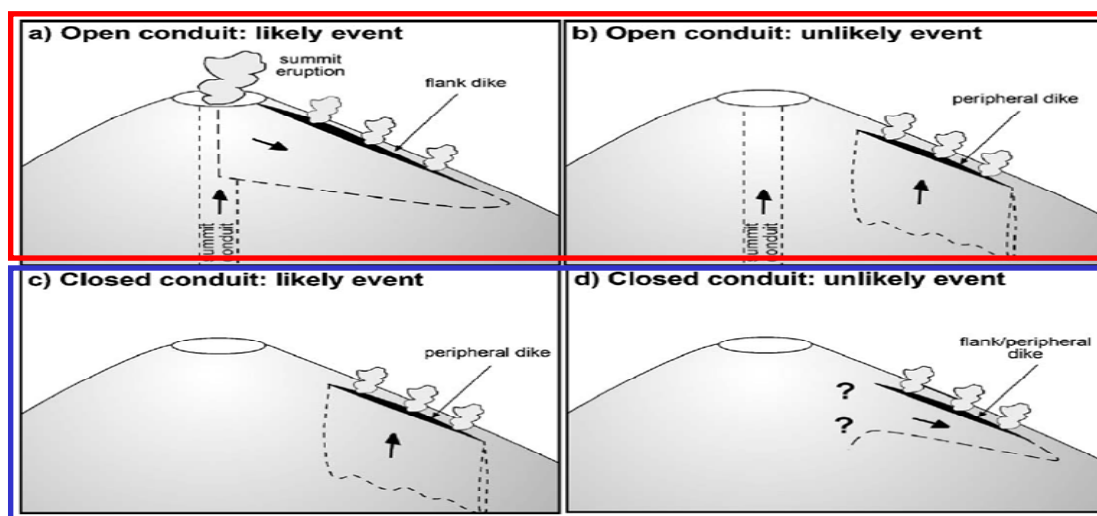


Figura 2. Modello di propagazione delle fessure eruttive in condizioni di condotto aperto (a, b) e chiuso (c, d).

Uno studio delle proprietà reologiche del magma è stato condotto su materiali scelti, cercando di coprire il largo intervallo compositivo (fonoliti, fonotefriti e tefriti) che ha caratterizzato gli ultimi 18 ka di attività del Somma Vesuvio (UR Dingwell). Come già suggerito sulla base di calcoli teorici, la viscosità di un liquido residuale fonolitico può diminuire al procedere della cristallizzazione. Ad una data temperatura, la viscosità del magma varia di circa due ordini di grandezza passando da tefriti a fonoliti. Inoltre, la differenza di viscosità tra fonoliti a diverso grado di evoluzione può essere maggiore di un ordine di grandezza. Studi di petrologia sperimentale su magmi naturali sono stati condotti tramite IHPV (UR Scaillet) al fine di determinare la solubilità delle diverse fasi volatili del sistema C-H-O-S in magmi tefritici. Una seconda serie di esperimenti è stata rivolta a sistemi fluidi binari (H_2O-SO_2 , CO_2-SO_2 , H_2O-CO_2). Gli esperimenti, condotti anche su magmi basici di Etna e Stromboli, hanno evidenziato una dipendenza molto forte della solubilità della CO_2 dal contenuto in alcali del magma, mentre le solubilità di H_2O e SO_2 mostrano una dipendenza compositiva molto bassa. Questi risultati, integrati con quelli su miscele fluide, influenzeranno fortemente le stime di pressione minima basate sul contenuto in volatili delle inclusioni silicatiche. Le variazioni geochemiche dei prodotti di alcune eruzioni passate caratterizzate da stili eruttivi diversi (UR Civetta) hanno permesso di definire le possibili modalità di estrazione magmatica e di innesco dell'eruzione per arrivo di nuovo magma nella camera magmatica. Un modellazione al primo ordine della evoluzione termica di un sill magmatico suggerisce la possibilità di formazione di batch di magma isolati diversi geochemicamente ed isotopicamente, anche in presenza di un serbatoio magmatico molto esteso. I prodotti delle principali eruzioni del periodo AD 79 – 1631 sono stati inoltre studiati dalla UR Santacroce-Marianelli per definirne le condizioni PTX di cristallizzazione.

Task 2

Il Task 2 è mirato alla identificazione e caratterizzazione dei fenomeni precursori che potrebbero essere associati ad una eventuale eruzione futura. Di grande importanza per la scelta dei parametri da monitorare è il modello concettuale alla base del sistema di sorveglianza, mentre la definizione dei livelli di “background” è cruciale per il riconoscimento dei fenomeni precursori. La UR Scandone (vedi Task 4) ha dato in questo senso importanti suggerimenti derivati dalle osservazioni ad altri vulcani. L’insorgenza del tremore e la presenza di sciame di eventi sismici di tipo LP (Long Period) (Fig. 3), accompagnate da deformazioni del suolo e variazioni geochimiche è stata accettata dai responsabili del progetto come il più probabile “pattern” di fenomeni precursori. I prodotti specifici di questo Task per il primo anno di attività consistevano essenzialmente nella definizione dei livelli di background per l’insieme dei possibili precursori. Questi risultati potrebbero fortemente migliorare la definizione dei vincoli da adottare nel software sviluppato dalla UR Gasparini all’interno del Task 4.

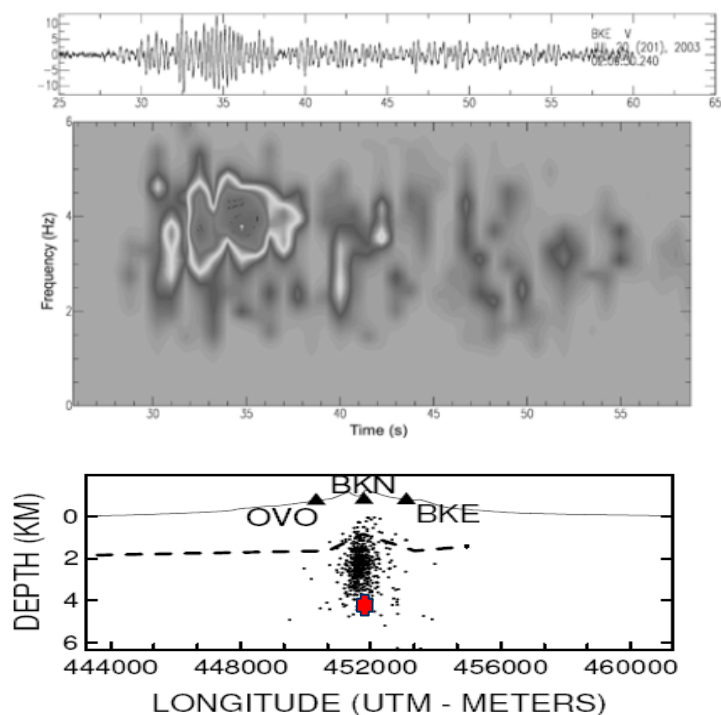


Figura 3. Evento LP riconosciuto al Vesuvio il 20 luglio 2003. Questo evento fu seguito da altri eventi LP di magnitudo minore.

I risultati ottenuti all’interno del Task 2 possono essere riassunti come segue:

- a) è stato definito il livello di “background” per i parametri SWS (shear wave splitting) e per l’attenuazione sismica. Un nuovo parametro fornito dalle tecniche di interferometria delle onde di coda è stato inoltre preso in considerazione come possibile dato per il monitoraggio (UR Del Pezzo);

- b) è stata eseguita una verifica dettagliata della disponibilità dei dati per la definizione del livello di “background” relativo alle deformazioni del suolo e delle loro caratteristiche, ed è stato creato un apposito “database” (UR Pingue, UR Berrino);
- c) è stata studiata in dettaglio la definizione dello stato iniziale e delle condizioni al contorno per il modello termico della parte superficiale del vulcano (UR Quarenì). In particolare, è stata calcolata l’evoluzione termica relativa all’ultimo ciclo eruttivo (1631 – 1944) al fine di ottenere una definizione dello stato iniziale per la modellazione numerica del processo di raffreddamento del condotto a partire dal 1944. Un modello 2D ad elementi finiti mostra che il processo di raffreddamento appare dominato dal degassamento;
- d) le variazioni del parametro b della Gutenberg-Richter sono state studiate tramite l’analisi della evoluzione temporale del rilascio di energia sismica (UR Peresan). L’algoritmo CN è stato applicato all’analisi dei microterremoti del Vesuvio, mostrando interessanti possibilità di previsione per gli eventi maggiori;
- e) i depositi delle fasi di apertura di alcune eruzioni del passato (AD 79, Avellino, AD 512) sono stati studiati per ottenere informazioni sul timing e sulle modalità di risalita magmatica, degassamento e cristallizzazione nelle fasi immediatamente precedenti l’eruzione (UR Cioni). I volumi di magma implicati in queste fasi sono stimati nell’ordine di 105 – 106 m³. I primi prodotti emessi durante l’eruzione di Avellino che la risalita di un magma fortemente evoluto e ricco in alogeni precedette la decompressione del principale corpo magmatico fonolitico che alimentò le fasi paraassistive dell’eruzione. I parametri di Crystal Size Distribution sui frammenti di questa composizione suggeriscono che l’inizio della decompressione di questo primo corpo magmatico probabilmente precedette di poche decine di ore l’eruzione.

Task 3

Il principale obiettivo del Task 3 è quello di organizzare gli innumerevoli elementi di conoscenza della storia eruttiva del Vesuvio. In particolare, sono stati raccolti ed analizzati nuovi dati su argomenti quali la dispersione distale dei depositi di caduta e le caratteristiche fisiche e sedimentologiche delle correnti piroclastiche di densità (PDC) associate con i differenti tipi di eruzione esplosiva del Vesuvio. I prodotti attesi per il primo anno sono stati pienamente ottenuti in questo Task. La recente pubblicazione di un lavoro sull’eruzione di Avellino (Mastrolorenzo et al., PNAS, 2006) ha avuto una larga eco sui mezzi di comunicazione e improvvisamente ha risvegliato l’attenzione generale verso questa eruzione e sui suoi effetti sul territorio. Le diverse attività di ricerca del presente progetto sull’eruzione di Avellino sono state riassunte dai coordinatori scientifici e dai responsabili delle UR interessate in un rapporto rivolto ai responsabili del Progetto stesso e alle Autorità competenti. Nuovi dati stratigrafici e sedimentologici sui depositi dell’eruzione pliniana delle pomice di Avellino sono stati raccolti con lo scopo di migliorare le conoscenze sui potenziali effetti legati alla generazione delle PDC durante le eruzioni. Questo studio (RU De Vito) è stato fatto in collaborazione stretta con gli esperti della Soprintendenza Archeologica e con le altre Unità di ricerca implicate nello studio di questa eruzione (RU Civetta, RU Zanella, RU Dellino).

Esso ha rivelato l'impatto che l'ultima fase dell'eruzione ha avuto sulla piana a nord del Vesuvio a intorno alla città di Napoli. Nuove mappe delle isopache dei depositi suggeriscono che durante questa fase dell'eruzione furono messi in posto 1.3 chilometri cubi di depositi (Fig. 4). I depositi PDC delle eruzioni pliniane e sub-pliniane selezionate sono state anche oggetto di studi paleomagnetici (RU Zanella) con lo scopo di determinare le temperature dei depositi (per mezzo della demagnetizzazione termica progressiva, Fig. 5) e la direzione locale dei flussi (per mezzo di AMS). Sono stati studiati in dettaglio i depositi di flusso piroclastico dell'eruzione di Pollena, e sono state effettuate ulteriori misure sulle facies distali e prossimali relative ai depositi PDC dell'eruzione di Avellino e ai campioni derivanti da una unità PDC dell'eruzione del 1631. I risultati sulle temperature confermano quelli ottenuti sui depositi del 79AD e contribuiscono alla formazione di un grande "data base" utile per la valutazione dell'impatto e per la validazione dei modelli numerici. I depositi distali delle passate eruzioni del SV sono stati riconosciuti e caratterizzati in diversi affioramenti e perforazioni dell'Italia centrale e meridionale (RU Santacroce – Zanchetta). Un campione proveniente dai Balcani meridionali è stato ottenuto e studiato. Dagli stessi archivi degli elementi distali, sono stati anche raccolte informazioni sull'attività dei Flegrei, in collaborazione con una RU del Progetto V3_2. Mappe preliminari rivelano un andamento complesso dei depositi di ceneri.

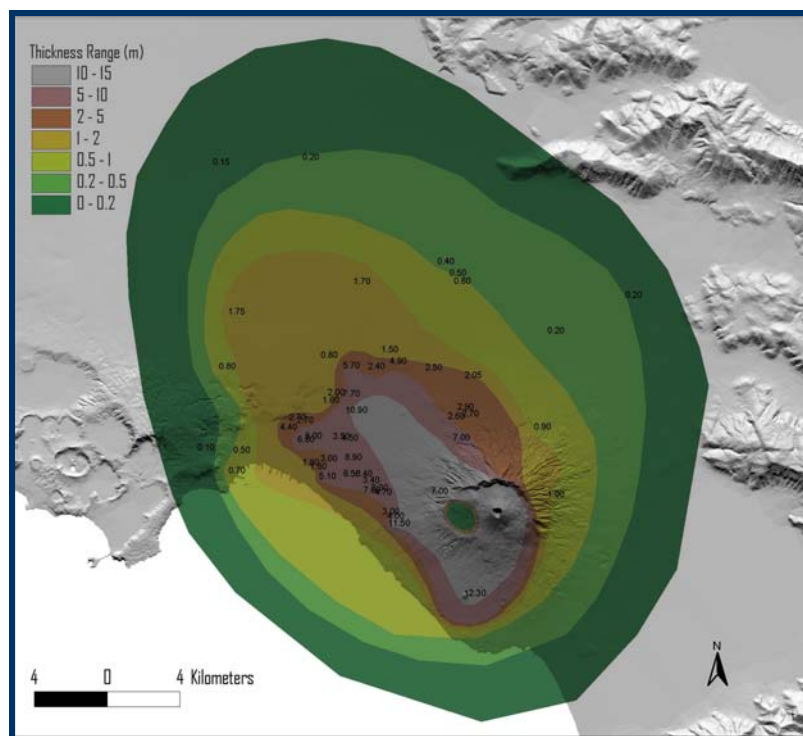


Figura 4. Nuova mappa di distribuzione delle unità piroclastiche di flusso dell'eruzione di Avellino.

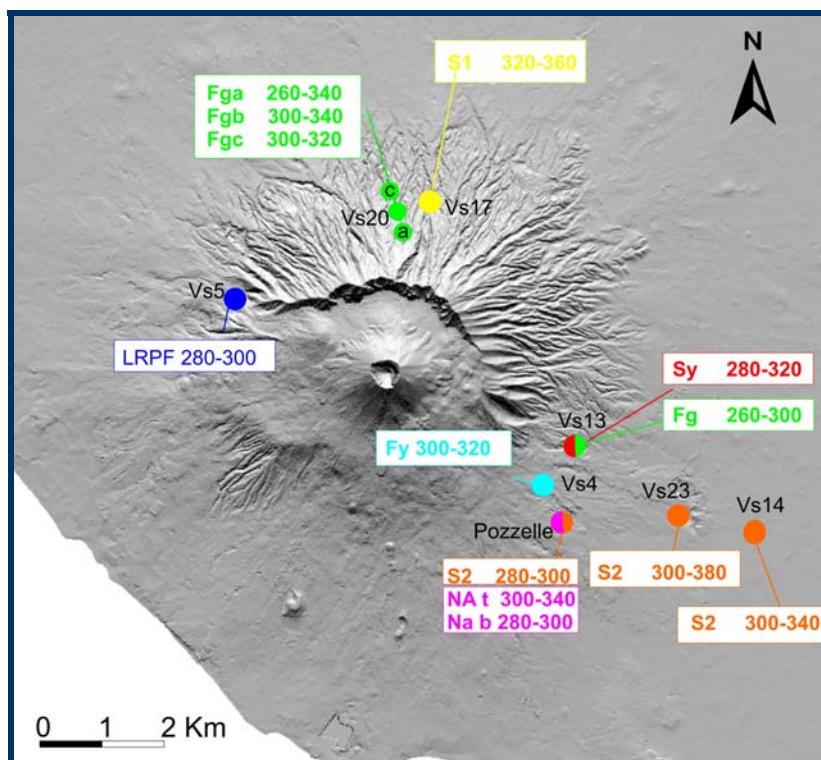


Figura 5. Stime della temperature dei flussi piroclastici per i depositi dell'eruzione subpliniana di Pollena (472 dC).

Task 4

Il Task 4 è volto principalmente alla definizione degli scenari vulcanici ed della pericolosità ad essi associata utilizzando un approccio integrato che usa studi probabilistici sull'attività del passato sia del SV che di altri vulcani, studi vulcanologici delle eruzioni passate e simulazioni numeriche. La definizione di possibili scenari multipli di riferimento, così come la probabilità associata all'occorrenza di una particolare fenomenologia legata all'hazard, sono i principali obiettivi di questo Task e del Progetto in generale. Depositi di emissione di ceneri derivanti da attività di lunga durata sono tipicamente presenti nelle successioni vulcaniche post 79AD. Il loro studio potrebbe essere usato per definire un ulteriore possibile scenario vulcanico drispetto a quelli già presentati alla Protezione Civile (possibili eruzioni pliniane, sub-pliniane e stromboliane). Sottili stratificazioni di polveri sono state trovate in località densamente abitate, e le isopache di questi depositi sono state tracciate su mappa. Un'analisi preliminare della distribuzione delle bolle e dei cristalli nei differenti tipo di frammenti fornisce un'indicazione sul meccanismo di risalita dei magmi e sulla frammentazione (RU Cioni). Analisi multiparametriche e multicomponente dei caratteri principali dei frammenti piroclastici trasportati nelle PDC sono state effettuate dalla RU Dellino per la creazione di un data base di riferimento per la modellizzazione fisica e numerica delle PDC al Vesuvio. Inoltre, è stato sviluppato un modello generale per la previsione delle velocità di sedimentazione di frammenti piroclastici isolati e dalla forma irregolare. Un modello basato sulla "turbulent boundary layer shear flow approximation" è stato messo a punto, con un legame tra le caratteristiche dei depositi sul terreno ed i principali parametri fluidodinamici. Stime della pressione dinamica media nei primi dieci metri dalla superficie delle correnti piroclastiche sono state effettuate per i depositi di

alcune passate eruzioni (Avellino, Pollena, 1631). In stretta relazione con la ricerca già sviluppata nell'ambito del progetto EXPLORIS, la RU Neri ha prodotto un rapporto preliminare sulla modellizzazione fisica e sulla simulazione numerica della caduta di polvere e della propagazione del flusso piroclastico al Vesuvio. Un nuovo codice per la dispersione delle polveri (VOL-CALPUFF) è stato usato per simulare la dispersione dei prodotti generati da violente eruzioni stromboliane (Fig. 6), mentre differenti parametri di impatto per le correnti piroclastiche associate alle eruzioni subpliniane sono state ottenute con un codice 3.D (PDAC).

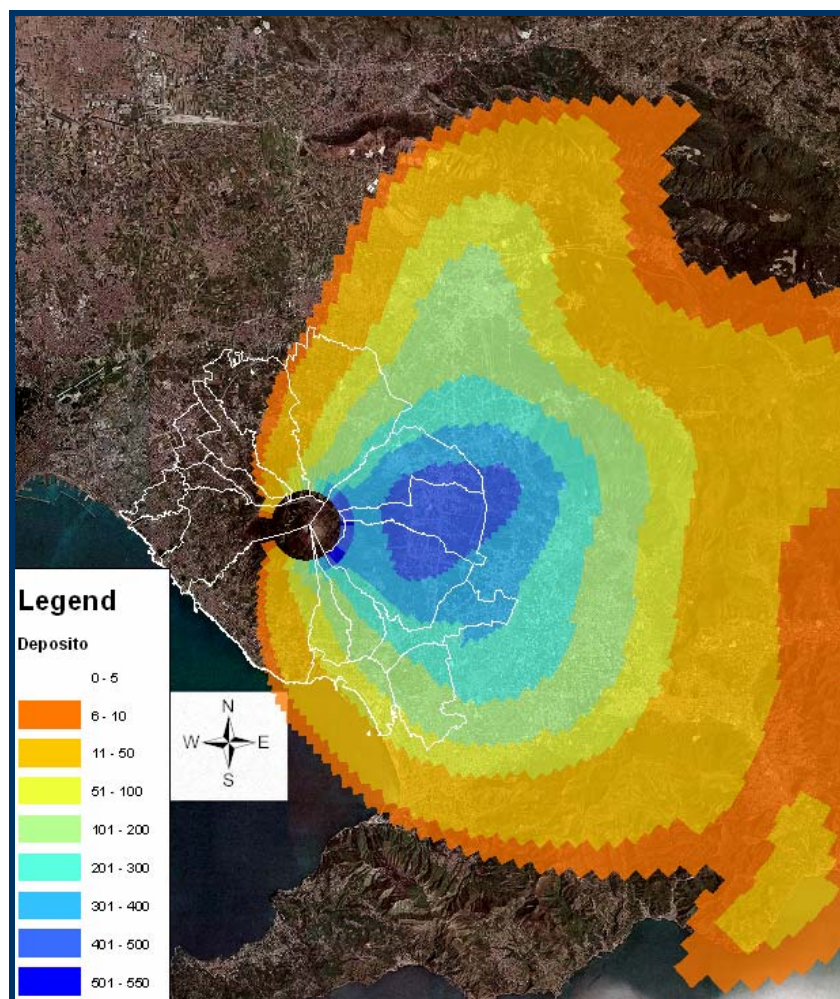


Figura 6. Mappa di deposizione al suolo (in kg/m²) per un evento stromboliano violento simulato con il modello VOL_CALPUFF usando i dati atmosferici relativi al 20 luglio 2001.

Mappe di dispersione del “debris flow” nell’area dell’edificio vulcanico e nella piana circostante sono state prodotte dall’UR Pareschi. Uno studio fenomenologico dei precursori osservati durante recenti riattivazioni di vulcani quiescenti è stato fatto dalla RU Scandone, insieme allo sviluppo di un modello concettuale della risalita magmatica. Gli aspetti fondamentali del modello possono essere riassunti in una risalita episodica di singoli “batches” di magma da un serbatoio intermedio, che viene considerato il modo “normale” di risalita magmatica, associata all’accadimento di eruzioni solo quando è possibile lo sviluppo di un condotto in connessione. Alla luce del modello, i

dati relativi alla recente attività del Vesuvio sono stati rianalizzati per la definizione della successione temporale dei precursori aspettati. Una versione precedentemente sviluppata della probabilità ramificata per la prossima eruzione del Vesuvio, è stata inoltre migliorata con un approccio basato sulla "fuzzy logic" capace di visualizzare e analizzare ogni possibile scenario (RU Gasparini). Il software BET_EF (Bayesian Event Tree for Eruption Forecasting) sviluppato nell'ambito del progetto V4, è stato infine applicato al Vesuvio per il calcolo e la visualizzazione delle distribuzioni di probabilità per ogni evento ad alto rischio di interesse per il Vesuvio.

Pubblicazioni

- Acocella V., Porreca M., Neri M., Massimi E., Mattei M. (2006) Propagation of dikes at Vesuvio (Italy) and the effect of Mt. Somma. *Geophysical Research Letters*, 33, L08301, doi:10.1029/2005GL025590.
- Büttner, R., P. Dellino, H. Raue, I. Sonder and B. Zimanowski, Stress induced brittle fragmentation of magmatic melts: Theory and experiments. *J. Geophys. Research*, (2005JB003958R), 2006 in press.
- De Natale G., Troise C., Pingue F., Mastrolorenzo G., Pappalardo, 2006. The Somma-Vesuvius volcano (Southern Italy): Structure, dynamics and hazard evaluation. *Earth Science Reviews*, 74, 73-111.
- Del Pezzo, E., Bianco, F., De Siena, L., Zollo, A. (accepted may 2006) Small scale shallow attenuation structure at Mt. Vesuvius, Italy. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* (in press)
- Favalli M., M.T. Pareschi, G. Zanchetta, Numerical simulations of syn - eruptive flooding of plains surrounding Mt Vesuvius, Italy, *Bull. of Volcanology*, 2006, vol. 68, 4, 349-362.
- Nunziata C., Natale M., Luongo G., and Panza, G.F., 2006. Magma reservoir at Mt. Vesuvius: size of the hot, partially molten, crust material detected deeper than 8 km. *Earth and Planetary Science Letters*, 242, 51-57.
- Rotwain I.M., De Natale G., Kuznetsov I., Peresan A., Panza G. F. , 2006. Diagnosis of Time of Increased Probability for volcanic earthquakes at Mt. Vesuvius", *Pure and Applied Geophysics*. 163 (1), 19-39.
- Sulpizio, R., D. Mele, P. Dellino and L. La Volpe, High variability of sedimentology and physical properties of pyroclastic density currents during complex Subplinian eruptions: the example of the AD 472 (Pollena) eruption of Somma-Vesuvius, Italy. *Sedimentology*, 2006, In press.
- Tranelli Anna, Edoardo Del Pezzo, Francesca Bianco, Enzo Boschi (2006) 3-D scattering image of the Campi Flegrei caldera (Southern Italy). New hints on the position of the old caldera rim. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, Vol: 155, Issue: 3-4, May 16, 2006 .

PROGETTO V3_5: VULCANO

Responsabili: P. Papale (INGV - Sezione di Pisa), S. Gresta (Università degli Studi di Catania)

Coordinatori: G. De Astis (INGV - OV Napoli), P. Dellino (Università degli Studi di Bari)

Stato di avanzamento del progetto

Il progetto V3_5 è stato diviso in tre “tasks” ognuno relativo ad aspetti specifici sulla comprensione della pericolosità vulcanica, della struttura (sistema di alimentazione) del vulcano e della criticità del sistema vulcanico. I responsabili di task hanno agito come raccordo fra le UR ed hanno aggiornato periodicamente i coordinatori sullo stato di avanzamento delle ricerche. Pensiamo che questo tipo di organizzazione sia servito per rafforzare il grado di coordinamento del progetto, per focalizzare gli aspetti principali di interesse della Protezione Civile, e per assicurare lo svolgimento delle ricerche secondo le linee programmatiche.

Task 1 - Prodotti eruttivi, scenari eruttivi e pericolosità vulcanica

Responsabile: P. Dellino

RU: Dellino, De Astis

Durante il primo anno di progetto, in stretta collaborazione fra le UR Dellino e De Astis, è stata predisposta la versione finale della nuova carta geologica di Vulcano, che ha permesso di impostare in modo organico le ricerche relative a questo task. La revisione dettagliata della stratigrafia dei prodotti eruttivi più recenti di 25 ka ha permesso di reinterpretare la gerarchia ed i raggruppamenti formali delle successioni vulcaniche ed ha consentito di acquisire nuovi elementi sull'evoluzione recente del sistema eruttivo, che è più direttamente legata alle tematiche di pericolosità vulcanica. Così come segnalato nei punti fondamentali del progetto, le UR si sono dedicate principalmente all'acquisizione di nuovi dati per la comprensione delle eruzioni avvenute all'interno della caldera di La Fossa, che sono iniziate appunto circa 20-25.000 anni fa. In figura 1 è riportato uno schema geologico che ha lo scopo di inquadrare gli argomenti che verranno discussi nel prosieguo della relazione. I nuovi dati portano a suggerire che la storia eruttiva di questo periodo recente non sia legata, come ipotizzato in passato, a sistemi di alimentazione magmatica diversi e che hanno funzionato in tempi successivi, prima e dopo la formazione del cono di La Fossa (6 ka- 1888-1890 AD) e Vulcanello (183 B.C. – 1550 AD). Invece, l'attività eruttiva che si è sviluppata dopo il collasso del Complesso della Lentia può essere attribuita ad un unico sistema di alimentazione magmatica che ha coinvolto tutta l'area della Caldera di La Fossa e che inizialmente ha alimentato le eruzioni più intense di Vulcano (Brown Tuffs ed alcune delle unità dei Tufi di Grotte dei Rossi), probabilmente attraverso edifici adesso scomparsi e/o eruzioni sottomarine a bassa profondità. Successivamente il sistema di alimentazione ha dato luogo alla formazione degli edifici principali presenti all'interno della caldera di La Fossa e che sono rappresentati dal cono di La Fossa e da Vulcanello (fig.1). Le informazioni disponibili sia sul sistema magmatico che sui prodotti delle successioni vulcaniche indicano un sistema di alimentazione a più livelli localizzato al di sotto della Caldera di la Fossa e che alimenta le eruzioni del cono di La Fossa attraverso i

serbatoi magmatici più superficiali. E' evidente che il cratere di La Fossa rappresenta l'area di più probabile riattivazione eruttiva a breve termine.

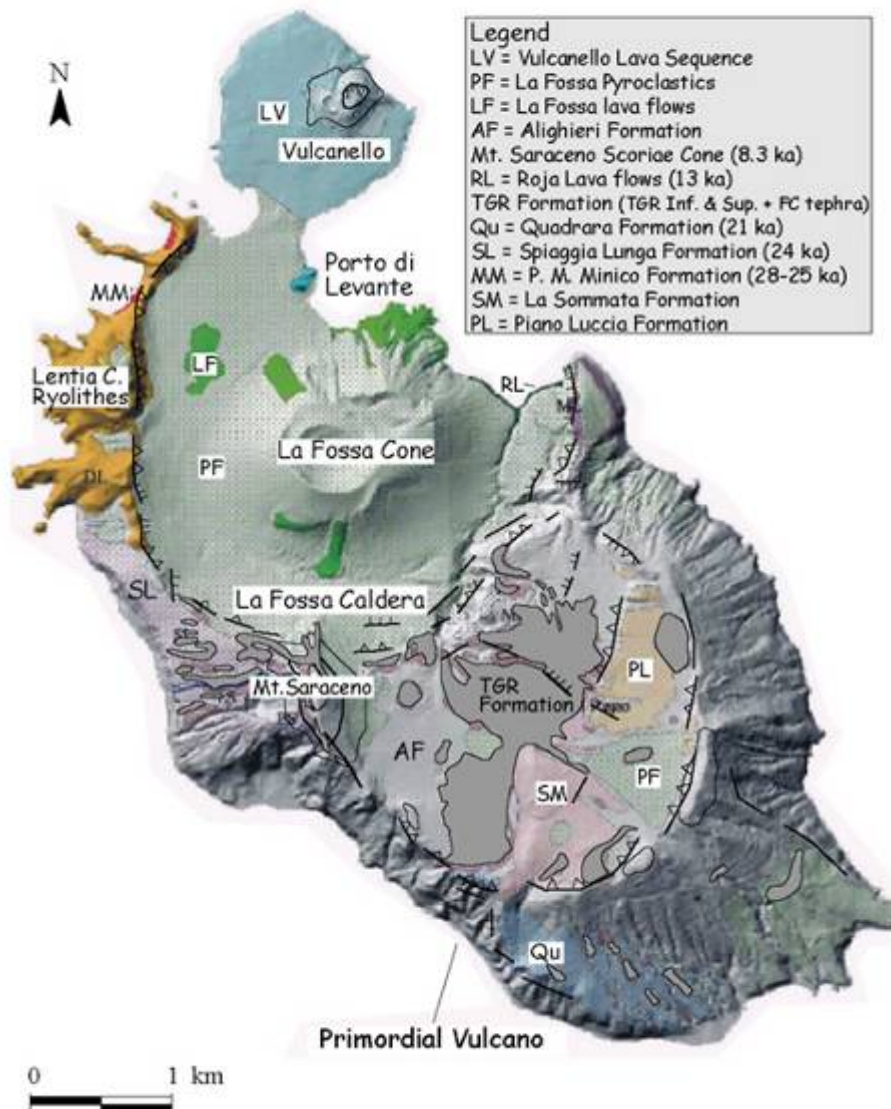


Figura 1. Schema geologico dell'isola di Vulcano con enfasi sui prodotti più recenti (vedi legenda). La formazione dei TGR include i Tufi di Grotte dei Rossi inferiori, i Tufi di Grotte dei Rossi Superiori e le piroclastiti intercalate della Caldera di La Fossa.

Comunque, per quanto riguarda una predizione a lungo termine, l'apertura di nuovi sistemi eruttivi o la riattivazione di quelli più antichi non può essere scartata nell'area inclusa all'interno della caldera di La Fossa, così come avvenuto durante la formazione dei Tufi di Grotte dei Rossi, dei prodotti di Monte Saraceno o le eruzioni che hanno portato alla formazione della colate di lava di La Raja (fig. 1). Per questi motivi l'UR Dellino si è principalmente occupata dell'analisi di dettaglio di specifici prodotti piroclastici del cono di La Fossa, che sono più direttamente informativi sullo scenario eruttivo a breve termine, mentre l'UR De Astis si è principalmente occupata dei prodotti eruttivi che si sono originati all'interno della caldera di La Fossa e che sono più indicativi dello

scenario eruttivo a più lungo termine. Durante le prime fasi del progetto le indagini condotte in stretta collaborazione fra le due UR hanno portato ad una definitiva distinzione in termini di impatto fra le eruzioni di La Fossa (più recenti di 5.3 ka) e le eruzioni legate ai Tufi di Grotte dei Rossi (comprese fra 21 e 7 ka circa). Da questa indagine emergono alcune somiglianze ed alcune differenze fra i due scenari. Le analisi condotte hanno permesso di riconoscere un comportamento eruttivo di base simile, che consiste in un processo di frammentazione freatomagmatica a bassa profondità e la formazione di correnti piroclastiche diluite. Il sistema eruttivo di La Fossa indica però uno scenario a breve termine caratterizzato da una intensità relativamente minore ed un impatto inferiore, mentre lo scenario a lungo termine, legato ad attività all'interno della caldera di La Fossa, indica la possibilità di eventi a più grande scala e con maggiore impatto (pericolosità vulcanica), i cui effetti potrebbero coinvolgere anche le isole vicine. Per entrambi gli scenari l'attenzione è stata quindi focalizzata sui prodotti depositati dalle correnti piroclastiche diluite, che rappresentano il tipo di attività più ricorrente del vulcano in periodi eruttivi recenti e sono anche quelli con il più alto potenziale di impatto. Per quanto riguarda il cono di La Fossa, sono stati considerati alcuni depositi delle eruzioni di Punta Nere, Palizzi, Caruggi e Cratere attuale, mentre per quanto riguarda le eruzioni più antiche (> 6ka), sono stati considerati i Tufi di Grotte dei Rossi. Sui depositi piroclastici è stato condotto un campionamento di dettaglio e sono iniziati studi di laboratorio sui caratteri fisici delle particelle che li costituiscono. Questi dati sono stati poi utilizzati per calcolare la velocità terminale delle particelle usando un modello di recente pubblicato da Dellino et al. 2005. Attraverso questi calcoli, ed utilizzando un nuovo modello sviluppato all'interno del progetto, sono stati ottenuti dati preliminari sui caratteri fisici delle correnti piroclastiche di densità e sui parametri di impatto, che verranno raffinati durante il secondo anno. I risultati preliminari indicano velocità e densità delle correnti che sono relativamente bassi per le eruzioni di Punta Nere, ma valori più elevati per le correnti piroclastiche di eruzioni più recenti che, anche se di minore scala, sono partite da quote più elevate e sono state capaci non solo di espandersi lungo i fianchi del cono di La Fossa, ma anche di superare le barriere topografiche della caldera di La Fossa a Passo del Piano ed alla Lenticia, portando ad aumentare il potenziale di impatto verso il Piano, e mantenendo velocità di alcune decine di metri al secondo. La validazione del modello di calcolo attraverso esperimenti a grande scala sulla generazione e mobilità delle correnti piroclastiche di densità è cominciata attraverso l'uso di un nuovo apparato sperimentale che è stato progettato, realizzato e messo in opera con fondi provenienti da altri finanziamenti. I fondi del progetto INGV-DPC hanno coperto soltanto le spese di mobilità ed il materiale di consumo. I risultati (fig. 2) mostrano come i flussi sperimentali sono scalabili alla situazione naturale ed i depositi raccolti dagli esperimenti possono essere usati per fare confronti quantitativi con i prodotti delle correnti piroclastiche naturali. Questa parte della ricerca verrà sviluppata durante il secondo anno del progetto.

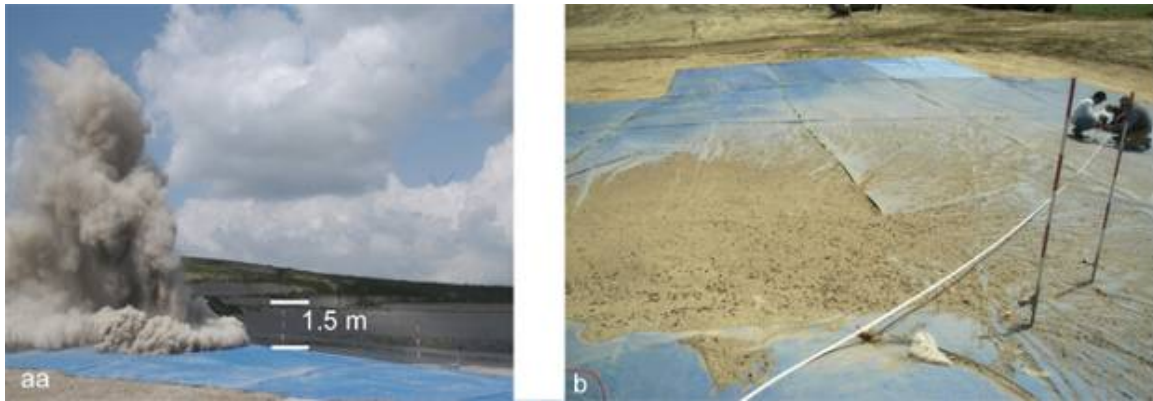


Figura 2. a) collasso di colonna e generazione di flusso piroclastico sperimentale. b) campionamento dei depositi sperimentali.

Task 2 – Struttura del vulcano

Responsabile: P. Bruno

UR: P. Bruno, S. Piscitelli, S. Gambino, P. Dellino, C. Romagnoli, G. De Astis, R. De Rosa

Le UR afferenti a questo task hanno operato con un elevato grado di coordinamento e questo ha condotto all'identificazione di alcune strutture superficiali di discontinuità – riconosciute attraverso l'applicazione di varie metodologie d'indagine geofisica - che rappresentano importanti elementi tettonici indicativi di potenziali vents da cui potrebbero verificarsi eruzioni a breve termine. L'identificazione di aree più grandi strutturalmente deboli e la connessione fra gli elementi strutturali più profondi e quelli più superficiali è ovviamente più complessa e richiede che l'elaborazione dei dati sia portata a compimento. Questo difficile passaggio, previsto nel II anno di progetto, richiede inoltre che i dati provenienti dalle varie indagini siano confrontati, incrociati ed interpretati parallelamente. Ciò dovrebbe anche favorire la comprensione degli scenari eruttivi a più lungo termine. Nel corso del I anno del progetto, il regolare svolgimento delle campagne di acquisizione dati da parte delle varie UR ha consentito di acquisire dati geofisici di vario tipo i quali sono stati rielaborati con diverse risoluzioni e filtraggi al fine di ottenere un quadro dettagliato delle principali strutture crostali sia "superficiali" (poche centinaia di m dalla superficie topografica) che "profonde" (primi km). In particolare, sono stati acquisiti dati a grande scala di tipo: a) batimetrico (UR Romagnoli, Fig.3), b) magnetico/aeromagnetico (UR Fedi), c) sismologico (Fig.4) e relativo alle deformazioni del suolo (UR Gambino) gravimetrico (UR Dellino, Fig. 5)). Nel II anno, la nuova elaborazione dei dati acquisiti e la ri-elaborazione dei dati geofisici pre-esistenti consentirà di definire quelle aree dell'isola di Vulcano dove sono collocate le principali strutture crostali legate al sistema di alimentazione. Viceversa, l'acquisizione di dati d'alta precisione e su piccola scala (sismica a riflessione, tomografia sismica e aero-magnetismo - UR Bruno, Fig. 6); geo-elettrica, profili Self Potential e termici - UR Piscitelli, Fig.7); indagini gravimetriche - UR Dellino), è stata focalizzata nel settore occidentale della "Caldera de La Fossa" lungo alcuni profili specifici individuati in precedenza come geologicamente importanti e logisticamente realizzabili. Le UR che partecipano a questo task hanno battuto lo stesso profilo proprio al fine di consentire un confronto

diretto dei risultati derivanti dalle diverse tecniche e con l'obiettivo di meglio definire le strutture tettoniche sub-superficiali in quell'area. I risultati preliminari ottenuti attraverso tutte le tecniche utilizzate, mostrano che alla base del cono di La Fossa sono presenti alcuni importanti elementi strutturali il cui significato geo-tettonico e la cui possibile dinamica andranno chiarite. Nel II anno di progetto, l'interpretazione quantitativa di questi dati comporterà una stretta cooperazione tra tutte le UR al fine di identificare l'esatta posizione, forma ed andamento in profondità di queste discontinuità, potenzialmente deboli in termini strutturali e quindi più facilmente soggette all'apertura di nuove bocche o fratture eruttive. Per quanto riguarda le indagini sul plumbing system (i.e. il sistema di alimentazione profondo e superficiale, dalla Moho fino alla superficie topografica) condotte attraverso studi petrologici e geochimici coordinati tra le UR De Rosa e De Astis, i risultati più rilevanti scaturiti dall'acquisizione dei dati prevista per il I anno di progetto possono essere così sintetizzati: a) determinazione della Viscosità Newtoniana del magma shoshonitico di Vulcanello che si ritiene rappresentativo del magma mafico eruttato negli ultimi 2 ka, proveniente dal serbatoio magmatico più profondo (20-21 km – e.g. De Astis et al., 2006); b) caratterizzazione petro-chimica delle Formazioni dei TGR (inclusa la FC tephra), del Mt. Saraceno e della Roja in quanto rappresentative dei magmi shoshonitico-latitici che probabilmente hanno ripetutamente innescato le attività eruttive degli ultimi 20 ka; c) studio tessiturale, geochimico ed isotopico della colata di lava riolitica di Pietre Cotte (1739 AD) al fine di meglio definire i processi di formazione e risalita dei fusi acidi nel corso dell'attività di La Fossa, e le loro interazioni con rocce incassanti o fusi a diversa composizione (mingling sin-eruttivo, raffreddamento rapido durante l'interazione senza mixing con magmi latitico-trachitici) d) campionamento di xenoliti di Qz rinvenuti in diversi prodotti recenti (<13 ka - Lave della Roja e di Palizzi, Prodotti dell'eruzione 1888-90), finalizzato allo studio delle inclusioni fluide da cui può derivare la determinazione delle profondità dei serbatoi magmatici attivi negli ultimi 13 ka.

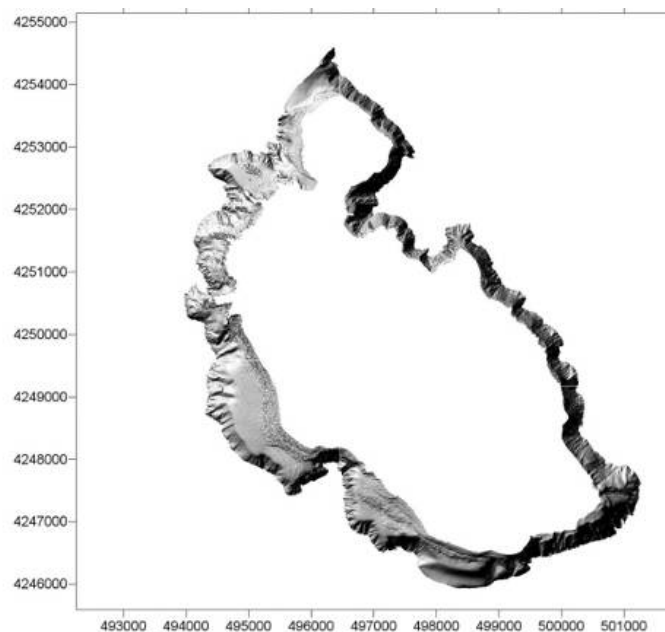


Figura 3. Batimetria ad alta risoluzione ottenuta lungo la costa di Vulcano (immagine tipo DEM).

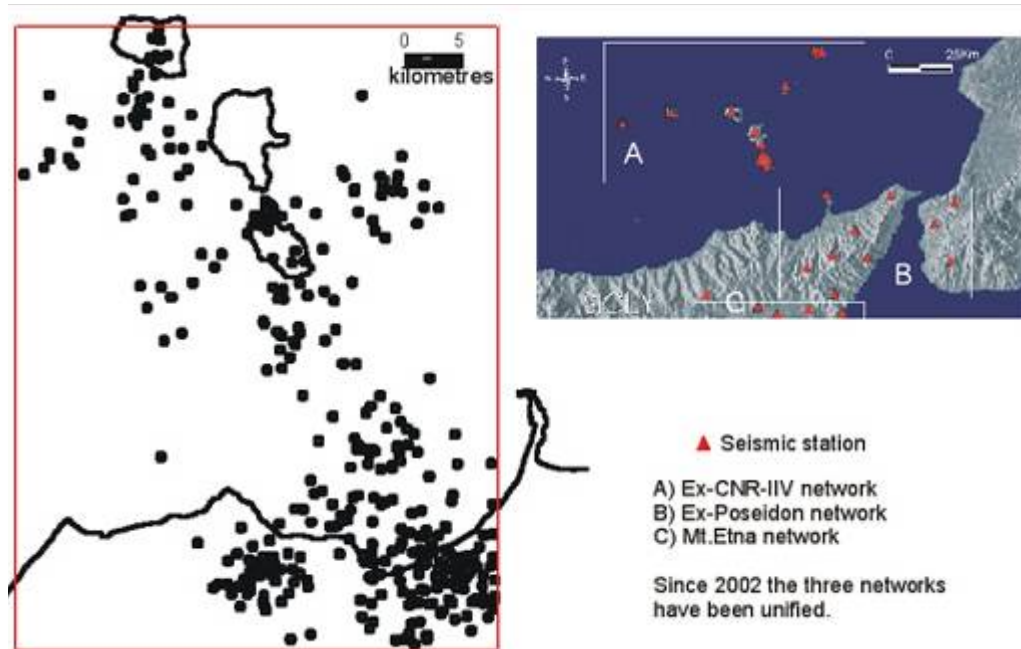


Figura 4. Mappa della Sismicità del settore centrale dell'arcipelago Eoliano registrata dal network dell'INGV-CT tra il 1993 e il 2005.

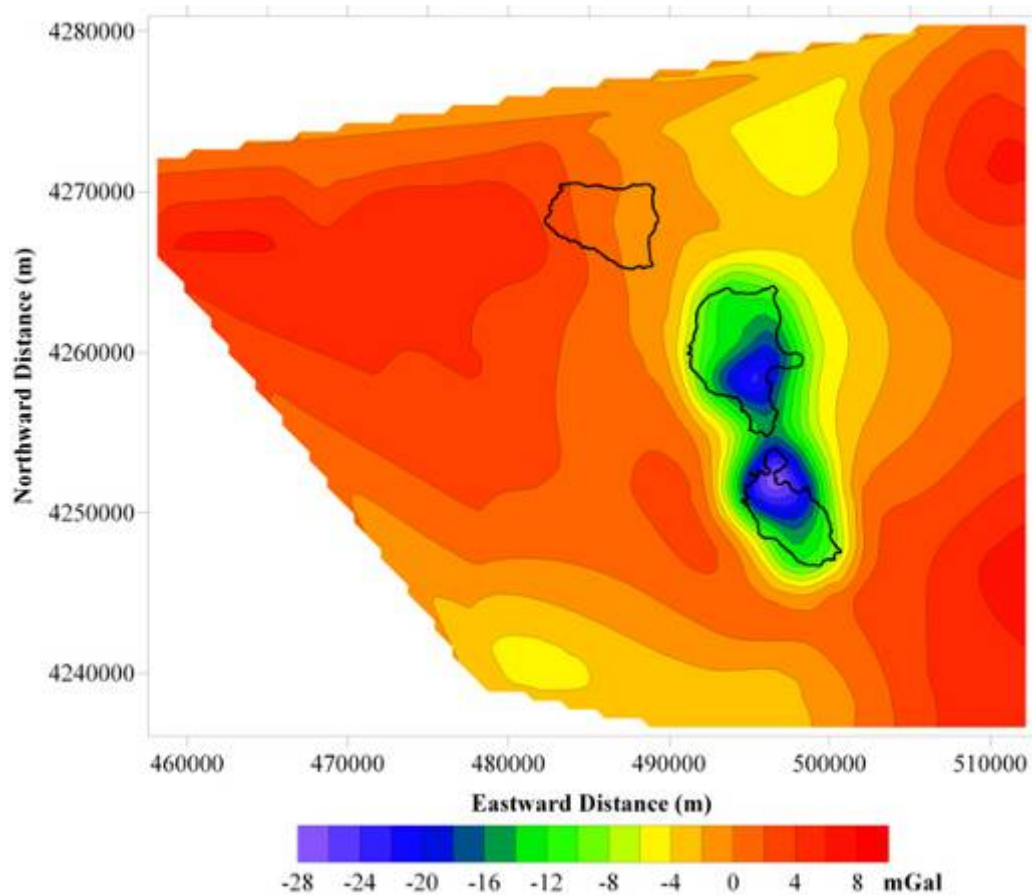


Figura 5. Anomalie Residue di Bouguer fino a 2 km.

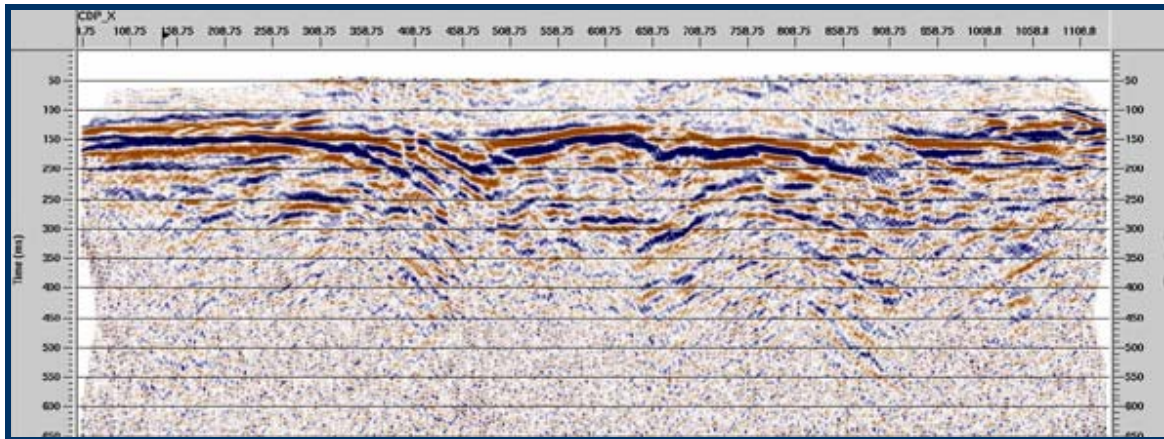


Figura 6. Sezione preliminare del profilo alla base del cono di La Fossa (settore occidentale) ottenuto dalla sismica a riflessione. I colori in scala sono proporzionali all'Amplitudo del Segnale. Per problemi statici il segnale è stato traslato di 100 m/s. Nella sezione, l'effettivo Tempo 0 corrisponde a 100 m/s sull'asse T.

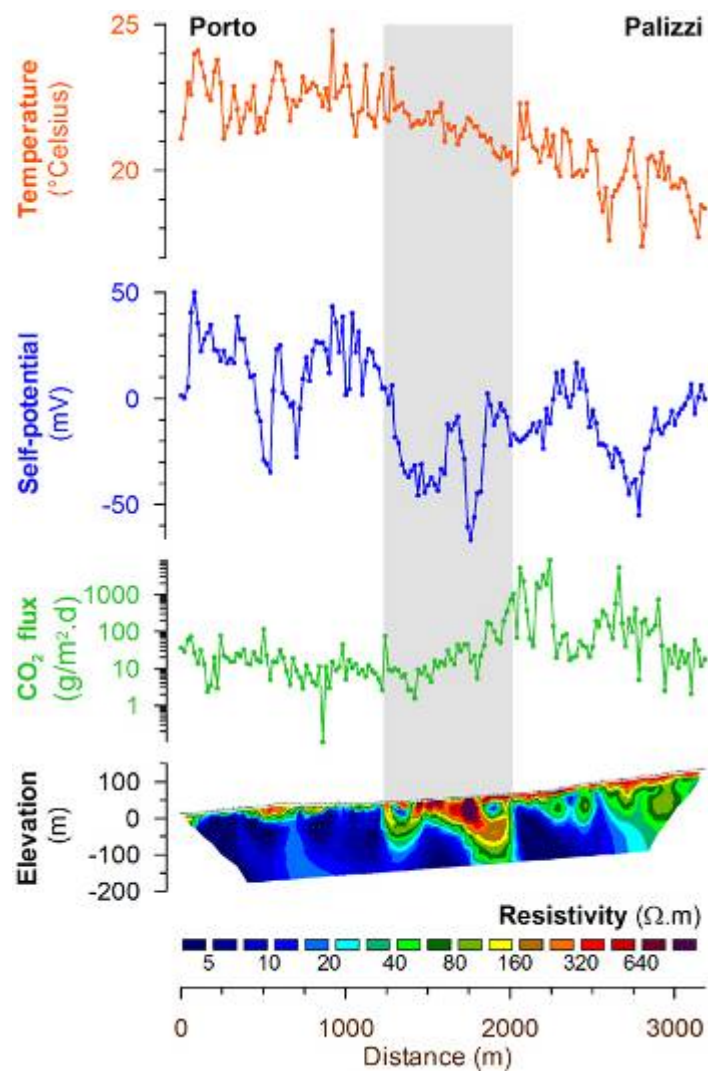


Figura 7. Risultati preliminari dei profili ERT, T, SP e SG misurati lungo il profilo collocato ai piedi del cono di La Fossa, nel settore occidentale.

Task 3 – Livelli di criticità del vulcano

Responsabile: S. Inguaggiato

UR: Inguaggiato, Gambino, Diliberto, Capaccioni, Tommasi

Vulcano è attualmente interessata da attività solfatarica con temperature delle fumarole che raggiungono i 450°C. Negli ultimi decenni sono state registrate molte “crisi vulcaniche”, sulla base di significative variazioni geochimiche, nei periodi: 1978-80, 1988-1991, 1996, 2005. Il significato preciso di queste “crisi” non è ancora completamente chiaro, e le UR che contribuiscono a questo task hanno l’obiettivo di migliorare le informazioni sul sistema vulcanico attraverso l’acquisizione di dati sismici e chimico-fisici ed attraverso la loro correlazione in funzione dello stato attuale del vulcano. In particolare, le attività dell’UR Gambino hanno consentito l’installazione di un array sismico sperimentale, composto di 3 stazioni a larga banda, posizionato sull’orlo settentrionale del cratere di La Fossa. Numerose mappe termiche dell’area craterica sono state ottenute con una telecamera termica portatile. L’UR Diliberto ha installato 4 stazioni (fig. 8) per la registrazione del flusso termico dal campo principale di fumarole attorno all’orlo del cratere di La Fossa, che hanno fornito serie temporali di temperature e potenziale spontaneo. Le UR Capaccioni ed Inguaggiato hanno indagato la composizione chimica ed isotopica dei fluidi rilasciati dalle fumarole sull’orlo del cratere di La Fossa e nell’area del Porto di Levante. In particolare, l’obiettivo principale dell’UR Capaccioni è di raggiungere due scopi: i) migliorare le informazioni sulla composizione dei gas e la loro possibile applicazione per la comprensione dei processi vulcanici, e ii) fornire informazioni di base sulla presenza e concentrazione di “contaminanti” naturali che possono rappresentare un rischio sanitario ed ambientale. Due campagne di campionamento sono state condotte nell’ultimo anno ed hanno portato a rilevare che i contenuti di BTEX (Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylenes) sia alle fumarole crateriche che a quelle della spiaggia di levante eccedono i limiti di sicurezza imposti dalle leggi italiane. Gli obiettivi dell’UR Inguaggiato sono quelli di migliorare le informazioni disponibili sulla composizione dei fluidi delle fumarole ed usarle per meglio comprendere il “modello geochimico” e tracciare i cambiamenti nell’attività vulcanica. Variazioni significative in molti dei parametri registrati sono state osservate durante il periodo Ottobre 2005-Gennaio 2006, definendo quindi una nova “crisi”. In particolare l’UR Inguaggiato ha campionato le fumarole del cratere di La Fossa 5 volte, ed analizzato i costituenti principali (H₂O, CO₂, He, CH₄, CO, O₂, N₂) e le relative composizioni isotopiche. I risultati delle analisi evidenziano un forte incremento del rapporto gas/vapore, del contenuto di Zolfo e dei rapporti isotopici dell’Elio (R/Ra) e dell’ Argon (40/36) in funzione del tempo. Gli aumenti del biossido di Carbonio e dei valori del rapporto R/Ra possono essere correlati ad un aumento del contributo da una sorgente magmatica profonda. Inoltre, la composizione isotopica di Ar segnala una diminuzione della componente superficiale (atmosfera) e conferma l’ipotesi di una maggiore componente profonda nei fluidi. La composizione isotopica di N indica una piccola diminuzione che potrebbe essere correlata con un aumento della componente mantellica nei fluidi. Comunque, un base dati più ampia è necessaria per confermare il ruolo di N nel comportamento dei fluidi fumarolici. I risultati preliminari dell’UR Diliberto evidenziano un aumento del flusso di calore dal suolo nello stesso periodo critico.

Durante Ottobre 2005, l'UR Gambino ha anche osservato un aumento dell'attività sismica, consistente con le anomalie geochimiche, che corrobora l'ipotesi di un aumento della componente magmatica profonda nel rilascio dei fluidi.

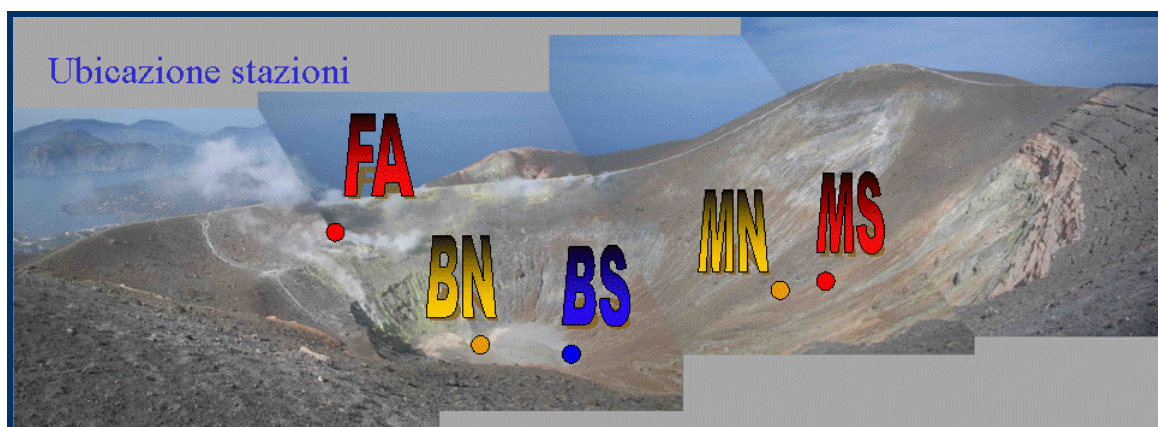


Figura 8. Vista occidentale dei siti (BN, BS, MN, MS) scelti per la localizzazione delle stazioni per la registrazione del flusso termico al cratere di La Fossa. La posizione del sensore termico alle fumarole di alta temperatura (FA) è mostrato come riferimento.

I risultati preliminari ottenuti dalle diverse UR di questo task suggeriscono quindi una buona correlazione nelle variazioni di diversi parametri geofisici e geochimici come risposta a questa ultima "crisi". Sulla base di questi risultati ed attraverso ulteriori indagini, durante il secondo anno verranno cercati i livelli di "soglia" dei segnali geofisici e geochimici che meglio definiscono la criticità del Vulcano. L'UR Tommasi si è occupata del campionamento e caratterizzazione dei caratteri geotecnici dei materiali piroclastici che caratterizzano le zone di instabilità di versante di La Fossa di Vulcano. Lo scopo è quello di comprendere se fra i meccanismi di innesco dei processi di movimento di massa siano da comprendere anche il ruolo della circolazione dei fluidi idrotermali e/o lo stato di alterazione superficiale e profondo delle rocce. Il modello di simulazione numerica è in fase di collaudo e verrà applicato durante il secondo anno del progetto.

Risultati più significativi raggiunti

Due scenari eruttivi principali sono stati evidenziati durante le ricerche del primo anno. Il primo, a breve termine, è legato alla possibile riattivazione del sistema del cono di La Fossa, il secondo, a lungo termine, è legato all'apertura di un nuovo sistema eruttivo all'interno della caldera di La Fossa. Entrambi gli scenari includono, come eventi a maggiore potenziale di impatto, correnti piroclastiche di densità diluite di origine freatomagmatica che si espandono ad alta velocità lungo il pendio del vulcano e possono disperdersi anche nell'area del Piano e Vulcanello. Studi sulla struttura del vulcano evidenziano discontinuità superficiali nella zona Sud-Ovest della base del cono di La Fossa e possono essere preliminarmente interpretate come aree di debolezza dove la riattivazione del sistema eruttivo può avvenire in futuro. I segnali geofisici e geochimici registrati durante l'ultimo anno hanno colto l'evoluzione di una "crisi", e diversi parametri hanno indicato un aumento dell'arrivo di fluidi, attraverso il sistema idrotermale di La Fossa, da una sorgente

magmatica profonda. Questi dati aiuteranno a meglio definire, durante il secondo anno del progetto, il livello di criticità del vulcano.

Descrizione delle riunioni di coordinamento

Sono state condotte 2 riunioni generali di coordinamento, una nel Luglio 2005, e l'altra nel Maggio 2006, dove sono intervenuti i ricercatori di tutte le UR. Si sono inoltre tenute anche diverse riunioni di task, alcune anche in campagna.

Pubblicazioni

- Büttner, R., P. Dellino, H. Raue, I. Sonder and B. Zimanowski, (2006) Stress induced brittle fragmentation of magmatic melts: Theory and experiments. *J. Geophys. Research*, (2005JB003958R), available online August 2006.
- Capasso G, R. Favara, F. Grassa, S. Inguaggiato and A. Rizzo Nitrogen isotopic composition ($\delta^{15}\text{N}$) in volcanic-hydrothermal fluids and geothermal well waters from Vulcano Island (Aeolian Archipelago, Italy): first results AIG6- 6th International Symposium on Applied Isotope Geochemistry, Prague 11-16 September 2005. Abstracts volume pp.38-39
- De Astis G., Piochi M., Vetere F. (2006) Violent Strombolian eruption at Vulcano Island: which's the mechanism for magma fragmentation of shoshonitic basaltic magma? - Physical Volcanology Session of the "George P.L. Walker Symposium on Advances in Volcanology", 12 – 17 June 2006, Reykholt - Iceland. (accepted abstract)
- Dellino, P., D. Mele, R. Bonasia, G. Braia, L. La Volpe and R. Sulpizio. The analysis of the influence of pumice shape on its terminal velocity. *Geoph. Res. Lett.*, 32, L2 1306, doi: 10.1029/2005GL023954, 2005.
- Fedi M., Ferranti L., Giori I., Italiano F., 2006. LDC, derivative computation in a region of rough topography, (submitted).
- Gambino S., Guglielmino F., (2006) DEFLATION BY FUMARoles AT LA FOSSA (VULCANO ISLAND, ITALY) BETWEEN 1990 AND 1996. European Geosciences Union General Assembly 2006 Vienna, Austria, 02 – 07 April 2006. Poster
- Gambino S., O. Campisi, G. Falzone, A. Ferro, G. Laudani, B. Saraceno. (2006) TILT MEASUREMENTS AT VULCANO ISLAND, ITALY. General Assembly 2006 Vienna, Austria, 02 – 07 April 2006. Poster
- Inguaggiato S., Capasso G., Favara R., Grassa F., Rizzo A., Taran Y (2006) Nitrogen isotope signature of arc-related volcanic fluids Congreso de Vulcanología Garán volcán 2006 May 22-27 Tenerife, Canarie Island, Spain. Oral Presentation – Submitted for a *JVGR* special volume.
- Mattia M., Aloisi M., Rossi M., Amore M., Pellegrino D., Pulvirenti M., Belfiore V., Palano M., Bruno V. (2006) GROUND DEFORMATION DATA FROM GPS PERMANENT STATIONS. General Assembly 2006 Vienna, Austria, 02 – 07 April 2006. Poster
- Peccherillo A., Frezzotti M.L., De Astis G., Ventura G. (2006). Modeling the magma plumbing system of Vulcano (Aeolian Islands, Italy) by integrated fluid inclusion geo-barometry, petrology and geophysics. *Geology*, 34 (1), 17–20.
- Rapisarda, S., Zuccarello, L., Gambino, S., Marturano, M.; Patanè, D., Saccorotti, G.; Ferrari, F. (2006) PRELIMINARY ANALYSIS OF THE SEISMICITY AT VULCANO ISLAND (ITALY) THROUGH A SEISMIC ARRAY. General Assembly 2006 Vienna, Austria, 02 – 07 April 2006. Poster
- Tommasi P., Boldini D., Graziani A., Rotonda T. (2006). L'approccio geotecnico all'analisi della stabilità dei fianchi degli edifici vulcanici: i casi di Stromboli e Vulcano. XI Ciclo di conferenze di Meccanica ed Ingegneria delle Rocce, Torino (submitted).

PROGETTO V3_6: ETNA

Responsabili: P. Papale (INGV - Sezione di Pisa), S. Gresta (Università degli Studi di Catania)

Coordinatori: C. Del Negro (INGV - Sezione di Catania), S. Gresta (Università degli Studi di Catania), A. Neri (INGV - Sezione di Pisa)

Questo progetto intende valutare la pericolosità all'Etna attraverso lo sviluppo di tecniche geofisiche e geochemiche, indagini sulle proprietà chimiche e fisiche del magma, l'identificazione dei segnali precursori, la ricostruzione della storia eruttiva e lo sviluppo di modelli fisici e numerici dei processi pre-eruttivi ed eruttivi. L'obiettivo principale di questo progetto biennale è di migliorare la comprensione dei diversi comportamenti e dei livelli critici dell'Etna per una valutazione più accurata della pericolosità dei differenti fenomeni vulcanici. Il progetto riunisce gli sforzi di 40 unità di ricerca (UR), appartenenti a 12 Università italiane, a 4 Istituti del CNR, a 7 Sezioni dell'INGV e a 4 Istituzioni straniere. Per garantire un'efficiente collaborazione tra UR e una buona rete di comunicazione, il progetto ha tre coordinatori centrali e un responsabile scientifico per ciascuno dei seguenti Task:

Task 1. Sistema di alimentazione e struttura del vulcano dalla litosfera alla superficie. D. Patanè (INGV - Sezione di Catania);

Task 2. Proprietà fisiche e chimiche del magma e delle rocce vulcaniche. R. Moretti (INGV - OV Napoli);

Task 3. Modellazione e simulazione dei processi pre-eruttivi. G. Puglisi (INGV - Sezione di Catania);

Task 4. Identificazione e caratterizzazione dei precursori. S. Gresta (Università degli Studi di Catania);

Task 5. Ricostruzione della storia eruttiva e descrizione delle tipologie eruttive e della probabilità degli eventi attesi. S. Gresta (Università degli Studi di Catania);

Task 6. Simulazione dei flussi lavici e stima della pericolosità associata. C. Del Negro (INGV - Sezione di Catania);

Task 7. Simulazione dei processi di dispersione in atmosfera e stima della pericolosità associata. A. Neri (INGV - Sezione di Pisa).

Task 1

(UR05-Burton, UR06-Chiocci, UR08-Corsaro, UR10-Cristofolini, UR19-Hirn, UR23-Monaco, UR26-Murru, UR28-Neri, UR32-Patanè, UR34-Pompilio, UR39-Siniscalchi)

Nel corso del primo anno sono state condotte parecchie indagini per migliorare la conoscenza del sistema di alimentazione e della struttura del vulcano ottenendo progressi significativi. Per quanto riguarda gli studi sismologici, lo sforzo principale è stato dedicato alla definizione di accurati modelli tomografici, sia in velocità che in attenuazione, dell'Etna. Sono stati analizzati sia dati acquisiti tramite la rete sismica permanente gestita dall'INGV-CT e sia dati registrati tramite la rete mobile

durante l'ultima eruzione laterale dell'Etna. Inoltre, nel giugno 2005, è stato effettuato un esperimento di sismica passiva con 23 stazioni sismiche digitali a larga banda e due antenne sismiche poste intorno al vulcano. Sono già stati ottenuti: un nuovo modello dettagliato di velocità della crosta poco profonda al di sotto dell'Etna ed una preliminare tomografia di attenuazione ad alta definizione della parte centrale del vulcano.

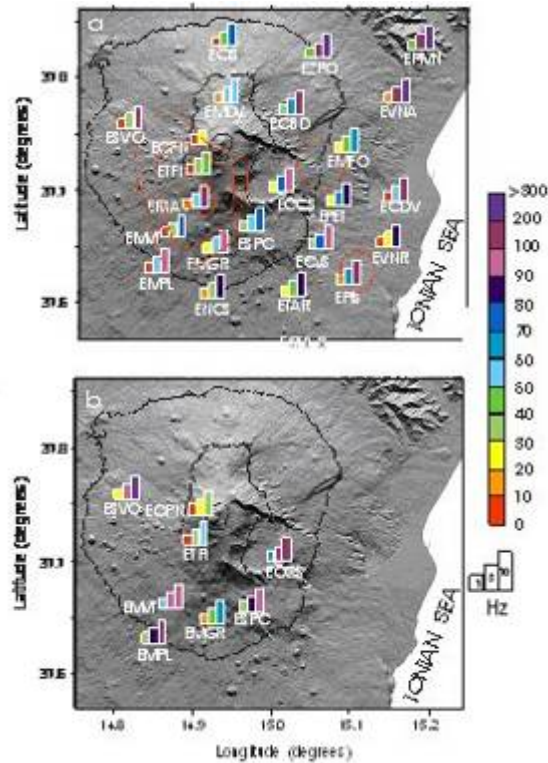


Figura 1. Distribution of QP (a) and QS (b) values at each station at 1, 5 and 10 Hz. Red lines contour volumes characterized by low QP values as revealed by De Gori et al. (2005).

L'attività sismica è stata anche affrontata con un'indagine sull'andamento del b-value del rapporto frequenza-ampiezza attraverso tecniche di gridding. Con lo scopo di determinare la topografia della Moho e la posizione della camera magmatica, è stato applicato un nuovo metodo basato sulla tecnica della "receiver function", utilizzando le tre componenti delle onde P dei telesismi registrati dalle stazioni sismiche a larga banda. Gran parte del lavoro è stato dedicato all'estrazione dei dati dall'archivio e al testing del software e del metodo adottato. Per quanto riguarda le indagini geochimiche, è stata iniziata una nuova analisi delle misure dell'emissione di gas acquisite tramite la rete FLAME di spettrometri a scansione UV. I nuovi dati forniti dalla rete durante il 2005 rappresentano un buon esempio della variabilità del flusso e della composizione del gas che può essere osservata durante il degassamento quiescente. Per definire la distribuzione delle faglie attive, delle fratture eruttive e dei crateri è stato realizzato un dettagliato lavoro di campagna, integrato da un'accurata analisi di fotografie aeree, di immagini satellitari SPOT e LANDSTAT e di mappe topografiche. Un contributo allo studio delle faglie attive e delle fratture eruttive è stato dato

dal rilevamento e dalla "mappatura" sistematici del degassamento diffuso dei derivati del magma sull'edificio vulcanico e dall'indagine in continuo dei siti di fuoriuscita di gas, usando sia sensori automatizzati (sonde del radon) che analizzatori mobili (CO₂ e He). Gli studi sismici e geochimici sono stati completati da indagini petrolologiche e da analisi strutturali del vulcano.

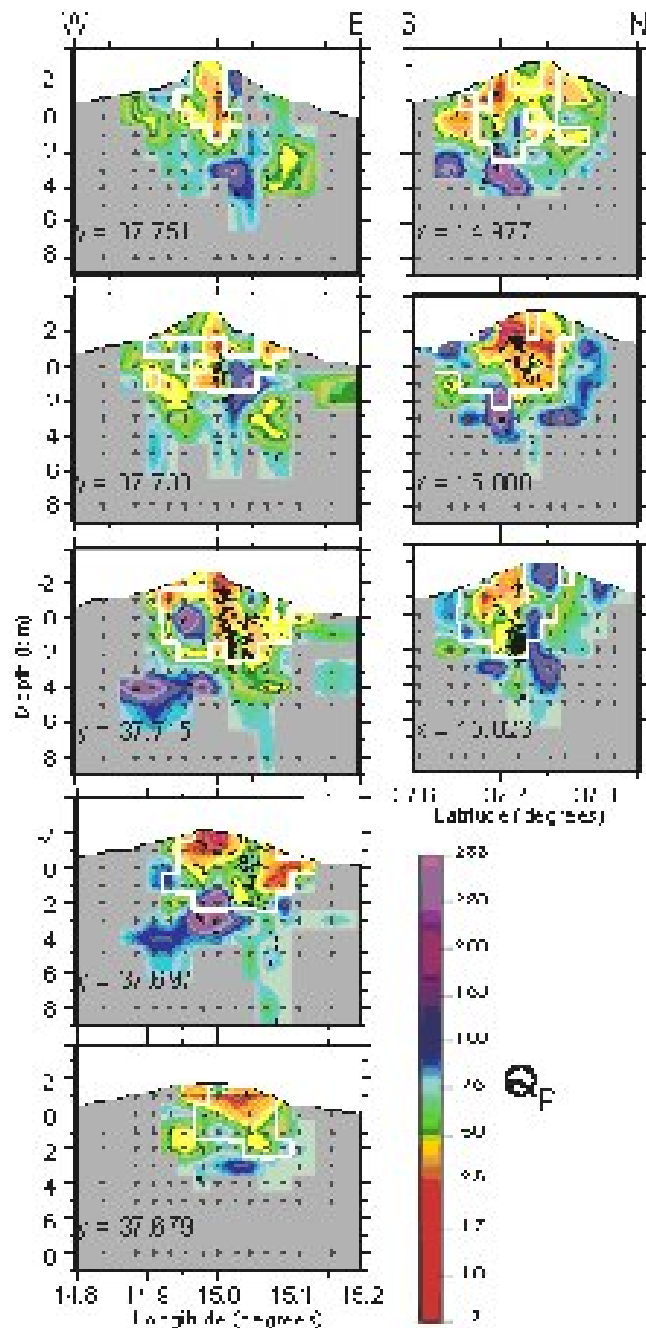


Figura 2. W-E and N-S cross sections of the attenuation tomography study for the 2001 pre-eruptive period .

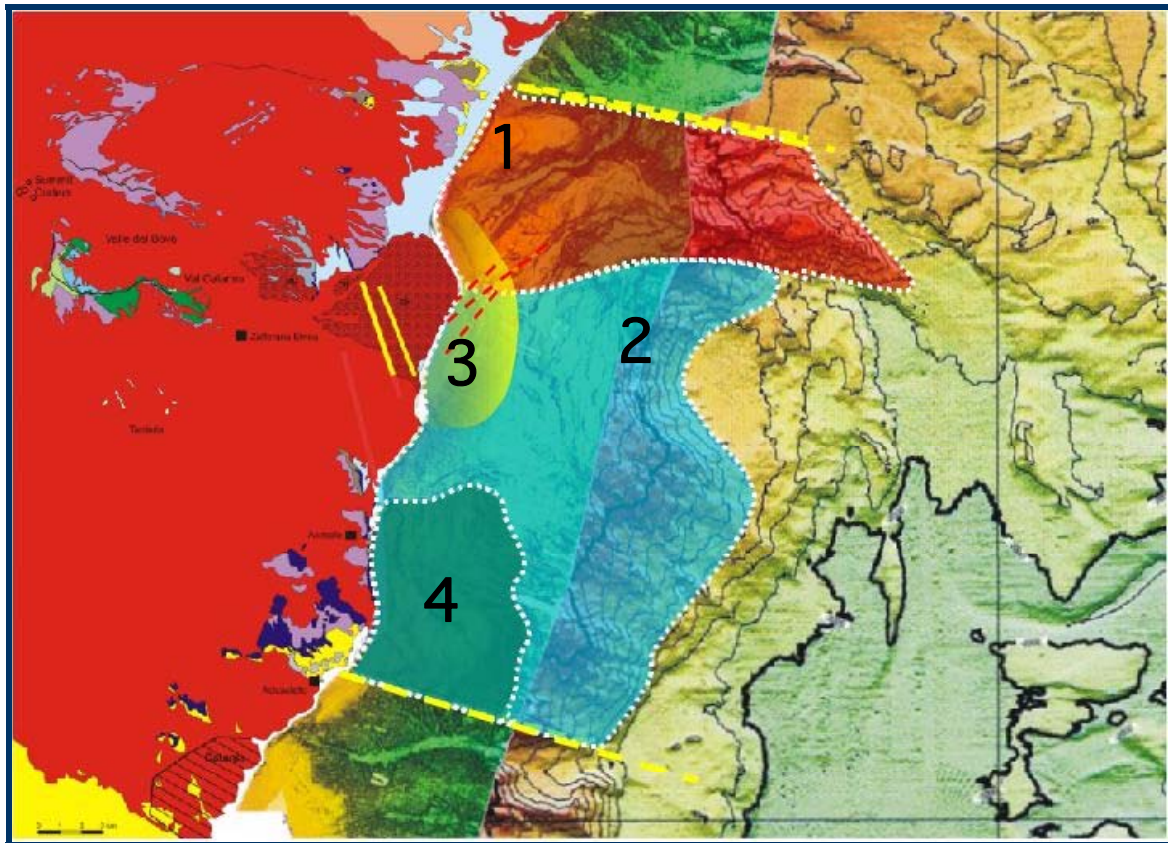


Figura 3. Main features of the Etna offshore with preliminary interpretation of unprocessed multibeam data: 1) Riposto ridge, owing to Appennine-Maghrebic thrust belt 2) Foredeep deposit; 3) offshore extension of Chiancone unit; 4) shield volcano of the Timpe phase. Yellow dashed line are the main tectonic features driving the seaward sliding of the volcano flank, red dashed lines are active faults affecting Chiancone unit.

Le eruzioni del 1999, 2000 e 1974 sono state ricostruite utilizzando notizie di cronaca, rapporti, indagini di campagna e campionamenti. Inoltre, grazie all'abbondanza e alla qualità dei campioni (lave e piroclasti) già immagazzinati, ogni eruzione è stata caratterizzata attraverso proprietà petrografiche e composizionali. I tephra e le lave dell'eruzione 2001 sono stati caratterizzati dalla presenza particolare di pargasite. Sono stati effettuati circa 50 esperimenti idrotermali, usando un autoclave a riscaldamento e pressurizzazione esterna TZM, in un range di temperatura compreso tra 950-1220 °C e pressione 0.1-200 Mpa con $fO_2=FMQ-NNO$, usando un campione naturale di lava etnea come prodotto base. I dati raccolti dovrebbero permettere di vincolare sperimentalmente il raggruppamento di composizione e fase del magma stazionante a differenti profondità nella parte poco profonda ($h < 8$ km) del sistema di alimentazione del vulcano. Un multibeam ad alta risoluzione, calato al largo tra Catania e Riposto, fino a una profondità di 120 m, ha mostrato caratteristiche morfologiche interessanti, la maggior parte di loro direttamente correlate con le caratteristiche vulcaniche e tettoniche subaeree. Sono state ottenute delle sezioni 2D di resistività ad alta risoluzione per strutture poco profonde-intermedie della faglia della Pernicana. Tutti i dati geo-elettrici (più di 5000 punti di misura) sono stati invertiti fornendo la sezione di resistività ad alta risoluzione attraverso la faglia.

Task 2

(UR01-Armienti, UR02-Dingwell, UR24-Moretti, UR30-Paonita)

Durante il primo anno del progetto sono state realizzate parecchie attività sperimentali. Alcune di queste attività sono state indirizzate allo studio della diffusività dei volatili nei fusi etnei. La diffusività può contribuire a spiegare le variazioni nella composizione del gas di un vulcano e può essere anche importante per la comprensione delle eruzioni vulcaniche violente, spiegando alcuni processi quali la formazione e la crescita delle bolle. Attenzione specifica è stata dedicata allo zolfo, uno dei componenti più abbondanti nel plume vulcanico ed agli alogeni, quali cloro, fluoro e in parte anche il bromo. La diffusione nei fusi è stata misurata usando la tecnica delle coppie di diffusione. Il materiale di partenza polverizzato proveniva da un basalto alcalino vetroso naturale campionato dai prodotti emessi durante l'eruzione dell'Etna del 18 luglio 2001. Le temperature e le pressioni sperimentali sono state variate fra 1250 e 1450°C fino a 1 GPa; inoltre, è stato effettuato un singolo esperimento a 1250°C e 0.5 GPa per studiare l'effetto di pressione sulla diffusione. I profili di diffusione ottenuti sono stati modellati con un'equazione valida per un mezzo semi-infinito, in modo da ottenere i coefficienti di diffusione. Per quanto riguarda la speciazione dell'acqua, è stato chiarito e parametrizzato il ruolo dell'acqua sullo stato di ossidazione (e viceversa) analizzando l'equilibrio chimico fra la species dell'acqua nei fusi. La speciazione modellata obbedisce ai requisiti del trattamento polimerico di Toop e di Samis e del modello ionico di Temkin. Inoltre, è stato realizzato un lavoro sperimentale e teorico per sviluppare modelli più accurati di solubilità di H₂O, di CO₂, S e dei gas nobili nei fusi basaltici. Le procedure seguite hanno prodotto misure quantitative della solubilità di quelle specie a temperatura, pressione e composizioni tipiche del magma etneo. I risultati, anche se preliminari, dovrebbero permettere l'implementazione di equazioni costitutive adatte nella modellistica del degassamento del magma all'Etna senza bisogno di estrapolazione. Un ulteriore lavoro sperimentale è stato dedicato all'indagine sulla reologia di magma/lava. La conoscenza della reologia dei flussi di lava è necessaria per tentare la loro modellistica sia in anticipo che in tempo reale. Sono state eseguite misure reologiche a temperatura costante e a raffreddamento controllato per descrivere la reologia del magma dell'Etna in termini di cristallinità progressiva. Sono state realizzate misure di fusione e omogeneizzazione in un intervallo di bassa viscosità delle lave e delle scorie delle eruzioni 1992 e 2001 dell'Etna, usando un viscosimetro cilindro concentrico. I risultati preliminari ottenuti sono rilevanti: 1) per la definizione di un semplice polinomio di 3° grado che descrive la relazione tra viscosità e temperatura, 2) per il ruolo della cinetica di cristallizzazione sulla reologia, 3) per la finestra temperatura-tempo in cui avviene la cristallizzazione, a temperature costanti (1200, 1250 e 1225°C) e a condizioni atmosferiche. Sono stati effettuati anche studi petrologici per vincolare al meglio la cinetica di cristallizzazione del magma nel caso di sotto-raffreddamento, nucleazione e tasso di accrescimento delle fasi magmatiche. In particolare, lo studio è stato focalizzato sulla prima comparsa di clinopirosseno nel liquido, dei trachibasalti e dei basalti etnei all'interno di una vasta gamma di pressione e di contenuti idrici. Per realizzare questo obiettivo sono state effettuate più di 300 analisi alla microsonda elettronica e al SEM, seguite da valutazione teorica del percorso

P-T probabilmente intrappolato dal magma. Dai risultati preliminari è chiaro come il magma etneo, malgrado la composizione abbastanza omogenea, ha una vasta gamma di profondità di cristallizzazione che può essere associata al magma in risalita.

Task 3

(UR03-Bonafede, UR04-Carbone, UR16-Giunchi, UR36-Puglisi, UR38-Saccorotti)

Le attività del Task 3 sono state indirizzate su due argomenti principali: (i) studiare gli effetti della topografia e delle eterogeneità del mezzo sulla deformazione del suolo e sui campi di potenziale prodotti da sorgenti di pressione vulcanica; (ii) mettere a punto metodi per l'inversione simultanea di dati multi-disciplinari per ottenere una migliore definizione della sorgente vulcanica. I modelli analitici e numerici precedentemente sviluppati sono stati estesi a più complesse proprietà costitutive del mezzo incassante ed applicati all'interpretazione dei dati disponibili per l'Etna. In particolare, questa attività è stata divisa in due fasi: da una parte, è stata implementata una libreria di modelli diretti, scelti tra i più rilevanti riportati in letteratura, per dati magnetici, di gravità e di deformazioni; dall'altra, è stato sviluppato uno schema di inversione, basato sull'identificazione di una soluzione ottima di Pareto nel quadro di una procedura multi-obiettivo su algoritmi genetici, allo scopo di convergere più efficacemente verso i parametri del modello della sorgente. Le analisi analitiche hanno incluso inoltre i modelli delle dislocazioni elementari e le sorgenti di inflazione nei mezzi visco-elastici. L'analisi numerica ha riguardato lo studio dell'interazione fra la deformazione indotta dal dicco e la sismicità associata alla risalita del dicco. Le complessità che caratterizzano il Monte Etna, quali il rilievo topografico, le eterogeneità elastiche (provate chiaramente tramite la tomografia sismica) sono state introdotte nei modelli per mezzo di metodi numerici quale il metodo a elementi finiti (FEM). I modelli a elementi finiti sono stati applicati per valutare la deformazione del suolo, la gravità e le variazioni magnetiche registrati all'Etna dal 1981 al 2001. Inoltre, sono stati confrontati i risultati delle soluzioni analitiche e di quelle numeriche, per valutare le inesattezze che si commettono quando si trascurano le eterogeneità del mezzo e l'effetto topografico. Il Task 3 mira anche a definire la posizione e l'evoluzione temporale del tremore e delle sorgenti LP all'Etna. Durante questo primo anno, l'attività è stata mirata principalmente alla preparazione dei dati e ad effettuare tutte le analisi preliminari che sono necessarie per chiarire le caratteristiche generali dei campi d'onda registrati.

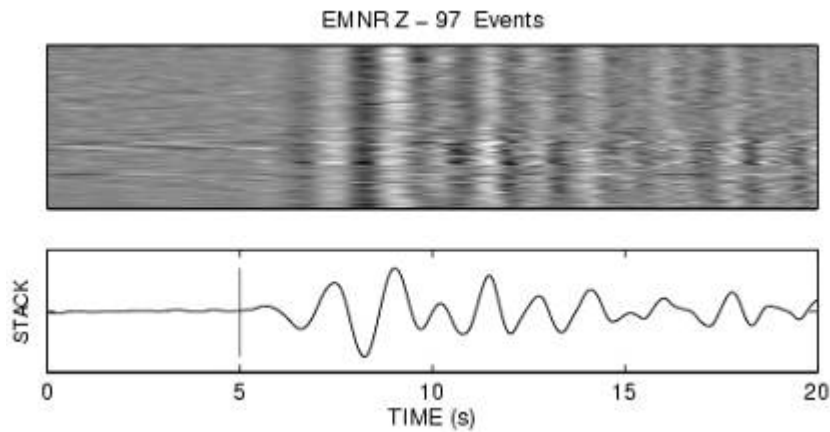


Figure 5. Top: Vertical-component velocity seismograms for station EMNR after the least-squares adjustment of arrival times procedure. Dark and light gray tones correspond to troughs and peaks in the ground velocity time—history, respectively. Bottom: Stacked trace resulting from summation of the above seismograms. The vertical line marks the manually-picked onset. Note how the weak, positive first-arrival is successfully recovered.

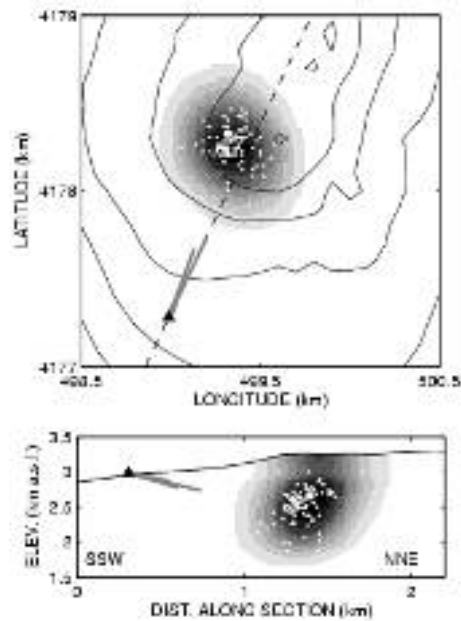


Figure 6. Maximum-likelihood hypocenter locations in map view (a) and projected along the vertical section passing through station ECPN (triangle) and the summit craters (b). The shaded regions bound the 90% confidence regions for hypocenter location, obtained by stacking the marginal probability distributions associated with individual events. Black circles mark the location obtained from the stacked waveforms. The thick gray lines are the frequency distribution of azimuth and incidence angles for VLP pulses observed at the summit station ECPN during the time interval encompassed by the located LP events.

Task 4

(UR02-Berardino, UR5-Burton, UR14-Fedi, UR17-Gresta, UR18-Gurrieri, UR21-Meloni, UR24-Moretti, UR25-Mulargia, UR29-Nunnari, UR33-Pergola, UR35-Privitera, UR36-Puglisi, UR37-Ripepe)

Sono stati rilocalizzati i terremoti all'Etna dal 1977 al 2001 e sono state ricalcolate in modo uniforme le magnitudo. E' stato, quindi, compilato e validato il database di terremoti. Il database dei dati geofisici è disponibile a tutte le UR che partecipano al progetto all'indirizzo <ftp://magftp.ct.ingv.it/>.

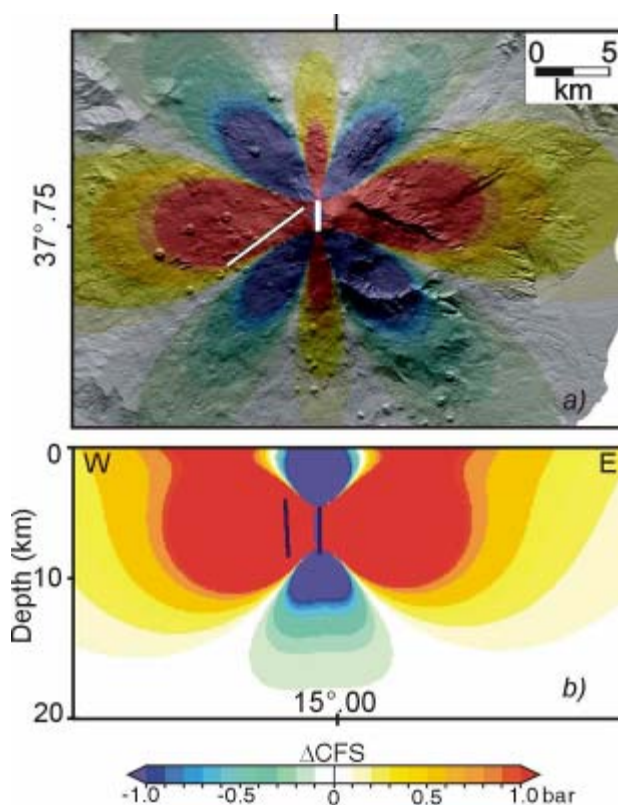


Figura 7. Map view and vertical cross section of static stress variation induced by a vertical dike opening 3 m (white bold line). The structural alignment (white thin line) suspected to be the responsible of the seismicity in sector W is located inside a lobe of increasing static stress.

Una banca dati (database) relazionale è stata implementata usando il DBMS di MySQL (sistema di amministrazione del database), allo scopo di immagazzinare e recuperare i dati registrati all'Etna durante gli ultimi 5 anni (2001-2005). Sono state selezionate consistenti serie temporali di Tilt, GPS e di SAR per definire il livello di background di tali segnali. I dati di SAR sono stati ampiamente analizzati da parecchie UR dal 1992 a oggi per ottenere serie temporali delle deformazioni del suolo e per valutare i differenti effetti sul campo di deformazione dovute ad intrusioni di magma di diverse entità e geometrie. Per quanto riguarda l'analisi statistica dei precursori, sono state analizzate le serie temporali del SO₂ e dell'ampiezza spettrale del tremore

registrate all'Etna durante il 1988-1992. Le analisi delle variazioni dello stress statico indotte da sorgenti magmatiche (dicco e/o camera magmatica) sono in grado di giustificare l'aumento del tasso sismico osservato nel periodo 1997-1998, così come l'investigazione delle variazioni spazio-temporale della coda Q furono concentrate nel periodo 1997-1998 per verificare se le variazioni di stress produssero valori anomali della coda Q. Sono stati calcolati i contenuti di volatile totale e sono stati stimati i volumi di magma coinvolti i flussi di volatile disponibili. Le analisi di dati di CO₂ registrati con la rete automatica di acquisizione hanno evidenziato aumenti molto forti di questo parametro fin due mesi prima l'inizio dell'eruzione 2004-2005. I flussi di CO₂ sono rimasti ad un livello molto alto. Lo studio svolto per definire il background è stato effettuato usando differenti tecniche analitiche per filtrare i componenti non vulcanici ed evidenziare gli aspetti legati all'attività vulcanica.

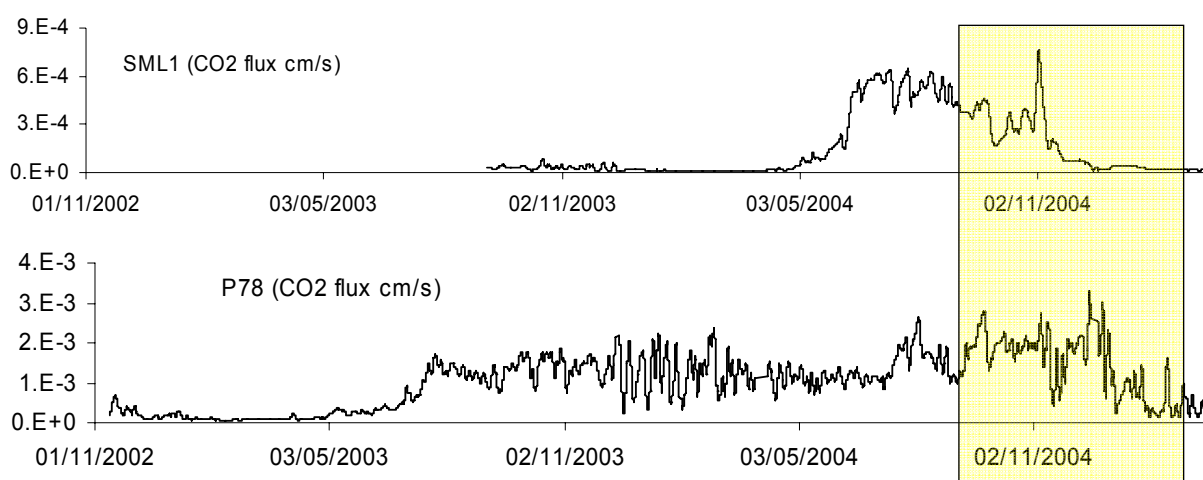


Figura 8. Time variations of soil CO₂ flux recorded by the Santa Maria di Licodia (SML1) and Santa Venerina (P78) remote stations. The eruption period is indicated by the yellow box .

Sono stati definiti gli intervalli di variazione del flusso e dei dati della composizione del plume e delle emissioni termiche rilevate da AVHRR. Durante l'attività quiescente possono accadere variazioni nell'emissione di gas paragonabili a quelle osservate nel corso di eruzioni. Ciò indica che il sistema di alimentazione può essere molto dinamico, anche quando c'è poca evidenza geofisica o vulcanologica di questo dinamismo. Sono stati analizzati i livelli di background del segnale termico satellitare, e gli andamenti temporali dell'indice ALICE, calcolato su 11 anni di dati nel canale 3 dell'AVHRR (la banda di osservazione più adatta per identificare hotspot vulcanici). I dati geomagnetici del 2002 sono stati studiati con un metodo predittivo non stazionario, denominato TVANS (analisi tempo variante di segnali non stazionari). Dal punto di vista tecnico, la ricerca sull'ampiezza e la tipologia dei segnali magnetici attesi e il confronto con altri dati esistenti, come i dati del campo magnetico totale registrati all'Etna, ha guidato la progettazione della configurazione ottimale dei sensori magnetici. Per quanto riguarda la ricerca sismo-acustica, sono state trovate le soluzioni tecniche specifiche nella protezione dei sensori ed è stata esaminata la capacità di mettere a punto una nuova procedura numerica in grado di rilevare e localizzare le fonti infrasoniche anche in presenza di venti forti.

Task 5

(UR07-Coltelli, UR20-Incoronato, UR22-Milano, UR26-Monaco, UR34-Pompilio)

Il rilevamento geologico originale del basso versante occidentale del vulcano ha permesso di definire la stratigrafia dell'intero Monte Etna. Sono state vincolate cronologicamente le principali fasi dell'evoluzione geologica del vulcano.

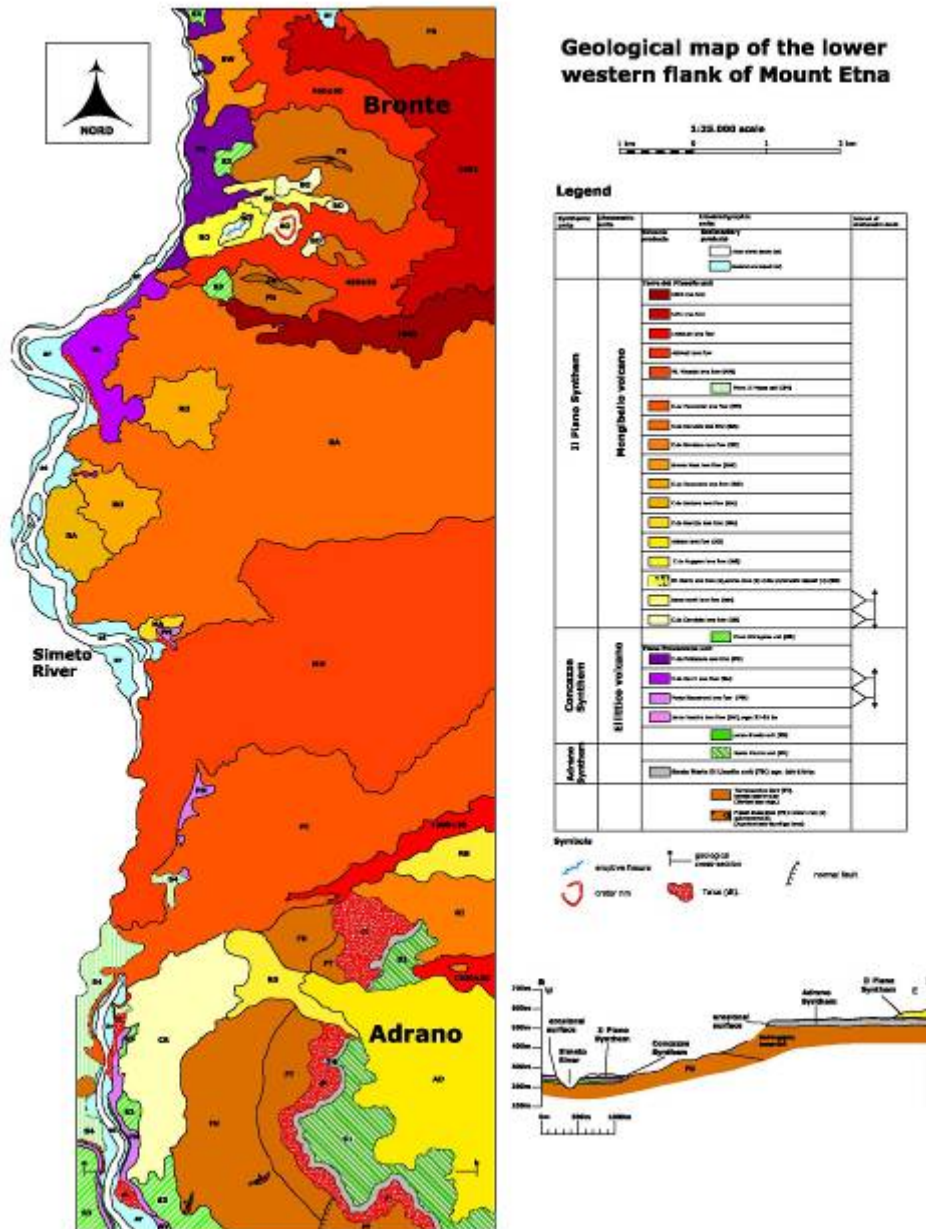


Figura 9. Geological map of the lower western flank of Etna volcano.

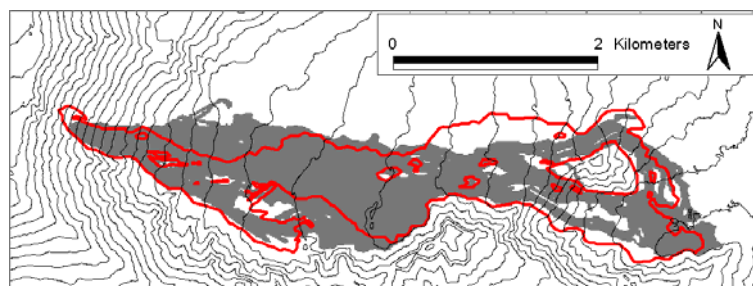
Un database delle eruzioni storiche è stato aggiornato fino all'ottavo secolo AC, attraverso la correlazione tra i dati geologici, le cronache storiche e i dati paleomagnetici. Sono state condotte indagini magneto-mineralogiche, di rimanenza e di paleointensità su colate laviche di età

sconosciuta. In base alla direzione di magnetizzazione sono stati riconosciuti 3 gruppi diversi che devono essere considerati come appartenenti ad almeno 3 differenti flussi di lava. I risultati saranno verificati da successive indagini di campagna. Sono state studiate eruzioni esplosive etnee con alto indice di esplosività (VEI). Fra queste eruzioni è stata scelta l'eruzione subpliniana avvenuta 3930 anni fa. Il magma di questa eruzione ha una composizione picritica molto vicina a quella di un magma primario ed i risultati principali dimostrano che tale eruzione è l'unico esempio al mondo di una grande eruzione esplosiva alimentata da magma picritico. In base alle inclusioni del fuso sono stati determinati, mediante microsonda elettronica e tecniche di MS Laser-Ablazione-ICP, gli elementi principali e quelli in traccia. Inoltre, i volatili (CO₂ e H₂O) sono stati analizzati da FT-IR, e da sonde nucleari e agli ioni. Questo insieme di dati è stato paragonato ai dati relativi ai prodotti di attività recente etnea (1995-2003) e di altri vulcani basaltici. Sulla base di modelli termodinamici all'equilibrio solido-liquido, sono state valutate la temperatura intratellurica e quella eruttiva. E' stata fatta una descrizione preliminare del comportamento del vulcano in termini di tempo di ricorrenza, e di regime contro comportamento ciclico. Sono state eseguite indagini sui dati dell'eruzione vulcanica e statistiche per mezzo di un nuovo strumento, basato su Independent Component Analysis così come sono stati sviluppati dei modelli schematici per il meccanismo di eruzione ispirati alla Teoria della Criticità Auto-Organizzata. E' stata realizzata una versione del prototipo di una Geological Gis Platform, mentre come base cartografica, è stata georeferenziata una nuova mappa numerica 3D alla scala 1:10.000 (e relative ortofoto).

Task 6

(UR11-Del Negro, UR09-Crisci, UR13-Dragoni, UR15-Fortuna, UR31-Pareschi)

Le UR del Task 6 hanno sviluppato accurati e robusti modelli fisico-matematici in grado di prevedere l'evoluzione spaziale e temporale dei flussi di lava. In particolare, il nuovo modello MAGFLOW, basato sugli automi cellulari, per la simulazione dei flussi della lava è stato applicato alle eruzioni recenti 2001 e 2004 del vulcano Etna. La funzione di evoluzione di questo modello è una soluzione a regime dell'equazione di Navier-Stokes nel caso di un piano orizzontale. L'effetto della reologia e del raffreddamento sono inclusi nel modello. Il modello già esistente SCIARA (basato sugli automi cellulari) è stato integrato con un algoritmo genetico (GA) per valutare i valori dei parametri del modello. Questa procedura è necessaria perché SCIARA funziona con parametri non fisici che devono essere determinati prima di ogni simulazione. L'applicazione del GA al modello di SCIARA è stata convalidata simulando le eruzioni del 2001 e del 1991-1993 dell'Etna. Le simulazioni dei flussi di lava sono state ottenute anche con altri due codici, DOWNFLOW basato sul massimo angolo di pendenza e CELL basato sugli automi cellulari.



Emission rate

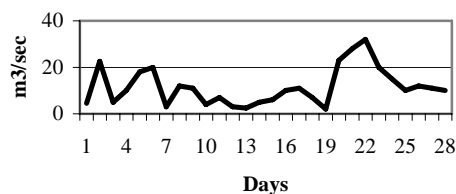
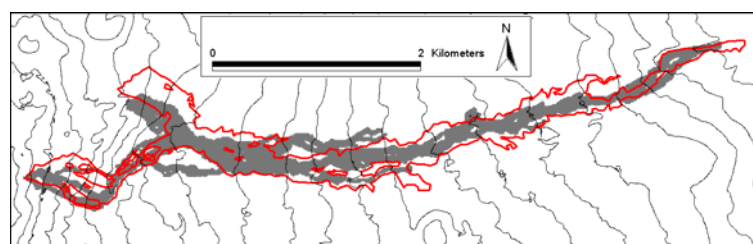


Figura 10. Comparison between the 1991/93 real event (first 28 days - red outline) and simulation.



Emission Rate

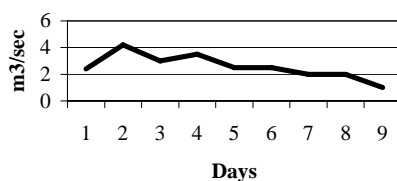


Figura 11. Comparison between the 2002 real event (red outline) and simulation.

E' stato introdotto per la simulazione dei flussi di lava l'emulatore E3 basato su rete non lineare cellulare (CNN). In particolare, sono state effettuate due applicazioni differenti. La prima basata sui modelli ad autoonda e la seconda sostituendo le equazioni base dell'emulatore con l'equazione del moto di un fluido. Infine, è stato proposto di estendere l'applicazione delle CNN per il trattamento delle immagini satellitari per valutare il tasso effusivo. Sono stati inoltre studiati i rapporti fra gli aspetti termici e dinamici dei flussi di lava, con l'obiettivo particolare di capire la formazione, le caratteristiche e lo sviluppo dei tubi di lava. I casi considerati sono stati: (i) il flusso in un tubo cilindrico con sezione ellittica, (ii) la deformazione termo-elastica associata ad un tubo di lava e (iii) il meccanismo di formazione della crosta, osservando che si genera dal centro del canale, in cui lo sforzo di taglio è basso, fino ai bordi. L'aggiornamento del DEM del vulcano Etna è stato estratto dalla CTP 1998 con l'elaborazione del rilievo aero-fotogrammetrico (agosto 2004) e l'elaborazione

fotogrammetrica dei dati storici per la produzione di DEM pre e post eruzione riguardante gli eventi 1991-93, 1999 (Bocca Nuova), 1998-2001 (Crateri Sommatali), la colata da 2100 m. s.l.m. del 2001, le colate 2002-03 sui versanti S e NE, e 2004-05 in Valle del Bove. Infine, è stata tracciata la procedura completa per la ricostruzione dei dati geometrici e fisici (incluso gli errori associati), necessaria per la validazione delle simulazioni del flusso di lava dell'eruzione 2001 dell'Etna (il flusso da 2100 m. s.l.m.). Inoltre, si stanno usando i dati di LiDAR per realizzare una carta riportante i canali di lava, i coni di scoria, le fratture eruttive e tephra. La morfologia dei coni, la posizione delle fratture e le caratteristiche morfologiche della lava sono mappati usando i nuovi dati acquisiti in remoto.

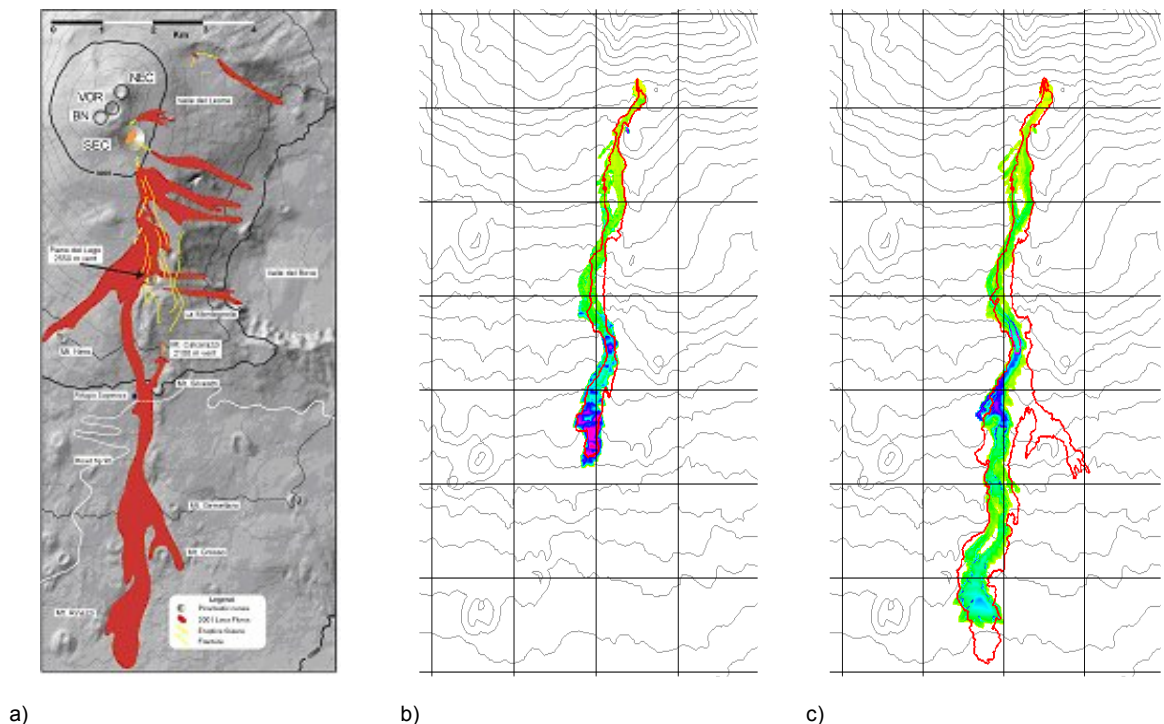


Figura 12. 2001 Etna eruption: (a) observed lava flow field, (b) simulated lava flow after 3 days of eruption, and (c) simulated lava flow after 22 days of eruption.

Task 7

(UR27-Neri, UR31-Pareschi, UR40-Taddeucci)

Sono state condotte indagini sia teoriche che sperimentali, riguardanti la modellistica e la simulazione dei processi di dispersione atmosferica e della pericolosità associata. Per quanto riguarda i primi è stato sviluppato un nuovo modello, chiamato VOL-CALPUFF, per descrivere più dettagliatamente la dinamica dei plume etnei. VOL-CALPUFF rappresenta un nuovo sistema in grado di simulare il transiente e l'iniezione tridimensionale, il trasporto ed il deposito della cenere vulcanica sotto l'azione di realistiche condizioni meteorologiche e vulcanologiche. La caratteristica principale del modello è la capacità di accoppiare un modello di risalita del plume con una rappresentazione Lagrangiana di dispersione della cenere descritta come serie di pacchetti di particelle o "puff" in diffusione. Il codice di VOL-CALPUFF differisce dal codice originale di

CALPUFF per varie funzioni che lo rendono adatto ad applicazioni vulcanologiche. Le principali funzioni sviluppate durante il primo anno includono l'implementazione di un modello multi-particellare del plume, la considerazione di dispersione del puff ben sopra lo strato limite atmosferico, la possibilità di trattare particelle grandi pochi micron e la considerazione di varie leggi di sedimentazione di velocità in funzione della forma della particella. Durante questo primo anno, VOL-CALPUFF è stato usato per simulare il plume dell'Etna emesso nel luglio 2001. Le immagini ed i dati dei satelliti sui depositi al suolo sono stati confrontati con i risultati dei modelli, inoltre sono stati eseguiti studi di sensitività sull'effetto della risoluzione dei dati meteo sul processo di dispersione della cenere. E' stato anche realizzato un primo tracciato della dispersione di tephra al livello del suolo usando la tecnica LIDAR che sarà estesa ed analizzata durante il secondo anno.

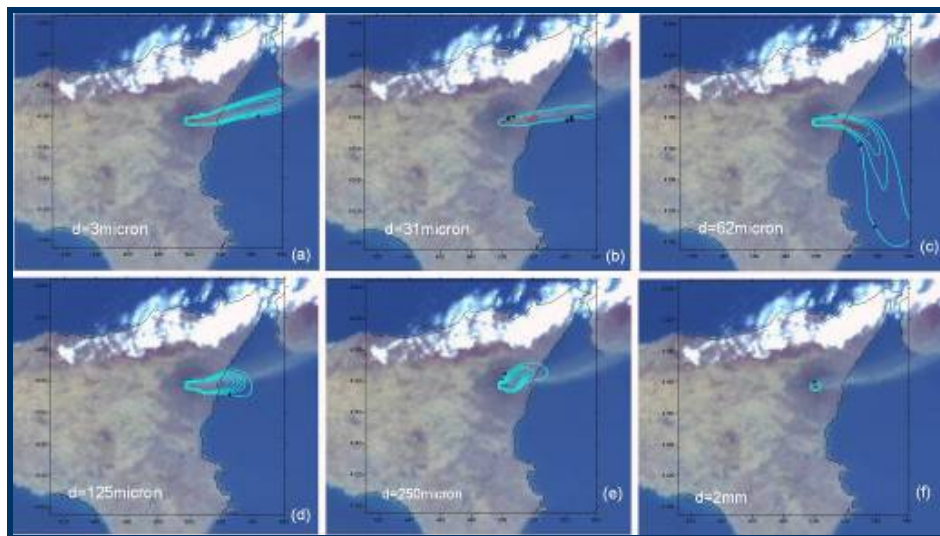


Figura 13. Comparison of VOL-CALPUFF concentration to satellite images as a function of particle sizes.

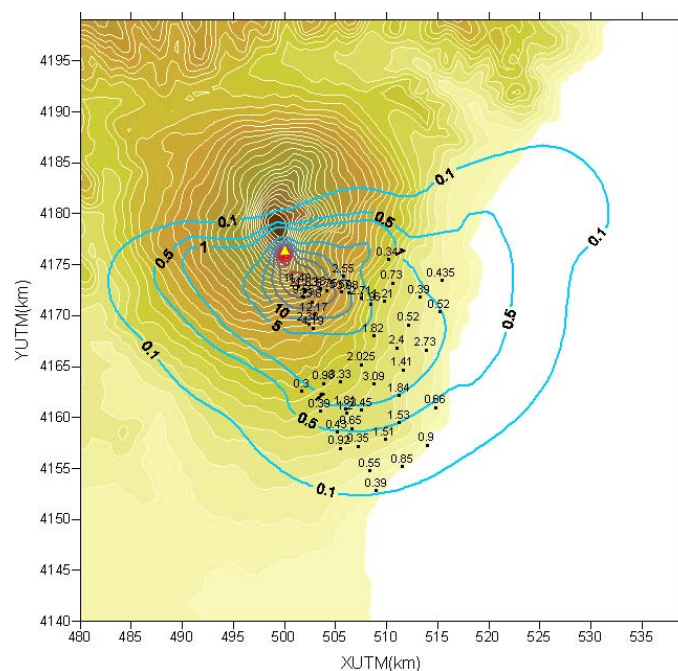


Figura 14. Total deposit obtained for four simulated days (21-24 July 2001) over-imposed to the measured ground data.

Per quanto riguarda la ricerca sperimentale, sono stati effettuati parecchi esperimenti di laboratorio per comprendere i fattori che controllano la genesi della cenere durante gli stili differenti di attività esplosiva all'Etna. In particolare, sono stati effettuati esperimenti sulla frammentazione dei fusi basaltici in varie condizioni, e le particelle sperimentali sono state confrontate con quelle naturali. In sintesi, le principali attività del primo anno sono state: 1) scelta, acquisizione ed analisi petrografica del materiale iniziale; 2) prove di elaborazione del software; 3) primi esperimenti ed analisi sulle dimensioni, composizioni e petrografia dei prodotti sperimentali.



Figura 15. Sampling of the starting material experiments: pyroclasts from the 2002-03 activity of the 2700 m-elevation vents: scoria from a fallout deposit (left) and blocks on the crater rim (right).

I risultati ottenuti mostrano che:

- 1) gli esperimenti effettuati possono simulare sia le deformazioni duttili che fragili attese durante la frammentazione esplosiva di magma basaltico;
- 2) i parametri sperimentali permettono di fare ipotesi sulla scala del tempo e (possibilmente) sull'intensità dello sforzo associato alla frammentazione;
- 3) i processi duttili e fragili dominano la frammentazione dei fusi con microliti-poveri e microliti-ricchi rispettivamente;
- 4) la frammentazione dei fusi con microliti-ricchi produce particelle più fini rispetto a fusi con microliti-poveri.



Figura 16. Thin section images (2 mm large) of the scoria (left); and blocks (right).

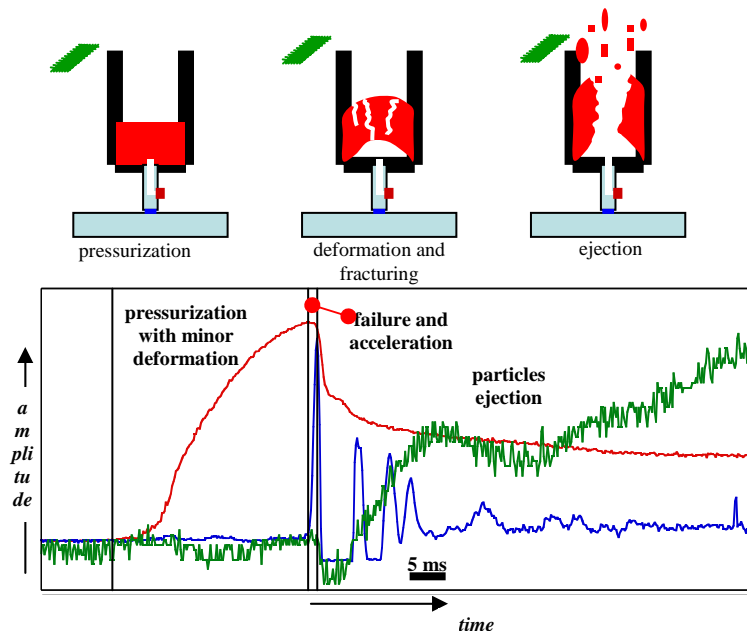


Figura 17. The three phases of the experiments (top) and the corresponding pressure (red), force (blue), and electric (green) signals (bottom).

PROGETTO V3_7: PANTELLERIA

Responsabili: P. Papale (INGV - Sezione di Pisa), S. Gresta (Università degli Studi di Catania)

Coordinatori: W. D'Alessandro (INGV - Sezione di Palermo), L. Tortorici (Università degli Studi di Catania)

Stato di avanzamento del progetto

Le ricerche effettuate durante il primo semestre del 2006 sono state finalizzate al raggiungimento degli obiettivi previsti dai quattro temi principali che formano il progetto. Il tema 1 (Caratteristiche vulcano-tettoniche e sistema di alimentazione) comprende sia studi sull'architettura complessiva del Canale di Sicilia e sull'assetto strutturale del sistema vulcanico di Pantelleria sia analisi approfondite sui prodotti vulcanici più recenti affioranti sull'isola. Le ricerche del tema 2 (Deformazioni del suolo) sono state focalizzate sull'analisi dei dati disponibili sulla deformazione del suolo e sulla sismicità dell'area. Studi sulle paleocoste sono stati effettuati al fine di ottenere stime preliminari sulla velocità di deformazione durante l'Olocene. Gli studi del tema 3 (Degassamento magmatico ed idrotermale) mirano alla quantificazione del degassamento magmatico ed idrotermale del sistema vulcanico. Infine nell'ambito del tema 4 (Mappe di rischio) sono state compilate delle mappe di rischio preliminari. I risultati ottenuti dalle singole UR hanno consentito di raggiungere gli obiettivi previsti per la fine del primo anno di progetto.

Principali obiettivi scientifici raggiunti

L'architettura complessiva del Canale di Sicilia è stata preliminarmente definita mediante reinterpretazione di dati geofisici disponibili (profili sismici multicanale, magnetometria e gravimetria). Tali dati confermano che l'isola si trova all'interno di una zona di rift con andamento NW-SE caratterizzata da uno spessore crostale inferiore ai 20 km. In particolare la presenza di corpi fortemente magnetizzati (alcuni dei quali affioranti dal fondo marino, come si evince dai dati sismici) indica che l'intera area è caratterizzata da estesa attività vulcanica ed evidenzia le zone in cui l'attività magmatica è più cospicua. Inoltre dalla mappa batimetrica dettagliata dell'area del Banco di Graham risulta che il vulcano Ferdinandea non è isolato ma fa parte di un sistema vulcanico più esteso che comprende una decina di edifici vulcanici ben definiti (Fig. 1). Questi studi hanno consentito una migliore definizione di questo sistema consentendo di effettuare misure precise delle dimensioni della Ferdinandea (altezza dal fondo marino 130 m, quota del picco 6 m sotto il livello del mare, diametro alla base 500 m) ed ha evidenziato la presenza di un cono molto più largo dal quale si estende una colata lavica ben definita e dove è presente una intensa attività di degassamento. Le ricerche effettuate sull'isola di Pantelleria sono state in primo luogo indirizzate alla revisione generale della stratigrafia dei prodotti vulcanici più recenti. Una nuova mappa geo-strutturale dell'isola è stata parzialmente compilata aggiornando i dati esistenti. Mappe pubblicate e non pubblicate (dati delle UR 7 e 9) sono state migliorate mediante un'accurata interpretazione di foto aeree in scala 1:5000 riportando i limiti geo-litologici e le principali strutture su mappe topografiche recenti. Questi dati assieme alle informazioni morfotettoniche aggiungono nuovi dettagli alla ricostruzione preliminare dell'evoluzione vulcano-tettonica dell'isola in diversi intervalli di tempo. L'analisi dettagliata di tutti i centri eruttivi mostra una distribuzione preferenziale lungo tre fasce ad orientamento NE-SW, con un

arrangiamento en-echelon sinistro, connesse da due fasce subordinate con andamento NW-SE (Fig. 2). La distribuzione dei centri eruttivi ben si accorda con i risultati ottenuti dall'analisi dell'orientamento delle fratture caratterizzata dalla presenza di due famiglie principali con andamenti rispettivamente N 0°-30°E e N 110°-150°E (Fig. 2).

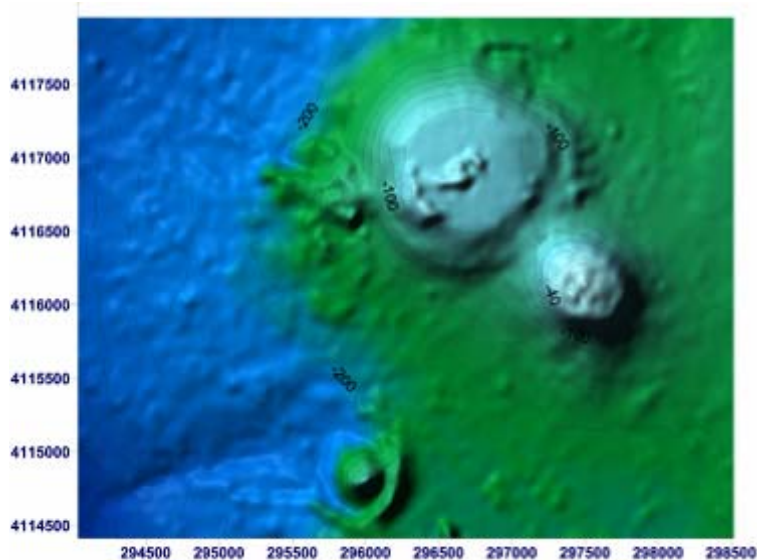


Figura 1. Il vulcano Ferdinandea, al centro in alto (diametro di base 500 m), e gli edifici vulcanici circostanti.

Una mappatura dettagliata è stata effettuata in particolare nelle aree di Montagna Grande-Monte Gibeles, Mursia, Cuddia Sciuevchi e Cuddia Randazzo-Khaggiar (Fig. 3), in maniera da definire meglio la ricostruzione della storia geologica recente (< 10 ka). Queste informazioni sono fondamentali per la produzione di mappe tematiche per la definizione di differenti scenari eruttivi. Alcune aree chiave con caratteristiche peculiari riguardanti sia lo stile eruttivo che l'evoluzione vulcanica sono state studiate quale riferimento sia per singoli eventi futuri di magnitudo differente sia per attività di lungo termine. I centri vulcanici scelti sono: 1) l'area di Mursia quale esempio di eruzione basaltica esplosiva di piccola scala; 2) la Cuddia di Mida quale eruzione di bassa – media energia dominata da frammentazione magmatica; 3) la Serra della Fastuca quale eruzione esplosiva pantelleritica di magnitudo medio-alta; 4) l'edificio vulcanico parzialmente collassato di Cuddia Randazzo quale esempio di attività esplosiva che evolve ad attività effusiva e 5) la Cuddia Sciuevchi quale esempio di vulcano a scudo. L'analisi mineralogica, geochemica ed isotopica dei campioni prelevati da questi centri vulcanici rappresentativi consentirà di caratterizzare meglio il comportamento del sistema magmatico durante l'attività recente di Pantelleria.

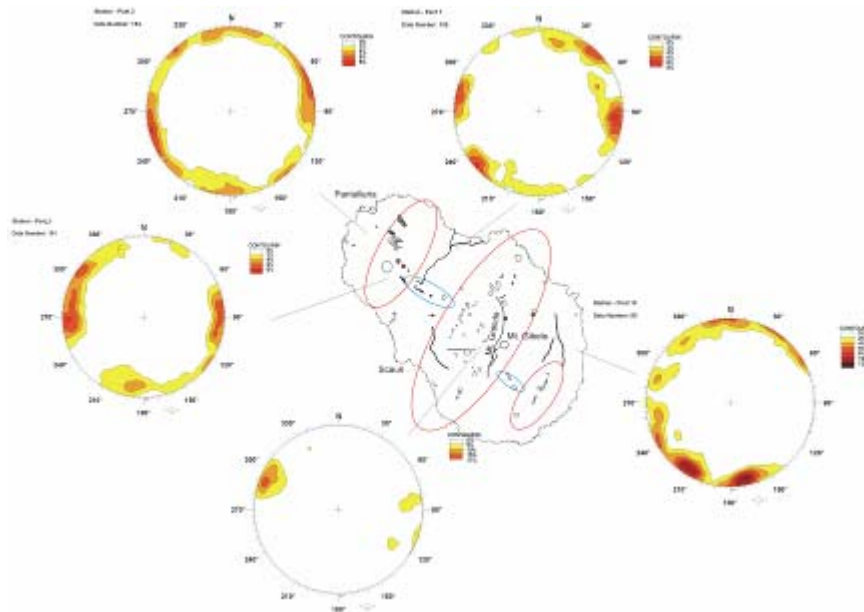


Figura 2. Mappa strutturale dell'isola di Pantelleria che mostra la distribuzione delle faglie maggiori, dei centri eruttivi e dei bordi calderici. Le ellissi definiscono l'orientamento preferenziale delle aree con maggiore densità di centri eruttivi. Sono riportati anche le distribuzioni cumulative dei poli delle fratture (proiezione stereografica).

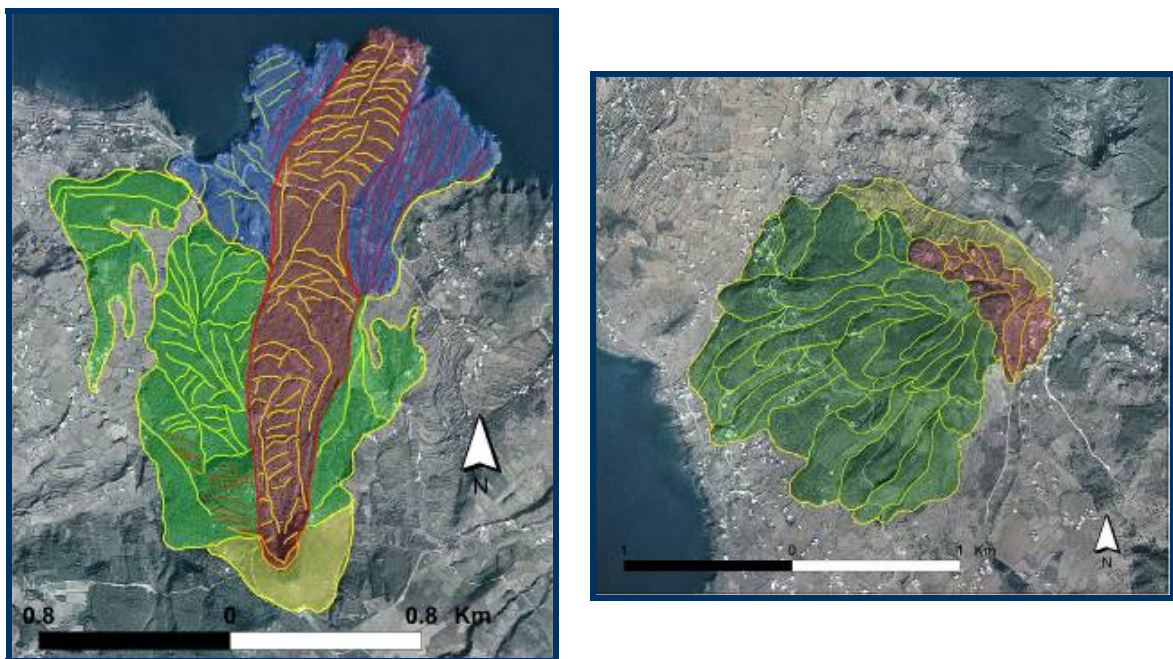


Figura 3. Esempio di mappe dettagliate degli edifici vulcanici di Cuddia Randazzo (a sinistra) e Cuddia Sciuechi (in basso).

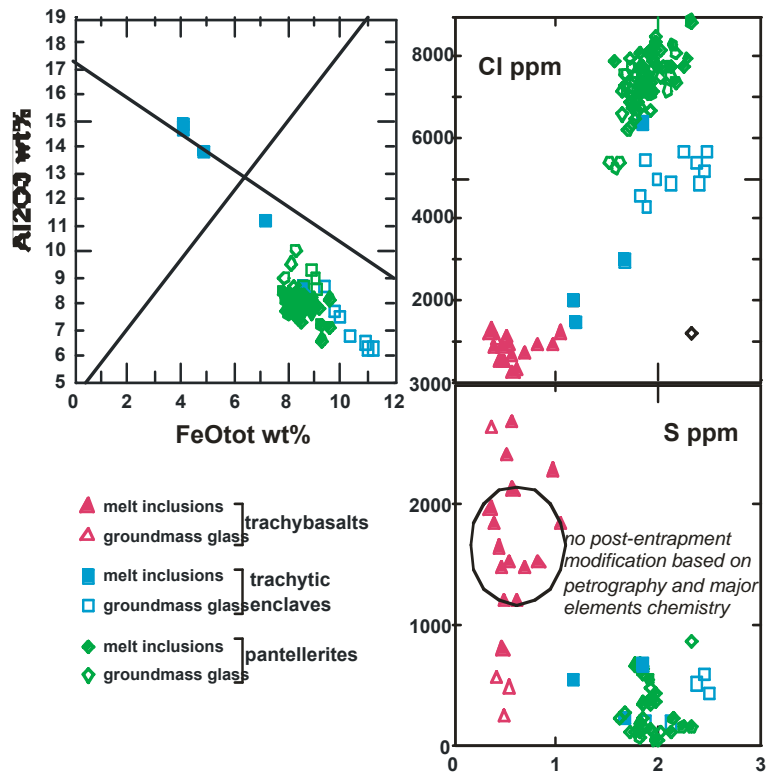


Figura 4. Composizione chimica e contenuto di volatili delle inclusioni fluide e del vetro della pasta di fondo.

In particolare esperimenti di cristallizzazione ad alta pressione e temperatura su campioni di pomice a composizione pantelleritica di Serra della Fastuca hanno dato informazioni su: 1) equilibri di fase a varie pressioni e temperature in sistemi pantelleritici; 2) condizioni di P-T-H₂O melt nei magmi pantelleritici prima della loro eruzione e 3) dati sulla solubilità di H₂O e CO₂ fondamentali per lo studio delle inclusioni fluide. Studi sulla composizione chimica e petrografia di minerali, pasta di fondo ed inclusioni fluide sono stati eseguiti su campioni selezionati di rocce basaltiche, trachitiche e riolitiche. La composizione dei magmi basaltici è stata stimata selezionando inclusioni fluide non affette da cristallizzazione. La composizione media corrisponde a un fuso trachibasaltico con Na₂O+K₂O=5-6 wt%, e Na₂O/K₂O superiore a 3. La componente volatile mostra contenuti di S intorno a 1500-2000 ppm mentre il Cl è presente in alcune centinaia di ppm (Fig. 4). La variabilità del grado di cristallizzazione post-intrappolamento nelle inclusioni fluide è correlata al differente raffreddamento dei cristalli nel magma durante l'ascesa attraverso i condotti e durante l'attività esplosiva stromboliana. Per quanto riguarda le rocce riolitiche i risultati mostrano che i magmi hanno composizione pantelleritica con valori di NK/A compresi tra 1.7 e 2.3 e contenuti di SiO₂ intorno al 70wt%. La componente volatile presenta concentrazioni di cloro comprese tra 7000 e 8000 ppm (Fig. 4), indicando la probabile presenza di una fase gassosa libera nella camera magmatica prima dell'eruzione. Infine le inclusioni fluide delle rocce trachitiche indicano una composizione del magma al limite tra la comendite e la comendite-trachitica, NK/A intorno a 1.2 ed una componente volatile con concentrazioni di cloro intorno a 2000 ppm (Fig. 4).

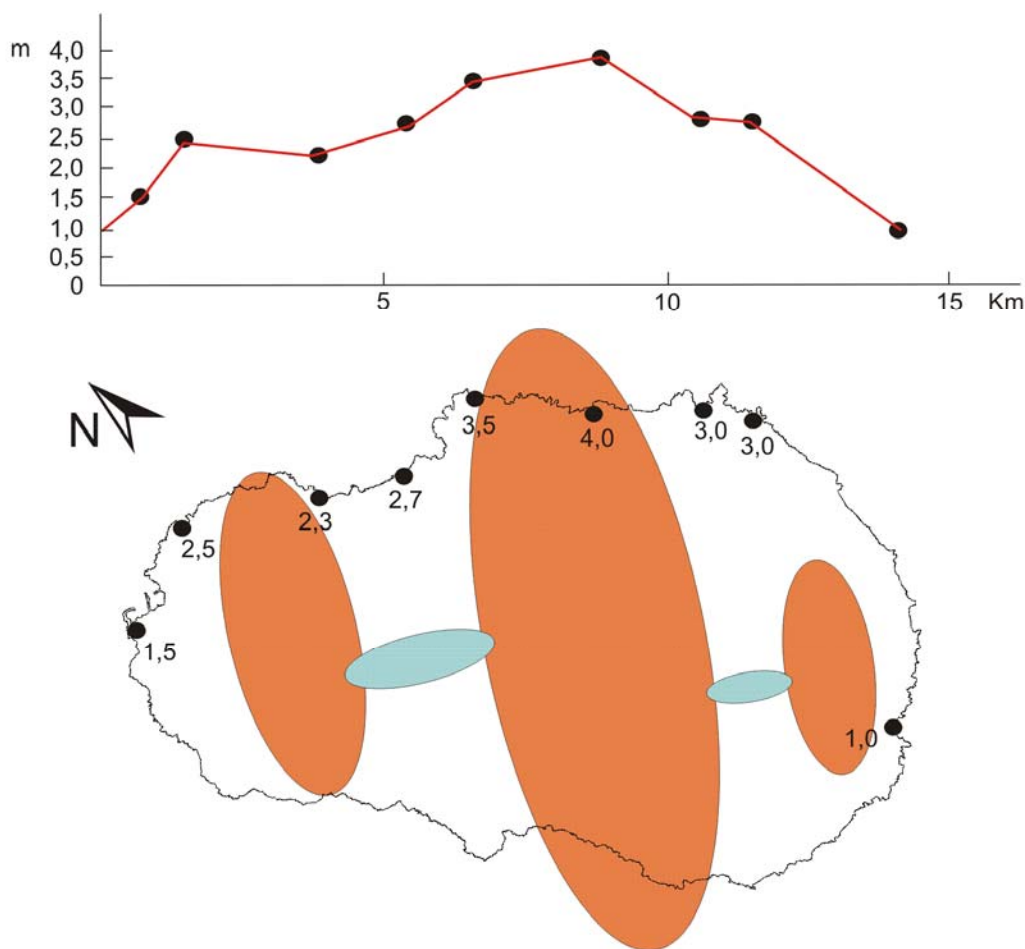


Figura 5. Profilo della paleocosta sul versante nordorientale dell'isola. Le stazioni di misura sono riportate sulla mappa dell'isola con la relativa quota assieme alle aree con elevata densità di centri eruttivi.

L'analisi delle deformazioni dall'Olocene al presente sull'isola di Pantelleria è stata effettuata con studi geologici e geofisici. Per quanto riguarda l'Olocene sono stati elaborati i dati su una paleocosta presente sulla parte nord-orientale dell'isola. La sua età è stata determinata in 1,2 - 0,6 ka e la massima quota raggiunta è di 4m sul livello del mare (Fig. 5). L'andamento della paleocosta presenta dei massimi di sollevamento in corrispondenza degli assi delle fasce definite dalla massima concentrazione di centri eruttivi (Fig. 5). Tale andamento delle deformazioni e l'elevata rapidità di sollevamento ($3,5 \pm 1,5$ mm/a negli ultimi 0,6 ka) indicano che lungo le suddette fasce ad andamento NE-SW nella parte centrale dell'isola, i processi di fratturazione sono stati accompagnati da intrusioni di magma a livello superficiale causando estesi fenomeni di inflazione. Indagini geofisiche recenti comprendono analisi di deformazione del suolo con tecniche EDM, GPS ed InSAR. L'elaborazione dei dati EDM e GPS acquisiti nel periodo 1980-2005 rivelano un andamento di leggera contrazione della parte centrale dell'isola (Fig. 6). Una deformazione simile è confermata dall'analisi delle immagini InSAR. Il database dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) è stato utilizzato per l'analisi della sismicità strumentale del Canale di Sicilia e dell'isola di Pantelleria. Prendendo in considerazione il periodo degli ultimi 20 anni si è potuto

definire una distribuzione degli eventi all'interno dei 30 km di crosta con magnitudo comprese tra 3 e 4.

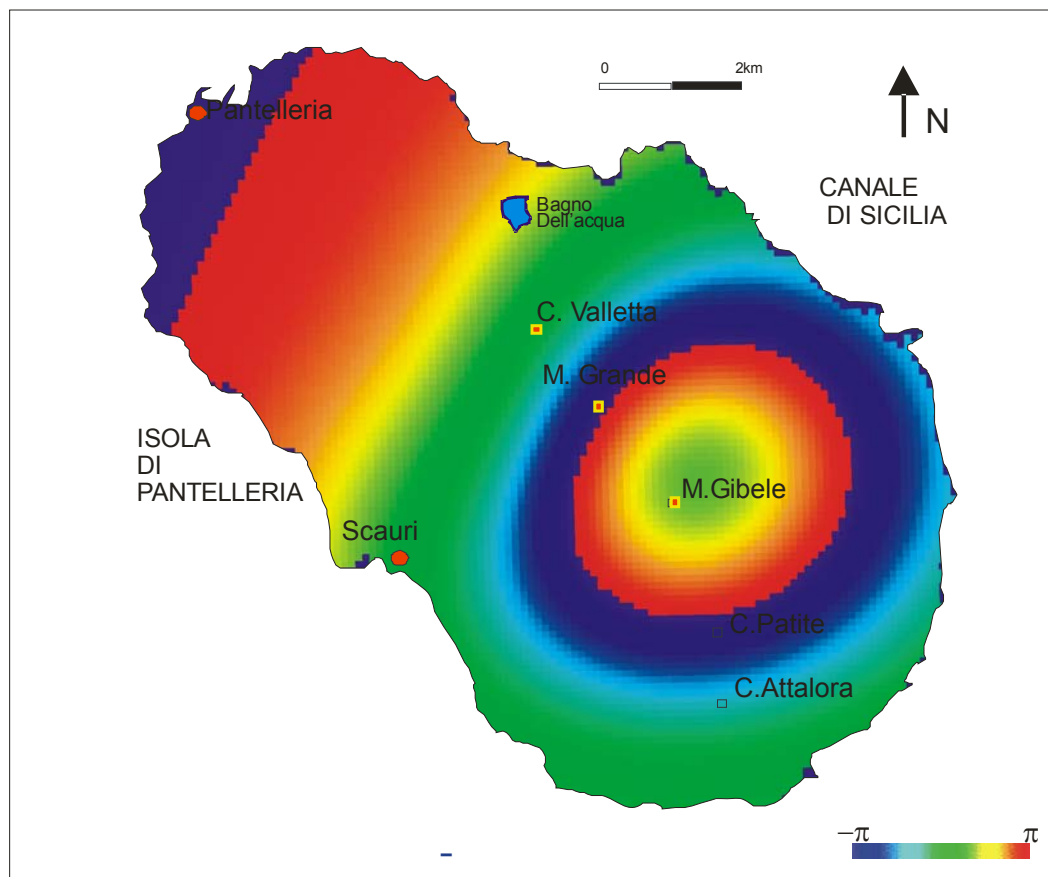


Figura 6. Interferogramma generato usando i risultati dell'inversione dei dati EDM e di livellazione.

Lo studio del degassamento dai suoli dell'isola ha confermato il degassamento anomalo corrispondente alle aree con le più evidenti manifestazioni esalative tutte localizzate all'interno della struttura calderica più recente (Fig. 7). Tali aree sono la zona fumarolica della Favara Grande (a sud di Mt. Grande) ed il lago Specchio di Venere. Durante le campagne di misura sono state mappate e campionate numerose manifestazioni fumaroliche secondarie precedentemente sconosciute. La loro distribuzione sarà confrontata con la distribuzione degli elementi strutturali della stessa area per evidenziare le strutture attivamente esalanti. Inoltre aree di elevato degassamento diffuso sono state evidenziate in base alla loro peculiare copertura vegetale formata da piante stentate, muschi e suolo nudo. Il contrasto con le aree non esalanti è particolarmente evidente in primavera. La stima preliminare del degassamento magmatico-idrotermale del sistema vulcanico è di 1 kg s^{-1} di CO_2 per l'intera isola di Pantelleria. Sono state inoltre mappate e campionate alcune manifestazioni idrotermali sottomarine lungo le coste dell'isola. Tutti i dati acquisiti durante le attività di ricerca dalle varie UR verranno utilizzati per produrre un nuovo data base integrato in una piattaforma GIS. Gli elementi inseriti, con i relativi collegamenti e proprietà per facilitare l'ottenimento di informazioni e le azioni tematiche, riguarderanno: 1) dati geologici (UR

7 e 9); dati geomorfologici e morfotettonici (UR 9); 3) informazioni geofisiche sul Canale di Sicilia (UR 1); 4) dati petrologici (UR 3 e 7); 5) dati geochimici (UR 2) e 6) dati sismologici e di deformazione del suolo (UR 6 e 9).

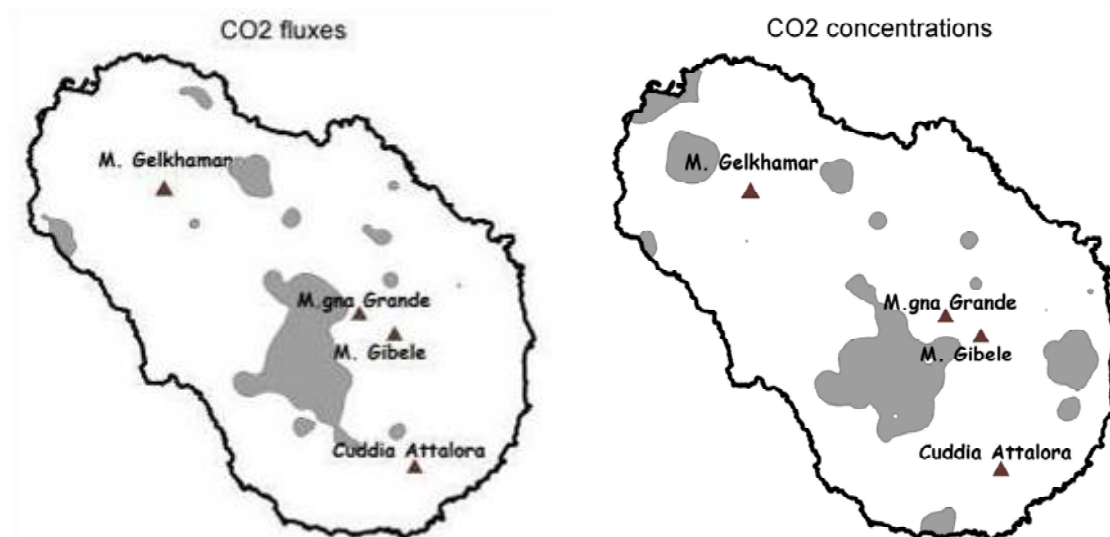


Figura 7. Mappe di distribuzione preliminari dei flussi di CO₂ dal suolo e della concentrazione a 50 cm di profondità. Le aree anomale sono evidenziate in grigio (rispettivamente flusso > 20 g m⁻² giorno⁻¹ e concentrazione > 5000 ppm).

Riunioni di coordinamento

Durante il corso del primo anno di progetto sono state organizzate parecchie riunioni per il coordinamento delle attività delle varie UR. Tutte le UR hanno partecipato alla prima riunione tenuta a Catania nel luglio 2005. Successivamente due riunioni delle UR coinvolte nella ricostruzione della storia eruttiva e degli studi petrologici (UR 3, 4, 7 e 8) sono state organizzate da G. Orsi sul campo a Pantelleria nel novembre 2005 e nell'aprile 2006 allo scopo di focalizzare gli sforzi sulle unità eruttive più importanti e per cercare di creare una base stratigrafica comune. In maniera simile le UR 5, 6 e 9 si sono incontrate più volte a Catania per coordinare le attività riguardanti gli studi strutturali e di deformazione. I responsabili delle differenti linee di ricerca del progetto (Tortorici per l'analisi tettonica e strutturale, D'Alessandro per la geochimica dei fluidi e Orsi per la petrologia) hanno partecipato a due riunioni tenute a Catania nel febbraio 2006 per discutere i risultati raggiunti.

Pubblicazioni

Mattia M., Bonaccorso A., Guglielmino F., Lanzafame G., Spampinato S., Ursino A., Monaco C., De Guidi G., Tortorici L. "A Multidisciplinary Study of the Pantelleria Island Plumbing System in the Structural Framework of the Sicily Channel (Italy)" EGU 3rd General assembly Vienna (AU) 2-7 April 2006.

PROGETTO V4: CONCEZIONE, VERIFICA E APPLICAZIONE DI TECNICHE INNOVATIVE PER LO STUDIO DEI VULCANI ATTIVI

Responsabili: W. Marzocchi (INGV - Sezione di Bologna), A. Zollo (Università degli Studi di Napoli)

Il progetto è organizzato in 3 tasks e 10 workpackages che sono descritti nella struttura del Project Work Breakdown riportata nella relazione della riunione iniziale del progetto. Nella stessa relazione abbiamo riportato il GANTT, che consiste in una dettagliata scaletta temporale delle attività svolte aventi lo scopo di raggiungere gli obiettivi prefissati. Nella pagina web del progetto (<http://www.bo.ingv.it/v4>) è possibile trovare tutte le informazioni e documentazione relativa al progetto, come le pubblicazioni scientifiche, le relazioni e le presentazioni a convegni e riunioni effettuate nell'ambito del progetto. Di seguito riportiamo solo una sintesi di alcuni risultati scientifici finora ottenuti che potrebbero avere un'immediata ricaduta pratica per gli scopi del Dipartimento di Protezione Civile. Una relazione più dettagliata del primo anno di attività è stata redatta in lingua inglese e consegnata al Dipartimento della Protezione Civile nel luglio scorso. Per quello che riguarda il task 1 (Probability hazard estimation), alla fine del primo anno la UR 1 coordinata da Warner Marzocchi ha prodotto un pacchetto software denominato BET_EF (Bayesian Event Tree for Eruption Forecasting) che potrebbe essere utilizzato come supporto scientifico per la gestione delle emergenze in aree vulcaniche. BET_EF è un codice probabilistico che utilizza tutte le informazioni disponibili (modelli, dati, e osservazioni del monitoraggio) per fornire una stima della pericolosità di breve e lungo periodo che rappresenta una sintesi dello stato attuale delle conoscenze. Un aspetto particolarmente rilevante del metodo è l'inclusione della fuzzy logic che riduce drasticamente il significato e il peso delle cosiddette "soglie" dei parametri del monitoraggio. In sintesi, il pacchetto software permette la visualizzazione e il calcolo della probabilità di occorrenza di un'eruzione di una taglia specifica. Da ciò emerge l'importanza pratica di un tale prodotto per la gestione delle emergenze in aree vulcaniche. E' importante rimarcare che le ricerche condotte in questo ambito hanno interagito significativamente con i progetti V3_2 (Campi Flegrei, coordinato da Paolo Papale e Lucia Civetta) e V3_4 (Vesuvio, coordinato da Edoardo Del Pezzo e Raffello Cioni); in questi progetti sono state condotte riunioni allo scopo di "calibrare" parametri e soglie per il BET_EF relativo a tali vulcani. Sono attualmente disponibili versioni preliminari di tali codici che saranno modificati e aggiustati durante il secondo anno con l'inclusione di tutte le ulteriori conoscenze vulcanologiche maturate. Sempre per il task 1, una collaborazione tra le UR 2 (coordinata da Renato Campanini) e UR 3 (coordinata da Susanna Falsaperla) ha portato ad un codice (SVM, Support Vector Machine) per la classificazione automatica dei segnali sismici registrati all'Etna. Il codice è un classificatore "supervisionato", che viene cioè addestrato a riconoscere automaticamente segnali sismici differenti relativi a 4 tipi di fasi vulcaniche distinte: fase pre-eruttiva, fontane di lava, fase eruttiva, e fase post-eruttiva (vedi figura 1).

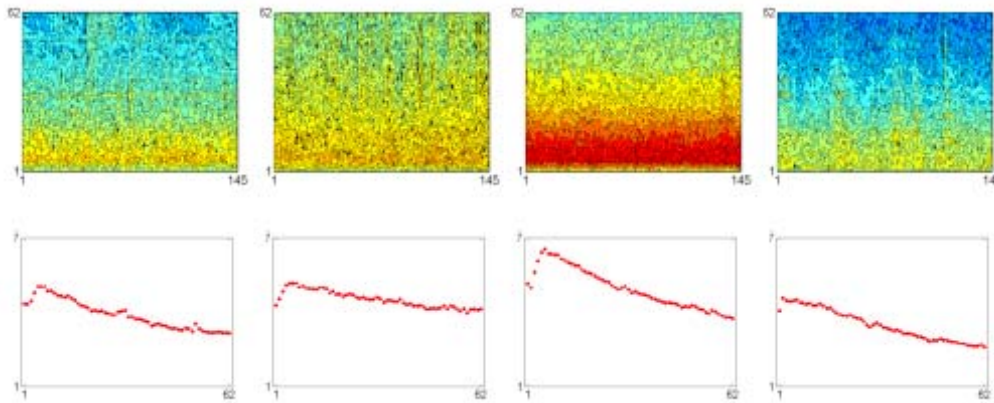


Figura 1. Nel pannello superiore possiamo vedere (da sinistra a destra) gli spettrogrammi relativi a tipiche fasi pre-eruttive, fontane di lava, fasi eruttive, e fasi post-eruttive. Nel pannello inferiore (da sinistra a destra) possiamo vedere le 62 features che caratterizzano i segnali appena descritti.

In particolare, l'analisi riguarda i dati registrati durante l'eruzione laterale del 2001 e alcune fasi di fontane di lava che precedettero e seguirono l'eruzione in questione. Allo stato attuale è disponibile un codice "addestrato" solo su tale eruzione e sui dati registrati ad una singola stazione. Durante il secondo anno si intende migliorare il codice utilizzando i dati di altri eventi eruttivi e provenienti da diverse stazioni sismiche. Per quello che riguarda il task 2, un primo risultato di estremo interesse pratico riguarda la definizione di un modello realistico 3D di velocità/densità/attenuazione per i Campi Flegrei. La base di questo modello sono i risultati ottenuti dalla tomografia sismica attiva e passiva compiute in quest'area, unitamente a considerazioni di carattere stratigrafico. Il modello, più che per un'applicazione pratica immediata, ha l'importantissimo scopo di fungere come modello di riferimento per i diversi lavori teorici sulla propagazione delle onde sismiche ai Campi Flegrei. Vogliamo a tale scopo rimarcare che un modello di questo tipo rappresenta una novità pressoché assoluta in ambito mondiale. Il modello è stato fornito in forma digitale e può essere trovato nella pagina web del progetto. Un altro risultato di estremo interesse emerso dal task 2 (UR 5 coordinata da Aldo Zollo) è relativo allo studio inerente la trasformazione dei risultati della tomografia sismica in proprietà fisiche delle rocce. La tomografia, infatti, riporta mappe di anomalie di velocità delle onde sismiche. Il passaggio da queste mappe ad una mappa delle proprietà reologiche dei materiali della crosta è tutt'altro che semplice. In particolare, le ricerche compiute in questo ambito nel progetto V4 hanno permesso di definire le anomalie di velocità sismiche rilevate ai Campi Flegrei in termini di variazioni litologiche e configurazioni bi-fase del mezzo. Senza entrare nel dettaglio del modello, è utile rimarcare che ciò ha permesso di interpretare un'anomalia di bassi valori del rapporto V_p/V_s a 3 km di profondità sotto i Flegrei come dovuta ad una localizzata formazione di gas ad alta pressione.

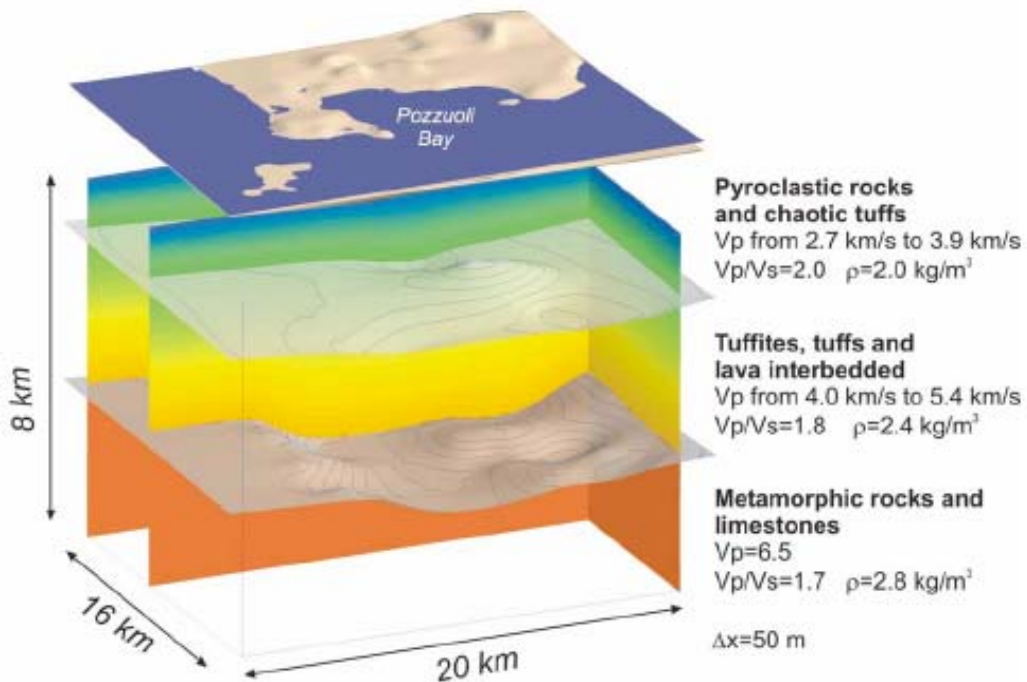


Figura 2. Modello tridimensionale dei Campi Flegrei ottenuta dall'integrazione dei risultati della tomografia e modelli stratigrafici. La scala verticale è doppia di quella orizzontale e la topografia è riportata isolata per motivi di chiarezza.

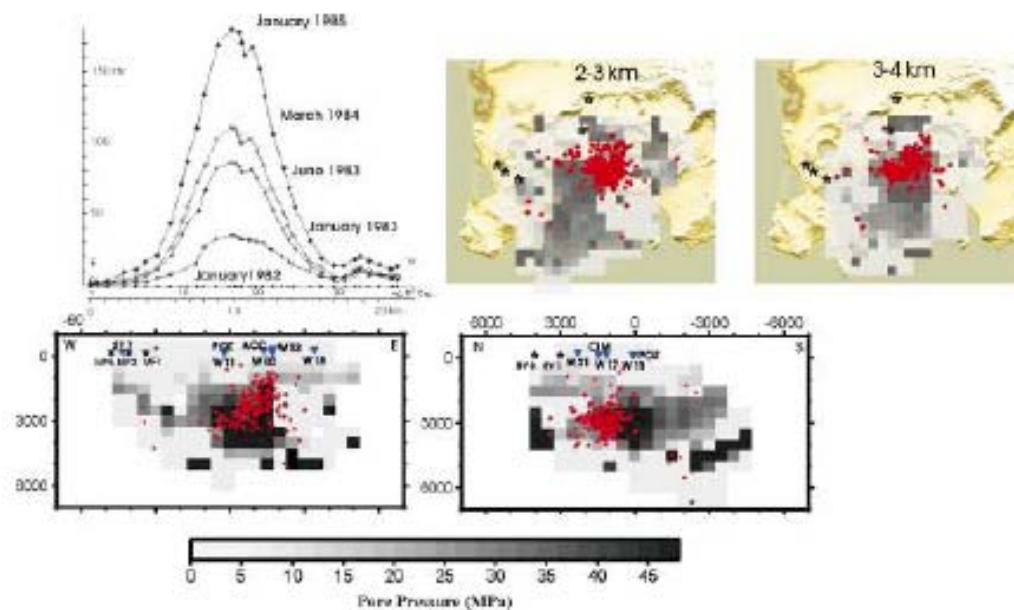


Figura 3. Sezione orizzontale e verticale che mostra la pressione di poro in funzione della profondità. L'anomalia della pressione di poro mostra un accordo notevole con la localizzazione degli eventi sismici registrati. In alto a sinistra riportiamo l'uplift (in metri) del terreno in una sezione Ovest-Est. Dalla figura si può vedere che l'area di massimo uplift corrisponde con l'anomalia della pressione di poro.

Sempre nel task 2, si sono sviluppati (UR 9 coordinata da Francesca Bianco) versioni preliminari di codici di calcolo in tempo "quasi-reale" dei parametri di splitting e polarizzazione delle onde sismiche. In questa prima fase, i codici sono stati calibrati su dati reali e sintetici. Nella fase

successiva del progetto saranno verificati su forme d'onda sintetiche ricavate dal modello dei Campi Flegrei descritto in precedenza. E' stata inoltre sviluppata una tecnica in due fasi per la stima dei modelli di attenuazione e dei parametri di sorgente che, tramite equazioni nonlineari, mette in relazione il rise time delle prime onde P con i parametri di sorgente e il parametro Q di attenuazione. Per quanto riguarda il task 3, la UR10 coordinata da Marcello Martini ha finalizzato (in co-finanziamento con altri progetti) un codice software per la localizzazione automatica dei segnali sismici con un'interfaccia dinamica per pagina web. In particolare, l'interfaccia software (denominata PLINIO) fornisce grafici relativi all'evoluzione temporale del tasso di sismicità, della magnitudo degli eventi, della profondità degli eventi, dell'energia cumulativa, e inoltre mappe 3D interattive con la localizzazione degli eventi in funzione della loro tipologia. Il codice PLINIO interroga simultaneamente un database di dati acquisiti e rivisti e dati real-time; l'interfaccia web permette di visualizzare le variabili di interesse calcolate con finestre temporali scelte dall'operatore e in aree particolari del vulcano sempre selezionate dall'operatore. Il codice è implementato con tecnologia PHP. Sempre nel task 3 è stato preparato un prototipo di array per la misurazione del gradiente termico del terreno (UR 12 coordinato da Giovanni Romeo). L'aspetto esteriore consiste in un tubo di acciaio della lunghezza approssimativa di un metro sormontato da una parte più larga in cui è alloggiata la strumentazione elettronica. Ogni strumento consiste in 10 termometri disposti lungo il tubo e uno dentro la parte sommitale. Per la misurazione è sufficiente inserire lo strumento in un buco fatto in precedenza.

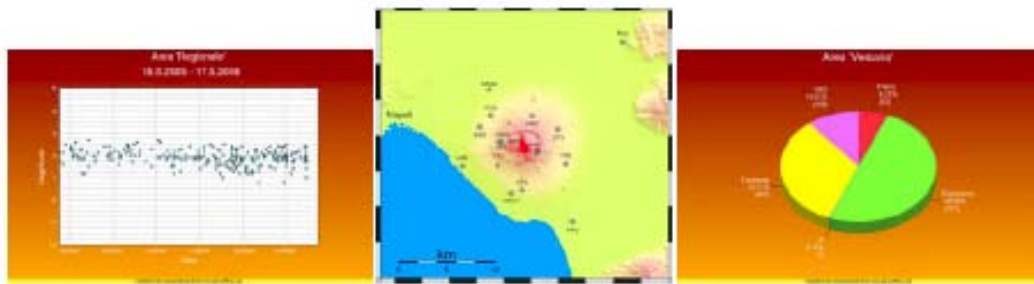


Figura 4. Esempio di grafica del codice PLINIO. Sulla sinistra abbiamo riportato un grafico con la magnitudo degli eventi sismici registrati al Vesuvio in funzione del tempo. Nella parte centrale, abbiamo riportato una mappa del Vesuvio. Sulla destra abbiamo riportato un grafico a "torta" raffigurante le frequenze delle varie tipologie di eventi sismici registrati al Vesuvio (terremoti, esplosioni artificiali, frane, terremoti di lungo periodo e altro)



Figura 5. Alcuni particolari dello strumento per la misurazione del gradiente termico.

La calibrazione dello strumento e i dati raccolti sono immagazzinati in un chip alloggiato nella parte sommitale che può essere facilmente interfacciato con un data logger. Per finire, sempre relativamente al task 3, nel primo anno di attività si è stabilita una procedura per il monitoraggio termico in continua della parte superficiale del cratere del Vesuvio e della Solfatara (UR 13 coordinata da Giuseppe Vilardo). Il monitoraggio consiste nell'acquisizione automatica, e nel successivo storage dei dati in una macchina centralizzata, di tre immagini termiche per notte nello spettro InfraRed. Si è anche costituito un database di immagini TIR (Thermal Infrared Images) che consiste in più di 1500 immagini termiche acquisite alla Solfatara nel periodo Settembre 2004 – Maggio 2006, e di 550 immagini termiche del cratere del Vesuvio acquisite nel periodo Luglio 2004 – Maggio 2006. Si è anche sviluppato un codice quasi automatico per l'analisi di tali immagini. Il codice, dopo avere corretto l'immagine tenendo conto della temperatura del background, permette di estrarre dall'immagine corretta i parametri necessari per caratterizzare l'evoluzione spazio-temporale del campo delle temperature osservate.

Publicazioni

- Andrew J.L. Harris, Luigi Lodato, Jonathan Dehn, Letizia Spampinato, 2006. Thermal Characterization of Fumarole Fields I: A Method for Tracking Thermal Trends in Infrared Data. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, Submission March 2006
- Carniel, R., R. Ortiz, M. Di Cecca, 2006. Spectral and dynamical hints on the timescale of preparation of the 5 April 2003 explosion at Stromboli volcano, *Canadian Journal of Earth Sciences*, in press.
- Del Pezzo, E., Bianco, F., De Siena, L., Zollo, A. Small scale shallow attenuation structure at Mt. Vesuvius, Italy. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, in press
- Dello Iacono D., Zollo A. and Judenherc S., 2006. Very high resolution imaging of the shallow structure of Campi Flegrei caldera,. Submitted to *J.Volc.Geoth.Res.*
- Di Grazia, G., S. Falsaperla, H. Langer, 2006. Volcanic tremor location during the 2004 Mount Etna lava effusion. *Geophys. Res. Letters*, 33, L04304, doi:10.1029/2005GL025177.
- Esposito, A.M., Giudicepietro F., Scarpetta S., D'Auria L., Marinaro M. and Martini M. 2006. Automatic discrimination among landslide, explosion-quake and microtremor seismic signals at Stromboli Volcano using neural networks. in press on *Bull. Seism. Soc. Amer.*
- Falsaperla, S., M. Neri, E. Pecora, S. Spampinato, 2006. Multidisciplinary Study of Flank Instability Phenomena at Stromboli Volcano, Italy". *Geophys. Res. Letters*, 33, L09304, doi:10.1029/2006GL025940.
- Filippucci, M., de Lorenzo, S. & E. Boschi-Fault plane orientations of small earthquakes of the 1997 Umbria-Marche (Italy) seismic sequence from P-wave polarities and rise times, *Geophysical Journal International*, in press
- Jaquet, O., R. Carniel, Estimation of volcanic hazards using geostatistical models, 2006. IAVCEI Book Series, Geological Society, in press.
- Jaquet, O., R.S.J. Sparks, R. Carniel, 2006. Magma memory recorded by statistics of volcanic explosions at the Soufrière Hills volcano, Montserrat. IAVCEI Book Series, Geological Society, in press.
- Gautier S., Latorre D., Virieux J., Deschamps A., Skarpeos C., Sotiriou A., Serpetsidaxi A. and Tselentis A., 2006. A new passive tomography of the Aigion area (Gulf of Corinth, Greece) from the 2002 dataset. Accepted in *Pageoph.*
- C. Gélis, Virieux J. and G ; Grandjean. 2D Elastic FullWaveform Inversion using Born and Rytov Formulations in the Frequency Domain. Submitted to *Geophys. J. Int.*

- Green, D.N., J. Neuberg, and V. Cayol, 2006. Shear stress along the conduit wall as a plausible source of tilt at Soufriere Hills volcano, Montserrat. *Geophys. Res. Lett.*, in press
- Romeo A., De Matteis R., Pasquale G., Iannaccone G., Zollo A., 2006. Three-dimensional Seismic Tomography of the Campania-Lucania Region (Southern Italy). In preparation.
- T.A.Stabile, A.Zollo, M. Vassallo, G.Iannaccone, 2006, Underwater Acoustic Channel Properties in the Gulf of Naples and Their Effects on Digital Data Transmission, submitted to *J.Acoustic Soc.*
- Satriano C., Zollo A., Capuano P., Russo G., Vanorio T., Caielli G., Lovisa L., Moretti M.. A 3D velocity model for earthquake location in Campi Flegrei area: application to the 1982-84 uplift event. *Geophysical Exploration of the Campi Flegrei (Southern Italy) Caldera' Interiors: Data, Methods and Results*, (edited by A. Zollo, P. Capuano and M. Corciulo), Publisher Doppiavoce ed., Napoli., in press
- C. Satriano, A. Zollo and C. Rowe. Iterative Tomographic Analysis based on Automatic Refined Picking, in preparation.
- Tramelli, A., Del Pezzo, E., Bianco, F., Boschi, E. 3-D scattering image of the Campi Flegrei caldera (Southern Italy). New hints on the position of the old caldera rim. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, in press.
- Vassallo M., Nisii V., Zollo A., Iannaccone G. Morphology and depth of reflectors from 2D nonlinear inversion of seismic data. *Geophysical Exploration of the Campi Flegrei (Southern Italy) Caldera' Interiors: Data, Methods and Results* (edited by A. Zollo, P. Capuano and M. Corciulo) Publisher Doppiavoce ed., Napoli., in press
- Zollo, D. Dello Iacono, S. Judenherc. Structure of Campi Flegrei caldera: new insights from the inversion of first P-arrival times of Serapis experiment. *Geophysical Exploration of the Campi Flegrei (Southern Italy) Caldera' Interiors: Data, Methods and Results* (edited by A. Zollo, P. Capuano and M. Corciulo) Publisher Doppiavoce ed., Napoli, in press

PROGETTO V5: EMISSIONI GASSOSE IN ITALIA

Responsibili: G. Chiodini (INGV - OV Napoli), M. Valenza (Università degli Studi di Palermo)

Stato d'avanzamento del progetto

L'obiettivo principale del progetto è la mitigazione del rischio da gas in Italia attraverso uno studio coordinato e multidisciplinare del processo di degassamento terrestre. Per raggiungere tale obiettivo il progetto è stato diviso in due linee di ricerca: A) catalogo delle emissioni gassose presenti nel territorio Italiano e B) valutazione e mitigazione del rischio gas. Entrambe le linee di ricerca sono state suddivise in due task. I task della linea di ricerca A riguardano l'identificazione e caratterizzazione delle emissioni gassose, le relazioni con l'assetto strutturale e idrogeologico e con l'attività sismica. I task della linea di ricerca B sono: definizione degli scenari e valutazione del rischio gas (Task 3) e valutazione della vulnerabilità e mitigazione del rischio (Task 4). L'obiettivo principale del Task 1 e 2 è la produzione del catalogo delle emissioni gassose Italiane (MANITERM, Tabella 1). Per questa ragione è stato sviluppato un archivio elettronico che si è rivelato importante sia per convogliare in un unico data base I dati che le singole UR hanno acquisito nel terreno e in laboratorio sia come strumento per scambiare informazioni tra le differenti UR. Tutti I dati sono infatti accessibili ad ogni UR (al sito <http://maniterm.ov.ingv.it>, Fig. 1) attraverso user name e password individuali. Ogni UR può immettere nuovi dati, completare schede già iniziate, e correggere dati precedentemente immessi dalla stessa UR. Allo stesso tempo ha la possibilità di accedere, senza poter modificare, alle schede di altre UR. La tabella 1 illustra lo stato d'avanzamento del data base aggiornato a Giugno 2006.

The screenshot shows a web browser window displaying the 'Project V5 Diffuse Degassing in Italy' application. The page title is 'Aggiornamento Scheda Emissioni Gassose'. The interface includes a navigation menu on the left with options like 'Amministratore', 'Visualizza Dati', and 'Nuovo Scheda'. The main content area is a form for updating a record, with tabs for 'Dati Generali', 'Coordinate', 'Particolarità', 'Dati Geologici', 'Flussi CO2', and 'Allegati'. The 'Dati Generali' tab is active, showing fields for 'UTENTE', 'NOME LOCALITA'', 'REGIONE', 'PROVINCIA', 'TIPO', 'FIRDO', 'LAT (deg)(MGS84)', 'UTM (Easting)', 'SINTESI DI DESCRIZIONE', 'NOME CAMPIONE', 'COMUNE', 'QUOTA (MSLPM)', 'TAVOLA', 'LONG (deg)(MGS84)', and 'SINTESI (MGS84)'. A text area at the bottom contains a detailed description of the location: 'Si parte dalla cittadina di Vejano e si accende verso sud. Subito all'uscita del paese vi è un incrocio a T. Prendere la strada di sinistra dove è indicata l'uscita Soggetti Minerali. Dopo un poco, vi è un nuovo bivio con marcosante indicata l'uscita Soggetti Minerali. Senza prendere questa strada seguire per ancora per una curva la strada principale, si passa su di un ponte, e subito dopo la strada prosegue verso destra, mentre si deve prendere uno stradino sulla sinistra dove si deve lasciare l'auto.' Below the text area is a section for 'NOTE - RIFERIMENTI GEOGRAFICI'.

Figura 1. Database elettronico disponibile per le UR del progetto (MANITERM).

Tabella 1. Sintesi dei dati più rilevanti contenuti in MANITERM (Giugno 2006).

Statistic forms	n.	Typology (gas)	n.	Typology (water)	n.
number of emissions	170	Bubbles in water	76	well	30
number of forms	298	Diffuse emission	71	Thermal well	15
Location by coordinates	240	Focussed emission	12	spring	38
no-coordinates	58	Fumarole	8	Thermal spring	6
		wet vent	23		
		dry vent	3		
		Mud volcano	15		

Water composition	n.	Gas compositions	n.	Gas flux	n.
ph	89	Chemical composition	116	punctual measurements	20
T	87	C isotopes	52	Diffuse gas emission	56
Chemical analysis	107	He isotopes	18		

Gas hazard	n.	Accidents to people	n.	Accidents to animals	n.
description of the emission	101	yes	10	yes	48
		no	49	No	29
		not available	68	not available	51
		not described	171	not described	170

La Figura 2 mostra l'ubicazione nel territorio delle emissioni gassose studiate dalle differenti UR afferenti al progetto.

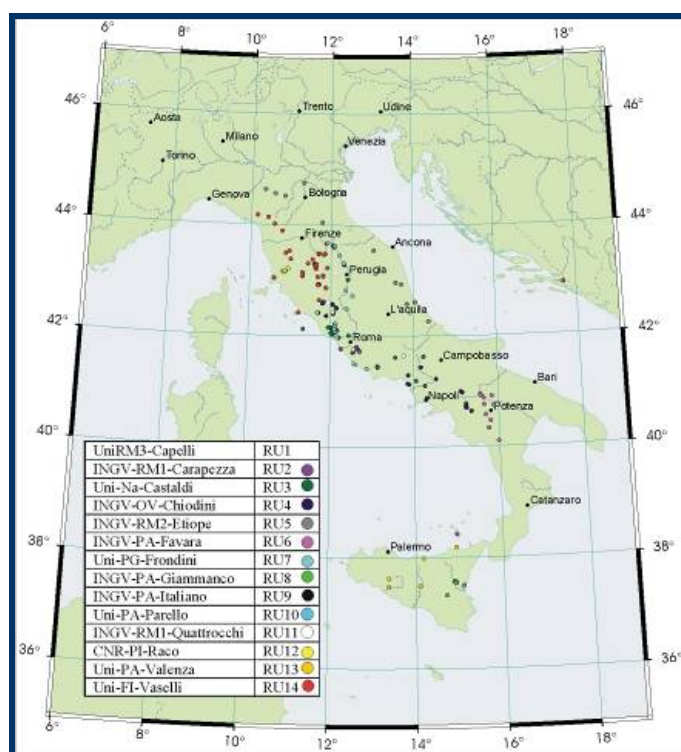


Figura 2. Ubicazione delle emissioni gassose archiviate in MANITERM (Giugno 2006).

campagne di misura di flussi diffusi di CO₂ dal suolo, campionando e analizzando (analisi chimiche ed isotopiche) differenti emissioni gassose. L'UR 3 ha operato principalmente in Campania campionando ed analizzando acque e emissioni gassose. L'UR 4 ha investigato aree d'emissione gassosa in Toscana, Lazio, Campania e Umbria producendo dati pressochè completi sia per le composizioni (chimiche ed isotopiche) che per i flussi di gas. L'UR 5 ha operato essenzialmente nelle Marche e in Emilia studiando emissioni gassose ricche in CH₄. L'UR 6 ha investigato le manifestazioni a CO₂ presenti in Basilicata con lo scopo di chiarire l'origine di questi gas. L'UR 7 ha studiato le emissioni gassose presenti in Umbria facendo campagne di flusso di CO₂ dal suolo, campionamenti ed analisi dei gas ed ha inoltre contribuito allo sviluppo di modelli di dispersione della CO₂ in aria in collaborazione con l'UR 4. Le UR 8 e 10 hanno studiato il processo di degassamento di CO₂ che interessa i fianchi meridionali ed orientali del Mt. Etna e il settore settentrionale dei Monti Iblei. Sono state individuate numerose emissioni per le quali sono state fatte sia misure di flusso sia campionamenti per le analisi chimiche ed isotopiche. Inoltre sono state indagate alcune gallerie di drenaggio di acque sotterranee che emettono quantitativi significativi di gas che localmente causano situazioni di rischio. L'UR 12 ha operato in Toscana nell'area di Lardarello facendo campagne di misura dei flussi gassosi e analisi chimiche ed isotopiche delle emissioni. L'UR 13 ha operato in Sicilia identificando due tipi principali di emissioni gassose: la prima ricca in CH₄ e la seconda ricca in CO₂. Alcune di queste manifestazioni sono state campionate ed analizzate per analisi chimiche ed isotopiche. Durante il corso del progetto una delle aree soggette ad emissione di gas ricchi in CH₄ e di vulcani di fango è stata interessata da un'esplosione: i cambiamenti composizionali osservati hanno permesso di investigare l'origine di questi gas.

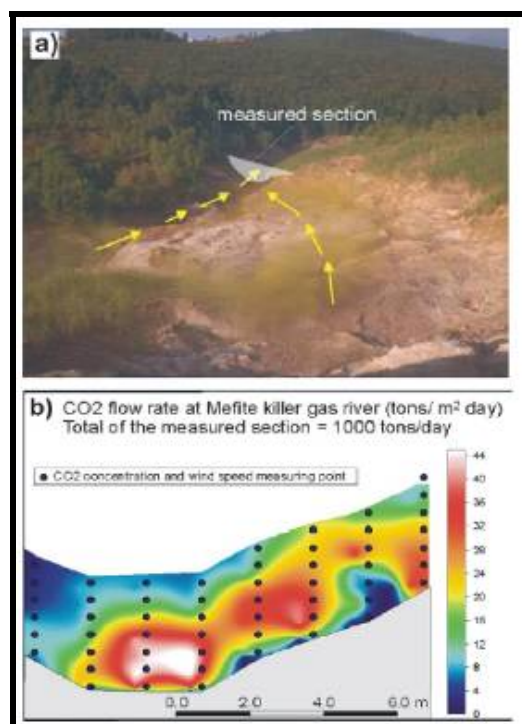


Figura 4. Misura del flusso di CO₂ alle Mefite d'Ansanto. a) il flusso del gas è evidenziato con fumogeni; b) il flusso è misurato integrando misure di velocità del vento e di concentrazione di CO₂ lungo una sezione opportuna del fiume di gas.



Figura 5. Incidenti ad animali rilevati durante il progetto. La documentazione fotografica è raccolta nel data base elettronico.

L'attività fatta dalla UR 14 ha riguardato lo studio delle numerose emissioni gassose della Toscana. Da segnalare l'esecuzione di misure di flussi attraverso l'utilizzo di strumentazione ottica (LIDAR, misure di concentrazione lineare di CO₂ in atmosfera) accoppiata con modelli di diffusione dei gas in aria. Infine le attività della UR1 sono state dedicate allo studio dei sinkholes del Lazio e delle relazioni con il processo di degassamento. In quest'ambito un archivio dei sinkholes principali del Lazio stato reso disponibile per il progetto. Due UR hanno lavorato nel TASK3: UR 2 e UR 4. L'UR 2 ha fra l'altro eseguito una serie di campagne di misura a Cava dei Selci (Colli Albani), un'emissione molto pericolosa ubicata in un'area densamente abitata vicino a Roma. Grazie al progetto è stato possibile mantenere operativa una stazione automatica per la misura dei flussi di CO₂ e di parametri ambientali. I dati acquisiti saranno fondamentali per capire le variazioni nel rischio da gas connesse con le differenti condizioni stagionali e meteorologiche. L'UR 4 ha messo a punto un codice per simulare la dispersione in aria di CO₂ nei dintorni delle emissioni gassose. Il codice tiene conto delle differenti condizioni meteorologiche e topografiche. Le attività hanno riguardato inizialmente la scelta di un codice appropriato per la simulazione del plume di gas (CO₂) generato sia da soffioni che da emissioni diffuse dal terreno. Fra differenti opzioni la scelta è ricaduta sul codice TWODEE che è basato sul cosiddetto "shallow layer approach". Il modello selezionato, che utilizza variabili "depth-averaged" per descrivere il flusso di un gas denso su topografie complesse, rappresenta un buon compromesso tra la complessità dei modelli "CFD" e i semplici "integral models". Inoltre il codice era già stato testato ed applicato per la simulazione dei plume di gas pesanti emessi per incidente da processi industriali. Parte dell'attività ha riguardato l'adattamento del codice al nostro caso specifico, e cioè alla simulazione della dispersione di CO₂ da parte di emissioni naturali. Il manuale del codice "modificato" è già stato scritto. Successivamente si è proceduto all'applicazione del modello a casi reali: in particolare sono stati simulate le dispersioni di gas alla Caldara di Manziana ed alle Mefite di Ansanto (Fig. 6). In entrambi i casi il confronto fra le simulazioni e i dati osservati ha mostrato un buon accordo. In particolare è stato possibile simulare il fiume di gas delle Mefite d'Ansanto (alimentato da un gran quantitativo di gas, > 1000 ton/g) che nel passato ha generato numerosi incidenti mortali. Il codice

è ora pronto come strumento per la definizione delle aree soggette a rischio di gas connesse alle varie emissioni gassose Italiane.

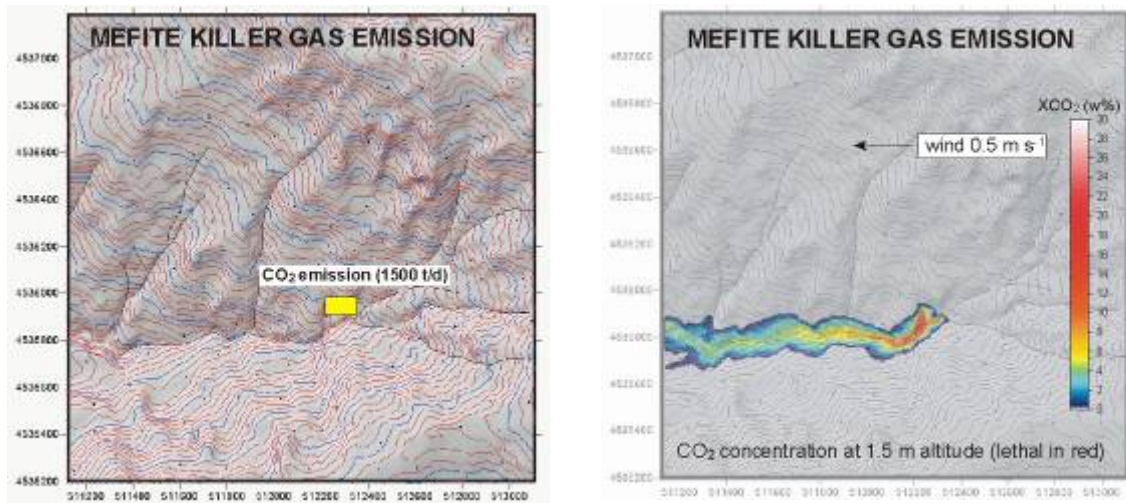


Figura 6. Simulazione dei plume di CO₂ con il codice TWODEE. A sinistra i dati di input (topografia e sorgenti di CO₂, a destra un elaborato dei risultati ottenuti (concentrazione di CO₂ a 1.5 m di altezza, in rosso concentrazioni letali per l'uomo).

L'UR 15 è l'unica coinvolta nel TASK4. Gli obiettivi principali del TASK4 erano: (i) la valutazione del livello di rischio in alcune aree test (Cava dei Selci, Vigna Fiorita e Vulcano Porto) attraverso la misura sia dei flussi gassosi dalle emissioni sia la misura della concentrazione all'interno delle abitazioni di CO₂ ed H₂S per studiare possibili rimedi tecnici (secondo anno); (ii) la valutazione del rischio legato all'emissione di gas da pozzi che incontrano zone saturate in CO₂ ed in particolare il caso di Fiumicino; (iii) di testare strumenti automatici di rilevamento di gas, dotati di appropriati segnali d'allarme, per il monitoraggio delle concentrazioni all'interno delle abitazioni e (iv) di rivedere ed, eventualmente, aggiornare le tossicità dei gas emessi.

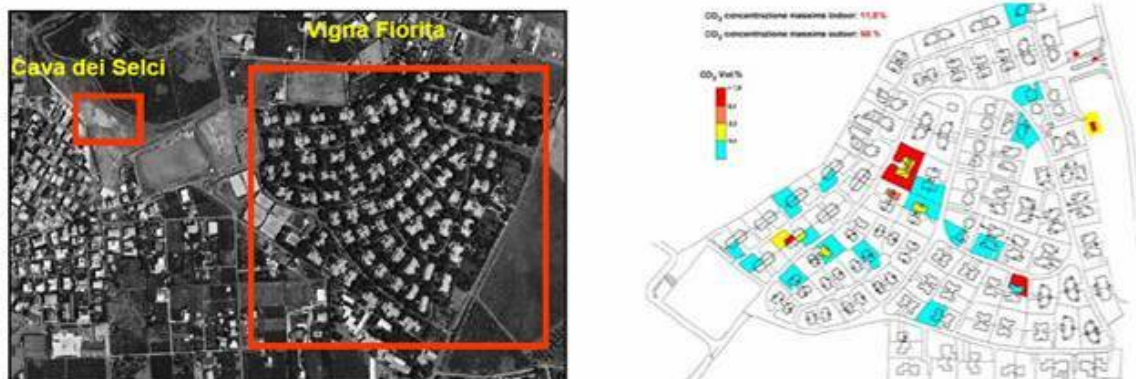


Figura 7. Misure "indoor" di CO₂ nell'area di Vigna Fiorita.

Gli obiettivi del primo anno sono stati pressoché interamente raggiunti. Lo studio di Fiumicino è stato completato e sono state formulate prescrizioni tecniche precauzionali per la perforazione in

aree soggette a emissioni gassose. Campagne di misura dei flussi di CO₂ dal suolo e delle concentrazioni “indoor” e “outdoor” sono state eseguite in tutte le aree test. La raccolta dei dati necessari allo studio di fattibilità per la riduzione del rischio gas a Cava dei Selci è stata praticamente completata ed è stato preparato un primo rapporto sulla tossicità della CO₂. Sensori per il monitoraggio “indoor” delle concentrazioni di CO₂ e H₂S, dotati di segnali d’allarme, sono stati positivamente impiegati in test continui e prolungati a Fiumicino: I risultati hanno indicato che tali sensori sono molto affidabili. Considerando il buon avanzamento della ricerca è prevedibile che gli obiettivi finali verranno pienamente raggiunti.

Avanzamenti Scientifici

Gran parte dell’attività svolta durante il primo anno è stata dedicata ai rilievi di terreno necessari per la realizzazione del data base, un prodotto che riteniamo sarà fondamentale per la mitigazione del gas hazard in Italia. Ne consegue che gli aspetti scientifici collegati alla ricerca in corso saranno meglio sviluppati durante I prossimi anni quando dati completi saranno disponibili e quando I ricercatori, meno impegnati negli aspetti più pratici della ricerca (misure, campionamenti, analisi di laboratorio), inizieranno l’elaborazione sistematica dei dati. Tuttavia anche in questo primo anno è possibile individuare importanti aspetti scientifici che sono già stati presentati alla comunità scientifica in congressi internazionali o sottomessi per la pubblicazione in riviste scientifiche:

- 1) Implicazioni nei bilanci atmosferici globali della CO₂. Il degassamento terrestre gioca un ruolo primario nel ciclo del carbonio e nell’evoluzione climatica della Terra. Tuttavia I modelli del ciclo del carbonio sono basati su grosse approssimazioni sui flussi di CO₂ legati al processo di degassamento terrestre: “The most vexing problem we have encountered in modelling carbon cycle is to calculate the rate of degassing of carbon dioxide due to igneous and metamorphic activity” (Bernier and Lasaga, 1989). In particolare, nonostante che siano state eseguite molte misure della CO₂ rilasciata da vulcani attivi, il degassamento diffuso legato ad aree tettonicamente attive non è ancora quantificato. Il data base delle emissioni naturali di CO₂ in Italia fornirà importanti informazioni per la valutazione dei flussi naturali di CO₂ dalla superficie terrestre all’atmosfera;
- 2) Implicazioni nei bilanci atmosferici globali della CH₄; analogamente al flusso di CO₂, anche il flusso del CH₄ dalla superficie terrestre all’atmosfera è un importante parametro che influenza il clima della Terra e che ancora non è ben conosciuto. I dati raccolti nell’ambito del progetto sui flussi naturali di CH₄ delle emissioni gassose italiane saranno rilevanti per una migliore valutazione dei flussi naturali di CH₄ dalla superficie terrestre all’atmosfera;
- 3) Degassamento da vulcani attivi. Sistematiche misure dei flussi di CO₂ nella zona craterica di Vulcano hanno dimostrato che le crisi periodiche che interessano il sistema sono caratterizzate da un forte aumento nelle quantità di gas rilasciato dal vulcano. La coincidenza fra le variazioni composizionali delle fumarole crateriche e le variazioni di flusso ha suggerito che le crisi di Vulcano sono causate da episodi di degassamento magmatico;

- 4) Modellazione fisica dei plume di CO₂ da emissioni "fredde"; un codice specifico è stato adattato allo studio della dispersione in aria della CO₂ rilasciata da sorgenti naturali "fredde". Il modello permette la simulazione della formazione di accumuli pericolosi di gas sotto differenti condizioni topografiche e meteorologiche. I primi risultati della ricerca sono già stati presentati a congressi internazionali;
- 5) Mappe regionali di degassamento terrestre e assetto strutturale; sono stati acquisiti e/o reperiti in letteratura i dati idrogeochimici, geofisici e geologici della Toscana, Lazio, Umbria e Sicilia necessari per derivare mappe regionali di flusso di CO₂ e stime sul degassamento totale. Rispetto alle mappe ed alle stime già pubblicate (ad es. Chiodini et al., 2003) queste realizzazioni sono basate su un'altro approccio (Kerrick et al., 1995) dove sia il flusso di calore sia il flusso di gas sono generati dalla circolazione in profondità in sistemi convettivi di fluidi caldi ricchi in gas.

Descrizione delle riunioni del progetto

Durante il primo anno sono stati fatti tre incontri, 2 generali del progetto ed uno specifico del TASK1. La riunione iniziale si è tenuta a Napoli il 18 Luglio 2005. Durante l'incontro i responsabili del progetto hanno illustrato ad ogni UR gli scopi, il programma e le generalità del progetto. In particolare è stato illustrato il data base elettronico e le modalità d'accesso, inserimento dati, ecc. Ogni UR ha illustrato il lavoro programmato sottolineando sia il contributo al catalogo delle emissioni gassose sia gli avanzamenti scientifici aspettati. A Febbraio 2006 le UR del TASK1 si sono incontrate a Firenze per un miglior coordinamento delle operazioni di terreno. L'ultimo incontro è stato fatto a Roma il 27 Marzo 2006. Durante l'incontro si è discusso dello stato d'avanzamento delle attività di progetto e dei rapporti scientifici e finanziari del primo anno.

Pubblicazioni e presentazioni scientifiche

- Barberi M., Carapezza M. L., Ranaldi M., Tarchini L.. Gas Hazard induced by uncontrolled shallow boreholes: the February 2005 accident of Fiumicino (Rome). Submitted to JVGR.
- Caliro, S., Chiodini, G., Avino, R., Cardellini, C., Frondini, F. (2005) Volcanic degassing at Somma-Vesuvius (Italy) inferred by chemical and isotopic signatures of groundwater Applied Geochemistry, 20 (6), Pages 1060-1076.
- Camarda M., Gurrieri S., Valenza M., (2006) In situ permeability measurements based on radial gas advection model: relationship between soil permeability and diffuse CO₂ degassing in volcanic areas. Pure & Appl. Geoph. Vol. 163, N°4, pp 897-914.
- Camarda M., Gurrieri S., Valenza M., (2006) CO₂ flux measurements in volcanic areas using the dynamic concentration method: the influence of the soil permeability. J.G.R. VOL.111, B05202, doi:10.1029/2005JB003898
- Carapezza M. L., Barberi F., Tarchini L., Cavarra L., Granieri D. (2006) Le emissioni gassose dell'area vulcanica dei Colli Albani. In: M. L. Carapezza et al., Nuovi dati sull'attività recente del cratere del Lago Albano e sul degassamento dei Colli Albani. Rend. Fis. Acc. Lincei.
- Carapezza M.L., Tarchini L. Geochemical evidence of huge magmatic degassing from the quiescent Alban Hills volcano (Rome, Italy). Submitted to GRL.

- Cardellini C., Chiodini G., Caliro S., Frondini F., Morgantini N, (2005), Quantification of Deeply Derived Carbon Dioxide in Central and Southern Italy, *Eos Trans. AGU*, 86(52), Fall Meet. Suppl., Abstract T53C-1442
- Chiodini, G. (2005). Carbon Dioxide Earth Degassing and Structural Setting in Italy. *Eos Trans. AGU*, 86(52), Fall Meet. Suppl., Abstract T42B-01
- Chiodini, G., Granieri, D., Avino, R., Caliro, S., Costa, A., Werner, C. (2005) Carbon dioxide diffuse degassing and estimation of heat release from volcanic and hydrothermal systems *Journal of Geophysical Research B: Solid Earth*, 110 (8), Pages 1-17.
- Costa, A., Hankin, R., 2005. TWODEE2 computer code and related documentation. User manual for internal use. Osservatorio Vesuviano-INGV, Naples, Italy. Pages 12.
- De Gregorio S., Gurrieri S., Valenza M. (2005). A PTFE membrane for the in situ extraction of dissolved gases in natural waters: Theory and applications. *Geochemistry Geophysics Geosystems*. vol. 6, pp. 1-13
- Frondini F., Caliro S., Cardellini C. , Chiodini C., Morgantini N., Parello F. (2006). Carbon dioxide degassing from Tuscany and Northern Latium (Italy). *Global and Planetary Changes* (in print)
- Granieri D., Chiodini G., Avino R., Carapezza M. L., Ranaldi M., Ricci T., Tarchini L. Correlated increase in CO₂ fumarolic content and diffuse emission from La Fossa crater (Vulcano, Italy): evidence of volcanic unrest or increasing gas release from a stationary deep magma body? Submitted to *GRL*.
- Giammanco S., Gurrieri S., Valenza, M. (2006) Fault controlled soil CO₂ degassing and shallow magma bodies: summit and lower East Rift of Kilauea volcano (Hawaii) 1997. *Pure & Appl. Geoph.* Vol. 163, N°4, pp 853-867.
- Etioppe G., R.W. Klusman, (2006). Microseepage in drylands: flux and implications in the global atmospheric source/sink budget of methane. *Global Planet. Change*, in press.
- Hankin R., Costa A., Chiodini G., 2006. Simulation of heavy gas dispersion based on depth-averaged equations. Abstract presented at the Cities on Volcanoes Conferences, Quito, Ecuador, January 23-27, 2006.
- Voltattorni, N., G. Caramanna, D. Cinti, G. Galli, L. Pizzino and F. Quattrocchi (2005), Study of CO₂ natural emissions in different Italian geological scenarios: refinement of natural hazard and risk assessment, In: "Advances in Geological Storage of Carbon Dioxide", Eds. Lombardi S., Altunina K.L. and Beaubien S.E., NATO Science Series, Springer Publishing, Berlin, 173-185.

PROGETTO SV: EDURISK

Responsabili: R. D. Camassi (INGV - Sezione di Bologna), C. Nostro (INGV - Centro Nazionale Terremoti, Roma)

Progress of the project

This report covers nine months of activity, as the actual work started in September 2005 (the Managing Committee of the DPC-INGV 2004-2006 Agreement having received it in June 2005 and formally approved it in early August 2005). However, the project is the continuation of a former one, carried out in 2003-2004 (in the frame of the GNDT Cadre Project 2000-2002) with the participation of several Italian schools. The educational activities started within the past project were never completely discontinued after its closure: this enabled the current project to pick up an unbroken line of activity and to achieve significant results in a very short time. The current project has two short-term objectives and a long-term one:

1. editing the educational tools devised within the former project (aimed at seismic risk reduction at school level) and preparing new ones dealing with a wider range of "risk reduction topics" and aimed at a mainstream public;
2. carrying out all-round educational campaigns at school level;
3. the long-term objective running in the background of the ones above, is developing a freestanding tutorial system for teachers and students, designed to work with no direct intervention from the personnel currently involved in the project. This seems the best way to preserve the knowledge collected by the EDURISK project, there being at present no resources, within or without the project, to sustain a continued effort in the field of large-scale educational campaigns.

From September 2005 we resumed all connections with the Comprehensive Institutes (Offices coordinating educational activities of nursery, primary and secondary schools of the 1st grade, with a student population in the 4-13 age range) involved in the previous project in several Italian regions. This created the conditions for launching a new large-scale educational campaign, scheduled for the second year of the project (School Year 2006-2007), involving more areas and educational subjects and a larger age-target than the former project. From the beginning of 2006, all educational materials produced within the previous project were revised, according to the results of an internal evaluation made in 2003-2005 and the suggestions by a pool of national and international referees. In view of the 2006-2007 educational campaign, the production of two new educational tools has been started: a "Volcanic risk notebook" (for the Primary school) and a "Regional Appendix" for the Secondary school booklet will be issued at the start of next School Year (Autumn 2006). The multimedial tool "*Virtual itineraries through the seismic history of Italy*" (issued within the previous project as a prototype) was revised too: its final version (now in press) is to be released for educational use in the secondary schools and will be the centerpiece of an informative campaign addressed to the adult public. An English version is also being made. The

revision/updating of the “informative tours” of the Eolian Islands Visitor Centres is ongoing but behind schedule, due to structural problems independent from this project. The centres will be fully updated after the end of the 2006 Summer season. The project of “Interactive Travelling Exhibition” is about to be completed (within schedule). This sophisticated ensemble of interactive workstations and “learning-by-playing” workshops realised with cheap and easy-to-get materials, will be inaugurated during the 1976 Friuli earthquake 30th anniversary celebrations (September 2006): later on it will start on a tour of the Comprehensive Institutes participating to the EDURISK project, as an “alternative educational tool”. Planning educational activities for high schools students is more complex than for younger students: while nursery-and primary-school teachers have a pivotal role as mediators between the project matters and the students, high schools teachers mostly agree on not feeling up to assuming this role, and advise a direct interaction between EDURISK experts and high school students. Such an interaction would not be possible on a large scale: however, during the next School Year an experiment will be made, within a sample of Institutes, that will be provided with ad-hoc didactic material and - via Internet connection - with help in selecting research subjects and developing them. A new multimedial teaching tool on the subject of Seismic Vulnerability, specially designed for the requirements of professional schools for builders will be issued during next Autumn.

Highlights of scientific achievements

The EDURISK educational model was highly appreciated by the schools taking part in its experimentation. Several of these schools (particularly in Calabria and Emilia Romagna) have been working continuously on this subject for three years, and wish to keep on collaborating with EDURISK during the next School Year. Though the project avoided any form of publicity (not even a single press-release was made during the three years from its inception) requests for enlisting in the experimentation are increasing steadily: Though coping with them will stretch the project resources to the limit, from next year a number of Comprehensive Institutes in Liguria, Tuscany, Campania, Calabria and Sicily will be added to the experimentation. Apart from these forms of official cooperation, the EDURISK educational tools were requested and are currently used by about a hundred schools in various parts of Italy.

Table 1. Reviews of the EDURISK material.

Journal	Title
Liber	Brunetti F., 2006, Che disastro in quelle pagine. Le catastrofi della Terra nei libri di divulgazione per ragazzi, <i>Liber, Libri per bambini e ragazzi</i> , 69, 24-25.
Il Pepeverde	Marotta C., 2005, Se la terra trema, <i>Edurisk il rischio sismico, Il Pepeverde, rivista di letture e letterature per ragazzi</i> , 23, 23-24.
Andersen	Novelli L., 2005, Leggere le scienze, lezione di terremoto, <i>Andersen, il giornale dei libri per ragazzi</i> , 5.

The EDURISK educational tools have earned the appreciation of a wide range of parties. The hundreds of EDURISK who experimented them first-hand gave especially high commendation to the nursery-school and primary-school booklets (according to the end-of-year evaluating

questionnaires). Librarians and specialized magazines' editors had glowing words of praise for the EDURISK products, the most influential magazine of all – Liber – having recently dedicated several pages to the project, which states: “a good example of scientific communication” (Table 1). Several municipal administrations did also express noticeable interest, some of them having sponsored recent reprintings (Table 2). The National Department of Civil Protection (that is the project ultimate sponsor) used the EDURISK booklets during EUROSOT2005 and has recently rejoined an agreement with the project for the joint management of an EDURISK experimentation in Eastern Sicily.

Table 2. Reprints or new editions of the EDURISK booklets (2005-2006).

Institution	Description
INGV, october 2005	Reprint of the 3 main booklets
INGV, october 2005	English editions of nursery kit and primary book
Regione Toscana	Reprint of the 3 main booklets and the teacher's guide
DPC (National Department for Civil Protection)	Reprint of the 3 booklets and the two english editions for the EUROSOT2005 international training operation.
Regione Friuli	Reprint of the booklet “A lezione di terremoto” in Italian, Slovenian and Friulan
OGS, Trieste	Reprint of the 3 booklets for the 30th anniversary of the 1976 earthquake

The project was presented at several international meetings (Potsdam, D, September 2004; Torino, I, October 2005; Faro, PT, October 2005; Lisboa, PT, November 2005; Nice, FR, November 2005 – Table 3), and will be amply represented at the next ECEES meeting (Genève, CH, September 2006).

Table 3. Recent international presentations of the project.

Torino (Italy), October 5, 2005 3rd world environmental education congress	Presentation of the EUDRISK project “Percorsi formativi per la riduzione del rischio” by R. Camassi
Faro (Portugal), October 31, 2005 Colòquio “O Terramoto de 1755 no Algarve”	Invited lecture “Education for Earthquakes EDURISK” by R. Camassi
Lisbon (Portugal), November 2, 2005, International conference “250th anniversary of the 1755 Lisbon Earthquake”	Presentation of the EUDRISK project: “Educational activities for reduction of earthquake impact” by Camassi et al., and “Localities abandoned following earthquakes in Italy” by Azzaro et al.
Nice (France), November 5, 2005 Workshop “Apprendre a vivre avec le risque sismique”	Invited lecture “La formation au risque sismique en Italie” by R. Camassi
Bologna (Italy), May 25, 2006 Workshop “Risk management and training”	Invited lecture “Risk educational strategies for schools” by R. Camassi

As a result, two leading international institutions -IFFO-RME (France) and PLANAT (Switzerland) – filed official requests for cooperation, leading not only to the diffusion of the project materials outside Italy but also to the development of international educational projects (Table 4). To meet the requirements of international cooperation, after preparing an English version of the nursery-school kit and primary-school notebook, it was decided to prepare a French, German and Spanish

version too, and to make them available as .pdf files downloadable from the EDURISK website. The latter is undergoing revision and a completely new version will be available at the end of Summer 2006, together with an English version.

Table 4. Requests for cooperation.

IFFO-RME	Institut français des formateurs risques majeurs et protection de l'environnement, Paris, France http://www.iffo-rme.fr/
PLANAT	Nationale Plattform Naturgefahren, Berne, Switzerland http://www.planat.ch/index.php

Specific problems which have delayed progress

The programmed activities are being developed, on the whole, within schedule. However, the time-lag between the schedule of school activities planning (April-May 2005) and the start of the project (August 2005) caused great difficulties, owing to which the tutorial courses for teachers were delayed for more than three months, being actually held from December 2005 to February 2006: this will slow down the evaluation process and also result in a delay in the start of educational activities during the next School Year. The complexity of some objectives, coupled with a limited availability of funds, has delayed the preparation of some products (re-issue of the volume "terremoti come e perché", regional appendixes, Interactive Travelling Exhibition): this problem is being solved with the cooperation of a few municipal administrations that have become co-financers of the project.

Description of coordination meetings

Table 5. Coordination meetings of the EDURISK project.

Date	Place	Research Units involved	Subjects
21/09/2005	INGV Roma	All researchers involved in the project	<u>Presentation EDURISK Project 2002-2004</u> - Aims, objectives, tools; Didactic experimentation; Tutorials and Evaluation; Virtual itineraries <u>Presentation EDURISK Project 2006-2007</u> - Aims; Expected objectives; Activities planning for 1 st year
29/09/2005	INGV Bologna	Researchers representing - RU 1 INGV-MI - RU 2 INGV-RM	- Executive planning of educational activities in Umbria Region (<u>task 2</u>)
22/11/2005	INGV Bologna	Researchers representing - RU 1 INGV-MI - RU 2 INGV-RM	- Executive planning of educational activities in Calabria Region (<u>task 2</u>) - <u>Advancement of task 1 activities</u>
05/12/2006	DPC Roma	Researchers representing - RU 1 INGV-MI - RU 2 INGV-RM - DPC Project referents	<u>Presentation of the Project</u> - Edurisk 2005 – 2007 <u>Project 2002-2005</u> - Presentation of the results of the EDURISK didactic experimentation in the schools

26/01/2006	INGV Bologna	Researchers representing - UR 1 INGV-MI - UR 2 INGV-RM - UR 6 INOGS	<u>Planning of task activities 1</u> Subproject D9 Interactive travelling workshop on natural risk for the basic school <u>Task 2</u> Executive planning of educational activities in the Province of Bologna
27/04/2006	INGV Bologna	Researchers representing - UR 1 INGV-MI - UR 2 INGV-RM	Task 2 Planning and implementation of the procedures for evaluating the efficaciousness of the educational initiatives (Emilia Romagna, Calabria, Umbria)
03/05/2006	DPC Roma	Researchers representing - UR 1 INGV-MI - UR 2 INGV-RM - DPC Project referents	<u>Advancement of task 1 and 2 activities</u> Task 2 Planning of educational activities in eastern Sicilian Provinces (CT, RG, SR)
2223/03/2006	INGV Napoli	Researchers representing - UR 3 INGV-NA - UR 5 UNI-NA	Task 1 D10 Multimedial educational product for the professional school
30/11/2005 1/12/2005	INOGS Trieste	Researchers representing - UR 1 INGV-MI - UR 4 INGV-CT - UR 6 INOGS	Task 1 DVD Virtual Itineraries
08/02/2006	INGV Roma	Researchers representing - UR 1 INGV-MI - UR 2 INGV-RM	Task 1 D6 Subproject Eolian Islands informative centres virtual tours

This project being the follow-up of a previous EDURISK project, its management does heavily rely on the staff who developed it from inception and which includes widely varying competences. In September 2005 there was a “start-of-project” meeting, with the participation of the personnel of all involved RUs and other interested parties, its main objective being to present the methodological guidelines, past history and achievements of the previous project, in order to define the objectives and development milestones of the present one. After this first general assembly, all activities have been jointly coordinated by the Bologna RU (scientific leader) and the Roma RU (organising leader), all subsequent meetings (Table 5) being devoted to the planning and managing of single subprojects. The planning of each single educational tool now being prepared was carried out mainly via the online discussion of single working files and, occasionally, in informal meeting restricted to a few participants only. The RU coordinators and the objective responsables will meet again June 2006.

Key publications which have arisen directly from this project

- Azzaro R., Camassi R., Cascone M., Peruzza L., Amantia A., Guglielmino F. and S. Mangiagli, 2006. Earthquakes and ghost towns in Sicily (Southern Italy): a journey through the places of memory. A proposal of virtual seismic itineraries as an educational tool. Proceedings of the First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, 3-8 september 2006, Geneve (CH), SS 3.
- Azzaro R., Camassi R., Cascone M. and L. Peruzza, 2005. Localities abandoned following earthquakes in Italy. A lesson for communities rediscovered through virtual seismic itineraries: the case-history of Sicily. Proceedings of the international conference on 250th anniversary of the 1755 Lisbon earthquake, 1-4 november 2005, Lisbon (Portugal), 130-134.

- Brasini F., Modonesi D., Camassi R. and B. Sidoti, 2006. "Tutti giù per terra" (all fall down) – An active course to discover earthquakes topics. Proceedings of the First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, 3-8 september 2006, Geneve (CH), SS 3, in press.
- Camassi R., 2006. Percorsi formativi per la riduzione del rischio: il progetto EDURISK, Proceedings of the 3rd world environmental education congress, 2-6 october 2005 Torino, Italy, in press.
- Camassi R., 2006. Risk educational strategies for schools: the EDURISK project in the Bologna Province, Proceedings of the SETRIC workshop "Risk management and training", Bologna 25-26 May 2006, in press.
- Camassi R., Azzaro R., Castelli V., La Longa F., Pessina V. and L. Peruzza, 2005. "Knowledge and practice". Educational activities for reduction of earthquake impact: the EDURISK project, Proceedings of the international conference on the 250th Anniversary of the 1755 Lisbon Earthquake, 1-4 november 2005, Lisbon (Portugal), 100-104
- Camassi R., Azzaro R., Castelli V., La Longa F., Meletti C., Pessina V. and L. Peruzza, 2005. Educazione al terremoto, .eco l'educazione sostenibile, XVII (4), 14-15.
- Castelli V., 2005. Sulle tracce di sant'Emidio in giro per il mondo. In: La festa di Sant'Emidio. Guida ai festeggiamenti, XV, Comune di Ascoli Piceno, 14-15.
- Castelli V., 2006. Lets we forget. A preliminary map of the collective earthquake rituals in Italy. Proceedings of the First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, 3-8 september 2006, Geneve (Switzerland), SS 3, in press.
- Costa N., Giraldo M.L. and B. Sidoti, 2005. What if there's an earthquake?, EDURISK-INGV-Giunti Progetti Educativi, Firenze-Milano.
- Ercolani E., Camassi R., Castelli V. and L. Postpischl, 2006. Let's go visit Città di Castello in 1789. Proceedings of the First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, 3-8 september 2006, Geneve (Switzerland), SS 3.
- Luciani R., 2005. Lesson on earthquakes, EDURISK-INGV-Giunti Progetti Educativi, Firenze-Milano.
- Nave R. and C. Piccione, 2006. Education and information as tool for risk mitigation: the experience of the Eolian visitors centres. Proceedings of the First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, 3-8 september 2006, Geneve (Switzerland), SS 3, in press.
- Nave R., 2006. Public communication on the dangers and risks of volcanoes, the Vesuvius experience, Proceedings of the SETRIC workshop "Risk management and training", Bologna 25-26 May 2006, in press.
- Nave R., Isaia R. and S. Sorda, 2006. Risk education in the project EDURISK: the Italian experience. Proceedings of Cities on Volcanoes 4, Quito 23-27 January 2006.
- Peruzza L., Priolo E., Sirovich L., Slejko D. (eds), 2006. Il terremoto del Friuli del 1976; studiare, conoscere... vivere con i terremoti. Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale – OGS, Stella Arti grafiche, Trieste, 8 pp.

Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia



**Rendicontazione
Finanziaria**

VOCE B: POTENZIAMENTO DELLE RETI DI MONITORAGGIO

INGV – Sezione di Catania

Anno 2006 - 1° semestre

cap. 1210202 – Acquisto, ripristini, trasformazioni e manutenzione straordinaria di immobilizzazioni tecniche					
N. buono	Fornitore	Descrizione bene	Importo lordo (€)	N. fatt.	N. mdt.
255	Macchine Agricole srl	Gruppo elettrogeno portatile HONDA da 2 KVA mod. EU20	1.248,00		
282	Flir System Srl	Telecamera Thermovision A40 M i	28.800,00		
283	Flir System Srl	Occhialini Color video VIEWER	1.518,00		
284	Flir System Srl	Vetro al Germanio per box di protezione telecamera termica	3.484,80		
299	Flir System Srl	Permuta Telecamera termica Thermovision 320M con telecamera A40M	16.580,00		
520	Algade	Barasol per completamento reti sensori Radon	18.444,00		
601	Nanometrics Seismological Instr.	Upgrade central HUB rete sismica digitale satellitare	70.000,00		
602	Angelo Perez & C.	Sdoganamento e oneri doganali per materiale Nanometrics	19.200,00		
611	GR Informatica	Connettori rete informatica	960,00		
612	Randazzo Angelo Spa	Impugnatura verticale Nikon MB D100 per misure da elicottero	380,00		
Totale			160.614,80		

Nota: Somme impegnate nel 2005 e da rendicontare successivamente

Spese impegnate dal 01/07/06 al 15/09/06					
cap. 1210202 – Acquisto, ripristini, trasformazioni e manutenzione straordinaria di immobilizzazioni tecniche					
N. buono	Fornitore	Descrizione bene	Importo lordo (€)	N. fatt.	N. mdt.
625	Misurando Srl	Dataloggers e SW di gestione per installazioni clinoprofonde	10.572,00		
697	Algade	Sensori Radon Barasol	5.700,00		
698	Elcam Spa	Trasmittitore meteo Vaisala	6.652,80		
717	Codevintec Italiana Srl	Clinometrilily per nuove installazioni	20.857,20		
718	Leica Geosystems	Ricevitori GPS	110.628,00		
799	Roxtec Italia	Cavetteria per pozzetti stazioni sismiche	3.445,92		
800	Promite di D'Arrigo Natale	Copertura siti stazioni sismiche	816,00		

801	Promite di D'Arrigo Natale	Copertura siti stazioni sismiche	6.696,00		
-----	-------------------------------	----------------------------------	----------	--	--

Totale 165.367,92

Riepilogo

Totale spese impegnate al 30/06/06	160.614,80
Totale spese impegnate dal 1/07/06 al 15/09/06	165.367,92
Totale impegnato al 15/09/06	325.982,72

INGV – Centro Nazionale Terremoti

Anno 2006 - 1° semestre

cap. 1210202 – Acquisto, ripristini, trasformazioni e manutenzione straordinaria di immobilizzazioni tecniche					
N. buono	Fornitore	Descrizione bene	Importo lordo (€)	N. fatt.	N. mdt.
52	MTI	Upgrade Memoria per SAN-NAS	16.320,00	26	N. 516 del 07/06/06
73	Euroceanique	Connettori per Osservatorio Gibilmanna	560,78	LA00561	N. 513 del 02/05/06
85	Aereo Staz. Merci	Sdoganam. Merci Kinematics	22.100,00	51246451	N. 297 del 08/03/06
87/ 140/ 152/ 153	Aereo Staz. Merci	Sdoganam. Merci Nanometrics	86.154,99	232/3/2/1	N. 382 del 07/04/06
140	Aereo Staz. Merci	Sdoganam. Merci Nanometrics	12.297,47		
271	Aereo Staz. Merci	Sdoganam. Merci Nanometrics	8.479,23	1	N. 476 del 19/04/06
279	Ca Plast	Box GAIA2	15.984,00	181	
279	Ca Plast	Box GAIA2	1.860,00	122	N. 1031 del 01/08/06
483	Aereo Staz. Merci	Sdoganam. Merci Nanometrics	9.953,21	55-448994	N. 668 del 15/05/06
622	Aereo Staz. Merci	Sdoganam. Merci Nanometrics	35.679,62	1	N. 804 del 12/07/06
667	Dell computer	Materiale hardware per Sala Sismica e CED	79.880,40	342245/ 342299/ 342416/ 342438/ 345502/ 342406/ 342481/ 346855	
Totale			289.269,70		

INGV – Osservatorio Vesuviano, Napoli

Anno 2006 - 1° semestre

cap. 1210202 – Acquisto, ripristini, trasformazioni e manutenzione straordinaria di immobilizzazioni tecniche					
N. buono	Fornitore	Descrizione bene	Importo lordo (€)	N. fatt.	N. mdt.
229	Guralp system limited	Sismometri	68.549,72	cmg4501	754
232	Lombard & marozzini	Trasduttori	5.520,00	117	322
233	Forniture industriali alborino	Compressore e kit accessori	179,15	2877	179
234	Avino ht	Pc e monitor	1.954,80	240	686
237	Avino ht	Stampante e scanner	627,00	206	583
238	Agilent technologies	Gasromatografo	31.670,40	7021804	701
239	Computer service sas	Pc	492,00	833	357
240	Sst informatica srl	Notebook siny	2.136,00	3	380
241	Leica geosystem spa	Antenne e sensori	50.934,00	95018079	690
242	Avino ht	Stampante	648,00	219	584
243	Consult srl	Videocamera e accessori	1.095,00	222	180
244	Druck italia srl	Trasduttore di pressione	960,00	107084	389
245	R.s. Components spa	Materiale elettrico	232,70	29/119103	325
246	Pr elettronica	Pc	1.689,54	76	645
247	Computer discount napoli srl	Monitors	876,98	3281	395
248	Misco i.c.s.	IOMEGA NAS - archiviazione	3.110,57	166388	282
249	Sst informatica srl	Materiale informatico	557,88	38	189
250	Videomaster italia	Materiale per laboratorio	780,00	298	379
251	Sara di mariotti	Schede gps	3.658,80	11	570
252	R.s. Components spa	Materiale elettrico	379,75	84/110360	388
253	Primatech srl	Materiale elettrico	2.042,40	56	320
255	Tecno.el srl	MATERIALE informatico	3.351,78	11	278
256	Computer service sas	Alimentatori e pc	972,00	26	378

290	Paltek srl	Registratore dati adc con cavo	1300,02	876	280
293	Golden computer srl	Materiale informatico	84,00	72	345
295	Geotec srl	Materiale informatico	1.586,40	15607	356
296	Tersid srl	Materiale per laboratorio	1.922,40	628	1025
297	Boviar srl	Materiale informatico	2.220,48	38	689
298	Repetto sport	Caschi	765,36	3	170
299	Automatika srl	Fotocamera	802,20	10	375
300	Consult srl	Maschere in silicone e filtri	1.047,60	40	727
301	Gigieffe impianti	Erogatore di energia	1.854,91	42	591
302	Consult srl	Filtri	91,20	39	1006
303	Vip elettronica srl	Materiale elettrico	159,70	9	333
304	Observatoire royal de belgique	Sistema implementazione	1.000,00	909	772
305	Sst informatica srl	Materiale informatico	1.030,80	1	321
306	Misco italy c.s.	Gruppo continuita	155,39	14462	381
308	Computer service sas	Materiale informatico	709,20	105	710
309	Sistema avanzati elettronici	Materiale informatico	2.411,10	95	752
310	R.s. Components spa	Caricabatteria	483,86	30/010962	563
311	Codevintec italiana srl	Centralina stazione tiltmetrica	24.390,00	417 - 40	811
631	G.I.r. Trasporti srl	Trasporti	30,00	181	568
683	R.s. Components spa	Morsetti	206,14	30/36923	723
728	Misco italy c.s.	Notebook	1.883,22	49919	1055
729	Bit store	Stampante	109,20	18	932
789	Ricchi luciano snc	Copie eliografiche	55,20	352	737
799	Sos computer service	Schede sostituzione	599	88	708
916	Misco italy c.s.	Hard disk	121,84	58205	942
992	Misco italy c.s.	Materiale elettrico	64,43	71008	1053

Totale 227.502,12

INGV – Sezione di Palermo

Anno 2006 - 1° semestre

cap. 1210202 – Acquisto, ripristini, trasformazioni e manutenzione straordinaria di immobilizzazioni tecniche					
N. buono	Fornitore	Descrizione bene	Importo lordo (€)	N. fatt.	N. mdt.
	GV Instruments		87.754,75	3772	797
	GV Instruments		87.754,75	3773	1087
Totale			175.509,50		

VOCE C: PROSECUZIONE DELLE ATTIVITÀ DI STUDI E RICERCHE SULLA SISMICITÀ E SUL VULCANISMO DELLE AREE DI STROMBOLI E PANAREA E PER STUDI E RICERCHE SU ZONE DI PARTICOLARE INTERESSE SPECIFICAMENTE INDIVIDUATE

La tabella 1 sintetizza le spese sostenute nel I semestre 2006 a valere sui fondi residui accantonati, di cui alla Tabella 1 di pag. 193, e le spese aggiuntive descritte alle pagg. 191-192. La Tabella 2 riporta in maniera sintetica i fondi spesi o impegnati all'interno dei progetti di ricerca e i residui (fondi non spesi né impegnati dalle Unità di Ricerca) relativi alla prima fase delle ricerche. Le tabelle 3, 4 e 5 contengono i dettagli delle spese e degli impegni per ogni singola Unità di Ricerca, rispettivamente per i progetti sismologici, per quelli vulcanologici, e per il progetto EduRisk, con la ripartizione di dette somme tra le varie voci di spesa.

Tabella 1. Riepilogo delle somme spese nel I semestre 2006 per "attività ulteriori*" (vedi pagg. 191-192) e per "gestione dei progetti" (vedi testo alle pagg. 191-193 e Tabella 1 in pag. 193).

Voce di spesa	Costo (Euro)
Progetto S6 "Database dei dati accelerometrici italiani relativi al periodo 1972-2004"	260.000,00*
Perforazione di unpozzo nell'area dei Colli Albani (attività svolta all'interno del Progetto V3_1 - Colli Albani)	50.000,00
Catalogo attività storica dell'Etna	130.000,00
Contratto per campionamenti periodici all'isola di Panarea	14.688,00
Comitati di Valutazione - Rimborsi spese di viaggio	6.418,41
Comitati di Gestione - Rimborsi spese di viaggio	12.376,15
Totale (Euro)	473.482,56

* il costo complessivo di questo progetto è pari a 275.000 Euro, di cui 260.000 Euro, erogati nel I semestre 2006 e 15.000 Euro, erogati nel II semestre 2006.

Tabella 2. Sintesi dei fondi spesi o impegnati all'interno di tutti i progetti di ricerca e residui (fondi non spesi né impegnati dalle Unità di Ricerca) relativi alla prima fase delle ricerche.

Progetti Sismologici

Prog.	Fondi assegnati	Personale (solo UR non INGV)	Missioni Italia	Missioni Estero	Beni di Consumo e Servizi	Beni Durevoli	Totale	Fondi residui
S1	250.000,00	47.000,00	28.441,24	26.250,10	78.123,99	50.098,19	229.913,52	20.086,48
S2	794.500,00	253.843,11	91.937,76	63.575,08	223.184,59	57.556,77	690.097,31	104.402,69
S3	530.850,00	144.694,67	60.453,19	23.562,35	152.500,85	119.326,39	500.537,45	30.312,55
S4	529.980,00	98.835,16	13.046,41	58.668,40	183.607,77	144.889,88	499.047,62	30.932,38
S5	221.500,00	94.067,70	21.901,05	17.324,12	46.047,74	25.775,45	205.116,06	16.383,94
S6	260.000,00*	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	260.000,00*
Totale S	2.586.830,00	638.440,64	215.779,65	189.380,05	683.464,94	397.646,68	2.124.711,96	462.118,04

* il costo complessivo di questo progetto è pari a 275.000 Euro, di cui 260.000 Euro, erogati nel I semestre 2006 e 15.000 Euro, erogati nel II semestre 2006.

Progetti Vulcanologici

Prog.	Fondi assegnati	Personale (solo UR non INGV)	Missioni Italia	Missioni Estero	Beni di Consumo e Servizi	Beni Durevoli	Totale	Fondi residui
V1	235.000,00	118.174,00	18.155,91	17.489,58	62.006,42	13.958,40	229.784,31	5.215,69
V2	359.150,00	65.698,32	64.551,50	33.470,43	137.501,24	26.556,65	327.778,14	31.371,86
V3_1	399.500,00	18.792,62	14.951,74	24.270,24	292.162,69	20.812,47	370.989,76	28.510,24
V3_2	425.000,00	128.417,34	36.492,37	38.466,90	158.744,84	47.056,00	409.177,45	15.822,55
V3_3	205.500,00	42.395,54	27.934,12	15.473,46	92.250,95	13.801,36	191.855,43	13.644,57
V3_4	323.500,00	45.862,02	33.797,47	45.201,27	156.970,19	22.607,86	304.438,81	19.061,19
V3_5	218.500,00	18.053,64	43.088,05	14.143,58	122.074,64	5.496,15	202.856,06	15.643,94
V3_6	576.000,00	116.047,57	61.706,74	77.845,19	223.653,79	66.286,48	545.539,77	30.460,23
V3_7	138.500,00	20.000,00	33.105,20	9.475,39	63.505,57	4.525,00	130.611,16	7.888,84
V3_8	125.000,00	68.777,12	5.408,80	7.500,00	35.000,00	0,00	116.685,92	8.314,08
V4	415.300,00	115.184,06	19.827,91	41.567,17	140.630,66	77.915,40	395.125,20	20.174,80
V5	374.000,00	64.121,89	50.590,35	24.544,05	184.424,38	32.918,46	356.599,13	17.400,87
Totale V	3.794.950,00	821.524,12	409.610,16	349.447,26	1.668.925,37	331.934,23	3.581.441,14	213.508,86

Progetto misto SV (Edurisk)

Prog.	Fondi assegnati	Personale (solo UR non INGV)	Missioni Italia	Missioni Estero	Beni di Consumo e Servizi	Beni Durevoli	Totale	Fondi residui
SV	181.000,00	2.500,00	17.335,32	8.304,70	141.968,87	7.443,18	177.552,07	3.447,93
Totale SV	181.000,00	2.500,00	17.335,32	8.304,70	141.968,87	7.443,18	177.552,07	3.447,93
Totale S + V + SV	6.562.780,00	1.462.464,76	642.725,13	547.132,01	2.494.359,18	737.024,09	5.883.705,17	679.074,83

Tabella 3. Progetti sismologici: dettaglio della ripartizione dei fondi tra le diverse voci di spesa per ogni Unità di Ricerca.

Progetto/UR	Responsabile	Assegnato	Personale	Missioni Italia	Missioni Estero	Beni di Consumo e Servizi	Beni durevoli	Totale I fase	Residuo
S1/01	MELETTI	26.000,00	0,00	6.433,85	5.194,43	8.696,15	3.460,86	23.785,29	2.214,71
S1/02	MERONI	20.000,00	0,00	936,69	1.905,83	6.736,08	8.866,32	18.444,92	1.555,08
S1/03	CAMASSI	24.000,00	0,00	2.614,78	3.114,22	8.283,40	9.315,60	23.328,00	672,00
S1/04	AZZARO	11.000,00	0,00	5.886,11	0,00	1.815,20	1.920,00	9.621,31	1.378,69
S1/05	GASPARINI	8.000,00	0,00	0,00	0,00	5.560,09	2.063,35	7.623,44	376,56
S1/06	MARTURANO	8.000,00	0,00	2.385,00	750,00	1.642,80	2.634,00	7.411,80	588,20
S1/07	STROBBIA	30.000,00	0,00	3.273,06	4.200,00	14.316,56	5.324,40	27.114,02	2.885,98

S1/08	ALBARELLO	40.000,00	28.500,00	1.042,44	0,00	4.537,37	2.258,40	36.338,21	3.661,79
S1/09	GASPERINI	40.000,00	18.500,00	1.196,27	6.124,62	7.179,11	4.983,60	37.983,60	2.016,40
S1/10	SPALLAROSSA	20.000,00	0,00	1.077,04	0,00	13.362,23	3.551,66	17.990,93	2.009,07
S1/11	ROTONDI	3.000,00	0,00	0,00	3.000,00	0,00	0,00	3.000,00	0,00
S1/12	REBEZ	20.000,00	0,00	3.596,00	1.961,00	5.995,00	5.720,00	17.272,00	2.728,00
Totale S1		250.000,00	47.000,00	28.441,24	26.250,10	78.123,99	50.098,19	229.913,52	20.086,48
S2/1.1	BASILI	46.000,00	0,00	4.575,72	10.764,56	20.432,34	6.729,60	42.502,22	3.497,78
S2/1.2	GASPERINI	6.000,00	0,00	57,26	0,00	2.699,99	2.658,00	5.415,25	584,75
S2/1.3	ALBINI	10.200,00	0,00	276,37	1.823,10	4.134,40	3.386,40	9.620,27	579,73
S2/2.1a	BRANCOLINI	33.500,00	9.080,10	0,00	0,00	12.168,19	0,00	21.248,29	12.251,71
S2/2.1b	ARGNANI	14.500,00	9.046,19	0,00	0,00	1.375,40	0,00	10.421,59	4.078,41
S2/2.2a	BARBANO	38.000,00	30.000,00	2.076,19	2.869,62	2.455,44	0,00	37.401,25	598,75
S2/2.2b	DE MARTINI	15.000,00	0,00	4.475,47	1.785,29	8.595,65	0,00	14.856,41	143,59
S2/2.3	BARCHI	27.800,00	16.602,10	3.593,23	1.602,67	2.963,41	588,00	25.349,41	2.450,59
S2/2.4	BURRATO	25.300,00	0,00	5.228,30	4.807,39	9.296,09	2.724,07	22.055,85	3.244,15
S2/2.5	CATALANO	34.000,00	28.605,82	1.445,99	1.044,12	267,06	0,00	31.362,99	2.637,01
S2/2.6	DOGLIONI	24.000,00	0,00	510,91	1.160,60	1.543,31	5.181,80	8.396,62	15.603,38
S2/2.7	FAVALI	18.000,00	0,00	1.134,02	1.148,21	4.920,00	3.020,17	10.222,40	7.777,60
S2/2.8	GALADINI	11.800,00	0,00	6.729,49	1.282,06	3.605,98	0,00	11.617,53	182,47
S2/2.9	ITALIANO	40.000,00	0,00	9.477,91	4.651,17	21.883,74	0,00	36.012,82	3.987,18
S2/2.10	LAVECCHIA	30.000,00	18.075,00	838,66	0,00	8.859,13	0,00	27.772,79	2.227,21
S2/2.11	MASTRONUZZI	6.000,00	0,00	1.315,53	0,00	1.225,55	3.156,72	5.697,80	302,20
S2/2.12	MUCCIARELLI	10.000,00	8.500,00	883,88	0,00	192,00	0,00	9.575,88	424,12
S2/2.13	NERI	20.600,00	12.049,86	941,80	4.304,72	3.302,98	0,00	20.599,36	0,64
S2/2.14	PIZZI	19.000,00	0,00	1.034,07	1.769,20	16.000,00	0,00	18.803,27	196,73
S2/2.15	SCANDONE	20.000,00	10.800,00	2.500,00	0,00	6.700,00	0,00	20.000,00	0,00
S2/2.16	SINISCALCHI	38.000,00	0,00	6.518,54	0,00	29.117,06	0,00	35.635,60	2.364,40
S2/2.17	PETTENATI	8.000,00	0,00	3.024,50	0,00	3.703,80	0,00	6.728,30	1.271,70
S2/2.18	SOLARINO	15.000,00	0,00	4.782,25	1.770,00	4.836,05	2.144,00	13.532,30	1.467,70
S2/2.19a	TINTI	2.500,00	0,00	1.255,80	0,00	998,03	0,00	2.253,83	246,17
S2/2.19b	PIATANESI	5.500,00	0,00	97,82	882,65	1.288,84	3.004,80	5.274,11	225,89
S2/2.20	ZUPPETTA	16.000,00	8.000,00	1.132,58	941,53	4.533,33	0,00	14.607,44	1.392,56
S2/3.1	BARBA	9.000,00	0,00	3.441,22	3.212,27	99,00	1.392,13	8.144,62	855,38
S2/3.2a	CAPORALI	18.500,00	13.707,24	1.265,51	690,00	1.554,00	0,00	17.216,75	1.283,25

S2/3.2b	BRAITENBERG	13.500,00	10.000,00	1.485,84	0,00	2.010,84	0,00	12.010,84	1.489,16
S2/3.3	GUERRA	15.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15.000,00
S2/3.4	SEPE	15.000,00	0,00	4.076,32	0,00	9.765,80	0,00	13.842,12	1.157,88
S2/4.1	AKINCI	16.000,00	0,00	885,38	0,00	3.459,36	4.186,62	8.531,36	7.468,64
S2/4.2	DI GIOVANBATTISTA	15.000,00	0,00	1.000,00	2.928,13	3.945,41	5.148,00	13.021,54	1.978,46
S2/4.3	CINTI	12.000,00	0,00	1.472,98	3.780,01	1.392,85	3.639,26	10.285,10	1.714,90
S2/4.4	GARAVAGLIA	17.000,00	0,00	3.286,74	2.990,00	4.198,74	4.860,00	15.335,48	1.664,52
S2/4.5	GODANO	34.000,00	28.800,00	1.607,09	0,00	2.087,60	0,00	32.494,69	1.505,31
S2/4.6	MANTOVANI	24.000,00	18.500,00	926,84	0,00	1.149,00	2.696,40	23.272,24	727,76
S2/4.7	MURRU	12.800,00	0,00	2.095,89	2.988,67	4.642,20	3.040,80	12.767,56	32,44
S2/4.8	PERUZZA	33.000,00	14.000,00	7.398,50	354,11	9.482,02	0,00	31.234,63	1.765,37
S2/4.9	ROTONDI	25.000,00	18.076,80	575,00	4.025,00	2.300,00	0,00	24.976,80	23,20
Totale S2		794.500,00	253.843,11	91.937,76	63.575,08	223.184,59	57.556,77	690.097,31	104.402,69
S3/01	FRANCESCHINA	35.000,00	0,00	8.243,67	2.476,83	10.014,65	12.835,85	33.571,00	1.429,00
S3/02	CULTRERA	104.000,00	0,00	4.639,45	6.323,39	28.869,27	50.077,15	89.909,26	14.090,74
S3/03	BOHM	60.150,00	25.963,08	13.434,10	0,00	14.637,62	6.115,20	60.150,00	0,00
S3/04	PISCITELLI	48.700,00	634,21	6.827,66	3.240,55	14.527,92	18.650,00	43.880,34	4.819,66
S3/05	DEL GAUDIO	27.000,00	0,00	2.738,97	2.000,00	3.061,03	19.195,20	26.995,20	4,80
S3/06	MUCCIARELLI	43.000,00	19.000,00	4.326,23	0,00	17.580,08	0,00	40.906,31	2.093,69
S3/07	SILVESTRI	67.500,00	36.149,62	1.660,87	0,00	23.778,10	4.500,00	66.088,59	1.411,41
S3/08	MAUGERI	41.000,00	21.665,86	4.372,76	3.027,22	11.934,16	0,00	41.000,00	0,00
S3/09	EVA	38.500,00	13.000,00	8.601,49	2.714,71	11.049,48	1.440,00	36.805,68	1.694,32
S3/10	EMOLO	45.000,00	16.282,40	1.732,42	3.365,21	14.332,70	6.512,99	42.225,72	2.774,28
S3/11	SCARASCIA MUGNOZZA	21.000,00	11.999,50	3.875,57	414,44	2.715,84	0,00	19.005,35	1.994,65
Totale S3		530.850,00	144.694,67	60.453,19	23.562,35	152.500,85	119.326,39	500.537,45	30.312,55
S4/01	MICHELINI	179.800,00	0,00	220,71	32.780,43	90.613,87	34.628,80	158.243,81	21.556,19
S4/02	AKINCI	60.450,00	0,00	886,88	15.616,66	27.222,11	11.173,24	54.898,89	5.551,11
S4/03	PRIOLO	85.000,00	49.654,16	1.641,29	3.349,91	7.449,11	22.905,53	85.000,00	0,00
S4/04	SPALLAROSSA	94.700,00	31.046,00	7.375,52	1.196,18	16.928,18	36.323,02	92.868,90	1.831,10
S4/05	COSTA	49.780,00	0,00	2.172,01	4.881,16	33.780,00	7.459,29	48.292,46	1.487,54
S4/06	PIERDICCA	19.500,00	18.135,00	0,00	0,00	865,00	0,00	19.000,00	500,00
S4/07	CARDARELLI	40.750,00	0,00	750,00	844,06	6.749,50	32.400,00	40.743,56	6,44
Totale S4		529.980,00	98.835,16	13.046,41	58.668,40	183.607,77	144.889,88	499.047,62	30.932,38
S5/01	LANGER	9.000,00	0,00	2.139,22	4.032,66	2.370,00	0,00	8.541,88	458,12

S5/02	HERRERO	44.000,00	0,00	7.167,66	8.450,45	17.143,02	5.940,00	38.701,13	5.298,87
S5/03	PESSINA	18.000,00	0,00	2.572,70	0,00	6.009,48	5.273,85	13.856,03	4.143,97
S5/04	VUAN	33.000,00	25.660,90	3.666,16	0,00	3.672,94	0,00	33.000,00	0,00
S5/05	SIROVICH	5.500,00	0,00	1.839,07	0,00	2.879,00	0,00	4.718,07	781,93
S5/06	PAOLUCCI	38.000,00	20.000,00	587,89	2.670,83	6.539,14	5.682,00	35.479,86	2.520,14
S5/07	PINHO	37.000,00	20.000,00	2.948,61	1.126,48	4.864,40	5.000,00	33.939,49	3.060,51
S5/08	LAGOMARSINO	37.000,00	28.406,80	979,74	1.043,70	2.569,76	3.879,60	36.879,60	120,40
Totale S5		221.500,00	94.067,70	21.901,05	17.324,12	46.047,74	25.775,45	205.116,06	16.383,94
S6/01	BINDI	138.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	138.000,00
S6/02	MELE	37.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	37.000,00
S6/03	MILANA	85.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	85.000,00
S6/04	SABETTA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S6/05	RAINONE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Totale S6		260.000,00*	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	260.000,00*
Totale progetti Sismologici		2.586.830,00	638.440,64	215.779,65	189.380,05	683.464,94	397.646,68	2.124.711,96	462.118,04

* il costo complessivo di questo progetto è pari a 275.000 Euro, di cui 260.000 Euro, erogati nel I semestre 2006 e 15.000 Euro, erogati nel II semestre 2006.

Tabella 4. Progetti vulcanologici: dettaglio della ripartizione dei fondi tra le diverse voci di spesa per ogni Unità di Ricerca.

Progetto/UR	Responsabile	Assegnato	Personale	Missioni Italia	Missioni Estero	Beni di Consumo e Servizi	Beni durevoli	Totale I fase	Residuo
V1/01	BALDI	25.000,00	15.080,00	3.200,00	1.698,91	3.000,00	1.958,40	24.937,31	62,69
V1/02	CHIOCCI	120.000,00	54.400,00	4.600,00	5.000,00	46.000,00	10.000,00	120.000,00	0,00
V1/03	MARSELLA	25.000,00	16.090,00	2.556,17	1.803,83	2.550,00	2.000,00	25.000,00	0,00
V1/04	TINTI	55.000,00	26.604,00	5.962,68	8.015,34	9.287,24	0,00	49.869,26	5.130,74
V1/05	TOMMASI	10.000,00	6.000,00	1.837,06	971,50	1.169,18	0,00	9.977,74	22,26
Totale V1		235.000,00	118.174,00	18.155,91	17.489,58	62.006,42	13.958,40	229.784,31	5.215,69
V2/01	CALVARI	15.000,00	0,00	4.878,03	0,00	10.082,18	0,00	14.960,21	39,79
V2/02	TIBALDI	15.350,00	0,00	2.478,02	1.411,00	10.000,00	0,00	13.889,02	1.460,98
V2/03	CASTELLANO	8.000,00	0,00	0,00	0,00	2.711,67	4.585,54	7.297,21	702,79
V2/04	PATANE'	9.000,00	0,00	1.493,77	1.687,93	0,00	4.748,20	7.929,90	1.070,10
V2/05	SPERANZA	13.000,00	0,00	6.699,60	2.531,92	407,46	3.043,91	12.682,89	317,11
V2/06	FRANCALANCI	11.000,00	0,00	3.249,35	0,00	6.939,37	0,00	10.188,72	811,28
V2/07	ANDRONICO	16.500,00	0,00	1.593,04	6.221,75	5.301,10	2.496,00	15.611,89	888,11
V2/08	SCARLATO	14.000,00	0,00	3.219,40	974,92	7.774,39	1.000,00	12.968,71	1.031,29

V2/09	BERTAGNINI	15.000,00	0,00	3.747,34	1.384,01	8.447,60	0,00	13.578,95	1.421,05
V2/10	ROSI	13.000,00	0,00	3.500,00	1.500,00	7.047,07	0,00	12.047,07	952,93
V2/11	RIPEPE	9.000,00	0,00	2.320,68	0,00	4.065,88	2.000,00	8.386,56	613,44
V2/12	D'AURIA	15.500,00	0,00	1.387,76	0,00	3.996,43	0,00	5.384,19	10.115,81
V2/13	FAVALI	6.000,00	0,00	692,55	0,00	4.794,14	0,00	5.486,69	513,31
V2/14	MATTIA	26.000,00	0,00	1.366,51	8.950,00	14.499,80	0,00	24.816,31	1.183,69
V2/15	PAPALE	13.500,00	0,00	2.186,27	1.399,62	3.507,60	5.118,00	12.211,49	1.288,51
V2/16	CASAGLI	30.000,00	28.000,00	80,44	0,00	0,00	0,00	28.080,44	1.919,56
V2/17	APUANI	30.800,00	0,00	2.051,12	0,00	27.052,00	0,00	29.103,12	1.696,88
V2/18	RENZULLI	18.000,00	5.225,18	4.944,83	3.425,77	4.381,55	0,00	17.977,33	22,67
V2/19	MARANI	1.000,00	0,00	900,00	0,00	0,00	0,00	900,00	100,00
V2/20	CIGOLINI	12.500,00	6.771,00	2.673,92	0,00	564,50	2.000,00	12.009,42	490,58
V2/21	TRANNE	11.000,00	0,00	5.196,62	1.657,23	3.813,23	0,00	10.667,08	332,92
V2/22	DE RITA	17.000,00	7.799,69	2.808,80	1.563,08	3.649,03	0,00	15.820,60	1.179,40
V2/23	MATTEI	23.000,00	17.902,45	1.024,21	763,20	0,00	1.565,00	21.254,86	1.745,14
V2/24	CAPACCIONI	16.000,00	0,00	6.059,24	0,00	8.466,24	0,00	14.525,48	1.474,52
Totale V2		359.150,00	65.698,32	64.551,50	33.470,43	137.501,24	26.556,65	327.778,14	31.371,86
V3_1/01	GAETA	43.000,00	0,00	566,49	6.812,83	27.823,45	3.500,00	38.702,77	4.297,23
V3_1/02	SCARLATO	25.000,00	0,00	175,00	6.998,03	16.199,53	0,00	23.372,56	1.627,44
V3_1/03	PIZZINO	14.000,00	0,00	924,33	0,00	13.075,67	0,00	14.000,00	0,00
V3_1/04	CARAPEZZA	16.500,00	0,00	793,94	0,00	4.375,30	9.996,00	15.165,24	1.334,76
V3_1/05	TUCCIMEI	11.000,00	0,00	145,07	1.489,24	8.339,03	0,00	9.973,34	1.026,66
V3_1/06	DE GORI	10.000,00	0,00	2.866,92	451,67	1.265,88	4.356,47	8.940,94	1.059,06
V3_1/07	POE	10.000,00	0,00	0,00	0,00	7.549,55	0,00	7.549,55	2.450,45
V3_1/08	RIGUZZI	90.000,00	0,00	7.828,67	3.491,91	66.984,52	2.960,00	81.265,10	8.734,90
V3_1/09	MARIUCCI*	117.000,00	0,00	0,00	0,00	117.000,00	0,00	117.000,00	0,00
V3_1/10	GIORDANO	26.000,00	18.792,62	1.092,35	0,00	4.647,00	0,00	24.531,97	1.468,03
V3_1/11	TADDEUCCI	10.000,00	0,00	0,00	1.343,03	3.941,57	0,00	5.284,60	4.715,40
V3_1/12	BOZZANO	18.000,00	0,00	558,97	2.941,03	12.820,18	0,00	16.320,18	1.679,82
V3_1/13	MARRA	9.000,00	0,00	0,00	742,50	8.141,01	0,00	8.883,51	116,49
Totale V3_1		399.500,00	18.792,62	14.951,74	24.270,24	292.162,69	20.812,47	370.989,76	28.510,24
V3_2/01	BERARDINO	24.500,00	18.760,68	587,92	0,00	2.000,00	2.000,00	23.348,60	1.151,40
V3_2/02	BONAFEDE	26.000,00	18.092,80	2.425,58	1.700,00	3.518,86	0,00	25.737,24	262,76
V3_2/03	CALIRO	26.000,00	0,00	2.312,23	3.400,00	4.536,58	15.000,00	25.248,81	751,19

V3_2/04	CIVETTA	41.000,00	9.500,00	1.810,84	4.155,25	22.756,09	1.992,00	40.214,18	785,82
V3_2/05	DE CAMPOS	12.000,00	0,00	0,00	4.588,44	6.547,15	0,00	11.135,59	864,41
V3_2/06	DEL GAUDIO	5.000,00	0,00	996,45	0,00	3.986,59	0,00	4.983,04	16,96
V3_2/07	DI VITO	11.000,00	0,00	1.717,05	0,00	7.277,00	1.988,82	10.982,87	17,13
V3_2/08	FACCENNA	23.000,00	15.000,00	1.977,45	2.345,88	2.818,85	0,00	22.142,18	857,82
V3_2/09	IEZZI	9.000,00	0,00	1.529,89	0,00	5.229,20	1.938,00	8.697,09	302,91
V3_2/10	MARZOCCHI	10.000,00	0,00	3.141,15	6.673,74	89,00	0,00	9.903,89	96,11
V3_2/11	PAPALE	45.000,00	0,00	6.440,98	6.898,60	10.559,42	16.786,00	40.685,00	4.315,00
V3_2/12	PELUSO	20.000,00	13.440,00	720,93	1.009,25	4.829,82	0,00	20.000,00	0,00
V3_2/13	PETRILLO	10.000,00	0,00	300,00	0,00	8.548,76	0,00	8.848,76	1.151,24
V3_2/14	PIOCHI	16.000,00	0,00	1.123,58	2.500,00	11.913,81	0,00	15.537,39	462,61
V3_2/15	POLI	8.000,00	3.000,00	1.340,09	0,00	1.463,99	1.930,80	7.734,88	265,12
V3_2/16	RAPOLLA	15.000,00	0,00	949,24	0,00	13.418,41	0,00	14.367,65	632,35
V3_2/17	ROMANO	26.000,00	18.053,86	345,18	1.765,90	3.344,67	657,00	24.166,61	1.833,39
V3_2/18	ROSI	24.000,00	16.000,00	3.966,00	0,00	4.000,00	0,00	23.966,00	34,00
V3_2/19	RUSSO	7.000,00	0,00	108,25	2.606,84	2.397,23	1.303,50	6.415,82	584,18
V3_2/20	SBRANA	16.000,00	0,00	3.000,00	0,00	13.000,00	0,00	16.000,00	0,00
V3_2/21	TONARINI	11.000,00	0,00	527,64	0,00	9.781,21	0,00	10.308,85	691,15
V3_2/22	ZOLLO	25.500,00	16.570,00	0,00	0,00	8.723,20	0,00	25.293,20	206,80
V3_2/23	PETRINI	14.000,00	0,00	1.171,92	823,00	8.005,00	3.459,88	13.459,80	540,20
Totale V3_2		425.000,00	128.417,34	36.492,37	38.466,90	158.744,84	47.056,00	409.177,45	15.822,55
V3_3/01	AIUPPA	32.000,00	0,00	4.224,03	2.777,68	24.850,64	0,00	31.852,35	147,65
V3_3/02	CAPUANO	9.000,00	0,00	1.200,95	1.623,95	4.155,40	1.500,00	8.480,30	519,70
V3_3/03	D'ANTONIO	26.500,00	18.095,54	1.186,24	0,00	3.505,98	1.992,00	24.779,76	1.720,24
V3_3/04	DE VITA	9.000,00	0,00	4.535,37	0,00	2.402,33	1.793,46	8.731,16	268,84
V3_3/05	DE ALTERIIS	8.000,00	0,00	0,00	4.000,00	4.000,00	0,00	8.000,00	0,00
V3_3/06	GUILLOU	18.000,00	16.000,00	0,00	998,98	993,29	0,00	17.992,27	7,73
V3_3/07	LUZIO	8.500,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8.500,00
V3_3/08	ORSI	22.500,00	0,00	7.759,23	2.445,44	7.211,20	4.998,00	22.413,87	86,13
V3_3/09	PETRINI	6.000,00	0,00	904,39	1.030,32	1.961,50	1.818,90	5.715,11	284,89
V3_3/10	RAPOLLA	22.000,00	0,00	1.133,63	0,00	20.558,77	0,00	21.692,40	307,60
V3_3/11	SBRANA	13.000,00	0,00	4.000,00	0,00	9.000,00	0,00	13.000,00	0,00
V3_3/12	SPROVIERI	8.500,00	0,00	919,87	1.250,00	6.152,05	0,00	8.321,92	178,08
V3_3/13	TINTI	15.500,00	8.300,00	1.295,80	1.347,09	1.250,00	1.699,00	13.891,89	1.608,11

V3_3/14	TONARINI	7.000,00	0,00	774,61	0,00	6.209,79	0,00	6.984,40	15,60
Totale V3_3		205.500,00	42.395,54	27.934,12	15.473,46	92.250,95	13.801,36	191.855,43	13.644,57
V3_4/01	CIVETTA	26.000,00	16.570,00	1.036,68	2.630,93	1.405,15	1.938,00	23.580,76	2.419,24
V3_4/02	BERRINO	10.000,00	0,00	690,74	3.687,39	5.437,39	0,00	9.815,52	184,48
V3_4/04	DEL PEZZO	32.000,00	0,00	3.037,51	6.609,96	16.388,95	2.835,38	28.871,80	3.128,20
V3_4/05	DINGWELL	20.000,00	0,00	0,00	5.486,55	14.374,55	0,00	19.861,10	138,90
V3_4/06	MATTEI	7.000,00	0,00	956,51	1.231,00	2.435,33	1.735,85	6.358,69	641,31
V3_4/07	NUNZIATA	5.000,00	0,00	0,00	0,00	5.000,00	0,00	5.000,00	0,00
V3_4/08	SANTACROCE	31.000,00	0,00	4.938,48	4.363,13	17.631,39	2.015,64	28.948,64	2.051,36
V3_4/09	SCAILLET	16.000,00	0,00	0,00	10.830,00	3.690,00	0,00	14.520,00	1.480,00
V3_4/10	PATELLA	9.000,00	0,00	0,00	0,00	8.975,83	0,00	8.975,83	24,17
V3_4/11	CIONI	47.000,00	16.000,00	2.250,25	2.785,00	20.621,10	1.974,99	43.631,34	3.368,66
V3_4/12	PERESAN	5.000,00	0,00	250,00	988,21	2.635,32	904,80	4.778,33	221,67
V3_4/13	PINGUE	12.000,00	0,00	2.499,71	0,00	5.862,84	2.841,60	11.204,15	795,85
V3_4/14	QUARENI	11.000,00	0,00	642,18	0,00	5.900,40	3.984,00	10.526,58	473,42
V3_4/15	DI VITO	8.000,00	0,00	1.624,30	0,00	6.325,07	0,00	7.949,37	50,63
V3_4/16	ZANELLA	15.000,00	0,00	4.211,84	0,00	7.435,38	1.926,00	13.573,22	1.426,78
V3_4/17	DELLINO	14.000,00	0,00	3.889,08	1.784,72	8.326,20	0,00	14.000,00	0,00
V3_4/18	GASPARINI	24.000,00	13.292,02	1.461,71	1.794,77	6.546,66	0,00	23.095,16	904,84
V3_4/19	NERI	11.000,00	0,00	4.324,98	697,01	2.884,14	2.451,60	10.357,73	642,27
V3_4/20	PARESCHI	10.500,00	0,00	1.847,47	0,00	7.766,65	0,00	9.614,12	885,88
V3_4/21	SCANDONE	10.000,00	0,00	136,03	2.312,60	7.327,84	0,00	9.776,47	223,53
Totale V3_4		323.500,00	45.862,02	33.797,47	45.201,27	156.970,19	22.607,86	304.438,81	19.061,19
V3_5/01	DELLINO	31.000,00	0,00	10.443,72	2.466,83	16.089,45	1.645,04	30.645,04	354,96
V3_5/02	DE ASTIS	21.000,00	0,00	7.180,61	0,00	12.145,90	0,00	19.326,51	1.673,49
V3_5/03	BRUNO	33.500,00	0,00	4.733,07	0,00	25.905,09	0,00	30.638,16	2.861,84
V3_5/04	ROMAGNOLI	33.000,00	0,00	1.785,51	0,00	29.250,88	0,00	31.036,39	1.963,61
V3_5/05	PISCITELLI	12.000,00	0,00	4.659,78	1.688,83	3.180,00	1.860,00	11.388,61	611,39
V3_5/06	FEDI	5.500,00	0,00	2.596,29	0,00	2.902,92	0,00	5.499,21	0,79
V3_5/07	DE ROSA	23.500,00	18.053,64	975,85	701,78	2.470,00	0,00	22.201,27	1.298,73
V3_5/08	INGUAGGIATO	12.000,00	0,00	1.509,12	7.326,42	2.543,09	0,00	11.378,63	621,37
V3_5/09	CAPACCIONI	6.000,00	0,00	5.046,48	0,00	801,65	0,00	5.848,13	151,87
V3_5/10	DILIBERTO	14.000,00	0,00	2.755,11	0,00	10.393,96	0,00	13.149,07	850,93
V3_5/11	GAMBINO	15.000,00	0,00	834,73	1.959,72	4.985,50	1.991,11	9.771,06	5.228,94

V3_5/12	TOMMASI	12.000,00	0,00	567,78	0,00	11.406,20	0,00	11.973,98	26,02
Totale V3_5		218.500,00	18.053,64	43.088,05	14.143,58	122.074,64	5.496,15	202.856,06	15.643,94
V3_6/01	ARMIENTI	7.000,00	0,00	1.861,45	939,02	4.150,10	0,00	6.950,57	49,43
V3_6/02	BERARDINO	5.000,00	0,00	601,73	0,00	2.000,00	2.000,00	4.601,73	398,27
V3_6/03	BONAFEDE	19.000,00	16.284,61	0,00	0,00	1.729,00	0,00	18.013,61	986,39
V3_6/04	CARBONE	14.000,00	0,00	1.024,17	3.022,91	7.392,00	2.415,60	13.854,68	145,32
V3_6/05	BURTON	13.000,00	0,00	0,00	6.968,92	3.526,67	0,00	10.495,59	2.504,41
V3_6/06	CHIOCCI	40.000,00	0,00	2.920,38	0,00	33.845,32	2.363,40	39.129,10	870,90
V3_6/07	COLTELLI	15.000,00	0,00	3.450,00	0,00	10.053,94	0,00	13.503,94	1.496,06
V3_6/08	CORSARO	11.000,00	0,00	683,25	4.665,57	4.623,04	0,00	9.971,86	1.028,14
V3_6/09	CRISCI	15.000,00	0,00	415,76	2.495,61	5.998,40	4.992,00	13.901,77	1.098,23
V3_6/10	CRISTOFOLINI	10.000,00	0,00	711,84	1.550,00	5.260,87	1.708,80	9.231,51	768,49
V3_6/11	DEL NEGRO	22.500,00	0,00	2.551,12	9.034,06	5.835,00	5.000,00	22.420,18	79,82
V3_6/12	DINGWELL	8.000,00	0,00	0,00	1.799,85	6.069,85	0,00	7.869,70	130,30
V3_6/13	DRAGONI	13.000,00	3.999,99	3.251,27	0,00	2.872,02	2.557,80	12.681,08	318,92
V3_6/14	FEDI	8.000,00	0,00	1.239,84	3.402,09	3.356,79	0,00	7.998,72	1,28
V3_6/15	FORTUNA	9.000,00	0,00	0,00	1.366,26	7.000,00	0,00	8.366,26	633,74
V3_6/16	GIUNCHI	8.000,00	0,00	608,00	0,00	4.041,33	2.142,00	6.791,33	1.208,67
V3_6/17	GRESTA	34.000,00	28.605,82	2.240,90	1.458,84	742,30	0,00	33.047,86	952,14
V3_6/18	GURRIERI	12.000,00	0,00	440,19	1.500,00	4.964,34	5.006,40	11.910,93	89,07
V3_6/19	HIRN	20.000,00	15.642,00	0,00	1.800,00	2.119,83	0,00	19.561,83	438,17
V3_6/20	INCORONATO	8.000,00	0,00	3.175,48	0,00	1.999,46	0,00	5.174,94	2.825,06
V3_6/21	MELONI	9.000,00	0,00	224,99	1.237,00	441,12	5.572,80	7.475,91	1.524,09
V3_6/22	MILANO	7.000,00	0,00	1.307,83	1.000,00	2.500,00	1.500,00	6.307,83	692,17
V3_6/23	MONACO	25.000,00	16.000,00	549,50	0,00	3.030,70	3.630,00	23.210,20	1.789,80
V3_6/24	MORETTI	17.000,00	0,00	4.585,83	0,00	6.580,56	5.567,22	16.733,61	266,39
V3_6/25	MULARGIA	26.000,00	17.440,59	389,69	549,73	7.619,99	0,00	26.000,00	0,00
V3_6/26	MURRU	4.000,00	0,00	0,00	0,00	3.888,00	0,00	3.888,00	112,00
V3_6/27	NERI	32.500,00	0,00	3.489,11	3.812,80	16.358,00	6.958,86	30.618,77	1.881,23
V3_6/28	NERI	5.000,00	0,00	202,93	1.488,91	2.953,27	0,00	4.645,11	354,89
V3_6/29	NUNNARI	4.000,00	0,00	1.300,00	0,00	2.300,00	0,00	3.600,00	400,00
V3_6/30	PAONITA	14.500,00	0,00	685,61	3.665,21	10.132,88	0,00	14.483,70	16,30
V3_6/31	PARESCHI	22.000,00	0,00	699,16	0,00	15.119,17	4.189,20	20.007,53	1.992,47
V3_6/32	PATANE'	20.000,00	0,00	2.171,00	7.500,00	5.221,66	3.853,20	18.745,86	1.254,14

V3_6/33	PERGOLA	9.000,00	0,00	3.978,61	0,00	3.490,40	1.392,00	8.861,01	138,99
V3_6/34	POMPILIO	13.000,00	0,00	1.846,40	4.322,08	3.966,17	1.669,20	11.803,85	1.196,15
V3_6/35	PRIVITERA	9.000,00	0,00	11,60	3.319,16	2.768,56	1.788,00	7.887,32	1.112,68
V3_6/36	PUGLISI	10.500,00	0,00	2.121,48	5.891,96	1.600,00	0,00	9.613,44	886,56
V3_6/37	RIPEPE	24.000,00	18.074,56	1.882,85	0,00	1.622,32	1.980,00	23.559,73	440,27
V3_6/38	SACCOROTTI	9.000,00	0,00	3.961,94	3.593,17	1.370,98	0,00	8.926,09	73,91
V3_6/39	SINISCALCHI	13.000,00	0,00	6.856,76	0,00	6.109,75	0,00	12.966,51	33,49
V3_6/40	TADDEUCCI	11.000,00	0,00	266,07	1.462,04	9.000,00	0,00	10.728,11	271,89
Totale V3_6		576.000,00	116.047,57	61.706,74	77.845,19	223.653,79	66.286,48	545.539,77	30.460,23
V3_7/01	BRANCOLINI	11.000,00	0,00	1.659,50	1.198,00	8.025,00	0,00	10.882,50	117,50
V3_7/02	D'ALESSANDRO	25.000,00	0,00	8.214,97	2.300,00	12.705,70	0,00	23.220,67	1.779,33
V3_7/03	D'ANTONIO	9.500,00	0,00	4.450,90	870,17	3.511,90	0,00	8.832,97	667,03
V3_7/04	LANDI	6.000,00	0,00	1.528,40	0,00	3.951,06	0,00	5.479,46	520,54
V3_7/05	LANZAFAME	8.500,00	0,00	4.456,14	0,00	3.811,32	0,00	8.267,46	232,54
V3_7/06	MATTIA	13.000,00	0,00	1.250,70	3.762,22	6.822,00	0,00	11.834,92	1.165,08
V3_7/07	ORSI	12.000,00	0,00	6.989,32	0,00	4.038,60	0,00	11.027,92	972,08
V3_7/08	ROTOLO	22.000,00	0,00	1.643,58	345,00	18.068,47	1.489,00	21.546,05	453,95
V3_7/09	TORTORICI	31.500,00	20.000,00	2.911,69	1.000,00	2.571,52	3.036,00	29.519,21	1.980,79
Totale V3_7		138.500,00	20.000,00	33.105,20	9.475,39	63.505,57	4.525,00	130.611,16	7.888,84
V3_8/01	GUIDOBONI	120.000,00	68.777,12	5.000,00	7.500,00	35.000,00	0,00	116.277,12	3.722,88
V3_8/02	COLTELLI	5.000,00	0,00	408,80	0,00	0,00	0,00	408,80	4.591,20
Totale V3_8		125.000,00	68.777,12	5.408,80	7.500,00	35.000,00	0,00	116.685,92	8.314,08
V4/01	MARZOCCHI	31.000,00	0,00	2.370,95	4.858,46	9.217,99	14.042,80	30.490,20	509,80
V4/02	FALSAPERLA	37.000,00	0,00	2.107,02	2.881,45	31.997,10	0,00	36.985,57	14,43
V4/03	CAMPANINI	24.000,00	15.145,00	477,30	1.162,74	3.612,00	1.886,26	22.283,30	1.716,70
V4/04	CRESCENTINI	29.000,00	18.074,76	109,44	2.400,66	3.437,35	2.650,80	26.673,01	2.326,99
V4/05	ZOLLO	64.800,00	37.716,48	244,26	2.502,94	21.097,29	2.383,00	63.943,97	856,03
V4/06	VIRIEUX	30.000,00	18.879,58	3.559,43	3.125,90	932,19	3.502,40	29.999,50	0,50
V4/07	PRIOLO	34.000,00	25.368,24	2.000,32	1.890,95	4.740,49	0,00	34.000,00	0,00
V4/08	PIERSANTI	15.000,00	0,00	1.392,45	4.649,89	4.755,98	4.199,81	14.998,13	1,87
V4/09	BIANCO	22.000,00	0,00	1.941,80	4.705,80	10.793,04	3.980,34	21.420,98	579,02
V4/10	MARTINI	24.000,00	0,00	0,00	0,00	3.968,59	19.492,00	23.460,59	539,41
V4/11	IANNACCONE	44.000,00	0,00	431,38	1.809,01	20.058,48	17.935,99	40.234,86	3.765,14
V4/12	ROMEO	26.500,00	0,00	1.560,00	0,00	10.910,23	4.842,00	17.312,23	9.187,77

V4/13	VILARDO	16.000,00	0,00	2.753,56	1.200,00	11.389,93	0,00	15.343,49	656,51
V4/14	LODATO	18.000,00	0,00	880,00	10.379,37	3.720,00	3.000,00	17.979,37	20,63
Totale V4		415.300,00	115.184,06	19.827,91	41.567,17	140.630,66	77.915,40	395.125,20	20.174,80
V5/01	CAPELLI	24.500,00	14.500,00	597,77	0,00	4.795,06	2.976,00	22.868,83	1.631,17
V5/02	CARAPEZZA	31.000,00	0,00	1.625,21	0,00	21.331,50	5.516,86	28.473,57	2.526,43
V5/03	CASTALDI	11.000,00	0,00	3.516,47	1.556,19	5.029,08	0,00	10.101,74	898,26
V5/04	CHIODINI	31.500,00	0,00	5.897,35	6.045,46	14.556,19	3.880,80	30.379,80	1.120,20
V5/05	ETIOPE	16.000,00	0,00	2.779,45	4.027,13	8.290,84	0,00	15.097,42	902,58
V5/06	FAVARA	9.000,00	0,00	3.585,16	0,00	5.387,41	0,00	8.972,57	27,43
V5/07	FRONDINI	30.000,00	9.604,20	3.718,26	6.000,00	5.888,80	3.789,60	29.000,86	999,14
V5/08	GIAMMANCO	19.000,00	0,00	3.187,34	2.203,47	9.619,01	3.499,20	18.509,02	490,98
V5/09	ITALIANO	18.000,00	0,00	1.280,17	665,88	15.878,77	0,00	17.824,82	175,18
V5/10	PARELLO	25.500,00	0,00	4.571,03	1.702,14	14.175,77	3.112,00	23.560,94	1.939,06
V5/11	QUATTROCCHI	24.000,00	0,00	955,86	2.343,78	18.254,96	2.400,00	23.954,60	45,40
V5/12	RACO	25.000,00	16.000,00	2.500,00	0,00	3.950,00	2.550,00	25.000,00	0,00
V5/13	VALENZA	47.000,00	0,00	7.699,58	0,00	33.477,56	5.194,00	46.371,14	628,86
V5/14	VASELLI	17.000,00	6.200,00	5.144,10	0,00	4.142,09	0,00	15.486,19	1.513,81
V5/15	BARBERI	45.500,00	17.817,69	3.532,60	0,00	19.647,34	0,00	40.997,63	4.502,37
Totale V5		374.000,00	64.121,89	50.590,35	24.544,05	184.424,38	32.918,46	356.599,13	17.400,87
Totale progetti Sismologici		3.794.950,00	821.524,12	409.610,16	349.447,26	1.668.925,37	331.934,23	3.581.441,14	213.508,86

*Assegnati ulteriori 50.000,00 Euro per potenziamento attività di perforazione nell'area dei Colli Albani.

Tabella 5. Progetto misto EduRisk - Dettaglio della ripartizione dei fondi tra le diverse voci di spesa per ogni Unità di Ricerca.

Progetto/UR	Responsabile	Assegnato	Personale	Missioni Italia	Missioni Estero	Beni di Consumo e Servizi	Beni durevoli	Totale I fase	Residuo
SV/01	CAMASSI	53.000,00	0,00	5.014,37	2.621,68	43.937,67	0,00	51.573,72	1.426,28
SV/02	NOSTRO	40.000,00	0,00	3.986,83	0,00	28.911,76	6.569,98	39.468,57	531,43
SV/03	NAVE	18.000,00	0,00	1.270,03	2.303,53	14.089,64	0,00	17.663,20	336,80
SV/04	AZZARO	20.000,00	0,00	2.278,59	1.725,54	14.884,80	873,20	19.762,13	237,87
SV/05	ZUCCARO	15.000,00	2.500,00	785,50	1.653,95	9.145,00	0,00	14.084,45	915,55
SV/06	PERUZZA	35.000,00	0,00	4.000,00	0,00	31.000,00	0,00	35.000,00	0,00
Totale SV		181.000,00	2.500,00	17.335,32	8.304,70	141.968,87	7.443,18	177.552,07	3.447,93

Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia



Allegati

ALLEGATO 1

Sistema Sismico di acquisizione multicanale GAIA2
(Brochure)

I Moduli funzionali di GAIA2

I Moduli sono stati suddivisi in 3 categorie base qui di seguito elencate, attualmente sono stati sviluppati:

- 3 Moduli Principali
- 4 Moduli Secondari
- 7 Micro Moduli.

I **Moduli Principali** si distinguono dagli altri per la caratteristica di possedere un sistema di elaborazione attivo a microcontrollore. In pratica tali Moduli hanno la capacità di funzionare in modo autonomo e di controllare i **Moduli Secondari** e i **Micro Moduli**.

I **Moduli Secondari** sono stati definiti tali in quanto per funzionare devono essere interconnessi ai Moduli principali. Tali Moduli possono essere collegati a quelli principali attraverso un Bus locale e quindi assemblati in un unico contenitore oppure collegati attraverso Bus seriali esterni ed alloggiati in contenitori separati anche a **notevole distanza dai Moduli principali**.

I **Micro Moduli** sono invece dei moduli connessi ai moduli principali attraverso un collegamento a breve distanza. Essi quindi trovano la loro collocazione all'interno del Box principale o nelle immediate vicinanze. Solo il **Micro Modulo** denominato **MicroRF** è dotato di interfacce multiple e può essere connesso anche a notevoli distanze dal sistema principale

Moduli Principali

AGDF2base
TN2
TN2ext
AGDF2ext AT

Moduli Secondari

GPS2
GPS2ext
AGDF2ext PS

Micro Moduli

MMC/SD Array
CIDEF
COMUSB
COMAnt
MicroRF
MicroBox SPI
MicroBox USB

Adattarsi all'ambiente

La principale dote di GAIA2

Una delle caratteristiche principali dei Moduli è quella di poter essere alloggiati in contenitori separati, consentendo la remotazione di alcune funzioni principali. Ad esempio è possibile collegare il Modulo AGDF2base e il Modulo TN2ext anche a notevole distanza tra loro. Il Modulo AGDF2base si occupa di acquisire i segnali sismici su 4 o 8 canali simultanei, di sincronizzare i dati con il tempo UTC fornito dal Modulo GPS2ext e di inviare le informazioni in digitale al Modulo TN2ext la cui funzione è quella di registrare le informazioni su memorie di massa ad alta capacità e di gestire la telemetria in rete IP.

Il sistema GAIA2 così configurato permette di installare l'unità di acquisizione e controllo Gps in un locale (ad esempio maggiormente idoneo ad ospitare il sensore sismico) e l'unità di registrazione e controllo telemetria multicanale in un altro locale (maggiormente idoneo ad ospitare le unità di telemetria terrestre e satellitare). La distanza di collegamento delle 2 unità distinte varia in funzione dell'interfaccia di collegamento prescelta. Di serie si ha la Rs232 per collegamenti fino a 50 metri e la Rs485 per una distanza massima di 1000m. Questo genere di configurazione è tipico in grotte, cantine, pozzi, ambienti oscuri. Quando i 1000m di distanza tra i moduli non sono sufficienti o non è possibile la posa di cavi si possono utilizzare i Moduli di telemetria Wireless che permettono la copertura di distanze ancora maggiori.



Il progetto GAIA2 è realizzato nell'ambito della convenzione INGV-DPC



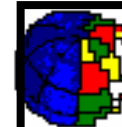
Centro Nazionale Terremoti

Il Gruppo di Sviluppo di GAIA2

L. Acerra, U.Piccolini, S. Pintore, S.Rao, C.Salvatterra,
L. Salvatterra, W.Thorossian, M. Vallocchia

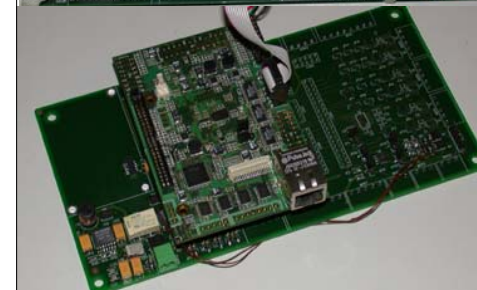
La realizzazione di GAIA2 è stata possibile grazie al contributo delle seguenti persone:
A.Amato, Direttore - CNT
M.Cattaneo, Responsabile UF Lab Sism - CNT
A.Delladio, Responsabile laboratori elettronici - CNT

Centro Nazionale Terremoti
Fax: 06/5041541



Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia

Sistema Sismico di acquisizione multicanale GAIA2



Il Team di sviluppo di GAIA2

Tel.: 06/51860257/261/235/247/614/680/684

GAlIA2

Un sistema Modulare di acquisizione sismica

La stazione sismica GAlIA2

Il progetto GAlIA2 nasce nel dicembre 2002 a seguito della necessità di aggiornare tecnologicamente il precedente sistema di acquisizione GAlIA. Il nuovo sistema GAlIA2 annovera molteplici soluzioni tecnologiche innovative. Uno sforzo progettuale senza precedenti ci ha permesso di realizzare un sistema di acquisizione multicanale unico nel suo genere. La principale dote di GAlIA2 è senza dubbio l'alto grado di modularità che consente decine di configurazioni funzionali. Il nuovo sistema, a differenza del precedente, offre una potenza di elaborazione e di controllo estremamente arricchita e versatile. Oggi disponiamo finalmente di un sistema a basso costo, compatto e soprattutto dai consumi particolarmente contenuti. GAlIA2 consente la realizzazione di sistemi di acquisizione per segnali sismici idonei ad essere utilizzati in una rete di rilevamento o in modo totalmente autonomo. La versione base GAlia2 dispone di 4 canali di acquisizione, espandibili a 8 canali tutti a 24 bit. I nuovi circuiti consentono il controllo totale dei sensori collegati, il controllo delle sezioni di alimentazione, degli stadi

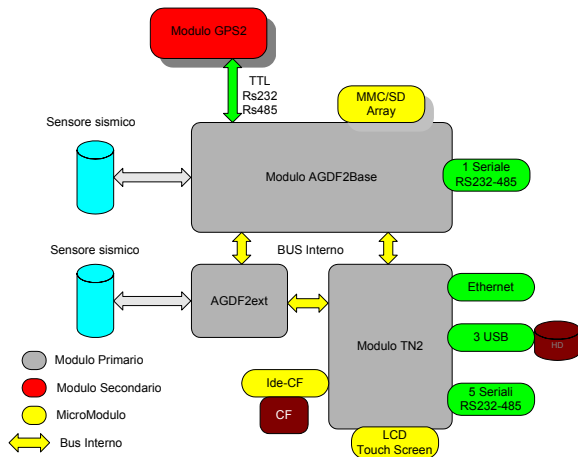


Diagramma a blocchi della configurazione HiPower in versione Ultra. Doppio back-up dei dati, Compact-Flash e HD USB.



Foto del Modulo AGDF2base In piggy-back i Moduli TN2, AGDF2ext e GPS2

arricchiti di nuove e importanti funzionalità. L'architettura Software è completamente aperta e consente l'implementazione di programmi e funzioni anche da parte di terzi realizzatori. Le possibilità di personalizzazione dei programmi operativi, in GAlia2, non trovano eguali in nessun sistema commerciale.

Un' Architettura aperta

Tra le caratteristiche tecniche più significative del sistema GAlIA2 si pone in evidenza la particolare tecnologia Modulare, che permette una grande versatilità di configurazione e di installazione. Il vantaggio di un sistema di acquisizione progettato dagli stessi utilizzatori è quello di permettere di realizzare personalizzazioni mirate. Il team di sviluppo di GAlIA2 ha previsto una serie di configurazioni standard idonee alla maggior parte delle necessità operative. Sono sempre comunque possibili realizzazioni ad hoc, le varianti che possono essere richieste e implementate sono assai numerose e tengono conto anche dei più piccoli particolari.

GAlIA2 prevede **3 configurazioni principali**, sulle quali l'utente può realizzare le opportune personalizzazioni sia di configurazione sia di installazione.

Il sistema GAlIA2 può essere composto dall'utente semplicemente connettendo tra loro i **Moduli funzionali** di cui è dotata.

Le 3 configurazioni principali sono denominate rispettivamente:

- GAlIA μ -Power
- GAlIA Hi-Power
- GAlIA Multi-Channel.

Le prime due configurazioni utilizzano un unico contenitore base. La terza configurazione, data la sua complessità, viene realizzata con una architettura di tipo multibox.

Si può passare da una configurazione ad un'altra con facilità. Dalle configurazioni principali si derivano delle sottoconfigurazioni che permettono una spiccata personalizzazione.

Attualmente sono stati sviluppati i seguenti Moduli funzionali:

- **3 Moduli Principali**
- **4 Moduli Secondari**
- **7 Micro Moduli.**

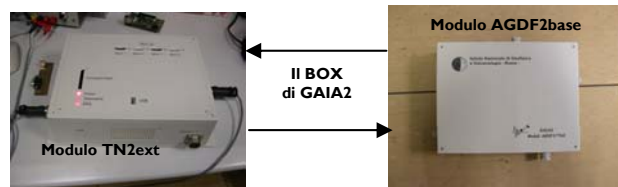
Dalla combinazione di questi Moduli si ottengono **68 Configurazioni diverse.**

Le personalizzazioni si spingono a tale livelli da consentire risparmi economici anche molto consistenti. La possibilità di personalizzazione sono state estese anche al Box. Il contenitore principale di GAlIA2 è stato ideato e progettato attraverso un attento studio di ingegnerizzazione. Il Box a tenuta stagna, con grado di isolamento IP65, può essere installato a parete o a terra. Il Box permette la scelta dei sistemi di connessione e passaggio cavi senza modifiche meccaniche. Su GAlIA2 possono essere installati pressacavo o connettori circolari in funzione della configurazione, dell'installazione e dell'applicazione finale.

Mirare perfettamente la personalizzazione consente un risparmio economico anche elevato.

Questa è la filosofia di GAlia2: contenere ai massimi livelli spese inutili.

La sua architettura aperta permette sviluppi, modifiche e aggiornamenti possibili a tutti i livelli anche da parte dell'utente.



Scambio dati tra il sistema di conversione e il sistema di registrazione e controllo telemetria.

Un unico Box per molteplici utilizzi, risparmio economico e versatilità.

Il Setup, questo sconosciuto

Le procedure di **Setup**, di programmazione e messa in funzione operativa di qualsiasi sistema sono sempre state un punto delicato. Un Setup efficiente deve essere perfettamente mirato alla configurazione e alla quale si rivolge.

Per GAlIA2 si sono sviluppati **4 livelli di Setup** per ottemperare a tutte le esigenze di utenza. Ogni livello consente un accesso limitato alle funzioni di programmazione facilitando ulteriormente i processi.

I 4 livelli di **Setup** sono rispettivamente denominati:

- **Easy Go**
- **Advanced**
- **Expert**
- **Open Lab**

Easy Go è semplice e di immediato utilizzo ed è dedicato ad utenti che vogliono usare GAlIA2 velocemente senza complicarsi troppo la vita.

Advanced è dedicato a chi vuole utilizzare al meglio le funzionalità di GAlIA2.

Expert apre le possibilità di programmazione e utilizzo di GAlIA2 ai massimi livelli ed è dedicato ad utenti sicuramente all'avanguardia e molto esperti.

Open Lab è un ambiente dedicato esclusivamente agli sviluppatori e/o ai centri di assistenza: a questo livello GAlIA2 diventa un laboratorio di sperimentazione molto avanzato.

I Moduli Radio

La versatilità dei collegamenti senza fili

Il laboratorio di sviluppo di GAlIA2 sta sperimentando diverse soluzioni per realizzare collegamenti senza fili. Attualmente il progetto prevede la realizzazione di 4 tipologie di collegamenti. La tipologia a raggio locale prevede collegamenti entro i 100 metri, a corto raggio entro 1000 metri, a breve raggio entro i 5 km e a lungo raggio oltre i 5 km.

Le soluzioni adottate spaziano tra i sistemi con collegamento seriale a bassa velocità in banda UHF 400/500Mhz e 800/900Mhz, oppure in microonde a 2,4Ghz; altre soluzioni sempre in banda 2,4Ghz consentono invece larghezze di banda elevate oltre il Mbit/s.

Tutti i sistemi radio attualmente allo studio consentono collegamenti a basso o bassissimo costo. Uno dei prototipi sviluppati in laboratorio permette la realizzazione di ponti radio ad un costo inferiore ai 50 euro. Su tali stadi si stanno sviluppando sistemi di controllo della frequenza a PLL che consentono la scelta dei canali di trasmissione su un numero molto elevato di canali in bande molto ampie.



Alcuni moduli di trasmissione radio per GAlIA2

La gestione in Rete.

Il protocollo SNMP e il server SeisCoMP

La nuova GAlIA2 è stata progettata con l'intento di dotare il sistema di acquisizione di caratteristiche orientate prevalentemente alla gestione di sistemi di rete. La nuova GAlIA2 implementa un sistema, unico nel suo genere, per il controllo, la programmazione e l'assistenza attraverso la connessione Ethernet. A tale scopo è stato progettato un Hardware appositamente basato su di una architettura di elaborazione a 32 bit di tipo ARM che consente elevate prestazioni e basso assorbimento. Il sistema, interamente ideato da zero, è stato realizzato sfruttando le tecnologie più all'avanguardia oggi disponibili. Un moderno e complesso circuito stampato a 10 strati ha permesso la realizzazione di una scheda elettronica dotata di molteplici funzionalità pur mantenendo un formato molto compatto e a basso assorbimento, e soprattutto a costo talmente basso da essere collocato come **l'unico sistema al mondo** con tali prestazioni e **tale costo.**

Per sfruttare al meglio le caratteristiche Hardware di questo Modulo, è stato fatto uno sforzo senza precedenti per l'implementazione di un Software particolarmente orientato alla gestione di reti di acquisizione. Il Team di sviluppo ha progettato un sistema di controllo, verifica e gestione delle stazioni sismiche basato sul protocollo **SNMP** e sul sistema operativo **Linux**. Il complesso meccanismo di scambio dati permette di sapere sempre e con certezza lo stato di funzionamento di ogni singola postazione installata in rete. Un sistema automatico avvisa in caso di malfunzionamento degli stadi periferici connessi. Si possono avere allarmi non solo sulle parti interne al sistema ma anche su quelle esterne come ad esempio gli stadi di alimentazione a bassa e alta tensione. Tutte le informazioni sono memorizzate localmente in un Data-Base chiamato MIB, la cui architettura personale INGV è stata registrata presso l'organo di controllo internazionale. Questa architettura costituisce un grosso passo avanti per semplificare la gestione centralizzata sia di reti piccole, grandi o grandissime.

Il Server SeisComp

A completamento del sistema che sfrutta il protocollo SNMP per la gestione centralizzata delle funzioni si aggiunge anche l'implementazione del Server SeisComp. Tale sistema è uno standard internazionale per la gestione e la fruizione dei dati sismici acquisiti. Attraverso questo mezzo è possibile memorizzare stream dati con diverse velocità di campionamento, è possibile trasferire le informazioni su diverse memorie di massa ed è possibile inviare dati su nodi diversi. GAlIA2 è una delle poche stazioni sismiche che consente la copia dati su economiche memorie trasportabili a interfaccia USB. L'architettura Software aperta permette all'utente di utilizzare molti sistemi di memorizzazione e consente inoltre di stare sempre al passo con gli sviluppi tecnologici. GAlIA2 può quindi comunicare via rete in tempo reale oppure integrarsi con collegamenti Dial-Up sia con modem connessi via cavo sia con modem che utilizzano la rete cellulare GSM-GPRS.

Prospezioni geofisiche a basso costo

Un'altra caratteristica di GAlIA2 è la capacità di operare sul campo in modo totalmente autonomo proponendosi come innovativo sistema trasportabile altamente modulare. Tale caratteristica consente a GAlIA2 di essere utilizzata come singola postazione autonoma ma nel contempo di integrarsi in Arrays multifunzionali anche di grandi dimensioni, facilitando la realizzazione di arrays per prospezioni geofisiche ad alte prestazioni e basso costo.

Il principale pregio di un sistema modulare potente e versatile e con architettura aperta è la capacità di adattarsi a tutti i tipi di installazione consentendo di superare le difficoltà progettuali tipiche di questo genere di realizzazioni. La sua geometria spaziale vi sorprenderà per le soluzioni tecniche adottate. Insomma una GAlIA2 polifunzionale e molto versatile, sempre aggiornata tecnologicamente e soprattutto a basso costo.

Modificare, personalizzare, adattare GAlIA2 sulla base delle esigenze degli utenti è un'ambizione che diventa realtà, i laboratori di progettazione e sviluppo sono ora dietro casa.

Una GAlIA2 per tutti!



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

<http://www.ingv.it>

ROMA

Via di Vigna Murata, 605 - 00143 Roma

NAPOLI

OSSERVATORIO VESUVIANO

Via Diocleziano, 328 - 80124 Napoli

CATANIA

Piazza Roma, 2 - 95123 Catania

MILANO

Via Bassini, 15 - 20133 Milano

PALERMO

Via Ugo La Malfa, 153 - 90146 Palermo

BOLOGNA

Via Donato Creti, 12 - 40128 Bologna

PISA

Via della Faggiola, 32 - 56126 Pisa