

Rapporti tecnici INGV

La campagna sismica del progetto
“Alto Adriatico” | Rapporto delle
attività 2010-2011

232



Direttore

Enzo Boschi

Editorial Board

Raffaele Azzaro (CT)

Sara Barsotti (PI)

Mario Castellano (NA)

Viviana Castelli (BO)

Rosa Anna Corsaro (CT)

Luigi Cucci (RM1)

Mauro Di Vito (NA)

Marcello Liotta (PA)

Simona Masina (BO)

Mario Mattia (CT)

Nicola Pagliuca (RM1)

Umberto Sciacca (RM1)

Salvatore Stramondo (CNT)

Andrea Tertulliani - Editor in Chief (RM1)

Aldo Winkler (RM2)

Gaetano Zonno (MI)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano - coordinatore

Tel. +39 06 51860068

Fax +39 06 36915617

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860055

Fax +39 06 36915617

redazionecen@ingv.it



Rapporti tecnici INGV

LA CAMPAGNA SISMICA DEL PROGETTO “ALTO ADRIATICO” | RAPPORTO DELLE ATTIVITÀ 2010-2011

Mario Anselmi¹, Milena Moretti², Ezio D'Alema², Mauro Buttinelli¹, Simona Carannante²,
Marco Cattaneo², Giancarlo Monachesi², Andrea Gasparini¹, Luigino Piccolini¹, Gianfranco Colasanti²,
Marco Colasanti², Pasquale De Gori², Claudio Chiarabba², Fedora Quattrocchi¹

¹INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione Sismologia e Tettonofisica)

²INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Centro Nazionale Terremoti)

232

Indice

Introduzione	5
1. Assetto geologico-strutturale e sismicità dell'area	5
2. L'esperimento "Alto Adriatico"	8
3. Analisi preliminare dei dati	14
4. Conclusioni	18
Ringraziamenti	18
Bibliografia	19
Allegato A: Schede tecniche delle prove di rumore	21
Allegato B: Schede tecniche delle stazioni sismiche	29

Introduzione

Nell'ambito degli studi effettuati dal Centro Nazionale Terremoti (CNT) e dalla Sezione Roma 1 - Tettonofisica e Sismologia dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), l'esperimento di sismica passiva associato al progetto "Alto Adriatico" si colloca in una serie di studi volti alla raccolta di dati sismologici in una ristretta area del territorio italiano, con il duplice scopo di monitorare sismicamente l'area interessata ed approfondire la ricerca su aree che, per loro caratteristiche geologiche e sismotettoniche peculiari, presentano elementi ancora fortemente dibattuti in ambito scientifico.

L'attività sismica del territorio italiano è monitorata per mezzo della Rete Sismica Nazionale (RSN), attualmente costituita da più di 300 stazioni sismiche permanenti [D'Alessandro et al., 2009; Delladio, 2011], a cui si aggiungono diverse reti permanenti locali e regionali in aree di maggiore interesse sia sismico che vulcanico. In caso di emergenze sismiche o nell'ambito di specifici progetti di ricerca è frequente l'uso di reti sismiche temporanee ad integrazione delle stazioni permanenti [Moretti e Govoni, 2011] con l'obiettivo di diminuire le distanze medie tra le singole stazioni, anche a meno di 10-15 km, in funzione dello studio di dettaglio che si vuole eseguire. Questa integrazione aiuta a migliorare la caratterizzazione del territorio dal punto di vista microsismico, migliorando la qualità delle localizzazioni degli eventi e diminuendo la soglia minima di magnitudo registrabile.

L'attività di campagna del progetto "Alto Adriatico" ha previsto l'acquisizione di nuovi dati di sismica passiva nell'area compresa tra le province marchigiane di Ancona e Pesaro-Urbino e quelle emiliano-romagnole di Rimini e Forlì-Cesena, al fine di migliorare le conoscenze sulla sismicità e sull'assetto geologico-strutturale profondo della regione.

Il seguente rapporto tecnico descrive l'insieme delle attività svolte durante la campagna sismologica realizzata tra il marzo del 2010 ed il marzo del 2011.

1. Assetto geologico-strutturale e sismicità dell'area

L'area di studio è situata nel settore nord orientale della penisola italiana e geologicamente comprende parte della catena appenninica settentrionale, dell'avanfossa ed avampaese padano-adriatico (Figura 1).

La catena appenninica si è sviluppata durante il Neogene ed il Quaternario al "tetto" di una placca (quella Adriatica) in subduzione verso ovest [Spakman, 1990; Amato et al., 1993; Chiarabba et al., 2005 e riferimenti contenuti].

L'arco orogenico umbro-marchigiano-romagnolo costituisce uno dei domini deformativi più esterni della catena appenninica settentrionale ("*Northern Apennines*" in Figura 1). L'arco è prevalentemente costituito da successioni sedimentarie Meso-Cenozoiche coinvolte nelle deformazioni compressive da sovrascorrimenti e pieghe verificatesi tra il Messiniano e il Plio-Pleistocene, con generale vergenza verso l'avampaese adriatico [Calamita et al., 1994; Lavecchia et al., 1994]. Dati paleomagnetici combinati con dati strutturali [Mattei et al., 1995; Speranza et al., 1997] dimostrano che l'arco orogenico umbro-marchigiano-romagnolo è propriamente un oroclino, ovvero una struttura orogenica arcuata che si è sviluppata a partire da un'originaria catena rettilinea o comunque meno arcuata dell'attuale (Figura 2). Per quanto riguarda lo stile strutturale, pellicolare o profondo, molti geologi dibattono se il livello di scollamento basale sia costituito prevalentemente dalle evaporiti Triassiche [Bally et al., 1986] o da una serie di faglie inverse che coinvolgono il basamento cristallino ed immergono verso ovest [Lavecchia et al., 1988; 1994]. Anche la cronologia della deformazione è fortemente dibattuta [e.g., Tavarnelli, 1993; De Donatis and Mazzoli, 1994], sebbene la catena si sia sviluppata prevalentemente con una serie di pieghe e sovrascorrimenti in sequenza (dal più antico al più giovane andando da ovest verso est). La compressione è ancora attiva in alcune porzioni adriatiche della catena [Lavecchia et al., 1994; Montone et al., 2004]. Il fronte della catena appenninica settentrionale comprende deformazioni compressive che si estendono fino all'avanfossa e, in alcuni casi, all'avampaese (Figura 1). A conferma di questi dati, le misure geodetiche mostrano una velocità di spostamento di circa 3-4 mm/anno verso nord est nella parte adriatica della catena appenninica [D'Agostino et al., 2009]. Gran parte di tali deformazioni sono sepolte sotto i sedimenti più recenti della Pianura Padana o sotto quelli del Mar Adriatico [Boccaletti et al., 2011]. Grazie alle numerose campagne di acquisizione dati per l'industria petrolifera, la maggior parte di tali strutture sono ben conosciute.

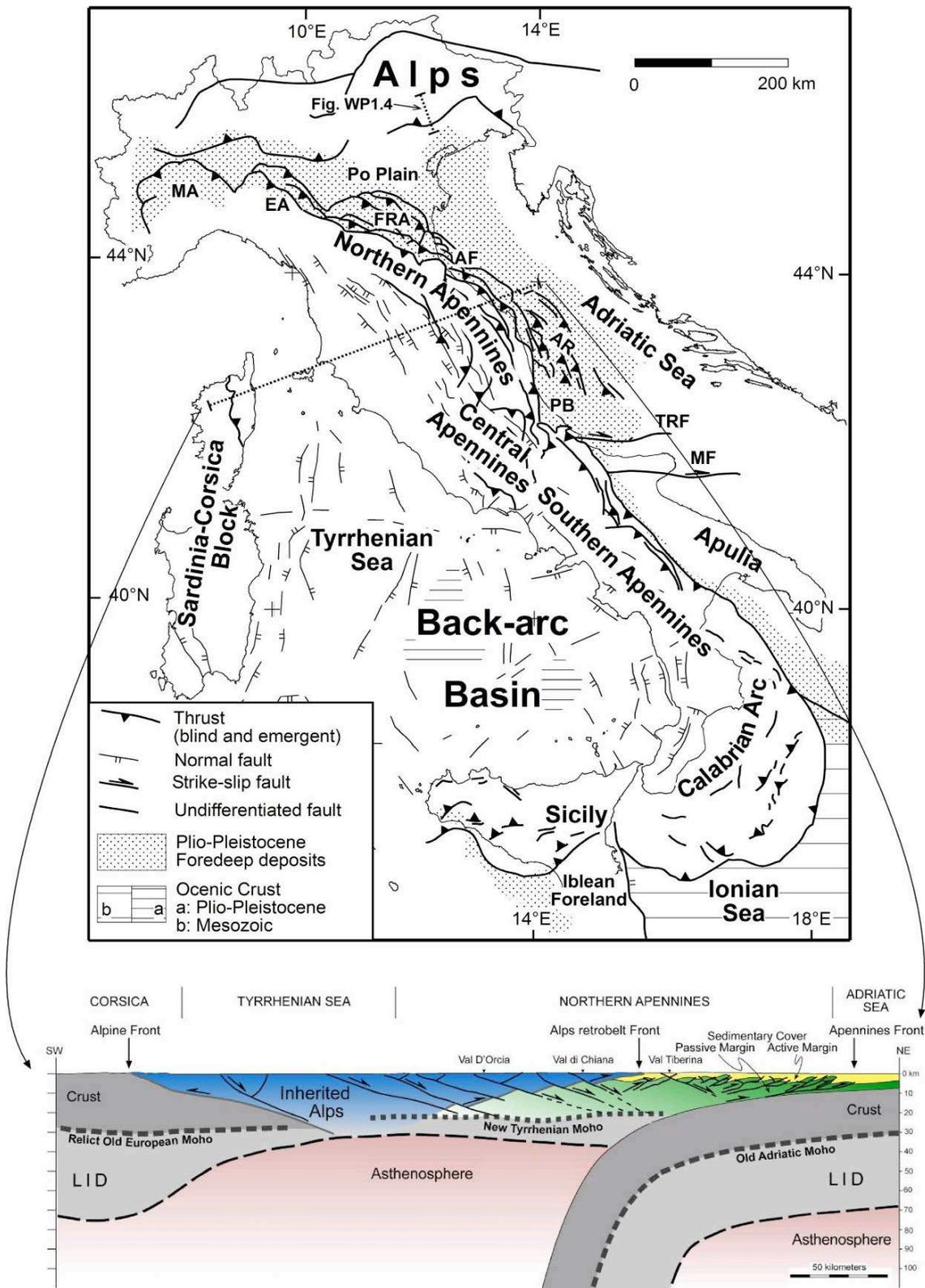


Figura 1. Carta tettonica d'Italia [da Scrocca et al., 2007]. I depositi di avanfossa sono delimitati dall'isobata 1000 m. MA = Arco del Monferrato; EA = Arco Emiliano; FRA = Arco Ferrarese-Romagnolo; AF = Pieghi Adriatiche; AR = Ridge Adriatico; PB = Bacino di Pescara; TF = Faglia delle Isole Tremiti; MF = Faglia di Mattinata. La sezione geologica litosferica (in basso) illustra l'assetto crostale mantellico (mantello superiore) tra la Corsica (ovest) ed il fronte nord-appenninico (est) [da Carminati et al., 2004].

In sintesi, si riconoscono tre archi orogenici principali che da ovest verso est vengono generalmente denominati come arco del Monferrato, arco Emiliano ed arco Ferrarese-Romagnolo. L'involuppo esterno di tali archi è costituito da superfici di sovrascorrimento che separano gli archi stessi dalla monoclinale Pedalpina. L'arco Ferrarese-Romagnolo comprende tre famiglie principali di pieghe che vengono generalmente indicate come pieghe Ferraresi, Romagnole ed Adriatiche. Ulteriori dati evidenziano che il settore adriatico della catena appenninica settentrionale è stato fortemente coinvolto in tempi recenti (Pliocene-Quaternario) nella deformazione compressiva (*thrusts* e pieghe). Il livello di scollamento di tali deformazioni è probabilmente costituito dalle evaporiti Triassiche alla base della successione carbonatica Meso-Cenozoica [Scrocca et al., 2007].

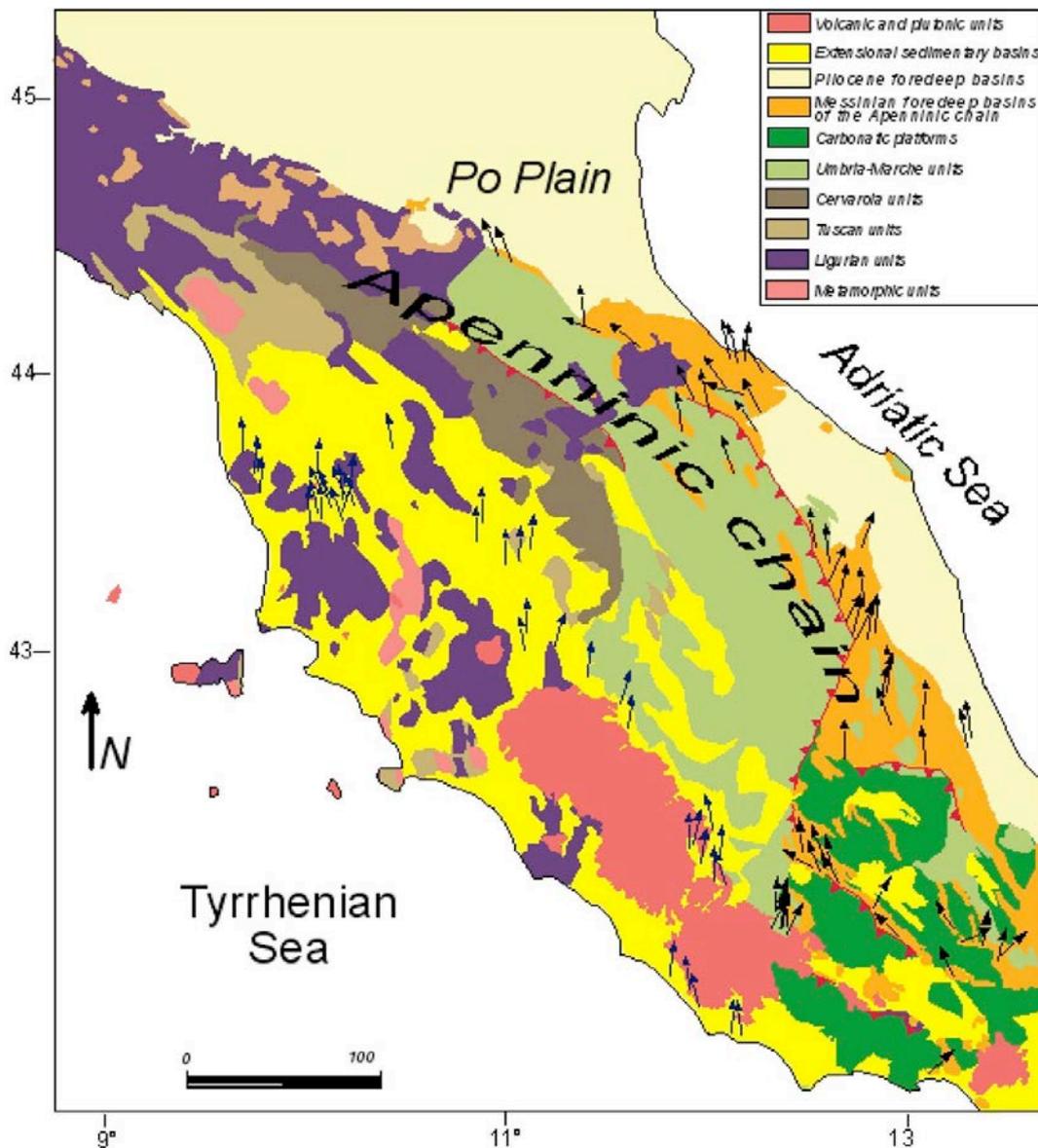


Figura 2. Principali unità litologiche dell'Appennino centro-settentrionale e declinazioni paleomagnetiche corrette relative alle unità Messiniano-Plioceniche [da Mattei et al., 1998].

Pur essendo la maggior parte delle strutture tettoniche presenti circa parallele alla catena appenninica, l'attività, recente ed attuale delle strutture più esterne, è ancora dibattuta [Argnani e Frugoni, 1997; Di Bucci e Mazzoli, 2002] andando in parte in contrasto con l'idea che vi sia un'attività attuale legata alla subduzione della placca adriatica sotto la catena appenninica settentrionale.

Dal punto di vista dell'attività sismica, il Catalogo della Sismicità Italiana [CSI¹ 1.1, Castello et al., 2006] riporta negli ultimi trent'anni circa 7000 terremoti la maggior parte dei quali concentrati nella parte interna della catena umbro-marchigiana, in una fascia ampia circa 20 km ed entro i 50-70 km di profondità [Chiarabba et al., 2005]. Lungo la costa adriatica e nella parte a mare vi è invece una minore attività sismica di magnitudo M_L compresa tra 0.1 e 3.9, entro i primi 30-40 km di profondità. La maggior parte degli eventi sismici registrati in quest'area sembra essere legata essenzialmente a strutture compressive (in particolare sovrascorrimenti) con vergenza verso ENE [Chiarabba et al., 2005; De Luca et al., 2009]. La sismicità di fondo, a partire dal 2002 ad oggi, si presenta nella parte più orientale dell'area essenzialmente sparsa, senza dar luogo a nessun tipo di sequenza (Figura 3).

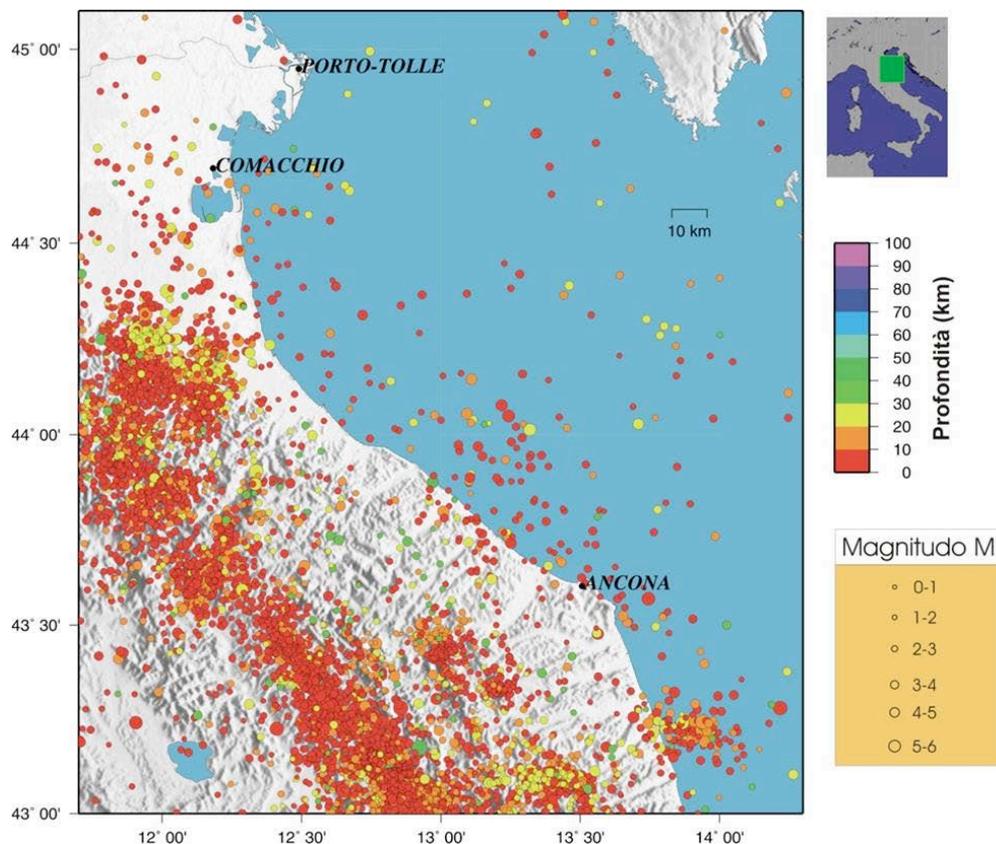


Figura 3. Sismicità dell'area oggetto di studio dal 1981 al 2010 [Fonte dati: CSI 1.1, Castello et al., 2006].

2. L'esperimento "Alto Adriatico"

La campagna di raccolta dei dati sismici nell'area dell'alto Adriatico, è stata pensata per migliorare la caratterizzazione, sotto il profilo tettonico e geodinamico, di un'area sismicamente attiva e storicamente colpita da diversi eventi sismici a carattere distruttivo (1786 M_W 5.67 Rimini, 1930 M_W 5.94 Senigallia, 1838 M_W 5.03 Pesaro, 1219 M_W 5.60 Ancona).

L'esperimento di sismica passiva, svoltosi per circa un anno a partire dal mese di marzo del 2010, ha previsto l'installazione di una rete sismica temporanea costituita da sei stazioni sismometriche a tre componenti e ad alta dinamica in acquisizione locale (Figura 4; Tabella 1). La rete sismica temporanea è stata disposta secondo un allineamento circa parallelo alla costa adriatica, andando a rendere localmente più fitte la maglia delle due reti permanenti presenti nell'area ovvero la RSN (Figura 4, triangoli verdi) e la Rete Sismometrica Marchigiana (RSM, in Figura 4, triangoli rossi) [D'Alema et al., 2011]. Questa integrazione era di fatto subordinata ad uno degli obiettivi primari dell'esperimento ovvero migliorare la detezione dei terremoti, aumentando il numero degli eventi registrati e diminuendo la soglia minima di magnitudo localizzabile.

¹ <http://csi.rm.ingv.it/>

L'assenza del trasferimento in tempo reale dei dati acquisiti ad un centro di raccolta dati, ha consentito il reale contributo fornito dalla rete sismica temporanea solamente in analisi dei dati *offline*.

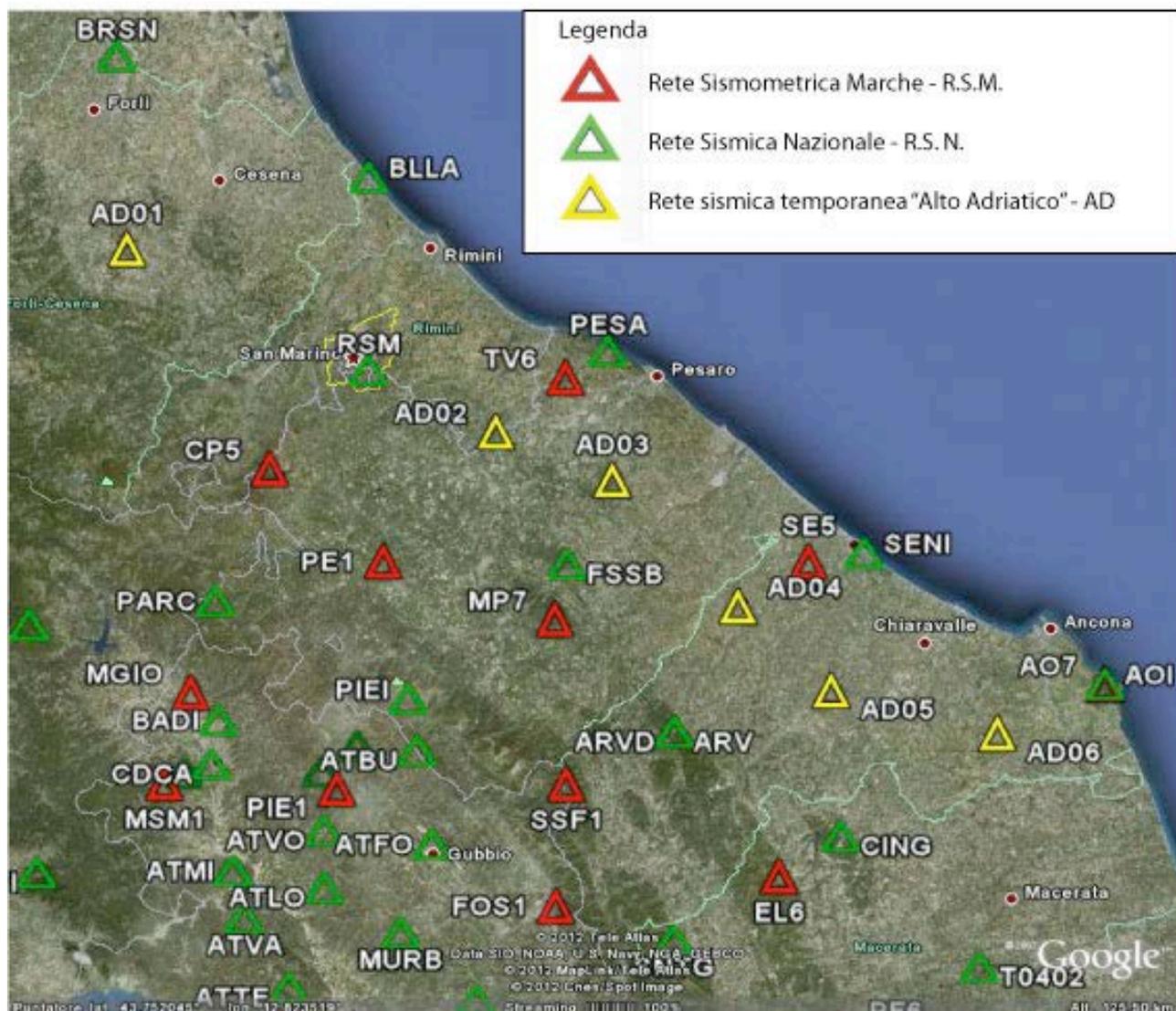


Figura 4. Mappa delle stazioni della rete sismica temporanea del progetto “Alto Adriatico” (triangoli in giallo). I triangoli rossi rappresentano le stazioni della RSM, mentre i triangoli verdi rappresentano le stazioni della rete permanente RSN.

Sigla Stazione	Località	Latitudine	Longitudine	Quota in m. (s.l.m.)
AD01	Meldola (FC)	44.058317	12.097453	284
AD02	Mondaino (RN)	43.847137	12.668672	355
AD03	Mombaroccio (PU)	43.790960	12.847424	377
AD04	Corinaldo (AN)	43.644000	13.039820	133
AD05	S. Marcello (AN)	43.545673	13.182184	216
AD06	Osimo (AN)	43.494416	13.436600	112

Tabella 1. Lista dei siti che hanno ospitato le stazioni temporanee della rete “Alto Adriatico”.

Ciascuna stazione era costituita di un acquisitore Reftek130-01² corredata da un sensore Lennartz LE 3D/5s³ (Figura 5). Le stazioni della rete sismica temporanea sono utilizzate in modalità *stand-alone*, con la configurazione solitamente utilizzata con tale strumentazione (gain 1 e passo di campionamento 125sps; Moretti et al., 2010).

Strumento	Tipo	Foto	Caratteristiche tecniche	
REF TEK 130-1 [REF TEK]	Acquisitore		Dinamica	> 135 dB
			Risoluzione	24 bit – 20 VPP
LE 3D/5s [Lennartz]	Sensore velocimetro		Poli	-0.888 / +0.888j -0.888 / -0.888j -0.220 / 0.000j
			Zeri	Triplo zero all'origine
			Banda frequenza	0.2 - 40 Hz
LE-3D lite [Lennartz]	Sensore velocimetro		Poli	-4.444 / +4.444j -4.444 / -4.444j -1.083 / 0.000j
			Zeri	Triplo zero all'origine
			Banda frequenza	1 - 80 Hz

Figura 5. Dall'alto verso il basso: il digitalizzatore Reftek modello 130-01 utilizzato sia per le prove di rumore che per la campagna di acquisizione, il sensore Lennartz LE 3D/5s e LE 3D lite utilizzati, rispettivamente, per la campagna dell'Alto Adriatico e precedentemente per le prove di rumore.

L'installazione della rete sismica temporanea è stata preceduta da una campagna per la ricerca di siti idonei al posizionamento di ciascuna stazione. Un sito può dirsi "ideale", o quantomeno idoneo all'installazione di una stazione sismica, se è caratterizzato da un basso rumore sismico di fondo. Questo si verifica di solito in luoghi lontani da centri abitati, infrastrutture (strade, autostrade, ferrovie, elettrodotti, ecc.), aree di cava, aree industriali, aree boschive, fiumi, laghi e mari. Tuttavia le condizioni "ideali" non si verificano facilmente, per cui l'idoneità o meno del sito viene stabilita sulla base di un accettabile compromesso tra questi fattori.

La registrazione del rumore di fondo di un sito e la successiva analisi del suo contenuto in frequenze costituisce una delle più utili ed importanti prove scientificamente valide per sancire l'idoneità o meno di un sito di installazione. Essa consiste in una registrazione speditiva di rumore, di almeno mezz'ora di durata e realizzata in condizioni climatiche favorevoli (in assenza di pioggia, di raffiche di vento, ecc) e lontane da

² <http://www.reftek.com/>

³ <http://www.lennartz-electronic.de/>

sorgenti meccaniche che inducono disturbi diretti sul sensore (SESAME project⁴). Il campionamento del digitalizzatore è solitamente scelto con una frequenza maggiore rispetto a quella che verrà utilizzata per il normale esercizio durante il monitoraggio, al fine di studiare frequenze più alte di rumore rispetto alle frequenze di esercizio. Il rumore registrato viene poi analizzato nelle sue caratteristiche spettrali.

Nel caso dell'esperimento "Alto Adriatico" per le prove di rumore è stato utilizzato un acquisitore sismico di tipo Reftek 130-1 ed un sensore sismico di tipo Lennartz LE 3D/lite a 1s, con un campionamento di 500 Hz. Il rumore registrato, di durata compresa circa tra 120 e 1400 minuti a seconda delle stazioni, è stato successivamente analizzato dal punto di vista spettrale con analisi di tipo *Power Spectral Density* (PSD) utilizzando finestre della durata di 60 secondi [McNamara and Buland, 2004]. Essa consiste nell'analizzare la potenza dell'onda per ciascuna frequenza o per ciascun intervallo di frequenza. Tale analisi viene espressa in decibel (dB) in funzione dei diversi valori di frequenza [Marzorati and Bindi, 2006] ed è generalmente utilizzata per verificare quanto il rumore sismico ambientale sia stazionario nel tempo. In questo caso è stato effettuato un unico spettro di registrazione con delle finestre di 60 secondi. Tale spettro, sebbene non sia in grado di studiare la stazionarietà del segnale, fornisce utili informazioni riguardo il disturbo presente nel sito. Oltre a questo è stato analizzato il rapporto spettrale tra le due componenti orizzontali del sensore (EW e NS) rispetto alla componente verticale (Z) per stimare in maniera rapida le caratteristiche di amplificazione del moto del suolo, in funzione della frequenza del segnale [Nakamura, 1989].

Nella determinazione e nell'analisi dei risultati ottenuti dalle prove di rumore bisogna tenere in considerazione anche le caratteristiche geologiche dei siti scelti: in questo esperimento, per esigenze di tipo geometrico, tutti i siti sono stati scelti in aree caratterizzate da un substrato essenzialmente di tipo torbiditico arenaceo e/o pelitico. In questo frangente, ciascun sito è stato scelto come compromesso tra la possibilità di avere un sito accettabile e la sua posizione geometrica.

Analizzando i risultati delle prove di rumore (Figura 6), si può osservare che al di sopra di 1 Hz i siti hanno disturbi che arrivano a circa -150 dB, posizionandosi a metà tra le curve di riferimento di Peterson [1993]. I siti con il livello di disturbo minori sono quelli relativi alle stazioni AD01 e AD02 (tra circa -165 e -155 dB) mentre il peggiore è quello relativo alla AD06 che raggiunge anche i -140 dB, sfiorando la curva superiore di Peterson. I risultati delle prove indicano che i siti scelti non sono nelle condizioni "ideali" ma hanno lo stesso la possibilità di registrare microsismicità locale. I più alti disturbi si notano mediamente soprattutto per le componenti orizzontali che subiscono probabilmente l'effetto di avere sorgenti di disturbo antropiche a distanze relativamente brevi e amplificazione locale dovuta agli strati sedimentari superficiali. Negli spettri i picchi dovuti a sorgenti antropiche sono riconoscibili dalla monocromaticità in frequenza.

Relativamente alle amplificazioni, l'H/V (Figura 7) di AD01 risulta privo di amplificazioni significative tra 1 e 30 Hz, escludendo i picchi dovuti a disturbi antropici. Le stazioni AD02, AD03 e AD06 non presentano amplificazioni importanti, anche se le componenti orizzontali risultano leggermente amplificate rispetto alla verticale in una banda di frequenza tra 1 e 20 Hz, indicando che i siti non sono su roccia e riflettendo probabilmente anche il fatto che i siti si trovano in situazioni non pianeggianti dal punto di vista topografico. L'unico sito con una chiara amplificazione è AD04, a circa o poco meno di 2 Hz, in cui l'H/V ha un valore tra 3 e 4. Questo indica la probabile presenza di alcune decine di metri di sedimento al di sopra del substrato roccioso. L'H/V di AD05, così come si presenta, è di difficile interpretazione e non mostra in maniera chiara dei picchi causati ad amplificazione di disturbi antropici e/o altri disturbi.

⁴ <http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm>

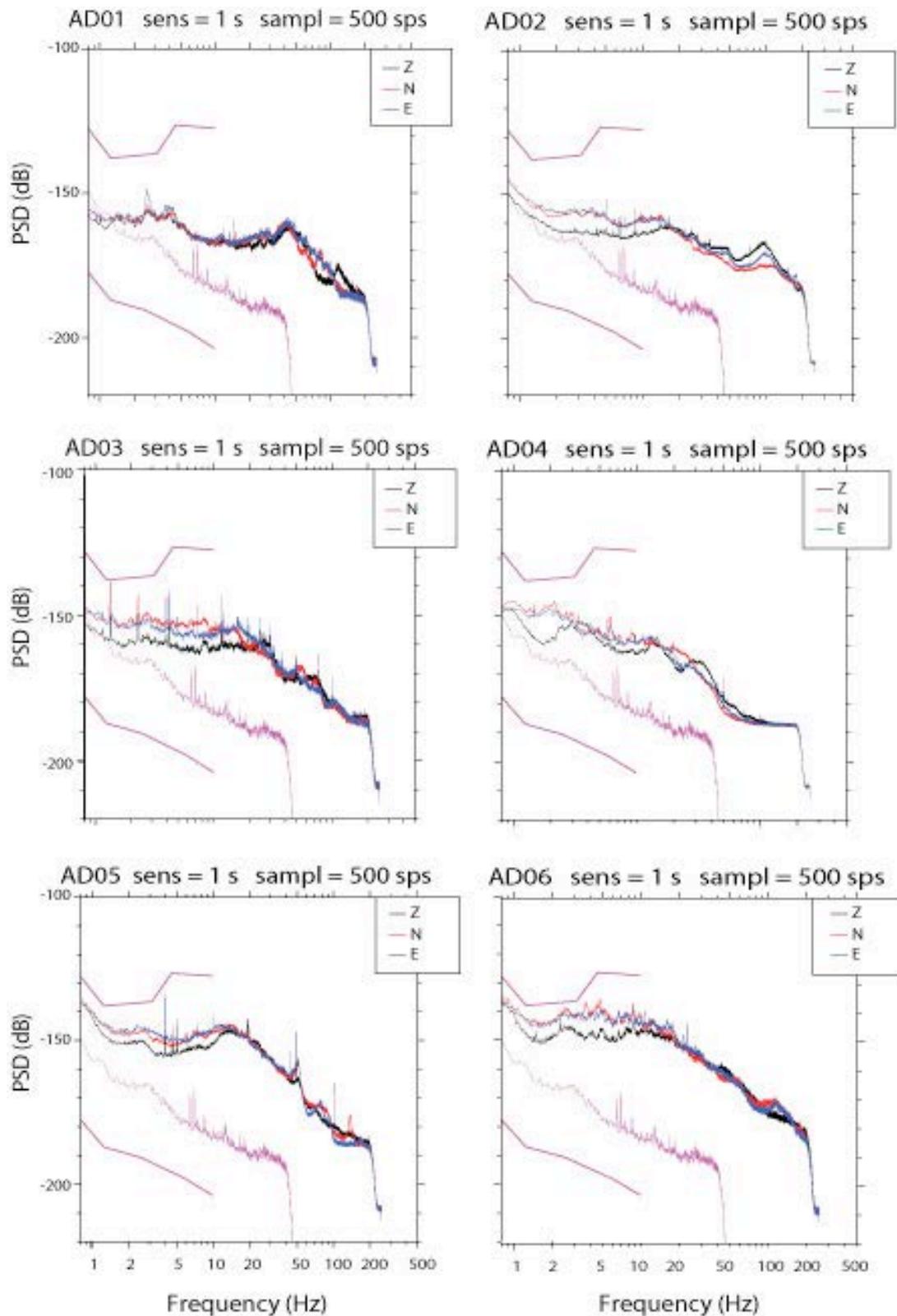


Figura 6. Analisi spettrale P.S.D. (Power Spectral Density) espressa in dB dei segnali di rumore di fondo registrati alle stazioni. Le due linee viola, in corrispondenza dei valori PSD di -110 e -160 dB, rappresentano gli intervalli indicati da Peterson (1993) entro i quali gli spettri reali dovrebbero mantenersi. La linea viola centrale rappresenta invece lo spettro di segnale caratteristico del sito italiano con il più basso livello di rumore di fondo, adottato come standard per il confronto.

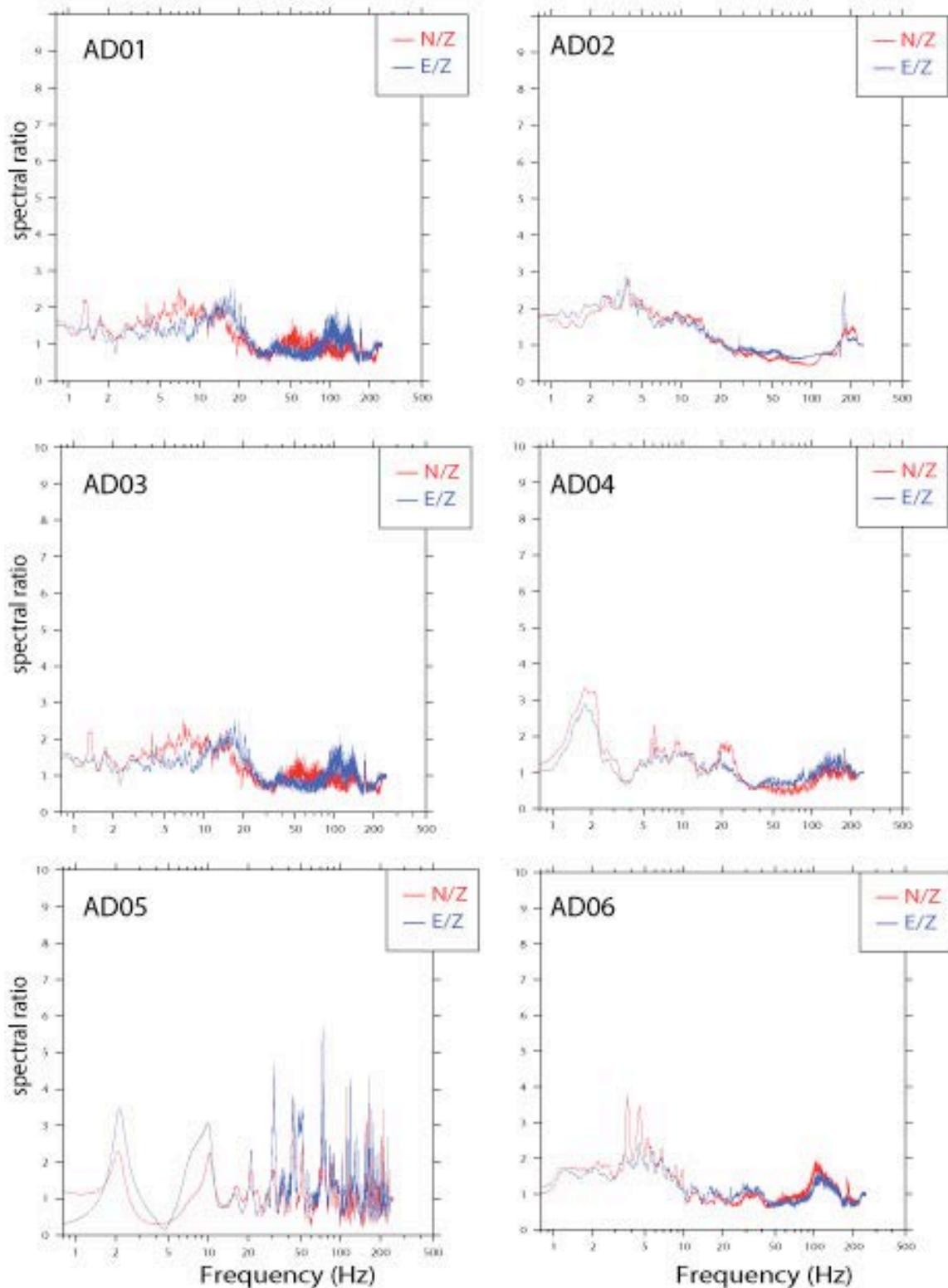


Figura 7. Rapporti spettrali tra ciascuna delle componenti orizzontali (E ed N) e la componente verticale (Z) della finestra di rumore registrata presso ciascun sito di stazione.

Nella Figura 8 sono mostrati gli andamenti del funzionamento di ciascuna stazione per il periodo dell'esperimento; la figura mostra come durante tutto il periodo dell'esperimento vi sia stata una efficienza della rete in linea con le previsioni attese ovvero superiore all'85%.

Purtroppo, come può capitare durante gli esperimenti di questo tipo, si è incorsi in diversi inconvenienti tecnico-logistici legati al vandalismo, al maltempo e ad inconvenienti di natura elettrica/elettronica, come ad esempio la stazione AD04, situata subito ad ovest del paese di Corinaldo (AN). Dalla Figura 8 si evidenzia, infatti, come il funzionamento della stessa stazione sia notevolmente ridotto rispetto alle altre stazioni della rete.

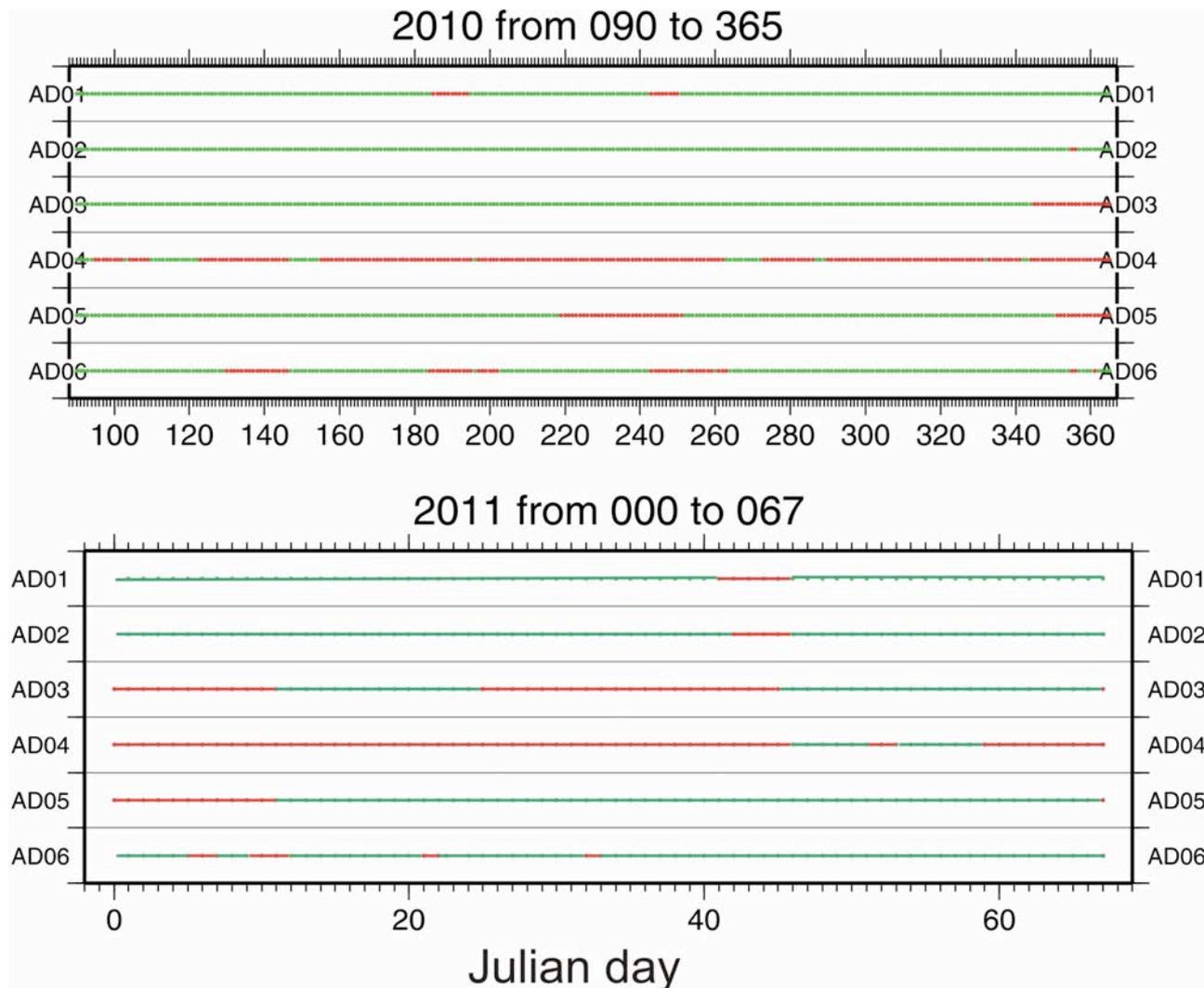


Figura 8. Schema del funzionamento temporale di ciascuna stazione sismica durante l’esperimento di sismica passiva “Alto Adriatico”. In verde sono riportati i giorni di funzionamento, in rosso quelli assenza di dati.

3. Analisi preliminare dei dati

Durante l’esperimento “Alto Adriatico” sono stati acquisiti circa 150 Gb di dati sismometrici in continuo in formato proprietario Reftek. Tali dati, nel rispetto di un’apposita clausola posta all’interno della convenzione tra la compagnia committente e finanziatrice del progetto e l’INGV, saranno ristretti nella loro distribuzione fino alla fine dell’anno 2016. Come oramai d’uso per i dati della rete sismica mobile del CNT [Moretti et al., 2010] i dati in continuo dell’esperimento saranno comunque inseriti all’interno dell’archivio europeo di condivisione di dati sismologici *European Integrated Data Archive* [EIDA⁵, Mazza et al, 2011] in formato SEED come riservati. Ciascuna delle stazioni dell’esperimento è stata registrata presso il sito

⁵ <http://eida.rm.ingv.it/>

dell'*International Seismological Centre* (ISC⁶).

Nelle prime analisi del dataset, sono state messe a confronto le localizzazioni dei terremoti registrati dalla sola RSN (Figura 9a) e dalla stessa integrata con i dati della RSM e della rete temporanea "Alto Adriatico" (Figura 9b) per capire se ci fosse un reale miglioramento in quantità e qualità dei dati acquisiti.

In effetti il dataset delle reti integrate, mostra un numero di eventi localizzati maggiore (circa 20) di cui la maggior parte di $M_L < 1$. Inoltre si osserva una migliore definizione della distribuzione della sismicità che appare maggiormente concentrata nei primi 5 km di profondità. Probabilmente le stazioni temporanee hanno contribuito sia a registrare eventi non visibili con la sola RSN che a migliorarne la qualità.

La parte di dati acquisiti, relativa alla sismicità e microsismicità locale, ha permesso di registrare circa 600 terremoti di magnitudo M_L compresa fra 0.3 e 4.4 con i quali verranno effettuati studi di tomografia sismica locale e studi di sismotettonica. In Figura 10 un esempio di evento sismico registrato dalla rete sismica integrata.

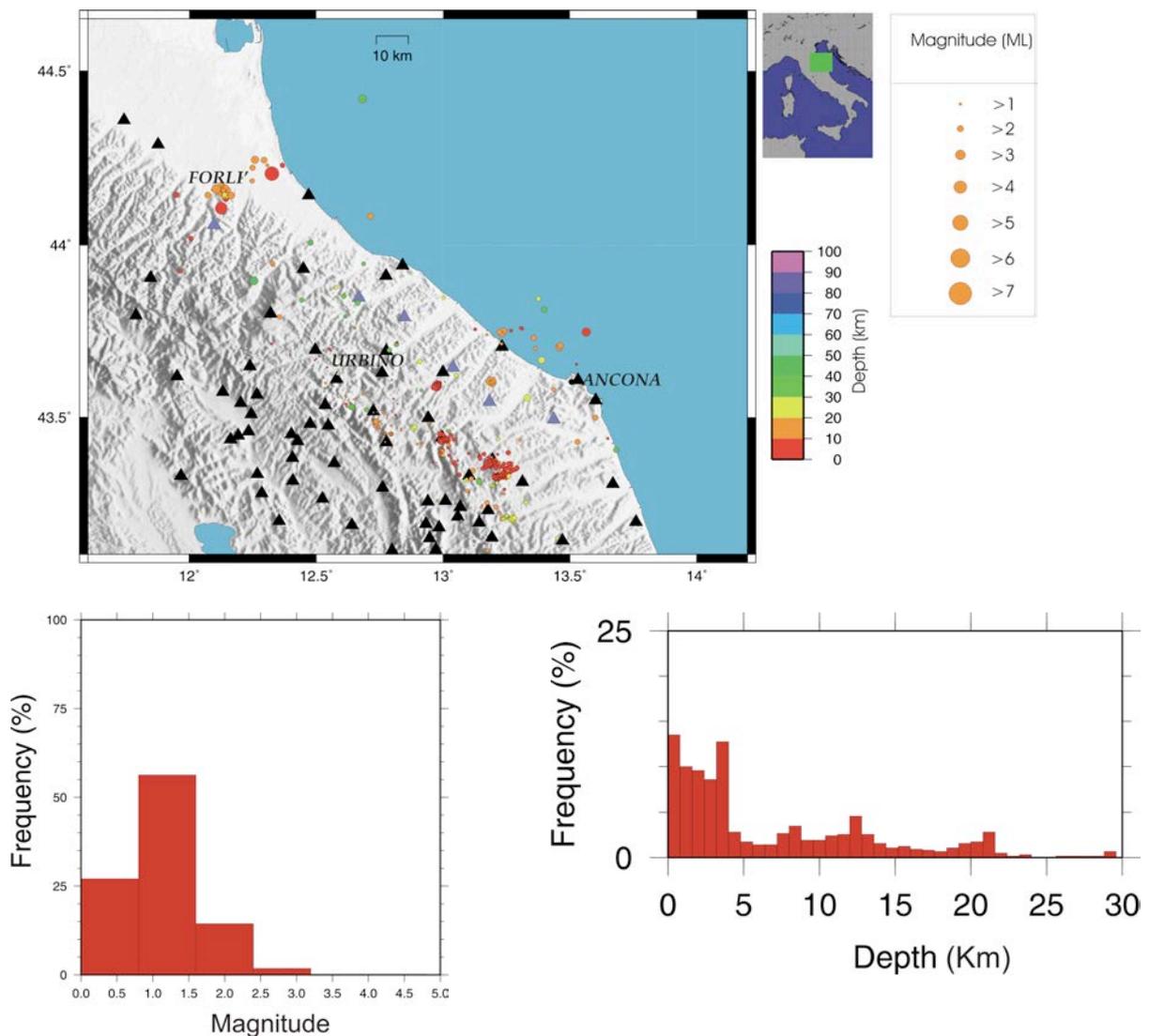


Figura 9a. In alto è mostrata la mappa della distribuzione della sismicità. I triangoli neri rappresentano le stazioni utilizzate per la registrazione e la localizzazione. In basso la distribuzione della magnitudo (a sinistra) e in profondità (a destra) della sismicità registrata dalla sola RSN (Fonte dati: Iside).

⁶ <http://www.isc.ac.uk>

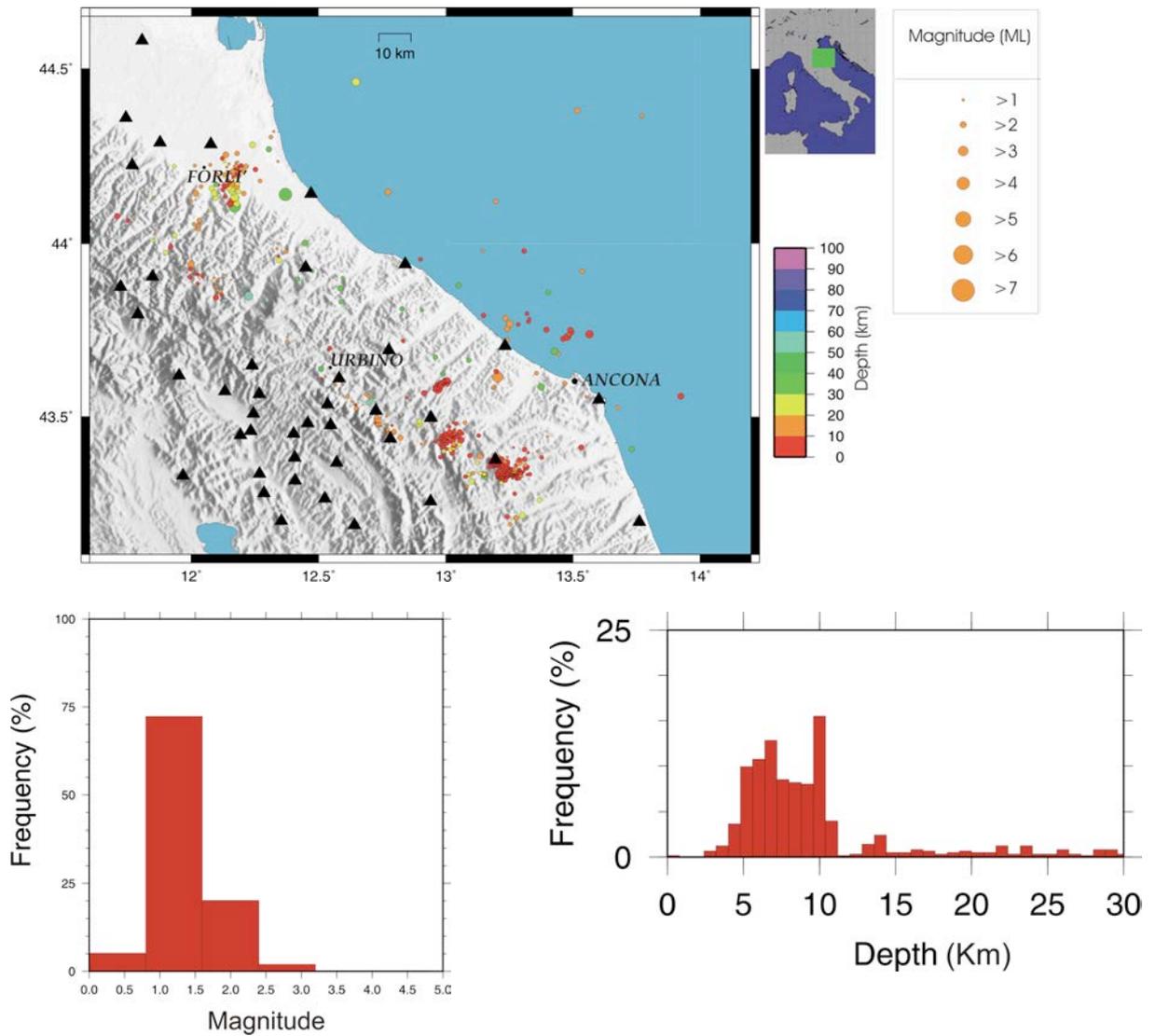


Figura 9b. In alto è mostrata la mappa della distribuzione della sismicità. I triangoli neri rappresentano le stazioni della RSN e della RSM, mentre i triangoli azzurri rappresentano le stazioni della rete temporanea “Alto Adriatico” utilizzate per la registrazione e la localizzazione. In basso la distribuzione della magnitudo (a sinistra) e in profondità (a destra) della sismicità localizzata dall’integrazione delle diverse reti (Fonte dati: Iside).

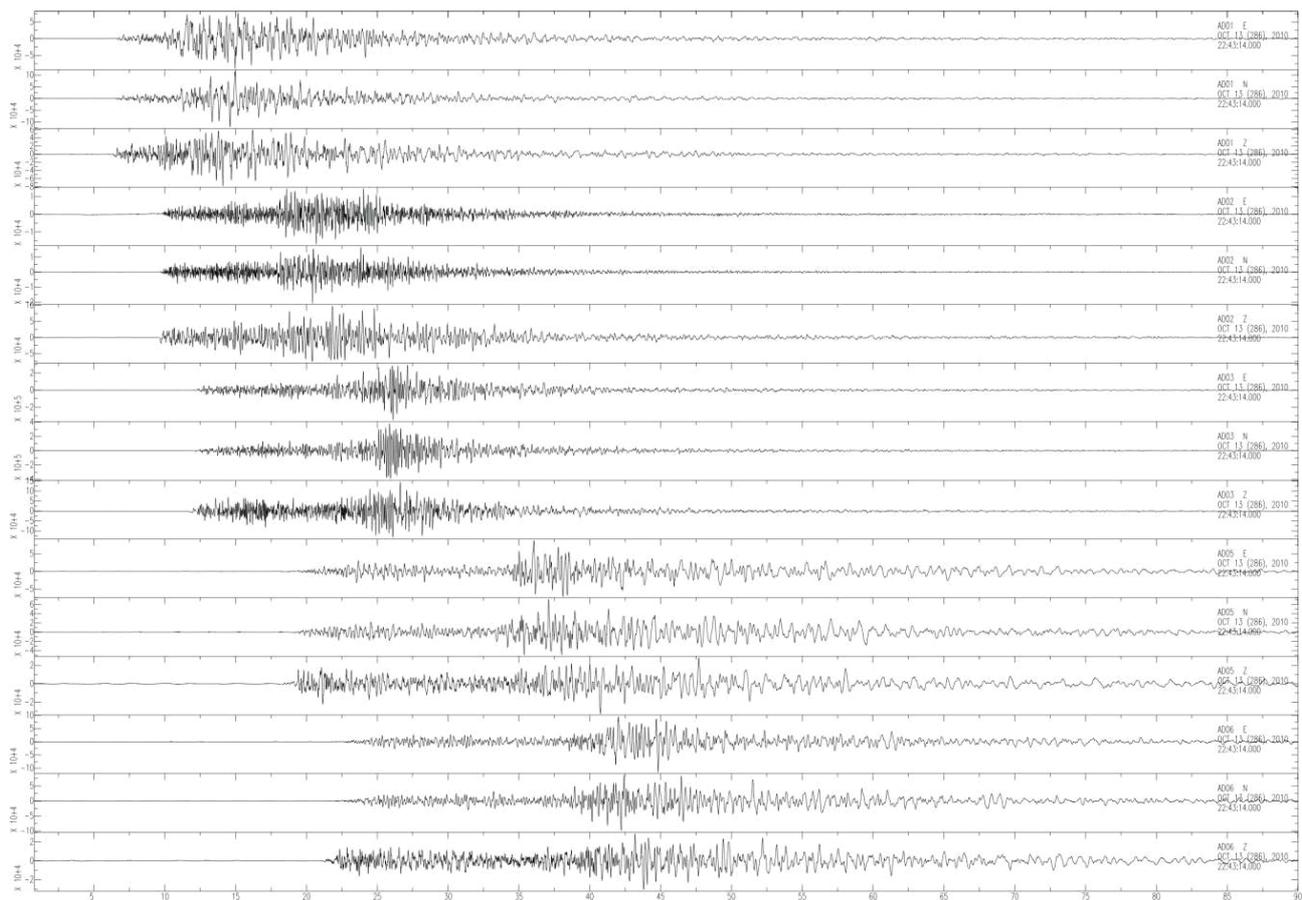


Figura 10. Forme d'onda registrate dalla rete sismica per l'evento di Rimini del 13 ottobre 2010.

In considerazione della geometria della RSN, la disposizione della rete mobile è risultata essere congeniale anche alla registrazione di telesismi, con i quali investigare l'assetto della crosta profonda e del mantello superiore al di sotto di tutta l'area. Nel dataset sono presenti circa 250 eventi telesismici ($M_w > 5.5$) che saranno utilizzati per studi di tomografia telesismica ed analisi di *Receiver Functions*, per determinare sia le velocità sismiche sia le discontinuità sismiche maggiori a profondità della crosta profonda e del mantello superiore (Figura 11).

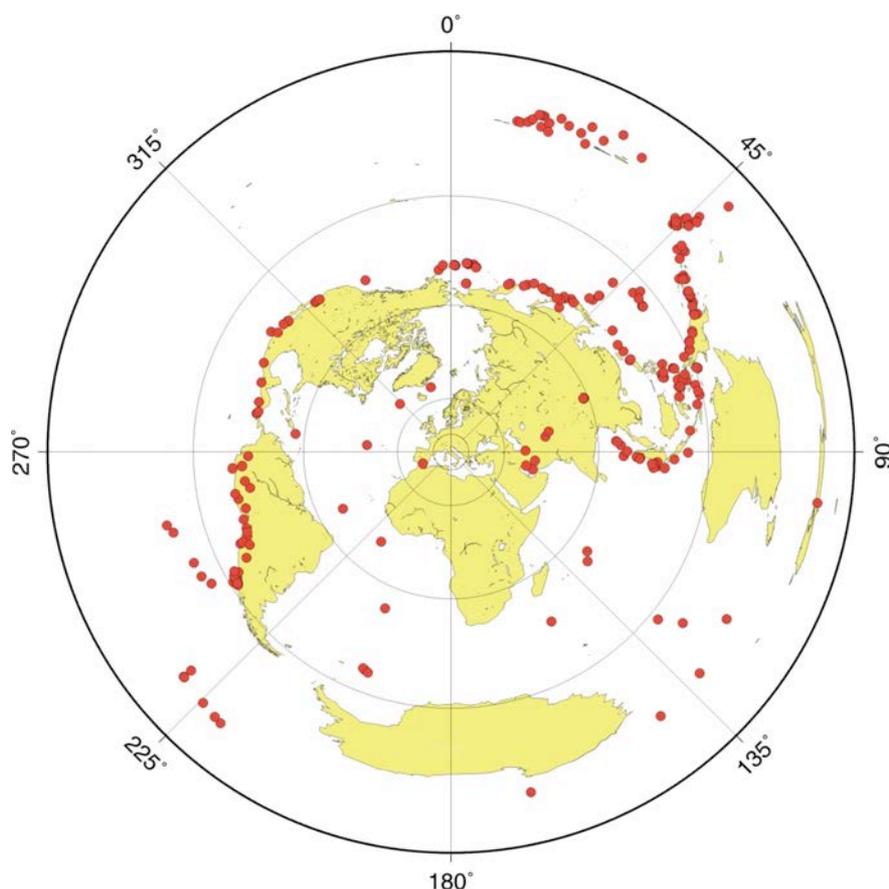


Figura 11. Mappa degli ipocentri dei 250 telesismi registrati durante l'esperimento.

4. Conclusioni

L'esperimento di sismica passiva "Alto Adriatico", svolto tra il marzo 2010 e il marzo 2011, ha permesso di acquisire un dataset continuo di dati sismici che saranno utilizzati, integrando il dataset ai dati provenienti dalle due reti sismiche permanenti, RSN e RSM, allo scopo di rilevare più nel dettaglio la sismicità e la microsismicità locale.

Essi potranno essere utilizzati per studi relativi alla ricostruzione della struttura crostale superficiale e profonda dell'area di studio, nonché per studi di sismicità indotta e analisi delle direzioni principali di fagliazione e/o fratturazione crostali.

Le registrazioni degli eventi telesismici verranno utilizzati sia per studi di tomografia sia per elaborazioni con la tecnica di *Receiver Functions analysis*, al fine di determinare la presenza di forti contrasti di velocità e per la ricostruzione delle discontinuità sismiche a scala crostale. Questo permetterà di raggiungere un dettaglio maggiore nella definizione del contesto tettonico e geodinamico di questo settore di margine adriatico.

Ringraziamenti

Un ringraziamento particolarmente sentito va innanzitutto ai proprietari dei terreni interessati dall'esperimento, per la disponibilità da loro mostrata nelle fasi di installazione, manutenzione e scaricamento dei dati durante tutto il progetto. Un ringraziamento particolare va a Lucia Margheriti e Simone Marzorati per i loro preziosi suggerimenti.

Si ringrazia la CO.RE.MO. (COmmisione REte MObile) del CNT per aver concesso l'utilizzo di tutta la strumentazione necessaria alla realizzazione della campagna sismica.

Infine, un sentito ringraziamento va infine al Laboratorio di Sismologia del CNT in particolare Alberto Delladio, Aladino Govoni, Fabio Criscuoli e Lucian Giovani per aver fornito tutto il supporto tecnico.

Bibliografia

- Amato, A., Alessandrini, B., Cimini, G., Frepoli, A., Selvaggi, G. (1993). Active and remnant subducted slabs beneath Italy: evidence from seismic tomography and seismicity. *Annali di Geofisica*, Vol. XXXVI (2), pp. 201-214.
- Argnani, A. and Frugoni, F. (1997). Foreland deformation in the Central Adriatic and its bearing on the evolution of the Northern Apennines. *Annali di Geofisica*, Vol. XL (3), June 1997.
- Bally, A.W., Burbi, L., Cooper, C. and Ghelardoni, L. (1986). Balanced sections and seismic profiles across the Central Apennines. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 35, pp. 257-310.
- Boccaletti, M., Corti, G. and Martelli, L. (2011). Recent and active tectonics of the external zone of the Northern Apennines (Italy). *International Journal of Earth Sciences*, Vol. 100, 6, pp. 1331-1348.
- Calamita, F., Cello, G., Deiana, G. and Paltrinieri, W. (1994) - Structural styles, chronology rates of deformation, and time-space relationships in the Umbria-Marche thrust system (central Apennines, Italy). *Tectonics* 13(4): doi: 10.1029/94TC00276. issn: 0278-7407.
- Carminati, E. and Doglioni, C. (2004). Europe - Mediterranean tectonics, in: *Encyclopedia of Geology*, Elsevier, pp. 135-146.
- Castello B., Selvaggi, G., Chiarabba, C., Amato, A. (2006). CSI Catalogo della sismicità italiana 1981-2002, Versione 1.1. INGV-CNT, Roma. <http://www.ingv.it/CSI/>
- Cattaneo, M., D'Alema, E., Frapiccini, M., Marzorati, S. e Monachesi, G., (2011). Sistemi di alimentazione della rete Alto Alta Val Tiberina. Riassunti estesi I° Workshop Tecnico "Monitoraggio sismico del territorio nazionale: stato dell'arte e sviluppo delle reti di monitoraggio sismico" Roma 20 | 21 dicembre 2010. *Miscellanea INGV N° 10*, pp. 91-93. ISSN 2039-6651.
- Chiarabba, C., Jovane, L., Di Stefano, R. (2005). A new view of Italian seismicity using 20 years of instrumental recordings. *Tectonophysics*, 395, pp. 251– 268.
- D'Agostino, N., Mantenuto, S., D'Anastasio, E., Avallone, A., Barchi, M., Collettini, C., Radicioni, F., Stoppini, A., Fastellini, G. (2009). Contemporary crustal extension in the Umbria–Marche Apennines from regional CGPS networks and comparison between geodetic and seismic deformation. *Tectonophysics*, 476. Issues 1–2, pp. 3-12.
- D'Alema, E, Cattaneo, M., Frapiccini, M., Marzorati, S., Monachesi, G. e Ferretti, M. (2011). Rete Sismometrica Marchigiana e sua integrazione con la RSN e Rete AVT. In Cattaneo M e Moretti M, eds. Riassunti estesi I° Workshop Tecnico "Monitoraggio sismico del territorio nazionale: stato dell'arte e sviluppo delle reti di monitoraggio sismico" Roma 20 | 21 dicembre 2010. *Miscellanea INGV N° 10*, pp. 19-21. ISSN 2039-6651.
- D'Alessandro, A., Luzio, D., D'Anna, G., Mangano, G., Messina, N. (2009). Valutazione di reti sismiche tramite simulazione: applicazione alla rete sismica INGV. 28° Convegno Nazionale GNGTS. 16 - 19 novembre 2009. Trieste.
- De Donatis, M. and Mazzoli, S. (1994). Kinematic evolution of thrust-related structures in the Umbro-Romagnolo Parautochthon (Northern Apennines, Italy). *Terra Nova* 6, pp. 563-574.
- Delladio A. (2011). Monitoraggio sismico del territorio nazionale. In “Riassunti del I° Workshop Tecnico del TTC1.1 | 20-21 dicembre 2010”. In Cattaneo M e Moretti M, eds. Riassunti estesi I° Workshop Tecnico "Monitoraggio sismico del territorio nazionale: stato dell'arte e sviluppo delle reti di monitoraggio sismico" Roma 20 | 21 dicembre 2010. *Miscellanea INGV N° 10*, pp. 11-16. ISSN 2039-6651.
- De Luca, G., Cattaneo, M., Monachesi, G., Amato, A. (2009). Seismicity in Central and Northern Apennines integrating the Italian national and regional networks. *Tectonophysics*, Vol. 476, Issues 1–2, pp. 121-135.
- Di Bucci, D. and Mazzoli, S. (2002). Active tectonics of the Northern Apennines and Adria geodynamics: new data and a discussion. *Journal of Geodynamics*, 34, pp. 687-707.
- DISS Working Group (2010). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.1.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, © INGV 2010 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - All rights reserved.
- Lavecchia, G, Minelli, G, Pialli, G. (1988). The Umbria-Marche arcuate fold-belt (Italy). *Tectonophysics*, 146, pp. 125-137.
- Lavecchia, G., Brozzetti F., Barchi M., Keller J., Menichetti M. (1994). Seismotectonic zoning in East-Central Italy deduced from the analysis of the Neogene to present deformations and related stress

- field. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 106, pp. 1107–1120.
- Marzorati, S., Bindi, D. (2006). Ambient noise levels in north central Italy. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 7, Q09010, doi: 10.1029/2006GC001256.
- Mattei, M., Funiciello, R. and Kissel, C. (1995). Paleomagnetic and structural evidence for Neogene block rotations in the Central Apennines, Italy, *J. Geophys. Res.*, 100, 17, 863- 17, pp. 883, 1995.
- Mattei M., Speranza F., Sagnotti L., Funiciello R., Faccenna C. (1998). Paleomagnetic constraints to the tectonic evolution of the northern Italian Peninsula. *Mem. Soc. Geol. It.*, 52, pp. 469-478.
- Mazza, S., Bono, A., Lauciani, V., Marcocci, C., Mandiello, A., Margheriti, L., Mele, F., Moretti, M., Pintore, S., Quintiliani, M., Scognamiglio, L. e Selvaggi, G., (2011). L'archiviazione e la distribuzione dei dati sismologici del CNT e l'integrazione dei dati della RSM. In: "Monitoraggio sismico del territorio nazionale: stato dell'arte e sviluppo delle reti di monitoraggio sismico", a cura di M. Cattaneo e M. Moretti, *Miscellanea INGV*, N°10, 131-134.
- McNamara, D.E. and Buland, R.P. (2004). Ambient Noise Levels in the Continental United States, *Bull. seism. Soc. Am.*, 94, pp. 1517-1527.
- Mele F., Castello B., Marchetti A., Marcocci C., Moro R. (2007). ISIDe, Italian Seismological Instrumental and parametric Database: una pagina web per interrogare il Bollettino Sismico Italiano. 26° Convegno Nazionale GNGTS, 13-15 novembre, Roma.
- Montone, P., Mariucci, MT, Pondrelli, S., Amato, A. (2004). An improved stress map for Italy and surrounding regions (Central Mediterranean). *J. Geophys. Res.*, 109, B10410, doi:10.1029/2003JB002703.
- Moretti, M. e Govoni, A. (2011). La Rete Sismica Mobile del CNT e la Co.Re.Mo. In Cattaneo M e Moretti M, eds. *Riassunti estesi I° Workshop Tecnico "Monitoraggio sismico del territorio nazionale: stato dell'arte e sviluppo delle reti di monitoraggio sismico"* Roma 20 | 21 dicembre 2010. *Miscellanea INGV*, N°10; 51-54. ISSN 2039-6651.
- Moretti M., Govoni A., Colasanti G., Silvestri M., Giandomenico E., Silvestri S., Criscuoli F., Giovani L., Basili A., Chiarabba C. e Delladio A. (2010). La Rete Sismica Mobile del Centro Nazionale Terremoti. *Rapporti Tecnici INGV* N°137.
- Moretti, M., Govoni, A., Lauciani, V., Mandiello, A.G., Marcocci, C., Margheriti, L., Mazza, S. e Pintore, S., (2010). Il nuovo archivio dati sismologico integrato dell'INGV per gli esperimenti sismici temporanei. *Riassunto esteso 29° Convegno Nazionale GNGTS - Prato 26-28 ottobre 2010*, 80-81.
- Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *QR Railway Tech. Res. Inst.*, 30, 1.
- Peterson, J. (1993). Observation and modeling of seismic background noise, *U.S. Geol. Surv. Tech. Rept.*, 93-322, 1-95, 1993.
- SESAME project <http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm>.
- Scrocca, D., Carminati, E., Doglioni, C., and Marcantoni, D. (2007). Slab retreat and active shortening along the Central-Northern Apennines, in *Thrust Belts and Foreland Basins, From Fold Kinematics to Hydrocarbon System*, edited by O. Lacombe and F. Roure, pp. 471 – 487, Springer Verlag, Berlin.
- Spakman, W. (1990). Tomographic images of the upper mantle below central Europe and the Mediterranean. *Terra Nova*, 2: 542–553. doi: 10.1111/j.1365-3121.1990.tb00119.x.
- Speranza, F. and Sagnotti, L. (1997). Tectonic of the Umbria-Marche-Romagna Arc (central northern Apennines, Italy): New paleomagnetic constraints. *Journal of Geophys. Res.*, Vol. 102, N. B2, pp. 3153-3166.
- Tavarnelli, E. (1993). Evidence for fault-propagation folding in the Umbria-Marche-Sabina Apennines (Central Italy). *Annales Tectonicae*, 7, 2, pp. 87-99.

allegato A

Schede tecniche
delle prove di rumore

AD01

**Val di Noce
Meldola - FC**

Data della prova: 09/02/2010

Start: 13.55 UTC | **Stop:** 16.01

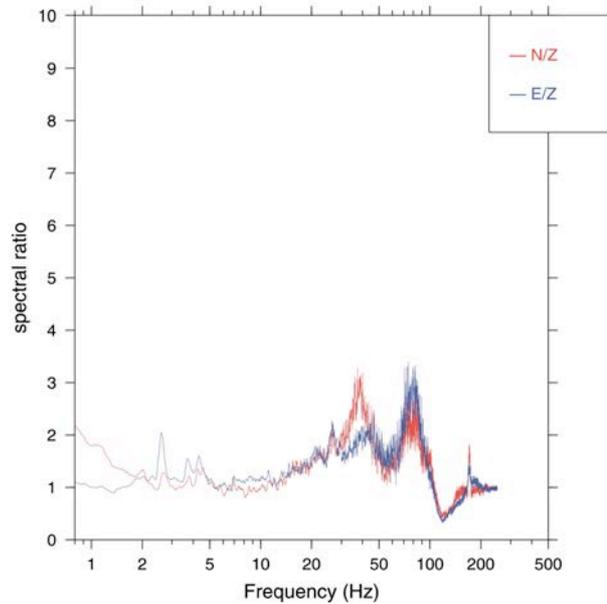
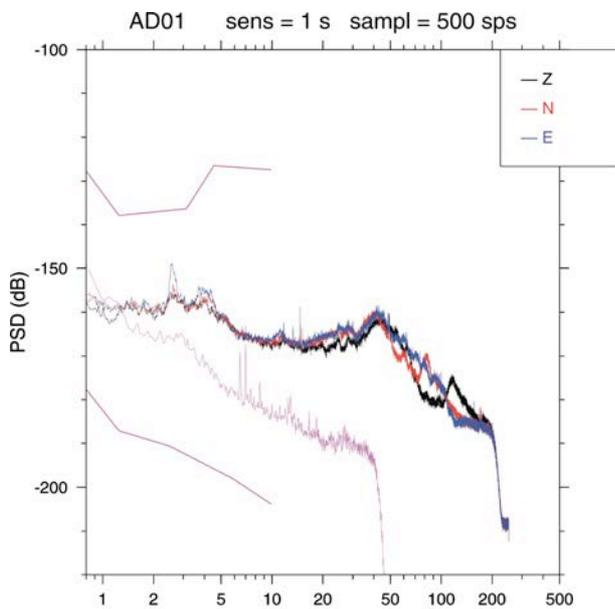
Coordinate: 44.058327N - 12.097345E - 284 m s.l.m.

Acquisitore: Reftek 130 – 1

Sensore: Lennartz LE 3Dlite 1s

Gain: 1

Passo di campionamento: 500 sps



Analisi spettrale PSD dei segnali di rumore di fondo registrati nel sito della stazione AD01.

AD02

**Monteciocchi
Mondaino - RN**

Data della prova: 09-10/02/2010

Start: 09.56 UTC | **Stop:** 08.49

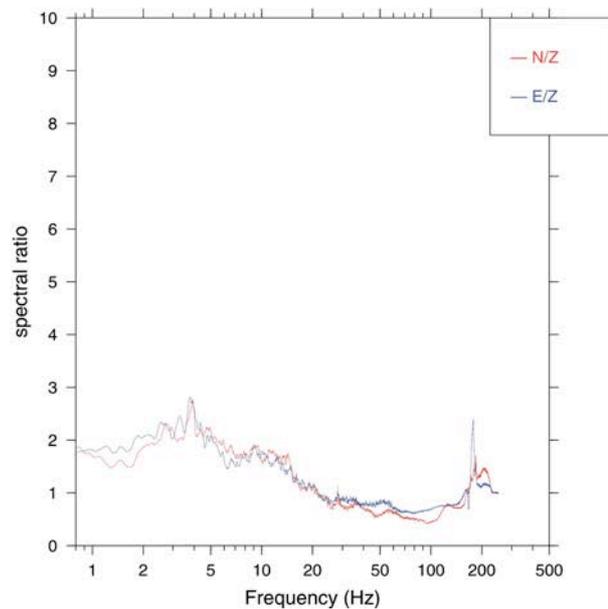
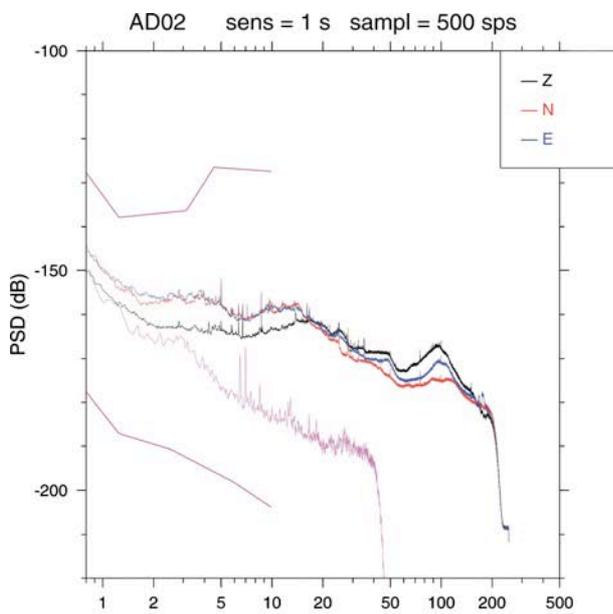
Coordinate: 43.847100 N - 12.668700 E – 355 m s.l.m.

Acquisitore: Reftek 130 – 1

Sensore: Lennartz LE 3Dlite 1s

Gain: 1

Passo di campionamento: 500 sps



Analisi spettrale PSD dei segnali di rumore di fondo registrati nel sito della stazione AD02.

AD03

Mombaroccio - PU

Data della prova: 09/02/2010

Start: 08.52 UTC | **Stop:** 11.09 UTC

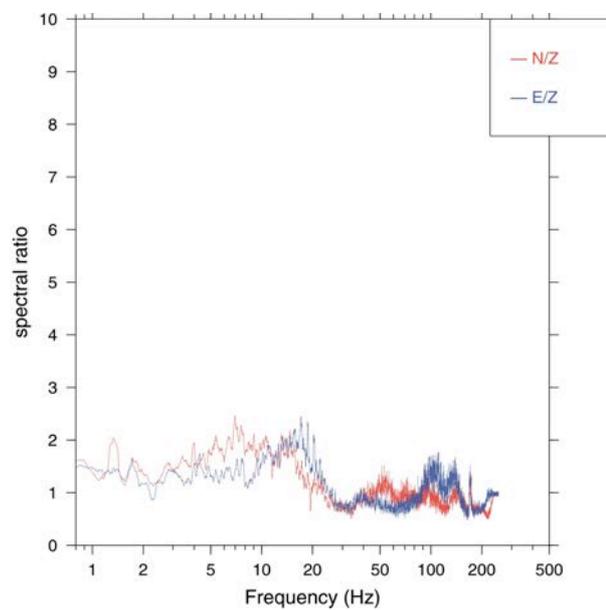
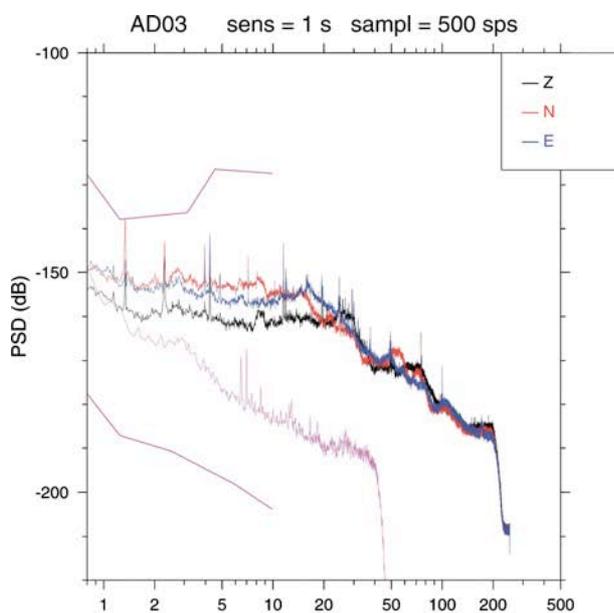
Coordinate: 43.791060N - 12.847667E – 378 m s.l.m.

Acquisitore: Reftek 130 – 1

Sensore: Lennartz LE 3Dlite 1s

Gain: 1

Passo di campionamento: 500 sps



Analisi spettrale PSD dei segnali di rumore di fondo registrati nel sito della stazione AD03.

AD04

Corinaldo - AN

Data della prova: 08-09/02/2010

Start: 16.44 UTC | **Stop:** 07.37 UTC

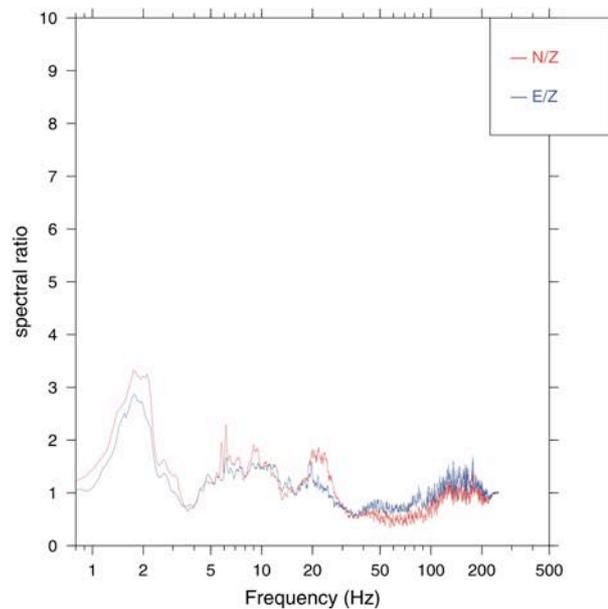
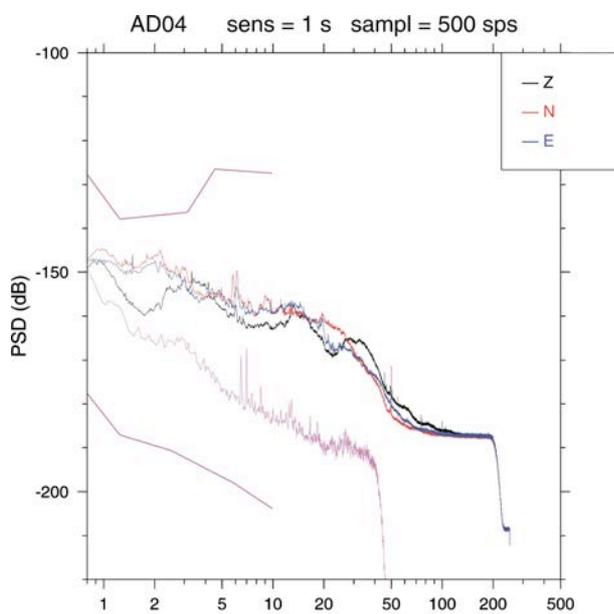
Coordinate: 43.64400N - 13.039800E – 146 m s.l.m.

Acquisitore: Reftek 130 – 1

Sensore: Lennartz LE 3Dlite 1s

Gain: 1

Passo di campionamento: 500 sps



Analisi spettrale PSD dei segnali di rumore di fondo registrati nel sito della stazione AD04.

AD05

San Marcello - AN

Data della prova: 08/02/2010

Start: 11.07 UTC | **Stop:** 15.37 UTC

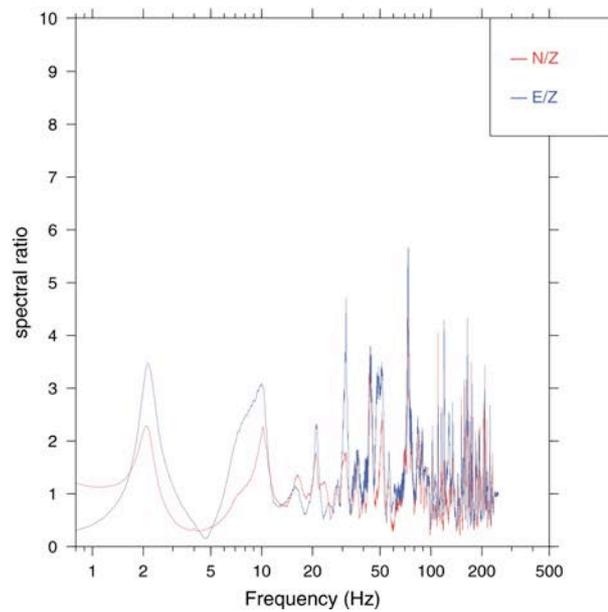
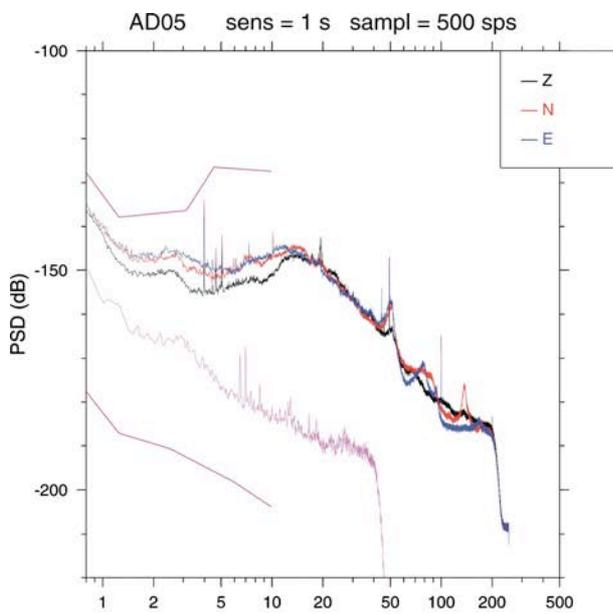
Coordinate: 43.545700N - 13.182200E – 112 s.l.m.

Acquisitore: Reftek 130 – 1

Sensore: Lennartz LE 3Dlite 1s

Gain: 1

Passo di campionamento: 500 sps



Analisi spettrale PSD dei segnali di rumore di fondo registrati nel sito della stazione AD05.

AD06

**Osteriola
Osimo - AN**

Data della prova: 08/02/2010

Start: 12.18 UTC | **Stop:** 14.25 UTC

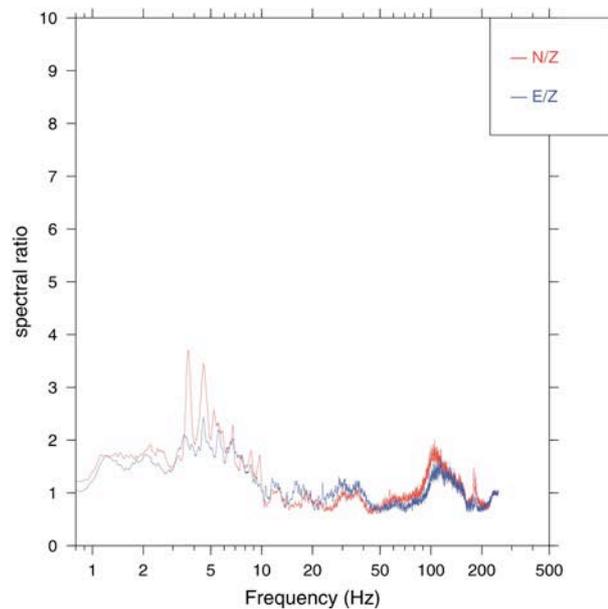
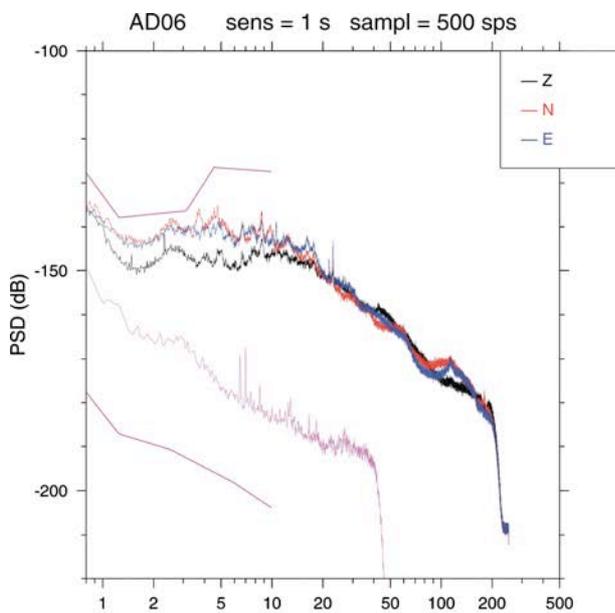
Coordinate: 43.494400N - 13.436600E -120 m s.l.m.

Acquisitore: Reftek 130 – 1

Sensore: Lennartz LE 3Dlite 1s

Gain: 1

Passo di campionamento: 500 sps



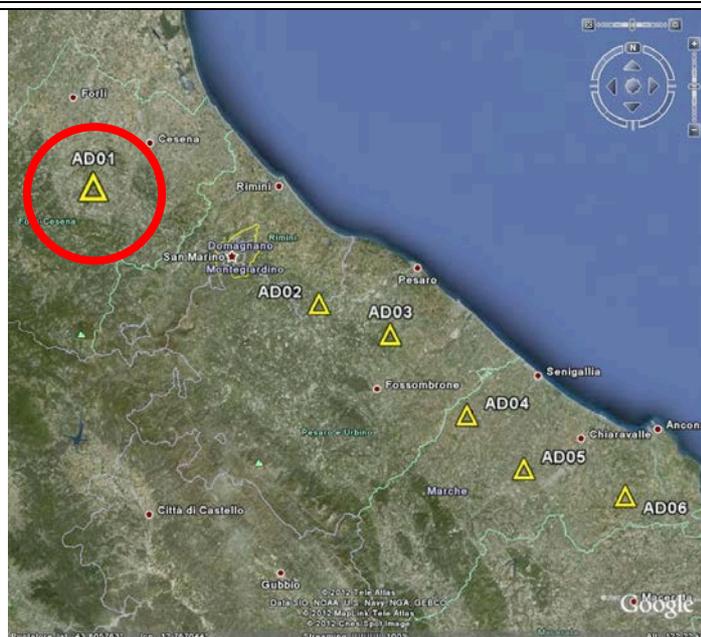
Analisi spettrale PSD dei segnali di rumore di fondo registrati nel sito della stazione AD06.

allegato B

Schede tecniche
delle stazioni sismiche

AD01

Val di Noce Meldola - FC



Data installazione: 31/03/2010

Data disinstallazione: 08/03/2011

Coordinate:

Lat: 44.05830 N

Lon: 12.09750 E

Alt: 284 m s.l.m.

Acquisitore: Reftek 130 – 1

Sensore: Lennartz LE 3Dlite 1s

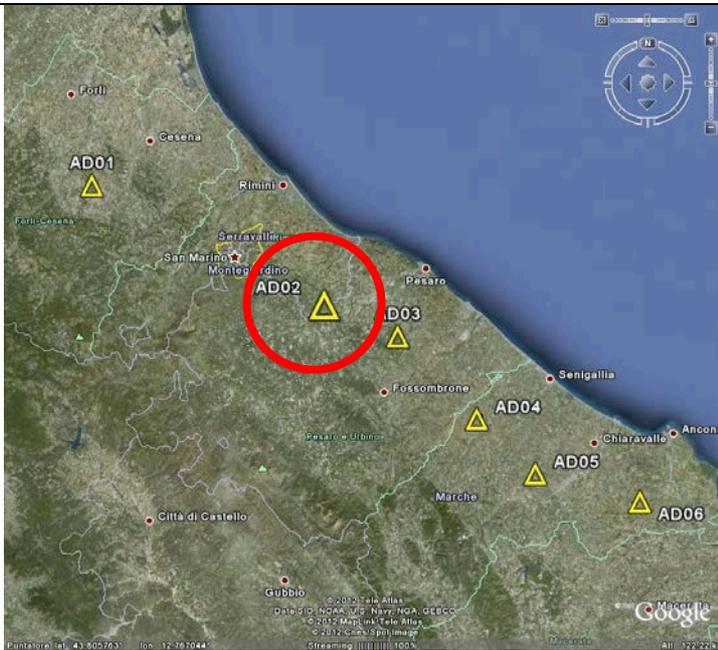
Gain: 1

Passo di campionamento: 125 sps



AD02

**Monteciocchi
Mondaino - RN**



Data installazione: 30/03/2010

Data disinstallazione: 08/03/2011

Coordinate:

Lat: 43.8471 N

Lon: 12.6687 E

Alt: 355 m s.l.m.

Acquisitore: Reftek 130 – 1

Sensore: Lennartz LE 3Dlite 1s

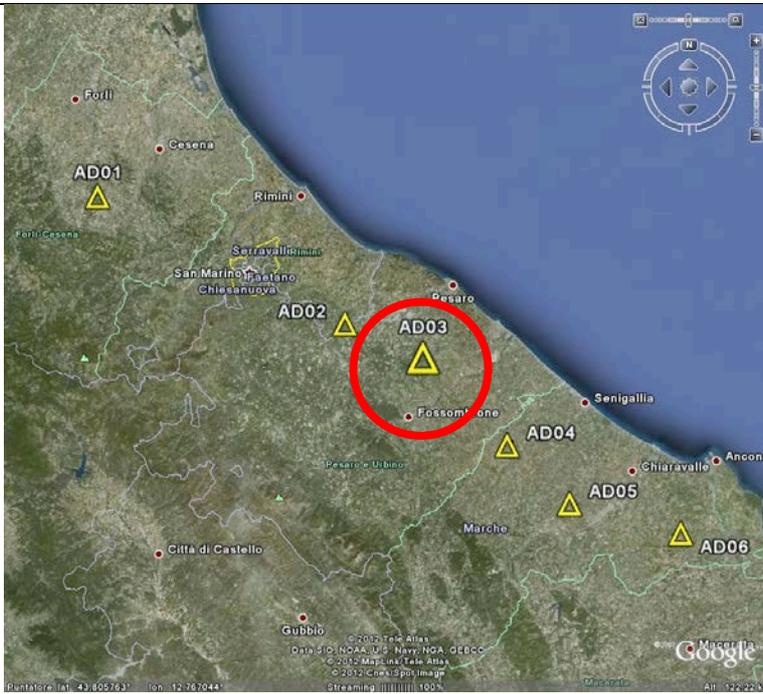
Gain: 1

Passo di campionamento: 125 sps



AD03

Mombaroccio - PU



Data installazione: 29/03/2010

Data disinstallazione: 08/03/2011

Coordinate:
Lat: 43.7910 N
Lon: 12.8474 E
Alt: 377 m s.l.m.

Acquisitore: Reftek 130 – 1

Sensore: Lennartz LE 3Dlite 1s

Gain: 1

Passo di campionamento: 125 sps



AD04

Corinaldo - AN



Data installazione: 31/03/2010

Data disinstallazione: 08/03/2011

Coordinate:

Lat: 43.6440 N

Lon: 13.0398 E

Alt: 133 m s.l.m.

Acquisitore: Reftek 130 – 1

Sensore: Lennartz LE 3Dlite 1s

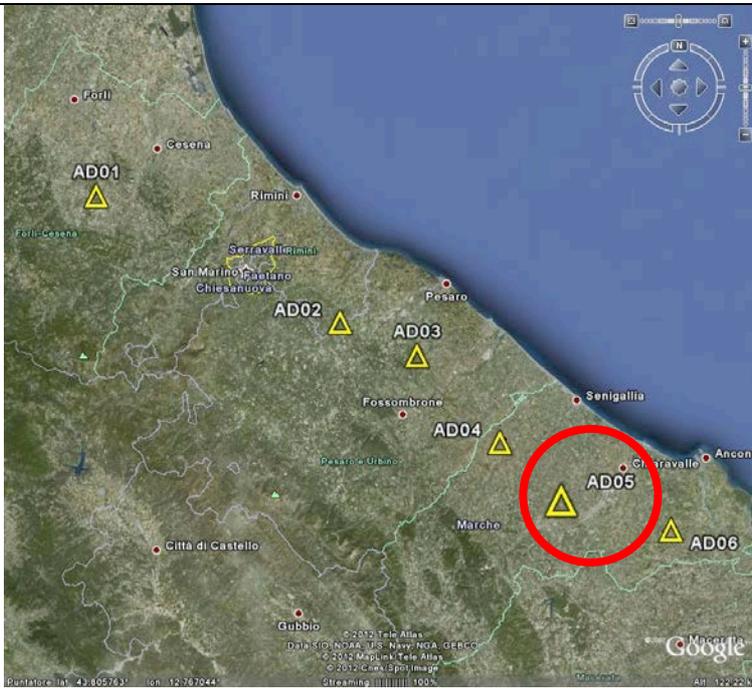
Gain: 1

Passo di campionamento: 125 sps



AD05

San Marcello - AN



Data installazione: 30/03/2010

Data disinstallazione: 08/03/2011

Coordinate:

Lat: 43.5457 N

Lon: 13.1822 E

Alt: 216 m s.l.m.

Acquisitore: Reftek 130 – 1

Sensore: Lennartz LE 3Dlite 1s

Gain: 1

Passo di campionamento: 125 sps



AD06

Osimo - AN



Data installazione: 30/03/2010

Data disinstallazione: 08/03/2011

Coordinate:
Lat: 43.4944N
Lon: 13.4366 E
Alt: 112 m sml

Acquisitore: Reftek 130 – 1

Sensore: Lennartz LE 3Dlite 1s

Gain: 1

Passo di campionamento: 125 sps



Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2012 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

<http://www.ingv.it>



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia