

2013

RICAMAR2013: Rilievi per la caratterizzazione dell'ambiente marino nel Golfo di Pozzuoli. Rapporto sull'attivit  13 - 31 maggio 2013

C. Carmisciano

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Fezzano, Italy

M. Grassi

Marina Militare Italiana

L. Cocchi

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Fezzano, Italy

Giuseppe Masetti

University of New Hampshire, Durham, giuseppe.masetti@unh.edu

M. Filippone

Istituto di Scienze Marine

See next page for additional authors

Follow this and additional works at: <https://scholars.unh.edu/ccom>

 Part of the [Oceanography and Atmospheric Sciences and Meteorology Commons](#)

Recommended Citation

Carmisciano, C.; Grassi, M.; Cocchi, L.; Masetti, Giuseppe; Filippone, M.; Ricci, E.; Pratellesi, M.; Ivaldi, Roberta; Iannaccone, Giovanni; Berrino, Giovanna; De Natale, Guisepe; Chiodini, Giovanni; Caliro, Sefano; DIALTI, Lorenzo; Guideri, Matteo; Muccini, F.; Stefanelli, Paolo; Orsi, Giovanni; Iafolla, Valerio; Italiano, Francesco; Buongiorno, Fabrizia; Stramondo, Salvatore; Bignami, Christian; Polcari, Marco; and Silvestri, Malvina, "RICAMAR2013: Rilievi per la caratterizzazione dell'ambiente marino nel Golfo di Pozzuoli. Rapporto sull'attivit  13 - 31 maggio 2013" (2013). *Ropporti Tecnici INGV*. 1285.
<https://scholars.unh.edu/ccom/1285>

Authors

C. Carmisciano, M. Grassi, L. Cocchi, Giuseppe Masetti, M. Filippone, E. Ricci, M. Pratellesi, Roberta Ivaldi, Giovanni Iannaccone, Giovanna Berrino, Guisepe De Natale, Giovanni Chiodini, Sefano Caliro, Lorenzo Diali, Matteo Guideri, F. Muccini, Paolo Stefanelli, Giovanni Orsi, Valerio Iafolla, Francesco Italiano, Fabrizia Buongiorno, Salvatore Stramondo, Christian Bignami, Marco Polcari, and Malvina Silvestri

Rapporti tecnici INGV

**RICAMAR2013: Rilievi per la
Caratterizzazione dell'Ambiente MARino
nel Golfo di Pozzuoli.
Rapporto sull'attività 13 - 31 maggio 2013**

262



Editorial Board

Andrea Tertulliani - Editor in Chief (INGV - RM1)

Luigi Cucci (INGV - RM1)

Nicola Pagliuca (INGV - RM1)

Umberto Sciacca (INGV - RM1)

Alessandro Settimi (INGV - RM2)

Aldo Winkler (INGV - RM2)

Salvatore Stramondo (INGV - CNT)

Gaetano Zonno (INGV - MI)

Viviana Castelli (INGV - BO)

Marcello Vichi (INGV - BO)

Sara Barsotti (INGV - PI)

Mario Castellano (INGV - NA)

Mauro Di Vito (INGV - NA)

Raffaele Azzaro (INGV - CT)

Rosa Anna Corsaro (CT)

Mario Mattia (INGV - CT)

Marcello Liotta (Seconda Università di Napoli, INGV - PA)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano - coordinatore

Tel. +39 06 51860068

Fax +39 06 36915617

Rossella Celi

Tel. +39 095 7165851



Rapporti tecnici INGV

RICAMAR2013: RILIEVI PER LA CARATTERIZZAZIONE DELL'AMBIENTE MARINO NEL GOLFO DI POZZUOLI. RAPPORTO SULL'ATTIVITÀ 13 - 31 MAGGIO 2013

Cosmo Carmisciano¹, Marco Grassi², Luca Cocchi¹, Giuseppe Masetti², Marco Filippone², Elisa Ricci², Marta Pratellesi², Roberta Ivaldi³, Giovanni Iannaccone⁴, Giovanna Berrino⁴, Giuseppe De Natale⁴, Giovanni Chiodini⁴, Stefano Caliro⁴, Lorenzo Djaliti³, Matteo Guideri³, Filippo Muccini¹, Paolo Stefanelli¹, Giovanni Orsi⁴, Valerio Iafolla⁵, Francesco Italiano⁶, Fabrizia Buongiorno⁷, Salvatore Stramondo⁷, Christian Bignami⁷, Marco Polcari⁷, Malvina Silvestri⁷

¹INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione Geomagnetismo, Aeronomia e Geofisica Ambientale)

²Marina Militare Italiana (Nave "Ammiraglio Magnaghi")

³Istituto Idrografico della Marina, Genova

⁴INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Napoli - Osservatorio Vesuviano)

⁵Istituto Nazionale di Astrofisica, Roma

⁶INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Palermo)

⁷INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Centro Nazionale Terremoti)

262

Indice

Introduzione	7
1. La campagna RICAMAR2013	9
2. Rilievo batimetrico	18
3. Rilievo magnetometrico	24
4. Indagine stratigrafica e sedimentologica	27
5. Ispezioni visive e campionamenti mediante ROV	34
6. Campionamenti della colonna d'acqua: acquisizione di parametri fisici, della velocità di propagazione del suono mediante profilatore SVP ed analisi dei parametri idrologici	35
7. Sperimentazione di un <i>side scan sonar</i> (SSS) ad alta risoluzione	41
8. Mappatura termica dell'area di indagine attraverso l'integrazione di misure lungo la colonna d'acqua compendiate da dati satellitari ottici e SAR di superficie	43
Ringraziamenti	52
Bibliografia	53

Introduzione

La caldera risorgente dei Campi Flegrei è, insieme ai vulcani Somma-Vesuvio, Ischia e Procida, uno degli elementi dominanti dell'assetto geologico e morfologico dell'area napoletana. Si tratta di un sistema vulcanico ancora attivo la cui persistente attività è testimoniata dall'ultima eruzione, avvenuta nel 1538, dall'intensa attività fumarolica e idrotermale che perdura da millenni e dai frequenti eventi bradisismici, con deformazione del suolo accompagnata da sismicità e variazioni delle caratteristiche chimico-fisiche dei fluidi emessi dalle fumarole. La caldera comprende la parte occidentale della città di Napoli e si estende nel Golfo di Pozzuoli. La caratteristica principale dell'attuale attività vulcanica della caldera è il movimento lento del suolo a carattere episodico e di grande ampiezza (bradisismo), accompagnato da un'intensa e superficiale attività sismica che si verifica in generale durante la fase di sollevamento.

Nel periodo di massimo abbassamento – risalente probabilmente al medioevo – alcuni studi dimostrano che il livello del suolo era tra i 7 e i 10 m più basso rispetto all'epoca di costruzione del Serapeo nel I sec. d.C.. Nel 1500 un'importante crisi di sollevamento determinò un innalzamento complessivo dell'area di circa 17 m e precedette l'eruzione del Monte Nuovo, avvenuta nel 1538.

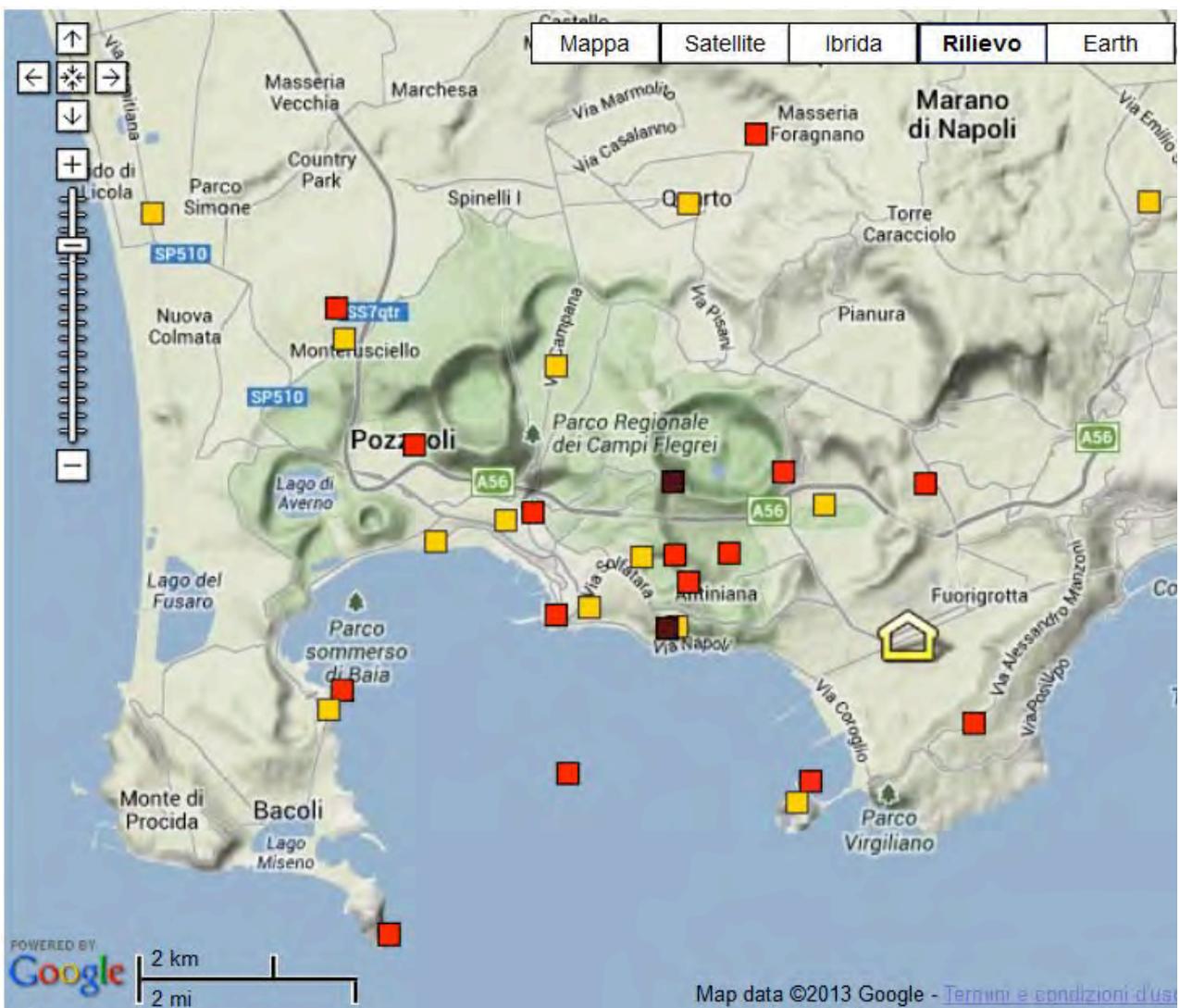


Figura 1. Mappa delle reti di monitoraggio dei Campi Flegrei. In rosso le stazioni sismiche, in giallo le stazioni per misure geodetiche.

Dopo l'eruzione iniziò invece un periodo di lenta subsidenza. In tempi più recenti, precisamente nel 1969-72 e nel 1982-84, si sono verificate due crisi bradisismiche, accompagnate da attività sismica, che hanno portato a un sollevamento del suolo complessivo di circa 3.5 m [De Natale et al., 2006]. Durante la prima delle due crisi si registrò un sollevamento del suolo di circa 1.7 m, al quale seguì una lenta subsidenza fino al 1982. Fra il 1982 e il 1984 si ebbe un nuovo sollevamento del suolo di 1.8 m [Berrino et al., 1984] accompagnato da oltre 15.000 terremoti per lo più localizzati a terra, il maggiore dei quali avvenne il 4 ottobre 1983 e fu di magnitudo 4.0 [Branno et al., 1984].

Dal 1985 il suolo ha ripreso ad abbassarsi, sebbene con alcuni periodi di sollevamento di breve durata e di minore entità [Del Gaudio et al., 2010]. Questi periodi sono di frequente accompagnati da sciame sismici, l'ultimo dei quali si è registrato il 7 settembre 2012 con circa 200 eventi (<http://www.ov.ingv.it/ov/it/campi-flegrei/monitoraggio/275.html>).

Nell'area vulcanica dei Campi Flegrei è operativo un sistema di monitoraggio costituito da varie tipologie di reti di strumenti, tutti in acquisizione in tempo reale, in continuo e centralizzati presso il Centro di Monitoraggio dell'INGV in Napoli. In particolare, una rete sismica e *infrasound* di 12 stazioni per il monitoraggio continuo della sismicità, una rete geodetica costituita da 13 stazioni GPS e 5 mareografi per le deformazioni del suolo [De Martino et al., 2007; Ricco et al. 2007; Bottiglieri et al., 2010; D'Auria et al., 2011]. Queste reti sono integrate da sensori geochimici per il monitoraggio delle fumarole e delle emissioni di gas presenti nell'area [Chiodini et al., 2010] e da una serie di telecamere termiche [Sansivero et al., 2012]. Inoltre, nell'area sono effettuate periodiche campagne per la misura di parametri geofisici e geochimici [Del Gaudio et al., 2010; Bianco et al., 2010; Chiodini et al., 2011; Camacho et al. 2011]. La figura 1 riporta l'ubicazione delle varie reti di monitoraggio dei Campi Flegrei.

La fitta rete di monitoraggio ha permesso di dettagliare la dinamica dei Campi Flegrei e di definire la distribuzione dei movimenti del suolo, lasciando però scoperta la parte sommersa della caldera. Tutte le indagini svolte hanno individuato, sia nelle fasi di sollevamento che in quelle di abbassamento, che la misura della massima deformazione è osservata nella città di Pozzuoli. La mancanza di dati a mare, però, non permette di definire con esattezza la posizione del punto di massimo sollevamento. I modelli interpretativi che hanno tentato di definire anche la posizione del punto di massima deformazione, sempre calibrati con dati rilevati a terra, sono discordanti; alcuni indicano che il punto di massima deformazione è centrato a terra sulla fascia costiera [Berrino et al., 1984], altri invece suggeriscono che la massima deformazione sia localizzata nel Golfo di Pozzuoli [Beauducel et al., 2004].

Un primo tentativo di realizzazione di un sistema permanente di misure geofisiche nel Golfo di Pozzuoli è stato realizzato nel 1989 con l'installazione di una Boa Oceanografica (ODAS Italia 2) [Berrino, 1989] che, per una serie di motivi, in particolare di tipo logistico, non ebbe successo.

Più recentemente, nel Golfo di Pozzuoli è stato realizzato sistema osservativo geofisico, denominato CUMAS (*Cabled Underwater Multidisciplinary Acquisition System*), costituito da una boa attrezzata con sensori multiparametrici con trasmissione dei dati in continuo e in tempo reale al Centro di Monitoraggio dell'Osservatorio Vesuviano, in Napoli (figura 2). Tale sistema è costituito da una boa, tipo meda elastica, a cui è connesso tramite cavo un modulo sottomarino posizionato ad una profondità di circa 100 metri equipaggiato con un sensore sismico a larga banda, un accelerometro, un idrofono a bassa frequenza, un sensore di pressione di precisione e sensori di stato [Iannaccone et al., 2009; 2010].

Dal mese di novembre 2011, la torretta della parte fuori acqua della meda ospita anche una stazione GPS in continuo integrata nella rete permanente GPS dell'area. Questa è stata installata con l'obiettivo di verificare la possibilità di utilizzare questo tipo di metodologia per la stima delle deformazioni verticali del suolo in corrispondenza della base della boa sul fondale marino. La boa infatti, essendo del tipo meda elastica, è rigidamente collegata alla zavorra posta sul fondo del mare mediante un cavo di acciaio; il galleggiante di spinta, posto a mezz'acqua, ha la funzione di mantenere in trazione il cavo di sostegno (figura 2). In questo modo, la parte emersa della boa è del tutto indipendente dalle variazioni di livello del mare, per cui eventuali movimenti verticali del suolo si trasferiscono rigidamente alla parte emersa della boa stessa consentendone pertanto la misura mediante l'utilizzo della stazione GPS. Analisi preliminari su i dati GPS acquisiti durante più di un anno di registrazione continua evidenziano un chiaro sollevamento del suolo del fondo del mare [De Martino et al., 2012] in accordo con il *pattern* deformativo definito dalle stazioni in terraferma.

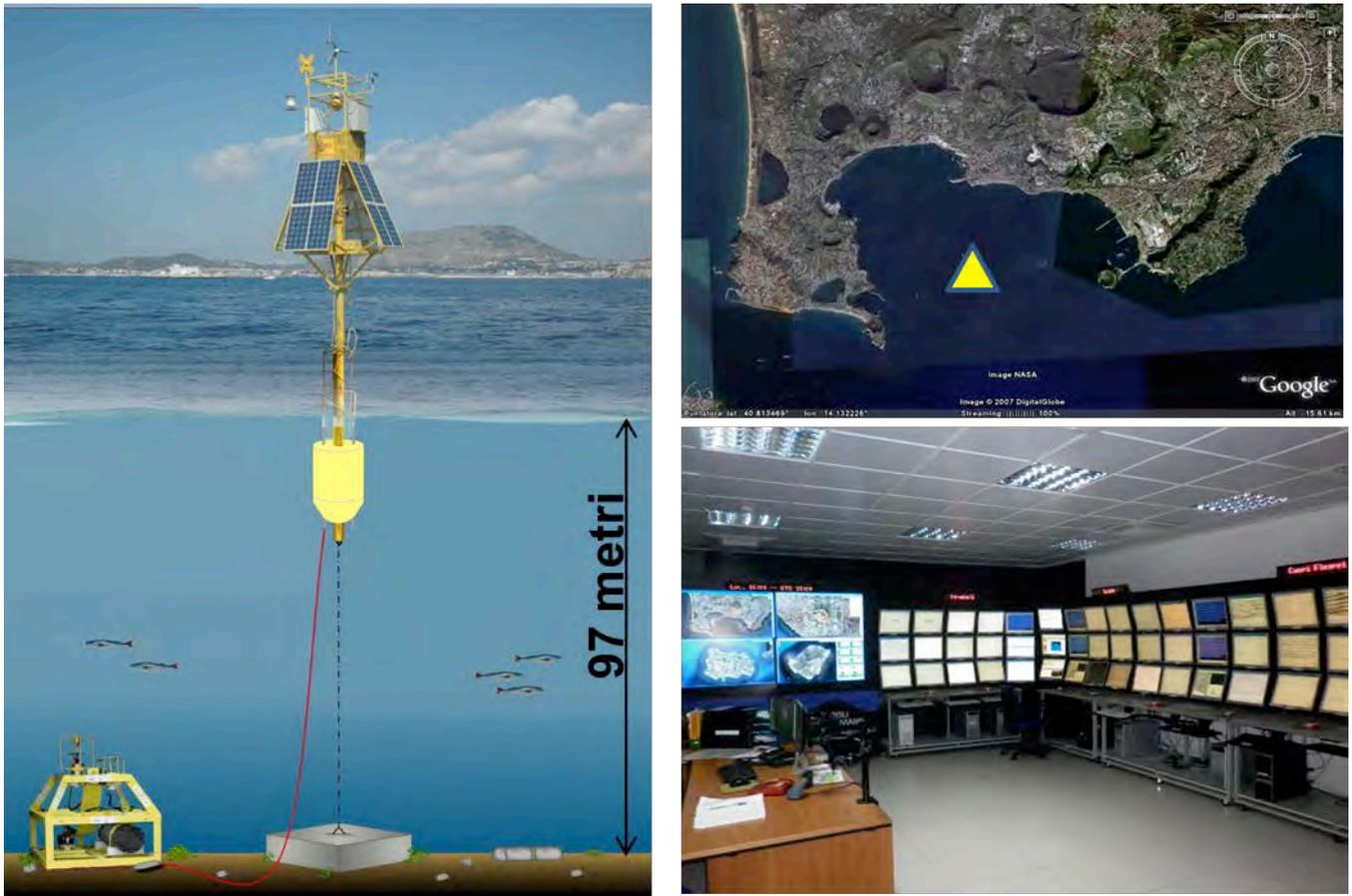


Figura 2. Schematizzazione del sistema CUMAS (a sinistra), sua ubicazione nel Golfo di Pozzuoli (in alto a destra) e integrazione nel Centro di Monitoraggio dell’Osservatorio Vesuviano.

A integrazione del sistema CUMAS è attualmente in fase di realizzazione un progetto triennale finanziato dal MIUR, PON-MONICA (MONitoraggio Innovativo delle Coste e dell’Ambiente marino), finalizzato alla realizzazione di un prototipo dimostratore di infrastruttura di monitoraggio con cavo sottomarino interrato nel fondale.

Il progetto SIMON (Sistema Integrato Sottomarino per il monitoraggio di bradisismo), finanziato dal FESR Regione Liguria su un bando relativo al Distretto Ligure per le Tecnologie Marine, si prefigge lo sviluppo e sperimentazione di sensori innovativi per misure sismiche e gravimetriche su fondo marino. I sensori, sono attualmente in fase di prototipizzazione e saranno sperimentati nel Golfo di Pozzuoli in una successiva sperimentazione.

1. La Campagna RICAMAR2013

Nel quadro di riferimento fin qui descritto, si inserisce la campagna geofisica-oceanografica “RICAMAR2013” (RIlievi per la Caratterizzazione dell’Ambiente MARino nel Golfo di Pozzuoli 2013), effettuata grazie ad una collaborazione tra INGV e Istituto Idrografico della Marina Militare nell’ambito di un accordo di collaborazione denominato CONAGEM (Coordinamento Nazionale per la Geofisica Marina). Tale accordo, siglato nel 2005 fra i principali Enti Pubblici di Ricerca che operano in mare, prevede infatti la possibilità di attuare congiuntamente campagne di ricerca marine condividendone dati e risultati. Pertanto, alla campagna di misure hanno partecipato i seguenti organismi e le loro emanazioni:

Per la Marina Militare:

- Istituto Idrografico della Marina (IIM).
- Unità navale “Ammiraglio Magnaghi”.

Per l’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV):

- Unità “Geofisica e Tecnologie Marine” della sede distaccata di Porto Venere.
- Sezione di Napoli “Osservatorio Vesuviano”.
- Sezione di Palermo.
- Laboratorio di Telerilevamento del Centro Nazionale Terremoti (CNT).

Ha inoltre partecipato alla campagna, offrendo una specifica collaborazione con un rilievo *side scan sonar*, a titolo gratuito, la società Oceanix Srl di Napoli.

La campagna è stata organizzata con la finalità di raccogliere elementi utili a caratterizzare il Golfo di Pozzuoli sotto un profilo ambientale e vulcanologico predisponendone un quadro di riferimento per successive attività di monitoraggio delle fenomenologie presenti nell’area di indagine. In quest’ottica, gli obiettivi prefissati erano:

- Aggiornamento delle carte batimetriche del Golfo di Pozzuoli.
- Mappatura delle anomalie magnetiche presenti nell’area.
- Caratterizzazione stratigrafica e sedimentologica del Golfo.
- Caratterizzazione di aree di particolare interesse geologico ed ambientale propedeutiche all’installazione di future infrastrutture osservative previste nei progetti SIMON e PON-MONICA.
- Sperimentazione di innovative soluzioni tecnologiche per indagini acustiche e verifica delle potenzialità per un aggiornamento della mappatura di “fumarole” presenti in mare.
- Mappatura termica dell’area di indagine attraverso l’integrazione di misure lungo la colonna d’acqua compendiate da dati SAR di superficie.
- Sperimentazione di prototipi strumentali per future applicazioni a fondo mare.

In Tabella 1 è riportata la pianificazione di massima di RICAMAR2013. La campagna ha avuto una durata complessiva di 3 settimane. È stata avviata dall’imbarco della strumentazione avvenuta il giorno 10 maggio 2013, prima della partenza della Nave “Ammiraglio Magnaghi” dal porto della Spezia. Le operazioni si sono definitivamente concluse con lo sbarco del personale e degli strumenti avvenuto il giorno 1 giugno 2013 presso il Porto di Napoli.

Tabella 1. Pianificazione della campagna.

Data	Attività
10 maggio	Imbarco strumentazione (La Spezia)
13-15 maggio	Approntamento strumentazione Nave/Idrobarche
16 maggio	Arrivo area di operazioni / Inizio attività
16- 31 maggio	Attività idro-oceanografica Nave e Idrobarche
1 giugno	Sbarco personale e strumentazione (Napoli)

In Tabella 2, è riportata la *time-schedule* specifica dell’attività delle idrobarche (attività prioritaria) programmata all’avvio della campagna di misure; tale *time-schedule* è stata sostanzialmente rispettata.

All’attività RICAMAR2013 ha partecipato personale specialista afferente agli enti:

- Unità idro-oceanografica della Marina Militare “Ammiraglio Magnaghi”.
- INGV di Porto Venere (SP), Napoli, Palermo e Roma.

- Istituto Idrografico della Marina (Genova).

Tabella 2. Time-schedule.

	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V	S	D	L	M	M	G	V
Nave	Trasferimento/ approntamento			Supporto IDR/OC	Porto	CTD/Rosette						Porto	Carotaggi						
Idro 1				Mag/SBP Area 2		Mag/SBP Area 2 - CTD							Mag/SBP Area 1						
Idro 2				Multibeam Area 1		Multibeam area 1	MB A2	MB A2											

Di seguito sono elencate le principali attività svolte durante la campagna RICAMAR2013:

- Rilevamento *multibeam* (MB). Questa attività è stata effettuata in modalità coordinata con le finalità previste nel progetto PON-MONICA. Il rilievo è propedeutico anche all'individuazione di sorgenti gassose sul fondo. I dati di *backscatter* acustico acquisiti saranno analizzati ed elaborati con software per fornire una caratterizzazione del fondale.
- Rilievo Sub Bottom Profiler (SBP). Sono stati eseguiti alcuni transetti in particolari aree di interesse nella prospettiva di una successiva posa di sistemi osservativi cablati ed in prossimità dell'area nota per la presenza di fumarole.
- Rilievo Magnetico (MAG). Tale rilievo è stato effettuato contestualmente al rilievo MB. La mappa di anomalia magnetica del Golfo sarà utile, in prospettiva, per un supporto alla modellazione del sistema vulcanico nell'area marina.
- Calate con sonde CTD (*Conductivity Temperature Depth*) e SVP (*Sound Velocity Profiler*). Questa attività ha consentito di acquisire i principali parametri idrologici dell'acqua del Golfo di Pozzuoli. È stata condotta in coordinamento con il Laboratorio di Telerilevamento del CNT e consentirà di raccordare i dati di temperatura superficiale acquisiti con tecniche satellitari SAR con quelli dei profili termici acquisiti lungo la colonna d'acqua e in diversi punti del Golfo.
- Bennate (BEN). Si è trattato di effettuare prelievi di campioni del fondo marino tramite benna. Sono stati acquisiti vari campioni del fondo che verranno analizzati chimicamente al fine di censire eventuali inquinanti e contribuiranno inoltre a valutare, insieme ai dati MB, la tipologia del fondale stesso. I campioni di sedimento raccolti caratterizzeranno direttamente la natura del fondale e contribuiranno alla calibrazione diretta del *backscatter* acustico da *multibeam*.
- Riprese video e campionamenti di gas mediante ROV (*Remotely Operated Vehicle*). Questa attività ha consentito di acquisire immagini e video di particolari aree interessate da emissione gassose. È stato sperimentato un sistema a braccio robotizzato per l'acquisizione di campioni di gas per successive analisi di laboratorio.
- Carotaggi *Off-shore* (CAR). Sono stati programmati prelievi di alcuni campioni in prossimità di tre secche poste appena oltre la delimitazione ideale Nisida - Capo Miseno e nella porzione centrale dell'area di indagine. Questi dati sono di ausilio diretto per la calibrazione SBP.
- Sperimentazione *side scan sonar* (SSS) ad alta risoluzione. Grazie alla collaborazione con la società Oceanix Srl è stato possibile sperimentare un *side scan sonar* a 1250 kHz per valutarne le prestazioni e verificarne un possibile utilizzo nella mappatura di fumarole.
- Sperimentazione di prototipi strumentali per future applicazioni a fondo mare; in questo caso i test sono in corso e perdureranno per alcuni mesi dopo la campagna di misure.

L'area di lavoro di RICAMAR2013 è definita quale porzione del Golfo di Pozzuoli racchiusa tra Capo Miseno e l'Isola di Nisida. Tale area si estende per circa 30 km² (figura 3). Il fondale in tale area va da un minimo di 2 metri ad un massimo di 105 metri. L'area, sia per ragioni di pianificazione sia in rapporto alle sue caratteristiche peculiari, è stata divisa in due parti: la parte occidentale, denominata Area 1, e la parte orientale, denominata Area 2 (figura 4).

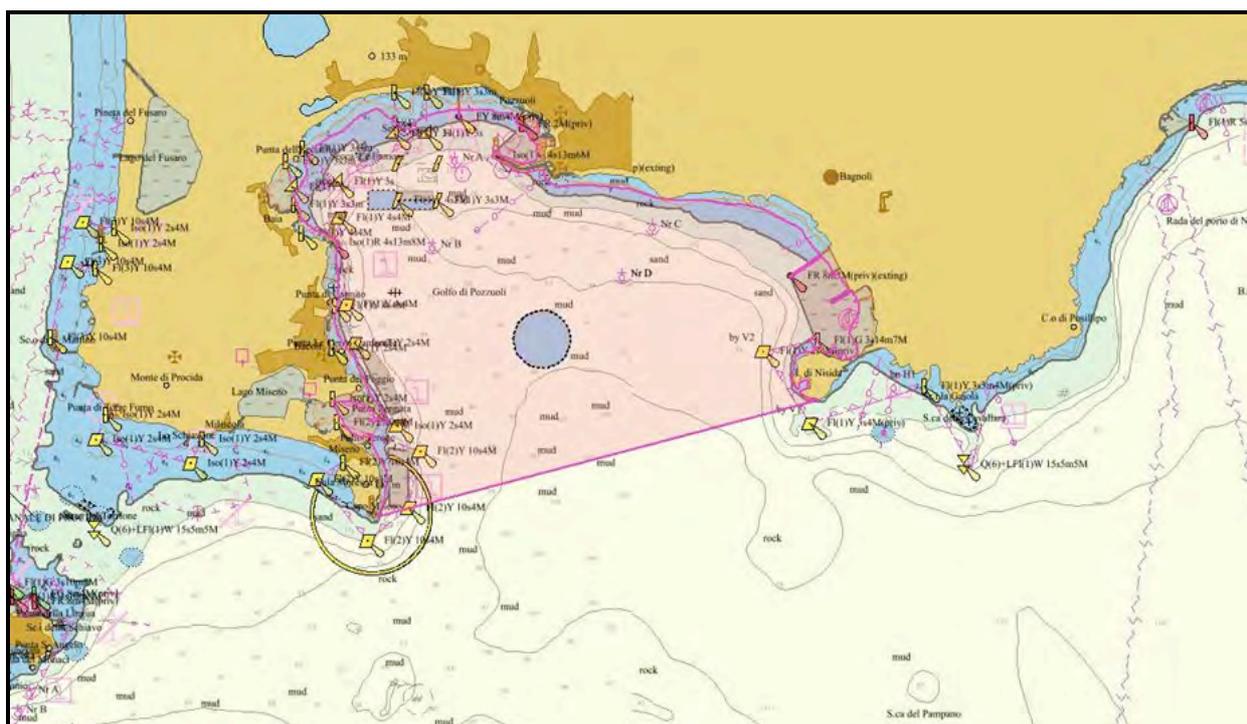


Figura 3. Area di lavoro. Cerchio: sito CUMAS.

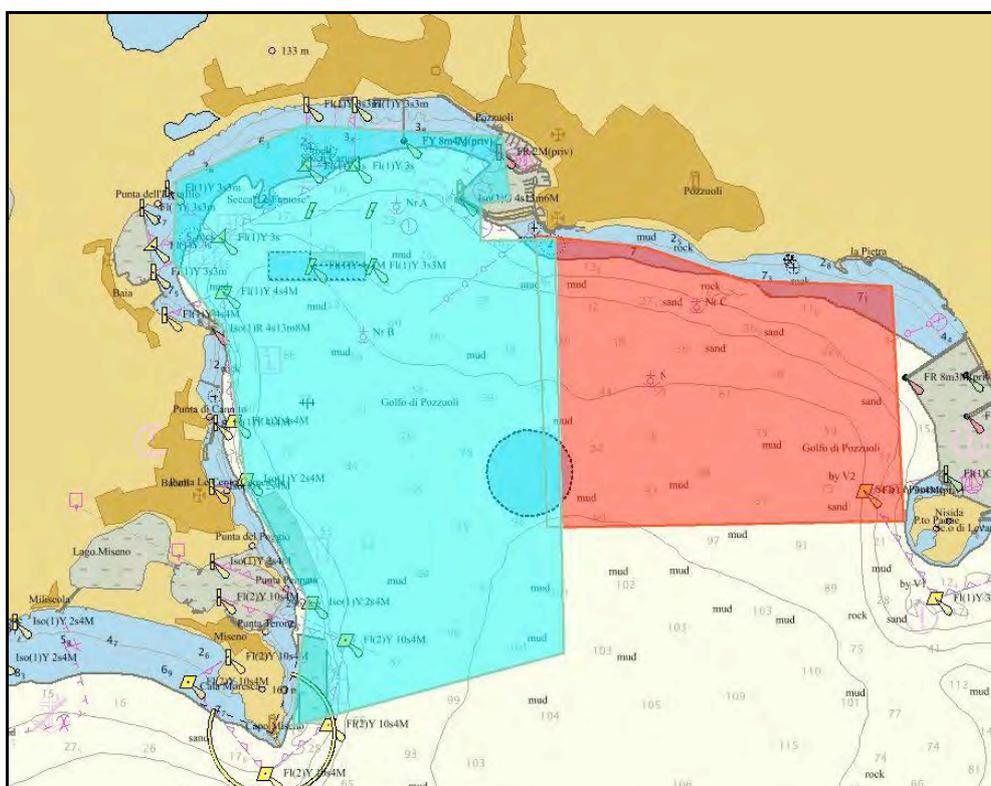


Figura 4. Area 1 (Ovest) e Area 2 (Est).

Una prima imbarcazione è stata impegnata per effettuare un rilievo integrato magnetometrico e *Sub Bottom Profiler* (figura 5).

L'attività di prospezione magnetica di superficie nell'area interna al Golfo di Pozzuoli è stata eseguita con il magneto-gradiometro SeaQuest, costituito da 3 sensori ad effetto Overhauser, che è stato filato da imbarcazione. Come detto in precedenza, l'area del rilievo, suddivisa in due zone distinte (Area 1 ed Area 2) ha avuto medesima priorità investigativa e, di seguito, viene descritta in termini di pianificazione.

AREA 1 (ad OVEST della meda CUMAS)

Totale linee: 181 km lineari + 10% accostate = stima 200 km

Velocità navigazione: 4 nodi

Totale ore: 27 ore

AREA 2 (ad EST della meda CUMAS, zona posizionamento cavo)

Totale linee: 95 km lineari + 10% accostate = stima 110 km

Velocità navigazione: 4 nodi

Totale ore: 15 ore

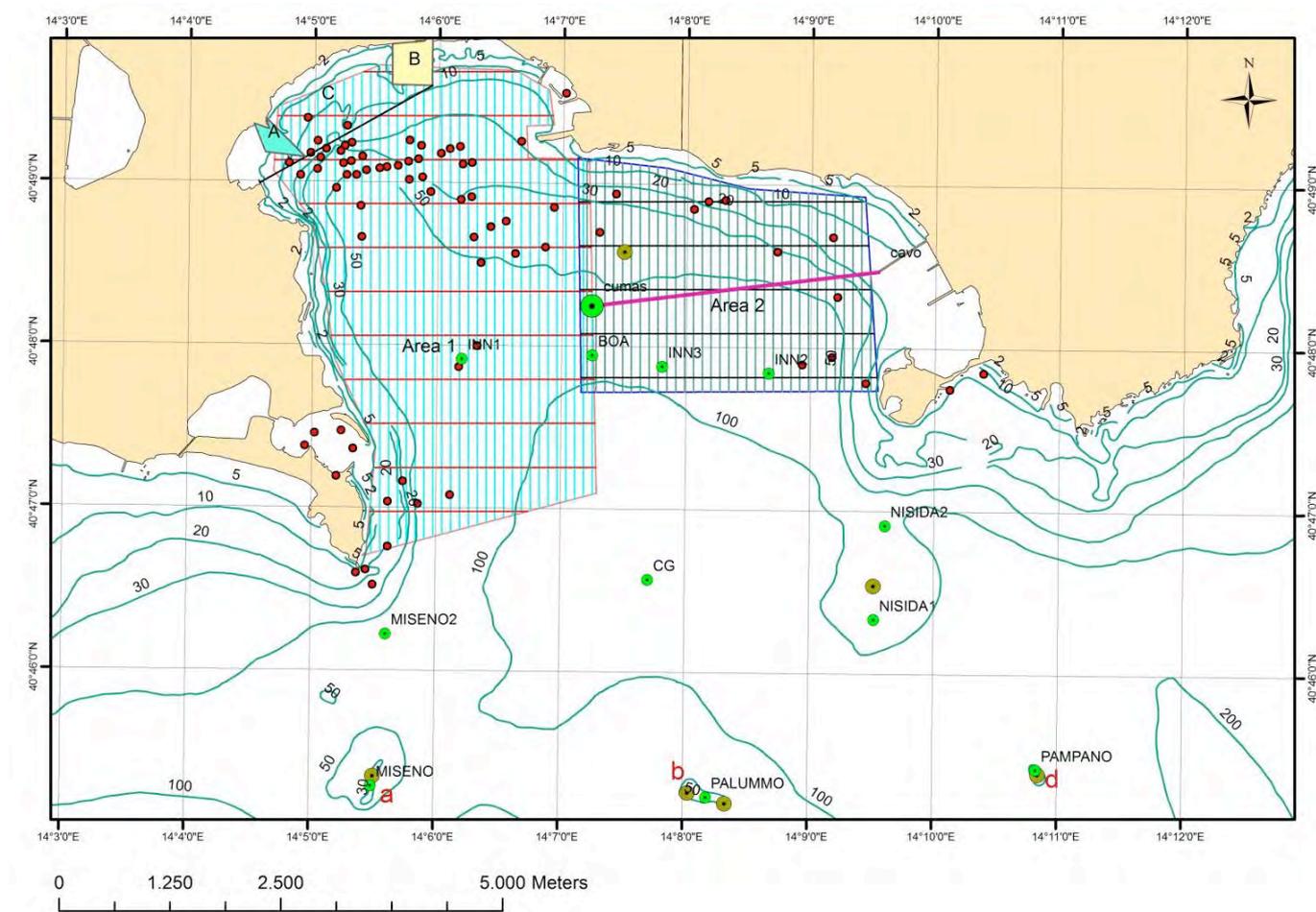


Figura 5. Pianificazione acquisizione magnetometrica e sub-bottom profiler. Le posizioni delle fumarole sono evidenziate in rosso. Cerchio marrone: punti pianificati per i carotaggi/benne; cerchio verde: punti pianificati per campionamento tramite rosette/CTD.

In via preliminare, senza una preventiva caratterizzazione di dettaglio della distribuzione del campo di anomalia magnetica locale, è stato pianificato un set di linee parallele orientate N-S (*heading* N0°) con spaziatura 100 metri e un set di linee di controllo ortogonali (*heading* N90°) con spaziatura 500 m. L'orientazione delle linee nell'Area 1 (zona ad Ovest della meda CUMAS) è stata definita in base alla principale distribuzione dei punti di esalazione gassosa a fondo mare, censite in precedenti indagini. Considerando la localizzazione su mappa delle fumarole, si osserva un *pattern* principale orientato WNW-ESE che potrebbe indicare la presenza di un assetto strutturale principale su cui si impostano le emissioni

gassose ad indicare un'attività secondaria associata. Per congruità, anche il rilievo magnetico dell'Area 2 (ad Est della meda CUMAS) è stato pianificato con simile spaziatura ed orientazione. Inoltre, in questa area, essendo prevista la posa di un cavo di comunicazione (meda CUMAS - terra ferma) diretto NE-SW, le linee di acquisizione SBP sono state orientate perpendicolarmente alla fascia di fondale marino che sarà interessato dall'eventuale scavo per la posa del cavo.

Una seconda imbarcazione è stata invece destinata ad attività *multibeam* nella zona ad Ovest del Golfo dove erano state censite, in precedenza, le fumarole (figura 6).

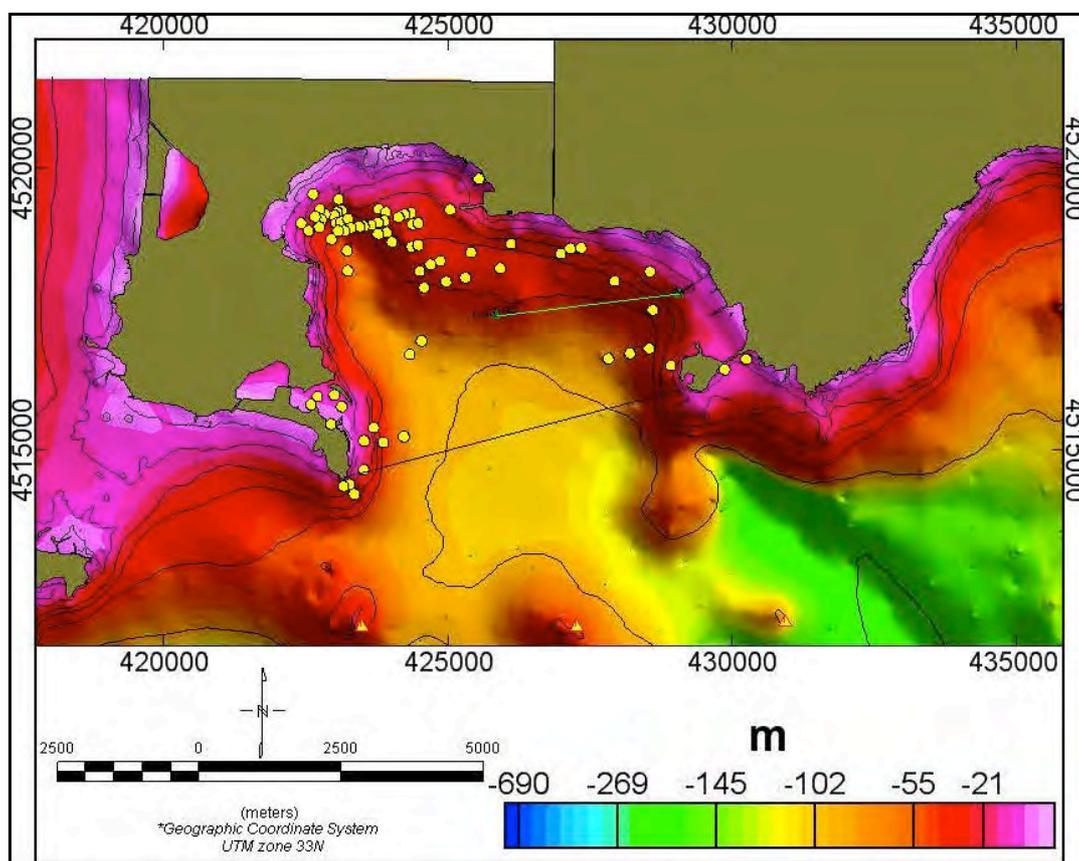


Figura 6. Carta batimetrica con posizione delle fumarole (pallini gialli).

Nel contempo, un'ulteriore imbarcazione è stata equipaggiata con un sistema *multibeam* EM3002 per effettuare un'indagine batimetrica nella restante area orientale.

Come detto in precedenza, al centro del Golfo di Pozzuoli è ubicata la stazione multi-parametrica CUMAS che è caratterizzata da un sistema integrato di sensori geofisici e oceanografici che permettono di valutare come variano sia l'assetto vulcano-tettonico dell'area nonché i parametri tipici della colonna d'acqua. Questo sistema è attualmente collegato ad una boa di superficie che trasmette i dati raccolti. Nel progetto PON-MONICA si prevede l'installazione di un cavo di collegamento fra la stazione CUMAS e la terra ferma. La posizione stimata della cablatura è riportata in figura 7. Per valutare le caratteristiche del fondale che sarà interessato dall'interramento, durante la campagna RICAMAR2013 sono state effettuate delle "bennate" al fine di ricavare informazioni dettagliate di carattere sedimentologico. Le bennate sono state eseguite utilizzando una benna manuale da 5 litri filata da idrobarca. In questo modo si è potuto campionare sedimento superficiale del fondale posto a una profondità massima di 30 metri; sono infatti state eseguite bennate in corrispondenza di particolari morfologie ed in funzione della risposta prodotta dal fondale durante indagini acustiche in alcune aree candidate alla posa del cavo previsto nel Progetto MONICA.

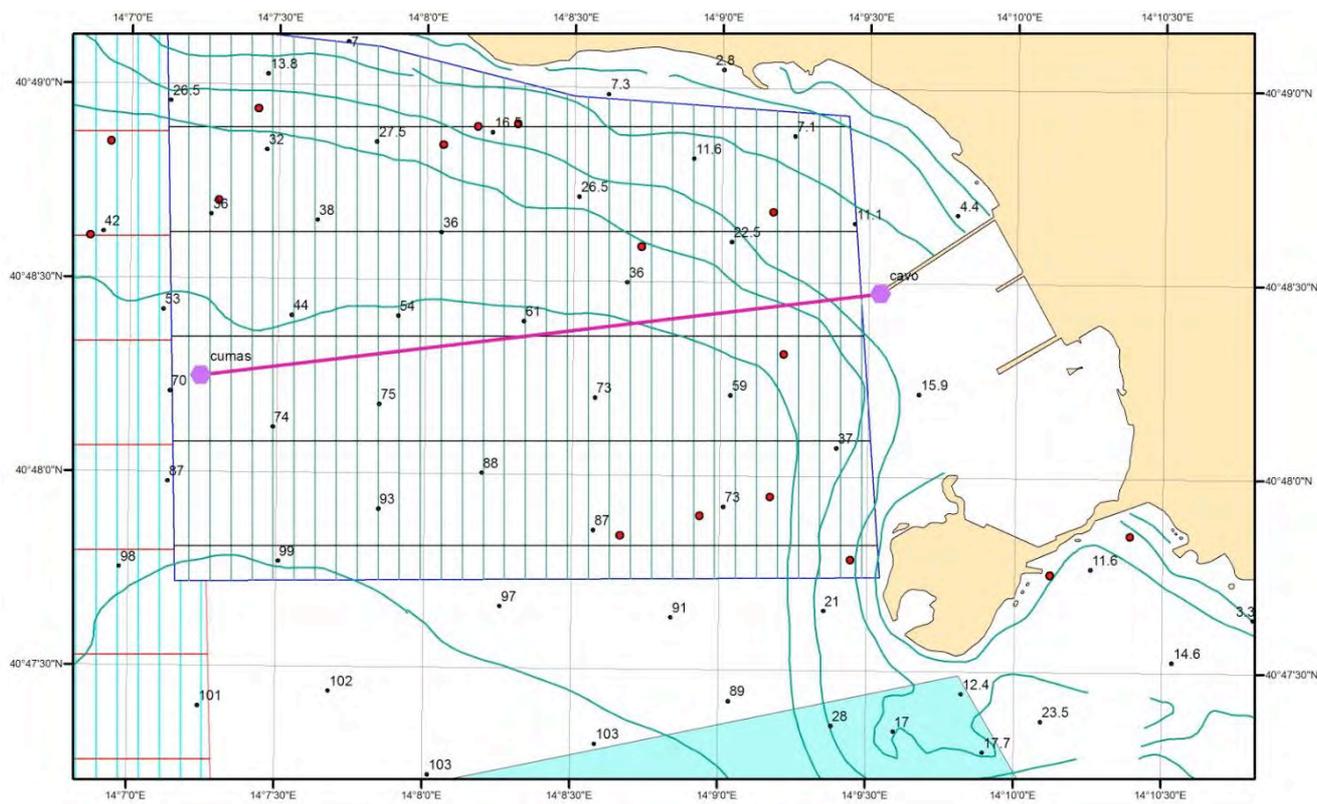


Figura 7. Ipotetico tracciato del cavo di collegamento stazione CUMAS - terra ferma.

Unità navale ed imbarcazioni

Unità maggiore

La Nave “Ammiraglio Magnaghi” (figura 8), l’Unità maggiore della campagna, ha svolto attività sia in navigazione che alla fonda nel Golfo di Pozzuoli. È stata impiegata come:

- Supporto alle imbarcazioni idrografiche
- Piattaforma per operazioni di caratterizzazione del fondale e della colonna d’acqua
- Supporto alla movimentazione e manutenzione degli apparati strumentali
- Supporto logistico agli equipaggi

Di seguito una breve scheda riassuntiva dell’Unità navale.

Varata il:	08/10/1974
Cantiere:	C.N. Riva Trigoso
Dislocamento:	1700 t p.c.
Lunghezza:	82,7 m
Larghezza:	13,7 m
Immersione:	3,6 m
Apparato motore:	2 motori diesel GMT B-306 SS da 3.000 HP (2.206kW)
Apparato elettrico:	1 motore elettrico AI-43/25-686 DP da 240 HP (176kW)
Potenza:	2206 kW (2958,29 HP)
Velocità:	12 nodi (4 con il motore elettrico)
Autonomia:	8000 NM
Equipaggio:	130



Figura 8. Nave “Ammiraglio Magnaghi”.

Imbarcazioni a idrogetto (MBN 1188, MBN 1189 e MBN 1190)

Tutte le imbarcazioni idrografiche impegnate sono costruite in vetroresina, sono lunghe 8.6 m, larghe 2.5 m, con immersione 0.6 m. Ogni imbarcazione, con propulsione ad idrogetto, pesa circa 4.350 kg ed il numero massimo di persone trasportabili a bordo è di 5 unità (figure 9-11).

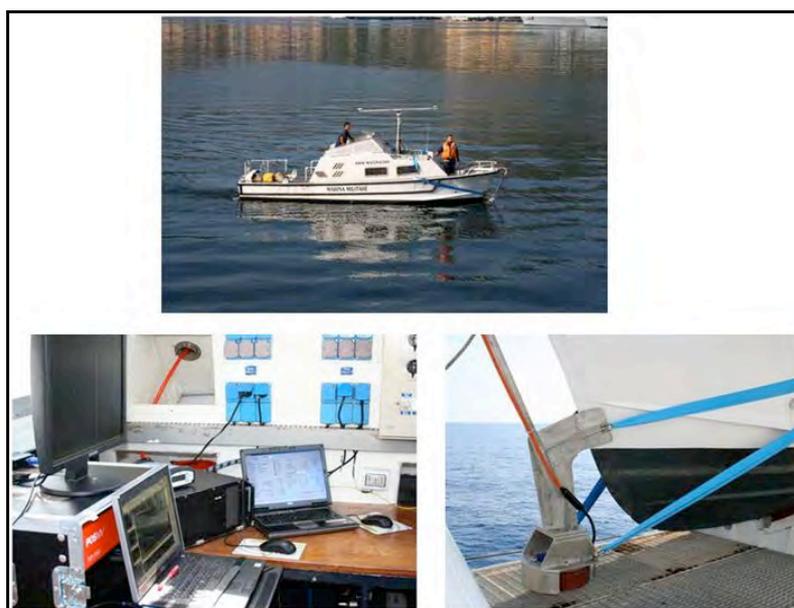


Figura 9. Imbarcazione a idrogetto MBN 1188.



Figura 10. Imbarcazione a idrogetto MBN 1189.



Figura 11. Imbarcazione a idrogetto MBN 1190.

Imbarcazione fuoribordo “BigOne” (INGV – SP4564)

L'imbarcazione denominata “BigOne” (figura 12), dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), è una Saver 22 adeguatamente allestita come barca per rilievi geofisici-oceanografici. BigOne è spinta da un motore fuoribordo Yamaha da 150 Hp che permette la navigazione costiera anche a basse

velocità. È presente anche un motore di riserva Yamaha da 10 Hp. Un gruppo elettrogeno da 5kW garantisce l'alimentazione di tutta la strumentazione e dei computer di bordo. La poppa dell'imbarcazione è allestita con un alloggiamento per la messa a mare del *multibeam* e con un verricello utilizzato per il traino di strumentazione come SBP e SSS e per la messa a mare e il recupero del magneto-gradiometro SeaQuest della Marine Magnetics. Tutta la strumentazione e i computer utilizzati sono protetti e garantiti da un sistema UPS.

Il posizionamento viene effettuato mediante l'utilizzo di un GPS Omnistar 5220 HP, con correzioni differenziali, installato sul tettuccio dell'imbarcazione. Tutta la strumentazione di bordo adotta lo stesso standard di posizionamento, garantendone totale uniformità.

Per la navigazione viene utilizzato il software QINSy.

Completano le dotazioni: VHF portatile e VHF di bordo, Ecoscandaglio, un *tender* dotato di motore elettrico e un carrello per il trasporto su strada.

Di seguito le specifiche tecniche dell'imbarcazione:

- Lunghezza f.t.: 7,05 m;
- Larghezza f.t.: 2,52 m;
- Peso senza motore: ≤ 1500 kg;
- Motorizzazione primaria Yamaha: 150 Hp;
- Motorizzazione secondaria Yamaha: 10 Hp.



Figura 12. Imbarcazione “BigOne” dell’INGV per rilievi geofisici-oceanografici.

2. Il rilievo batimetrico

Il rilievo batimetrico è stato condotto mediante ecoscandagli multifascio installati su 2 imbarcazioni idrografiche:

Multibeam Kongsberg EM 3002 (installato su palo prodiero sulla MBN 1188).

Multibeam R2Sonic 2024 (installato su palo prodiero sulla MBN 1189).

Di seguito una sintetica scheda descrittiva delle caratteristiche degli apparati.

Il Multibeam EM 3002 è un ecoscandaglio singola testa ad alta risoluzione che è stato installato sulla MBN 1188:

- frequenza: 300 kHz;
- numero di *beam* per *ping* e testa acustica: 160;

- numero di *sounding* per *ping* e testa acustica: max. 254 in modalità *high density*;
- larghezza di banda: $1.5^\circ \times 1.5^\circ$;
- geometria del singolo fascio acustico: equidistante o equiangolare;
- settore di copertura: 130° ;
- periodo dell'impulso: 150 μs ;
- profondità di impiego: 1 m - 130 m;
- massima ampiezza dello *swath*: > 200 m.

Il Multibeam R2Sonic2024 è stato installato sull'idrobarca MBN 1189:

- frequenza: 200-400 kHz;
- numero di *beam* per *ping* e testa acustica: 256;
- larghezza di banda: $0.3^\circ \times 0.6^\circ$;
- settore di copertura: da 10° a 160° ;
- periodo dell'impulso: 15 μs - 1000 μs ;
- profondità di impiego: 1 m - 100 m.

Entrambi i *multibeam* sono associati a un sistema di posizionamento e a un datore di assetto come specificato di seguito.

Per il posizionamento e la navigazione di precisione sono stati impiegati ricevitori GNSS, in grado di tracciare i satelliti e di ricevere da essi le correzioni differenziali del relativo servizio attivo.

In figura 13 sono visualizzabili i ricevitori impiegati sulle imbarcazioni idrografiche.



Figura 13. Ricevitori DGP impiegati (da sinistra - Seastar 3200 LR12, Fugro 9200 G2e Fugro 9205 GNSS).

Gli *offset* dei vettori sono stati determinati con imbarcazioni in secca a mezzo stazione totale robotica Trimble S6. Per la determinazione degli angoli (*roll e pitch*) sono state effettuate delle linee di calibrazione, tali valori sono stati successivamente controllati con un apposito *tool* del *software* di valorizzazione Caris HIPS and SIPS 7.1.

Per compensare i dati di assetto a bordo delle imbarcazioni idrografiche è stata impiegata la seguente strumentazione:

- sistema inerziale per dati di assetto Applanix POS MV V4 (MBN 1188);
- sistema inerziale per dati di assetto IXSEA Rovins montato a palo unitamente al trasduttore (MBN 1189);
- sistema inerziale per dati di assetto Kongsberg Seapath 300 con MRU5 (MBN 1190).

Per la registrazione dei dati digitali sia della MBN 1188 sia della MBN 1190 (EM3002) è stato impiegato il *software* Seafloor Information System (SIS), che crea i *raw data* nel formato proprietario Kongsberg *.all. Per la registrazione dei dati digitali nella MBN 1189 (R2Sonic) viene impiegato il software QINSY, che crea i *raw data* nel formato *.xtf, unitamente al software di gestione Sonic Control.

Il *processing* dei dati di fondale viene effettuato, per entrambi i sistemi, con il software Caris Hips&Sips secondo lo schema riportato in figura 14.

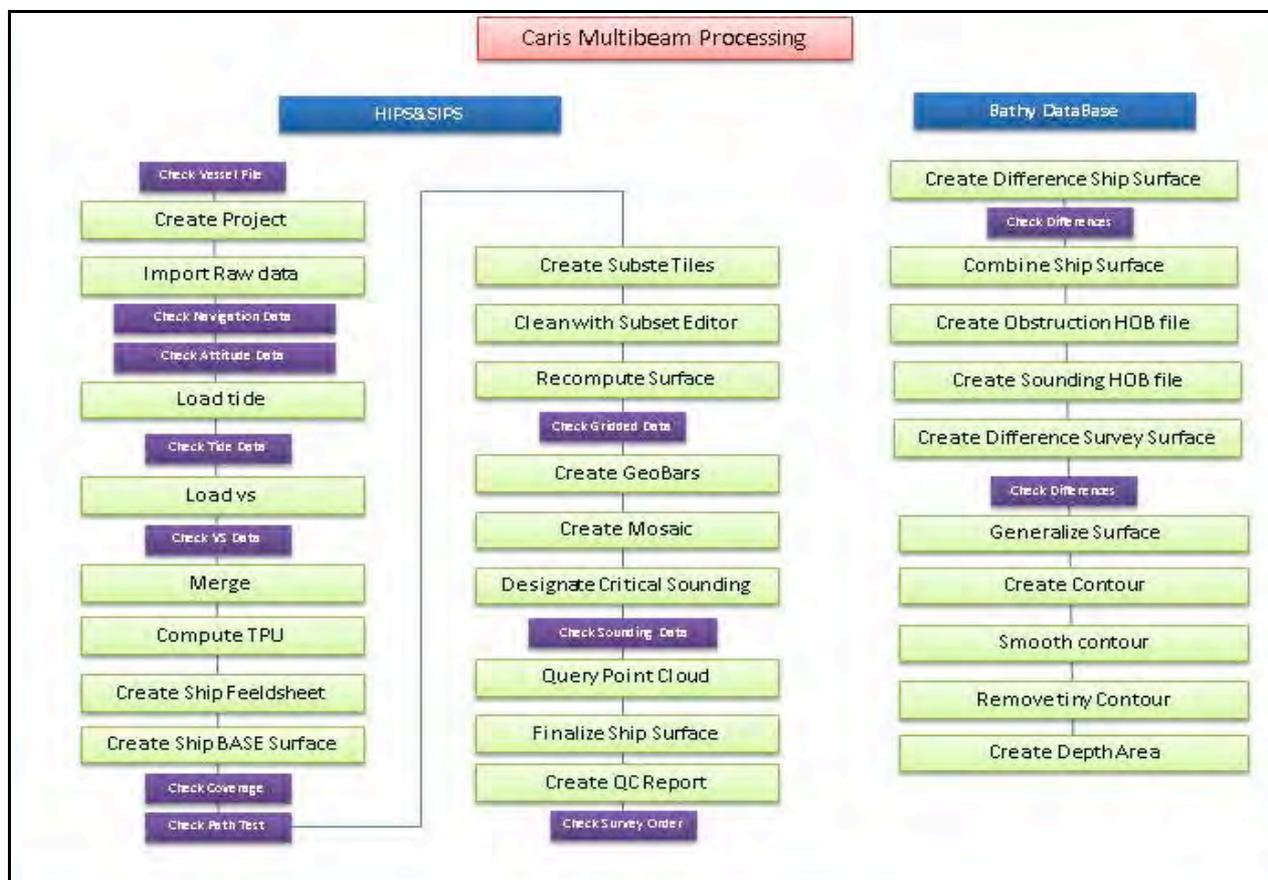


Figura 14. Schema valorizzazione Caris.

Come detto, il rilievo è stato suddiviso in due sottozone: si è proceduto prioritariamente all'acquisizione nell'Area 1 (area ad W) effettuando linee parallele alla stessa batimetria, da costa verso il largo, partendo dalla batimetria dei 5 metri e spingendosi man mano verso fondali maggiori (batimetria dei 100 metri) con una sovrapposizione tra gli *swath* del 40%. La scelta dell'Area 1 come area prioritaria è scaturita dall'esigenza di confermare la presenza delle fumarole a supporto del successivo imminente rilievo con "BigOne".

L'attività batimetrica è stata condotta inizialmente a mezzo MBN 1189. Conclusi il rilievo magnetometrico e SBP effettuato con MBN 1188, il rilievo è stato ultimato mediante l'impiego di entrambe le idrobarche.

L'attività MB è iniziata il giorno 16 maggio 2013 ed è terminata il giorno 30 maggio 2013. Le giornate produttive sono state pari al 64.5%, mentre per il restante 36.5% non è stato possibile effettuare il rilievo a causa condizioni meteorologiche avverse (in prevalenza: intensità di vento pari a circa 20 nodi da WSW e altezza d'onda pari a circa 2 m). Sulla base di tali condizioni meteomarine, l'attività pianificata è stata opportunamente rimodulata.

Per il *processing* è stato impiegato il *software* Caris HIPS&SIPS v. 8.0 (figura 14). In fase di valorizzazione, i dati batimetrici sono stati corretti con i valori di velocità del suono (VS) e del valore di marea. La correzione di marea è stata determinata impiegando i dati di livello e pressione acquisiti dal mareometro installato nel porto di Napoli, estratti dal sito dell'ISPRA (www.mareografico.it), ed elaborati con il *software* Hydras 3 ver. 2.8. Infine, è stato calcolato il Livello Medio Marino (L.M.M.) locale (-0,044 m) con i dati del periodo dal 16/05/2012 al 16/05/2013 (tramite software Hydras 3) e riportato il dato del

mareometro al Livello Riferimento Scandagli (LRS) applicando lo Z0 dell'area (0,20 m), valore estratto dalla carta nautica in vigore. È stato dunque creato un file *.tid allo scopo di apportare le correzioni di marea ai dati batimetrici attraverso il software CARIS HIPS&SIPS.

Il rilievo batimetrico, di massima, è stato condotto in linea con la pianificazione. Non è stato possibile avere copertura totale per alcune aree limitate a nord del Golfo, in corrispondenza della zona marina protetta e del tratto di mare dedicato al ripopolamento ittico (figura 15).

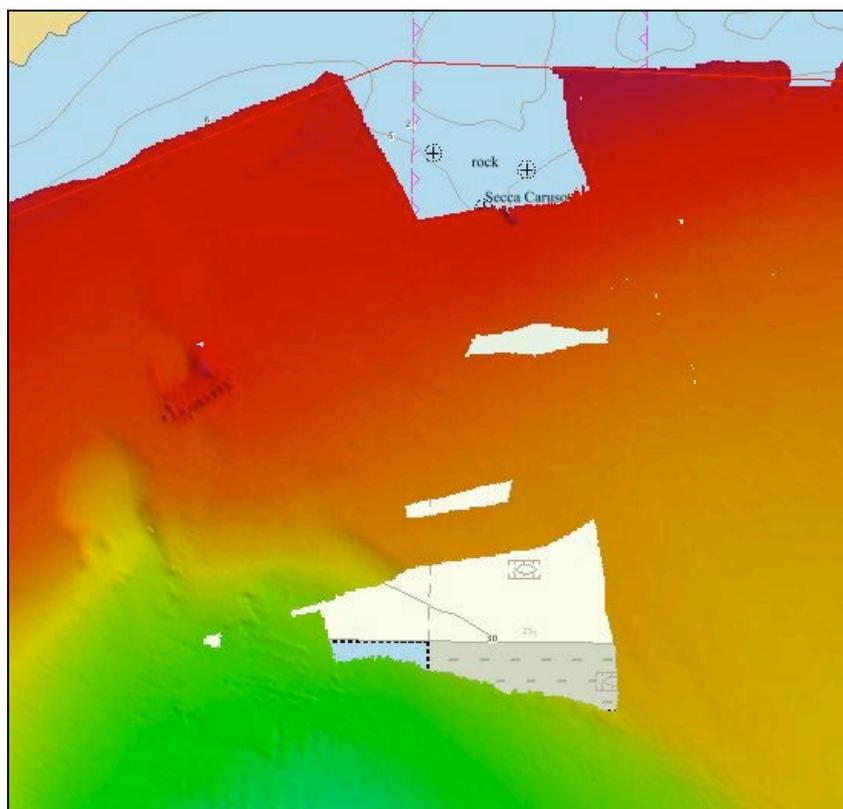


Figura 15. Aree non investigate (assenza colore rosso/verde).

Inoltre, in fase di valorizzazione è emerso che, in determinate zone del Golfo, la superficie presenta artefatti dovuti agli effetti della variazione di temperatura che interessa tutta l'area. Nonostante la concentrazione delle acquisizioni dei profili di VS nelle zone investigate durante tutto il periodo di rilievo (figura 16), l'effetto di queste repentine variazioni di temperatura dell'acqua, a distanza molto ravvicinata, ha impattato in maniera significativa sui dati registrati (figura 17). Alla luce di questo effetto, si è scelto di importare nel progetto CARIS il profilo di VS applicando la funzione *nearest in distance* grazie alla quale tali effetti risultano meno evidenti. Questi repentini cambi di temperatura sono probabilmente imputabili alla forte concentrazione delle sorgenti di calore distribuite nel Golfo.

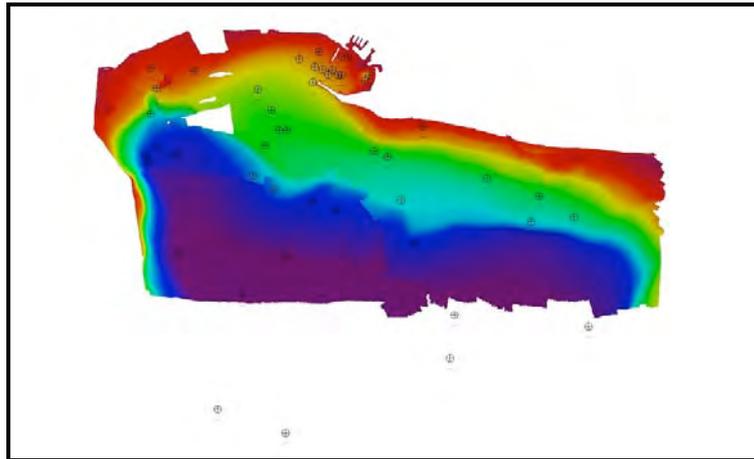


Figura 16. Distribuzione dei punti di acquisizione dei profili di velocità del suono.

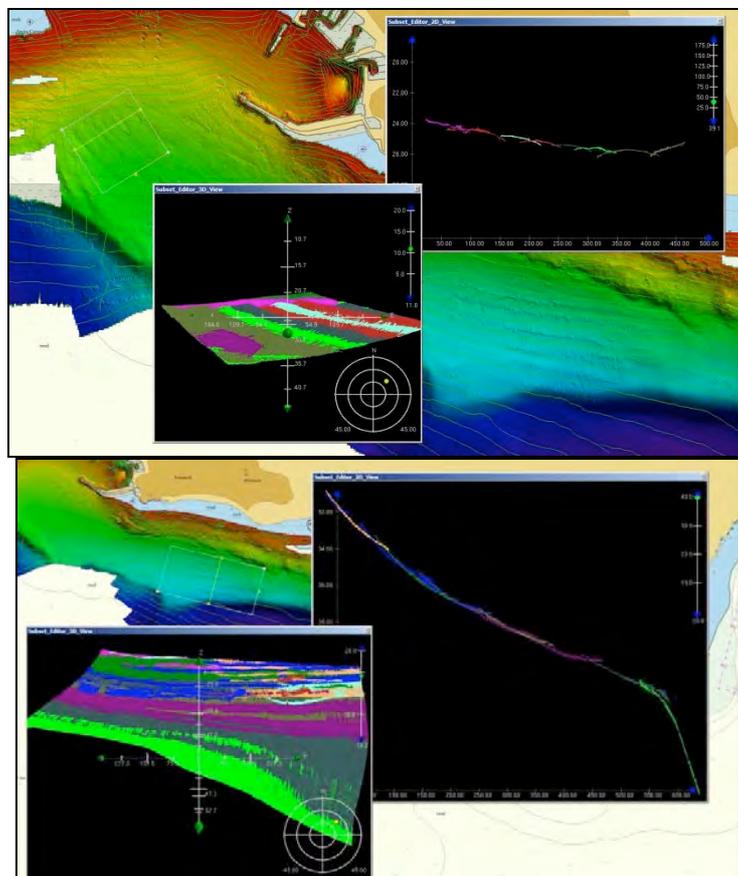


Figura 17. Effetti sulla superficie batimetrica della velocità del suono.

Dal confronto fra i dati batimetrici acquisiti in RICAMAR 2013 e i precedenti rilievi *single-beam* (figura 18), lungo le aree di sovrapposizione non si sono riscontrate variazioni significative ad eccezione dell'area corrispondente alla città sommersa e all'area portuale, entrambe evidenziate in figura 18.

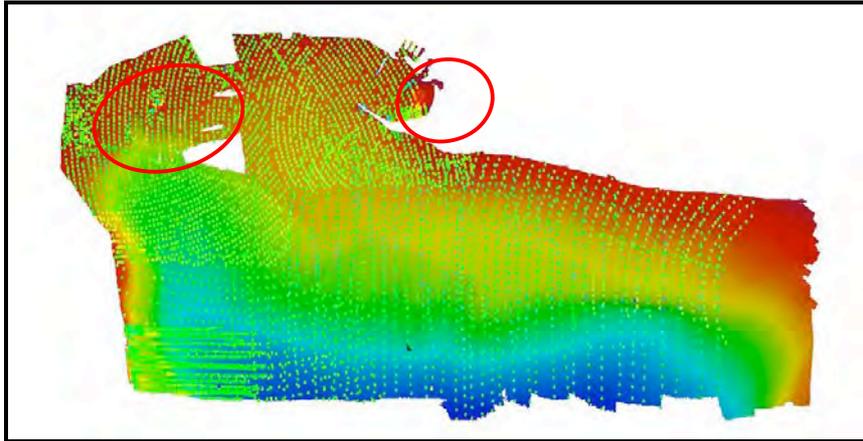


Figura 18. Confronto tra rilievi *singlebeam* pregressi e dati batimetrici *multibeam* raccolti nel corso della campagna RICAMAR2013.

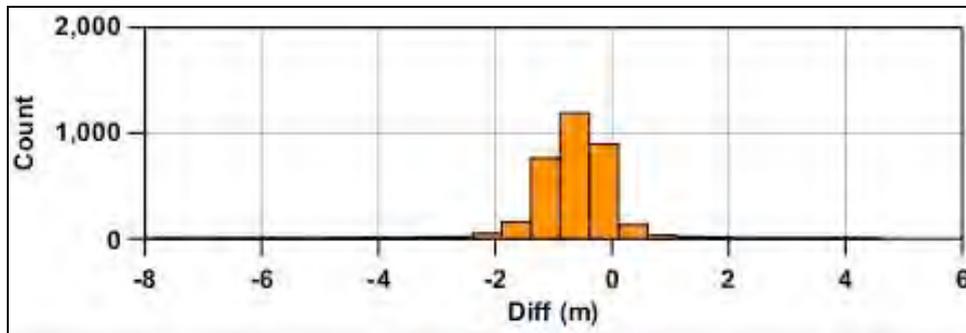


Figura 19. *Difference Surface* statistiche (*mean* -0,7 m, *standard deviation* 0,8 m).

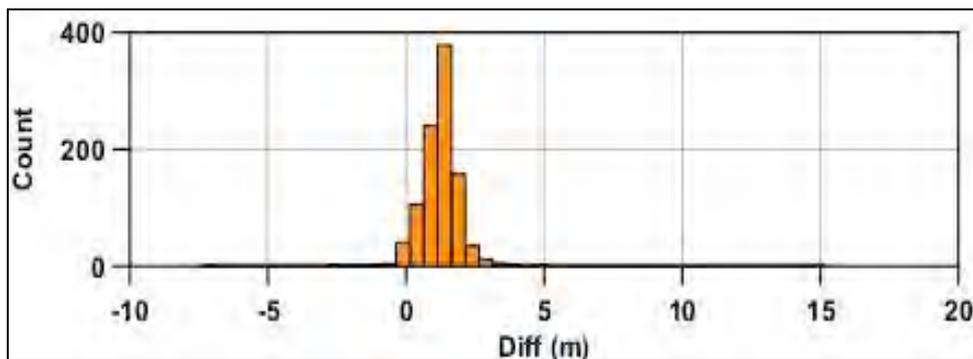


Figura 20. *Difference Surface* statistiche (*mean*: 1,2 m, *standard deviation*: 0,9 m).

Dalle figure 19 e 20, si evince inoltre che i valori di *mean* e *standard deviation* si discostano dallo zero; ciò dovrebbe essere imputabile al periodo di realizzazione dei pregressi rilievi e agli strumenti allora impiegati (ecoscandaglio a singolo fascio, accuratezza del sistema di posizionamento, ecc.). A ogni buon conto il rilievo si è svolto regolarmente e nei tempi previsti. Il fondale marino nel complesso presenta una morfologia principalmente regolare, con un fondale che si approfondisce in modo graduale dai 5 metri ai 100 metri.

3. Rilievo magnetico

Il rilievo magnetometrico è stato condotto seguendo la geometria delle linee preventivamente pianificate (figura 5) fatto salvo per la zona ad Ovest e a Nord dell'Area 1 dove non è stato possibile avere buona copertura a causa della presenza di una vasta area di ripopolazione ittica (figure 21 e 22). Inoltre, a causa di *stand by* dell'attività operativa durante la campagna, è stato scelto di ridefinire la risoluzione del rilievo magnetico utilizzando una spaziatura doppia rispetto a quella preventivamente pianificata. Questa scelta ha dato la possibilità di poter avere copertura totale delle aree di interesse senza precludere la definizione del segnale di anomalia magnetico correlato al *target* di indagine.



Figura 21. Segnalazione aerea marinaprotetta.



Figura 22. Area di ripopolamento ittico.

I magnetometri impiegati nel corso dell'attività sono di proprietà dell'INGV e in dotazione all'Unità di Porto Venere. Essi possono essere utilizzati sia da barca che da nave. L'acquisizione, come già detto, è avvenuta contestualmente al rilievo SBP.

Sulla base della tipologia del rilievo effettuato e delle difficoltà di acquisizione in una zona di mare interessata da intenso traffico natante, si è preferito utilizzare il magneto-gradiometro SeaQuest della Marine Magnetics (figura 23), trainato da idrobarca e con messa in mare mediante gru nave. Lo strumento, in configurazione gradiometrica a tre sensori, ha il GPS integrato e risulta quindi completamente indipendente dagli altri apparati imbarcati. Inoltre, il sistema gradiometrico SeaQuest presenta un dispositivo di *floating* che permette di stabilizzare l'assetto dello strumento durante la navigazione e ne impedisce l'affondamento in caso di diminuzione della velocità del vettore trainante, aumentando di fatto la sicurezza durante il rilievo.

Va sottolineato che un'acquisizione gradiometrica evita di dover installare stazioni magnetiche a terra per la correzione della variazione temporale del campo magnetico terrestre.

Le caratteristiche principali del SeaQuest sono:

- accuratezza: 0.2 nT;
- sensibilità: 0.01 nT;
- risoluzione: 0.001 nT;
- assenza di deriva dei dati: la completa mancanza di disturbo garantisce uno spettro di interferenza completamente piatto;
- altimetro: *range* 0-100 m (*step* 0.1 m);
- *tilt sensor*: due assi, (*step* 0,1 gradi);
- sensore di pressione: *range* 300 m (*step* 0,1 m).

In via preventiva è stato imbarcato anche il magnetometro marino ad effetto *Overhauser* SeaSpy (figura 23) della Marine Magnetics. Questo sistema ha rappresentato una riserva nel caso di impossibilità di utilizzo del gradiometro SeaQuest.

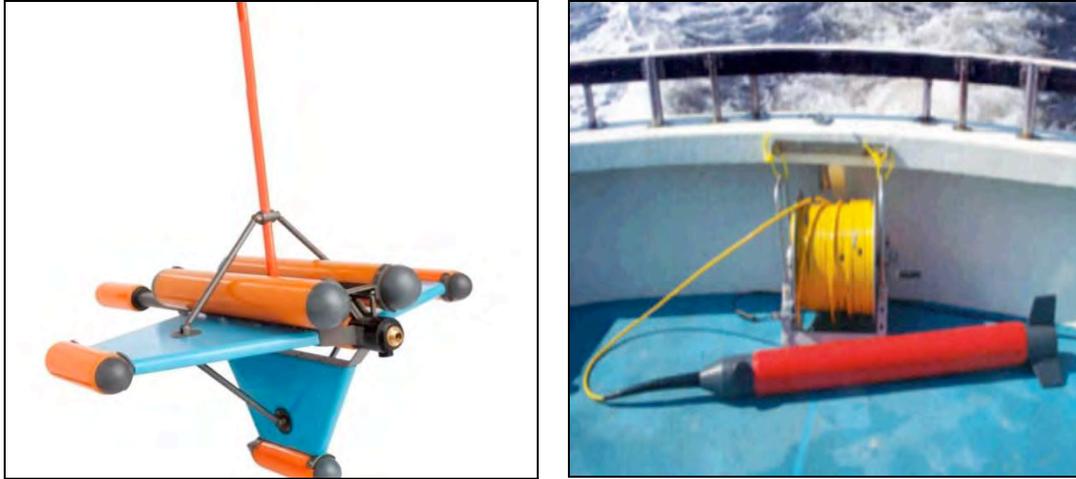


Figura 23. Magnetometri (SeaQuest a sinistra – SeaSpy a destra).

Nelle figure 24 e 25 sono riportate, rispettivamente, le linee di navigazione seguite durante il rilievo magnetometrico ed una preliminare mappa del campo magnetico totale. I dati acquisiti saranno elaborati con le procedure standard e saranno oggetto di analisi successive. La mappa riportata è solo indicativa della copertura areale.

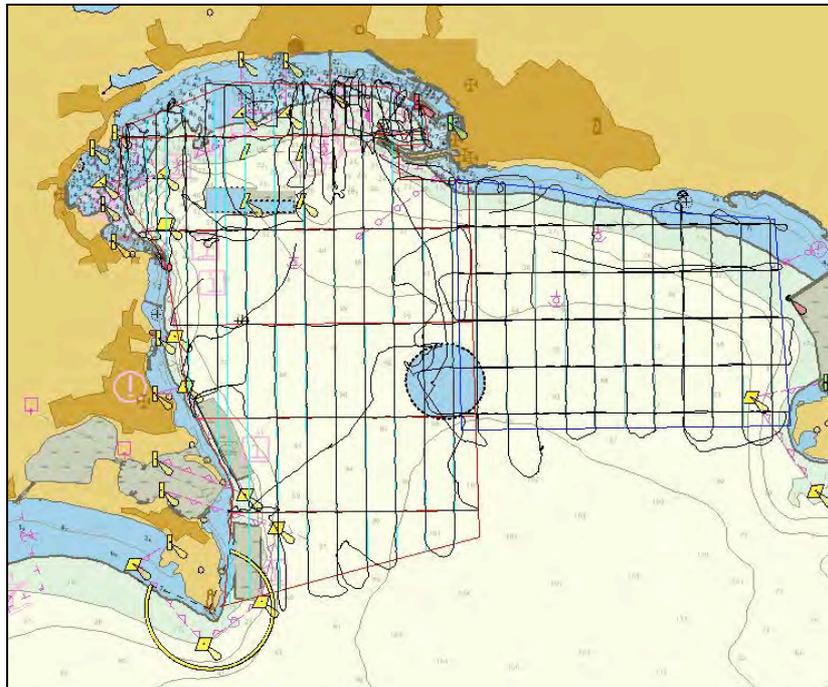


Figura 24. Rotte di navigazione nel Golfo di Pozzuoli per il rilievo magnetometrico.

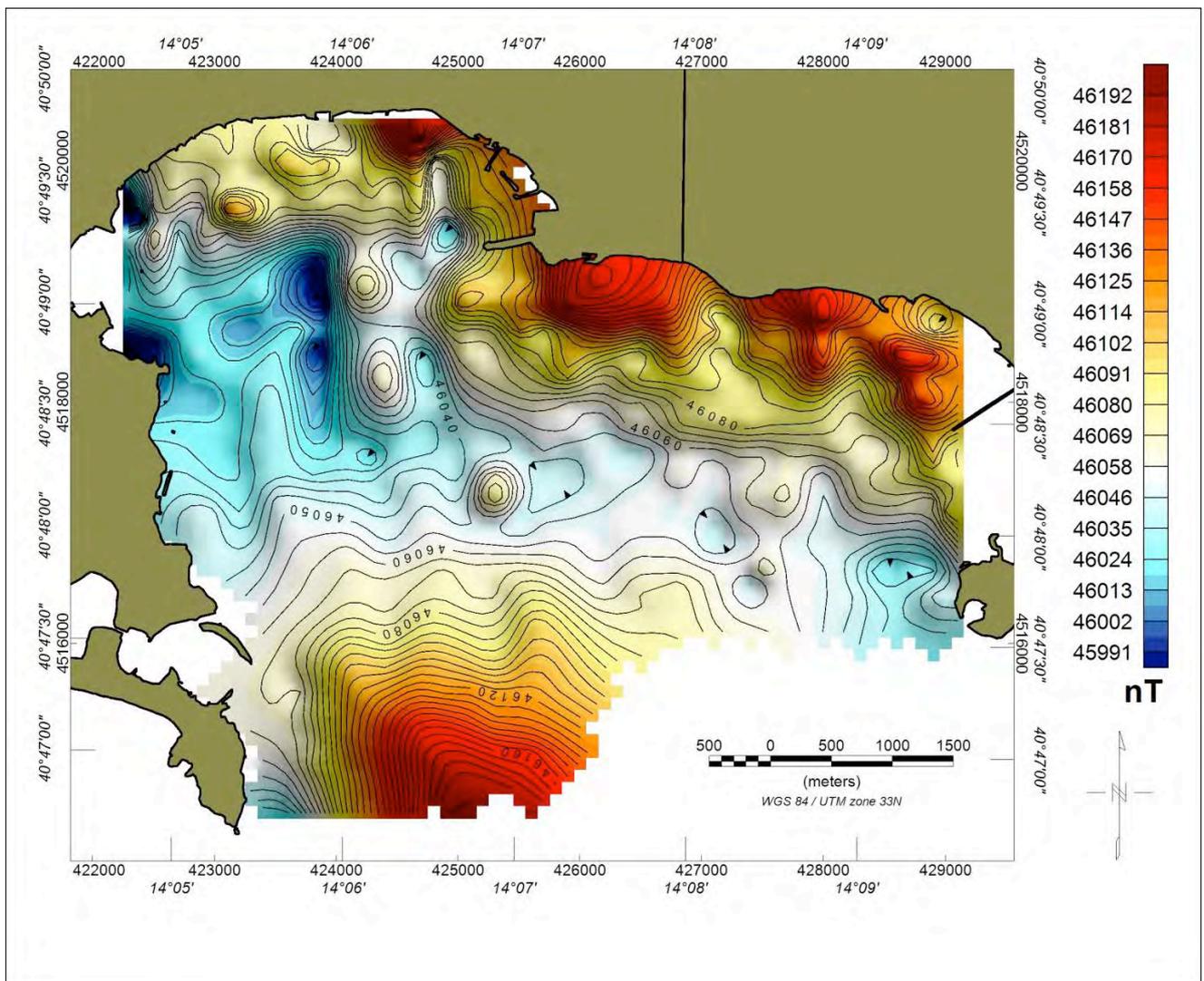


Figura 25. Variazioni di campo magnetico (componente totale F) ottenuto dall'elaborazione del segnale acquisito da un singolo sensore.

Il rilievo magnetico è stato condotto a una velocità media di 3 nodi filando i sensori a circa 30 metri di distanza da poppa dell'idrobarca MBN 1188 (figura 26). Il magneto-gradiometro SeaQuest ha la peculiarità di acquisire in modo sincrono tre *set* di dati di variazione locale del campo magnetico in modo da poter successivamente calcolare le diverse componenti del gradiente del segnale magnetico. Questo tipo di approccio investigativo permette di enfatizzare le anomalie di alta frequenza e di minimizzare al contempo il *noise* elettromagnetico ambientale. Durante la fase di *survey* i dati raccolti sono stati sottoposti a un controllo preliminare della qualità cercando di eliminare errori strumentali e/o legati alla navigazione del vettore. In figura 25 si riporta la variazione locale della componente totale F del campo magnetico nelle due aree di indagini (Aree 1 e 2) ottenuta mediante elaborazione del segnale registrato dal sensore T (sensore posto nella parte inferiore, ovvero, quella a maggiore immersione, come mostrato a sinistra in figura 23).



Figura 26. Configurazione poppa con magnetometro a mare.

4. Indagine stratigrafica e sedimentologica

Il rilievo SBP è stato condotto contestualmente al rilievo magnetometrico seguendo le stesse direttrici di avanzamento, riportate in figura 27.

La stratigrafia del fondale dell'area da investigare è stata esaminata mediante SBP, calibrato con campionamento diretto del fondale a mezzo carotaggi/bennate. Questo sistema permette di identificare la sequenza sismostratigrafica del fondale marino con l'individuazione di *facies* acustiche. Il principio è basato sulla diversa velocità di propagazione del suono all'interno dei diversi mezzi attraversati e conseguentemente dei sedimenti, maggiore è la velocità, più marcata risulta la risposta acustica. La penetrazione e la riflessione dipendono dalle proprietà fisiche del materiale attraversato, dalla struttura del fondo, dalla potenza e dalla frequenza portante del segnale.

Il SBP, di proprietà dell'Istituto Idrografico della Marina, è il SES2000 Compact della Innomar (figura 28), un profilatore portatile in grado di penetrare i sedimenti fino ad un massimo di 40 metri con la discriminazione delle unità di sedimento pelitico.

Di seguito alcuni parametri del SBP:

- *range* misura fondale: 0-400 m;
- penetrazione sedimento: fino a 40 m;
- risoluzione verticale: fino a 5 cm;
- frequenza primaria: 100 kHz;
- frequenze secondarie: 4-15 kHz;
- interfacciabile con GPS, MRU, trigger (TTL).

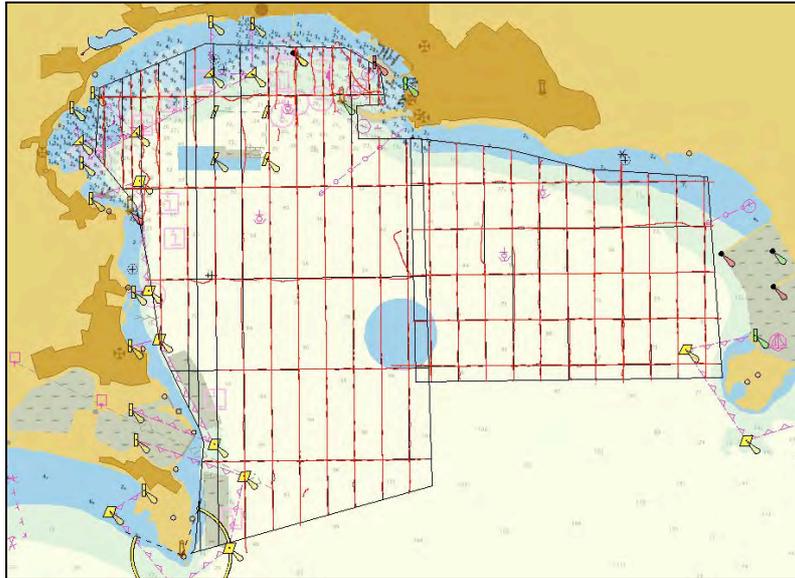


Figura 27. Direttrici di acquisizione SBP; cerchio azzurro: area stazione CUMAS.

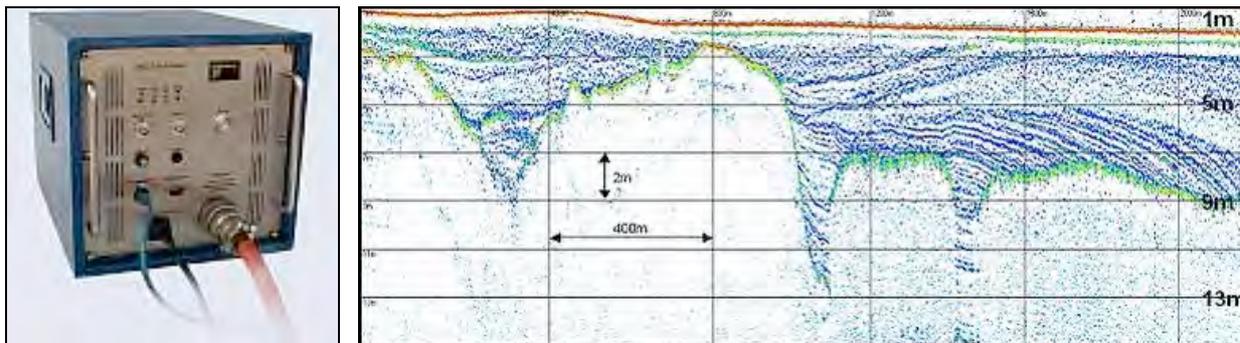


Figura 28. Strumento SBP ed esempio di profilo stratigrafico.

Lo strumento, installato a palo su idrobarca, utilizzato con la frequenza LF di 4 kHz, è risultato efficace indicativamente al di sotto delle batimetrica dei 40 m. La morfologia e la stratigrafia superficiale del fondale del settore indagato evidenziano caratteri tipici di un'area vulcanica con coperture sedimentarie a geometrie interne poco organizzate e di potenze limitate in corrispondenza degli apparati vulcanici, secondo una dinamica molto attiva di tutto il sistema, come riportato da letteratura e di particolare interesse per le ricerche. I depositi sedimentari nel Golfo di Pozzuoli si sono rivelati difficilmente penetrabili dal sistema SBP impiegato; esso è particolarmente indicato per discriminare le coperture fangose in acque poco profonde, effettuando prospezioni ad alta risoluzione. Questo sistema, durante la campagna di acquisizione, ha risposto in modo efficace con l'individuazione di diversi *layer* acustici nelle registrazioni fino a profondità pari a circa 40 m; ciò in relazione non solo alle caratteristiche strumentali, ma soprattutto alla natura del fondale che presenta generalmente un'elevata impedenza acustica che ne limita la penetrazione del segnale. Seppur le condizioni ambientali già facevano presupporre coperture penetrabili al sistema molto limitate, con presenza di substrato roccioso affiorante/sub-affiorante, ci sono, ad una prima analisi delle linee SBP acquisite, riscontri di depositi sedimentari in Area 2, settore di indagine destinato alla posa del collegamento con la stazione CUMAS. In particolare, è presente un *layer* superficiale drappeggiante trasparente al segnale SBP, di potenza variabile fino a circa 1 m, che compare a profondità del fondale

superiori a 30 m. Le registrazioni evidenziano inoltre un ricorrente *noise* ambientale che ha degradato le potenzialità del sistema, in considerazione anche delle non ottimali condizioni meteomarine che, oltre a limitare le acquisizioni delle linee pianificate per il rilievo geofisico, hanno amplificato anche il disturbo da parte del sistema di propulsione dell'imbarcazione stessa.

In Area 1, dove la concentrazione di fumarole note è maggiore, specialmente su bassi fondali, il SBP ha confermato la presenza di alcuni *spot* attivi (figura 29).

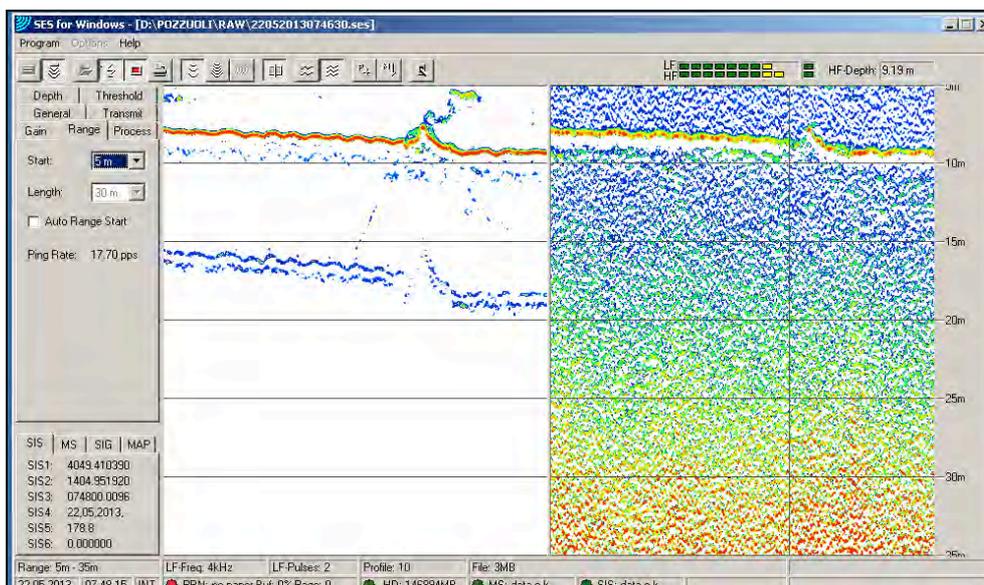


Figura 29. Dettaglio fumarola con HF da registrazione SPB-software SES.

La natura del fondale e la stratigrafia acquisita con il SBP sono state calibrate direttamente con campionamenti del fondale marino con carotiere a gravità e benna Van Veen.

Il sistema carotiere leggero in dotazione a Nave Magnaghi è l'SW-104 (figura 30), un dispositivo che funziona per gravità e può essere armato con tubo massimo di 135 cm (permettendo recuperi in media di 80-100 cm), penetrando materiali non particolarmente compatti e granulari (ottimale in sedimenti fini).



Figura 30. Carotiere leggero a gravità SW-104.

Le particolari caratteristiche di funzionamento e chiusura del sistema SW-104 permettono il campionamento non solo della sequenza sedimentaria, ma anche la preservazione dell'acqua di interfaccia con il fondo. Questo consente un recupero indisturbato di ciò che costituisce interfaccia acqua/sedimento senza che vi siano sospensioni e mescolamento, come invece è probabile che succeda con gran parte dei carotieri a gravità di uso più comune. È uno strumento ideale per la caratterizzazione superficiale del fondo e dei processi sedimentari recenti in un contesto di indagine ambientale (analisi fisiche, chimiche e biologiche), grazie anche al sistema inossidabile che non contamina il campione prelevato ed il possibile impiego di un *liner* trasparente che mostra immediatamente quanto prelevato. La messa a mare dello strumento avviene tramite il portale oceanografico sul lato dritto dell'unità.

L'unità navale non è in grado di conservare le carote in idoneo frigorifero a +4 °C. Pertanto, è stato possibile fornire la caratterizzazione della sequenza campionata secondo le operazioni che hanno avuto luogo subito dopo il prelievo (bennata/carota) per la valutazione dei parametri fisici che sono soggetti a variazioni nel tempo e che rientrano negli standard International Hydrographic Organization (IHO). In particolare, le diverse fasi previste constano di una descrizione macroscopica dei sedimenti e successivo sub-campionamento per analisi granulometrica (classificazione IHO S-44, IHO S-57) e misura del peso di volume, contenuto d'acqua, consistenza (resistenza al taglio e alla compressione con sistemi speditivi). Su campioni dove la frazione fangosa è importante, è prevista l'analisi delle proprietà indice per ulteriori indicazioni sul comportamento dei sedimenti riguardo alle variazioni del contenuto d'acqua.

Non essendo possibile effettuare a bordo l'analisi del contenuto chimico e biologico dei campioni, ne è stato disposto un immediato trasferimento presso i laboratori INGV di Napoli.

I prelievi di campioni disturbati di fondale sono stati possibili grazie all'impiego di benna Van Veen da Idrobarca (5 l) o da Nave (40/60 l). È da segnalare che le bennate da barca sono limitate al prelievo di sedimento di fondo ad una profondità massima di 30 m.

Come sopraindicato, l'Unità Maggiore non è dotata di laboratorio oceanografico ove è presente la strumentazione per la caratterizzazione macroscopica dei sedimenti e il loro sub-campionamento, l'analisi granulometrica e di alcuni parametri fisico-meccanici. Come detto per le carote, non disponendo di idoneo frigorifero per l'eventuale conservazione dei campioni, anche in questo caso è stato previsto un immediato trasferimento dall'Unità presso i laboratori di riferimento.

Dei preventivati prelievi di campioni di fondo marino tramite benna e carotiere, ipotizzati nei siti presso il Banco di Miseno, Banco di Pentapalumbo e Banco di Monte Dolce-Pampano a profondità variabili tra 30 e 100 m, è stato possibile acquisire solo parte di essi. La natura del fondale particolarmente duro e le condizioni meteo-marine hanno limitato i prelievi diretti del fondale. In figura 31 sono riportati i 5 punti di campionamento da Unità Maggiore allo scopo di verificare la qualità del substrato e procedere successivamente al campionamento per mezzo di carotiere leggero. In particolare sono state raccolte 5 bennate (B1N, B2N, B3N, B6N e B7N), e una sola carota al punto B7N (figura 31). Infatti, è stato evidente come le coperture superficiali si presentassero molto riflettenti, carattere tipico di un substrato duro a elevata impedenza acustica, ascrivibile talvolta anche a roccia sub-affiorante. Conseguentemente, sono stati scelti solo due siti idonei per il prelievo con carotiere SW-104 e quindi eseguiti 2 carotaggi, di cui quello in posizione B6N ha dato esito negativo, mentre quello in posizione B7N ha portato al recupero di una carota di 40 cm (figura 32).

In particolare, per caratterizzare il fondale in vista dell'installazione di un cavo di collegamento con la boa CUMAS, gestita dall'OV, sono state eseguite 6 prese di fondo con benna Van Venn da 5 l (da B1 a B4), utili anche per validare i dati di *backscatter* acustico acquisiti (figura 33).

Tutti i campioni di sedimento appena prelevati sono stati caratterizzati macroscopicamente direttamente a bordo (figura 32); gli stessi sono stati poi sottoposti ad analisi granulometriche della frazione grossolana (ghiaia e sabbia) ed alla determinazione di alcuni parametri fisici (Tabella 3) da cui è emerso che i sedimenti variano in granulometria, da sabbia grossolana a pelite con un contenuto d'acqua fino al massimo di 76 % presente nel campione B1N; ove la frazione fine risulta importante, si registrano valori di peso di volume inferiori a 1740 kg/m³.

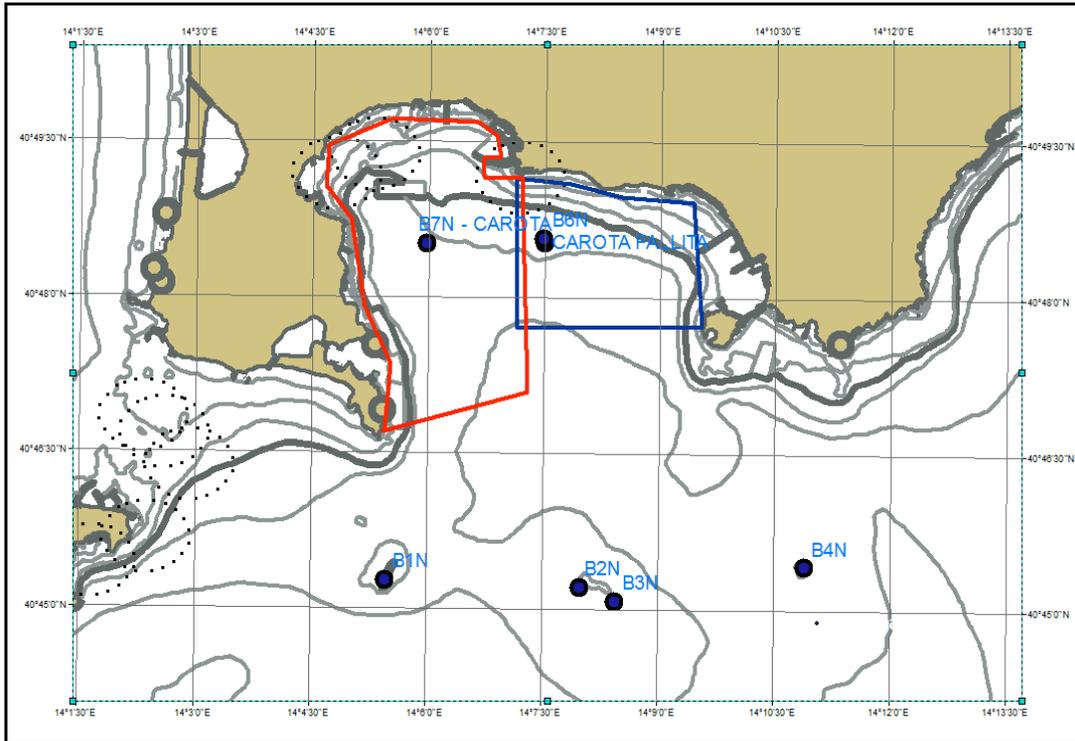


Figura 31. Ubicazione dei punti di prelievo dei campioni di fondo marino tramite carotiere o benna.

Successivamente, gli stessi campioni di sedimento verranno sottoposti ad ulteriori analisi come quella dei componenti magmatici (frammenti di rocce vulcaniche, vetri e cristalli). La carota, sulla base dei risultati di una dettagliata analisi della sequenza stratigrafica, verrà sub-campionata al fine di analizzare eventuali componenti magmatici significativi.

Si prevede anche di contribuire all'interpretazione dei risultati dell'elaborazione dei dati raccolti per l'individuazione delle fumarole, per definirne le implicazioni sulla dinamica recente della caldera.

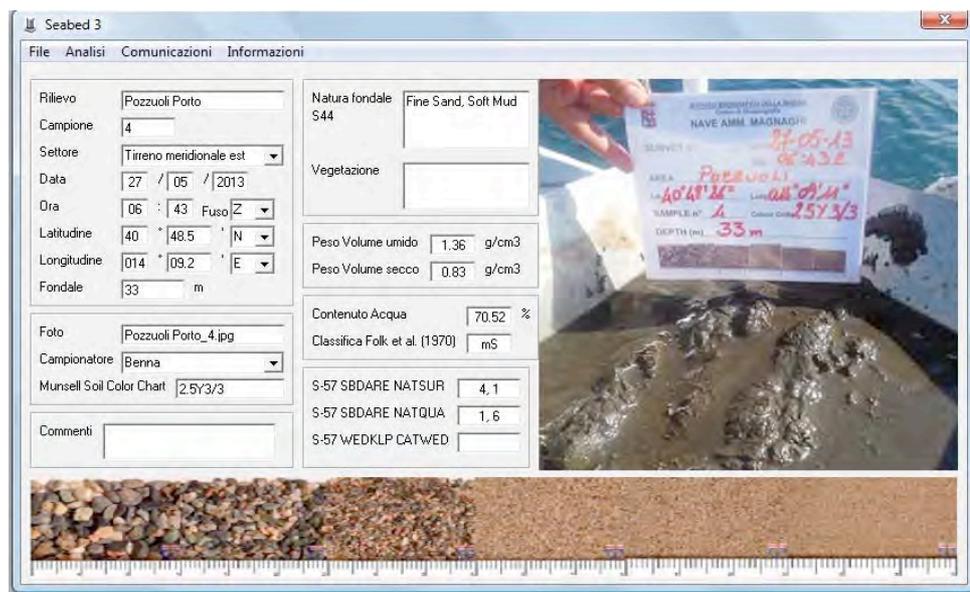


Figura 32. Carota B7N (a sinistra) ed esempio classificazione sedimento da *software* seabed (a destra).

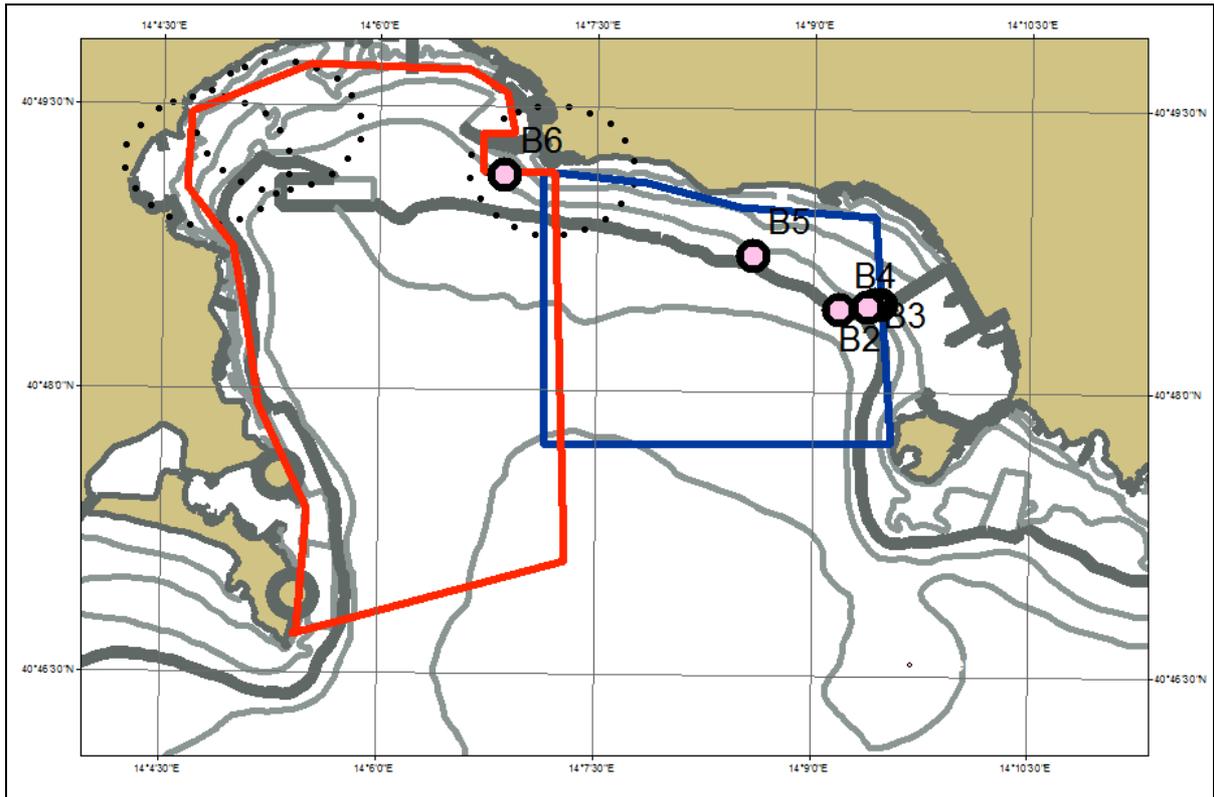


Figura 33. Siti di campionamento con benna da barca.

Tabella 3. Campioni di fondo e loro classificazione sedimentologica: G: ghiaia, S: sabbia, M: pelite, wc: contenuto acqua, γ_w : peso di volume umido, γ_d : peso di volume secco.

Campione	Data	Ora (Z)	LAT (N)	LONG (E)	Prof. (m)	Sistema/ Recupero (m)	G %	S %	M %	Wc %	γ_u (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)	Classificazione			
													Folk et al. 1970	IHO S44	IHO S57 NATQUA	IHO S57 NATSUR
1	27/05/13	05:33	40°48'28"	14°09'28"	18	Benna	1	95	4	34	1.73	1.34	fS	4	1	
2	27/05/13	06:10	40°48'28"	14°09'28"	21	Benna	-	95	5	41	1.69	1.23	fS	4	1	
3	27/05/13	06:24	40°48'27"	14°09'23"	23	Benna	-	95	5	48	1.5	1.1	fS	4	1	
4	27/05/13	06:43	40°48'26"	14°09'11"	33	Benna		80	20	71	1.36	0.8	fS, soM	4, 1	1, 6	
5	27/05/13	07:05	40°48'43"	14°08'35"	23	Benna	66	31	3	35	-	-	G, cS	6, 4	2	
6	27/05/13	07:39	40°49'08"	14°06'52"	20	Benna	2	93	5	56	1.44	0.96	fS	4	1	
B1N	28/05/13	08:30	40°45'17"	14°05'28"	35	Benna	3	90	7	76	-	-	mS	4	2	
B2N	28/05/13	09:40	40°45'13"	14°08'00"	66	Benna	20	72	8	72	-	-	fS, vG	4, 6	1, 8	
B3N	28/05/13	10:35	40°45'05"	14°08'26"	65	Benna	5	90	5	48	-	-	mS	4	2	
B6N	28/05/13	14:45	40°48'34"	14°07'30"	40	Benna	6	72	22	66	-	-	fS, soM, vG	4, 1, 6	1, 6, 8	
						Carotiere/-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B7N	29/05/13	06:50	40°48'31"	14°06'00"	56	Benna	3	77	20	52	1.74	1.05	fS, syM	4, 1	1, 5	
						Carotiere/0.4										

5. Ispezioni visive e campionamenti mediante ROV

Il ROV Sirio (figura 34) è uno strumento dell'INGV, in dotazione all'Unità di Porto Venere, progettato e commercializzato da Ageotec srl; rientra nella specifica *Observer class* dei veicoli filoguidati. Molto maneggevole e di ridotte dimensioni, viene utilizzato per indagare visivamente fondali marini medio-superficiali (massima profondità: 300 metri). Può essere associato a un manipolatore a due movimenti.

Il ROV Sirio è stato provvisto di uno specifico *payload* per il campionamento di gas presenti nell'acqua. Questo sistema, durante la sperimentazione, doveva consentire, in presenza di fumarole nel fondale marino del Golfo di Pozzuoli, di campionare localmente i gas, permettendo di avere informazioni geochimiche molto importanti. La sperimentazione ha suggerito di raffinare il dispositivo attraverso una riprogettazione che tenga conto delle difficoltà operative incontrate.

Di seguito le specifiche tecniche dello strumento:

- ROV "Observer Class" for visual inspections;
- Profondità operativa: 300 m;
- Dimensioni: 590x560x450 mm;
- Peso: 40 kg;
- Chassis: Polyethylene H.D. and Stainless steel load frame and lift points;
- Camere: nr. 1 a colori;
- Alimentazione: 220-240 VAC, 380-410 VAC a singola fase 50/60 Hz 3 kW;
- Payload: 8 kg (fino a 10 kg con galleggiante opzionale).



Figura 34. ROV Sirio.

Durante la campagna sono state acquisite riprese video di alcune ore in prossimità di tutti i punti noti dove erano state censite, nel corso di precedenti spedizioni, le fumarole (figura 35).

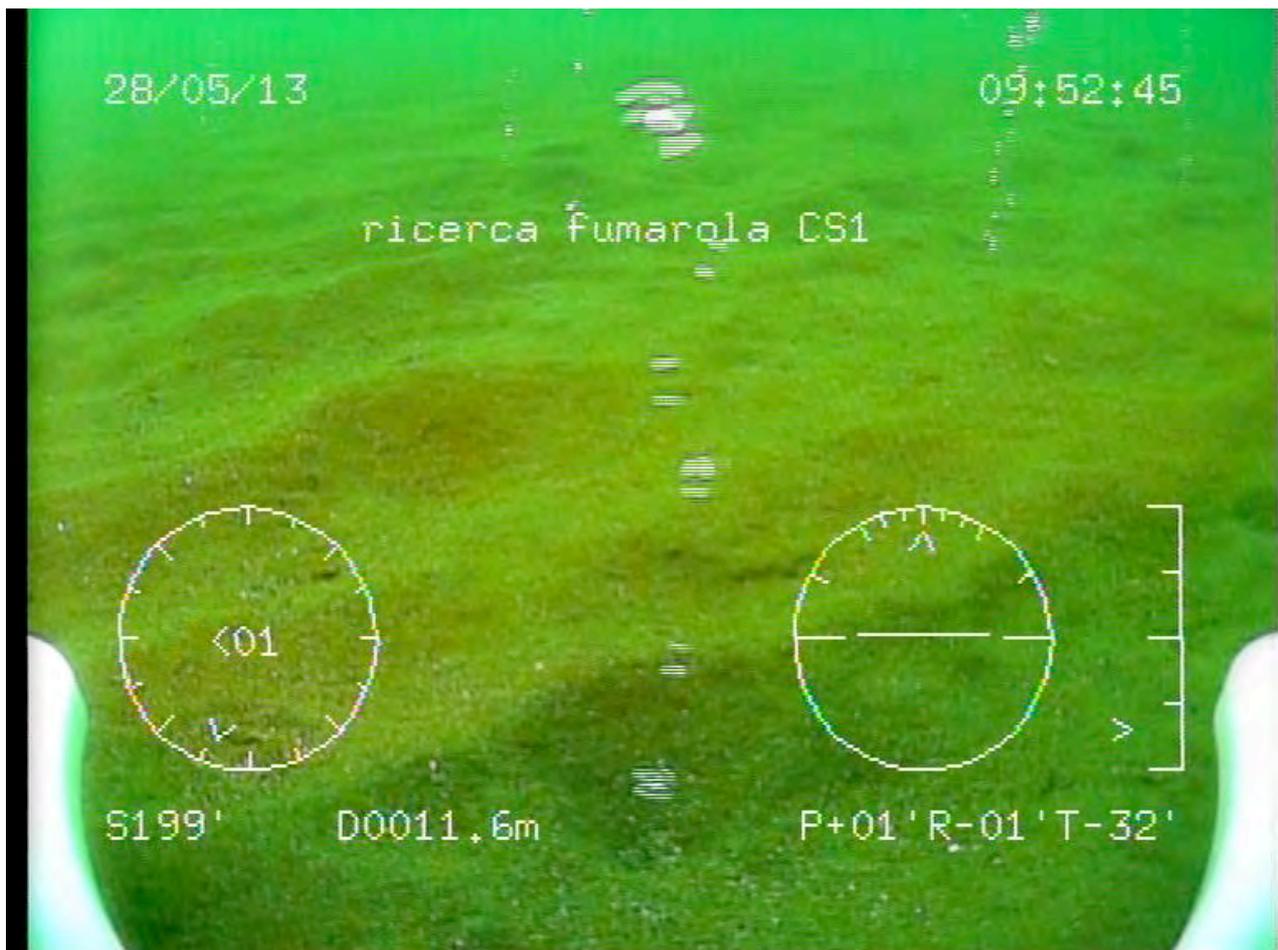


Figura 35. Fotogramma da riprese effettuate con ROV in Area 1 nella zona Secca delle Fumose. Chiara evidenza di bolle in primo piano.

6. Campionamenti della colonna d'acqua: acquisizione di parametri fisici, della velocità di propagazione del suono mediante profilatore SVP e analisi dei parametri idrologici

Le sonde multiparametriche in dotazione alla Nave “Ammiraglio Magnaghi” sono le CTD316 Plus della Idronaut, dotate dei seguenti sensori: pressione, temperatura, ossigeno e pH. Esse possono essere accessoriate con sistema altimetrico e con batterie supplementari per registrazione in modalità *self recording*.

Entrambe le sonde sono interfacciabili con la rosetta General Oceanics 1015/12 dotata di 11 bottiglie della capacità di 12 litri ciascuna (figura 36). L'Unità navale possiede pertanto capacità di raccolta di campioni d'acqua ma non ha capacità di conservazione e analisi degli stessi a bordo. Si è pertanto convenuto di velocizzare il relativo trasporto con immediatezza presso i laboratori di Napoli e Palermo per le analisi relative. Tramite il *software* proprietario della Idronaut, Redas 5, si è in grado di comandare la chiusura delle bottiglie a distanza oppure impostare il *sampling* a tempo.

L'impiego del CTD può avvenire sia da nave, con telemetria, che da barca, in modalità *self recording*.

Le caratteristiche principali del CTD sono:

- Campionamento: 14 Hz;
- Sensore di pressione: 0.01%FS;
- Sensore di temperatura: sensore al platino (costante di tempo: 50ms).



Figura 36. CTD 316 Plus e Rosette.

Nell'ambito della campagna geofisica-oceanografica "RICAMAR2013" è stata effettuata un'attività di campionamento con lo scopo di acquisire i principali parametri geochimici delle acque del Golfo di Pozzuoli e di individuare l'eventuale presenza di fluidi vulcanici attraverso l'impiego di metodologie geochimiche. Tale attività è stata svolta nei giorni 28 e 29 maggio 2013 a bordo della nave utilizzando le attrezzature scientifiche in dotazione all'unità. Sono stati effettuati profili della colonna d'acqua con la sonda multiparametrica su nove punti (figura 37), la cui scelta è stata dettata dalla posizione riportata in letteratura di emissioni gassose [De Bonitatibus et al., 1970; Tedesco et al. 1990; Vaselli et al., 2011], dalle altre attività cui è stata destinata la nave (bennate, carotaggi), e dalle possibilità di manovra della nave stessa all'interno del Golfo.



Figura 37. Ubicazione dei punti di prelievo dei campioni di acqua (cerchi gialli).

Per ogni punto, sono stati effettuati, con l'ausilio della rosetta, prelievi a differenti profondità per un totale di 26 campioni (Tabella 4). Per ogni campione, oltre ad acquisire i parametri chimico-fisici registrati dalla sonda multiparametrica, sono state prelevate differenti aliquote per la determinazione dei seguenti parametri di interesse geochimico: gas disciolti, chimica degli elementi maggiori e delle tracce, isotopi dell'ossigeno e dell'idrogeno dell'acqua, isotopi del carbonio totale disciolto, isotopi dell'He disciolto. Le analisi dei campioni prelevati sono attualmente in corso.

Tabella 4. Parametri chimico-fisici ed analitici dei campioni di acqua prelevati nella campagna del 28-29 maggio 2013. Le concentrazioni dei gas disciolti (CO₂, Ar, O₂, N₂, He) sono espresse in millimoli per litro (mmol/l); le concentrazioni di HCO₃ sono espresse in mg/l.

Campione	Data	Ora	Lat	Long	Fondo (m)	Profondità (m)	Temp (°C)	CE	pH	Ox %	HCO ₃	CO ₂	Ar	O ₂	N ₂	He
1A	28/05/2013	08:42:43	40°45'12.332	14°05'27.571	31	10.4	16.06	47.02	8.23	27.5	160.9	1.75E-02	1.11E-02	2.21E-01	4.14E-01	2.21E-06
1B	28/05/2013	08:42:43	40°45'12.332	14°05'27.571	31	22.4	14.84	46.02	8.25	28.0	161.5	2.06E-02	1.10E-02	2.19E-01	4.15E-01	2.60E-06
2A	28/05/2013	10:06:39	40°45'16.878	14°08'01.819	45	10.2	16.77	47.74	8.26	27.3	163.2	2.11E-02	1.10E-02	2.26E-01	4.16E-01	2.30E-06
2B	28/05/2013	10:06:39	40°45'16.878	14°08'01.819	45	25.2	14.74	45.82	8.25	26.0	161.8	1.96E-02	1.14E-02	2.22E-01	4.32E-01	2.61E-06
2C	28/05/2013	10:06:39	40°45'16.878	14°08'01.819	45	40.4	14.36	45.56	8.26	26.8	161.3	2.33E-02	1.19E-02	2.40E-01	4.71E-01	3.35E-06
3B	28/05/2013	11:20:45	40°45'05.026	14°08'30.792	65	30.6	14.48	45.59	8.23	24.6	161.0	1.87E-02	1.11E-02	2.15E-01	4.18E-01	2.36E-06
3C	28/05/2013	11:20:45	40°45'05.026	14°08'30.792	65	59.9	14.14	45.36	8.23	24.5	161.7	1.96E-02	1.10E-02	2.10E-01	4.13E-01	2.12E-06
4A	28/05/2013	12:52:35	40°45'24.026	14°10'59.792	160	30.7	14.42	45.54	8.25	23.2	161.9	1.79E-02	1.11E-02	2.22E-01	4.33E-01	2.88E-06
4B	28/05/2013	12:52:35	40°45'24.026	14°10'59.792	160	60.1	14.15	45.37	8.23	22.0	160.6	1.65E-02	1.15E-02	2.27E-01	4.51E-01	3.25E-06
4C	28/05/2013	12:52:35	40°45'24.026	14°10'59.792	160	89.6	14.36	45.86	8.21	20.8	161.4	2.10E-02	1.10E-02	1.99E-01	4.26E-01	2.50E-06
4D	28/05/2013	12:52:35	40°45'24.026	14°10'59.792	160	120.2	14.47	46.20	8.20	19.9	160.0	2.09E-02	1.07E-02	1.86E-01	4.01E-01	2.05E-06
4E	28/05/2013	12:52:35	40°45'24.026	14°10'59.792	160	148.6	14.47	46.33	8.19	19.5	161.1	2.58E-02	1.21E-02	2.00E-01	4.73E-01	2.89E-06
5B	28/05/2013	15:42:40	40°48'29.688	14°07'31.624	41	20.3	15.23	46.31	8.22	22.0	162.4	1.64E-02	1.03E-02	2.07E-01	3.86E-01	2.15E-06
5C	28/05/2013	15:42:40	40°48'29.688	14°07'31.624	41	34.8	14.22	45.43	8.23	21.7	160.0	1.89E-02	1.08E-02	2.08E-01	4.02E-01	3.54E-06
6A	28/05/2013	16:15:34	40°47'43.394	14°07'46.953	90	10.3	17.84	48.51	8.27	23.1	159.4	1.76E-02	1.09E-02	2.09E-01	4.07E-01	2.37E-06
6B	28/05/2013	16:15:34	40°47'43.394	14°07'46.953	90	60.7	14.22	45.53	8.22	20.1	161.2	2.48E-02	1.08E-02	1.92E-01	4.04E-01	1.69E-06
6C	28/05/2013	16:15:34	40°47'43.394	14°07'46.953	90	84.4	14.34	45.84	8.21	19.6	158.1	2.19E-02	1.09E-02	1.92E-01	4.45E-01	1.97E-06
7A	28/05/2013	17:41:19	40°47'30.568	14°06'23.330	90	24.5	14.78	45.87	8.24	20.8	159.6	2.42E-02	1.15E-02	2.26E-01	4.31E-01	1.73E-06
7B	28/05/2013	17:41:19	40°47'48.942	14°06'16.913	90	60.2	14.20	45.50	8.23	19.0	160.7	2.71E-02	1.43E-02	2.88E-01	5.34E-01	2.15E-06
7C	28/05/2013	17:41:19	40°47'48.942	14°06'16.913	90	85.5	14.36	45.89	8.20	17.8	163.4	2.76E-02	1.13E-02	1.84E-01	4.24E-01	1.91E-06
8B	29/05/2013	05:29:14	40°47'44.960	14°08'44.844	90	50.1	14.20	45.37	8.23	15.5	161.6	2.43E-02	1.12E-02	2.12E-01	4.19E-01	1.79E-06
8C	29/05/2013	05:29:14	40°47'44.960	14°08'44.844	90	80.4	14.18	45.42	8.21	15.2	161.1	2.41E-02	1.17E-02	2.24E-01	4.64E-01	n.d.
9A	29/05/2013	07:19:41	40°48'21.160	14°06'28.181	60	15.9	14.72	45.80	8.24	15.7	160.4	2.29E-02	1.11E-02	2.11E-01	4.18E-01	1.89E-06
9B	29/05/2013	07:19:41	40°48'21.160	14°06'28.181	60	25.1	14.36	45.49	8.25	15.8	164.8	2.45E-02	1.06E-02	2.10E-01	4.39E-01	2.36E-06
9C	29/05/2013	07:19:41	40°48'21.160	14°06'28.181	60	36.0	14.25	45.41	8.25	15.6	162.2	2.14E-02	1.12E-02	2.24E-01	4.32E-01	2.30E-06
9D	29/05/2013	07:19:41	40°48'21.160	14°06'28.181	60	55.4	14.19	45.44	8.23	14.8	160.8	2.44E-02	1.14E-02	2.20E-01	4.27E-01	2.19E-06

Durante il *survey*, sono stati acquisiti valori relativi alla velocità di propagazione del suono mediante profilatori SVP e analisi dei parametri idrologici. L'unità navale è dotata di 3 profilatori di velocità del suono SVP mini della ditta Valeport (figura 38). Il loro impiego avviene contestualmente al rilievo *multibeam*. Di massima vengono effettuate 4 calate al giorno ad una profondità maggiore rispetto a quella di scandagliamento. La profondità massima di impiego da barca è 45 metri con la possibilità di utilizzo di verricello con modulo *bluetooth* per visualizzazione del profilo *real time*. Il numero dei *profili*, suppletivi rispetto a quelli necessari per il rilievo *multibeam*, è stato stabilito durante il rilievo, in rapporto alle specifiche aree di indagine.

Velocità del suono:

- *range*: 1375-1900 m/s;
- risoluzione: 0.001 m/s;
- accuratezza: ± 0.02 m/s.

Temperatura:

- *range*: -5°C to $+35^{\circ}\text{C}$;
- risoluzione: 0.001 $^{\circ}\text{C}$;
- accuratezza: $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$.

Pressione:

- *range*: 10, 50, 100, 300 or 600 bar;
- risoluzione: 0.001% *range*;
- accuratezza: $\pm 0.05\%$ *range*.



Figura 38. Valeport Mini SVP.

Allo scopo di correlare i dati di temperatura raccolti via satellite (solo per lo strato superficiale), sono stati eseguiti 57 profili di temperatura all'interno del Golfo a diverse profondità (figura 39). I profili, effettuati, con la sonda Valeport mini SVP, sono stati distribuiti per fasce di fondale su tutta l'area oggetto dei rilievi batimetrici e geofisici. I dati raccolti serviranno per confermare i dati dei satelliti e contribuiranno all'aggiornamento del *database* climatologico della zona.

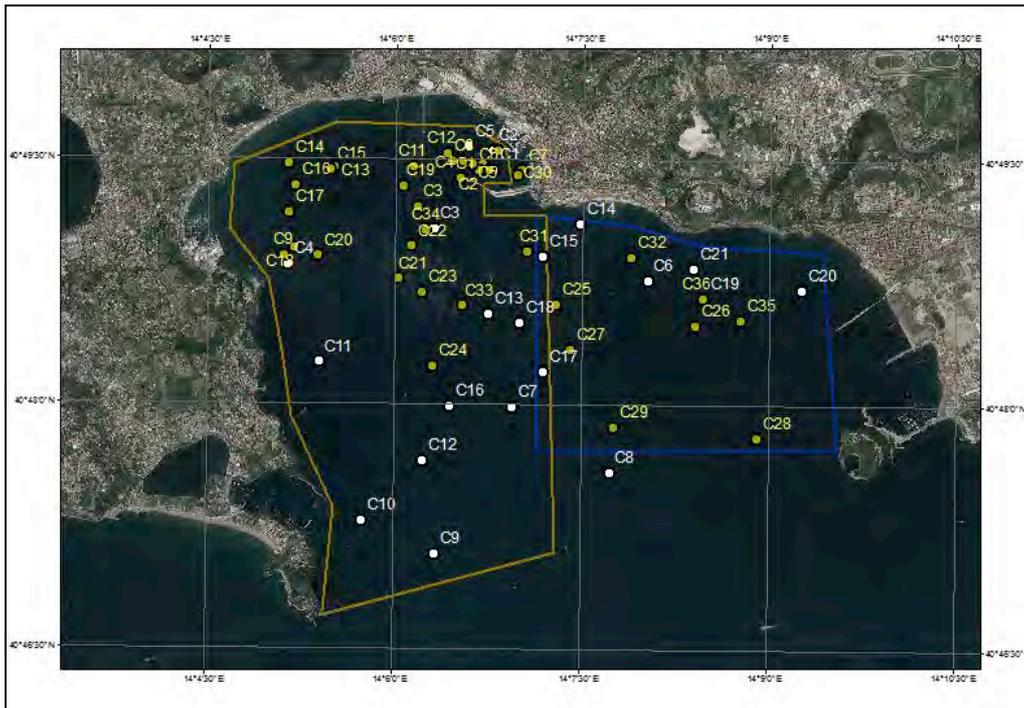


Figura 39. Distribuzione dei profili di temperatura.

Contestualmente all'attività di campionamento del fondale marino sono stati eseguiti 11 profili con CTD Idronaut 316Plus e sistema Rosette da Unità maggiore (figura 40). Il campionamento della colonna d'acqua è avvenuto a tre profondità (fondo - medio - prima dello strato mescolato).

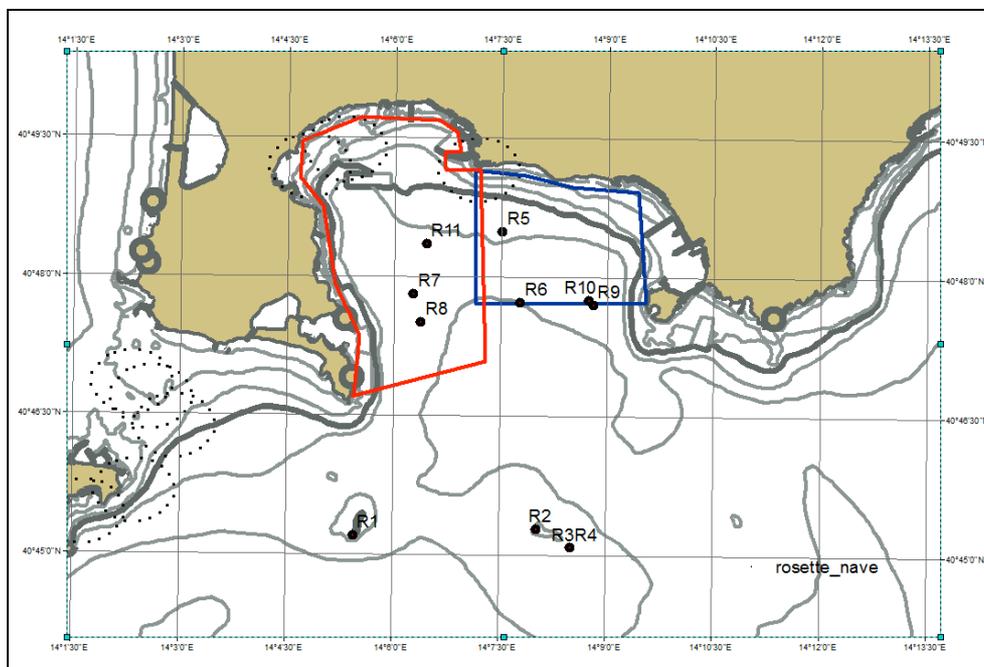


Figura 40. Distribuzione dei profili CTD.

7. Sperimentazione side scan sonar (SSS) ad alta risoluzione

Il *side scan sonar* (SSS) utilizzato, di proprietà della società Oceanix Srl di Napoli [Tangaro et al., 2013], è uno strumento ad alta risoluzione operante nella banda 400-1250 kHz. Le caratteristiche principali sono riportate nella successiva Tabella 5.

Tabella 5. Caratteristiche del SSS.

		
HIGH RESOLUTION DUAL FREQUENCY DIGITAL SIDE SCAN SONAR 400-1250		
Operating Frequency	400KHZ	1250KHZ
Operating Range	150M	30M
Transmission Pulse	15MS ~ 100MS	5MS ~ 25MS
Beam Width (Horizontal)	0.3°	0.3°
Beam Width (Vertical)	40°	30°
Beam Tilt	10°, 20°, 30°DOWN	
Modulation	TONE BURST	
DATA ACQUISITION		
Delph sonar acquisition data logger xtf data format		
ACCESSORIES		
Cable reel with slip ring		
Motion sensor (heading, roll, pitch)		

Il SSS è stato utilizzato con l'imbarcazione BigOne dell'INGV nell'area del Parco sommerso e Area Marina Protetta di Baia ed ha interessato anche l'area della "Secca Fumosa" dove sono presenti numerose fumarole. In particolare, l'area nella quale ha operato è ubicata nel tratto di mare compreso tra i Comuni di Bacoli e Pozzuoli e comprende le aree del Parco di Baia individuate come area A e C della successiva figura 41.

Il SSS è stato impostato con uno "Slant Range" (*range* laterale) di 25 metri per canale. Il *tow-fish* (sensore subacqueo) è stato tenuto a una distanza minima dal fondale pari a circa il 15% del *range*. La distanza tra le linee adiacenti (interlinea) è stata di 15 m, tale da permettere una sovrapposizione dei dati (*overlap*) di circa il 130 %.

Le procedure di utilizzo del SSS hanno previsto l'ausilio di un ecoscandaglio per monitorare le variazioni del fondale e inoltre, causa la presenza di strutture archeologiche presenti nell'area, l'imbarcazione ha tenuto una velocità di lavoro compresa tra 2 ÷ 3 nodi.

La posizione del *tow-fish* è stata determinata in tempo reale utilizzando la tecnica denominata "layback positioning", dove la posizione del sensore è determinata considerando la lunghezza del cavo filato in mare e la posizione, velocità e orientamento dell'imbarcazione, tenendo conto dell'*offset* tra la posizione dell'antenna GPS e il punto di sbraccio del cavo del *tow-fish*.

L'elaborazione dei dati acquisiti è attualmente in corso allo scopo di caratterizzare le fumarole presenti nell'area investigata, considerando i seguenti fattori:

- contrasto di impedenza acustica delle bolle di gas in risalita;
- eventuale differenza di temperatura della colonna d'acqua sottoposta all'azione del gas;
- eventuale differenza del *backscatter* diffuso dal fondo marino a causa di eventuali depositi di minerali contenuti nel gas delle fumarole.

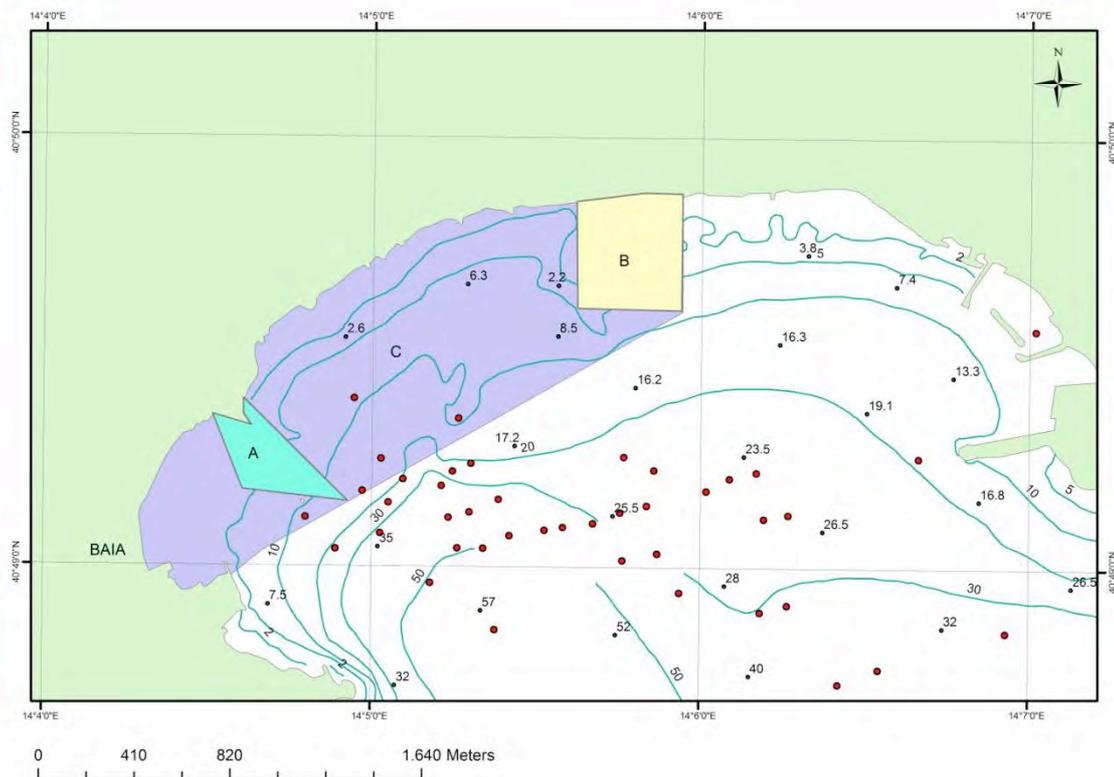


Figura 41. Ubicazione dell'area di lavoro del SSS.

Da informazioni raccolte sul sito di indagine, al momento l'attività fumarolica nell'area della Secca Fumosa è limitata. Durante le operazioni di rilievo si è cercato di evidenziare l'attività in superficie registrandone la posizione, quando individuata. Durante il rilievo sono stata avvistate poche e scarse bolle in superficie a conferma di quanto raccolto con le interviste sul campo.

Analisi preliminari evidenziano la differenza di temperatura dell'acqua di mare nelle vicinanze della bocca fumarolica. La differenza di temperatura con l'ambiente circostante e quindi la variazione della velocità del suono, si evidenzia nelle registrazioni con delle deformazioni caratteristiche. Quest'analisi dovrebbe permettere di valutare l'area interessata dalla fumarola anche in assenza di bolle di gas in risalita. Inoltre, le analisi preliminari hanno anche evidenziato un'influenza delle fumarole sul fondo circostante, dove si dovrebbero depositare elementi non idrosolubili contenuti nel gas. Questa deposizione dovrebbe creare un differente *texture* del fondo e quindi un differente valore di *backscatter* registrato dal SSS.

La figura 42 riporta un esempio di immagine SSS dove, sul canale destro, si evidenzia una distorsione del segnale acquisito dovuto alla variazione di velocità di propagazione del suono per effetto della variazione di temperatura dell'acqua, attribuibile alla presenza di fumarole.

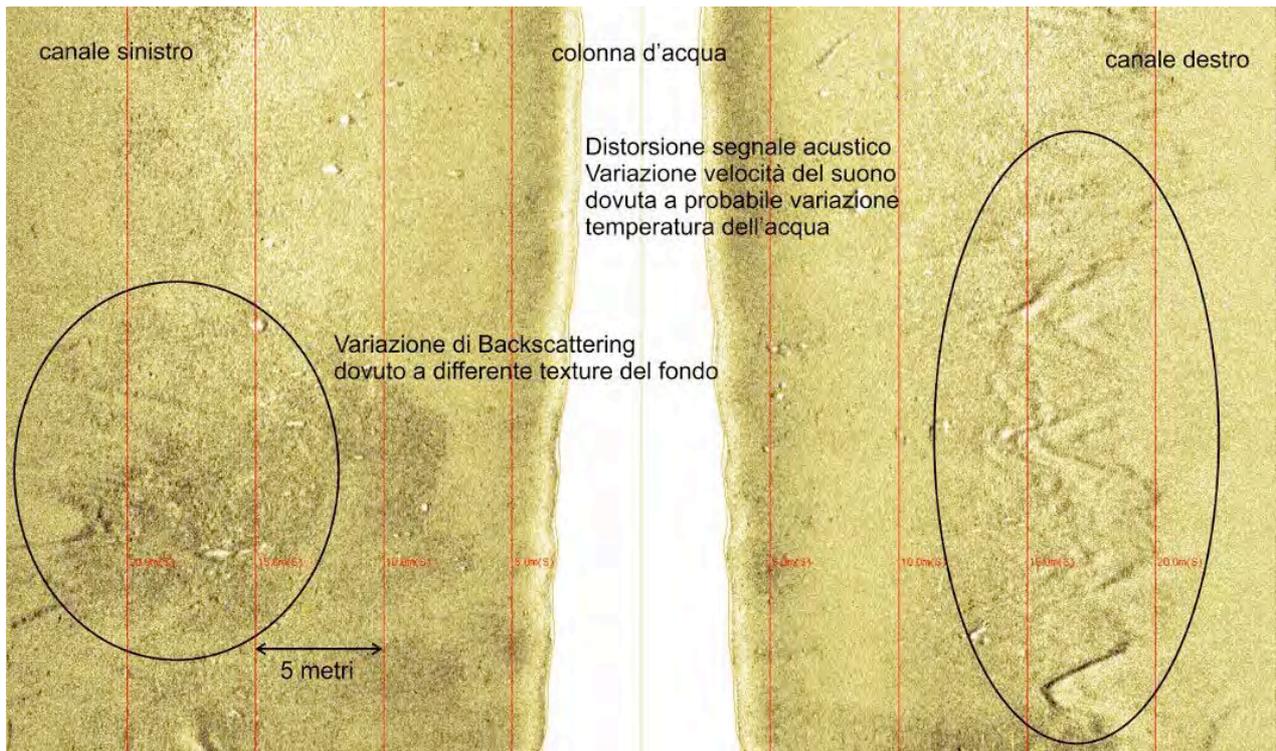


Figura 42. Esempio di immagine acquisita dal *side scan sonar*.

8. Mappatura termica dell'area di indagine attraverso l'integrazione di misure lungo la colonna d'acqua compendiate da dati satellitari ottici e SAR di superficie

Le fenomenologie vulcaniche che si estendono su scale spaziali molto grandi e/o che sono caratterizzate da elevate dinamiche richiedono tecniche di osservazione a scala sinottica che solo le piattaforme remote dei sistemi di telerilevamento possono garantire. Per quanto riguarda il monitoraggio termico (anomalie termiche) sono state individuate le missioni ed i *payloads* satellitari attualmente operativi e/o approvati che possono dare un contributo potenziale a questo tipo di osservazioni.

L'adeguatezza dei differenti sensori satellitari, è stata successivamente valutata anche in base alle loro caratteristiche tecniche (es. risoluzione spaziale, copertura geografica, ecc.) e *performances* strumentali (es. risoluzione radiometrica). Inoltre, al fine di valutare anche la reale utilizzabilità dei dati spaziali per monitorare il sistema dei vulcani italiani (copertura dell'area italiana) e nei diversi scenari applicativi (es. pre/during/post crisi) sono state considerate anche le principali caratteristiche orbitali e osservative, quale ad esempio la risoluzione temporale. Le informazioni che seguono nella Tabella 6, riportano le caratteristiche dei sensori utilizzati per questo rapporto.

Sensori ottici

Per rispondere alle esigenze di monitoraggio in “*near real time*” nel 2004, il CNT - Laboratorio di Telerilevamento dell'INGV ha acquisito e installato un'antenna in banda L per acquisire immagini AVHRR dei satelliti NOAA utilizzati per le osservazioni in campo oceanografico e da tempo utilizzati per le osservazioni vulcanologiche.

Nel 2008, al fine di sostenere e incrementare le attività di monitoraggio di eventi eruttivi dei vulcani attivi italiani nell'ambito della convezione con il Dipartimento di Protezione Civile 2007-2009, è stato

acquisito un sistema di ricezione satellitare ‘L/X band’ “*multi-mission*” + antenna EUMETSAT in grado di acquisire dati da diversi satelliti dedicati all’osservazione della Terra ad orbita polare e geostazionaria.

Il sistema multimissione permette l’incremento del flusso di dati satellitari con la ricezione dei dati tramite MEOS-POLAR:

MODIS¹, AIRS² e AMSU³ a bordo dei satelliti americani NASA TERRA e AQUA;
dati MVISR⁴ a bordo dei satelliti cinesi FY 1.

Tramite MEOS-GEO:

METOP⁵, MSG⁶, MTSAT⁷, GOES⁸ (tramite contratto di licenza EUMETSAT).

Infine grazie alla presenza di ricercatori INGV nei *science team* della NASA, l’INGV dispone dell’accesso gratuito ai dati ASTER.

Tabella 6. Principali caratteristiche dei sistemi ottici per il monitoraggio termico.

Strumento/ Missione (status)	Intervallo Spettrale	Risoluzione Spaziale (nadir)	Swath	Angolo di vista	Tempo di rivisita
ASTER/ EOS-TERRA (NASA) (in orbita)	8.125-8.475 μm 8.475-8.825 μm 8.925-9.275 μm 10.25-10.95 μm 10.95-11.65 μm	90 m	232 km	$\pm 8.6^\circ$	16 gg
MODIS /TERRA & AQUA (NASA) (in orbita)	20 ch. (0.62-2.155 μm) 15 ch. (3.66-14.38 μm)	0.25 Km (bands 1-2) VIS 0.50 Km (bands 3-7) VIS-SWIR 1 Km (bands 8-36) VIS- TIR	2330 km	$\pm 55^\circ$ across track at 705 Km	12h /terra & acqua (4 dati al giorno)
AVHRR/ NOAA & METOP 1-2 (NOAA) (in orbita)	3 ch. (0.63-1.61 μm) 3 ch. (3.55-12.5 μm)	1.1 Km	2850 Km	$\pm 55^\circ$ across track at 830 Km	6 h

¹Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)

²Atmospheric Infrared Sounder (AIRS)

³Advanced microwave sounding unit (AMSU)

⁴Multichannel Visible and Infrared Radiometer Scan (MVISR)

⁵Meteorological Operational satellite programme (METOP)

⁶Meteosat Second Generation (MSG)

⁷Multi-functional Transport Satellite (MTSAT)

⁸Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES)

Sensori radar di tipo SAR (Synthetic Aperture Radar)

In questo rapporto sono stati considerati dati COSMO-SkyMed, acquisiti dalla prima costellazione italiana duale di satelliti per l'osservazione della terra. Sviluppato dall'Agenzia Spaziale Italiana in cooperazione con il Ministero della Difesa, COSMO-SkyMed si basa su una costellazione di quattro satelliti identici, dotati di radar ad apertura sintetica (SAR) che lavorano in banda X (in grado quindi di vedere attraverso le nuvole e in assenza di luce solare).

Il vero punto di forza di COSMO-SkyMed è la straordinaria flessibilità di utilizzo (figura 43). L'occhio del radar può operare in modalità *spotlight* (concentrandosi su un'area di pochi km quadrati, osservandola con risoluzione fino al singolo metro), *stripmap* (osservando una striscia continua di superficie terrestre) o *scanSAR* (coprendo una regione di 200 km di lato). Brevissimi sono anche i tempi di risposta, cioè il tempo necessario per configurare la costellazione in modo da ottenere immagini dell'area desiderata: da 72 ore quando si opera in condizioni di routine, fino a meno di 18 ore in condizioni di emergenza. Altro punto di forza è il breve tempo di rivista (l'intervallo tra due passaggi sullo stesso punto), inferiore alle 12 ore, che consente di monitorare costantemente l'evoluzione della situazione in una particolare area. Attualmente, nessun sistema satellitare può vantare caratteristiche così avanzate.

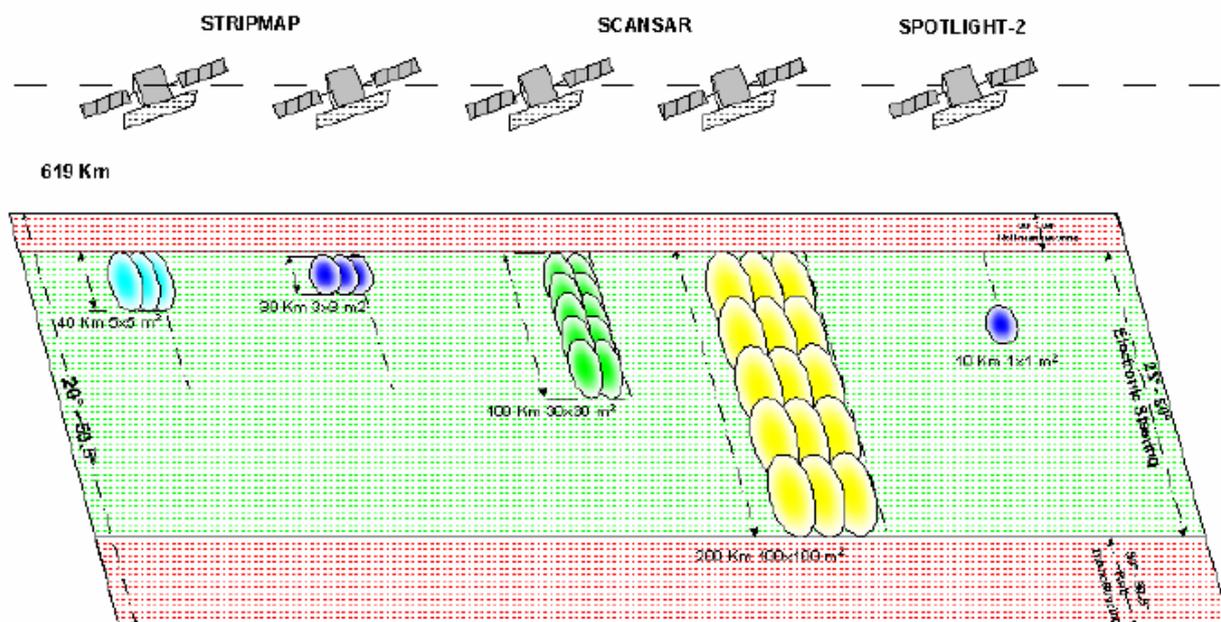


Figura 43. Tipi di acquisizione e relative caratteristiche dei dati COSMO-SkyMed.

Descrizione dei Risultati

Sensori ottici

Alla data di questo report, nella Tabella 7 sono riportati il numero di dati satellitari processati. Nella tabella sono stati rimossi tutti i dati nuvolosi e rumorosi. Sono stati processati solo i dati notturni e privi di nuvole al fine di evidenziare, se presenti, le eventuali anomalie termiche superficiali generate da fenomeni vulcanici sub-superficiali che, nelle ore diurne, potrebbero essere mascherate dal riscaldamento della superficie da parte della radiazione solare incidente. In figura 44 è riportata l'area investigata acquisita attraverso il sensore ASTER.

L'analisi dettagliata delle mappe di temperatura ottenute con dati ASTER permette di discriminare le aree di anomalia della zona di "Pisciarelli" rispetto a quella più evidente della "Solfatarà", mentre nel mare, in prossimità del Golfo di Pozzuoli, non si individuano particolari variazioni di temperatura (figure 44-45).

Tabella 7. Numero di dati elaborati.

Sensore	N. Dati
AVHRR	36 (a partire dal 15 dicembre 2012)
MODIS	31 (a partire dal 15 dicembre 2012)
ASTER	27 (relativi alla serie storica 2002-2013)
MSG3	Continui ogni 5 minuti

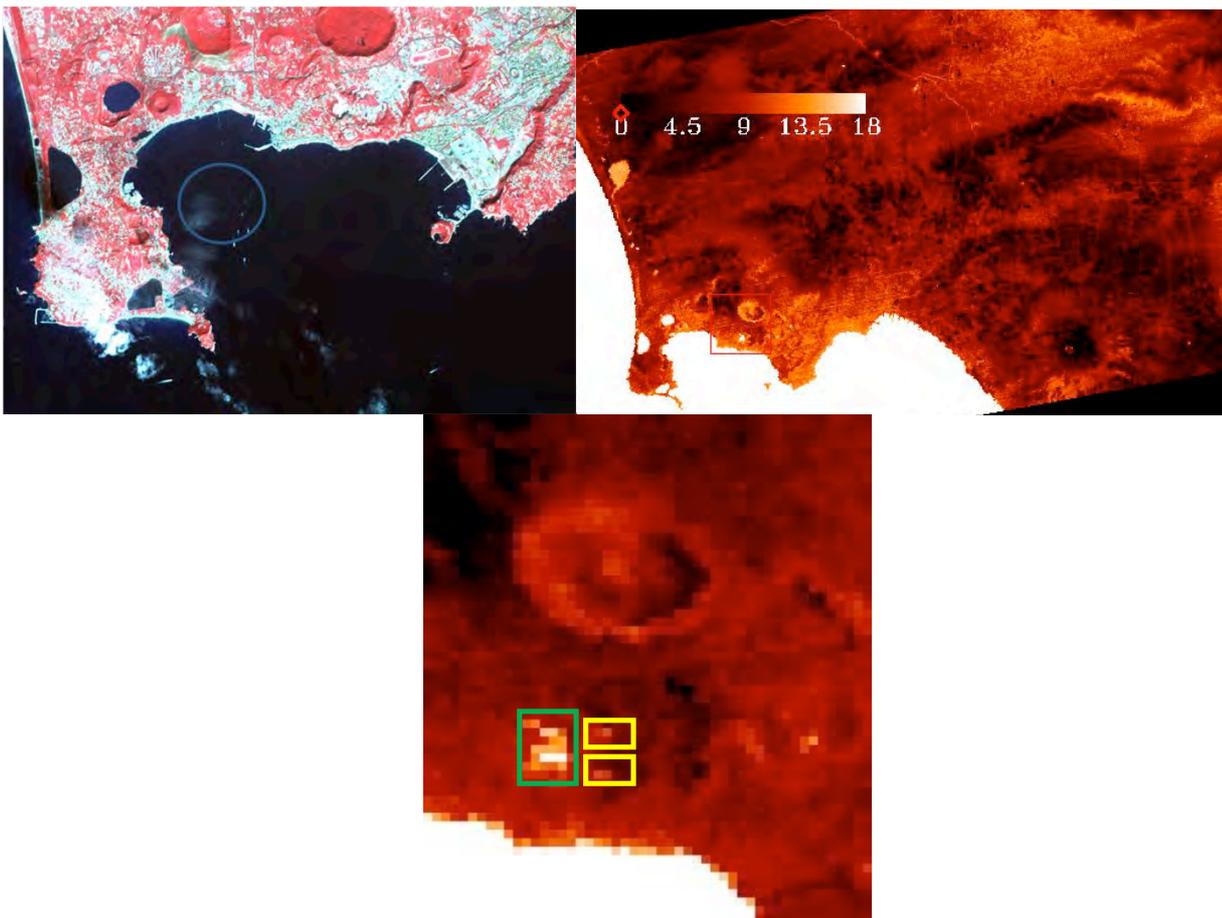


Figura 44. Esempio di immagine ASTER pseudo-RGB acquisita sui Campi Flegrei (sinistra); in blu l'area di mare investigata. Mappa di temperatura superficiale prodotta con dato ASTER (destra); i valori sono in Centigradi. In basso un particolare delle aree relative la zona di Pisciarelli (in giallo) e Solfatarà (in verde).

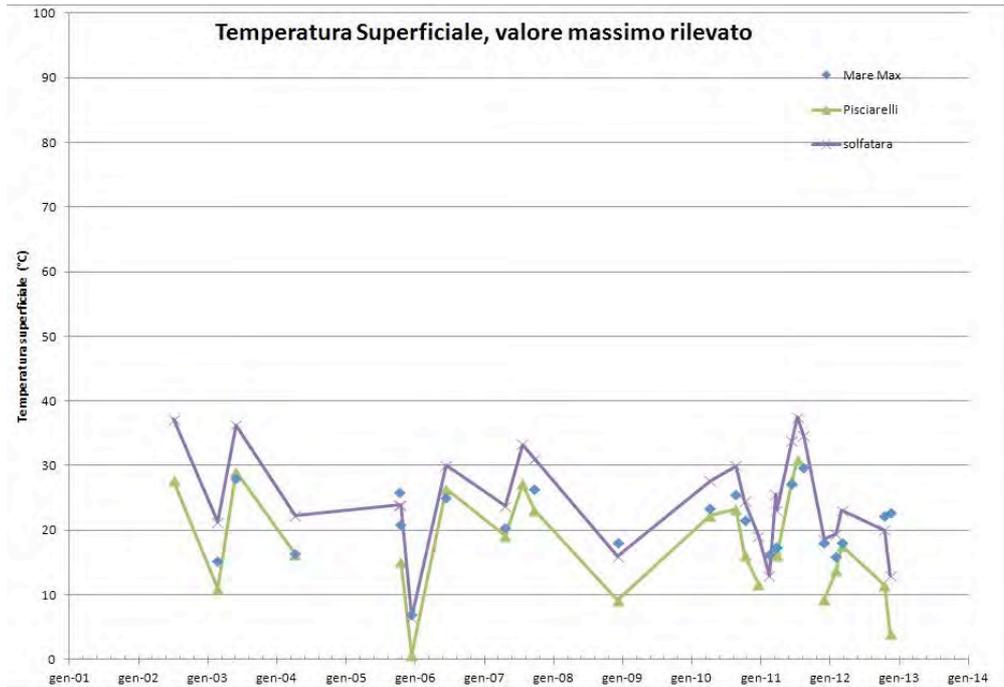


Figura 45. Variazioni temporali nei valori massimi di temperatura al suolo misurata nelle zone attive della Solfatara e Pisciarelli e nell'area del golfo di Pozzuoli.

La variazione di temperatura nel tempo non mostra cambiamenti significativi relativamente all'area investigata (figura 45). Un'ulteriore analisi svolta nel periodo maggio-giugno ha riguardato la separazione dell'andamento nel tempo della temperatura superficiale relativa alle zone della Solfatara e della zona limitrofa di Pisciarelli. L'andamento nel tempo della temperatura rilevata nelle due zone risulta simile con temperature più elevate per la Solfatara. L'analisi dell'andamento delle temperature superficiali nelle due zone risulta essere notevolmente correlato (figura 46).

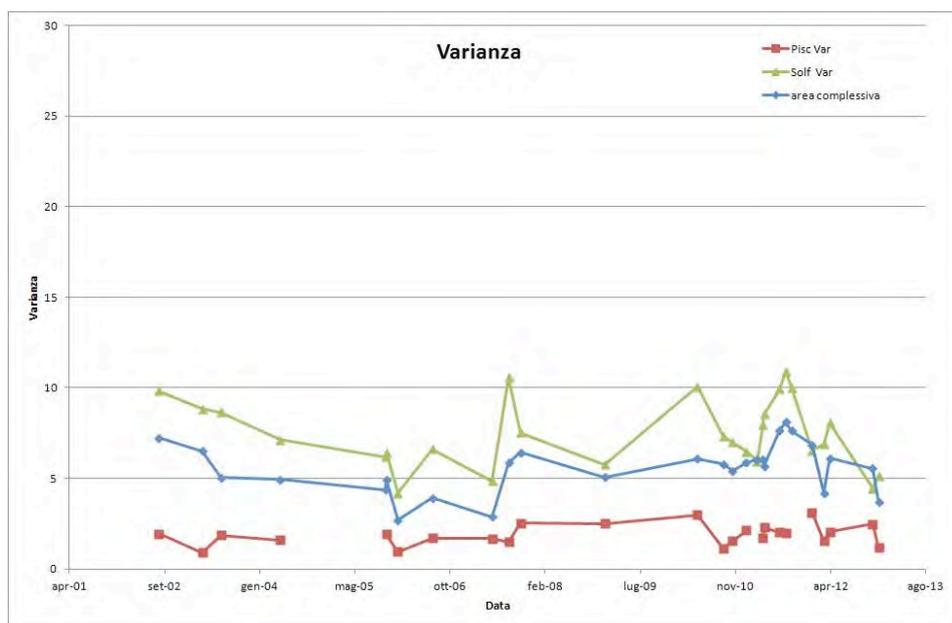


Figura 46. Andamento della varianza nell'attività fumarolica presso la Solfatara e Pisciarelli confrontata con la somma delle due.

Il confronto visivo tra i dati di temperatura stimati da satellite (ASTER) e il grafico relativo ai dati geochemici sull'attività fumarolica mostra una buona correlazione tra le due osservazioni (figura 47).

Ai fini di una maggiore integrazione tra i dati acquisiti nei Campi Flegrei si sta procedendo ad un lavoro di analisi di dettagli volto a correlare in modo più effettivo le misure satellitari con le diverse misure geochemiche effettuate nell'area.

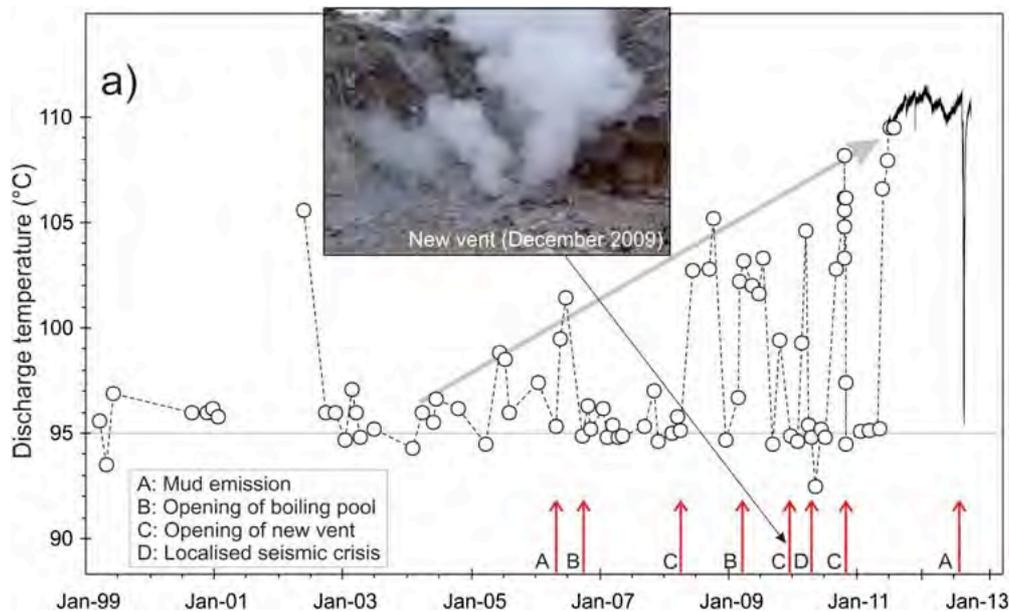


Figura 47. Variazioni macroscopiche nell'attività fumarolica (<http://www.ov.ingv.it/ov/campi-flegrei.html>).

Le osservazioni a bassa risoluzione spaziale (AVHRR, MODIS, MSG), al momento, non forniscono informazioni utili in quanto l'anomalia termica posizionata sulla zona del Cratere della Solfatara (300x300m circa) non viene rilevata in modo effettivo dalle misure satellitari che forniscono una temperatura mediata in un pixel di 1km x 1km (AVHRR, MODIS) e 4km x 4km (MSG3).

SAR COSMO-SkyMed

Sono stati elaborati tre dataset COSMO-SkyMed in modalità *Stripmap*, uno discendente (maggio 2011-marzo 2013) e due lungo orbita ascendente (giugno 2010-febbraio 2012) (marzo 2013-maggio 2013).

Nel primo dataset, si è proceduto a calcolare anzitutto lo *stacking* per fornire una prima misura della deformazione media nel tempo. Sono stati calcolati 28 interferogrammi a partire da 40 immagini disponibili. Delle 28 coppie interferometriche, 8 sono state scartate a seguito della analisi *post-processing*, atta a determinare quelle coppie che mostrano una significativa percentuale di decorrelazione spaziale.

Il risultato di questa prima elaborazione, mostrato in figura 48, evidenzia un *pattern* semicircolare, centrato intorno all'area della Solfatara, di deformazione del suolo caratterizzato da un picco di sollevamento pari a circa 11 cm/anno LOS (*Line Of Sight*) lungo la costa. È opportuno evidenziare che tale valore, ottenuto dallo *stacking*, non tiene conto di andamenti non lineari presenti all'interno del *trend* deformativo.

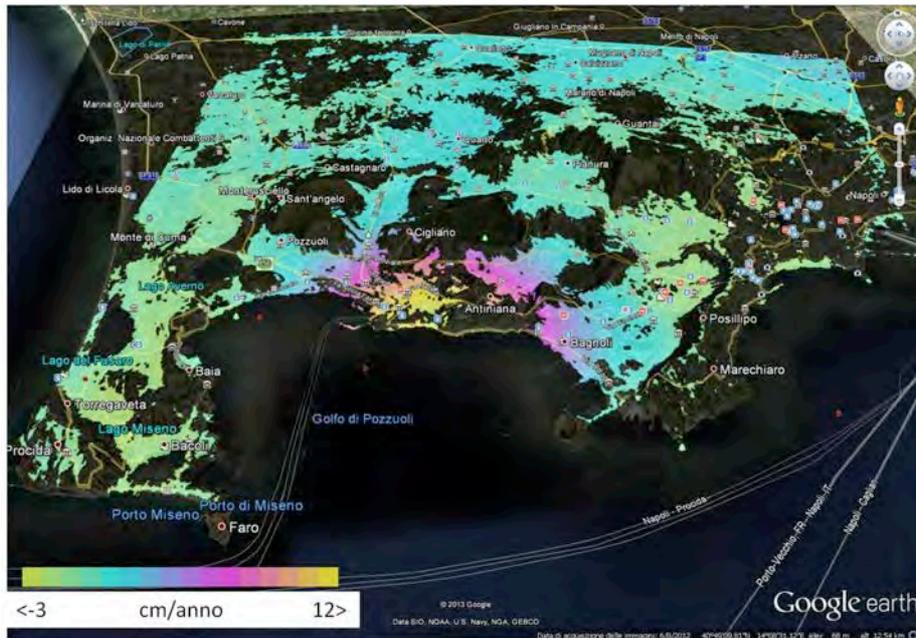


Figura 48. Mappa di velocità COSMO lungo orbita discendente.

Per quanto concerne l'orbita ascendente, sono invece stati forniti due *dataset Stripmap* lungo due differenti orbite. Il primo *dataset Stripmap* a disposizione lungo orbita ascendente copre un intervallo temporale che va da giugno 2010 e febbraio 2012, quindi precedente l'elaborato in orbita discendente.

In figura 49 è riportato il risultato di tale elaborazione. L'immagine mostra che il picco di rateo di deformazione è di circa 4 cm/anno LOS (in avvicinamento al satellite) per il periodo temporale considerato. Il *pattern* di deformazione è analogo a quello evidenziato dall'analisi dei dati discendenti.

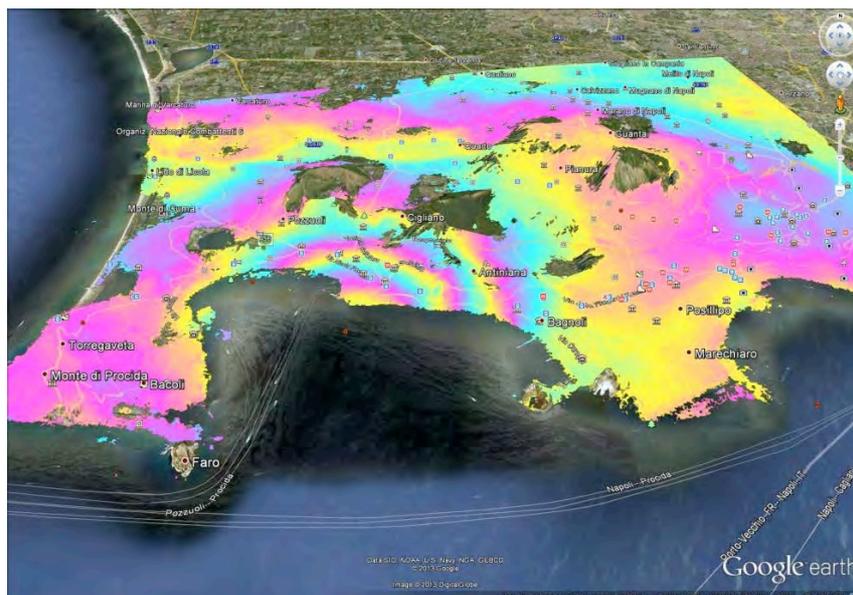


Figura 49. Mappa di velocità COSMO lungo orbita ascendente plottata su Google Earth (ogni ciclo di colore corrisponde a 1 cm/anno).

Il secondo *dataset*, di 10 immagini *Stripmap* lungo un'orbita ascendente differente rispetto alla precedente, copre un periodo di circa un mese e mezzo, che va dalla metà di marzo 2013 ad inizio maggio 2013, quindi l'analisi si riferisce ad un intervallo temporale successivo rispetto a quello analizzato sull'altra orbita ascendente.

Il risultato dell'elaborazione è mostrato in figura 50.

È possibile notare come il risultato ottenuto con i dati lungo l'orbita discendente siano confermati, benchè risultino meno accurati data la limitatezza dell'intervallo temporale esaminato. Anche in questo caso, infatti, la velocità di sollevamento dell'area è di circa 10 cm/anno LOS.

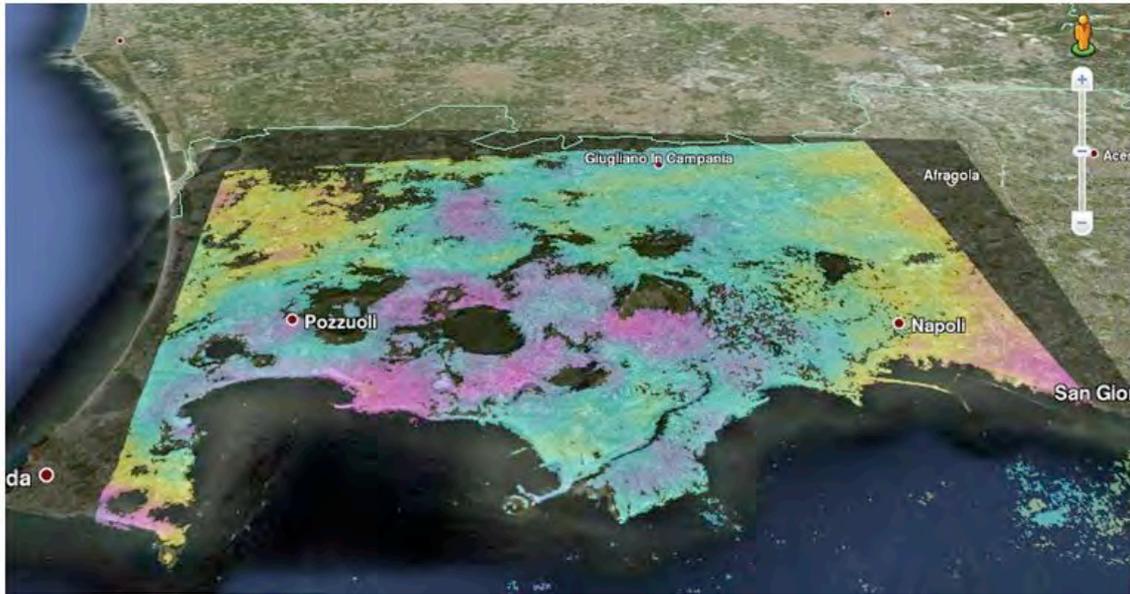


Figura 50. Mappa di velocità COSMO lungo orbita ascendente.

Come ulteriore verifica è stato analizzato il singolo interferogramma ottenuto con due immagini agli estremi dell'intervallo temporale, rispettivamente quelle acquisite il 18 marzo ed il 5 maggio 2013, in modo da visualizzare lo spostamento cumulato.

Il risultato dell'elaborazione, mostrato in figura 51, evidenzia un sollevamento lungo la LOS di circa 1.5 cm, verificatosi in un intervallo temporale inferiore a 2 mesi.

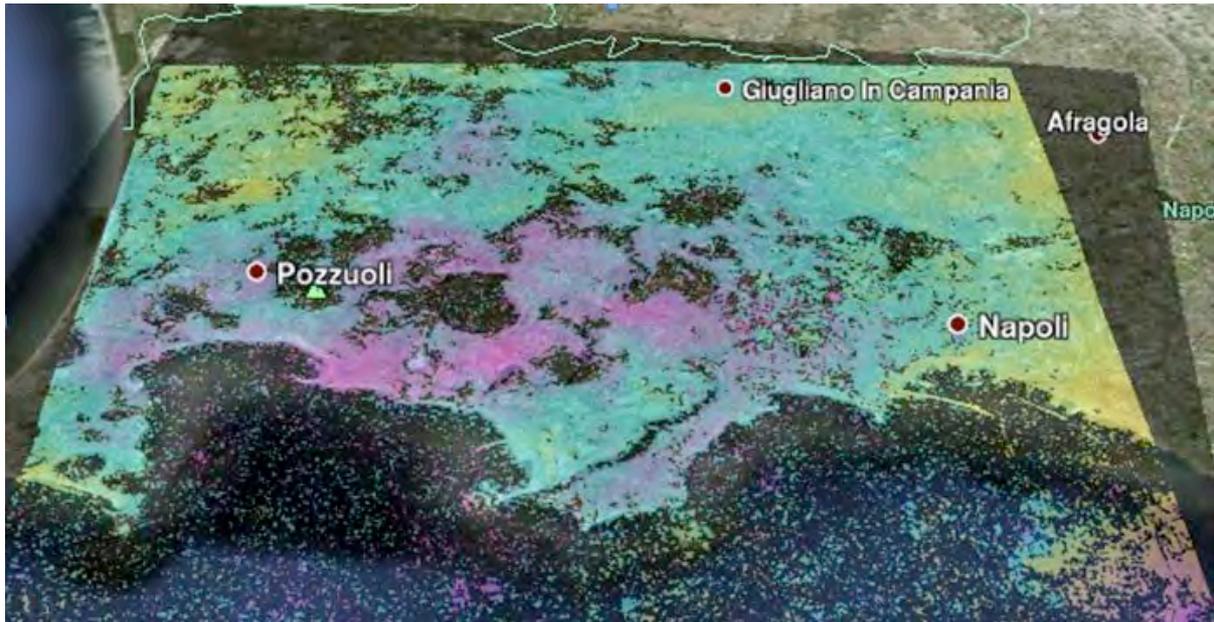


Figura 51. Mappa di spostamento COSMO calcolata sull'interferogramma 20130318_20130505.

Serie temporali

Nel Bollettino di Sorveglianza Vulcani Campani del gennaio 2013, emesso dall'Osservatorio Vesuviano-INGV (<http://www.ov.ingv.it/ov/it/bollettini/275.html>), sono riportati i dati della stazione GPS Rione Terra – Pozzuoli (RITE).

In particolare il GPS misura nel periodo corrispondente al *dataset* ascendente (06/2010-02/2012) circa 6 cm di sollevamento, mentre nel periodo coperto dai dati discendenti (05/2011-03/2013) il GPS misura circa 13 cm di sollevamento fino al gennaio 2013 (figura 52).

Le serie temporali realizzate con i dati COSMO-SkyMed in orbita discendente confermano questo *trend*.

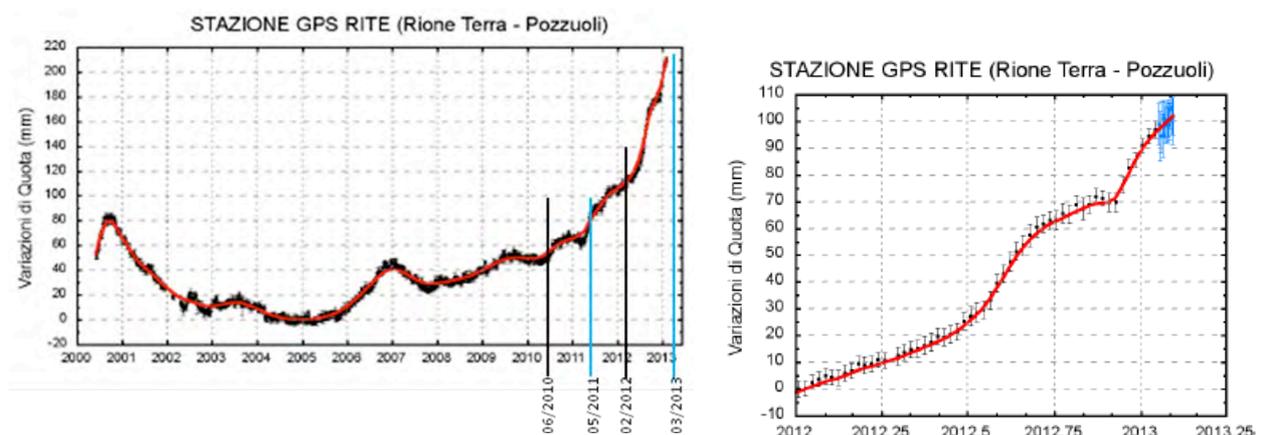


Figura 52. Serie temporale delle variazioni settimanali in quota della stazione di RITE (sinistra). Sono evidenziati gli intervalli temporali relativi alla serie di dati SAR lungo orbita ascendente (in nero) e discendente (in blu). Dettaglio relativo al periodo gennaio 2012-gennaio 2013 (destra) (<http://www.ov.ingv.it/ov/campi-flegrei.html>).

In figura 53 è riportata anche la serie temporale relativa ad un punto nella zona di massimo sollevamento realizzata con i dati COSMO: è possibile notare un significativo incremento nell'andamento a partire

all'incirca dalla metà del 2012 fino a marzo 2013 (data dell'ultima acquisizione) in cui si registra un sollevamento di circa 11 centimetri.

Il confronto tra dati GPS e dati COSMO-SkyMed appare quindi del tutto attendibile (figura 52); in particolare le due serie temporali sembrano mostrare il medesimo andamento tenendo conto anche della presenza di alcuni flessi negli stessi intervalli temporali.

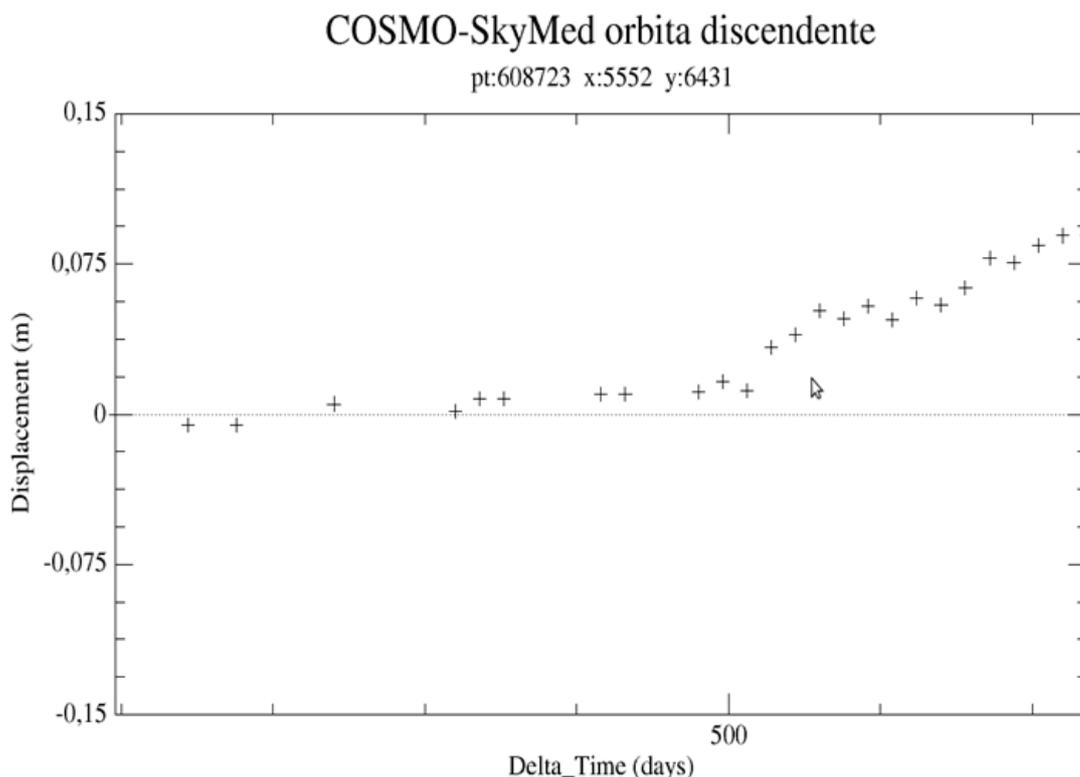


Figura 53. Serie temporale relativa ad un punto nella zona di massimo sollevamento realizzata con dati COSMO.

Ringraziamenti

Si ringrazia il Presidente dell'INGV, Prof. Stefano Gresta, per l'impulso d'avvio e il costante supporto offerto nel corso della preparazione e dell'esecuzione della campagna di ricerca RICAMAR2013.

Si ringrazia la Marina Militare per la preziosa collaborazione nell'organizzazione ed esecuzione dell'attività RICAMAR2013.

Si ringrazia la Soprintendenza Speciale per i Beni Archeologici di Napoli e Pompei, del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, per la collaborazione prestata per l'effettuazione della campagna di misure nel Golfo di Pozzuoli.

Si ringrazia la ditta Oceanix Srl per il prezioso supporto nella sperimentazione del *side scan sonar*.

Si ringrazia il Sig. Daniele Dell'Anna per il supporto logistico nel Golfo di Pozzuoli e per il pilotaggio del ROV Sirio dell'INGV.

Si ringrazia il Sig. Riccardo Vagni (INGV) per il servizio prestato durante la campagna per il pilotaggio del "BigOne" e dell'autoveicolo adibito al trasporto speciale dell'imbarcazione.

Bibliografia

- Beauducel F., De Natale G., Obrizzo F. and Pingue F., (2004). *3-D modelling of Campi Flegrei ground deformations: An example of trade-off between source and structure*, Pure Appl. Geophys., 161, 1329-1344.
- Berrino G., Corrado G., Luongo G. and Toro B., (1984). *Ground deformation and gravity changes accompanying the 1982 Pozzuoli uplift*. Bull. Volcanol., 47, 187-200.
- Berrino G., (1989). *Relazione Sull'attività svolta dall'U.O. di Napoli (Osservatorio Vesuviano e Dipartimento di Geofisica e Vulcanologia Dell'Università) con l'impiego delle Navi Oceanografiche del CNR nel biennio 1988 - 1989*. Riunione del Comitato Nazionale per le Scienze e le Tecnologie dell'Ambiente e dell'Habitat del CNR. Roma, 1 Dicembre.
- Bianco F., Castellano M., Cogliano R., Cusano P., Del Pezzo E., Di Vito M.A., Fodarella A., Galluzzo D., La Rocca M., Milana G., Petrosino S., Pucillo S., Riccio G. and Rovelli A., (2010). *Caratterizzazione del noise sismico nell'area vulcanica dei Campi Flegrei (Napoli): l'esperimento "UNREST"*. Quaderni di Geofisica, 86, INGV (Ed.), Roma: 21 pp. ISSN: 1590-2595.
- Bottiglieri M., Falanga M., Tammaro U., De Martino P., Obrizzo F., Godano C., and Pingue F., (2010). *Characterization of GPS time series at the Neapolitan volcanic area by statistical analysis*. J. Geophys. Res., 115, B10416, doi:10.1029/2009JB006594.
- Branno A., Esposito E.G.I., Luongo G., Marturano A., Porfido S. and Rinaldis V., (1984). *The October 4th, 1983 – Magnitude 4 earthquake in Phlegraean Fields: macroseismic survey*. Bull. Volcanol., 47, 233-238.
- Camacho A. G., González P. J., Fernández J. and Berrino G., (2011). *Simultaneous inversion of surface deformation and gravity changes by means of extended bodies with a free geometry: Application to deforming calderas*. J. Geophys. Res., 116, B10401, doi:10.1029/2010JB008165.
- Chiodini G., Avino R., Caliro S. and Minopoli C., (2011). *Temperature and pressure gas geoindicators at the Solfatara fumaroles (Campi Flegrei)*. Ann. Geophys., 54, 151-160.
- Chiodini G., Caliro S., Cardellini C., Granieri D., Avino R., Baldini A., Donnini M. and Minopoli C., (2010). *Long-term variations of the Campi Flegrei, Italy, volcanic system as revealed by the monitoring of hydrothermal activity*. J. Geophys. Res., 115, B03205, doi:10.1029/2008JB006258.
- D'Auria L., Giudicepietro F., Aquino I., Borriello G., Del Gaudio C., Lo Bascio D., Martini M., Ricciardi G. P., Ricciolino P. and Ricco C., (2011). *Repeated fluid-transfer episodes as a mechanism for the recent Dynamics of Campi Flegrei caldera (1989–2010)*. J. Geophys. Res., 116, B04313, doi:10.1029/2010JB007837.
- De Bonitatibus A., Latmiral G., Mirabile L., Palumbo A., Sarpi E. and Scalera, A., (1970). *Rilievi sismici per riflessione: strutturali, ecografici (fumarole) e batimetrici del Golfo di Pozzuoli*. Boll.Soc. Nat., 79, 97–115
- De Martino P., Guardato S., Tammaro U. and Iannaccone G., (2012). *Studio di fattibilità per il monitoraggio delle deformazioni del fondo marino tramite GPS su una meda elastica (Golfo di Pozzuoli – Campi Flegrei)*. Quaderni di Geofisica, 104, INGV (Ed.), Roma: 18 pp. ISSN: 1590-2595.
- De Martino P., Tammaro U., Brandi G., D'Alessandro A., Dolce M., Esposito T., Malaspina S., Obrizzo F., Pingue F. and Serio C., (2007). *Area vulcanica napoletana: 10 anni di osservazioni GPS*. 11^a Conferenza Nazionale ASITA, Torino, 925-930.
- De Natale G., Troise C., Pingue F., Mastrolorenzo G., Pappalardo L., Battaglia M. and Boschi E., (2006). *The Campi Flegrei Caldera: unrest mechanisms and hazards*. In Mechanisms of activity and unrest at large calderas, Geological Society, London, Special Publication (C. Troise, G. De Natale, C. R. J. Kilburn eds.), 269, pp. 25-45.
- Del Gaudio C., Aquino I., Ricciardi G.P., Ricco C. and Scandone R., (2010). *Unrest episodes at campi Flegrei: a reconstruction of vertical ground movements during the 1905-2009*. Journ. Volcanol. Geoth. Res., 195, 48-56.
- Iannaccone G., Guardato S., Vassallo M., Elia L. and Beranzoli L., (2009). *A new multidisciplinary marine monitoring system for the surveillance of volcanic and seismic areas*. Seismological Research Letters, 80, 203–213.
- Iannaccone G., Vassallo M., Elia L., Guardato S., Stabile T.A., Satriano C. and Beranzoli L., (2010). *Long-term Seafloor Experiment with the CUMas Module: Performance, Noise Analysis of Geophysical*

Signals, and Suggestions about the Design of a Permanent Network, Seismological Research Letters, Volume 81, 916-927.

- Ricco C., Aquino I., Borgstrom S. E. and Del Gaudio C., (2007). *A study of tilt change recorded from July to October 2006 at the Phlegrean Fields (Naples, Italy)*. Ann. Geophys., 50(5), 661–674.
- Sansivero F., Vilardo G., De Martino P., Augusti V. and Chiodini G., (2012). *Campi Flegrei volcanic surveillance by thermal IR continuous monitoring*. E-book Proceedings 11th Conference on Quantitative Infrared Thermography. 11-14 June 2012, Naples, Italy, QIRT 2012-333, ISBN 9788890648441.
- Tangaro G., Rescinito A., Formicola S. and Marra C., (2013). *Test sulle performance durante l'utilizzo di un sistema sede scan sonar ad altissima risoluzione, Rapporto di Campagna RICAMAR, Oceanix S.r.l.* Rapporto interno.
- Tedesco D., Allard P., Sano Y., Wakita H. and Pece R. (1990). *^3He in Subaerial and Submarine Fumaroles of Campi-Flegrei Caldera, Italy*, Geochim. Cosmochim. Acta, 54, 1105–1116.
- Vaselli O., Tassi F., Tedesco D., Poreda J.R. and Caprai A. (2011). *Submarine and Inland Gas Discharges from the Campi Flegrei (Southern Italy) and the Pozzuoli Bay: Geochemical Clues for a Common Hydrothermal-Magmatic Source*, Procedia Earth and Planetary Science, 67-73, Vol. 4.

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2013 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