

Caratterizzazione dell'ambiente marino dei Campi Flegrei. Risultati preliminari della campagna oceanografica RICAMAR 2013

Marco Grassi (*), Cosmo Carmisciano (**), Luca Cocchi (**), Lorenzo Dalti (***),
Marco Filippone (*), Matteo Guideri (***), Roberta Ivaldi (***), Giuseppe Masetti (*),
Filippo Muccini (**), Marta Pratellesi (*), Elisa Ricci (*), Paolo Stefanelli (**)

(*) Nave Ammiraglio Magnaghi, Marina Militare, tel. +39 (0187) 782818

(**) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Sezione Roma 2, tel. +39 (0187) 794412

(***) Istituto Idrografico della Marina (IIM), tel. +39 (010) 24431

Riassunto

La caldera dei Campi Flegrei è una delle zone vulcaniche più pericolose e popolate del mondo e comprende la parte occidentale della città di Napoli estendendosi 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), accompagnata da un'intensa attività sismica e superficiale che si verifica solo durante la fase di sollevamento. Modelli deformativi calibrati con dati a terra indicano che la massima attività di deformazione è localizzata nel Golfo di Pozzuoli.

Mentre la rete di monitoraggio a terra di questi fenomeni è ben sviluppata ed articolata, attualmente non esistono sistemi di rilevamento della deformazione a mare. In tale ambito si inserisce l'attività di Rilievi per la Caratterizzazione dell'Ambiente MARino nel Golfo di Pozzuoli 2013 (RICAMAR2013), condotta in sinergia tra la Nave Idro-Oceanografica *Ammiraglio Magnaghi* della Marina Militare, l'Istituto Idrografico della Marina (IIM) e l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). I dati raccolti durante il rilievo batimetrico, magnetometrico e stratigrafico del fondale marino e idrologico per la caratterizzazione chimico-fisica dell'acqua, presentati in questo lavoro, porranno le basi per la creazione di osservatori marini dei fenomeni legati alla caldera.

Abstract

The caldera of the Phlegraean Fields (also known as Campi Flegrei) is one of the most dangerous and populated volcanic area in the world, covering an area that comprises the western part of Naples and the Gulf of Pozzuoli. The main peculiarity of current volcanic activity is the gradual and periodic lift (positive or negative) of part of the Earth's surface (bradyseism) combined, only during the positive phase, with a strong sismicity and surficial hydrothermal activity. Deformative models, calibrated using land-based measurements, highlighted the Gulf of Pozzuoli as the area with the largest deformation.

Although the network of monitoring sensors on land is well developed and structured, there is a lack of sensing systems for the marine deformation. The activities of "Rilievi per la Caratterizzazione dell'Ambiente MARino nel Golfo di Pozzuoli 2013 (RICAMAR2013)" project - synergically conducted by the Italian Navy's Survey Vessel "Ammiraglio Magnaghi", the Italian Hydrographic Office (IIM) and the Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)- were targeted to fulfill this gap. In fact, the creation of marine observatories about the caldera's phenomena will be based on the data collected during these bathymetric, magnetometric, stratigrafic and hydrologic surveys.

Introduzione

La caldera risorgente dei Campi Flegrei è un sistema vulcanico ancora attivo la cui persistente attività è testimoniata dall'eruzione del 1538, dall'intensa e millenaria attività fumarolica e idrotermale e dai frequenti eventi bradisismici, accompagnati da sismicità e variazioni delle caratteristiche chimico-fisiche dei fluidi emessi dalle fumarole.

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. 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 (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 periodi di sollevamento più brevi e di minore entità (Del Gaudio et al., 2010). Questi periodi sono puntualmente accompagnati da sciame sismici, l'ultimo dei quali si è registrato il 7 settembre 2012 con circa 200 eventi (dalla rete dell'Osservatorio Vesuviano di INGV).

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 (D'Auria et al., 2011; Bottiglieri et al., 2010; De Martino et al., 2007; Ricco et al. 2007). 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 (Vilardo et al., 2003a). 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 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 un sistema osservativo geofisico denominato CUMAS (*Cabled Underwater Multidisciplinary Acquisition System*), costituito da una boa attrezzata con sensori multiparametrici con trasmissione dei dati in continuo ed in tempo reale (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 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. Analisi preliminari sui 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.

Ad 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.

In questo lavoro vengono presentati i risultati preliminari di dati acquisiti nella campagna RICAMAR2013 che si riferiscono al rilievo batimetrico, magnetometrico, stratigrafico del fondale marino ed alle caratteristiche fisico-chimiche della colonna d'acqua.

Analisi dei dati batimetrici

Il rilievo batimetrico del Golfo di Pozzuoli è stato condotto mediante ecoscandagli multifascio (Kongsberg EM 3002 ed R2Sonic 2024), installati su imbarcazioni idrografiche organiche in dotazione a Nave *Ammiraglio Magnaghi*, Unità Idro-Oceanografica della Marina Militare.

In fase di valorizzazione con il *software* Caris Hips&Sips è emerso che la superficie batimetrica, in determinate zone del Golfo, presenta artefatti correlabili alla variazione planimetrica di temperatura lungo la colonna d'acqua. Nonostante l'elevata frequenza di *cast* di velocità del suono effettuati nel corso del rilievo, tale effetto, legato all'attività fumarolica, ha impattato in maniera significativa sui dati registrati (Figura 1). Tale effetto è stato ridotto ricalcolando il *ray-tracing* batimetrico e la *bottom detection* utilizzando, in fase di *post-processing* dei dati, i profili di velocità del suono *nearest in distance*.

Il fondale marino nel complesso presenta una morfologia generalmente regolare, con un graduale approfondimento da 5 a 100 m. Dal confronto fra i dati batimetrici acquisiti in RICAMAR2013 ed i rilievi *singlebeam* esistenti in area (anni '70 - '80), non si sono riscontrate variazioni significative lungo le aree di sovrapposizione ad eccezione dell'area corrispondente alla città sommersa ed all'area portuale (Figura 2).

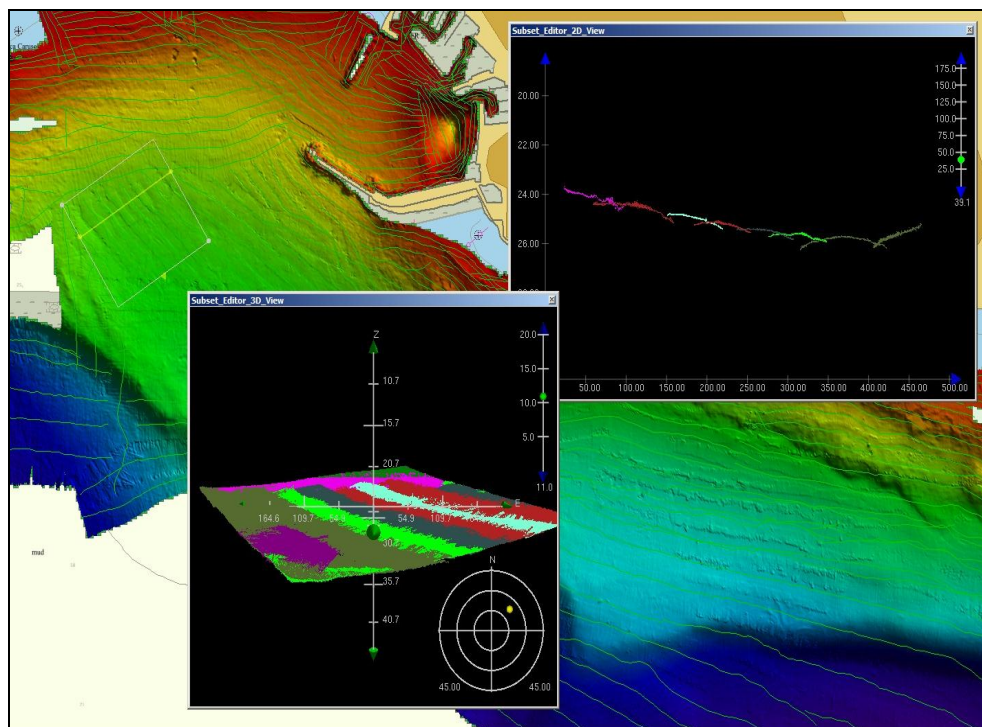


Figura 1. Effetti sulla superficie batimetrica della velocità del suono.

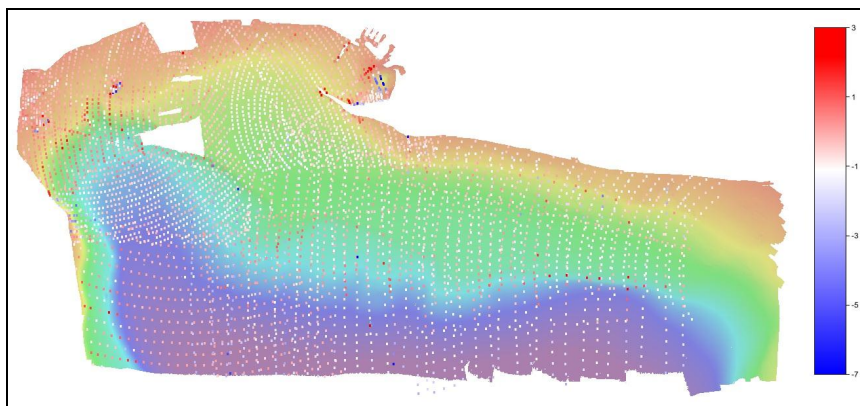


Figura 2. Confronto puntuale tra rilievi singlebeam pregressi (anni '70 - '80) e dati batimetrici multibeam raccolti nel corso della campagna RICAMAR2013.

Dati magnetometrici

Il rilievo magnetico è stato condotto con il magnetometro SeaQuest della Marine Magnetics di proprietà di ING.V. L'acquisizione è avvenuta da barca trainando il sensore a circa 30 m di distanza dalla poppa della imbarcazione. 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 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 ad un controllo preliminare della qualità cercando di eliminare errori strumentali e/o legati navigazione del vettore. In Figura 3 si riporta la variazione locale della componente totale F del campo magnetico nelle aree di indagini ottenuta mediante pre-elaborazione del segnale registrato dal sensore posto nella parte a maggiore immersione.

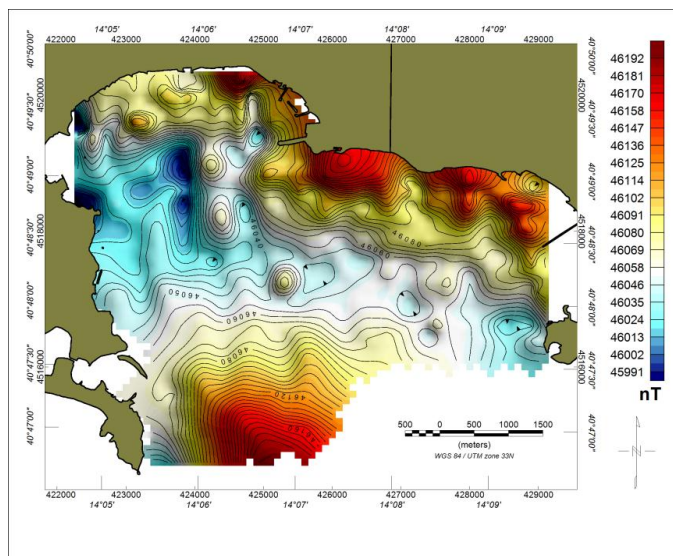


Figura 3. Variazioni di campo magnetico (componente totale F) ottenuto mediante una fase di pre-elaborazione del segnale acquisito da singolo sensore.

Dati sismo-stratigrafici e sedimentologici

Contestualmente al rilievo magnetometrico è stato utilizzato, seguendo le stesse direttrici, il Sub Bottom Profiler (SBP) per la caratterizzazione sismostratigrafica superficiale del fondale. Il sistema impiegato è stato l' SBP SES2000 Compact, 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 SBP impiegato è un profilatore portatile in grado di penetrare i sedimenti fino ad un massimo di 40 m con la discriminazione delle unità di sedimento pelitico.

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. I depositi sedimentari nel Golfo di Pozzuoli si sono rivelati difficilmente penetrabili al sistema SBP impiegato; seppur sia stato possibile individuare diversi layer acustici, l'interesse è rivolto alle caratteristiche della copertura sedimentaria superficiale.

Le linee SBP acquisite hanno mostrato 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 nell'area di interesse per la posa di sistemi di monitoraggio. Le registrazioni evidenziano inoltre un ricorrente *noise* ambientale che ha degradato le potenzialità del sistema, in considerazione anche delle non ottimali condizioni meteomarine.

Nelle zone di maggiore concentrazione di fumarole note, specialmente su bassi fondali, il SBP ha confermato la presenza di alcuni spot attivi (Figura 4).

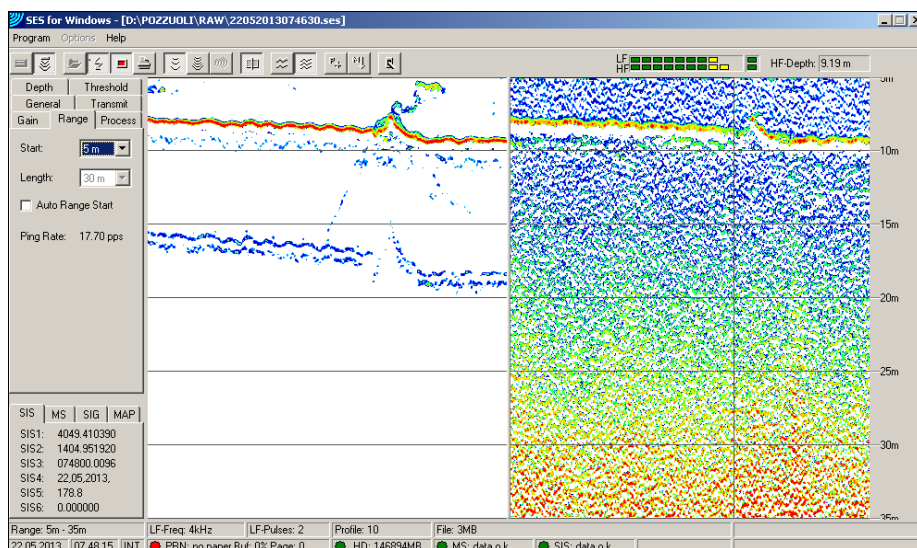


Figura 4. Dettaglio fumarola con HF da registrazione SPB - software SES.

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, utili anche per validare i dati di *backscatter* acustico acquisiti.

Tutti i campioni di sedimento sono stati caratterizzati macroscopicamente appena prelevati dall'imbarcazione idrografica, quindi sub campionati e sottoposti a bordo di Nave Magnaghi ad analisi granulometriche della frazione grossolana (ghiaia e sabbia) ed alla determinazione di alcuni parametri fisici 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 %. Ove la frazione fine risulta importante, si registrano valori di peso di volume inferiori a 1740 kg/m³.

Successivamente gli stessi campioni di sedimento, classificati secondo standard IHO (International Hydrographic Organization), verranno sottoposti ad ulteriori analisi, ad esempio per i componenti magmatici (frammenti di rocce vulcaniche, vetri e cristalli). Sulla base dei risultati di una dettagliata analisi della sequenza stratigrafica, saranno eseguiti dei sub-campioni sulle carote al fine di analizzare eventuali componenti magmatici significativi.

Indagine ROV

Il ROV Sirio, in dotazione all'Unità INGV di Porto Venere, è stato dotato di *payload* per il campionamento di gas presenti nell'acqua ed analisi geochimiche. Sono state acquisite riprese video di alcune ore in prossimità di tutti i punti noti dove erano state censite, nel corso di precedenti spedizioni (Figura 5).

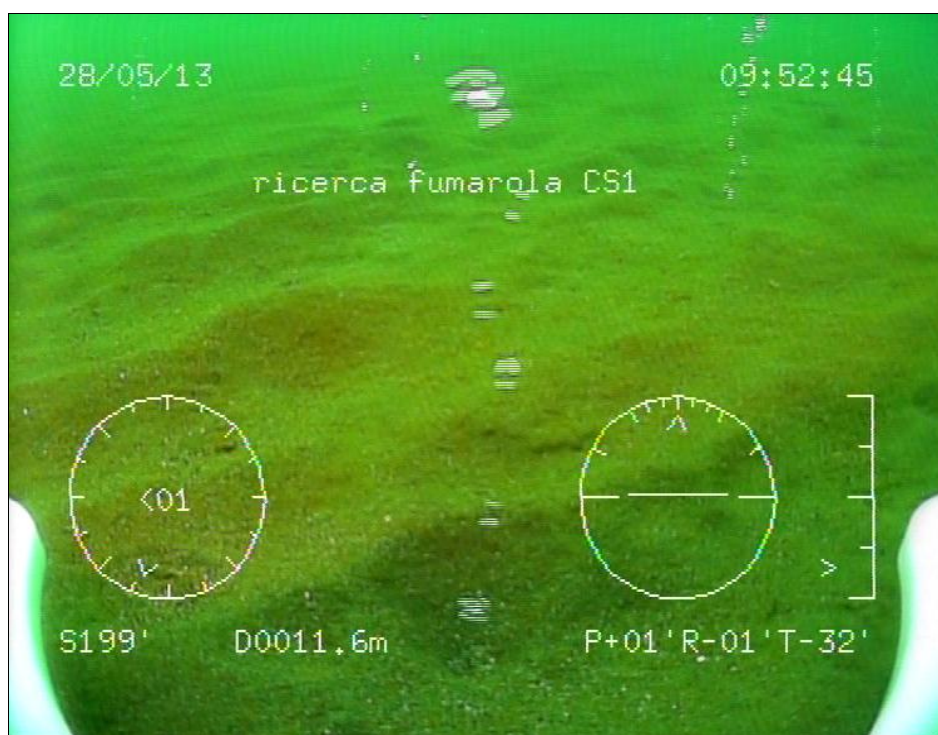


Figura 5. Fotogramma da riprese effettuate con ROV nella zona Secca delle Fumose; evidenti bolle in primo piano.

Campionamenti della colonna d'acqua

L'attività di campionamento ha avuto come scopo quello 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. Sono stati effettuati profili della colonna d'acqua con la sonda multiparametrica CTD Idronaut 316 Plus in specifici siti presenti in letteratura (De Bonitatibus et al., 1970). Per ogni punto, sono stati effettuati, tramite sistema Rosette, prelievi a differenti profondità.

Le analisi effettuate relative alla composizione chimica dei gas disciolti sono ancora in corso ed al momento non hanno evidenziato la presenza di fluidi di origine vulcanica (Tabella 1).

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	2.22E-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	14.16	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	1.59E-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

Tabella 1. 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.

Conclusioni

La campagna RICAMAR2013, svolta a bordo di Nave Ammiraglio Magnaghi, ha permesso di raccogliere dati utili a caratterizzare il Golfo di Pozzuoli sotto un profilo ambientale e vulcanologico, predisponendo un quadro di riferimento per successive attività di monitoraggio (CUMAS e PON-MONICA) delle fenomenologie presenti nella zona di indagine.

Le caratteristiche chimico-fisiche della colonna d'acqua e, in particolare la temperatura, evidenziano la presenza di attività fumarolica consistente con bolle di gas. Questo ha condizionato tutta la fase di acquisizione e restituzione del dato batimetrico tramite ecoscandagli multifascio. Era importante, in questa fase, acquisire il maggior numero di informazioni che potessero fornire una copertura del fondale e della colonna d'acqua grazie al supporto di più sistemi di registrazione in campo. In particolare è stato confermato e integrato con nuovi punti la presenza di attività fumarolica in tutto il Golfo di Pozzuoli. Nel settore orientale, dove saranno posizionati i nuovi sistemi di monitoraggio, non sono state riscontrate attività particolari e il fondale presenta una morfologia uniforme, a basso gradiente e una copertura sedimentaria superficiale idonea sia per caratteri fisici che spessore alla posa degli stessi.

L'elaborazione in corso di questi dati con l'individuazione e la caratterizzazione ad alta risoluzione delle fumarole saranno elemento importante per meglio definire le implicazioni sulla dinamica recente della caldera.

Questo progetto ha pertanto un'importanza strategica vista l'entità dei fenomeni vulcanici che si manifestano nell'area flegrea, una delle più densamente popolate al mondo.

Riferimenti bibliografici

- Beauducel, F., De Natale, G., Obrizzo, F., Pingue, F. (2004), "3-D modelling of Campi Flegrei ground deformations: An example of trade-off between source and structure", *Pure Appl. Geophys.*, 161(7), 1329-1344
- Berrino G., Corrado G., Luongo G., Toro B. (1984), "Ground deformation and gravity changes accompanying the 1982 Pozzuoli uplift", *Bull. Volcanol.*, vol. 47-2, pp. 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", in *Riunione del Comitato Nazionale per le Scienze e le Tecnologie dell'Ambiente e dell'Habitat del CNR. Roma, 1 Dicembre 1989*

- 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., Rinaldis V. (1984), "The October 4th, 1983 – Magnitude 4 earthquake in Phlegraean Fields: macroseismic survey". *Bull. Volcanol.*, vol. 47-2, pp.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., Minopoli, C. (2011), "Temperature and pressure gas ge indicators at the Solfatarà fumaroles (Campi Flegrei)", *Ann. Geophys.*, 54, 2, 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", *Journal of Geophysical Research*, 115, B03205
- D'Auria, L., F. Giudicepietro, I. Aquino, G. Borriello, C. Del Gaudio, D. Lo Bascio, M. Martini, G. P.
- Ricciardi, P. Ricciolino, and C. Ricco (2011), "Repeated fluid-transfer episodes as a mechanism for the recent Dynamics of Campi Flegrei caldera (1989–2010)", *J. Geophys. Res.*, 116, B04313
- De Bonitibus A, Latmiral G, Mirabile L, Palumbo A, Sarpi E, 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.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
- 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", *11a Conferenza Nazionale ASITA*, Torino, 925-930
- De Natale, G., Troise, C., Pingue, F., Mastrolorenzo, G., Pappalardo, L., Boschi, E. (2006), *The Campi Flegrei Caldera: unrest mechanisms and hazards*. In Troise, C., De Natale, G. & Kilburn, C. R. J. (eds), *Mechanisms of activity and unrest at large calderas*. Geological Society, London, Sp.Pub., 269, 25-45
- Del Gaudio C., Aquino I., Ricciardi G.P., Ricco C., Scandone R. (2010), "Unrest episodes at campi Flegrei: a reconstruction of vertical ground movements during the 1905-2009", *J. Volcanol. Geoth. Res.*, 195, 48-56
- Iannaccone, G., S. Guardato, M. Vassallo, L. Elia, and L. Beranzoli (2009), "A new multidisciplinary marine monitoring system for the surveillance of volcanic and seismic areas", *Seism. Res. Let.*, 80 (2), 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*, 81, 6, 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 Phlegraean Fields (Naples, Italy)", *Ann. Geophys.*, 50(5), 661–674