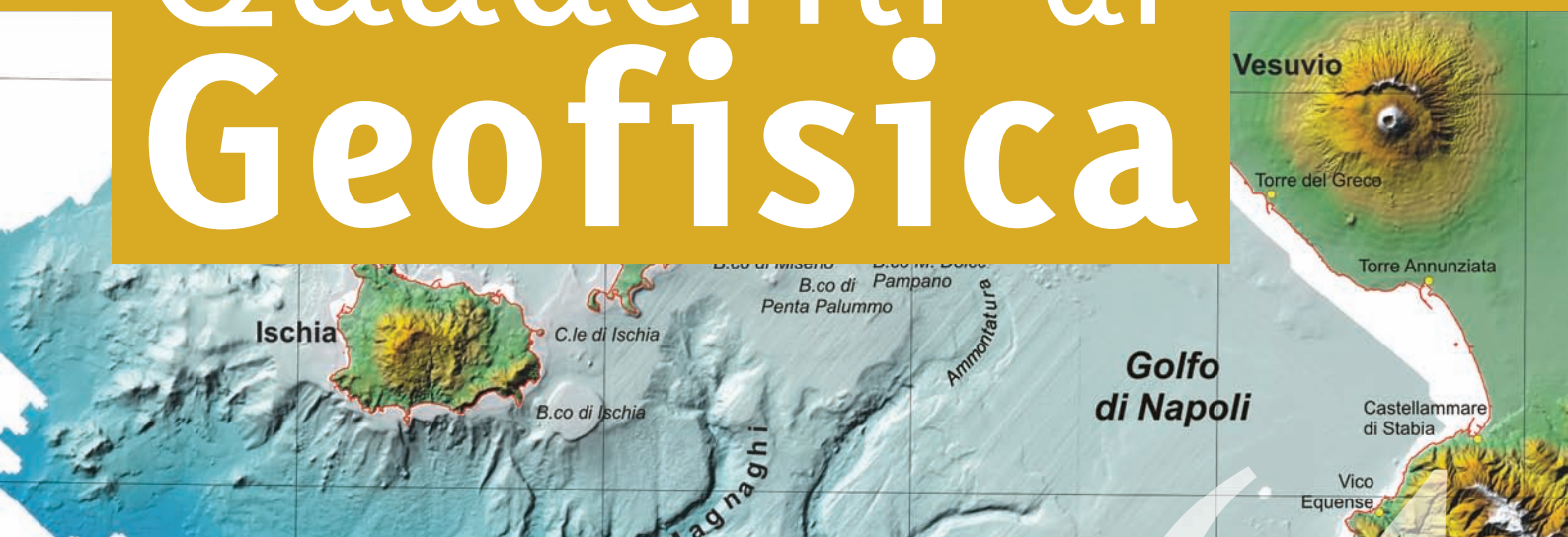


Risultati preliminari della  
campagna oceanografica  
CAFE\_07 – Leg 3 nei Golfi di  
Napoli e Pozzuoli,  
Mar Tirreno Orientale

Quaderni di  
Geofisica



64



# Quaderni di Geofisica

## **Direttore**

Enzo Boschi

## **Editorial Board**

Raffaele Azzaro (CT)

Sara Barsotti (PI)

Mario Castellano (NA)

Viviana Castelli (BO)

Anna Grazia Chiodetti (AC)

Rosa Anna Corsaro (CT)

Luigi Cucci (RM1)

Mauro Di Vito (NA)

Marcello Liotta (PA)

Lucia Margheriti (CNT)

Simona Masina (BO)

Nicola Pagliuca (RM1)

Salvatore Stramondo (CNT)

Andrea Tertulliani - coordinatore (RM1)

Aldo Winkler (RM2)

Gaetano Zonno (MI)

## **Segreteria di Redazione**

Francesca Di Stefano - coordinatore

Tel. +39 06 51860068

Fax +39 06 36915617

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860055

Fax +39 06 36915617

[redazionecen@ingv.it](mailto:redazionecen@ingv.it)

# Risultati preliminari della campagna oceanografica CAFE\_07 – Leg 3 nei Golfi di Napoli e Pozzuoli, Mar Tirreno Orientale

## Preliminary results of the oceanographic cruise CAFE\_07 – Leg 3, in the Bays of Napoli and Pozzuoli, Eastern Tyrrhenian Sea

Marco Sacchi<sup>1</sup>, Giuliana Alessio<sup>2</sup>, Ida Aquino<sup>2</sup>, Eliana Esposito<sup>1</sup>, Flavia Molisso<sup>1</sup>, Rosa Nappi<sup>2</sup>, Sabina Porfido<sup>1</sup>, Crescenzo Violante<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IAMC - CNR (Istituto per l'Ambiente Marino Costiero, Napoli)

<sup>2</sup>INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia Sezione di Napoli -Osservatorio Vesuviano)

**in copertina** Modello digitale del rilievo del Golfo di Napoli e zona costiera da D'Argenio et al., 2004 (particolare)

# Risultati preliminari della campagna oceanografica CAFE\_07 – Leg 3 nei Golfi di Napoli e Pozzuoli, Mar Tirreno Orientale

**V**engono presentati i risultati preliminari della campagna oceanografica CAFE\_07 - Leg 3, svoltasi nei Golfi di Napoli e Pozzuoli, nel Gennaio 2008, a bordo della Nave Oceanografica (N/O) URANIA del CNR. Lo scopo della campagna è stato l'acquisizione di profili sismici multicanale di elevata risoluzione dedicati allo studio stratigrafico-strutturale degli apparati vulcanici affioranti e sepolti nell'*offshore* Napoletano, ed il rilievo batimetrico di dettaglio dell'area sommersa.

I dati raccolti sono consistiti in circa 800 km di profili sismici a riflessione multicanale di alta risoluzione, con acquisizione sismica simultanea da due sorgenti *GI-gun* operanti con potenza e frequenze differenti, mediante due cavi idrofonici. Durante la navigazione sono stati anche acquisiti profili sismici a riflessione monocanale di altissima risoluzione (*sub-bottom CHIRP*) e dati batimetrici mediante ecoscandaglio multifascio (*multibeam*). Il *grid* di acquisizione sismica multicanale è consistito in alcuni profili lunghi attraverso il Golfo di Napoli e da una fitta griglia di profili più corti, con interasse di circa 150 m, allo scopo di ottenere una copertura sismica quasi 3-D del Golfo di Pozzuoli.

Questo set di dati costituisce una parte delle indagini di dettaglio richieste per la stesura di una proposta di perforazione del settore sommerso dei Campi Flegrei da sottomettere all'Integrated Ocean Drilling Program (IODP) ed è di supporto alla realizzazione di un progetto di perforazione profonda dei Campi Flegrei presentato all'International Continental Drilling Program (ICDP).

**W**e present the preliminary results of the oceanographic cruise CAFE\_07 – Leg 3, conducted in the Napoli and Pozzuoli Bays in January 2008, on board of the Research Vessel (R/V) URANIA of the CNR. The aim of the cruise was the acquisition of high resolution multi-channel seismic profiles to understand the stratigraphic-structural setting of the Pozzuoli Bay area, with specific reference to the major offshore volcanic features, as well as the acquisition of bathymetric data on the seafloor morphology of the Bay.

About 800 km of seismic profiles were acquired simultaneously by two acquisition systems, each characterized by different seismic source and streamer configuration, operating at different frequency ranges. Moreover shallow high resolution seismic reflection profiles (*sub-bottom CHIRP*) and multibeam echo-sounder bathymetry data have been recorded. The seismic grid consisted in a number of assistant profiles acquired over the Bay of Naples, along with a dense network of profiles with average distance of about 150 m between navigation routes, in order to obtain a quasi 3-D seismic coverage of the Pozzuoli Bay.

This data set represents a part of the requirements for on-site detailed investigations ("site survey") that are necessary for the development of an Integrated Ocean Drilling Program (IODP) proposal dedicated to the offshore drilling of the Campi Flegrei and is a relevant complement in the site survey of an ongoing project that has been submitted to the International Continental Drilling Program (ICDP).

## Introduzione

La Campagna oceanografica CAFE\_07 – Leg 3 è stata svolta per acquisire un data set di profili sismici a riflessione multicanale di elevata risoluzione, necessario per la preparazione di un pre-proposal di perforazione di settori sommersi dei Campi Flegrei da sottoporre all'IODP e di supporto alla realizzazione di un progetto di perforazione profonda dei Campi Flegrei nell'ambito dell'International Continental Drilling Program (ICDP) [De Natale et al., 2007]. Le operazioni sono state effettuate utilizzando la nave oceanografica URANIA del CNR (Fig. 1), ed hanno avuto una durata di 12 giorni (10-21 gennaio 2008) con imbarco e sbarco al porto di Napoli. Il personale presente a bordo della nave comprende ufficiali e personale di bordo, tecnici di laboratorio e personale scientifico afferente a IAMC-CNR di Napoli, Università di Brema, INGV-OV, Università di Napoli, Camerino, Perugia e Benevento (Fig. 2; Tab. 1,2).

La zona di interesse è rappresentata principalmente dal Golfo di Pozzuoli con alcuni profili anche nel Golfo di Napoli per la ricostruzione delle principali morfostrutture e unità vulcaniche sepolte. Per determinare le caratteristiche sismostratigrafiche dell'area sono stati acquisiti profili di sismica a riflessione multicanale ad altissima risoluzione mediante l'utilizzo simultaneo di due sorgenti *GI-gun* con diversa potenza e frequenza di esercizio e contemporanea registrazione su due distinti cavi idrofonici. Questa metodologia per-



**Figura 1** La nave oceanografica (N/O) URANIA del CNR utilizzata per la Campagna Oceanografica CAFE\_07 Leg 3 (10-21 Gennaio 2008) ormeggiata nel porto di Napoli.

**Figure 1** The research vessel (R/V) URANIA of CNR used for the oceanographic cruise CAFE\_07 Leg 3 (10 -21 January 2008) at the dock in Naples harbour.

mette, in funzione dell'energia del segnale sismico, dello spettro di frequenza generato e della lunghezza dell'impulso, di variare la penetrazione (massima profondità a cui è possibile rilevare una riflessione) e la risoluzione sismica (distanza minima per cui due strati riflettenti danno luogo a due segnali distinti e discriminabili). I primi risultati del *pre-processing* dei profili di sismica multicanale rivelano un ottimo livello nella qualità del dato acquisito. Inoltre sono stati acquisiti congiuntamente profili di sismica a riflessione monocanale ad altissima risoluzione utilizzando la tecnologia del sistema *CHIRP* per ottenere una risoluzione sismica ed un dettaglio elevati in corrispondenza dei livelli stratigrafici più superficiali lungo le medesime sezioni verticali investigate con il sistema multicanale.

Per la ricostruzione di dettaglio delle caratteristiche batimetriche del fondo è stato utilizzato un ecoscandaglio *multibeam* che genera un fascio di impulsi acustici disposti a ventaglio trasversalmente alla rotta della nave, con cui tramite ripetute scansioni, si possono eseguire rilievi a completa copertura del fondale.

I dati sono stati interpretati in via preliminare a bordo e ciò ha permesso di impostare variazioni del piano dei rilievi in corso d'opera.



**Figura 2** Ricercatori, tecnici e personale di bordo partecipante alla campagna oceanografica CAFE\_07 - Leg 3.

**Figure 2** Scientific party, technicians and crew that participated in the oceanographic cruise CAFE\_07 - Leg 3.

Campagna oceanografica cafe_07 - leG 3 (10-21 gennaio 2008)			
Cognome Nome	Afferenza	Qualifica	Mansione
1 Sacchi Marco	IAMC-CNR, Napoli	Ricercatore	Capo Missione
2 Grifa Celestino	Uni. Benevento	Ricercatore	ADEF
3 Crescenzo Violante *	IAMC-CNR, Napoli	Ricercatore	ADEFI
4 Porfido Sabina *	IAMC-CNR, Napoli	Ricercatore	ADEF
5 Scotto Paolo *	IAMC-CNR, Napoli	Tecnico	H
6 Felici Fabrizio	Uni. Camerino	Dottorando	ADEF
7 Fortunati Andrea	Uni. Camerino	Dottorando	ADEF
8 Giordano Nicola	Uni. Perugia	Dottorando	ADEF
9 Fekete Noemi Maria	Uni. Brema	Post-doc	ACH
10 Spiess Volkhard	Uni. Brema	Prof. Ordinario	CI
11 Metzen Jan	Uni. Brema	Studente	ACH
12 Palamenghi Luisa	Uni. Brema	Dottorando	ACH
13 Alessio Giuliana	INGV-OV Napoli	Tecnologo	ADEF
14 Aquino Ida	INGV-OV Napoli	Tecnologo	ADEF
15 Nappi Rosa	INGV-OV Napoli	Tecnologo	ADEF
16 Nardone Lucia	Uni. Benevento	Dottorando	ADEF
17 Fredella M. Incoronata	Uni. Benevento	Dottorando	ADEF
18 Pasquale Giuseppe	Uni. Benevento	Assegnista	ADEF
19 Di Benedetto Claudia	Uni. Napoli Fed. II	Laureato	ADEF
20 Veneruso Mariacira *	IAMC-CNR, Napoli	Collab. Est.	ADEF
21 Eliana Esposito **	IAMC-CNR, Napoli	Ricercatore	B
22 Flavia Molisso **	IAMC-CNR, Napoli	Tecnologo	B
* Sbarcati il 12 gennaio 2008			
** Personale non imbarcato			
A) Navigazione			
B) Pianificazione e logistica			
C) Sismica Multicanale			
D) Registro di bordo			
E) Acquisizione Chirp			
F) Acquisizione Multibeam			
G) Acquisizione Side Scan Sonar			
H) Assistenza elettronica e meccanica			
I) Co-responsabile Scientifico			

**Tabella 1** Personale di ricerca partecipante alla campagna oceanografica CAFE\_07 – Leg 3.  
**Table 1** Scientific party of the oceanographic cruise CAFE\_07 – Leg 3.

## 1. Inquadramento geologico

Il Golfo di Napoli, insieme alla piana Campana dell'area Vesuviana e Flegrea, rappresenta uno tra i maggiori bacini Neogenico-Quaternari dell'area peri-tirrenica (Fig. 3). Questo settore occupa un'area di cerniera tra la catena sud-appenninica ed il bacino Tirrenico, il cui assetto tettonico è strettamente connesso con l'evoluzione geodinamica del sistema bacino di retroarcocatena appenninica-sistema di avanfossa durante il Neogene superiore-Quaternario. In questo periodo i processi estensionali nell'area tirrenica risultano attivi contemporaneamente alle fasi compressive che portano alla strutturazione della catena appenninica e alla migrazione del sistema catena-avanfossa verso l'avampaese apulo [Malinverno and Ryan, 1986; Oldow et al., 1993; Ferranti et al., 1996; Casciello et al., 2006; Patacca and Scandone, 2007]. Studi recenti evidenziano che l'area peritirrenica, in particolare lungo il margine tirrenico campano-laziale, è caratterizzata dalla presenza di una serie di bacini, per lo più trasversali alla catena, che si individuano in corrispondenza di faglie ad andamento NE-SO [Bartole et al., 1984; Mariani and Prato, 1988; Sacchi et al., 1994; Acocella et al., 1999; Milia and Torrente, 2003].

La piattaforma continentale del Golfo di Napoli ha un'ampiezza variabile tra circa 2.5 km (al largo del settore occidentale dell'Isola di Capri) e circa 10-15 km (al largo della Penisola Sorrentina). Questo assetto fisiografico è controllato dalle interazioni tra sedimentazione, tettonica e vulcanismo, che hanno caratterizzato il Golfo di Napoli durante il Quaternario, e l'erosione sottomarina, testimoniata dalle incisioni lineari dei *canyon* Dohrn e Magnaghi e dai loro canali tributari (Fig. 4).

L'*offshore* dell'area flegrea (settore nord-occidentale del Golfo di Napoli), compreso tra le Isole di Ischia, Procida e Nisida, fino alla zona antistante la collina di Posillipo, mostra un chiaro controllo dei processi vulcanici nella morfologia dei fondali. In generale, la successione stratigrafica al largo del Golfo di Napoli è rappresentata da un substrato meso-cenozoico e da una sovrastante unità deposizionale tardo-quaternaria costituita da sedimenti marini silicoclastici e vulcanoclastici. La quasi totalità della piattaforma continentale del Golfo di Napoli è ricoperta da sedimenti olocenici formati nel corso dello stazionamento alto del livello marino nell'Olocene superiore [Segre, 1970; Colantoni et al. 1972, Milia, 1998; Milia and Torrente 1999; Aiello et al., 2001; Sacchi and Molisso, 2006].

### 1.1 I Campi Flegrei

L'area vulcanica attiva dei Campi Flegrei (Fig. 3) è localizzata all'interno della Piana Campana, una depressio-

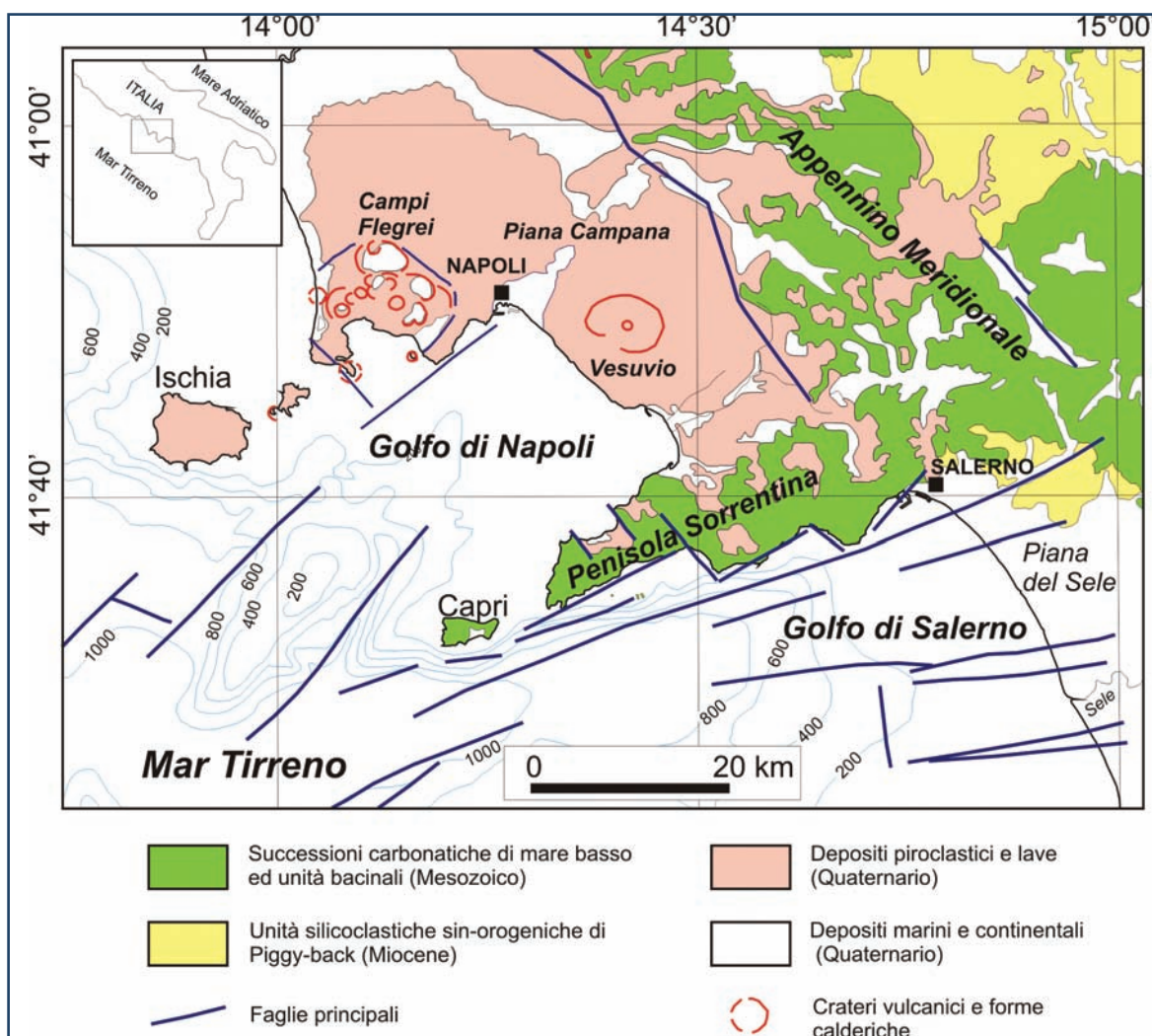
Cognome e nome	Qualifica
Gentile Emanuele	Comandante
Sperto Luigi	1° Ufficiale
Siniscalchi Gianfranco	2° Ufficiale
De Simone Antonio	Allievo Nautico
Scotto di Carlo Luigi	Direttore di Macchina
Vitello Francesco	Direttore di Macchina
Carrassi Giuseppe.	1° Ufficiale di Macchina
Corcione Procolo	Operatore Motori
Conte Vincenzo	Nostromo
Potere Giovanni	Marò
Cirillo Carlo	Marò
Armenia Michele	Cuoco
Tatulli Vito	Cameriere
Vallo Antonino	Mozzo
Gambuzza Giovanni Davide	Mozzo
Moroni Antonio	Tecnico
Diakonov Andrei	Tecnico
Raspagliosi Mario	Tecnico

**Tabella 2** Personale di bordo e tecnici (N/O URANIA).  
**Table 2** Crew and technicians (R/V URANIA).

ne strutturale che si è originata lungo il margine tirrenico dell'Appennino Meridionale, e rappresenta un'area ad elevato rischio vulcanico a causa della sua urbanizzazione molto densa [Di Girolamo et al., 1984; Rosi and Sbrana, 1987; Orsi et al., 2004, Berti et al., 2004; Di Vito et al., 2008].

La formazione della Piana Campana, dovuta a regime tettonico distensivo attivo nella regione sin dal Pliocene-Quaternario [Locardi and Nicolich, 1988; Scandone, et al., 1991; Hyppolite et al., 1994], si è sviluppata mediante faglie normali con orientazione NO-SE e NE-SO; tali faglie probabilmente hanno anche agito come condotti preferenziali di risalita per i magmi che hanno alimentato i vulcani attivi della Campania.

La caldera dei Campi Flegrei si estende a mare all'interno del bacino peritirrenico del Golfo di Napoli [Orsi et al., 1996, 1999; Zollo et al., 2003] il quale rappresenta una depressione tettonica quaternaria caratterizzata da attività tettonica recente ed un complesso quadro strutturale con faglie orientate NE-SO, NO-SE, NNO-SSE ed E-O [Barberi et al., 1991] (Fig. 3). L'origine della struttura calderica è da attribuire a due principali episodi di collasso dovuti alle eruzioni maggiori dell'Ignimbrite Campana (39 ka) [De Vivo et al., 2001] e



**Figura 3** Carta geologica schematica del margine occidentale dell'Appennino Campano.  
**Figure 3** Geologic sketch-map of the Tyrrhenian margin of Campania Apennines.

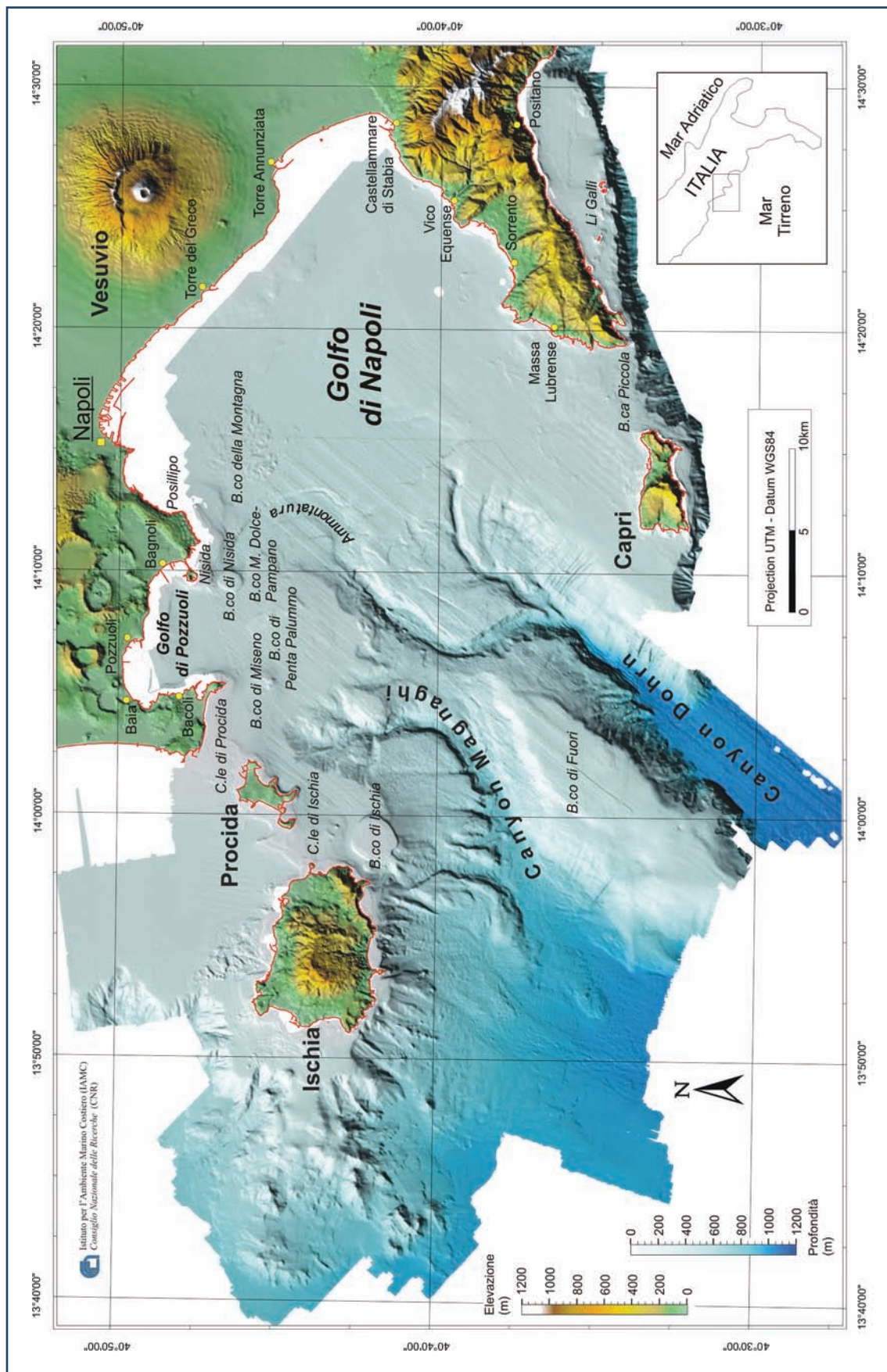
del Tufo Giallo Napoletano (15 ka) [Scarpati et al., 1993; Deino et al., 2004]. Successivamente all'eruzione del Tufo Giallo Napoletano, l'attività vulcanica si è intensificata notevolmente, con molti e diversi episodi eruttivi. L'ultima eruzione verificatasi nell'area in tempi storici risale al 1538 AD e diede origine al cono di Monte Nuovo [Di Vito et al., 1987; Di Vito et al., 1999]. Una caratteristica peculiare dei Campi Flegrei è rappresentata dal fenomeno bradisismico, intenso sollevamento del suolo seguito da lenti e prolungati episodi di subsidenza. Le due maggiori crisi bradisismiche recenti si sono verificate nel 1969-1972, con un sollevamento massimo di circa 170 cm [Corrado, 1977; Barberi et al. 1984; Dvorak and Gasparini, 1991] e nel 1982-1984, con un sollevamento massimo di circa 180 cm [Berrino et al., 1984; Osservatorio Vesuviano, 1984; De Natale et al., 1991; Dvorak and Berrino, 1991; Dvorak and Gasparini, 1991], e da intensa attività sismica con l'evento di magnitudo massima  $M_d$  pari a 4.0 verificatosi il 4 ottobre 1983 [Branno et al., 1984; Osservatorio

Vesuviano, 1984; Berti et al., 2004]. Da una recente rielaborazione dei dati storici di deformazione del suolo delle due crisi (effettuata nel progetto INGV-DPC V3\_2 -Campi Flegrei, 2004-2006) il valore massimo di sollevamento calcolato per la crisi '69-'72 è stato di 1766 mm (+/-6mm) e per la crisi '82-'84 è stato di 1788 mm (+/-6mm) [Del Gaudio et al., in prep.]. Crisi di minore entità si sono succedute nel 1989, 1994, 2000 e da giugno 2004 fino ad ottobre 2006, con episodi di modesto sollevamento del suolo e lieve sismicità [Luongo et al., 1989; Berti et al., 2004; Ricco et al., 2007; Del Gaudio et al., 2007].

## 2. Acquisizione dei dati

Le prospezioni sono state finalizzate a dettagliare le strutture vulcaniche affioranti e sepolte nell'*offshore* Napoletano. I rilievi hanno interessato l'area compresa tra  $40^{\circ} 51'$  e  $40^{\circ} 38'$  di latitudine N e  $13^{\circ} 50'$  e  $14^{\circ} 23'$





**Figura 4** Modello digitale del rilievo del Golfo di Napoli e zona costiera (da D'Argenio et al., 2004, modificato).

**Figure 4** Digital terrain model of the Naples Bay and adjacent areas (from D'Argenio et al., 2004, modified).

di longitudine, coprendo una superficie di circa 380 km<sup>2</sup>. Sono stati acquisiti 154 profili in doppia registrazione, con varie orientazioni, in funzione della direzione prevalente delle morfostrutture da investigare, per una lunghezza complessiva di oltre 800 km con una densità media della maglia sismica di circa 1,3 km/km<sup>2</sup>. Nell'area del Golfo di Pozzuoli, dove si è realizzata una copertura quasi 3-D, la distanza (interasse) tra i profili è stata di circa 150 m (Fig. 5). Durante l'acquisizione dei profili, la nave ha mantenuto una velocità di crociera inferiore ai 4 nodi.

Nonostante le condizioni meteomarine non sempre favorevoli, il programma di lavoro previsto non ha subito variazioni di rilievo e si è riusciti ad ottimizzare con successo il calendario delle operazioni. La durata complessiva della campagna è stata di 12 giorni con acquisizione dei dati in continuo, salvo uno stand-by di circa 26 ore per condizioni meteo avverse.

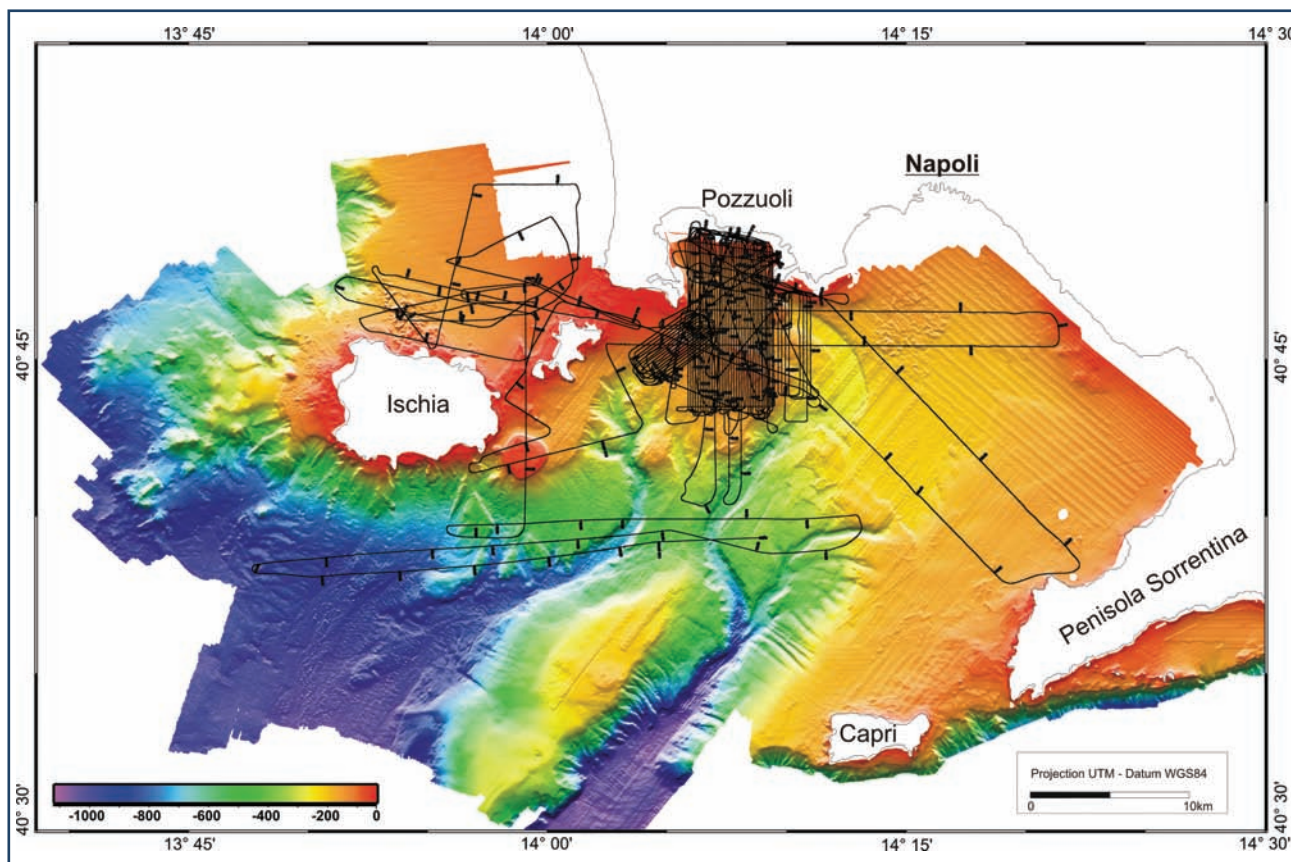
La qualità dei dati geofisici raccolti, in particolare la sismica multicanale e la batimetria multibeam, risulta di ottimo livello. I dati CHIRP possono considerarsi soddisfacenti, attesa la apparente limitata operatività delle funzioni di amplificazione del segnale e di *Time Varying Gain* (TVG) del software di acquisizione.

## 2.1 Nave Urania: caratteristiche tecniche e dotazione scientifica

La nave oceanografica Urania (Fig. 1) è gestita dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) ed è utilizzata dagli enti di ricerca per campagne oceanografiche, geologiche e geofisiche nell'area del Mediterraneo, dell'Oceano Atlantico, Mar Nero e Mar Rosso.

La nave è lunga 61 m, larga 11 m, con un pescaggio di 3.5 m; ha un'autosufficienza di 45 giorni e può ospitare un massimo di 36 uomini tra personale scientifico ed equipaggio. La velocità massima di crociera è di 11 nodi. La nave è equipaggiata con un sistema di posizionamento dinamico *Simrad* per manovre di precisione e con un sistema di posizionamento DGPS (*Differential Global Positioning System*) che permette una precisione dell'ordine del metro. In questo rapporto tutte le coordinate sono riferite al sistema UTM WGS 84.

La strumentazione geofisica in dotazione all'Urania comprende un profilatore *Chirp Datasonic*, uno *Sparker*, un profilatore *Sub-Bottom* da 3.5 KHz, ed un Uniboom per l'acquisizione di profili sismici a riflessione moncanale; un *sonar* a scansione laterale da 100 - 500 KHz ed un magnetometro. La nave è attrezzata con laboratori per analisi sedimentologiche, biologiche e chimiche e dispone di una sala operativa in grado di ospitare



**Figura 5** Grid di profili sismici a riflessione multicanale e sub-bottom Chirp acquisiti nel corso della campagna oceanografica CAFE\_07, Leg 3. Il DTM del Golfo Napoli è estratto dal database dell'IAMC-CNR.

**Figure 5** Grid of multichannel reflection seismic profiles and sub-bottom Chirp acquired during oceanographic cruise CAFE\_07, Leg 3. The DTM of the Naples Bay is from the IAMC-CNR database.

postazioni di lavoro dedicate all’acquisizione di dati geofisici, dove confluiscono anche i dati di navigazione, i dati batimetrici e della strumentazione di bordo che include una centralina meteorologica.

Per il campionamento di sedimenti e rocce sono disponibili carotieri a gravità ed a pistone, *box corer*, benne e draghe, operanti fino a oltre 4000 metri di profondità. La nave è dotata anche di sistemi per il campionamento e per il rilievo dei parametri fisici principali della colonna d’acqua, rappresentati rispettivamente da una “rosetta” con bottiglie per il campionamento dell’acqua e da una sonda CTD (Conduttività elettrica, Temperatura e Profondità) standard.

## 2.2 Navigazione

Il software utilizzato per l’acquisizione dei dati di navigazione è il PDS-2000 RESON che fornisce i dati di posizionamento DGPS in modo sincrono a tutta la strumentazione operante a bordo. Lo stesso *software* ha acquisito anche i dati del *multibeam* RESON 8160 e della centralina meteo (Tab.3). Il sistema BENTHOS CHIRP II a 16 trasduttori è stato interfacciato al *software* SWAN Pro 1.54 di Communication Technology. I dati Chirp sono stati registrati nel formato XTF, con frequenza di 4Hz.

Il piano di navigazione del Leg 3 della campagna CAFE\_07 è stato inserito nel sistema di navigazione e visualizzato durante le operazioni di acquisizione, avendo cura di installare un monitor supplementare in corrispondenza della postazione del pilota per facilitare la guida in rotta della nave. Per ogni linea di navigazione è stato creato un file dati separato, contenente tutte le informazioni di posizione per ciascuno dei sensori di misura utilizzati.

## 2.3 Batimetria *multibeam*

Per l’esecuzione dei rilievi *multibeam* è stato utilizzato un PC con *software* RESON-PDS-2000 V.2.3.3 interfacciato con I/O seriale e via rete Ethernet (TCP/IP – UDP), un processore RESON 8160 P, una unità MRU e bussola FOG TSS MAHRS MRU, e un ricevitore DGPS (Fugro Omnistar). Il *multibeam* utilizzato è un RESON Mod. 8160, 50 kHz, 126 *beams* a 0.5°, con copertura 150° (5000 m massimo *range*). Il sistema è installato sulla chiglia tramite bulbo sporgente di circa 1.5 m. Una sonda posizionata nelle immediate vicinanze del trasduttore del *multibeam* misura, in acquisizione continua, la velocità di propagazione dell’onda acustica in acqua. Vista la grande variabilità delle condizioni oceanografiche, la profondità media molto bassa e la disponibilità di diverse calate CTD effettuate in campagne precedenti ed al termine della campagna in oggetto, i dati sono stati raccolti senza inserimento del profilo di velocità, anche in considerazione del fatto che è stata

Strumentazione utilizzata	Dotazione
Multibeam RESON Seabat 8160	URANIA
Ecoscandaglio Atlas Deso 25	URANIA
Centralina meteorologica	URANIA
Sub-Bottom CHIRP - CAP 662 Datasonics	ISMAR-CNR/ URANIA
Sistema di navigazione PDS 2000	URANIA
Compressore sismico BAUER	IAMC-CNR
Sorgente sismica GI gun SODERA , 1,7 l.	Università Brema
Sorgente sismica mini GI gun SODERA, 0,4 l	Università Brema
Sistema di acquisizione sismico multicanale	Università Brema
Trigger unit	Università Brema
Cavo idrofónico 100 m 16 canali	Università Brema
Cavo idrofónico 50 m, 48 canali	Università Brema
Air buffer	Università Brema

**Tabella 3** Strumentazione utilizzata per l’acquisizione dei dati geofisici.

**Table 3** Equipment used for the acquisition of geophysical data.

comunque acquisita una misura in tempo reale della velocità dell’onda acustica in acqua in prossimità della sorgente acustica del *multibeam*. In fase di elaborazione, ai dati verranno poi applicate le correzioni di marea e le conversioni dei tempi in profondità utilizzando, tra i profili di velocità disponibili, quelli più prossimi ai settori investigati.

## 2.4 Sistema *sub-bottom Chirp*

L’acquisizione dei profili *sub-bottom CHIRP* è stata eseguita durante tutta la campagna di sismica multicanale, contemporaneamente all’acquisizione dei dati *multibeam* (Fig. 6), e poiché ambedue gli strumenti sono montati sulla chiglia, il profilo *chirp* è coincidente con la parte centrale della spazzata *multibeam*. Le frequenze del *sub-bottom profiler CHIRP* sono simili a quelle del *multibeam* Reson 8160 e possono entrare in interferenza. Quindi la potenza di emissione del *sub-bottom* Datasonic *CHIRP* è stata modulata in modo da appor-

tare il minor disturbo possibile alla registrazione *multi-beam*. Le sezioni acquisite con il *sub-bottom profiler* CHIRP sono state registrate utilizzando il *software*

SwanPRO/ChirpScan2 proprio del *sub-bottom profile* Datasonic CHIRP, in formato XTF che conserva tutte le informazioni originali relative ad ogni singolo impul-

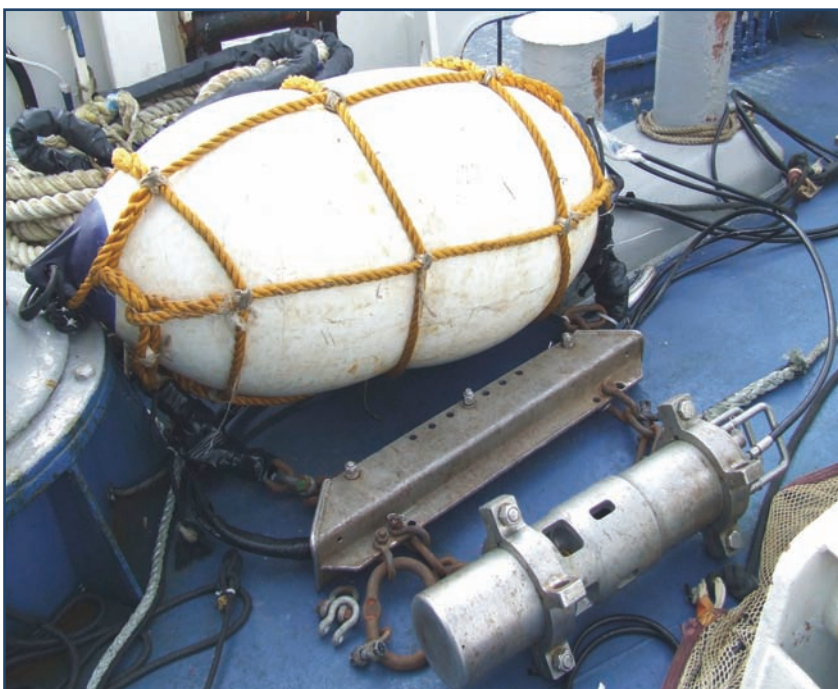
so della sorgente acustica, tra cui il numero di eventi, il posizionamento forniti dal *software* di navigazione (correlabile quindi direttamente alle strisciate *multibeam*), la profondità in metri, lo spessore sedimentario, etc. I dati sono stati esportati anche nel formato sismico standard SEG Y, gestibile con un qualunque *software* dedicato al processing sismico.

Il dato ottenuto in acquisizione non viene ulteriormente elaborato, poiché il segnale acustico registrato è preventivamente filtrato per la frequenza di Nyquist e costituisce l'involuppo della trasformata di Hilbert del segnale, rendendo tutti i campioni di segno positivo. L'unico procedimento che può essere applicato è la migrazione, utilizzando un campo di velocità pari a quella dell'onda acustica nell'acqua, per attenuare le diffrazioni legate alla morfologia del fondale marino e ottenere quindi un'immagine acustica più precisa dello stesso.



**Figura 6** Acquisizione e pre-processing in tempo reale dei dati geofisici durante la navigazione: 1) batimetria (monitors a sinistra e monitor in basso a destra); 2) Sub-bottom Chirp (monitor in alto a destra).

**Figure 6** Acquisition and on-line pre-processing of geophysical data during navigation: 1) multibeam bathymetry (monitors to the left and lower monitor to the right); 2) Sub-bottom Chirp (upper monitor to the right).

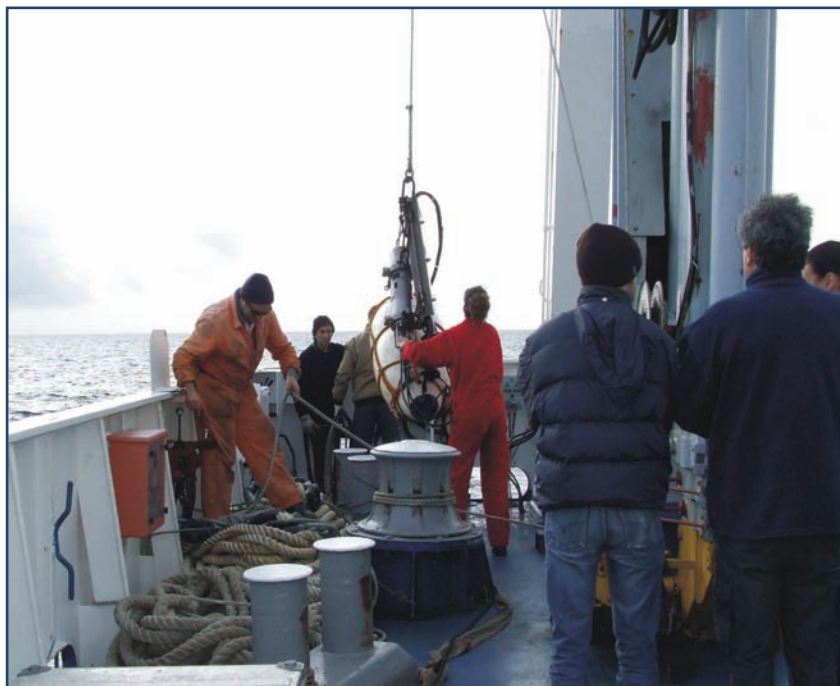


**Figura 7** Particolare del GI-Gun Sodera da 1,7 l e del relativo galleggiante da traino utilizzati per l'acquisizione sismica multicanale.

**Figure 7** Detail of the 1,7 l GI-Gun Sodera and towing float used for multichannel seismic acquisition.

## 2.5 Sismica a riflessione multicanale

L'acquisizione sismica multicanale è stata effettuata utilizzando due sorgenti sismiche *GI-Gun*, in particolare un *GI-Gun* Sodera da 1,7 l, ed un mini *GI-Gun* Sodera da 0,4 operanti in parallelo con due cavi idrofonici, di cui uno di lunghezza di 100 m con 16 canali ed uno di 50 m con 48 canali (Figg. 7-9). La pressione di esercizio, alimentata da un compressore sismico BAUER montato su container è stata di 90 bar; l'intervallo di scoppio è stato di circa 8 s per il *GI-Gun* e di 3 s circa per il mini *GI-Gun* durante l'acquisizione della quasi totalità dei profili. Gli *air-gun* hanno operato ad una profondità di circa 1,5 m dalla superficie del mare. Per l'acquisizione è stato utilizzato un sistema digitale sviluppato presso l'Università di Brema (Fig. 10). La geometria del sistema di acquisizione con indica-



**Figura 8** Operazioni per la messa in mare della sorgente sismica Gi-Gun Sodera da 1,7 l.

**Figure 8** Operations for launching of the 1,7 l Gi-Gun Sodera seismic source.



**Figura 9** Sorgente sismica (Gi-Gun Sodera da 1,7 l) e cavo idrofónico da 50 m (48 canali) in assetto di acquisizione.

**Figure 9** Seismic source (1,7 l Gi-Gun Sodera) and 50 m hydrophone cable (48 channels) during acquisition.

zione della disposizione in pianta delle sorgenti sismiche, e dei cavi idrofónicos è indicata nello schema di Figura 11. In contemporanea ai dati sismici sono stati acquisiti anche dati *multibeam* in avvicinamento all'area prevista dal progetto e lungo le stesse linee di acquisizione sismica. Tali dati, acquisiti con strisciata singola e quindi senza copertura, verranno utilizzati per definire

con maggior precisione la profondità del fondo mare in modo da poter applicare dei vincoli rigidi nell'analisi di velocità del segnale sismico.

Le operazioni effettuate nel corso dell'acquisizione possono essere ricondotte sinteticamente alle seguenti fasi:

1. Il sistema di navigazione PDS2000, ricevuta la posizione dal DGPS, invia un segnale al sincronizzatore (*gun controller*) ad intervalli di spazio all'incirca regolari in corrispondenza di ciascun punto scoppio (*fix*). Tale intervallo, denominato intervallo di scoppio, è stato definito in funzione della copertura desiderata, compatibilmente con la disponibilità massima di aria compressa nel sistema *buffer* costituito da un *pack* di 4 bombole da 1l ciascuna.

2. Ricevuto il segnale dalla navigazione, il *gun controller* invia a sua volta un impulso alla sorgente sismica, sincronizzandone l'apertura delle camere di scoppio; contemporaneamente invia il segnatempo zero (*time-break-TB*) al registratore che si pone in stato di ascolto. Il tempo zero corrisponde all'istante di inizio registrazione.

3. L'energia immessa dai cannoni sotto forma di onde acustiche, e riflessa verso la superficie dalle interfacce di separazione tra gli strati geologici del sottofondo marino, viene captata dai trasduttori dello *streamer* e convertita in segnali elettrici. Tali segnali vengono inviati al registratore, che li amplifica e li digitalizza in formato standard SEG-Y.

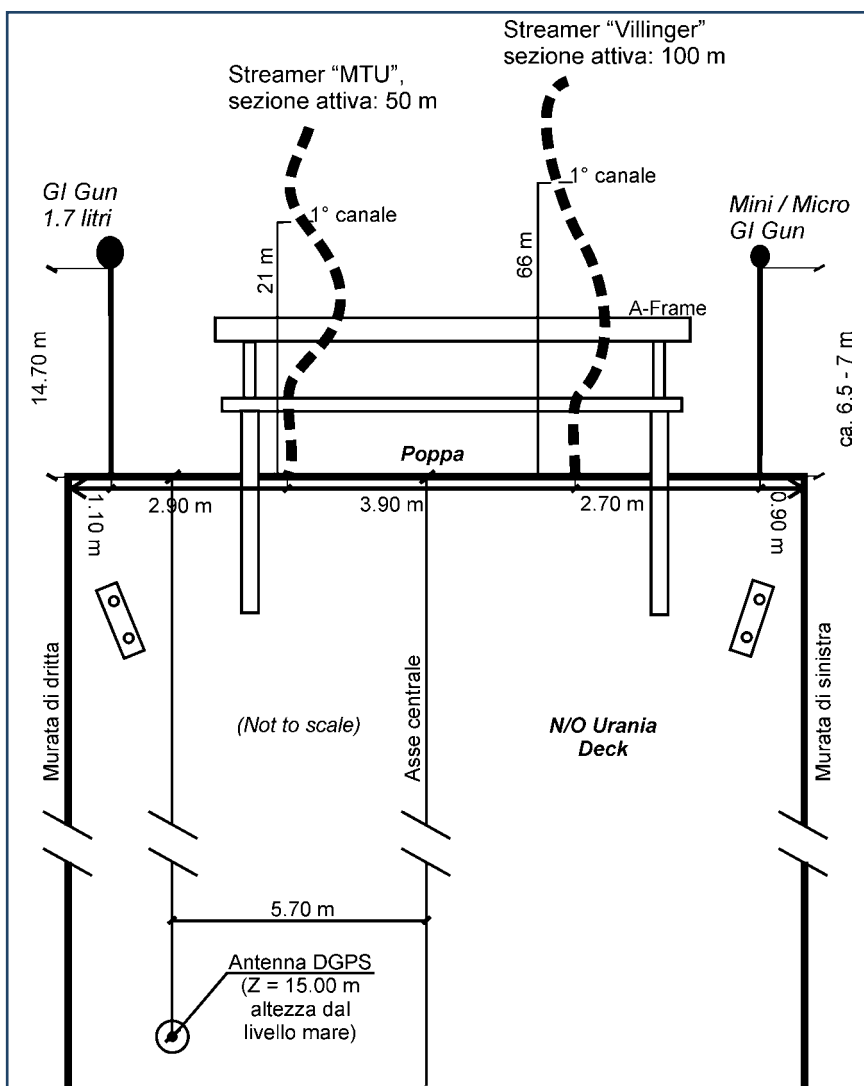
4. I dati di campagna, monitorati in tempo reale per il controllo di qualità, sono trasferiti su PC dedicato, via rete, per la successiva elaborazione e archiviazione (controllo di qualità-display-archiviazione).

Il controllo qualità dei dati sismici è stato effettuato in tempo reale utilizzando il *software* VISTA, che permette di realizzare un flusso completo di elaborazione dal record singolo alla sezione "*stack*". Sono state eseguite analisi specifiche sui singoli "*shot*" ed elaborate sezioni "*brute stack*" su tutti i tratti di linea che venivano progressivamente acquisiti.



**Figura 10** Stazione di lavoro per l'acquisizione ed il pre-processing in tempo reale dei profili sismici.

**Figure 10** Workplace for the acquisition and on-line pre-processing of seismic profiles.



**Figura 11** Schema della N/O URANIA con geometria ed offsets principali del sistema di acquisizione di sismica multicanale (non in scala).

**Figure 11** Sketch-plan of the R/V URANIA with geometry and offsets of the seismic acquisition system (not to scale).

La qualità dei dati è risultata molto buona fatta eccezione, in parte, per le prime linee, durante la cui acquisizione sono stati effettuati test e calibrazione del sistema di acquisizione.

### 3. Risultati preliminari

Il Leg 3 della campagna CAFE\_07 è stato interamente dedicato all'acquisizione di un fitto grid di profili sismici a riflessione multicanale, allo scopo di ottenere una ricostruzione quasi 3-D dell'area del Golfo di Pozzuoli, inoltre sono stati acquisiti altri profili per la ricostruzione delle principali morfostutture e unità vulcaniche sepolte del Golfo di Napoli. I primi risultati del *pre-processing* sismico dei profili *mini-gun* rivelano un'ottima qualità del dato acquisito, pertanto sembra possibile ottenere una mappatura di grande dettaglio delle strutture vulcaniche flegree e degli orizzonti stratigrafici significativi.

I profili sismici interpretati (Fig. 12) mettono in luce un quadro complesso dell'assetto stratigrafico e strutturale che risulta dominato dalla presenza di numerose strutture vulcaniche, e di corpi sedimentari ben stratificati, perlopiù provenienti dallo smantellamento delle adiacenti strutture vulcaniche. Alcuni esempi dei profili acquisiti sono riportati nelle Figg. 13-19.

Alcune delle strutture vulcaniche individuate in sismica hanno un'espressione morfologica a fondo mare e formano i cosiddetti banchi, molti dei quali già noti in letteratura [Colantoni et al., 1972; Milia, 1998; Milia et al, 2003; Scrocca et al., 2003] e nella toponomastica delle carte nautiche del Golfo di Napoli. Altre strutture vulcaniche sono del tutto sepolte e rappresentano relitti di cono vulcanici ricoperti dai sedimenti marini

di età successiva o, in alcuni casi, intrusioni di magma epi-superficiali (ad es. laccoliti). Le strutture vulcaniche si intercalano ai depositi silicoclastici della sequenza deposizionale tardo-Quaternaria che rappresentano, in termini cronostratigrafici, i sedimenti marini compresi tra l'inizio della caduta del livello del mare dopo la fase di stazionamento culminata ca. 120 ka BP e l'attuale. Utilizzando i criteri diagnostici della stratigrafia sequenziale [Mitchum, 1977; Vail, 1987; Posamentier and Vail, 1988; Hunt and Tucker, 1992], ovvero, sulla base delle geometrie delle terminazioni di strato e della facies sismica, i profili sismici interpretati consentono di ricostruire la successione sismo-stratigrafica la quale consta di 5 unità principali che dal basso verso l'alto sono:

**1) Unità del Banco di Penta Palummo e Banco Miseno (> 120 ka BP)**

Questa unità, spesso priva di riflessioni coerenti interne è presente nella parte meridionale del Golfo di Pozzuoli, in corrispondenza del Banco di Penta Palummo ed è rappresentata da più sub-unità raggrupparabili per posizione stratigrafica, che includono la struttura di Penta Palummo ed il Banco Miseno [Milia, 1998; Milia et al., 2003]. L'unità è ricoperta dalla succes-

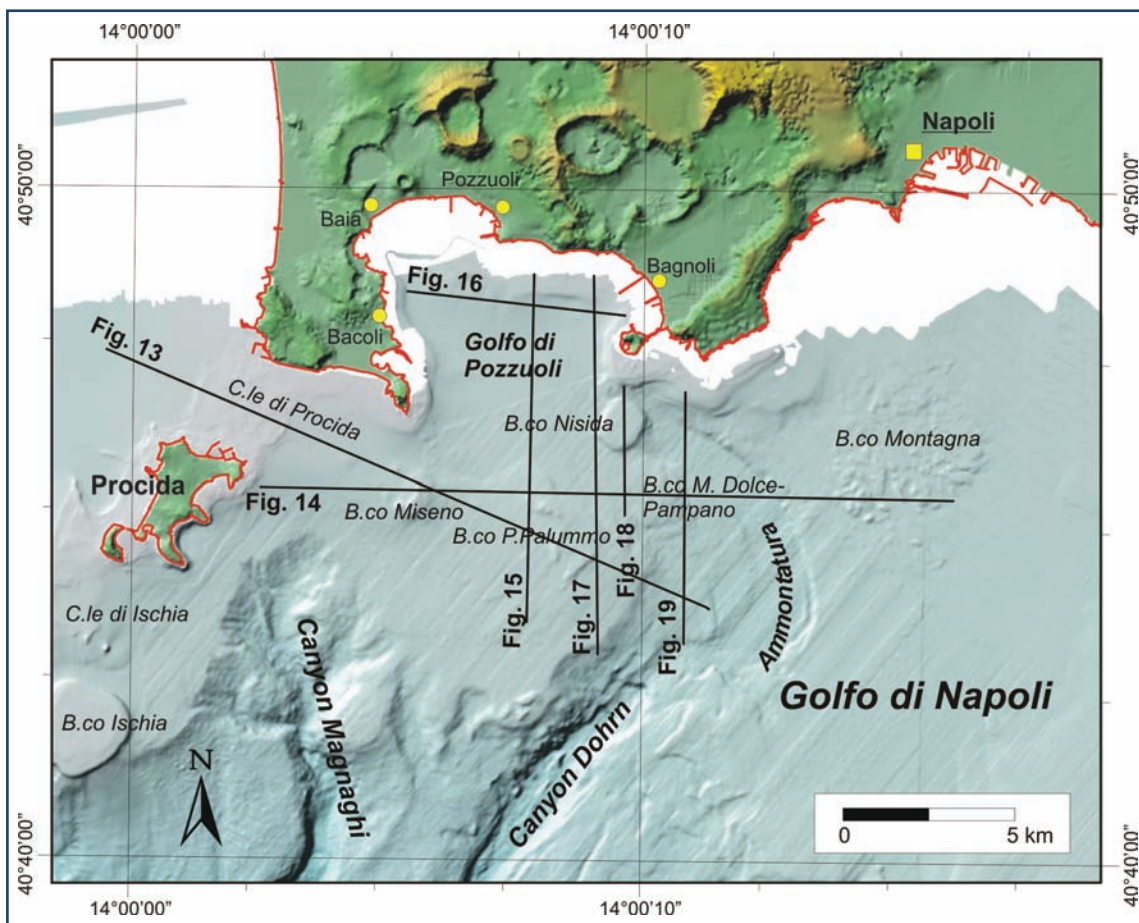
sione marina di regressione forzata, *Forced Regression Wedge Systems Tract* (FRWST) e di stazionamento basso, *Lowstand Systems Tract* (LST), ed ha pertanto un'età più antica di 120 ka BP (Figg. 13-15 e 17).

**2) Unità sedimentarie FRWST e LST (120-18 ka BP)**

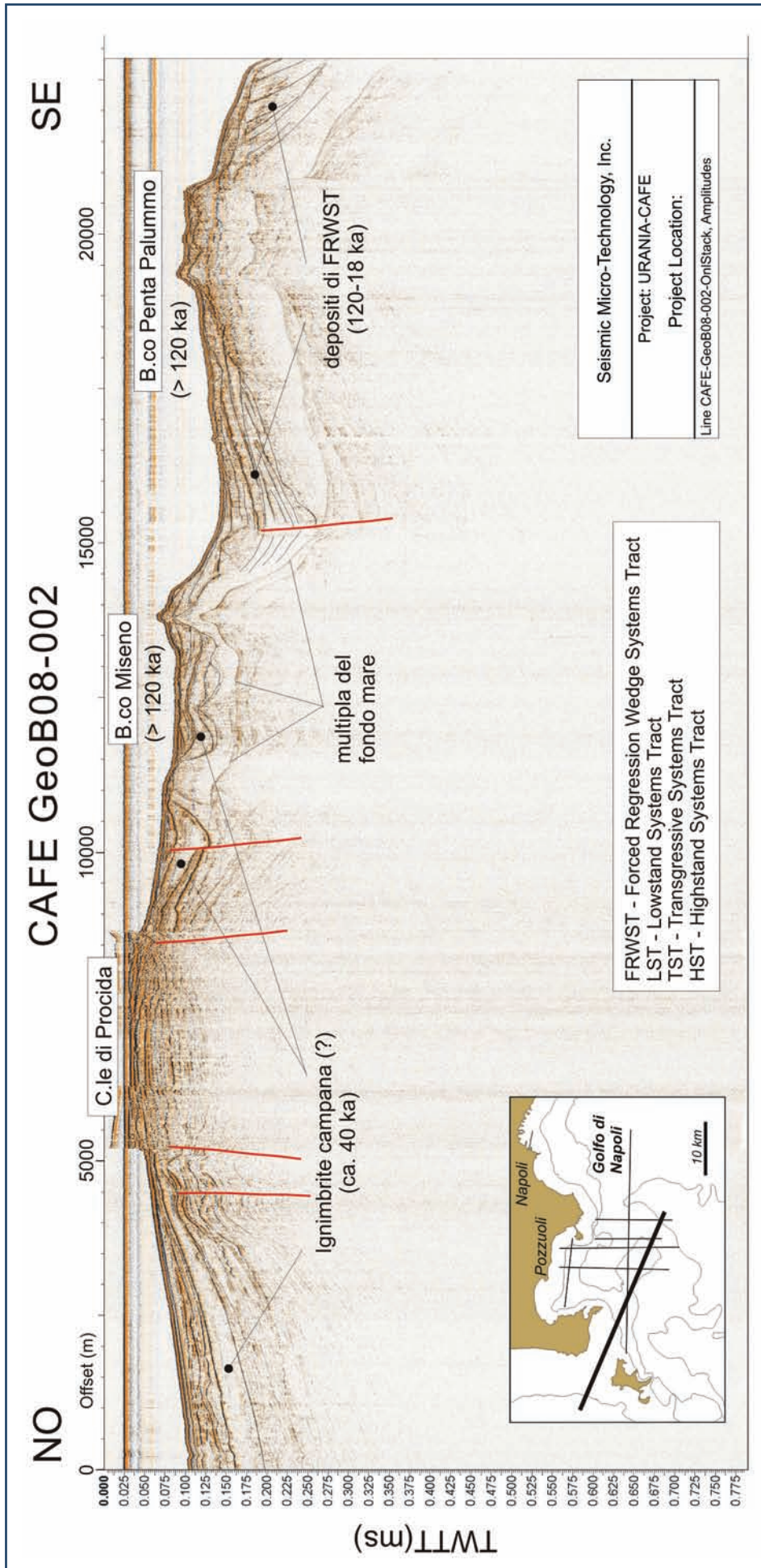
Questa unità è composta dai sedimenti marini di regressione forzata e di stazionamento basso (FRWST e LST) dell'ultima sequenza deposizionale (Figg. 13-15 e 17). È caratterizzata da riflettori più o meno irregolari ed è interessata da deformazione tettonica, da intrusioni magmatiche epi-superficiali e dall'intercalazione di unità vulcanoclastiche di spessore significativo tra cui l'ignimbrite Campana (ca. 40 ka BP) [De Vivo et al., 2001]. Il tetto di questa unità stratigrafica è rappresentato da una superficie erosiva associata spesso a discordanza angolare che tronca gli strati sottostanti e che è correlabile alla caduta massima del livello eustatico (circa -120 m) registratasi in corrispondenza dell'ultimo acme glaciale (circa 18 ka BP).

**3) Unità del Banco di Nisida (18-6 ka BP)**

Suddivisibile in alcune sub-unità minori, questa unità stratigrafica è rappresentata essenzialmente dal *tuffcone* del Banco di Nisida ed associate coperture clasti-



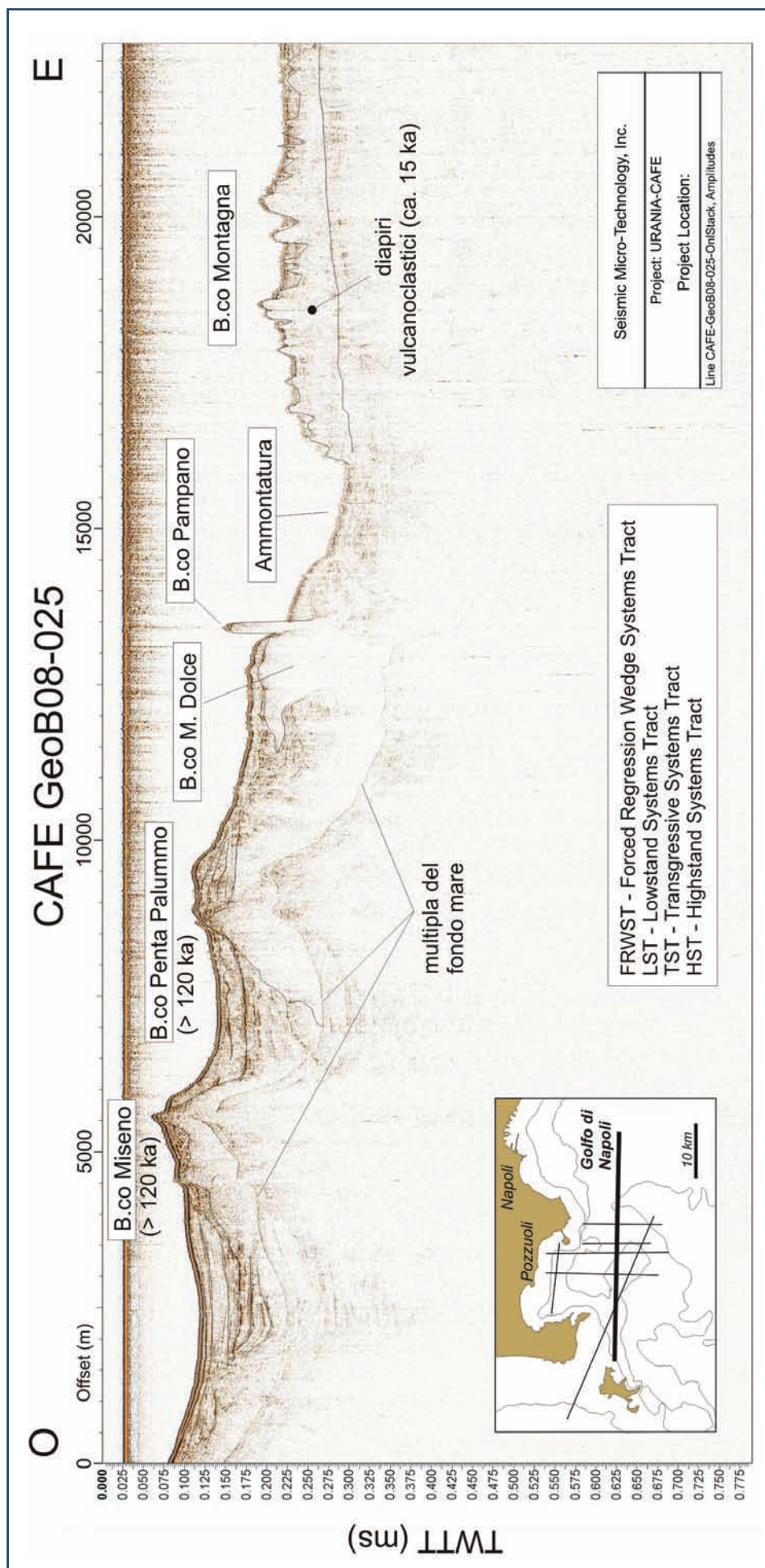
**Figura 12** Ubicazione dei profili sismici multicanale illustrati in questo studio.  
**Figure 12** Location of multichannel seismic profiles illustrated in this study.



**Figura 13** Profilo GeoB08-002 (pre-stack) e relativa interpretazione. Nel profilo sono evidenti i banchi di Penta Palummo e Miseno, considerati tra le strutture vulcaniche più antiche dell'area. La nomenclatura stratigrafico-sequenziale è in accordo con Hunt and Tucker (1992). TWTT: tempi doppi di arrivo del segnale sismico (ms); Offset: distanza orizzontale (m).

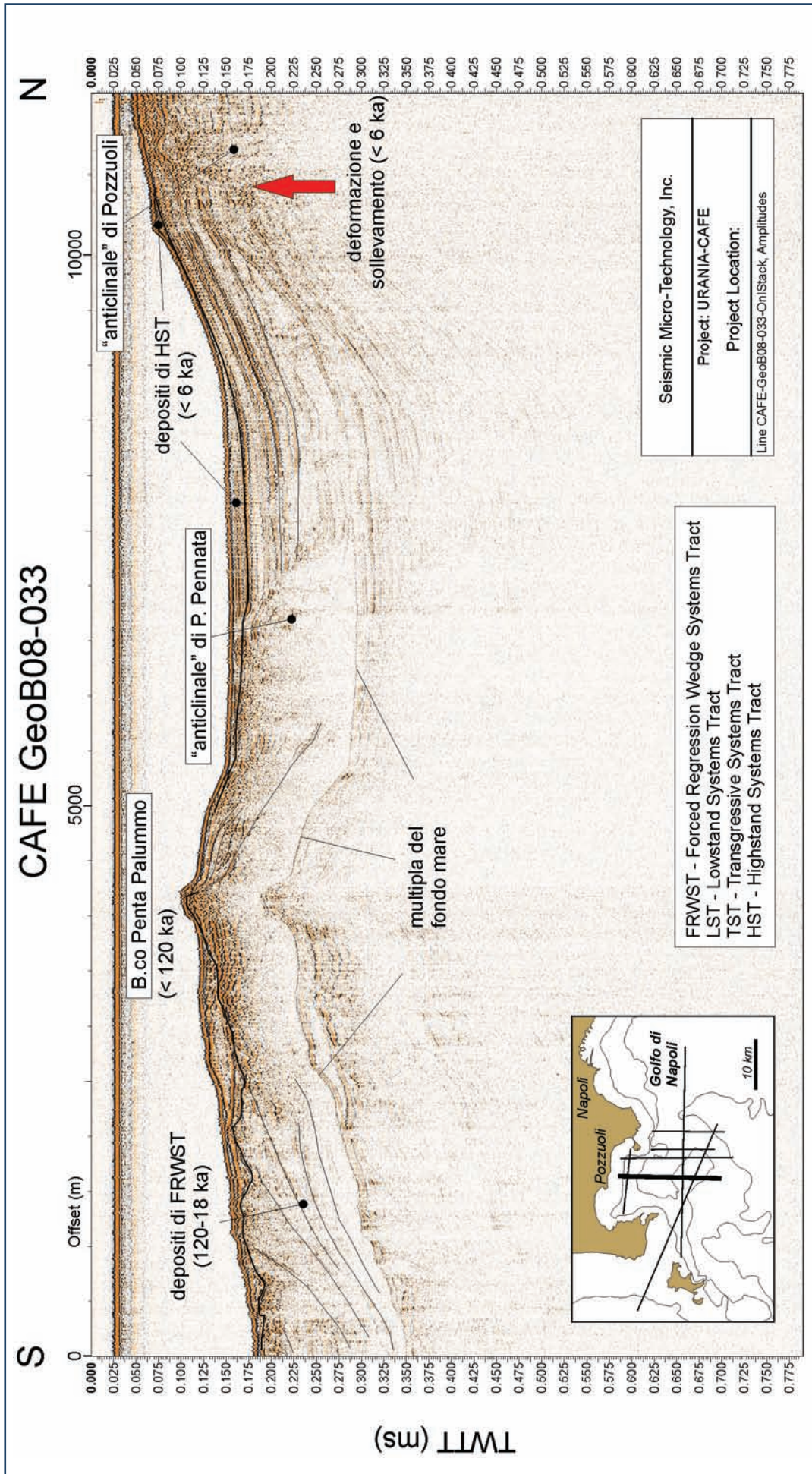
**Figure 13** Profile GeoB08-002 (pre-stack) and its interpretation. The profile shows Penta Palummo and Miseno banks that are considered among the oldest volcanic structures of the area. Sequence stratigraphic nomenclature is after Hunt and Tucker (1992). TWTT: two-way travel time (ms); Offset: horizontal distance (m).





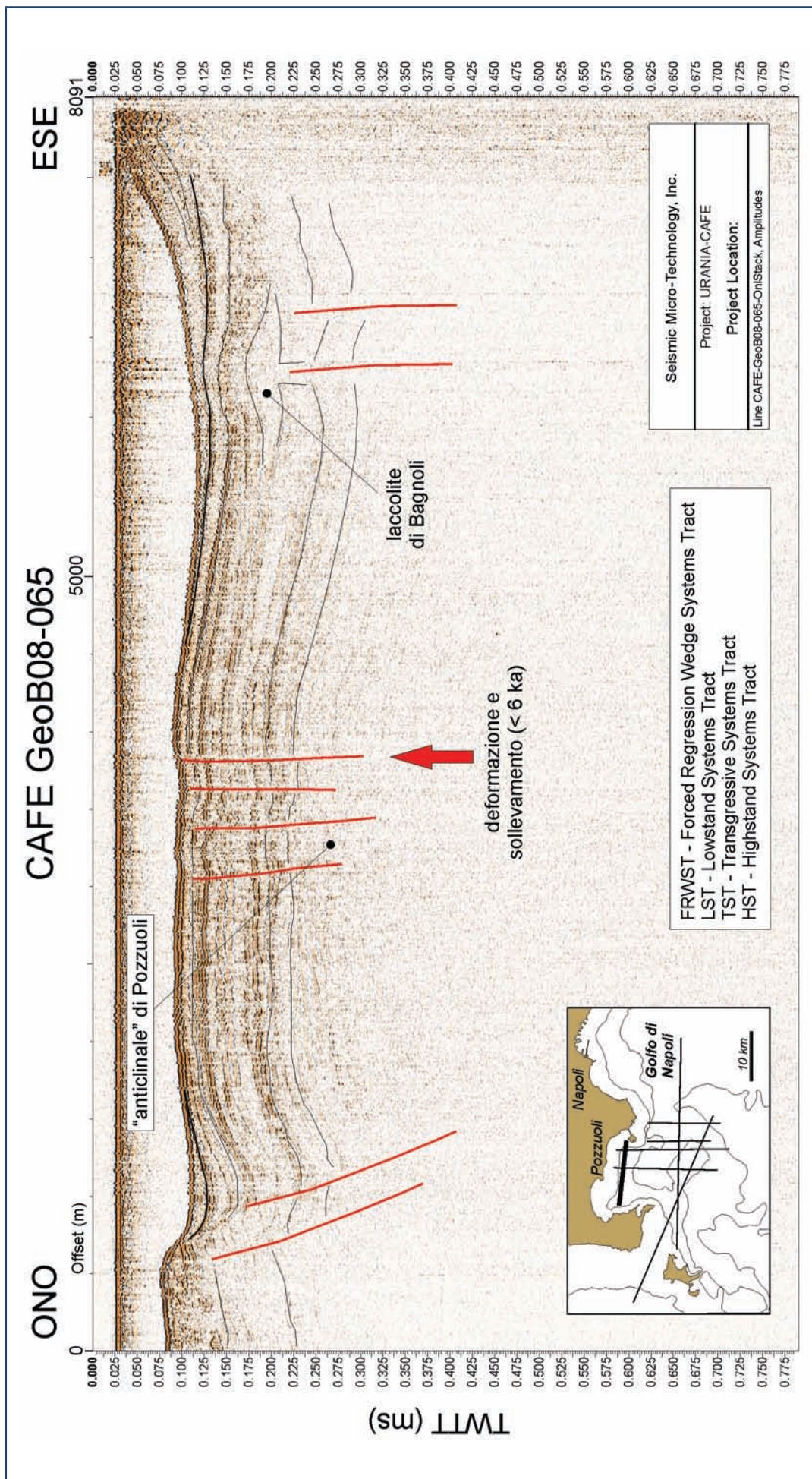
**Figure 14** Profilo GeoB08-025 (pre-stack) e relativa interpretazione. Il profilo mostra una serie di banchi vulcanici nel Golfo di Pozzuoli ed il banco della Montagna (Golfo di Napoli), costituito da un deposito vulcanoclastico che forma piccoli diapiri pomicei (Sacchi et al., 2000). La nomenclatura stratigrafico-sequenziale è in accordo con Hunt and Tucker (1992). TWTT: tempi doppi di arrivo del segnale sismico (ms); Offset: distanza orizzontale (m).

**Figure 14** Profile GeoB08-025 (pre-stack) and its interpretation. The profile illustrates a series of volcanic banks in the Pozzuoli Bay as well as the Montagna bank (Naples Bay), represented by a volcanoclastic deposit that forms small-scale diapirs within pumiceous material (Sacchi et al., 2000). Sequence stratigraphic nomenclature is after Hunt and Tucker (1992). TWTT: two-way travel time (ms); Offset: horizontal distance (m).



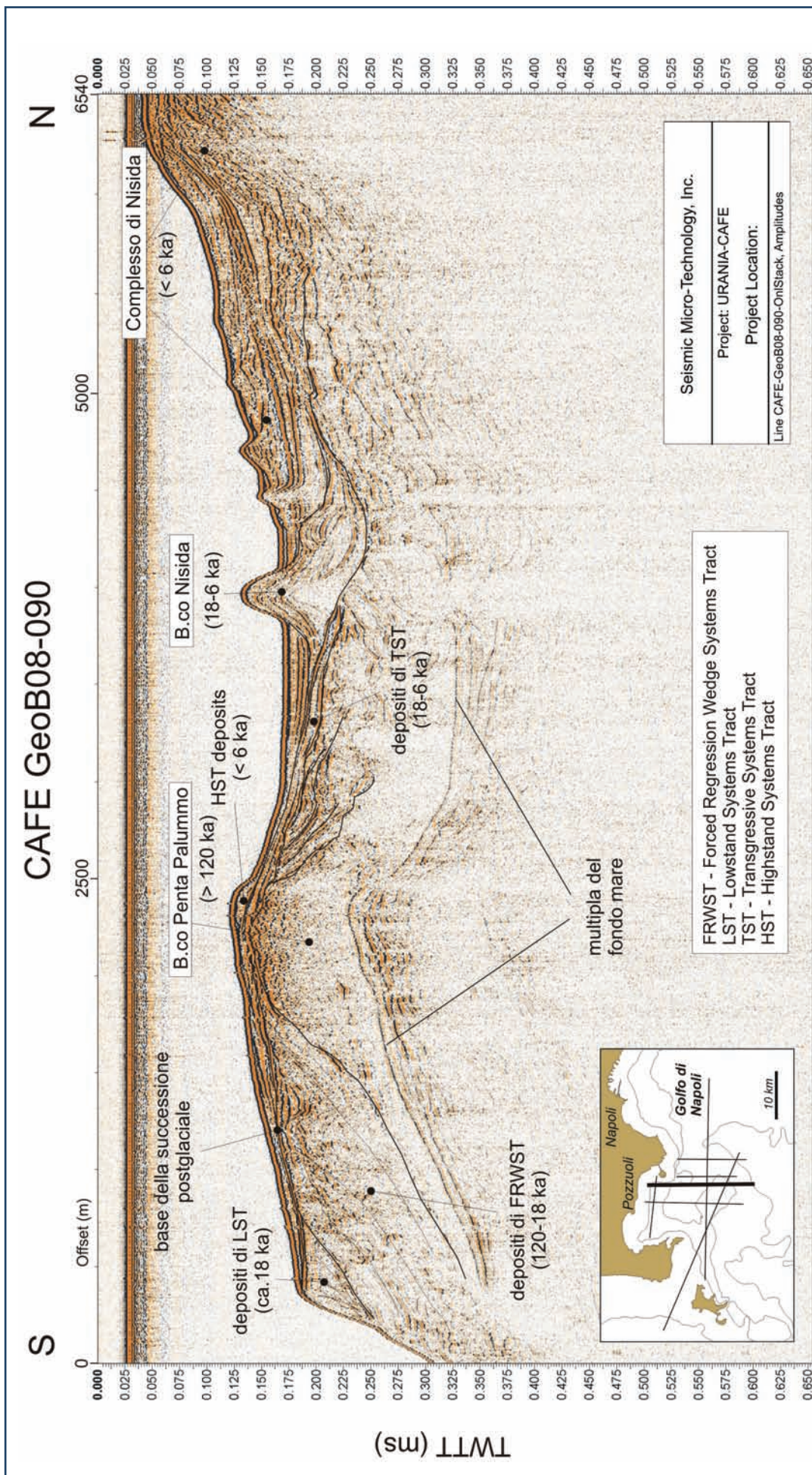
**Figura 15** Profilo GeoB08-033 (pre-stack) e relativa interpretazione. Il profilo mostra la deformazione ed il sollevamento recente della struttura antiforale che si rinvia al largo di Pozzuoli. La nomenclatura stratigrafico-sequenziale è in accordo con Hunt and Tucker (1992). TWT: tempi doppi di arrivo del segnale sismico (ms); Offset: distanza orizzontale (m).

**Figure 15** Profile GeoB08-033 (pre-stack) and its interpretation. The profile shows the recent deformation and uplift of the structure off Pozzuoli. Sequence stratigraphic nomenclature is after Hunt and Tucker (1992). TWT: two-way travel time (ms); Offset: horizontal distance (m).



**Figura 16** Profilo GeoB08-065 (pre-stack) e relativa interpretazione. Il profilo mostra la deformazione ed il sollevamento recente della struttura antiforme che si rinviene al largo di Pozzuoli ed un piccolo laccolite al largo di Bagnoli. La nomenclatura stratigrafico-sequenziale è in accordo con Hunt and Tucker (1992). TWTT: tempi doppi di arrivo del segnale sismico (ms); Offset: distanza orizzontale (m).

**Figure 16** Profile GeoB08-065 (pre-stack) and its interpretation. The profile shows the recent deformation and uplift of the structure off Pozzuoli and a small laccolith off Bagnoli. Sequence stratigraphic nomenclature is after Hunt and Tucker (1992). TWTT: two-way travel time (ms); Offset: horizontal distance (m).



**Figura 17** Profilo GeoB08-090 (pre-stack) e relativa interpretazione. Il profilo mostra le strutture vulcaniche dei banchi di Penta Palummo e Nisida ed una serie di corpi vulcanoclastici sovrapposti (qui indicati con il termine comprensivo di complesso di Nisida) che si rinvergono tra il banco di Nisida e l'isola di Nisida. La nomenclatura stratigrafico-sequenziale è in accordo con Hunt and Tucker (1992). TWTT: tempi doppi di arrivo del segnale sismico (ms); Offset: distanza orizzontale (m).

**Figure 17** Profile GeoB08-090 (pre-stack) and its interpretation. The profile illustrates the volcanic structures of Penta Palummo and Nisida banks, as well as a series of volcaniclastic units (here referred to as Nisida complex), located between Nisida bank and Nisida Island. Sequence stratigraphic nomenclature is after Hunt and Tucker (1992). TWTT: two-way travel time (ms); Offset: horizontal distance (m).

che derivanti dall'evoluzione in ambiente sottomarino di depositi vulcanoclastici primari e dalla deposizione di unità clastiche derivanti dallo smantellamento dell'edificio vulcanico in ambiente marino. L'unità vulcanica in senso stretto mostra al suo interno delle geometrie tipo *mound* ricoperte da geometrie di strato di tipo *onlap*, che rappresentano, appunto, l'appoggio delle unità clastiche sul substrato vulcanico (Figg. 17-18).

L'unità poggia sulla superficie di erosione associata alla caduta eustatica dell'ultimo glaciale ed è ricoperta dai depositi più recenti (in particolare i depositi di stazionamento alto) della sequenza deposizionale tardo Quaternaria ed ha pertanto un'età compresa fra i 18 ka e i 6 ka BP.

**4) Unità sedimentarie Transgressive Systems Tract (TST) e Highstand Systems Tract (HST) (<18 ka BP)**

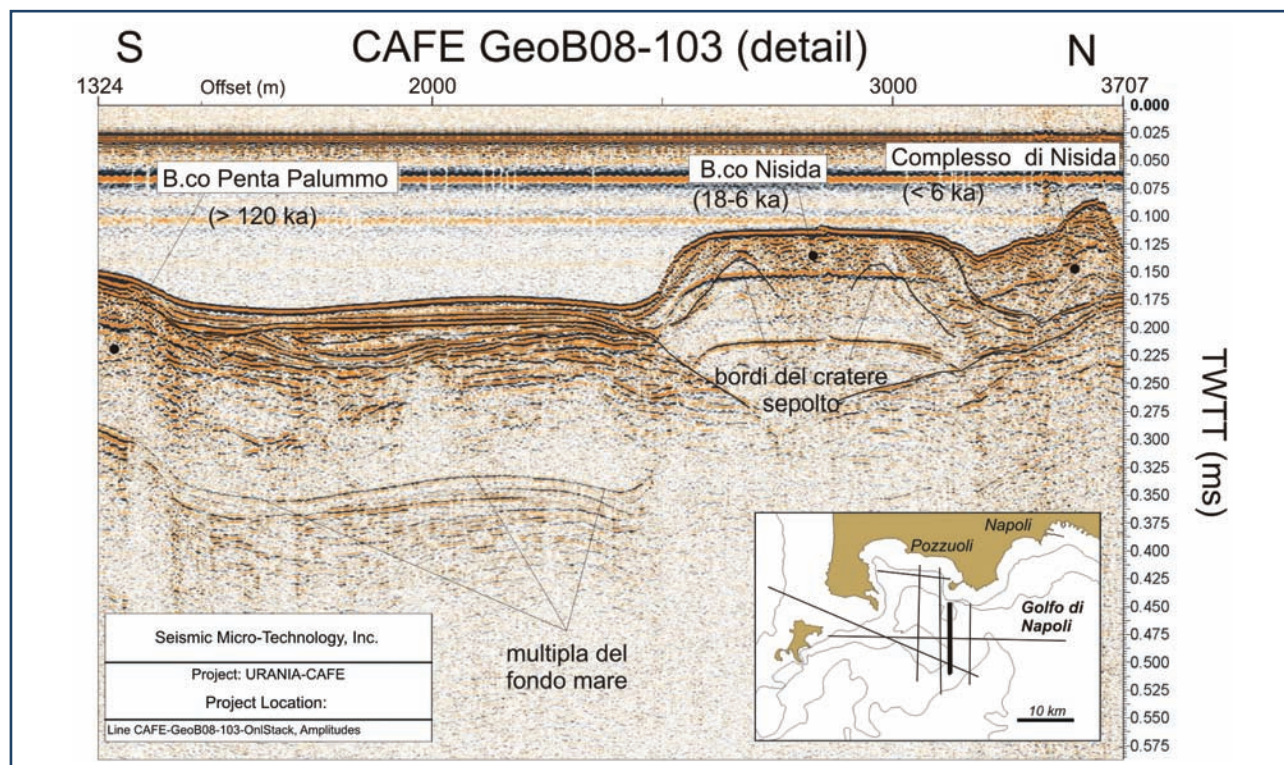
L'unità è rappresentata dai depositi silicoclastici associati alla rapida salita ed al successivo stazionamento del livello del mare successivi all'ultimo acme glaciale. Si tratta di successioni silicoclastiche di modesto spessore, in parte alimentate dai materiali provenienti dallo smantellamento delle aree vulcaniche circostanti (Figg. 15-19). La parte alta di questa unità è chiaramente coinvolta nel sollevamento delle strutture antiformi individuate al largo di punta Pennata e di Pozzuoli (La Starza).

Sono correlabili da un punto di vista cronostratigrafico alla parte bassa di questa unità, anche la formazione del Tufo Giallo Napoletano (TGN) (15 ka BP) [Scarpato et al., 1993; Insinga, 2003; Deino et al., 2004], che si rinviene in profondità in alcuni profili sismici ubicati in prossimità della collina di Posillipo, ed un'unità vulcanoclastica, tentativamente correlabile al TGN e parzialmente affiorante nell'area del B.co della Montagna (Figg. 14 e 19).

**5) Unità dell'Isola di Nisida (<6 k a BP)**

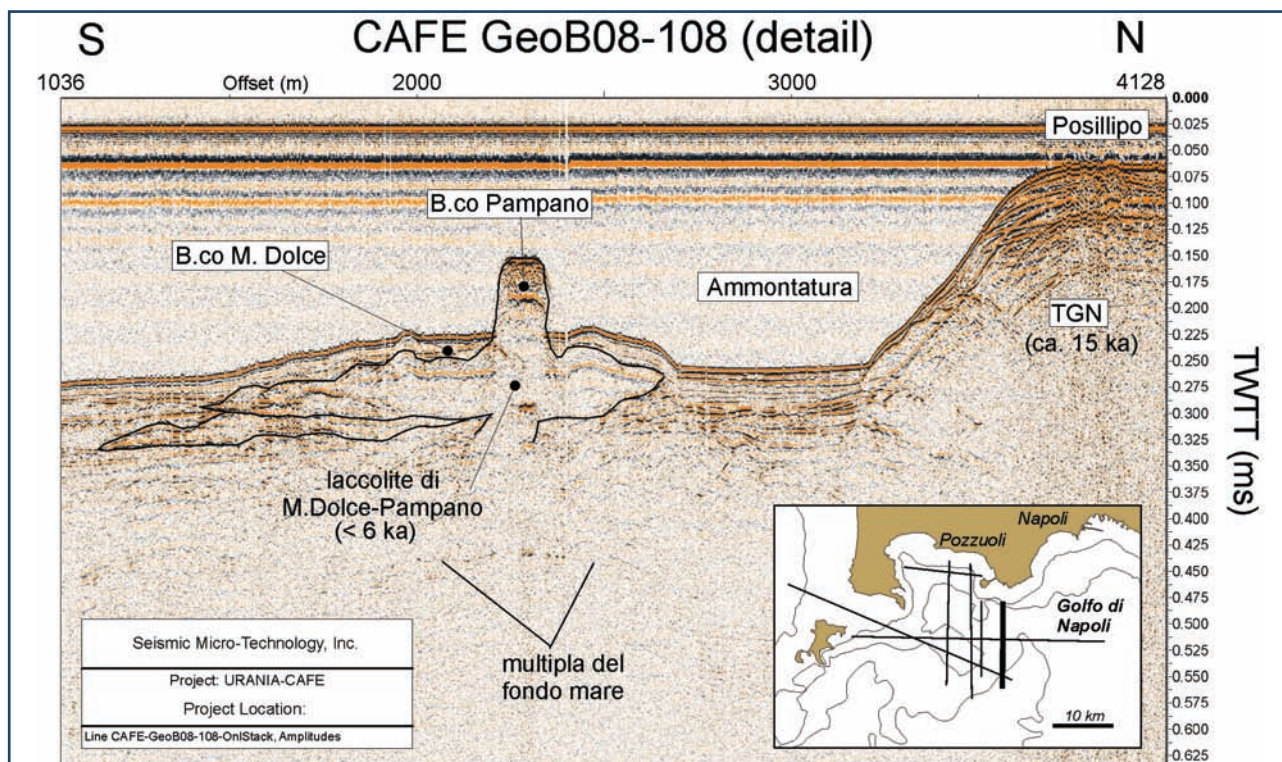
L'unità è rappresentata dagli edifici vulcanici più recenti, come il *tuff-cone* dell'Isola di Nisida. I prodotti di Nisida poggiano stratigraficamente al disopra dei prodotti del Banco di Nisida e pertanto hanno un'età inferiore a 6 ka BP. Essi formano un complesso di sub-unità via via più giovani verso Nord [Colantoni et al., 1972; Milia, 1998; Milia et al., 2003] e mostrano al loro interno geometrie di strato di tipo *mound*, ricoperte sui fianchi da livelli ben stratificati (Figg. 17-18).

Questa unità include anche intrusioni sub-superficiali, ad es. il laccolite di M. Dolce-Pampano (Fig. 19), ed altri edifici vulcanici ubicati in corrispondenza del margine occidentale del Golfo di Pozzuoli, in particolare il *tuff cone* di Capo Miseno ed il *tuff ring* di Porto Miseno, e testimonia un'attività vulcanica molto recente come



**Figura 18** Dettaglio del profilo GeoB08-103 (pre-stack) e relativa interpretazione. Il profilo mostra la struttura interna ed i bordi del cratere sepolto del banco di Nisida. TWTT: tempi doppi di arrivo del segnale sismico (ms); Offset: distanza orizzontale (m).

**Figure 18** Profile GeoB08-103 (pre-stack) and its interpretation. The profile shows the internal structure and the crater rims of the Nisida bank buried volcano. TWTT: two-way travel time (ms); Offset: horizontal distance (m).



**Figura 19** Dettaglio del profilo GeoB08-108 (pre-stack) e relativa interpretazione. Il profilo mostra una intrusione magmatica epi-superficiale recente (laccolite di M.Dolce-Pampano) ad Ovest del canale dell'Ammontatura. TGN: Tufo giallo Napoletano; TWTT: tempi doppi di arrivo del segnale sismico (ms); Offset: distanza orizzontale (m).

**Figure 19** Profile GeoB08-108 (pre-stack) and its interpretation. The profile shows a recent epi-superrficial magmatic intrusion (M.Dolce-Pampano laccolith) to the West of the Ammontatura channel. TGN: Neapolitan Yellow Tuff; TWTT: two-way travel time (ms); Offset: horizontal distance (m).

risulta da datazioni effettuate con il metodo Ar/Ar [Insinga et al., 2006].

La densità della maglia sismica consente anche di fornire un quadro preliminare dell'assetto strutturale dei sedimenti e delle vulcaniti tardo-Quaternarie del Golfo di Pozzuoli. I profili sismici interpretati evidenziano un possibile collegamento tra strutture vulcaniche e sub-vulcaniche ed il quadro tettonico generale del margine continentale Campano [Sacchi et al., 1994; Acocella et al., 1999; Milia and Torrente, 2003; D'Argenio et al., 2004; Sacchi et al., 2004; Holohan et al., 2008] e consentono una prima descrizione delle geometrie di deformazione.

A titolo di esempio sono chiaramente individuabili nei profili sismici riportati in Figg. 13-18 alcune strutture già note in letteratura come i banchi di Miseno, Pentapalumbo e Nisida (Figg. 13, 14, 15, 16) [D'Argenio et al., 2004], e le strutture antiformali denominate "anticlinale di P.ta Pennata" (Figg. 15) ed "anticlinale di Pozzuoli" (Fig. 15) [Milia and Torrente, 2000].

#### 4. Conclusioni

I risultati preliminari dell'analisi sismostratigrafica del grid di profili sismici multicanale acquisiti nel corso della campagna oceanografica CAFE\_07 hanno consentito di riconoscere alcune strutture geologiche principali del Golfo di Pozzuoli. In particolare, nei profili sismici illustrati, sono individuabili strutture vulcaniche affioranti corrispondenti ai banchi del Golfo di Pozzuoli e strutture vulcaniche sepolte o semisepolte corrispondenti a piccole intrusioni magmatiche sub-superficiali tipo laccoliti.

L'interpretazione dei dati finora analizzati consente inoltre di affermare che in alcuni settori del Golfo di Pozzuoli esistono aree chiaramente interessate da processi deformativi recenti.

In base ai risultati di questa fase preliminare della ricerca si prevede che l'analisi definitiva dell'intero data set di profili sismici multicanale acquisiti nel Golfo di Pozzuoli possa fornire un quadro più completo della complessa geologia di quest'area e, in alcuni settori marini dove la densità del grid di profili sismici è maggiore, una ricostruzione quasi 3-D della morfologia e dell'architettura stratigrafica delle principali strutture geologiche.

## Ringraziamenti

Si ringraziano il Comandante Emanuele Gentile e l'equipaggio della N/O Urania per la professionalità e l'impegno dimostrato nella esecuzione del lavoro, sia nelle fasi preparatorie che in mare. Si ringraziano inoltre Giovanni de Alteriis per le proficue discussioni durante la fase di pianificazione del grid di acquisizione sismica multicanale, Francesco Buonocunto e Paolo Scotto per la preziosa assistenza logistica e tecnica e tutti i ricercatori, tecnici e collaboratori esterni che a vario titolo hanno partecipato alla campagna. La ricerca è finanziata con fondi ICDP Germania (Responsabile Prof. V. Spiess, Università di Brema) e Progetto di Ricerca Scientifica "Legge 5" - Regione Campania (Responsabile Dr. Marco Sacchi).

## Bibliografia

- Acocella, V, Salvini, F, Funicello, and R, Faccenna, C., (1999). The role of transfer structures on volcanic activity at Campi Flegrei (Southern Italy). *J Volcanol Geotherm Res*, 91, 123-139.
- Aiello, G., Budillon, F., Cristofalo, G., D'Argenio, B., de Alteriis, G., De Lauro, M., Ferraro, L., Marsella, E., Pelosi, and N., Tonielli, R., (2001). Marine geology and morphobathymetry in the Bay of Naples (south-eastern Tyrrhenian Sea, Italy). In: Faranda, E.M., Guglielmo, L., Spezie, G. (Eds), *Mediterranean Ecosystems: Structures and Processes*, Springer, Berlin, pp. 1-8.
- Barberi, F., Cassano, E., La Torre, and P., Sbrana, A., (1991). Structural evolution of Campi Flegrei Caldera in light of volcanological and geophysical data. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 48 (1-2), 33-49.
- Barberi, F., Corrado, G., Innocenti, F., and Luongo, G., (1984). Brief chronicle of a volcano emergency in a densely populated area, *Bull. Volcanol.*, 47 (2): 175-185.
- Bartole, R., Savelli, D., Tramontana, M., and Wezel, F.C., (1984). Structural and sedimentary features in the Tyrrhenian margin off Campania, Southern Italy. *Mar. Geol.*, 55, 163-180.
- Berti, D., Esposito, E., Giusti, C., Luberti, G.M., Piccardi, L., Porfido, S., Violante, C., and Vittori, E., (2004). P64- Geological setting, hazards and urban growth in some historical towns of Italy. *Field Trip Guide Book*, 32nd IGC-Firenze, vol 6, pp.72.
- Berrino, G., Corrado, G., Luongo, G., and Toro, B., (1984). Ground deformation and gravity change accompanying the 1982 Pozzuoli uplift, *Bull. Volcanol.*, 47 (2): 187-200.
- Branno, A., Esposito, E., Luongo, G., Marturano, A., Porfido, S., and Rinaldis, V., (1984). The October 4th, 1983. Magnitude 4 earthquake in Phlegraean fields: macroseismic survey. *Bull. Vulc.*, 47(2), 187-200.
- Casciello, E., Cesarano, M., and Pappone, G., (2006). Extensional detachment faulting on the Tyrrhenian margin of the southern Apennines contractional belt (Italy). *Journal of the Geological Society, London*, Vol. 163, 617-629.
- Colantoni, P., Del Monte, M., Fabbri, A., Gallignani, P., Selli, R., e Tomadi, L., (1972). Ricerche geologiche nel Golfo di Pozzuoli. In: Versino, L., (Ed.) *Relazione sui rilievi effettuati nell'area flegrea nel 1970-1971*, CNR, *Quaderni de 'La Ricerca Scientifica'*, 83, pp. 26-76.
- Corrado, G., Guerra, I., Lo Bascio, A., Luongo, G., and Rampoldi, F., (1977). Inflation and microearthquake activity of Phlegraean Fields, Italy. *Bull. Volcanol.*, 40 (3), 169-188.
- D'Argenio, B., Angelino, A., Aiello, G., de Alteriis, G., Milia, A., Sacchi, M., Tonielli, R., Budillon, F., Chiocci, E., Conforti, A., De Lauro, M., Di Martino, G., d'Isanto, C., Esposito, E., Ferraro, L., Innangi, S., Insinga, D., Iorio, M., Marsella, E., Molisso, F., Morra, V., Passaro, S., Pelosi, N., Porfido, S., Raspini, A., Ruggieri, S., Sarnacchiaro, G., Terranova, C., Vilaro, and G., Violante, C., (2004). Digital elevation model of the Naples bay and adjacent areas, eastern Tyrrhenian Sea. In: G. Pasquaré, C. Venturini and G. Groppelli, (eds.) *Mapping geology in Italy*, Rome APAT, Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d'Italia, pp. 21-28.
- Deino, A.L., Orsi, G., de Vita, S., and Piochi, M., (2004). The age of the Neapolitan Yellow Tuff caldera-forming eruption (Campi Flegrei caldera, Italy) assessed by  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating method. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 133, 157-170.
- Del Gaudio, C., Aquino, I., Ricco, C., e Serio, C., (2007). Movimenti verticali del suolo ai Campi Flegrei: risultati della livellazione geometrica di precisione eseguita nel periodo Dicembre 2006-Gennaio 2007. *Open File Report*, n.3, Osservatorio Vesuviano - INGV.
- De Natale, G., Pingue, F., Allard, P., and Zollo, A., (1991). Geophysical and geochemical modelling of the 1982-1984 unrest phenomena at Campi Flegrei Caldera, southern Italy. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 48, 199-222.
- De Natale, G., Troise, C., and Sacchi, M., (2007). The Campi Flegrei Deep Drilling Project. *Scientific Drilling*, 4, 48-50.
- De Vivo, B., Rolandi, G., Gans, P.B., Calvert, A.,

- Bohrson, W.A., Spera, F.J., and Belkin, H.E., (2001). New constraints on the pyroclastic eruptive history of the Campanian volcanic Plain (Italy). *Mineral. Petrol.*, 73, 47–65.
- Di Girolamo, P., Ghiara, M.R., Lirer, L., Munno, R., Rolandi, G., and Stanzone, D., (1984). *Vulcanologia e petrologia dei Campi Flegrei*. *Boll. Soc. Geol. It.*, 103, 349–413.
- Di Vito, M., Lirer, L., Mastrolorenzo, G., Rolandi, G., (1987). The Monte Nuovo eruption (Campi Flegrei, Italy). *Bull. Volcanol.*, 49, 608–615.
- Di Vito, M., Isaia, R., Orsi, G., Southon, J., de Vita, S., D'Antonio, M., Pappalardo, L., and Piochi, M., (1999). Volcanism and deformation since 12,000 years at the Campi Flegrei caldera (Italy). *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 91, 221–246.
- Di Vito, M.A., Sulpizio, R., Zanchetta, G., and D'Orazio, M., (2008). The late Pleistocene pyroclastic deposits of the Campanian Plain: new insights into the explosive activity of Neapolitan Volcanoes. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 177, 19–48.
- Dvorak, J.J., and Berrino, G., (1991). Recent ground movement and seismic activity in Campi Flegrei, Southern Italy: episodic growth of a resurgent dome. *J. Geophys. Res.*, 96(B2), 2309–2323.
- Dvorak, J.J. and Gasparini, P., (1991). History of earthquakes and vertical ground movements in Campi Flegrei caldera, Southern Italy: comparison of precursory events to the A.D. 1538 eruption of Monte Nuovo and of activity since 1968. - *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 48, 77–92.
- Ferranti, L., Oldow, J. S., and Sacchi, M., (1996). Pre-Quaternary orogen-parallel extension in the Southern Apennine belt, Italy. *Tectonophysics*, 260, 325–347.
- Holohan, E.P., van Wyk de Vries, B., and Troll, V.R., (2008). Analogue models of caldera collapse in strike-slip tectonic regimes. *Bull. Volcanol.*, 70, 773–796.
- Hyppolite, J.C., Angelier, J., and Roure, F., (1994). A major geodynamic change revealed by Quaternary stress patterns in the Southern Apennines (Italy). *Tectonophysics*, 230, 199–210.
- Hunt, D. and Tucker, M. E., (1992). Stranded parasequences and the forced regressive wedge systems tract: deposition during base-level fall. *Sedimentary Geology*, 81, 1–9.
- Insinga, D., (2003). *Tefrostratigrafia dei depositi tardo-quaternari della fascia costiera campana*. Tesi di Dottorato, Università di Napoli Federico II, 202 pp.
- Insinga, D., Calvert, A.T., Lanphere, M.A., Morra, V., Perrotta, A., Sacchi, M., Scarpati, C., Saburomaru, J., and Fedele, L., (2006). The Late-Holocene evolution of the Miseno area (south-western Campi Flegrei) as inferred by stratigraphy, petrochemistry and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology. In: B. De Vivo (Ed.), *Volcanism in the Campania Plain: Vesuvius, Campi Flegrei and Ignimbrites*, Elsevier B. V., pp. 97–124.
- Locardi, E., e Nicolich, R., (1988). *Geodinamica del tirreno e dell'Appennino centro-meridionale: la nuova carta della Moho*. *Mem. Soc. Geol. It.*, 41:121–140.
- Luongo, G., Del Gaudio, C., Obrizzo F. e Ricco, C., (1989). Deformazione del suolo dell'area flegrea durante la fase di bradisismo discendente 1985–1989. *Boll. GNV*, 1, 327–343.
- Malinverno, A., and Ryan, W.B.F., (1986). Extension in the Tyrrhenian Sea and shortening in the Apennines as result of arc migration driven by sinking of the lithosphere. *Tectonics*, 5, 227–245.
- Mariani, M., e Prato, R., (1988). I bacini neogenici costieri del margine tirrenico: approccio sismo-stratigrafico. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 41, 519–531.
- Milia, A., (1998). *Stratigrafia, strutture deformative e considerazioni sull'origine delle unità deposizionali oloceniche del Golfo di Pozzuoli (Napoli)*. *Boll. Soc. Geol. It.*, 117, 777–787.
- Milia, A. and Torrente, M.M., (1999). Tectonics and stratigraphic architecture of a peri-Tyrrhenian half-graben (Bay of Naples, Italy). *Tectonophysics*, 315, 301–318.
- Milia, A., and Torrente, M.M., (2000). Fold uplift and synkinematic stratal architectures in a region of active transtensional tectonics and volcanism, eastern Tyrrhenian Sea. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 112, 1531–1542.
- Milia, A. and Torrente, M.M., (2003). Tectonics and crustal structure of the Campania continental margin: relationships with volcanism. *Mineralogy and Petrology*, 79, 33–47.
- Milia, A., Torrente, M.M., Russo, M., and Zuppetta, A., (2003). Late-Quaternary volcanism and transtensional tectonics in the Bay of Naples, Campanian continental margin, Italy. *Mineralogy and Petrology*, 79, 49–65.
- Mitchum R. M. Jr., 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part II: glossary of terms used in seismic stratigraphy. In: C. E. Payton (ed.), *Seismic stratigraphy-applications to hydrocarbon exploration*. AAPG Memoir 26, 205–212.
- Oldow, J.S., D'Argenio, B., Ferranti, L., Pappone, G., Marsella, E. and Sacchi, M., (1993). Large-scale longitudinal extension in the southern Apennines contractional belt, Italy. *Geology*,



- Vol. 21, 1123-1126.
- Orsi, G., de Vita, S., and Di Vito, M., (1996). The restless, resurgent Campi Flegrei nested caldera (Italy): constraints on its evolution and configuration. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 74, 179-214.
- Orsi, G., Civetta, L., Del Gaudio, C., de Vita, S., Di Vito, M.A., Isaia, R., Petrazzuoli, S.M., Ricciardi, G., and Ricco, C., (1999). Short-term ground deformation and seismicity in the nested Campi Flegrei caldera (Italy): an example of active block-resurgence in a densely populated area. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 91, 415-451.
- Orsi, G., Di Vito, M.A., and Isaia, R., (2004). Volcanic hazard assessment at the restless Campi Flegrei caldera. *Bull. Volcanol.*, 66, 514-530.
- Osservatorio Vesuviano, (1984). Rapporto Sorveglianza Bradisismo Flegreo, Giannini editore.
- Patacca, E., and Scandone, P., (2007). Geology of the Southern Apennines. *Boll. Soc. Geol. It. (Ital. J. Geosci.)*, Spec. Issue No. 7, pp. 75-119.
- Posamentier H. W. and Vail P. R., 1988. Eustatic controls on clastic deposition II – sequence and systems tract models. In: C. K. Wilgus, B. S. Hastings, C. G. St. C. Kendall, H. W. Posamentier, C. A. Ross and J.C. Van Wagoner (eds), *Sea level changes: An integrated approach*: Tulsa, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication, 42, 125-154.
- Rosi, M., and Sbrana, A., (1987). Phlegraean Fields. *CNR Quaderni della Ricerca Scientifica*, (Eds.), 114 (9), 175 p.
- Ricco, C., Aquino, I., Borgstrom S., Del Gaudio, C., (2007). The study of tilt change recorded from July to October 2006 at the Phlegraean Fields (Naples, Italy). *Annals of Geophysics*, vol.50 (5), 661-674.
- Sacchi, M., Infuso, S., and Marsella, E., (1994). Late Pliocene-Early Pleistocene compressional tectonics in offshore Campania (Eastern Tyrrhenian sea). *Boll. Geof. Teor. App.*, 36, 141-144.
- Sacchi, M., D'argenio, B., Morra, V., Petrazzuoli, S., Aiello, G., Budillon, F., Sarnacchiaro, G., and Tonielli, R., (2000). Pyroclastic lumps: quick diapiric structures off the Naples Bay, Italy. *Geophysical Research, Abstracts*, Vol. 2, 02446.
- Sacchi, M., Conforti, A., Milia, A., Molisso, F., e Violante, C., (2004). Il Golfo di Salerno. In: E. Esposito, S. Porfido e C. Violante (eds), *Il nubifragio dell'Ottobre 1954 a Vietri sul Mare – costa di Amalfi, Salerno. Scenario ed effetti di una piena fluviale catastrofica in un'area di costa rocciosa*. Pubblicazione GNDC-CNR n. 2870, pp 45-57.
- Sacchi, M., e Molisso, F., (2006). I fondali del Golfo di Napoli. *Morfologia e sedimentazione recente. Conoscere Capri*, 4, Oebalus, 11-27.
- Scandone, R., Bellucci, F., Lirer, L., Rolandi, G., (1991). The structure of the Campanian plain and the activity of the neapolitan volcanoes. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 48 (1-2), 1-31.
- Scarpati, C., Cole, P., and Perrotta, A., (1993). The Neapolitan Yellow Tuff – A large volume multi-phase eruption from Campi Flegrei, Southern Italy. *Bull. Volcanol.*, 55, 343–356.
- Scrocca, D., Doglioni, C., Innocenti, F., Manetti, P., Mazzotti, A., Bertelli, L., Burbi, L. and D'Offizi, S., (2003). CROP Atlas: seismic reflection profiles of the Italian crust. (Eds.), *Mem. Descr. Carta Geol. D'It.*, 62: pp.194.
- Segre, A., (1970). La carta batimetrica n. 1256, I.I. del Golfo di Pozzuoli. Istituto Idrografico della Marina, Genova, p. 12.
- Vail P. R., 1987. Seismic stratigraphy interpretation procedure. *AAPG Studies in Geology* n° 27 Vol. 1. pp. 1-10.
- Zollo, A., Judenherc, S., Auger, E., D'Auria, L., Virieux, J., Captano, P., Chiarabba, C., de Franco, R., Makris, J., Nichelini, A. and Musacchio, G., (2003). Evidence for the buried rim of Campi Flegrei caldera from 3-d active seismic imaging. *Geophys. Res. Lett.*, 30 (19), 2002, doi: 10.1029/2003GL018173.

# Indice

<b>Introduzione</b>	<b>5</b>
<b>1. Inquadramento geologico</b>	<b>7</b>
1.1 I Campi Flegrei	7
<b>2. Acquisizione dei dati</b>	<b>8</b>
2.1 Nave Urania: caratteristiche tecniche e dotazione scientifica	10
2.2 Navigazione	11
2.3 Batimetria <i>multibeam</i>	11
2.4 Sistema <i>sub-bottom Chirp</i>	11
2.5 Sismica a riflessione multicanale	12
<b>3. Risultati preliminari</b>	<b>14</b>
<b>4. Conclusioni</b>	<b>22</b>
<b>Ringraziamenti</b>	<b>23</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>23</b>

**Coordinamento editoriale e impaginazione**

Centro Editoriale Nazionale | INGV

**Progetto grafico e redazionale**

Laboratorio Grafica e Immagini | INGV Roma

© 2008 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**