

## Campagna oceanografica

# SAFE 2022

(22-25 settembre 2022)

### Rapporto tecnico e delle attività

*L. Giaramita<sup>a</sup>, C. Buscaino<sup>a</sup>, C. Caruso<sup>g</sup>, V. Costa<sup>f</sup>, F. Italiano<sup>g</sup>, E. Oliveri<sup>b</sup>, L. Pagano<sup>e</sup>, S. Passaro<sup>c</sup>, C. Rizzo<sup>e</sup>, T. Romeo<sup>d</sup>, G. Tranchida<sup>a</sup>, M. Sprovieri<sup>a</sup>, G. Ucciero<sup>e</sup>.*



a) - Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto per lo studio degli impatti Antropici e Sostenibilità in ambiente marino (CNR – IAS), Sede Secondaria di Capo Granitola, via del Mare 3, Loc. Torretta Granitola, 91021 Campobello di Mazara, (TP) Italia.

b) - Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto per lo studio degli impatti Antropici e Sostenibilità in ambiente marino (CNR – IAS), Sede Secondaria di Palermo, Complesso monumentale ex Roosevelt, Lungomare Cristofolo Colombo 4521, Loc. Addaura, 90149 Palermo, (PA) Italia.

c) - Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Scienze Marine (CNR - ISMAR), Calata Porta di Massa, Interno Porto, 80133 Napoli, (NA) Italia.

d) - Stazione Zoologica Anton Dohrn (SZN), Sicily Marine Centre, Sede di Milazzo, Ex Molini Lo Presti, Via dei Mille 46, 98057 Milazzo, (ME) Italia. Affiliazione ISPRA, Via dei Mille 46, 98057 Milazzo, (ME) Italia.

e) - Stazione Zoologica Anton Dohrn (SZN), Villa Pace, Contrada Porticattello 29, 98167 Messina, (ME) Italia.

f) - Stazione Zoologica Anton Dohrn (SZN), Contrada Torre Spaccata, Località Torre Spaccata, 87071 Amendolara, (CS) Italia.

g) - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Sezione di Palermo, Via Ugo La Malfa 153, 90146 Palermo, (PA) Italia.

Personale tecnico scientifico

Di seguito l'elenco del personale tecnico e scientifico imbarcato a bordo della N/O G. Dallaporta.

<b>Elvira Oliveri</b>	<a href="mailto:elvira.oliveri@cnr.it">elvira.oliveri@cnr.it</a>	Ricercatore	Capomissione	IAS-CNR Palermo
<b>Luigi Giaramita</b>	<a href="mailto:luigi.giaramita@cnr.it">luigi.giaramita@cnr.it</a>	Tecnico	Coordinatore campionamenti	IAS-CNR Capo Granitola
<b>Giorgio Tranchida</b>	<a href="mailto:giorgio.tranchida@cnr.it">giorgio.tranchida@cnr.it</a>	Ricercatore	Geologia	IAS-CNR Capo Granitola
<b>Carmelo Buscaino</b>	<a href="mailto:carmelo.buscaino@cnr.it">carmelo.buscaino@cnr.it</a>	Tecnico	Geologia	IAS-CNR Capo Granitola
<b>Valentina Costa</b>	<a href="mailto:valentina.costa@szn.it">valentina.costa@szn.it</a>	Ricercatore	Biologia	Stazione Zoologica Anton Dohrn - Amendolara
<b>Luca Pagano</b>	<a href="mailto:luca.pagano@szn.it">luca.pagano@szn.it</a>	Dottorando	Biologia	Stazione Zoologica Anton Dohrn - Messina
<b>Gennaro Ucciero</b>	<a href="mailto:gennaro.ucciero@szn.it">gennaro.ucciero@szn.it</a>	Borsista	Biologia	Stazione Zoologica Anton Dohrn - Messina

## 1. Introduzione

La campagna oceanografica SAFE 2022, svoltasi a bordo della N/O G. Dallaporta, è il frutto della collaborazione fra tre Enti di Ricerca:

- Istituto per lo studio degli Impatti Antropici e Sostenibilità in ambiente marino (IAS) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR);
- Istituto di Scienze Marine (ISMAR) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR);
- Stazione Zoologica Anton Dohrn (SZN);
- Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Le attività scientifiche realizzate nell'ambito di questa campagna si inseriscono all'interno dell'Obiettivo Realizzativo 1 (OR1) del progetto PON\_03 'Marine Hazard' suddiviso in quattro Work Packages (WPs) articolati nel seguente modo:

**WP1** Studio dei potenziali giacimenti da sistemi idrotermali (GSI) sottomarini presenti nel Mar Tirreno sud-orientale e nello Stretto di Sicilia

**WP2** Progetto Pilota di caratterizzazione geochemica ed ecologica dei GSI sul Palinuro Seamount

**WP3** Sistema Acustico per la Rivelazione di Fenomeni di Idrotermalismo Sottomarino

**WP4** Analisi di possibili impatti nell'ambiente marino e sottomarino

La normativa del diritto del mare oggi porta a una gestione precauzionale delle risorse naturali e biotiche marine, alla Pianificazione dello Spazio Marittimo (MSPD) e alla necessità di proteggere l'ambiente marino da attività che possano costituire fonti di inquinamento. Tutto ciò rende necessario lo sviluppo di studi e ricerche rivolte alla caratterizzazione geochemica, biologica ed ecologica di aree marine in cui sono presenti sistemi geotermali profondi e costieri, soprattutto in contesti di particolare interesse naturalistico e conservazionistico. Il geotermalismo sommerso costituisce anche un potenziale *hazard* sia in termini di trasferimento di contaminanti nella catena alimentare che di fenomeni parossistici. In tale direzione è necessario e opportuno implementare lo studio della presenza di contaminanti di origine geotermica negli organismi marini che può consentire anche lo sviluppo di metodi innovativi di *biomonitoring* e di *bioalert* del geotermalismo. Nell'ambito dei cambiamenti climatici è sempre crescente l'interesse per lo studio di ambienti che possano essere usati come modello predittivo dei futuri scenari di aumento della temperatura (ad esempio, ondate di calore) o acidificazione degli oceani (ad esempio, sfiati di CO<sup>2</sup>), come le sorgenti idrotermali sottomarine. Nello specifico, non solo le singole specie, ma anche le complesse interazioni che avvengono tra microrganismi (alla base dell'equilibrio ecosistemico) e invertebrati marini, sono

considerate una possibile chiave per individuare le risposte ad ambienti stressanti, e la velocità di queste risposte. In questo contesto le attività di ricerca effettuate durante la campagna SAFE 2022 hanno come obiettivo quello di ampliare e approfondire la conoscenza delle caratteristiche di tipo deposizionale, delle potenzialità reali di sfruttamento delle georisorse e di ricchezza delle forme viventi e del loro ruolo all'interno della catena alimentare nelle aree di geotermalismo del Palinuro Seamount (PS) e del complesso vulcanico di Panarea. Il PS è un complesso vulcanico (55x25 km) situato nel Mar Tirreno che presenta caratteristiche peculiari, in chiave di rischio vulcanico (vicinanza alla costa, dimensione, posizione nel contesto geodinamico del Tirreno). L'area sommersa del complesso vulcanico di Panarea è un sito di studio ideale per monitorare l'adattamento degli organismi marini alle emissioni di CO<sup>2</sup> a lungo termine, grazie alla presenza di sistemi idrotermali poco profondi a largo dell'isola di Panarea. L'area è stata interessata nel 2002 da un grave episodio di degassamento che ha causato un riassetto dell'intero ecosistema. Questo recente evento di disturbo offre l'opportunità di seguire la risposta delle specie che abitano questi ambienti e di valutare i meccanismi coinvolti nella selezione e acclimatazione dell'organismo. In breve, i dati ottenuti dalla campagna oceanografica SAFE 2022 contribuiranno ad arricchire le conoscenze sulla caratterizzazione chimico-fisica, biologica e microbiologica dei depositi e dei sistemi idrotermali. Le attività di ricerca si prospettano di fornire un quadro di conoscenze dettagliato e completo di ambienti che rappresentano oltre che possibili geositi e habitat prioritari anche un laboratorio per la ricerca e la scoperta di nuove biomolecole di interesse biotecnologico e l'individuazione di bioindicatori di attività geotermali e di *marine hazard*.

## **2. Area di studio**

Il Palinuro *Seamont* e il Complesso vulcanico dell'isola di Panarea fanno parte del sistema vulcanico di retro-arco dell'isole Eolie che è localizzato nella parte meridionale del Mar Tirreno (Fig. 1).

Il Palinuro *Seamount* rappresenta l'estremità finale della catena di vulcani dell'Eolie a nord-est, è costituito da parecchi centri vulcanici coalescenti e si estende per circa 55 km da est a ovest lungo un sistema di faglie che parte dalla terraferma (Calabria) e che interessa le parti più profonde della litosfera (Ghisetti and Vezzani, 1981; Monecke, et al., 2009; Passaro et al., 2010). Il Palinuro *Seamount* è morfologicamente suddiviso in tre settori delimitati da 3 sistemi di faglie regionali (Fabbri et al., 1973; Marani et al., 1999; Monecke, 2009; Passaro et al., 2010). Il settore occidentale del Palinuro comprende due depressioni, una semicircolare di circa 4 km di ampiezza a ovest e l'altra più grande e allungata di circa 8 km di ampiezza a est. La depressione maggiore è delimitata da una scarpata molto ripida in direzione Nord-Est e da una serie di edifici vulcanici e alti strutturali che raggiungono una batimetria di circa 500 m; questa depressione è stata interpretata come una caldera

formata dopo un evento vulcanico lungo le faglie regionali (Ligi et al., 2014). Nel settore centrale si trovano due coni vulcanici ben sviluppati con le parti sommitali piane dovute a processi erosivi durante l'abbassamento del livello marino nell'ultimo periodo glaciale (Ligi et al., 2014). La principale caratteristica morfologica del settore orientale è un *ridge* vulcanico situato a d una profondità di 950 m (Ligi et al., 2014). Il vulcanismo del Palinuro è relativamente recente, i basalti di natura calco alcalina campionati hanno una età che va da 0.8 a 0.3 milioni di anni (Colantoni et al., 1981; Savelli, 2002). Il Palinuro *Seamount* è caratterizzato da attività idrotermale di bassa temperatura che risulta dalla presenza diffusa di depositi di ossidi ferro-manganesiferi nei fondali (Marani et al., 1999; Dekov and Savelli, 2004). La presenza di attività idrotermale di bassa temperatura risulta anche dalla presenza colonie di vermi (Vestimenifera) tipici di zone con emissioni idrotermali (Petersen et al., 2008, Monecke et al., 2009; Thiel et al., 2012) e dalla presenza di un debole segnale di emissione idrotermale (Lupton et al., 2011).

Il Complesso vulcanico di Panarea rappresenta la parte emersa di un vulcano-strato distrutto da un importante regime di erosione e attività tettonica di tipo regionale (Romagnoli et al., 2012). La storia eruttiva di Panarea è complessa e vede l'insieme di sei epoche eruttive con periodi di attività vulcanica alternata a periodi di quiescenza; nell'ultima fase si è formato il domo di Basiluzzo che ha un'età di circa 54 mila anni (Lucchi et al., 2003; Favalli et al., 2005). A est di Panarea, le isolette di Basiluzzo, Dattilo, Panarelli, Lisca Bianca, Bottaro, Lisca Nera e Formiche formano un piccolo arcipelago che emerge da una piattaforma sottomarina erosa al top del vulcano (Esposito et al., 2006; Gamberi et al., 1997). Una caratteristica geomorfologica molto importante è la presenza di un graben tettonico con direzione NE-SO localizzato nell'area Nord-Est di Panarea. La parte occidentale del graben è caratterizzato da una serie di faglie estensionali che coincidono con scarpate dove affiorano rocce vulcaniche non alterate e dove è evidente la fuoriuscita di gas vulcanici. Nelle aree vicino alle faglie i sedimenti di fondo sono ricoperti da macchie bianche con evidenti processi di mineralizzazione di solfuri e accumuli di ossidi di Fe (Gamberi et al., 1997).

### 3. Area di studio e punti di campionamento

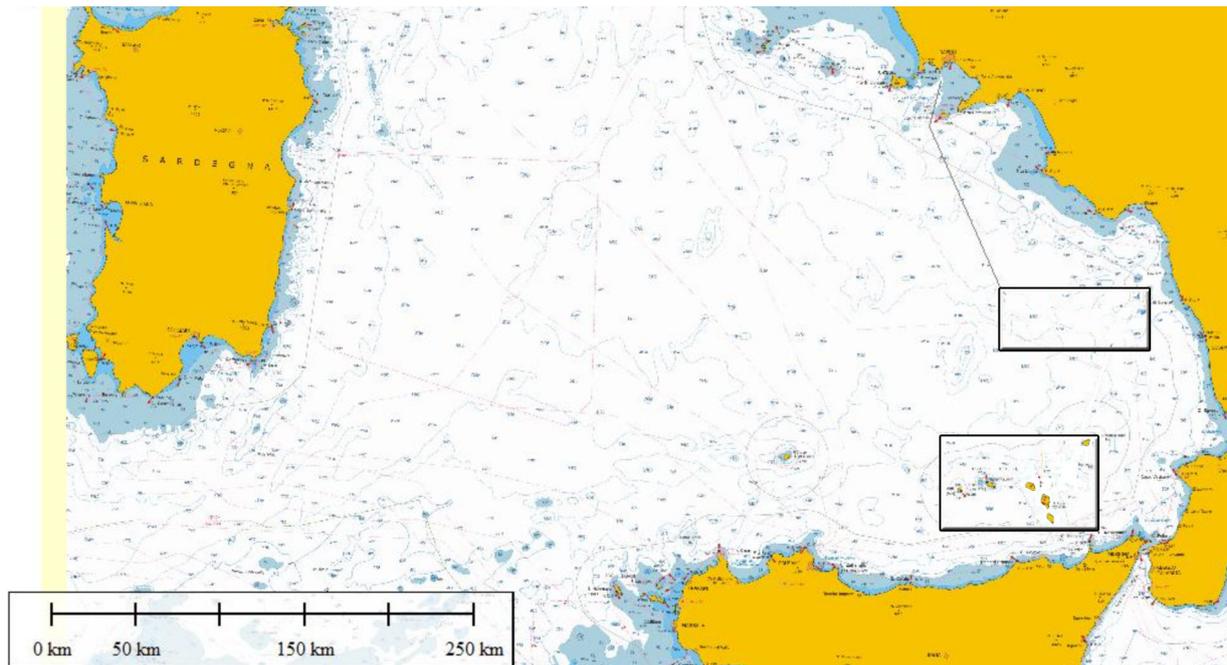


Figura 1 Area di studio (Panarea - Palinuro)

Tabella 1 Punti campionati

AREA	NAME	ID.		LATITUDE	LONGITUDE
PANAREA	BASIL_HOLE	1	CTD/ACQUA	38°38.290	015°06.602
			BENNA	38°38.816	015°06.571
			BOX	38°38.872	015°06.553
PANAREA	BN_20	2	CTD/ACQUA	38°39.055	015°05.609
			BENNA		
PANAREA	CAMINO_SAFE_2022	3	CTD/ACQUA	38°39.314	015°05.565
PANAREA	CAMINO CHE FUMA	4	CTD/ACQUA	38°39.337	015°05.945
			BENNA	38°39.341	015°05.926
PANAREA	CAMINO_CHE_FUMA_II	5	CTD/ACQUA	38°39.307	015°05.929
			BENNA		
PALINURO	SAFE_22_P40	6	CTD/ACQUA	39°27.893	015°32.139
			BENNA	39°27.722	015°32.035
			BOX	39°27.822	015°32.067
PALINURO	SAFE_22_P36	7	CTD/ACQUA	39°34.591	015°31.487
			BENNA	39°34.605	015°31.481
			BOX	39°34.612	015°31.391
PALINURO	SAFE_22_P35	8	CTD/ACQUA	39°33.602	015°27.458
			BENNA	39°33.503	015°27.459
PALINURO	SAFE_22_P33	9	CTD/ACQUA	39°30.239	015°26.801
			BENNA	39°30.262	015°26.878
			BOX	39°30.210	015°26.899
PALINURO	SAFE_22_P27	10	CTD/ACQUA	39°28.655	014°54.292
			BENNA	39°28.705	014°54.342
			BOX	39°28.874	014°54.142

## 4. Strumentazioni utilizzate, dati acquisiti e campionamento

### 4.1 Acquisizione parametri chimico-fisici della colonna d'acqua e campionamento acqua

In ogni punto di campionamento sono stati acquisiti profili di temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), conducibilità ( $\text{mS/cm}$ ), pH, ossigeno disciolto ( $\text{mg/l}$ ) e fluorescenza ( $\mu\text{g/l}$ ) della colonna d'acqua (tramite sonda CTD montata su un frame comprendente una “rosetta” di 12 bottiglie Niskin da 10 L, Tab. 1; Fig. 2). La sonda multiparametrica utilizzata è una SBE 9 plus, precedentemente calibrata in laboratorio, la cui accuratezza è di  $0.001^{\circ}\text{C}$  e  $0.001 \text{ Sm}^{-1}$ , rispettivamente per temperatura e conducibilità. Contestualmente, tramite le bottiglie Niskin, sono stati prelevati campioni di acqua di mare in superficie ( $\pm 1 \text{ m}$ , solo in un punto “ID.10”) e in prossimità del fondo (tutti i punti). Una volta a bordo dell'imbarcazione l'acqua contenuta nelle “Niskin” è stata sub-campionata in diverse aliquote dal personale SZN, in seguito pre-trattate e stoccate come previsto da procedure standardizzate a seconda della tipologia di analisi da effettuare.



*Figura 2 Rosetta con sonda CTD e bottiglie Niskin*

## 4.2 Campionamento sedimenti

Il prelievo del sedimento è stato eseguito mediante box corer e benna di tipo “Van Veen” (Fig. 3).

Il box corer è uno strumento costituito da una scatola metallica zavorrata a base rettangolare, nel quale il recupero del sedimento è assicurato da una chiusura basale. Il campione recuperato è caratterizzato dal basso grado di disturbo delle strutture sedimentarie.

La benna di tipo “Van Veen” è uno strumento formato da due valve contrapposte, incernierate centralmente, che si appoggiano sul fondo in posizione di apertura. Successivamente, con la trazione del cavo portante si compie la chiusura delle valve che racchiudono il sedimento.

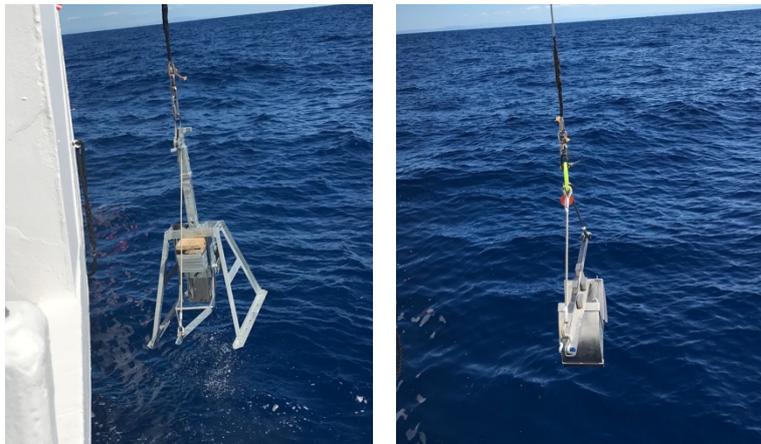


Figura 3 Box Corer – Benna Van Veen

## 5. Attività svolte – IAS-CNR Capo Granitola

### *Campionamento sedimenti*

Durante la campagna di rilevamento sono state effettuate 9 benne e 5 box corer (Fig. 4). Per ogni recupero è stata redatta una scheda di campionamento, in cui sono stati inseriti i dati inerenti l'esatta posizione e la profondità del punto di campionamento. Il sedimento prelevato con benna è stato conservato in appositi contenitori, invece, il sedimento prelevato con box-corer, ad eccezione del ID.10 Box in quanto croste e sedimento consolidato, è stato sub-campionato in due carote tramite liner in PVC della lunghezza pari a 30 cm, una per le analisi ed una per archivio. Tutti i campioni sono stati stoccati a bordo a -20 °C.

Il sedimento prelevato verrà utilizzato per eseguire le seguenti analisi di laboratorio:

- Analisi granulometriche;
- Analisi mineralogiche (indagine sulla presenza dei minerali più abbondanti, analisi semiquantitativa delle fasi mineralogiche);
- Analisi geochemiche (determinazione delle concentrazioni di Al, Fe, V, Ni, Cu, Zn, As, Co, Mo, Cd, Ag, Pb, Mn e REE).



Figura 4 Foto di insieme di tutti i campioni di sedimento prelevati

## 6. Attività svolte – SZN Messina

### Campionamento acqua

L'acqua campionata in prossimità del fondo è stata utilizzata per la preparazione dei campioni per le seguenti analisi:

- Studio di DNA ambientale (numero campioni = 36)
- Caratterizzazione della tassonomia della comunità batterica totale e coltivabile (n = 18)
- Presenza di metalli (n = 27)
- Presenza di Idrocarburi (ad eccezione del punto ID. 9; n = 24)

### ***Campionamento sedimenti***

Il sedimento campionato a mezzo benna di Van Veen e box corer è stato utilizzato per la preparazione dei campioni per le seguenti analisi:

- Studio di DNA ambientale (ad eccezione del punto ID. 3; n = 8)
- Caratterizzazione tassonomica della comunità batterica totale e coltivabile (ad eccezione del punto ID. 3; n = 16)
- Presenza di Idrocarburi (ad eccezione dei punti ID. 3 e ID. 9; n = 7)

### ***Campionamento biodiversità***

Il sedimento prelevato a mezzo box-corer è stato utilizzato per la preparazione del campione per le analisi della comunità di macrofauna bentonica (ad eccezione dei punti ID. 3, ID. 4 e ID. 8; n = 6).

### ***Campionamento comunità ittica***

La comunità ittica bentonica è stata campionata in tutti i siti nell'area di Panarea (Tab. 2).

Le pesche sono state effettuate in prossimità del fondo (tra i 60 e i 70 m) tramite l'utilizzo di una canna da pesca con mulinello elettrico armata con terminali selezionati in base alle specie che si intendeva catturare. Una volta a bordo i campioni di specie ittiche prelevati nei differenti siti sono stati conservati a -20°C per le successive analisi.

*Tabella 2 Specie ittiche bentoniche campionate*

AREA	NAME	ID	DATA	N. individui	Specie
PANAREA	BASIL_HOLE	1	23/09/2022	7	<i>Serranus cabrilla</i>
PANAREA	BN_20	2	23/09/2022	2	<i>Serranus cabrilla</i>
				1	<i>Anthias anthias</i>
PANAREA	CAMINO_SAFE_2022	3	23/09/2022	3	<i>Serranus cabrilla</i>
PANAREA	CAMINO_CHE_FUMA_II	5	23/09/2022	1	<i>Serranus cabrilla</i>

Per ciascun esemplare campionato verranno eseguite le seguenti analisi di laboratorio:

- Analisi morfometriche;
- Analisi di endocannabinoidi (cromatografia liquida e spettrometria di massa);
- Estrazione di RNA e qPCR per i geni coinvolti nel pathway degli endocannabinoidi.

## **7. Attività svolte - INGV Palermo**

La campagna oceanografica su N/O "Dalla Porta" (Settembre 2022) ha permesso di campionare acque e gas disciolti nell'area del Palinuro. Le attività hanno previsto il prelievo di campioni di fluidi (acque termali e gas disciolti) e di sedimento dal fondo mare. Le attività analitiche su tutti i campioni

prelevati riguardano la determinazione chimica della fase gassosa disciolta; l'analisi chimica degli elementi maggiori e minori delle acque; l'analisi mineralogica dei sedimenti. Lo studio è stato realizzato con il fine di comprendere gli aspetti legati alla genesi dei fluidi e interpretare il ruolo dei processi associati all'attività di emissione.

### ***Campionamento di acque***

Sono stati effettuati cast verticali della colonna d'acqua con Rosetta (campionatore d'acqua) provvista di bottiglie Niskin. L'estrazione del campione di acqua da ogni Niskin è stata eseguita applicando al beccuccio di uscita di ogni bottiglia (munito di ghiera girevole) un tubo di silicone. Per la conservazione dei campioni delle acque sono stati utilizzati contenitori in PET (polietilene) da 100 ml. Sono stati prelevati: un campione tal quale (TQ) per ottenere l'alcalinità totale, un campione filtrato con siringhe da 50 cc utilizzando filtri a membrana con porosità pari a 0.45 µm per la determinazione degli anioni (Cl, F, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>) e un campione filtrato e acidificato con 4 gocce di HNO<sub>3</sub> 0,1 N per la determinazione dei cationi (Br, Ca, Mg, Na, K).

### ***Campionamento gas disciolti***

I gas disciolti sono stati prelevati in bocce di vetro da 120 ml, riempite all'interno di un contenitore tramite tubo in gomma, dal fondo fino a saturazione e subito tappate (crimpate) con tappi in teflon evitando la possibile contaminazione di aria e quindi la formazione di bolle all'interno della boccia. I campioni prelevati saranno sottoposti ad analisi chimiche presso i laboratori dell'INGV di Palermo, al fine di evidenziare le caratteristiche geochimiche dei fluidi presenti nelle diverse aree indagate.

### **Ringraziamenti**

Riteniamo doveroso porgere il nostro più sentito ringraziamento a tutto l'equipaggio della N/O Dallaporta, ed in particolare al Comandante Aldo Castagna, per la collaborazione, la disponibilità, la professionalità e la cordialità che hanno contribuito al conseguimento dei risultati conseguiti durante la Campagna Oceanografica SAFE2022.

## **Bibliografia**

- Fabbi, A., Marabini, F., and Rossi, S., 1973, Lineamenti geomorfologici del Monte Palinuro e del Monte delle Baronie (Mar Tirreno): *Giornale di Geologia*, v. 39, 133–156.
- Marani, M.P., Gamberi, F., Casoni, L., Carrara, G., Landuzzi, V., Musacchio, M., Penitenti, D., Rossi, L., and Trua, T., 1999, New rock and hydrothermal samples from the southern Tyrrhenian Sea: The MAR-98 research cruise: *Giornale di Geologia*, v. 61, p. 3–24.
- Monecke, T., Petersen, S., Lackschewitz, K., Hügler, M., Hannington, M.D., and Gemmel, J.B., 2009, Shallow submarine hydrothermal systems in the Aeolian volcanic arc, Italy: *EOS Transactions Union*, v. 90, p. 110–111.
- Passaro, S., Milano, G., D'Isanto, C., Ruggieri, S., Tonielli, R., Bruno, P.P., Sprovieri, M., and Marsella, E., 2010, DTM-based morphometry of the Palinuro seamount (eastern Tyrrhenian Sea): Geomorphological and volcanological implications: *Geomorphology*, v. 115, p. 129–140.
- Ghisetti, F., and Vezzani, L., 1981, Contribution of structural analysis to understanding the geodynamic evolution of the Calabrian arc (southern Italy): *Journal of Structural Geology*, v. 3, p. 371–381.
- Ligi, M., Cocchi, L., Bortoluzzi, G., D'Oriano, F., Muccini, F., Caratori Tontini, F., de Ronde, C.E.J., and Carmisciano, C., 2014, Mapping of seafloor hydrothermally altered rocks using geophysical methods: Marsili and Palinuroseamounts, southern Tyrrhenian Sea: *Economic Geology*, v. 109, p. 2103–2117
- Colantoni, P., Lucchini, F., Rossi, P.L., Sartori, R., and Savelli, C., 1981, The Palinuro volcano and magmatism of the southeastern Tyrrhenian Sea (Mediterranean): *Marine Geology*, v. 39, p. M1–M12.
- Savelli C., 2002. Time-space distribution of magmatic activity in the western Mediterranean and peripheral orogens during the past 30 Ma (a stimulus to geodynamic considerations): *Journal of Geodynamics*, v. 34, p. 99–126.
- Dekov, V.M., and Savelli, C., 2004, Hydrothermal activity in the SE Tyrrhenian Sea: An overview of 30 years of research: *Marine Geology*, v. 204, p. 161–185.
- Petersen, S., Monecke, T., Augustin, N., De Benedetti, A.A., Esposito, A., Gärtner, A., Gardeler, A., Gemmel, J.B., Gibson, H., He, G., Hügler, M., Kayser, A., Kleeberg, R., Küver, J., Kummer, N., Lackschewitz, K., Lappe, F., Perrin, K.M., Peters, M., Sharpe, R., Simpson, K., Smith, D., and Wan, B., 2008, Drilling submarine hydrothermal systems in the Tyrrhenian Sea, Italy: *InterRidge News*, v. 17, p. 21–23.
- Lupton, J., de Ronde, C., Sprovieri, M., Baker, E.T., Bruno, P.P., Italiano, F., Walker, S., Faure, K., Leybourne, M., Britten, K., and Greene, R., 2011, Active hydrothermal discharge on the submarine Aeolian arc: *Journal of Geophysical Research*, v. 116, B02102, doi:10.1029/2010JB007738.
- Thiel, V., Hügler, M., Blümel, M., Baumann, H.I., Gärtner, A., Schmaljohann, R., Strauss, H., Garbe-Schönberg, D., Petersen, S., Cowart, D.A., Fisher, C.R., and Imhoff, J.F., 2012, Widespread

occurrence of two carbon fixation pathways in tubeworm endosymbionts: lessons from hydrothermal vent associated tubeworms from the Mediterranean Sea: *Frontiers in Microbiology*, v. 3, 423, doi: 10.3389/fmicb.2012.00423.

Romagnoli C., Bortoluzzi G., Bosman A., Casalbore D., Chiocci F., D'Oriano F., et al. Bathymorphological setting of the Aeolian Arc. In: Lucchi F., Peccerillo A., Keller J., Tranne C., Rossi P., editors. *Geology of the Aeolian Islands (Italy)*. Geological Society of London, Memoirs, 2012. Vol. 37, pp. 27-36.

Lucchi F., Tranne C.A., Calanchi N., Keller J., Rossi P.L. Geological map of Panarea and Minor Islets (Aeolian Islands) (Scale 1:10000). University of Bologna, University of Freiburg and INGV, printed by LAC, Firenze; 2003.

Favalli M., Karston D., Mazuoli R., Pareschi M.T., Ventura G. Volcanic geomorphology and tectonics of the Aeolian Archipelago (southern Italy) based on integrate DEM data. *B Volcanol.* 2005; 68: 157-170.

Gamberi F, Marani M, Savelli C. Tectonic, volcanic and hydrothermal features of a submarine portion of the Aeolian arc (Tyrrhenian Sea). *Mar Geol.* 1997; 140: 167-181.

Esposito A, Giordano G, Anzidei M. The 2002±2003 submarine gas eruption at Panarea volcano Aeolian Islands, Italy: volcanology of the seafloor and implications for the hazard scenario. *Mar Geol.* 2006; 227: 119-134.