

Nuove recenti conoscenze sul sistema idrotermale del complesso vulcanico dell'Isola di Panarea (Arcipelago delle Eolie, Mar Tirreno Meridionale)

New recent insights into the hydrothermal system of the Panarea Island (Aeolian Archipelago, South Tyrrhenian Sea)

SPAGNOLI F.⁽¹⁾, ANDALORO F.⁽²⁾, CANESE S.⁽³⁾, CAPACCIONI B.^(4†), ESPOSITO V.⁽⁵⁾, GIORDANO P.⁽⁶⁾, ROMEO T.⁽²⁾⁽⁷⁾, BORTOLUZZI G.^(6†)

RIASSUNTO - A seguito del violento rilascio di gas, verificatosi nel 2002 e 2003, nell'area prospiciente gli isolotti a est dell'isola vulcanica di Panarea, sono state condotte numerose ricerche per comprendere l'origine, la natura e gli effetti di queste emissioni. Tali ricerche hanno evidenziato vari punti di rilascio di gas e fluidi idrotermali ricchi di CO₂ nell'area di mare a est di Panarea e hanno prodotto diverse stime della CO₂ totale rilasciata dal sistema sottomarino a partire dal post-glaciale ad oggi. Alla luce di questo, l'ISMAR-CNR e l'ISPRA hanno condotto delle ricerche specifiche tra il 2013 e il 2015 per caratterizzare il campo idrotermale sommerso compreso tra l'isola di Panarea e l'isolotto di Basiluzzo (NE di Panarea), dal punto di vista morfologico, biologico e chimico-fisico, in particolare per ciò che riguarda i flussi bentici diffusi. Le campagne oceanografiche hanno consentito di individuare e caratterizzare tre aree con intensa attività idrotermale. La prima area, situata a sud-est dell'isola di Panarea (Secca dei Pesci), è caratterizzata da un'intensa attività esalativa di fluidi acidi, ricchi di carbonio inorganico disciolto (DIC), a temperatura ambiente ma con deboli contenuti in metalli. La seconda area, scoperta nel 2015, situata ai piedi della scarpata a nord-est dell'isola di Panarea, è stata denominata *Smoking Land* per la presenza di circa 200 camini idrotermali di dimensioni consistenti (1-4 m di altezza; circa 4 m in media di diametro di base), in parte attivi e in parte quiescenti. L'ultima area, situata a nord-est degli isolotti di Dattilo, Bottaro, Lisca Bianca, Lisca Nera e Panarelle, è caratterizzata da depressioni circolari, anche esse in parte attive e in parte inattive. In queste ultime due aree, le misure di flussi bentici disciolti hanno evidenziato un andamento a macchia di leopardo con rilascio di fluidi acidi, a temperatura ambiente, ricchi di DIC, Fe e altri metalli (Mn, Zn, Al). Queste due aree sono loca-

lizzate ai margini di un avvallamento allungato in direzione OSO-ENE. Esse sono il risultato di una circolazione idrotermale con risalita, lungo faglie distensive, di gas di origine vulcanica mescolati ad acqua di mare penetrata nel sottofondo marino. Adiacenti alle aree attive sono presenti aree inattive, cariche di gas in sovrappressione per la presenza di uno strato superficiale di ossidi e idrossidi di Fe che ne impedisce la fuoriuscita, e aree quiescenti per una degassificazione già avvenuta. Da questo assetto deriva la necessità di un continuo monitoraggio atto a prevedere possibili future situazioni di pericolo per le aree circostanti.

PAROLE CHIAVE: fondale marino, emissione fluida, fluido idrotermale, camino idrotermale, depositi minerali, processi idrotermali, vulcanismo sottomarino, geochimica

ABSTRACT - After the strong volcanic gas releases, occurred in 2002 and 2003, in the area near the islets to the east of the Panarea volcanic island, several researches have been carried out to understand the origin, nature and effects of these emissions. These researches evidenced various sites of CO₂-rich hydrothermal gas and fluid leakage in the marine area east of Panarea; furthermore, they have provided different estimates of total CO₂ released by the submarine volcanic system from post-glacial times to today. In light of this, ISMAR-CNR and ISPRA carried out researches between 2013 and 2015 focused on the characterization of the marine hydrothermal field between the island of Panarea and the islet of Basiluzzo (NE of Panarea), from a morphological, biological and chemical-physical point of view, in particular for what concerns diffusive benthic fluxes. Oceanographic cruises allowed to identify and characterize three areas with intense hydrothermal activity. The first area, located on the

(1) Istituto di Scienze Marine, ISMAR-CNR, Largo Fiera della Pesca, 60125, Ancona, Italy

(2) Stazione Zoologica Anton Dohrn, Centro Interdipartimentale Siciliano, Via dei Mille 46, 98057 Milazzo (ME)

(3) Dipartimento per il monitoraggio e la tutela dell'ambiente e per la conservazione della biodiversità, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca ambientale (ISPRA), Via Branconi 48, Roma, Italy

(4) Dipartimento di Biologia, Geologia e Scienze Ambientali, Università di Bologna, Via Zamboni 67, Bologna, Italy

(5) Sezione Oceanografia - OGS, Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale, via Auguste Piccard 54, 34151, Trieste, Italy

(6) Istituto di Scienze Marine, ISMAR-CNR, Via Gobetti 101, 40126, Bologna, Italy

(7) Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Via dei Mille 46, 98057 Milazzo (ME)

Corresponding author. E-mail: federico.spagnoli@cnr.it

South-East of the island of Panarea (*Secca dei Pesci*), is characterized by intense emissions of acidic fluids, rich in dissolved inorganic carbon (DIC), at the same temperature of the surrounding environment, but with weak metal contents. The second area, discovered in 2015, located at the bottom of the slope to the North-East of the island of Panarea, has been called "*Smoking Land*" due to the presence of about 200 hydrothermal chimneys of considerable size (1-4 m high, with an average base diameter of about 4 m), partly active and partly quiescent. The last area, located to the North-East of the Dattilo, Bottaro, Lisca Bianca, Lisca Nera and Panarelle islets (DBLP in the following) islets, is characterized by circular depressions, these, too, partly active and partly inactive. In these two last areas, the dissolved benthic flux measurements showed a fragmented patchwork pattern with emissions of acidic fluids, at the same temperature of the surrounding environment, rich in DIC, Fe and other metals (Mn, Zn, Al). These two areas are located at the borders of a depression extended WSW-ESE. They are the result of a hydrothermal circulation of rising volcanic gas, mixed with sea water percolated in the marine crust, along normal faults. Near the active release areas there are inactive areas, with overpressured gas inside, due to the presence of a Fe-oxides and hydroxides surface layer that prevents the leakage, and quiescent areas for an already occurred degassing. From this setting derives the need for continuous monitoring to prevent possible future hazards for the surrounding areas.

KEY WORDS: fluid emission, ocean floors, hydrothermal fluids, hydrothermal vents, chimneys, mineral deposits, hydrothermal processes, sub-marine volcanism, geochemistry

1. - INTRODUZIONE

A seguito del violento rilascio di gas dal fondale verificatosi nel 2002 e 2003 nell'area degli isolotti a est dell'isola di Panarea (fig. 1), sono state condotte numerose e approfondite ricerche volte a investigare la morfologia, i campi magnetico e di gravità, il rilascio di fluidi e i flussi benthici del fondale, le caratteristiche chimico-fisiche della colonna d'acqua, la mineralogia e la geochimica dei sedimenti e la biodiversità associate al complesso vulcanico sottomarino di Panarea (ALIANI *et alii*, 2010; ANZIDEI *et alii*, 2005; ANDALORO *et alii* 2008, 2012; BORTOLUZZI *et alii*, 2014; BORTOLUZZI *et alii*, 2017; BORTOLUZZI *et alii*, in prep.; CALIRO *et alii*, 2004; CAPACCIONI *et alii*, 2005; CAPACCIONI *et alii*, 2007; CARACAUSI *et alii*, 2005; CHIODINI *et alii*, 2006; ESPOSITO *et alii*, 2006; MONECKE *et alii*, 2012; PRICE *et alii*, 2015; TUDINO *et alii*, 2014). L'isola di Panarea, gli isolotti di Dattilo, Bottaro, Lisca Bianca, Lisca Nera e Panarelle (DBLP) e di Basiluzzo costituiscono la parte emersa di un edificio vulcanico molto più ampio la cui sommità è stata erosa e smussata dall'idrodinamica marina e dalla sedimentazione vulcanoclastica (ROMAGNOLI *et alii*, 2013) (fig. 1). L'attività fumarolica del complesso vulcanico di Panarea è conosciuta fin dai tempi storici; attualmente tale attività è visibile sulla spiaggia di Calcara a Panarea, a sud dell'isolotto di Basiluzzo e nel fondale circondato dagli isolotti DBLP. Tale attività è caratterizzata da rilasci di gas costituiti

prevalentemente da CO₂ e da fluidi termali con temperature fino a 140°C (ITALIANO & NUCCIO, 1991). Studi condotti nell'area (GAMBERI *et alii*, 1997; MARANI *et alii*, 1997; SAVELLI *et alii*, 1999) hanno evidenziato aree caratterizzate da depositi di solfuri, sedimenti, croste e camini di ossidi-idrossidi di ferro e affioramenti di rocce vulcaniche recenti in varie zone a nord-est, est e sud-est dell'isola di Panarea e processi di degassificazione sulla Secca dei Pesci (SE Panarea), nell'area degli isolotti e a ovest e nord di Basiluzzo.

Il fondale marino nei pressi degli isolotti, come accennato, è stato oggetto di una esplosione gassosa iniziata il 3 novembre 2002, cui è seguita una intensa attività esalativa negli anni successivi e in particolare nel 2003. Le emissioni erano costituite da una emulsione composta da una fase gassosa con 95-98% di CO₂, (CAPACCIONI *et alii*, 2005, 2007; ALIANI *et alii*, 2010) che produceva *plumes* a minore pH nella colonna d'acqua (TASSI *et alii*, 2009; ALIANI *et alii*, 2010). Le ricerche condotte con subacquei, ROV e *multibeam* a seguito dei fenomeni di degassificazione del 2002-2003 hanno evidenziato vari punti di rilascio di gas nell'area degli isolotti (ANZIDEI *et alii*, 2005; ESPOSITO *et alii*, 2006) il più intenso dei quali si trovava immediatamente a SO di Bottaro dove il gas raggiungeva la superficie dalla profondità di 15 m (BORTOLUZZI *et alii*, 2014). Il flusso in seguito all'esplosione iniziale e ai rilasci successivi ha portato all'immissione di notevoli quantità di CO₂ nella colonna d'acqua. CALIRO *et alii* (2004) hanno stimato una fuoriuscita di gas di 10⁹ L/g nel novembre 2002 in tutta l'area di emissione e da 4 a 2*10⁷ L/g da maggio a luglio 2003 nel sito di maggior emissione (PEG1). ALIANI *et alii* (2010) hanno invece prodotto una stima dei flussi di 2.6*10⁸ L/g nel dicembre 2002 e di 0.3*10⁸ L/g nel settembre 2003. Inoltre, sulla base dei dati pregressi, MONECKE *et alii* (2012) hanno ipotizzato emissioni nella colonna d'acqua di 70*10⁶ tonnellate di CO₂ negli ultimi 10.000 anni. L'attività esalativa ha comportato anche un cambiamento delle associazioni biotiche superficiali (GUGLIANDOLO *et alii*, 2006; MANINI *et alii*, 2008).

Le ricerche condotte dall'ISMAR-CNR e dall'ISPRA con diverse campagne tra il 2013 e il 2015 hanno contribuito a caratterizzare maggiormente il campo idrotermale sommerso compreso tra Panarea e Basiluzzo e a sud est di Panarea. In particolare, sono state condotte: indagini specifiche con *multibeam* e ROV per individuare morfologie, sorgenti idrotermali attive e associazioni bentoniche; rilievi con sonde multiparametriche e con sonde di pH, pCO₂ e metano e prelievi e analisi di campioni per caratterizzare la colonna d'acqua e individuare variazioni connesse con il rilascio di fluidi e gas idrotermali; misure di flussi benthici disciolti e rilasci di fluidi idrotermali dal fondale, con impiego di una camera benthica automatica; prelievo di carote di sedimento, per studiare le caratteristiche biogeochimiche, sedimentologiche, mineralogiche e micro e macro bentoniche dei fondali interessati

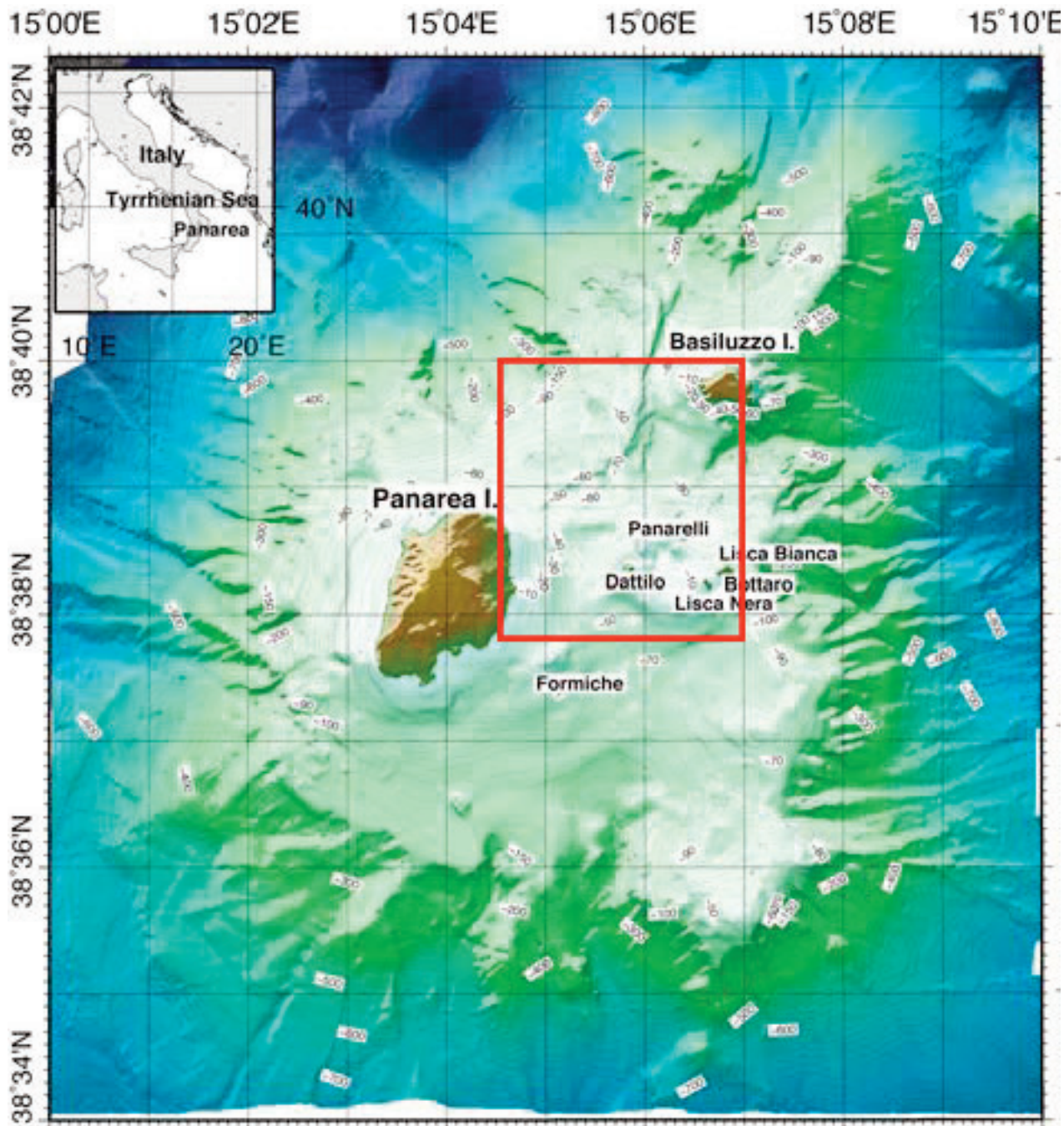


Fig. 1 - Morfologia del complesso vulcanico di Panarea con evidenziata l'area oggetto di ricerche intensive negli anni 2013-2015.
 - *Morphology of the Panarea Volcanic complex with the location of the study area of the 2013-2015 investigations.*

dall'idrotermalismo dell'area. Sui campioni della colonna d'acqua sono stati misurati alcalinità, Carbonio Inorganico Disciolto (DIC) e contenuto di metalli; con la camera benthica sono stati misurati i flussi benthici di DIC, H^+ , ossigeno ed elementi in traccia in punti specifici tra Panarea e Basiluzzo (fig. 2). Tali indagini hanno portato alla scoperta di una nuova area con idrotermalismo attualmente attivo e una morfologia del fondale caratterizzata da camini idrotermali e a una maggiore definizione di due aree con idrotermalismo attivo già individuate e parzialmente descritte da GAMBERI *et alii* (1997, 1998).

2. - NUOVE EVIDENZE DALL'AREA IDROTERMALE SOTTOMARINA TRA LE ISOLE DI PANAREA E BASILUZZO

Le indagini del 2013-2015 hanno permesso di individuare una attuale intensa attività idrotermale consistente in emanazioni fluide e gassose in tre zone situate: i) ai piedi della scarpata a nord-est dell'isola di Panarea, fino all'isolotto di Basiluzzo; ii) nell'area a nord-est degli isolotti, tra gli stessi e l'isolotto di Basiluzzo; iii) in un'area a sud-est dell'isola di Panarea (Secca dei Pesci) (fig. 2).

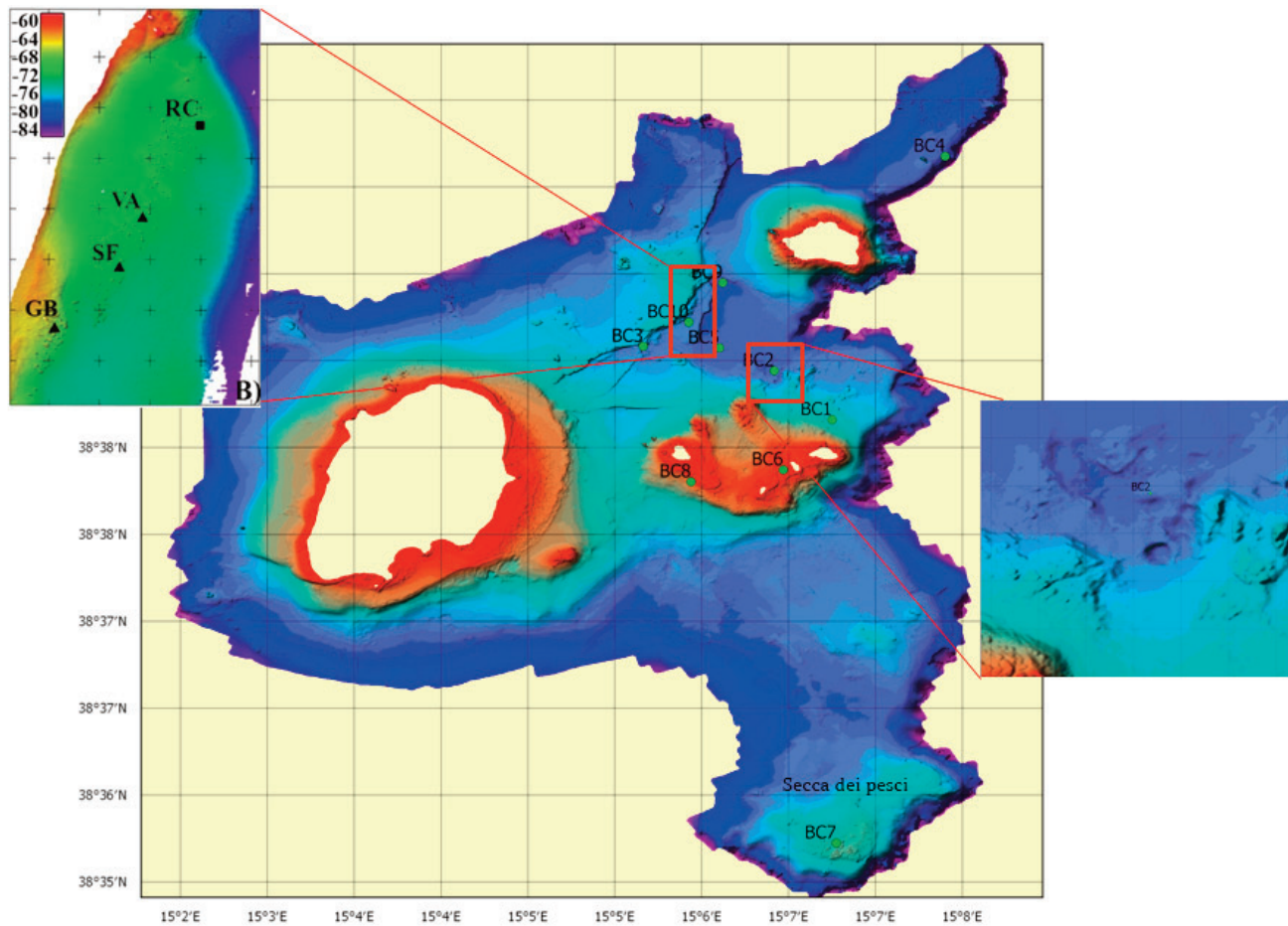


Fig. 2 - Morfologia di dettaglio del fondale tra Panarea e Basiluzzo con indicazione delle stazioni di misura dei flussi bentici (BC). Nei riquadri la zona dei camini (*Smoking Land*) e la zona delle depressioni circolari.
 - High resolution morphology of the seabed between Panarea and Basiluzzo islands with the location of the benthic flux measurement stations (BC). In the boxes the “Smoking Land” and the circular depression areas.

L'area situata alla base della scarpata tra Panarea e Basiluzzo è caratterizzata dalla presenza di un esteso e attivo campo di camini idrotermali denominato “*Smoking land*” (figg. 2, 3, 4). Il campo, individuato per la prima volta nel 2015 (ESPOSITO *et alii*, 2018) ha un'area di circa 0,5 km², allungata in direzione NE-SO (fig. 2, 3), ed è composto da più di 200 camini idrotermali di varia grandezza, con una forma generalmente conica, una inclinazione di 45-90°, un'altezza da 1 a 4 m e un diametro di base di circa 3,8 m di media (fig. 3, 4). I camini idrotermali sono attualmente in parte attivi e in parte quiescenti, quelli attivi sono sede di emissioni sia fluide che gassose.

L'area a nord-est dell'isolotto di Panarelle è invece caratterizzata da una serie di piccole depressioni circolari delle dimensioni di qualche metro (fig. 5) in parte caratterizzate da rilascio di gas e in parte inattive.

Le misure di flussi bentici disciolti hanno evidenziato: nelle due aree dei camini e delle depressioni circolari, un andamento a macchia di leopardo con siti caratterizzati da un attivo rilascio di fluidi acidi, con temperatura simile all'acqua di

fondo, particolarmente ricchi di DIC e, in misura minore, di Fe e di altri metalli in tracce (Mn, Zn, Al), e siti con flussi trascurabili; nella piana com-

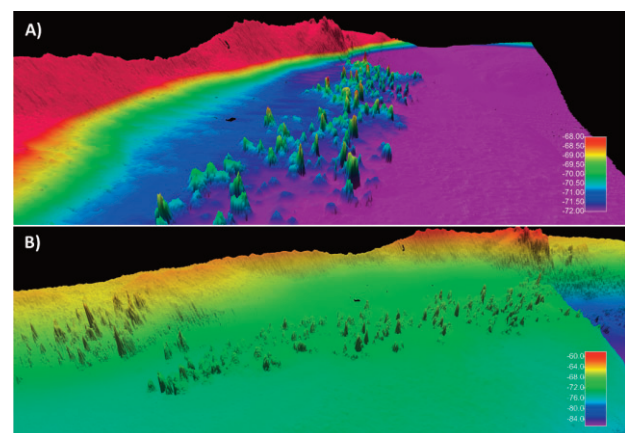


Fig. 3 - Modello tridimensionale del campo di camini idrotermali “*Smoking Land*” risultante dall'indagine *multibeam*.
 - Three-dimensional model of the hydrothermal chimneys field “*Smoking Land*” resulting from the *multibeam* investigation.

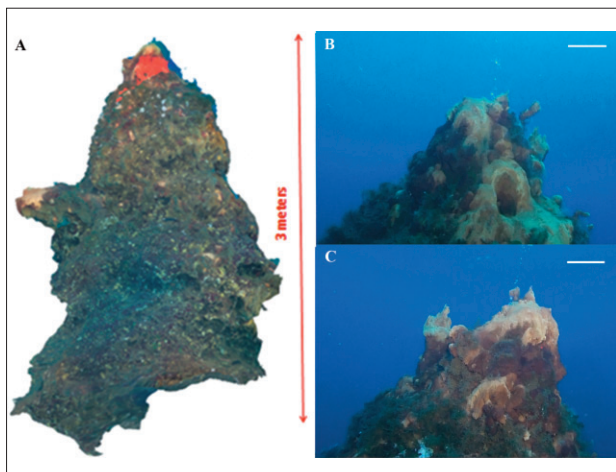


Fig. 4 - Ricostruzione di un camino idrotermale della "Smoking Land" ottenuta elaborando immagini HD riprese con il ROV.
- Reconstruction of a hydrothermal chimney of the "Smoking Land" performed on ROV HD video-image.

presa tra le due aree attive dei flussi trascurabili. La misura dei flussi bentici ha evidenziato anche un elevato rilascio di fluidi idrotermali acidi, ricchi di DIC e a temperatura ambiente ma con deboli contenuti in metalli nell'area della Secca dei Pesci.

Le misure dei parametri chimico-fisici e le analisi sui campioni di acqua hanno rilevato la presenza, nelle due aree dei camini e delle depressioni, di uno strato, nei pressi del fondale, con caratteristiche acide e con elevati contenuti di DIC e alcuni metalli, in particolare Fe, Mn e Zn, assenza di CH_4 e senza anomalie di temperature. La colonna d'acqua tra le due zone di rilascio attivo e nelle aree esterne non presenta anomalie di rilievo.

Le carote di sedimento, raccolte nelle due aree attive dei camini e delle depressioni, hanno evidenziato la presenza di uno strato superficiale di ossidi e idrossidi di ferro sopra un complesso strato sedimentario di rocce vulcaniche fortemente alterate; le carote, appena recuperate a bordo, rilasciavano grandi quantità di gas. Ciò è stato interpretato come un sedimento carico di gas la cui fuoriuscita è impedita dallo strato sigillante superficiale di ossidi e idrossidi di ferro.

L'analisi delle comunità viventi associate a questi ambienti ha evidenziato delle peculiarità raramente osservate in altri ecosistemi marini (ESPOSITO *et alii*, 2015; BORTOLUZZI *et alii*, 2017; ESPOSITO *et alii*, 2018).

Le due aree idrotermali attive dei camini e delle depressioni sono localizzate ai margini di un avvallamento allungato in direzione OSO-ESE della profondità di circa 80 m (fig. 2) senza attività idrotermale di rilievo. La depressione è il risultato di una struttura tettonica tipo *graben* delimitata dalla scarpata di Basiluzzo a NO e dagli isolotti DBLP a SE. La "Smoking land" e l'area con presenza di depressioni circolari sono quindi il risultato di una circolazione idrotermale nella quale l'acqua marina penetra nelle rocce del fondale dove incontra i gas di origine vulcanica provenienti da maggiori profondità che ne

provocano una elevata acidificazione e minore densità. Il liquido risultante tende quindi a fluire verso l'alto e a emergere, dopo aver dissolto i metalli contenuti nelle rocce attraversate, lungo delle vie preferenziali che sono i piani di faglia che si trovano lungo i fianchi del *graben*. In questo contesto si formano aree con rilascio idrotermale attivo accanto ad aree inattive ma cariche di gas in sovrappressione nel sottofondo, per la presenza di uno strato superficiale di ossidi e idrossidi di Fe che ne impedisce la fuoriuscita, e aree quiescenti per una degassificazione già avvenuta. Da questo assetto risulta che l'area idrotermale sottomarina tra le isole di Panarea e Basiluzzo potrebbe essere soggetta a future cicliche attività esplosive per una repentina degassificazione dei fondali carichi di fluidi e gas idrotermali come quella avvenuta negli anni 2002-2003, da ciò deriva la necessità di un continuo monitoraggio idoneo a prevedere possibili future situazioni di pericolo per le aree circostanti.

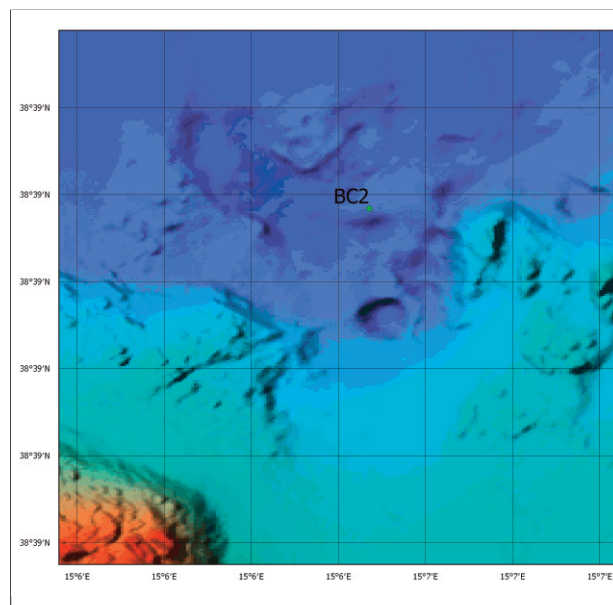


Fig. 5 - Morfologia del fondale a nord-est dell'area degli isolotti con la presenza delle numerose depressioni circolari.
- Morphology of the sea bottom to the North-East of the islets area with the circular depressions.

Ringraziamenti

Il ringraziamento più grande va a Giovanni Bortoluzzi che purtroppo ci ha lasciato e che è stato la vera anima di questo lavoro.

BIBLIOGRAFIA

- ALIANI S., BORTOLUZZI G., CARAMANNA G. & RAFFA F. (2010)
- Seawater dynamics and environmental settings after November 2002 gas eruption off Bottaro (Panarea, Aeolian Islands, Mediterranean Sea). *Continental Shelf Research*, **30**(12): 1338-1348.
- ANDALORO F., ROMEO T., ANCORA S. & ITALIANO F. (2008)
- La biodiversità marina in aree vulcaniche. Effetti dell'idrotermalismo sulle specie ittiche nell'area eoliana. In: P. COIRO, G.F.

- RUSSO (Ed.), I quaderni di uomo e natura n. 3: *Il Fuoco dal Mare, vulcanesimo e ambienti sottomarini*, **4**: 69-79.
- ANDALORO F., ROMEO T., RENZI M., GUERRANTI C., PERRA G., CONSOLI & FOCARDI S.E. (2012) - *Alteration of potential harmful elements levels in sediments and biota from the central Mediterranean Sea (Aeolian Archipelago) following an episode of intense volcanic activity*. *Environmental monitoring and assessment*, **184**(7): 4035-4047.
- ANZIDEI M., ESPOSITO A., BORTOLUZZI G. & DE GIOIA F. (2005) - *The high resolution bathymetric map of the exhalative area of Panarea (Aeolian Islands, Italy)*. *Annals of Geophysics*, **48**(6), 899-921.
- BORTOLUZZI G., ROMEO T., LACONO V., LA SPADA G., SMEDILE F., ESPOSITO V., SABATINO G., DI BELLA M., CANESE S., SCOTTI G., BO M., GIULIANO L., JONES D., GOLYSHIN P.N., YAKIMOV M.M. & ANDALORO F. (2017) - *Ferrous iron-and ammonium-rich diffuse vents support habitat-specific communities in a shallow hydrothermal field off the Basiluzzo Islet (Aeolian Volcanic Archipelago)*. *Geobiology*, **15**(5), 664-677.
- BORTOLUZZI G., SPAGNOLI F., ALIANI S., ROMEO T., CANESE S., ESPOSITO V., DIALTI L., COCCHI L., GRASSI M., MASETTO G., MUCCINI F., LACONO V., YAKIMOV M., LA SPADA G., LIGI M., GIORDANO M., FRANCHI F., FERRANTE V., BORGOGNONI L., TUDINO T., GUIDERI M., IVALDI R., PRATELLESI M., MARZIANI F., NICCOLINI F., BARBIERI E., CAPACCIONI B. & ANDALORO F. (2014) - *New geological, geophysical and biological insights on the hydrothermal system of the Panarea Basiluzzo Volcanic complex (Aeolian Islands, Tyrrhenian Sea)*. In: B. CESARE, E. ERBA, B. CARMINA, L. FASCIO, F.M. PETTI & A. ZUCCARI (Eds). *Rendiconti Online della Società Geologica Italiana*, **31**, Supplemento n. 1 - Settembre 2014, p. 403. ISSN 2035-8008, doi: 10.3301/ROL.2014.140.
- CALIRO S., CARACAUSI A., CHIODINI G., DITTA M., ITALIANO F., LONGO M., MINOPOLI C., NUCCIO P.M., PAONITA A. & RIZZO A. (2004) - *Evidence of a recent input of magmatic gases into the quiescent volcanic edifice of Panarea, Aeolian Islands, Italy*. *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L07619.
- CAPACCIONI B., TASSI F., VASELLI O., TEDESCO D. & POREDA R. (2007) - *Submarine gas burst at Panarea Island (southern Italy) on 3 November 2002: A magmatic versus hydrothermal episode*. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **112**, B05201.
- CAPACCIONI B., TASSI F., VASELLI O., TEDESCO D. & ROSSI P.L. (2005) - *The November 2002 degassing event at Panarea Island (Italy): the results of a 5 months geochemical monitoring program*. *Ann. Geophys.*, **48**(4-5): 755-765.
- CARACAUSI A., DITTA M., ITALIANO F., LONGO M., NUCCIO P.M., PAONITA A. & RIZZO A. (2005) - *Changes in fluid geochemistry and physico-chemical conditions of geothermal systems caused by magmatic input: The recent abrupt outgassing of the island of Panarea (Aeolian Islands, Italy)*. *Geochim. Cosmochim. Ac.*, **69**(12): 3045-3059.
- CHIODINI G., CALIRO S., CARAMANNA G., GRANIERI D., MINOPOLI C., MORETTI R., PERROTTA L. & VENTURA G. (2006) - *Geochemistry of the submarine gaseous emissions of Panarea (Aeolian Islands, Southern Italy): magmatic vs. hydrothermal origin and implications for volcanic surveillance*. *Pure Appl. Geophys.*, **163**(4): 759-780.
- ESPOSITO V., ANDALORO F., CANESE S., BORTOLUZZI G., BO M., DI BELLA M., ITALIANO F., SABATINO G., BATTAGLIA P., CONSOLI P., GIORDANO P., SPAGNOLI F., LA CONO V., YAKIMOV M.M., SCOTTI G. & ROMEO T. (2018) - *Exceptional discovery of a shallow-water hydrothermal site in the SW area of Basiluzzo islet (Aeolian archipelago, South Tyrrhenian Sea): An environment to preserve*. *PLoS ONE* **13**(1): e0190710: 1-27, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190710>.
- ESPOSITO V., GIACOBBE S., COSENTINO A., MINERVA C.S., ROMEO T., CANESE S. & ANDALORO F. (2015) - *Distribution and ecology of the tube-dweller *Ampelisca ledoyeri* (Amphipoda: Ampeliscidae) associated to the hydrothermal field off Panarea Island (Tyrrhenian Sea, Mediterranean)*. *Marine Biodiversity*, **45**: 763-768. doi:10.1007/s12526-014-0285-5.
- ESPOSITO A., GIORDANO G. & ANZIDEI M. (2006) - *The 2002-2003 submarine gas eruption at Panarea volcano (Aeolian Islands, Italy): Volcanology of the seafloor and implications for the hazard scenario*. *Marine Geology*, **227**(1), 119-134.
- GAMBERI F., MARANI M. & SAVELLI C. (1997) - *Tectonic, volcanic and hydrothermal features of a submarine portion of the Aeolian arc (Tyrrhenian Sea)*. *Marine Geology*, **140**: 167-181.
- GAMBERI F., SAVELLI C., MARANI M.P., LIGI M., BORTOLUZZI G., LANDUZZI V. & COSTA M. (1998) - *Contesto morfotettonico e depositi idrotermali di solfuri ed ossidi di ferro in una porzione sommersa dell'arco eoliano (in base ad indagini ad alta definizione)*. *Bollettino della Società Geologica italiana*, **117**: 55-71.
- GUGLIANDOLO C., ITALIANO F. & MAUGERI T. (2006) - *The submarine hydrothermal system of Panarea (Southern Italy): biogeochemical processes at the thermal fluids - sea bottom interface*. *Ann. Geophys.*, **49**(2-3), 783-792.
- ITALIANO F. & NUCCIO P.M. (1991) - *Geochemical investigations of submarine volcanic exhalations to the east of Panarea, Aeolian Islands, Italy*. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **46**(1-2): 125-141.
- MANINI E., LUNA G.M., CORINALDESI C., ZEPELLI D., BORTOLUZZI G., CARAMANNA G., RAFFA F. & DANOVARO R. (2008) - *Prokaryote diversity and virus abundance in shallow hydrothermal vents of the Mediterranean Sea (Panarea Island) and the Pacific Ocean (North Sulawesi-Indonesia)*. *Microbial Ecol.*, **55**(4): 626-639.
- MARANI M.P., GAMBERI F. & SAVELLI C. (1997) - *Shallow-water polymetallic sulfide deposits in the Aeolian island arc*. *Geology*, **25**: 815-818.
- MONECKE T., PETERSEN S., HANNINGTON M.D., ANZIDEI M., ESPOSITO A., GIORDANO G., GARBE-SCHÖNBERG D., AUGUSTIN N., MELCHERT B. & HOCKING M. (2012) - *Explosion craters associated with shallow submarine gas venting off Panarea island, Italy*. *Bulletin of volcanology*, **74**(9): 1937-1944.
- PRICE R.E., LA ROWE D.E., ITALIANO F., SAVOV I., PICHLER T. & AMEND J.P. (2015) - *Subsurface hydrothermal processes and the bioenergetics of chemolithoautotrophy at the shallow-sea vents off Panarea Island (Italy)*. *Chemical Geology*, **407**: 21-45.
- ROMAGNOLI C., CASALBORE D., BORTOLUZZI G., BOSMAN, A., CHIOCCI F.L., D'ORIANO F., GAMBERI F., LIGI M. & MARANI M. (2013) - *Bathy-morphological setting of the Aeolian Islands*. *Geological Society, London, Memoirs*, **37**(1): 27-36.
- SAVELLI C., MARANI M. & GAMBERI F. (1999) - *Geochemistry of metalliferous, hydrothermal deposits in the Aeolian arc (Tyrrhenian Sea)*. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **88**(4): 305-323.
- TASSI F., CAPACCIONI B., CARAMANNA G., CINTI D., MONTEGROSSI G., PIZZINO L., QUATTROCCHI F. & VALSELLI O. (2009) - *Low-pH waters discharging from submarine vents at Panarea Island (Aeolian Islands, southern Italy) after the 2002 gas blast: origin of hydrothermal fluids and implications for volcanic surveillance*. *Appl. Geochem.*, **24**(2): 246-254.
- TUDINO T., BORTOLUZZI G. & ALIANI S. (2014) - *Shallow-water gaseohydrothermal plume studies after massive eruption at Panarea, Aeolian Islands, Italy*. *Journal of Marine Systems*, **131**: 1-9.