

## Il sistema idrotermale sottomarino a largo dell'Isola di Zannone (Arcipelago Pontino occidentale, Mar Tirreno)

*Submarine hydrothermal system off the Zannone Island  
(western Pontine Archipelago, Tyrrhenian Sea)*

INGRASSIA M.(\*), BEAUBIEN S.(\*\*), BOSMAN A.(\*), CHIOCCI F.L.(\*)(\*\*),  
CONTE A.M.(\*), DI BELLA L.(\*\*), FREZZA V.(\*\*), GRAZIANI S.(\*\*),  
ITALIANO F.(\*\*\*), MACELLONI L.(\*\*\*\*),  
MARTORELLI E.(\*), SPOSATO A.(\*)

**RIASSUNTO** - Recenti studi coordinati dal CNR-IGAG hanno permesso di scoprire un sistema idrotermale attivo al largo dell'Isola di Zannone (Arcipelago Pontino occidentale, Mar Tirreno centrale). Tale sistema idrotermale, costituito da cinque grandi depressioni (lunghezza >250 m) è stato studiato con un approccio multidisciplinare (indagini geofisiche, geochimiche, micropalontologiche, mineralogico-petrografiche, ecc.) che ha permesso di comprendere alcuni degli aspetti legati alla sua genesi, la natura delle emissioni e la definizione dei processi che controllano la fuoriuscita di fluidi. In particolare, la struttura denominata *Zannone Giant Pockmark*, ZGP rappresenta un caso unico nel Mediterraneo, per via delle grandi dimensioni (0.5 km<sup>2</sup>), per la presenza di numerose e particolari morfologie (es. crateri, *mound*, *pockmark*) legate all'attività delle emissioni di fluidi dal fondale. La natura delle emissioni, arricchite in CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, ed i rapporti isotopici (<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He) sono indicativi di fluidi idrotermali derivanti da una sorgente magmatica profonda.

Le caratteristiche dell'area di studio (bassa profondità, vicinanza alla costa, attività persistente) rendono le manifestazioni idrotermali di Zannone un sito ideale per installare un laboratorio sottomarino finalizzato al monitoraggio e allo studio delle emissioni, alla valutazione della pericolosità geologica (es. possibilità di esplosioni idrotermali) e all'impatto ambientale (es. processi di acidificazione locale).

**PAROLE CHIAVE:** sistema idrotermale, Mar Tirreno, CO<sub>2</sub>, acidificazione, pericolosità geologica, fondale marino, emissione fluida

**ABSTRACT** - Recent studies, coordinated by the CNR-IGAG, have allowed us to discover a previously unknown active hydrothermal system off the coast of Zannone Island (western Pontine Archipelago, central Tyrrhenian Sea). This hydrothermal system, composed of five large-scale depressions (length >250 m), was studied through multidisciplinary investigations (geophysical, geochemical, micro-paleontological, mineralogical-petrographical, etc), which permitted to define the geological processes forming the main depressions, to infer the origin of the fluids, and to explore the sub-seafloor architecture. In particular, the Zannone Giant Pockmark - ZGP represents a unique case in the Mediterranean area of large-scale complex depression (0.5 km<sup>2</sup>) formed by numerous craters, mounds, and pockmarks associated with different types of emissions. The emitted fluids, enriched in CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub>, and the helium isotopic ratios (<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He) indicate that the vented volatiles are released from a deep residual magma body.

The characteristics of the study area (shallow-water depth, proximity to the coastline, continuous venting activity) make the Zannone Hydrothermal Field a strategic site for installation of a multi-disciplinary permanent seafloor observatory for monitoring the fluid emission processes, possible geological hazards assessment (e.g. hydrothermal explosions), and for studying the environmental impacts (e.g. acidification process).

**KEY WORDS:** Hydrothermal system, Tyrrhenian Sea, CO<sub>2</sub>, acidification process, geological hazards, fluid emission, ocean floors

(\*) CNR-IGAG, Rome, Italy; (\*\*) Sapienza University of Rome, Rome, Italy; (\*\*\*) INGV, Palermo, Italy; (\*\*\*\*) NIUST, University of Mississippi, University, Mississippi, USA

## 1. - INTRODUZIONE

Studi recenti coordinati dal CNR-IGAG hanno permesso di scoprire un sistema idrotermale attivo al largo dell'Isola di Zannone (Arcipelago Pontino occidentale, Mar Tirreno centrale). I principali lineamenti morfologici prodotti dall'attività idrotermale sono ampie depressioni (lunghezza >250m), identificate per la prima volta grazie a rilievi *multibeam* acquisiti con navi da ricerca del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR).

Successivamente alla scoperta delle depressioni sono state condotte ricerche multidisciplinari (indagini geofisiche, geochimiche, micropalontologiche, mineralogico-petrografiche, ecc.), in parte realizzate nell'ambito del *Progetto Ritmare*, e finalizzate alla comprensione degli aspetti legati alla genesi delle depressioni, allo studio delle emissioni e alla definizione dei processi che controllano la fuoriuscita di fluidi. Particolare attenzione è stata dedicata alla depressione di maggiore interesse (*Zannone Giant Pockmark*, ZGP), caratterizzata da numerose emissioni attive. Lo ZGP rappresenta infatti un caso del tutto peculiare e praticamente unico nel Mediterraneo, per via delle grandi dimensioni (0.5 km<sup>2</sup>), per la presenza di numerose tipologie di emissione e per le particolari morfologie (es. crateri, *mound*, *pockmark*) legate all'attività delle emissioni. Ad oggi esempi di depressioni idrotermali a fondo mare prodotte dalla fuoriuscita di fluidi con complessità morfologica paragonabile sono molto rari (ad esempio a largo di Panarea, MONECKE *et alii*, 2012, sui fondali del lago di Yellowstone, MORGAN *et alii*, 2003) e i meccanismi imputati alla loro genesi ed evoluzione poco o solo in parte definiti (es. attività idrotermale esplosiva, processi di collasso, processi di *self-sealing* e alterazione).

## 2. - ARCIPELAGO PONTINO

L'arcipelago pontino è localizzato a circa 30 km di distanza dalle coste laziali ed è suddiviso in due gruppi di isole distinte, le isole pontine occidentali costituite dalle tre isole di Ponza, Palmarola e Zannone, e le isole pontine orientali costituite dalle isole di Ventotene e Santo Stefano.

Le isole occidentali rappresentano i *remnant* di un complesso di domi riolitici sottomarini, principalmente costituiti da vulcaniti emesse durante due cicli eruttivi avvenuti tra il Pliocene (rioliti calcoalcaline di Ponza e Zannone, ~4-3 Ma) ed il Pleistocene (rioliti alcaline e iperalcaline di Palmarola, ~1.5 Ma). Il ciclo pleistocenico si conclude a ~1 Ma, con la messa in posto di lave

trachitiche subaeree a sud-est di Ponza (CONTE & DOLFI 2002; CADOUX *et alii*, 2005). L'attività delle isole orientali è invece datata tra 0.8 - 0.13 Ma, con deposizione di prodotti basaltici e trachibasaltici (METRICH *et alii*, 1988; PECCERILLO, 2005).

L'arcipelago pontino risulta essere interamente di natura vulcanica, fatta eccezione per l'Isola di Zannone, che risulta caratterizzata da unità affioranti di natura metamorfica e sedimentaria (PECCERILLO, 2005).

## 3. - ZANNONE GIANT POCKMARK (ZGP)

Sul fondo mare il sistema idrotermale è evidenziato principalmente dalla presenza di cinque depressioni di grandi dimensioni (lunghezza > 250 m) situate a profondità comprese tra i 100 e i 150 m. La depressione principale (ZGP in fig. 1a) è composta da cinque depressioni minori originate da collassi/esplosioni legati all'attività idrotermale (INGRASSIA *et alii*, 2015).

Al suo interno sono presenti numerose strutture associate ad emissioni di fluidi come *pockmark*, *mound*-croste autigene (fig. 1b,c), colonie di *matte* batteriche (fig. 1d) e strutture di emissione di fluidi (fig. 1e; INGRASSIA *et alii*, 2015; MARTORELLI *et alii*, 2016).

Analisi geochimiche hanno dimostrato come tali emissioni siano arricchite in CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, con rapporti isotopici (<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He) indicativi di fluidi idrotermali derivanti da una sorgente magmatica profonda (MARTORELLI *et alii*, 2016). Le analisi video hanno evidenziato come il fondale dello ZGP sia caratterizzato da un'elevata eterogeneità dovuta alla presenza di complesse strutture morfologiche associate ad attività idrotermale. Dati diretti di campionamento del fondale hanno evidenziato la presenza di specifiche e rare comunità bentoniche a foraminiferi agglutinanti come *Spiculosisiphon oceana*, *Jaculella acuta*, *Deuterammia rotaliformis*, del tutto peculiari per l'area mediterranea (DI BELLA *et alii*, 2016). Tali comunità sono indicative della presenza di intensi fenomeni di dissoluzione/acidificazione.

Di recente (campagna oceanografica ZHF 2017 - CNR-IGAG) è stato installato un modulo multiparametrico con l'obiettivo di caratterizzare l'attività di emissione e di studiarne le variazioni nel tempo. Ciò permetterà di approfondire le conoscenze sui sistemi idrotermali di acqua bassa che a tutt'oggi risultano ancora poco studiati e di comprendere le interazioni che intercorrono tra processi chimico-fisici, biologici e geologici, nonché il loro impatto sull'ambiente marino (es. processi di acidificazione).

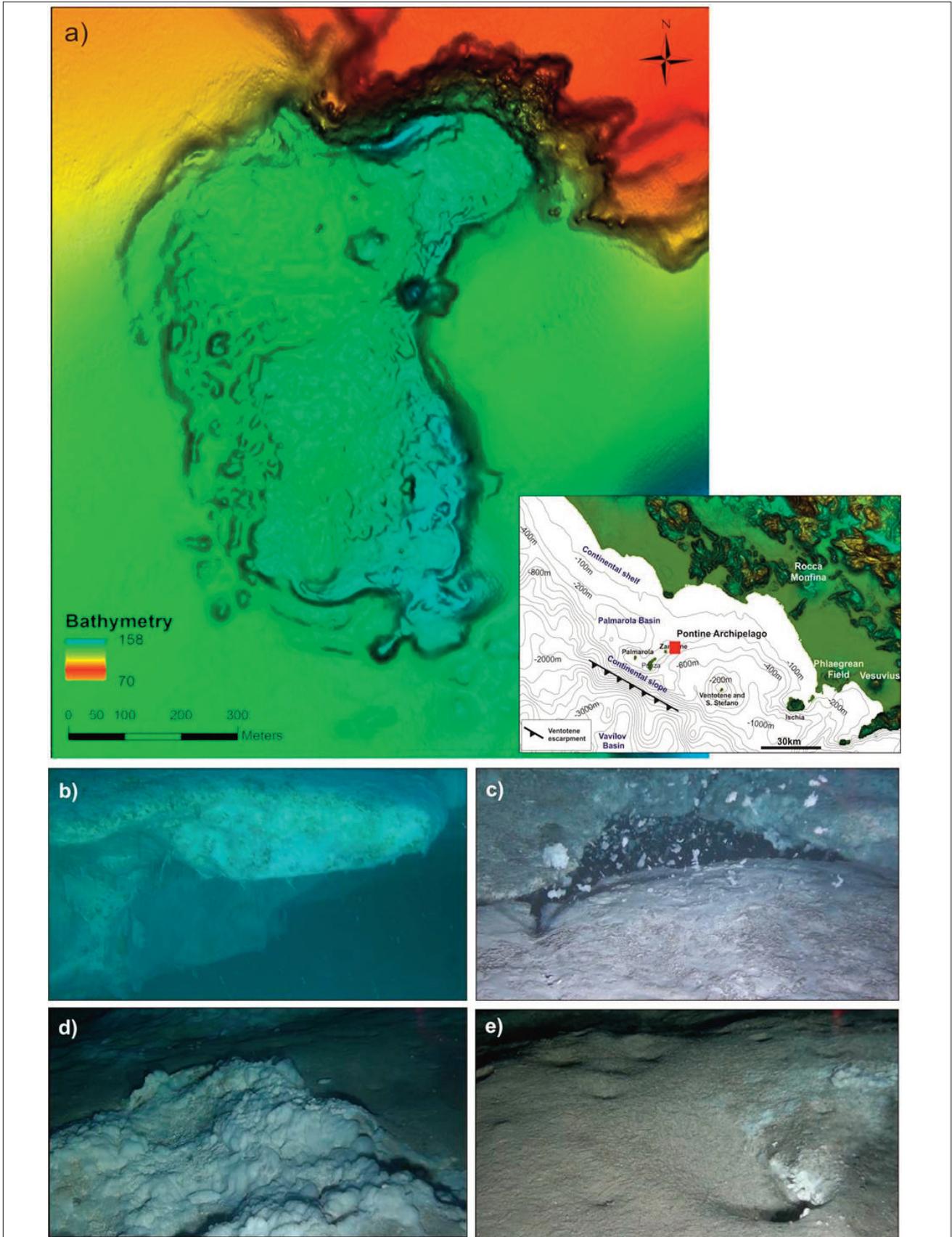


Fig. 1 - a) Carta morfobatimetrica dello Zannone Giant Pockmark (ZGP) ed inset con localizzazione dello ZGP (quadrato rosso); b, c) croste autigene associate ad emissioni di fluidi; d) comunità batteriche associate ad emissioni di fluidi; e) pockmark ed emissione puntuale su fondale sabbioso.  
 - a) Morpho-bathymetric map of the Zannone Giant Pockmark (ZGP), with inset showing its location (red square); b, c) autogenic crusts related to fluid emissions; d) bacterial mats; e) pockmarks and bubbles stream on the sandy seafloor.

## BIBLIOGRAFIA

- CADOUX A., PINTI D.L., AZNAR C., CHIESA S. & GILLOT P. Y. (2005) - *New chronological and geochemical constraints on the genesis and geological evolution of Ponza and Palmarola volcanic islands (Tyrrhenian Sea, Italy)*. Lithos, **81**(1), 121-151.
- CONTE A.M. & DOLFI D. (2002) - *Petrological and geochemical characteristics of Plio-Pleistocene volcanics from Ponza Island (Tyrrhenian sea, Italy)*. Mineralogy and Petrology, **74**(1), 75-94.
- DI BELLA L., INGRASSIA M., FREZZA V., CHIOCCI F.L. & MARTORELLI E. (2016) - *The response of benthic meiofauna to hydrothermal emissions in the Pontine Archipelago, Tyrrhenian Sea (central Mediterranean Basin)*. Journal of Marine Systems, **164**, 53-66.
- INGRASSIA M., MARTORELLI E., BOSMAN A., MACELLONI L., SPOSATO A. & CHIOCCI F.L. (2015) - *The Zannone Giant Pockmark: first evidence of a giant complex seeping structure in shallow-water, central Mediterranean Sea, Italy*. Marine Geology, **363**, 38-51. Doi: 10.1016/j.margeo.2015.02.005
- MARTORELLI E., ITALIANO F., INGRASSIA M., MACELLONI L., BOSMAN A., CONTE A.M., BEAUBIEN S.E., GRAZIANI S., SPOSATO A. & CHIOCCI F.L. (2016) - *Evidence of a shallow water submarine hydrothermal field off Zannone Island from morphological and geochemical characterization: implications for Tyrrhenian Sea Quaternary volcanism*. Journal of Geophysical Research Solid Earth, **121**, 8396-8414.
- METRICH N., SANTACROCE R. & SAVELLI C. (1988) - *Ventotene, a potassic Quaternary volcano in central Tyrrhenian Sea*. Rend. Soc. Ital. Mineral. Petrol., **43**, 1195-1213.
- MONECKE T., PETERSEN S., HANNINGTON M.D., ANZIDEI M., ESPOSITO A., GIORDANO G. & HOCKING M. (2012) - *Explosion craters associated with shallow submarine gas venting off Panarea island, Italy*. Bulletin of volcanology, **74**(9), 1937-1944.
- MORGAN L.A., SHANKS W.C., LOVALVO D.A., JOHNSON S.Y., STEPHENSON W.J., PIERCE K.L. & SCHULZE B. (2003) - *Exploration and discovery in Yellowstone Lake: results from high-resolution sonar imaging, seismic reflection profiling, and submersible studies*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, **122**(3), 221-242.
- PECCERILLO A. (2005) - *Plio-quaternary volcanism in Italy*. **365**, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.