

I sistemi di emissione di CO₂ dell'isola d'Ischia (Mar Tirreno)

The CO₂ vent's systems off the island of Ischia (Tyrrhenian Sea)

GAMBI M.C.(*), GAGLIOTI M.(*), TEIXIDO N.(*)

RIASSUNTO - Vengono descritti sette sistemi di emissione sommersa di gas di origine vulcanica attorno all'isola d'Ischia (Golfo di Napoli): il Castello Aragonese (che è anche il geosito marino n. 20 della Regione Campania), la Vullatura, le Chiane del Lume, la grotta del Mago, la secca della Madonna, la Marina di Lacco Ameno e la spiaggia di Chiaia. Nei siti, localizzati a profondità tra 0,5 (Castello) e 48 m (secca Madonna), il gas è composto per oltre il 90% da CO₂, senza presenza di gas tossici, che fuoriesce alla stessa temperatura delle acque circostanti. Il surplus di CO₂ provoca in alcuni di questi siti una notevole riduzione del pH, e quindi un'acidificazione naturale delle acque circostanti, che nelle zone di emissione più intensa arriva anche a valori minimi di 7,0-6,5 (Castello) e di 6,5-6,2 (Vullatura), anche se con ampie oscillazioni giornaliere. Questi sistemi pertanto sono utilizzati dai ricercatori come laboratori naturali per lo studio degli effetti dell'acidificazione marina su specie ed habitat bentonici. Nel complesso i diversi sistemi includono ambienti vari e spesso misti, quali fondi rocciosi ricoperti da densi popolamenti macroalgali (Castello, Chiane del Lume), prateria di *Posidonia oceanica* (Castello, Vullatura, Chiane del Lume), ambienti rocciosi semi-oscuro (Grotta del Mago), il coralligeno (secca della Madonna) e sabbie e ghiaie (Vullatura, Chiane del Lume, Chiaia, marina di Lacco Ameno).

PAROLE CHIAVE: fondale marino, emissione fluida, fumarola, sistema litorale, habitat bentonici, acidificazione marina, Mar Tirreno

ABSTRACT - In this contribution we describe seven systems of submerged emission of volcanic gases around the Island of Ischia (Gulf of Naples): the Castello Aragonese (which is also the marine geosite no. 20 of the Campania Region), the Vullatura, the Chiane del Lume, the cave Grotta del Mago, the deep rocky bank Madonna, the Marina di Lacco Ameno and the beach of Chiaia. At the sites, located at a

depth between 0.5 (Castello) and 48 m (Madonna bank), the gas is composed for more than 90% by CO₂, without the presence of toxic gases, which comes out at the same temperature of the surrounding waters. The CO₂ surplus causes in some of these sites an important reduction of the water pH, and therefore a natural acidification of the surrounding waters, which in the most intense emission zones also reaches minimum values of 7.0-6.5 (Castello) and of 6.5-6.2 (Vullatura), although with wide daily oscillations. These systems are therefore used by researchers as natural laboratories for the study of the effects of marine acidification on benthic species and habitats. On the whole, the various vent systems include different and often mixed environments, such as rocky bottoms covered by dense macroalgal populations (Castello, Chiane del Lume), the seagrass *Posidonia oceanica* meadows (Castello, Vullatura, Chiane del Lume), semi-dark rocky environments (Grotta del Mago), the coralligenous outcrops (Madonna bank) and sands and gravels (Vullatura, Chiane del Lume, Chiaia beach, Marina di Lacco Ameno).

KEY WORDS: fluid emission, ocean floors, fumaroles, littoral system, benthic habitat, ocean acidification, Tyrrhenian Sea

1. - INTRODUZIONE

L'isola d'Ischia è ben nota per le sue risorse ambientali, culturali e paesaggistiche sia a terra che a mare che hanno portato alla istituzione sia di SIC (marini e terrestri) nell'ambito della rete Natura 2000, sia nel 2008 dell'Area Marina Protetta del Regno di Nettuno (GAMBI *et alii*, 2003; www.nettuno.org), nonché di diversi Geositi emersi e

(*) Stazione Zoologica Anton Dohrn, Dip.to Ecologia Marina Integrata, Centro Villa Dohrn-Ecologia del benthos, Ischia. Villa Comunale 80121 Napoli

sommersi (MONTI, 2011). Ischia presenta una lunga e ben documentata storia vulcanica; le eruzioni hanno generato differenti rocce basaltiche e numerosi depositi di frane detritiche anche a mare (fondi ad “*hummock*”) (CHIODINI *et alii*, 2004; DE ALTERIIS *et alii*, 2010), che fanno delle coste e dei fondali dell’isola un “arcipelago” di secche, massi e faraglioni, canyon, resti di edifici vulcanici e veri e propri vulcani monogenici (es. banchi d’Ischia e di Forio), falesie verticali profonde e grotte, di elevata complessità (DE ALTERIIS *et alii*, 2006; SBRANA & TOCCACELI, 2011). Il vulcanismo dell’area si manifesta ancora oggi attraverso una intensa attività secondaria caratterizzata da idrotermalismo (acque e fanghi) e fenomeni di emissioni gassose e fumarole presenti in varie parti interne e costiere dell’isola (TEDESCO, 1996), che testimoniano la presenza di cospicui depositi sub-croscali di CO₂ (PECORAINO *et alii*, 2005). I sistemi sommersi di emissione di gas sono concentrati ad Ischia soprattutto nella zona nord-orientale dell’isola e alcuni di questi sono studiati da oltre dieci anni dal punto di vista biologico dagli ecologi marini della Stazione Zoologica di Napoli (SZN) perché rappresentano laboratori naturali per lo studio degli effetti dell’acidificazione marina sul biota bentonico. Infatti la CO₂, gas dominante in questi sistemi, provoca un abbassamento del pH ed un’alterazione della chimica dei carbonati definita come “acidificazione marina” (*ocean acidification*) (HALL-SPENCER *et alii*, 2008; GAMBI, 2014; FOO *et alii*, 2018). Nel presente contributo viene descritto brevemente ognuno di questi sistemi, che è stato possibile osservare direttamente in immersione con ARA, o con ispezioni visive dalla superficie (*snorkeling*).

2. - IL CASTELLO ARAGONESE

Il Castello Aragonese di Ischia (fig. 1), rappresenta un geosito marino della Regione Campania (geosito n. 20) (MONTI, 2011; GAMBI & RICEVUTO, 2012). Il sito, così definito per la presenza del Castello Aragonese considerato monumento nazionale, rappresenta un isolotto (duomo vulcanico) adiacente ad una zona di faglia (RITTMANN & GOTTINI, 1980). L’isolotto è collegato da una strada e da un ponte all’isola di Ischia, e le coste a nord (40°43.870’N; 13°57.796’E) e sud (40°43.919’N; 13°57.832’E) rispetto al congiungimento tra l’isolotto e la strada, sono interessate da intense emissioni di gas (campo fumarolico) (fig. 1) rappresentato per oltre il 90% da anidride carbonica e senza traccia di gas tossici (es. solfuri) (HALL-SPENCER *et alii*, 2008; FOO *et alii*, 2018). Questa zona rappresenta il primo sistema di emissione sommersa marina di CO₂ studiata al mondo dal punto di vista bio-ecologico, con ad oggi oltre 70 lavori scientifici pubblicati e oltre 650 specie censite (FOO *et alii*, 2018; GAGLIOTI *et alii*, 2018). Una descrizione della zona in relazione al geosito marino ed alle emissioni gassose è fornita anche

da GAMBI & RICEVUTO (2012) nell’ambito del *Meeting Marino* ISPRA sui geositi marini, mentre l’indicazione della presenza di emissioni è anche riportata nella carta di SBRANA & TOCCACELI (2011), per la parte nord della costa del Castello. Informazioni più di dettaglio anche sugli aspetti biologici ed ecologici di specie ed habitat che caratterizzano la zona sono sintetizzate in una *review* di FOO *et alii* (2018). Analisi più recenti della composizione dei gas, svolte ad agosto 2017 in collaborazione con l’INGV a seguito dell’evento sismico su Ischia del 21 agosto 2017, hanno confermato valori di CO₂ di 93,14% a sud e 94,73% a nord (Italiano F., Pecoraino G., dati inediti).

Il fenomeno di emissione di gas si registra in una zona estesa per circa 150 m x 20 m lungo la parete rocciosa e nelle immediate sue adiacenze, sia nord che sud dell’isolotto del Castello (fig. 1), ed in entrambi i lati il fondale è caratterizzato da una prateria della fanerogama marina *Posidonia oceanica*, tasche di sedimento sabbioso e massi rocciosi. A nord le emissioni ricoprono una superficie di circa 2.000 m² per una fuoriuscita totale di 0,7x10⁶ L al giorno; a sud interessano un’area di circa 3.000 m² con un’emissione totale di 1,4 x 10⁶ L al giorno, acidificando una massa d’acqua di circa 18.000 m³ (HALL-SPENCER *et alii*, 2008). Nella zona interessata dalle emissioni di gas la temperatura e la salinità sono simili ed omogenee a quelle delle aree limitrofe senza emissione. Il pH medio varia lungo un gradiente che va da 8,10 (normale), a circa 150 m dalle emissioni più dense, fino a 7,0 - 6,5 nelle aree a maggiore densità di bolle (RICEVUTO *et alii*, 2014). Tuttavia, misure continue *in situ* hanno messo in evidenza un andamento molto variabile del pH, che nella zona a maggiore emissione di bolle si abbassa anche sotto 6,0 (KROEKER *et alii*, 2011), e con valori che oscillano fortemente anche nell’ambito giornaliero probabilmente in relazione sia all’azione di idrodinamismo e marea, sia per il *buffering* del pH dovuto alla produzione di ossigeno per attività fotosintetica da parte delle dense coperture vegetali presenti sia sul fondo colonizzato in larga misura da *Posidonia oceanica*, sia sulle pareti verticali ricoperte da cospicui popolamenti algali (*Dictyota* spp., *Halopteris scoparia*, *Cladophora* spp, *Sargassum vulgare*) (FOO *et alii*, 2018).

3. - LA VULLATURA

Questo sito è indicato come “porto S. Antonio” nel lavoro di TEDESCO (1996) per un errore toponomastico in quanto l’area di emissione dei gas si trova allineata davanti alla “porta” della chiesa di S. Antonio, di fronte alla spiaggia della Mandra ad Ischia (40°44.168’N; 13°57.462’E), e non esiste ad Ischia alcun toponimo simile. I pescatori ed ormeggiatori locali conoscono bene la zona ed il fenomeno, e infatti definiscono l’area come “Vullatura” (fig. 2) (cioè bollitura) perché l’attività di emissione è così intensa che le acque sembrano

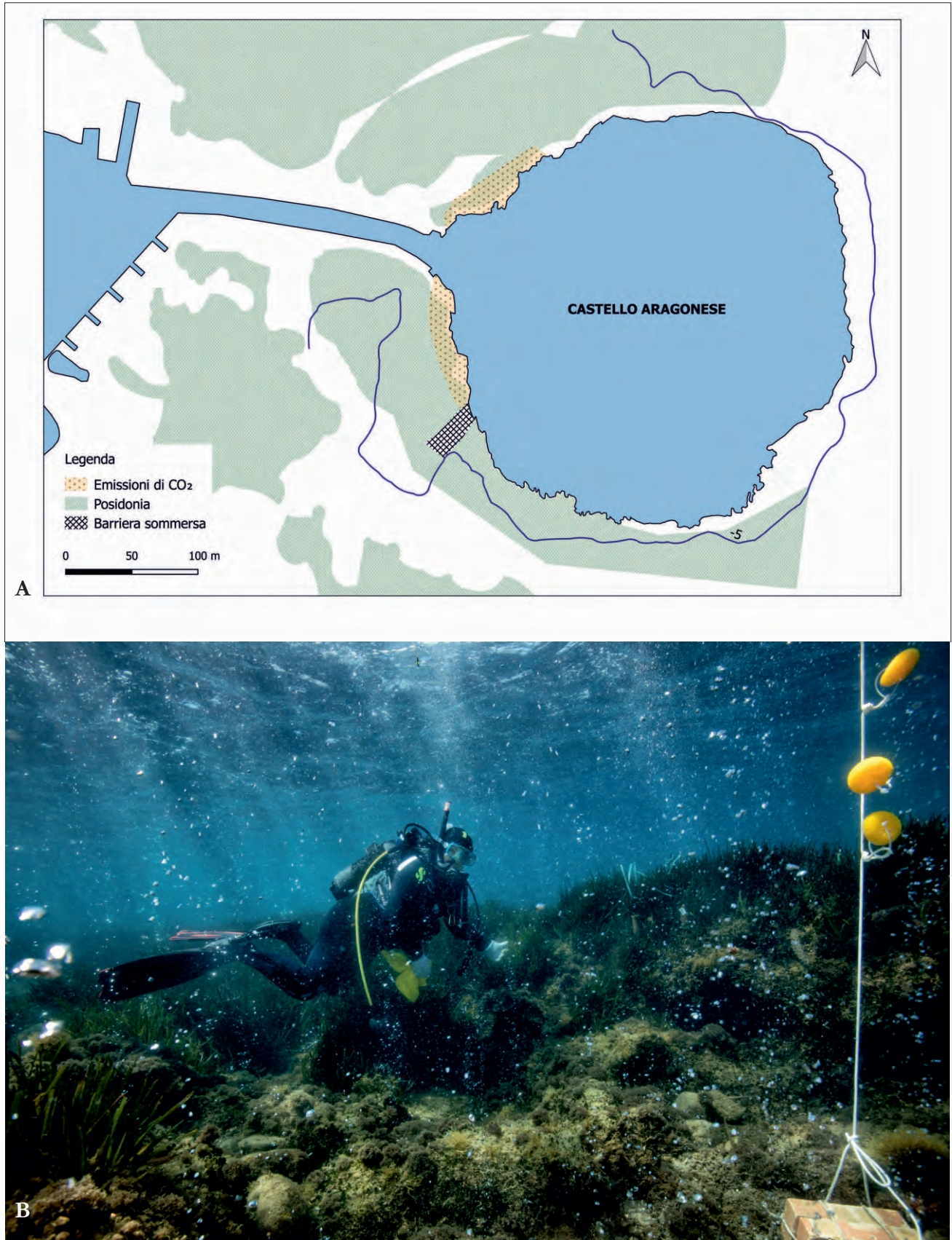


Fig. 1- Castello Aragonese (Ischia): A) mappa GIS del Castello con indicate le zone a nord e sud interessate da emissioni di gas dal fondale (0,5-4 m) (aree rosa chiaro puntinato) e la distribuzione di *Posidonia oceanica* (in verde); B) una foto della zona a massima emissione di gas del lato sud (2 m di profondità); si noti la presenza di *posidonia* attorno alle emissioni (Foto: Vassallo P., copyright: Stazione Zoologica di Napoli).

- Castello Aragonese (Ischia): A) GIS map of the Castello area with indication of the CO₂ vents on the north and south side of the islet (0.5-4 m depth) (dotted pale pink areas) and distribution of the seagrass *Posidonia oceanica* meadows (green); B) a view of the high venting zone on the south side, surrounded by *Posidonia* shoots (Photo: Vassallo P., copyright: Stazione Zoologica di Napoli).

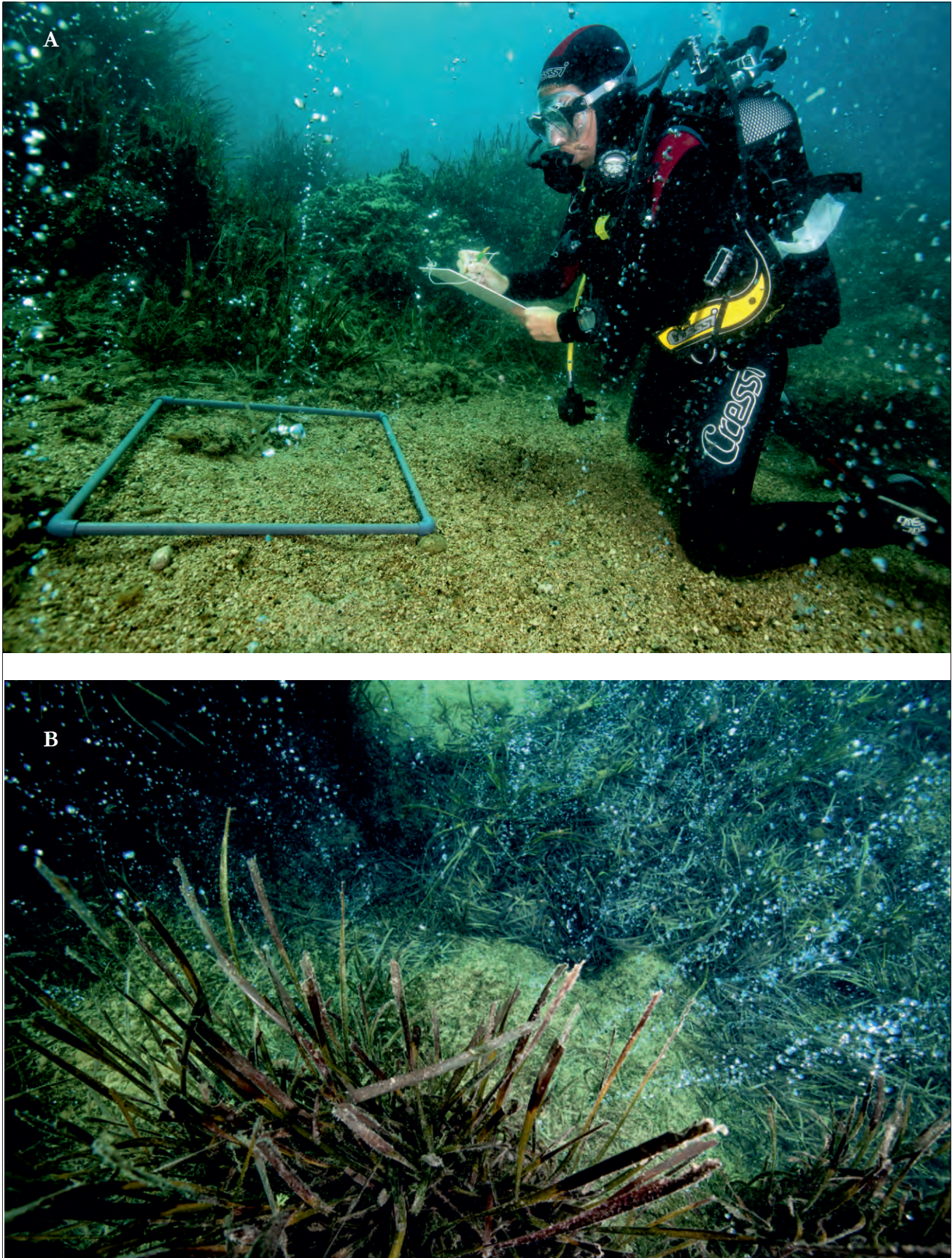


Fig. 2 - La Vullatura (Ischia, 3-6 m di profondità): A) visione della zona di massima emissione di bolle con operatore subacqueo intento alla misura di flusso dei gas; B) visione dall'alto di intense emissioni di bolle in cui è visibile *Posidonia oceanica* e il suo detrito fogliare sul fondo (Foto: Vassallo P., copyright: Stazione Zoologica di Napoli).
 - The Vullatura vent's system (Ischia, 3-6 m depth): A) view of the highest intensity venting zone with a scientific diver measuring the gas flux; B) view of intense gas emissions from above, note the *Posidonia oceanica* seagrass shoots and leaf detritus on the bottom (Photo: Vassallo P., copyright: Stazione Zoologica di Napoli).

“ribollire” (GAMBI, 2014) (fig. 2). L'area, attualmente organizzata come campo di boe in concessione ad una cooperativa di ormeggiatori (Ischia Barche srl), si trova a circa 150 m dalla linea di costa, e a circa 500 m dal lato nord-ovest del Castello Aragonese, allineata sulla stessa linea di faglia che scorre tra il duomo vulcanico del Castello e le coste dell'isola. Il campo fumarolico ha una forma sub-ovale di circa 40 m per 25 m, con una profondità che va da 3 a 6 m. La differenza di profondità è dovuta al fatto che su un fondo di sabbia grossolana a 5-6 m si innalzano ampie zone di prateria di *Posidonia oceanica* insediata su una cospicua *matte* alta da 2 a 3 m, e che forma anche creste e pinnacoli. Le emissioni sono più intense e dense in aree di radura circondate da posidonia (fig. 2), e meno dense nelle zone a posidonia viva e/o *matte* morta. Il gas fuoriesce, come nel sito del Castello, alla stessa temperatura delle acque circostanti. La porzione di posidonia viva ricopre circa il 60% del fondo presente, mentre pochi altri organismi riescono a colonizzare sia il fondo che la *matte* morta di posidonia, tra cui le alghe *Flabellia petiolata* e *Codium bursa*, ed il porifero *Crambe crambe* (GAMBI 2014; GAMBI & TEIXIDO, 2016). Analisi del rapporto isotopico dei gas in questa zona sono reperibili in TEDESCO (1996, indicata come porto S. Antonio), mentre le uniche analisi relative alla composizione del gas disponibili sono quelle effettuate in collaborazione con INGV a seguito dell'evento sismico su Ischia del 21 agosto 2017, che hanno evidenziato il 95.9% di CO₂ e tracce trascurabili di altri gas (<1%, metano, N₂ e O₂) (Italiano F., Pecoraino G. dati inediti). Una valutazione preliminare del pH, misurato in continuo *in situ*, ha evidenziato una notevole variabilità nella zona ad emissione più intensa, con valori che per il 90% sono al disotto della normalità (8.10), e che possono scendere anche a 6,4-6,2, con ampie fluttuazioni nell'arco della giornata (Teixido N. e Gambi M.C., dati inediti), probabilmente anche in questo caso in relazione a condizioni idrografiche locali ed all'attività di buffering del pH per la produzione di ossigeno per fotosintesi da parte delle dense coperture di posidonia che circondano le emissioni stesse.

4. - LE CHIANE DEL LUME

Le Chiane del Lume (fig. 3), si trovano lungo la costa est dell'isola d'Ischia tra la grotta del Mago e la Baia di Cartaromana (40°42.919'N; 13°58.009'E), circa 200 m fuori Punta del Lume. Si tratta di un campo fumarolico documentato sia da testimonianze di uomini di mare e subacquei locali (Rando V., Sorvino P., Lauro G.) che da elaborazioni cartografiche più recenti, quali il progetto CARG della Regione Campania (foglio 464, SBRANA & TOCCACELI, 2011), e pubblicazioni (GAMBI, 2014).

Il sito è costituito da un'ampia radura detritica posta tra 10 e 12 m di profondità, larga circa 25 m

e lunga circa 50 m, e circondata quasi totalmente da ampie macchie di *Posidonia oceanica* insediata su una *matte* alta circa 50-60 cm (fig. 3). Su un lato della radura è presente un banco roccioso (fig. 3b) lungo circa 20 m e ad una estremità del quale è presente un pinnacolo che si innalza da 10 a 4 m di profondità. Le emissioni gassose sono molto dense, caratterizzate da bolle molto piccole e con fuoriuscita continua ed una distribuzione spaziale uniforme e diffusa (fig. 3a); le emissioni sono facilmente rilevabili anche dalla superficie mediante un comune ecoscandaglio, poiché determinano un fenomeno di interferenza con l'ecoriflesso dello strumento stesso.

Analisi della composizione dei gas emessi, svolte ad agosto 2017 in collaborazione con l'INGV a seguito dell'evento sismico su Ischia del 21 agosto 2017, attestano una composizione chimica delle emissioni rappresentata per circa il 95% da CO₂, ed altri elementi in tracce (<1%, es. CH₄, O₂, N₂) (Italiano F., Pecoraino G., dati inediti). La temperatura del gas emesso risulta anche in questo caso analoga a quella delle acque dell'ambiente circostante.

Alcune misurazioni del pH, effettuate *in situ* in continuo, confermano la presenza di un moderato effetto di acidificazione, con valori di pH che nel 70% circa dei rilievi risultano al di sotto dei valori normali riscontrati in ambiente marino mediterraneo (pH > 8,10), con valori medi attorno 7,90 e con alcuni picchi minimi di 7,20 (<http://highco2seas.com/>) (Teixido N. e Gambi M.C., dati inediti). Gli habitat che è possibile rinvenire nell'area sono sia la prateria di posidonia che i popolamenti fotofili di fondi rocciosi presenti lungo il banco roccioso che definisce uno dei lati del campo fumarolico (GAMBI, 2014). Osservazioni con ecoscandaglio, informazioni aneddotiche di pescatori e subacquei locali, ed una immersione di uno degli Autori (GAMBI M.C.), nonché un rilievo presente nella carta CARG, foglio 464 di SBRANA & TOCCACELI (2011), indicano che sia a nord delle Chiane (verso la grotta del Mago), sia a sud (verso Cartaromana) vi sono altri due campi fumarolici meno estesi e con caratteristiche simili alle Chiane del Lume, cioè radure di sedimenti detritici circondate da posidonia (GAMBI, 2014).

5. - LA GROTTA DEL MAGO

La grotta del Mago (fig. 4), situata sul lato sud-est dell'isola d'Ischia (40°42.698'N; 13°57.851'E), è una cospicua cavità semisommersa lungo tutto il suo sviluppo, che si estende per circa 110 m di lunghezza, ed è costituita da una grande camera iniziale di ingresso (circa 40 m di lunghezza) che immette in uno stretto corridoio il quale termina con una camera finale più piccola e completamente oscura (circa 60 m di lunghezza) (fig. 4). Per tutto lo sviluppo della cavità vi è sempre comunicazione con la superficie e la grotta è accessibile anche in *snorkeling*. Questa cavità semisommersa, formatasi

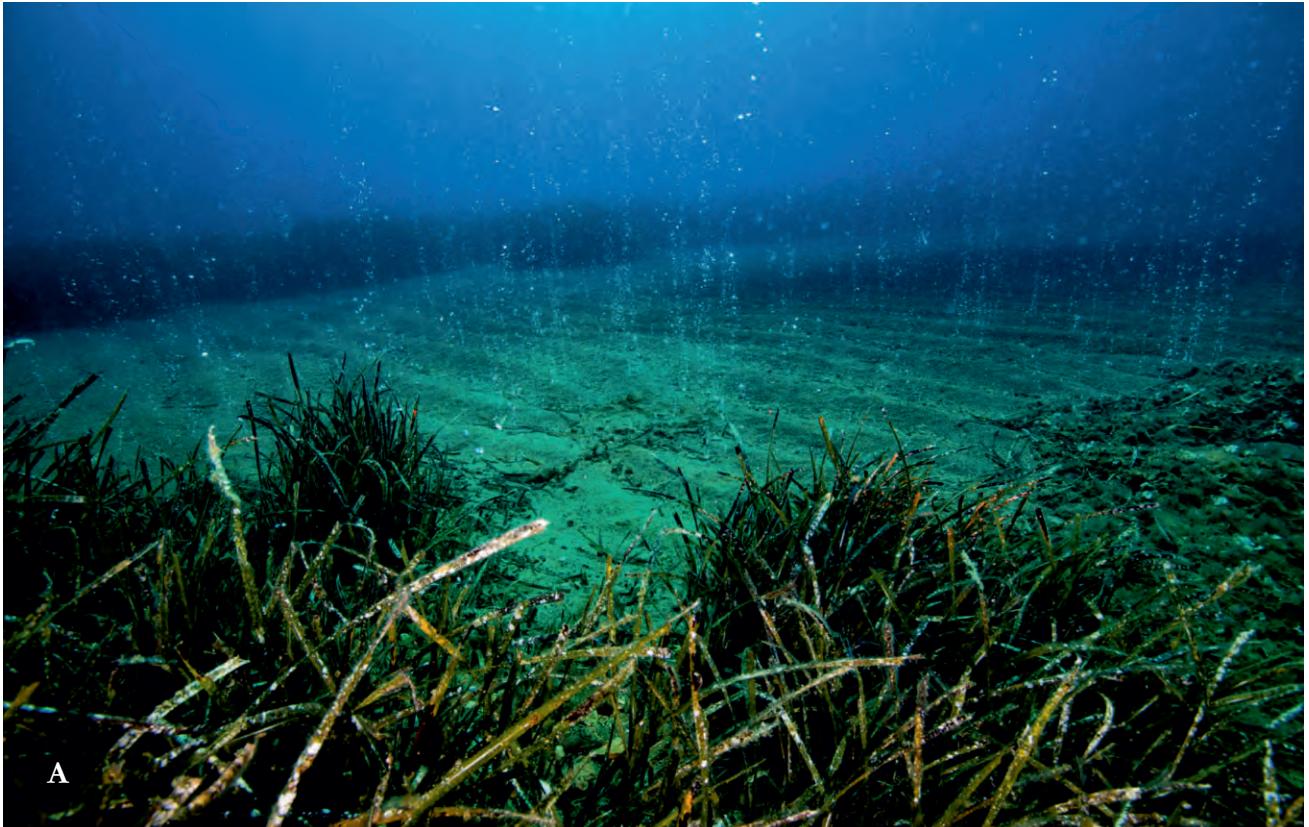


Fig. 3 - Le Chiane del Lume (Ischia, 10-12 m di profondità): emissioni di CO₂ su radura detritica circondata da *Posidonia oceanica* (A, foto: Vassallo P., copyright: Stazione Zoologica di Napoli) e da un banco roccioso (B, foto: Teixido N.).

- The CO₂ vent's system of the Chiane del Lume (Ischia, 10-12 m depth) on a coarse detritus clearing surrounded by *Posidonia oceanica* meadows (A, photo: Vassallo P., copyright: Stazione Zoologica di Napoli), and a rocky bank (B, photo: Teixido N.).

in seguito all'azione erosiva del mare su materiali eruttivi inseriti in una matrice trachitica più friabile (FRIEDLANDER, 1938), rappresenta uno dei primi sistemi di grotta investigati in Italia per studiare gli

effetti dei gradienti di idrodinamismo e luce sui popolamenti bentonici (CINELLI *et alii*, 1977; GAMBI *et alii*, 2003). La grotta infatti è molto esposta all'azione del moto ondoso, come testimoniato dai notevoli

ripple-mark riscontrabili sui fondi sabbiosi nella camera grande di ingresso e nella prima parte dello stretto corridoio che conduce alla camera interna.

Nel complesso dei lavori svolti sui popolamenti del sito (sintetizzati in GAMBÌ *et alii*, 2003) sono state rilevate 353 specie tra alghe ed invertebrati bentonici; i popolamenti di fondo duro della grotta sono dominati, soprattutto nella camera grande di ingresso, da una facies del madreporario termofilo *Astroides calycularis* (madrepora arancione) (DAPPIANO & GAMBÌ, 2004) e da alcune specie abbondanti di poriferi (es., *Chondrosia reniformis*, *Chondrilla nucula*, *Spirastrella cunctatrix*, *Ircinia oros*), alcune delle quali con colonie decolorate in corrispondenza delle porzioni più interne della cavità meno esposte alla luce (fig. 4c).

Sul fondo della camera grande di ingresso della grotta (6-7 m di profondità) (CE in fig. 4a) caratterizzato da ghiaia e sabbia grossolana, affioramenti rocciosi e massi sparsi, sono presenti emissioni gassose continue e diffuse che fuoriescono alla stessa temperatura delle acque circostanti. Le emissioni sono presenti anche in una limitata area antistante la camera di ingresso (CE)

ed all'inizio del corridoio (C), mentre scompaiono inoltrandosi in direzione della camera più interna (CI) della grotta. Come confermato da comunicazioni personali di ricercatori che in passato hanno lavorato in questa zona (Pronzato R., Pansini M., Cinelli F.), si tratta di emissioni già note negli anni '70, ma che non erano così estese e cospicue come adesso (Gambi M.C., osservazione personale). La grotta del Mago è uno dei siti considerati da TEDESCO (1996) nello studio sulla composizione isotopica dei gas fumarolici di Ischia, mentre recenti analisi condotte nell'area ad agosto 2017, in collaborazione con l'INGV a seguito dell'evento sismico su Ischia del 21 agosto 2017, attestano una composizione chimica delle emissioni costituita per circa il 95% da CO₂ ed altri elementi in tracce (<1%, CH₄, O₂, N₂) (Italiano F., Pecoraino G., *et alii*, dati inediti). Misure di pH condotte *in situ* in continuo confermano un effetto di acidificazione piuttosto consistente ed uniforme all'interno della camera grande di ingresso della grotta (con valori quasi sempre inferiori a 8.0 e con picchi minimi anche prossimi a 7.0) (Teixido N. e Gambi M.C., dati inediti). Le peculiarità sopra

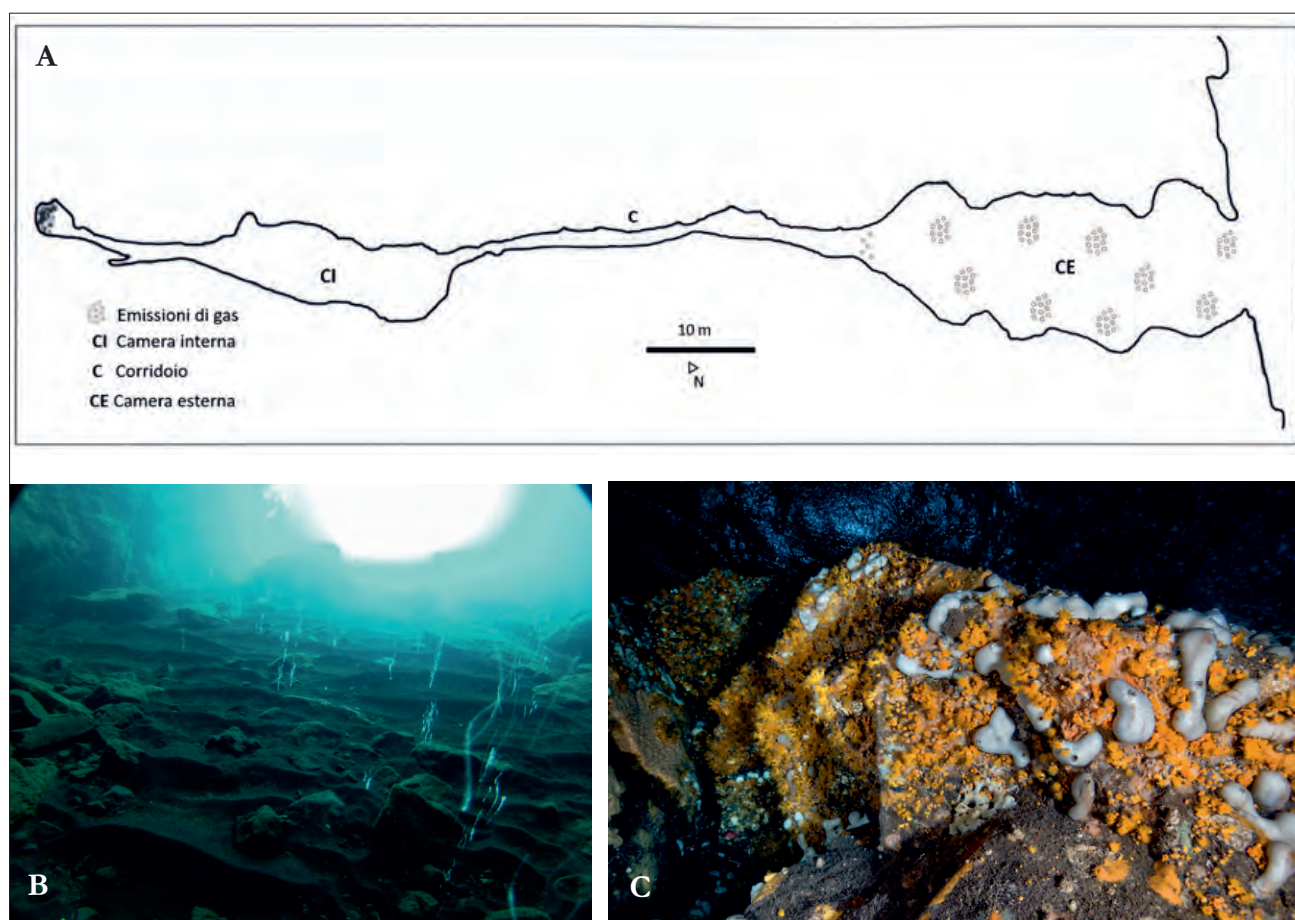


Fig. 4 - La grotta del Mago (Ischia, 6-7 m di profondità): A) visione dall'alto della planimetria della grotta, (da CINELLI *et alii*, 1977, modificato), con indicata la zona di emissione di gas (CO₂); B) emissioni di CO₂ sul fondale della camera esterna (Foto: Gambi M.C.); C) popolamenti ad *Astroides calycularis* (madrepora arancione) e poriferi nelle pareti della camera grande di ingresso (Foto: Vassallo P., copyright: Stazione Zoologica di Napoli).

- The Mago's Cave (Ischia, 6-7 m depth) A) planimetric map from above (from CINELLI *et alii*, 1977, modified); with location of the CO₂ emissions; B) emission of gas from the sandy bottom of the large chamber of entrance of the cave (Photo: Gambi M.C.); C) the orange scleractinia *Astroides calycularis* and sponges on the walls of the cave's large chamber of entrance (Photo: Vassallo P., copyright: Stazione Zoologica di Napoli).

indicate fanno della grotta del Mago un laboratorio naturale per lo studio degli effetti dell'acidificazione su comunità ed habitat sciafili, cioè in condizioni di semi-oscurità. Tuttora sono in corso studi volti a indagare composizione e struttura dei popolamenti bentonici, e grado di adattamento eco-fisiologico e genetico delle popolazioni di *Astroides calycularis* in risposta all'effetto di acidificazione dovuto alle emissioni di CO₂ (<http://highco2seas.com/>).

6. - LA SECCA DELLA MADONNINA

La Secca della Madonnina (40°43.291'N; 13°58.865'E) è il sito più profondo in cui finora sono state documentate emissioni gassose attorno all'isola d'Ischia per osservazione diretta in immersione subacquea (GAMBI, 2014). Il sito prende il nome dal fatto che in un anfratto della parete, a 43 m di profondità, un subacqueo abbia collocato una piccola statua di bronzo raffigurante la Madonna quale ex-voto. La secca, situata nel canale tra Ischia e Procida, è soggetta a forti correnti, e si trova ad una distanza di circa 400 m dal complesso delle secche della Catena-Pertuso, queste ultime inserite all'interno della zona A (riserva integrale) dell'AMP del Regno di Nettuno (<https://www.nettunoamp.org/>); la Madonnina si trova invece per poche decine di metri fuori da tale zona A. La secca si estende ad una profondità compresa tra 36 e 48 m, ed è costituita da due grandi faraglioni a sommità piatta (cappello) (GAMBI, 2014). Le emissioni di gas si trovano su un fondo di sabbia grossolana a 47-48 m di profondità e si estendono su un'area di circa 25 m di lunghezza e 3-4 m di larghezza dalle pareti rocciose. L'area interessata dalla fuoriuscita di gas si trova ad un'estremità dei due faraglioni, le bolle escono in modo continuo e spazialmente uniforme, ed alla stessa temperatura delle acque circostanti. I due faraglioni risultano pressoché spogli di popolamenti bentonici, soprattutto nella sommità piatta del "cappello", sebbene l'habitat che ci si aspetterebbe di trovare a queste profondità e condizioni idrologiche dovrebbe essere quello tipico del coralligeno Mediterraneo, come infatti si osserva nelle secche attigue alla Madonnina di Catena e Pertuso (GAMBI *et alii*, 2003). Le pareti sia verticali che orizzontali del "cappello" della secca risultano molto povere e il coralligeno è privo dei tipici organismi strutturanti cospicui quali gorgonie (*Paramuricea*, *Eunicella* spp., *Leptogorgia*, *Savalia*), briozoi, spugne perforanti. Gli organismi biocostruttori sono limitati ad alghe coralline incrostanti, con formazioni comunque non cospicue e poco consistenti ed alla spugna *Aplysina cavernicola* (GAMBI, 2014; GAMBI & TEIXIDO, 2016). In questo sito le poche misure *in situ* del pH disponibili, effettuate sul "cappello" della secca a 36 m, evidenziano livelli molto modesti di acidificazione con valori che oscillano da 8,04 e 8,12. Non è stato possibile prelevare ancora gas da questa zona

molto profonda (-48 m), tuttavia, per analogia con quanto osservato in altri sistemi di emissione analoghi ma più superficiali localizzati nello stesso settore nord-est dell'isola di Ischia, si può ipotizzare che anche alla Madonnina il gas sia a dominanza di CO₂.

7. - MARINA DI LACCO AMENO

Il sito si trova all'interno del porto turistico della Marina di Lacco Ameno, un approdo per 300 posti barca costruito nel 2013, che si trova all'ingresso dell'abitato di Lacco Ameno (Ischia) provenendo dal vicino comune di Casamicciola. Le emissioni si sviluppano lungo una direttrice lineare per circa 115 m che scorre parallela alla linea di costa e localizzata tra la massicciata rocciosa della strada (parcheggio comunale di Lacco Ameno) e il primo molo galleggiante (orientato a sud) per ormeggi (40°45.140'N; 13°53.546'E e 40°45.117'N, 13°53.621'E). La profondità va da 0,5 a circa 1,2 m ed il fondale è di sabbia frammista a pietre e modesti affioramenti rocciosi. Il gas, che non è stato prelevato ed analizzato essendo in zona portuale, è presumibilmente composto da CO₂ come la maggior parte delle emissioni sommerse di Ischia (TEDESCO, 1996; HALL-SPENCER *et alii*, 2008; Italiano F., Pecoraino G., dati inediti). Le bolle fuoriescono in modo intermittente e discontinuo dal fondo, meno regolare rispetto a quanto si rileva in altri siti attorno ad Ischia. Una perlustrazione visiva su tutto il porto turistico ha permesso di rilevare la presenza sporadica di emissioni anche in altre aree della zona portuale lungo la banchina a nord e su profondità maggiori (3-4 m). Questo indica che tutta l'area può essere in varia misura interessata da emissioni, ma la presenza del porto ne limita la possibilità di accesso ed ispezione in immersione.

8. - SPIAGGIA DI CHIAIA (FORIO)

La zona di emissione si trova di fronte alla spiaggia di Chiaia, nel Comune di Forio, ed è localizzata nel passaggio tra le prime due scogliere artificiali (a partire dal lato di sud-ovest della spiaggia stessa, provenendo dall'abitato di Forio) che si estendono parallele alla costa, a circa 65 m dalla riva, ed a protezione della spiaggia stessa (40°44.526'N; 13°51.810'E). Il campo fumarolico è uno dei pochi siti sommersi di emissione di gas presente nel settore occidentale dell'isola d'Ischia, dove invece sono più frequenti le fumarole a terra (TEDESCO, 1996). L'estensione delle bolle è molto modesta interessando una zona di circa 10 x 15 m di ampiezza, ed è localizzata su un fondale di sabbia adiacente alla franata di massi della prima delle due barriere artificiali a 2,5-3 m di profondità. Le bolle, che sono di dimensioni relativamente grandi, escono in modo discontinuo ed intermittente dal fondale. Campionamento ed analisi del gas sono

stati effettuati anche in questo sito nell'agosto del 2017, in collaborazione con INGV a seguito dell'evento sismico su Ischia del 21 agosto 2017, ed hanno evidenziato valori di CO₂ del 40,54% e di metano (CH₄) del 5,88% (Italiano F., Pecoraino G., dati inediti), valori entrambi che si discostano molto da quelli di altre emissioni sommerse di Ischia in cui domina la CO₂, con oltre il 90%, ed il metano è solo in tracce (<1%).

Ringraziamenti

Si ringraziano i geologi Italiano F. e Pecoraino G. (INGV, Palermo) per aver permesso la citazione dei dati preliminari di composizione dei gas dei sistemi descritti. Un ringraziamento al Sig. Lauro G. ed alla società cooperativa "Ischia Barchè" per l'accesso al sito della Vullatura. Parte delle osservazioni sui sistemi descritti sono state svolte nell'ambito di due progetti: "Window to the future" - finanziato dalla National Geographic Society - e High-CO₂ Seas - finanziato dalla Total Foundation.

Un ringraziamento speciale ai Sig.ri Angelo Miragliuolo (Casamicciola) e Michelangelo Calise (Forio) per averci segnalato, sul sito <https://www.citizensciencerdn.org>, la presenza dei campi fumarolici della Marina di Lacco e della spiaggia di Chiaia, rispettivamente.

BIBLIOGRAFIA

- CHIODINI G., AVINO R., BROMBACH T., CALIRO S., CARDELLINI C., DE VITA S., FRONDI F., MAROTTA E. & VENTURA G. (2004) - *Fumarolic and diffuse soil degassing west to Mount Epomeo, Ischia (Italy)*. J. Vulcan. Geother. Res., **133**: 291-309.
- CINELLI F., FRESI E., MAZZELLA L., PANSINI M., PRONZATO R. & SVOBODA A. (1977) - *Distribution of benthic phyto- and zoocenoses along a light gradient in a superficial marine cave*. In: KEEGAN B.F., O'CEIDIG P.O. & BOADEN P.J.S. (Eds): *Biology of Benthic organisms*, Pergamon Press, Oxford: 173-183.
- DAPPIANO M. & GAMBÌ M.C. (2004) - *New data on occurrence of thermophile scleractinia (Cnidaria, Antozoa) in the Phlaegrean islands (Ischia, Procida, Vivara - Gulf of Naples), with special attention to Astroidescalycularis*. In: *Marine Biogeography of the Mediterranean Sea: patterns and dynamics of biodiversity*. Part II, Biogeographia, **25**: 31-46.
- DE ALTERIIS G., TONIELLI R., PASSARO S. & DE LAURO M. (2006) - *Isole Flegree (Ischia e Procida). Serie batimetrica dei fondali della Campania con carta allegata alla scala 1:30.000*. Liguori Editore, Napoli, pp. 73.
- DE ALTERIIS G., INSINGA D.D., MORABITO S., MORRA V., CHIOCCI F.L., TERRASI F., LUBRITTO C., DI BENEDETTO C. & PAZZANESE M. (2010) - *Age and submarine debris avalanches and tephrostratigraphy off shore Ischia Island, Tyrrhenian Sea, Italy*. Mar. Geol., **277**(1-4): 48-60.
- FRIEDLANDER I. (1938) - *Sui bradisismi dell'isola di Ischia e sulla "Grotta del Mago"*. Boll. Reg. Soc. Geogr. It., **3**(1), 4-54.
- FOO S.A., BYRNE M., RICEVUTO E. & GAMBÌ M.C. (2018) - *The carbon dioxide vents of Ischia, Italy, a natural laboratory to assess impacts of ocean acidification on marine ecosystems: an overview of research and comparisons with other vent systems*. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., **56**: 236-310.
- GAGLIOTI M., RICEVUTO E. & GAMBÌ M.C. (2018) - *Pattern and first map of biodiversity related to ocean acidification in CO₂ vents of Ischia*. Biol. Mar. Mediterr. (in press).
- GAMBÌ M.C. (2014) - *Emissioni sommerse di CO₂ lungo le coste dell'isola d'Ischia. Rilievi su altre aree come possibili laboratori naturali per lo studio dell'acidificazione e cambiamento climatico a mare*. Notiziario S.I.B.M., **66**: 67-79 (www.sibm.it).
- GAMBÌ M.C., DE LAURO M. & JANNUZZI F. (Eds) (2003) - *Ambiente marino costiero e territorio delle isole Flegree (Ischia Procida Vivara - Golfo di Napoli). Risultati di uno studio multidisciplinare*. Soc. Naz. Sci., Lett. Arti Napoli, Mem. Accad. Sci. Fisic. Matem., **5**: pp. 425, Liguori Editore, Napoli.
- GAMBÌ M.C. & RICEVUTO E. (2012) - "Messages in the bubbles". *Il Geosito marino del Castello Aragonese di Ischia (Napoli): relazioni tra geologia e biologia in rapporto al cambiamento climatico*. In: D'ANGELO S. & FIORENTINO A. (a cura di): *Contributi al Meeting Marino 25-26 ottobre 2012*. Atti ISPRA, Roma: 89-96, (www.isprambiente.gov.it/it/publicazioni/atti).
- GAMBÌ M.C. & TEIXIDO N. (2016) - *Un'isola laboratorio per lo studio dell'acidificazione marina*. In: *Il Vulcano Ischia, Ambiente, Rischio, Comunicazione*, **11**: 46-52.
- HALL-SPENCER J.M., RODOLFO-METALPA R., MARTIN S., RANSOME E., FINE M., TURNER S.M., ROWLEY S.J., TEDESCO D. & BUIA M.C. (2008) - *Volcanic carbon dioxide vents show ecosystem effects of ocean acidification*. Nature, **454**: 96-99.
- KROEKER K.J., MICHELI F., GAMBÌ M.C. & MARTZ T.R. (2011) - *Divergent ecosystem responses within a benthic marine community to ocean acidification*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, **108**(35), 14515-14520.
- MONTI L. (2011) - *Isola d'Ischia. Guida geologico-ambientale*. Regione Campania, Assessorato Difesa del Suolo, Litografia Artistica Cartografica, Firenze: pp. 356.
- PECORAINO G., BRUSCA L., D'ALESSANDRO W., GIAMMARCO S., INGUACCHIATO S. & LONGO M. (2005) - *Total CO₂ output from Ischia Island volcano (Italy)*. Geochem. Journ., **39**: 451-458.
- RICEVUTO E., KROEKER K.J., FERRIGNO F., MICHELI F. & GAMBÌ M.C. (2014) - *Spatio-temporal variability of polychaete colonization at volcanic CO₂ vents (Italy) indicates high tolerance to ocean acidification*. Mar. Biol., **161**(12): 2909-2919.
- RITTMANN A. & GOTTINI V. (1980) - *L'Isola d'Ischia. Geologia*. Boll. Serv. Geol. d'It., **101**(1981): 131-274, IPZS, Roma.
- SBRANA A. & TOCCACELI R.M. (a cura di) (2011) - *Carta Geologica della Regione Campania - Foglio n. 464 Isola di Ischia*. Regione Campania Assessorato Difesa del Suolo, Litografia Artistica Cartografia, Firenze: pp. 216 + carta alla scala 1.10.000.
- TEDESCO D. (1996) - *Chemical and isotopic investigation of fumarolic gases from Ischia Island (Southern Italy): evidence of magmatic and crustal contribution*. J. Vulcanol. Geother. Res., **74**: 233-242.

Siti web consultati:

- <https://www.nettunoamp.org/> (accesso 10/02/2019).
<http://highco2seas.com/> (accesso 10/02/2019).
<https://www.citizensciencerdn.org/> (accesso 10/02/2019).

