

Rapporti tecnici INGV

Primi tentativi di monitoraggio dei resti sottomarini dell'eruzione che nel 1831 costruì l'Isola Ferdinandea nel Canale di Sicilia

125



Direttore

Enzo Boschi

Editorial Board

Raffaele Azzaro (CT)

Sara Barsotti (PI)

Mario Castellano (NA)

Viviana Castelli (BO)

Anna Grazia Chiodetti (AC)

Rosa Anna Corsaro (CT)

Luigi Cucci (RM1)

Mauro Di Vito (NA)

Marcello Liotta (PA)

Lucia Margheriti (CNT)

Simona Masina (BO)

Nicola Pagliuca (RM1)

Salvatore Stramondo (CNT)

Andrea Tertulliani - coordinatore (RM1)

Aldo Winkler (RM2)

Gaetano Zonno (MI)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano - coordinatore

Tel. +39 06 51860068

Fax +39 06 36915617

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860055

Fax +39 06 36915617

redazionecen@ingv.it



Rapporti tecnici INGV

PRIMI TENTATIVI DI MONITORAGGIO DEI RESTI SOTTOMARINI DELL'ERUZIONE CHE NEL 1831 COSTRUÌ L'ISOLA FERDINANDEA NEL CANALE DI SICILIA

Gaspare Falautano¹, Giuseppe Falzone², Gianni Lanzafame², Domenico Macaluso¹,
Michele Niosi³, Piermaria Rossi⁴

¹**Lega Navale Italiana** (Sezione di Sciacca)

²**INGV** (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Catania)

³**Corpo delle Capitanerie di Porto** (Guardia Costiera, Porto Empedocle)

⁴**Università di Bologna** (Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-Ambientali)

125

Indice

Introduzione.....	5
1. L'eruzione del Ferdinandea	7
2. Il monitoraggio dell'aria sommersa del Ferdinandea.....	8
3. Conclusioni	11
Bibliografia.....	13

Introduzione

Tra la Sicilia e l’Africa, il Mediterraneo centrale è caratterizzato dall’allineamento dei bacini subsidenti di Pantelleria, Linosa e Malta che, nel loro insieme, sono organizzati a formare il Canale di Sicilia (fig. 1), una vasta struttura fisiografica e tettonica, allungata in direzione NW-SE. I bacini ed il canale che ne deriva, sono ubicati in corrispondenza del bordo settentrionale dell’avampaese africano, a crosta continentale leggermente assottigliata (22 km), e sono controllati da un sistema di faglie principali, orientate anche esse NW-SE. Il canale è il prodotto della convergenza tra l’Africa e l’Europa la quale, dopo aver formato il segmento appenninico-maghrebide della catena alpina, a partire dalla fine del Miocene, porta i due continenti a collidere lungo una traiettoria circa nord-sud. Secondo le idee più condivise [Illies, 1981; Boccaletti *et al.*, 1987; Civile *et al.*, 2008], il canale è l’espressione di un sistema tettonico destra-transensivo, obliquo rispetto alla traiettoria di convergenza tra le due masse continentali.

Le faglie che individuano e bordano i bacini sono sede di subsidenze veramente importanti, che superano 3.000 m nella fossa di Linosa [Colantoni, 1975; Calanchi *et al.*, 1989]. È pertanto evidente che queste discontinuità attraversino l’intera litosfera e forniscano facili vie di risalita a magmi profondi. Così, a partire da circa 8 milioni di anni fa [Beccaluva *et al.*, 1981], nel canale si è manifestato un diffuso vulcanismo toleittico, alcalino e peralcalino [Calanchi *et al.*, 1989; Rotolo *et al.*, 2006], che ha costruito le due isole vulcaniche di Pantelleria e Linosa ed un numero elevato di centri eruttivi sottomarini. Il vulcanismo è ancora attivo e le eruzioni storiche sono tutte sottomarine; per alcune di esse esistono solo indicazioni vaghe, altre sono state segnalate ma mai controllate; si hanno notizie certe solo delle due eruzioni che sono riuscite ad emergere dal mare, diventare subaeree e costruire le isole effimere di Ferdinandea (1831) e Foerstner (1891).

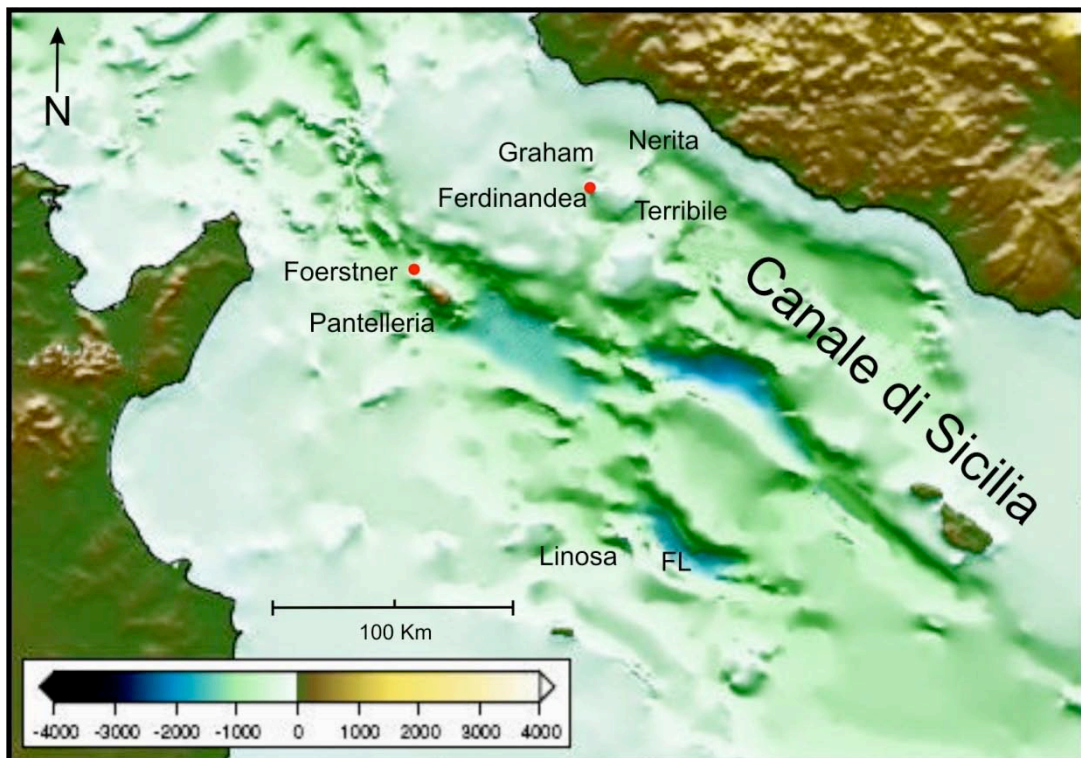


Figura 1. Schema bati-morfologico del Canale di Sicilia; la scala cromatica esprime la profondità in metri. Modificato da General Bathymetric Chart of the Oceans, 2003.

L'eruzione di Foerstner è stata alimentata da un centro situato sulla parte sommersa del complesso vulcanico di Pantelleria, 4 km circa a nord-ovest dell'isola. Il vulcano Ferdinandea si è manifestato sul Banco Graham (-6,9 m) che, insieme ai Banchi Nerita (-16,5 m) e Terribile (-20 m), costituisce un ampio rilievo sottomarino dalla forma di un irregolare ferro di cavallo aperto verso NNW. Questo rilievo si innalza dal fondale marino profondo fino a quasi 500 m, si trova circa 20 km a sud della costa, domina la piattaforma

continentale siciliana prospiciente Sciacca (fig. 1) e rappresenta probabilmente un edificio vulcanico. In questo contesto fisiografico, infatti, i rilievi bati-morfologici [Gabbianelli *et al.*, 2007] hanno mostrato che il vulcano Ferdinandea non è isolato ma si iscrive in un sistema maggiore che, nel raggio di circa 5 chilometri, è costituito da una decina di edifici ben strutturati e di dimensioni molto variabili. In particolare, il cono in eruzione nel 1831 fa parte di un edificio composto, costituito da una base comune su cui si innalzano due grandi coni coalescenti, segnati da un campo fumarolico [Cutrone *et al.*, 2006] che dal fianco settentrionale dell'edificio si sviluppa verso nord per oltre 3 km, attraverso l'adiacente fondo marino non vulcanico [Sanfilippo, Lanzafame, 2006]. Le fumarole (fig. 2) hanno una portata veramente molto alta e danno origine a violente emissioni gassose sotto forma di catene di bolle, le quali salgono per decine e decine di metri, formando dense colonne, larghe 20-30 m, ed alte fino a 80-90 m.

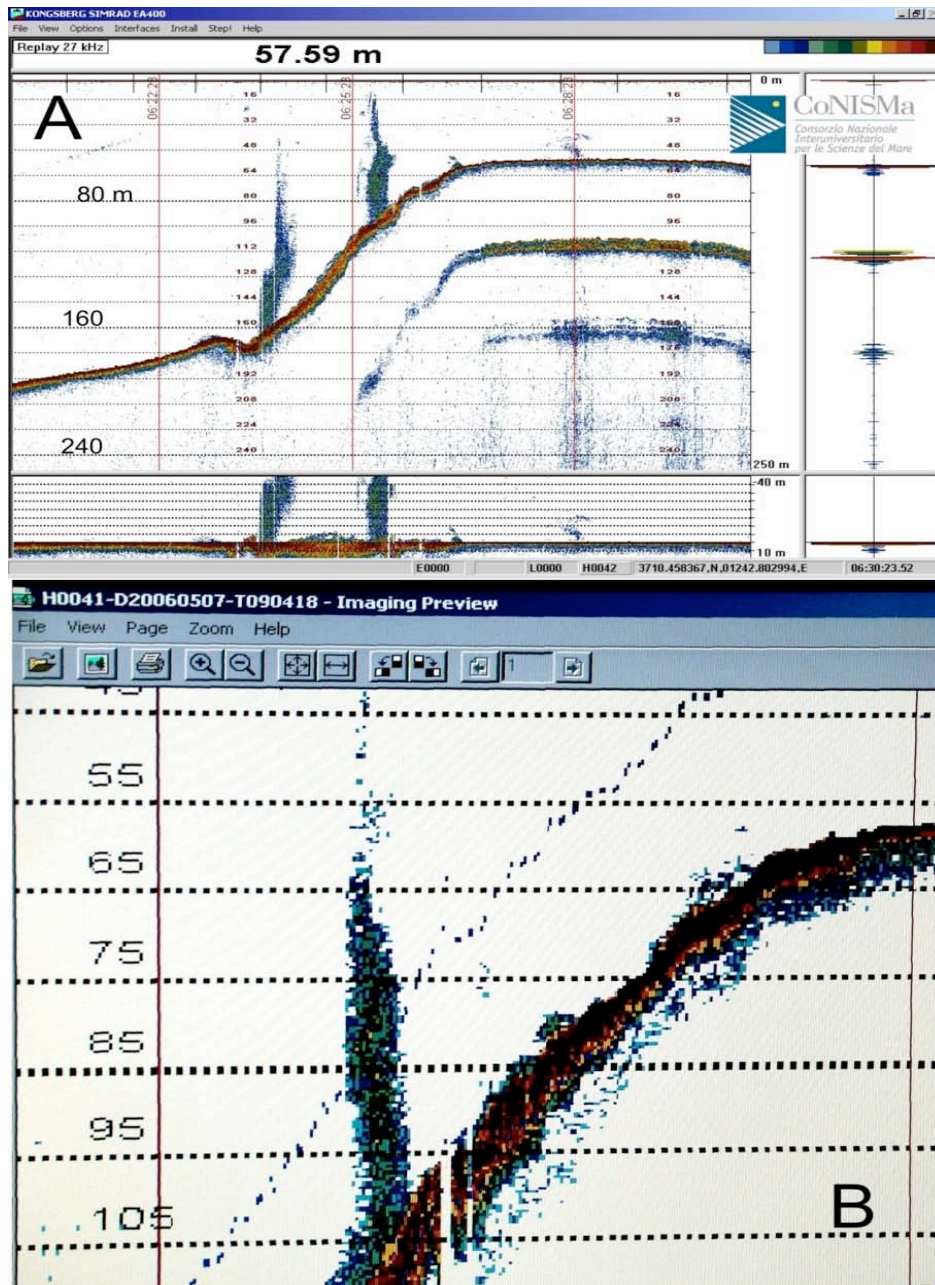


Figura 2. Profili sonar evidenziano alcune fumarole sul fianco settentrionale del complesso del Ferdinandea. Si tratta di vere eruzioni gassose ad alta pressione che scaturiscono da differenti profondità (–96 e –160 m in A; –105 m in B) e sostengono dense colonne di bolle, larghe 20-30 m ed alte fino a 80-90 m.

Estendendo i rilievi bati-morfologici [Cutrone *et al.*, 2006] dal Banco Graham fino al Terribile, è emerso che il fondo marino, profondo da circa -200 m in prossimità del Ferdinanda, ai -20 m del Terribile, è sede di numerosi piccoli edifici vulcanici il cui eccellente stato di conservazione sembra testimoniare eruzioni molto vicine a noi nel tempo. A proposito del Banco Nerita, non abbiamo informazioni sufficienti per estendere la presenza di vulcanesimo a questo banco o escluderla. I rilievi [Gabbianelli *et al.*, 2007] mostrano però 1) che il Nerita, il Graham ed il Terribile, gli ultimi due sicuramente sede di attività vulcanica, costituiscono con evidenza un unico elemento fisiografico; 2) che sul Nerita, in particolare sulla sua terminazione settentrionale, sono presenti forme coniche più o meno regolari, di varie dimensioni le quali, facilmente, potrebbero essere ricondotte ad edifici vulcanici.

1. L'eruzione del Ferdinanda

L'ultima settimana del giugno 1831, l'eruzione sottomarina che costruì l'Isola Ferdinanda fu annunciata da terremoti, avvertiti in tutta la Sicilia occidentale e che a Sciacca causarono lesioni alle abitazioni e caduta di calcinacci; gli ultimi giorni dello stesso mese, furono viste alte fiamme nel mare; infine il 7 luglio, F. Trefiletti, comandante del *Gustavo*, 33 miglia a sud-ovest di Sciacca, per primo segnalò l'isola, alta 30 palmi sul pelo del mare, che «*sputa cenere e lapilli*». Di notte l'attività, ormai subaerea, era ben visibile da Sciacca, Menfi, Mazzara, Marsala e l'eruzione costruì un'isola che, alla fine, risulterà alta 60 m, larga poco meno di 300 e con un perimetro di quasi 1 km.

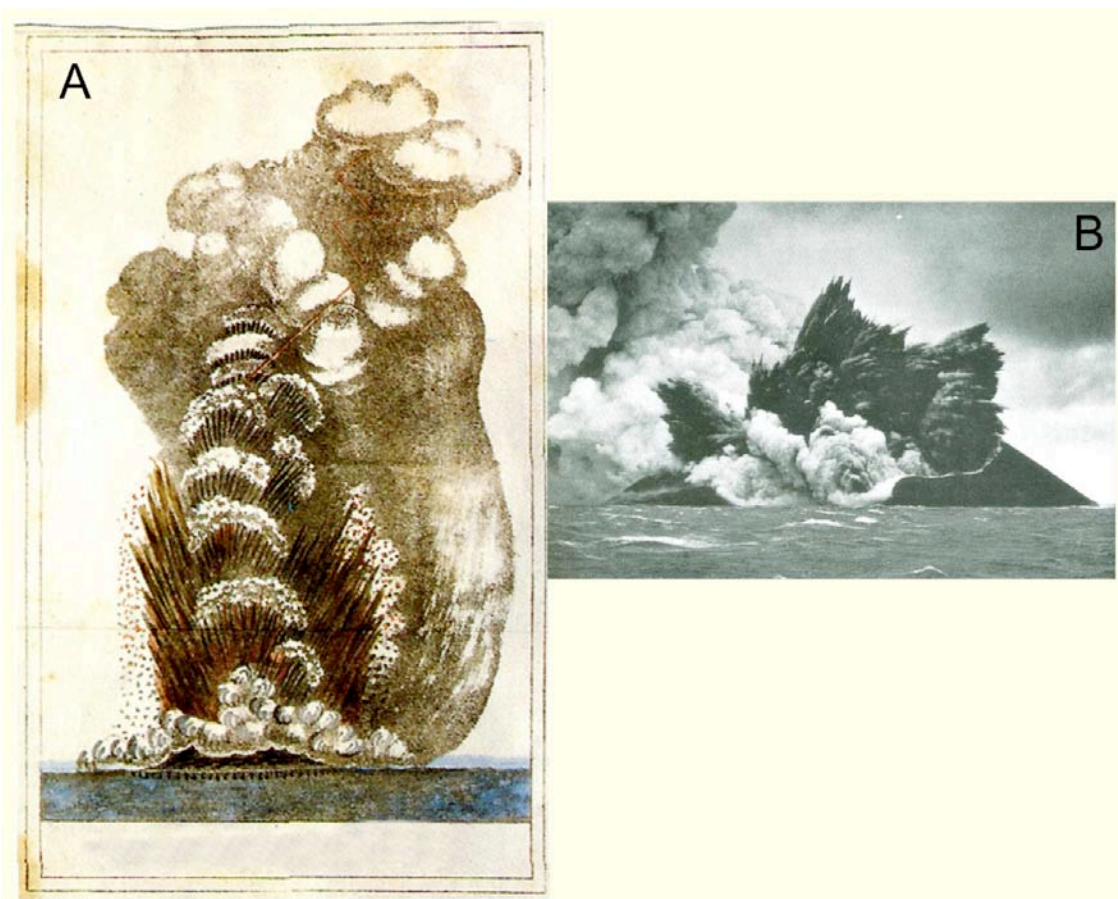


Figura 3. Carlo Gemmellaro visitò il teatro eruttivo del Ferdinanda dall'11 al 14 agosto, lasciandoci un'immagine delle esplosioni (A) che presenta chiare analogie con ciò che ha mostrato (B; foto del 12 dicembre 1963) il vulcano Surtsey (Islanda), entrato in attività nel 1963. Sono eruttate vapori bianchi e ceneri nere; queste ultime sono espulse a “coda di gallo” e ciascuna cuspidate nelle digitazioni della nube corrisponde a una bomba lavica di notevoli dimensioni.

I geologi Karl Hoffman (tedesco) e Constant Prévost (francese) visitarono il vulcano e, su incarico del governo borbonico, fece un sopralluogo anche il fisico Domenico Scinà. Carlo Gemmellaro, professore di

“storia naturale” all’Università di Catania, studioso dell’Etna e profondo conoscitore dei fenomeni vulcanici, raggiunse l’isola l’alba dell’11 agosto e restò per quattro giorni in mare attorno al vulcano in attività per studiarne l’eruzione; queste osservazioni produssero una dettagliata relazione del fenomeno che l’autore, due settimane dopo, il 28 agosto, lesse nell’aula magna dell’Università di Catania e che, sempre nello stesso anno, pubblicò negli Atti dell’Accademia Gioenia di Scienze Naturali in Catania [Gemmellaro, 1931]. Lo scienziato ci ha lasciato una immagine delle esplosioni del Ferdinandea (fig. 3A) che presenta marcate analogie con quanto ci ha mostrato nel 1963, in Islanda, l’eruzione e l’emersione dell’Isola Surtsey (fig. 3B). In entrambi i casi il mare invade il cratere, interagisce con il magma e causa eruzioni esplosive (attività surtseyana). A questo proposito Gemmellaro riportò che le esplosioni lanciavano «*grossissimi massi*» fino all’altezza di una lega (5-6 km). Insieme ai grossi blocchi furono eruttate ceneri e scorie; pomici, anche in elementi di grande dimensione, galleggiarono per un vasto tratto di mare attorno al teatro eruttivo; le zone costiere della Sicilia prospicienti il vulcano furono coperte dai prodotti delle esplosioni e grossi frammenti arrivarono a Sciacca e danneggiarono le tegole dei tetti; il materiale fine espulso diede origine a strane aurore boreali, che avanzando da ponente verso nord-est, tinsero di rosso cupo i tramonti della Sicilia occidentale e che il 14 agosto illuminarono in modo sinistro, i cieli di Roma, Firenze, Lucca e Genova. L’eruzione ebbe termine il 20 agosto.

Non furono mai emesse colate di lava, a proteggere dall’erosione le rocce incoerenti eruttate (scorie, pomici, lapilli, ceneri). Pertanto, finita l’eruzione e con essa la costruzione dell’isola, il mare iniziò la sua opera demolitrice: già l’8 settembre, 19 giorni dopo la fine dell’attività, l’isola era visibilmente più bassa; il 27 settembre era ridotta a una collinetta di sabbia fine e nera; il 26 ottobre restava solo un rilievo di pochi palmi d’altezza, che nei giorni di tempesta si confondeva con il mare, ma che conservava ancora al centro il cratere, invaso da acqua bollente; il successivo 8 dicembre, il capitano V. Allotta, comandante dell’*Achille*, ne stilò il certificato di morte, annotando che non vi era «*vestigia alcuna dell’isola vulcanica*»; permanevano il ribollire delle acque e soffioni che s’innalzano nell’aria. Notizie, mai però confermate, segnalano un’attività sottomarina nel 1833 e la riemersione dell’isola, a pelo d’acqua, per pochi giorni, nel 1863. Attualmente dell’edificio resta un basso fondale sub-pianeggiante con al centro una guglia isolata (basalto alcalino a pirosseni e più rare olivine con affinità hawaiana) la quale corrisponde all’apice del Banco Graham. La guglia è costituita dai resti della lava che riempiva il camino del vulcano (*neck*) alimentandone l’eruzione e che, solidificata alla fine dell’attività, è stata messa a nudo dall’erosione che ha distrutto il cono.

Tabella 1. Profondità della sommità dell’area sommersa del vulcano Ferdinandea

1883: due pinnacoli a 2,7 e 3,3 m (Ufficio Idrografico Regia Marina)
1914: 8 m (Istituto Idrografico Regia Marina)
1972: 8,8 m (Consiglio Nazionale delle Ricerche)
2002: 6,9 m (Istituto Idrografico Marina Militare)
2003: 6,9 m (Istituto Idrografico Marina Militare)
2006: 6,7 m (dati inediti)

2. Il monitoraggio dell’area sommersa del Ferdinandea

I rilievi batimetrici (tab. 1) condotti nel 1883 dall’Ufficio Idrografico della Regia Marina trovarono, dove prima era sorta l’isola, un vasto e basso fondale da cui si innalzavano, fino a $-2,7$ e $-3,3$ m, due pinnacoli di roccia dura, i quali furono distrutti con esplosivo a causa del pericolo che rappresentavano per la

navigazione. L'Istituto Idrografico della Regia Marina, nel 1914, riportava un fondale di -50 m, con due culminazioni profonde -34 (l'occidentale) e -8 m (l'orientale). Misure eseguite dal Consiglio Nazionale delle Ricerche nel 1972 hanno indicato, tra -20 e -30 m, un fondo a bassa pendenza attorno ad una guglia che s'innalzava fino alla profondità di $-8,8$ m. L'Istituto Idrografico della Marina, nel dicembre 2002 e nel maggio 2003, ha rilevato il punto più superficiale del vecchio edificio vulcanico a $-6,9$ m, che noi abbiamo misurato a $-6,7$ m nel luglio 2006. Le variazioni della profondità nel tempo sono sia positive che negative, quindi non attribuibili all'erosione. Ci sono due possibili spiegazioni per queste discrepanze: errori di misurazione oppure reali variazioni di batimetria causate dall'attività del vulcano.

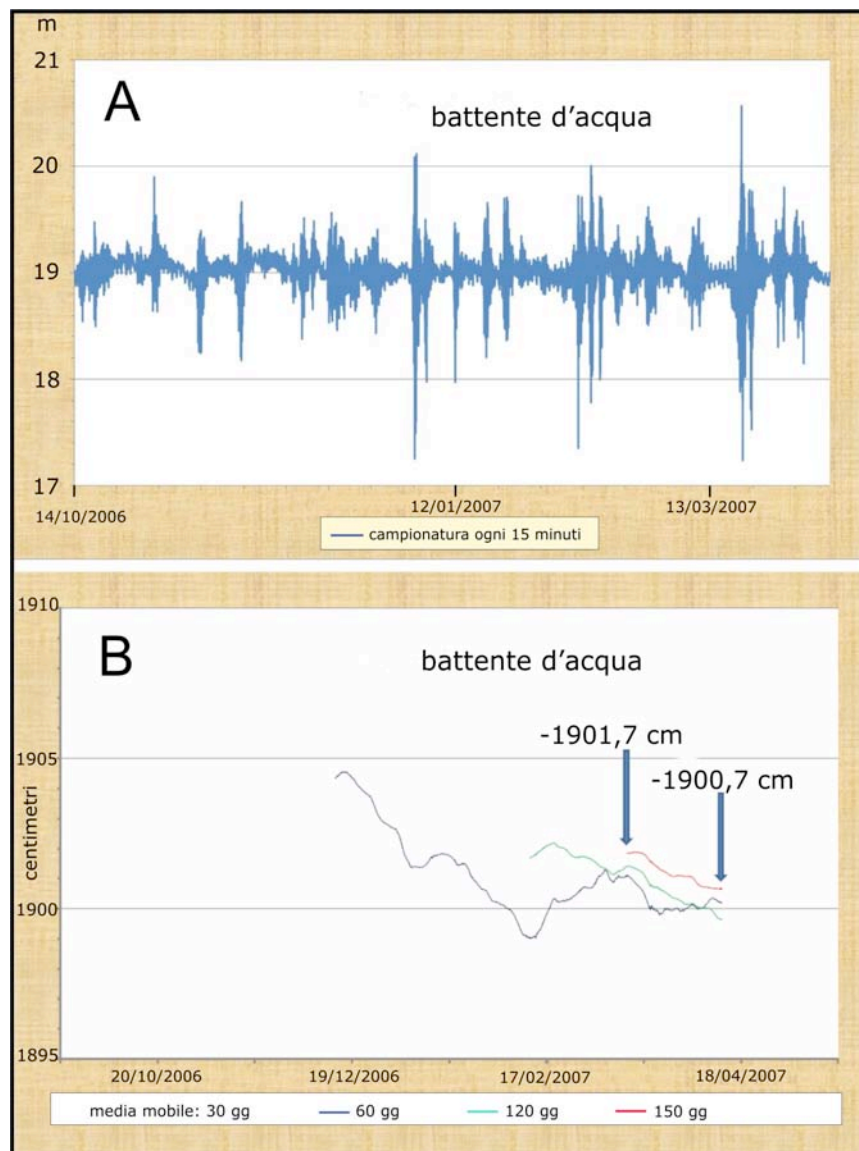


Figura 4. Le profondità dei resti sommersi del vulcano Ferdinandea tra la metà ottobre 2006 e la metà aprile 2007, rilevate con una cadenza di 15 minuti. A: pressioni sul fondo espresse come battente d'acqua sullo strumento; B: medie mobili dei valori rilevati.

Per risolvere l'ambiguità abbiamo costruito un profondimetro e lo abbiamo ancorato sul fondo ad una profondità di circa 19 m, per proteggerlo da possibili manomissioni in una zona molto frequentata da pescatori e sommozzatori. Il nostro scopo era, infatti, di rilevare non tanto la profondità esatta dell'apice della secca quanto le eventuali variazioni batimetriche dell'intero corpo vulcanico. Lo strumento consisteva in un misuratore di pressione assoluta completato da un apparato di registrazione in continuo, a lunga autonomia, capace di misurare e registrare non solo la pressione sul fondo ma anche altri parametri

dell'ambiente contermine, tra cui noi abbiamo scelto di rilevare la temperatura dell'acqua. Abbiamo recuperato il dispositivo dopo 6 mesi di funzionamento, dalla metà di ottobre 2006 alla fine di aprile 2007. Si è trattato, in assoluto, del primo tentativo di monitoraggio dei resti del vulcano Ferdinandea e, più in generale, dei vulcani attivi della piattaforma continentale siciliana del canale. A proposito dello strumento, ci premeva appurare 1) se era capace di funzionare correttamente in quelle condizioni e 2) se la sua sensibilità era coerente con l'entità dei parametri da misurare. Entrambi i quesiti hanno ottenuto risposte affermative. Il profondimetro ha infatti misurato (fig. 4A), con una cadenza che abbiamo scelto di 15 minuti, il battente d'acqua che lo copriva e le sue evoluzioni dovute sia alle variazioni della pressione atmosferica, sia alle condizioni marine (maree, moto ondoso, tempeste, ecc.), sia al passaggio di navi ed attività antropiche di vario genere.

La media mobile dei valori misurati ha però mostrato, con chiara evidenza, che tutte queste variabili hanno rappresentato una sorta di rumore di fondo attorno ad una curva "pulita", che corrisponde alla profondità dello strumento rispetto alla superficie media del mare (fig. 4B). Durante il periodo di funzionamento è stata rilevata una diminuzione della profondità, ma i valori sono al limite dell'errore strumentale del dispositivo di misurazione e, anche in relazione al periodo di osservazione troppo breve, rendono l'informazione poco significativa. La evidente regolarità della curva a 150 giorni potrebbe, però, fornire ragionevoli indicazioni a proposito del trend evolutivo della batimetria delle radici del vulcano Ferdinandea.

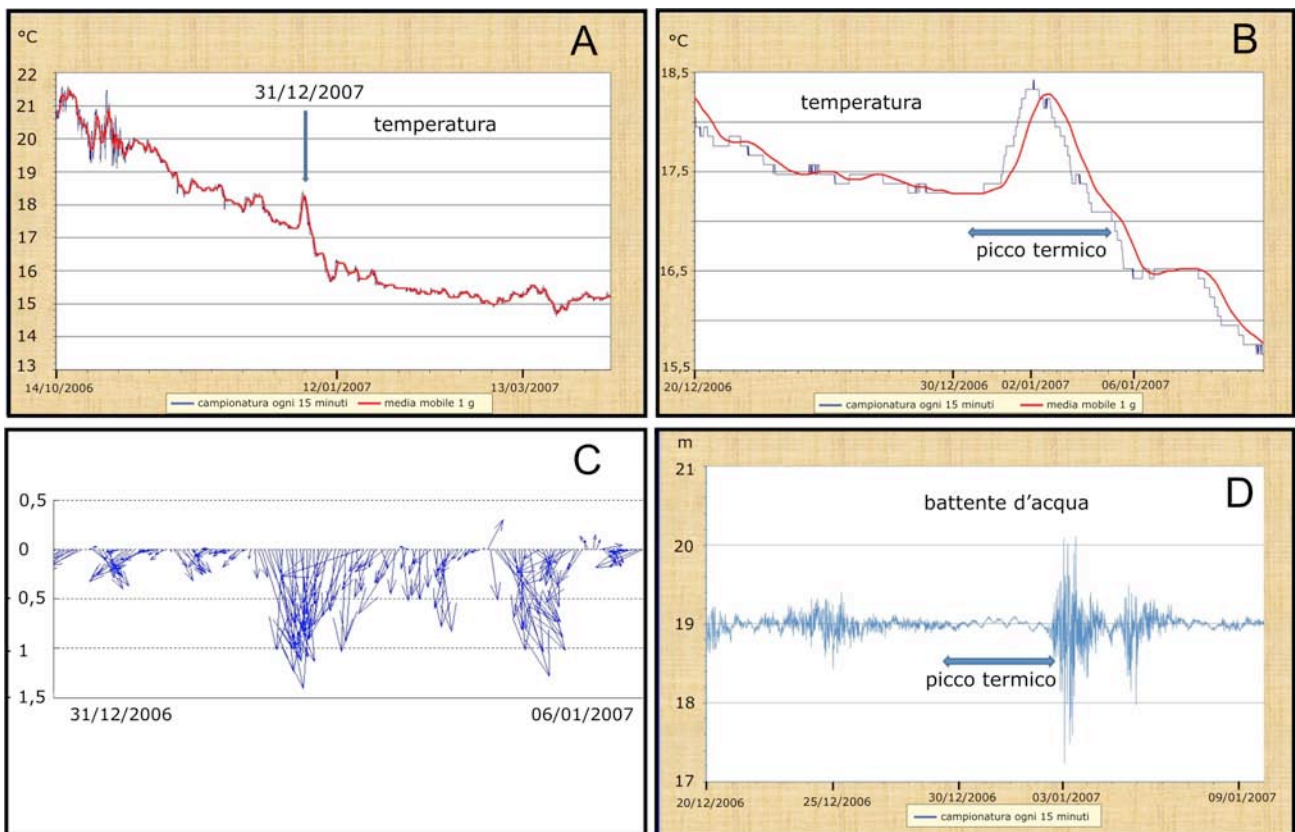


Figura 5. Tra ottobre 2006 e aprile 2007, in corrispondenza dello strumento, la prevedibile evoluzione stagionale della temperatura del mare è interrotta (A) da un picco termico (+1,1 °C), nettamente superiore all'errore strumentale dell'apparecchio di misura (1/10 di grado; curva spezzata in B). La provenienza del vento (C) dai quadranti settentrionali (velocità nella scala verticale, moltiplicata per 10 m/s) esclude l'ipotesi di venti caldi di origine africana nella settimana tra il 31 dicembre 2006 e il 6 gennaio 2007 in cui si è manifestato il picco. Durante questo periodo, la mancanza di mescolamento delle acque, testimoniata dall'andamento del battente d'acqua sopra lo strumento, che rileva solo le maree (D; mare in "calma piatta"), parrebbe suggerire l'origine locale (vulcanica?) del netto e brusco aumento della temperatura marina.

Interessanti sono stati anche i dati rilevati a proposito della temperatura dell'acqua (fig. 5A). Tra l'autunno 2006 e la primavera 2007, al Ferdinanda, la temperatura di fondo del mare da 21 °C circa è diminuita gradualmente fino a stabilizzarsi, tra febbraio e marzo, attorno 15°, prima di cominciare a risalire verso i valori estivi. Questa regolare e prevedibile evoluzione è stata interrotta da un picco termico anomalo (fig. 5, A e B), caratterizzato da un aumento della temperatura dell'acqua di più di 1 °C, che si è realizzato, in modo repentino, nell'arco di 36 ore, tra il 31 dicembre ed il 2 gennaio, e che più lentamente si è esaurito nei successivi 5-6 giorni. I valori misurati sono molto al di sopra dell'errore strumentale del termometro (un decimo di grado, fig. 5B). Oscillazioni della temperatura del mare, con variazioni di tale entità e con questa strutturazione, non possono essere addebitate a correnti marine mediterranee, i cui effetti termici, positivi e negativi, sono molto più lenti e molto più irregolari nelle loro manifestazioni. Non è nemmeno possibile fare riferimento ad acque più calde di origine africana, spostate da forti venti provenienti dai quadranti meridionali, perché nel periodo attorno al picco termico i venti erano deboli e provenienti dalla costa siciliana (fig. 5C). Resterebbe la possibilità di una origine locale del riscaldamento dell'acqua. Idea questa che sembra trovare conferma dall'incrocio dei dati di temperatura con quelli relativi al battente d'acqua (fig. 5D), il quale mette in evidenza che il moto ondoso è stato molto debole tra il 27 dicembre ed il 3 gennaio e si è ridotto ancora di più durante il periodo in cui è stato rilevato il brusco innalzamento di temperatura: la mancanza di moto ondoso e quindi di mescolamento delle acque renderebbe più efficiente un meccanismo di trasferimento del calore, il quale pertanto avrebbe una valenza locale e, nel nostro caso, con molta probabilità, un'origine vulcanica.

3. Conclusioni

Le evidenze di eruzioni recenti al Terribile, l'attività storica del Ferdinanda ed il suo campo fumarolico ad alta portata, pur se con le dovute cautele a proposito del vulcanismo al Banco Nerita, confermano l'idea che il rilievo sottomarino prospiciente Sciacca sia sede di un'area vulcanica, attiva e di grandi dimensioni (25 × 30 km circa); di conseguenza, esiste la possibilità di una ripresa dell'attività vulcanica in una zona relativamente prossima alle coste meridionali della Sicilia, entro un raggio di alcune decine di chilometri da Capo San Marco e da Sciacca, distanza non molto più grande di quella che separa la cattedrale di Catania dai crateri sommitali dell'Etna. Queste considerazioni hanno chiare implicazioni sulla valutazione del rischio vulcanico e sismico ma, allo stato attuale, non sono sufficienti ad indicare un problema pressante ed a disegnare uno scenario di rischio imminente. Per quanto ne sappiamo attualmente siamo in un caso di "normale" convivenza con un vulcano attivo, come avviene all'Etna, sulle cui pendici vive una popolazione di mezzo milione di abitanti.

Ci sono però importanti differenze:

- 1) conosciamo bene e bene sorvegliamo il vulcano di Catania, ma sappiamo poco del Ferdinanda e degli altri numerosi vulcani impiantati sul grande rilievo sottomarino;
- 2) nei loro confronti non viene condotto nessun genere di monitoraggio;
- 3) anche se non eruttano regolarmente come l'Etna, tuttavia essi possono in qualsiasi momento dare luogo a eruzioni sottomarine di tipo esplosivo le quali, a loro volta, potrebbero generare tsunami e devastare una costa densamente popolata con possibili ripercussioni sull'opposta sponda del Mediterraneo.

Nel Canale di Sicilia, inoltre, pericolose onde anomale posso avere origine anche da fenomeni gravitativi in quanto l'insieme del contesto descritto costituisce un sistema tendenzialmente instabile, con possibilità di cedimenti dei fianchi e/o collassi di settore, comuni nei rilievi vulcanici sottomarini, nelle isole vulcaniche e nei vulcani prospicienti le coste.

Sono state queste le tensioni che ci hanno portato a tentare il monitoraggio del Ferdinanda. Si è trattato del primo tentativo in assoluto a proposito dei vulcani della piattaforma continentale della Sicilia meridionale. Siamo ancora nella fase sperimentale: stiamo esplorando le possibilità per quanto riguarda la logistica, i campi da investigare, le apparecchiature, le trasmissioni dei dati. Nonostante le evidenti difficoltà tecniche ed operative, i primi risultati ancorché parziali sono incoraggianti e stimolanti. Essi ci confortano la volontà di dare seguito al tentativo e ci indicano la possibilità di implementare il sistema di acquisizione, aprendolo anche al monitoraggio dei segnali dei parametri acustici, geochimici, sismologici

e delle deformazioni degli edifici sottomarini. Risultati questi che, in prospettiva, potrebbero fornire risposte a proposito del legame genetico tra l'idrotermalismo della costa siciliana e l'attività vulcanica del canale.



L'eruzione del Ferdinandea in una rappresentazione dell'epoca.

Bibliografia

Beccaluva L., Colantoni P., Di Girolamo P., Savelli C. (1981). Upper Miocene submarine volcanism in the Strait of Sicily (Banco Senza Nome). *Bull. Volcan.*, 44, 3, 573-581.

Boccaletti M., Cello G., Tortorici L. (1987). Transtensional tectonics in the Sicily Channel. *Jour. Struct. Geol.*, 9, 869-876.

Calanchi N., Colantoni P., Rossi P., Saitta M., Serri G. (1989). The Strait of Sicily continental rift system: physiography petrochemistry of the submarine volcanic centres. *Mar. Geol.*, 87, 55-83.

Civile D., Lodolo E., Tortorici L., Lanzafame G., Brancolini G. (2008). Relationships between magmatism and tectonics in a continental rift: The Pantelleria Island region (Sicily Channel, Italy). *Mar. Geol.*, 251, 32-46.

Colantoni P. (1975). Note di geologia marina nel Canale di Sicilia. *Giorn. Geol.* 40, 181-207.

Cutrone A., Santo A.P., Lanzafame G., Tessarolo C., Macaluso D. (2006). La Crociera della *Universitatis* sul Banco Graham: prime segnalazioni di emissioni fumaroliche ad alta energia nell'area della Ferdinandea (Canale di Sicilia). V Convegno Nazionale CoNISMA, Viareggio (Lu), novembre 2006.

Gabbianelli G., Rossi P.L., Lamberti L.O. (2007). The Foerstner and Greaham volcanoes in the Sicily Strait (Central Mediterranean sea): new bathymetric and morfological data *Geoitalia 2007 - VI Forum Italiano di Scienze della Terra*, Rimini, settembre 2007.

Gemmellaro C. (1831). Relazione dei fenomeni del nuovo vulcano sorto dal mare fra la costa di Sicilia e l'isola di Pantelleria nel mese di luglio 1831. *Atti Ac. Gioenia Sc. Nat. Catania*, 8.

General Bathymetric Chart of the Oceans (2003). *GEBCO Digital Atlas (GDA)*.

Illies J.H. (1981). Graben formation. The Maltese Islands. A case history. *Tectonophysics*, 73, 151-168.

Rotolo S.G., Castorina F., Cellula D., Pompilio M. (2006). Petrology and geochemistry of submarine volcanism in the Sicily Channel. *Jour. Geol.*, 114, 355-365.

Sanfilippo R., Lanzafame G. (2006). Rilievi di fondo nella zona della Ferdinandea (-173 metri). *Rapporto Interno INGVCT-UNICT*, 3 pp.

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Laboratorio Grafica e Immagini | INGV Roma

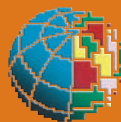
© 2010 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

<http://www.ingv.it>



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia