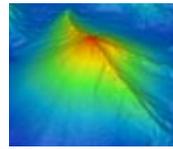


■ REVIEW ■



PANAREA BELLA E INQUIETA

Il vulcano dell'isola era considerato inattivo ma le deformazioni documentate di recente ne consigliano un monitoraggio costante

MARCO ANZIDEI

L'ISOLA DI PANAREA, con il suo piccolo arcipelago incastonato nel profondo blu del mare Tirreno, è uno dei luoghi più particolari e affascinanti del Mediterraneo. Non a caso è stata inclusa dall'Unesco tra quei siti che sono patrimonio dell'umanità. Il piccolo specchio di mare che la circonda è dominato dall'imponente isolotto di Basiluzzo, alto 165 metri, la cui cima è sormontata dai resti di una villa di epoca romana. Più piccoli, ma non meno particolari, sono gli isolotti di Bottaro, Lisca Bianca, Lisca Nera, i Panarelli e Dattilo. Ognuno con il proprio caratteristico profilo. Come Dattilo, dai colori forti e cangianti, che si staglia sul mare simile a una punta di lancia che fronteggia il cielo. Lo scenario è tra i più belli che si possano incontrare nel Mediterraneo. Da terra, Panarea si presenta come un'isola a forte vocazione turistica, frequentata dal jet set internazionale: hotel con vista mozzafiato sul mare e ville dalle terrazze esclusive sono diventati il simbolo di quest'isola e argomento di gossip per i migliaia di turisti «mordi e fuggi», che nel periodo estivo affollano l'arcipelago. Ma come è nata questa perla del Mediterraneo? Cosa sappiamo oggi di quest'isola vulcanica, probabilmente già nota ai greci per il suo termalismo?

Le prime tracce di insediamenti umani a Panarea risalgono al Neolitico, sebbene le prime notizie sull'isola ci pervengano da Strabone, scienziato e filosofo greco vissuto tra il 64 a.C. e il 21 d.C. Le Eolie, inclusa Panarea, vennero frequentate in epoca romana in quanto utilizzate come avamposto militare e per il commercio marittimo. Saranno poi i navigatori nord africani e turchi a elegerle come base per le loro scorrerie nel Mediterraneo. È solo nel XVIII secolo che Dolomieu, naturalista francese, nel suo libro *Voyage aux îles de Lipari fait en 1781*, compie i primi tentativi di interpretazione sulla formazione dell'isola. Nel 1883 Mercalli riporta un'eruzione di gas avvenuta in mare nel 1865, in concomitanza con le intense eruzioni dell'Etna e dello Stromboli. Se i primi studi moderni sull'origine di Panarea vennero effettuati da Keller nel 1967, solo in tempi recenti sono stati compiuti avanzamenti significativi sulla conoscenze geologiche dell'isola che fa parte dell'arco vulcanico delle isole Eolie. Questo è composto da sette isole, oltre ai vulcani sottomarini del Tirreno, le quali costituiscono una struttura vulcanica che si è formata durante il Quaternario (ultimi 2,5 milioni di anni)



CORTESIA AUTORE

Le emissioni gassose di Black Smoke a composizione magmatica e con temperature superiori ai 100 °C.



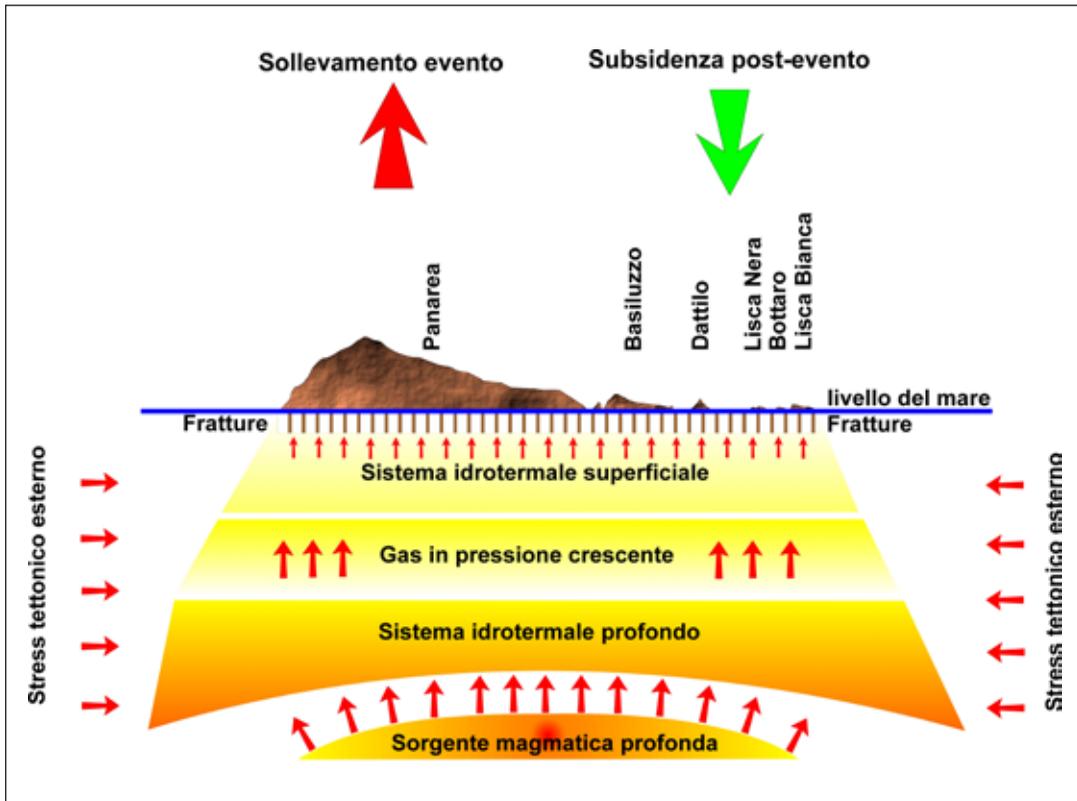
Veduta aerea dell'isola di Panarea. In primo piano l'isolotto di Dattilo con alla sua destra i Panarelli.

lungo il versante nordovest dell'Arco Calabro, in seguito al lento e continuo processo di collisione tra le placche continentali africana ed europea, che si incontrano in questa zona del Tirreno. Questa regione tettonica, che presenta grandi sistemi di faglie, è tra le più attive di tutta l'area mediterranea. Qui si verificano terremoti fino a profondità di 650 chilometri circa, che marcano il piano di subduzione che scorre in profondità.

L'isola, dal punto vista geologico, è la più giovane delle sette sorelle che compongono l'arcipelago delle Eolie. Ciò che vediamo emergere dalle acque è solo una piccola parte di un grande edificio vulcanico sottomarino, la cui sommità è alta 461 metri sul livello del mare e che, nel suo insieme, è alto circa 2000 metri e ampio 460 chilometri quadrati alla sua base. L'isola mostra le evidenze di una travagliata storia geologica e lascia ipotizzare che la sua attività vulcanica sia molto recente. I dati geologici indicano che Panarea si è formata senza interruzioni significative dell'attività vulcanica, con fasi alterne di attività endogena ed esogena. La continua estrusione di nuovo magma ha consentito la formazione dell'isola

di Panarea: un duomo vulcanico. La cronologia degli eventi suggerisce che l'attività vulcanica si è sviluppata in due fasi principali: la prima, con caratteristiche effusive, ha portato alla formazione del duomo. Nella seconda ha prevalso una attività esplosiva. Quest'ultima si è verificata tra 31.000 e 20.000 anni fa, ma forse anche meno secondo altri ricercatori e l'argomento è molto dibattuto nella comunità scientifica. Panarea, perlopiù conosciuta solo come un luogo di turismo di elite, viene improvvisamente alla ribalta nel novembre del 2002, quando inizia repentinamente una eruzione gassosa sottomarina nella zona compresa tra gli isolotti di Lisca Bianca, Bottaro, Lisca Nera, i Panarelli e Dattilo. L'evento, che ha destato vivi timori tra gli isolani, marcherà l'inizio di un periodo di nuovi studi scientifici.

Le emissioni gassose sottomarine di Panarea sono note fin dall'antichità, per cui le venne dato anche il nome *Thermisia*. Ribollimento del mare, morie di pesci e forte odore di zolfo in superficie vengono descritti per la zona delle isole Eolie, inclusa l'isola di Panarea, già in epoca romana. Gli autori classici Tito Livio, Strabone, Giulio Obse-



Schema di un modello semplificato dei meccanismi che sono alla base delle esalazioni sottomarine di Panarea, come nel caso del novembre 2002. Gas pressurizzato si può accumulare in profondità in seguito alla attività di una sorgente magmatica profonda. Quest'ultima può indurre periodicamente delle sovrappressioni. Quando la resistenza delle rocce incassanti viene superata dalla pressione interna del sistema, anche favorita da una variazione esterna dovuta a stress tettonici, si può verificare una fatturazione delle rocce sovrastanti e quindi una eruzione gassosa (modificato da Esposito et al., 2007).

quente, Paolo Orosio, Posidonio e Plinio il Vecchio ci hanno lasciato testimonianza di questi episodi. Nel 126 a.C., Paolo Orosio menziona un evento che provocò sollevamento del mare, getti di vapore caldo, aria maleodorante, morte di pesci e fango sollevato dal fondo marino, successivamente divenuto roccia. Lo scienziato Dolomieu riteneva che Panarea con il suo arcipelago non fosse altro che i resti emergenti dell'antica isola di Euonimo, frammentata a causa di una violenta tempesta. Misure di temperatura e di composizione chimica delle acque marine vengono effettuate ai primi dell'800 dall'ammiraglio William Smyth della reale marina inglese, durante la preparazione di carte nautiche di dettaglio dell'intero Mediterraneo. Nel 1865, in concomitanza con eruzioni dell'Etna e dello Stromboli, Mercalli menziona un'eruzione gassosa, con temperature delle acque risorgenti in superficie di oltre 100 °C.

Recenti studi geofisici e di modellizzazione matematica, effettuati sulla base di osservazioni archeologiche nell'approdo romano di Punta Levante, hanno stimato che Basiluzzo (Heracleotes per

Tolomeo) ha subito una subsidenza di circa 3,75 metri negli ultimi 2.000 anni. La causa sarebbe il lento raffreddamento della camera magmatica responsabile della sua formazione, circa 54.000 anni fa. Sebbene l'attività idrotermale di Panarea sia conosciuta da secoli, osservazioni dettagliate delle sue caratteristiche sono state fatte solo negli ultimi venti anni, in particolare per l'area compresa tra gli isolotti. Quest'ultima corrisponde alla zona colpita dalla crisi gassosa sottomarina del 2002.

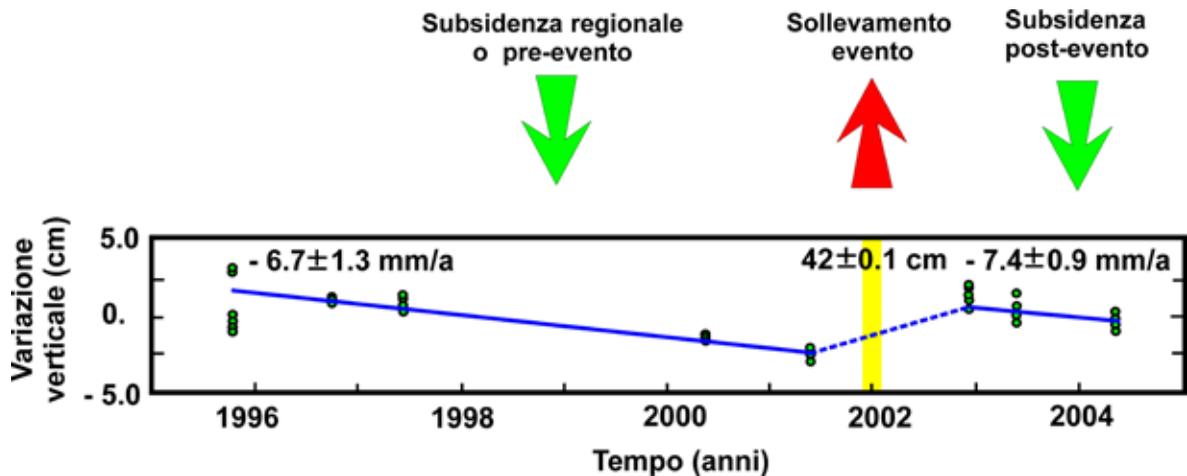
È il 6 settembre 2002, quando un terremoto di magnitudo 5,6 con epicentro di fronte alle coste di Palermo dispensa danni e paura in una vasta zona della Sicilia. Il 27 ottobre l'Etna inizia una nuova fase di forte attività eruttiva, mentre il 31 dello stesso mese avviene il terremoto di San Giuliano del Molise. Intanto il vulcano Stromboli intensifica la sua attività, che raggiungerà un apice alla fine del dicembre 2002, con una frana capace di generare un maremoto che causerà danni a Stromboli stessa, Panarea, e Milazzo in Sicilia. È in questo complesso contesto geodinamico che interessa l'intera Italia meridionale che all'alba



Foto aerea della superficie marina interessata dal ribollimento del mare causato dai centri di emissione gassosa sottomarini. In primo piano l'isolotto di Bottaro e sullo sfondo quello di Lisca Bianca.

del 3 novembre 2002, nell'area racchiusa dagli isolotti di Panarea, vengono avvistate sulla superficie marina tre zone in ribollimento. I pescatori locali, già nelle prime ore del mattino, segnalano gorgi e mare in forte agitazione a causa di emanazioni gassose dal fondo marino, pesci morti in superficie, cambiamento di colore dell'acqua. Un forte odore di zolfo si propaga fino a Panarea. La temperatura dell'acqua del mare raggiunge i 22-23°C con valori di pH tra 5,0 e 5,5, più acido rispetto a quello comune delle acque marine, per effetto del trasferimento di calore e di gas acidi dall'interno della Terra verso la superficie. L'odore di acido solfidrico che accompagna il fenomeno è così intenso che si può percepire anche a grandi distanze. Delle tre principali zone di emissione, una si trova subito a ovest di Lisca Bianca in direzione di Dattilo, dove il gas arriva in superficie sotto forma di bolle anche di qualche metro di diametro. La seconda, subito a ovest di Bottaro, è su un fondale profondo circa 20 metri. In superficie si vede un solo punto dove le bolle, del

diametro di circa 1-2 metri, risalgono con notevole energia. La terza zona occupa invece una superficie con estensione più limitata, tra Bottaro e Lisca Nera. Il secondo punto ha la massima intensità di emissione e il volume di gas viene stimato in circa 10^8 - 10^9 litri al giorno: due ordini di grandezza maggiori rispetto ai valori stimati in precedenza. Durante l'eruzione vengono misurati aumenti anomali di idrogeno e monossido di carbonio, diminuzione di metano, alto contenuto di radon e un rapporto tra i due isotopi dell'elio ^3He ed ^4He con valori tra 4 e 4,3. Questo dato indica il coinvolgimento di magmi profondi, tipico di vulcani attivi. Al contempo, le fumarole della Calcara, a Panarea, non presentano variazioni importanti di attività e temperatura e il loro comportamento non differisce dal passato. Dopo alcuni giorni l'attività si riduce, ma il fenomeno continuerà con una certa intensità fino a tutto il mese di gennaio 2003. Diminuirà nei mesi successivi, ma con emissioni che arriveranno anche a superare temperature di 100° C.



Movimenti verticali misurati dal GPS alla stazione di Panarea. Il grafico mostra una subsidenza prima del 2002, il sollevamento concomitante al periodo di crisi del 2002, la successiva nuova fase subsidente. La linea gialla verticale indica il periodo interessato dall'evento.

Il monitoraggio geofisico di un vulcano la cui superficie è in parte sottomarina e in parte subaerea è estremamente difficile e complesso e richiede l'uso di differenti tecniche di rilievo indipendenti tra loro, ma ognuna capace di produrre dati necessari per l'altra. L'integrazione dei dati acquisiti, anche attraverso analisi matematiche, può definire le caratteristiche e lo stato di un vulcano. Con questo fine, grazie anche a finanziamenti messi a disposizione dal Dipartimento della Protezione Civile Italiana, dal 2002 l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Ingv), in collaborazione con altri enti e università italiane, ha avviato una intensa attività di studio e monitoraggio del vulcano Panarea. Questa ha previsto dapprima un rilievo batimetrico ad altissima risoluzione con tecnica *multibeam* per la mappatura del fondale e il censimento dei centri di esalazione sottomarina. A seguire sono stati effettuati rilievi geochimici dei gas e delle acque nei centri di esalazione sia in mare che in terra, geodetici per lo studio delle deformazioni del vulcano, aerofotogrammetrici per la mappatura della superficie del suolo, gravimetrici per stimare le densità delle formazioni rocciose e individuare le strutture profonde, rilievi magnetometrici per definire il livello di magnetizzazione delle rocce presenti e infine rilievi geologici. I risultati ottenuti sono stati importanti in quanto hanno prodotto nuove conoscenze su un vulcano italiano allora ancora poco studiato e in gran parte sconosciuto, che invece oggi deve essere riconsiderato per entrare a fare parte dei vulcani

attivi italiani. Tuttavia la sua attività non si può paragonare a quella dei suoi più noti vicini, come l'Etna, il Vesuvio e lo Stromboli.

Uno dei dati strumentali determinanti per ottenere le chiavi di lettura necessarie per comprendere l'attuale dinamica di questo vulcano viene fornito dalle misure geodetiche. Queste possono individuare la deformazione di un vulcano attraverso la variazione di misure di posizione tra punti di osservazione ancorati al suolo. Per ottenere questi dati è stata impiegata la moderna metodologia satellitare Global Positioning System (Gps). Questa tecnica spaziale si avvale dei dati provenienti da 32 satelliti gestiti dal Dipartimento della difesa degli Usa, che vengono acquisiti a terra con ricevitori portatili, facilmente trasportabili anche sugli isolotti di Panarea. La tecnica, oggi largamente utilizzata da geofisici e vulcanologi per lo studio di aree vulcaniche e sismiche (come per il recente terremoto dell'Aquila), consente di determinare la posizione (coordinate) delle antenne riceventi con errori di pochi millimetri. Queste vengono poste su capisaldi in punti opportunamente scelti del vulcano. Misure ripetute nel tempo possono in tal modo determinare gli spostamenti reciproci tra i punti di osservazione e quindi poter ricostruire la direzione, la velocità di spostamento e le deformazioni dell'area oggetto di studio. Sebbene l'isola di Panarea sia periodicamente monitorata dal 1996 con una sola stazione posta al centro dell'isola, nel maggio 2003, quindi all'indomani della crisi esalativa del 2002, è stato potenziato



WIKIMEDIA FOUNDATION

Una panoramica delle Eolie dalla cima di Vulcano: a sinistra Salina, al centro Lipari e a destra Panarea.

il sistema di osservazione con nove capisaldi geodetici. I dati, acquisiti durante campagne di misura periodiche, avrebbero fornito dati unici per osservare le deformazioni del vulcano. Due di queste stazioni (Lisca Bianca, LI3D e Panarea, CPAN) sono state successivamente trasformate in stazioni di monitoraggio continuo, con trasmissione del dato direttamente ai centri di acquisizione dell'Ingv. Le misure eseguite nei primi giorni di dicembre 2002 al caposaldo Gps di Panarea (PANA), hanno indicato un sollevamento di circa 4 centimetri rispetto ai precedenti rilievi del 2001, in contrapposizione ai dati disponibili per il periodo 1996-2001. Questi ultimi mostrano infatti una continua subsidenza dell'area, alla velocità di circa 7 millimetri all'anno, che si verifica nuovamente e con circa lo stesso valore, nel periodo successivo all'eruzione. Il valore di sollevamento osservato si può interpretare come dovuto alla dinamica di un sistema idrotermale pressurizzato, il cui incremento di attività riflette una intrusione magmatica di origine profon-

da che ha modificato l'equilibrio geotermale e idrotermale, producendo l'eruzione gassosa sottomarina del novembre 2002. Il monitoraggio geodetico effettuato negli anni dal 2002 al 2007 mediante campagne ripetute e stazioni continue ha mostrato quindi una deformazione attiva del vulcano Panarea, sconosciuta fino ad oggi. Sono stati misurati alla sua superficie movimenti verticali e orizzontali. Si osserva una subsidenza generalizzata con l'eccezione della parte più alta di Panarea, che non mostra deformazione verticale. L'andamento della deformazione orizzontale suggerisce una suddivisione dell'area in due zone a comportamento distinto, separate da un sistema di faglie orientate nordest-sudovest. Queste ultime sono state individuate grazie ai rilievi batimetrici e geologici. La prima zona corrisponde alla parte nord occidentale di Panarea mentre la seconda include quella sud orientale dell'isola e la zona degli isolotti. Quest'ultima è la zona in maggiore deformazione con una contrazione di alcuni millimetri all'anno, orientata ovest-nord-

ovest. Tale comportamento è tipico di zone vulcaniche che subiscono cambiamenti superficiali per un aumento della pressione in profondità. È interessante notare che la stazione continua di Lisca Bianca, tra il 18 e il 19 giugno 2005, ha registrato una improvvisa deformazione orizzontale di 12 millimetri circa, diretta verso sud-est, attribuibile alla dinamica locale del vulcano. I dati geodetici sono stati quindi analizzati attraverso complessi algoritmi per definire, attraverso un modello matematico vincolato anche dai dati geologici e geochimici disponibili, la sorgente di deformazione profonda che meglio riproduce la deformazione osservabile in superficie. Questa si può individuare in un sistema idrotermale sepolto, che si carica e si scarica di fluidi in pressione, il cui comportamento può essere influenzato dall'attività dalle faglie presenti, orientate nord-dest-sudovest. Il modello individua la sorgente a circa 900 metri di profondità, con un movimento verticale di circa 7 millimetri all'anno.

Il meccanismo più semplice e più plausibile per spiegare le eruzioni sottomarine di Panarea, risiede nell'accumulo di gas pressurizzato in profondità. Questo può essere rilasciato da una sorgente magmatica profonda capace di causare periodiche sovrappressioni nei fluidi sovrastanti (gas e acqua). Quando la resistenza meccanica delle rocce incassanti, che si oppone alla pressione dei fluidi in pressione, viene superata dalla pressione interna del sistema, si possono verificare episodi esalativi in seguito all'apertura di fratture negli strati rocciosi impermeabili superiori, non più capaci di contenere la spinta dei fluidi in pressione. Variazioni esterne, ad esempio dovute a stress tettonici regionali, possono favorire l'innesco dei fenomeni esalativi.

Lo Smithsonian Global Volcanism Program definisce come attivo un vulcano che abbia eruttato almeno una volta durante gli ultimi 10.000 anni (periodo geologico dell'Olocene). Le ultime attribuzioni cronologiche delle eruzioni del vulcano Panarea forniscono un limite superiore di circa 20.000 anni da oggi. Tuttavia l'argomento è oggetto di discussione e le fonti storiche ci riportano più eventi del tipo di quello avvenuto nel 2002. D'altra parte i rilievi batimetrici mostrano un fondale segnato da morfologie che possono essere state prodotte dal ripetersi di più eventi esalativi, forse anche più violenti di quest'ultimo. Diviene pertanto ragionevole supporre che si possano ripetere in futuro. Se fino al novembre 2002 il vulcano Panarea era considerato inattivo, oggi i risultati ottenuti dai recenti studi che hanno seguito la crisi esa-

lativa, in particolare le deformazioni attive, sono concordi nell'indicare che questo vulcano richiede un monitoraggio costante per la mitigazione del rischio, alla pari di altri vulcani attivi posti in prossimità di zone abitate della Terra.

Marco Anzidei, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Bibliografia

- Anzidei M., A. Esposito, G. Bortoluzzi, F. De Giosa, F., 2005. The high resolution bathymetric map of the exhalative area of Panarea (Aeolian Islands, Italy), *Annals of Geophysics*, Vol. 48, N. 6.
- Anzidei, M., P. Baldi, Fabris M., 2006. Integrazione di dati fotogrammetrici, LIDAR e batimetrici nell'arcipelago delle isole Eolie, *Bollettino della Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia*, n.1, 13-26.
- Calanchi, N., Tranne, C.A., Lucchini, F., Rossi, P.L., Villa, I.M., 1999. Explanatory notes to the geological map (1:10.000) of Panarea and Basiluzzo islands (Aeolian arc, Italy), *Acta Vulcanologica*, 11 (2), 223-243.
- Capaccioni B., Tassi F., Vaselli O., Tedesco D. and Rossi P.L., 2005. The November 2002 degassing event at Panarea Island Italy: five months of geochemical monitoring, *Annals of Geophysics*, 48, 755-765.
- Chiarabba C., L. Jovane, R. DiStefano, 2005. A new view of Italian seismicity using 20 years of instrumental recordings, *Tectonophysics*, 395, 251-268.
- Dolfi D., De Rita D., Cimarelli C., Mollo S., Soligo M., Fabbri M., 2007. Dome growth rates, eruption frequency and assessment of volcanic hazard: Insights from new U/Th dating of the Panarea and Basiluzzo dome lavas and pyroclastics, Aeolian Islands, Italy, *Quaternary International*, 162-163, 182-194.
- Esposito A., Giordano G., Anzidei M., 2006. The 2002-2003 Submarine Gas Eruption at Panarea archipelago (Aeolian Archipelago, Italy): volcanology of the seafloor and implications for the hazard scenario. *Marine Geology* 227, 119-134.
- Esposito A., Anzidei M., Atzori S., Devoti R., Giordano G., Pietrantonio G., 2009. Modelling ground deformations of Panarea volcano hydrothermal/geothermal system (Aeolian islands, Italy) from GPS data, *Bullettin of Volcanology*, in stampa.
- Gabbianelli, G., Gillot, P.Y., Lanzafame, G., Romagnoli, C., Rossi, P.L., 1990. Tectonic and volcanic evolution of Panarea (Aeolian Island, Italy), *Marine Geology*, 92, 313-326.
- Keller, J., 1967. Alter und Abfolge der vulkanischen Ereignisse auf den Aeolischen Inseln Sizilien. *Berichte der Naturforschenden Gesellschaft*, 3 57, 33-67.
- Mercalli, 1883. Vulcani e fenomeni Vulcanici. In: Negri, G., Stoppani, A., Mercalli, G. Eds. *Geologia d'Italia* 3rd part. Milano.
- Tallarico A., Dragoni M., Anzidei M., Esposito A., 2003. Modelling long term ground deformation by a submerged archaeological site: the case of Basiluzzo island, *Journal Geophysical Research*, Vol. 108, No. B12, 2568.