



Consiglio Nazionale delle Ricerche

ISMAR - Istituto di Scienze Marine

Arsenale – Tesa 104

Castello 2737/f – 30122 Venezia, Italy

Tel +39 041 2407927 Fax +39 041 2407930

direttore@ismar.cnr.it

C.F. 80054330586 - P.IVA 02118311006



LO STRETTO DI MESSINA: CRITICITA' GEOLOGICHE E TETTONICHE

Autori: Dott.ssa Alina Polonia

Data di emissione: 31/10/2020

La presenza dello Stretto di Messina, un braccio di mare stretto e profondo che collega il Mar Ionio al Tirreno, è l'espressione di processi geologici attivi che producono un progressivo allontanamento della Sicilia dalla Calabria ad un tasso medio di 1-2 mm/anno.

Questa incipiente deformazione, avviene lungo un sistema di fratture profonde, che accomoda i movimenti di convergenza tra le placche Africa ed Eurasia, in una delle aree geologicamente più attive di tutto il Mediterraneo. Sfortunatamente, questa deformazione non avviene in modo uniforme e asismico: i movimenti tettonici, anche se lenti, accumulano energia lungo i piani di faglia, e questa può essere liberata in modo parossistico nel corso di terremoti a grande magnitudo, anche oltre il settimo grado della scala Richter, come è avvenuto nel recente passato (ad es. durante i terremoti del 1908 di Messina e del 1694 di Augusta).

Dal punto di vista geodinamico, lo Stretto di Messina, è un'area cruciale, nella quale avviene l'interazione tra diverse strutture tettoniche profonde ed estesi blocchi crostali che convergono, divergono e si muovono lateralmente tra loro, provocando terremoti, frane sottomarine, tsunami e vulcanesimo. E' una zona di "svincolo" meccanico, una sorta di "perno" che assorbe i movimenti relativi tra i diversi blocchi, e per questo rappresenta una delle aree a maggior rischio geologico del nostro Paese.

Di seguito, sono indicate le principali criticità geologiche associate all'area dello Stretto di Messina, così come individuate da recenti studi multidisciplinari di geologia/geofisica marina basati su dati raccolti nel corso di alcune decadi.

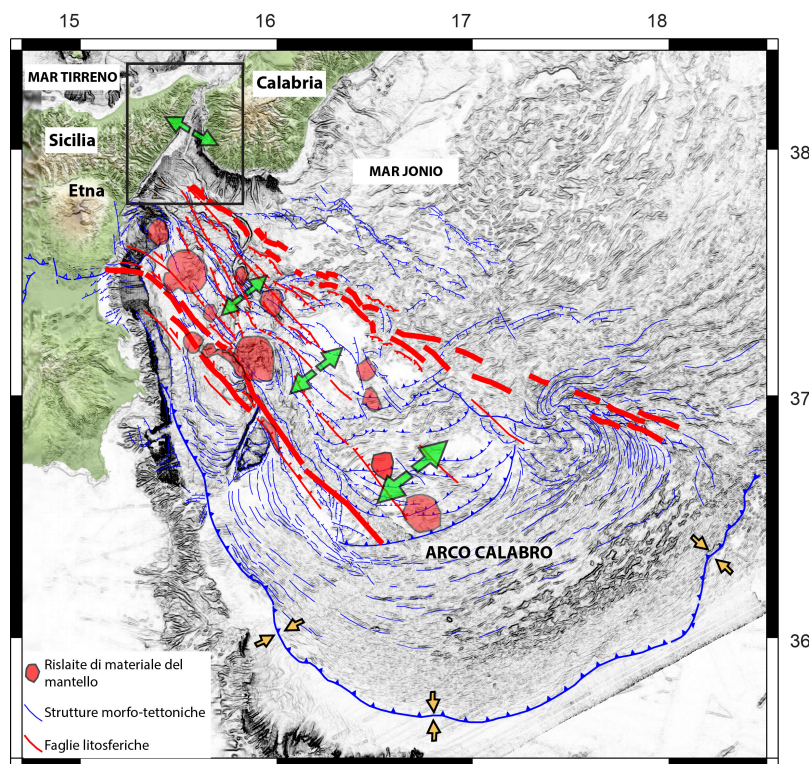


Figura 1 - Mappa strutturale con le faglie principali nella zona prospiciente lo Stretto di Messina (riquadro nero). In blu le faglie che hanno una espressione superficiale. In rosso: le faglie profonde che producono allontanamento dei blocchi cristalli. I movimenti di divergenza sono indicati con le frecce verdi, mentre i movimenti compressivi sono indicati dalle frecce gialle.

Strutture tettoniche attive

Il fondale marino tra Sicilia e Calabria mostra una grande complessità morfologica, in parte dovuta alla presenza di forti correnti marine, che rielaborano continuamente i sedimenti del fondo, in parte legata all'azione di processi a scala temporale più lunga, che hanno radici profonde all'interno della crosta terrestre. Nella zona dello Stretto e nelle aree circostanti del Tirreno Meridionale e dello Ionio, sono state descritte faglie attive in grado di generare forti terremoti (Hirn et al., 1997; Polonia et al., 2011; 2012; Gutscher et al., 2016; Argnani and Bonazzi, 2005; Billi et al., 2010). Un sistema di spaccature profonde situate tra lo stretto di Messina e l'Etna (Fig. 1) sta infatti separando la Sicilia dal resto dell'Italia. E' stato osservato di recente (Polonia et al., 2017a), che lungo queste strutture geologiche risale materiale del mantello terrestre da una profondità di alcune decine di chilometri, ed è concentrata una intensa attività sismica, localizzata lungo zone di debolezza crostale (Polonia et al., 2016). Si tratta dunque di faglie molto profonde, che producono una sorta di "finestra tettonica" che causa lo sprofondamento del fondale dello Ionio e che controlla i processi di allontanamento tra Sicilia e Calabria.

Attraverso uno studio multi-disciplinare, che ha integrato analisi di immagini acustiche del sottosuolo, dati geofisici e campioni di sedimento, è stato possibile identificare la posizione delle strutture geologiche principali, ricostruire la loro geometria, e scoprire anomalie geochemiche nei sedimenti legate alla presenza di fluidi profondi in risalita (Polonia et al., 2017a). L'analisi di tutti i dati raccolti nel corso di molte spedizioni oceanografiche ha permesso di proporre un modello geodinamico che descrive il ruolo delle singole faglie nell'ambito dei movimenti relativi tra le placche dell'area Mediterranea (Polonia et al., 2017a). Sempre nel corso di queste ricerche, è stato possibile ricostruire

gli effetti di terremoti a grande magnitudo, i cui effetti sono stati registrati nella successione stratigrafica del Mar Ionio (Polonia et al., 2013; 2016b), con una buona corrispondenza tra la datazione radiometrica degli eventi più recenti (ultimi 1000 anni) e i resoconti riportati nel catalogo dei terremoti storici disponibile per la regione (gruppo di lavoro ISIDE: <https://doi.org/10.13127/ISIDE>).

Il “motore”

Il “motore” che controlla la dinamica degli intensi processi geologici nell’area dello Stretto di Messina e nelle zone limitrofe della Sicilia orientale e della Calabria meridionale, è l’interazione tra le placche africana ed europea, che mostrano un limite geometricamente complesso nella regione. Il Mar Ionio, che contiene gli ultimi lembi di un oceano Mesozoico chiamato *Tetide*, è sede di processi geologici molto attivi, che provocano lo sprofondamento dell’antica crosta oceanica al di sotto dell’Arco Calabro, la formazione di nuove catene montuose, e l’accumulo di energia elastica rilasciata lungo le faglie attive sotto forma di terremoti. Questo accade sia a mare che a terra, ma l’ambiente marino è molto più conservativo per quanto riguarda la registrazione geologica dei processi, e preserva per tempi più lunghi e in modo più intellegibile gli effetti delle deformazioni crostali e di terremoti passati.

Il metodo che meglio descrive questa incipiente deformazione è quello della sismologia, attraverso l’analisi della distribuzione spaziale dei terremoti e delle immagini tomografiche basate su dati sismologici (Neri et al., 2012; Billi et al., 2020; Scarfi et al., 2018; Sgroi et al., sottomesso), che mettono in luce posizione e stili deformativi delle strutture e aiutano a definirne la dinamica. Anche le misure geodetiche sono state utilizzate a questo scopo, perlomeno a terra, dove è possibile installare stazioni GPS; anche queste evidenziano un allontanamento progressivo tra la Sicilia e la Calabria, ovvero la componente stazionaria che riesce ad essere “dissipata” senza causare terremoti forti, a tassi nell’ordine di qualche millimetro l’anno (Devoti et al., 2018; D’Agostino et al., 2008; Mastrolembo-Ventura et al., 2014).

Utilizzando i metodi della geologia e geofisica marina è stato invece possibile acquisire dati a risoluzione maggiore (sismica a riflessione, rifrazione e morfobatimetria), che evidenziano in modo molto dettagliato la posizione e la natura delle strutture geologiche attive, che presentano il loro sviluppo principale a mare (Polonia et al., 2011; 2012; 2017a; 2017b; Gutscher et al., 2016;).

Esiste una profonda asimmetria tra quello che possiamo osservare nei due mari collegati dallo Stretto, lo Ionio a sud e il Tirreno meridionale a nord. Sulla sponda tirrenica, la litosfera africana si immerge in profondità e, arretrando verso sud-est, trascina con sé parte della Calabria. Dall’altro lato, nello Ionio, sono presenti estesi sistemi di faglie che accomodando la convergenza tra le placche africana ed eurasiatica (linee blu in Figura 1). Una fascia di deformazione ampia che coinvolge direttamente lo stretto, collega questi due sistemi di strutture tettoniche, provocando lo sprofondamento dello Ionio occidentale proprio di fronte allo stretto (linee rosse in Figura 1). Queste ultime consistono di sistemi di faglie profonde, estese decine di chilometri, e molto attive, gli “ingredienti” principali per generare terremoti di grande magnitudo. Questo quadro tettonico è sottolineato dalla diffusa presenza di fenomeni geologici particolari, come la risalita di fluidi e l’intenso vulcanesimo. Non a caso il monte Etna, il più grande e attivo vulcano europeo, si è formato proprio su una di queste strutture.

Terremoti

Bologna
Via P. Gobetti, 101
40129 BO
Tel +39 051 6398891
Fax +39 051 6398939
segreteria@bo.ismar.cnr.it

Lerici
Forte Santa Teresa
19032 SP
Tel +39 0187 978300
Fax +39 0187 970585
segreteria@sp.ismar.cnr.it

Napoli
Calata Porta di Massa,
80133 NA
Tel +39 081 5423846
Fax +39 081 5423887
segreteria@na.ismar.cnr.it

Roma
Via del Fosso del Cavaliere, 100
00133 RM
Tel: +39 06 49934576
Fax: +39 06 45488291
segreteria@rm.ismar.cnr.it

Trieste
Area Science Park
SS 14, Km 163,5 Ed. Q2
34149 Basovizza TS
Tel +39 040 3756871 -2
segreteria@ts.ismar.cnr.it

I sistemi di faglie attive osservate in prossimità dello Stretto hanno causato i terremoti più devastanti mai avvenuti in Italia, e sono responsabili della formazione dei grandi complessi vulcanici dell'Etna e delle Eolie. E' questa l'area sorgente del terremoto di Messina del 1908, solo il più recente di una lunga serie, che ha avuto una magnitudo stimata di 7.2 Richter, e ha provocato quasi 100.000 vittime anche a causa di un devastante tsunami seguito al sisma (Pino et al., 2009).

La sismicità registrata nel periodo 1990-2018 è stata recentemente analizzata con nuove tecniche di localizzazione degli eventi sismici (SgROI et al., sottomesso). La mappa di Figura 2 illustra come, a fronte di una sismicità diffusa nella regione del Mar Ionio, si osserva invece un cluster di sismicità nella zona dello stretto a cavallo di una faglia marcata in rosso nella mappa a sinistra, che controlla i processi di allontanamento tra Sicilia e Calabria. Questa sismicità interessa un volume litosferico che ha radici profonde, fino a 50-60 km (Figura 2 a destra).

Altri dati sulla sismicità nell'area dello stretto possono essere recuperati dal sito:

<https://doi.org/10.13127/ISIDE>.

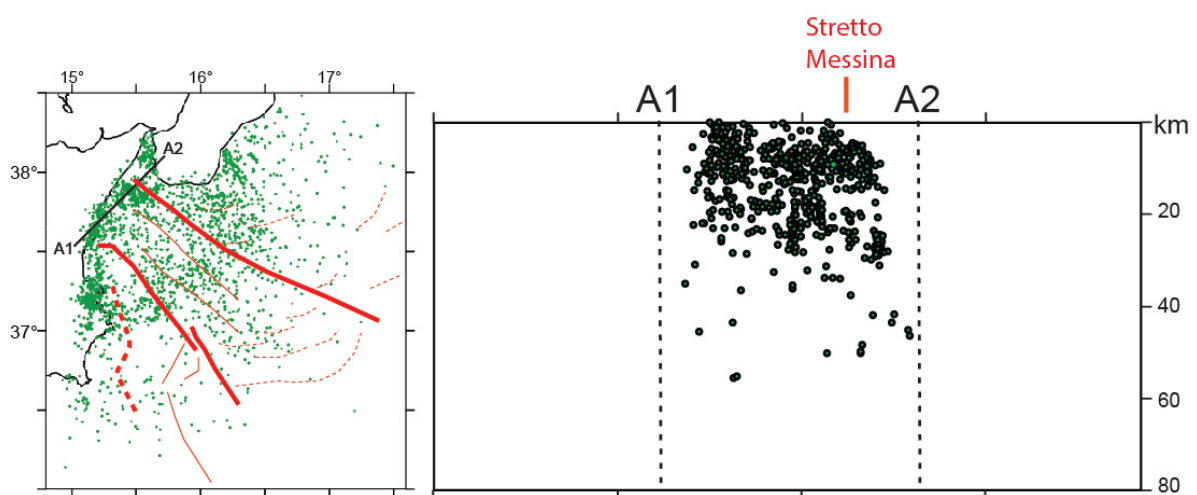


Figura 2 - A sinistra: mappa della sismicità registrata nel periodo 1990-2018 con indicate in rosso le faglie principali. A destra: sezione attraverso la zona dello stretto che mostra la distribuzione verticale della sismicità. Modificata da SgROI et al., sottomesso alla rivista "Scientific Reports". In revisione.

Maremoti e frane sottomarine

I maggiori terremoti storici sono stati seguiti da tsunami catastrofici innescati anche dalle frequenti frane sottomarine che si verificano nella zona. Le catene montuose in prossimità dello stretto di Messina infatti si stanno sollevando a tassi molto alti (2-3 mm/anno) incrementando la pericolosità geologica perché i frequenti terremoti, anche di media intensità, hanno la possibilità di generare frane sottomarine e tsunami proprio per la presenza di una abbondante quantità di sedimenti trasportati sulle piattaforme e scarpate continentali che si trovano in condizioni instabili (Polonia et al., 2013).

L'analisi di campioni di sedimenti marini nel Mar Ionio ha permesso di verificare che il terremoto/tsunami di Messina del 1908, ad esempio, ha innescato frane sottomarine multiple, i cui effetti si sono registrati a centinaia di chilometri al largo. Sono stati trovati resti di piante e fauna che in condizioni normali vivono in prossimità della costa, strappati e trasportati a profondità abissali (oltre 4000 metri di profondità dell'acqua) a causa degli effetti dello scuotimento sismico e della

successiva onda di tsunami (Polonia et al., 2017b). Lo scuotimento sismico nella zona dello stretto, dunque, ha la possibilità di generare frane sottomarine, erosione delle zone costiere da parte dell'onda di tsunami e delle successive onde di sessa, ed il trasporto di enormi volumi di sedimenti dalla zona costiera fino alle piane abissali a centinaia di chilometri di distanza (Figura 3).

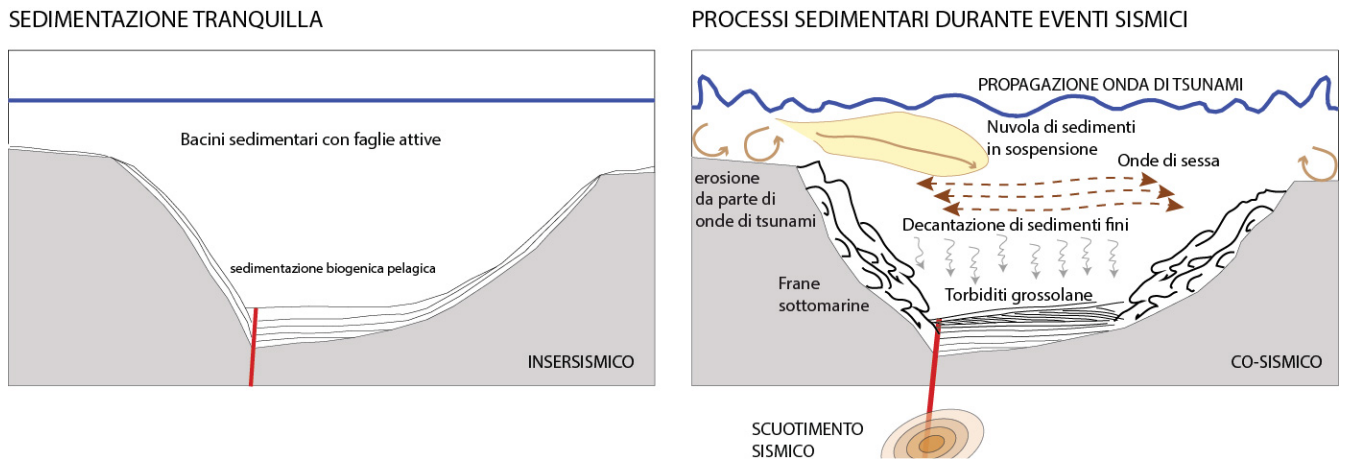


Figura 3- Modello deposizionale in un bacino sedimentario confinato (modello applicabile anche allo stretto di Messina) che illustra i processi sedimentari durante periodi inter sismici, periodi tranquilli tra un terremoto e quello successivo (a sinistra) e gli effetti dell'attività sismica e della propagazione delle onde di tsunami sulla sedimentazione marina (a destra). L'accelerazione sismica produce instabilità dei margini continentali, frane sottomarine con la conseguente formazione di onde di tsunami che erodono le zone costiere. Le conseguenze finali sono la rimobilizzazione di grandi volumi di sedimenti che vengono trasportati anche per centinaia di chilometri.

Considerazioni conclusive

Dopo i recenti eventi catastrofici di Sumatra e del Giappone i sismologi sono molto cauti nel fare previsioni sugli scenari del terremoto atteso su una singola struttura tettonica e sull'onda di tsunami che si potrebbe generare, perché probabilmente stiamo sottovalutando la magnitudo massima che le strutture sismogenetiche anche in altre parti del mondo, come l'Italia, possono generare. In Giappone avevano costruito tutte le infrastrutture sicure che una possibile onda di tsunami non sarebbe mai stata più alta di 9 m. Le conseguenze di questa sottovalutazione sono state catastrofiche. Nello stretto di Messina non è ancora chiaro quale sia la magnitudo massima attesa per un possibile terremoto futuro perché non si conoscono con esattezza dimensioni e continuità delle strutture identificate.

Di fronte alla portata di questi fenomeni, gli unici rimedi efficaci sono la conoscenza e la prevenzione. Le catastrofi naturali, infatti, sono intimamente legate alla geologia del territorio e non possono essere evitate. Le indagini di geologia marina, in situazioni come quella dello Stretto di Messina, permettono di ricostruire la frequenza e gli effetti degli eventi passati, formulare scenari futuri e pianificare una corretta gestione del territorio che impedisca l'urbanizzazione in zone a rischio.

Riguardo alla riproposizione di realizzare una infrastruttura fissa di collegamento tra Sicilia e Calabria, il "Ponte sullo Stretto", o il più recente "tunnel", idea che viene riproposta periodicamente e che suscita dibattiti interminabili tra varie fazioni su aspetti diversi, che vanno dalla fattibilità dell'opera alla sua reale necessità, il problema principale sul quale dobbiamo concentrarci è che alla luce di molti anni di discussioni politiche, investimenti (sempre molto bassi per la ricerca scientifica)

non abbiamo ancora un quadro preciso degli scenari di rischio geologico ai quali una simile infrastruttura potrà essere sottoposta. In questo caso, o si investono le necessarie risorse in una ottima e moderna ricerca, o si progettano le opere considerando lo scenario peggiore, che nel caso dello Stretto di Messina non può essere dissimile da analoghi recenti molto devastanti, come ad esempio il terremoto del 1999 a Izmit (Magnitudo 7.4) e che potrebbe addirittura non essere molto diverso da quello dei recenti eventi di Sumatra o del Giappone.

L'esempio della Turchia

In Turchia nord-occidentale, durante il terremoto di Izmit del 1999, si sono avute accelerazioni del suolo molto elevate, e movimenti cosismici di diversi metri in prossimità dell'epicentro. Dopo alcune decenni di ricerche a valle di quel terremoto, finanziate quasi totalmente dalla Comunità Europea, il Governo Turco ha deciso di costruire un ponte proprio a cavallo della Faglia Nord-Anatolica, il Ponte Osman Gazi (Figura 4). Il ponte, che collega la città turca di Gebze alla provincia di Yalova (Figura 4), viene attraversato dall'autostrada O-5 attraverso il golfo. Il ponte è stato aperto il 1° luglio 2016 e ha superato il ponte di Fatih Sultan Mehmet per diventare il ponte più lungo in Turchia e il quarto ponte più lungo al mondo per la lunghezza della sua campata centrale.

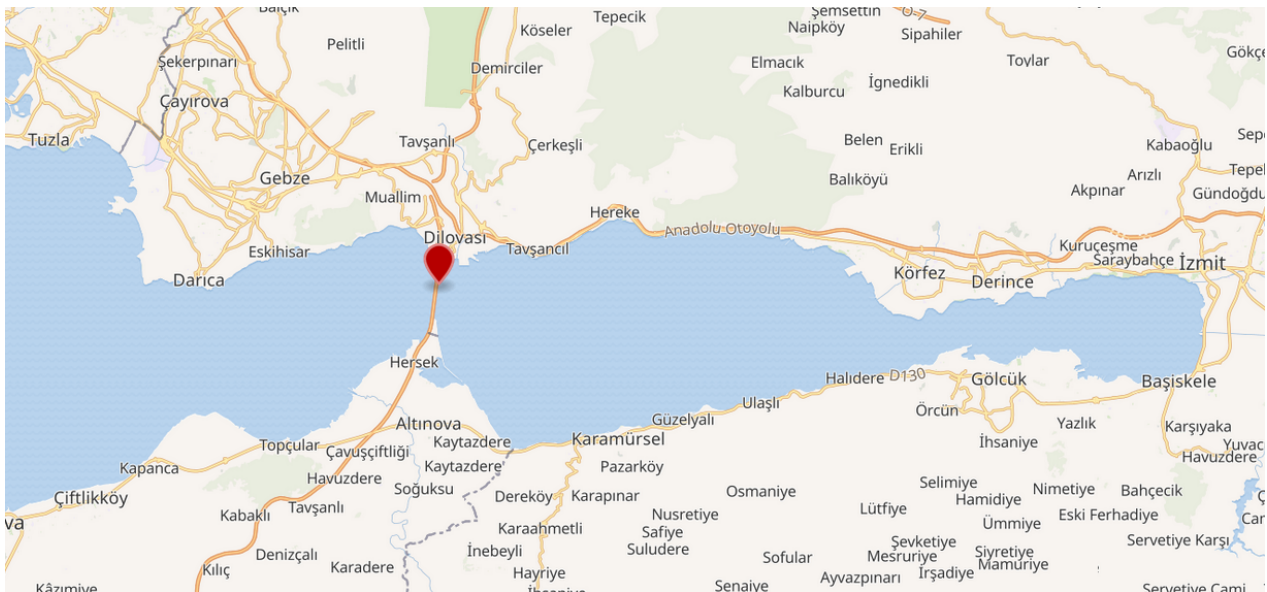


Figura 4- Golfo di Izmit nella porzione orientale del Mar di Marmara in Turchia con la posizione del ponte Osman Gazi.

Nel caso della Turchia, il Ponte Osman Gazi, si spera sia stato costruito basandosi sui risultati delle ricerche nel Mare di Marmara e delle centinaia di pubblicazioni che hanno seguito il terremoto di Izmit, che avevano messo in luce molto dettagliatamente il quadro geologico strutturale e sismologico della regione. IN campo italiano, ed in particolare nella zona dello Stretto di Messina, non abbiamo mai raggiunto lo stesso livello di conoscenza, che è invece consigliabile in aree geografiche caratterizzate da un rischio geologico molto elevato. Una analisi comparata tra le due situazioni, Golfo di Izmit in Turchia e Stretto di Messina in Italia, certamente diverse, ma per molti versi simili, potrebbe aiutare ad analizzare gli scenari di rischio e l'opportunità di realizzare un'opera del genere sul nostro territorio, anche alla luce del fatto che la comunità scientifica italiana ha potuto lavorare

Bologna
Via P. Gobetti, 101
40129 BO
Tel +39 051 6398891
Fax +39 051 6398939
segreteria@bo.ismar.cnr.it

Lerici
Forte Santa Teresa
19032 SP
Tel +39 0187 978300
Fax +39 0187 970585
segreteria@sp.ismar.cnr.it

Napoli
Calata Porta di Massa,
80133 NA
Tel +39 081 5423846
Fax +39 081 5423887
segreteria@na.ismar.cnr.it

Roma
Via del Fosso del Cavaliere, 100
00133 RM
Tel: +39 06 49934576
Fax: +39 06 45488291
segreteria@rm.ismar.cnr.it

Trieste
Area Science Park
SS 14, Km 163,5 Ed. Q2
34149 Basovizza TS
Tel +39 040 3756871 -2
segreteria@ts.ismar.cnr.it

con successo all'analisi del rischio geologico in Turchia, producendo una notevole bibliografia e impegnandosi ad acquisire dati importanti nell'ambito di progetti internazionali (Polonia et al., 2002; Polonia et al., 2004; Gasperini et al., 2011; Gasperini et al., 2012).

Riferimenti bibliografici

- Billi, A. *et al.* The SEISMOFAULTS Project: first surveys and preliminary results for the Ionian Sea area, southern Italy. *Ann. Geophys.*, 63, 3, SE326, doi:10.4401/ag-8171 (2020).
- Billi, A., Minelli, L., Orecchio, D. & Presti, D. Constraints to the cause of three historical tsunamis (1908, 1783, and 1693) in the Messina Straits region, Sicily, southern Italy. *Seismological Research Letters*, 81, 907-915, <https://doi.org/10.1785/gssrl.81.6.907> (2010).
- D'Agostino, N. *et al.* Active tectonics of the Adriatic region from GPS and earthquake slip vectors, *J. Geophys. Res.*, 113, <https://doi.org/10.1029/2008JB005860> (2008).
- Devoti, R. & Riguzzi, F. The velocity field of the Italian area. *Rendiconti Lincei*, 1/29. doi:10.1007/s12210-017-0651-x (2018).
- Gasperini L, A Polonia, F Del Bianco, G Etiope, G Marinaro, P Favali, ..(2012). Gas seepage and seismogenic structures along the North Anatolian Fault in the eastern Sea of Marmara. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 13 (10).
- Gasperini Luca; Polonia Alina; Bortoluzzi Giovanni; et al. (2011). How far did the surface rupture of the 1999 Izmit earthquake reach in Sea of Marmara? *TECTONICS*, 30, TC1010. doi: 10.1029/2010TC002726.
- Gasperini, L., A. Polonia, N. Çağatay, G. Bortoluzzi, and V. Ferrante (2011). Geological slip rates along the North Anatolian Fault in the Marmara region, *Tectonics*, 30, TC6001, doi:10.1029/2011TC002906, 2011.
- Gutscher, M.-A. *et al.* Tectonic expression of an active slab tear from high-resolution seismic and bathymetric data offshore Sicily (Ionian Sea). *Tectonics*, 35, 39-54 (2016).
- Hirn, A., Nicolich, R., Gallart, J., Laigle, M., Cernobori, L. & ETNASEIS Scientific Group. Roots of Etna volcano in faults of great earthquakes. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 148, 171–191 (1997).
- ISIDE Working Group. Italian Seismological Instrumental and Parametric Database (ISIDE). Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/ISIDE> (2007).
- Mastrolembo Ventura, B. et al. Fast geodetic strain-rates in eastern Sicily (southern Italy): New insights into block tectonics and seismic potential in the area of the great 1693 earthquake. *Earth and Planetary Science Letters*, 404, <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.07.025> (2014).
- Neri, G., Marotta, A.M., Orecchio, B., Presti, D., Totaro, C., Barzaghi R. & Borghi, A. How lithospheric subduction changes along the Calabrian Arc in southern Italy. *Int. J. Earth Sci.*, 101(7), 1949-1969 (2012).
- Pino, N.A., Piatanesi, A., Valensise, G. & Boschi, E. The 28 December 1908 Messina Straits Earthquake (MW 7.1): A Great Earthquake throughout a Century of Seismology. *Seismological Research Letters*, 80 (2), 243–259. <https://doi.org/10.1785/gssrl.80.2.243> (2009).
- Polonia A, Gasperini L., Amorosi A. Bonatti E, Cagatay N, Capotondi L, Cormier M.-H., Gorur N., McHugh C. Seeber L. Holocene Slip rate of the North Anatolian Fault beneath the Sea of Marmara, *EPSL*, 427, 411-426, 2004

- Polonia, A. *et al.* A depositional model for seismo-turbidites in confined basins based on Ionian Sea deposits. *Mar. Geol.*, 384, 177–198 (2017b).
- Polonia, A. *et al.* The Calabrian Arc subduction complex in the Ionian Sea: regional architecture, active deformation, and seismic hazard. *Tectonics*, 30, TC5018, <http://doi.org/10.1029/2010TC002821> (2011).
- Polonia, A. *et al.* The Ionian and Alfeo–Etna fault zones: New segments of an evolving plate boundary in the central Mediterranean Sea? *Tectonophysics*, 675, 69–90, <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2016.03.016> (2016). Polonia, A. *et al.* Lower plate serpentinite diapirism in the Calabrian Arc subduction complex. *Nature Communications*, 8, 2172, <http://doi.org/10.1038/s41467-017-02273-x> (2017a).
- Polonia, A. *et al.* Turbidite paleoseismology in the Calabrian Arc Subduction Complex (Ionian Sea). *Geochem. Geophys. Geosys.*, 14(1), <https://doi.org/10.1029/2012GC004402> (2013).
- Polonia, A., Torelli, L., Gasperini, L., & Mussoni, P. Active faults and historical earthquakes in the Messina Straits area (Ionian Sea). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, 2311–2328 (2012).
- Polonia, A.; Cormier, M H; Cagatay, N; Bortoluzzi, G; Bonatti, E; Gasperini, L., et. al, (2002). Exploring Submarine Earthquake Geology in the Marmara Sea. EOS, Transactions, America Geoph. Union, 83, N. 21, May 2002.
- Scarfi, L. *et al.* Slab narrowing in the Central Mediterranean: the Calabro-Ionian subduction zone as imaged by high resolution seismic tomography. *Scientific Reports*, 8:5178, <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23543-8> (2018).
- SgROI T., Polonia A., Barberi G., Billi A. and Gasperini L., New seismological data from the Calabrian Arc (Ionian Sea) reveal arc-orthogonal extension across the subduction zone . Submitted to Scientific Reports. Accepted pending revision.