



**Università degli Studi di Messina**  
*fondata nel 1548*

**INAUGURAZIONE  
DELL'ANNO ACCADEMICO  
2009-2010**

***PROLUSIONE PROF. GIANCARLO NERI***



**Messina 21 Novembre 2009**



# RISCHIO SISMICO E IDROGEOLOGICO

## Osservazioni, interpretazioni ed esigenze di studi futuri nel Messinese

Il territorio nebrodico-peloritano, il cui centro di gravità storico-culturale ed amministrativo è da sempre rappresentato dalla città di Messina (Figura 1), a causa della sua tormentata orografia, della complessa natura geologica e della elevata intensità dei processi geodinamici, è purtroppo soggetto a svariate tipologie di eventi naturali ad alta energia e di breve durata, quindi ad alta potenza, con effetti spesso devastanti.

Tali eventi, in larga parte riconducibili alla fenomenologia sismica ed alla marcata attitudine dei versanti al dissesto, se da un lato rappresentano un serio freno allo sviluppo del territorio, per altri versi fanno dello stesso territorio un laboratorio ideale per lo studio dei rischi legati a tali processi estremi.

E' anche per questa ragione che l'Università di Messina, con le sue Facoltà di Ingegneria e di Scienze *MFN*, è da lungo tempo impegnata nello studio delle tematiche inerenti i rischi naturali e la salvaguardia del territorio, anche attraverso collaborazioni di ricerca con vari organismi nazionali ed internazionali all'avanguardia nel settore.

Oltre a sviluppare ricerche di base ed applicate sulle tematiche dei rischi naturali, ed in particolare sul rischio sismico, vulcanico, da *tsunami*, idrogeologico ed idraulico, l'Ateneo svolge attività tecnico-scientifiche e di consulenza a supporto degli Enti locali deputati a vario titolo alla gestione e messa in sicurezza del territorio (Regione, Provincia Regionale, Comune, Prefettura, etc)



Figura 1. Mappa dell'area nebrodico-peloritana, sede di intense fenomenologie sismiche e idrogeologiche anche devastanti. L'orografia, la natura geologica ed il dinamismo tettonico di quest'area creano forti presupposti per il verificarsi di tali fenomenologie.

In questa nota l'attenzione è rivolta in particolar modo verso quelle tipologie di fenomeni naturali che hanno da sempre prodotto gli effetti più devastanti sul territorio messinese: i terremoti ed i maremoti, che rappresentano momenti incancellabili nella memoria storica della città oltre che rischi concreti per il futuro, ed i processi di versante a dinamica veloce innescati da piogge ad elevata intensità. Questi ultimi rappresentano purtroppo fenomeni di tragica attualità, testimoniati dall'evento alluvionale che ha devastato e funestato parte del settore ionico dei Peloritani appena nello scorso mese di ottobre.

### **Il rischio sismico**

Lo studio del rischio sismico di una regione impone una serie di operazioni fondamentali così elencabili: (a) individuazione e caratterizzazione delle faglie capaci di generare terremoti aventi rilevante impatto sul territorio; (b) valutazione della probabilità di attivazione sismica delle stesse faglie nel futuro; (c) stima degli scuotimenti del suolo attesi dai futuri eventi sismici e valutazione preventiva degli effetti conseguenti.

L'individuazione delle faglie capaci di generare forti terremoti, le quali peraltro possono non affiorare in superficie e dunque non essere direttamente rilevabili sul terreno dai geologi, viene effettuata applicando varie metodologie di indagine, sia geofisiche che geologiche, ed integrando le informazioni che le diverse metodologie forniscono. La localizzazione degli ipocentri dei terremoti anche di piccola entità costituisce uno degli strumenti maggiormente impiegati per stabilire l'ubicazione, la geometria e le dimensioni delle superfici di faglia sismicamente capaci. Questo approccio è basato sulla misura dei tempi di arrivo delle onde sismiche ai sismometri posizionati nell'area interessata dal terremoto (Presti et alii, 2008) e necessita di una conoscenza abbastanza dettagliata delle proprietà meccaniche e fisiche delle rocce e dei materiali che costituiscono la crosta terrestre nella zona del terremoto (Neri et alii, 2002; Barberi et alii, 2004; Neri et alii, 2004, 2005). Tuttavia, poiché le faglie sismogenetiche possono rimanere silenti anche per periodi di tempo molto lunghi (decenni ed oltre), lo studio della sismicità recente di una regione (ovvero della sismicità analizzabile con il supporto delle registrazioni strumentali) può non rivelare tutte le strutture sismogenetiche presenti nella regione stessa. Lo studio della sismicità "storica", ovvero dei terremoti originatisi in epoca pre-strumentale, per i quali si dispone soltanto di notizie documentali e storiche sui danni e sugli effetti prodotti sul territorio, costituisce un altro approccio comunemente utilizzato per acquisire conoscenze sulle strutture sismogenetiche, peraltro capace di fornire

elementi di informazione sul comportamento sismico a medio e lungo termine delle strutture stesse (Neri et alii, 2006). Le informazioni provenienti dall'applicazione delle rispettive metodologie vengono usualmente confrontate ed integrate con altri dati, preminentemente di tipo geologico (ad esempio le eventuali evidenze di faglie rilevate dai geologi sul terreno) e geofisico (es. misure gravimetriche in grado di evidenziare le discontinuità strutturali attraverso contrasti di densità delle rocce, o misure interferometriche di deformazione del suolo eseguite attraverso tecniche satellitari). Esempi di indagini multidisciplinari riferibili all'area di nostro maggiore interesse possono essere reperiti nei lavori di Billi et alii (2006, 2007).

La figura 2 presenta una mappa strutturale schematica della regione calabro-siciliana, cioè una mappa delle principali strutture di faglia rilevate per lo più mediante osservazioni sul terreno, foto satellitari e prospezioni geofisiche in mare. Una mappa strutturale è sempre frutto di una complessa opera di analisi interpretativa e di sintesi, dunque possiede in se un certo grado di soggettività, ed è per tale motivo che mappe strutturali di una stessa area predisposte da autori diversi possono presentare differenze anche consistenti tra loro.

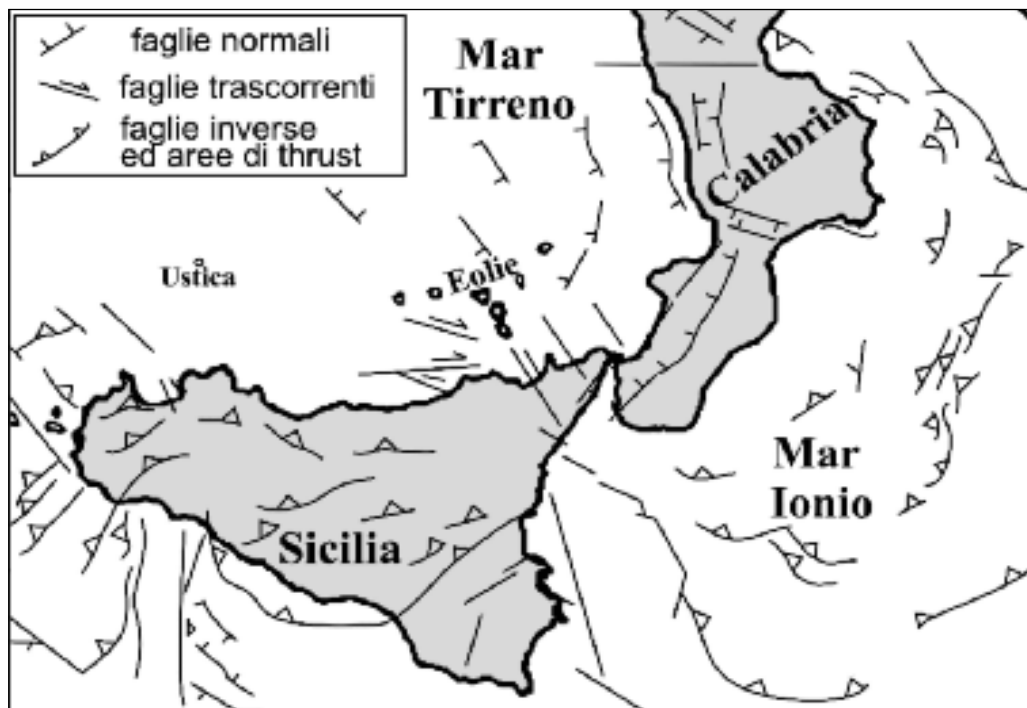


Figura 2. Mappa strutturale schematica dell'intera regione calabro-siciliana (da Meletti et alii, 2000).

I diversi simboli abbinati alle faglie di figura 2 rappresentano, secondo convenzione, il verso del movimento relativo dei blocchi di roccia a contatto sulle faglie stesse. La figura 3 presenta la distribuzione spaziale dei 30 terremoti della sequenza sismica del Febbraio 1999 nel Golfo di Patti, ottenuta con una tecnica di localizzazione ipocentrale messa recentemente a punto dai ricercatori dell'Università di Messina (Presti et alii, 2008). Tale tecnica fornisce, per ciascun terremoto, una nuvola di probabilità che individua la zona nella quale l'evento si è originato. La somma delle nuvole di probabilità dei singoli terremoti della sequenza (Fig. 3) indica l'area in cui si è sviluppata la sequenza. Le colorazioni in giallo, arancione e rosso indicano densità crescente di sismicità. In questo tipo di rappresentazioni, gli addensamenti di sismicità, e soprattutto gli allungamenti delle zone di maggiore sismicità, individuano la presenza delle faglie sismogenetiche. La sequenza sismica del Febbraio 1999 si è distribuita lungo una fascia molto ben individuabile, orientata in direzione NNW-SSE. Tale risultato evidenzia con buona risoluzione la presenza di una faglia off-shore tra l'isola di Vulcano e la costa settentrionale della Sicilia. L'integrazione di questo dato con altre informazioni, nell'ottica precedentemente illustrata, costituisce un passaggio fondamentale per una più accurata definizione delle principali caratteristiche geometriche e cinematiche della faglia, e per una valutazione del suo comportamento sismico a breve e a lungo termine.

Una volta individuate le principali strutture sismogenetiche presenti in una regione si procede con la stima della probabilità che ciascuna di esse si attivi con un forte terremoto in un arco di tempo predefinito. Tale stima viene effettuata per la singola "sorgente sismica" utilizzando un metodo denominato *Brownian*



Figura 3. Localizzazione della sequenza sismica del Febbraio 1999 nel Golfo di Patti, effettuata con il metodo probabilistico non-lineare BAYLOC di Presti et alii (2008). Questo metodo fornisce, per ciascun terremoto, una nuvola di probabilità che individua la zona nella quale l'evento si è originato. La somma delle nuvole di probabilità dei singoli terremoti della sequenza (mappa cumulativa di localizzazione) indica l'area in cui si è sviluppata la sequenza. Le colorazioni in giallo, arancione e rosso indicano densità crescente di sismicità in relazione alla sequenza specifica. La mappa comprende in totale 30 terremoti e mostra che la faglia che ha generato la sequenza è ubicata in mare, tra l'isola di Vulcano e la costa settentrionale siciliana in prossimità di Tindari.

*Passage Time (BPT)*. Mediante opportuni algoritmi fisico-matematici è possibile calcolare la probabilità che un terremoto si verifichi su una determinata sorgente nel lasso di tempo compreso tra il momento in cui viene effettuato il calcolo ed un momento successivo lontano anche decenni, a condizione che si conosca la data dell'ultimo forte terremoto prodotto dalla stessa sorgente. Ai fini di una stima attendibile, la sorgente sismica deve essere opportunamente caratterizzata fissando – sulla base degli studi geologici, geodetici e sismologici - i valori di vari parametri geometrici e fisici come ad es. la lunghezza e la larghezza della faglia (schematicamente rappresentata come un rettangolo), l'ubicazione del suo centro di simmetria, l'orientazione, l'inclinazione ed il verso di dislocazione

della faglia, la magnitudo, il tempo di ricorrenza e l'entità della dislocazione del suo terremoto caratteristico, la dislocazione annua sulla superficie di faglia. Conoscere la probabilità di attivazione delle singole sorgenti nel futuro a breve e medio termine è ovviamente importante per orientare in modo efficace le politiche e le strategie di prevenzione sismica sia su scala nazionale che su scala locale.

Individuate le sorgenti sismogenetiche e stimate le rispettive probabilità di attivazione, si procede alla determinazione analitica degli scenari di scuotimento del suolo attesi come conseguenza del verificarsi degli eventi più probabili. Il "campo di accelerazione" al suolo atteso da un evento sismico di magnitudo 7 originante sulla sorgente DISS-INGV dello Stretto di Messina è rappresentato in Figura 4. Il metodo adottato per il calcolo di questo scenario utilizza come dati di input i para-

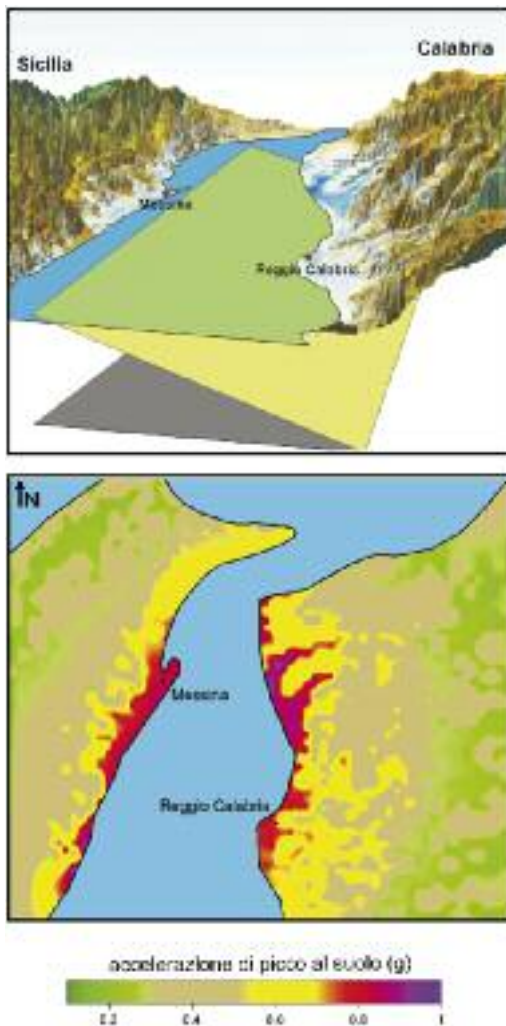


Figura 4. Mappa delle accelerazioni di picco al suolo (riquadro in basso) attese da un evento sismico di magnitudo 7 originante con meccanismo diretto sulla sorgente sismogenetica DISS-INGV dello Stretto di Messina (rettangolo giallo nel riquadro in alto).

metri geometrici e fisici della sorgente sismogenetica e le proprietà meccaniche e fisiche delle rocce attraversate dalle onde sismiche per raggiungere la superficie terrestre. La stima del campo di accelerazione al suolo richiede una conoscenza adeguata dell'amplificazione introdotta dagli strati superficiali meno coerenti. Tale conoscenza si acquisisce con le tecniche di "microzonazione sismica", le quali richiedono un impegno molto consistente anche in considerazione dell'elevata eterogeneità dei terreni e dunque della variabilità dei loro comportamenti anche su distanze molto brevi. Pertanto tali studi devono essere effettuati utilizzando una maglia molto fitta di punti di misura sul territorio di interesse. Occorre rilevare che l'amplificazione o risposta locale dei terreni non è al momento nota in modo adeguato per gran parte del territorio del Comune e della Provincia di Messina e ciò rende inevitabilmente approssimative le previsioni di scuotimento del suolo nell'area. Ciò vale sia per le mappe di *hazard* elaborate con metodi deterministici (ovvero simulando l'attivazione della singola sorgente sismogenetica come richiamato in precedenza) sia per le mappe ottenute con metodi probabilistici a loro volta basati sulla proiezione futura in senso statistico del comportamento sismico passato dell'area (noto dai cataloghi sismici).

I valori attesi per lo scuotimento del suolo vengono inseriti all'interno di un apposito sistema informatizzato nel quale confluiscono parallelamente i principali dati territoriali (viabilità, edificato, popolazione, etc...). Gli "oggetti" suscettibili di danno dovranno essere qualificati mediante un dato di vulnerabilità, riconducibile ad una tipologia di danno atteso in relazione ad un determinato scuotimento. La qualità della stima del danno atteso sarà ovviamente proporzionale alla qualità del dato di vulnerabilità. Anche nel caso della vulnerabilità, come già evidenziato parlando dell'amplificazione sismica locale, le informazioni disponibili sul territorio di Messina (come peraltro in gran parte del territorio nazionale) sono ancora fortemente lacunose. Uno sforzo consistente deve essere profuso dagli organismi competenti al fine di conseguire un incremento di qualità delle conoscenze relative a tali parametri, nell'ottica di un reale potenziamento di tutti gli strumenti utili alla pianificazione territoriale ed alla prevenzione sismica.

### ***Il rischio tsunami***

Il terremoto del 1908 è stato seguito a brevissima distanza di tempo (da un paio di minuti a circa dieci minuti a seconda della località) da un violento *tsunami* che si è abbattuto sulle coste della Sicilia e della Calabria intorno allo Stretto di Messina. La figura 5 riporta l'altezza dell'onda di *tsunami* (espressa in metri) stimata per le varie località costiere in Sicilia e Calabria ed evidenzia che i valo-



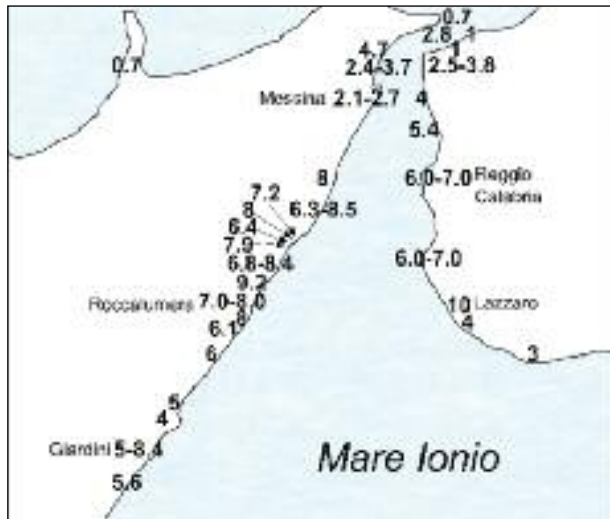


Figura 5. Altezza (in metri) dell'onda di tsunami che ha raggiunto le coste intorno allo Stretto di Messina ed a sud di esso nei minuti successivi al terremoto del 28 Dicembre 1908 (Baratta, 1910).

ri massimi (intorno a 10 metri) sono stati rilevati all'imbocco meridionale dello Stretto. La figura 6 mostra invece la distribuzione delle intensità macrosismiche (scala MCS) stimate per le varie località in base agli effetti prodotti dal terremoto. Gli effetti di danno del terremoto sono stati massimi

nella parte settentrionale dell'area dello Stretto, a differenza di quanto si è osservato per l'altezza dell'onda di tsunami. Va anche ricordato che la posizione della "sorgente" del terremoto, così come è stata ricostruita sulla base delle registrazioni sismografiche e dei movimenti cosismici del suolo, corrisponde in modo abbastanza soddisfacente alla distribuzione delle intensità macrosismiche. L'insieme di queste informazioni ha per vari anni costituito un elemento a sfavore per l'ipotesi in un primo tempo avanzata dagli studiosi che il maremoto del 1908 potesse essere stato generato dal moto improvviso del fondale marino lungo la faglia al verificarsi del processo di dislocazione sismica.

Nel 2008 un team composto da ricercatori delle Università di Messina e RomaTre ha formulato una nuova teoria in grado di spiegare tutti i dati a disposizione (Billi et alii, 2008). Esaminando le varie informazioni disponibili dalla letteratura per lo tsunami, ivi compresi i ritardi tra il terremoto e l'arrivo dell'onda di tsunami valutati sia pure

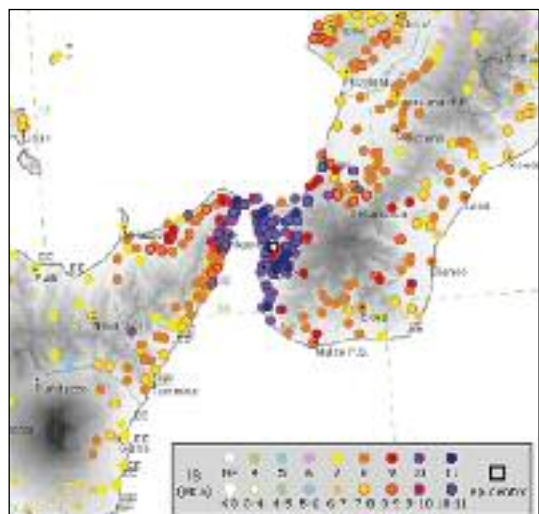


Figura 6. Intensità macrosismiche (scala Mercalli-Cancani-Sieberg) rilevate in Sicilia Nordorientale e Calabria Meridionale a seguito del terremoto del 28 Dicembre 1908 (databases macrosismici [www.ingv.it](http://www.ingv.it)).

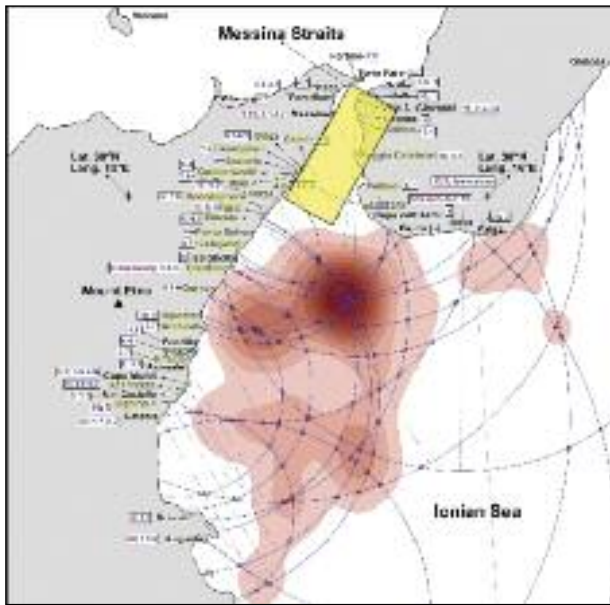


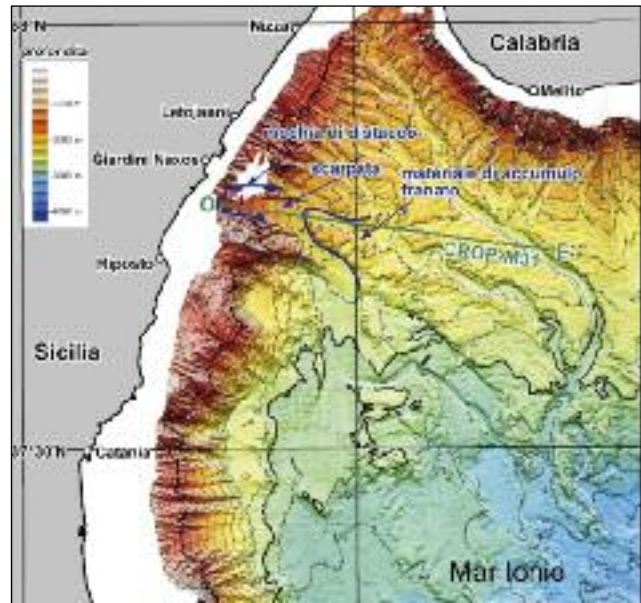
Figura 7. Il rettangolo in giallo rappresenta la proiezione in superficie della faglia che ha generato il terremoto del 28 Dicembre 1908 (Basili et alii, 2008; DISS Working Group, 2009). La macchia rossa, con particolare riferimento alla zona in cui è massima l'intensità cromatica, indica l'area di più probabile origine delle onde di tsunami che hanno fatto seguito allo stesso terremoto (Billi et alii, 2008). Le sorgenti del terremoto e dello tsunami sono dunque distinte, in particolare la sorgente dello tsunami è stata identificata in una frana sottomarina (v. anche figura 8).

approssimativamente in varie località sulle fasce costiere siciliana e calabrese, ed eseguendo analisi della morfologia dei fondali dello Stretto e dei settori a sud di esso, i ricercatori hanno trovato chiare evidenze che lo tsunami è stato generato da una importante frana sottomarina innescata dal transito delle onde sismiche prodotte dal terremoto.

La frana si è attivata a oltre 1000 metri di profondità, alcune decine di chilometri al largo di Taormina-Giardini, dunque al di fuori del settore direttamente interessato dal processo di frattura che ha prodotto l'evento sismico (Figure 7 e 8). Questo risultato ha creato i presupposti per studi sempre più approfonditi sulla genesi e sulla propagazione delle onde di tsunami, con implicazioni anche pratiche non indifferenti. Vi sono infatti ampie porzioni di territorio nelle aree costiere del Messinese contraddistinte da valori di altitudine stabilmente inferiori alle altezze rilevate per le onde di maremoto del 1908. L'evento sismico del 6 Febbraio 1783 in Calabria Meridionale (uno dei terremoti della sequenza che distrusse numerosi centri e località tra il 5 Febbraio e la fine di Marzo di quell'anno) causò una imponente frana sulle pendici di Monte Paci sulla costa tirrenica della Calabria Meridionale.

La frana determinò un'onda di tsunami che provocò la morte di varie centinaia di persone recatesi sulla spiaggia di Scilla proprio per sfuggire al terremoto e fece anche vittime nell'estremità nord del territorio di Messina (Capo Peloro) ove l'onda giunse con un'altezza di 8-10 metri. E' possibile con le metodologie oggi disponibili simulare analiticamente l'intero processo che prende il

Figura 8. Ubicazione della frana sviluppata sul fondale dello Ionio al largo di Giardini-Naxos il 28 Dicembre del 1908, innescata dal transito delle onde sismiche prodotte dal terremoto, originatosi più a nord. A tale frana viene imputata la genesi dello tsunami che ha seguito di qualche minuto il terremoto (Billi et alii, 2008).



via con la generazione dell'onda di *tsunami* e poi prosegue con la propagazione dell'onda verso la costa sino all'inondazione della terra emersa (per quest'ultima vengono rappresentati analiticamente con adeguato dettaglio la morfologia/topografia del terreno e l'edificato). La simulazione del processo di inondazione della terraferma, realizzata tenendo anche conto degli ostacoli opposti dall'edificato al fronte dell'onda, consente l'individuazione degli spazi più protetti rispetto all'impatto dello *tsunami*. Questo problema deve essere affrontato con particolare attenzione da parte degli organismi preposti alla gestione del territorio ed alla predisposizione dei piani di emergenza.

### ***Il rischio idrogeologico***

Un'altra fonte di pericolosità territoriale particolarmente severa per tutto il territorio provinciale e per la stessa area urbana di Messina è la elevata tendenza al dissesto dei versanti, in particolare in occasione di piogge molto intense.

La diffusa franosità per colate rapide di detrito e di fango (Fig. 9a) che il primo ottobre di quest'anno ha provocato 31 morti, 6 dispersi, circa 1600 sfollati e danni ingenti all'urbanizzato ed alle infrastrutture di una parte del territorio del versante ionico dei Peloritani, è strettamente connessa ad una serie di fattori territoriali predisponenti di carattere naturale. Tali fattori sono (a) l'estrema articolazione morfologica del territorio con versanti a forte acclività, (b) la pre-



*Figura 9. L'immagine (a) evidenzia una zona di diffusa instabilità nella quale si sono originate varie colate detritiche in occasione delle violente precipitazioni dell'1 ottobre 2009 (area di Briga superiore). La foto (b) mostra una paleofrana nell'area di Rometta e l'edificato ubicato immediatamente a ridosso di essa.*

senza su questi di un discontinuo mantello di suolo prevalentemente regolitico, spesso anche alcuni metri e formatosi sotto una copertura forestale adesso inesistente e (c) la bassa permeabilità dei tipi litogici (essenzialmente metamorfiti di basso e medio grado) che fanno da substrato al suolo stesso. Il fattore scatenante dell'evento dell'1 ottobre è stato il transito su queste aree di un ciclone mediterraneo che ha scaricato su settori molto circoscritti una elevata quantità di pioggia in poche ore (probabilmente l'altezza di pioggia ha raggiunto valori intorno ai 250–300 mm in qualche ora, anche se il dato non è adeguatamente confinabile per la mancanza di stazioni meteorologiche ubicate in intorni significativi del settore interessato dal danneggiamento). La provincia di Messina è notoriamente la più piovosa dell'isola (808 mm/anno, a fronte di una media siciliana di 633 mm/anno) ed il versante ionico dei Peloritani con 880 mm/anno risulta essere il settore più piovoso della provincia. Un dato appare comunque particolarmente preoccupante: la stazione meteorologica SIAS di Fiumedenisi, la più prossima all'area disastrosa, ha registrato negli ultimi quattro anni ben quattro di questi eventi estremi, che le analisi delle serie pluviometriche storiche indicano avere periodi di ritorno di 10 anni. In altre parole, quattro eventi che sulla base di inferenze statistico-probabilistiche avrebbero dovuto verificarsi in quaranta anni si sono di fatto verificati in 4 anni. Questa accresciuta frequenza degli eventi più intensi è oggettivamente allarmante: oltre a fornire indizi su un cambiamento climatico in corso nell'area centro-mediterranea, essa può rendere inefficace la progettazione di opere idrauliche di confinamento laterale d'alveo basata sull'utilizzo dei *databases* a lungo termine della piovosità.

Le osservazioni condotte da docenti e ricercatori dell'Università di Messina testimoniano una complessa dinamica dei fenomeni di frana durante l'evento meteorico dell'1 Ottobre. Sotto il regime di pioggia intensa, dopo una rottura iniziale di tipo planare governata dalla legge di Coulomb-Terzaghi nelle zone di innesco sui versanti, rottura dovuta all'aumento della pressione neutra generata da transienti idraulici nell'orizzonte di suolo-regolite, a loro volta provocati dal contrasto di trasmissività idraulica tra suolo-regolite e substrato geologico, ogni singolo corpo di frana in scorrimento planare ha subito una transizione di fase trasformandosi bruscamente in un fluido non newtoniano, descrivibile in prima approssimazione con il modello reologico di Bingham con soglia di plasticità, ed in seconda approssimazione con il modello reologico non lineare a tre parametri di Herschel-Bulkley. Anche se la viscosità dinamica della mistura di acqua e detriti che costituiva ogni singola colata era complessivamente alta, tanto da consentire la presa in carico ed il trasporto di massi erratici anche di diversi m<sup>3</sup>, l'elevata densità, intorno a 2.0–2.2 ton/m<sup>3</sup> induceva una elevata velocità di scor-

rimento, stimata fino a 40 km/ora alla base dei versanti delle zone vulnerate. Entrambe questi aspetti danno ragione sia della forte capacità distruttiva dei fronti avanzanti delle colate, veri e propri arieti nei confronti dei manufatti che incontravano, sia dei fenomeni di sovraescavazione a carico dei segmenti d'alveo con elevate pendenze longitudinali quando invasi dalle colate stesse. Per le loro peculiari caratteristiche reologiche, le colate di detrito - una volta arrestate - subivano una nuova transizione di fase, riprendendo un comportamento da solido, intasando le aste naturali di drenaggio del territorio nei loro tratti distali, a basso angolo, e provocando effetti locali di sbarramento delle acque defluenti nei canali drenanti principali. Questi ultimi hanno così perso istantaneamente la capacità di drenare in modo efficiente le intense acque meteoriche, esondando ed invadendo in alcune zone le aree prossime agli alvei di piena ordinaria, o, addirittura, costruendo un nuovo alveo in un caso.

Queste sintetiche valutazioni sui dissesti che si sono verificati l'1 ottobre 2009 evidenziano la necessità di una pianificazione complessiva di interventi per la tutela delle popolazioni da futuri eventi analoghi nelle stesse aree o in aree prossime. Tali interventi dovranno essere necessariamente preceduti da una serie di accurate indagini sulla potenziale dissestabilità dei versanti e sulle fenomenologie attese.

Purtroppo, il quadro della franosità del territorio messinese non si esaurisce con la attivazione di colate veloci sotto eventi di pioggia estremi, ma comprende un ampio spettro di movimenti di massa, sia veloci, come crolli di roccia in parete, che lenti, come frane roto-traslazionali e traslazionali, diffusamente presenti in tutto l'areale nebrodico-peloritano e finanche nella stessa città di Messina. In una tale situazione di elevata instabilità complessiva dei versanti, non è difficile immaginare uno scenario in cui il cambio di regime di lavoro (da statico a dinamico) degli stessi versanti, causato dalle accelerazioni orizzontali indotte da un evento sismico, possa innescare sul territorio una franosità generalizzata che certamente amplificherebbe i nefasti effetti dovuti al sisma. La recente individuazione sul territorio, ad opera dei ricercatori dell'Università di Messina, di grandi corpi di paleofrane sismoindotte, attualmente quiescenti, conferma l'ipotesi di scenario (Fig. 9b).

Si ritiene in conclusione che i vari soggetti impegnati negli studi teorici ed applicativi sulle tematiche del rischio idrogeologico stiano sviluppando analisi di notevole interesse, seppur circoscritte ad aspetti specifici e settori particolari del territorio. Ciò che gli organismi di coordinamento dovranno impegnarsi a realizzare nel più breve tempo possibile è un concreto raccordo delle diverse iniziative e l'avvio di uno sforzo più sistematico sull'intero territorio.

## ***Bibliografia***

AMORUSO A., CRESCENTINI L., NERI G., ORECCHIO B., SCARPA R. (2006). Spatial relation between the 1908 Messina Straits earthquake slip and recent earthquake distribution, *Geophysical Research Letters*, 33, L17309, doi:10.1029/2006GL027227.

BARATTA, M. (1910). La catastrofe sismica calabro-messinese (28 Dicembre 1908). Società Geografica Italiana, Roma, 426 pp.

BARBERI G., COSENTINO M.T., GERVAZI A., GUERRA I., NERI G., ORECCHIO B. (2004). Crustal Seismic Tomography In The Calabrian Arc Region, South Italy, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 147, 297-314.

BASILI R., G. VALENSISE, P. VANNOLI, P. BURRATO, U. FRACASSI, S. MARIANO, M.M. TIBERTI, E. BOSCHI (2008). The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, *Tectonophysics*, doi:10.1016/j.tecto.2007.04.014

BILLI A., BARBERI G., FACCENNA C., NERI G., PEPE F., SULLI A., (2006). Tectonics and seismicity of the Tindari Fault System, southern Italy: Crustal deformations at the transition between ongoing contractional and extensional domains located above the edge of a subducting slab, *Tectonics*, vol. 25 (2) ISSN: 0278-7407.

BILLI A., PRESTI D., FACCENNA C., NERI G., ORECCHIO B., (2007). Seismotectonics of the Nubia plate margin in the south-Tyrrhenian region, Italy: clues for subduction inception, *Journal of Geophysical Research*, 112, B08302, doi:10.1029/2006JB004837.

BILLI, A., R. FUNICIELLO, L. MINELLI, C. FACCENNA, G. NERI, B. ORECCHIO, and D. PRESTI (2008). On the cause of the 1908 Messina tsunamis, southern Italy, *Geophys. Res. Lett.* 35, L06301, doi 10.1029/2008GL033251.

DEL FURIA, L. , VALENTINI, F. (2004). Modello monodimensionale per la valutazione delle aree di probabile invasione da colata rapida di fango. *Quaderni di Geologia Applicata*, 11, Pitagora Ed., pp 31 – 50.

DISS WORKING GROUP (2009). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.1.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, © INGV 2009 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - All rights reserved.

GLADE T., ANDERSON, M., CROZIER, M. (2006): *Landslide Hazard and Risk*. Wiley Sons, Ltd, 802 p.

IYERSON, M.N. (1997). The physics of debris flows. *Reviews of Geophysics*, 35, 3, 1997, pp 245 – 296.

MELETTI, C., PATACCA, E., SCANDONE, P. (2000). Construction of a seismotectonic model: the case of Italy. *Pure Appl. Geophys.* 157 (1–2), 11–35.

NERI G., BARBERI G., ORECCHIO B., ALOISI M., (2002). Seismotomography Of The Crust In The Transition Zone Between The Southern Tyrrhenian And Sicilian Tectonic Domains, *Geophysical Research Letters* Vol.29, No.24.

NERI G., BARBERI G., ORECCHIO B., MOSTACCIO A., (2003). Seismic Strain And Seismogenic Stress Regimes In The Crust Of The Southern Tyrrhenian Region, *Earth and Planetary Science Letters*, 213, 97-112.

NERI G., BARBERI G., OLIVA G., ORECCHIO B., (2004). Tectonic Stress And Seismogenic Faulting In The Area Of The 1908 Messina Earthquake, South Italy, *Geophysical Research Letters*, 31, L10602, doi:10.1029/2004GL1019742.

NERI G., BARBERI G., OLIVA G., ORECCHIO B., (2005). Spatial Variations Of Seismogenic Stress Orientations In Sicily, South Italy, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 148, 175-191.



NERI G., OLIVA G., ORECCHIO B., PRESTI D., (2006). A possible seismic gap within a highly seismogenic belt crossing Calabria and eastern Sicily, Italy, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96, 4A, 1321-1331, doi: 10.1785/0120050170.

NERI G., ORECCHIO B., TOTARO C., FALCONE G., PRESTI D., (2009). Subduction beneath southern Italy close to ending: results from seismic tomography, *Seismological Research Letters*, 80, 1, 63-70, doi: 10.1785/gssrl.80.1.63.

PRESTI, D., B. ORECCHIO, D. FALCONE, and G. NERI (2008). Linear versus non-linear earthquake location and seismogenic fault detection in the southern Tyrrhenian Sea, Italy, *Geophys. J. Int.*, 172, 607-618.

SANTI, P.M., DEWOLFE, V.G., HIGGINS, J.D., CANNON, S.H., GARTNER, J.E. (2007). Effectiveness of Debris Flow Mitigation Methods in Burned Areas. *First North American Landslide Conference*, AEG Special Publication No. 23, pp. 58 - 66.

### *Ringraziamenti*

*Un particolare ringraziamento al Rettore Prof. Francesco Tomasello ed ai Componenti del Senato Accademico dell'Università di Messina per l'opportunità concessa di presentare in una sede di così alta rilevanza i risultati degli studi più recenti condotti su tematiche di tragica attualità per il nostro territorio. Un ringraziamento al Prof. Riccardo Rasà ed al suo staff per la continua e preziosa collaborazione sui vari temi della relazione. Un ringraziamento ancora ai ricercatori che hanno attivamente partecipato alla preparazione di questa nota (Dott.sse Debora Presti e Cristina Totaro) ed ai docenti delle Facoltà di Scienze MFN e di Ingegneria che hanno fornito utili informazioni ed immagini inerenti gli studi in corso nelle rispettive Strutture.*

