

Miscellanea INGV

riassunti estesi del convegno

**1908 – 2008 Scienza e Società
a cento anni dal Grande Terremoto**

Reggio Calabria 10 | 12 dicembre 2008

03



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

miscellanea **INGV**

RIASSUNTI ESTESI DEL CONVEGNO

1908 – 2008 SCIENZA E SOCIETÀ A CENTO ANNI DAL GRANDE TERREMOTO

REGGIO CALABRIA 10 | 12 DICEMBRE 2008

a cura di:

Daniela Di Bucci¹

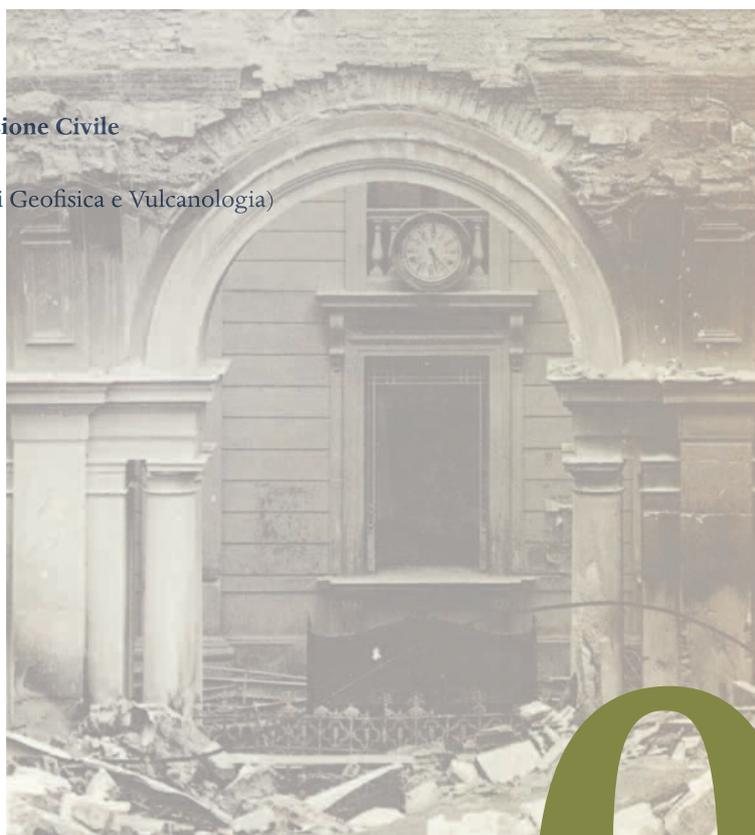
Giancarlo Neri²

Gianluca Valensise³

¹Dipartimento della Protezione Civile

²Università di Messina

³INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia)



03

Indice

Premessa	5
Monitoraggio e valutazione del rischio sismico via controllo dinamico per la gestione di situazioni di crisi e di emergenza Donato Abruzzese, Michele Angelaccio, Lorenzo Miccoli, Alessandro Vari	7
Tettonica dello Stretto di Messina: il contributo della sismica multicanale Andrea Argnani, Marzia Rovere, Claudia Bonazzi, Giuliano Brancolini, Flavio Accaino, Fabrizio Zgur, Emanuele Lodolo	9
Anisotropia sismica nel sistema di subduzione dell'Arco Calabro-Peloritano: interazioni tra flusso nel mantello e slab Paola Baccheschi, Lucia Margheriti, M. Steckler, Enzo Boschi	11
Immagini tomografiche del Tirreno Meridionale e dell'Arco Calabro G. Barberi, O. Cocina, L. Scarfi, M. Castellano, C. Chiarabba, D. Patanè, H. Zhang	13
La ricostruzione dopo il sisma del 1908 e le nuove tecniche costruttive: indagini diagnostiche per la conoscenza e la salvaguardia Alessia Bianco, Salvatore Guastella, Serena Tuzza	14
Il catastrofico tsunami di Messina del 1908 Andrea Billi, Renato Funicello, Liliana Minelli, Claudio Faccenna, Giancarlo Neri, Barbara Orecchio, Debora Presti	16
Integrazione tra assetto strutturale di superficie e faglie sismogenetiche nello Stretto di Messina sulla base di modelli analogici Lorenzo Bonini, Daniela Di Bucci, Silvio Seno, Giovanni Toscani, Gianluca Valensise	17
Osservazioni macrosismiche e studi Antonio Bottari	19
Tassi di innalzamento costiero da osservazioni mareografiche e altimetriche satellitari Carla Braitenberg, Barbara Grillo, Patrizia Mariani, Giovanni Arena	21
Theatrum Telluris: la rappresentazione del terremoto di Messina del 1908 negli scrittori che lo hanno vissuto da protagonisti o da spettatori Giuseppina Calcara, Franco Foresta Martin	23
Educazione e Rischio a cento anni dal terremoto del 1908 Romano Camassi	25
Il ruolo della memoria storica e tecnico-scientifica per la crescita della cultura della prevenzione Sergio Castenetto	27
Active crustal deformation in the Messina Straits area from terrestrial and GPS measurements Daniele Cheloni, Nicola D'Agostino, Ingrid Hunstad, Giulio Selvaggi, Renzo Maseroli	29
Evidenze contrarie all'ipotesi che il maremoto di Messina del 1908 sia stato generato da una grande frana sottomarina al largo di Giardini Naxos Francesco Chiocci, Stefano Tinti, Filippo Zaniboni, Roberto Tonini, Gianluca Pagnoni, Sara Gallazzi, Mariangela Valentina Lodi	31

Il Tallone di Achille d'Italia: la punta dello stivale tra terremoti e frane G. Chiodo, M.F. Currà, T. La Pietra, A. Pellegrino, G. Ricca	33
The effects on the environment of the 1908 Southern Calabria – Messina earthquake (Southern Italy) Valerio Comerchi, Anna Maria Blumetti, Elisa Brustia, Pio Di Manna, Domenico Fiorenza, Luca Guerrieri, Mauro Lucarini, Leonello Serva, Eutizio Vittori	35
Retrospective analysis of stress interaction effects on occurrence probability of characteristic earthquakes in Messina Strait Rodolfo Console, Maura Murru, Giuseppe Falcone	37
Caratterizzazione della sorgente sismogenetica del Grande Terremoto Calabro dell'8 settembre 1905 attraverso l'uso degli effetti ambientali sismo-indotti Luigi Cucci, Andrea Tertulliani	39
Il contributo della geodesia alla definizione del modello sismotettonico dello Stretto di Messina: analisi della deformazione intersismica e cosismica Nicola D'Agostino, Daniele Cheloni, Fabrizio Bernardi, Ingrid Hunstad, Barbara Palombo, Giulio Selvaggi	41
Moment tensor solutions in the area of the 1908 Messina earthquake: preliminary results Sebastiano D'Amico, Barbara Orecchio, Debora Presti, Lupei Zhu, Robert B. Herrmann, Giancarlo Neri	43
“Messina 1908–2008” progetto di ricerca integrato sull'Area Calabro – Peloritana: la campagna OBS/H G. D'Anna, G. Mangano, A. D'Alessandro, R. D'Anna, G. Passafiume, S. Speciale, G. Selvaggi, L. Margheriti, D. Patanè, D. Luzio, M. Calò	45
L'identificazione di depositi di paleomaremoti in Sicilia orientale: un approccio multidisciplinare P.M. De Martini, M.S. Barbano, A. Smedile, D. Pantosti, F. Gerardi, C. Pirrotta, P. Del Carlo, L.G. Bellucci, L. Gasperini, L. Sagnotti, A. Polonia	47
La sismotettonica dello Stretto di Messina come chiave per comprendere la geodinamica dell'Arco Calabro Daniela Di Bucci, Carlo Doglioni, Gianluca Valensise	49
Evoluzione della normativa sismica dal 1908 al 2008 Giacomo Di Pasquale	51
Evoluzione delle reti sismiche nel Basso Tirreno e nella Sicilia nord-orientale Sergio Di Prima, Marco Manni, Domenico Patanè	53
Subduzione e sollevamento lungo l'Arco Calabro–Peloritano Claudio Faccenna, Paola Molin, Barbara Orecchio, Thorsten W. Becker, Olivier Bellier, Francesca Funicello, Liliana Minelli, Giancarlo Neri, Valerio Olivetti, Claudia Piromallo, Andrea Billi	55
Il progetto INGV/DPC S2: realizzazione di un modello dinamico sperimentale di valutazione della pericolosità sismica a scala nazionale Ezio Faccioli, Warner Marzocchi	56
Shakemap per eventi storici: il terremoto di Messina–Reggio Calabria del 1908 Licia Faenza, Alberto Michelini	57
Estimate of seismological parameters for the 1908 Messina earthquake through a new data set within SISMOS Project Graziano Ferrari, Fabrizio Bernardi, Ingrid Hunstad, Barbara Palombo, Bruna Perniola	59
Le previsioni di Raffaele Bendandi ispirate dal Grande Terremoto Cristiano Fidani	60

Un modello analogico qualitativo di geo-struttura simulante un'evoluzione geodinamica dell'Arco Calabro Giovanni Finzi Contini	62
Il terremoto di Messina del 1908 in un modello sismotettonico della Sicilia settentrionale e del Basso Tirreno G. Giunta, S. Orioli, A. Giorgianni, F. Di Trapani, D. Luzio, M. Calò	63
La rete GPS CALNet Ignazio Guerra, Marco Anzidei, Domenica Costantino, Maria Giuseppa Angelini, Giovanni Caprino, Anna Gervasi	65
Sismicità crostale recente della Calabria Ignazio Guerra, Anna Gervasi	67
Broadband ground motion simulations in the Messina Strait area (Southern Italy): appraising strong motion variability due to complexity in source and earth structure Walter Imperatori, P. Martin Mai	69
Relazioni tra fluidi circolanti e tettonica attiva nel settore meridionale dell'Arco Calabro: uno strumento per la valutazione dei processi sismogenetici Francesco Italiano, Pietro Bonfanti, Roberto Maugeri	70
Degassamento di radon e modifiche del DNA della popolazione siciliana: possibili relazioni con il terremoto del 1908 F. Italiano, P. Bonfanti, C. Ciaccio, M. Gesù, G. Piazza, C. Romano, S. Schiavone	72
Compressione e distensione sismogenetiche nella regione siciliana: una discussione su possibili modelli sismotettonici ed implicazioni geodinamiche Giusy Lavecchia	74
Analisi integrata di dati geologici e geofisici per la ricostruzione dell'evoluzione geodinamica dell'orogene siciliano Fabio Lentini, Serafina Carbone, Giovanni Barreca	76
Le catastrofi tra informazione e rappresentazione Francesca Romana Lugeri, Alberto Cardillo	78
ITACA: the italian strong motion data base Lucia Luzi, Fabio Sabetta, Francesca Pacor, Roberto Paolucci	79
Crustal motion along the Calabro-Peloritan Arc as imaged by twelve years of measurements on a dense GPS network Mario Mattia, Valentina Bruno, Mimmo Palano, Flavio Cannavò	80
La pericolosità sismica in Italia e nell'area dello Stretto di Messina Carlo Meletti, Massimiliano Stucchi	82
Morphotectonic features of the Messina Straits: new evidence from marine geological data C. Monaco, F. Antonioli, M. Badalini, L. Ferranti, D. Morelli, R. Tonielli, L. Tortorici	84
"Messina 1908-2008" progetto di ricerca integrato sull'area Calabro - Peloritana: la campagna sismica M. Moretti, Land Experiment working group and Archive working group	86
Contributo sismologico alla definizione dell'attuale struttura dello slab in subduzione in Italia Meridionale Giancarlo Neri, Barbara Orecchio, Cristina Totaro, Giuseppe Falcone, Debora Presti	88
Indagini sismologiche per la caratterizzazione delle strutture sismogenetiche e la valutazione dell'hazard sismico nell'area dello Stretto di Messina e settori limitrofi Giancarlo Neri, Debora Presti	90

Dinamiche litosferiche, stress sismogenetici e sismicità nell'area dello Stretto di Messina Barbara Orecchio	92
Volcanic features of the Palinuro seamount enhanced by a new, high resolution digital terrain model Salvatore Passaro, Girolamo Milano, Mario Sprovieri, Ennio Marsella, Stefano Ruggieri	94
Geophysical investigations of the SE Tyrrhenian Sea: an high resolution DTM of the Marsili seamount Salvatore Passaro, Girolamo Milano, Ennio Marsella, Stefano Ruggieri	96
Crustal architecture and Miocene to recent evolution of the W Calabria continental margin (Southern Tyrrhenian Sea) Fabrizio Pepe, Attilio Sulli, Giovanni Bertotti, Federico Cella	98
Intensity based source inversions of two M 6.9 earthquakes in 1783 in Calabria Franco Pettenati, Livio Sirovich	100
Boulders ridge in Saguerra locality: an imprint of the April 24, 1836 Rossano tsunami Cosimo Pignatelli, Paolo Sansò, Giuseppe Mastronuzzi	102
Analisi di sismogrammi del terremoto del 1908 Nicola Alessandro Pino	104
Mappe ad alta risoluzione dei movimenti del suolo nell'area dello Stretto di Messina da dati di interferometria SAR Stefano Salvi, Cristiano Tolomei, Simone Atzori	106
Quale geodinamica per lo Stretto di Messina? Giancarlo Scalera	107
Sismicità, sismotettonica e struttura crostale dello Stretto di Messina Luciano Scarfi, Horst Langer, Antonio Scaltrito	109
Il Progetto Messina 1908-2008: nuovi dati per comprendere relazione tra subduzione e cinematica crostale nell'Arco Calabro-Peloritano Giulio Selvaggi, Lucia Margheriti, Giuseppe D'Anna, Domenico Patanè	111
Stima del tasso di deformazione attraverso lo Stretto di Messina dalla combinazione di reti di stazioni GPS permanenti e non-permanenti Enrico Serpelloni, Marco Anzidei, Paolo Baldi, Brunella Mastrolembo and Progetto Messina GPS-Team	113
I maremoti nello Stretto di Messina: dai modelli numerici di simulazione all'analisi del rischio Stefano Tinti, Alberto Armigliato	115
Interferometria SAR applicata alla misura dei movimenti del suolo nella Piana di Gioia Tauro Cristiano Tolomei, Ernesto Tomaselli, Salvatore Stramondo, Stefano Salvi, Anna Gervasi, Ignazio Guerra, Simone Atzori	117
Localizzazione probabilistica 3D (nonlinloc) applicata all'area Calabro-Peloritana T. Tuvè, A. Mostaccio, G. Barberi, D. Patanè, L. Zuccarello	119
La sorgente del terremoto del 1908: dati strumentali, vincoli geologici ed elaborazioni modellistiche Gianluca Valensise, Roberto Basili, Pierfrancesco Burrato	120
Stochastic and full-wavefield finite-fault ground-motion simulations of the M 7.1, Messina 1908 earthquake (Southern Italy) Gaetano Zonno, Gemma Musacchio, Roberto Basili, Walter Imperatori, Martin Mai	122

Premessa

È passato ormai un secolo dal grande Terremoto Calabro-Messinese del 1908: un evento che, oltre a rappresentare un'immane tragedia per le popolazioni colpite e per l'Italia tutta, ha segnato per il nostro Paese un punto di svolta sia in materia di protezione civile che per la ricerca sismologica. Seguendo questa chiave di lettura, il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Messina, l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e il Dipartimento della Protezione Civile, con la collaborazione di altre Università italiane, hanno organizzato a Reggio Calabria un convegno in occasione del centenario del terremoto del 28 dicembre 1908.

Il convegno rappresenta in primo luogo un momento di incontro e confronto scientifico tra gruppi di ricerca impegnati in studi sismologici e geodinamici, con particolare riferimento all'area dello Stretto di Messina e alla regione dell'Arco Calabro-Peloritano. Infatti, un obiettivo primario del convegno è l'accurata valutazione dello stato dell'arte delle conoscenze sul tema della sismicità dell'area e la definizione di linee-guida per nuove indagini e approfondimenti.

Parallelamente, l'iniziativa è tesa a contribuire al consolidamento dei rapporti esistenti tra attività di ricerca e attività di protezione civile, alla scala nazionale e regionale, mediante l'approfondimento di temi trasversali quali l'informazione, la divulgazione e lo sviluppo diffuso della consapevolezza sul terremoto e sui suoi effetti potenzialmente catastrofici. Su questi temi, l'obiettivo del convegno è quello di favorire il dibattito e la riflessione congiunta tra la comunità scientifica, gli organi di protezione civile e la popolazione. La scelta del Teatro Francesco Cilea di Reggio Calabria come sede dell'incontro ha proprio l'obiettivo di favorire la partecipazione dei cittadini alle attività del convegno, nella convinzione che la consapevolezza della popolazione sia un requisito fondamentale per la mitigazione del rischio sismico.

Il convegno è articolato in tre giornate, nelle quali i contenuti più strettamente scientifici si alternano alle loro dirette ricadute sul territorio e sulla popolazione; tematiche di interesse per la protezione civile sono trasversali a tutte le giornate.

Per concludere, vogliamo ringraziare tutti coloro che hanno sostenuto e favorito la realizzazione di questo convegno:

- i vertici delle nostre Istituzioni, che hanno creduto nel valore scientifico e sociale di questa iniziativa;
- il Comune di Reggio Calabria, nella persona del Sindaco Giuseppe Scopelliti e del Consigliere Giuseppe Agliano, per aver ospitato l'iniziativa con convinzione e aver fornito supporto con grande disponibilità;
- tutti i partecipanti ai lavori, che hanno aderito numerosi proponendo temi di grande interesse, sia in chiave di ampie *review* che presentando nuovi studi e metodologie di frontiera.

Infine, un grande apprezzamento va al Laboratorio di Grafica e Immagini dell'INGV, al Centro Editoriale Nazionale dell'INGV e al Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Messina, per il sostanziale contributo nelle varie fasi della preparazione di questo evento.

Daniela Di Bucci, Giancarlo Neri e Gianluca Valensise

Il Comitato Tecnico-Scientifico

Enzo Boschi (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia)

Antonio Bottari (Università di Messina)

Daniela Di Bucci (Dipartimento della Protezione Civile)

Mauro Dolce (Dipartimento della Protezione Civile)

Claudio Faccenna (Università di Roma Tre)

Renato Funiciello (Università di Roma Tre)

Ignazio Guerra (Università della Calabria)

Giancarlo Neri (Università di Messina)

Gianluca Valensise (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia)

Gli organizzatori

Daniela Di Bucci (Dipartimento della Protezione Civile)

Giancarlo Neri (Università di Messina)

Gianluca Valensise (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia)

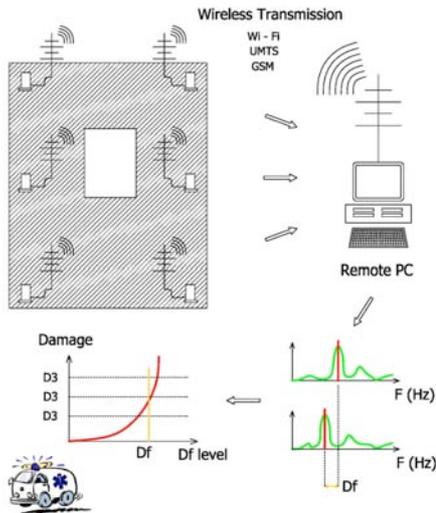


Figura 1. Sistema di misurazione con accelerometri in real time wireless.

Wireless Sensors Network (WSN) con Controllo Adattativo

Il sistema di sensori wireless per il monitoraggio dinamico è completamente portatile, con un supporto di memoria per l'acquisizione e registrazione di dati a lungo periodo, senza necessitare di un controllo periodico. Il sistema presentato dovrebbe essere wireless e provvisto di un controllo remoto e i dati acquisiti e registrati dovrebbero essere inviati via radio (WSN). Questo sistema sembra vantaggioso anche perché portatile, non necessita di alimentazione da rete e fornisce un'immediata risposta sulle vibrazioni della struttura, e, soprattutto in caso di *crash* delle reti a cavi (in caso di crolli in zone sismiche), permette una continuità della trasmissione delle informazioni.

L'uso di una WSN appare vantaggioso nell'ambito della gestione di situazioni di emergenza e di crisi poiché fornendo informazioni sul comportamento dinamico della struttura e sulla variazioni delle proprietà meccaniche della struttura può diventare uno strumento utile per definire le strategie di intervento in situazione di crisi o *post emergency*. Nella Fig. 2 è stato riportato un esempio di proposta di schema architetturale per un *sistema informativo ambientale* basato su ESN (Environmental Sensor Network [Hart et al. 2006] *adattativo* ovvero un sistema in cui tra il livello WSN e

il servizio web remoto è stato inserito un livello software di controllo dinamico che ha lo scopo di rendere più efficiente la gestione dei dati "intercettati" dai sensori ambientali di una WSN e composto di due sub-livelli: *Data Control* - basato su sistema ad agenti software distribuiti che realizza un algoritmo di adattamento- e *Mobile Sharing* [Angelaccio et al. 2008] per la "condivisione" dei dati tra operatori mobili.

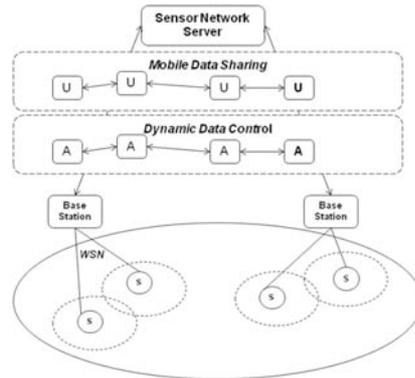


Figura 2. Modello di Architettura ESN adattativa.

Bibliografia

- Abruzzese D., Miccoli L. and Vari A. (2008). Structural monitoring of monuments via dynamic control. In: Proc. of In situ monitoring of monumental surfaces SMW08, Florence, October 27th-29th, 2008.
- Angelaccio M. and Pizziconi D. (2008). JXTA based over mobile ad hoc networks using shared advertising. In: IADIS 2008 Applied Computing.
- Hart J.K. and Martinez K. (2006). Environmental Sensor Networks: A revolution in the earth system science. *Earth-Science Reviews*, 78, 177-191. London.

MONITORAGGIO E VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO VIA CONTROLLO DINAMICO PER LA GESTIONE DI SITUAZIONI DI CRISI E DI EMERGENZA

Donato Abruzzese¹, Michele Angelaccio², Lorenzo Miccoli¹, Alessandro Vari¹

¹Università di Roma "Tor Vergata" - Dipartimento di Ingegneria Civile

²Università di Roma "Tor Vergata" - Dipartimento di Informatica, Sistemi e Produzione

Introduzione

Il monitoraggio permanente del comportamento strutturale di infrastrutture civili ricopre un'importanza strategica per la gestione di situazioni di crisi e di emergenza. Il sistema di infrastrutture è costantemente esposto alle vibrazioni del traffico che possono provocare uno stato di stress per i materiali, e perfino provocare rischi di collasso nell'eventualità di azioni sismiche. Il monitoraggio permanente della variazione delle frequenze di vibrazione permette di ottenere preziose informazioni sul comportamento meccanico globale della struttura e appare vantaggioso per successive valutazioni del livello di danno locale e per la classificazione delle priorità di intervento in una situazione di emergenza.

Questo tipo di monitoraggio si potrebbe effettuare registrando i valori delle accelerazioni in punti diversi della struttura, tramite un sistema di sensori adatti al tipo di azione dinamica in oggetto. Il sistema di monitoraggio sarebbe indubbiamente più efficiente se basato su una logica wireless, in modo da connettere tutti i punti di misurazione con un sistema radio, evitando l'utilizzo di cavi, dispendioso in termini di costi e di tempo, risultando anche meno vulnerabile dal punto di vista meccanico ed elettromagnetico.

Il sistema wireless potrebbe essere inoltre adottato per impostare un sistema di controllo remoto della struttura, essendo in grado di trasmettere via radio o con un'altra tipologia di network i parametri registrati. L'installazione di un network basato sull'utilizzo di sensori wireless sembra vantaggioso per la gestione di situazione di crisi e di emergenza causati da azioni

dinamiche, come eventi sismici o catastrofici.

Monitoraggio e controllo del rischio ambientale e sismico

Negli ultimi decenni la ricerca sul monitoraggio di strutture civili si è largamente sviluppata, considerando e migliorando i metodi e le tecniche per la diagnosi. In alcuni casi la conoscenza del comportamento globale delle strutture si presenta abbastanza difficile a causa dell'incertezza sui parametri meccanici dei materiali. Molti autori hanno approfondito questo tipo di problemi collegati alle strutture civili usando la tecnica di identificazione dinamica. Il risultato di queste ricerche è quello di collezionare una quantità sufficiente di informazioni sulla struttura con l'obiettivo di valutarne il rischio sismico e il relativo decadimento delle proprietà meccaniche dei materiali dovute ad azioni dinamiche. Tuttavia l'uso di questa tecnica per le misurazioni di vibrazioni è molto efficiente per valutare le caratteristiche del materiale quando sono correlate con i risultati ottenuti da modelli numerici avanzati sviluppati con il metodo degli elementi finiti, in modo da poter valutare e distinguere le variazioni di frequenze che provocano uno stato di avanzamento del danno [Abruzzese et al. 2008].

Il presente lavoro si inserisce nell'ambito del monitoraggio e della valutazione del rischio sismico, utilizzando un network di sensori per la registrazione degli eventi e un software adatto per la gestione delle informazioni ottenute.

TETTONICA DELLO STRETTO DI MESSINA: IL CONTRIBUTO DELLA SISMICA MULTICANALE

Andrea Argnani¹, Marzia Rovere¹, Claudia Bonazzi¹, Giuliano Brancolini²,
Flavio Accaino², Fabrizio Zgur², Emanuele Lodolo²

¹ISMAR-CNR, Bologna

²INOGS, Trieste

Il terremoto che nel 28 Dicembre 1908 ha interessato le sponde dello Stretto di Messina è stato il più disastroso della storia italiana [Omori, 1909; Baratta, 1910; Gruppo di lavoro CPTI, 2004]. Oltre al terremoto del Dicembre 1908 [Schick, 1977], l'attività tettonica della zona dello Stretto di Messina è confermata anche dal sollevamento dei terrazzi marini quaternari presenti sulle sponde dello Stretto [Dumas and Raffy, 2004] e dai dati GPS che mostrano un'estensione ONO-ESE con tassi che variano da 2 a 3 mm/a [D'Agostino and Selvaggi, 2004]. Il terremoto del 1908 viene generalmente ubicato in mare (Fig. 1); tuttavia, nonostante l'elevato potenziale di rischio sismico, gli studi dedicati a investigare la simotettonica delle aree marine dello Stretto di Messina sono molto limitati. Allo scopo di colmare questa lacuna, è stato effettuato un rilievo di sismica a riflessione multicanale nell'ambito del progetto INGV-DPC 2004-2006 [Argnani et al., 2006]. L'interpretazione dei profili sismici ha permesso di fissare alcuni vincoli sulla tettonica dello Stretto di Messina.

I parametri relativi al piano della faglia responsabile del terremoto del 1908 (direzione, lunghezza, immersione) sono stati dedotti dall'inversione dei dati simologici e geodetici [Amoruso et al., 2002]. Questi parametri variano a seconda degli autori [Valensise and Pantosti, 1992, per una sintesi dei modelli sismogenici] con una preferenza per piani N-S, E-immersenti. Inoltre, il contesto strutturale nel quale è avvenuto il terremoto del 1908 resta relativamente poco chiaro, soprattutto quando vengono confrontate le caratteristiche del terremoto con la geologia delle sponde dello Stretto [cfr. Ghisetti, 1992 con Valensise and Pantosti, 1992].

Le faglie che meglio vengono individuate a seguito dell'interpretazione dei profili sismici sono ubicate sul lato calabro dello Stretto, e presentano piani immergenti verso ovest (Fig. 1). Queste faglie sembrano appartenere al sistema di faglie del bacino di Reggio Calabria [Ghisetti, 1992] e non sono facilmente collegabili alle faglie che vengono ritenute responsabili del terremoto del 1908.

L'interpretazione strutturale mostra che nella parte settentrionale dello Stretto di Messina, nei primi 3-5 km, non sono presenti strutture attive con dimensioni tali da giustificare un terremoto di M 7,2. Inoltre, le faglie con direzione N-S che risultano dalle inversioni dei dati geodetici [e.g., Amoruso et al., 2002] non trovano riscontro nella stratificazione indisturbata e subparallela che si osserva nei profili sismici. La mancanza di una grande faglia estensionale nella parte settentrionale dello Stretto può indicare che la faglia sismogenica è cieca, oppure, in alternativa, che la faglia è ubicata nella parte meridionale dello Stretto. I profili sismici mostrano la presenza di una faglia a direzione NO-SE ubicata al largo della Calabria meridionale, che interessa il fondo mare e si estende in lunghezza per oltre 20 km (Fig. 1). La necessità di una faglia che si estende nella parte SE dello Stretto risulta anche dalle modellazioni del maremoto associato al terremoto del 1908 [Tinti, 2007]. Al riguardo, la recente proposta che il maremoto sia dovuto a una frana sottomarina, il cui deposito sarebbe ubicato al largo di Taormina [Billi et al., 2008], non sembra supportata dalle evidenze, in quanto i profili sismici non mostrano la presenza del deposito di frana.

Il piano della faglia sud calabra, tuttavia, risulta essere a basso angolo (20-30 gradi),

rendendo difficile spiegare gli effetti macrosismici sulla sponda calabra, se si assume che l'ipocentro sia nella parte più profonda della faglia. Forse, la complessità strutturale dell'area richiede l'attività di più faglie durante il terremoto del 1908.

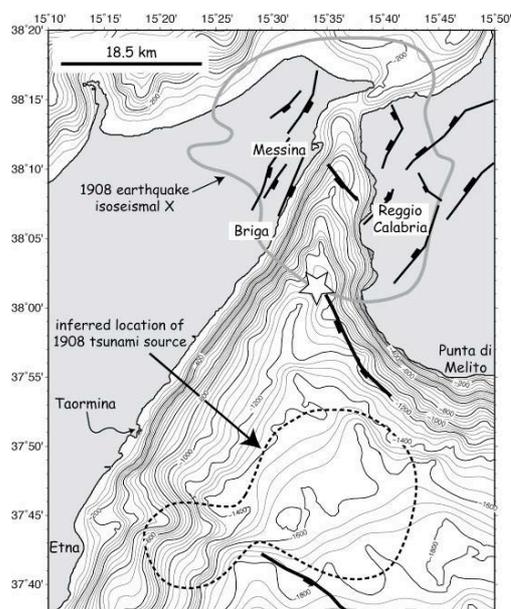


Figura 1. Mappa delle strutture individuate nello Stretto di Messina. Sono indicate le faglie a terra [Ghisetti, 1992], l'epicentro [stella, Schick, 1977] e l'isosisma X [Baratta, 1909] del terremoto del 28/12/1908, oltre all'ubicazione dell'area sorgente del maremoto [Billi et al., 2008].

Bibliografia

Amoruso A., Crescentini L. and Scarpa R. (2002). Source parameters of the 1908 Messina Straits, Italy, earthquake from geodetic and seismic data. *J. Geoph. Res.*, 107, B4, 10.1029/2001JB000434, 2002.

Argnani A., Brancolini G., Rovere M., Accaino F., Zgur F., Grossi M., Fanzutti F., Visnovic P., Sorigo D., Lodolo E., Bonazzi

C., and Mitchell N. (2008). Hints on active tectonics in the Messina Straits and surroundings: preliminary results from the TAORMINA-2006 seismic cruise. *Boll. Geof. Teorica Appl.*, 49, 163-176.

Baratta M. (1910). La catastrofe sismica calabro-messinese. 28 Dicembre 1908. Società Geografica Italiana, Roma, 2 Volumes, pp. 426.

Billi A., Funicello R., Minelli L., Faccenna C., Neri G., Orecchio B. and Presti D. (2008). On the cause of the 1908 Messina tsunami, southern Italy. *Geoph. Res. Lett.*, 35, L06301, doi:10.1029/2008GL033251.

D'Agostino N. and Selvaggi G. (2004). Crustal motion along the Eurasia-Nubia plate boundary in the Calabrian Arc and Sicily and active extension in the Messina Straits from GPS measurements. *JGR*, 109, B11402, doi:10.1029/2004JB002998, 2004

Dumas B. and Raffy J. (2004). Late Pleistocene tectonic activity deduced from uplifted marine terraces in Calabria, facing the Strait of Messina. *Quaternaria Nova*, VIII, 79-99.

Ghisetti F. (1992). Fault parameters in the Messina Strait (southern Italy) and relations with the seismogenic source. *Tectonophysics*, 210, 117-133.

Gruppo di lavoro CPTI (2004). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04): INGV, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI/>.

Omori F. (1909). Preliminary report on the Messina-Reggio earthquake of Dec. 28, 1908. *Bull. Imperial Earth Invest. Comm.*, 3-2, 37-46.

Schick R. (1977). Eine seismotektonische Bearbeitung des Erdbebens von Messina im Jahre 1908. *Geol. Jahrb.*, 11, 3-74.

Tinti S. (2007). I maremoti delle coste italiane. *Geoitalia*, 19, 4-10.

Valensise G. and Pantosti D. (1992). A 125 Kyr-long geological record of seismic source repeatability: the Messina Straits (southern Italy) and the 1908 earthquake (Ms 7 1/2). *Terra Nova*, 4, 472-483.

ANISOTROPIA SISMICA NEL SISTEMA DI SUBDUZIONE DELL'ARCO CALABRO-PELORITANO: INTERAZIONI TRA FLUSSO NEL MANTELLO E SLAB

Paola Baccheschi¹, Lucia Margheriti¹, M. Steckler², Enzo Boschi¹

¹*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, INGV*

²*Lamont Doherty Earth Observatory, LDEO*

Lo studio delle proprietà anisotropiche del mantello superiore può aiutare a capire come questo si sia deformato e quali siano i processi geodinamici che lo hanno interessato, tale studio è particolarmente importante nelle aree di subduzione dove i processi coinvolgono l'intero mantello. Viene qui presentato un numero considerevole di misure dei parametri anisotropici che caratterizzano il mantello superiore nell'area della subduzione Calabro-Peloritana (Baccheschi et al. 2007; 2008). Scopo del lavoro è quello di definire in dettaglio la dinamica dei flussi astenosferici, la loro interazione con lo slab e lo stato di deformazione della placca in subduzione. I dati analizzati sono le registrazioni sismiche sia dei terremoti lontani che dei terremoti locali profondi, ossia eventi le cui onde di taglio S hanno attraversato il mantello superiore prima di essere registrate alle stazioni sismiche. Il fenomeno che viene indagato è la birifrangenza delle onde di taglio.

I parametri anisotropici risultanti sono la direzione di polarizzazione veloce (ϕ) e il ritardo tra onda veloce ed onda lenta (δt).

In generale, i risultati relativi alle onde telesismiche mostrano una forte presenza di anisotropia sismica con ritardi anche superiori a 2 s. La direzione di polarizzazione veloce è parallela allo strike dello slab per tutte le stazioni in Calabria e nell'Appennino Meridionale; in Sicilia le direzioni fast sembrano definire un anello intorno alla terminazione ovest dello slab. Diverse sono invece le direzioni veloci osservate nell'avampaese apulo ed anche nel retroarco tirrenico.

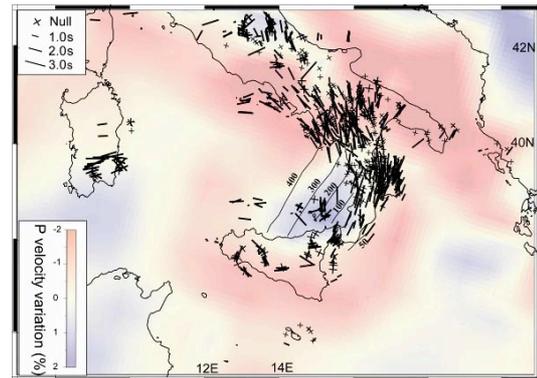


Figura 1. Mappa delle direzioni fast ottenute analizzando i telesismi e sovrapposte all'immagine tomografica dello slab a 150 km di profondità (Piromallo e Morelli 2003); ogni barra, di lunghezza proporzionale al ritardo, è orientata secondo la direzione fast.

I risultati ottenuti dall'analisi delle onde S relative ad eventi profondi localizzati all'interno dello slab evidenziano ritardi molto più piccoli (0.5 s), forse a causa del diverso contenuto in frequenza dei sismogrammi.

In particolare, le onde che si propagano all'interno dello slab sembrano accumulare ritardi inferiori a quelli che si propagano, almeno in parte, nel mantello al di sopra di esso. Queste misure saranno utilizzate per sviluppare dei possibili modelli interpretativi dell'evoluzione geodinamica dell'area calabro-peloritana e verranno integrate con quelle derivanti dai sismogrammi in acquisizione nell'ambito del progetto *Messina 1908-2008* (Margheriti, 2008).

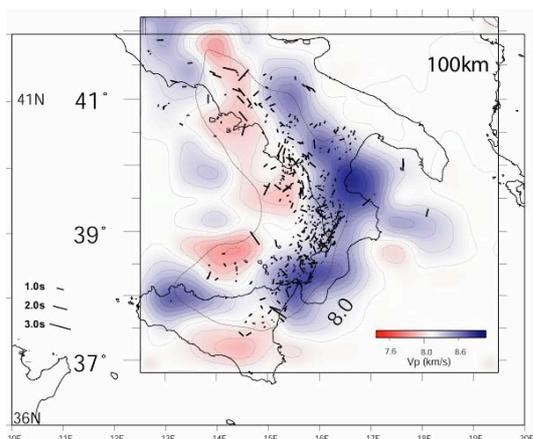


Figura 2. Risultati dell'anisotropia ottenuti dai terremoti locali profondi, ogni barra, di lunghezza proporzionale al ritardo, è orientata secondo la direzione fast. Le direzioni fast sono state sovrapposte al modello di velocità delle onde P a 100 km di profondità (Chiarabba et al., 2008).

Bibliografia

- Baccheschi P., Margheriti L., Steckler M. S. (2008). SKS splitting in Southern Italy: Anisotropy variations in a fragmented subduction zone. *Tectonophysics*, doi:10.1016/j.tecto.2007.10.014.
- Baccheschi P., L. Margheriti, M. S. Steckler (2007). Seismic anisotropy reveals focused mantle flow around the Calabrian slab (Southern Italy). *Geophysical Research Letters*, vol. 34, doi: 10.1029/2006GL028899
- Chiarabba C., De Gori P., Speranza F. (2008). The Southern Tyrrhenian Subduction Zone: Deep geometry, magmatism and Plio-Pleistocene evolution, *Earth and Planetary Science Letters*, doi: 10.1016/j.epsl.2008.01.036
- Margheriti L. (2008). Understanding Crust Dynamics and Subduction in Southern Italy. *Eos*, Vol. 89, No. 25, 17 June 2008.
- Piomallo, C., Morelli, A. (2003). P wave tomography of the mantle under the Alpine-Mediterranean area. *J. Geophys. Res.* 108 (B2). doi:10.1029/2002JB001757.

IMMAGINI TOMOGRAFICHE DEL TIRRENO MERIDIONALE E DELL'ARCO CALABRO

G. Barberi¹, O. Cocina¹, L. Scarfi¹, M. Castellano², C. Chiarabba³, D. Patanè¹, H. Zhang⁴

¹*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Catania*

²*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio Vesuviano*

³*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, CNT, Roma*

⁴*University of Wisconsin-Madison, Department of Geology and Geophysics, USA*

Questo studio è focalizzato alla definizione di un modello di velocità crostale 3D nell'area compresa tra il Tirreno meridionale e l'arco Calabro. Gli obiettivi principali sono: i) identificazione delle strutture sismogenetiche più attive tramite localizzazioni ipocentrali relative e assolute di *clusters* spaziali di eventi, ii) individuazione di volumi a bassa velocità sotto l'Arcipelago Eoliano, che potrebbero essere messi in relazione alla presenza di fluidi magmatici. L'analisi è stata condotta nel periodo 1994-2006 su un numero complessivo di 1,304 eventi, considerando 58,668 letture P e 26,008 letture S. È stato applicato l'algoritmo TomoDD che usa sia i tempi di arrivo assoluti che differenziali per determinare simultaneamente le localizzazioni ipocentrali e i modelli di velocità Vp, Vs e Vp/Vs.

La rilocalizzazione dei terremoti mediante TomoDD ha permesso di ottenere *clusters* spaziali meglio definiti e di evidenziare una sismicità prevalentemente distribuita: 1) lungo una direttrice NNW-SSE associabile al sistema di faglie Tindari-Letojanni, 2) tra lo Stretto di Messina e la Calabria meridionale, e 3) nel Mar Ionio, parte meridionale dell'area investigata.

Le immagini tomografiche tra i 18 e i 24 km di profondità evidenziano la transizione dal dominio tirrenico ad alta velocità al dominio siciliano a bassa velocità. La distinzione di questi due domini di velocità tende a scomparire nella crosta più superficiale, anche se il valore medio di velocità dell'area tirrenica è sempre maggiore rispetto a quello dell'area siciliana.

Il modello di velocità ottenuto ha anche permesso di individuare dei volumi anomali correlabili alle strutture sismogenetiche più attive e, nell'arco eoliano, possibili zone con presenza di fluidi magmatici.

Ad esempio, in corrispondenza dell'isola di Stromboli, tra i 6 e i 12 km di profondità, si osserva una diminuzione dei valori di velocità, sia di Vp che di Vs, suggerendo la possibile presenza di magma in questo volume crostale. Al di sotto dei 17-18 km di profondità, i valori di Vp e di Vs (in media di 7.5 e 4.5 km/s, rispettivamente), indicano la presenza della Moho.

LA RICOSTRUZIONE DOPO IL SISMA DEL 1908 E LE NUOVE TECNICHE COSTRUTTIVE: INDAGINI DIAGNOSTICHE PER LA CONOSCENZA E LA SALVAGUARDIA

Alessia Bianco¹, Salvatore Guastella², Serena Tuzza³

¹*Dipartimento PAU, Università Mediterranea degli studi di Reggio Calabria*

²*Università Mediterranea degli studi di Reggio Calabria*

³*Dipartimento DAU, Università degli studi di Catania*

A partire dalla seconda decade del secolo XX le città dello Stretto furono oggetto di un intero programma di ricostruzione, posto a sostituzione della città vecchia, che il sisma del 1908 danneggiò ma non distrusse del tutto, in attuazione di una volontà di rinnovamento e di rimozione della memoria del luttuoso evento.

Questo ampio programma fu realizzato secondo un razionale piano programmatico, connesso ad un nuovo regime legislativo di carattere sia urbanistico che tecnico-costruttivo, che portò Reggio e Messina a divenire sede di sperimentazione di nuove tecniche costruttive antisismiche, tra cui in primo luogo la tecnica baraccata, la muratura confinata e i sistemi prefabbricati.

Motivo per cui le città dello Stretto detengono un patrimonio architettonico di grande valenza nel panorama della storia delle tecniche costruttive asismiche di età post industriale, patrimonio questo che oggi viene ad essere gravemente minacciato dai molti interventi di demolizione e ricostruzione che vedono la sostituzione dell'edificato, specialmente baraccato, con edifici in calcestruzzo cementizio armato; ciò in virtù di una minore capacità dei tecnici di oggi di riconoscerne una valenza in termini costruttivi e formali, oltre che nella poca competenza a saper individuare e valutare le capacità resistenti residue, anche nei confronti del sisma.

Per questo motivo il contributo vuole riportare le risultanze scientifiche di alcune lunghe ricerche che hanno visto la realizzazione di indagini conoscitive e diagnostiche volte alla conoscenza delle

modalità costruttive e delle capacità comportamentali strutturali degli edifici in muratura confinata e soprattutto delle case baraccate, le più gravemente minacciate da questo ostracismo.

Nello specifico questa ricerca ha portato alla determinazione di un protocollo di indagini conoscitive calibrato sugli edifici baraccati, che si può scindere in diversi livelli di approfondimento, prevedendo l'applicazione di strumentazioni che comportano invasività, tempi di esecuzione e necessità logistiche progressivamente più impegnative.

Livello di conoscenza base

per il riconoscimento dell'edificio baraccato:

- indagine termografica

Livello di conoscenza intermedio

per la comprensione delle varianti costruttive:

- rilevamento pacometrico

- mappatura con tester ad ultrasuoni

Livello di conoscenza approfondito

per la valutazione dello stato conservativo:

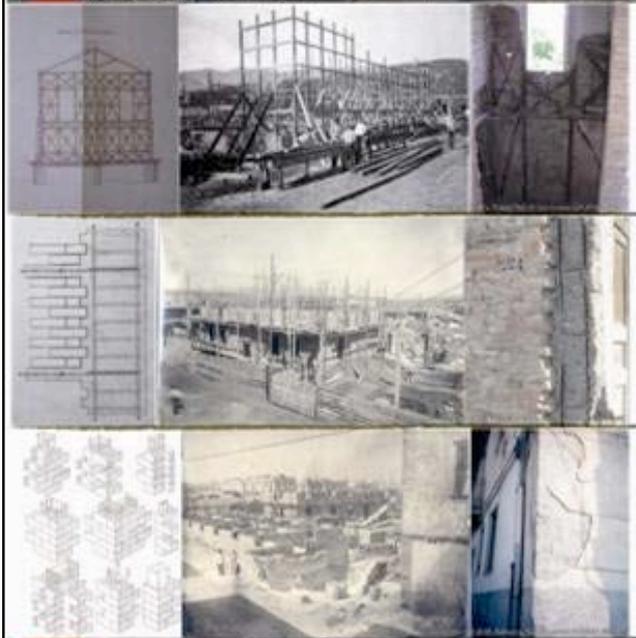
- indagine resistografica

- mappatura georadar.

Il principale limite di questa ricerca, rispetto al quale si aprono nuove prospettive di indagine, consiste nell'impossibilità di fornire risultanze di tipo quantitativo, ma esclusivamente di carattere qualitativo. Ciò rende il processo conoscitivo passibile di valutazioni di forte carattere soggettivo, ancora troppo poco adeguato alle necessità dei tecnici responsabili di valutare con rigore le capacità resistenti residue di questi fabbricati e quindi determinarne la possibilità di essere conservati.



La ricostruzione dopo il sisma del 1908 e le nuove tecniche costruttive: indagini diagnostiche per la conoscenza e salvezza di questo patrimonio



A partire dalla seconda decade del secolo XX la città dello Isonzo furono oggetto di un ampio programma di ricostruzione, volto a sostituzione della città vecchia, che il sisma del 1908 danneggiò in modo irreversibile, in situazione di una volontà di rinnovamento e di rinascita della memoria del Salustiano evento.

Questo ampio programma fu realizzato secondo un razionale piano programmatico, concernente ad un nuovo regime legislativo di carattere urbanistico che tecnico-costruttivo, che portò Reggio e Moncucco a divenire sede di sperimentazione di nuove tecniche costruttive antisismiche, tra cui la muratura confinata, i sistemi prefabbricati, e prima tra tutte la tecnica baraccata.

La nascita della cura baraccata in Italia ha lungo percorso in California, quando nel 1930 viene realizzato il Palazzo del Corte di Nevada, di cui abbiamo notizie grazie alle vetture di Vincenzo Lancia e teorici del tramonto del 1986. La resistenza di tale organismo edilizio era affidata ad una intelaiatura, costituita da tralicci e travi solidamente collegati tra loro e supportati da ulteriori elementi di sostegno singoli o forme di Croce di S. Andrea. Questa era protetta dall'esterno da un rivestimento di muratura e dall'interno da un acciottolato in cui veniva posta l'intelaiatura, nelle partizioni verticali, l'intelaiatura era invece rivestita da intonacato e successivo strato di intonaco.

Il secondo sistema costruttivo è un perfezionamento dell'intelaiatura lignea, con la realizzazione degli elementi in conglomerato armato. Anche qui gli elementi caratterizzanti l'edificio sono principalmente tre: l'ossatura principale, l'ossatura secondaria e la muratura. Questi tre elementi sono strettamente correlati tra loro in quanto insieme costituiscono la struttura resistente dell'edificio; nelle relazioni di progetto si legge infatti che la tecnica costruttiva degli edifici è "in muratura di laterali con ingobbatura di cemento armato". Nella specifica l'ossatura principale è quella chiamata a resistere alle sollecitazioni orizzontali, l'ossatura secondaria, impiegata anch'essa come irrigidimento, è collegata al telaio principale.

Ancora alla struttura mista, è da ricordare anche il Sistema NZ, il metodo Zani del nome dell'ideatore, che prevedeva la realizzazione di un telaio in cemento armato mediante l'uso di elementi prefabbricati, con l'obiettivo di unire delle prefabbricate ad eliminando le lunghe operazioni di lavoro grazie alla moderna organizzazione di cantiere. I blocchi prefabbricati erano ideati e prodotti in forme diverse, così da adattarsi meglio, senza tagli o ritiri, alle varie giunzioni tra pareti e sovrastare in cemento armato.

Per questo motivo lo sisma dello Isonzo danneggiò un patrimonio architettonico di grande valore nel panorama della ricerca delle tecniche costruttive antisismiche di età più industriale, patrimonio questo che oggi viene ad essere gravemente minacciato dai molti interventi di demolizione e ricostruzione che vedono la sostituzione dell'edificio, specialmente baraccato, con edifici in calcestruzzo armato prefabbricato, più o meno a vista di una immane capacità dei tecnici di oggi di ricostruire una veduta in termini costruttivi e funzionali, oltre che nella pura competenza a saper individuare e valutare le capacità resistive residue, anche nei confronti del sisma.

È opportuno vuole riportare le strutture scientifiche di alcune ricerche svolte principalmente in area reggina, che hanno visto la realizzazione di indagini conoscitive e diagnostiche volte alla conoscenza delle capacità costruttive e delle capacità comportamentali strutturali delle case baraccate, le più gravemente minacciate da questo sisma, e degli edifici in muratura confinata.

Per questo motivo le fabbriche lignee, attraverso la sperimentazione su scale reali, è stato che è possibile individuare la precisa posizione del telaio attraverso la combinazione di indagini parametriche e statiche. Attraverso la retrografia è possibile inoltre ottenere dati quantitativi sulla stato conservativo degli elementi lignei.

Nel corso della muratura continua tramite la tomografia, si è potuto dettagliatamente individuare la posizione della muratura e dell'ossatura principale e secondaria, senza dover rimuovere l'intelaiatura e concludere di questa fase si è potuto procedere con le indagini volte alla comprensione morfologica e delle forme comportamentali delle differenti parti (sovrastanti e murature), prevalentemente localizzate, attraverso indagini parametriche, statiche e sismologiche, la combinazione di queste ultime due è maturata nel metodo SOMER.



IL CATASTROFICO TSUNAMI DI MESSINA DEL 1908

Andrea Billi¹, Renato Funiciello¹, Liliana Minelli¹, Claudio Faccenna¹, Giancarlo Neri²,
Barbara Orecchio², Debora Presti²

¹Università Roma Tre - Dipartimento di Geologia

²Università di Messina - Dipartimento Scienze della Terra

Il 28 dicembre 1908, alle ore 5.21 circa, ora locale, un terremoto catastrofico (massima intensità MCS = XI, magnitudo stimata = 7.1) colpì la regione dello Stretto di Messina. Alcuni minuti dopo il passaggio delle onde sismiche, uno tsunami caratterizzato da run-up osservato fino a circa 10 m colpì le coste ioniche di Sicilia e Calabria. Il terremoto e lo tsunami insieme furono all'origine di distruzione e morte. Le vittime contate furono non meno di 60000. A distanza di cento anni dagli eventi catastrofici, le cause del terremoto e dello tsunami di Messina sono ancora incerte. La nostra ipotesi è che tali cause (del terremoto e dello tsunami) siano sostanzialmente differenti e spazialmente separate. In particolare, si ipotizza che lo tsunami fu generato principalmente da una frana sottomarina. Al fine di verificare tale ipotesi, sono stati analizzati i dati disponibili riguardanti lo tsunami, la geomorfologia e la sismologia dell'area di studio. Attraverso un semplice procedimento di tracciamento inverso delle onde di tsunami, i tempi di arrivo dello tsunami sulle coste [Baratta, 1910] sono stati convertiti in distanze dall'area sorgente dello tsunami. Il risultato di tale procedimento dimostra che l'area sorgente dello tsunami è differente da quella epicentrale. Altre evidenze supportano tale conclusione ed indicano come probabile causa principale dello tsunami una frana sottomarina ubicata lungo la scarpata continentale siciliana nei pressi di Giardini Naxos (Figura 1). La ricerca sopra sintetizzata è riportata in dettaglio in una recente pubblicazione [Billi et al., 2008].

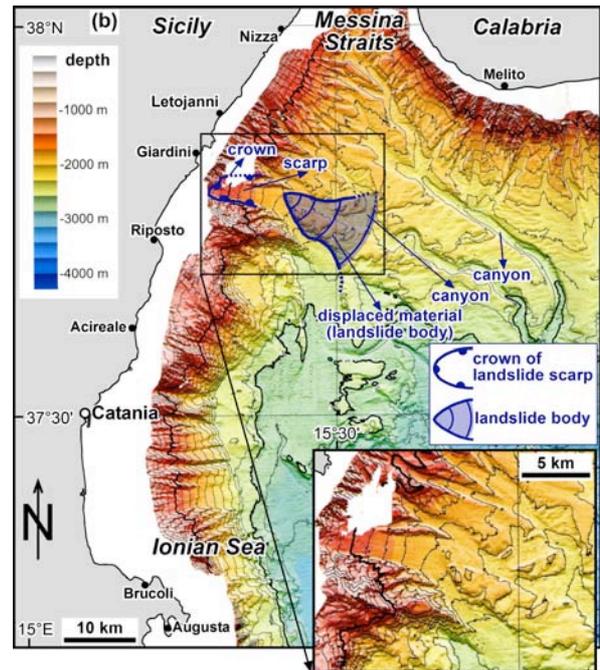


Figura 1. Mappa batimetrica del Mar Ionio [Marani et al., 2004].

Bibliografia

- Baratta M. (1910). La catastrofe sismica Calabro-Messinese (28 dicembre 1908). Società Geografica Italiana, Roma.
- Billi, A., Funiciello, R., Faccenna, C., Minelli, L.M., Neri, G., Orecchio, B., and Presti, D. (2008). On the cause of the 1908 Messina tsunami. *Geophysical Research Letters*, 35, L06301, doi:10.1029/2008GL033251.
- Marani, M.P. et alii, Eds. (2004). *Seafloor bathymetry of the Ionian Sea*. APAT, Roma.

INTEGRAZIONE TRA ASSETTO STRUTTURALE DI SUPERFICIE E FAGLIE SISMOGENETICHE NELLO STRETTO DI MESSINA SULLA BASE DI MODELLI ANALOGICI

Lorenzo Bonini¹, Daniela Di Bucci², Silvio Seno¹,
Giovanni Toscani¹, Gianluca Valensise³

¹Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pavia

²Dipartimento della Protezione Civile

³Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Introduzione

Le deformazioni cosismiche associate al terremoto Calabro-Messinese del 1908 (quantificate, in particolare, attraverso misure di livellazione), la distribuzione del danno, i dati strumentali e, più in generale l'assetto morfotettonico recente dell'area dello Stretto hanno permesso una ricostruzione dettagliata della sorgente sismogenetica. Si tratta di una faglia lunga circa 40 km, con immersione di 30-35° verso SE e cinematica prevalentemente normale. Questa faglia si trova tra 3 e 12 km di profondità e non arriva a interessare direttamente la superficie (DISS Working Group, 2007, bibliografia inclusa).

D'altra parte, alcuni geologi e geofisici hanno ripetutamente messo in luce la presenza di numerose faglie normali ad alto angolo, con immersione sia verso NW che verso SE. Queste faglie interessano le porzioni più superficiali dello spessore crostale dell'area dello Stretto, sia in terra che a mare, e deformano depositi recenti, in alcuni casi raggiungendo la superficie (Del Ben et al., 1996, bibliografia inclusa). Questi dati hanno portato a ipotesi sostanzialmente diverse dalla precedente per la faglia sorgente del terremoto del 1908 (si veda Valensise e Pantosti, 1992, per una *review*). Tuttavia, tali ipotesi non sono compatibili con le deformazioni cosismiche e i dati strumentali disponibili per lo stesso terremoto.

Per analizzare la possibilità che queste due posizioni apparentemente inconciliabili siano in realtà espressioni diverse di un unico

fenomeno, ci siamo avvalsi dell'ausilio della modellazione analogica.

Metodologia

Abbiamo realizzato una serie di modelli analogici che riproducono in 3D una faglia normale, sepolta, con un'immersione di 30° (Fig. 1). I modelli sono alla scala 1:100.000. La porzione di faglia che viene attivata è lunga 40 cm e dunque riproduce in scala il modello di sorgente per il 1908 (DISS Working Group, 2007). Inoltre, la larghezza della *sandbox* è di 80 cm e permette, quindi, di analizzare anche le deformazioni che si producono alle estremità laterali della faglia.

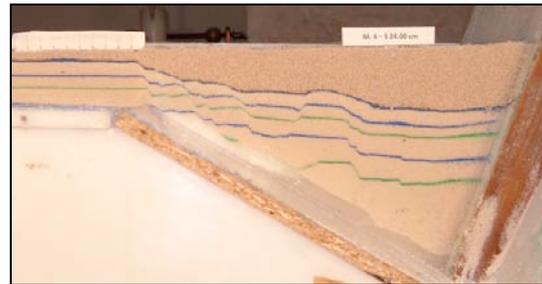


Figura 1. Esempio di una sezione tratta dai modelli analogici realizzati. Faglie sintetiche e antitetiche ad alto angolo si sviluppano al tetto della faglia principale a basso angolo.

I modelli sono realizzati in sabbia (ϕ 34°); sulla superficie della faglia è inoltre presente uno strato di circa 2 cm di microbiglie in vetro (ϕ 24°). Sono stati condotti quattro

esperimenti per valori crescenti di estensione pari a 0,5, 2,0, 3,5 e 5,5 cm, rispettivamente.

Risultati

Tutti i modelli hanno mostrato l'attivazione dell'intera superficie della faglia principale a basso angolo. Inoltre, al tetto della stessa si sono formate numerose faglie normali sintetiche e antitetiche ad alto angolo (Fig. 1). Queste faglie sono organizzate in uno o, in alcuni casi, due graben: Inoltre, in una visione in pianta risultano parallele alla faglia principale sepolta, nelle zone al tetto di questa. Invece, alle estremità laterali deflettono dalla direzione della faglia principale ruotando di un angolo di circa 30° verso il tetto della faglia stessa.

È da notare che lo sviluppo di questi piani ad alto angolo è molto precoce rispetto all'attivazione della faglia principale, come emerge già nell'esperimento con estensione finale pari 0,5 cm.

Conclusioni

La modellazione analogica permette di formulare un'ipotesi più articolata e complessa, a riguardo della deformazione a lungo termine associata alla faglia principale che ha generato il terremoto Calabro-Messinese del 1908. Infatti, i modelli mostrano che le faglie superficiali minori, ciascuna delle quali prende in carico ratei di scorrimento di ordine di grandezza minore rispetto a quelli associabili alla sorgente del terremoto del 1908, sono invece perfettamente compatibili con una faglia normale principale a basso angolo e, anzi, ne sono un'espressione dell'attività a lungo termine.

La possibilità per ciascuna delle faglie al tetto della principale di essere essa stessa sorgente di terremoti viene infine discussa, anche tenendo conto della magnitudo massima possibile in funzione della profondità a cui ciascuno dei piani ad alto angolo intercetta il piano a basso angolo.

Bibliografia

- Del Ben A., Gargano C. & Lentini F. (1996). Ricostruzione strutturale e stratigrafica dell'area dello Stretto di Messina mediante analisi comparata dei dati geologici e sismici. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 51, pp. 703-717.
- DISS Working Group (2007). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.0.4: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://www.ingv.it/DISS/>, © INGV 2007 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - All rights reserved.
- Valensise G. & Pantosti D. (1992). A 125 Kyr-long geological record of seismic source repeatability: the Messina Straits (southern Italy) and the 1908 earthquake (Ms 7 1/2). *Terra Nova*, 4 (4), pp. 472-483.

OSSERVAZIONI MACROSISMICHE E STUDI

Antonio Bottari

Osservatorio - DIC - Sismologico dell'Università di Messina

Gli effetti macrosismici prodotti dai due maggiori sismi (28.12.1908, $I_0 = XI$ MSK ; 16.1.1975, $I_0 = VIII$ MSK) generatisi lo scorso secolo nello Stretto di Messina, sono descritti e modellati. Le caratteristiche geometriche, di spaziatura ed estensione delle isosiste, sono utilizzate per la stima dei parametri di sorgente. Lo studio muove dalla revisione di dati macrosismici della letteratura meno recente [Bottari & Lo Giudice, 1975; Bottari et al., 1986] e propone alcune possibili soluzioni per le superfici di rottura dei due sismi che hanno prodotto i maggiori danni in numerosi centri abitati del Reggino e del Messinese. Per il sisma del 1908 si dispone di oltre 740 dati di intensità, compresi tra l'XI ed il IV MSK, rilevati su un'area che si estende a SSO fino all'isola di Malta, a NNO sino al Golfo di Gaeta, a Nord sino al Gargano e a NE sino alle coste albanesi. Le isosiste dall'XI al VII MSK mostrano una elongazione in direzione NE-SO, mentre le isosiste di grado inferiore risultano ruotate verso Nord. L'area di maggior risentimento si estende sul versante occidentale dell'Aspromonte, interessando i territori comunali di Reggio di Calabria, Fiumara, San Roberto, Calanna, Laganadi e Sant'Alessio in Aspromonte. Per il terremoto del 1975 i dati di intensità rilevata, compresi tra l'VIII ed il III MSK, sono oltre 360. Le isosiste si presentano allungate in direzione NE-SO; l'area mesosismica si estende per circa 300 km² includendo il centro urbano della città di Reggio e alcuni centri minori limitrofi. I parametri macrosismici delle sorgenti sismogenetiche di entrambi i sismi sono stimati adottando una procedura derivata da quella proposta da Shebalin [1973], opportunamente modificata per modellare le superfici di rottura tramite ellissi. Per la stima della profondità focale e dei coefficienti di *spread* è stato adottato l'approccio di Blake [1941].

Entrambe le aree mesosismiche mostrano direttività molto prossima degli assi di minima attenuazione (N42°E e N45°E, rispettivamente) ed i valori dei coefficienti di *spread* del *near field* del sisma del 1975 ($\gamma_I=4.0$ o $\gamma_I=5.0$) risultano coincidenti con quelli meglio vincolati del campo del 1908. L'evidente similitudine in termini di forma e di direttività per i *far fields* dei due terremoti considerati e la loro vicinanza spaziale, suggerisce l'attivazione, in entrambi i casi, di una medesima struttura sismogenetica. In particolare, i parametri geometrici stimati per l'evento del 1908, indicano un piano di faglia immergente a NO con un *dip* elevato ed una superficie di rottura estesa tra 621 km² e 960 km², allocata sulla sponda calabra dello Stretto in corrispondenza con l'area di maggiore risentimento. Inoltre, gli epicentri macrosismici e strumentali dei due terremoti (Figura 1), così come l'ubicazione dei maggiori danni del sisma del 1975, ricadono lungo il *trend* delineato dalla faglia di Reggio Calabria e dal suo ipotetico prolungamento in *offshore*. Tale faglia, che rappresenta il lineamento tettonico principale dell'area dello Stretto di Messina, si immerge ad ovest con un elevato *dip*, si estende per circa 15 km in direzione NNE in prossimità della linea di costa calabra sino alla città di Reggio, e sembrerebbe prolungarsi in *offshore* per 10 km circa [Ambrosetti et al., 1987]. In sintesi, i parametri geometrici di sorgente stimati per i due eventi più energetici del secolo scorso nell'area dello Stretto, supportano l'ipotesi che l'evento del 1908 possa essere correlato a rotture verificatesi lungo il trend SW-NE [Catalano et al., 2008], delineato in primis dalla faglia di Reggio Calabria e dal suo ipotetico prolungamento a mare. In ultimo per le osservazioni strumentali e per le correlazioni macrosismiche evidenziate, risulta avvalorata l'ipotesi che anche il

terremoto del 1975 sia stato originato dalla medesima struttura.

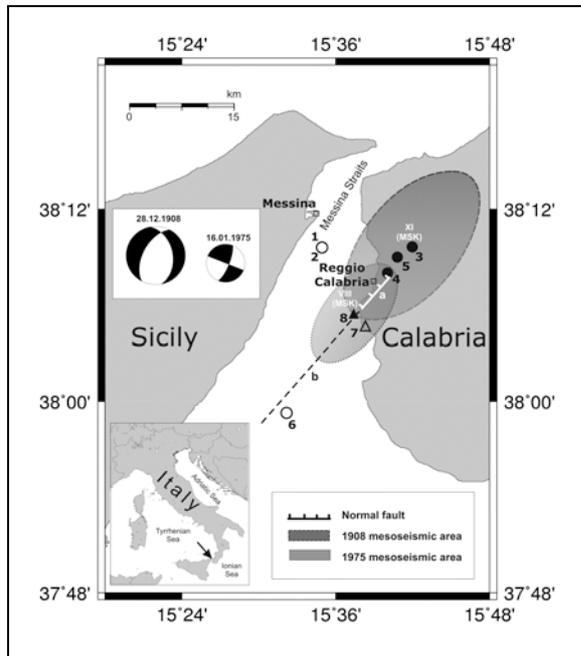


Figura 1. Aree mesosismiche dei terremoti del 28 Dicembre 1908 ($I_0=XI$ MSK) e del 16 Gennaio 1975 ($I_0=VIII$ MSK) e rispettivi meccanismi focali. Si riportano gli epicentri strumentali [1. Rizzo, 1908; 2. Schick, 1977, 6. Michelini et al., 2005] e macrosismici [3. Bottari & Lo Giudice, 1986; 4. NT4.1, 1999; 5. CPTI, 2004] del terremoto del 1908. Il triangolo vuoto rappresenta la localizzazione epicentrale strumentale [7. Bottari et al., 1975] dell'evento del 1975, il triangolo pieno (8) mostra il suo l'epicentro macrosismico. a) Faglia di Reggio Calabria; b) prolungamento a mare della Faglia di Reggio Calabria.

Bibliografia

- Ambrosetti C., Bosi C., Carraio F., Ciaranfi N., Panizza M., Papani G., Vezzani L., Lanferrari A. (1987). Neotectonic Map of Italy. Sheet 6, scale 1:50.000. Progetto Finalizzato Geodinamica, CNR.
- Blake A. (1941). On the estimation of focal depth from macroseismic data. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 31 (3), 225-231.
- Bottari A. & Lo Giudice E. (1975). Studio macrosismico del terremoto di Reggio Calabria del 16 gennaio 1975. *Ann. Geofis.*, 28 (2-3), 152-176.
- Bottari A., Carapezza E., Carapezza M., Carveni P., Cefali F., Lo giudice E. e Pandolfo C. (1986). The 1908 Messina Strait earthquake in the regional geostructural framework; *Journal of Geodynamics* 5, 275-302.
- Catalano S., De Guidi G., Monaco C., Tortrici G., Tortrici L. (2008). Active faulting and seismicity along the Siculo-Calabrian Rift Zone (Southern Italy). *Tectonophysics*, 455, pp. 177-192.
- Michelini A., Lomax A., Nardi A., Rossi A., Palombo B., Bono A. (2005). A modern re-examination of the locations of the 1905 Calabria and the 1908 Messina Straits earthquakes, in *European Geosciences Union, 2005 General Assembly Abstracts*.
- Rizzo G.B. (1910). Sulla propagazione dei movimenti prodotti dal terremoto di Messina del 28 Dicembre 1908. Torino, Ed. V.Bona.
- Schick R. (1977). Eine seismotektonische Bearbeitung des Erdbebens von Messina im Jahre 1908. *Geol. Jahrb. R. E. H.* 11, pp.74.
- Shebalin N.V. (1973). Macro seismic data as information on source parameters of large earthquakes. *Phys. Earth. Planet. Interiors*, 6, 316-323.
- Working Group CPTI (2004). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04), INGV, Bologna. <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI04/>

TASSI DI INNALZAMENTO COSTIERO DA OSSERVAZIONI MAREOGRAFICHE E ALTIMETRICHE SATELLITARI

Carla Braitenberg¹, Barbara Grillo¹, Patrizia Mariani¹, Giovanni Arena²

¹Dipartimento Scienze della Terra, Università di Trieste

²ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

I tassi di innalzamento costiero della Sicilia orientale e della Calabria meridionale, calcolati da osservazioni geologiche, sono fra i più elevati in Italia. I dati geologici forniscono tassi di innalzamento costieri medi, considerando intervalli temporali che coprono migliaia o decine di migliaia di anni. I tassi di innalzamento olocenici per la costa calabra meridionale, come anche per quella siciliana orientale superano i 2 mm/a (Ferranti et al., 2007). I tassi medi osservati vengono attribuiti a due componenti, quella cosismica e quella asismica, di entità comparabili. I tassi geologici medi forniscono un utilissimo valore di riferimento, se comparati con i tassi attuali, misurati strumentalmente.

Obiettivo della nostra ricerca è determinare i tassi del movimento costiero attuale, usufruendo di osservazioni strumentali. I mareografi costituiscono in questo contesto un'utile fonte di informazioni. Lo scopo principale di una stazione mareografica è quello di monitorare il livello marino nel tempo. Considerando la variazione media del livello mare, il tasso di innalzamento osservato dal mareografo (t_{MG}) sarà costituito dalla differenza dell'effetto dovuto all'incremento del volume d'acqua, pari al tasso eustatico (t_{EU}) e dell'innalzamento della fascia costiera (t_{CO}). Riassumendo, vale che:

$$t_{MG} = t_{EU} - t_{CO} \quad (1)$$

Un mareografo singolo non permette di separare il segnale eustatico da quello del movimento costiero. Avendo a disposizione due mareografi, invece vale:

$$t_{MG1} - t_{MG2} = (t_{EU1} - t_{EU2}) - (t_{CO1} - t_{CO2}) \quad (2)$$

Nel caso che il tasso di variazione eustatica sia uguale nelle due stazioni, la differenza dei tassi rilevati con i due mareografi è pari alla differenza dell'innalzamento costiero nei due siti.

$$t_{MG1} - t_{MG2} \approx -(t_{CO1} - t_{CO2}) \quad (3)$$

Con la disponibilità di più stazioni, è opportuno scegliere una stazione di riferimento, e calcolare tutti i tassi relativi a quest'ultima. Un'analisi dettagliata dei tassi così calcolati dimostra, che quanto più lunga è la serie temporale utilizzata, tanto più rappresentativo è il tasso ricavato. Una finestra temporale di 30 anni, porta ad una precisione del tasso intorno a 0.5 mm/a, mentre l'incertezza sul tasso calcolato aumenta notevolmente per un tasso calcolato su una finestra temporale di 10 anni. Per il futuro, è importante garantire un supporto alla gestione delle reti mareografiche, garantendo l'accesso pubblico alle osservazioni, e la continuità delle serie temporali.

L'osservazione del livello mare da satellite altimetrico fornisce un ulteriore importante dato che utilizziamo per calcolare i tassi di innalzamento costiero. La missione Topex/Poseidon e la successiva missione Jason1 fornisce dal 1992 le osservazioni del livello marino a scala globale. Il livello del mare viene osservato lungo tracce fisse campionate ogni 10 giorni. Il livello misurato è indipendente da movimenti costieri, in quanto viene effettuato rispetto alla posizione del satellite in orbita. La comparazione del livello marino osservato da mareografo rispetto a quello osservato contemporaneamente da satellite, permette di determinare il tasso di innalzamento costiero.

Considerando il tasso di innalzamento marino osservato da mareografo (t_{MGI}), quello osservato da satellite altimetrico lungo la traccia più vicina al mareografo (t_{SA}), il tasso eustatico in corrispondenza della stazione mareografica (t_{EU1}) e della traccia satellitare (t_{EU_S}) e l'innalzamento della fascia costiera (t_{COI}), troviamo la seguente relazione per la differenza fra tasso mareografico e satellitare:

$$t_{MGI} - t_{SA} = (t_{EU1} - t_{EU_S}) - t_{COI} \quad (4)$$

Osserviamo che la differenza dei tassi è pari all'abbassamento costiero, a meno di piccole variazioni nel tasso eustatico dalla costa alla posizione di rilevamento altimetrico in mare. Condizione per eseguire l'analisi, è la contemporaneità delle misure. Considerando le coste siciliane e calabre, possiamo contare su serie temporali continue almeno dal 1998 ad oggi nelle stazioni di Reggio Calabria, Crotone, Palermo, Porto Empedocle, Messina e Catania (Rete Mareografica Nazionale, ISPRA). Inoltre sono a disposizione presso il data base del PSMSL (Permanent Service for Mean Sea Level) alcuni anni di registrazione delle stazioni Messina, Reggio Calabria e Palermo.

Riportiamo come esempio il sito di Reggio Calabria. Confrontando la registrazione per gli anni 1951-1968 con quella della stazione di Genova (PSMSL), otteniamo un tasso differenziale di -4 ± 1.3 mm/a, mentre il confronto con la stazione di Palermo per gli anni 1999.5 - 2007.5 (dati ISPRA) porta ad un tasso differenziale di -2 ± 2 mm/a. Il tasso relativo alla traccia a Nord della Sicilia delle osservazioni altimetriche Topex/Poseidon (1999.5-2002.6) e Jason1 (2002.6 - 2007.5)), porta a un valore di -2 ± 2 mm/a. Le analisi delle serie temporali mareografiche e satellitari convergono nella osservazione di un innalzamento del livello marino rallentato nella stazione di Reggio Calabria, che è da attribuire ad un innalzamento tettonico del sito. Come evidenziato sopra, i valori di tasso differenziale sono affetti da differenze del tasso eustatico nei due siti considerati. È noto (e.g. Mangiarotti, 2007) che il mar Ionio è caratterizzato da un tasso eustatico negativo, evidenziato da osservazioni satellitari per il periodo 1992-2002. La zona anomala però si trova abbastanza decentrata

per poter influenzare il tasso eustatico registrato a Reggio Calabria. Notiamo che il movimento osservato a Reggio Calabria è un sollevamento. Anche se i tassi calcolati dovrebbero essere affetti da qualche incertezza dovuta alla disposizione temporale e geografica dei dati, tale risultato è concorde con il movimento costiero medio geologico, che indica che la Calabria meridionale è soggetta a sollevamento (Ferranti et al., 2007).

Ringraziamenti: Si ringrazia Ing. Ildikò Nagy per l'assistenza nella preparazione dei dati. Si ringrazia il PSMSL e il DEOS per la disponibilità dei dati. Lo studio è stato reso possibile grazie al contributo finanziario della Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento della Protezione Civile. La produzione scientifica finanziata non costituisce documento ufficiale del medesimo dipartimento.

Bibliografia

- Ferranti, L., Monaco, C., Antonioli, F., Maschio, L., Kershaw, S., Verrubbi, V. (2007). The contribution of regional uplift and coseismic slip to the vertical crustal motion in the Messina Straits, Southern Italy: evidence from raised Late Holocene shorelines. *J. of Geophys. Res.* 112, B06401, doi: 10.1029/2006JB004473.
- Mangiarotti, S. (2007). Coastal sea level trends from TOPEX-Poseidon satellite altimetry and tide gauge data in the Mediterranean Sea during the 1990s, *Geophys. J. Int.* 170, 132–144, doi:10.1111/j.1365-246X.2007.03424.x

THEATRUM TELLURIS: LA RAPPRESENTAZIONE DEL TERREMOTO DI MESSINA DEL 1908 NEGLI SCRITTORI CHE LO HANNO VISSUTO DA PROTAGONISTI O DA SPETTATORI

Giuseppina Calcara¹, Franco Foresta Martin²

¹Archivista, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

²Giornalista scientifico del Corriere della Sera

Un filo sottile unisce alcune pagine di scrittori profondamente diversi per origini, poetica e stile come Salvatore Quasimodo, Elias Canetti, Giuseppe Tomasi di Lampedusa, Benedetto Croce, Giovanni Pascoli, Maksim Gorkij, Axel Munthe e Luigi Pirandello. È il filo del dolore, della disperazione e dell'impotenza che si dipana dalle macerie del terremoto di Messina del 28 dicembre 1908, accomunando quanti fra narratori, filosofi e poeti vi restarono coinvolti in prima persona, oppure indirettamente attraverso le strazianti vicende di parenti e amici, o semplicemente da inorriditi spettatori.



Figura 1. Opere letterarie con brani dedicati al terremoto di Messina del 1908.

Così come il grande terremoto di Lisbona del 1755 era stato tema di riflessione per letterati

e filosofi, ispirando le pagine di Voltaire, Kant e Rousseau, anche quello di Messina ha generato una 'letteratura tellurica', se così è lecito definirla, in questo caso minuta ma non irrilevante, che ha impegnato gli autori prima menzionati e che, tuttavia, risulta dispersa nella grande produzione letteraria del Novecento.

Qui intendiamo proporre una lettura corale di queste poco note ma non marginali testimonianze, evidenziandone analogie, differenze e peculiarità, e sottolineando, al di là della loro valenza letteraria, il contributo che offrono alla conoscenza delle tante piccole storie di cui si compone il tragico mosaico del terremoto di Messina.

Bibliografia

- Canetti E. (1981). *La lingua salvata. Storia di una giovinezza*, pp. 109-110. Adelphi, Milano.
- Collura M. (2008). *Novecento. Cronache di un secolo italiano dal terremoto di Messina a Mani Pulite*, pp. 30-41. Tea, Milano.
- Croce B. (1983). *Carteggio Croce-Vossler 1899-1949*, pp. 111-112. Laterza, Bari.
- Gorkij M. (1988). *Il terremoto in Calabria e Sicilia: 28 dicembre 1908*. Gbm, Messina.
- Munthe A. (2008). *La storia di San Michele*, pp. 342-351. Garzanti, Milano.
- Pascoli G. (1914). *Pensieri e Discorsi*. Zanichelli, Bologna.
- Pirandello L. (1937). *Il professor Terremoto*. In: *Novelle per un anno*, pp. 582-590. Mondadori, Verona.
- Sasso G. (1989). *Per invigilare me stesso*. I Taccuini di lavoro di Benedetto Croce, pp.13-16 e pp. 77-80. Il Mulino, Bologna.

- Tomasi di Lampedusa G. (1990). Ricordi d'infanzia. In: I racconti, pp. 31-33. Feltrinelli, Milano.
- Quasimodo S. (1995). Al Padre. In: La terra impareggiabile. In: Tutte le poesie, pp. 203- 204. Mondadori, Milano.

EDUCAZIONE E RISCHIO A CENTO ANNI DAL TERREMOTO DEL 1908

Romano Camassi

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Bologna

Quel processo che generalmente chiamiamo formazione (*Education*) consiste nella trasmissione, formale o informale, di conoscenza. In questo processo il contenuto dell'informazione diviene conoscenza solo quando è collocato in un contesto che gli dà significato e una qualche rilevanza all'azione. In questo senso la conoscenza è parte di un sistema che guida la comprensione della realtà e l'agire umano su quella realtà [Wisner et al., 2004; Wisner, 2006].

Questo approccio è fondamentale per orientare un percorso educativo sui rischi naturali, che ha esplicitamente come obiettivo la modifica di scelte e comportamenti, personali e collettivi.

La distinzione epistemologica, ben chiara nella lingua inglese, fra hazard e risk, più incerta nella lingua italiana fra pericolo (o pericolosità) e rischio, include la consapevolezza che il rischio è determinato dall'agire umano. Questa consapevolezza, tuttavia, nel senso comune è generalmente molto ridotta, anche per un effetto di straniamento prodotto dalla ricorrente spettacolarizzazione mediatica delle catastrofi naturali.

In un contesto culturale particolare, come quello dell'area dello Stretto, questo straniamento è forse accentuato dalla lontananza nel tempo di eventi distruttivi e insieme dalla percezione della presenza di mali storici più immediati e diretti, con cui confrontarsi (disoccupazione, dissesto urbanistico e amministrativo, disgregazione sociale, ecc.). Quanto alla percezione dei rischi naturali (simico, tsunamigenico, vulcanico), in molte aree della Calabria è sfumata o addirittura assente.

Del resto in Italia non esiste una tradizione consolidata di diffusione di informazioni sui

rischi attraverso i normali percorsi curricolari, e il generale incremento della circolazione di informazioni scientifiche per il pubblico attraverso i nuovi media (Internet, canali satellitari, supporti digitali) ha prodotto e produce paradossalmente non un incremento di consapevolezza del rischio, ma una sua percezione distorta che si focalizza su eventi e aree lontane. Iniziative di comunicazione e sensibilizzazione su larga scala ci sono state, in passato, ma hanno sempre avuto un carattere occasionale e non hanno lasciato tracce significative. Il risultato di tutto questo è che quando si parla di terremoto, ad esempio, l'associazione più immediata che viene proposta nel senso comune è con California e Giappone; l'unico Tsunami che è vivo nel ricordo delle persone, il che è più comprensibile, è quello del 2004; molte persone conoscono il nome della faglia di S. Andrea, nessuno conosce il nome di una faglia italiana.

Con la consapevolezza di queste anomalie nella percezione del rischio, che ha varianti molto forti su scala nazionale (che andranno studiate a fondo), il progetto EDURISK (www.edurisk.it) fin dal suo avvio (2002/03) ha focalizzato molto della sua attività nella riscoperta condivisa delle tracce di eventi del passato (nel territorio, nella cultura, nell'arte, nella tradizione locale) e nell'avvio di percorsi di riconoscimento del rischio in ciascun preciso contesto, attraverso il coinvolgimento dei diversi ambiti dell'esperienza umana che in vario modo si misurano con l'esperienza del rischio, sottraendo così il rischio all'ambito strettamente scientifico-naturalistico. La condivisione delle conoscenze scientifiche più avanzate è importante, ma i saperi in gioco sono più numerosi di quelli solitamente richiamati (fisica, geologia,

storia, ingegneria, psicologia, ecc.); altrettanto importanti sono la riscoperta delle tracce che gli eventi naturali del passato hanno lasciato nell'ambiente fisico e costruito (testimonianze del fatto che la pericolosità è un carattere proprio del territorio), così come delle tracce del rapporto fra uomo e calamità nella cultura, nelle tradizioni, nelle espressioni artistiche, ecc.

Nel corso di quasi 6 anni di attività, il progetto ha coinvolto, per più anni, oltre un centinaio di Istituti scolastici di 11 regioni italiane, circa 1.400 insegnanti (al giugno 2008) e circa 26.000 studenti, dalla scuola dell'Infanzia alla scuola Secondaria (Fig. 1).

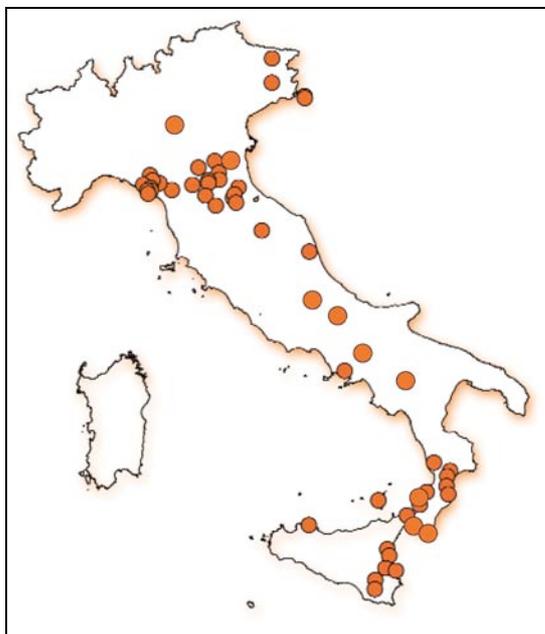


Figura 1. Distribuzione geografica degli Istituti Comprensivi, Direzioni o Circoli Didattici e Scuole che hanno partecipato al progetto EDURISK dal 2003 al 2008/09.

Nel corso dell'anno scolastico 2008/2009 il progetto EDURISK propone a numerosi Istituti scolastici della provincia di Reggio Calabria (a Palmi, Seminara, Bagnara Calabria, Villa San Giovanni, Reggio Calabria e Melito di Porto Salvo) e della città di Messina, un percorso di lavoro centrato sul recupero della memoria del grande evento del 1908, che da una parte passa attraverso la mediazione della generazione successiva a quella che è stata diretta testimone

dell'evento, e dall'altra può contare sull'immediato riconoscimento di tracce ancora visibili di questo evento (e della grande sequenza del 1783, Fig. 2) nell'ambiente costruito, oltre che nella cultura e nelle tradizioni popolari e religiose.



Figura 2. Le rovine del Convento di S. Domenico a Soriano Calabro, distrutto dai terremoti del 1783.

L'insieme delle centinaia di percorsi formativi originali attivati dalle scuole e la loro condivisione in rete costituisce un'opportunità unica per avviare un processo solido nel tempo e realmente radicato sul territorio. Se sarà sostenuto adeguatamente dalla comunità scientifica e da strutture di protezione civile disponibili a confrontarsi con le situazioni reali sul territorio, potrà avviarsi un processo virtuoso per il quale i diversi saperi che concorrono alla riduzione dei rischi potranno, attraverso la scuola, diventare patrimonio condiviso, generando consapevolezza e scelte responsabili.

Bibliografia

Wisner B. (2006). Let our children teach us! A review of the role of education and knowledge in disaster risk reduction, ISDR, Bangalore, 135 pp.

IL RUOLO DELLA MEMORIA STORICA E TECNICO-SCIENTIFICA PER LA CRESCITA DELLA CULTURA DELLA PREVENZIONE

Sergio Castenetto

Dipartimento della Protezione Civile

Il nostro è un paese fragile, interessato da una molteplicità di fenomeni, terremoti, eruzioni, alluvioni e frane, che nel corso della storia hanno avuto gravi conseguenze su vaste aree del territorio e condizionato le vicende di intere comunità.

Quasi sempre, la memoria di tali eventi viene rimossa; memoria che non deve essere confusa con il ricordo, legato alla sfera individuale, ma intesa come espressione di una collettività che sa fare tesoro dell'esperienza per evitare analoghe catastrofi.

Ma questa responsabilità, la costruzione di un rapporto nuovo della popolazione con il territorio richiede consapevolezza.

Ecco dunque l'importanza di riconsiderare l'impatto degli eventi del passato per favorire la crescita della cultura della sicurezza.

Il Dipartimento della Protezione Civile è da anni impegnato nelle attività di recupero e valorizzazione della memoria storica e tecnico-scientifica relative ai maggiori terremoti italiani, attraverso la realizzazione di studi monografici, la raccolta di materiali documentari e, recentemente, anche attraverso la mostra "Terremoti d'Italia".

Con il progetto di documentazione multimediale sui maggiori terremoti italiani, avviato nel 1992, le ricerche di sismicità storica, sino ad allora finalizzate unicamente alla definizione dei parametri necessari per i calcoli di pericolosità, vennero valorizzate, riconsiderando eventi significativi non solo per le conseguenze che ebbero, ma soprattutto per cosa rappresentarono allora, e rappresentano oggi per l'evoluzione degli interventi di riduzione del rischio sismico.

Il primo studio monografico fu dedicato al terremoto del 1883, dell'isola d'Ischia [AA.VV. 1998], il primo grande evento

sismico dopo l'unità d'Italia, evento di grande risonanza internazionale, che condusse alla emanazione della prima normativa antisismica dello Stato unitario. Seguì, quindi, il volume monografico sul terremoto di Avezzano del 1915 [Castenetto & Galadini 1999], uno dei maggiori terremoti della storia sismica italiana, che insieme allo svuotamento del lago Fucino determinò la trasformazione del paesaggio marsicano. Avvenne a ridosso della I^a guerra mondiale e diede un forte impulso alla ricerca sismologica, trasformando l'area colpita in un laboratorio nel quale si confrontarono i maggiori scienziati del tempo.

Il terremoto dell'Alta Irpinia del 1930 [Castenetto & Sebastiano 2002], oggetto di un successivo volume, è particolarmente interessante per il modello d'intervento e per la fase di ricostruzione. Pochi anni prima (1926) erano state emanate norme di pronto soccorso all'avanguardia in campo internazionale ed introdotte norme per le costruzioni (1924) che avevano previsto la classificazione del territorio in due categorie sismiche.

Nel 2007 è stato pubblicato uno studio sul terremoto calabro del 1905 [Castenetto & Sebastiano 2007], uno dei più forti della storia sismica italiana, importante oltre che per gli aspetti sismologici, per i primi segnali di cambiamento dell'atteggiamento dello Stato nei confronti delle calamità. Si posero le basi con il Regio Decreto del settembre 1906 per la normativa sismica che verrà poi emanata dopo il terremoto calabro-messinese (RD 193/09). La solidarietà ebbe un ruolo essenziale attraverso l'opera dei comitati di soccorso, attuando una sorta di gemellaggio che favorì la ricostruzione.

In occasione del centenario del terremoto del 28 dicembre 1908, sono state ricostruite le fasi di gestione dell'emergenza, attraverso la ricchissima documentazione conservata presso l'Archivio Centrale dello Stato. Nei carteggi dei generali Mazza, Mazzitelli e Tarditi, che svolsero il ruolo di Commissari straordinari per i circondari di Messina, Reggio Calabria e Palmi, emergono le problematiche e le soluzioni adottate, fornendo uno spaccato storico con diversi spunti di riflessione sugli attuali modelli d'intervento.

Questi studi sono stati presentati e diffusi capillarmente proprio nei territori colpiti, restituendo al territorio la memoria di un fenomeno importante, spesso fondamentale della sua storia.

La partecipazione della popolazione ad Ischia, ad Avezano, in Calabria, alle iniziative nate a seguito della presentazione degli studi e promosse dalle amministrazioni locali, sostenute dalle associazioni di volontariato, che hanno coinvolto le scuole, ma anche i cittadini, dimostrano l'importanza delle azioni di sensibilizzazione sui temi della sicurezza. Qualche esempio: a Ischia, gli studi sull'evento del 1883 hanno consentito di stimolare la società civile a sostegno del recupero dell'Osservatorio Geodinamico di Casamicciola, per anni diretto da Giulio Grablovitz, e promuovere l'idea di un Museo Civico e di un Centro Culturale per la conservazione e valorizzazione della memoria.

In Calabria, ad Aiello Calabro, l'8 settembre è stato istituito "Giornata della sicurezza" in ricordo dell'evento del 1905 ed inoltre le iniziative legate al centenario del terremoto hanno consentito la riscoperta di un tessuto urbano originale realizzato all'indomani del terremoto, a Martirano Lombardo e ad Aiello Calabro, su iniziativa del Comitato di Soccorso Lombardo.

Nel 2007, in occasione del 10° anniversario del terremoto di Umbria e Marche ed in vista

di una serie di ricorrenze di grandi terremoti del passato (centenario 1908, quarantennale Belice 1968) il Dipartimento della Protezione Civile ha realizzato la mostra itinerante "Terremoti d'Italia", allestita già a Foligno, Ancona, Gibellina e Roma. La mostra, organizzata in sezioni, dedica un ampio spazio espositivo alla memoria, grazie alla collaborazione dell'Archivio Centrale dello Stato, Rai Teche, Istituto Luce, Biblioteca Nazionale Centrale e collezionisti privati. Memoria attraverso le immagini, i documenti, i filmati sugli eventi sismici che hanno caratterizzato 150 anni di storia italiana. La mostra, che sarà allestita a Messina nei mesi di dicembre 2008-gennaio 2009, rappresenterà uno degli impegni principali del Dipartimento della Protezione Civile per le celebrazioni del centenario del terremoto del 28 dicembre 1908.

L'esperienza maturata con le iniziative descritte conferma l'importanza del recupero della memoria storica; memoria storica di eventi che hanno avuto conseguenze tragiche, ma dai quali si può e si deve ripartire per costruire un forte senso di responsabilità individuale nei confronti delle azioni di prevenzione, condizione indispensabile per l'efficacia degli interventi istituzionali di riduzione del rischio sismico.

Bibliografia

- AA.VV. (1998). Il terremoto del 28 luglio 1883 a Casamicciola nell'isola d'Ischia. Ist. Poligrafico dello Stato, Roma.
- Castenetto S. & Galadini F., a cura di (1999). 13 gennaio 1915. Il terremoto nella Marsica. Ist. Poligrafico dello Stato, Roma.
- Castenetto S. & Sebastiano M., a cura di (2002). Il terremoto del 'Vulture' del 23 luglio 1930. Ist. Poligrafico dello Stato, Roma.
- Castenetto S. & Sebastiano M., a cura di (2007). Calabria, 8 settembre 1905: dal terremoto alla ricostruzione. Dipartimento della Protezione Civile, Roma.

ACTIVE CRUSTAL DEFORMATION IN THE MESSINA STRAITS AREA FROM TERRESTRIAL AND GPS MEASUREMENTS

Daniele Cheloni¹, Nicola D'Agostino², Ingrid Hunstad², Giulio Selvaggi¹,
Renzo Maseroli³

¹*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Centro Nazionale Terremoti*

²*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Roma*

³*Istituto Geografico Militare, Servizio Geodetico, Firenze*

The $M_w = 7.1$ earthquake that struck the Messina Straits on 28 December 1908 is one of the greatest and most devastating earthquake recorded in the Central Mediterranean area [Boschi et al. 1997; Pino et al. 2000]. Previous studies have recognized a NNE-SSW trending active normal fault roughly parallel to the strike of the Straits with a minor component of right-lateral slip, as responsible for the 1908 Messina earthquake [Capuano et al. 1988; Boschi et al. 1989; Valensise and Pantosti 1992; Amoroso et al. 2002]. The Messina Straits, located above the southwest edge of the steeply-dipping Tyrrhenian slab, is the expression of an important structural feature marking the boundary between the kinematically distinct Sicilian and Calabrian domains [D'Agostino and Selvaggi 2004; Pondrelli et al. 2004; Goes et al. 2004]. The mechanism of strain accumulation, the rate of tectonic loading and the general style of deformation in the Straits, however, still remain poorly understood. We report here geodetic measurements at different spatial and temporal scales that help to clarify the style and rate of active crustal deformation in the Messina Straits (southern Italy).

The first set of observations covers a time span of 33 years and consists of triangulation and trilateration measurements from a small-aperture (~ 10 km wide) geodetic network in the northern part of the Straits (inset of Figure 1) established by the IGM (Istituto Geografico Militare) in the early 70s [Bencini 1975].

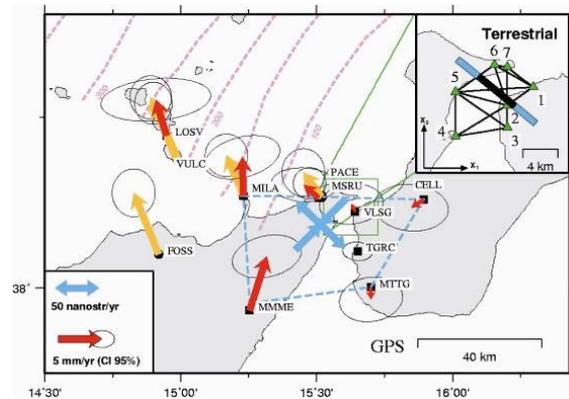


Figure 1. GPS velocity field relative to the site TGRC and associated 95% confidence ellipses. The red and yellow arrows indicate continuous and survey-type observations respectively. The blue double sided arrows represent the principal strain rates. The inset shows the terrestrial network and the total shear strain rate (blue bar) with 1 σ deviation plotted in the direction of maximum extension.

The second set of measurements consists of continuous GPS observations from the larger aperture RING network (inter-station distance in the study area ~10-30 km) integrated with survey-type GPS velocities from previous works (Figure 1).

The results show that the main deformation pattern from GPS and triangulation measurements is given by a 110-160 nanostrain/yr right-lateral simple shear on N-S vertical planes. Although affected by an unclear systematic bias the trilateration measurements are statistically consistent with previous results. We find here that the current strain accumulation in the Messina Straits confirms the hypothesis which

considers the Messina Straits as an important boundary between distinct crustal domains. On the other hand the style of interseismic deformation appears scarcely consistent with the faulting geometry generally associated with the $M_w = 7.1$ Messina earthquake. How this deformation is presently accommodated by faulting in this area and how many faults take up this deformation is presently unclear but very important for the evaluation of the seismic hazard.

Bibliografia

- Amoruso A., Crescentini L. and Scarpa R. (2002). Source parameters of the 1908 Messina Straits, Italy, earthquake from geodetic and seismic data. *J. Geophys. Res.*, 107 (B4), 2080, doi:10.1029/2001JB000434.
- Bencini P. (1975). Geodetic measurements made by Istituto Geografico Militare in the Strait of Messina area. *Tectonophysics*, 29, 331-337.
- Boschi E., Pantosti D. and Valensise G. (1989). Modello di sorgente per il terremoto di Messina del 1908 ed evoluzione recente dell'area dello stretto. In: *Atti 89th GNDT Workshop, Cons. Naz. Delle Ric., Rome*.
- Boschi E., Ferrari G., Gasparini P., Guidiniboni E., Smriglio G. and Valensise G. (1997). *Catalogo dei Forti Terremoti in Italia dal 461 A.C. al 1990. Ist. Naz. Di Geofis., Rome, vol 2, 643 pp.*
- Capuano P., De Natale G., Gasparini P., Pingue F. and Scarpa R. (1988). A model for the 1908 Messina Straits (Italy) earthquake by inversion of levelling data. *Bull. Seism. Soc. of Am.*, 78 (No.6), 1930-1947.
- D'Agostino N. and Selvaggi G. (2004). Crustal motion along the Eurasia-Nubia plate boundary in the Calabrian Arc and Sicily and active extension in the Messina Straits from GPS measurements. *J. Geophys. Res.*, 109 (B11402), doi:10.1029/2004JB002998.
- Goes S., Giardini D., Jenny S., Hollenstein H.-G. and Geiger A. (2004). A recent tectonic reorganization in the south-central Mediterranean. *Earth Pl. Sc. Lett.*, 226 (3-4), 335-345, doi:10.1016/j.epsl.2004.07.038.
- Pino A.N., Giardini D. and Boschi E. (2000). The December 28, 1908, Messina Straits, southern Italy, earthquake: Waveform modelling of regional seismograms. *J. Geophys. Res.*, 105 (B11), 25473-25492.
- Pondrelli S., Piromallo C. and Serpelloni E. (2004). Convergence vs. retreat in Southern Tyrrhenian Sea: Insights from kinematics. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L06611, doi:10.1029/2003GL019223.
- Valensise G. and Pantosti D. (1992). A 125 Kyr-long geological record of seismic source repeatability: the Messina Straits (southern Italy) and the 1908 earthquake (Ms 7.5). *Terra Nova*, 4, 472-483.

EVIDENZE CONTRARIE ALL'IPOTESI CHE IL MAREMOTO DI MESSINA DEL 1908 SIA STATO GENERATO DA UNA GRANDE FRANA SOTTOMARINA AL LARGO DI GIARDINI NAXOS

Francesco Chiocci¹, Stefano Tinti², Filippo Zaniboni², Roberto Tonini², Gianluca Pagnoni², Sara Gallazzi², Mariangela Valentina Lodi¹

¹*Dipartimento di Scienze della Terra, Università "La Sapienza", Roma*

²*Settore di Geofisica, Dipartimento di Fisica, Università di Bologna*

Recentemente è stata avanzata l'ipotesi che l'evento di maremoto che ha colpito l'area dello Stretto nel 1908 sia stato generato non dalla deformazione cosismica ma da una frana sismoindotta di enormi dimensioni (20 km³) avvenuta sulla scarpata continentale al largo di Giardini Naxos (Billi et al., 2008).

In questa nota vengono descritti dati batimorfologici ad alta risoluzione sia nell'ipotizzata zona di evacuazione sia nell'ipotizzata zona di accumulo, che portano ad escludere la presenza di un recente evento di instabilità gravitativa di grandi dimensioni. Inoltre, mediante simulazioni numeriche si dimostra che l'ipotizzata megafrana avrebbe prodotto un maremoto con effetti assai più disastrosi di quelli effettivamente osservati.

L'individuazione della frana proposta da Billi et al. (2008) si basa su batimetrie multifascio a bassa risoluzione pubblicate da Marani et al. (2004) e su un profilo sismico crostale (anch'esso a bassa risoluzione) pubblicato da Scrocca et al. (2004). Negli scorsi anni sono stati acquisiti dati batimorfologici ad alta risoluzione a copertura di tutto il margine continentale che consentono di formulare la seguente interpretazione.

Zona di Evacuazione: la supposta zona di distacco della megafrana di Giardini Naxos si trova in una zona coperta solo parzialmente dai dati di Marani et al. (2004). I nuovi dati ecometrici multifascio evidenziano una situazione in cui alla testata di un'ampia valle a fondo piatto sono presenti una serie di canyon di dimensioni diverse che incidono profondamente i fondali sino a poca distanza dalla linea di riva

(Fig.1). Non sono stati rilevati lineamenti riferibili a fenomeni di instabilità di grandi dimensioni. Piuttosto la presenza di un fitto e maturo reticolo di canyon suggerisce processi erosivi continui e prolungati nel tempo.

Zona di accumulo: il deposito del supposto evento di instabilità del 1908 giace alla profondità di 1400 – 1800 m (Fig.1). Anche in questo caso i dati batimorfologici ad alta risoluzione tendono ad escludere un'origine recente del lineamento in quanto l'alto morfologico è prodotto dall'azione erosiva di due valli. Nel caso in cui l'alto morfologico fosse stato prodotto da un evento recente ci si sarebbe dovuti aspettare che le due valli fossero ostruite dal deposito. L'assetto morfostrutturale evidenzia una situazione che appare essere più il prodotto di una storia lunga e complessa che di un evento successo solo un secolo fa.

Un secondo elemento che contrasta con l'ipotesi di tsunamigenesi dovuta alla megafrana deriva dai risultati delle simulazioni numeriche (Fig. 2). Secondo i calcoli preliminari di Tinti et al. (2008), una frana locata al largo di Giardini Naxos avrebbe generato un maremoto con altezza di onde a riva compatibili con i run-up misurati per l'evento del 1908 solo se il volume coinvolto fosse stato circa un ordine di grandezza minore di quello ipotizzato da Billi et al. (2008).

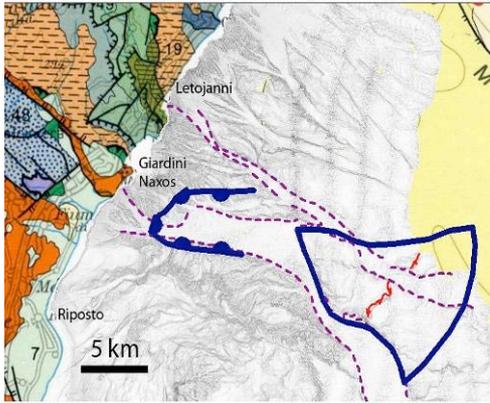


Figura 1. Rilievo ombreggiato di dati ecometrici multifascio al largo di Giardini Naxos. Le linee spesse indicano la zona di evacuazione e di accumulo della frana supposta da Billi et al. (2008), le linee tratteggiate indicano i limiti delle valli di Giardini Naxos e di Letojanni, la linea con i semicerchi indica la scarpata di probabile origine tettonica.

Ulteriori simulazioni numeriche, effettuate con griglie ad alta risoluzione confermano che una frana di 20 km³ darebbe luogo a inondazioni ben maggiori di quelle osservate nel 1908 lungo tutta la costa siciliana e nello stretto di Messina ed in particolare in prossimità di Giardini Naxos. Alla luce di ciò, la compatibilità con i dati storici dei tempi di arrivo e della polarità dei primi arrivi del maremoto risultanti dalle simulazioni numeriche ha un rilievo secondario, per quanto corre l'obbligo di sottolineare che sotto questo aspetto le discrepanze tra simulazioni ed osservazioni sono meno drastiche che per le ampiezze delle onde.

In conclusione, l'assetto batimor-fologico del margine continentale ed i risultati delle modellazioni non paiono congruenti con l'ipotesi di Billi et al. (2008). Non si esclude tuttavia che il settore potrebbe essere stato interessato da fenomeni di instabilità di grandi dimensioni (indizi in questo senso potrebbero essere la facies sismica dell'alto morfologico e l'anomalo allargamento della valle di Giardini Naxos), ma in un passato geologico certamente di molto più lontano del 1908.

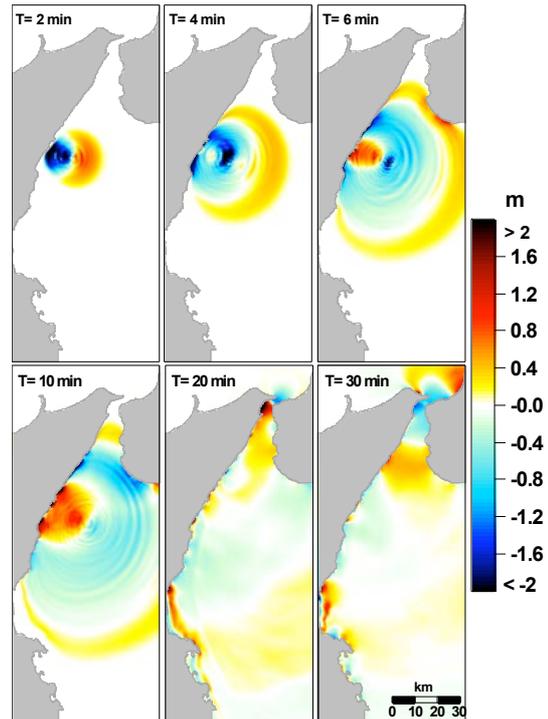


Figura 2. Propagazione di un maremoto generato da una frana sottomarina al largo di Giardini Naxos. La costa attorno a Giardini Naxos è investita da un fronte negativo. Il fronte positivo si propaga radialmente e con maggiore velocità, sicché raggiunge per primo quasi tutte le altre località della Sicilia e della Calabria.

Bibliografia

- Billi A., Funicello R., Minelli L., Facenna C., Neri G., Orecchio B., Presti D. (2008). On the cause of 1908 Messina tsunamis, southern Italy. *Geophysical Research Letters*, Vol.35, L06301.
- Marani M. et al. (2004). Memorie descrittive della carta geologica d'Italia. Vol. LXIV. From seafloor to deep mantle: Architecture of Tyrrhenian Backarc Basin.
- Tinti S. et al. (2008). Quale sorgente per il maremoto del 28 dicembre 1908 nello Stretto di Messina? Terremoto, frana sottomarina o entrambe? GNGTS – 27° Convegno Nazionale, Trieste, 6-8 ottobre 2008.

IL TALLONE DI ACHILLE D'ITALIA: LA PUNTA DELLO STIVALE TRA TERREMOTI E FRANE

G. Chiodo, M.F. Currà, T. La Pietra, A. Pellegrino, G. Ricca

Regione Calabria, Autorità di Bacino, Catanzaro

La “Costa Viola”, il tratto di versante che si affaccia sul Mar Tirreno meridionale compreso tra Palmi e Villa San Giovanni (RC) ben noto per la sua estrema bellezza a livello paesaggistico-ambientale, è tristemente conosciuta anche per l'elevato livello di rischio sismico ed idrogeologico con effetti correlati quali maremoti e frane (Currà et al. 2006, Martino et al. 2005, ABR 2006). È stato riscontrato, inoltre, che la maggior parte delle frane sismoindotte è costituita da rimobilizzazioni o accentuazioni di movimenti franosi già presenti, come conferma anche il riesame critico della letteratura relativa a forti terremoti storici. Una incisione di grande interesse attribuita al Minasi, contenuta nella raccolta Zerbi (Principe, 1993), documenta le frane avvenute nei dintorni di Scilla in concomitanza e successivamente al terremoto del 1783. L'immagine e le relative descrizioni forniscono una serie di particolari, riconosciuti attualmente come indizi di suscettibilità al dissesto come ad esempio le lesioni presenti nel terreno “fin dal 1782”. Un altro riquadro mostra una riattivazione della stessa frana il 24 marzo 1790, mentre nel rettangolo grande è visibile tutta l'area coinvolta dalle frane; è indicata, tra queste, anche l'area di Favazzina coinvolta da frane anche in seguito al successivo terremoto del 1894 e del 1908 lungo la linea ferroviaria. L'immagine del Baratta, relativa al terremoto del 1908, mostra ancora i numerosi *franamenti* innescati nel tratto compreso tra Bagnara C. e la località Favazzina.

La problematica assume un interesse di carattere “nazionale” connesso, oltre alle conseguenze sull'incolumità dei cittadini, al disservizio dovuto all'interruzione delle importanti infrastrutture presenti quali la ferrovia, l'Autostrada A3, la Strada SS. 18 e l'importante impianto della SNAM che

collega le condotte del metanodotto provenienti dalla Sicilia con la distribuzione nazionale, così come già accaduto a seguito dei rilevanti fenomeni franosi verificatisi nel maggio 2001 e nel marzo 2005. In particolare, dall'anno 2001 ad oggi, sono stati rilevati e cartografati numerosi fenomeni, che più frequentemente appartengono a due tipologie caratterizzate da pericolosità molto elevata (crolli e colate rapide di detrito), nonché una ricerca sulle notizie storiche riporta almeno alcune decine di eventi nel periodo che va dagli inizi dell'ottocento ai giorni nostri.

È stato, pertanto, condotto un complesso studio, attraverso un approccio multidisciplinare. Nel presente lavoro, sintetizzando i dati acquisiti, si delinea il quadro conoscitivo sullo stato generale dei luoghi, sulle caratteristiche dei bacini idrografici e sull'assetto geologico e geomorfologico, definendo i caratteri principali della franosità pregressa e dei fenomeni di dissesto osservati, da cui scaturisce che alcuni bacini vedono gran parte della loro estensione interessata da fenomeni franosi, particolarmente nel tratto che attraversa il costone. Per questi un indice di franosità (*IF*) calcolato per singolo bacino fornirebbe valori superiori al 50%. La complessa analisi condotta evidenzia, in particolare, un'elevata propensione al dissesto dei versanti (suscettibilità), nonché un'elevata pericolosità da frana, connesse prevalentemente alla naturale predisposizione a franare delle litologie presenti, alle scadenti caratteristiche geotecniche sia delle coltri di alterazione che degli strati più superficiali del substrato, alle condizioni strutturali e geomeccaniche del substrato roccioso caratterizzato da intensa fratturazione e alterazione, alle elevate pendenze, alla piovosità che caratterizza questa fascia costiera e alla frequenza con

cui si verificano eventi piovosi brevi e intensi in grado di produrre notevole trasporto solido, all'azione delle acque di infiltrazione che provoca saturazione dei terreni ed incrementi di pressioni neutre all'interno degli stessi, alle trasformazioni antropiche del territorio che alterano il già precario equilibrio esistente come l'inadeguato sistema di raccolta e smaltimento delle acque di scorrimento superficiale, nonché all'elevato rischio sismico dell'area essendo la sollecitazione sismica un possibile fattore d'innescio dei fenomeni franosi in particolare per i crolli.

Dall'analisi dei fenomeni franosi complessivamente censiti nell'area, si evince che la tipologia di movimento più diffusa è rappresentata dalle frane complesse (35%) seguita dagli scivolamenti roto-traslativi (33%). Seguono, in ordine decrescente, le colate rapide ed i crolli.

Nel tratto tra Palmi e Bagnara Calabria, dove sono presenti coste alte rocciose a picco sul mare, prevalgono i fenomeni di crollo che, al piede dei versanti, sono spesso innescati dall'azione di scalzamento operata dal moto ondoso, seguiti da movimenti complessi (scorrimenti-colate e scorrimenti-crolli) e subordinatamente da colate rapide. Nel tratto di costone ricadente nel comune di Bagnara Calabria si ha una morfologia accidentata, dove affiorano prevalentemente rocce da lapidee a tenere, interessate da fratturazione più o meno persistente, con pareti molto inclinate, spesso sub-verticali. In tali condizioni la tipologia di frane più diffusa è costituita da crolli e scivolamenti di roccia, a volte con coinvolgimento di volumi anche consistenti, come ad esempio nell'evento avvenuto nel Maggio 2005. Nel tratto compreso tra Bagnara e Scilla, dove i versanti sono ancora molto acclivi, ma presentano una morfologia terrazzata e sono solcati da incisioni più o meno profonde, è spesso presente sul basamento roccioso paleozoico una coltre di alterazione di vario spessore. Qui, oltre alle frane per crollo, si verificano spesso le condizioni per la mobilitazione di colate rapide e di fenomeni complessi di tipo crollo-colata rapida e

scorrimento-colata rapida. Particolarmente complessa è la dinamica di questi ultimi. Questi fenomeni interessano numerosi tratti del costone compreso tra Bagnara Calabria e Scilla, con piccole differenze da una zona all'altra.

La situazione in esame mostra in definitiva aspetti del tutto particolari, in quanto alcune tipologie di frana determinano situazioni di maggior pericolosità per l'elevata velocità con cui si manifestano e per l'entità delle volumetrie di materiale mobilizzato, nonché al rischio presente localmente lungo le scarpate e a ridosso delle infrastrutture o alle inadeguate sezioni degli attraversamenti idraulici si aggiunge il rischio derivante dai fenomeni di dissesto che hanno origine a distanza di alcune centinaia di metri, ma che possono produrre comunque effetti devastanti sui centri abitati e sulle stesse infrastrutture di importanza strategica.

Bibliografia

- Baratta M. (1910). La catastrofe calabro-messinese (28 dicembre 1908), vol. I-II, Roma 453 pp.
- Bonavina M., Bozzano F., Martino S., Pellegrino A., Prestininzi A. & Scandurra R (2005). Le colate di fango e detrito lungo il versante costiero tra Scilla e Bagnara Calabria (Reggio Calabria): valutazioni preliminari di suscettività. *Giorn. di Geol. Appl.* 2 (2005) 65–74.
- Curà M. F., De Lio A., Giraldi R., La Vitola F., Mastroianni W., Mercuri F., Pellegrino, A., Zinno L.G. (2006). Mitigazione del rischio idrogeologico nel tratto di versante compreso tra Bagnara Calabria e Scilla (RC). Quadro conoscitivo e strategia di intervento. Autorità di Bacino Reg., Reg. Cal.
- Principe I. (1993). *Paesaggi e vedute di Calabria nella Raccolta Zerbi*, Mapograf, Vibo Valentia.
- Segreteria tecnico-operativa Autorità di Bacino Regionale, Reg. Cal. (2006).
- Progetto IFFI, Relazione tecnica II Convenzione. In Progetto IFFI- *Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia*-APAT.

THE EFFECTS ON THE ENVIRONMENT OF THE 1908 SOUTHERN CALABRIA – MESSINA EARTHQUAKE (SOUTHERN ITALY)

Valerio Comerchi, Anna Maria Blumetti, Elisa Brustia, Pio Di Manna, Domenico Fiorenza, Luca Guerrieri, Mauro Lucarini, Leonello Serva, Eutizio Vittori

ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

The December 28, 1908, Southern Calabria - Messina earthquake [Intensity MCS XI, Mw 7.24; Gruppo di lavoro CPTI 2004] is among the strongest seismic events that affected Italy during historical times and the most ruinous in terms of casualties (at least 80,000). According to most reconstructions, its epicentre was located at sea in the Messina Straits. The impact of the earthquake was particularly catastrophic along the Calabrian coast, between south of Reggio Calabria and south-west of Scilla, and along the eastern coast of Sicily from its easternmost tip to south of Messina [Baratta 1910; Boschi et al. 1995; Barbano et al. 2005]. Reggio Calabria and Messina were almost totally destroyed.

After the earthquake, both sides of the Straits were inundated by a destructive tsunami, whose effects often overprinted those due directly to the earthquake. The run-up was between 0.80 m at Torre Faro and 11.70 m at S. Alessio, in Sicily, and between less than 1 m at Cannitello and 13 m at Pèllaro, in Calabria [Platania, 1909].

We have catalogued all the coseismic effects on the environment based on a careful screening of contemporary documents, i.e. technical and photographic reports, newspapers and other archive material. Nearly 300 independent environmental effects were identified (Fig. 1) based on 432 different testimonies.

Among these effects, particularly relevant were the changes in elevation (mainly ground lowering) along both sides of the Straits, partly due to the settlement of loose sediments and artificial filling (e.g., Messina and Reggio Calabria port areas), and partly ascribed to landslides and tectonic deformation.

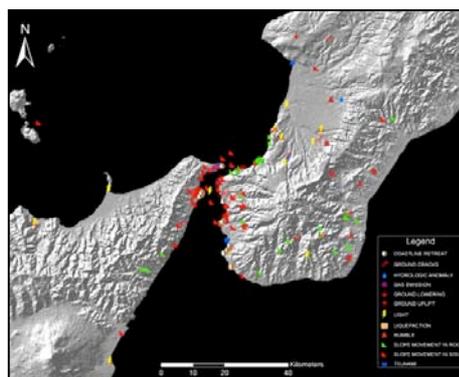


Figure 1. Location of the environmental effects of the 1908 earthquake in the Straits area according to the collected documents.

Liquefaction phenomena, described as water, mud or sand ejection, occurred in the areas of Messina, lake Pantano (Ganzirri) and Reggio Calabria. Portions of the coast were lost, especially on the Calabrian side, most of them eroded by the tsunami [at Lazzàro the coastline retreat was in the order of 175 m; Novarese 1909]. Ground cracks were reported in 70 localities, most of them in Messina, Reggio Calabria and Villa San Giovanni. 75 slope movements occurred in many Sicilian and Calabrian localities (especially between Reggio Calabria and Bagnara) mainly along coastal areas, but also inland. An underwater telephone cable between Gallico (in Calabria) and Gazzi (in Sicily) was cut, likely by a submarine slide. 11 mass depositions on the sea floor were recognised. In both regions ground lowering and also several hydrological anomalies occurred: appearance or disappearance of springs, change of spring discharge, water temperature variations and gas emissions. There was also a number of testimonies of rumbles and lights (Fig. 2).

It is readily evident that documented coseismic environmental effects are, as a whole, less than commonly expected for earthquakes of similar magnitude in that region (i.e., 1783 Calabrian and 1693 eastern Sicily earthquakes).

Particularly, no coseismic effects reported by contemporary authors and witnesses have been definitely interpreted as primary effects (i.e., surface faulting). Therefore, the ground elevation changes, measured by means of geometric levelling soon after the earthquake [Loperfido 1909], represent the main evidence of tectonic deformation.

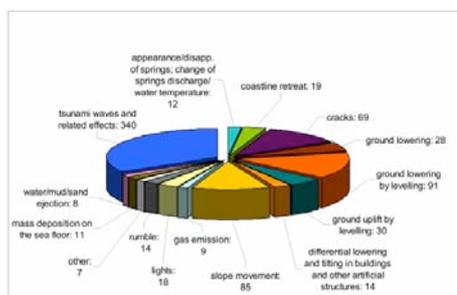


Figure 2. Classification of the environmental effects of the 1908 earthquake found in contemporary documents (technical and photographic reports, newspapers and other archive material).

According to the ESI 2007 scale [Guerrieri & Vittori 2007] we have evaluated the Intensity in 25 localities, where more diagnostic environmental effects occurred.

In the Straits area the ESI values are one or two degrees lower than the MCS values (the maximum ESI value is X, while the maximum MCS value is XI). We have to consider that the ESI scale is calibrated on the MM and MSK scales, which provide intensity estimates lower than the MCS scale for the highest degrees. Moreover, several earthquakes that struck this area in 1894, 1905 and 1907 had certainly weakened the buildings, which had been badly restored afterwards. Moreover, fluvial stones and poor quality mortar were often used for recent constructions, enhancing their vulnerability. In fact, the seismic resistant construction standards were often disregarded after the 1860, following the statement “*Libera costruzione in libero paese*” [Blaserna 1909].

Our targeted study of the contemporary documents has lead to a comprehensive picture of the distribution of ground coseismic environmental effects of this earthquake, which was not available so far. Such a knowledge is crucial to better estimate the size of the event and the future impact of a similar event on a region that has seen a strong urban and infrastructural development since then.

References

- Baratta M. (1910). La catastrofe sismica calabro messinese (28 dicembre 1908). Soc. Geogr. It., Roma, 2 vol.
- Barbano M.S., Azzaro R., Grasso D.E. (2005). Earthquake damage scenarios and seismic hazard of Messina, north-eastern Sicily (Italy) as inferred from historical data. J. of Earthq. Eng., Vol. 9, No. 6, 805–830.
- Blaserna P. (1909). Relazione generale. In: Relazione della Commissione Reale incaricata di designare le zone più adatte per la ricostruzione degli abitati colpiti dal terremoto del 28 dicembre 1908 o da altri precedenti. Roma.
- Boschi E., Ferrari G., Gasperini P., Guidoboni E., Smriglio G., Valensise G. (1995). Catalogo dei Forti Terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980, INGV e SGA, Bologna, 973 pp.
- Gruppo di lavoro CPTI (2004). Cat. Param. dei Terremoti Italiani, vers. 2004 (CPTI04), INGV, Bologna. <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI04/>.
- Guerrieri L. & Vittori E., Eds. (2007). Intensity Scale ESI 2007. Mem. Descr. Carta Geologica d’Italia, 74, Serv. Geol. d’Italia – Dip. Difesa del Suolo, APAT, Roma.
- Loperfido A. (1909). Livellazione geometrica di precisione. Allegato D in “Relazione della Commissione Reale incaricata di designare le zone più adatte per la ricostruzione degli abitati colpiti dal Terremoto del 28 dicembre 1908 o da altri precedenti. Reale Accademia dei Lincei, Roma.
- Novarese V. (1909). Il terremoto del 28 dicembre in Reggio Calabria e provincia. Boll. Regio Comitato Geologico d’Italia, Roma, 4, 424-496.
- Platania G. (1909). Il maremoto dello Stretto di Messina del 28 dicembre 1908. Boll. Soc. Sism. It., 13, Modena.

RETROSPECTIVE ANALYSIS OF STRESS INTERACTION EFFECTS ON OCCURRENCE PROBABILITY OF CHARACTERISTIC EARTHQUAKES IN MESSINA STRAIT

Rodolfo Console¹, Maura Murru¹, Giuseppe Falcone^{1,2}

¹*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Roma I*

²*Università di Messina - Dipartimento Scienze della Terra*

The model proposed is associated with the concept of characteristic earthquake, assuming that on a same seismogenic fault strong earthquakes occur with similar mechanisms, and with time intervals characterized by remarkable regularity.

It is commonly accepted that neighboring faults can interact, affecting the probability of occurrence of future earthquakes. A large earthquake can change the static stress on surrounding faults up to several hundred kms promoting their rupture, and activating aftershock sequences. In several cases a clear correlation has been noted between the pattern of positive Coulomb stress change and the increase of the local occurrence rate density, both in normal and in strike fault systems. In this study we compute the effect of stress change due to previous historical earthquakes on the probability of occurrence of future earthquakes on neighboring faults. Following the methodology developed in the last decade (e.g. Parsons et al., JGR 2004) we start from the estimate of the occurrence probability for a characteristic earthquake in a given time window, conditioned by the time elapsed since the latest event, based on a time-dependent renewal model (BPT, Matthews et al., BSSA 2002). Then, a physical model for the Coulomb stress change caused by previous earthquakes on these structures is applied. The influence of this stress change on the occurrence rate of characteristic earthquakes is computed taking into account both a permanent (clock advance) and a temporary (state-and-rate) perturbation. We apply the method so developed to the retrospective computation of earthquake hazard on the Messina seismogenic source reported in the DISS

3.0.4 database (Figure 1), at the time of the latest 1908 characteristic earthquake.

The main earthquakes that may have had effect on the source of the Messina 1908 earthquake are the two mainshocks of the February 1783 seismic series (Fig. 1), and the Calabria, 1905 mainshock. For the latter, whose source is not reported in the DISS 3.0.4 database, the source mechanism has been inferred from the available recent literature (Tiberti et al., 2006).

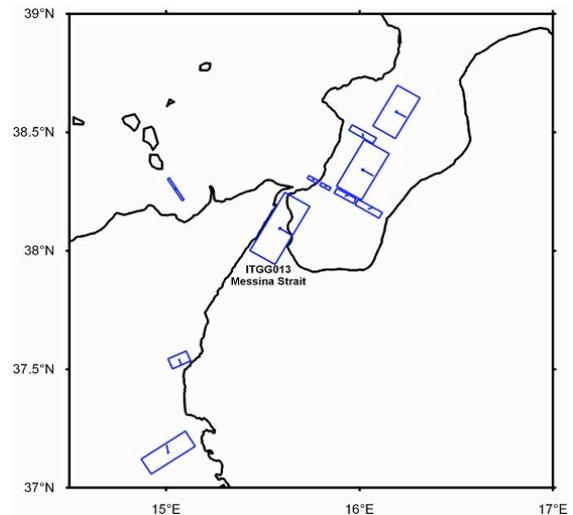


Figure 1. Map of the area in analysis (database DISS 3.0.4, Basili et al., Tecto 2008).

This study provides the opportunity of reviewing the problems to be faced in connection with the estimate of the parameters of a renewal model in case of characteristic earthquakes characterized by return times that are longer than the time spanned by the available catalogues, and the concept of characteristic earthquake itself. The results show that the estimated effect of

earthquake interaction in this region is small compared with the uncertainties affecting the statistical model used for the basic time-dependent hazard assessment.

The transient effect doesn't seem to play a relevant role in the present period of time.

Bibliography

Basili R., Valensise G., Vannoli P., Burrato P., Fracassi U., Mariano S., Tiberti M.M., and Boschi E. (2008). The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology. *Tectonophysics*, 453, pp. 20-43.

Matthews, M.V., Ellsworth, W.L. and Reasenberg, P.A. (2002). A Brownian model for recurrent earthquakes. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 92, pp. 2233-2250.

Parsons, T. (2004). Recalculated probability of $M \geq 7$ earthquakes beneath the Sea of Marmara, Turkey. *J. Geophys. Res.*, 109, B05304, doi:10.129/2003JB002667.

Tiberti, M. M., Fracassi, U., Valensise, G. (2006). Il quadro sismotettonico del grande terremoto del 1905 Il quadro sismotettonico del grande terremoto del 1905, <http://hdl.handle.net/2122/2289>.

CARATTERIZZAZIONE DELLA SORGENTE SISMOGENETICA DEL GRANDE TERREMOTO CALABRO DELL'8 SETTEMBRE 1905 ATTRAVERSO L'USO DEGLI EFFETTI AMBIENTALI SISMO-INDOTTI

Luigi Cucci, Andrea Tertulliani

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Roma1

Il terremoto dell'8 settembre 1905 della Calabria centrale, diversamente dal terremoto di Messina del 1908, appartiene a quella peculiare famiglia di eventi distruttivi, avvenuti agli albori della sismologia strumentale, per i quali localizzazione, geometria della sorgente e magnitudo sono ancora dibattuti. In quest'ultimo secolo i vari Autori che hanno studiato questo terremoto hanno identificato tre differenti aree epicentrali distanti anche 50 km l'una dall'altra [vedi ad es. Baratta 1906; Mercalli 1906; Rizzo 1907; Ruscetti e Schick 1974; Martini e Scarpa 1983; Postpischl 1985; Boschi et al. 1995; Michelini et al. 2006]. Anche la magnitudo, nelle tante ipotesi fatte, è stata valutata da 6.2 fino a 7.9 [Duda 1965; Ruscetti e Schick 1974; Abe e Noguchi 1983; Martini e Scarpa 1983; Westaway 1992; Margottini et al. 1993; Galli 2000]. Incertezze ancora maggiori si trovano nella definizione della geometria della sorgente [Ruscetti e Schick 1974; Mulargia et al. 1984; Piatanesi e Tinti 2002; Cucci e Tertulliani 2006].

Il presente lavoro intende dare un contributo non convenzionale alla conoscenza del terremoto attraverso l'uso degli effetti ambientali – geologici e idrologici – largamente prodotti dal terremoto stesso. Il data set utilizzato comprende effetti sul terreno (fratture, frane di crollo, scivolamenti e colate), variazioni idrologiche (variazioni di portata, liquefazioni, cambiamenti chimico-fisici e torbidità) e fenomeni luminosi, per un totale di 162 osservazioni in 95 diverse località.

Per cercare di vincolare meglio la magnitudo dell'evento sono state utilizzate alcune relazioni empiriche tra parametri sismici e gli effetti ambientali. Per fornire inoltre

nuove chiavi di interpretazione della localizzazione e della geometria di sorgente abbiamo riprodotto la deformazione cosismica associata ad un numero di diverse possibile faglie confrontandola con il *pattern* delle variazioni di portata.

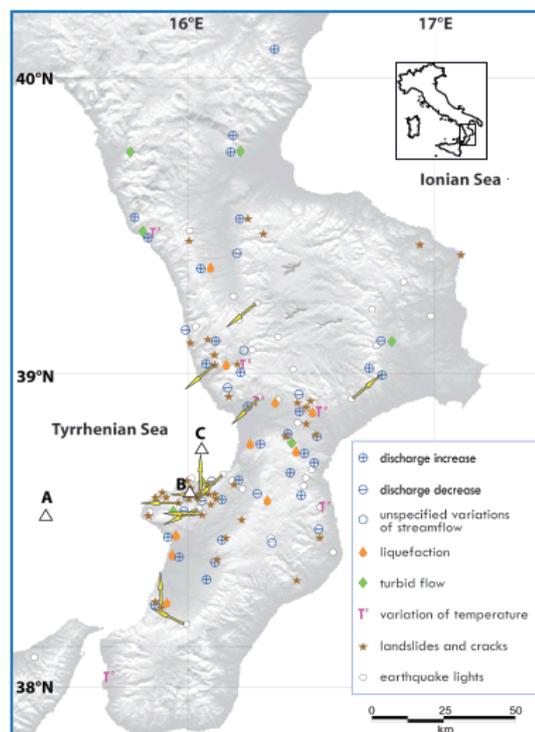


Figura 1. Distribuzione degli effetti ambientali indotti dall'evento del 1905.

In conclusione, dall'analisi degli effetti ambientali sismicamente indotti abbiamo trovato che: 1) la magnitudo minima del terremoto del 1905 è $M=6.7$; 2) l'area origine dell'evento è in mare ad ovest di Capo Vaticano e degli epicentri proposti dagli Autori; 3) la struttura responsabile del terremoto è probabilmente una faglia

normale con direzione 100°N e componente trascorrente sinistra, soluzione compatibile con l'assetto sismotettonico dell'area.

Il nostro approccio conferma che gli effetti ambientali sismo-indotti rappresentano un carattere distintivo del terremoto e che la loro analisi può essere uno strumento per caratterizzare eventi sismici quando i dati geologici e sismologici sono scarsi o assenti.

Bibliografia

- Abe K. and Noguchi S. (1983). Revision of magnitudes of large shallow earthquakes, 1897-1912. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 33, 1-11.
- Baratta M. (1906). Il grande terremoto calabro dell'8 settembre 1905. *Atti Soc. Toscana di Sc. Nat.*, XXII, pp. 57-80.
- Boschi E., Ferrari G., Gasperini P., Guidoboni E., Smriglio G., Valensise G. (1995). Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980, ING-SGA, Bologna.
- Cucci L. e Tertulliani A. (2006). I terrazzi marini nell'area di Capo Vaticano (Arco Calabro): solo un record di sollevamento regionale o anche di deformazione cosismica?, *Il Quaternario*, 19, 89-101.
- Duda, S. J. (1965). Secular seismic energy release in the circum-Pacific belt, *Tectonophysics*, 2, 409-452.
- Galli P. (2000). New empirical relationships between magnitude and distance for liquefaction, *Tectonophysics*, 324, 169-187.
- Margottini C., Ambraseys N.N. e Screpanti A. (1993). La magnitudo dei terremoti italiani del XX secolo. ENEA, Roma, 57 pp.
- Martini M. and Scarpa R. (1983). Earthquakes in Italy in the last century, in: H. Kanamori and E. Boschi (eds), *Earthquakes, Observation Theory and Interpretation*, 85th E. Fermi Summer School in Geophysics, North Holland Publ. Co., 479-492.
- Mercalli G. (1906). Alcuni risultati ottenuti dallo studio del terremoto calabrese dell'8 settembre 1905, *Atti Acc. Pontoniana di Napoli*, XXXVI, Mem. 8, pp. 1-9.
- Michelini A., Lomax A., Nardi A., Rossi A., Palombo B. and Bono A. (2006). A modern re-examination of the locations of the 1905 Calabria and the 1908 Messina Straits earthquakes, *Seism. Res. Lett.*, vol. 77, no. 2, pp. 213.
- Piatanesi, A., and Tinti S. (2002). Numerical modelling of the September 8, 1905 Calabrian (southern Italy) tsunami, *Geophys. J. Int.*, 150, 271-284.
- Postpischl D., ed. (1985). Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Progetto Finalizzato Geodinamica (CNR-PFG). Quaderni de "La Ricerca Scientifica", n. 1145, 2b, pp. 239. Bologna.
- Riuscetti M. and Schick R. (1974). Earthquakes and tectonics in Southern Italy, *Proceed. of Joint Symposium of the European Seismological Commission and the European Geophysical Society*, Trieste, 21 September 1974, 59-78.
- Rizzo G.B. (1907). Contributo allo studio del terremoto della Calabria del giorno 8 settembre 1905, *Atti R. Acc. Peloritana*, XXII, fasc. I, pp. 2-87.
- Westaway R. (1992). Seismic moment summation for historical earthquakes in Italy: tectonic implications, *J. Geophys. Res.*, 97, 15437-15464.

IL CONTRIBUTO DELLA GEODESIA ALLA DEFINIZIONE DEL MODELLO SISMOTETTONICO DELLO STRETTO DI MESSINA: ANALISI DELLA DEFORMAZIONE INTERSISMICA E COSISMICA

Nicola D'Agostino¹, Daniele Cheloni², Fabrizio Bernardi²,
Ingrid Hunstad², Barbara Palombo², Giulio Selvaggi²

¹*Istituto Nazionale Geofisica Vulcanologia, Sezione di Roma1*

²*Istituto Nazionale Geofisica Vulcanologia, Centro Nazionale Terremoti*

Il terremoto che ha colpito lo Stretto di Messina il 28 dicembre 1908, è senza dubbio uno degli eventi sismici più rilevanti registrati strumentalmente nel contesto geodinamico del Mediterraneo (Boschi et al., 1997; Pino et al., 2000). La sua definizione, quindi, in termini di meccanismo sorgente, magnitudo e contesto tettonico è di grande rilevanza per lo studio dei processi geodinamici di questo settore del margine di placca tra Eurasia ed Africa. La teoria del ciclo sismico prevede che le deformazioni (intersismiche) accumulatesi lentamente siano rilasciate in maniera istantanea in occasione di eventi sismici. La coerenza quindi tra i meccanismi deformativi operanti nella fase intersismica e cosismica del ciclo risulta quindi di grande importanza per verificare la validità del modello sismotettonico adottato.

Lo studio sulla sorgente del terremoto del 1908 ha ricevuto un impulso notevole dalle osservazioni geodetiche dell'Istituto Geografico Militare (Loperfido, 1909) degli effetti di deformazione crostale verticale indotti dal terremoto del 1908 ricavate da misure di livellazione raccolte precedentemente e posteriormente l'evento sismico. I numerosi studi derivanti dall'analisi di questi dati, convergono verso l'identificazione di una struttura sismogenetica a direzione circa N-S con immersione verso Est a prevalente componente distensiva (Capuano et al., 1988; Boschi et al., 1989; De Natale et al. 1991; Amoruso et al., 2002), in generale accordo con le precedenti interpretazioni

geofisiche e geologiche dello Stretto di Messina in termini di struttura a *graben* (Schink, 1977; Ghisetti, 1984; Valensise e Pantosti, 1992). Parallelamente allo studio delle deformazioni cosismiche dell'evento del 1908, nuove misure geodetiche stanno fornendo preziose informazioni sulle modalità di accumulo di deformazione (intersismica) nella zona dello Stretto. La prima fonte di dati proviene dalle misure geodetiche terrestri raccolte dall'Istituto Geografico Militare nel periodo 1970-2004. Queste misure si compongono di angoli e distanze di una rete geodetica a piccola apertura (dimensione massima inferiore a 10 km) composta da 7 caposaldi posti sui lati calabro e siciliano dello Stretto di Messina. Altra fonte di informazione è costituita dalla rete GPS RING (<http://ring.gm.ingv.it>) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, composta attualmente da oltre 130 stazioni GPS permanenti sull'intero territorio nazionale.

In questo lavoro presentiamo uno studio sismotettonico integrato dello Stretto di Messina attraverso l'analisi dei dati relativi (1) alla deformazione intersismica (GPS e triangolazione/trilaterazione), (2) alla deformazione cosismica (linee di livellazione e sismogrammi storici). L'analisi del campo di velocità GPS e della deformazione angolare della rete IGM mostra un meccanismo di deformazione intersismico dominato dal movimento relativo verso N della parte siciliana rispetto a quella calabrese a velocità di diversi mm/anno corrispondente ad uno strain-rate nella zona

dello Stretto di circa 100 nanostrain/anno. I risultati sopra esposti suggeriscono che il meccanismo deformativo dominante nello Stretto di Messina sia espressione di una struttura a carattere trascorrente destro con orientazione circa N-S. Questa ipotesi trova la sua collocazione in un contesto geodinamico che vede lo Stretto di Messina come zona di confine tra due domini crostali distinti: l'Arco Calabro soggetto ai processi di subduzione della litosfera Ionica, e la Sicilia, dominata dai processi collisionali associati alla convergenza Europa-Africa. I risultati sopra esposti hanno stimolato una rivalutazione dei dati disponibili (geodetici e sismologici) per l'evento sismico del 1908. In particolare un nuovo modello di sorgente ottenuto a partire dall'inversione dei dati geodetici di livellazione e da un'analisi sull'effettiva capacità risolutiva, suggerisce la possibilità di una struttura sismogenetica a direzione circa N-S con componente trascorrente destra maggiore di quella prospettata nelle interpretazioni precedenti. La coerenza tra i risultati dell'analisi cosismica ed intersismica suggerisce quindi una possibile revisione del modello sismotettonico dello Stretto di Messina finora adottato.

Bibliografia

- Amoruso, A., L. Crescentini, and R. Scarpa (2002). Source parameters of the 1908 Messina Straits, Italy, earthquake from geodetic and seismic data, *J. Geophys. Res.*, 107(B4), 2080, doi:10.1029/2001JB000434.
- Boschi, E., D. Pantosti, and G. Valensise (1989). Modello di sorgente per il terremoto di Messina del 1908 ed evoluzione recente dell'area dello stretto, paper presented at Atti 89th GNDT Workshop, Cons. Naz. Delle Ric., Rome.
- Boschi, E., D. Pantosti, and G. Valensise (1989). Modello di sorgente per il terremoto di Messina del 1908, *Atti Conv. GNGTS*, VIII, 245–258.
- Boschi, E., G. Ferrari, P. Gasperini, E. Guidoboni, G. Smriglio, and G. Valensise (1997). *Catálogo Dei Forti Terremoti in Italia Dal 461 A.C. Al 1990*, vol 2, 643 pp., Ist. Naz. Di Geofis., Rome.
- Capuano, P., G. De Natale, P. Gasparini, F. Pingue, and R. Scarpa (1988). A model for the 1908 Messina Straits (Italy) earthquake by inversion of levelling data, *Bull. Seism. Soc. of Am.*, 78(6), 1930-1947.
- De Natale, G., and F. Pingue (1991). A variable slip fault model for the 1908 Messina Straits (Italy) earthquake, by inversion of levelling data, *Geophys. J. Int.*, 104, 73–84.
- Ghisetti, F. (1984). Recent deformations and the seismogenic source in the Messina Strait (southern Italy), *Tectonophysics*, 109, 191–208.
- Loperfido, A. (1909). Livellazione geometrica di precisione eseguita dall'Istituto Geografico Militare sulla costa orientale della Sicilia, da Messina a Catania, a Gesso ed a Faro Peloro e sulla costa occidentale della Calabria da Gioia Tauro a Melito Porto Salvo, incarico, pp. 131–169, *Minist. dell'Agric., Ind. e Commer., Rel. Comm.*, Rome, Italy.
- Pino, A.N., D. Giardini, and E. Boschi (2000). The December 28, 1908, Messina Straits, southern Italy, earthquake: Waveform modeling of regional seismograms, *J. Geophys. Res.*, 105(B11), 25473-25492.
- Schick, R. (1977). Eine seismotektonische Bearbeitung des Erdbebens von Messina im Jahre 1908, *Geol. Jahrb. R. E.*, H, 11, 3–74.
- Valensise, G., and D. Pantosti (1992). A 125 Kyr-long geological record of seismic source repeatability: the Messina Straits (southern Italy) and the 1908 earthquake (Ms 7.5), *Terra Nova*, 4, 472-483.

MOMENT TENSOR SOLUTIONS IN THE AREA OF THE 1908 MESSINA EARTHQUAKE: PRELIMINARY RESULTS

Sebastiano D'Amico¹, Barbara Orecchio², Debora Presti², Lupei Zhu¹,
Robert B. Herrmann¹, Giancarlo Neri²

¹*Earth & Atmospheric Sciences Department, Saint Louis University, St. Louis, MO, USA*

²*Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Messina, Italy*

The aim of this study is to provide moment tensor solutions for some recent events that occurred in the area of the 1908 Messina earthquake and to compare them to other moment tensors solutions for the area. This work is important for understanding the seismotectonics of the area, because the area is characterized by many small earthquakes with magnitude ranging from 2 to 4, which are not routinely included in the moment tensor catalog published by the Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

37.8N to 38.5N and longitudes 15E-16E (Fig. 1). In this study we used the 1-D velocity model obtained from the 3-D model by Barberi et al. [2004]. The synthetic Green's function were computed using the frequency-wavenumber (f-k) integration method described in Zhu and Rivera [2002]. We computed the moment tensor solutions using the "Cut And Paste" (CAP) method originally proposed by Zhao and Helmerger [1994] and later modified by Zhu and Helmerger [1996].

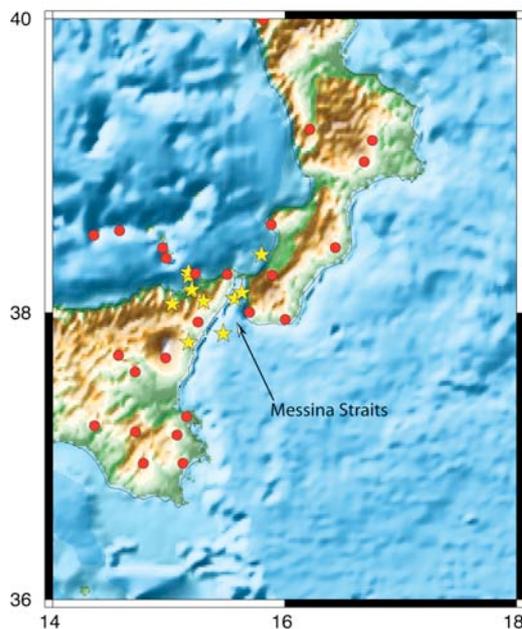


Figure 1. The map shows the seismic stations (red circles) and the epicenters (yellow stars) of the earthquakes used in this study.

Our data set consists of waveforms from about 20 earthquakes that were recorded by broad-band stations run by the INGV. The region is approximately bounded by latitudes

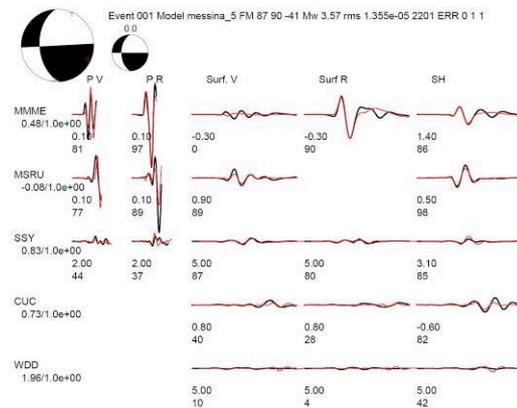


Figure 2. Waveform fit and moment tensor solution for the event occurred on 11 Nov. 2004 (Mw=3.57).

Each waveform is corrected for the instrument response, examined to eliminate those with spurious transients, double events and/or low signal to noise ratios. We rotated the horizontal recordings to radial and transverse components of the ground velocity. Each waveform is later broken into P-Pnl and surface-wave segments. The technique allows time shifts between synthetics and observed data in order to reduce dependence of the solution on the

assumed velocity model and earthquake locations. The source depth and focal mechanisms are determined using a grid search technique. An example of the waveform fit and moment tensor solution is given in figure 2 for the $M_w=3.57$ earthquake that occurred on 11 November 2004. The left two columns show the waveform fits for the Pnl waves, while the next three columns are the waveform fits for the surface waves. The number below each trace segment gives the time shifts (in seconds) and the cross-correlation coefficients. The data are indicated by black traces: synthetics are represented by red traces; station names are given on the left of the waveforms.

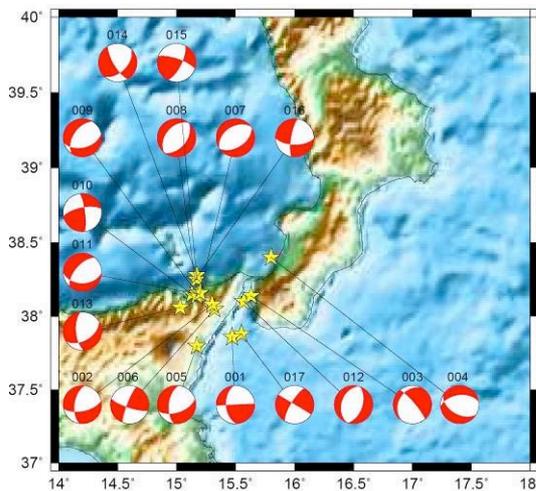


Figure 3. Focal mechanisms for the events considered in this paper.

This method, successfully applied to study earthquakes with magnitude lower than 3 in other regions [Zhu et al., 2006], may furnish quality solutions in the Messina Straits area in a magnitude range (2.5-4) which is not properly represented in the RCMT (Regional Centroid Moment Tensor) catalog [Pondrelli et al., 2006] and where the solutions estimated from P-onset polarities are often poorly constrained. This study fills the gap in the time-domain moment tensors (TDMT) that INGV determines routinely using the technique of Dreger and Helmberger [1993]

by focusing on the small events. Figure 3 reports all the focal mechanisms evaluated for the events shown in Figure 1. Some events in the southern part are predominantly strike-slip, normal fault components are present in the western part of the straits. This is in agreement with previous studies [Neri et al. 2003, 2004] in which focal mechanisms were calculated using the polarity of the first motion.

References

- Barberi G., Cosentino M.T., Gervasi A., Guerra I., Neri G., Orecchio B. (2004). Crustal seismic tomography in the Calabrian Arc region, south Italy. *Phys. Earth Plan. Int.*, 147, 297-314.
- Dreger D. S. and Helmberger D. V. (1990). Broadband modeling of local earthquakes, *BSSA.*, 80, 1162-1179.
- Neri G., Barberi G., Orecchio B., Mostaccio A. (2003). Seismic strain and seismogenic stress regimes in the crust of the southern Tyrrhenian region, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 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. *Geoph. Res. Lett.*, 31, L10602-1-L10602-5.
- Pondrelli, S., S. Salimbeni, G. Ekström, A. Morelli, P. Gasperini and G. Vannucci (2006). The Italian CMT dataset from 1977 to the present, *Phys. Earth Planet. Int.*, 159/3-4, 286-303.
- Zhao L.S. and Helmberger (1994). Source estimation from broad-band regional seismograms, *BSSA*, 85, 590-605.
- Zhu L., Helmberger D. (1996). Advancement in source estimation technique using broadband regional seismograms., *Bull. Seism. Soc. Amer.* 86, 1634-1641.
- Zhu L., Rivera L.A. (2002). A note on the dynamic and static displacement from a point source in multi-layered media. *Geophys. J. Int.*, 148, 619-627.
- Zhu L., Akyol N., Mitchell B., Sozbiliz H. (2006). Seismotectonics of western Turkey from high resolution and moment tensor determinations. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L07316.

“MESSINA 1908-2008” PROGETTO DI RICERCA INTEGRATO SULL’AREA CALABRO – PELORITANA: LA CAMPAGNA OBS/H

G. D’Anna¹, G. Mangano¹, A. D’Alessandro^{1,3}, R. D’Anna¹, G. Passafiume¹, S. Speciale¹,
G. Selvaggi¹, L. Margheriti¹, D. Patanè², D. Luzio³, M. Calò^{1,3}

¹Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Centro Nazionale Terremoti

²Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Catania

³Università degli Studi di Palermo, CFTA

Nell’ambito del progetto di monitoraggio integrato dell’area Calabro-Peloritana, costituisce un aspetto particolarmente qualificante l’utilizzo di cinque nuove stazioni da fondo mare denominate OBS/H (*Ocean Bottom Seismometer with Hydrophone or DPG*). È infatti la prima volta che strumenti con queste caratteristiche vengono deposti in quest’area estremamente interessante dal punto di vista geodinamico. Gli OBS sono stati deposti come ulteriore integrazione della rete sismica nazionale (30 stazioni nell’area dell’esperimento) e della rete sismica mobile (15 stazioni), per complessive 50 stazioni sismiche larga banda 3C coinvolte nel progetto.



Figura 1. Punti di deposizione dei 5 OBS/H.

Gli *Ocean Bottom Seismometers* hanno permesso all’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) di avviare dal 2006 il processo di estensione a mare delle reti temporanee di monitoraggio sismico. Questi primi strumenti, progettati e assemblati

presso l’Osservatorio di Gibilmanna del Centro Nazionale Terremoti, sono stati realizzati grazie alla convenzione stipulata con il Dipartimento Nazionale di Protezione Civile e vengono impiegati come rete mobile sottomarina e per lo studio di faglie e vulcani sottomarini.

Gli strumenti sono equipaggiati con sismometri Nanometrics Trillium 120p (120s -175 Hz), installati su basi autolivellanti realizzate dal personale dell’OBS Lab di Gibilmanna e con sensori differenziali di pressione (DPG) Cox-Webb con banda passante compresa tra i 200s e i 2 Hz.

La campagna sismica a terra è iniziata nell’ottobre 2007 mentre la deposizione dei cinque OBS/H è avvenuta tra il 15 e il 18 luglio 2008 per permettere il completamento dell’assemblaggio della strumentazione stessa. Poche ore dopo la deposizione l’OBS A3 risale in superficie a causa di un problema tecnico; grazie al sistema di tracciamento satellitare la stazione è stata recuperata e deposta nuovamente il 2 agosto 2008.

In *Tabella 1* sono mostrate le coordinate dei cinque OBS e le date della deposizione di ognuno di essi.

OBS	Lat.	Long.	Prof. (m)
A4	37° 42' 32.1" N	15° 33' 26.4" E	1615
A6	38° 20' 38.7" N	14° 44' 50.8" E	1420
A5	38° 42' 53.2" N	15° 31' 10.1" E	1360
A2	37° 36' 28.2" N	15° 56' 51.6" E	1950
A3	38° 28' 10.2" N	15° 16' 37.8" E	1165

Tabella 1. Coordinate dei punti di deposizione e profondità.

Il loro recupero è previsto entro la metà di novembre 2008.

Bibliografia

- D'Anna G., Mangano G., D'Alessandro A., Amato A (2007). The new INGV broadband OBS/H: test and results on submarine volcano Marsili and futures developments. EGU, Vienna.
- D'Anna G., Mangano G., D'Alessandro A., D'Anna R., Passafiume G., Speciale S. (2008). Il nuovo OBS/H dell'INGV. Quaderni di Geofisica – sottomesso.
- Moretti M. et al. (2008). “Messina 1908-2008” Progetto di ricerca integrato sull'area Calabro – Peloritana: la campagna sismica. Convegno 1908 - 2008 Scienza e Società a 100 anni dal grande Terremoto, 10-12 Dicembre 2008, Reggio Calabria.

L'IDENTIFICAZIONE DI DEPOSITI DI PALEOMAREMOTI IN SICILIA ORIENTALE: UN APPROCCIO MULTIDISCIPLINARE

P.M. De Martini¹, M.S. Barbano², A. Smedile¹, D. Pantosti¹, F. Gerardi², C. Pirrotta²,
P. Del Carlo¹, L.G. Bellucci³, L. Gasperini³, L. Sagnotti¹, A. Polonia³

¹*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia*

²*Dipartimento di Scienze Geologiche, Università di Catania*

³*Istituto di Scienze Marine, CNR*

La Sicilia orientale è stata colpita in tempi storici da grandi terremoti; tra i più importanti vi è l'evento del 1908 localizzato nello Stretto di Messina, e quelli del 1693 e 1169. Questi terremoti sono stati accompagnati da onde di maremoto devastanti. Il nostro gruppo di ricerca ha portato avanti un progetto finalizzato al riconoscimento ed alla datazione dei depositi di maremoto storici e preistorici. Lo scopo principale è stato quello di estendere indietro nel tempo le informazioni riguardanti i maremoti che hanno colpito la Sicilia orientale e quindi di fornire nuovi dati sull'estensione delle aree inondate da utilizzare per la creazione di scenari di maremoto e di stimare il tasso di ricorrenza medio di inondazioni da maremoto per la creazione di modelli probabilistici *time-dependent* di pericolosità da maremoto.

Abbiamo quindi creato un database con le principali informazioni sugli effetti dei maremoti storici (località colpite, massima altezza dell'onda, aree inondate, etc) in Sicilia orientale. In particolare, i dati riguardanti i maremoti del 1908, 1783 (6 Febbraio) e 1693 sono stati utilizzati per studiarne il meccanismo sorgente [Gerardi et al., 2008], seguendo l'approccio suggerito da Okal e Synolakis [2004]. L'analisi dei dati riguardanti il maremoto del 1908 suggerisce che esso sia compatibile con un movimento cosismico (lo stesso discorso è valido per l'evento del 1693) mentre quelli relativi all'evento del 1783, in buon accordo con osservazioni coeve e con recenti indagini di geologia marina, confermano che esso è stato causato da una frana sottomarina e/o subaerea.

Partendo dall'analisi dei dati storici, si è passati ad un'indagine geomorfologica che ci ha permesso di selezionare numerose aree, quali laghi, paludi, lagune e piane costiere, che possano essere state inondate da maremoti e che allo stesso tempo abbiano conservato i depositi trasportati da queste onde eccezionalmente energetiche. In ciascuna area selezionata sono stati eseguiti sondaggi esplorativi sia a mano che con un sistema motorizzato. Nei siti più interessanti sono stati prelevati anche campioni in tubi di pvc della lunghezza di un metro e del diametro di 5 cm, sui quali sono state eseguite molteplici analisi di laboratorio (raggi X, suscettibilità magnetica, paleontologia, datazioni radiometriche e paleomagnetismo ad alta risoluzione, etc).

Tra i siti con maggiore potenziale possiamo di certo citare sia la Torre degli Inglesi, nell'area di Capo Peloro (in provincia di Messina), che l'area della Baia di Augusta (in provincia di Siracusa). Un interessante esperimento è stato inoltre condotto a mare, di fronte ad Augusta, dove è stata effettuata un'estesa indagine geofisica ed un carotaggio di 6.7 m.

Nel sito della Torre degli Inglesi [Pantosti et al., 2008] sono stati esaminati gli scavi archeologici e sono stati identificati due livelli di sabbia fine di origine marina (vi si ritrovano frammenti di molluschi e coralli, foraminiferi bentonici e planctonici oltre che alghe) all'interno di una sezione dominata da colluvi ricchi di materiale organico ed archeologico. Sulla base di considerazioni stratigrafiche, micropaleontologiche, archeologiche ed utilizzando i vincoli temporali di 6 datazioni al radiocarbonio è

stato possibile ipotizzare che i due livelli sabbiosi marini siano il risultato di inondazioni da maremoto avvenute nel I secolo d.C. (probabilmente l'evento del 17 d.C. che colpì Reggio Calabria) e nel XIX secolo d.C. (probabilmente il maremoto del 6 Febbraio 1783). Sfortunatamente, non vi sono evidenze del maremoto del 1908, ma bisogna considerare che qui l'onda massima fu di ~1 m, che all'epoca esisteva già un muro di cinta di epoca borbonica alto 1.5 m e la Torre è a 5 m di quota s.l.m..

Nell'area di Augusta abbiamo eseguito 26 sondaggi, ad una distanza massima dalla costa attuale di 530 m [De Martini et al., in prep.]. All'interno di una sequenza dominata da depositi fini (argille e limi), che l'analisi micropaleontologica riferisce perlopiù ad un ambiente lagunare, abbiamo trovato 6 livelli chiaramente riferibili ad eventi di alta energia, caratterizzati da fauna marina. Sulla base di considerazioni sia stratigrafiche che micropaleontologiche ed utilizzando i vincoli temporali di 8 datazioni al radiocarbonio e di un livello vulcanico (analisi petro-chimiche e morfoscopiche vincolano questo deposito all'eruzione pliniana dell'Etna del 122 a.C.), è stato possibile ipotizzare che i 6 livelli di alta energia siano il risultato di inondazioni da maremoto avvenute negli ultimi 4000 anni, con i più recenti nel 1693 e 1169. Questi risultati suggeriscono, per la Baia di Augusta, un tempo di ricorrenza medio di inondazione da maremoto di ~700 anni.

Inoltre, abbiamo eseguito ~200 km di profili geofisici nel mare antistante la Baia di Augusta ed una carota (MS-06) lunga 6.7 m è stata campionata ad una profondità di ~70 m per verificare se vi fosse la possibilità di riconoscere evidenze di maremoti sul fondo marino. Lo studio dei sedimenti della carota ha messo in luce una sequenza sedimentaria dominata da un fango grigio scuro [Smedile et al., in prep.]. Un'analisi dettagliata delle variazioni secolari del campo magnetico, 10 datazioni al radiocarbonio e un profilo Pb/Cs dei primi 30 cm, ci hanno permesso di stimare tassi di sedimentazione variabili da 0.7 a 2.0 mm/a per gli ultimi 4500 anni. Lo studio micropaleontologico (~70 campioni analizzati) ha messo in luce 11 picchi

“anomali” contraddistinti da alte percentuali di specie epifite (specie che comunemente vivono attaccate alla *Posidonia oceanica*) considerate spiazzate. Queste anomalie nella microfauna si accompagnano spesso a livelli ricchi di resti vegetali e di molluschi e a picchi negativi della suscettività magnetica. Questi 11 livelli possono essere interpretati come l'effetto diretto di onde di maremoto, le uniche capaci di strappare e trasportare materiale dalle praterie di *Posidonia* (che proliferano tra i 10 ed i 40 m di profondità) verso zone più profonde (70 m per MS-06). Utilizzando tutti i vincoli cronologici disponibili, degli 11 picchi individuati, 5 sono riconducibili ad eventi storici: il 1908 (Stretto di Messina), il 1693 (Sicilia orientale), il 1169 (Sicilia orientale), il 365 d.C. (Creta) e ~3500 anni fa (Santorini). I risultati a mare riducono a ~350 anni il tempo di ricorrenza medio di inondazione da maremoto nella Baia di Augusta.

La maggior parte dei dati presentati è riconducibile a metodologie d'indagine originali e in questo senso il nostro gruppo di ricerca si ripromette di testare la validità della metodologia utilizzata in altri ambiti e in differenti aree. L'indagine a mare mostra un grande potenziale per lo studio dei maremoti, non sufficientemente esplorato sino ad ora. Molti dei risultati qui presentati (aree inondate, ricorrenza dei maremoti, etc) potranno trovare un interessante utilizzo per fini di Protezione Civile.

Bibliografia

- Gerardi, F., M.S. Barbano, P.M. De Martini and D. Pantosti (2008). Discrimination of tsunami sources (earthquake vs. landslide) on the basis of historical data in eastern Sicily and southern Calabria, B. S. S. A., 98 (6), doi: 10.1785/0120070192.
- Okal, E. A., and C. E. Synolakis (2004). Source discriminants for near-field tsunamis, Geoph. J. Int., 158, 899–912.
- Pantosti, D., M.S. Barbano, A. Smedile, P.M. De Martini and G. Tigano (2008). Geological evidence of paleotsunamis at Torre degli Inglesi (northeast Sicily), Geophys. Res. Lett., 35, doi: 10.1029/2007GL032935.

LA SISMOTETTONICA DELLO STRETTO DI MESSINA COME CHIAVE PER COMPRENDERE LA GEODINAMICA DELL'ARCO CALABRO

Daniela Di Bucci¹, Carlo Doglioni², Gianluca Valensise³

¹ Dipartimento della Protezione Civile

² Dipartimento di Scienze della Terra, Università Sapienza Roma

³ Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Introduzione

I numerosi dati disponibili hanno permesso una ricostruzione dettagliata della sorgente sismogenetica del terremoto Calabro-Messinese del 1908. Si tratta di una faglia lunga circa 40 km, con immersione di 30-35° verso SE e cinematica prevalentemente trastensiva destra. Questa faglia si trova tra 3 e 12 km di profondità e non arriva a interessare direttamente la superficie (DISS Working Group, 2007, bibliografia inclusa).

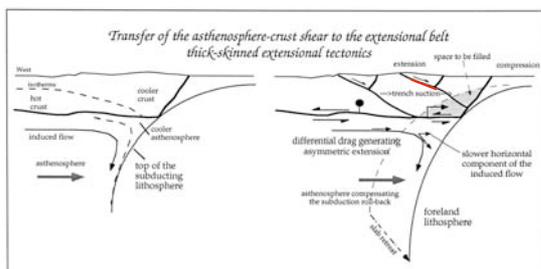


Figura 1. Schema della faglia sismogenetica del terremoto del 1908 all'interno del cuneo orogenico dell'Arco Calabro-Peloritano (da Doglioni et al., 1999, modificata).

A una scala più ampia, l'esistenza di una faglia con tali caratteristiche pone rilevanti quesiti scientifici:

1. dei diversi modelli geodinamici disponibili per l'Arco Calabro-Peloritano, qual è quello che meglio si accorda con una sorgente sismogenetica come quella sopra delineata?
2. perché tale sorgente presenta la geometria e la cinematica descritte?
3. perché si colloca in quella specifica posizione rispetto all'Arco Calabro-Peloritano?

4. quali sono le implicazioni sismotettoniche dei risultati di tale analisi?

L'obiettivo di questa nota è di proporre e discutere un modello geodinamico soddisfacente rispetto a questi punti.

Vincoli geodinamici

Elementi del primo ordine nella caratterizzazione geodinamica dell'Arco Calabro-Peloritano e funzionali alla nostra analisi sono:

- la presenza di uno slab nel Tirreno meridionale, con un rateo di subduzione >5 mm/a e una cerniera in arretramento che si trova a SE dello Stretto;
- la convergenza relativa Africa-Eurasia, con ratei di circa 4-5 mm/a;
- la presenza, lungo la prosecuzione della Scarpata Ibleo-Maltese al di sotto dei Peloritani, del passaggio tra litosfera oceanica e continentale; tale margine è utilizzato come zona di trasferimento destro per il maggiore arretramento dello slab ionico rispetto alla Sicilia;
- l'estensione che interessa lo Stretto termina lungo la zona di trasferimento della Scarpata Ibleo-Maltese;
- tale estensione non supera i 3 mm/a (D'Agostino & Selvaggi, 2004; Serpelloni et al., 2005);
- l'esistenza dell'Etna, ad alimentazione mantellica, in corrispondenza della zona di trasferimento;
- la mancanza di evidenza certa di attività tettonica lungo il tratto meridionale della Scarpata Ibleo-Maltese, e di conseguenza un movimento verso NW solidale tra la litosfera a sud del Plateau Ibleo e quella dello Ionio;
- il sollevamento fino a un rateo massimo di 1.5 mm/a e l'estensione della parte assiale dell'Arco Calabro-Peloritano;

- un prisma di accrezione attivo, in propagazione verso SE nello Ionio;
- un raccorciamento tra l'avampaese Ibleo e la placca Euroasiatica di a 3.7 mm, di cui circa 2.2 mm/a nel Tirreno meridionale.

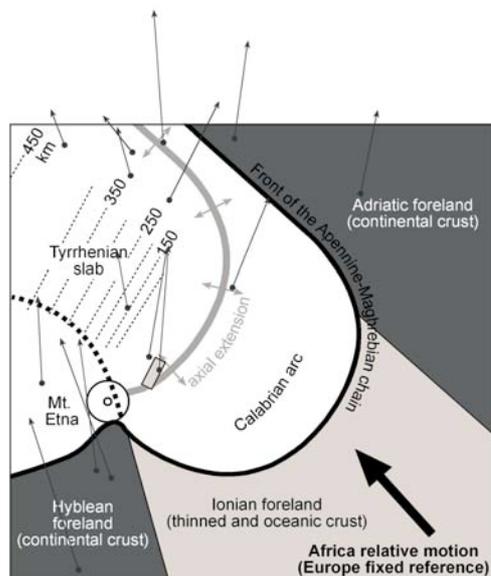


Figura 2. Elementi geodinamici di riferimento (rettangolo grigio: sorgente sismogenetica del terremoto del 1908; frecce grigie: dati GPS tratti da Devoti et al., 2008).

Modello interpretativo

1. La sorgente sismogenetica del terremoto del 1908 è compatibile con un quadro geodinamico in cui l'Arco Calabro-Peloritano è a tetto di una subduzione in cui la cerniera si allontana rispetto alla placca di tetto, e il prisma di accrezione emerso è soggetto a un'estensione dovuta al volume lasciato libero dall'arretramento dello slab, meno quello del materiale divenuto parte del prisma di accrezione (Fig. 1). Questa cinematica crea un'estensione asimmetrica che si esplica su piani principali a basso angolo immergenti verso il fronte della catena, a cui si accompagnano faglie antitetiche ad alto angolo. In tale chiave, estensione in catena emersa e compressione nel prisma sommerso sono entrambe processi conseguenti all'arretramento dello slab.

2. Geometria e cinematica della sorgente del terremoto del 1908 sono interpretabili come

dovute a un trascinarsi differenziale della crosta ad opera dell'astenosfera incuneata al tetto della cerniera della subduzione.

3. Più in dettaglio, la posizione e l'orientazione della faglia dello Stretto sono anche condizionate dalla presenza dello svincolo che verso Ovest delimita la litosfera oceanica dello slab (Fig. 2), permettendone l'arretramento e favorendo allo stesso tempo il trasferimento verso NW del raccorciamento tra avampaese Ibleo e placca euroasiatica, nel Tirreno meridionale. Tale svincolo giustifica la componente transtensiva destra del movimento relativo tra Calabria e Sicilia, (da dati sismologici e GPS).

4. Questo modello implica che la struttura della faglia dello Stretto debba proseguire lateralmente all'interno del cuneo orogenico che forma l'Arco Calabro Peloritano, in particolare verso NE, fintanto che le caratteristiche del primo ordine sopra descritte rimangono invariate. La flessura nei sedimenti pleistocenici sul lato occidentale dello Stretto può essere interpretata come una piega per propagazione di faglia attiva normale cieca, presente in profondità. Il modello proposto implica inoltre che le faglie che governano il processo estensionale sono quelle a basso angolo, immergenti verso il fronte della catena, mentre le antitetiche ad alto angolo sono ancillari, eventualmente con un proprio potenziale sismogenetico in funzione della profondità a cui ciascuno dei piani ad alto angolo intercetta il piano principale a basso angolo.

Bibliografia

- D'Agostino N. & Selvaggi G. (2004). *J. Geophys. Res.*, 109, B11402.
- Devoti D. et al. (2008). *EPSL*, 273 (1-2), pp. 163-174.
- DISS Working Group (2007). <http://www.ingv.it/DISS/>.
- Dogliani C. et al. (1999). *ESR*, 45, pp. 167-208.
- Serpelloni E. et al. (2005). *Geophys. J. Int.*, 161, pp. 861-880.

EVOLUZIONE DELLA NORMATIVA SISMICA DAL 1908 AL 2008

Giacomo Di Pasquale

Dipartimento della Protezione Civile

Una parte importante della prevenzione nei confronti del rischio sismico è legata al binomio pericolosità sismica – normativa: la prima quantifica la severità dello scuotimento del terreno prodotto dai terremoti, la seconda consente di realizzare costruzioni che, sottoposte ai terremoti, si danneggiano in modo compatibile con le prestazioni ad esse richieste.

Storicamente le prime norme sismiche sono nate a seguito di ricostruzioni successive a terremoti che hanno prodotto danni e vittime, sono state, insomma, una risposta elaborata in post - emergenza da cui nel tempo è scaturita la prevenzione. Le norme sono state anche la traduzione in strumenti operativi (le regole di progettazione, realizzazione e controllo) di lezioni apprese a seguito dei terremoti: si è imparato ad evitare di costruire su siti instabili, di realizzare strutture che si “scomponessero” in tante parti perdendo la loro capacità di sopportare i carichi. Dopo il terremoto del 1908 fu scritto: *“Nei riguardi delle caratteristiche costruttive, fu prescritto doversi dare la preferenza ai tipi di fabbricati dotati di maggior resistenza d’insieme, e pressoché monolitici, aventi il centro di gravità quanto più in basso possibile, con fondazioni ben radicate nei suoli, e tali da ricevere e trasmettere ad ogni loro parte le vibrazioni del suolo, col maggior sincronismo conseguibile. In omaggio a tali criteri ... fu additata come preferibile, nei riguardi della resistenza sismica, ogni costruzione che comprendesse una intelaiatura (in genere di legno o di ferro) atta a resistere alle sollecitazioni di tensione, flessione e taglio. A questa categoria appartengono le costruzioni baraccate, intelaiate od ingabbiate, e quelle in cemento armato, per le quali le commissioni suddette, ed altre successivamente nominate da quest’Amministrazione, determinarono con*

esattezza e chiarezza i metodi per l’istituzione dei calcoli di verifica di stabilità rispetto alle sollecitazioni sismiche” (Fig. 1).

Si è anche imparato a concepire sistemi innovativi di costruzione: all’inizio pionieristici (ad es. edifici su rulli o su letti di sabbia), oggi basati su prodotti industriali (appoggi in gomma armata, a scorrimento, ad attrito, organi dissipativi, etc.).

Anche la classificazione sismica del territorio, l’espressione “ufficiale” della pericolosità, è stata per lungo tempo legata a provvedimenti post-evento: ossia si è classificato sismico il territorio danneggiato e si è atteso l’evento successivo per ampliare la classificazione. A volte, poi, altre ragioni hanno determinato ripensamenti e conseguenti “declassificazioni”. Attualmente, l’aggiornamento della conoscenza dei terremoti è un’attività continua che contribuisce alla prevenzione, anche se, ovviamente, viene introdotta nella prassi con provvedimenti scaglionati nel tempo.

Oggi le norme sismiche sono in formato prestazionale; è dichiarato cosa ci si aspetta in caso di terremoto: il non superamento di diversi stati limite (operatività, danno limitato, salvaguardia della vita, prevenzione dal collasso) in funzione della probabilità dell’evento e delle funzioni che si vogliono garantire (Fig. 2). Le tipologie costruttive e le tecnologie sono ampliate e il sottosuolo, che fin dalle prime norme è stato riconosciuto elemento fondamentale, ha un chiaro ruolo nella modulazione dell’azione sismica (amplificazione locale dello scuotimento) e nella definizione dei fenomeni di deformazione permanente (instabilità di versante, liquefazione, assestamento). Non è ancora ben recepita la fagliazione superficiale, settore in cui sono in corso studi importanti che, si spera, potranno presto contribuire ad un miglioramento della

conoscenza della pericolosità nelle zone prossime alle grandi strutture note.

La pericolosità di base ha quasi del tutto sostituito la classificazione sismica ed è ora chiarito il percorso che dalla pericolosità di base definita a livello nazionale, in condizioni di sito rigido e pianeggiante, porta allo spettro di risposta elastico, tenendo conto delle modificazioni prodotte dalla risposta sismica locale. Quest'ultima è entrata da tempo nelle norme per la ricostruzione post-sisma e anche nella pianificazione territoriale e urbanistica (GdL Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica, 2008).

È interessante oggi rileggere, sia pure in modo molto sintetico, come si sia svolta questa evoluzione, perché appare chiaro che già un secolo fa i concetti di base del costruire tenendo conto dei terremoti erano stati individuati. Non c'erano, allora, gli strumenti odierni, né concettuali né operativi, però si percepiva chiaramente quali fossero le criticità a cui porre rimedio. Già allora (Fig. 1) ci furono intuizioni che portarono a definire le tipologie strutturali ottimali attraverso, ad esempio, la ricerca, come si direbbe oggi, di un "load path" affidabile, di comportamenti strutturali d'insieme, di configurazioni regolari, di forze sismiche in grado di simulare gli effetti del terremoto.

In cento anni l'avanzamento delle conoscenze ha prodotto certamente molte innovazioni, ad esempio l'importanza della duttilità globale, risultato della interazione della duttilità locale di elementi, della regolarità e in definitiva della distribuzione delle zone "plastiche". Gradualmente si è affiancata alla classica formulazione delle verifiche in termini di resistenza anche quella in termini di spostamenti. Tuttavia i concetti fondamentali intuiti cento anni fa sono presenti ancora oggi, chiariti e formalizzati grazie ai risultati della ricerca. D'altra parte la ricerca continua e quindi occorrerà, con la dovuta riflessione, essere pronti a innovare ulteriormente il quadro normativo. Un domani anche queste nuove informazioni troveranno un posto nelle norme, come già oggi avviene per le costruzioni particolarmente importanti o ad alto rischio.

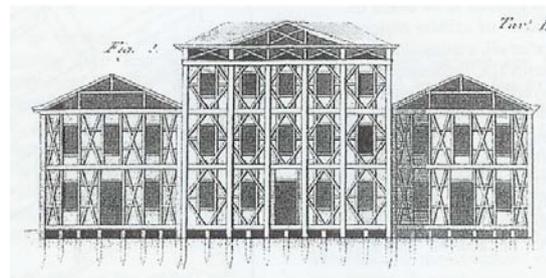


Figura 1. Esempio di "load path" in una casa baraccata: le "forze sismiche" sono trasferite a terra da un sistema reticolare.

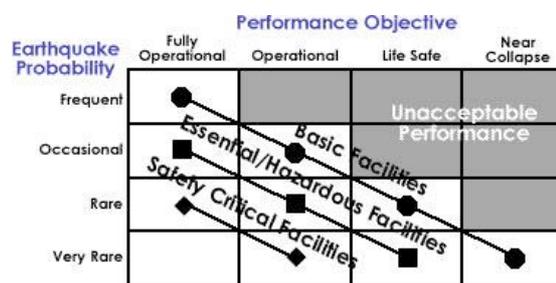


Figura 2. Schema prestazione – probabilità del terremoto per diverse tipologie di costruzioni (da SEAOC, 2001).

Bibliografia

- De Marco R. et al. (2000). La classificazione e la normativa sismica dal 1909 al 1984, Poligr. Stato, Roma.
- Gruppo di lavoro (Gavarini C. et al.) (1999). Proposta di riclassificazione sismica del nazionale, Ingegneria sismica, XVI, 1.
- Gruppo di Lavoro MPS (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'OPCM 3274 del 20/3/2003. Rapp. Concl. per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004. <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>.
- Gruppo di lavoro "Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica". (2008). Rapporto finale, febbraio 2008, Conferenza delle Regioni e Province Autonome Sottocommissione 8 "Attuazione della normativa sismica" – Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento della Protezione Civile.

EVOLUZIONE DELLE RETI SISMICHE NEL BASSO TIRRENO E NELLA SICILIA NORD-ORIENTALE

Sergio Di Prima, Marco Manni, Domenico Patanè

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Catania, UFS

I primi strumenti di rilevazione sismica impiegati nell'area dello Stretto, furono il sismografo Mainka, installato nel 1887 presso l'Istituto Nautico di Messina ed il sismografo Agamennone installato nel 1894 presso l'Osservatorio Geofisico e Meteorologico di Reggio Calabria (fondato quasi 20 anni prima). Nel 1902 veniva inaugurata a Messina la nuova sede dell'Osservatorio Meteorologico e Geodinamico, che si occupò espressamente dello studio dei fenomeni sismici, divenendo da lì a poco Istituto di Fisica Terrestre e di Meteorologia dell'Università. Il terremoto del 28 Dicembre 1908 determinò il crollo di un'intera ala di tale struttura, danneggiando larga parte della strumentazione, mentre venne interamente distrutto l'Osservatorio reggino, che fu possibile riedificare soltanto mezzo secolo dopo. Un primo tentativo di creare una rete sismica, venne avanzato subito dopo l'evento catastrofico dalla Commissione Reale, con un progetto che prevedeva l'installazione di stazioni sismiche secondarie, funzionanti sotto la gestione dell'Osservatorio di Messina; venne proposto anche un collegamento telegrafico tra quest'ultimo e le stazioni di Reggio Calabria e di Catania, per l'attivazione di un servizio di "triangolazione sismica", indispensabile per lo studio della velocità di propagazione delle onde sismiche e della localizzazione ipocentrale. Il tutto rimarrà però inattuato. Dagli gli anni 50 trovarono largo impiego i sismografi meccanici Wiechert, costruiti nelle officine dell'Istituto Nazionale di Geofisica (ING), grazie alla loro efficacia nel tracciare con chiarezza, su carta affumicata gli scuotimenti del suolo. Terne di questi sismografi ING per le due componenti orizzontali e per quella verticale, vennero attivate presso le stazioni sismiche di Catania, di Palermo, negli osservatori di Reggio Calabria, di Messina e di

Gibilmanna. Questa strumentazione meccanica che registrava localmente, rimase in funzione fino ai primi anni 80, quando con la nuova Rete Sismica Nazionale Centralizzata ING, venne sostituita dai sismometri S13.

1969: La prima Rete Sismica Permanente centralizzata

I terremoti dello Stretto di Messina, l'individuazione di un probabile slab litosferico di subduzione nel basso Tirreno intuito per la prima volta da Martinelli nel 1906 ed appurato da Peterschmitt nel 1956, l'interesse per la microsismicità dei vulcani eoliani, convinsero il vulcanologo Tazieff, a promuovere la realizzazione di una rete sismica nel basso Tirreno. Così tra il '66 ed il '69 l'Istituto Internazionale di Vulcanologia (I.I.V.) testò nelle isole Eolie, una moderna strumentazione sismica, progettata nei laboratori di Edimburgo dell'International Seismological Center, che sfruttava le moderne tecniche elettroniche e l'FM per la trasmissione e l'acquisizione dei segnali. Nasceva la Rete Sismica del Basso Tirreno, che dalle Eolie si estese lungo le vicine coste della Calabria e della Sicilia nord-orientale. Per la centralizzazione dei dati strumentali, venne scelta una struttura in disuso a sud di Lipari prospiciente Vulcano, appartenuta fino alla seconda guerra mondiale alla Regia Marina. Qui venne istituito l'Osservatorio Geofisico di Lipari, dove i dati venivano acquisiti, per mezzo di un registratore magnetico a 6 piste, a semiconduttori.

I primi sismometri elettromagnetici utilizzati furono i Willmore MK2 (Edimburgo, 1964), posizionati attorno al Gran Cratere di Vulcano, a Stromboli e presso l'osservatorio. Successivamente, vennero impiegati due sismometri Rocard ZM30 (Francia 1961) a componente verticale, mentre nelle stazioni

esterne vennero impiegati numerosi Mark (L4C e L4-3D, Texas); i sismogrammi venivano stampati ad inchiostro, tramite il Sefram RP5. La rete del basso Tirreno consolidò il suo carattere permanente agli inizi degli anni 70, con una decina di stazioni analogiche distribuite entro l'area delimitata da: Alicudi, Paola, Etna, Gibilmanna. La sua gestione era curata dal nuovo I.I.V.-C.N.R., che veniva ufficialmente istituito a Catania in piazza Roma, nel 1969. A 60 anni dal devastante terremoto di Messina, quella delle Isole Eolie fu la prima rete analogica, installata in forma permanente nell'area e sarà fondamentale unitamente alle stazioni degli osservatori reggino e messinese, per la localizzazione degli eventi e per lo studio dei processi sismogenetici dello Stretto.

Dalla rete digitale I.P.G. dello Stretto a quella permanente della Sicilia orientale

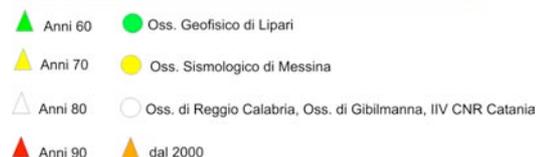
Sul finire degli anni 70, nell'ambito del Progetto Finalizzato Geodinamica, l'Institut de Physique du Globe di Strasburgo installò nello Stretto di Messina una rete mobile digitale, in collaborazione con l'Istituto Geofisico e Geodetico dell'Università di Messina e con l'Osservatorio Geofisico di Lipari, che darà maggior dettaglio alle localizzazioni ipocentrali. Per un ulteriore approfondimento del quadro strutturale dell'area, nel 1999 prende il via l'organizzazione scientifica Poseidon, che rilancia nell'area peloritana, la produzione di dati strumentali dopo la dismissione della Rete dello Stretto facente capo all'ex Istituto Geofisico e Geodetico di Messina, avvenuta all'inizio di quel decennio.

I sistemi tecnologici del Poseidon e quelli del più longevo I.I.V.-C.N.R. saranno assimilati nel nuovo Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, che provvederà da subito alla progressiva sostituzione dei sensori a corto periodo (1 sec.) caratterizzanti la vecchia rete analogica, a favore dei nuovi sistemi digitali impieganti soluzioni triassiali a larga banda (40 sec.), distribuiti in modo sempre più capillare sul territorio siciliano.

La Rete Sismica Permanente del Basso Tirreno e della Sicilia Nord-orientale

Oggi nel basso Tirreno, lungo lo Stretto di Messina e nella Sicilia nord-orientale si contano 27 stazioni sismiche, gestite dalla sezione INGV di Catania. Esse fanno parte della Rete Sismica Permanente della Sicilia Orientale e della Calabria meridionale. Molte di esse, occupano ancora i vecchi siti, conservando in alcuni casi la tradizionale strumentazione analogica, naturalmente affiancata dai moderni sistemi multi-parametrici, digitali.

La mappa illustra in ordine cronologico, la distribuzione delle stazioni (triangoli), facenti capo all'osservatorio di Lipari. Il colore dei cerchi indica per gli osservatori, il periodo nel quale avvenne il passaggio dai sismografi alla strumentazione elettronica moderna.



Bibliografia

- Martinelli G. (1908). La sismicità all'isola di Ustica. Annali del Reg. Uff. Centrale di Meteorologia e Geochimica.
- Peterschmitt E. (1956). Quelques données nouvelles sur les séismes profonds de la mer Tyrrhénienne. Ann. di Geofis Vol.IX .

Si ringraziano per la preziosa collaborazione:
Antonio Bottari, Università di Messina
Emanuele Lo Giudice, ex dirigente di ricerca del I.I.V.-C.N.R. di Catania.

SUBDUZIONE E SOLLEVAMENTO LUNGO L'ARCO CALABRO-PELORITANO

Claudio Faccenna¹, Paola Molin¹, Barbara Orecchio², Thorsten W. Becker³,
Olivier Bellier⁴, Francesca Funicello¹, Liliana Minelli¹, Giancarlo Neri²,
Valerio Olivetti¹, Claudia Piromallo⁵, Andrea Billi¹

¹*Università Roma TRE, Dip. Sc. Geologiche*

²*Università di Messina, Dip. Sc. Terra*

³*Univ. Southern California (Ca, USA)*

⁴*CEREGE, Aix-en-Provence (France)*

⁵*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma*

L'Arco Calabro rappresenta un esempio di grande interesse per lo studio dei processi di deformazione che possono interessare la placca superiore di una zona di subduzione. Tuttavia, i modelli proposti a tutt'oggi non concordano sulle cause del sollevamento e spesso sono in contrasto con i dati geofisici profondi.

Lo studio che stiamo effettuando ha lo scopo di mostrare come parte della topografia, del sollevamento e della deformazione attiva nell'arco calabro-peloritano possa essere relazionata a processi di deformazione della litosfera in subduzione e di convezione del mantello. Per studiare le relazioni tra deformazione superficiale e profonda abbiamo utilizzato i seguenti dati: a) elevazione dei terrazzi marini tirreniani, b) dati morfologici ricavati da analisi di frequenza della topografia, c) cinematica delle faglie principali. Queste informazioni hanno permesso di definire strutture in sollevamento a larga lunghezza d'onda (>50 km), principalmente poste nella Sila e nei Monti Peloritani-Nebrodi, dove il campo di deformazione assume direttrici differenti.

Questi risultati sono stati confrontati con un nuovo modello tomografico che ha permesso di definire la distribuzione delle anomalie di velocità delle onde *P* a profondità compresa tra 40-260 km. Questo paragone mostra come il sollevamento a bassa frequenza d'onda è posizionato in corrispondenza dei bordi della zona di subduzione. Il paragone con modelli numerici e di laboratorio suggerisce che questo tipo di deformazione possa essere relazionata a processi di convezione toroidale attivi ai bordi della zona di subduzione. In questo contesto, vengono infine presentate alcune ipotesi per spiegare l'origine del sistema di faglie dello Stretto di Messina.

IL PROGETTO INGV/DPC S2: REALIZZAZIONE DI UN MODELLO DINAMICO SPERIMENTALE DI VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA A SCALA NAZIONALE

Ezio Faccioli, Warner Marzocchi

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Politecnico, Milano

Il progetto S2 ha come scopo fondamentale di sviluppare uno strumento innovativo di calcolo della pericolosità sismica. Il sistema, pur mutuandone alcuni elementi, non è strettamente riconducibile a un approccio del tipo Open Seismic Hazard Evaluation (SHE) sviluppato in California. Esso infatti usa come piattaforma di partenza un codice di calcolo esistente ben sperimentato (CRISIS) e, attraverso lo sviluppo di nuovi moduli, persegue una generalizzazione di quest'ultimo, in particolare mediante modelli non stazionari di occorrenza dei terremoti, e descrizioni non canoniche dell'attenuazione del moto del suolo. Qualificante dell'approccio del progetto, e quindi dello strumento di calcolo, è la possibilità di:

- i) aggiornare costantemente le valutazioni di pericolosità in base alla disponibilità di nuovi dati e/o nuovi modelli;
- ii) incorporare valutazioni formali delle incertezze associate alle stime ottenute;
- iii) considerare in input diversi modelli, opportunamente combinati;
- iv) produrre diverse rappresentazioni della pericolosità sismica, in modo da soddisfare esigenze di tipo diverso (progettazione strutturale, pianificazione, industria delle assicurazioni, ecc.). L'applicazione al territorio Italiano configura la costituzione di una base comune alle ricerche future nell'ambito della pericolosità e della previsione probabilistica dei terremoti, affiancandosi ad iniziative internazionali già in atto (quale il progetto europeo NERIES), ma soprattutto ad alcune di prossimo avvio, quale il progetto europeo SHARE, futura base di riferimento omogenea per l'applicazione dell'Eurocodice 8, che partirà nel marzo 2009.

I vantaggi di un approccio così strutturato sono sintetizzabili nei seguenti punti:

- aggiornamento relativamente rapido e semplice delle stime di pericolosità;
- possibilità di verificare numericamente l'impatto dei diversi ingredienti utilizzati in input (modelli e/o dati), in particolare modellazione stazionaria e non stazionaria dei processi di occorrenza, sui risultati di interesse per utenti di diverso profilo (ma soprattutto danno atteso ad edifici o infrastrutture);
- la stima formale delle incertezze permette di valutare quali parti del territorio nazionale sono meglio definite in termini di pericolosità sismica;
- il sistema modulare facilita la possibilità di verificare scientificamente i diversi modelli utilizzati in input ed eventualmente i valori di pericolosità ottenuti.

Il progetto si avvale dell'apporto fondamentale di competenze internazionali (una UR messicana coordinata dal prof. M. Ordaz), oltre che nazionali, nonché del confronto delle iniziative intraprese con quelle svolte in progetti internazionali già in corso. Il progetto preserva inoltre un carattere sperimentale, non immediatamente mirato a nuove valutazioni di pericolosità finalizzate alle norme sismiche per le costruzioni. Infine, esso prevede un'attività importante a carattere tecnologico, nella creazione di un ambiente informatico che permetterà di gestire anche su web gli approcci sviluppati e i nuovi dati di ingresso, e consentirà a un gruppo di utenti selezionato di interagire in tempi rapidi.

SHAKEMAP PER EVENTI STORICI: IL TERREMOTO DI MESSINA-REGGIO CALABRIA DEL 1908

Licia Faenza, Alberto Michelini

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Le intensità macrosismiche sono spesso l'unico dato disponibile per l'analisi di terremoti storici. Esse sono infatti importanti per svolgere revisioni della sismicità storica e di grande importanza per studi di seismic hazard. In Italia è disponibile un archivio di dati di intensità di particolare rilevanza poiché riporta dati sui terremoti verificatisi in Italia e nelle regioni adiacenti in uno spazio temporale di quasi due millenni [Stucchi et al. 2007]

A partire dal 2006, l'INGV produce mappe di scuotimento sulla base di dati strumentali registrati principalmente dalla rete sismica nazionale [Michelini et al. 2008]. Ciò permette di fornire in tempi molto brevi stime sullo scuotimento occorso e quindi importanti elementi di prima valutazione a fini di protezione civile. Il software utilizzato - ShakeMap- è stato sviluppato dal USGS [Wald et al. 1999a] ed adotta come scala di intensità la Mercalli Modificata (MM) opportunamente calibrata sulla base di misure di scuotimento registrate principalmente in California [Wald et al. 1999b]. In Europa, ed in Italia in particolare, la scala delle intensità macrosismiche adottata è la Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS) che, pur non differendo significativamente dalla MM, può fornire stime diverse soprattutto perché la tipologia costruttiva in Italia è molto differente da quella negli USA ed in California in particolare.

In questo lavoro si è calibrata la scala delle intensità MCS con dati strumentali nell'intervallo di intensità I - IX utilizzando il database di Faccioli e Cauzzi [2006] ed i dati forniti dal Dr. Calvino Gasparini per le intensità inferiori. L'insieme di dati comprende quindi valori di accelerazione e/o velocità di picco registrata (PGA e PGV

rispettivamente) ed intensità associata per la medesima zona di registrazione. Abbiamo utilizzato il metodo della orthogonal distance regression già utilizzato da Gomez-Capera et al. [2007] che consente di inserire le incertezze su entrambe le variabili (i.e., intensità ed alternativamente PGA e PGV). Dopo aver ricavato le regressioni ($I = A + B \log_{10} (PGX)$; $I(PGA) < 5$: $A = 1.79 \pm 0.2$, $B = 1.88 \pm 0.12$; $I(PGA) > 5$: $A = -3.73 \pm 1.46$, $B = 5.11 \pm 0.67$; $I(PGV)$: $A = 5.02 \pm 0.12$, $B = 2.24 \pm 0.10$) sono state inserite all'interno del software ShakeMap e sono state fatte delle verifiche per terremoti di magnitudo maggiore quali, ad esempio, quello dell'Irpinia del 23/11/1980 e del Friuli 6/5/1976 in cui si è verificata la correlazione tra le mappe di scuotimento calcolate con i dati strumentali ed i punti del rilevamento macrosismico. In generale, si è osservata una buona corrispondenza tra i due tipi di mappe. Sulla base dei risultati ottenuti è ora possibile effettuare la procedura inversa - dalle intensità ai picchi di scuotimento strumentale. Con questa procedura sono state calcolate delle mappe di scuotimento (in PGA e PGV) per i terremoti storici ove sono disponibili le sole rilevazioni macrosismiche. In Fig. 1 si presenta la shakemap del terremoto di Messina e Reggio del 28/12/2008 ottenuto utilizzando le relazioni descritte poco sopra assieme al campo macrosismico osservato e riportato nel DBMI04. Per la shakemap, si è utilizzato come epicentro la localizzazione ottenuta mediante dati strumentali ed una faglia consistente con quanto proposto nel lavoro di Pino et al. [1999]. Riteniamo notevole la correlazione ottenuta tra le due mappe tenendo presente che le relazioni di

1908 Reggio Calabria - Messina

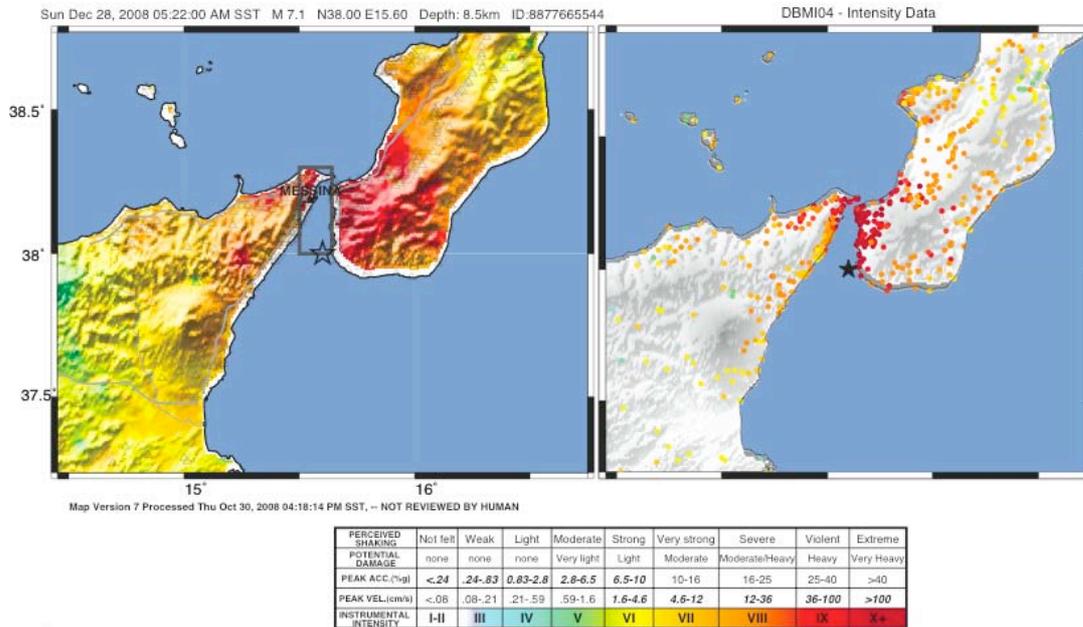


Figura 1 Confronto tra la ShakeMap del terremoto del 28/12/1908 ottenuta inserendo i dati macrosismici ed applicando le conversioni tra intensità ed i valori di picco di scuotimento (sinistra), ed i dati di intensità riportati nel DBMI04 [Stucchi et al] utilizzando la medesima scala di colori (destra).

regressioni adottate non fanno effettivamente uso dei dati del terremoto in esame. Tutto ciò pare di buon auspicio per applicazioni future della procedura shakemap adottata ad altri terremoti sul territorio nazionale.

Bibliografia

- Faccioli, E., and C. Cauzzi (2006). Macro seismic intensities for seismic scenarios, estimated from instrumentally based correlations, in Proc. of the First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva Switzerland, 3-8 September, Paper no. 093.
- Gómez Capera, A. A., D. Albarello, P Gasperini (2007). Aggiornamento relazioni fra l'intensità e PGA, in relazione finale del progetto S1, Convenzione INGV-DPC 2004 - 2006, 23 pp. (<http://esse1.mi.ingv.it/d11.html>)
- Michelini, A., Faenza, L., Lauciani, V. Malagnini, L. (2008). ShakeMap implementation in Italy, Seismological Research Letters 79(5), 689-698.
- Pino, N., Giardini, D., Boschi, E. (2000), The December 28, 1908, Messina Straits, southern Italy, earthquake: Waveform modeling of regional seismograms, J. Geophys. Res. 105(B11), 25473--25492.
- Stucchi et alii (2007). DBMI04, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04>, Quaderni di Geofisica, Vol 49, pp.38.
- Wald, D. J., Quitoriano, V., Heaton, T. H., Kanamori, H. (1999b). Relationships between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Modified Mercalli Intensity in California, Earthquake Spectra 15(3), 557--564.
- Wald, D. J., Quitoriano, V., Heaton, T. H., Kanamori, H., Scrivner, C. W., Worden, C. B. (1999a). TriNet "ShakeMaps": Rapid Generation of Peak Ground Motion and Intensity Maps for Earthquakes in Southern California, Earthquake Spectra Earthquake Spectra, 537.

ESTIMATE OF SEISMOLOGICAL PARAMETERS FOR THE 1908 MESSINA EARTHQUAKE THROUGH A NEW DATA SET WITHIN SISMOS PROJECT

Graziano Ferrari², Fabrizio Bernardi¹, Ingrid Hunstad¹, Barbara Palombo¹, Bruna Perniola³

¹*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Centro Nazionale Terremoti*

²*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Bologna*

³*Provincia di Roma*

The 1908 earthquake is one of the most catastrophic events in the Italian history, recorded by most of the historical seismic stations existing at that time. Some of the seismograms recorded at these stations have already been used by many authors for the purpose of studying source characteristics, although only copies of the original recordings were available. Thanks to the Euroseismos project (2002-2007) and to the Sismos project, most of the original data

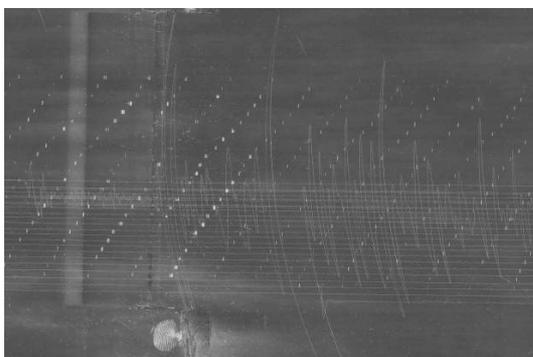


Figure 1. Raster image of the seismogram recorded on smoked paper by the Wiechert seismograph at De Bilt station, E component for the 1908/12/28 earthquake.

(seismogram recordings and instrument parameter calibrations) for these events are now available in digital formats.

Sismos technical facilities allow now to apply modern methods of digital-data analysis for the earthquakes recorded by mechanical and electromagnetic seismographs.

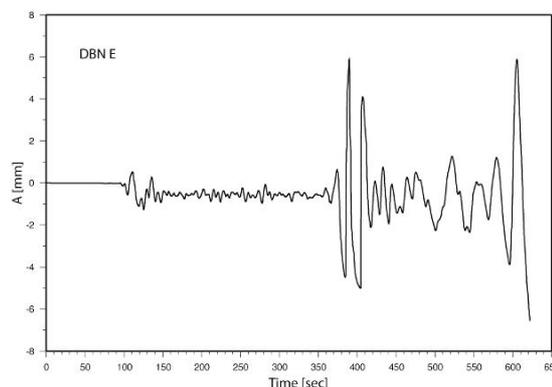


Figure 2. Vectorized image derived from the raster image using Teseo2 (Pintore et al. 2005).

The Sismos database have recently acquired many original seismograms and related instrumental parameters for the 1908 Messina earthquake, recorded by 14 stations distributed worldwide and never used in previous works. We have estimated main event parameters (i.e. location, M_s , M_w and focal mechanism) with the new data set. The aim of our work is to provide to the scientific community reliable size and source estimation for accurate and consistent seismic hazard evaluation in Sicily, a region characterized by long-term high seismicity.

References

Pintore S. et al. (2005). Teseo, a vectoriser of historical seismograms. In: *Computer & Geosciences*, 31, pp. 1277-1285.

LE PREVISIONI DI RAFFAELE BENDANDI ISPIRATE DAL GRANDE TERREMOTO

Cristiano Fidani

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Perugia

Raffaele Bendandi nasce a Faenza il 17 ottobre 1893 da una famiglia di modeste condizioni economiche, per questa ragione frequenta la scuola elementare fino alla quinta. Dall'infanzia Bendandi è attratto dai misteri dell'astronomia e dai terremoti. La meraviglia provata in occasione dell'eclissi solare del 30 agosto 1905 lo spingono a studiare da autodidatta i fenomeni celesti, scegliendo il lavoro poco faticoso di intagliatore di ornamenti in legno, per potersi poi dedicare ai suoi studi nel tempo libero.

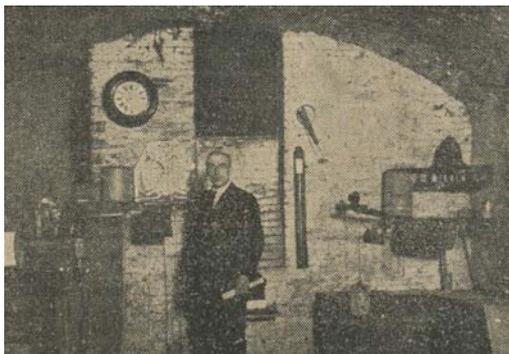


Figura 1. R. Bendandi fra i suoi strumenti.

Le notizie del terremoto giungono a Faenza la sera del 28 dicembre 1908 e Raffaele Bendandi rimane profondamente colpito dalla tremenda catastrofe che si è abbattuta sulle città di Messina e Reggio Calabria; da quel momento iniziano i suoi studi dei terremoti. Guidato dalle conoscenze astronomiche, pone come principio delle sue ricerche il fenomeno della marea, mentre l'estrema abilità di Bendandi nella costruzione di meccanismi di precisione gli permetterà di realizzare un sismografo venduto in tutto il mondo e di entrare a far parte della società sismologica italiana nel 1920. Il 27 ottobre del 1914 effettua un primo tentativo di previsione: in un taccuino annotò un forte terremoto in Italia per la data del 13 gennaio 1915. La notizia della tremenda scossa di Avezzano

diede un forte impulso ai suoi studi, spingendolo ad analizzare più di 20.000 terremoti del passato e facendo la sua prima previsione registrata per atto notarile il 20 dicembre 1923 [Bendandi 1924].

Le molte conferme delle previsioni resero Raffaele Bendandi noto in tutto il mondo, ma oggi di questo “Genio Italico” non si è più sentito parlare e misterioso rimane il suo metodo. Tuttavia, chi ha avuto l'opportunità di contare e leggere le sue numerose previsioni non può sottrarsi da una valutazione scientifica, prima di esprimere un giudizio sul loro valore. Questo contributo riassume le caratteristiche delle previsioni di Raffaele Bendandi raccolte e catalogate per la prima volta, grazie alla collaborazione di numerose Biblioteche italiane. L'importanza del catalogo è duplice: esso raccoglie uno dei frutti degli studi indotti dalla tremenda catastrofe del 1908 e, inoltre, permette finalmente una valutazione scientifica delle previsioni di questo personaggio dimenticato. Raffaele Bendandi ha pubblicato le sue previsioni principalmente su quotidiani italiani ed esteri. Questo lavoro, insieme a quello di divulgatore scientifico, ha costituito la sua unica fonte di reddito per gran parte della vita. Il numero totale di previsioni ritrovate è notevole e pari a 103 di cui 61 riguardano la regione mediterranea; 30 documenti risultano al momento introvabili. Il catalogo da esse costituito copre un intervallo di tempo che va dal mese di ottobre del 1914 al mese di aprile del 1977 [Fidani 2004], esso comprende la previsione di 143 eventi nella regione mediterranea e 167 nel resto del mondo. Il numero di eventi per ogni previsione è risultato molto variabile, fino a più di 10 terremoti per ognuna.

L'accuratezza temporale delle sue previsioni risultava notevole, da qualche ora a pochi giorni.

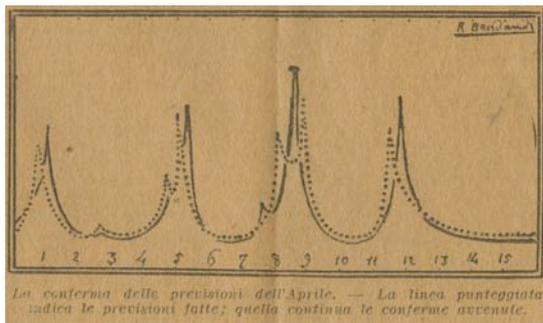


Figura 2. Grafici delle previsioni dell'aprile 1926 (a puntini) e delle loro conferme.

Nella Figura 2, viene riportato il grafico con le previsioni effettuate il 4 aprile 1926 [Bendandi 1926], la linea continua dello stesso grafico indicava le conferme. L'intensità delle scosse era indicata attraverso i termini: "lieve", "di secondaria importanza", "forte", "violenta", "parossima" e in qualche caso attraverso la scala Mercalli. Per quanto riguardava le località, egli sottolineava esplicitamente di non essere ancora in grado di determinarle con precisione, l'errore in questo ambito era pari a diverse centinaia di km e raramente inferiore ai 100 km. L'anticipo con cui venivano emesse le previsioni è risultato piuttosto variabile. Le previsioni più dettagliate duravano due settimane e venivano emesse con qualche giorno di anticipo sul periodo della previsione, quelle meno dettagliate arrivavano fino a un anno di anticipo. Per fissare la paternità del principio da cui formulò le sue previsioni, Bendandi scrisse un primo libro dedicato alla soluzione del problema del ciclo undecennale solare [Bendandi 1931], sostenendo che tale principio doveva essere applicabile tanto all'attività solare quanto ai terremoti. In un secondo libro applicò lo stesso principio alla soluzione del problema delle stelle variabili [Bendandi 2006] sottolineando l'universalità della legge trovata. Dopo gli anni 30', apparati radio e radio-telegrafici [Fidani 2006] permisero a Bendandi di fare osservazioni sui fenomeni elettrici e magnetici prodotti dall'attività solare e tellurica [Fidani 2005]. Gli studi di Bendandi sono nati dalla tremenda catastrofe del

1908, ma non sono mai stati verificati né approfonditi, per questo la raccolta delle sue previsioni dei terremoti costituisce un primo passo per una loro validazione. Il confronto del catalogo delle previsioni con quello degli eventi sismici registrati, può rappresentare un secondo passo per una verifica statistica del loro valore. Tuttavia, per questo scopo, i metodi sviluppati in questi ultimi anni per la validazione delle previsioni sismiche [Zechar and Jordan 2008] necessitano di un catalogo dei terremoti completo.

Si desidera ringraziare la Dr.ssa Paola Lagorio della Bendiandiana di Faenza e per le Biblioteche: Franca Focacci dell'Università di Perugia, la Dr.ssa Maria Gaia Gajo della BNCR, Antiocha Manconi della BNCF, Marco Massotti della Manfrediana di Faenza, Paola Rigon della Classenze di Ravenna, Antonella Degli Ageli della Malatestiana di Cesena, l'Augusta di Perugia, Marco Mancini della Comunale di Savignano sul Rubicone e Stefano Fratini dell'ANSA.

Bibliografia

- Bendandi R. (1924). Un'altra Grande Scoperta del Genio Italico, *Il Messaggero*, 11 gennaio, p. 3.
- Bendandi R. (1926). Si possono prevedere terremoti?, *Il Progresso Italo Americano*, 6 giugno, p. 1.
- Bendandi R. (1931). Un Principio Fondamentale dell'universo, S.T.E. in Bagnacavallo, Oss. Bendandi Faenza, 323pp.
- Bendandi R. (2006). *Le Stelle Soli dell'infinito*, a cura di C. Fidani, EDIT Faenza, 270 pp.
- Fidani C., (2004). 6 relazioni sulle previsioni di Raffaele Bendandi, Comune di Faenza, 84 pp.
- Fidani C. (2005). Ipotesi sulle Anomalie Elettromagnetiche Associate ai Terremoti, Libreria Universitaria Benedetti, l'Aquila, 300 pp.
- Fidani C. (2006). On electromagnetic precursors of earthquakes: models and instruments, *IPHW June 17*, pp. 25-41.
- Zechar J.D. and Jordan T.H. (2008). Testing alarm-based earthquake predictions, *Geophys J. Int.*, Vol. 172, pp. 715-24.

UN MODELLO ANALOGICO QUALITATIVO DI GEO-STRUTTURA SIMULANTE UN'EVOLEZIONE GEODINAMICA DELL'ARCO CALABRO

Giovanni Finzi Contini

Università di Firenze, c/o D.I.C.

Si propone una semplice, elementare modellizzazione meccanica impulsiva tendente a rappresentare secondo un inquadramento elastico e viscoso uno schema approssimato per un'apertura geodinamica del Mar Tirreno, schema qualitativamente coinvolgente strutture paragonabili all'Arco Calabro.

Tale modellizzazione, resa automatica da un cinematismo ridotto all'essenziale, consente di visualizzare alcune geometrie e limitati spostamenti, riferiti ad un piano orizzontale, appunto causati da diversi impulsi quantitativamente noti e ripetibili per simulazioni temporalmente anche molto prolungate, suscettibili però soltanto di interpretazioni di larga massima.

L'inserimento della viscosità [Nadai 1963], anche soltanto nella sua più semplice accezione, per la rappresentazione di geo-strutture profonde ha consentito in passato [Finzi-Contini 1981, 1982] di modellizzare quali-quantitativamente situazioni sismogenetiche in corrispondenza della Catena Appenninica suggerite da elaborazioni di selezionate informazioni sismiche e gravimetriche, producendo modellistiche in grado di proporre un sistema di geo-strutture profonde (di larga massima inferiormente all'Emilia-Romagna/Marche/Umbria, all'Abruzzo/Molise, nonché all'Irpinia) lungo la fossa gravimetrica grosso modo parallela alla costa adriatica, le quali appaiono in grado di interpretare eventi sismici sia superficiali come pure profondi.

L'introduzione poi di viscosità non-lineari - ad esempio alla Maxwell oppure anche alla Kelvin [Flügge 1967] - in porzioni

di una delle geo-strutture accennate ha consentito [Finzi-Contini 2000] di individuare alcune possibilità di manifestazione di fenomenologie temporalmente anche assai ritardate rispetto all'insorgere dell'evento sismico principale, suscettibili di interessi nei riguardi di provvedimenti adottabili dalla protezione civile.

Il presente studio - da considerarsi propedeutico in vista di adeguati prolungamenti quantitativi - tende ad estendere qualitativamente verso l'estremo Meridione della Penisola una linea di ricerca che si è rivelata feconda.

Bibliografia

- Nadai A. (1963). Theory of Flow and Fracture of Solids. McGraw-Hill Book Co., New York, vol. two (passim).
- Flügge W. (1967). Viscoelasticity. (pagg. 106-110). Braisdell Publ. Co., Waltham, Mass., viii-127.
- Finzi-Contini G. (1981). Una modellistica viscosa per geo-strutture profonde interessante la penisola italiana ed evidenze geofisiche e tettoniche. Proceedings of the 1st Meeting of GNGTS/CNR, Roma, 3rd-5th Nov. 1981.
- Finzi-Contini G. (1982). Evoluzione spazio-temporale di geo-strutture visco-elastiche/viscose e modellistiche geodinamiche. Atti Acc. Pat. Sc., LL. & AA., V. 93, p. II, pp. 93-103, 1982.
- Finzi-Contini G. (2000). Seismo-genetic Models Based on Kelvin & Maxwell Viscosities to Interpret Umbria-Marche's 1997 Long Earthquakes. NZWCEE 2000, Auckland.

II TERREMOTO DI MESSINA DEL 1908 IN UN MODELLO SISMOTETTONICO DELLA SICILIA SETTENTRIONALE E DEL BASSO TIRRENO

G. Giunta¹, S. Orioli¹, A. Giorgianni¹, F. Di Trapani¹, D. Luzio², M. Calò²

¹Dipartimento di Geologia e Geodesia, Università di Palermo

²Dipartimento di Chimica e Fisica della Terra [CFTA,] Università di Palermo

In Sicilia ed in Calabria meridionale affiora il settore più orientale della catena Maghrebide, formatasi dall'Oligocene, la cui deformazione è espressa dalla sovrapposizione tettonica di varie unità in uno stile a *ramp-flat* e *duplex*, in progressione da Nord verso Sud secondo una sequenza di tipo *piggy-back*. Successive fasi compressionali hanno determinato un ulteriore raccorciamento attraverso embrii fuori-sequenza e faglie inverse ad alto angolo (*breaching*). Nella porzione più interna della catena in costruzione, la deformazione a pieghe e sovrascorrimenti lascia il posto, a partire dal Miocene medio-superiore, ad una tettonica estensionale, concausa anche dell'apertura del Bacino Tirrenico. Questa fase è responsabile dell'attivazione di faglie estensionali a basso angolo che invertono il movimento di alcuni thrust, stirando l'edificio tettonico con una vergenza settentrionale, e favorendo il collasso della porzione più settentrionale della catena.

L'assetto attuale delle Maghrebidi siciliane è stato interpretato come effetto della presenza di strutture fragili neotettoniche a prevalente carattere trascorrente, a partire dal Pliocene [Boccaletti et al. 1990a; Nigro, 1998; Giunta et al. 2000a; Renda et al. 2000], che hanno identificato una zona di cerniera tra la catena emersa ed il Bacino Tirrenico stesso. Tale zona di cerniera è parte di una zona di taglio regionale a componente destrale orientata circa W-E, caratterizzata da una complicata griglia di faglie *strike-slip* ad alto angolo rappresentata da due distinti sistemi: uno sintetico destro, orientato da NW-SE a W-E, e uno antitetico, prevalentemente sinistro, orientato da N-S a NE-SW [Giunta et al. 2002b; Gueguen et al. 2002; Giunta et al.

2004; Ferranti et al. 2008]. Tali strutture ben osservabili dalla scala chilometrica a quella metrica, determinano l'alternanza di zone di *restraining* e zone di *releasing*, in corrispondenza delle quali si impostano rispettivamente alti morfostrutturali e depressioni morfotettoniche riempite da sedimenti clastici plio-pleistocenici diacroni verso est, che interessano sia i settori emersi che quelli sommersi. A queste strutture si associano faglie estensionali *net-* e *dip-slip*, ad immersione tirrenica, che controllano l'evoluzione della costa e contribuiscono all'incremento dell'*uplift* dell'orogene attuale. La maggior parte di tali strutture sembra proseguire a mare, come dimostrano i profili sismici [Pepe et al. 2000, 2003].

Le strutture fragili neotettoniche che interessano la zona emersa di cerniera sono state definite attraverso analisi mesostrutturale per ricostruire il campo di stress agente nell'area; mentre quelle *off-shore* sono state ricavate tramite l'interpretazione di carte morfobatimetriche del Tirreno meridionale e dell'area dello Stretto di Messina. I diagrammi di isodensità costruiti per il reticolo di faglie *inland* sembrano abbastanza compatibili con quelli ricavati dall'interpretazione della tettonica fragile nelle aree *offshore*, includendo anche la zona dello Stretto di Messina.

Le analisi mesostrutturali, rappresentative dello *strain partitioning* alla scala decametrica, hanno evidenziato elevati picchi nelle frequenze nei seguenti orientamenti: NW/SE-N/S-NNW/SSE, E/W-WNW/ESE, NNE/SSW-NE/SW-ENE/WSW.

Le relazioni fra queste famiglie di faglie sono abbastanza complesse, in quanto a volte faglie del sistema orientato da NW-SE a W-

E sono tagliate da quelle del sistema NE-SW e viceversa, che dimostrerebbe un'attività continua di una zona di taglio destrale, con progressiva rotazione oraria dell'ellissoide delle deformazioni sia nel settore emerso della Sicilia che probabilmente in quelli sommersi del Basso Tirreno e dello Stretto di Messina.

L'analisi sismologica effettuata su un set di dati relativi a circa 11000 eventi sismici verificatisi tra Gennaio 1981 e Dicembre 2005 ha permesso di riconoscere tre principali zone sismogeniche. La distribuzione degli ipocentri degli eventi più profondi (fino a 600 km) presenti nel settore più orientale dell'area indagata individuano un macrovolume sismogenico, correlato alla subduzione dello *slab* ionico al di sotto dell'Arco Calabro. Un set di eventi è fortemente dipendente dall'attività dell'Etna; infine il terzo set di eventi più superficiali è eterogeneamente distribuito su tutta l'area con un massimo di intensità nel Tirreno meridionale ed in Sicilia orientale. Quest'ultimo individua una zona sismogenica strettamente connessa al campo di deformazione attivo all'interno della zona di cerniera, che comprende anche parte del margine ionico.

Le analisi statistiche dei dati sismologici hanno permesso di individuare alcuni *cluster* di eventi verificatisi nella predetta zona di cerniera, i quali sono stati successivamente rilocalizzati con un metodo di localizzazione relativa. I processi sismogenici, relativi ai *cluster* più numerosi, sono caratterizzati nei domini di spazio, tempo e magnitudo con tecniche statistiche [Giunta et al. 2008, Adelfio et al. 2008].

I meccanismi focali degli eventi di maggior magnitudo, anche se mettono in luce alcuni trend delle orientazioni delle strutture sismotettoniche, mostrano la complessità delle relazioni tra i volumi sismogenici dei *cluster* e le singole dislocazioni affioranti.

Anche i dati sismologici e strutturali sembrano confermare ed essere compatibili con un modello neotettonico trascorrente, in cui il campo medio di *stress* è caratterizzato da un'asse di massima compressione (σ_1) orientato circa NW-SE, il quale produce una complessa deformazione non-coassiale (*simple shear*). In particolari aree sono tuttavia possibili differenti condizioni sismogeniche, dovute all'accomodamento locale di volumi rocciosi in un contesto di marcata eterogeneità meccanica.

Anche il terremoto di Messina del 1908 può essere inserito in questo quadro sismotettonico, pur nell'incertezza della sua ubicazione, se nello Stretto [Baratta, 1910; Boschi et al. 1995] o in Calabria meridionale [Neri et al. 2003], e del riconoscimento della struttura sismogenica tra quelle maggiormente indiziate: N195°E [Schick, 1977]; N11°W [Martini & Scarpa 1983; Gasparini et al., 1985]; N4°W [Capuano et al., 1988; De Natale e Pingue 1991] e N11°E; Boschi et al., 1989]. Altri autori hanno ipotizzato la "faglia di Reggio Calabria" come probabile sorgente del terremoto [Ghisetti, 1992; Valensise e Pantosti, 1992; Tortorici et al. 1995; Jacques et al. 2001; Amoruso et al. 2002; Neri et al. 2003; Ferranti et al. 2007].

Il meccanismo focale dovrebbe essere stato estensionale con una leggera componente trascorrente [Baratta, 1910; Boschi et al. 1989; 1995; Valensise & Pantosti, 1992; Monaco and Tortorici, 2000; Amoruso et al. 2002; Neri et al. 2004, 2005], su una struttura ad alto angolo diretta tra N-S e NE-SW. Tali dati possono ben inquadrarsi nel modello sismotettonico proposto, in un volume sismogenico sottoposto a *relaising*, trasversale all'orogene che ha prodotto lo Stretto di Messina, la cui evoluzione è legata all'accentuazione della curvatura dell'Arco Calabro e alla più meridionale scarpata ionica.

LA RETE GPS CALNET

Ignazio Guerra¹, Marco Anzidei^{1,2}, Domenica Costantino³,
Maria Giuseppa Angelini³, Giovanni Caprino³, Anna Gervasi^{1,2}

¹Università della Calabria – Dipartimento di Fisica

²Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

³DIASS, Politecnico di Bari, Facoltà di Ingegneria di Taranto

A partire dal 2002, tra le province di Catanzaro e Vibo Valentia, è stata realizzata in Calabria una nuova rete geodetica GPS discontinua di alta precisione. La rete nasce con finalità geofisiche per rilevare le deformazioni intersismiche e co-sismiche di quest'area, non ancora interessata da una rete geodetica, che in epoca storica è stata sede di numerosi eventi sismici distruttivi. Attualmente la rete consiste in 32 vertici realizzati con capisaldi tipo 3-D o con pilastrini in cemento armato, prevalentemente collocati su affioramenti rocciosi. Questi ultimi, in numero di 14, appartengono ad una rete planimetrica realizzata negli anni 80 da parte dell'Università della Calabria e dell'Osservatorio Vesuviano. Una seconda serie di 9 vertici fu installata dall'INGV all'inizio degli anni 2000 nell'ambito di un progetto CNR- Agenzia 2000. I rimanenti capisaldi sono stati installati nel 2006 dall'Università della Calabria nell'ambito del progetto INGV-DPC-S2.

La rete si estende dalle propaggini meridionali dell'Altopiano Silano a buona parte della catena delle Serre Calabre. È caratterizzata da una maglia media di 30 km, con raffittimenti in aree di particolare interesse, come ad es. la zona di Pizzo-Capo Vaticano e all'estremo settentrionale delle Serre Calabre.

Sono state effettuate 4 campagne di misura. La prima, finanziata dal citato progetto CNR-Agenzia2000, è stata svolta nel 2002 sul primo nucleo di stazioni poste nell'area di Capo Vaticano. Due successive campagne di misura sono state eseguite nel 2006-2007

tra le attività previste dal progetto INGV-DPC-S2, insieme all'estensione della rete originale. Una quarta serie di misure ha avuto luogo nel 2008 ad opera dell'Università della Calabria (Dipartimento di Fisica) con finanziamento derivante dai fondi di ateneo.

Come accennato, la zona attualmente investigata è quella compresa tra la Sila e le Serre Calabre e include la Stretta di Catanzaro. Dal punto di vista morfologico, il territorio ad est di Catanzaro si divide in una parte bassa costituita da sedimenti di origine marina del Pliocene medio – Pleistocene e da una parte relativamente più alta, costituita da sedimenti del Miocene. Il margine orientale delle superfici al tetto di entrambi i depositi segue l'andamento della linea di costa ed è caratterizzato da un fitto reticolo idrografico. Verso Est, il promontorio di Crotona presenta terrazzi marini sollevati. Il lato tirrenico della Stretta di Catanzaro è costituito dalla Piana di Sant'Eufemia, che presenta depositi alluvionali ed è limitata da un importante lineamento tettonico noto come Lamezia-Catanzaro. Anche la zona di Capo Vaticano presenta evidenze di deformazioni verticali, sulla base dell'elevazione dei terrazzi marini di epoca tirreniana e di indicazioni archeologiche costiere di epoca romana (Anzidei et al., 2006). In generale, tutta la zona investigata, in particolare quelle comprese a Nord e a Sud della Stretta di Catanzaro e la zona di Pizzo-Capo Vaticano, sono stati sede in passato di forti terremoti, con $M > 6.5$ (Tiberti et al., 2006).



Figura 1. Mappa della rete.

I dati GPS sono stati acquisiti mediante ricevitori a doppia frequenza tipo Trimble 5700 equipaggiati con antenne geodetiche Zephyr o Leica 520 e 1230 equipaggiati con antenne Leica AX1204. Le diverse campagne hanno avuto tutte durata di 4-10 giorni e sessioni di misura di 24 ore con passo di campionamento di 30 secondi. Durante ogni campagna, ciascun vertice è stato occupato per non meno di 2 sessioni consecutive. I dati sono stati analizzati con il software scientifico Bernese ver. 5.0 secondo le procedure standard per requisiti geofisici. I risultati ottenuti fino ad oggi, mostrano la buona qualità delle osservazioni acquisite ma, poiché l'intervallo temporale tra le campagne è ancora troppo breve in relazione ai tassi di deformazione attesi (Serpelloni et al., 2005) e in assenza di eventi sismici rilevanti nel periodo compreso tra le campagne di misura (2002-2007), non permettono al momento di stimare il campo di velocità con adeguata affidabilità. Un esame complessivo dei risultati disponibili deve essere valutato con prudenza e non permette di trarre conclusioni significative. Per questo motivo sono programmate nel biennio 2009-2010 ulteriori campagne di misura che, unitamente ai dati acquisiti dalle

stazioni continue della rete RING (Selvaggi et al., 2006), dal progetto CAT/SCAN (www.unavco.org) e dal progetto S5 finanziato dal Dipartimento della Protezione Civile nell'area dello Stretto di Messina (questo convegno), consentiranno di ottenere nuovi risultati di elevato dettaglio sulle conoscenze del campo di deformazione in atto di quest'area sismica.

Bibliografia

- Anzidei M., Esposito A., Antonioli F., Benini A., Tertulliani A. e Del Grande C. (2006). I movimenti verticali nell'area di Briatico: evidenze da indicatori archeologici marittimi nell'area del terremoto del 1905 – in: 8 Settembre 1905: terremoto in Calabria (I. Guerra e A. Savaglio, eds), pp. 301-321. Univ. della Calabria, Dip. di Fisica.
- Selvaggi G., Mattia M., Avallone A., D'Agostino N., Abruzzese L., Anzidei M., Cantarero M., Cardinale V., Castagnozzi A., Casula G., Cerere G., Cogliano R., Criscuoli F., D'Ambrosio C., D'Anastasio E., De Martino P., Del Mese S., De Luca G., Devoti R. et al. (2006). La Rete Integrata Nazionale GPS (RING) dell'INGV: una infrastruttura aperta per la ricerca scientifica - Atti X Conf. Naz. ASITA, Bolzano, 14-17 novembre 2006.
- Serpelloni E., Anzidei M., Baldi P., Casula G. e Galvani A. (2005). Crustal velocity and strain-rate fields in Italy and surrounding regions: new results from the analysis of permanent and non-permanent GPS networks – *Geophys. J. Intern.*, 161, 3, 861-880.
doi:10.1111/j.1365-246X.2005.02618.x.
- Tiberti M.M., Fracassi U. e Valensise L. (2006). Il quadro sismo tettonico del grande terremoto del 1905 - in: 8 Settembre 1905: terremoto in Calabria (I. Guerra e A. Savaglio, eds), pp. 181-205. Univ. della Calabria, Dip. di Fisica.

SISMICITÀ CROSTALE RECENTE DELLA CALABRIA

Ignazio Guerra¹, Anna Gervasi^{1,2}

¹Università della Calabria – Dipartimento di Fisica

²Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione Centro Nazionale Terremoti

A causa della conformazione geografica della regione, della mancanza in tempi recenti di eventi sismici confrontabili per energia rilasciata con quelli dei secoli scorsi e dello sviluppo molto lento di un efficace sistema di monitoraggio sismografico, studi sufficientemente accurati di terremoti a profondità crostale in Calabria sono diventati possibili solo a partire da circa trenta anni orsono.

Dal punto di vista della geologia le faglie attive al presente o in tempi recenti affiorano per tratti di lunghezza ridotta, per cui risulta problematica la loro correlazione con le grandi strutture responsabili delle catastrofi del passato, la cui identificazione è oggetto di viva discussione tra gli studiosi del settore.

La concomitanza dei due fattori citati rende particolarmente importante l'analisi della sismicità attuale, anche se di basso livello energetico. Da quando è stato possibile installare le prime stazioni sismiche tecnologicamente adeguate ai tempi, è stata osservata un'attività microsismica diffusa su tutta la Calabria, con estensione ai mari che la circondano.

Di particolare interesse dal punto di vista della sismotettonica risultano delle sequenze, che si verificano con una discreta frequenza, di (micro)terremoti tanto densamente raggruppati nel tempo e nello spazio che risulta ragionevole la loro attribuzione ad una stessa struttura tettonica attiva sepolta. In alcuni casi, le scosse principali di tali sequenze hanno rilasciato un'energia sufficiente a provocare effetti permanenti: Cosenza, 20.2.1980 (Bazzarelli, 1981); Sila Greca, 1996.4.28 (Gervasi et al., 1997); Pollino, 9.9.1998 (Guerra et al., 2005); Presila Cosentina, 18.10.2001 (Guerra et al., 2002). In questi casi, l'esistenza di un numero relativamente alto di registrazioni strumentali insieme, a volte, alla tempestiva attivazione di postazioni temporanee di

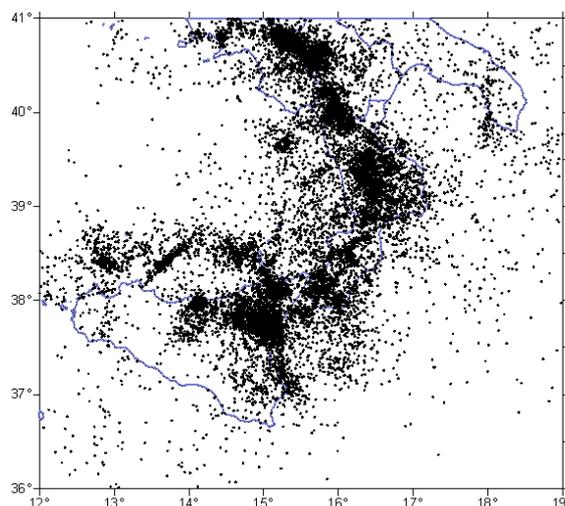


Figura 1. Sismicità crostale ($h < 50$ km) nel periodo 1981-2008.

registrazione, ha consentito delle analisi di dettaglio con tentativi di interpretazione in chiave sismotettonica.

Il crescente numero di stazioni sismiche disponibili ha reso possibili anche studi a carattere più generale, finalizzati per esempio alla definizione di un modello di velocità per il dominio geologico di cui la Calabria fa parte (Barbèri et al., 2004); oppure all'inquadramento della sismicità locale in un più ampio riferimento geodinamico (Neri et al., 2003).

Non sono mancate osservazioni con reti temporanee della sismicità crostale in Calabria, che hanno fornito risultati utilizzabili per una caratterizzazione dettagliata di aree particolari (Raffaele et al., 2007) o per l'analisi del rapporto tra sismotettonica e geodinamica (Kim et al., 2005) o che presentano interesse anche dal punto di vista vulcanologico (Soloviev et al., 1990).

Bibliografia

- Barbèri G., Cosentino M.T., Gervasi A., Guerra I., Neri G. & Orecchio B. (2004). Crustal seismic tomography in the Calabrian Arc region, South Italy - *Phys. Earth Planet. Int.*, 147, 4, 297-314.
- Bazzarelli V. (1984). La sequenza sismica del Febbraio 1980 nell'Alta Valle del Crati – Tesi di Laurea in Sc. Natur. (rel.: I. Guerra), Univ. della Calabria.
- Gervasi A., Bruno G., Guerra I. & Moretti A., (1997). La sequenza sismica dell'aprile 1996 al bordo settentrionale della Sila – Atti 16° Conv. Ann. Gr. Naz. Geofis. Terra Solida, CNR, Roma.
- Guerra I., Harabaglia P., Cosentino M.T. & Gervasi A. (2002). La sequenza sismica del 18 ottobre 2001 nell'Alta Valle del Savuto (Calabria): un caso di migrazione di stress - Atti 21° Conv. Ann. Gr. Naz. Geofis. Terra Solida, CNR, Roma.
- Guerra I., Harabaglia P., Gervasi A. & Rosa A.B. (2005). The 1998-1999 Pollino (Southern Apennines, Italy) seismic crisis: tomography of a sequence - *Ann. Geophys.*, 48, 6, 995-1007.
- Kim W. Y., Guerra I., Armbruster J., Gervasi A., Seeber L. e P. Harabaglia (2005). Seismicity in the Calabrian Forearc: Is it consistent with ongoing subduction? – AGU, Fall meeting, S. Francisco, 2005.
- Neri G., Barbèri G., Orecchio B. & Mostaccio A. (2003). Seismic strain and seismogenic stress regime in the crust of the southern Tyrrhenian region. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 213, 97-112.
- Raffaele R., Langer H., Gresta S. & Moia F., (2006). Tomographic inversion of local earthquake data from the Gioia Tauro basin (southwestern Calabria, Italy). *Geophys. J. Int.*, 165, 167-179.
- Soloviev S.L., Kuzin I.P., Kovachev S.A., Ferri M., Guerra I. & Luongo G. (1990). Microearthquakes in the Southern Tyrrhenian Sea as revealed by joint land and sea bottom seismographs - *Marine Geology*, 94, p. 131-146.

BROADBAND GROUND MOTION SIMULATIONS IN THE MESSINA STRAIT AREA (SOUTHERN ITALY): APPRAISING STRONG MOTION VARIABILITY DUE TO COMPLEXITY IN SOURCE AND EARTH STRUCTURE

Walter Imperatori, P. Martin Mai

Institute of Geophysics (ETH), Zurich, Switzerland

Strong ground motion variability due to source complexity and heterogeneous Earth structure has been the subject of a large number of studies. As widely recognized, this variability is particularly evident in near-field ground motion complexity, but also present in high-frequency far-field recordings. To study more quantitatively the effects of source and medium complexity on near-field ground motions, we carry out a numerical experiment, considering physics-based earthquake rupture models and different 1D crustal velocity models. Focusing on the Messina Strait area, struck by a devastating large earthquake (M 7.1) one century ago, we calculate broadband (0-10 Hz) seismograms by combining full waveform low-frequency (0-3.5 Hz) synthetics and physics-based stochastic high-frequency seismograms [Mai and Olsen, 2008]. From recently published studies of the area, we select three representative crustal models and address the influence of Green's functions variability on ground-shaking levels. Simultaneously, we also consider physics-based source models using the pseudo-dynamic approximation to dynamic rupture [Guatteri et al., 2004]. This approach allows slip, rise-time and rupture velocity to vary over the fault plane consistent with rupture dynamics, incorporating also constraints on the hypocenter location [Mai et al., 2005]. We validate our simulations by comparing common ground motion parameters (peak ground displacement, peak ground velocity, peak ground acceleration and spectral acceleration) with the recent "next generation" (NGA) ground motion prediction equations. Our work furnishes realistic strong motion time series for future

earthquakes, adoptable for engineering design purposes, but highlights also their variability due to physics-based source characteristics and different crustal models.

References

- Guatteri M., Mai P.M., and Beroza G.C. (2004). A Pseudo-Dynamic Approximation to Dynamic Rupture Models for Strong Ground Motion Prediction, *Bull. Seis. Soc. Am.*, Vol. 94 (6), pp. 2051-2063.
- Mai P.M. and Olsen K.B. (2008). Broadband ground-motion simulations using finite-difference synthetics with local scattering operators, under revision for *Bull. Seis. Soc. Am.*
- Mai P.M., Spudich P., and Boatwright J. (2005). Hypocenter locations in finite-source rupture models, *Bull. Seis. Soc. Am.*, Vol 95 (3), 965-980.

RELAZIONI TRA FLUIDI CIRCOLANTI E TETTONICA ATTIVA NEL SETTORE MERIDIONALE DELL'ARCO CALABRO: UNO STRUMENTO PER LA VALUTAZIONE DEI PROCESSI SISMOGENETICI

Francesco Italiano, Pietro Bonfanti, Roberto Maugeri

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Palermo

Le metodologie di indagine geochemica applicate ad un'ampia porzione dell'Appennino meridionale, esteso dalla Calabria settentrionale ai Monti Nebrodi, nell'ambito del progetto INGV-DPC S2, hanno consentito di valutare le caratteristiche dei fluidi emessi in coincidenza di importanti lineamenti strutturali, permettendo di evidenziare le relazioni intercorrenti tra l'assetto tettonico e la genesi, la circolazione ed il comportamento dei fluidi circolanti.

L'area di studio rappresenta la porzione più meridionale dell'Arco Calabro, il cui stile deformativo dominante dal Pleistocene medio all'attuale, è caratterizzato da una estensione ESE-WNW.

Nella Sicilia nord-orientale, le faglie neotettoniche dislocano i livelli crostali più superficiali e si dispongono secondo direzioni preferenziali orientati circa NW-SE con meccanismi deformativi a componente trascorrente ed estensionale e N-S/NE-SO con meccanismi deformativi trascorrenti, a tratti con componente compressiva. Le strutture crostali radicate sono rappresentate dal sistema "Patti-Eolie", che si connette a terra con il sistema "Tindari-Letojanni" e dal "sistema di Messina". Il primo mostra, anche a livello sismologico, caratteri deformativi transtensivi; nel secondo sistema, caratterizzato da faglie a prevalente componente distensiva del rigetto la catena presenta un tasso di sollevamento recente non uniforme, con valori massimi lungo la costa messinese ionica e tassi minori lungo quella tirrenica.

L'esistenza di fenomeni attivi di sollevamento regionale è dimostrato da alcune evidenze, come la presenza di argille marine quaternarie affioranti diverse centinaia di metri al di sopra del livello del

mare nonché di piattaforme di abrasione tirreniane ben sviluppate ad una altitudine di circa 130 m. nei pressi di Taormina e sul versante calabrese dello stretto di Messina.

La struttura tettonica più importante che interseca il sistema Ibleo-Maltese è costituito dal sistema di faglie di Messina, orientato NNE-NNW. Il terremoto di Messina del 1908 è stato attribuito ad una "faglia cieca" nell'area di Messina.

Lungo le principali strutture tettoniche, sono presenti attività idrotermali e di degassamento note da tempi storici, che dal punto di vista geochemico mostrano caratteristiche molto diverse in funzione della loro ubicazione.

Attività di tipo idrotermale e di degassamento sono infatti note lungo il sistema "Patti-Eolie" nell'area compresa tra Capo Tindari e Capo Calavà.

Sono stati studiati i fluidi presenti (acque e gas) ipotizzando che la loro circolazione (e quindi la loro composizione) fosse condizionata in parte dall'assetto geolitologico dell'area e dall'altra dalle strutture tettoniche (attive o meno).

In generale, i gas emessi nel settore NE della Sicilia sono composti principalmente da CO₂ mentre quelli rilasciati in Calabria, pur essendo a CO₂ dominante, sono caratterizzati da un contenuto di CH₄ molto più alto. Una percentuale variabile di mixing N/CO₂ contraddistingue, infine, i gas disciolti nelle acque dei Monti Nebrodi. L'attività di tipo idrotermale e di degassamento che si esplica lungo il sistema "Patti-Eolie" nell'area compresa tra Capo Tindari e Capo Calavà, è caratterizzata dall'emissione di gas costituiti da una componente a CO₂ e che presentano un contributo di origine profonda di derivazione

da prodotti del mantello evidenziata dalla composizione isotopica dell'elio.

Sulla costa ionica lungo il “sistema di Messina”, nell'area di Ali Terme, si ripresentano gli stessi fenomeni, dove al termalismo delle acque è associato un diffuso degassamento dai suoli, anche in questo caso evidente lungo la fascia costiera e in ambiente sottomarino a bassa profondità, i cui gas sono costituiti da CO₂ come fase dominante, ma differiscono fortemente da quelli del sistema “Patti-Eolie” per una genesi diversa come mostrato dalla composizione isotopica dell'elio con valori essenzialmente radiogenici, cioè di produzione tipicamente crostale.

La maggior parte dei campioni provenienti dalla Calabria evidenzia, infine, un marcato contributo di elio di origine crostale.

Sebbene i campionamenti periodici non abbiano evidenziato sensibili variazioni temporali della composizione chimica ed isotopica dei fluidi, i risultati conseguiti ci hanno permesso di approfondire la conoscenza delle relazioni che legano i fluidi e le strutture tettoniche dell'area e di essere pronti ad identificare le eventuali modificazioni delle caratteristiche geochimiche che non siano legate ad influenze antropiche o meteorologiche.

Le informazioni fornite dalle misure di degassamento al suolo completano l'interessante quadro mostrando ampie anomalie di degassamento a scala regionale.

Per valutare l'attività di degassamento dai suoli riferibile alle strutture tettoniche, si è eseguito un primo rilievo a larga scala dei flussi di CO₂ e Radon.

Le misure di degassamento dai suoli sono state eseguite su circa 500 punti di misura nel settore nordorientale della Sicilia e su alcune aree della regione Calabrese (Crotonese, Piana di Gioia Tauro e versante calabro dello Stretto di Messina). I risultati mostrano l'esistenza di anomalie molto ampie di CO₂ e Rn, molti ordini di grandezza al di sopra dei valori normali. In particolare, oltre all'area di Ali Terme è stata identificata

un'area di degassamento anomalo nel settore NW dell'ipotetico piano di faglia responsabile del terremoto di Messina del 1908.

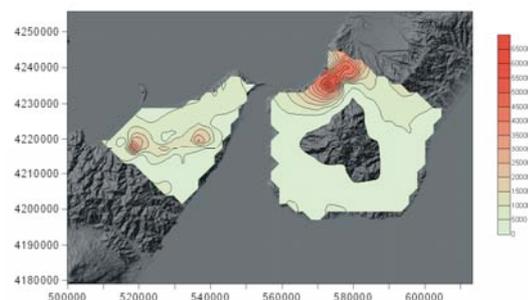


Figura 1. Curve di isoconcentrazione dinamica di CO₂ in ppm.

È stato inoltre possibile fornire una prima indicazione di massima sulla quantità di CO₂ che viene rilasciata giornalmente in atmosfera per le quattro aree studiate e che varia in un range di 1.2 – 11.1 x 10⁴ t/giorno. Infine, il degassamento di radon dai suoli riveste un particolare interesse per via degli effetti nocivi sulla salute umana. Le misure di attività di Radon effettuate hanno evidenziato livelli piuttosto elevati in tutti i punti di misura, all'interno di un range compreso tra 3000 and 30000 bq/m³ e con alcuni valori di picco ben oltre i 150000 bq/m³. Questo aspetto ha degli evidenti risvolti di protezione civile che andrebbero adeguatamente valutati.

In conclusione, i risultati acquisiti pongono le condizioni perché gli strumenti offerti dalla conoscenza dei fluidi circolanti in aree di faglia siano utili non solo alla individuazione di discontinuità ma anche alla valutazione della “attività” della struttura che, posta sotto stress, reagisce deformandosi e modificando la circolazione dei fluidi, come si è già osservato nell'area del confine Friuli-Slovenia ed in altre aree sismiche italiane (Umbria-Marche). Le evidenze acquisite da altre esperienze mostrano altresì che le modifiche appaiono sempre più rapide ed intense in prossimità di eventi di rottura.

DEGASSAMENTO DI RADON E MODIFICHE DEL DNA DELLA POPOLAZIONE SICILIANA: POSSIBILI RELAZIONI CON IL TERREMOTO DEL 1908

F. Italiano¹, P. Bonfanti¹, C. Ciaccio², M. Gesù³, G. Piazza⁴, C. Romano⁵, S. Schiavone⁵

¹Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia, Palermo

²Banca Cordone Ombelicale Sciacca

³Laboratori di Biologia Molecolare Bioscience Institute San Marin

⁴Scuola di Spec. Ematologia, UNIPA

⁵Carabinieri RIS, Messina

I risultati delle indagini condotte su base geochimica e genetica nell'area dello Stretto di Messina si incrociano proponendo uno scenario assolutamente nuovo su ciò che un terremoto può indurre anche come effetti sulla salute umana, con modifiche di tipo genetico. Le ricerche svolte nell'ambito del progetto INGV-Dipartimento Protezione Civile su "Valutazione del potenziale sismogenetico e probabilità dei forti terremoti in Italia", hanno mostrato che nell'area dello Stretto di Messina persistono anomalie di degassamento dai suoli di CO₂, metano e radon, diversi ordini di grandezza al di sopra dei valori normali, per esempio con concentrazioni dinamiche di Rn fino oltre 80.000 Bq/m³

La valutazione di un degassamento naturale di tale intensità in situazione di quiete sismica, ha assunto significato anche nella valutazione degli effetti del Rn sulla salute umana, che, sebbene conosciuti da tempo come seconda causa di tumore al polmone dopo il fumo, si mostrano sorprendentemente come i possibili protagonisti delle mutazioni genetiche riscontrate nella popolazione vivente intorno allo Stretto

Radon e DNA

La presenza di antigeni indicano di modifiche del DNA, ed uno in particolare denominato DR11 è presente con la frequenza più alta intorno a Messina e a Reggio (54% della popolazione) per poi diminuire verso Caltanissetta e Vibo Valentia (44%) con un minimo a Trapani (38%; figura 1). Una tale modifica del DNA è in contrasto con la Legge di Hardy –

Weimberg, secondo la quale in una popolazione in cui gli accoppiamenti avvengono a caso, e in assenza di pressioni evolutive e di forti migrazioni dovrebbe essere mantenuta una generale omogeneità. Questo tipo di distribuzione, molto eterogenea, ma non irregolare e disordinata, non può essere attribuita a fluttuazioni casuali o a deriva genetica, e neanche alle invasioni che nel passato queste regioni hanno subito da parte di popoli stranieri.



Figura 1. Distribuzione del gene DR11 nel DNA della popolazione siciliana e calabrese.

L'ordinata e graduale riduzione di frequenza del DR11, funzione dalla distanza dallo stretto, unitamente alle valutazioni basate sulla riduzione nel tempo della frequenza del DR11, portano a concentrare l'attenzione su un evento con epicentro nello stretto accaduto circa un secolo fa, identificabile come il terremoto del 1908.

Tenuto conto che non ci sono effetti diretti di un sisma in grado di interagire con la salute

umana (se non ferite, paura) si ipotizza che non sia direttamente il terremoto come tale la causa scatenante della mutazione genetica osservata ma qualcosa che ad un forte evento sismico possa essere legata.

Fluidi e terremoti

I risultati ottenuti in varie aree sismiche italiane (p.e. Umbria, Friuli, Appennino Tosco Emiliano) hanno mostrato che i fluidi cambiano composizione e intensità del rilascio durante l'evolversi della sismogenesi. Le modifiche si registrano prima, durante e dopo gli eventi sismici mostrando che oltre alla fratturazione anche le deformazioni della crosta provocano modificazioni nei fluidi circolanti. Una aumentata emissione di radon durante il processo che ha portato al terremoto del 1908 è assolutamente ipotizzabile in accordo con quanto osservato durante la crisi sismica dell'Umbria (1997-98) e con le misure effettuate nell'area dello Stretto (Figura 2). Una contaminazione da gas radon dovuta alla sismogenesi, che si è protratta per tempi probabilmente lunghi, prima durante e dopo il catastrofico evento, può essere la causa

delle mutazioni genetiche osservate, avendo indotto gli organismi a reagire per tutelarsi rispetto ad una pressione esterna pericolosa.

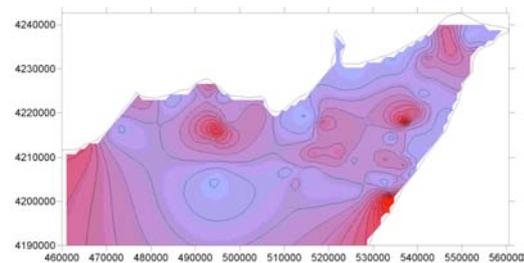


Figura 2. Mappa della distribuzione del radon. In rosso aree a maggiore intensità.

Un simile scenario, che vede i processi sismogenetici strettamente legati ai fluidi anche con attivi processi di degassamento, richiede ulteriori indagini che oltre a contribuire alla riduzione del rischio sismico permettono la conoscenza di quegli aspetti legati alle interazioni uomo-ambiente su medio-lungo termine anche come possibili responsabili di cambiamenti profondi come quelli identificati del DNA dei siciliani.

COMPRESSIONE E DISTENSIONE SISMOGENETICHE NELLA REGIONE SICILIANA: UNA DISCUSSIONE SU POSSIBILI MODELLI SISMOTETTONICI ED IMPLICAZIONI GEODINAMICHE

Giusy Lavecchia

*Laboratorio di Geodinamica e Sismogenesi c/o Dipartimento di Scienze della Terra
Università G. d'Annunzio, Chieti*

Il “rift calabro-siciliano”, una stretta fascia in distensione estesa dalla Calabria alla scarpata di Malta [Monaco & Tortorici, 2000; Neri et al., 2006] e la “fascia sud-tirrenica”, una zona a deformazione compressiva che si sviluppa in direzione E-W nell'*offshore* nord-siciliano [D'Agostino & Selvaggi, 2004; Billi et al., 2007], sono considerate strutture sismogenetiche di primaria importanza in molta della letteratura recente. Meno condivise sono, invece, la provincia sismotettonica compressiva della Sicilia meridionale e centrale, associata al sovrascorrimento basale del sistema appenninico-magrebide che emerge lungo il fronte di Sciacca-Gela-Catania e la provincia distensiva, che si sviluppa in direzione E-W nell'area dei Nebrodi-Madonie in Sicilia settentrionale [Lavecchia et al., 2007]. Questo dominio deformativo, caratterizzato da attività sismica con direzione di massima tensione circa N-S [Neri et al., 2006; Pondrelli et al., 2006], potrebbe rappresentare la continuazione verso ovest del rift calabro-peloritano, che, in tal caso, a sud dell'area di gap sismico nord-etneo, non proseguirebbe verso la scarpata di Malta.

La presenza di una zona sismotettonica distensiva nord-siciliana è interessante anche per quanto riguarda il significato e le eventuali relazioni tra la zona compressiva sud-tirrenica e quella compressiva associata al *Sicilian Basal Thrust* (SBT) che si sviluppa da est ad ovest attraverso l'intera Sicilia meridionale, con una tipica geometria arcuata convessa verso sud. In Sicilia orientale (area etnea e catanese), il ruolo sismogenetico a livello medio-crostante (10-25 km) del SBT è ben supportato dalla distribuzione ipocentrale e dalla cinematica

della sismicità di fondo [Scarfi et al., 2005; Neri et al., 2005; Lavecchia et al., 2007]. Inoltre, i dati di sismica a riflessione mostrano un *thrust* incipiente emergente nella zona catanese [Torelli et al., 1998], che trova anche riscontro nella presenza di strutture compressive di tetto tardo quaternarie affioranti nella piana catanese [Catalano et al., 2007]. Una di queste strutture, che accavalla depositi terrazzati datati 80 ka su alluvioni oloceniche è ben esposta nella periferia sud di Catania. Si tratta di una anticlinale decametrica a vergenza meridionale con cerniera in direzione E-W e con fianco meridionale fortemente inclinato e dislocato da piani di taglio a basso angolo immergenti verso NNE. All'attività del SBT possono essere associati rilevanti terremoti storici distruttivi quali quelli di Catania 1818, Mineo 1624, Belice 1968 [Lavecchia et al., 2007] e, probabilmente, quello della Sicilia Centrale 361.

Per quanto riguarda la fascia compressiva sud-tirrenica, benché la geometria superficiale sia ben definita, rimane in discussione in letteratura l'immersione verso nord o verso sud delle strutture sismogenetiche principali che ne regolano l'attività. Quasi tutti gli autori, invece, concordano in una generica attribuzione ai movimenti convergenti Africa-Nubia, caratterizzati da una direzione di massima compressione circa NW-SE e da una velocità dell'ordine di 4-5 mm/anno [D'Agostino & Selvaggi, 2004]. In realtà, la deformazione sismica associata è in grado di accomodare una piccolissima percentuale di tale deformazione (0,3 mm/anno), lasciando

quindi dei dubbi sul reale significato di questa zona.

Interessante osservare che le province compressive e distensive sopra-descritte si sviluppano con una configurazione geometrica, superficiale e profonda, che ne mette in luce la totale indipendenza dalla sismicità profonda dell'arco calabro e, quindi, da un eventuale *rollback* residuo della litosfera ionica in subduzione. A mio avviso, possono, invece, ben relazionarsi al progressivo *stretching* asimmetrico della litosfera tirrenica, che, nel resto della catena appenninica e a partire almeno dagli ultimi 15 Ma, ha determinato la coeva enucleazione di graben-rift interni e strutture plicative e sovrascorrimenti coassiali, più esterni. In conclusione, propongo le quattro seguenti ipotesi congiunte: 1- che il fronte attivo e sismogenetico della porzione siciliana della catena appenninico-magrebide sia tuttora rappresentato dal SBT; 2- che le due zone compressive (sud-tirrenica e siciliana meridionale) siano nettamente separate, in profondità ed in superficie, con l'interposizione della zona distensiva nord-siciliana; 3- che la coppia distensione-compressione osservata in Sicilia sia omogenea e contigua a quella ben nota presente nell'Appennino centro-settentrionale; 4- che la fascia compressiva sud-tirrenica possa essere dovuta a forze di "*rift push*" che si sviluppano nell'area di transizione laterale tra la litosfera tirrenica assottigliata e quella siciliana indeformata.

Bibliografia

- Billi A, Presti D., Faccenna C., Neri G. and Orecchio B. (2007). Seismotectonics of the Nubia plate compressive margin in the south Tyrrhenian region, Italy: Clues for subduction inception. *Journ. Geophys. Research* 112, B08302, doi:10.1029/2006jb004837.
- Catalano S., Torrisi S., De Guidi, G., Grasso G., Lanzafame G., Romagnoli G., Tortorici G. and Tortorici L. (2007). Sistema a pieghe tardo- quaternarie nell'area di Catania: un esempio di fronte orogenico attivo. *Rend. Soc. Geol. It.*, 4, 181-183.
- D'Agostino N. and Selvaggi G. (2004). Crustal motion along the Eurasia-Nubia plate boundary in the Calabrian Arc and Sicily and active extension in the Messina Straits from GPS measurements. *J. Geoph. Res.* 109, B11402, doi:10.1029/2004JB002998.
- Lavecchia G., Ferrarini F., de Nardis R., Visini F. and Barbano S. (2007). Active thrusting as a possible seismogenic source in Sicily (Southern Italy): Some insights from integrated structural-kinematic and seismological data. *Tectonophysics* 44, 145-167.
- Monaco C. and Tortorici L. (2000). Active faulting in the Calabrian arc and eastern Sicily. *Journal of Geodynamics*, 29, 407-424.
- Neri G., Barberi G., Oliva G. and Orecchio B. (2005). Spatial variation of seismogenic stress orientations in Sicily, South Italy. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 148, 175-191.
- Neri G., Oliva G., Orecchio B. and Presti D. (2006). A possible seismic gap within a highly seismogenic belt crossing Calabria and eastern Sicily. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 96, 1321-1331.
- Pondrelli S., Salimbeni S., Ekström G., Morelli A., Gasperini P. and Cannuccia G. (2006). The Italian CMT dataset from 1977 to the present. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 159, 286-303.
- Scarfi L., Langer H. and Scaltrito A. (2005). Relocation of microearthquake swarms in the Peloritani mountains - implications on the interpretation of seismotectonic patterns in NE Sicily, Italy. *Geophys. J. Int.*, 163, 225-237.
- Torelli, L., Grasso, M., Mazzoldi, G. and Peis, D. (1998). Plio-Quaternary tectonic evolution and structure of the Catania foredeep, the northern Hyblean Plateau and the Ionian shelf (SE Sicily). *Tectonophysics*, 298, 209-221.

ANALISI INTEGRATA DI DATI GEOLOGICI E GEOFISICI PER LA RICOSTRUZIONE DELL'EVOLUZIONE GEODINAMICA DELL'OROGENE SICILIANO

Fabio Lentini, Serafina Carbone, Giovanni Barreca

Dipartimento di Scienze Geologiche, Università di Catania

L'Orogene Appenninico-Maghrebide si estende dall'Appennino fino al Nord-Africa, attraverso l'Arco Calabro e la Sicilia ed è compreso tra il Bacino Tirrenico, un bacino di retroarco in espansione, ed il Bacino Ionico in consumazione. Esso è composto da tre sistemi a thrust, di cui quello più profondo appare più o meno radicato e forma il Sistema a thrust Esterno (ETS) [LENTINI et alii, 1996], gli altri due costituiscono due catene pellicolari sovrapposte al precedente e denominate Catena Appenninico-Maghrebide (AMC) e Catena Kabilo-Calabride (KCC). L'ETS in Sicilia è stato denominato Sistema Siculo-Pelagiano e si è originato a partire dal Tortoniano dalla progressiva deformazione del margine interno del settore flessurato dell'avampaese africano. L'AMC si è originata a partire dal Miocene inferiore da successioni sedimentarie sia bacinali che di piattaforma. La KCC è formata invece da falde di basamento con resti delle originarie coperture sedimentarie meso-cenozoiche, che rappresentano il risultato della delaminazione post-eocenica del margine europeo.

L'analisi integrata dei dati geologico-strutturali e di quelli geofisici disponibili grazie al progetto CROP-Mare, ha permesso la ricostruzione dei trend crostali profondi. Tra i risultati più salienti del progetto CROP-Mare emerge il riconoscimento sul margine tirrenico della Sicilia di una crosta continentale spessa 22 km, che rappresenta l'originario basamento delle piattaforme carbonatiche (Crosta Panormide). Altro dato di estrema importanza è l'aver riconosciuto la presenza di uno slab ionico su gran parte del margine tirrenico siciliano e campano, con molta probabilità inattivo, e di uno slab attivo in corrispondenza dell'Arco Calabro. I

dati indicano un'estensione della crosta continentale africana da sud a nord al disotto dell'isola e pertanto uno stato collisionale tra questa e la crosta panormide, con una quasi totale consumazione dello slab ionico ed il contestuale scollamento delle coperture sedimentarie paleo-ioniche (Unità imeresi, sicane e di M. Judica), che attualmente ricoprono tettonicamente l'ETS [LENTINI et alii, 2006]. Evidenza in superficie di tale stato collisionale è il Sistema Sud-Tirrenico, orientato NO-SE, che trasferisce in destra l'allineamento orogenico verso l'Arco Calabro, dove è riconoscibile uno slab attivo al disotto del segmento Calabria meridionale – Peloritani. Tale sistema, ben evidente lungo il margine meridionale tirrenico, si estende anche nell'entroterra siciliano. Ad esso si associano altri antitetici orientati NE-SW a componente sinistra, strutture estensionali ad andamento meridiano e sistemi di thrust sud-vergenti. Tutti questi elementi sono considerati coevi e compatibili con un unico quadro cinematico.

La geologia di superficie ha consentito di ricostruire schemi paleotettonici, giungendo all'attuale quadro cinematico.

L'assetto paleogeografico e gli spessori crostali hanno decisamente condizionato la evoluzione geodinamica dell'orogene. I settori a crosta oceanica sono stati in gran parte subdotti e le relative coperture sedimentarie costituiscono oggi un "roof thrust system" interamente sovrascorso sui margini dell'avampaese afro-adriatico, a loro volta tardivamente deformati in contemporanea con l'apertura del Bacino Tirrenico. I dati geologici e geofisici oggi ci permettono di ricostruire tre fasi orogeniche con i relativi processi di subduzione dal Cretaceo superiore al Quaternario [LENTINI et alii, 2006].

La fase convergente Eo-Alpina (Cretaceo superiore-Eocene) è riconoscibile in Calabria settentrionale, nei profili del CROP-Mare tra la Sicilia e la Sardegna, ed in Corsica quali elementi di una medesima catena, oggi dispersi a causa dell'apertura tirrenica. La Fase Balearica (Oligocene-Burdigaliano), caratterizzata dalla rotazione antioraria del Blocco Sardo-Corso, dall'apertura del Bacino di retroarco balearico, dalla subduzione dei resti dell'originaria Tetide Alpina, produce un arco orogenico, che termina con uno stato collisionale tra il margine europeo ed il blocco panormide. A partire da questo momento inizia la Fase Tirrenica e la subduzione si sposta al margine esterno del Blocco Panormide. Infatti dal Miocene medio le coperture carbonatiche panormidi, insieme alle unità alpino-tetidee, già in precedenza impilate, si riversano sopra le unità ioniche. Con la consumazione dei settori a crosta oceanica ionica, le coperture bacinali ivi ospitate, scollate, vanno a ricoprire i margini dell'avampaese. La chiusura dei settori ionici a nord e a sud porta ad un nuovo stato collisionale tra la Crosta Panormide e quella africana a sud, mentre in Calabria meridionale ed in Sicilia nord-orientale, i fenomeni di convergenza non sono inibiti anche a causa dell'arretramento flessurale dello slab ionico. La deformazione investe il margine della placca africana e si origina l'ETS in contemporanea con l'apertura tirrenica.

Ciò che risulta molto più chiaro sono i rapporti tra le strutture superficiali e quelle profonde: in particolare i meccanismi di deformazione delle unità tettoniche dell'AMC orogenicamente trasportate al disopra del Sistema a thrust Siculo-Pelagiano e gli "adeguamenti" ai movimenti di quest'ultimo. Appare evidente che nessuna indagine a carattere vulcanologico o sismologico, può prescindere dalla conoscenza delle strutture e dei rapporti dei sistemi a thrust in gran parte sepolti.

Il quadro strutturale attuale della Sicilia orientale è anch'esso strettamente condizionato dagli spessori crostali e dall'eredità della configurazione paleogeografica meso-cenozoica, ma tuttavia alcuni aspetti risultano ancora poco chiari. Il

margine ionico dell'avampaese ibleo, per esempio, corrisponde certamente al limite tra la crosta continentale africana e quella oceanica del Bacino Ionico, ma non altrettanto chiaro risulta ancor oggi il ruolo della Scarpata Ibleo-Maltese, che, come è noto, mostra un prolungamento lungo il versante orientale dell'Etna. Pur rappresentando un importantissimo elemento strutturale, la scarpata non mostra sempre uno sviluppo continuo, anche se verso nord sembrerebbe proseguire fino alle isole Eolie. Ancor meno chiara è la connessione di questa struttura con il sistema Messina-Etna, come dimostrerebbero le linee sismiche nell'offshore ionico, che mettono in evidenza una notevole differenza tra i due segmenti della costa ionica siciliana.

Infine, è ancora aperto da tempo il dibattito sull'interpretazione geologica e geofisica dello Stretto di Messina e sulla individuazione della struttura sismogenetica che sarebbe responsabile del terremoto del 1908. È stato sostenuto in varie occasioni dagli Autori di questa nota che soltanto un accurato ed esauriente studio a carattere multidisciplinare può far luce su questo argomento, ancor più in presenza di progetti che riguardano infrastrutture di notevole importanza, come quella di un attraversamento stabile dello Stretto, ovvero anche semplicemente nelle scelte di programmazione di un territorio così complesso e densamente urbanizzato.

Bibliografia

- Lentini F., Carbone S. & Guarnieri P. (2006). Collisional and post-collisional tectonics of the Apenninic-Maghrebian Orogen (Southern Italy). In: Y. DILEK & S. PAVLIDES (Eds.), "Post-collisional Tectonics and Magmatism in the Eastern Mediterranean Region". Geological Society of America, Special Paper 409, 57-81.
- Lentini F., Catalano S. & Carbone S. (1996). The External Thrust System in Southern Italy: a target for petroleum exploration. *Petroleum Geoscience*, 2, 333-342.

LE CATASTROFI TRA INFORMAZIONE E RAPPRESENTAZIONE

Francesca Romana Lugeri, Alberto Cardillo

ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Il termine «catastrofe» non ha, nel suo significato etimologico, connotazioni negative.

Un mutamento di alcune condizioni, in una situazione di equilibrio precario, può scatenare mutamenti profondi e improvvisi, rivolgenti di proporzioni eccezionali: le catastrofi.

Per l'umanità, la catastrofe assume un significato legato più alle conseguenze che essa determina che alla sua essenza, alle sue cause, alle sue modalità di manifestazione: gli eventi naturali producono effetti disastrosi, come risultante dell'interazione tra fenomeni naturali e opere antropiche.

Maggiore è l'aumento della popolazione umana sulla Terra (con la ricerca continua di nuovi spazi che porta l'uomo a vivere e costruire in zone a rischio) maggiore è la possibilità che le catastrofi avvengano.

Il grande problema degli scienziati (e di tutta l'umanità) è quello della previsione, della prevenzione, della gestione dell'emergenza, della mitigazione degli effetti.

La grande complessità che caratterizza gli aspetti del drammatico rapporto uomo-catastrofe, vede un punto critico nel campo dell'informazione/divulgazione.

La comunicazione deve fare i conti con la difficile integrazione di informazione e rappresentazione, risolvendo il problema della comprensibilità dei codici scientifici.

La rappresentazione è un suggestivo strumento di cui la società si avvale per rapportarsi alle catastrofi, evocarle ed esorcizzarle: Le potenziali vittime delle catastrofi diventano spettatori: rappresentare favorisce il distanziamento tra accadimenti e persone. A questo proposito il ricorso al mito è ancora oggi -nonostante i progressi scientifici e tecnologici- di largo utilizzo. L'assenza di una "cultura del rischio" si avverte, in modo eclatante, nella comunicazione.

Un'appropriata divulgazione didattica costituirebbe un potente strumento per attivare processi cognitivi orientati alla conoscenza consapevole, patrimonio prezioso in situazioni di emergenza.

L'approccio più equilibrato al problema vede un punto focale nell'informazione corretta: modulata in funzione del target, non deve semplificare la complessità ma renderla comprensibile, indirizzando atteggiamenti ed azioni all'educazione, alla responsabilità, alla prevenzione.



Figura 1. Tremuoto accaduto nella Calabria e a Messina all' 5 febbraio 1783 (www.geocities.com).

Bibliografia

- Beck. U. (2000). *La società del rischio*, Roma, Carocci.
- Blumenberg H. (1999). *Mito, metafora, modernità*, a cura di A. Borsari, Bologna, il Mulino.
- Grignani, M. (1999). *Il terremoto invisibile. Le reazioni psicologiche alla catastrofe. Studi e informazioni/ a.XI-XII, nn.31-32, 1998-1999- Irres.*
- Tonietti T. (1983). *Catastrofi. Una controversia scientifica*. Bari, Dedalo.
- Thompson J. B. (1995). *Mezzi di comunicazione e modernità*. Bologna, il Mulino.

ITACA: THE ITALIAN STRONG MOTION DATA BASE

Lucia Luzi¹, Fabio Sabetta², Francesca Pacor¹, Roberto Paolucci³

¹*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Milano-Pavia*

²*Dipartimento di Protezione Civile*

³*Politecnico di Milano - Department of Structural Engineering*

A new Italian strong-motion data base (ITACA) was created during the past agreement (2004-2006, S6 project) between Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia and Dipartimento della Protezione Civile (DPC, Italian civil protection).

The aim of the project was the collection, homogenization and distribution of strong motion data acquired in the time span 1972-2004 in Italy by different institutions, namely Ente Nazionale per l'Energia Elettrica (ENEL, Italian electricity company), Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente (ENEA, Italian energy and environment organization) and DPC with different purposes, such as permanent strong motion monitoring and temporary monitoring during seismic sequences or before permanent installation.

At the present time the data base contains 2182 three component waveforms generated by 1004 earthquakes with a maximum moment magnitude of 6.9 (1980 Irpinia earthquake) and can be accessed on-line at the site <http://itaca.mi.ingv.it>, where a wide range of search tools enables the user to interactively retrieve events, recording stations and waveforms with particular characteristics, whose parameters can be specified, as needed, through user friendly interfaces. A range of display options allows users to view data in different contexts, extract and download time series and spectral data.

Many issues remained open after the completion of the project, especially the characterization of the recording sites. For this purpose a new project was funded in the framework of the 2007-2009 DPC-INGV agreement (project S4).

The following activities are foreseen, in order to improve the quality of the information:

- addition of the most recent accelerometric records (2004-2007) from the National Accelerometer Network, operated by DPC;
- collection of records from other Italian accelerometric networks;
- completion of the set of monographs for the geological/geotechnical description of recording sites;
- increasing the number of stations with a quantitative description of the shear wave velocity profile, using low-cost geophysical investigations, mainly based on active or passive surface waves measurements;
- implementation of a web-GIS interface, allowing the interactive exploration of geographical data and of the related attributes.

This talk illustrates the characteristics of the database and the internet site facilities.

CRUSTAL MOTION ALONG THE CALABRO-PELORITAN ARC AS IMAGED BY TWELVE YEARS OF MEASUREMENTS ON A DENSE GPS NETWORK

Mario Mattia^{1,2}, Valentina Bruno^{1,2}, Mimmo Palano¹, Flavio Cannavò¹

¹*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Catania*

²*Università degli Studi di Catania, Dipartimento di Geologia e Geofisica*

In this work, we analyzed periodical and continuous GPS data collected between 1996.00 and 2008.21 on three geodetic networks installed both on Peloritani Mts., on Aeolian Islands and across the Messina Strait, in order to obtain a detailed spatial resolution of the ongoing crustal deformation.

All data have been processed together with those coming from 9 IGS stations (AJAC, CAGL, GRAS, GRAZ, LAMP, MATE, MEDI, NOT1 and NOTO), as daily global solutions using the GAMIT/GLOBK software [Herring et al., 2006a,b] with IGS precise ephemerides and Earth orientation parameters from the International Earth Rotation Service. In the next step, the GAMIT “h-files” loosely-constrained were combined, on a daily basis, by using the GLOBK Kalman filter with regional (IGS1, IGS2, IGS3, IGS4 and EURA) solutions provided by the SOPAC, in order to create a daily unconstrained combined network solution. By using the GLORG module of GLOBK [Herring et al., 2006b] the solutions were transformed into the ITRF2005 reference frame and then rotated into a fixed Eurasian frame [Altamimi et al., 2007].

In the following we present and discuss mayor results, in terms of i) velocity field (computed in an Eurasian reference frame; Fig. 1) and ii) strain-rate field (Fig. 2) of the investigated area.

A striking aspect of the ground deformation pattern is a marked decrease of velocity values from northern Sicily to the Aeolian Islands. In particular, the velocity values pass from ~7.5 mm/yr on the northern part of Sicily to ~10.5 mm/yr on the southern part of Vulcano Island, to ~5.4 mm/yr on the central part of Lipari Island, to ~2.9 mm/yr on Stromboli Island. This pattern, better

evidenced along a c.a. N-S profile shows: 1) an extensional field between the northern part of Sicily and southern part of Vulcano Island, 2) a sharp compressional field inside the Lipari-Vulcano complex and 3) a slight compressional field between Lipari and Stromboli islands. In addition, on northern Sicily and southern Calabria, from the west to the east the velocity field is characterized by a progressive rotation from an azimuth of ~N15°W to an azimuth of ~N15°E. This aspect is coupled with a slight decreasing of velocity values from west to eastward direction. Along the Vulcano - Lipari - Stromboli axis, the velocity field is characterized by a rotation from an azimuth of ~N10°E on Vulcano and Lipari islands to an azimuth of ~N12°E on Stromboli Island. This GPS velocity field indicates that part of the N-S regional compression is localized within a ~20 km-wide zone with the buttressing of Vulcano and Lipari islands.

Taking into account the network geometry and the estimated velocity at each site we calculated the horizontal strain-rate field. We have applied the method described in [Haines and Holt, 1993], adopting a spherical geometry, considered expressed in terms of the rotation function $W(r)$ by using bi-cubic Bessel interpolation on a curvilinear grid [Haines et al., 1998]. Following this method, we defined a curvilinear grid with variable knot point spacing, in order to calculate smoothed strain rates in areas with few stations and concentrated strain rates where the distribution of GPS stations is dense.

The dilatation strain-rate pattern is dominated by a clear compression of about 0.65 μ strain/yr on a small area located between the Vulcano and Lipari islands. A compression of about 0.1 μ strain/yr can be

recognized also between Stromboli and Lipari islands. Across the Nebrodi-Peloritani and the Messina Strait areas the dilatation strain pattern is positive. The areas having maximum values of positive dilatation strain-rate (about 0.15 $\mu\text{strain/yr}$) are localized along the two main active fault systems cutting the investigated area: the Messina Strait fault system and the Aeolian-Tindari-Letojanni fault system.

Bibliografia

- Altamimi, Z., Collilieux, X., Legrand, J., Garayt, B., Boucher, C. (2007). ITRF2005: A new release of the International Terrestrial Reference Frame based on time series of station positions and Earth Orientation Parameters. *J. Geophys. Res.*, 112, B09401, doi:10.1029/2007JB004949.
- Haines, A. J., Holt W.E. (1993). A procedure for obtaining the complete horizontal motions within zones of distributed deformation from the inversion of strain rate data. *J. Geophys. Res.* 98: 12,057-12,082.
- Haines, A. J., Jackson A., Holt, W.E., Agnew D. C. (1998). Representing distributed deformation by continuous velocity fields. *Sci. Rept.* 98/5, Inst. of Geol. and Nucl. Sci., Wellington, New Zeland.
- Herring, T.A., King, R.W., McKlusky, S.C. (2006a). *GAMIT reference manual: GPS Analysis at MIT, Version 10.3*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, M.A..
- Herring, T.A., King, R.W., McKlusky, S.C. (2006a). *GLOBK reference manual: Global Kalman filter VLBI and GPS Analysis Program, Version 10.3*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.

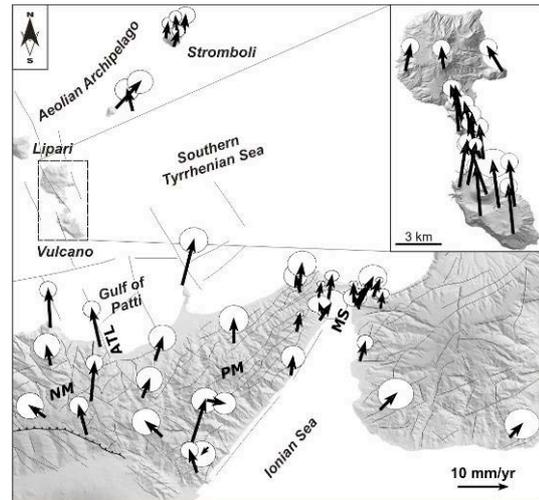


Figure 1. Simplified tectonic map of north-eastern Sicily and southern Calabria. ATL, Aeolian-Tindari-Letojanni fault system; MS, Messina Strait; PM, Peloritani Mts.; NM, Nebrodi Mts.. Inset shows a detailed zoom of the dense Lipari-Vulcano network.

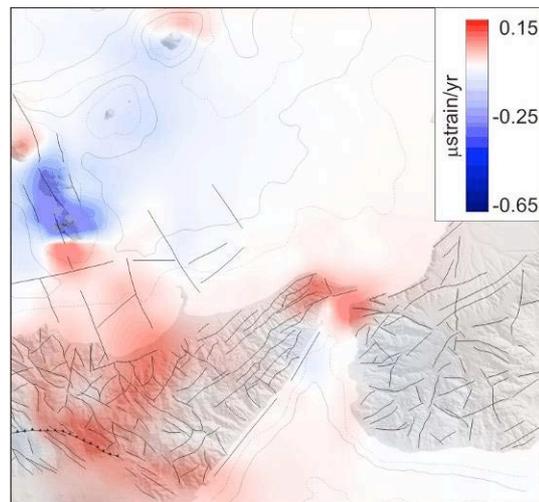


Figure 2. Dilatation strain-rate map.

LA PERICOLOSITÀ SISMICA IN ITALIA E NELL'AREA DELLO STRETTO DI MESSINA

Carlo Meletti, Massimiliano Stucchi

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Milano-Pavia

Le stime probabilistiche della pericolosità sismica sono alla base di qualsiasi politica di prevenzione dei danni da terremoto, sia perché utilizzate per definire le aree prioritarie per interventi di riduzione del rischio sismico, sia perché su di esse si basa la normativa tecnica per le costruzioni. Eppure, nonostante la loro importanza, non esiste una procedura standard universalmente riconosciuta per definire con precisione la pericolosità sismica di un'area. Non solo, non esiste neanche una procedura condivisa per valutare quanto una stima sia affidabile e precisa.

Questa premessa serve a spiegare come mai ogni volta che viene realizzata una nuova mappa di pericolosità sismica si apre all'interno della comunità scientifica e tra gli utilizzatori di queste stime un'ampia discussione che riguarda la procedura seguita, i dati di base utilizzati e il risultato stesso: chi esegue la valutazione compie scelte che sono dettate dalla conoscenza di tutti i dati disponibili, dal tipo di approccio che viene seguito, in definitiva dalla propria esperienza professionale, secondo quello che viene chiamato "giudizio esperto". Chi è chiamato a valutare o a utilizzare i risultati dell'intero processo non necessariamente condivide le scelte soggettive che sono state operate e le confuta nell'ambito della normale dialettica che vige nell'ambiente scientifico. Se a questo si aggiunge che non esiste la possibilità di valutare in maniera esatta se una mappa è corretta o meno, la discussione è destinata a non terminare mai.

Anche nel caso del modello di pericolosità sismica realizzato da INGV per la Commissione Grandi Rischi del Dipartimento per la Protezione Civile nel 2004 [Gruppo di Lavoro MPS 2004], recepito quale riferimento per la pericolosità sismica in Italia dall'Ordinanza PCM 3519/2006 e all'inizio di questo anno

utilizzato dalle Norme Tecniche per le Costruzioni per la definizione dell'azione sismica, c'è stata una vasta discussione, con commenti e critiche da parte di molti esperti, sia del mondo della ricerca sia del mondo professionale dei progettisti.

Per la propria natura (la stima presenta in termini probabilistici la possibilità che si verifichi un certo livello di scuotimento nei prossimi anni), non è detto che una valutazione sia errata se quello scuotimento non si verifica realmente. Al fine di consentire a chiunque di esaminare il processo logico e di calcolo che ha portato alla realizzazione del modello di pericolosità sismica, sia durante la fase di realizzazione della mappa MPS04 che al termine della stessa, è stato reso pubblico attraverso un sito web dedicato [<http://zonesismiche.mi.ingv.it>] tutto il materiale utilizzato nel corso corredato dalla descrizione estesa di tutta la procedura seguita.

Per ottenere un modello di pericolosità affidabile e accurato sono stati elaborati: una versione aggiornata del catalogo parametri dei terremoti italiani (CPTI04), esteso temporalmente fino al 2002 e con la revisione completa di tutta la porzione 1981-2002; una nuova zonazione sismogenetica (ZS9), vale a dire il modello delle zone sorgente che è alla base della descrizione della sismicità in termini di tassi di occorrenza [Meletti et al. 2008]; nuove stime di completezza del catalogo dei terremoti secondo due approcci alternativi. Sono questi elementi che influenzano in maniera talora decisiva le stime che si ottengono e pertanto la loro definizione è un elemento critico dell'intero processo logico; la zonazione sismogenetica, per esempio, è il risultato finale di una lunga fase di elaborazione di una mole impressionante di dati geologici e sismici ed è forzatamente un modello che

sintetizza le conoscenze sulle strutture sismogenetiche e sul loro comportamento cinematico secondo una serie di assunzioni che potrebbero essere non universalmente accettate. Uno dei problemi maggiori a cui la zonazione sismogenetica deve dare una risposta è il seguente: le aree che dal punto di vista sismotettonico sono sede di strutture sismogenetiche importanti ma per le quali in catalogo non si ha una sismicità significativa (il catalogo copre un intervallo di poco più di 1000 anni, inferiore a quello che è il periodo di ritorno medio delle faglie attive in Italia) sono aree a pericolosità sismica elevata o no? Per realizzare il modello di pericolosità sono state compiute alcune scelte che considerano queste aree tra quelle dove un terremoto di grande energia è probabile in un prossimo futuro, più che in aree dove un forte terremoto è avvenuto negli ultimi 100 anni.

La mappa ottenuta fornisce valutazioni che cercano di essere il più possibile verosimili, che siano affidabili a scala nazionale e che non mostrino situazioni di apparente contraddizione con gli "osservabili" a nostra disposizione.

In questo quadro l'area dello stretto di Messina è comunque una delle aree con la pericolosità sismica più elevata in Italia. Le strutture geologiche presenti nell'area e la sua sismicità storica contribuiscono alla definizione di un quadro così drammatico, dal quale ci si può difendere solo con una politica di prevenzione attenta e adeguata. La

descrizione puntuale e completa della pericolosità sismica è uno strumento di analisi fondamentale che viene messo a disposizione dell'intera comunità nazionale. Dal progetto MPS04 e dalla sua continuazione nel Progetto Ingv-Dpc S1 [<http://esse1.mi.ingv.it>] si hanno oggi a disposizione per qualsiasi sito in Italia oltre 2000 parametri, in termini di PGA e di accelerazioni spettrali per 9 diversi periodi di ritorno, per un totale di oltre 35 milioni di dati che costituiscono il database della pericolosità sismica in Italia.

Sarà infine valutato come si è evoluta nel tempo la conoscenza della pericolosità sismica di questa area e l'impatto della stessa sulla valutazione dell'azione sismica prevista dalla normativa tecnica.

Bibliografia

- Gruppo di lavoro MPS (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp + 5 allegati.
- Meletti C., Galadini F., Valensise G., Stucchi M., Basili R., Barba S., Vannucci G. e Boschi E. (2008). A seismic source model for the seismic hazard assessment of the Italian territory. *Tectonophysics*, 450(1), 85-108. DOI:10.1016/j.tecto.2008.01.003.

MORPHOTECTONIC FEATURES OF THE MESSINA STRAITS: NEW EVIDENCE FROM MARINE GEOLOGICAL DATA

C. Monaco¹, F. Antonioli², M. Badalini³, L. Ferranti⁴, D. Morelli⁵, R. Tonielli⁶, L. Tortorici¹

¹*Dipartimento di Scienze Geologiche, Università di Catania*

²*ENEA, Casaccia, Roma;*

³*Snamprogetti, Eni, Fano*

⁴*Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Napoli*

⁵*Dipartimento di Scienze della Geologiche, Ambientali e Marine, Università di Trieste*

⁶*Istituto per l'Ambiente Marino Costiero, CNR, Napoli*

Intense Quaternary extensional tectonics, coupled to a rapid surface uplift, are well documented in the Messina Straits (Fig. 1), a highly seismic area struck on December 28th, 1908 by a $M \sim 7$ earthquake and associated devastating tsunamis [Monaco and Tortorici, 2007 and references therein]. This structural depression is bounded by normal faults, marked by well preserved scarps, dissecting strongly uplifted Pleistocene marine terraces and Holocene shorelines [Valensise and Pantosti, 1992; Catalano et al., 2003; Ferranti et al., 2007; 2008a].

The WSW-ENE to SSW-NNE striking extensional basin of the Messina Strait formed as a consequence of the Pliocene-Lower Pleistocene axial collapse of the inner sectors of the Calabrian arc. The Upper Pliocene-Lower Pleistocene deposition was followed by uplift of the border fault footwalls and subsequent development of huge submarine fan-deltas (Messina gravels and sands). Since the Middle Pleistocene, the strong regional uplift caused the emersion of these fan-deltas. In the meantime, the interaction between the uplift process and sea-level fluctuations caused the formation of flights of marine terraces on the basin flanks. Uplift rates have been higher in the Calabrian sector where normal faults show evidence of recent activity. In particular, the MIS 5.5 terrace occurs at an elevation of 90 m in the Ganzirri area and 170 m near Villa San Giovanni. The recent faults in the area are arranged in two broad ~NW-SE arrays with opposing polarity separated by a NW-SE transfer zone following the curvature of the coastline. The fault system is expressed in the multibeam image by fresh rectilinear scarps (Fig. 1), locally coincident with reflector truncation up to the sea-bottom.

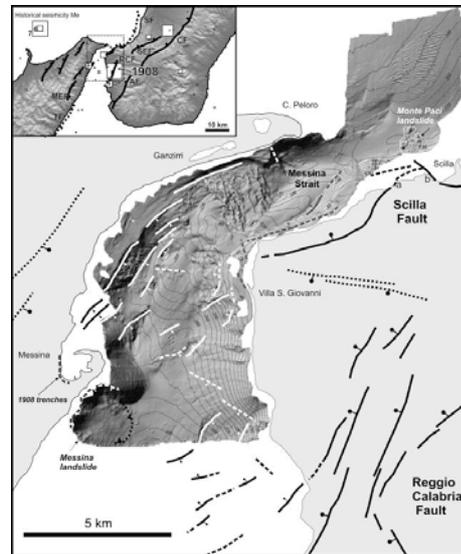


Figure 1. Morphostructural setting of the Messina Straits (after Ferranti et al., 2008b). Normal faults with balls on the downthrown side, dashed where inferred. Early Pleistocene faults are dotted. On the Calabrian side of the Strait, raised paleo-shorelines occur at the footwall of the Scilla Fault (sites a and b).

The southward extension of the fault array projects right across the hook-shaped Messina harbor. Offshore east and south of this location, no evidence of young normal faults was found. The western array is parallel to major faults mapped on-land, which terminate at the latitude of Messina. A sub-parallel system of high-angle faults with NW dip forms the eastern array on the Calabrian side of the Straits. In contrast with the narrow western array, the Calabrian array is broader. This is composed of two laterally offset systems, separated by a NW-SE striking transfer

zone which follows bathymetry and isochronopaches gradients. The northern system forms the offshore extension of the Scilla fault, and the southern system accommodates displacement in the hanging-wall of the Reggio Calabria fault. This southern system is wider (~5 km) than the northern one, and large offsets of tens of meters are observed in the Middle Pleistocene-Holocene sequence.

Different sources have been modeled for the 1908 earthquake but all agree with dominant normal faulting on planes trending nearly parallel to the Messina Straits, with different locations and dipping [v. Valensise and Pantosti, 1992; Amoruso et al., 2002 and references therein]. However, high-resolution swath bathymetry and multichannel sparker profiles show that through-going ~N-S striking faults with surface trace in the Straits are not present. Conversely, the youthfulness and fresh bathymetric expression of many of the faults in the eastern array indicates that these faults may be activated during large or moderate-sized earthquakes. These observations and the macroseismic picture strongly suggests that the 1908 event could be related to rupture along the NE trending, west-facing Reggio Calabria fault including its offshore propagation on the Straits of Messina [see also Bottari et al., 1986; Ghisetti, 1992; Tortorici et al., 1995]. As a matter of fact, the area of larger damage was located along the Calabrian side of the Straits where permanent subsidence and ground fractures were recorded, whereas the damages of the Sicilian side were mostly related to the occurrence of the destructive tsunamis. This interpretation is supported by the analysis of the focal mechanism that shows slip occurring along a NNE trending, west-facing nodal plane [Riuscetti and Schick, 1975] and is consistent with the regional structure of the Messina Straits area, characterized by master faults on the Calabrian side and associated antithetic faults on the Sicilian side [Ghisetti, 1992; Montenat et al., 1991; Tortorici et al., 1995], and with the differential uplift pattern [Catalano et al., 2003; Ferranti et al., 2007].

References

- Amoruso A., Crescentini, L. Scarpa R. (2002). Source parameters of the 1908 Messina Straits, Italy, earthquake from geodetic and seismic data. *J. Geophys. Res.*, 107 (B4), 10.1029/2001JB000434.
- Bottari A., Carapezza E., Carapezza M., Carveni P., Cefali F., Lo Giudice E., Pandolfo, C. (1986). The 1908 Messina earthquake in the regional geostructural framework. *J. Geodynamics*, 5, 275-302.
- Catalano S., De Guidi G., Monaco C., Tortorici G., Tortorici L. (2003). Long-term behaviour of the Late Quaternary normal faults in the Straits of Messina area (Calabrian Arc): structural and morphological constraints. *Quatern. Int.*, 101-102, 81-91.
- Ferranti L., Monaco C., Antonioli F., Maschio L., Kershaw S., Verrubbi V. (2007). The contribution of regional uplift and coseismic slip to the vertical crustal motion in the Messina Straits, Southern Italy: evidence from raised Late Holocene shorelines. *Journal of Geophysical Research*, 112, B06401, doi: 10.1029/2006JB004473.
- Ferranti L., Monaco C., Antonioli F., Maschio L., Morelli D. (2008a). Holocene activity of the Scilla fault, southern Calabria: insights from morpho-structural and marine geophysical data. *Tectonophysics*, 453, 74-93.
- Ferranti L., Monaco C., Morelli D., Tonielli R., Tortorici L., Badalini M. (2008b). Morphostructural setting and active faults in the Messina Strait: new evidence from marine geological data. *Rend. Online SGI*, 1, Note Brevi, www.socgeolit.it, 219-221.
- Ghisetti F. (1992). Fault parameters in the Messina Straits (southern Italy) and relations with the seismogenic source. *Tectonophysics*, 210, 117-133.
- Monaco C., Tortorici L. (2007). Active faulting and related tsunamis in eastern Sicily and southwestern Calabria. *Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata*, 48 (2), 163-184.
- Montenat C., Barrier P., Ott d'Estevou P. (1991). Some aspects of the recent tectonics in the Straits of Messina, Italy. *Tectonophysics*, 194, 203-215.
- Riuscetti M., Schick R. (1975). Earthquakes and tectonics in Southern Italy. *Boll. Geof. Teor. Appl.*, 17, 58-78.
- Tortorici L., Monaco C., Tansi C., Cocina O. (1995). Recent and active tectonics in the Calabrian Arc (Southern Italy). *Tectonophysics*, 243, 37-49.
- Valensise G., Pantosti D. (1992). A 125 Kyr-long geological record of seismic source repeatability: the Messina Straits (southern Italy) and the 1908 earthquake (Ms 7.1/2). *Terra Nova*, 4, 472-483.

“MESSINA 1908-2008” PROGETTO DI RICERCA INTEGRATO SULL’AREA CALABRO – PELORITANA: LA CAMPAGNA SISMICA

M. Moretti, *Land Experiment working group and ** Archive working group

*Land Experiment Working Group

A. Govoni^{1,3}, L. Abruzzese¹, G. Aiesi², P. Baccheschi¹, F. Criscuoli¹, G. D’Anna¹, R. D’Anna¹, G. De Luca¹, D. Franceschi¹, L. Giovani¹, F.P. Lucente¹, G. Mangano¹, M. Manni², L. Margheriti¹, M. Moretti¹, G. Passafiume¹, D. Patanè², P.R. Platania², S. Rapisarda², G. Selvaggi¹, L. Scuderi², S. Speciale¹, L. Zuccarello²

** Archive Working Group

A.G. Mandiello¹, A. Basili¹, A. Bono¹, C. Castellano¹, F. Criscuoli¹, S. Mazza¹, O. Torrisi²

¹Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Centro Nazionale Terremoti

²Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Catania

³Istituto Nazionale Oceanografia e Geofisica Sperimentale, Centro Ricerche Sismologiche, Udine

Nell’ambito del Progetto Messina 1908-2008, il Centro Nazionale Terremoti (CNT) in collaborazione con la Sezione di Catania, ha progettato e realizzato un esperimento di sismica passiva con l’obiettivo di raccogliere nuovi dati sismologici nell’area colpita dal terremoto del 1908, uno degli eventi più distruttivi della storia sismica recente italiana.



Figura 1. La rete sismica temporanea installata in occasione dell’esperimento “Messina 1908-2008”. I triangoli gialli rappresentano le stazioni temporanee, i cerchi rossi e verdi le stazioni della Rete Sismica Nazionale dell’INGV, i cerchi arancioni le stazioni della Rete Regionale Peloritana. Con le stelle bianche sono indicati i 5 OBS.

La rete sismica temporanea, attualmente costituita da 12 stazioni sismometriche *stand-alone* e da 5 *Ocean Bottom Seismometers (OBS)*, va ad integrare le reti permanenti, nazionale e regionale, già presenti nell’area oggetto di studio (Figura 1).

Disporre di una rete sismica più densa permette l’abbassamento della soglia di detezione dei terremoti e il miglioramento delle localizzazioni consentendo così di associare la micro-sismicità alle strutture sismo-genetiche. I nuovi dati, di alta qualità e dettaglio, forniranno quindi una migliore definizione dell’attività sismica locale aiutando in questo modo a comprendere come il processo di subduzione e le dinamiche superficiali interagiscano.

La campagna di acquisizione dati è iniziata ad ottobre 2007. Le stazioni temporanee sono state installate nell’area Calabro – Peloritana a cavallo dello Stretto di Messina coprendo un’area di circa 120 km di raggio con centro nella città di Messina. In alcune occasioni sono stati rioccupati dei siti dismessi della Rete Regionale Peloritana.

Occasionali perdite di dati sono avvenute a causa di atti di vandalismo e in seguito ad un incendio estivo.

Sono stati occupati in totale 16 siti, ma ad oggi ne sono attivi 12, costituiti da 8 *RefTek*

130 dotate di sensori *Lennartz LE-3D/5s*, 1 *Reftek 130* dotata di un sensore a larga banda *Trillium 40s* in registrazione continua a 125 sps e 3 *Taurus* equipaggiate con sensori *LennartzLE-3D/20s* con campionamento a 100 sps (Figura 2).

La fine dell'esperimento è prevista per dicembre 2009.

Nel frattempo, tra il 15 e il 18 luglio 2008, è avvenuta la deposizione di 5 *OBS/H* che permettono l'implementazione del sistema di osservazione sismica integrato terra-mare [D'Anna et al, 2008]. Uno degli *OBS/H* a nord dello stretto è stato deposto nuovamente il 2 agosto 2008 perché risalito dopo poche ore dalla prima deposizione a causa di un problema tecnico. Gli *OBS/H*, progettati e assemblati presso l'Osservatorio di Gibilmanna del CNT, hanno permesso all'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) di avviare il processo di estensione a mare della rete di monitoraggio sismico. Il loro ritiro è previsto entro la metà di novembre 2008.



Figura 2. Qualche esempio di stazione sismometrica temporanea.

Parallelamente è in fase di progettazione un archivio dati multidisciplinare integrato che costituirà il prototipo da utilizzare anche nei successivi esperimenti della Rete Sismica Mobile (co-finanziato dal Dipartimento della Protezione Civile, Progetto sismologico S5 *Test sites* della Convenzione DPC-INGV 2007-2009).

L'archivio dati nasce dall'esigenza di acquisire, gestire, aggiornare e distribuire facilmente il dato archiviato permettendo di favorire lo scambio, l'individuazione e l'analisi di base dei dati.

Ad oggi sono stati acquisiti 300 GB di dati ed è stato generato un primo *dataset*, da ottobre 2007 ad agosto 2008 in fase di analisi. Per l'analisi interattiva dei dati sono stati impiegati *SisPick! 2.0* [Bono, 2008] e *Locator*, due applicazioni progettate e realizzate da ricercatori e tecnologi dell'INGV per il sistema di monitoraggio della sala sismica nazionale ed implementate *ad hoc*, per lo studio di *dataset* integrati.

Ringraziamenti

Un doveroso ringraziamento a tutti coloro che hanno ospitato la strumentazione e ci hanno aiutato durante la campagna di acquisizione dati, in particolare ai Sindaci e ai funzionari degli Uffici Tecnici dei Comuni di Mistretta, San Fratello, Bova, Caronia, Gioiosa Marea e il personale della Diga del Menta (RC).

Bibliografia

- Bono A. (2008). *SisPick! 2.0* Sistema interattivo per l'interpretazione di segnali sismici - Manuale utente, Rapporti Tecnici INGV, 58.
- D'Anna G., G. Mangano, A. D'Alessandro, D'Anna, Passafiume G., S. Speciale S., Selvaggi G., Margheriti L., Patanè D., Luzio D., Calò M. (2008). "Messina 1908-2008" Progetto di ricerca integrato sull'area Calabro - peloritana: la campagna OBS/H, Convegno 1908 - 2008 Scienza e Società a 100 anni dal grande Terremoto, 10-12 Dicembre 2008, Reggio Calabria.

CONTRIBUTO SISMOLOGICO ALLA DEFINIZIONE DELL'ATTUALE STRUTTURA DELLO SLAB IN SUBDUZIONE IN ITALIA MERIDIONALE

Giancarlo Neri¹, Barbara Orecchio¹, Cristina Totaro¹, Giuseppe Falcone^{1,2}, Debora Presti¹

¹Università di Messina - Dipartimento Scienze della Terra

²Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Roma I

È stata effettuata un'inversione tomografica delle velocità sismiche nell'area del Tirreno meridionale, mirata a migliorare la definizione della struttura dello slab ionico in subduzione. Il dataset utilizzato è composto da 1360 terremoti subcrostali verificatisi tra il 1975 ed il 2006 in Italia Meridionale ed ampi settori offshore, selezionati in base al numero delle fasi P ed S disponibili. L'analisi è stata concepita in modo da perfezionare le conoscenze nell'intervallo di profondità 40-200km, di fondamentale importanza per la comprensione dello stato attuale del processo di subduzione e, al tempo stesso, non adeguatamente risolto dai precedenti studi tomografici condotti nella regione. La stabilità e la buona risoluzione del modello ottenuto sono state verificate sia variando il modello di velocità di partenza, sia eseguendo un certo numero di tests sintetici e, infine, utilizzando i consueti markers di risoluzione tomografici, tipo Spread Function e DWS.

Il modello tomografico ottenuto evidenzia che il fenomeno di subduzione nella regione dell'Arco Calabro-Peloritano è ancora in atto, seppur prossimo alla sua fase di esaurimento [Neri et al. 2008]. In particolare, lo slab litosferico ionico immerge in profondità con struttura continua in corrispondenza della Calabria Meridionale (CC' in Figura 1), mentre il distacco della porzione profonda dello slab dalla struttura più superficiale si è già realizzato in Calabria Settentrionale (EE', stessa figura) ed in Sicilia Nordorientale (AA'). La Calabria centrale (DD') e lo Stretto di Messina (BB') rappresentano zone di transizione tra il dominio centrale dell'Arco in cui la subduzione è ancora in atto (Calabria

meridionale) ed i margini dell'Arco stesso (Calabria settentrionale e Sicilia nordorientale) in corrispondenza dei quali il processo si è ormai esaurito.

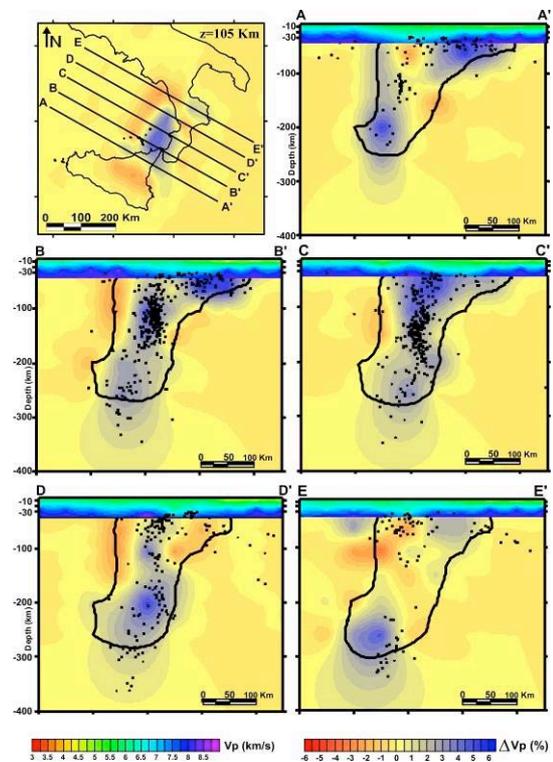


Figura 1. Risultati della tomografia sismica espressi in termini di variazione percentuale della velocità delle onde P rispetto al modello standard ak135 [Neri et al., 2008]. La mappa in alto a sinistra rappresenta i valori V_p calcolati alla profondità di 105 km, ed in essa l'alta velocità (colorazione blu) indica il settore in cui lo slab affonda in profondità con struttura continua. La mappa contiene anche l'indicazione dei profili delle sezioni verticali del modello tomografico riportate

nella stessa figura. Le sezioni verticali utilizzano il risultato della tomografia di Barberi et al. [2004] nei primi 40 km ed il modello tomografico di Neri et al. [2008] per profondità maggiori. La curva nera include il dominio di migliore risoluzione del modello (Spread Function < 3.5), i punti neri indicano i terremoti localizzati entro ± 25 km dal piano verticale.

Bibliografia

- Barberi G., Cosentino M.T., Gervasi A., Guerra I., Neri G. and Orecchio B. (2004). Crustal seismic tomography in the Calabrian Arc region, south Italy. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 147, pp. 297–314.
- Neri G., Orecchio B., Totaro C., Falcone G. and Presti D. (2008). Subduction beneath southern Italy close to die: results from seismic tomography. Accettato per la stampa su *Seismol. Res. Lett.*.

INDAGINI SISMOLOGICHE PER LA CARATTERIZZAZIONE DELLE STRUTTURE SISMOGENETICHE E LA VALUTAZIONE DELL'HAZARD SISMICO NELL'AREA DELLO STRETTO DI MESSINA E SETTORI LIMITROFI

Giancarlo Neri, Debora Presti

Università di Messina - Dipartimento Scienze della Terra

Il presente lavoro costituisce una sintesi dei principali risultati delle analisi condotte negli ultimi anni dal gruppo di sismologia del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Messina al fine di fornire elementi utili alla definizione e caratterizzazione di potenziali strutture sismogenetiche in Calabria, Sicilia e relativi settori off-shore. L'utilizzo dei più accurati modelli di velocità tridimensionali disponibili per l'area in esame [Barberi et al., 2004; Neri et al. 2008] e di tecniche di localizzazione avanzate [Presti et al., 2004 e 2008] ci hanno permesso di conseguire progressi significativi nel trattamento del dato sismico (Figura 1). Sono state inoltre effettuate analisi sull'accuratezza e l'attendibilità dei risultati ottenuti, in particolare nelle aree off-shore, caratterizzate da una non uniforme geometria di rete [Presti et al., 2008].

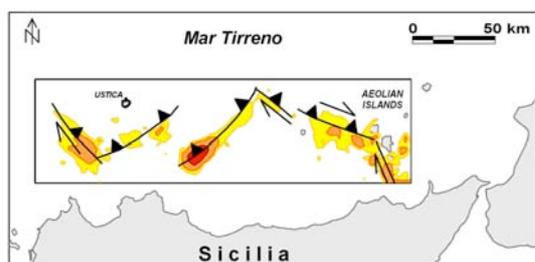


Figura 1. Localizzazione delle principali sequenze verificatesi nel margine compressivo sud-tirrenico dal 1994 ad oggi e modellazione dei segmenti di faglia sismogenetici [da Billi et al., 2007, modificato].

I risultati delle localizzazioni della sismicità recente sono stati posti in relazione con i

meccanismi focali disponibili in letteratura e calcolati dal nostro gruppo utilizzando metodologie basate sia sulle polarità dei primi impulsi della fase P [Reasenberg ed Oppenheimer, 1985] sia sull'inversione delle forme d'onda da registrazioni a larga banda [Zhao and Helmberger, 1994; Zhu and Helmberger, 1996].

Il confronto tra sismicità recente, sismicità storica ed altre informazioni di tipo geofisico e geologico disponibili per i settori in esame (Figura 2), ci ha permesso di fornire nuove informazioni sulla geometria e cinematica di numerose strutture sismogenetiche, di studiarne le eventuali modalità di interazione e le possibili cause di attivazione e stimarne il potenziale sismogenetico.

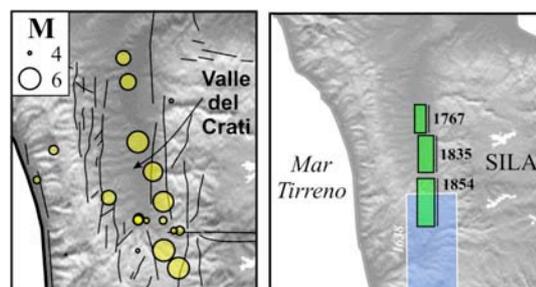


Figura 2. a) Principali lineamenti strutturali nella Valle del Crati (Calabria Centrale) ed epicentri dei terremoti $M > 4$ degli ultimi secoli (catalogo, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI/>); b) sorgenti sismogenetiche dei terremoti più forti (catalogo DISS, <http://www.ingv.it/DISS/>) [da Orecchio et al., 2007].

La caratterizzazione delle strutture sismogenetiche è alla base del procedimento di calcolo degli scuotimenti del terreno determinati dall'attivazione delle strutture

stesse. Vengono presentati alcuni esempi a tal riguardo (Figura 3).

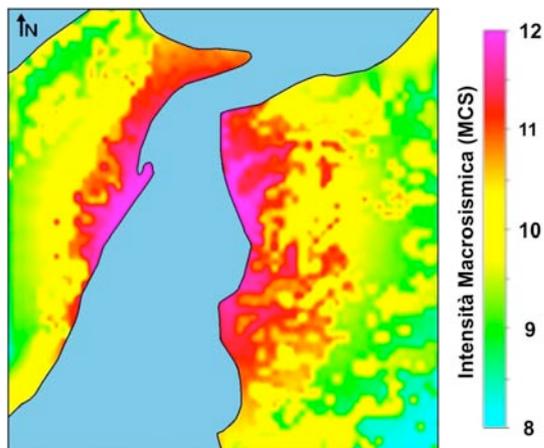


Figura 3. Mappa delle intensità macrosismiche attese dall'attivazione della sorgente proposta dal catalogo DISS per il terremoto del 1908.

Bibliografia

- Barberi G., Cosentino M.T., Gervasi A., Guerra I., Neri G. and Orecchio B. (2004). Crustal seismic tomography in the Calabrian Arc region, south Italy. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 147, pp. 297–314.
- Billi, A., Presti D., Faccenna C., Neri G., and Orecchio B. (2007). Seismotectonics of the Nubia plate compressive margin in the south-Tyrrhenian region, Italy: clues for subduction inception, *J. Geophys. Res.*, 112, B08302, doi:10.1029/2006JB004837.
- Neri G., Orecchio B., Totaro C., Falcone G. and Presti D. (2008). Subduction beneath southern Italy close to die: results from seismic tomography. *Seismol. Res. Lett.*, in press.
- Orecchio B., Gervasi A., Guerra I., Neri G., Presti D., (2007). Evidenze di interazione fra strutture longitudinali e trasversali dell'Arco Calabro dall'analisi dell'attività sismica. XXVI Convegno Nazionale del G.N.G.T.S., CNR, Roma, 13-15 Novembre.
- Presti, D., C. Troise, and G. De Natale (2004). Probabilistic location of seismic sequences in heterogeneous media, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 94, 2239-2253.
- 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.
- Reasenber, P. A., and D. Oppenheimer (1985). FPFIT, FPLOT and FPPAGE: Fortran computer programs for calculating and displaying earthquake fault-plane solutions, U.S. Geol. Surv. Open File Rep., 85-739.
- Zhao L.S. and Helmberger (1994). Source estimation from broad-band regional seismograms, *BSSA*, 85, 590-605.
- Zhu L., Helmberger D. (1996). Advancement in source estimation technique using broadband regional seismograms., *Bull. Seism. Soc. Amer.* 86, 1634-1641.

DINAMICHE LITOSFERICHE, STRESS SISMOGENETICI E SISMICITÀ NELL'AREA DELLO STRETTO DI MESSINA

Barbara Orecchio

Università di Messina - Dipartimento Scienze della Terra

L'area dello Stretto di Messina si colloca all'interno della struttura tettonica nota in letteratura come Arco Calabro-Peloritano, un settore che mostra gli effetti della compressione Africa-Europa e dell'estensione dovuta all'arretramento in dello slab ionico in subduzione sotto il Tirreno [Malinverno and Ryan, 1986; Faccenna et al., 2005]. La letteratura recente evidenzia un notevole interesse nello studio della subduzione ionica mirato proprio a definire lo stato attuale del processo ed i confini delle aree coinvolte da tale processo [Piromallo and Morelli, 2003; Spakman and Wortel, 2004; Cimini and Marchetti, 2006; Montuori et al., 2007; Chiarabba et al., 2008]. In particolare, i risultati di un recente studio di tomografia sismica da terremoti profondi [Neri et al., 2008b] mostrano che lo slab litosferico ionico immerge in profondità con struttura continua in corrispondenza della Calabria Meridionale mentre il distacco della porzione profonda dello slab dalla struttura più superficiale si è già realizzato in Calabria Settentrionale ed in Sicilia NordOrientale. Ciò implica che all'interno dell'Arco Calabro-Peloritano, l'area dello Stretto di Messina marca la transizione tra l'unico settore in cui il sistema di subduzione appare ancora continuo in profondità (Calabria Meridionale) ed il margine sud-occidentale del sistema stesso ormai in regime di collisione continentale (Sicilia centro-occidentale). Tale assetto geodinamico fornisce utili elementi di riferimento per la comprensione dei processi dinamici e cinematici che interessano le strutture più superficiali dell'intera regione e, specificatamente, le strutture crostali nell'area dello Stretto di Messina [Neri et al., 2008a].

In particolare, lo studio del regime di sforzo sismogenetico mostra come la progressiva

transizione dal settore calabro-meridionale, ancora interessato dalla subduzione, all'area siciliana ormai in regime di collisione continentale determini una variazione del regime di stress tettonico e sismogenetico a livello crostale, che passa da prevalentemente distensivo in Calabria Meridionale a prevalentemente compressivo in Sicilia (Figura 1). Tale ricostruzione che colloca lo Stretto di Messina in un contesto transizionale è in buon accordo con le soluzioni focali dei terremoti recenti le quali indicano la coesistenza in quest'area di meccanismi distensivi e trascorrenti.

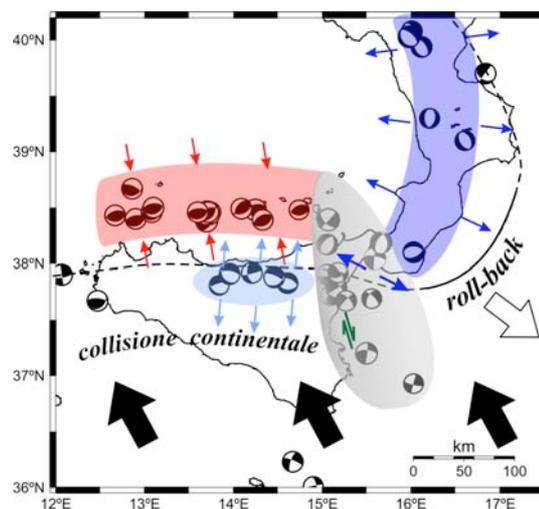


Figura 1. Effetti (in termini di meccanismi dei terremoti energeticamente più significativi) del regime eterogeneo di sforzi prodotto nell'intera regione dalla combinazione convergenza-rollback.

Le analisi condotte sul campo di stress e sulla sismicità dell'area permettono anche di fornire informazioni utili alla caratterizzazione della sorgente del terremoto del 1908, indicando il piano di faglia che

mostra un migliore accordo con il campo di stress locale.

Inoltre, smentendo una convinzione diffusa nella comunità scientifica a seguito dei livelli di sismicità molto bassi registrati a partire dall'entrata in funzione delle reti sismiche locali (fine anni '70), l'analisi condotta sui dati del catalogo CPTI per il periodo 1780-2002 evidenzia che l'area dello Stretto di Messina è tra le più attive sul territorio nazionale, sul medio termine, e tale conclusione vale anche escludendo le fasi sismiche più violente.

Bibliografia

- Chiarabba C., De Gori P., and Speranza F. (2008). The southern Tyrrhenian subduction zone: deep geometry, magmatism and Plio-Pleistocene evolution. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 268, pp. 408-423, doi: 10.1016/j.epsl.2008.01.036.
- Cimini G.B., and Marchetti A. (2006). Deep structure of peninsular Italy from seismic tomography and subcrustal seismicity. *Ann. Geophys.*, 49, 1, 331-345.
- Faccenna C., Civetta L., D'Antonio M., Funicello F., Margheriti L., and Piromallo C. (2005). Constraints on mantle circulation around the deforming Calabrian slab. *Geophys. Res. Lett.*, 32 (6), L06311.
- Lucente F.P., Margheriti L., Piromallo C., and Barruol G. (2006). Seismic anisotropy reveals the long route of the slab through the western-central Mediterranean mantle. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 241, 517-529.
- Malinverno A., and Ryan W.B.F. (1986). Extension in the Tyrrhenian sea and shortening in the Apennines as result of Arc migration driven by sinking of the lithosphere. *Tectonics*, 5, 227-245.
- Montuori C., Cimini G.B., and Favali P. (2007). Teleseismic tomography of the southern Tyrrhenian subduction zone: New results from seafloor and land recordings. *J. Geophys. Res.*, 112, B03311.
- Neri G., Orecchio B., and Presti D. (2008a). Sismicità, campo di sforzo e dinamiche litosferiche nell'area dello Stretto di Messina. In: *Il terremoto e il maremoto dello Stretto del 1908*, SGA-Storia Geofisica Ambiente srl, Bologna, in stampa.
- Neri G., Orecchio B., Totaro C., Falcone G. and Presti D. (2008b). Subduction beneath southern Italy close to die: results from seismic tomography. Accettato per la stampa su *Seismol. Res. Lett.*.
- Piromallo C., and Morelli A. (2003). P wave tomography of the mantle under the Alpine-Mediterranean area. *J. Geophys. Res.*, 108, B2, 2065, doi:10.1029/2002JB001757.
- Spakman W., and Wortel R. (2004). A tomographic view on Western Mediterranean Geodynamics. In: *The Transmed Atlas*, 31-52, Springer, New York.

VOLCANIC FEATURES OF THE PALINURO SEAMOUNT ENHANCED BY A NEW, HIGH RESOLUTION DIGITAL TERRAIN MODEL

Salvatore Passaro¹, Girolamo Milano², Mario Sprovieri¹,
Ennio Marsella¹, Stefano Ruggieri¹

¹*Istituto per l'Ambiente Marino Costiero (IAMC), CNR, Napoli*

²*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio Vesuviano*

The Palinuro Seamount (hereafter PS) is a volcanic edifice located in the Tyrrhenian Sea (Fig. 1), the small extensional back-arc

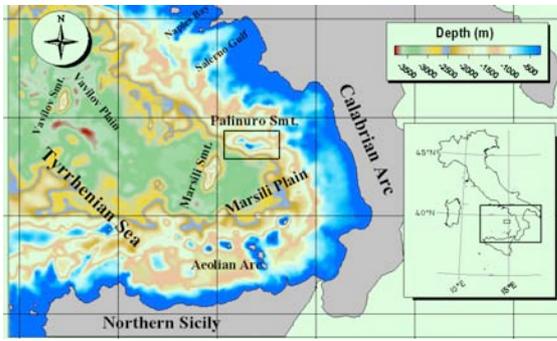


Figure 1. Location map of the Palinuro seamount.

basin in the Central Mediterranean opened by subduction of the Ionian lithosphere within the overall context of slowly convergent Africa and Eurasian plates (Malinverno and Ryan, 1986). The opening of the Tyrrhenian Sea started about 11 My ago with an EW directed extension leading to the formation of the Vavilov sub-basin. A subsequent change to ESE directed extension, coeval with the Appenninic frontal accretion, lead to the formation of the Marsili sub-basin. This large-scale extension produced the onset of volcanism throughout the Tyrrhenian sea (Turco and Zuppetta, 1998) and the formation of PS.

Although several geophysical studies have been performed in the Tyrrhenian Sea, the PS has not yet been subjected to intensive geophysical exploration, despite its global extension, thus representing the less known volcanic edifice of the south-eastern sector of the Tyrrhenian sea.

Previous studies, focused mainly on volcanic products and based on bottom sampling (Dekov et al., 2004 and references therein), evidenced that the main sampled products were lavas and chemical sediments clearly associated with volcanism (i.e. crusts and nodules bearing iron and manganese). Magnetic profiles (Morelli, 1970), suggested that the eastern sector of the seamount differs from the western, characterized by a widely ranging residual anomaly values. Single beam data (Fabbri, 1973) and, successively, multibeam swath bathymetry (Mark et al., 1991; Marani et al., 2004) described the general physiographic asset of the volcanic complex and suggested that PS has emplaced in a complex way and probably over a long period of time, along E-W trending and deep-seated faults.

A geophysical survey was carried out by IAMC-CNR in the southeastern Tyrrhenian Sea on November 2007, on board of the R/V Urania, with the aim to identify potential active volcanic hydrothermal vents in the area. Here we report a new, very high resolution Digital Terrain Model (DTM) of the Palinuro Seamount, resulting by multibeam swath bathymetric data. More than 1.000 squared Km of new high resolution multibeam sonar data have been processed and interpreted from IAMC – CNR of Naples. The processed bathymetric data of PS, with a depth range that covers the -3200 / -84 m interval, is shown in Figure 2. The DEM evidences a global extension larger than that expected, characterized by a roughly elliptical shape extending about 55 km along E-W and 25 km in the N-S direction. Contrary to previous knowledge, the morphology reveals a very articulated

summit, that seems characterized by an ensemble of volcanic edifices rather than a unique construction. Its summit is very articulated and consists of a group of overlapped and/or coalescent volcanic cones inside collapsed calderas. Relic domes of calderic collapses are identifiable both in the western and in the central sectors of PS.

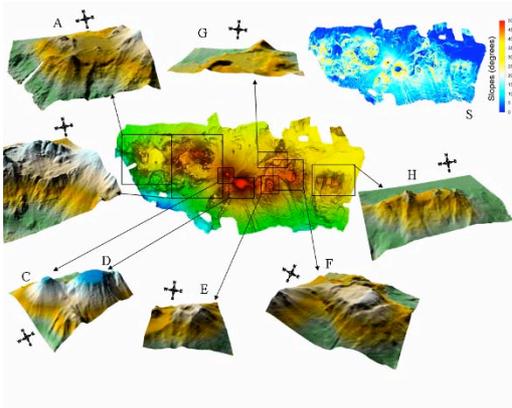


Figure 2. High resolution DTM of the Palinuro seamount showing its main volcanic features.

Bibliography

- Gamberi F., Marani M., Savelli C. (1997). Tectonic, volcanic and hydrothermal features of a submarine portion of the Aeolian arc (Tyrrhenian Sea), *Marine Geology*, Volume 140, Issues 1-2, July 1997, Pages 167-181
- Dekov V. M.; Savelli C. (2004). Hydrothermal activity in the SE Tyrrhenian Sea: an overview of 30 years of research, *Marine Geology* 204, 161-185.

- Fabbri, A., Marabini, F. and Rossi, S. (1973). Lineamenti geomorfologici del Monte Palinuro e del Monte delle Baronie (Mar Tirreno). *G Geol.*, 39 133-156.
- Malinverno, A., and Ryan W.B.F. (1986). Extension in the Tyrrhenian Sea and shortening in the Apennines as a result of arc migration driven by sinking of the lithosphere, *Tectonics*, 5, 227-245.
- Marani M., Gamberi F. and Bonatti E. (2004). From seafloor to deep mantle: architecture of the Tyrrhenian backarc basin, 2004, *Mem.Descr.Carta geol.d'Italia*, Vol.LXIV.
- Mark R. Pike R. J., Bortoluzzi G., Ligi M. (1991). Mediterranean seabed in digital shaded relief, *Eos Trans. AGU*, 72(26), 273-273, 10.1029/90EO00215.
- Morelli, C. (1970). Physiography, Gravity and Magnetism of the Tyrrhenian Sea, *Boll. Geofis. Teor. Appl.*, 12: 275-309.
- Turco, E., Zuppetta A. (1998). A kinematic model for the Plio-Quaternary evolution of the Tyrrhenian–Apenninic system: implications for rifting processes and volcanism; *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 82 1–18.

GEOPHYSICAL INVESTIGATIONS OF THE SE TYRRHENIAN SEA: AN HIGH RESOLUTION DTM OF THE MARSILI SEAMOUNT

Salvatore Passaro¹, Girolamo Milano², Ennio Marsella¹, Stefano Ruggieri¹

¹*Istituto per l'Ambiente Marino Costiero (IAMC), CNR, Napoli*

²*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Napoli - Osservatorio Vesuviano*

The Tyrrhenian Sea is the small extensional back-arc basin in the Central Mediterranean opened by subduction of the Ionian lithosphere within the overall context of slowly convergent Africa and Eurasian plates. (Malinverno and Ryan, 1986). The Tyrrhenian sea is characterized by a peculiar volcanic activity due to the presence of two sub-basins: Vavilov and Marsili. The Marsili back-arc basin, younger than the Vavilov, was formed in the late Pliocene-Quaternary by the trench rollback of the northwesterly subducting Ionian oceanic slab (Kastens et al., 1990). Its shape is roughly circular, and covers an area of $\sim 8000 \text{ km}^2$, with a flat seafloor located at 3500 m of depth on average (Mark et al., 1991). The central sector of this sub-basin is occupied by the Marsili Volcano, which is an almost linear edifice extended for about 55 Km in the N 10° E direction. It represents the spreading ridge of the Marsili Basin, characterized by a wide bathymetric range (3000-500 m; Marani and Trua, 2002). Evidences of hydrothermal activities are known in literature (Dekov & Savelli., 2004).

A geophysical survey on the Marsili volcano

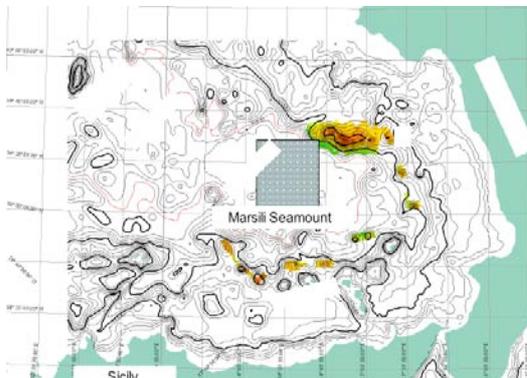


Figure 1. Location map of the Marsili Basin and of the Marsili Seamount.

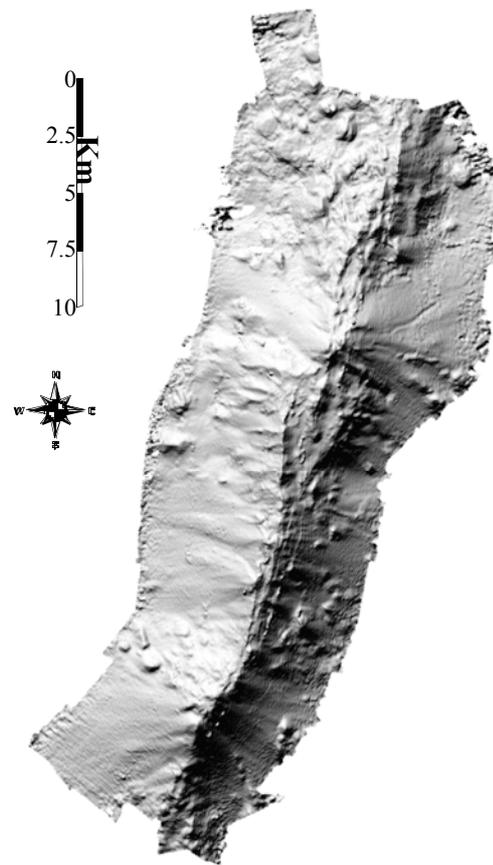


Figure 2. Digital terrain model of the Marsili seamount. Grid cell size is 25 m, the global extension covers an area of 500 Km^2 .

was performed during the second Leg of the “Aeolian_2007” cruise by IAMC-CNR research institute (Naples, Italy) onboard the Urania oceanographic vessel in November, 2007. Multibeam data acquisition was carried out with the use of the Reson Seabat 8160 multibeam sonar system, which properly works in the 50-3500 m depth range. The system, interfaced with a

Differential Global Positioning System, is mounted on keel of the R/V Urania and is composed of a ping source of 50 KHz, 150° degree for the whole opening of the transmitted pulse and a 126 beams-receiver. The whole dataset has been processed with the use of the PDS2000 swath editor tool, in accordance with the IHO standard (IHO, 1998), and subsequently reorganized in an MXN matrix (Digital Terrain Model, DTM) of 25X25 m of grid cell size. The total amount of area coverage consists in more than 500 squared Km of multibeam sonar data. The obtained DTM was used to produce high resolution bathymetry, slope, gradient and relief maps, in order to optimize a geomorphological view of the seamount.

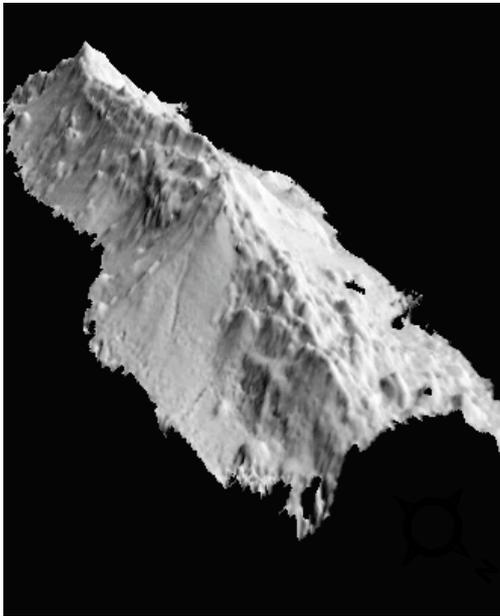


Figure 3. A 2 and ½ dimension view of the Marsili seamount. To note the absence of clear crater morphologies on its top.

The Marsili volcano shows a global sigmoidal trend along its preferential direction of elongment. Both the eastern and the western sides shows equal average slopes. Throughout the framework, crater-like morphologies are not clearly visible. The western side of the seamount reveals furrowed channels showing peculiar rounded sections.

Bibliography

- Dekov V. M.; Savelli C. (2004). Hydrothermal activity in the SE Tyrrhenian Sea: an overview of 30 years of research, *Marine Geology* 204, 161-185.
- IHO Special Publ. N° 44 (1998). Standards for Hydrographic Surveys, 4th Edition, International Hydrographic Bureau, Monaco.
- Kastens K. A., et al. (1990). The geological evolution of the Tyrrhenian Sea: An introduction to the scientific results of ODP Leg 107, *Proc. Ocean Drill. Program Sci. Results*, 107, 3–26.
- Malinverno, A., and Ryan W.B.F. (1986). Extension in the Tyrrhenian Sea and shortening in the Apennines as a result of arc migration driven by sinking of the lithosphere, *Tectonics*, 5, 227-245.
- Marani M. P., and T. Trua (2002). Thermal constriction and slab tearing at the origin of a superinflated spreading ridge: Marsili volcano (Tyrrhenian Sea), *J. Geophys. Res.*, 107(B9), 2188, doi:10.1029/2001JB000285.
- Mark R. Pike R. J., Bortoluzzi G., Ligi M. (1991). Mediterranean seabed in digital shaded relief, *Eos Trans. AGU*, 72(26), 273-273, 10.1029/90EO00215.

CRUSTAL ARCHITECTURE AND MIOCENE TO RECENT EVOLUTION OF THE W CALABRIA CONTINENTAL MARGIN (SOUTHERN TYRRHENIAN SEA)

Fabrizio Pepe¹, Attilio Sulli¹, Giovanni Bertotti², Federico Cella³

¹*Dipartimento di Geologia e Geodesia, Università di Palermo, Italia*

²*Institute for Earth Sciences, Vrije Universiteit, Amsterdam, The Netherlands*

³*Università della Calabria, Dipartimento di Scienze della Terra, Arcavacata di Rende (CS), Italia*

The crustal architecture and the Miocene to Recent tectonic and structural evolution of the W Calabria Continental Margin (WCCM, Southern Tyrrhenian Sea) are reconstructed using two ENE-WSW oriented, near-vertical seismic profiles. The first one is the high-penetration CROP-M27 line [Finetti, 2005] that is used to constrain the thickness and configuration of the continental crust, the overall geometry of the Paola basin and the main structural characteristics of the Kabilian-Calabrian Units (KCU). The second profile is the still unpublished, multi-channel, SISTER 11 line that images in details the uppermost few kilometres of the crust inclusive of the crystalline and metamorphic rocks pertaining to the KCU and their Neogene to Quaternary clastic to terrigenous and evaporitic cover. The interpreted profiles were time-to-depth converted, merged and translated in a geological section (Figure 1), which was also extended to the Tyrrhenian bathial plain and the Calabrian arc using wide-angle seismic data [Scarascia et al., 1994], and tested with gravity modelling.

Across the WCCM, top of KCU is laterally variable in depth forming basins filled by Oligo-Miocene clastic to terrigenous deposits up to 1500m thick. Basins are separated by major structures with contractional or transcurrent kinematics, where faults are arranged in a positive flower structure fashion, affecting the KCU as well as lower Oligocene to Miocene deposits. The Messinian evaporites display essentially a constant thickness of ~400m with the exception of the Paola Basin where deep-water Messinian evaporites are up to 1000 m thick. Plio-Quaternary deposits display a

remarkable variation in thickness from ~4.5 km in the Paola Basin to less than 400m in the central sector of the margin. Plio-Quaternary sediments are internally subdivisible into four sub-units separated by tectonics enhanced angular unconformities.

Rocks of the sedimentary cover are affected by widespread faulting but displacements are generally limited and therefore lateral thickness changes are not fault-controlled. Contractional features are evident in the eastern side of the Paola basin, where W-ward vergent reverse faults with limited vertical displacement offset the top of KCU as well as the Oligo-Miocene sedimentary and evaporitic units, and in the distal part of the WCCM where a number of closely spaced, W-vergent thrust faults are observed in the Plio-Pleistocene deposits. Along the WCCM, the only significant normal fault which was identified is located around its central sector, dips to the W and has a displacement of ~580m.

The WCCM is part of a sliver of continental crust stretching from the Tyrrhenian oceanic basin in the NW to the Ionian subduction zone in the SE. Across the margin, both crust and lithosphere thinning toward the west. The Moho was inferred at ~35 km beneath the Calabria Arc and shallows up to 24 km in correspondence with the coastline. Moho deepens again to a depth of ~28 km in correspondence with the depocenter of the Paola Basin and then climbs gently and regularly reaching a depth of ~15 km at the continent-ocean transition. Westward, the ~8-9 km thick oceanic crust of the Marsili basin is recognised.

The WCCM crust has undergone substantial thinning that starts becoming important in

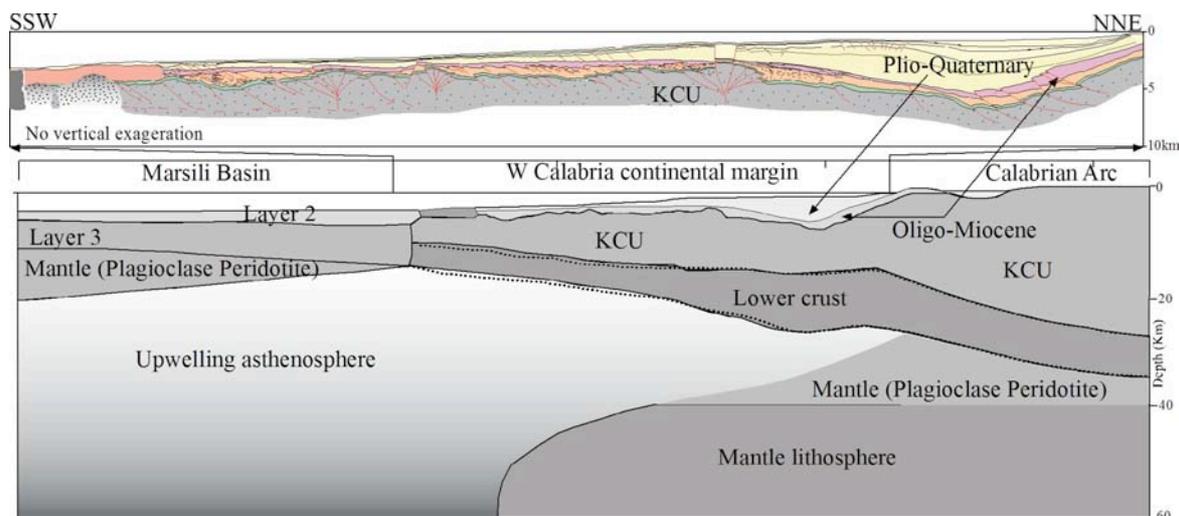


Figure 1. (top) Geological profile across the W Calabria Continental Margin and (bottom) crustal section from the Marsili basin to the Calabrian arc.

correspondence with the W coast of Calabria where thinning is up to $\delta=1.5$ and, on the whole, shows then a fairly gradual increase from the E to the W where thinning reaches up to $\delta=3.2$ at the continent-ocean transition. The disaggregated analysis of thinning factors for the upper (including KCU, Oligo-Miocene and Plio-Pleistocene deposits) and lower crust identify a long wavelength trend which is essentially similar to that of the entire crust thereby suggesting that regional thinning affected in equal amounts the upper and lower crust. Two important deviations are observed, underneath the Paola Basin and towards the zone of the continent-ocean transition where upper crustal thinning is much larger than the crustal one

On the basis of tectonic features recognised in the KCU, the WCCM may be partitioned into three segments characterized by different post Late-Messinian tectonic deformation and separated by localised strike-slip fault zone. It has been proven that strain across continental margin in oblique plate convergent setting is frequently partitioned in discrete strike-slip fault system and zone of diffuse deformations [e.g. Teyssier et al., 1995]. Therefore, segmentation of the investigated margin

could be correlated with changes along strike in the dip and/or age of the Ionian oceanic lithosphere subducted underneath Calabria. Analysing and interpreting this data set we address two main issues, the architecture and development of continental margins in back-arc settings and the upper plate crustal response to processes such as slab roll-back and steepening.

References

- Finetti, I. R. (2005). The Calabrian Arc and subduction Ionian slab from new CROP seismic data. In: CROP Project, Deep seismic Exploration of the Central Mediterranean and Italy (I.R Finetti, ed.), pp. 393-412, Atlas in GeoScience 1, Elsevier.
- Scarascia, S., Lozej, A., Cassinis, R. (1994). Crustal structures of the Ligurian, Tyrrhenian and Ionian Sea and adjacent onshore areas interpreted from wide-angle seismic profile. *Boll. Geofis. Teor. Appl.* 36, 5–19.
- Teyssier, C., B. Tykoff and M. Markley (1995). Oblique plate motion and continental tectonics. *Geology*, 23, 447-450.

INTENSITY BASED SOURCE INVERSIONS OF TWO M 6.9 EARTHQUAKES IN 1783 IN CALABRIA

Franco Pettenati, Livio Sirovich

Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale OGS, Trieste

The principal geometric and kinematic characteristics (the focal mechanisms included) of the sources of two catastrophic earthquakes of 1783 in Calabria were retrieved by geophysical *KF-NGA* inversion of the regional patterns of intensity; only the biggest one is shown here (M=6.9, Feb. 5, 1783). *KF* is our *kinematic formula* [Sirovich, 1996], *NGA* is automatic genetic inversion with niching. Obviously, no validation with instrumental data is feasible, but both earthquake solutions agree with the known neotectonics of the area. In particular, one of the two best fitting solutions of Feb. 5 (this is a bimodal case) could be compatible with the co-seismic rupture, which was observed in the field in 1783 by Deodat Gratet de Dolomieu.

We already demonstrated that our *KF-NGA* source inversion is feasible [Gentile et al., 2004; Pettenati and Sirovich, 2007, Sirovich and Pettenati, 2004]. This opens new perspectives in studying destructive shocks of the pre-instrumental era, for which good quality regional patterns of intensity are available. In fact, Italy has an extraordinary data bank of high quality macroseismic observations, obtained by seismologists and historians, who interpreted the reports written by the officers of the various kingdoms of the time, the gazettes etc.. The most complete data sets contain hundreds of "surveyed" sites for each earthquake; tens of destructive shocks, back to the XVII Century, can be inverted [see the two destructive earthquakes in 1693 in Sicily by Sirovich and Pettenati, 2001]. For the Italian databank: <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/>. In the poster we show:

- The isoseismals of the study earthquake. The black dots are the sites studied by the Italian seismologists and historians; we employed the N-n contouring technique, which obeys the experimental values

[Sirovich et al., 2002].

- In the poster we show the synthetic isoseismals produced by the minimum variance model obtained automatically by inversion. As said, the case is bimodal (for this reason, we show a white beach ball) and the fault source dipping toward NW and virtually intersecting the surface close to the Jonian coast (SE) is depicted. Also see the symmetric nucleation.

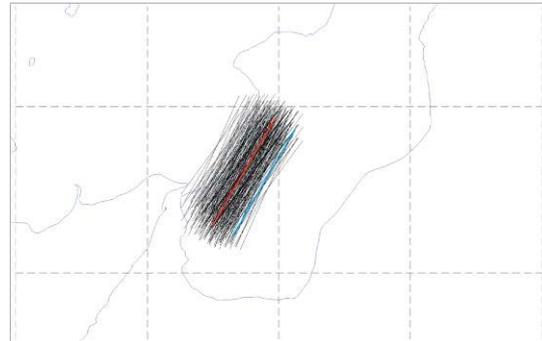


Figure 1. Aerial view of the virtual traces of one of the two bimodal solutions for the earthquake of Feb. 5, 1783 (2 st.dev. error).

- Here (Fig. 1) the second solution is presented; the blue segment repeats the projection of the best fitting line source shown in the poster. The red segment is the virtual intersection of the source with the topographical surface close to the Thyrrenian coast; the black segments are the intersections of all sources (SE-dipping) compatible with the inversion errors.

- The axonometric view (Fig. 2) of the studied area is from W; the same solution of Fig. 1 is seen. Note the black heavy rectangle dipping toward the Jonian Sea (SE) and its virtual intersection with the surface (black segment), close to the Thyrrenian coast.

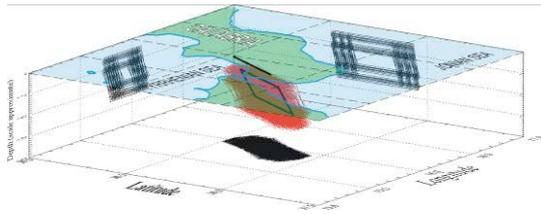


Figure 2. Axonometric view of one of the two bimodal solutions for the earthquake of Feb. 5, 1783.

The red rectangles are samples of the sources compatible with the inversion errors (see their vertical and horizontal projections on the box walls in black).

- In the poster, we also show some neotectonic evidence for the two earthquakes studied with their macroseismic epicenters from the Italian catalog (with the event date), beach balls and related segments, the fault-plane solutions and the line sources we obtained from *KF* inversion.

Conclusion: this kind of inversion provides the perspective of being able to treat more pre-instrumental earthquakes for improving the seismotectonic understanding of medium-rate seismic areas. This applies mostly to Europe, where destructive earthquakes are relatively rare, and thus seismic records of them by modern instruments is lacking.

References

- Gentile F., Pettenati F., and Sirovich L. (2004). Validation of the Automatic Nonlinear Source Inversion of the U. S. Geological Survey Intensities of the Whittier Narrows, 1987 Earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.* 94, 1737-1747.
- Pettenati F., Sirovich L. (2007). Intensity-Based Source Inversion of Three Destructive California Earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 97, 5, 1587-1606.
- Sirovich, L. (1996). A simple algorithm for tracing out synthetic isoseismals, *Bull. Seism. Soc. Am.*, No. 86(4), pp. 1019-1027.
- Sirovich, L., and F. Pettenati (2001). Test of source parameters inversion of the intensities of a 54,000-death shock of the XVII Century in SE Sicily, *Bull. Seism. Soc. Am.* 91, 792-811.
- Sirovich, L., and F. Pettenati (2004). Source inversion of intensity patterns of earthquakes: a destructive shock in 1936 in northeast Italy, *J. Geophys. Res.*, 109, B10309, doi:10.1029/2003JB002919, pp. 16.
- Sirovich, L., F. Pettenati, F. Cavallini F., and M. Bobbio (2002). Natural-Neighbor Isoseismals, *Bull. Seism. Soc. Am.* 92, 1933-1940.

BOULDERS RIDGE IN SAGUERRA LOCALITY: AN IMPRINT OF THE APRIL 24, 1836 ROSSANO TSUNAMI

Cosimo Pignatelli¹, Paolo Sansò², Giuseppe Mastronuzzi¹

¹Università degli Studi "Aldo Moro" di Bari, Dipartimento di Geologia e Geofisica

²Università del Salento, Dipartimento di Scienza dei Materiali

Around the rocky coasts of the Mediterranean basin different Authors identified depositional and erosional indicators of the impact and consequent flooding of large waves of geological (tsunami) or meteorological (storms) origin [Mastronuzzi and Sansò, 2000; Scheffers and Scheffers, 2007; Mastronuzzi et al., 2007; Scicchitano et al., 2007].

Saguerra locality is located on the Ionian side of Apulia, 20 Km south to city of Taranto (Fig. 1). Along the coastline the upper part of the Middle-Late Pleistocene sequence outcrops; it is synthetically represented by silty-clay capped by transgressive algal well cemented calcarenites [Mastronuzzi and Sansò, 1998].

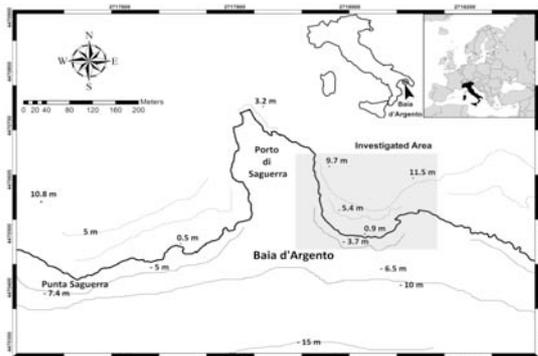


Figure 1. Localization of the Saguerra boulders ridge.

The bay is limited by two rocky headlands shaped on this algal calcarenite. The south headland, about 6-7% sloping, shows the maximum elevations of 11 m above present sea level (= a.p.s.l.). (Fig. 2). Starting from coastline it is possible to divide them in three different zone: i – a terrace surface about 120 m wide; ii – a boulder ridge leaning on a step placed between 2 and 5 meters a.p.s.l.; iii – a

steeper terrace that reach the top at approx 11 m a.p.s.l. The lowermost surface is bare of vegetation, is quite flat and bordered seaward by a trottoir approx 1 m wide that marks the biological sea level [Laborel and Laborel Deguen, 1994].

Additorial zone is characterized by elevate roughness and a convex profile. Here, surface micro-topography shows small karstic landforms, shaped on the sub-aerially exposed calcareous sandstones; they are represented mainly by potholes, which became increasingly deeper and wider toward the coastline.

In the spray zone potholes are coalescent, giving place to pinnacle-like forms (Spitzkarren). Calcarenite bedrock presents very long fractures that become wider toward to the coastline. Several of these fractures are parallel to shoreline; some of these are also oriented to SE in relation with more frequent sea storm direction.

From this articulated surface numerous boulders have been carved and scattered inland; in fact isolated boulders are placed on this zone often not in equilibrium or imbricated in small groups. This seem to indicate the exposure to strongest Ionian storm waves. The second one zone shows a boulders ridges ranging 25 to 45 m from the coastline that follows the headland perimeter for about 100 m.

Boulders are constituted by algal calcarenite with a specific weight of 2,2 g/m³; their volume is up to about 35 tons. The biggest boulder is at approx 27 m from the coast line at 5 m a.b.s.l. Most of the boulders have been carved out from an area close to the supratidal zone, which can be ascertained from the presence of wide, flat rock pools and by barnacles on the surface of the boulders. Often these boulders are

overturned. On the other hands, some boulders were carved out from the mid-sublittoral zone, which is confirmed by the presence of biogenic encrustations (*Vermetids*) that colonized their surface.

These well preserved concretions on the surface of the boulders indicate a very recent age of formation and limited reworking during the transport from the sublittoral to the adlittoral zone.



Figure 2. Boulders ridge in Saguerra locality.

A DGPS survey has been performed in order to obtain the position of each boulders respect to the shoreline trending. A morphological analysis has been realized by identifying boulders forms measuring their volumes and imbrication/elongation axis azimuth.

Hydrodynamic equations jointly to statistical analysis of sea storms have been used in order to determine the extreme event - geological or meteorological – responsible of this singular accumulation.

Furthermore, three different AMS age determinations on *Vermetids* suggest that boulders were scattered inland in the same time in the first half of XIX century. Historical chronicles suggests that in this period two tsunami have been generated in the Ionian side of Calabria (Southern Italy) as consequence of the important sea

localised earthquakes occurred on March 8, 1832 in Crotona area (Central Calabria), and on the April 24, 1836 along the coast of Rossano Calabro. To distinguish between the first two events is really hard: reconstructed approaching wave direction come from ESE and epicentres of both earthquakes are placed ESE respect to Saguerra. Surely the 1936 tsunami was strongest (3th degree of tsunami intensity scale) than 1932 one (2nd degree of tsunami intensity scale). Moreover, this last one was generated by an earthquake which epicentre is more distant from Saguerra.

References

- Laborel J. and Laborel-Deguen F. (1994). Biological indicators of relative sea-level variations and of co-seismic displacements in the Mediterranean region. *Journal of Coastal Research*, 10, 395-415.
- Mastronuzzi G. and Sansò P. (1998). Morfologia e genesi delle isole Cheradi e del Mar Grande (Taranto, Puglia, Italia). *Geografia Fisica Dinamica Quaternaria*, 21, 131-138.
- Mastronuzzi G. and Sansò P. (2000). Boulders transport by catastrophic waves along the Ionian coast of Apulia (Southern Italy). *Marine Geology*, 170, 93-103.
- Mastronuzzi G., Pignatelli C., Sansò P., Selleri G. (2007). Boulder accumulations produced by the 20th February 1743 tsunami along the coast of southeastern Salento (Apulia region, Italy). *Marine Geology*, 242 (1), 191-205.
- Scheffers A. and Scheffers S. (2007). Tsunami deposits on the coastline of west Crete (Greece). *Earth and Planetary Science Letters*, 259, 613-624.
- Scicchitano G., Monaco C., Tortorici L. (2007). Large boulder deposits by tsunami waves along the Ionian coast of south-eastern Sicily (Italy). *Marine Geology*, 238 (1-4), 75-91.

ANALISI DI SISMOGRAMMI DEL TERREMOTO DEL 1908

Nicola Alessandro Pino

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Napoli - Osservatorio Vesuviano

I terremoti maggiori sono prodotti dal rilascio di enormi quantità di energia e sono associati a grandi strutture geologiche stabili nel tempo, sulle quali il processo di carica e rilascio di sforzo spesso si ripete con caratteristiche simili. Per questo motivo la determinazione delle caratteristiche della sorgente di grandi terremoti del passato è un elemento fondamentale per l'elaborazione di scenari che prevedano le conseguenze di forti terremoti futuri e ha importanza critica nella valutazione del rischio sismico. Lo studio della sorgente del terremoto del 1908 rappresenta quindi un passaggio cruciale nella valutazione del potenziale sismico dell'area dello stretto di Messina e, a questo scopo, i dati geofisici registrati all'epoca dell'evento costituiscono lo strumento principale di analisi. In aggiunta ai dati geodetici raccolti da Loperfido [1909], che misurò le variazioni di quota prodotte dal terremoto lungo due linee di livellazione localizzate nell'area epicentrale, oltre 100 stazioni sismiche di tutto il mondo registrarono il terremoto [Rizzo 1910] e diversi mareografi in varie località del Mediterraneo misurarono le oscillazioni del livello marino prodotte dal maremoto che seguì immediatamente dopo [Platania 1909]. Questi dati misurano la variazione di grandezze fisiche distinte ed hanno quindi differente sensibilità alle diverse caratteristiche della sorgente sismica. In particolare, le registrazioni mareografiche sono scarsamente sensibili ai dettagli della frattura, mentre i dati geodetici, che rappresentano misure "statiche" degli effetti della rottura dopo che questa è avvenuta, sono maggiormente sensibili alle variazioni di topografia prodotte dal terremoto nell'area prossima alle linee di livellazione e non permettono di ricavare informazioni affidabili su eventuali dislocazioni avvenute in aree lontane anche solo pochi chilometri. Nel caso del 1908, poichè la faglia

responsabile del terremoto risulta essere approssimativamente parallela all'asse dello stretto e gran parte della deformazione superficiale è avvenuta in ambiente sottomarino, i metodi basati sull'analisi dei dati geodetici non consentono di vincolare con certezza le dimensioni della faglia e, quindi, la magnitudo dell'evento.

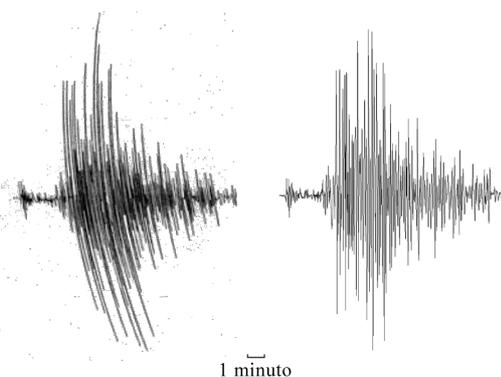


Figura 1. (a sinistra) sismogramma originale sulla componente nord della stazione di Plauen (Germania); (a destra) la corrispondente forma d'onda ottenuta dalla digitalizzazione del segnale originale.

Diversamente dalle altre rilevazioni strumentali, i sismogrammi misurano la variazione nello spazio e nel tempo di quantità fisiche legate ai dettagli del processo di fratturazione. Per questo motivo i dati sismometrici sono particolarmente efficaci nello studio della sorgente sismica. Per molti anni questa preziosa fonte di informazione non è stata pienamente utilizzata. Recentemente, grazie alla disponibilità di moderni mezzi tecnologici, i sismogrammi storici del terremoto del 1908 sono stati rianalizzati con metodi analoghi a quelli utilizzati per lo studio di terremoti recenti. Nonostante i problemi connessi con il recupero e l'analisi di dati registrati quasi 100 anni prima, all'alba della sismologia strumentale, sono state ottenute nuove

importanti informazioni che, aggiunte alle conoscenze precedenti, permettono di ricostruire un quadro consistente e completo del processo di fratturazione associato all'evento [Pino et al. 2000]. In particolare, i risultati dell'analisi dei sismogrammi indicano che il terremoto del 1908 ha avuto una magnitudo $M_w=7.1$ e si è sviluppato su una faglia lunga circa 43 km, il cui estremo a nord si trova in corrispondenza del limite settentrionale dello stretto. La frattura è iniziata nella porzione meridionale della faglia e si è propagata verso nord. Questo risultato spiega la concentrazione dell'area di massimo danno nella parte più settentrionale dello stretto.

Bibliografia

- Loperfido A. (1909). Livellazione geometrica di precisione eseguita dall'Istituto geografico militare sulla costa orientale della Sicilia, da Messina a Castanea, a Gesso ed a Faro Peloro e sulla costa occidentale della Calabria da Gioia Tauro a Melito di Porto Salvo, per incarico del Ministero di agricoltura, industria e commercio. In: Relazione della Commissione reale incaricata di designare le zone più adatte per la ricostruzione degli abitati colpiti dal terremoto del 28 dicembre 1908 o da altri precedenti, allegato D, pp. 131-156. Roma.
- Pino N.A., Giardini D. e Boschi E. (2000). The December 28, 1908, Messina Straits, southern Italy, earthquake: Waveform modeling of regional seismograms. *Journal of Geophysical Research*, 105, B11, 25473-25492.
- Platania G. (1909). Il maremoto dello Stretto di Messina del 28 dicembre 1908. *Bollettino della Società Sismologica Italiana*, 13, 369-458.
- Rizzo G.B. (1910). Sulla propagazione dei movimenti prodotti dal terremoto di Messina del 28 dicembre 1908. *Memorie della Reale Accademia delle Scienze Torino, serie II*, 61, 355-417.

MAPPE AD ALTA RISOLUZIONE DEI MOVIMENTI DEL SUOLO NELL'AREA DELLO STRETTO DI MESSINA DA DATI DI INTERFEROMETRIA SAR

Stefano Salvi, Cristiano Tolomei, Simone Atzori

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Centro Nazionale Terremoti

Abbiamo misurato le velocità del suolo in un'area che va dallo Stretto di Messina fino alla piana di Gioia Tauro, utilizzando una serie temporale di immagini dei satelliti ERS ed ENVISAT dell'Agenzia Spaziale Europea.

I dati da satellite consistono in oltre 100 immagini da orbita discendente e 70 da orbita ascendente, acquisiti nel periodo che va dal 1992 al 2008.

Abbiamo eseguito un'analisi interferometrica differenziale delle immagini Radar ad Apertura Sintetica (SAR) utilizzando la tecnica SBAS (Berardino et al., 2002).

Il risultato finale è la generazione di due mappe della velocità del suolo proiettate su direzioni di vista diverse, corrispondenti alle orbite ascendenti e discendenti (Figure 1 e 2).

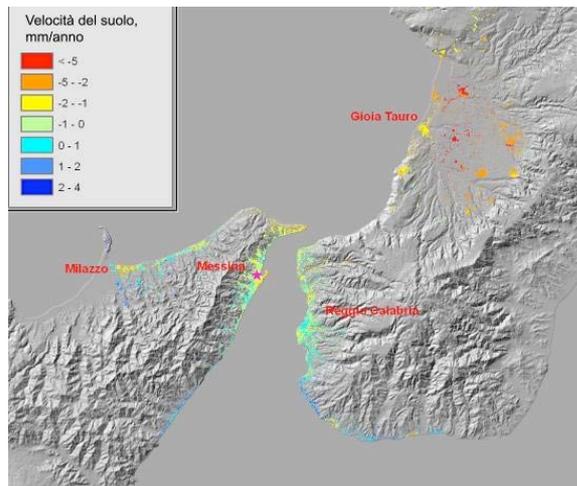


Figura 1. Mappa delle velocità del suolo da orbita ascendente.

Le mappe hanno una risoluzione al suolo di 80 x 80 metri e presentano una buona copertura di punti soprattutto nelle zone urbanizzate.

A partire dalle mappe con diversi punti di vista e dai valori di velocità di alcune stazioni GPS permanenti (Serpelloni et al., 2008), è possibile calcolare delle mappe approssimate delle componenti cartesiane Est e verticale della velocità.

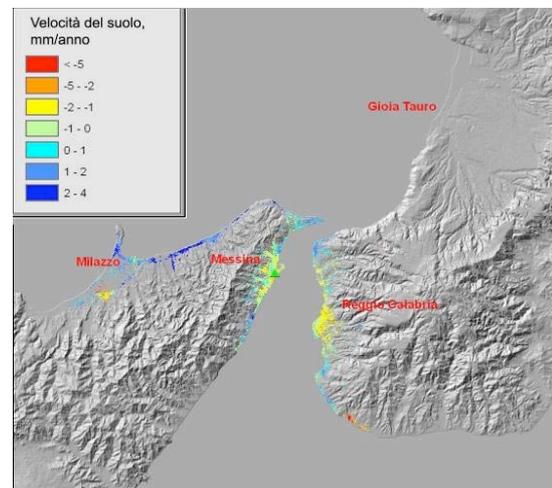


Figura 2. Mappa delle velocità del suolo da orbita discendente.

Le mappe mostrano la presenza di pattern di velocità del suolo dovuti a deformazione crostale di origine tettonica, e forti movimenti del suolo, anche su vaste aree, dovuti a fenomeni idrogeologici.

Bibliografia

- Berardino, P., G. Fornaro, R. Lanari, and E. Sansosti (2002). A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 40, 2375–2383.
- Serpelloni et al. (2008). Poster in questo convegno.

QUALE GEODINAMICA PER LO STRETTO DI MESSINA?

Giancarlo Scalera

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Roma1

Gli studi sulla geodinamica dello stretto di Messina sono stati sempre oggetto della attività dei geologi italiani e stranieri da più di un secolo (Faggiotto, 1895, 1900; Taramelli, 1910; Pata, 1954; e molti altri fino ad oggi). Solo più recentemente gli innumerevoli studi geologici e geofisici sono stati affiancati da strumenti geodetici satellitari (Devoti et al, 2002; e molti altri) che con una precisione scesa ormai al di sotto del millimetro, ritengono di poter definire la direzione e il tasso di spostamento annuo della Sicilia rispetto al continente.

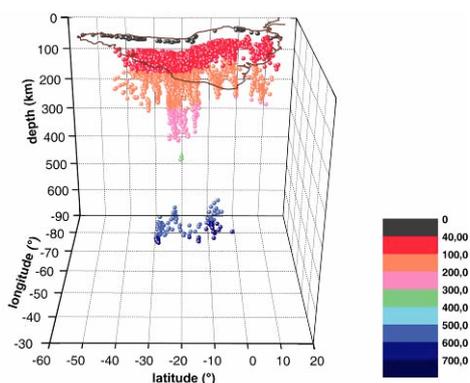


Figura 1. Distribuzione degli ipocentri del margine pacifico del Sud America (dati del Catalogo Globale di Engdhal et al, 1998; le sferette nere rappresentano gli apparati vulcanici). La zona di Wadati-Benioff è divisa in *clusters* le cui caratteristiche morfologiche sono incompatibili con la ‘subduzione’. Si veda il dettaglio del *cluster* di Arica in Fig. 2.

Da pochi anni, il catalogo globale degli ipocentri rilocati di Engdhal et al. (1998) ha consentito di riconoscere come non valida l’assunzione che le zone di Wadati-Benioff siano superfici planari o a cucchiaio (Scalera, 2008). Queste zone sono invece caratterizzate da *clusters* o grappoli di ipocentri con una struttura tipica ad ‘albero’, rastremata in profondità e che tende ad

allargarsi ‘a chioma’ verso la Moho e la crosta (Scalera, 2008). Particolarmente spettacolare la situazione relativa al Sud America (Fig. 1), dove una serie di tali *clusters* affonda in profondità in direzioni anche totalmente discordi rispetto a quella attesa. Ad esempio, il *cluster* sotto la città di Arica è chiaramente diretto verso Nord (Fig. 2).

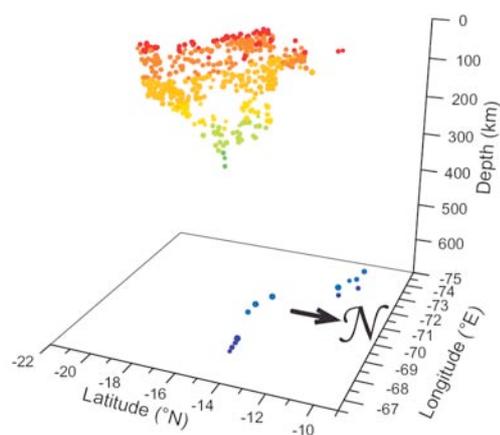


Figura 2. Distribuzione degli ipocentri del *cluster* sudamericano sotto la città di Arica (settore centrale delle Ande; dati del Catalogo Globale di Engdhal et al, 1998; la freccia nera indica il Nord). Il *cluster* di ipocentri profondi sembra formare una conca in superficie che si fa più profonda e si assottiglia diretta verso il Nord. Una struttura molto simile si osserva sotto Messina.

Nel mediterraneo o più in generale nella lunga regione tetidea, si osserva in effetti, al posto di una attesa superficie regolare di ipocentri profondi, una serie di *clusters* ipocentrali singoli ed isolati nelle zone sintassiali dell’Himalaya, nei Carpazi meridionali (regione del Vrancea), nell’Arco Ellenico e nel Tirreno Meridionale. Tutte queste zone sono collocate dove gli orogeni assumono una curvatura massima ed in regioni in chiaro sollevamento attivo,

richiamando una geodinamica molto diversa da quella oggi correntemente accettata. Da molti indizi concomitanti il concetto di subduzione a grande scala sembrerebbe essere escluso da un processo inverso, di sollevamento pilotato da cambiamenti di fase del mantello in un regime distensivo (Scalera, 2008). La semplice assenza di un *cluster* di ipocentri profondi nella zona di massima curvatura delle Alpi occidentali, dove un grande sollevamento è già concluso con la esposizione della finestra tettonica di Ivrea, sembra confermare l'ipotesi (Scalera, in stampa). In ogni caso la subduzione a grande scala (centinaia di chilometri) non deve essere confusa con i sopra e sotto-scorrimenti (poche decine di chilometri) dei quali esiste ampia documentazione geologica.

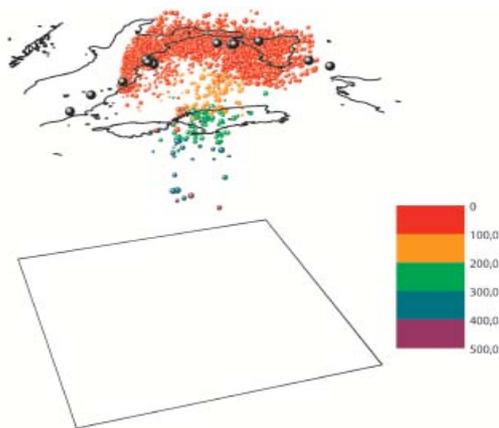


Figura 3. Ipocentri del Tirreno meridionale (dati del Catalogo Sismico Italiano INGV; le sferette nere rappresentano gli apparati vulcanici). Il *cluster* principale di ipocentri profondi sembra dividersi in *sub-clusters*.

Si dovrebbe quindi riflettere sulla ancora grande incertezza in cui si trova oggi la comunità scientifica sulla reale geodinamica del Mediterraneo e dello Stretto di Messina in particolare. Bisognerebbe anche soffermarsi sul fatto che un cambiamento di prospettiva in geodinamica globale (in media uno ogni 50 anni) potrebbe portare a una diversa valutazione dei potenziali

tsunamigenico e sismico della regione, suggerendo maggiore prudenza per il presente (riserva che potrebbe sciogliersi nel futuro) nella realizzazione di grandi opere pubbliche.

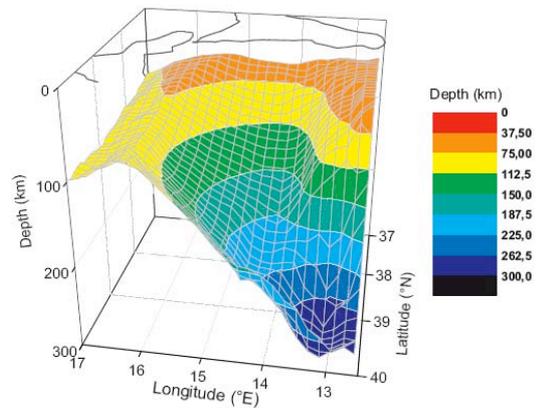


Figura 4. Superficie della densità massima degli ipocentri del Tirreno meridionale (dati del Catalogo Sismico Italiano INGV). La conca definita fino a circa 150 km di profondità, sembra poi avvitarci verso Ovest. Una struttura simile ma di dimensioni maggiori è quella mostrata in Fig. 2.

Bibliografia

- Devoti R., Ferraro C., Guegen E., Lanotte R., Luceri V., Nardi A., Pacione R., Rutigliano P., Sciarretta C. and Vespe F. (2002). Geodetic control on recent tectonic movements in the central Mediterranean area. *Tectonophysics*, 346, 151-167.
- Engdahl E.R., Van der Hilst R.D. and Buland R.P. (1998). Global teleseismic earthquake relocation with improved travel times and procedures for depth determination. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, 88, 722-743.
- Scalera G. (2008). Great and old earthquakes against great and old paradigms – paradoxes, historical roots, alternative answers. *Advances in Geosciences*, 14, 41–57.
- Scalera G. (2008). Earthquakes, phase changes, fold belts: from Apennines to a global perspective. *GeoActa*, (in stampa).

SISMICITÀ, SISMOTETTONICA E STRUTTURA CROSTALE DELLO STRETTO DI MESSINA

Luciano Scarfi, Horst Langer, Antonio Scaltrito

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Catania

Lo Stretto di Messina rappresenta un importante elemento topografico-strutturale che interrompe la continuità morfologica della parte più meridionale della catena orogenica Alpina-Appenninica, nota come Arco Calabro-Peloritano. Questa regione è interessata da una notevole attività sismica, legata ai processi geodinamici di convergenza tra la placca Africana e quella Euroasiatica. Negli ultimi quattro secoli, l'Arco compresa tra il Golfo di S. Eufemia (Calabria) ed il Golfo di Patti (Sicilia) è stato teatro di un considerevole numero di eventi disastrosi. Fra questi, il più tristemente noto è quello del 28 Dicembre 1908 (noto come il terremoto Calabro-Messinese), verificatosi appunto nell'area dello Stretto e che causò la morte di più di 100.000 persone. Nell'ultimo decennio, sono stati dedicati numerosi studi con lo scopo di una migliore comprensione delle caratteristiche geologico-strutturali di quest'area; tuttavia, ancora oggi queste sono oggetto di dibattito.

In questo studio, è stata indagata la sismicità e la struttura della crosta terrestre dello Stretto di Messina e delle aree limitrofe mediante le tecniche di tomografia sismica. In particolare, è stato applicato l'algoritmo "tomoADD" [Zhang and Thurber 2005] ad un dataset di più di 300 terremoti locali ($1.0 \leq M_L \leq 3.3$), registrati nel periodo compreso tra il 1999 ed il 2007. La peculiarità di tale metodo tomografico è quella di ottenere dettagliate immagini e localizzazioni di precisione degli eventi sismici attraverso una combinazione dei tempi di arrivo assoluti e relativi delle fasi sismiche. Inoltre, con "tomoADD", la spaziatura della griglia di misura viene modificata tenendo conto della densità locale dei raggi sismici. In tal modo è possibile individuare le geometrie di strutture sismicamente attive, in quanto tracciate dalla distribuzione degli ipocentri e delle velocità

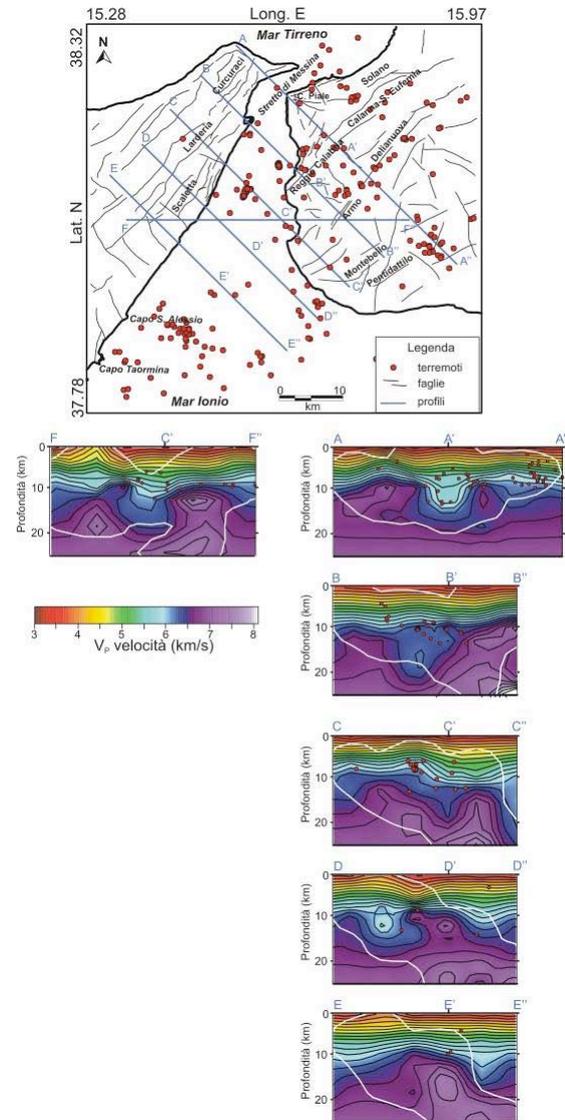


Figura 1. Mappa degli eventi rilocalizzati e sezioni del modello di velocità sismica ottenuti nello studio. Nelle sezioni, le curve di colore bianco indicano le aree con $DWS \geq 100$; i cerchi rossi indicano gli ipocentri che ricadono a ± 4 km dalla sezione.

di propagazione delle onde. Lo studio è stato completato con il calcolo dei meccanismi

focali dei terremoti più forti del *dataset* considerato.

Le immagini tomografiche ottenute (tra 6 e 18 km di profondità; Figura 1) evidenziano eterogeneità laterali di velocità sismica che, nel complesso, possono ricondurre alla presenza di strutture tettoniche della crosta con orientazione principale da NNE-SSW a NE-SW. Tali risultati sono consistenti sia con il quadro geologico-strutturale di superficie, che con il *pattern* definito dalla distribuzione dei terremoti e dai meccanismi focali. In particolare, la localizzazione dei terremoti nell'area dello Stretto – Calabria sud-

occidentale mostra una distribuzione prevalente da NNE-SSW a NE-SW con profondità tra 8 e 15 km. Analogamente, i meccanismi focali evidenziano nella stessa zona delle soluzioni di tipo faglia normale con orientazione NE-SW.

Bibliografia

Zhang, H. and Thurber, C.H. (2005). Adaptive mesh seismic tomography based on tetrahedral and Voronoi diagrams: Application to Parkfield, California. *J. Geophys. Res.*, 110, B04303, doi:10.1029/2004JB003186.

IL PROGETTO MESSINA 1908-2008: NUOVI DATI PER COMPRENDERE RELAZIONE TRA SUBDUZIONE E CINEMATICA CROSTALE NELL'ARCO CALABRO-PELORITANO

Giulio Selvaggi¹, Lucia Margheriti¹, Giuseppe D'Anna¹, Domenico Patanè²

¹*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Centro Nazionale Terremoti*

²*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Catania*

Lo Stretto di Messina rappresenta senza dubbio una delle aree geologicamente più interessanti per la sua localizzazione al passaggio tra la zona di subduzione Ionica, che interessa l'arco calabro, e la zona di collisione continentale Africa-Eurasia che si localizza in Sicilia settentrionale. Il grande terremoto del 1908 è l'espressione più catastrofica di questo ambiente tettonico.

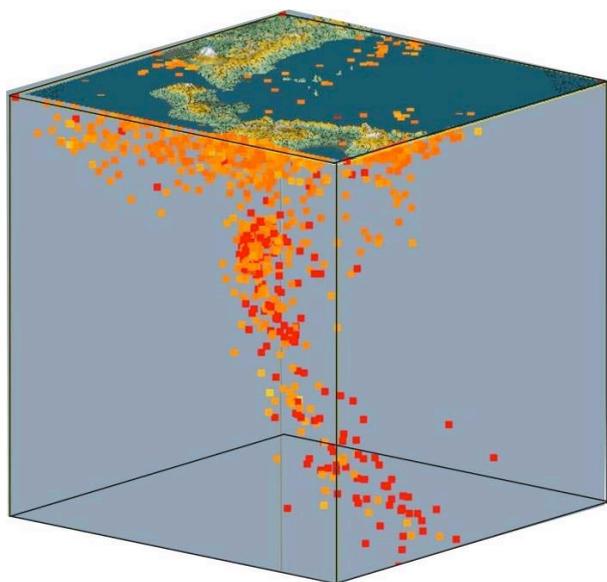


Figura 1. Ipocentri dei terremoti registrati dalla Rete Sismica Nazionale dell'INGV dal 2003 al 2008 nella regione dell'arco Calabro-Peloritano.

In occasione del centenario del terremoto l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ha avviato il progetto "Messina 1908-2008" (Margheriti, 2008). L'obiettivo primario di questo progetto di ricerca è l'implementazione di una infrastruttura di

monitoraggio multidisciplinare con il fine di aumentare il numero e la qualità dei dati e rendere pienamente disponibili alla ricerca tutte le osservazioni condotte in questa area negli ultimi decenni. Il fine scientifico è arrivare a comprendere l'interazione tra la zona di collisione continentale e il processo di subduzione.

Il progetto è iniziato nel Novembre 2007 e rappresenta il completamento del notevole aumento di stazioni sismiche a larga banda e CGPS avviato già dal 2004 e terminerà alla fine del 2009. Nell'ambito del progetto sono state installate 15 stazioni sismiche temporanee a terra e 5 Ocean Bottom Seismometers in mare (Figura 2). È stata promossa una campagna di misure geodetiche ed elaborati e modellati i dati GPS disponibili. Sono state analizzate sequenze storiche a disposizione nel database di SISMOS. Un ulteriore parametro per l'analisi delle deformazioni crostali nell'area è stato fornito dall'analisi interferometrica di dati SAR. I risultati di queste singole ricerche sono presentate all'interno di questo convegno.

Il progetto, che ha anche un'evidente ricaduta per la prevenzione, è co-finanziato per alcuni aspetti dal Dipartimento della Protezione Civile (Progetto sismologico S5 *Test sites* della Convenzione DPC-INGV 2007-2009).

Bibliografia

Margheriti L. (2008). Understanding Crust Dynamics and Subduction in Southern Italy. *Eos*, Vol. 89, No. 25, 17 June 2008.

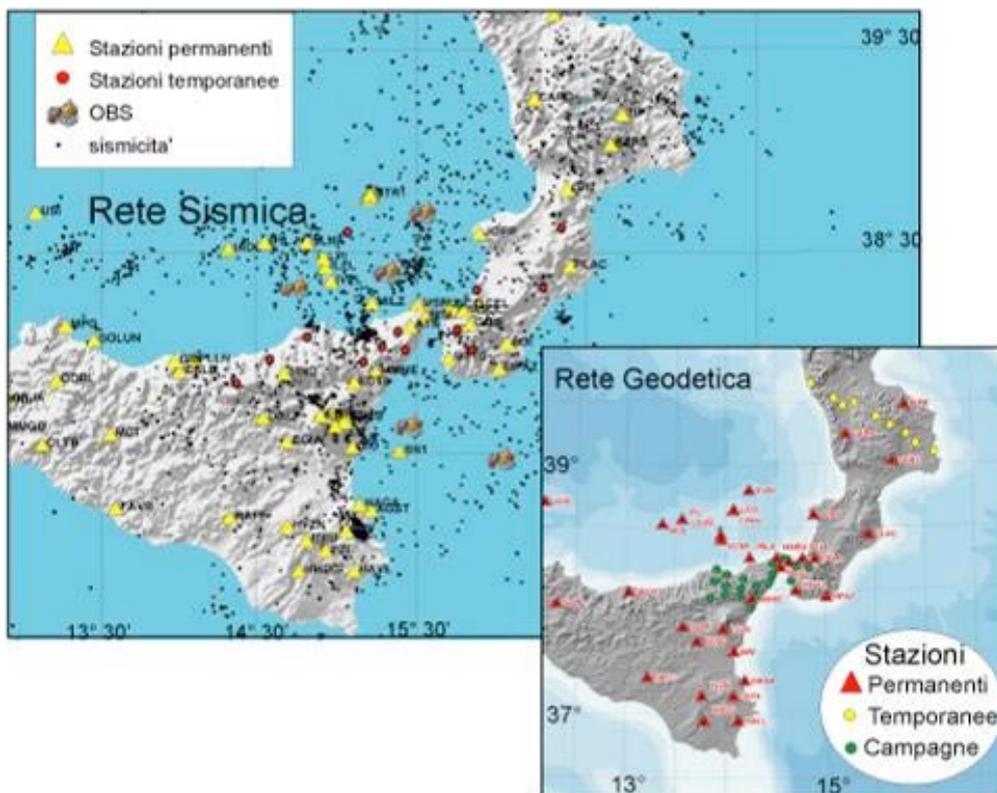


Figura 2. In alto a destra la rete sismica. Stazioni sismiche gestite dall'INGV presenti nell'area. Le stazioni temporanee hanno iniziato a registrare in acquisizione continua da novembre 2007; quelle operanti sul fondo del mare (OBS) sono state collocate nel luglio 2008. In basso a sinistra la rete geodetica. Stazioni geodetiche permanenti INGV della Rete Integrata Nazionale GPS (RING, <http://ring.gm.ingv.it>) e punti geodetici misurati in campagne di misura. Le stazioni temporanee che registrano in continuo appartengono all'UNAVCO (University NAVSTAR Consortium) e sono state installate nell'ambito del *Calabria Arc Project* (<http://www.calabarco.org/>), finanziato dalla *National Science Foundation*.

STIMA DEL TASSO DI DEFORMAZIONE ATTRAVERSO LO STRETTO DI MESSINA DALLA COMBINAZIONE DI RETI DI STAZIONI GPS PERMANENTI E NON-PERMANENTI

Enrico Serpelloni¹, Marco Anzidei¹, Paolo Baldi², Brunella Mastrolembo²
and Progetto Messina GPS-Team

¹*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Centro Nazionale Terremoti*

²*Dipartimento di Fisica, Settore di Geofisica, Università di Bologna*

La Calabria Occidentale e la Sicilia Nord-Orientale rappresentano un settore altamente deformato dell'Arco Calabro, la cui evoluzione geodinamica è legata alla subduzione ed all'arretramento della litosfera Ionica. Questa regione d'Italia è stata colpita da numerosi forti terremoti, ultimo dei quali il terremoto di Messina e Reggio del Dicembre 1908. Diversi dati geologici e geofisici sembrano in accordo nell'indicare una faglia distensiva cieca, orientata circa in direzione NNE-SSW o NE-SW, come la sorgente responsabile del terremoto del 1908. Tuttavia, nonostante i numerosi studi effettuati, il quadro geodinamico e cinematico della possibile sorgente sismogenica dello Stretto di Messina rimane ancora non del tutto chiaro e molto dibattuto [es., D'Agostino and Selvaggi 2004; Goes et al. 2004; Serpelloni et al. 2007; Argani et al. 2007].

I recenti sviluppi delle reti GPS permanenti in Italia, ed in particolare della Rete Integrata Nazionale GPS (RING) dell'INGV, assieme alla disponibilità di dati GPS raccolti su diverse reti geodetiche non-permanenti dagli inizi degli anni novanta, garantiscono oggi un numero di dati tale da permettere uno studio locale dell'accumulo di deformazione attraverso lo Stretto di Messina, e lo sviluppo di modelli di deformazione inter-sismica.

In questo lavoro sono stati combinati dati GPS raccolti da reti di stazioni permanenti e non-permanenti per definire il campo di velocità e di deformazione attraverso lo Stretto di Messina. In particolare, sono stati usati i dati forniti da diverse reti GPS permanenti (ASI, RING, ITALPOS) e i dati raccolti su una rete geodetica non-

permanente realizzata negli anni settanta [Anzidei et al. 1998] e successivamente rioccupata con strumentazione GPS a doppia frequenza nel 1994, 2002, 2004 e, più recentemente, nell'ambito del Progetto Messina nel 2008. I dati sono stati processati con il software GAMIT ed il campo di velocità (Figura 1) evidenzia che attraverso lo Stretto di Messina le velocità rispetto alla pacca Eurasiatica mostrano un cambiamento dell'orientamento da N-NNW a NNE, a dimostrazione che questa regione rappresenta un importante limite tettonico tra due domini, la Sicilia e la Calabria, caratterizzate da una cinematica diversa.

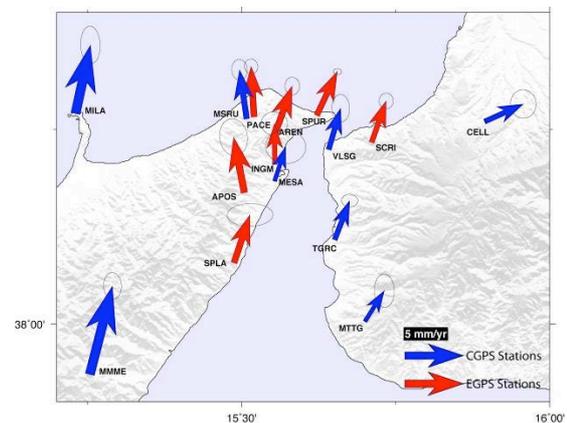


Figura 1. Velocità delle stazioni GPS (ellissi d'errore al livello di confidenza del 95%) rispetto alla placca Eurasiatica. I vettori blu si riferiscono alle stazioni GPS permanenti (CGPS) ed i vettori rossi alle stazioni GPS non-permanenti (EGPS).

Il campo di velocità GPS ottenuto, inoltre, mostra che tra i Monti Peloritani (le stazioni MSRU e PACE) e la stazione MTTG in

Calabria vengono accomodati circa 2.7 ± 0.3 mm/anno di distensione NW-SE, e che l'estensione tra le coste Siciliana e Calabrese è pressoché insignificante.

Il campo di velocità GPS orizzontale è stato utilizzato per calcolare il gradiente di velocità interpolato su una griglia regolare (Figura 2) alla scala dello Stretto di Messina. Il campo di deformazione locale mostra che l'area oggetto di studio è caratterizzata da una distensione pura in direzione da WNW-ESE a NW-SE, con tassi di deformazione compresi tra 82 e 120 *nanostain*/anno (Figura 3).

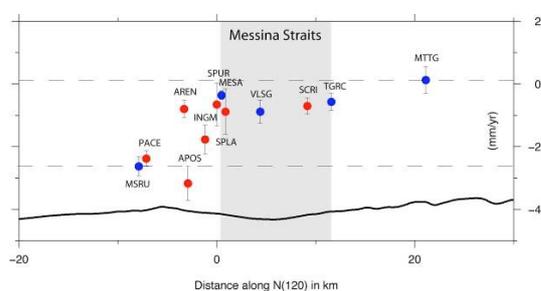


Figura 2. Profilo di velocità attraverso lo Stretto di Messina. Le velocità di Figura 1 sono proiettate lungo la direzione N120E.

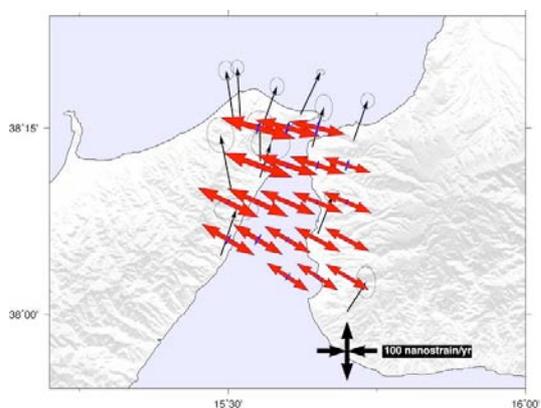


Figura 3. Campo di deformazione interpolato su una griglia regolare a partire dalle velocità GPS. I vettori neri mostrano le stazioni utilizzate per il calcolo.

Il campo di deformazione osservato sembrerebbe in accordo con la presenza di una faglia normale orientata circa parallelamente allo Stretto di Messina. Un semplice modello di dislocazione elastica

mostra che gli spostamenti osservati sono in accordo con una faglia distensiva immergente verso SE. Tuttavia, l'utilizzo di questi modelli di deformazione inter-sismica è complicato dal fatto che il gradiente di velocità osservato attraverso lo Stretto di Messina potrebbe essere significativamente influenzato dalla presenza di altre faglie attive (e quindi in fase di accumulo di deformazione) all'intorno della zona oggetto di studio. È allo studio un modello cinematico che tenga conto degli effetti di altre faglie attive sul gradiente di velocità osservato attraverso lo Stretto di Messina al fine di migliorare la risoluzione della geometria e della cinematica della possibile faglia attiva attraverso lo Stretto.

Bibliografia

- Argnani, A., Serpelloni, E. & Bonazzi, C. (2007). Pattern of deformation around the central Aeolian Islands: evidences from multichannel seismics and GPS data, in press *Terranova*, doi: 10.1111/j.1365-3121.2007.00753.x.
- Anzidei, M., P. Baldi, C. Bonini, G. Casula, S. Gandolfi, and F. Riguzzi (1998). Geodetic surveys across the Messina Straits (southern Italy) seismogenic area, *J. Geodyn.*, 25, 85-97.
- D'Agostino N., and G. Selvaggi (2004). Crustal motion along the Eurasia-Nubia plate-boundary in the Calabrian Arc and Sicily and active extension in the Messina Straits from GPS measurements, *J. Geophys. Res.*, 109, B11402, doi:10.1029/2004JB002998.
- Goes, S., Giardini, D., Jenny, S., Hollenstein, C., Kahle, H.-G. and Geiger, A. (2004). A recent reorganization in the south-central Mediterranean. *EPSL*, 226, 335-345.
- Serpelloni, E., G. Vannucci, S. Pondrelli, A. Argnani, G. Casula, M. Anzidei, P. Baldi, and P. Gasperini (2007). Kinematics of the Western Africa-Eurasia Plate Boundary From Focal Mechanisms and GPS Data, *Geophys. J. Int.*, 169, 1180-1200, doi: 10.1111/j.1365-246X.2007.03367.x.

I MAREMOTI NELLO STRETTO DI MESSINA: DAI MODELLI NUMERICI DI SIMULAZIONE ALL'ANALISI DEL RISCHIO

Stefano Tinti e Alberto Armigliato

Università di Bologna – Dipartimento di Fisica, Settore Geofisica

Il catalogo dei maremoti italiani (Tinti et al., 2004) indica chiaramente che lo stretto di Messina è fra le aree costiere italiane maggiormente esposte alla pericolosità e al rischio associato ai maremoti. La pericolosità è legata sia a sorgenti locali che a sorgenti remote, ove per remote intendiamo sorgenti poste al di fuori dello stretto nel Tirreno meridionale o lungo la costa orientale sicula, ed anche sorgenti che si trovano a grandi distanze, come per esempio l'Arco Ellenico. Inoltre, è noto storicamente che lo stretto può essere colpito da maremoti generati tanto da terremoti (vedi il grande sisma del 28 dicembre 1908) quanto da frane, in generale innescate da terremoti (si veda il caso del 6 febbraio 1783). L'area è inoltre caratterizzata da elevata vulnerabilità lungo tutte le coste sicule e calabre, legata principalmente all'urbanizzazione, alle attività industriali e portuali ed al turismo. Lo studio e la mitigazione del rischio da maremoti nello stretto di Messina è quindi da considerarsi come un obiettivo di primaria importanza sia dal punto di vista scientifico che da quello della protezione civile.

Studiare il rischio legato ai maremoti è in generale un compito complesso, poiché la probabilità di occorrenza dei maremoti può considerarsi bassa ma le conseguenze sono potenzialmente disastrose. La comunità scientifica, soprattutto dopo il disastroso maremoto del 26 dicembre 2004 nell'oceano indiano, sta lavorando alla definizione di una metodologia standard per la valutazione del rischio legato ai maremoti. In ambito europeo, questo è uno degli obiettivi fondamentali del progetto TRANSFER (Tsunami Risk And Strategies For the European Region), coordinato dall'Università di Bologna e comprendente 29 partners in tutta Europa. L'analisi che presentiamo qui si basa sulla combinazione di mappe di

pericolosità, che sono il risultato delle simulazioni numeriche di propagazione e impatto di maremoti, e di mappe di vulnerabilità, ottenute mediante analisi di dettaglio di esposizione e vulnerabilità delle zone costiere della Sicilia orientale e della Calabria occidentale. Il rischio viene infine definito in termini del numero totale di persone che si prevede essere colpite da un maremoto in un dato intervallo di tempo.

La parte di modellazione numerica ha come scopo quello di produrre mappe di inondazione su griglie ad alta risoluzione (da poche decine di metri a pochi metri) che coprano in particolare le zone ad alta densità di popolazione (città, porti, zone turistiche). A loro volta, le mappe di inondazione sono il risultato dell'elaborazione di scenari basati su un evento storico specifico e sulle sorgenti proposte per quel particolare evento. I risultati che presenteremo si riferiscono al maremoto del 28 dicembre 1908 e si basano su alcune delle sorgenti proposte in letteratura per il terremoto (ad esempio Valensise e Pantosti, 1992; DISS Working Group, 2007). La modellazione numerica viene effettuata mediante il programma alle differenze finite UBO-TSUFDF, sviluppato presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna, che risolve le equazioni non lineari di Navier-Stokes nell'approssimazione di shallow-water su griglie innestate.

La stima della vulnerabilità è affrontata quantificando su base socio-economica il numero di persone che sono esposte al pericolo di un impatto di maremoto. In particolare, viene presa in considerazione la popolazione che vive stabilmente o stagionalmente lungo la fascia costiera: vengono quindi inclusi tanto i complessi residenziali quanto le zone industriali e commerciali, e gli edifici pubblici come

ospedali, scuole e università. Vengono tenuti in conto anche i flussi turistici, particolarmente intensi durante la stagione estiva, e la relativa variazione stagionale. Il numero di persone che possono essere coinvolte nell'impatto di un maremoto viene quindi determinato o sulla base delle mappe di inondazione ottenute per diversi scenari numerici relativi a terremoti di diversa magnitudo, oppure partendo più semplicemente da diversi valori di run-up lungo la costa. Per passare alla stima del rischio è necessario quantificare la probabilità di occorrenza dei suddetti maremoti, che può essere determinata o sulla base del tempo di ritorno di terremoti di data magnitudo, oppure sulla base di metodi come quello ibrido statistico-deterministico proposto da Tinti et al. (2005), che forniscono il numero di terremoti capaci di generare maremoti con run-up superiore ad una determinata soglia in un dato intervallo di tempo. Combinando infine il numero di persone coinvolte con la probabilità dei maremoti, è possibile stimare il numero annuo atteso di persone colpite da maremoto. Verranno presentati e discussi alcuni risultati preliminari ottenuti per le coste siciliane e calabre.

Ringraziamenti. Parte della metodologia descritta qui e dei risultati che verranno presentati al convegno sono stati ottenuti nell'ambito del Progetto Europeo TRANSFER (Tsunami Risk And Strategies For the European Region, contract n. 037058). Parte del lavoro sul maremoto del 28 dicembre 1908 è stato svolto nell'ambito del progetto DPC-S1.

Bibliografia

- DISS Working Group, (2007). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.0.4: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://legacy.ingv.it/DISS/>.
- Tinti S., Maramai A. and Graziani L., (2004). The new catalogue of Italian tsunamis. *Nat. Haz.*, 33, 439-465 (scaricabile da <http://www.ingv.it/servizi-e-risorse/BD/catalogo-tsunami/catalogo-degli-tsunami-italiani>).
- Tinti S., Armigliato A., Tonini R., Maramai A. and Graziani L., (2005). Assessing the hazard related to tsunamis of tectonic origin: a hybrid statistical-deterministic method applied to southern Italy coasts. *ISET Journal of Earthquake Technology*, 42, 189-201.
- Valensise G. and Pantosti D., (1992). A 125 Kyr-long geological record of seismic source repeatability: the Messina Straits (southern Italy) and the 1908 earthquake (MS 7½). *Terra Nova*, 4, 472-483.

INTERFEROMETRIA SAR APPLICATA ALLA MISURA DEI MOVIMENTI DEL SUOLO NELLA PIANA DI GIOIA TAURO

Cristiano Tolomei¹, Ernesto Tomaselli², Salvatore Stramondo¹, Stefano Salvi¹, Anna Gervasi^{1,2}, Ignazio Guerra², Simone Atzori¹

¹*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Centro Nazionale Terremoti*

²*Università della Calabria, Dipartimento di Fisica*

È stato condotto uno studio dei movimenti del suolo nella Piana di Gioia Tauro con l'utilizzo di dati telerilevati da satellite. Più precisamente è stato acquisito un dataset SAR (Synthetic Aperture Radar) relativo ai satelliti ERS ed ENVISAT dell'Agenzia Spaziale Europea.

I dati da satellite consistono in oltre 100 immagini da orbita discendente (Fig. 1) e 70 da orbita ascendente, acquisite nel periodo che va dal 1992 al 2008.

I dati SAR sono stati elaborati utilizzando una tecnica di Interferometria SAR (InSAR) multitemporale nota con l'acronimo SBAS (Small Baseline Subsets) (Berardino et al., 2002). Essa si basa sull'uso di un elevato numero di scene SAR, distribuite nel tempo lungo il periodo di indagine, che vengono incrociate a costituire una serie di coppie interferometriche. In seguito queste vengono opportunamente combinate tramite procedure di post-processing che permettono di generare una serie storica di interferogrammi tra loro connessi. Disponendo di due diversi angoli di vista è inoltre possibile stimare la subsidenza e la componente est-ovest di spostamento. Il contributo topografico e quello atmosferico vengono stimati e successivamente rimossi. Il risultato è quindi una mappa di velocità media del suolo calcolata in una serie di punti dove il segnale interferometrico rimane coerente nel tempo.

Le mappe hanno una risoluzione al suolo di 80 x 80 metri e presentano una buona copertura di punti soprattutto nelle zone urbanizzate.

Il risultato della analisi SBAS relativa all'area di studio evidenzia in particolare una subsidenza diffusa stimata tra qualche

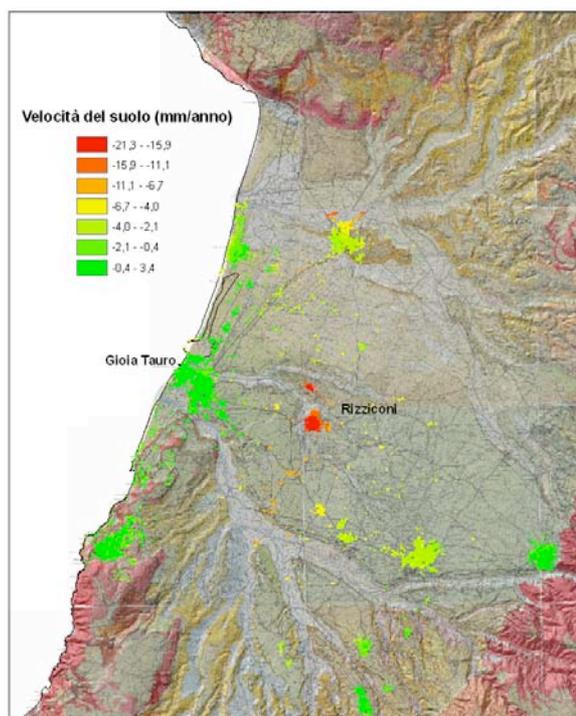


Figura 1. Mappa di velocità su orbita discendente, sovrapposta alla carta geologica.

mm/anno fino a raggiungere i circa 20 mm/anno nel centro abitato di Rizziconi.

Come è ben noto, l'area studiata costituisce un bacino interposto tra la catena delle Serre Calabre ed il Mar Tirreno, caratterizzato dalla presenza di una spessa copertura sedimentaria di età prevalentemente pleistocenica, e dalla presenza/vicinanza di importanti strutture tettoniche che poco più di due secoli orsono hanno dato luogo alla più importante crisi sismica che abbia interessato il territorio nazionale in epoca storica. Essa è inoltre sede di una fiorente attività agricola. La subsidenza rilevata può quindi essere attribuita a diverse cause, come

la costipazione di sedimenti recenti, l'emungimento di acqua dalle falde o movimenti di origine tettonica. Le indagini intese ad identificare l'effettiva origine del fenomeno rilevato sono al momento in fase di avvio.

Bibliografia

- Berardino, P., G. Fornaro, R. Lanari, and E. Sansosti (2002). A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 40, 2375–2383.

LOCALIZZAZIONE PROBABILISTICA 3D (NONLINLOC) APPLICATA ALL'AREA CALABRO-PELORITANA

T. Tuvè, A. Mostaccio, G. Barberi, D. Patanè, L. Zuccarello

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Catania

Sono presentati e discussi i risultati preliminari relativi ad una ri-localizzazione probabilistica non-lineare 3D dei terremoti dell'area compresa tra il Tirreno meridionale e l'Arco Calabro-Peloritano (Italia meridionale).

Scopo del lavoro è dimostrare che l'applicazione di un'approccio probabilistico non-lineare nella localizzazione dei terremoti può fornire dei risultati più accurati ai fini della sorveglianza, ovviando al problema degli outlier, rispetto alle tecniche di localizzazione lineari (e.g. *Hypoellipse*), che minimizzano simultaneamente tutti i residui tra fasi osservate e calcolate.

Il programma utilizzato è NonLinLoc [Lomax, et al., 2000; Lomax, et al., 2001; Lomax, 2005; <http://www.alomax.net/nlloc>; NonLinLoc di seguito] il quale permette di effettuare un'efficiente ricerca globale dello spazio dei parametri ipocentrali (coordinate spaziali e tempo origine) ottenendo una stima della *funzione densità di probabilità (pdf, probability density function)* a posteriori. La *pdf* fornisce una descrizione completa della localizzazione e delle sue incertezze; il campionamento dello spazio dei parametri ipocentrali è stato fatto mediante la tecnica *Oct-tree* nella regione compresa tra 37.75 e 39.40 N in latitudine e tra 14.80 e 16.80 E in longitudine, e utilizzando tutti gli eventi con profondità $H \leq 30$ km.

La struttura dell'*Oct-tree* è stata imposta in 100,000 celle ed un insieme di queste celle viene poi salvata in modo da poter rappresentare graficamente la *pdf* mediante nubi di punti a diversa densità.

Il dataset utilizzato per le nostre analisi è composto da 1,304 terremoti, di $1.0 < M < 4.3$, registrati nel periodo compreso tra il 1994 e il 2006; il modello di velocità 3D adottato è stato ottenuto da Barberi et al., 2008 [poster presentato a questo convegno] invertendo lo

stesso dataset, mediante l'utilizzo del software *TomoDD*.

I risultati ottenuti sono stati confrontati sia con le localizzazioni 1D (*Hypoellipse*) che con quelle 3D. Si evidenzia una maggiore clusterizzazione degli eventi e, soprattutto, un evidente miglioramento della qualità delle localizzazioni utilizzando il modello di velocità crostale 3D. Per cui riteniamo che, l'applicazione del metodo probabilistico associato ad un buon modello di velocità 3D, può essere utilizzato ai fini di sorveglianza.

Bibliografia

- Barberi G., Cocina O., Scarfi L., Castellano M., Chiarabba C., Patanè D. e Zhang H. (2008). Immagini tomografiche del Tirreno Meridionale e dell'Arco Calabro. Convegno "1908-2008: scienza e società a cento anni dal grande terremoto", Reggio Calabria, 10-12 Dicembre 2008.
- Lomax A., Virieux J., Volant P. e Berge C. (2000). Probabilistic earthquake location in 3D and layered models: Introduction of a Metropolis-Gibbs method and comparison with linear locations. In: Thurber C.H. e Rabinowitz N. (eds.): *Advances in seismic event location* - Kluwer, Amsterdam, pp. 101-134.
- Lomax A. e A. Curtis (2001). Fast, probabilistic earthquake location in 3D models using Oct-tree importance sampling. *Geophys. Res. Abstr.*, Vol. 3, pp. 955.
- Lomax A., Zollo A., Capuano P. e Virieux J. (2001). Precise, absolute earthquake location under Somma-Vesuvius volcano using a new 3D velocity model. *Geophys. J. Int.*, Vol. 146, pp. 313-331.
- Lomax A. (2005). A Reanalysis of the hypocentral location and related observations for the great 1906 California Earthquake. *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 95, pp. 861-87.

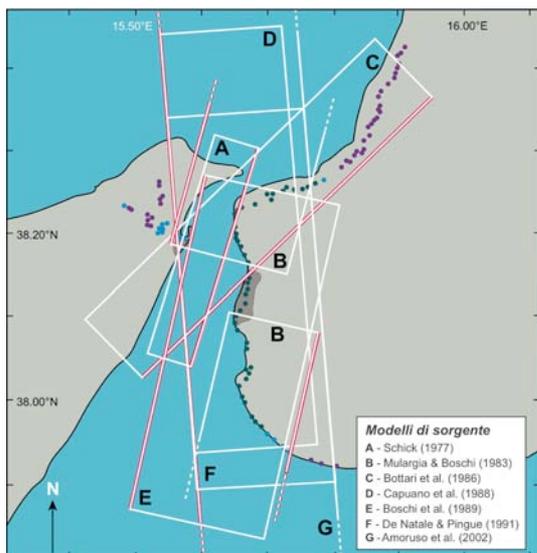


Figura 2. Modelli di sorgente semplificati ottenuti da diversi autori a partire dal 1977. Il rettangolo in bianco delinea la proiezione in superficie della faglia sismogenetica. La riga rossa marca il lato meno profondo della faglia. I modelli A, B (solo faglia meridionale) e C prevedono una faglia pendente verso W o NW, mentre tutti gli altri, inclusa la faglia settentrionale di C e i più recenti, prevedono una faglia pendente verso E.

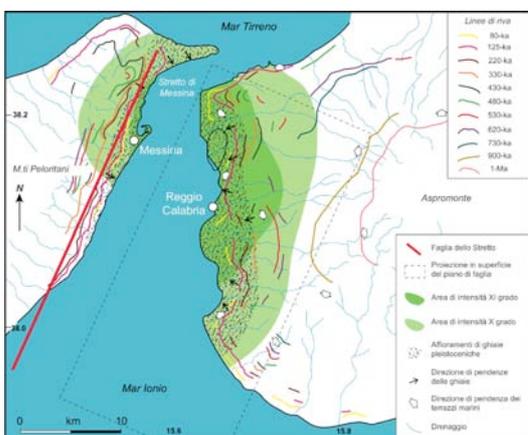


Figura 3. Sintesi delle principali caratteristiche geologiche e geomorfologiche dello Stretto di Messina in relazione alla distribuzione del danno e alla posizione della faglia che ha generato il terremoto, di cui viene mostrata la proiezione in superficie (da Valensise e Pantosti 1992, ritracciata).

- 3) di essere congruente con le più recenti elaborazioni di osservazioni GPS (si veda in proposito la presentazione di Serpelloni et al.);
- 4) di essere compatibile con i modelli geodinamici correnti (si veda in proposito la presentazione di Di Bucci et al.); e
- 5) di consentire un ottimo *fit* delle osservazioni di intensità macrosismica attraverso l'elaborazione di modelli deterministici dello scuotimento (si veda in proposito la presentazione di Faccioli).

Bibliografia

- Boschi, E., D. Pantosti e G. Valensise (1989). Modello di sorgente per il terremoto di Messina del 1908 ed evoluzione recente dell'area dello Stretto, in Atti dell'8° Convegno GNGTS, Roma 7-9 novembre 1989, vol.1, 245-258.
- Caciagli, M. (2008). Le tracce del terremoto del 1908 nell'ambiente naturale, in: G. Bertolaso et al., Il terremoto e il maremoto del 28 dicembre 1908, SGA-INGV-DPC, Roma e Bologna 2008, 197-214.
- Loperfido, A. (1909). Livellazione geometrica di precisione eseguita dall'I.G.M. sulla costa orientale della Sicilia, da Messina a Catania, a Gesso ed a Faro Peloro e sulla costa occidentale della Calabria da Gioia Tauro a Melito di Porto Salvo. Relaz. Comm. Reale Acc. Naz. Lincei, 35 pp.
- Mulargia, F., e E. Boschi (1983). The 1908 Messina earthquake and related seismicity, in: H. Kanamori e E. Boschi (a cura di), Earthquakes: observation, theory and interpretation, Proceedings of the International School of Physics "Enrico Fermi", course 85, Amsterdam, New York, 493-518.
- Valensise G., e D. Pantosti (1992). A 125 Kyr-long geological record of seismic source repeatability: the Messina Straits (southern Italy) and the 1908 earthquake (MS71/2), Terra Nova, 4, 472-483.
- Valensise, G., R. Basili e P. Burrato (2008). La sorgente del terremoto del 1908 nel quadro sismotettonico dello Stretto di Messina, in: G. Bertolaso et al., Il terremoto e il maremoto del 28 dicembre 1908, SGA-INGV-DPC, Roma e Bologna 2008, 161-182.

STOCHASTIC AND FULL-WAVEFIELD FINITE-FAULT GROUND-MOTION SIMULATIONS OF THE M 7.1, MESSINA 1908 EARTHQUAKE (SOUTHERN ITALY)

Gaetano Zonno¹, Gemma Musacchio¹, Roberto Basili², Walter Imperatori³, Martin Mai³

¹*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Milano-Pavia*

²*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Roma I*

³*Institute of Geophysics (ETH), Zurich, Switzerland*

In the framework of an ongoing Italian national research project we are studying the Messina 1908 earthquake, the first to be recorded adequately by seismological and geodetic instrumentation.

We use a high-frequency stochastic finite-fault modelling [Motazedian and Atkinson 2005] to simulate the ground-shaking for a number of different source models [Basili et al. 2008], either constrained from past source studies of this event or simulated. Although inherently kinematic, our approach accounts for the physics of the source using a procedure to generate physically consistent earthquake-rupture models [Guatteri et al. 2004]. Considering the width of the seismogenic zone and appropriate source-scaling relation, we generate heterogeneous slip models that obey to the source complexity of past earthquakes [Mai and Beroza 2002]. By also constraining the point of rupture initiation based on empirical findings and energy-balance arguments [Mai et al. 2005], we generate a suite of earthquake source models to compute far-field ground-shaking. The Housner parameter from the stochastic high-frequency simulations is then compared with the felt intensity (MCS scale). The developed procedure is a necessary tool to take into account the influence of directivity effects in simulating ground shaking scenarios using realistic slip distribution on the fault.

Furthermore, we carry out full-wavefield ground-motion calculations (at frequencies $f < 3$ Hz) to compare those low-frequency simulations with (a) the stochastic

simulations and (b) appropriate ground-motion prediction equations. The combined approach helps to examine the validation range of the two methods and may serve as a basis to develop a hybrid technique which combines the two methods for generating fully broadband synthetic seismograms.

References

- Basili R., Valensise G., Vannoli P., Burrato P., Fracassi U., Mariano S., Tiberti M. M. and Boschi E. (2008). The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), vers. 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology. *Tectonophysics*.
doi:10.1016/j.tecto.2007.04.014
- Guatteri M., Mai P.M., Beroza G.C., and Boatwright J. (2003). Strong-ground motion prediction from stochastic-dynamic source models, *Bull. Seis. Soc. Am.*, Vol. 93 (1), pp. 301-313.
- Mai P.M., and Beroza G.C. (2002). A spatial random-field model to characterize complexity in earthquake slip, *J. Geophys. Res.*, 107(B11), 2308
doi:10.1029/2001JB000588, 2002.
- Mai P.M., Spudich P., and Boatwright J. (2005). Hypocenter locations in finite-source rupture models, *Bull. Seis. Soc. Am.*, Vol 95 (3), 965-980.
- Motazedian D. and Atkinson G. M. (2005). "Stochastic Finite-Fault Modeling Based on a Dynamic Corner Frequency", *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 95, No. 3, pp. 995-1010, June 2005.

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Laboratorio Grafica e Immagini | INGV Roma

© 2008 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