# Uno Studio per la Valutazione della Pericolosità derivante da Processi Geologici Sottomarini nei Mari Italiani: Terremoti, Maremoti e Frane

Coordinatore: Dott. Andrea Argnani

## Introduzione

L'italia si colloca in un'area geologicamente giovane e molto attiva dal punto di vista tettonico. I terremoti e le eruzioni vulcaniche, come pure l'intensa erosione dei suoi giovani rilievi, sono processi geologici normali in questo contesto, ma possono assumere un connotato di pericolosità per gli effetti che hanno sulla popolazione e sulle opere civili. È importante sottolineare che anche le aree marine che circondano l'Italia sono sede di processi geologici che possono presentare un potenziale rischio civile, ambientale ed ecologico.

La valutazione del rischio legato ad un evento geologico è legata a fattori quali la densità della popolazione e la natura dei manufatti in una data area; tuttavia, una buona conoscenza del contesto tettonico nel quale l'evento si origina e delle modalità con le quali gli effetti si propagano nello spazio e nel tempo sono ugualmente importanti. In quest'ottica, lo studio dell'assetto tettonico delle aree marine dove è stata riscontrata attività sismica può contribuire significativamente alla valutazione dei rischi geologici e riveste un particolare interesse per il presente progetto.

L'unità **IGM1** ha come obiettvo lo studio della neotettonica che interessa la scarpata della Sicilia orientale, una regione sismicamente attiva che non è stata adeguatamente studiata sino ad ora. L'unità **IGM2** ha come obiettvo lo studio delle relazioni esistenti fra terremoti e instabilità dei sedimenti nell'Adriatico centrale. Gli aspetti che riguardano, invece, processi di tsunami, dovuti sia a rotture di faglia sia a frane sottomarine, sono invece curati dall'unità **UNIBO**, che si occupa della modellazione numerica di tali processi.

In aggiunta, è stato organizzato un incontro informale fra l'unità **IGM1** e i partecipanti al progetto "**Progettazione di reti di monitoraggio e allarme in aree marine prospicienti zone ad elevato rischio sismico. Prima realizzazione di un nodo nella Sicilia Orientale**" (Coordinatore Laura Beranzoli) allo scopo di scanbiare informazioni rilevanti sulle aree marine al largo della Sicilia orientale. In particolare, i risultati delle prime registrazioni effettuate dalla stazione sismica posta al largo di Catania potrebbero consentire una migliore localizzazione delle faglie sismicamente attive presenti a mare.

## SOTTOPROGETTI

### 1) Individuazione e caratterizzazione di strutture tettoniche a potenziale sismogenico e tsunamigenico sulla scarpata della Sicilia orientale

Responsabile: Andrea Argnani

**Assetto Geologico**

La ripida scarpata della Sicilia orientale mette a contatto, nello spazio di pochi chilometri, la stretta piattaforma marina siciliana e il profondo bacino ionico. Questo elemento morfologico, la cui origine tettonica è stata da tempo riconosciuta (Scandone et al., 1981; Casero et al., 1984), è sede di una intensa sismicità, documentata sia nei cataloghi storici sia dalle recenti registrazioni strumentali. I disastrosi terremoti che hanno colpito a più riprese Catania, Messina e le città' della Calabria meridionale sono quasi certamente da associarsi al sistema di strutture tettoniche presenti in mare (Bianca et al., 1999). Inoltre, i maggiori tsunami che hanno interessato le coste italiane, con onde alte fino a 13 metri (Dicembre 1908), hanno avuto origine in quest'area (Tinti, 1991; Piatanesi & Tinti, 1998). Un'altro aspetto di interesse nel quadro geologico regionale riguarda le relazioni che, secondo alcuni autori, possono intercorrere fra l'attività tettonica del sistema di faglie della scarpata di Malta e l'attività vulcanica dell'Etna (Hirn et al., 1997).

**Obiettivi**

Recenti acquisizioni di dati morfobatimetrici da parte dell'IGM hanno messo in luce la presenza di rotture che interessano il fondale marino e che sono imputabili a fagliazione attiva. Tuttavia, il sistema di faglie nella zona è piuttosto complesso e la geometria delle strutture è nota solo a grandi linee. Lungo la scarpata della Sicilia orientale sono stati infatti acquisiti alcuni profili sismici a riflessione con obiettivi profondi, finalizzati ad investigare aspetti quali la struttura crostale della scarpata e le sue relazioni col bacino ionico (STREAMERS, Hirn et al., 1997 e CROP Mare, Catalano et al., 2000) o la natura delle aree antistanti l'Etna (ETNASEIS, Cernobori et al., 1996).

I profili sismici pubblicati e la sismica monocanale IGM mostrano la presenza di scarpate di faglia e di bacini sedimentari collegati all'attivita delle faglie. I sedimenti che riempiono questi bacini mostrano geometrie di crescita che registrano l'attività delle faglie, in termini di entità del rigetto e di età relativa. Le mappe delle faglie presenti lungo la Scarpata Ibleo-Maltese nell'offshore di Augusta e Siracusa (Hirn et al., 1997; Bianca et al., 2000) sono tuttavia basate su un grigliato di profili molto rado.

Per ovviare a queste difficoltà è stat pianificato ed effettuato un rilievo regionale di sismica multicanale, facendo uso dei dati pubblicati (Cernobori et al., 1996; Hirn et al., 1997; Bianca et al., 1999), dei profili sismici monocanale acquisiti dall'IGM negli anni '70, e della morfobatimetria di dettaglio recentemente acquisita nell'ambito del Progetto Strategico (1996).

**Campagna MESC 2001**

La campagna di acquisizione sismica multicanale è stata effettuata dal 27 Luglio al 16 Agosto a bordo della N/O Urania e ha portato all'acquisizione di circa 2500 km di

profili sismici. L'acquisizione è stata effettuata con un cavo Teledyne a 48 canali con intertraccia di 12.5 m e con un cannone G.I. Sodera in configurazione armonica (105 + 105 c.i.) come sorgente sismica. La distanza di sparo di 50 m ha portato ad una copertura del 600%. Grazie alle ottime condizioni meteomarine, che hanno limitato i disturbi ambientali, la qualità dei dati acquisiti si può considerare buona. Nonostante una riduzione del tempo-nave richiesto sono state acquisite quasi tutte le linee di progetto nelle due zone di interesse (vedi figure con le tracce dei profili). le linee sismiche acquisite sono state elaborate secondo una sequenza standard, fino alla migrazione in tempi. Allo scopo è stato utilizzato il software Disco/Focus della Paradigm.

Nell'ambito di questa crociera di acquisizione è stata anche compresa la zona di mare antistante l'Etna, nella quale si trova la parte piu distale del fianco orientale del vulcano. Questo consentirà di osservare la parte basale dell'edificio ed eventualmente di stabilire se l'elevato gradiente topografico della scarpata Ibleo-Maltese perturba lo stato di equilibrio del vulcano (McGuire, 1996). Lo studio delle geometria delle strutture tettoniche presenti nell'incrocio fra l'allineamento della Scarpata di Malta e l'edificio vulcanico dell'Etna possono anche contribuire a chiarire le relazioni fra attività tettonica e attività vulcanica che sono state ipotizzate per la regione etnea (e.g., Hirn et al., 1997).

Inoltre, nell'ambito dell'interazione con lo studio del vulcanismo e della pericolosità a questo associata, si è ritenuto importante investigare anche quella che si può considerare come la prosecuzione della scarpata Ibleo-Maltese nell'Arco Eoliano, ovvero, l'allineamento Salina -Vulcano a direzione NNO-SSE (Barberi et al., 1974; Lanzafame and Bousquet, 1997). L'obiettivo è l'individuazione di trend strutturali regionali che possono controllare l'attività vulcanica e influenzare la stabilità degli edifici.

**Risultati preliminari**

Il sistema di faglie che caratterizza la scarpata della Sicilia orientale è ben risolto dai profili sismici cquisiti e mostra una complessità superiore a quanto sino ad ora riconsciuto dagli studi precedenti (Cernobori et al., 1996; Hirn et al., 1997; Bianca et al., 1999; Nicolich et al., 2000).

La mappa struttrale semplificata della scarpata della Sicilia orientale e delle aree marine limitrofe illustra la posizione delle struttre neotettoniche rispetto alla Scarpata di Malta. Le strutture riconosciute si impostano sopra alle unità deformate che costituiscono l'Arco Calabro esterno. Il prisma di accrezione dell'Arco Calabro esterno sovrascorre in parte la Scarpata di Malta almeno fino alla latitudine di Siracusa. La maggior parte delle strutture riconosciute presenta direzioni NNW-SSE, comparabili con quelle della Scarpata di Malta, ad eccezione del monte sottomarino Alfeo, che presenta invece drezione NNE-SSW. Le faglie estensionali. Nell'insieme si individua una fascia deformata con le strutture ubicate più orientali che presentano caratteri di faglie estensionali riattivate successivamente in contrazione. In almeno un caso una di queste faglie extensionali riattivate passa verso sud a una ampia zona di sollevamento dove le evidenze di estensione sono mancanti. Le faglie extensionali posizionate a occidente nella fascia deformativa non presentano, invece, riattivazioni contrazionali.

In generale la Scrapata di Malta rappresenta l'elemento morfologico dominante dell'area e appare come una ripida scarpata immergente a est e parzialmente ricoperta in onlap dai sedimenti suborizzontali del bacino ionico. Nell'area al largo della Sicilia la Scarpata di Malta può essere suddivisa iin due parti aventi differenti caratteristche tettoniche (Argnani and Bonazzi, 2002; Argnani et al., 2003).

a) Il segmento posto a nord di Siracusa è caratterizzato dalla presenza di faglie estensionali a direzione NNW-SSE immergenti verso est che si collocano lungo il rilievo della Scarpata di Malta. Queste faglie terminano rapidamente verso sud, dove la deformazione si trova invece 20-30 km a est della scarpata ed è caratterizzata da ampie aree di sollevamento allungate in direzione NNW-SSE che sembrano bordate da faglie inverse. Le geometrie di crescita osservate nei sedimenti più superficiali indica l'attività recente di queste strutture.

b) Nel segmento posto a sud di Siracusa la Scarpata di Malta non sembra interessata da fagliazione recente. In quest'area si può osservare uno spesso pacchetto di riflessioni che passa dalla scarpata al bacino adiacente. Le litologie attribuibili a questo pacchetto di riflessioni sono state campionate nella scarpata meridionale del monte sottomarino Alfeo. Lo studio di questi campioni ha messo in luce la presenza di facies pelagiche di età giurassica (Rossi and Borsetti, 1977).

## Bibliografia


Amato A., Azzara R., Basili A., Chiarabba C., Cocco M., Di Bona M. and Selvaggi G. (1995) - Main shock and after shocks of the December 13, 1990 Eastern Sicily earthquake. Annali di Geofisica, 38, 255-266.

Argnani A., and Bonazzi C. (2002) - The neotectonics of the Eastern Sicily slope and its geodynamic significance. Geophysical Research Abstracts, EGS XXVII General Assembly, Nice, 21-26 April 2002.

Argnani A., Bonazzi C. and the MESC 2001 Crew (2003) - Tectonics of Eastern Sicily Offshore: Preliminary Results from the MESC 2001 Marine Seismic Cruise. Boll. Geof. Teor. Appl., in press.

Barberi F., Innocenti F., Ferrara G., Keller J. & Villari L. (1974) - Evolution of Eolian arc volcanism (Southern Tyrrhenian Sea). Earth Planetary Science Letters, 21: 269-276.

Bianca M., Monaco C., Tortorici L. and Cernobori L. (1999) - Quaternary normal faulting in southeastern Sicily (Italy): a seismic source for the 1693 large earthquake. Geoph. J. Intern., 139, 370-394.

Casero P., Cita M.B., Croce M. & De Micheli A.(1984) - Tentativo di interpretazione evolutiva della scarpata di Malta basata su dati geologici e geofisici. Mem. Soc. Geol. It., 27, 233-253.

Catalano R., Franchino A., Merlini S. and Sulli A. (2000) - A crustal section from the Eastern Algerian basin to the Ionian ocean (Central Mediterranean). Mem. Soc. Geol. It., 55, 71-85.

Cernobori L., Hirn A., McBride J.H., Nicolich R., Petronio L., Romanelli M. & STREAMERS/PROFILES Working Groups (1996) - Crustal image of the Ionian basin and its Calabrian margins. Tectonophysics 264, 175-189.

Giardini D., Palombo B. and Pino N.A. (1995) - Long-period modelling of MEDNET waveforms for the December 13, 1990 Eastern Sicily earthquake. Annali Geofisica., 38, 267-282.

Hirn A., Nicolich R., Gallart J., Laigle M., Cernobori L. & ETNASEIS Scientific Group (1997) - Roots of Etna volcano in faults of great earthquakes. Earth Plan. Sci. Lett., 148, 171-191.

Lanzafame G. and Bousquet J.C. (1997) - The Maltese escarpment and its extension from Mt. Etna to the Aeolian Islands (Sicily): importance and evolution of a lithosphere discontinuity. Acta. Vulcan., 9, 113-120.

McGuire W.J. (1996) Volcano instability: a review of contemporaneous themes. In, Volcanoinstability on the Earth and other Planets, W.J. McGuire, A.P. Jones & J. Neuberg (eds), Geol. Soc. Spec. Publ., 110, 1-23.

Piatanesi A. & Tinti S. (1998) - A revision of the 1693 eastern Sicily earthquake and tsunami. J.Geoph. Res. 103, 2749-2758.

Rossi S. and Borsetti A.M. (1977) - Dati preliminari di stratigrafia e di sismica del Mare Ionio settentrionale. Mem. Soc. Geol. It., 13, 251-259.
Scandone P., Patacca E., Radoicic R., Ryan W.B.F., Cita M.B., Rawson M., Chezar H., Miller E., McKenzie J. & Rossi S. (1981) - Mesozoic and cenozoic rocks from the Malta Escarpment (central Mediterranean). AAPG Bull., 65, 1299-1319.
Tinti S. (1991) - Assessment of tsunami hazard in the Italian seas. Natural Hazards 4, 267-283.

## 2) Deformazione dovuta a processi di fuga di fluidi dei depositi tardo-olocenici di prodelta dell'Adriatico

Responsabile: Fabio Trincardi

### Introduzione

Lo scopo del presente sottoprogetto consiste nello studio dei rischi legati a frane sottomarine in Adriatico Centrale per contribuire a definenire:

a) i fattori predisponenti che rendono potenzialmente instabile un accumulo di sedimenti superficiali, con particolare attenzione all'assetto stratigrafico dei depositi successivamente mobilizzati e alla morfologia delle deformazioni risultanti;
b) i meccanismi di innesco che danno origine a episodi di destabilizzazione e trasporto gravitativo lento o catastrofico;
c) la ricorrenza di tali eventi, attraverso lo studio di depositi gravitativi sottomarini a partire dall'ultimo massimo glaciale fino a tempi recenti e storici.

Tra i vari fattori predisponenti, è fondamentale tenere conto 1) dell'influenza dell'ultimo ciclo di variazione di livello del mare, che determina in quali settori di margine continentale si ha il massimo accumulo di sedimenti clastici in ogni intervallo di tempo e 2) dell'importanza di fluttuazioni climatiche a scala breve (1000 anni o meno) nel definire intervalli di aumentata velocità di sedimentazione e, indirettamente, potenziale instabilità.

### Sottoprogetto Frane Sottomarine

Gli obiettivi del sottoprogetto (limitato all'Adriatico Centrale a causa delle riduzioni di *budget* rispetto al progetto originario) possono essere così riassunti:

a) determinare la distribuzione spaziale dei depositi di frana sottomarina, o altri tipi di deformazione dei sedeimenti, avvenuti a partire dall'ultimo massimo glaciale, quando il livello del mare globale era 120 m più basso dell'attuale;
b) determinare la distribuzione e l'età di faglie ed altre strutture deformative attive durante lo stesso intervallo di tempo nelle stesse aree;
c) definire le aree a più alta velocità di sedimentazione durante l'ultimo massimo glaciale, la successiva risalita di livello del mare e l'attuale stazionamento alto (che ha caratterizzato gli ultimi 5.500 anni);
d) studiare la morfologia di depositi affetti da possibile deformazione senza o con limitata traslazione, anche attraverso l'acquisizione di dati batimentrici multibeam ad altissima risoluzione.

Questo rapporto comprende due parti: la prima riguarda le evidenze di frane sottomarine e deformazioni di sedimenti *in situ* in relazione alla presenza, orientazione e crescita di strutture tettoniche, attraverso l'analisi di un denso grigliato

di profili sismici a riflessione; la seconda parte presenta una revisione di tutte le evidenze di deformazione di sedimenti in situ o con traslazione (frane sottomarine e altri depositi da trasporto in massa) entro gli spessi depositi del cuneo progradazionale tardo olocenico attraverso l'analisi di dati morphobatimetrici, di stratigrafia sismica e di campionatura.

*Frane, instabilità gravitativa e deformazione tettonica durante il tardo Quaternario*

Profili sismici ad altissima risoluzione permettono di riconoscere strutture superficiali e di piccole dimensioni che possono essere attribuite a deformazione tettonica durante il Quaternario superiore in Adriatico Centrale. Si è riconosciuta una successione di quattro sequenze deposizionali sovrapposte, ognuna registrante un ciclo di variazione climatica ed eustatica a scala di 100 mila anni circa. Nell'insieme, le quattro sequenze registrano gli ultimi 450 mila anni e sono principalmente costituite da depositi regressivi che registrano fasi prolungate di caduta del livello marino. Queste sequenze precedono l'ultimo massimo glaciale (Stadio Isotopico 2) e il successivo intervallo trasgressivo e di stazionamento alto tardoquaternario (che comprende ca. gli ultimi 18 ky). L'età delle superfici che delimitano le quattro sequenze regressive è definita da analisi multi-proxy di numerose carote marine, tephro-cronologia e datazioni 14C (per gli ultimi 35 ky). Sono inoltre state datate le principali strutture di crescita tettonica attive durante gli ultimi ca. 400 ky. Si tratta di anticlinali, sinclinali e faglie ad alto angolo di modesto rigetto.

*Frane e instabilità gravitativa durante il tardo Olocene*

Sulla piattaforma adriatica il cuneo fangoso tardo olocenico si è formato negli ultimi 5.5 ka e mostra una distribuzione di spessori parallela alla costa (fino a 35 m nel depocentro) che riflette la vicinanza dei sistemi fluviali appenninici e la dominante circolazione geostrofica del bacino. L'impregnazione di gas è diffusa fino a pochi m sotto il fondo soprattutto nella zona di topset a profondità minori di 25 m. Questo spesso cuneo di fango (depositatosi a tassi nell'ordine di 1 cm/anno) è interessato dalla presenzadi geometrie interne molto complesse (ondulazioni sub-parallelel alla costa e rilievi di fango) su una porzione consistente della propria estensione. Si tratta di strutture la cui origine è dibattuta anche su altri margini continentali e, secondo alcuni autori, implica una combinazione di deformazione meccanica e rapida sedimentazione con generazione di strutture da corrente a grande scala. Il nostro obiettivo è definire se, e in che misura, queste strutture possono essere attribuite a deformazione gravitativa dei sedimenti. Risolvere questo problema è particolarmente rilevante soprattutto in zone di prodelta prossime alla costa (come nel caso adriatico) perchè l'eventuale evidenza di instabilità nei sedimenti può definire aree di rischio che investono aree e infrastruttuere costiere. Si tratta di un problema complesso che richiede l'uso integrato di profili sismici ad alta risoluzione, rilievi batimetrici multibeam e indagini sui sedimenti (a scopo stratigrafico e di caratterizzazione delle loro proprietà fisiche). Il nostro lavoro nell'ambito del GNDT è complementare ad un progetto finanziato dalla Unione Europea (COSTA) ed ha contribuito con l'acquisizione di due rilievi batimetrici ad alta risoluzione (Simrad EM3000 multibeam) in due aree rappresentative (150 $km^2$ e 190 $km^2$ rispettivamente al largo di Ortona e Vieste) e caratterizzate da contrastanti spessori e stili deformativi entro il cuneo fangoso tardo olocenico (Fig. 1 e 2).

Una crescente attenzione viene dedicata allo studio di strutture simili a quelle individuate in Adriatico. Il vantaggio di quest'area sta nel fatto che queste possibili strutture deformative si trovano a profondità comprese tra 30 e 90 m e possono quindi essere studiate tramite profili sismici ad altissima risoluzione (50 cm di risoluzione verticale) e griglie batimetriche con risoluzione spaziale da 1 a 5 m. Le strutture (e in particolare i rilievi di fango) identificati in Adriatico potrebbero essere più diffusi sui margini continentali di quanto fino ad ora riconosciuto per due possibili ragioni: 1) queste strutture rappresentano una fase di transizione nella deformazione dei sedimenti prima che avvenga un completo distacco e traslazione, 2) se presenti a profondità maggiori, le stesse strutture non potrebbero essere risolte e apparirebbero come una serie di iperboli di diffrazione lateralmente giustapposte.

## 3) Studio modellistico di tsunami

Responsabile: Stefano Tinti

Le attività di ricerca del secondo anno del progetto triennale dell'Unità di Ricerca dell'Università di Bologna (**UNIBO**) si è articolata su due fasi distinte condotte in parallelo: le simulazioni numeriche di maremoti generati da terrremoti e lo studio di maremoti indotti da frane.
Per quanto riguarda il primo argomento, sono stati presi in considerazione due maremoti storici: il maremoto calabro del 1905 e quello della Sicilia Orientale del 1693. L'analisi del maremoto del 1905 è stata completata. Il terremoto provocò più di 550 vittime e circa 300.000 senzatetto. Il maremoto non fu disastroso, ma grande abbastanza da produrre effetti che furono osservati sulle coste calabre e nella parte tirrenica dello Stretto di Messina. Come si verifica per molti altri terremoti con sorgente sottomarina o vicino alla costa, l'identificazione della faglia sorgente mediante i tradizionali metodi sismici presenta delle difficoltà, e pertanto era ragionevole attendersi che le simulazioni numeriche del maremoto potessero fornire uno strumento di indagine molto utile. I risultati della ricerca sono stati illustrati in un articolo (Piatanesi e Tinti, 2002). Nella nostra analisi si sono esaminate tre possibili faglie sorgente che dalla letteratura si sa che sono attive: la faglia di Vibo Valentia, di Lamezia e di Capo Vaticano. Esse determinano una esclusiva o predominante subsidenza del fondo marino e di conseguenza una iniziale depressione della superficie del mare. I risultati conseguiti fino ad ora provano che la faglia di Lamezia deve essere scartata perché potrebbe generare un maremoto troppo debole. Comunque non è possibile discriminare fra le due faglie rimanenti, in quanto entrambe sono in grado di produrre maremoti significativi e consistenti con le osservazioni. Anche se l'accordo con i dati sperimentali non è completo, si ritiene infatti che per migliorarlo sia sufficiente intervenire sui parametri di sorgente con un tuning adeguato. Un risultato rilevante degli studi sul maremoto calabro riguarda ciò che si è ricavato sulle caratteristiche di propagazione delle onde nel bacino del Basso Tirreno. Dalle simulazioni risulta che, indipendentemente dall'orientazione della faglia sorgente, una quantità considerevole dell'energia prodotta nel Golfo di Sant'Eufemia rimane imprigionata in una stretta fascia costiera e si propaga verso nord. Invece, le coste meridionali sono protette dal Capo Vaticano. Inoltre, si vede

che le isole Eolie riescono a limitare la propagazione del maremoto verso ovest ed a proteggere le coste del Palermitano. Infine, si può osservare che il maremoto non penetra in modo significativo nello Stretto di Messina, in quanto l'ingresso settentrionale dello stretto è largo solo pochi chilometri e poco profondo, il che provoca più una riflessione dell'energia verso il Tirreno che una trasmissione verso sud.

Le simulazioni dell'evento del 1693 sono in fase di completamento. Si utilizza una griglia a elementi finiti con risoluzione eterogenea e particolarmente fine nelle zone sotto costa in modo da studiare gli effetti delle onde nella fascia costiera e specialmente nella baia di Augusta, che subì notevoli danni da parte del maremoto. La faglia sorgente utilizzata per questi studi è quella proposta dal Progetto Catania del GNDT, ma presto verrano prese in considerazione le faglie identificate dall'Unità di Ricerca **IGM1** nel corso di campagne marine condotte nell'ambito del presente progetto. In realtà in questi studi preliminari l'attenzione era rivolta più agli aspetti della propagazione delle onde verso costa ed alla loro interazione con i moli che delimitano il porto di Augusta che alla generazione al largo. Gli studi compiuti mostrano che i moli foranei hanno un effetto schermo rispetto al maremoto, e ciò è in parte sorprendente: infatti da quanto si sa dalle osservazioni dei maremoti nel Pacifico i moli dei porti, che pur sono assai efficaci a smorzare le onde di vento, non sono in grado di ridurre l'impatto delle onde di tsunami. Perciò, il risultato che è stato ottenuto deve essere ulteriormente approfondito.

In accordo con il programma del progetto, la ricerca ha anche trattato il terremoto tsunamigenico di Messina del 1908. Le simulazioni del maremoto confermano i risultati di studi precedenti, cioè che la sorgente del maremoto non può essere confinata entro lo Stretto: la faglia compatibile con le osservazioni del maremoto è più lunga di quelle dedotte per inversione di dati sismici e geodetici negli anni '80.

I risultati precedenti sono stati presentati all'Assemblea Generale ESC tenuta a Genova nel settembre 2002 e in un articolo scientifico (Tinti e Armigliato, 2003).

La seconda fase ddella ricerca riguarda lo studio dei maremoti generati da frane e prevede lo sviluppo di un codice basato su un approccio Lagrangiano per descrivere la dinamica del corpo di frana. L'unità **UNIBO** ha fatto uso di un codice 1D sviluppato negli anni passati. Nel secondo anno è stata continuata la ricerca condotta nel primo anno: il codice 1D è stato esteso a 2D, cioè è stato modificato per trattare casi di corpi franosi avente scala trasversale non trascurabile rispetto alla longitudinale. Si è continuata l'analisi del caso emblematico della frana del Vajont (1963): la massa è stata suddivisa da una griglia 2D di blocchi, invece che da una catena 1D, blocchi che interagiscono l'un l'altro. Si è implementato un codice che risolve le equazioni del moto in un sistema di coordinate curvilinee: nelle equazioni si tiene conto dell'attrito sulla superficie di scivolamento, ma anche della resistenza opposta alla massa franante da parte dell'acqua: questo termine non può essere trascurato per il caso del Vajont, dal momento che la massa ha spostato tutta l'acqua contenuta nel bacino artificiale provocando la nota tragedia, e naturalmente è un termine molto importante anche per le frane che producono maremoti. Simulazioni con il codice 2D sono in via di completamento. I risultati relativi al caso del Vajont sono stati presentati nell'Assemblea Generale dell'EGS svoltasi a Nizza nell'aprile del 2002 (Tinti et al., 2002).

## Bibliografia

Piatanesi A., Tinti S., 2002, Numerical modeling of the September 8, 1905 Calabrian (southern Italy) tsunami, Geophys. J. Int., 150, 271-284.

Tinti S., Armigliato A., 2003. The use of scenarios to evaluate the tsunami impact in south Italy, (submitted to Marine Geology).

Tinti S., Armigliato A., Pagnoni G., Tsunami hazard related to the occurrence of large earthquakes along the coasts of Calabria and Sicily (southern Italy), ESC XXVIII General Assembly, Genoa, 1-6 September 2002

Tinti S., Zaniboni F., Manucci A., Bortolucci E., 2002, A 2D block model for landslide simulation: an application to the 1963 Vajont case, Geophysical Research Abstracts, vol. 4, EGS XXVII General Assembly, 21-26 April 2002.

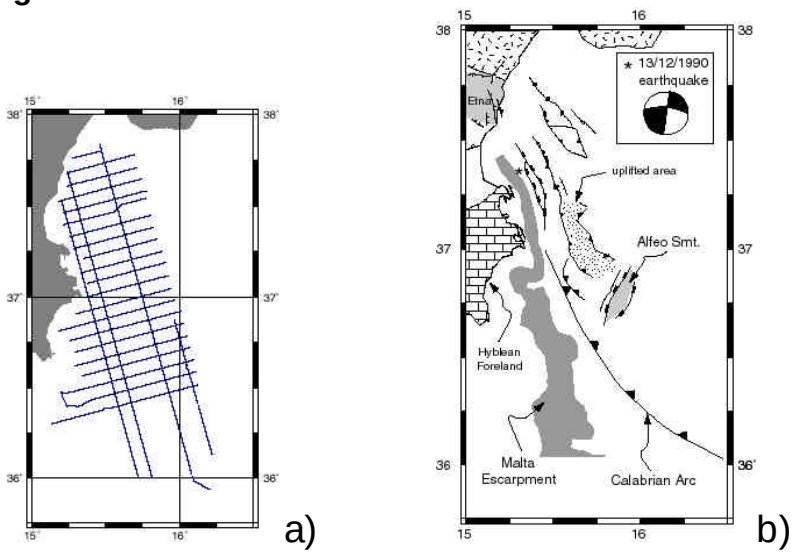
## Conclusione

Il lavoro sino ad ora effettuato dall'Unità **IGM1** ha permesso di delineare con maggior precisione la geometria del sistema di faglie presente nella scarpata della Sicilia orientale (Argnani and Bonazzi, 2002; Argnani et al., 2003). Il quadro strutturale che si ottiene è significativamente diverso da quanto precedentemente descritto nella letteratura e consente una miglior caratterizzazione dell'attività sismica nell'area, oltre ad offrire spunte interpretativi sulla tettonica regionale. L'analisi dei dati sismici continua con l'obiettivo di preparare delle mappe degli spessori dei sedimenti plio-quaternari che riempiono i bacini sedimentari. Questo permetterà di individuare le aree depocentrali e i segmenti di faglia che mostrano una maggiore attività cumulativa. Inoltre, le geometrie di faglia ottenute sono utilizzate dall'unità **UNIBO** per implementare ulteriori modelli numerici, attualmente in corso, per il terremoto del 1693 con annesso maremoto. Le faglie precedentemente utilizzate (Piatanesi and Tinti, 1998), infatti, erano solo ipotetiche e mancavano di vincoli geologici.

Gli aspetti riguardanti la deformazione e la destabilizzazione dei sedimenti tardo-olocenici dell'Adriatico centrale sono l'oggetto dello studio condotto dall'unità **IGM2**.

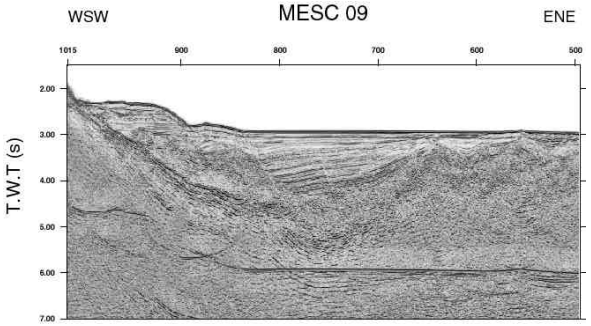
In particolare, sono stati investigati il ruolo della fuoriuscita di fluidi sulla destabilizzazione e l'espressione morfologica dovuta a tali processi.

## Unità IGM1 - Figure




**a)** Mappa dei profili sismici acquisiti durante la campagna MESC 2001 lungo la scarpata della Sicilia orientale.

**b)** Mappa strutturale semplificata dell'area della scarpata della Sicila orientale. Le unità affioranti dell'Arco Calabro sono indicate dal pattern a tratti sparsi, mentre l'avampaese ibleo è rappresentato dal pattern a mattoni. Le linee decorate con trattini o rettangoli rapresentano faglie estensionali, mentre quelle con i triangoli le faglie inverse e i sovrascorrimenti. Riattivazioni in contrazione di faglie estensionali sono indicate dalla compresenza di simboli estensionali e contrazionali. Un rilievo morfologico che raggiunge 3 km si realizza lungo la Scarpata di Malta. L'inserto mostra il meccanismo focale del terremoto del 13 Dicembre 1990 (Giardini et al., 1995; Amato et al., 1995).




Esempio di profilo sismico migrato attraverso la scarpata della Sicilia orientale. Si notino le faglie estensionali immergenti verso est e il bacinio sedimentario associato, a forma di semi-graben.

## Unità IGM2 - Figure

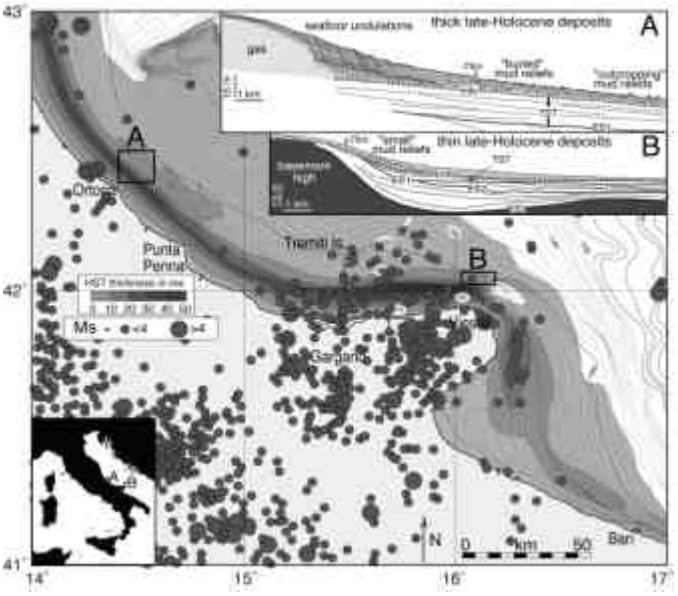



**Figura 1.** Spessori del cuneo fangoso tardo-Olocenico ed epicentri dei terremoti storici (1000-2002 AD) http://emidius.mi.ingv.it/. Gli inserti A e B mostrano il differente assetto geologico nelle due aree dove i rilievi di fango sono presenti alla base del HST di Figure 2.

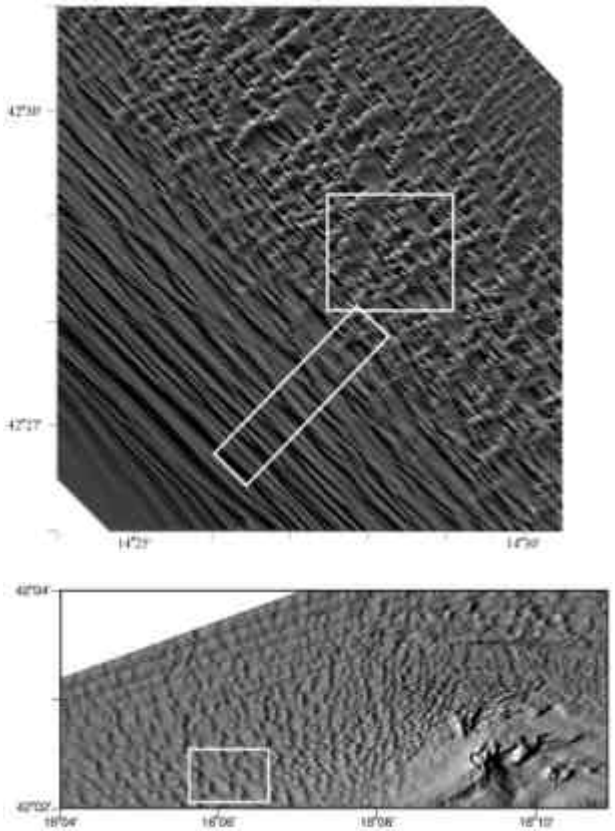


**Figura 2.** Batimetria Swath ottenuta dal rilievo con EM3000 al largo di Ortona (in alto, A) and Vieste (in basso, B). In entrambe le aree l'entita' del rilievo diminuisce verso il largo. A): orientazione preferenziale NE-SW di cluster di rilievo al largo delle ondulazioni parallele (angolo in basso a sinistra). B): orientazione preferenziale N-S di cluster di rilievo con creste parallele che diventano via via piu' evidenti verso est, attorno a un alto di basamento (angolo in basso a destra) ubicato a NE del promontorio garganico.