



Progetto S2 - Valutazione del potenziale sismogenetico e probabilità dei forti terremoti in Italia

Responsabili: Dario Slejko (OGS-Trieste) e Gianluca Valensise (INGV-Roma 1)

Rendiconto prima fase di attività (1 giugno 2005 - 30 giugno 2006)

Obiettivi del progetto

Gli scopi primari del progetto S2 sono l'individuazione delle sorgenti atte a produrre terremoti potenzialmente distruttivi, convenzionalmente identificati con tutti gli eventi di M superiore a 5.5, e la stima della probabilità che tali terremoti si verifichino nel futuro.

Il progetto nasce dalla consapevolezza che molti terremoti dell'ultimo ventennio, non solo in Italia ma anche nei paesi in cui la sismologia è più evoluta, sono stati generati da faglie la cui esistenza era ignota o solo parzialmente ipotizzata. Queste circostanze hanno mostrato con chiarezza che non è possibile assegnare una probabilità di accadimento a un terremoto se prima (1) non sono state identificate in modo esauriente tutte le strutture sismogenetiche capaci di generare un evento distruttivo, e (2) non è stata stimata la velocità e l'efficienza sismica del processo di accumulo di sforzo tettonico. Per l'Italia questi passaggi sono particolarmente cruciali in quanto esistono molte aree il cui potenziale sismogenetico è sottovalutato perché ignoto (non si conoscono le faglie che esistono), e molte aree in cui, al contrario, il potenziale è sopravvalutato a causa di errori nell'identificazione di faglie o di sopravvalutazione del loro valore gerarchico e del loro *slip-rate*. L'identificazione di nuove faglie potenzialmente generatrici di forti terremoti e, viceversa, l'esclusione di pericolosità per alcune faglie conosciute risulta, pertanto, di rilevante impatto non solo sul piano scientifico ma soprattutto per una efficace pianificazione delle priorità d'intervento nella riduzione del rischio sismico.

A differenza di quanto avviene nelle analisi di pericolosità sismica convenzionali, dunque, questo progetto mira innanzi tutto alla esatta individuazione spaziale delle sorgenti sismiche. L'analisi si fonda sul contenuto del *database* di sorgenti sismogenetiche DISS e viene centrata sia su sorgenti sismogenetiche individuali ("Individual Sources", presenti già nella prima versione di DISS del 2001), sia su sorgenti areali atte a raccogliere nel loro interno un sistema di faglie omogenee dal punto di vista sismogenetico ("Seismogenic Areas" introdotte con DISS 3 nel 2005). Poiché le conoscenze sulla sismogenesi non sono della stessa qualità per tutta la penisola, un primo importante obiettivo del progetto consiste nell'indirizzare la ricerca verso le zone meno comprese e riequilibrare così il contenuto del *database*.

L'obiettivo immediatamente successivo è quello di inserire le conoscenze già disponibili e di nuova acquisizione in uno schema geodinamico unitario che, attraverso misure dirette di deformazione e ipotesi modellistiche, consenta di omogeneizzare ulteriormente il quadro delle conoscenze. Ogni sorgente (faglia quando possibile, altrimenti sorgente areale) può così essere caratterizzata in termini di terremoto massimo atteso e di sismicità minore associata, e, per le situazioni meglio documentate, può essere espressa la probabilità che tale terremoto massimo si verifichi nel prossimo trentennio.

L'obiettivo ultimo del progetto è quello di elaborare stime di probabilità di occorrenza per forti terremoti sul territorio italiano e di contribuire ad ottenere stime di pericolosità sismica del territorio nazionale basate su dati, parametri e concetti innovativi. S2 rappresenta pertanto un passaggio propedeutico alla realizzazione di carte di pericolosità sismica di nuova generazione, compito del progetto S1. Il progetto S2 fornisce inoltre dati di ingresso essenziali sia per il calcolo di scenari deterministici, attività svolta dal progetto S3, sia per valutare l'azione sismica mediante ordinate dello spettro di risposta dello spostamento, obiettivo del progetto S5.



1. Stato di avanzamento del progetto: aspetti generali

Il progetto S2 mira a stimare la probabilità di accadimento di forti terremoti in Italia. Si tratta di un obiettivo molto ambizioso e di avanguardia che per essere conseguito richiede le migliori informazioni geologiche e geofisiche disponibili sull'intero territorio nazionale. Questi aspetti hanno motivato l'attivazione di un numero molto elevato di UR. A prescindere da quelli che saranno i risultati finali, due sono le sfide che sono state lanciate:

a) *è possibile acquisire in un tempo relativamente breve nuove informazioni geologiche utili per un deciso salto di qualità nella caratterizzazione della sismogenesi in Italia?*

b) *è possibile introdurre un'informazione geodetica globale (a livello nazionale) nei calcoli di pericolosità sismica?*

Alla fine del primo anno di attività siamo fiduciosi di poter dare a fine progetto risposta affermativa ad ambedue le sfide. Importanti informazioni geologiche sono, infatti, già emerse e consistenti miglioramenti sono attesi verso una conoscenza esaustiva delle sorgenti dei forti terremoti in Italia. Per quanto riguarda l'utilizzo dei dati geodetici, la stima del tasso di deformazione sul territorio nazionale tramite modellazione fisica calibrata sulle osservazioni geodetiche ha permesso, già in questa fase del progetto, di avere degli esempi di valutazione della probabilità di occorrenza di forti terremoti su alcune specifiche faglie. E' chiaro che la strada è ancora lunga e tortuosa perché bisogna ancora calibrare al meglio alcuni parametri cruciali, come il rapporto fra la componente di deformazione sismica e quella asismica e il rapporto tra le componenti orizzontale e verticale della deformazione. Inoltre, resta ancora da decidere quale sia la metodologia più efficace per stimare il tasso di produzione di terremoti all'interno delle aree sismogenetiche a partire dal tasso di deformazione calcolato.

Un risultato certamente positivo raggiunto da S2 è stato l'aver fatto interagire ricercatori di discipline diverse che spesso nel passato avevano operato separatamente. I quattro task, infatti, raccolgono competenze profondamente differenziate: semplificando molto, si passa dall'informatica alla geologia, dalla geodesia alla geofisica d'esplorazione, dalla tettonofisica alla statistica. La partecipazione dei responsabili di task a tutte le riunioni indette da S2 ha determinato la loro immersione nel problema globale del progetto. A questo possiamo aggiungere che, a differenza del passato, anche la maggioranza delle UR ha operato nella piena consapevolezza della natura applicativa del progetto e quindi delle caratteristiche del risultato atteso. Un valido esempio di collaborazione tra task diversi è l'elaborazione di scenari di grandi tsunami, che ha beneficiato di una stretta interazione tra la UR 1.1 Basili, che svolge un lavoro di sintesi di dati geologici tettonici a grande scala, e la UR 2.19b Piatanesi, che utilizza una tecnica alle differenze finite per simulare la generazione, la propagazione e l'impatto delle onde di tsunami. Questo ha consentito di coniugare le migliori conoscenze di sintesi su sorgenti sismogenetiche estese dell'area mediterranea con competenze di livello mondiale nel settore della simulazione degli tsunami.

Anche nell'ambito dello stesso task vanno segnalate interessanti collaborazioni interdisciplinari, come ad esempio quella fra l'UR 2.15 Scandone, con competenze geologico-stratigrafiche, e l'UR 2.16 Siniscalchi, specializzata in geofisica di esplorazione. La collaborazione mira alla verifica del modello crostale dell'avampaese apulo sulla base di dati magnetotellurici, e porta un contributo importante alla comprensione dei fenomeni sismogenetici in un settore della penisola ritenuto pressoché asismico fino a pochi anni fa.

Collaborazioni più strette delle attuali sono previste fra S2 e gli altri progetti nel corso del secondo anno, sulla base dei risultati presentati da S2 stesso nel primo anno. L'esempio più ovvio è la possibilità di considerare le "Seismogenic Areas" elaborate nell'ambito di DISS quale dato di ingresso per la realizzazione delle mappe di pericolosità sismica nazionale che verranno prodotte dal progetto S1, pur se nell'ambito dell'approccio sismotettonico standard (processo poissoniano con sorgenti estese).



2. Stato di avanzamento del progetto: aspetti di dettaglio, per task

2.1. - Task 1 (a cura di Roberto Basili, INGV-Roma 1)

Il Task 1 è rappresentato da tre UR le cui attività sono strettamente interconnesse dal punto di vista logico ma relativamente indipendenti dal punto di vista operativo. Ciò è reso possibile dal fatto che le tre UR svolgono tutte attività già lungamente sperimentate e collaudate. Il compito principale delle tre UR in questo progetto consiste principalmente nell'incrementare e ottimizzare le banche dati utilizzate all'interno del progetto in altri task e, come obiettivo conclusivo, realizzare una banca dati unitaria.

Gli obiettivi delle tre UR consistono sinteticamente in:

- aggiornamento e ottimizzazione del sistema DISS e delle sorgenti sismogenetiche basate su dati geologico-geofisici (a cura della UR 1.1 Basili);
- aggiornamento del codice Boxer e della banca dati di meccanismi focali EMMA (a cura della UR 1.2 Gasperini);
- aggiornamento delle sorgenti sismogenetiche basate su dati macrosismici utilizzando il codice Boxer e una versione aggiornata della banca dati macrosismica (a cura della UR 1.3 Albini).

Alla fine del primo anno, i risultati ottenuti nell'aggiornamento della banca dati si possono quantificare come segue:

- incremento delle sorgenti sismogenetiche individuali di circa il 20%;
- incremento delle sorgenti sismogenetiche areali di circa il 50%;
- incremento della consistenza del database EMMA di circa il 27%;
- acquisizione del database macrosismico DBMI04 e riprocessamento delle sorgenti macrosismiche con una versione esistente del codice Boxer (v. 3.3).

Va precisato che l'incremento nel contenuto in sorgenti sismogenetiche è stato ottenuto solo in piccola misura con i risultati del Task 2, che saranno compiutamente disponibili solo durante il secondo anno del progetto. Viceversa, hanno contribuito fortemente a questo incremento dati messi a disposizione da ricerche già in corso, progetti conclusi in ambito INGV-GNDT, convenzioni con enti locali e attività di ricerca finanziate da altri soggetti. In particolare:

- Per diverse zone d'Italia, tra cui l'Appennino meridionale, la Pianura Padana e l'Italia centrale, sono state utilizzate informazioni acquisite nel corso del progetto INGV-GNDT “Terremoti probabili in Italia tra l'anno 2000 e il 2030: elementi per la definizione di priorità degli interventi di riduzione del rischio sismico”, coordinato da A. Amato e G. Selvaggi (2000-2004).
- Per il settore nordorientale del territorio nazionale si è provveduto ad elaborare e a rendere nel formato proprio del database DISS l'informazione sulla sismogenesi acquisita nel corso del progetto INGV-GNDT “Scenari di danno nell'area veneto-friulana”, coordinato da M. Ruscetti (2000-2004) (Galadini et al., 2005). Tale attività, svolta in collaborazione con la UR 2.8, ha portato al tracciamento di undici sorgenti individuali e di alcune sorgenti areali potenzialmente responsabili di terremoti con $M \geq 6.0$, collocate al margine settentrionale della pianura veneto-friulana e cinque sorgenti minori responsabili di terremoti con M compresa tra 5 e 6 e collocate sia al margine che nei settori più interni dell'edificio alpino.
- Per il settore marchigiano sono stati integrati in DISS i risultati dello “Studio delle sorgenti sismogenetiche potenzialmente pericolose e degli effetti attesi a seguito di eventi sismici lungo la fascia costiera marchigiana” – una convenzione finanziata dalla Regione Marche (2003-2005; Basili et al. [2005]).
- Per la Toscana sono stati utilizzati anche i risultati della convenzione “Definizione dello stato delle conoscenze in materia di pericolosità sismica del territorio regionale, con



approfondimento su elementi e aree particolari”, finanziata dalla Regione Toscana (2003-2004; Meletti et al. [2004]).

- Per l’Appennino meridionale sono stati utilizzati i risultati del progetto MIUR-FISR “Diagnostica e salvaguardia di manufatti architettonici con particolare riferimento agli effetti derivanti da eventi sismici ed altre calamità naturali” (2002-2005).

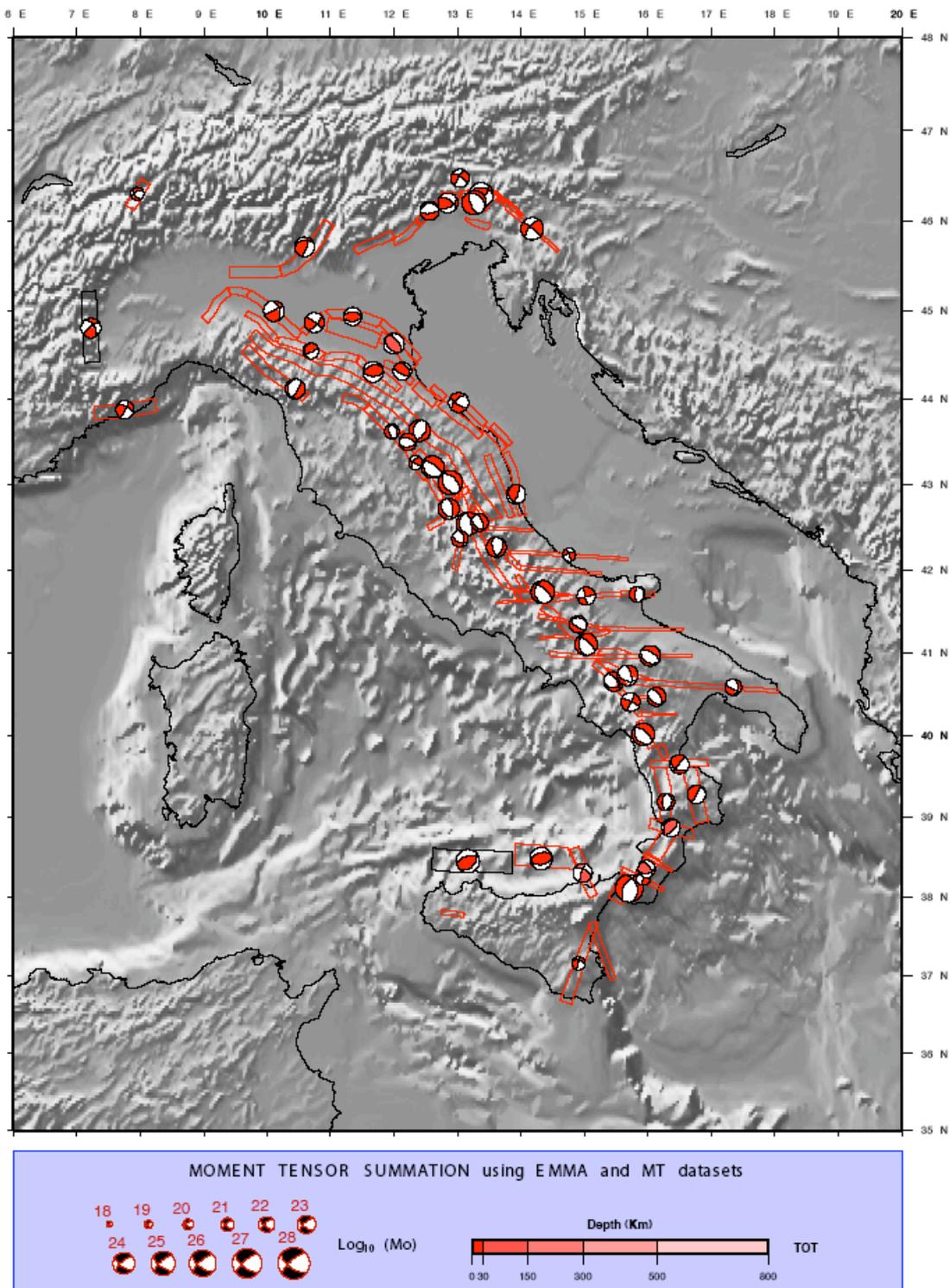


Figura 1 - Meccanismi focali medi calcolati a partire dal database EMMA (Vannucci et al. [2004], e successivi aggiornamenti) per le 89 sorgenti sismogenetiche areali di DISS 3.0.1.



Le principali attività da sviluppare nel corso del secondo anno sono le seguenti:

- Riprocessare le sorgenti macrosismiche con la versione aggiornata e collaudata del codice Boxer (V. 4), inclusa l'analisi di congruenza (si vedano la Tab. 1 e la Fig. 2 della relazione dell'UR 1.3 Albinì) dei parametri geometrici su tutto il territorio nazionale, e incorporare i nuovi livelli informativi in DISS. Per quest'ultimo aspetto sarà inoltre necessario adeguare la struttura delle tabelle ai nuovi risultati ove necessario e completare la documentazione di supporto allegata alle singole sorgenti.
- Elaborare livelli tematici utilizzando il database dei meccanismi focali EMMA allo scopo di fornire agli utilizzatori di DISS una sintesi delle conoscenze sulle orientazioni degli assi di sforzo derivabili da terremoti strumentali. La Fig. 1 mostra un esempio di integrazione dei dati EMMA con dati DISS.
- Elaborare nuovi livelli tematici utilizzando i risultati di altri task: in particolare le stime di *slip rate* e *strain rate* prodotte dalla UR 3.1 Barba.
- Incorporare in DISS i dati geologici acquisiti dal Task 2, anche tenendo conto delle informazioni che emergono dalle elaborazioni svolte dalle UR 1.2 Gasperini e 1.3 Albinì sia su sorgenti individuali sia su sorgenti areali. Si veda la relazione del Task 2 per una indicazione sulle aree per le quali sono attesi miglioramenti significativi del contenuto informativo.



2.2. - Task 2 (a cura di Fabrizio Galadini, INGV-Roma 1)

Il confronto tra le schede di rendicontazione delle UR afferenti al Task 2 e quelle prodotte in sede di preventivo evidenza in generale un buon accordo tra attività previste e stato di avanzamento. Il primo anno di attività può essere considerato soddisfacente sotto vari punti di vista. Anzitutto, la prevista fase di acquisizione ha portato nuovi dati la cui elaborazione garantirà quell'incremento atteso nelle conoscenze sulle caratteristiche sismogenetiche di numerose aree del territorio nazionale, delineate sinteticamente in Fig. 2. Le Figg. 3, 4, 5 e 6 presentano una selezione di risultati di particolare interesse, di sicura rilevanza per gli scopi del progetto e conseguentemente di forte impatto per le valutazioni di pericolosità sismica.

Un ulteriore aspetto positivo dell'attività fin qui svolta è da individuarsi nella evidente calibrazione delle ricerche sullo scopo progettuale di S2. Molte delle ricerche sono state condotte seguendo lo schema delineato con DISS, ovvero avendo come obiettivo immediato l'indagine della sorgente di un grande terremoto, e solo in seguito estendendo l'indagine geologica alle aree circostanti.

Infine, sembra opportuno sottolineare il fatto che nel settore con maggiore densità di indagini in corso (ed evidenti sovrapposizioni di UR su medesime aree, o contiguità delle aree di indagine per diverse UR), vale a dire in Italia meridionale, l'integrazione, la discussione ed il confronto tra i vari gruppi di ricerca è stato continuo e costruttivo.

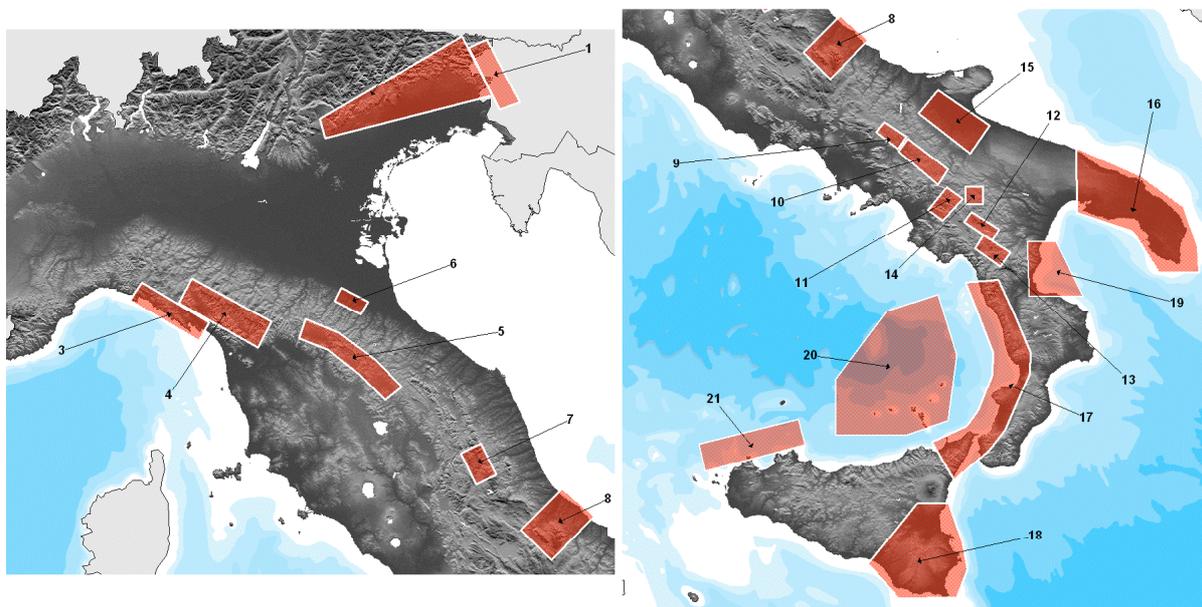


Figura 2 – Aree indagate nel corso del primo anno di attività del Progetto S2.

In base a quanto esposto, è evidente che l'attuale rendicontazione rappresenta in pieno uno stato dell'arte di medio termine del progetto. Infatti, anche se alcuni dei risultati presentati sono pressoché definitivi – e alcuni già in corso di sottomissione per la pubblicazione – la gran parte di essi verranno consolidati solo nel corso del secondo anno.

Per comodità di lettura, il presente rendiconto è stato diviso in tre capitoli principali e numerosi sotto-capitoli. Si è ritenuto opportuno, infatti, distinguere le ricerche sulle sorgenti a terra da quelle sulle sorgenti a mare e da quelle sui maremoti, per ovvie differenze nelle procedure di acquisizione e analisi dei dati. Le indagini condotte e i dati acquisiti sono necessariamente presentati in forma sintetica. Il dettaglio sull'attività svolta è derivabile dalle singole schede di UR.

Indagini su sorgenti sismogenetiche a terra

Studi a carattere geologico-geomorfologico

In questa categoria possono essere inserite le seguenti ricerche in corso:

- Nel settore di confine italo-sloveno (**1 in Fig. 2**), lungo la cosiddetta faglia di Idrija e sui



thrust vicarianti S-vergenti tra Kobarid e Bovec, le indagini sul campo sono state indirizzate all'individuazione delle sorgenti dei terremoti del 1511 e del 1998 (UR 2.8 Galadini). Evidenze di tettonica recente sembrerebbero riferibili ai settori più settentrionali dell'area indagata, ed in particolare al bacino di Bovec, caratterizzato da notevoli spessori di depositi quaternari e bordato da una evidente scarpata di faglia (legata ad un *thrust* ca. E-W).

- Nell'area della Maiella (**8 in Fig. 2**), le ricerche sono volte alla definizione delle sorgenti sismogenetiche dei terremoti del 1706 e del 1933 (UR 2.8 Galadini e UR 2.14 Pizzi). L'elemento di novità è rappresentato dall'identificazione di una faglia, con direzione ca. N120, che costituisce il proseguimento sudorientale della faglia del Monte Morrone interessando l'alta valle del fiume Vella e che taglia l'edificio strutturale della Maiella nel settore più meridionale. L'attività recente della faglia in questione è suggerita dalla dislocazione di depositi di versante probabilmente riferibili al Pleistocene superiore finale. L'importanza di questa nuova osservazione risiede nel fatto che potrebbe trattarsi del primo esempio documentato di una struttura di raccordo tra le faglie estensionali appenniniche e le strutture profonde E-W che caratterizzano l'avampaese apulo.
- Nella valle del Tammaro (**9 in Fig. 2**), sono in corso studi per la definizione della sorgente del terremoto del 1688 (UR 2.4 Burrato e 2.20 Zuppetta). Lo studio geomorfologico mediante fotointerpretazione e l'analisi geomorfico-quantitativa su DTM a 20 m hanno portato alla elaborazione di una mappa di indizi di attività recente. Si tratta di un settore particolarmente problematico, in cui a un forte livello di sismicità fa riscontro una assoluta povertà di evidenze superficiali dirette della fagliazione recente.
- Nella valle dell'Ufita (**10 in Fig. 2**) le indagini puntano alla definizione della sorgente del terremoto del 1732 (UR 2.4 Burrato), anche in rapporto alla sorgente del terremoto del 1930. È stata elaborata una carta geomorfologica ed esplorata e mappata in dettaglio una scarpata ai piedi del versante destro della valle, comunemente attribuita all'attività di una faglia pendente verso SW.
- Lungo il sistema di faglie Alburni-Pantano di S.Gregorio-Melandro-Pergola (**11 in Fig. 2**) le indagini in corso propongono un modello regionale di tettonica distensiva basato sulle caratteristiche delle geometrie di superficie e di sottosuolo (reinterpretazione CROP04), su diverse faglie e sulle evidenze di attività tardo-pleistocenica (UR 2.10 Lavecchia). Il nuovo modello evolutivo, simile a quello della Faglia Alto-Tiberina, potrebbe avere un forte impatto sull'interpretazione della tettonica attiva di tutto l'Appennino meridionale.
- Nella Val d'Agri (**12 in Fig. 2**), le ricerche sono finalizzate alla caratterizzazione della sorgente del terremoto del 1857 (UR 2.4). In questo settore sono stati effettuati rilievi di campagna propedeutici ad analisi paleosismologiche lungo l'emergenza della Faglia dei Monti della Maddalena.
- Nel bacino del Mercure (**13 in Fig. 2**), sono in corso indagini volte alla definizione della sorgente sismogenetica della sequenza del 1998 (UR 2.10 Lavecchia), con rilevamenti geologici *ad hoc* nell'area epicentrale ed analisi morfotettonica sviluppata anche tramite la costruzione di modelli digitali del terreno alla scala 1:5.000.
- Nell'area salentina (**16 in Fig. 2**), le ricerche in corso sono volte all'individuazione di tracce geomorfologiche e strutturali riconducibili all'attività di sorgenti a direzione E-W (UR 2.4 Burrato e 2.11 Mastronuzzi). In questa prospettiva sono state condotte indagini strutturali alla mesoscala, nei settori della costa salentina dove i depositi tirreniani (o più recenti) mostrano evidenze di deformazione fragile. Inoltre, sono stati effettuati rilevamenti delle superfici terrazzate marine, in particolare quelle che individuano la linea di riva dell'ultimo massimo trasgressivo interglaciale (stadio isotopico 5.5), che hanno permesso di aggiornare e dettagliare le conoscenze relative ai movimenti negli ultimi 125ka. Il nuovo *dataset* conferma che i massimi sollevamenti sono identificabili nella zona di Taranto (fino a 0.22 mm/anno); i sollevamenti decrescono sino ad azzerarsi verso l'estremo meridionale del Salento. Infine sono stati effettuati rilevamenti strutturali in numerose cavità carsiche della Murgia meridionale a cavallo della Soglia Messapica, che hanno permesso di individuare evidenze di almeno tre fasi deformative distinte; la prima sarebbe stata caratterizzata da cinematica normale con una probabile componente transtensiva sinistra; avrebbe quindi fatto seguito una nuova attivazione normale; la fase più recente sarebbe stata caratterizzata da transpressione sinistra.

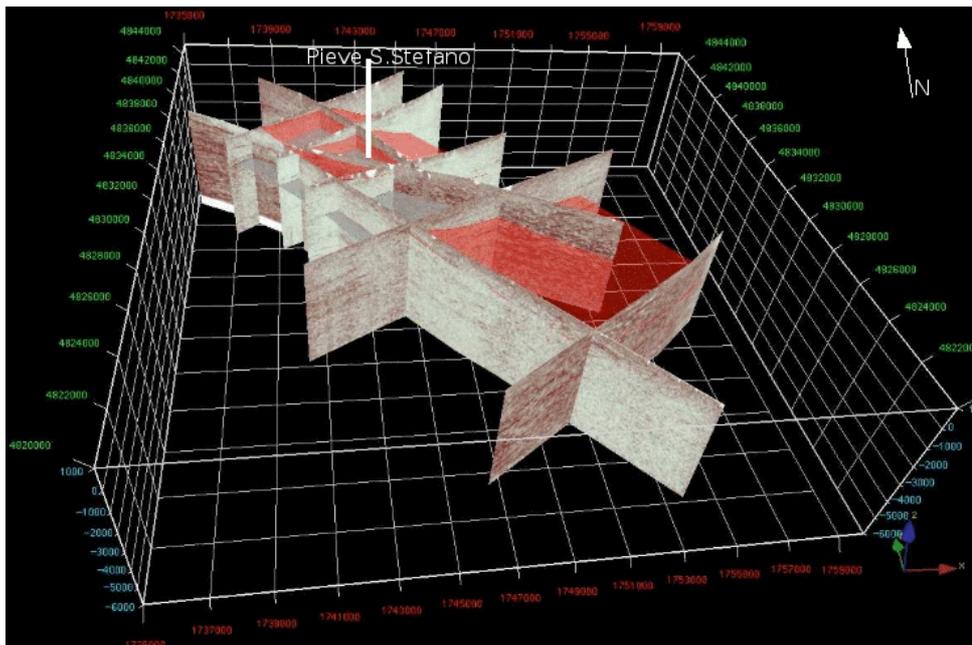


Figura 3 - Ricostruzione tridimensionale della faglia Alto Tiberina (in rosso) e del basamento (in grigio) nell'area di Sansepolcro, tarati su profili sismici commerciali, sul pozzo Pieve S. Stefano e sul profilo Crop03. L'indagine, condotta dalla UR 2.3 Barchi, documenta il proseguimento verso NW della faglia Alto Tiberina fino al bacino del Casentino, dove non si registra sismicità storica significativa, mentre la UR 2.15 Scandone ha documentato una struttura di geometria analoga al di sotto della Lunigiana. Entrambe le evidenze supportano l'esistenza dell'Etrurian Fault System, un sistema estensionale con faglie pendenti verso NE esteso dalla Liguria all'Umbria.

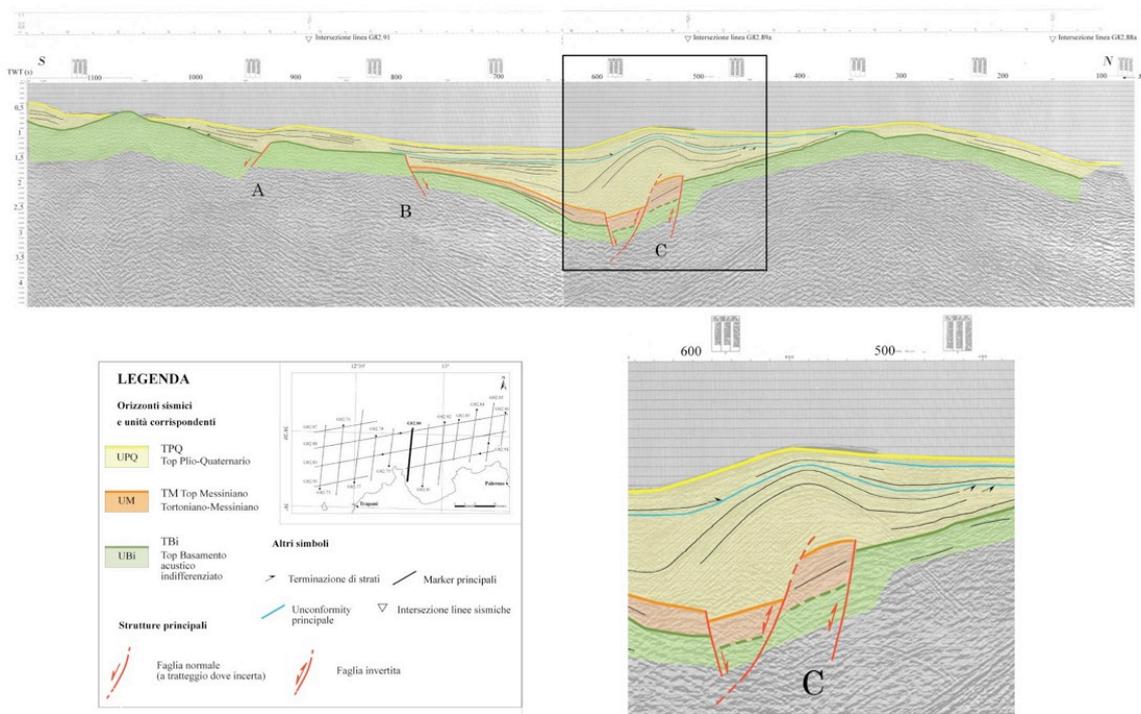


Fig. 3 – Linea sismica G82-80: esempio di struttura di inversione

Figura 4 – Strutture di inversione tettonica offshore nella zona compresa tra il Canyon di S. Vito e il bacino di Palermo. Le strutture sono attribuibili a faglie orientate ENE-WSW e pendenti verso sud. Sebbene non siano disponibili dati stratigrafici che consentano un'affidabile taratura degli orizzonti interpretati, criteri sismostratigrafici e la geometria degli strati di crescita associati alla struttura principale suggeriscono un'attivazione dei processi d'inversione almeno nel corso del Pleistocene. La morfologia positiva del fondo mare al di sopra della struttura d'inversione, associata alla geometria degli strati di crescita, può essere considerata indicativa di una sua attività anche molto recente.

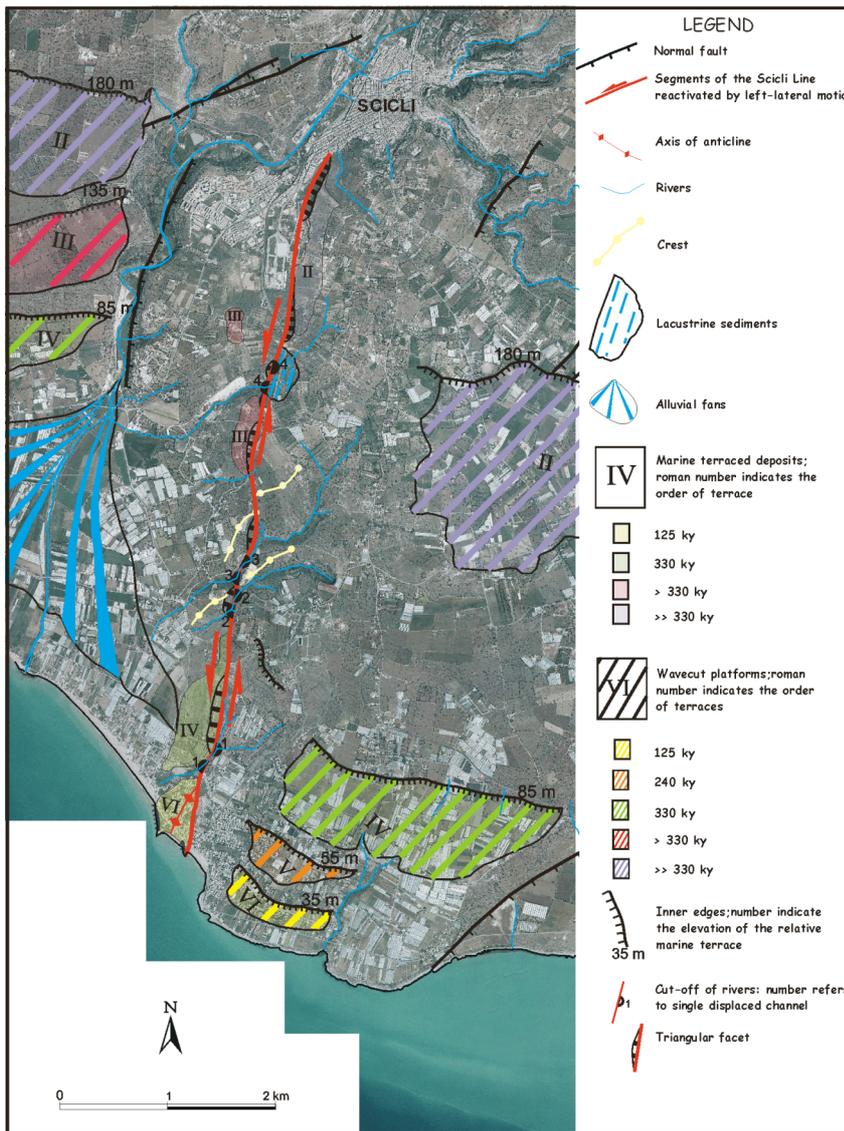


Figura 5 – Caratteri geomorfologici della estremità meridionale della Linea Scicli-Ragusa, un lineamento di importanza regionale che taglia da N a S l'intero avampase ibleo e che rappresenta un ovvio candidato come sorgente dei grandi terremoti della Sicilia sud-orientale (es. 1693). I dati acquisiti dalla UR 2.5 Catalano documentano la riattivazione come faglia trascorrente sinistra di questo lineamento, in accordo con le evidenze sismologiche presentate dalla UR 2.4 Burrato, e documentano una dislocazione fino a 150 m del terrazzo tirreniano (125 Ky). Si noti che lo *slip rate* che se ne deriva, di poco superiore a 1 mm/anno, è la prima misura diretta di questa grandezza nell'area iblea e una delle pochissime disponibili per l'intero Arco Calabro.

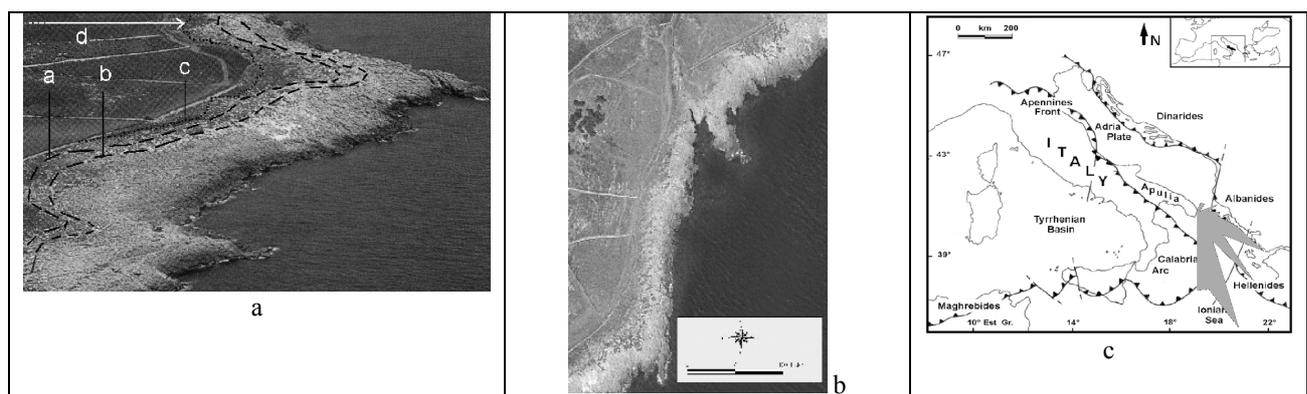


Figura 6 – Osservazioni raccolte dalla UR 2.11 Mastronuzzi nel tratto di costa salentina compresa tra Otranto e Santa Maria di Leuca: a) berma costruita dall'accumulo di blocchi attribuibile a uno tsunami; b) studio dell'embriatura dei blocchi di dimensioni superiori alle 3 tonnellate in località Sant'Emiliano; c) ricostruzione delle direzioni di provenienza dello tsunami. Datazioni effettuate dai ricercatori della UR suggeriscono che queste osservazioni sono evidenza dello tsunami associato al forte terremoto del 20 febbraio 1743, un evento di probabile origine greca ma che ha causato danni fino al IX grado di intensità in tutto il Salento. La localizzazione esatta di questo evento e l'eventuale propensione del Salento a subire anche terremoti di origine locale restano tra gli aspetti meno compresi della sismotettonica italiana.



- Nel settore ibleo (**18 in Fig. 2 e Fig. 5**), ed in particolare lungo il Graben Scordia-Lentini e la Linea di Scicli, ed inoltre lungo la Valle del Fiume Tellaro, nuovi rilievi geologico-strutturali hanno permesso di riconoscere un'imponente zona di taglio di età plio-pleistocenica orientata circa N130 (UR 2.5 Catalano). Lungo tutti i lineamenti tettonici analizzati sono stati riconosciuti gli effetti di una prolungata evoluzione sotto il controllo di un regime tensionale incompatibile con i dati sismologici, geodetici e con le misure di stress *in situ* disponibili per l'area, seguita da un'inversione tettonica tardo-quadernaria, determinata dalla riattivazione delle strutture con movimenti coerenti con il regime tensionale oggi attivo.

Prospezioni geofisiche e geochemiche

Sono inserite in questo capitolo tutte le indagini finalizzate alla migliore caratterizzazione strutturale del sottosuolo e all'identificazione di faglie con potenziale ruolo sismogenetico.

- In corrispondenza del settore di confine italo-sloveno (**1 in Fig. 2**) sono state eseguite misure di degassamento al suolo in prossimità di linee strutturali e campionati i fluidi (gas ed acque) caratterizzati da composizione anomala rispetto alle condizioni meteorologiche locali (UR 2.9 Italiano). In tale settore, i fluidi presenterebbero apporti di carattere crostale (radiogenici). Questo aspetto è tipico di strutture tettoniche ad evoluzione recente che arricchiscono le acque (fredde, di origine meteorica e di circolazione superficiale) di fasi gassose di origine decisamente più profonda.
- Nelle aree della Garfagnana e della Lunigiana (**4 in Fig. 2**) (UR 2.15 Scandone), profili sismici a riflessione acquisiti per ricerche petrolifere hanno rivelato l'esistenza di una faglia a basso angolo immergente verso NE, di importanza regionale, che rappresenta la prosecuzione in profondità del sistema attivo padano-immerso osservato in superficie, nonché l'esistenza di un sistema di faglie ad alto angolo immergenti verso SW che rappresenta l'espressione in sottosuolo del sistema tirreno-pendente osservato in superficie. Le faglie tirreno-immersenti si esauriscono sulla faglia padano-immersente che in corrispondenza del crinale appenninico raggiunge una profondità di 10-12 chilometri. La struttura a basso angolo rappresenta senza dubbio la faglia maestra mentre le faglie ad alto angolo rappresentano il sistema antitetico associato. La faglia maestra e il sistema di faglie antitetico sono le strutture tettoniche più recenti osservate nell'area e se ne conferma quindi il potenziale sismogenetico già ipotizzato in DISS 2.0.
- Nell'area compresa tra la Valle del Tevere e la Val di Lima (strutture di Sansepolcro, Casentino e Mugello) (**5 in Fig. 2 e Fig. 3**) sono stati raccolti i dati sismici messi a disposizione da Eni (21 profili sismici a riflessione) (UR 2.3 Barchi). L'interpretazione dei profili è stata tarata sulla base dei dati geologici di superficie, sulla stratigrafia del pozzo Pieve S. Stefano e sull'interpretazione del profilo Crop03 che attraversa il bacino di Sansepolcro. L'insieme dei dati disponibili permette di individuare una prosecuzione della faglia Alto Tiberina anche a nord del profilo Crop03, oltre l'estensione del bacino di Sansepolcro, nell'area di Pieve S. Stefano, in linea con quanto ipotizzato in DISS 3.0. La faglia è stata anche perforata dal pozzo ove si manifesta con un'elisione stratigrafica di circa 1000 m.
- Lungo l'emergenza di presunte faglie ad attività recente in Valle dell'Ufita e Val d'Agri (**10 e 12 in Fig. 2**), sono state effettuate numerose tomografie geoelettriche ad alta risoluzione (UR 2.16 Siniscalchi). Le sezioni di resistività ottenute hanno messo in evidenza in modo chiaro variazioni laterali di resistività il cui significato tettonico è in fase di interpretazione, attraverso l'integrazione con le evidenze geomorfologiche, le osservazioni geologiche e i dati di pozzo.
- Nella Capitanata (**15 in Fig. 2**) (UR 2.15 Scandone), carte strutturali al tetto dei carbonati apuli sepolti mostrano l'esistenza di numerose faglie dirette ad alto angolo che dislocano il substrato pre-pliocenico e deformano variamente i soprastanti terreni pliocenico-quadernari. Presso Foggia, è stata osservata una faglia ad alto angolo orientata N130 e immergente a SW che disloca l'intera successione di depositi quadernari. Un'altra faglia che taglia l'intera pila sedimentaria, avente le stesse caratteristiche geometriche, è stata riconosciuta presso Cerignola. Questi due segmenti di faglia, che verosimilmente fanno parte dello stesso sistema di dislocazione costituiscono la struttura tettonica più recente osservata nell'area e possono essere in relazione con la sorgente del terremoto del 1731,



- per il quale in DISS 3.0 viene ipotizzata una sorgente E-W profonda.
- Nell'avampaese apulo, è stata effettuata una revisione del modello magnetotellurico lungo un profilo acquisito in precedenza in base alle indicazioni dei dati di sottosuolo (specificamente pozzi e linee sismiche) (UR 2.16 Sinisclachi). I dati magnetotellurici disponibili riguardano la banda di frequenze 0.002 – 100 Hz. La revisione ha permesso una taratura più raffinata dei dati già esistenti e una stima accurata dell'intervallo di frequenze che risente dei vincoli geologici utilizzati (profondità top Apula, top Dolomie).
 - Nell'area peloritana (settore meridionale di **17 in Fig. 2**), a ridosso dello Stretto, misure di degassamento al suolo e su fluidi (UR 2.9 Italiano) mostrano la presenza di un notevole contributo di fluidi con marcati segni di apporti dal mantello. Anche questa evidenza confermerebbe l'attività recente degli elementi strutturali peloritani, e segnatamente del lineamento NNW-SSE noto come Tindari-Giardini.

Acquisizione e analisi di dati sismologici e geodetici

In questa sezione vengono riassunti i contributi che derivano *i)* dall'analisi di sequenze sismiche di bassa magnitudo, per la definizione di limiti di segmento o sorgenti responsabili di terremoti di magnitudo moderata; *ii)* dall'analisi delle registrazioni di eventi ad energia più elevata, per la caratterizzazione di sorgenti potenzialmente responsabili di terremoti distruttivi; e *iii)* dalle informazioni geodetiche mirate a definire *pattern* di deformazione riconducibili a lineamenti regionali o faglie di dimensione significativa.

- Nella Liguria orientale e in Garfagnana-Lunigiana (**3 e 4 in Fig. 2**), si è proceduto alla catalogazione di registrazioni sismiche e di letture di fasi relative agli anni 1985-2005 (UR 2.18 Solarino). Sono state installate due stazioni velocimetriche nella Liguria occidentale nelle località M.te Ceppo (Febbraio 2006) e Pigna (Aprile 2006). I dati acquisiti sono attualmente in elaborazione.
- Nel settore dei Monti Sibillini-Monti della Laga (**7 in Fig. 2**), è stato analizzato il segnale geodetico secolare attraverso la faglia della Laga per caratterizzare la geometria della sorgente sismogenetica connessa (UR 2.8 Galadini). Si è ipotizzato un movimento asismico per giustificare la notevole subsidenza geodetica osservata.
- Nell'area di Faenza (**6 in Fig. 2**), è stata effettuata una revisione della sequenza sismica del 2002, mediante rilocalizzazione degli aftershock, la definizione della successione temporale degli eventi e lo studio della distribuzione dei meccanismi focali (UR 2.4 Burrato).
- Nel settore sannita dell'Appennino meridionale (**9 in Fig. 2**), è stata analizzata la distribuzione spazio-temporale delle sequenze di bassa energia (1990, 1991-91, 1997) che hanno colpito l'area, per cercare una correlazione tra l'evoluzione della sismicità e le strutture geologiche recenti dell'area (UR 2.4 Burrato).
- Nell'area del bacino del Mercure (**13 in Fig. 2**), si è proceduto alla revisione della sequenza sismica del settembre-ottobre 1998 (UR 2.10 Lavecchia). In particolare, è stata effettuata l'analisi sismologica e tensoriale con definizione di un appropriato modello di velocità, rilocalizzazione della sequenza, costruzione dei meccanismi focali e loro inversione.
- Nell'area sismica di Potenza (**14 in Fig. 2**), la ricerca è stata finalizzata alla costruzione di un modello reologico-sismogenetico applicabile alla deformazione attiva del blocco apulo (UR 2.10 Lavecchia). In particolare, è stata considerata l'area interessata dalla sequenza sismica del maggio 1990 ($M_w=5.7$), per la quale è stata ricostruita la stratigrafia crostale, calcolata la geoterma, e costruito il profilo reologico. Quest'ultimo è stato confrontato con la distribuzione in profondità della sismicità opportunamente selezionata in base a criteri di qualità. Nel calcolo del profilo è stato valutato il possibile contributo di fluidi in sovrappressione nella crosta profonda e di aumenti di *strain rate* dovuti a processi di *afterslip*.
- Per quanto riguarda l'Arco Calabro (**17 in Fig. 2**) e i settori *offshore* limitrofi sono state effettuate indagini tomografiche e analisi per la localizzazione ipocentrale (UR 2.13 Neri) che hanno portato: *i)* modelli tomografici V_p e V_s di accresciuto dettaglio nella crosta calabra (*grid spacing* 20x20x5 km, in alcuni settori 10x10x5 km); *ii)* localizzazioni ipocentrali “definitive” nella crosta calabra con particolare riferimento agli sciami più significativi degli ultimi dieci anni (e relative implicazioni in termini di strutture



sismogenetiche); iii) localizzazioni ipocentrali di buona qualità (ma non “definitive”) nella crosta siciliana con particolare riferimento agli sciami più significativi dell’offshore tirrenico negli ultimi dieci anni (e relative implicazioni in termini di strutture sismogenetiche).

- Nel settore ibleo (**18 in Fig. 2**), sono state avviate ricerche per determinare un modello tomografico in velocità della crosta (UR 2.4 Burrato), al fine di meglio identificare le faglie attive e definirne la loro geometria. Il *dataset* utilizzato comprende circa 450 terremoti ($1.0 \leq ML \leq 4.6$) registrati tra il 1994 e il 2003 dalla rete sismica locale dell’INGV (rete iblea). In base ai dati disponibili, la sismicità risulta concentrata in tre aree distinte: a) nel settore orientale (*inland e offshore*); b) ad ovest, nella porzione più settentrionale del sistema strutturale “Scicli-Ragusa”; c) lungo l’avanfossa “Gela-Catania”. Nel medesimo settore sono state eseguite le misure GPS sulla rete “Iblei settentrionale”, già misurata in precedenza nel 1998 e nel 2000, a cui oggi si aggiungono le stazioni della rete permanente. Le misure eseguite sono in corso di elaborazione.

Acquisizione e analisi di dati storico-sismologici

Rientrano in questo ambito le acquisizioni di dati sulla distribuzione del danno di terremoti storici e l’analisi delle distribuzioni per definire le sorgenti che li hanno causati.

- Nel settore adriatico abruzzese (**8 in Fig. 2**), sono in corso indagini storiche finalizzate alla migliore caratterizzazione del terremoto del 10 settembre 1881 (UR 2.8 Galadini). Tale evento sismico, attualmente parametrizzato con M_{aw} 5.6, presenta apparenti lacune conoscitive per quanto riguarda la distribuzione del danno. Tali lacune limitano l’interpretazione dell’evento in chiave sismotettonica. Le ricerche in corso hanno finora consentito di individuare altri quattro punti di danno non riportati nei piani quotati precedentemente elaborati.
- Per quanto riguarda l’area irpina (**10 in Fig. 2**), la UR 2.17 Pettenati ha effettuato l’inversione da dati macrosismici di 4 terremoti (1980, 1930, 1732, 1962). L’operazione sul primo evento, ben definito strumentalmente, è servita per la calibrazione del metodo sull’area indagata. Per il 1980, è stata ottenuta una soluzione compatibile con i meccanismi da dati strumentali, con il risultato dei due piani del meccanismo focale in ambiguità quasi perfetta. Per il 1930 è stato ottenuto un meccanismo strike-slip per direzione 81° , $dip=58^\circ$. Per il 1732 dip-slip per direzione circa SE e strike-slip (piano 1: $strike=217^\circ$, $dip=48^\circ$, $rake=9^\circ \pm 90^\circ$; piano 2: $strike=120^\circ$, $dip=83^\circ$, $rake=134^\circ \pm 90^\circ$). Anche per il 1962 è stata trovata una coppia di soluzioni distinte: un meccanismo dip-slip puro con direzione NE-SW e un meccanismo strike-slip con direzione SSE-NNW.

Indagini su sorgenti sismogenetiche a mare

Acquisizione e analisi di dati sismologici

In questo capitolo rientrano le indagini di sismologia strumentale che riguardano settori *offshore*.

- Nel Tirreno meridionale (**20 in Fig. 2**) le attività hanno riguardato la conclusione di alcune elaborazioni delle registrazioni sismologiche acquisite durante la campagna di OBS nell’ambito del progetto TYDE-TYrrhenian Deepsea Experiment, e le registrazioni acquisite dall’osservatorio SN-1 nel periodo di funzionamento in modalità autonoma (UR 2.7 Favali e UR 2.13 Neri). In particolare sono state localizzate 53 scosse di bassa magnitudo ($M_{max}= 2.9$) verificatesi nel marzo 2001 nella Sicilia nord orientale (sciame di S. Lucia del Mela). Il lavoro svolto conferma l’approfondimento degli ipocentri verso ovest. L’intervallo di profondità risulta essere compreso tra 27 e 37 km.
- Per il Golfo di Taranto (**19 in Fig. 2**), si è proceduto al recupero delle forme d’onda disponibili (oltre a quelle della RSNC) per la rilocalizzazione di eventi negli ultimi 6 anni e all’installazione di stazioni temporanee per la localizzazione di nuovi eventi (dal Dicembre 2005) (UR 2.12 Mucciarelli). Per quanto riguarda il primo aspetto, l’operazione si è conclusa con la produzione di una banca dati disponibile su CD-ROM. Per ciò che concerne le stazioni temporanee, la sismicità più cospicua si è manifestata sul lato calabrese del golfo e attualmente si sta procedendo alla rilocalizzazione e alla determinazione di meccanismi focali per la sequenza del mese di Aprile 2006.



Prospezioni geofisiche

In questo capitolo rientrano le indagini di sismica a riflessione a mare per l'identificazione di sorgenti la cui attivazione potrebbe comportare danni a terra o innescare onde di *tsunami*.

- Per il Tirreno meridionale (**21 in Fig. 2 e Fig. 4**) è stata completata l'interpretazione della sismica ministeriale (Zona G), nel tratto compreso tra il bacino di Trapani ad ovest ed il bacino di Palermo ad est, ed avviata l'interpretazione dei dati sismici delle restanti campagne (UR 2.6 Doglioni). In questo modo, è stato possibile definire meglio la geometria e l'estensione di alcune strutture d'inversione tettonica e riconoscere alcuni settori, con orientazione preferenziale ENE-WSW, che mostrano spessori della copertura quaternaria anomali probabilmente attribuibili a *bulging* riconducibile all'attivazione o riattivazione di strutture cieche.
- Per il tratto di mare compreso tra la Sicilia nord-orientale e la Calabria meridionale (**17 in Fig. 2**) è stata predisposta la campagna in mare per l'acquisizione di profili sismici multicanale e di profili Chirp Sonar ad alta risoluzione, finalizzata all'individuazione e caratterizzazione della c.d. faglia di Taormina (UR 2.1a Brancolini e 2.1b Argnani).

Indagini su sorgenti tsunamigeniche

Rientrano in questo capitolo sia le modellazioni di *tsunami* in risposta all'attivazione di definite sorgenti a mare, sia le ricerche, svolte nei settori costieri con le tecniche tipiche della geologia di terreno e della stratigrafia, di sedimenti marini depositati da onde anomale.

- Nel settore salentino (**16 in Fig. 2 e Fig. 6**) (UR 2.11 Mastronuzzi) si è proceduto allo studio delle evidenze morfologiche dell'impatto di *tsunami* mediante rilevamento geomorfologico sul terreno e subacqueo, e mediante tecniche DGPS di rilevamento topografico. Al momento, più fruttuoso è stato lo studio delle evidenze riconosciute lungo la costa ionica fra Otranto e Leuca. Qui, sostanzialmente senza soluzione di continuità, è riconoscibile una lunga **berma** costituita da migliaia di blocchi di calcare dalle dimensioni variabili sino a circa 100 tonnellate di peso, disposta fra i 4 e gli 11 m di quota. Le datazioni C14 effettuate su gasteropodi e la presenza di resti ceramici al di sotto dei blocchi suggeriscono che l'evento deposizionale sia da attribuire al terremoto del 1743.
- Per la Sicilia orientale (**18 in Fig. 2**) (UR 2.2a Barbano e 2.2b De Martini), è in corso una ricerca storica finalizzata ad individuare tracce di *tsunami* relative ad eventi noti da catalogo. Le informazioni reperite sono state catalogate in un database georeferenziato. I dati sono stati utilizzati sia per tentare di discriminare il tipo di sorgente dei maremoti, sia per indirizzare le ricerche paleosismologiche. Per questo fine è stata svolta un'indagine morfologica per individuare le aree potenzialmente favorevoli alla conservazione dei depositi di *tsunami*. Fra i sedici siti lacustri e palustri delle zone costiere di retroduna, due sembrano dare riscontri positivi (Fiumefreddo e Priolo). Particolarmente in queste due aree verranno eseguiti ulteriori carotaggi di verifica.
- Per l'area mediterranea in genere, si è provveduto a costruire scenari di *tsunami* speditivi conseguenti all'attivazione di importanti sorgenti sismogenetiche, note o ipotizzabili (UR 2.19a Tinti e 2.19b Piatanesi). In particolare, la UR 2.19a Tinti ha ricostruito lo scenario relativo a grandi terremoti storici selezionati. A sua volta, la UR 2.19b Piatanesi ha considerato circa 80 sorgenti elaborate dalla UR 1.1 Basili e appartenenti a tre zone sismiche ritenute tsunamigeniche, attivate con la massima magnitudo attesa (arco ellenico, M 8; *offshore* algerino, M 7.1; Mar Tirreno meridionale, M 6.2; Fig. 7). L'attenzione è stata focalizzata sulle coste italiane maggiormente esposte (Sardegna, Sicilia e Italia Meridionale), calcolando le distribuzioni delle altezze massime dell'onda su tratti di costa selezionati. Le simulazioni per sorgenti dell'arco ellenico mostrano che sono attese onde di altezza superiore a 3 m lungo estesi tratti di costa della Sicilia e dell'Italia Meridionale, mentre le altre aree-sorgente danno valore di un ordine di grandezza inferiore.

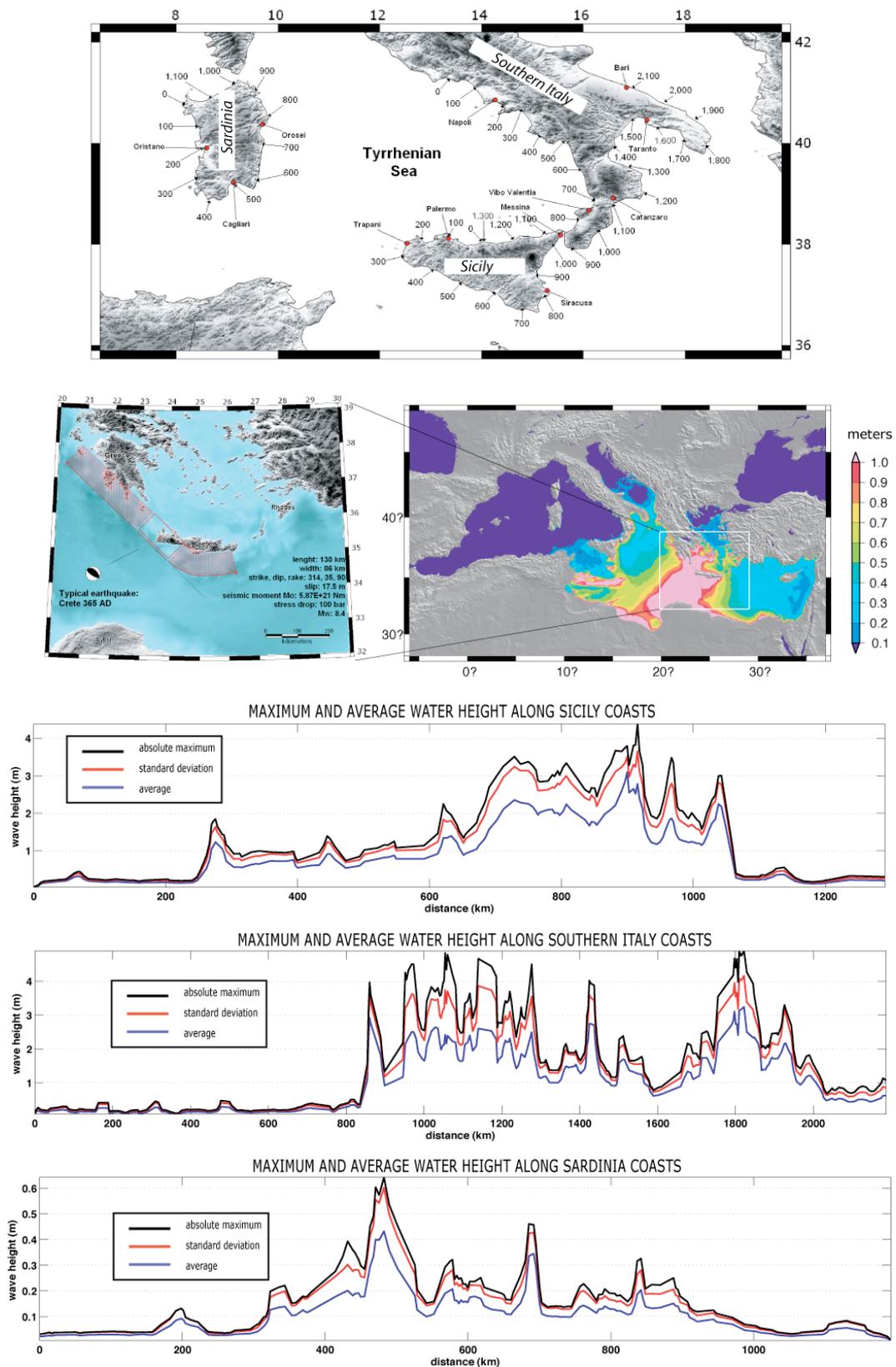


Figura 7 - Scenari di tsunami elaborati dalla UR 2.19b Piatanesi. (in alto) Tratti di costa selezionati per valutare l'impatto delle onde di tsunami: i numeri rappresentano distanze lungo costa misurate in km. (in basso) Area sismogenetica dell'arco ellenico. In alto a sinistra un esempio di sorgente, a destra la mappa della maximum water elevation (MWE) su tutto il dominio di calcolo. I restanti tre pannelli mostrano le MWE lungo i tratti di costa selezionati, aggregate per questa area sismogenetica.



2.3. - Task 3 (a cura di Alessandro Caporali, Università di Padova)

L'obiettivo principale di questo modulo è l'inquadramento dei dati sulla sismogenesi, ottenuti con le indagini dei Task 1 e 2, nel quadro più ampio delle conoscenze geodinamiche disponibili per l'Italia. Sono state pertanto previste cinque unità di ricerca, di cui due (la UR 3.1 Barba e la UR 3.2a Caporali) a valenza nazionale, e altre tre (UR 3.2b Braitenberg, UR 3.3 Guerra e UR 3.4 Sepe) a valenza locale. Questo significa che le UR 3.2a Caporali e 3.1 Barba hanno lavorato, rispettivamente nel settore sperimentale e modellistico, per determinare un campo medio di deformazione attivo valido per tutto il territorio nazionale, nel quale vengono poi collocati modelli di dettaglio per il Friuli (UR 3.2b Braitenberg), per l'arco Calabro (UR 3.3 Guerra) e per il Matese (UR 3.4 Sepe). In questo contesto, la UR 3.1 Barba ha prodotto una rappresentazione agli elementi finiti del campo di deformazione a livello nazionale, che incorpora dati strutturali, sismici e geofisici. Analogamente la UR 3.2a Caporali ha prodotto una mappa, basata su dati GPS raccolti da stazioni permanenti e elaborati in modo omogeneo, dove sono evidenziati i valori di *strain rate* calcolati nei punti meglio coperti dalle osservazioni. Questo al fine di garantire che quanto presentato è suscettibile di modeste modifiche, man mano che ulteriori dati vengono modificati, in quanto l'attenzione è stata riposta nelle zone già ottimamente coperte da dati. Il risultato in termini di velocità è riportato in Fig. 8, che mostra congiuntamente i dati sperimentali elaborati dalle UR 3.1 Barba e 3.2a Caporali. La Fig. 9 mostra gli *strain rates* sperimentali elaborati della UR 3.2a Caporali. La Fig. 10 mostra le condizioni al contorno del modello elaborato dalla UR 3.1. Barba e i migliori risultati ottenuti in velocità.

Occorre innanzitutto precisare che è da ritenersi un risultato importante del progetto riuscire ad affiancare, anche se in via preliminare, il risultato dell'analisi sperimentale e quello della modellazione numerica. I due elaborati concordano nel valutare un tasso medio di deformazione dell'ordine dei 30–50 nanostrain/anno per la maggior parte del territorio nazionale. Il modello numerico, caratterizzato da una *mesh* più densa di quanto possa disporre quello sperimentale, evidenzia le zone di maggiore deformazione nel Lazio e sull'arco calabro – versante tirrenico, includendo l'Etna e la parte nord orientale della Sicilia. Non essendo queste zone coperte da un numero sufficiente di stazioni permanenti GPS per un calcolo affidabile del tasso di deformazione, le due UR hanno considerato un *database* formato da stazioni permanenti e non, reso disponibile da E. Serpelloni della UR 3.1 Barba, e particolarmente denso nelle zone di maggiore deformazione. Il confronto tra risultati sperimentali e modello numerico è riassunta in Fig. 11, dove l'immagine a sinistra si riferisce allo *strain rate* ottenuto con dati GPS e quella a destra ai risultati del modello. Si riconosce generalmente un discreto accordo, ma occorre sottolineare due fatti:

- 1) il modello numerico porta a valori dello *strain rate* mediamente inferiori rispetto ai valori sperimentali;
- 2) il campo deformativo ottenuto con le sole stazioni permanenti è di entità generalmente maggiore di quello ottenuto con le stazioni permanenti e non.

Quanto sopra già traccia il lavoro per l'anno successivo: da un lato sarà teso a comprendere e approfondire i motivi delle discrepanze su scala regionale; dall'altro dovrà incorporare nelle zone di maggiore deformazione i dati che nel frattempo le altre unità hanno generato, e che di seguito riassumiamo.

La UR 3.2b Braitenberg relaziona su misure in Friuli di tipo classico e satellitare. Viene in particolare rilevata la notevole variabilità anche a livello locale del tasso di deformazione. Ad esempio nella zona di Villanova vi è un elevatissimo stato deformativo, intorno ai 400 nstrain/anno, ovvero dieci volte superiore i valori medi rilevati con il GPS. Questo differenziale è rilevato anche con dati clinometrici omogenei: a Villanova il *tilt* è di circa 100 volte superiore a quello in Grotta del Gigante. I valori di *strain rate* calcolati da Caporali vengono confermati con una rielaborazione dei dati relativi all'area friulana. Viene inoltre evidenziato un differenziale di deformazione in pianura (ca 6 nstrain/anno) rispetto alle aree montuose a nord (ca 40 nstrain/anno). Infine viene stimata la deformazione verticale, che



sembrebbe essere considerevole. Nel prosieguo della ricerca nel secondo anno queste informazioni verranno attentamente controllate e validate.

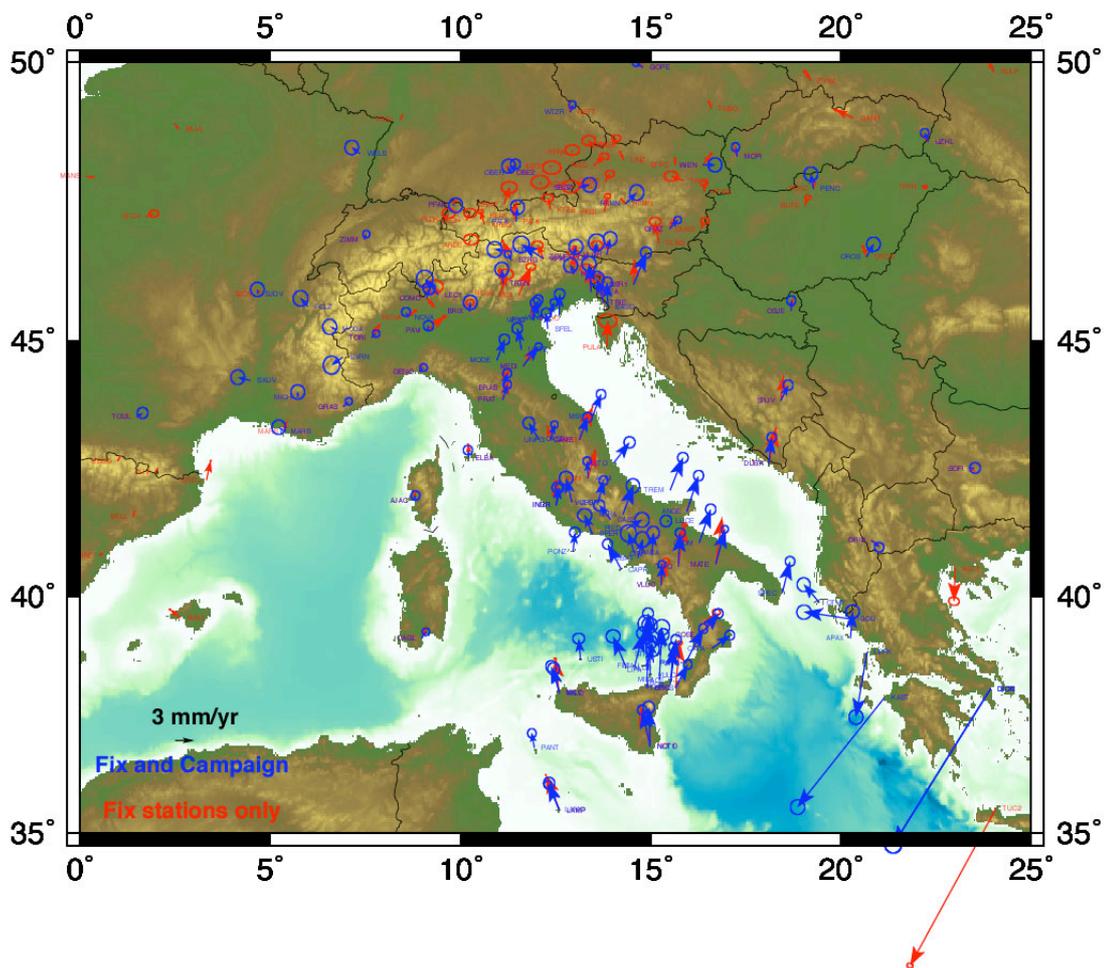


Figura 8 - Confronto tra le velocità (in rosso) calcolate dalla UR 3.2a Caporali nella compensazione pluriennale di equazioni normali, con vincoli IGS compatibili, e il database di velocità (in blu) reso disponibile da E. Serpelloni (UR 3.1 Barba). Il confronto dei due set di dati consente di verificarne qualitativamente la compatibilità, dal punto di vista della orientazione e scala.

Veniamo ora ai contributi della UR 3.3 Guerra. Come si è detto questa ha operato in Calabria e si è concentrata nella rilevazione di tre reti GPS di dettaglio, preesistenti da precedenti campagne. L'area è di estremo interesse per la sua elevata pericolosità sismica. Il lavoro del primo anno si è pertanto concentrato in una attenta ricognizione dei pilastrini, al fine di accertarne la perfetta efficienza in considerazione dei piccoli spostamenti da rilevare. Sfortunatamente la ricognizione ha evidenziato il cattivo stato di conservazione dei manufatti, e pertanto le operazioni di misura subiranno un piccolo ritardo per consentire il ripristino dei pilastrini.

La UR 3.4 Sepe ha costituito, per il primo anno di attività, un database relativo ai dati GPS per gli anni 2000, 2002 e 2004 con files RINEX e, per ogni stazione e per ogni anno di misura, un riepilogativo dei parametri di qualità calcolati con il programma TEQC. Trattasi di lavoro preparatorio alle campagne di misura del prossimo anno. Queste si preannunciano di notevole importanza, perché il data base di dati di campagna sembra particolarmente ricco. La ripetizione delle misure sui piastrini consentirà indubbiamente una migliore stima dei movimenti locali. Sarà compito della Task 3 in generale integrare i dati locali con quelli medi a livello regionale, e ottenere il prodotto principale della ricerca, cioè l'aspetto geofisico e geodetico dello stato della deformazione sul territorio nazionale.

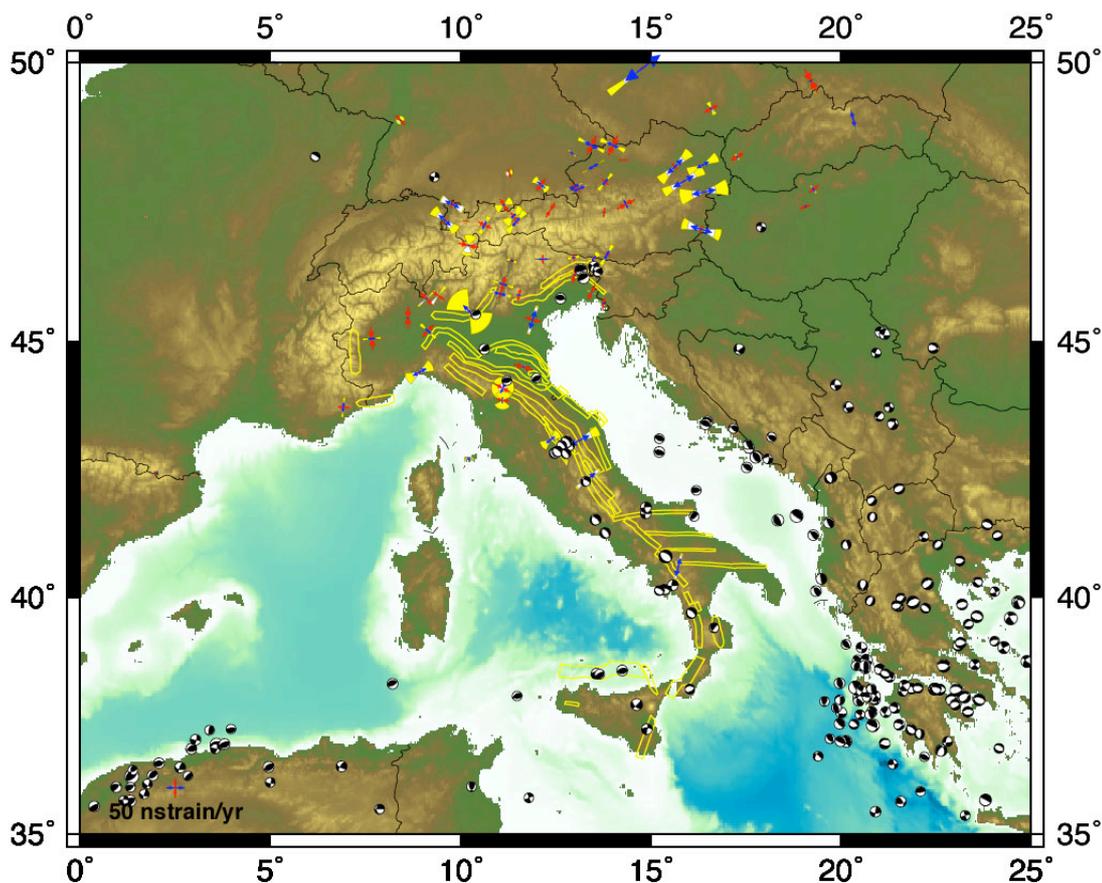


Figura 9 - Stile e intensità della deformazione calcolata da serie storiche di stazioni permanenti GPS analizzate in modo consistente secondo standard IGS/EUREF. In giallo le Seismogenic Areas da DISS 3.0.1. Stime dello *strain rate* effettuate mediante collocazione con l'algoritmo descritto in Caporali et al. (2003) con le velocità di un minimo di 5 stazioni in un raggio di 290 km, pari alla lunghezza di decorrelazione delle velocità. Vengono infine indicati i coni di incertezza (3 sigma) del modulo e direzione degli autovettori del tensore di *strain rate*, calcolati mediante propagazione dell'errore stimato delle velocità. Per le specifiche aree vengono indicati i valori del massimo *shear strain*, definito come differenza dei valori assoluti della deformazione compressiva (segno +) e distensiva (segno -): Dolomiti +37 nstrain/yr; Pianura Padana meridionale +44 nstrain/yr; Umbria/Marche -62 nstrain/yr; Irpinia -43nstrain/yr.

Si può pertanto concludere che le attività di questo primo anno si sono svolte nel rispetto di quanto preventivato. Il lavoro del secondo anno si concentrerà nella ricerca di un maggiore accordo tra i *dataset* geodetici, e tra questi e il modello numerico della UR 3.1 Barba. Dovranno inoltre essere eseguite le campagne di misura in Sud Italia previste dalle UR 3.3 Guerra e 3.4 Sepe. Infine dopo una attenta valutazione dei risultati delle singole UR, si dovrà combinare le informazioni locali con il modello deformativi a scala nazionale.

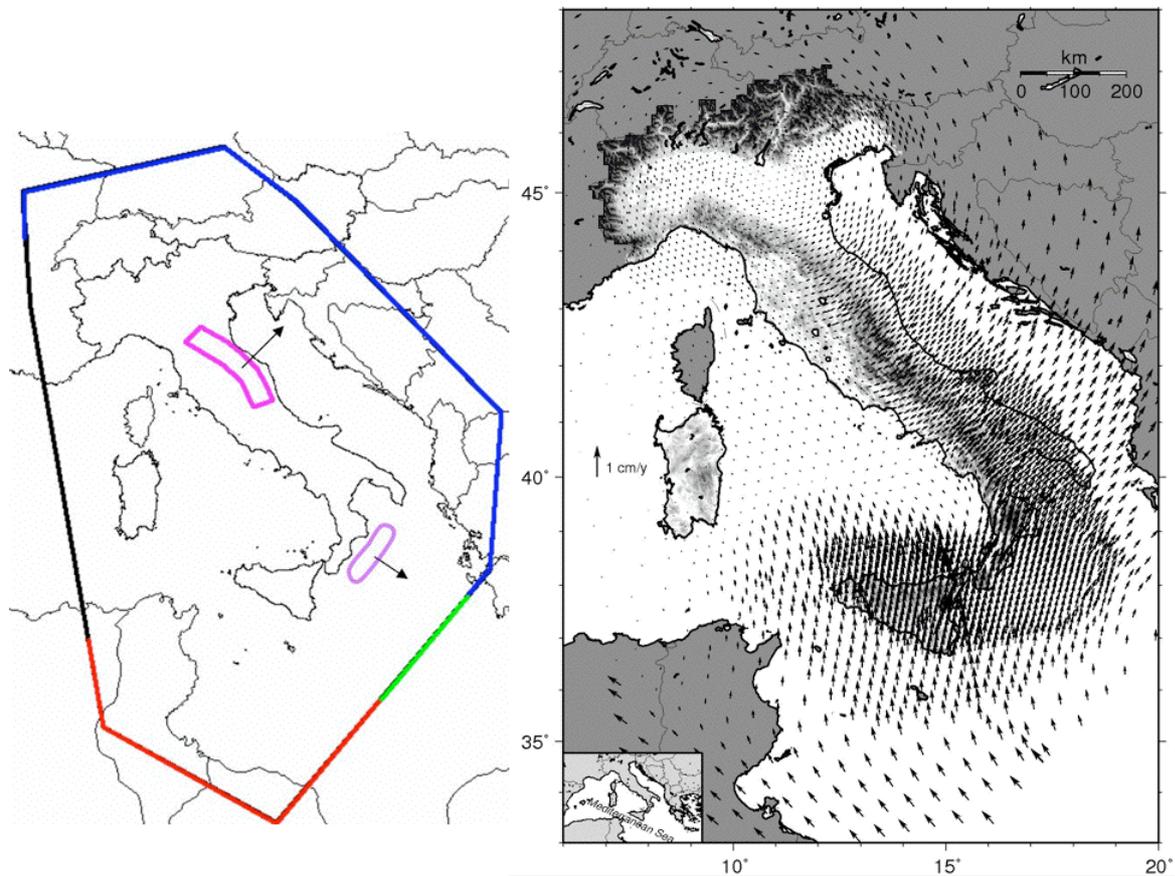


Figura 10 - (sinistra) Condizioni al contorno del modello elaborato dalla UR 3.1 Barba: blu: rotazione antioraria di Adria (secondo Serpelloni (2005) e/o Westway (1992)); nero: fisso; rosso: compressione Africa ENE; verde: solidale con Adria, Africa, o libero; viola: trazioni basali con indicata la direzione di movimento (freccia).(destra) Velocità crostali previste dal miglior modello.

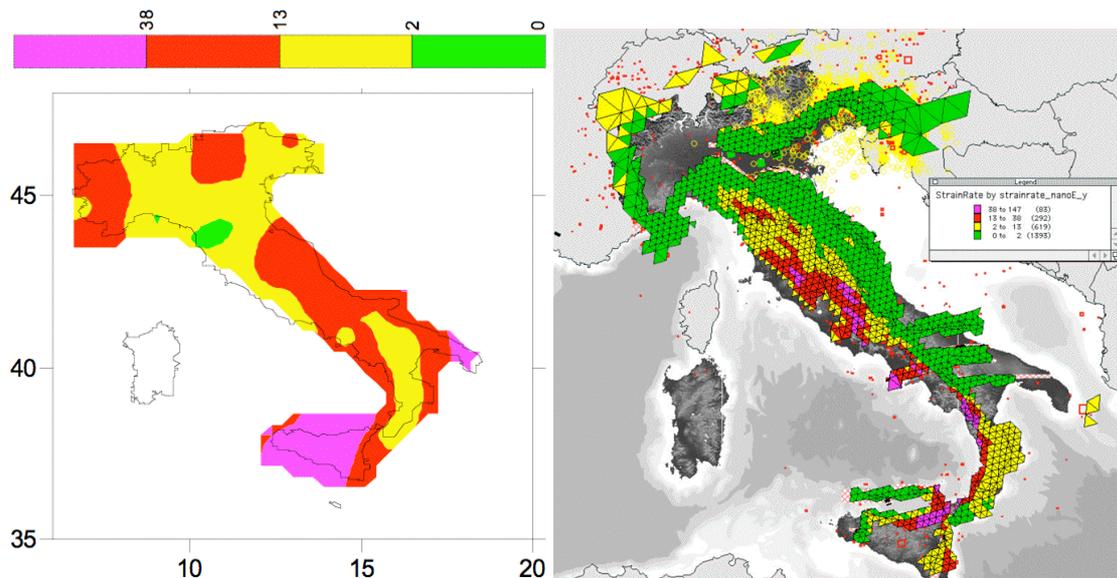


Figura 11 - Interpolazione dello *shear strain rate* usando dati da stazioni permanenti e non (a sinistra) confrontati con il modello di *strain rate* elaborato dalla UR 3.1 Barba per le aree sismogenetiche di ZS9 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004) . Entrambe le figure adottano lo stesso codice di colore. Si nota che i dati geodetici danno valori di *strain* generalmente maggiori di quelli del modello numerico. Nel prossimo anno di attività sarà quindi necessaria una taratura più attenta dei due modelli.



2.4. - Task 4 (a cura di Laura Peruzza, OGS Trieste)

Il task rappresenta la parte più strettamente computazionale e modellistica della caratterizzazione sismogenetica delle sorgenti, ed è incaricato di stimare la probabilità di attivazione delle strutture individuate e caratterizzate dai Task 1, 2 e 3.

Trattandosi di un argomento sul quale non esistono prassi e tecniche consolidate, il Task ha raccolto le proposte di ricercatori che affrontano il problema del calcolo della probabilità di occorrenza di un terremoto con metodi molto diversi tra loro, in parte anche antagonisti. Al coordinamento spettava quindi l'incarico di armonizzare le analisi condotte dalle 9 UR afferenti all'obiettivo, raccordandole al contempo con quanto ottenuto dagli altri task e in particolare dal Task 3.

Dopo una approfondita analisi di quanto proposto dalle UR, e la definizione univoca delle basi dati da utilizzare per le elaborazioni, avvenuta tra luglio e ottobre tramite scambio di documenti e riunioni, si è giunti a meglio precisare gli obiettivi e i prodotti finali attesi dalle analisi delle varie UR incaricate del calcolo della probabilità di occorrenza; si è concordata una ristrutturazione del task che individua ancora tre filoni principali di ricerca, ma con un diverso accorpamento e finalizzazione delle UR. I tre prodotti finali su cui si intendono concentrare le indagini sono ora indicati in:

- 1) probabilità di terremoto imminente, da dati strumentali (UR 4.2 Di Giovambattista, 4.5 Godano e 4.7 Murru p.p.);
- 2) probabilità di occorrenza di eventi maggiori con l'ausilio di modelli fisici (UR 4.3 Cinti, 4.6 Mantovani e 4.7 Murru p.p.);
- 3) probabilità di occorrenza di eventi maggiori con l'ausilio di tecniche essenzialmente statistiche, in riferimento a faglie (sorgenti individuali, UR 4.1 Akinci e 4.8 Peruzza), e riferite ad aree più o meno estese (sorgenti sismogenetiche areali, UR 4.4 Garavaglia e UR 4.9 Rotondi).

Per favorire lo scambio reciproco di informazioni, i dati di base, alcune elaborazioni parziali e altri documenti utili sono stati archiviati a beneficio di tutti gli operatori del Task 4 in un sito ad accesso limitato. In questo contesto tutte le UR hanno realizzato delle analisi preliminari, perfezionando gli strumenti di calcolo adottati in rapporto alle informazioni disponibili. Seguendo l'ordine dei filoni di ricerca i risultati della prima fase di ricerca possono essere così sintetizzati.

Nel primo filone, le analisi retrospettive proposte dalle UR 4.2 Di Giovambattista e 4.7 Murru (Fig. 12) forniscono elementi incoraggianti nel versante della previsione a “breve” termine, soprattutto per quanto riguarda l'evoluzione di una sequenza sismica; esistono sicuramente problemi di taratura sperimentale di alcuni parametri dei modelli, non sempre facilmente risolvibili per la notevole variabilità nello spazio e nel tempo della completezza dell'informazione; utili risultano anche le sperimentazioni condotte sullo scaling dinamico della G-R proposte dalla UR 4.5 Godano.

Il secondo filone ha lavorato essenzialmente nella predisposizione modellistica dei sistemi di interazione fra faglie in Appennino centrale (UR 4.3 Cinti e 4.7 Murru) e del modello geodinamico a larga scala per l'analisi della interazioni Balcani – Appennino meridionale (UR 4.6 Mantovani). Le prime elaborazioni supportano le ipotesi di clusterizzazione della sismicità, simulando una significativa non stazionarietà del tasso di terremoti con sequenze sintetiche (vedi Fig. 2 nella relazione della UR 4.3 Cinti). Tuttavia esse evidenziano anche che il contributo alla probabilità di accadimento di un terremoto maggiore derivante dai fenomeni di carico/scarico legati all'attivazione di strutture vicine è generalmente modesto (Tab. 1), soprattutto se confrontato con il lungo tempo di ricorrenza atteso per la maggior parte delle sorgenti sismogenetiche italiane.

Il terzo filone, infine, ha realizzato come previsto delle analisi preliminari di sensibilità metodologica e di finalizzazione del dato geodetico proveniente dal Task 3. Le indicazioni emerse appaiono molto promettenti, pur in una situazione realistica di forte disomogeneità, per quanto riguarda la significatività dei risultati sull'intero territorio nazionale.

Le stime di probabilità condizionata di evento caratteristico, applicate alle strutture



individuali (Figg. 13, 14) individuano come esigenza prioritaria la necessità di imporre vincoli più stringenti alla variabilità del parametro di *slip-rate* attribuito alle faglie, pena la inadeguatezza delle assunzioni a priori implicitamente adottate con il comportamento a “terremoto caratteristico” stesso. I vincoli esplorati durante queste prima fase della ricerca (Fig. 15) sono essenzialmente riconducibili al bilanciamento energetico complessivo, pilotato dal contenuto del catalogo storico dei terremoti, e al confronto ragionato con le indicazioni geodetiche preliminari fornite dal Task 3.

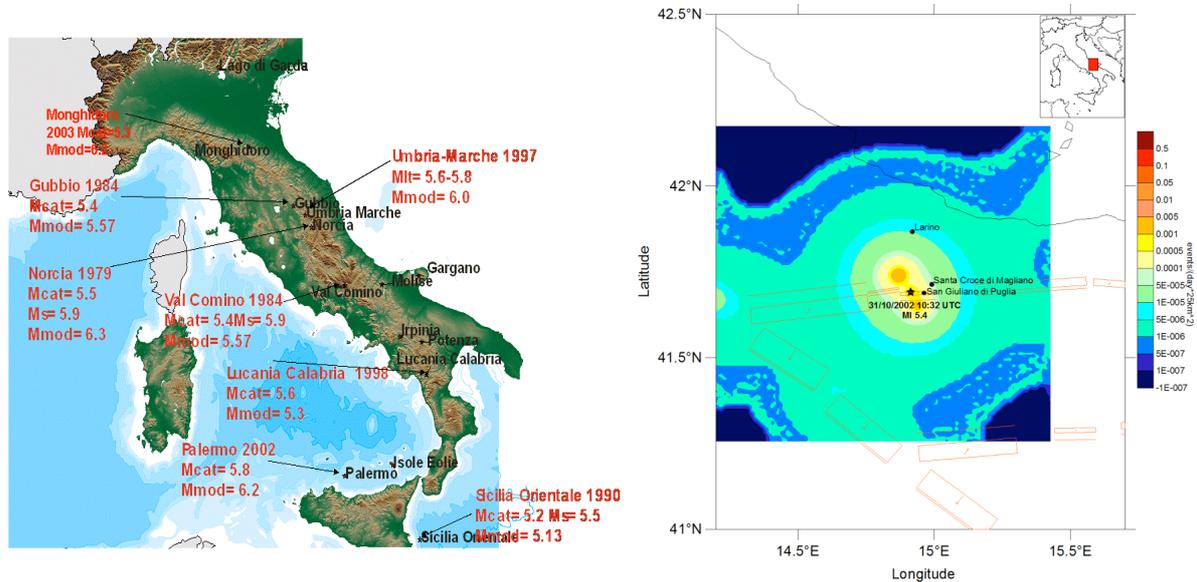


Figura 12 - Analisi retrospettive per la validazione metodologica del calcolo di probabilità imminente da dati strumentali. Sinistra) applicazione del modello AMR alle principali sequenze italiane degli ultimi decenni (Fig. 2 della scheda dell’UR 4.2 Di Giovambattista): 1/3 delle sequenze analizzate non è stato preceduto da significativa accelerazione del rilascio di energia e si stanno investigando le possibili motivazioni genetiche; la magnitudo prevista dal modello nelle sequenze precedute da attivazioni presenta in alcuni casi sensibili scostamenti rispetto a quanto osservato. Destra) applicazione del modello ETAS alla sequenza del Molise del 2002 (Fig. 4b della scheda dell’UR 4.7 Murru): la clusterizzazione, prevista dal modello, prevede un aumento del numero di eventi attesi (M5.0, su un’area di 25 km²) al procedere della sequenza, in discreto accordo spaziale con quanto osservato.

	Ovindoli-Pezza	Sulmona Basin	Fucino Basin	Aremogna-Cinquemiglia
R₀ Poisson	6.25e-04	1.18e-03	7.14e-04	4.67e-04
R₀ cond	4.29e-03	1.33e-04	5.00e-04	4.07e-03
R₀ mod	5.90e-03	1.32e-04	5.00e-04	4.40e-03
Delta_t (anni)	+63.00	-53.00	0.00	+21.30
P(30)Poisson (DISS 3.0.1)	1.90%	3.50%	2.10%	1.40%
P(30)cond (Peruzza, comm. pers.)	12.10%	0.40%	1.50%	11.00%
P(30)mod	16.20%	0.39%	1.50%	12.30%

Tabella 1 - Parametri e risultati ottenuti per alcune strutture individuali dalla modellazione fisico-statistica del processo sismogenetico attuata tramite fusione del modello *rate-and-state* per la nucleazione del terremoto con modello *renewal* di occorrenza di evento caratteristico (Tab. 1 della UR 4.7 Murru); i tassi (R₀, pari a 1/T) e la probabilità di occorrenza di Poisson e condizionati al tempo trascorso sono stati preliminarmente assegnati sulla base di precedenti analisi: i valori modificati (_mod) tengono conto della variazione dello stress di Coulomb sulla struttura come variazione del tempo medio caratteristico causata dalla variazione di sforzo agente sulla struttura.

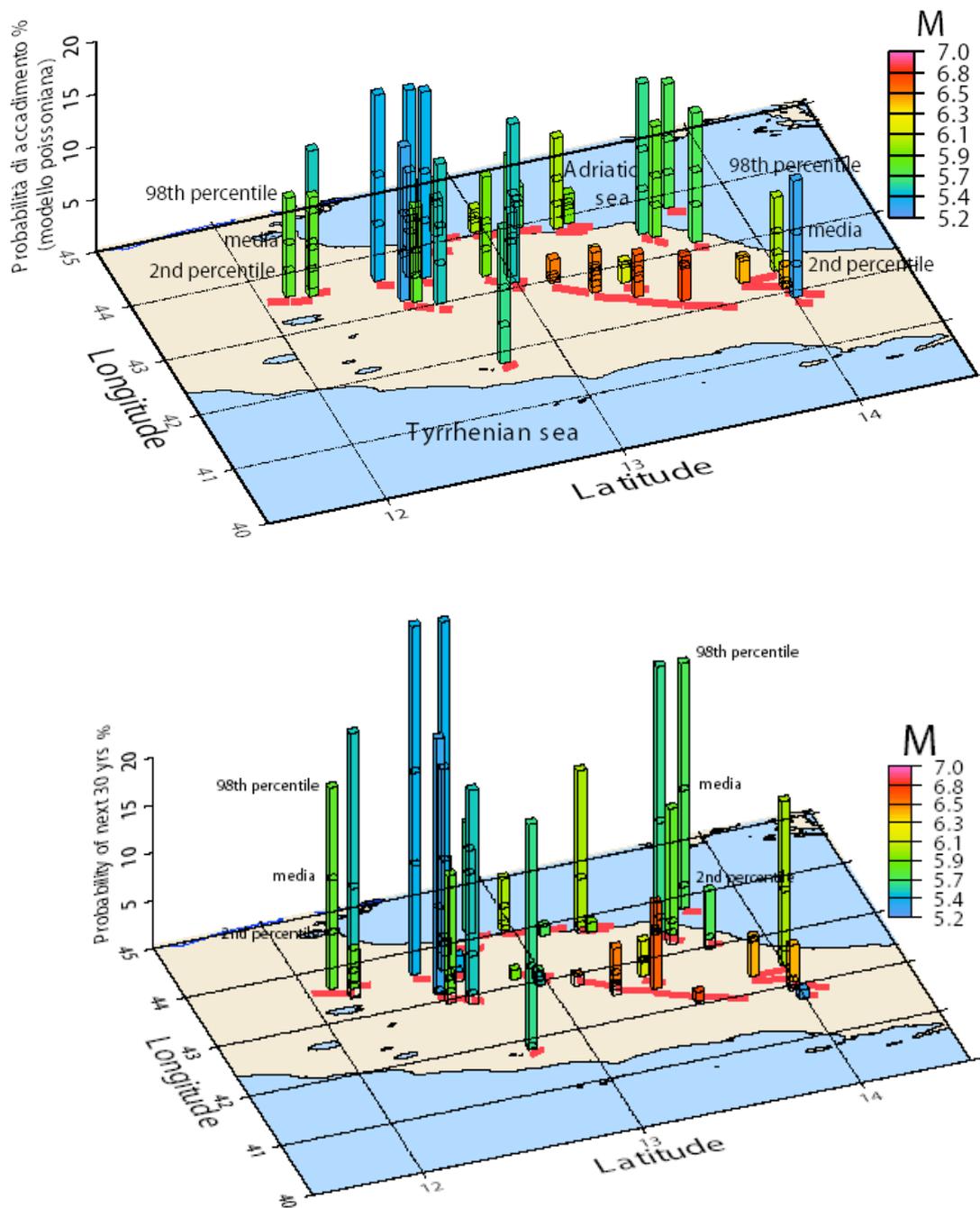


Figura 13 - Variabilità della probabilità di occorrenza legata all’incertezza sullo *slip rate* su strutture individuali in Italia Centrale: sopra) in 30 anni, con modello poissoniano; sotto) nei prossimi 30 anni, con modello Brownian Passage Time ad alfa prefissato (Figg. 5a e 5b della scheda della UR 4.1 Akinci). Le strutture con la probabilità più elevata sono in entrambe le formulazioni quelle caratterizzate da valori inferiori della magnitudo massima attesa (scala cromatica), per cui i tempi medi di ricorrenza sono più brevi.

Le analisi, pur fornendo come prima indicazione degli elementi antitetici (le massime velocità di deformazione delle strutture in Appennino centrale, non sono in grado di giustificare completamente il contributo della sismicità storica, mentre dalla modellazione geodetica si attendono velocità mediamente molto inferiori rispetto a quanto indicato dai compilatori di DISS) trovano in realtà giustificazione e concordanza con altri elementi (le analisi di stazionarietà sul catalogo, i dati geodetici osservativi) e si ritiene potranno comporsi in un quadro unitario col lavoro congiunto dei diversi task. Per quanto riguarda infine lo sviluppo delle stime di probabilità di terremoto maggiore con



tecniche statistiche, in riferimento ad aree estese (sorgenti areali), la prima fase dell'attività è stata prevalentemente di sviluppo metodologico, essendosi protratta oltre il previsto la fase di associazione terremoti/sorgenti. Le prime indicazioni a campione emerse (Fig. 16) suggeriscono una marcata preferibilità di distribuzioni mistura rispetto alla semplice esponenziale (modello poissoniano) anche se le variazioni indotte nella probabilità di accadimento condizionata nella breve previsione possono essere modeste.

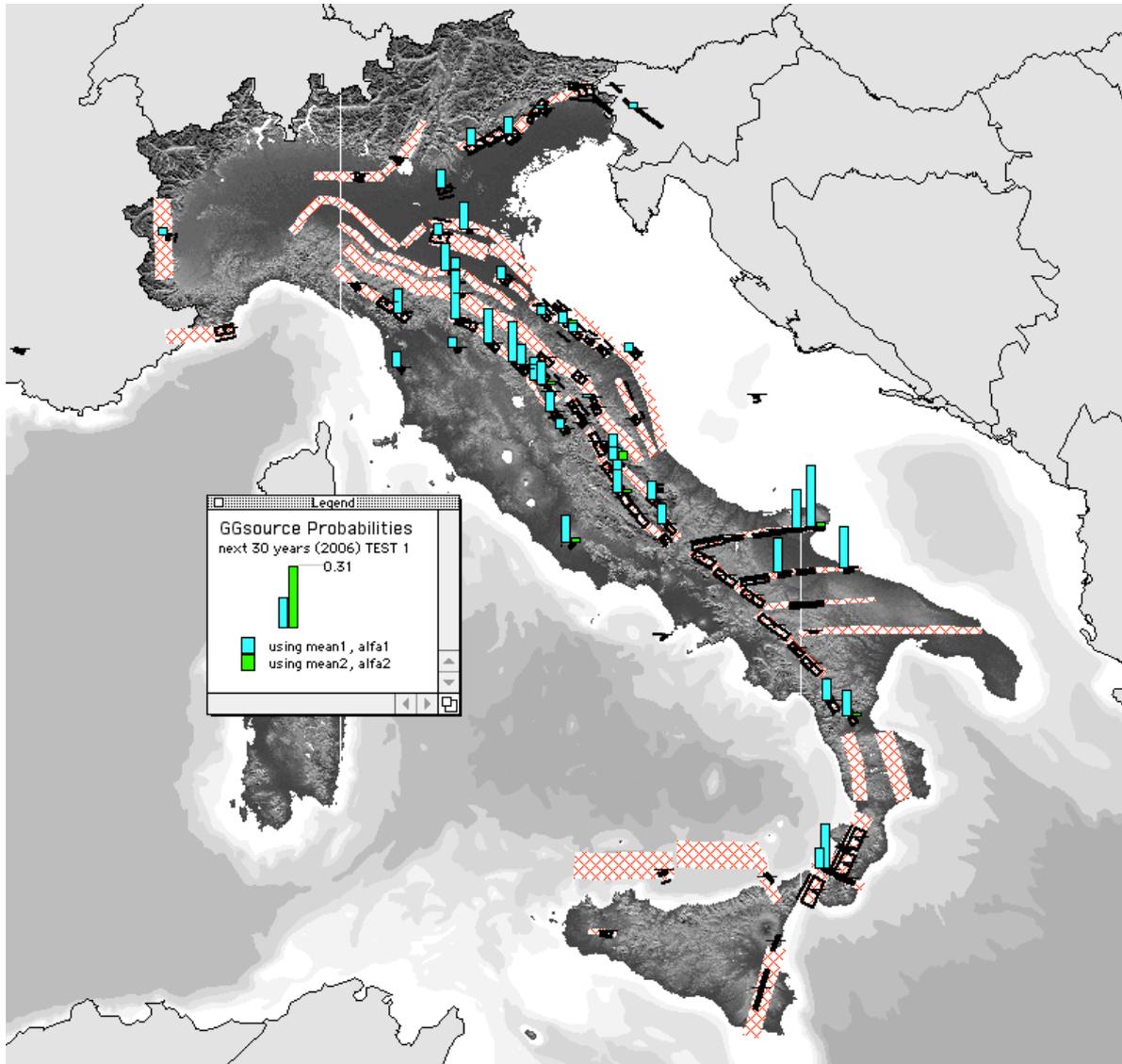


Figura 14 - Probabilità di occorrenza di un terremoto caratteristico nei prossimi 30 anni sulle strutture individuali (box nere) del DISS 3.0: il modello *renewal* utilizzato è la distribuzione Brownian Passage Time, con media e alfa variabile, calcolati in modo da poter ricondurre l'incertezza dei dati ad una componente aleatoria (variabilità della dimensione dell'evento caratteristico, barre azzurre) e una epistemica (variabilità dello *slip rate* associabile alle strutture, barre in verde) (Fig. 4 della scheda della UR 4.8 Peruzza). Il tempo trascorso dall'ultimo evento, se non noto, è stato imposto pari al tempo medio di ricorrenza. L'incertezza sullo *slip rate* rende molto marginale il contributo delle sorgenti individuali, per i lunghi periodi di ritorno derivati, e per la limitata periodicità espressa da valori di alfa elevati.

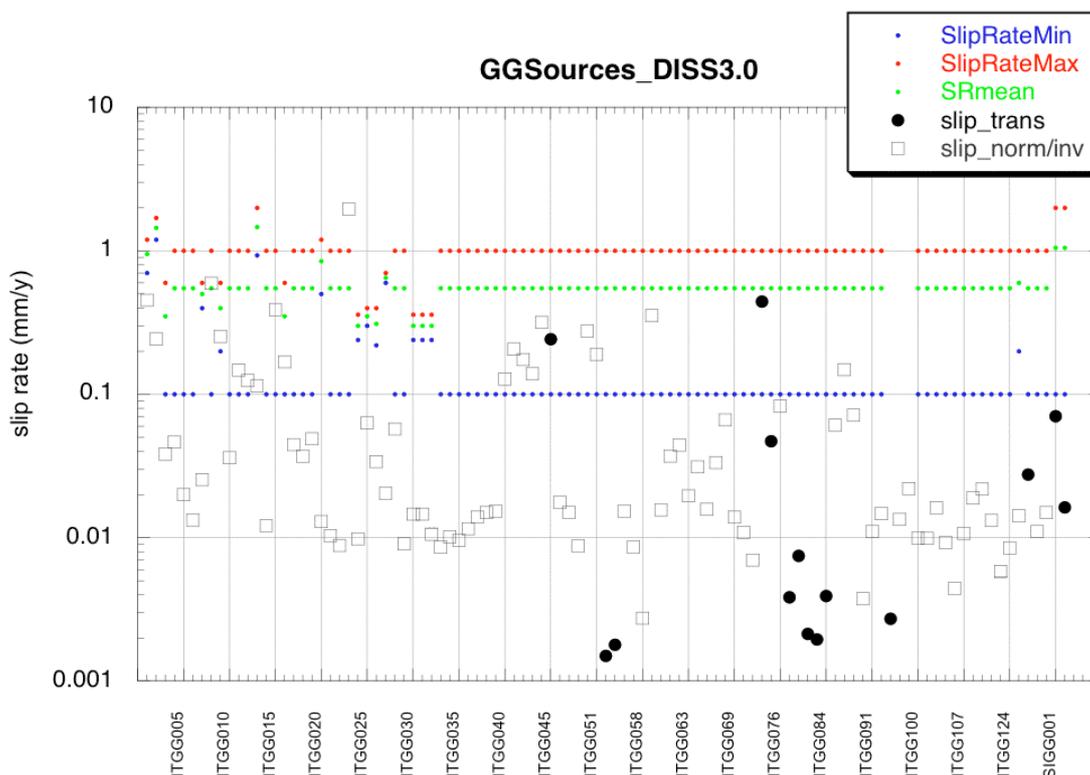
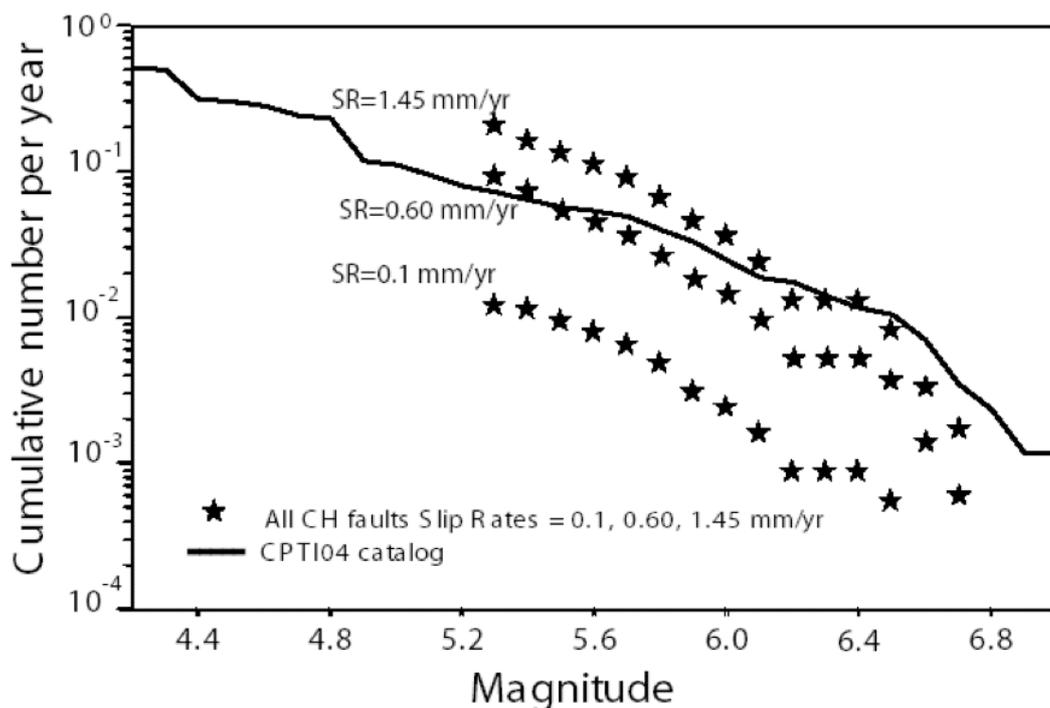
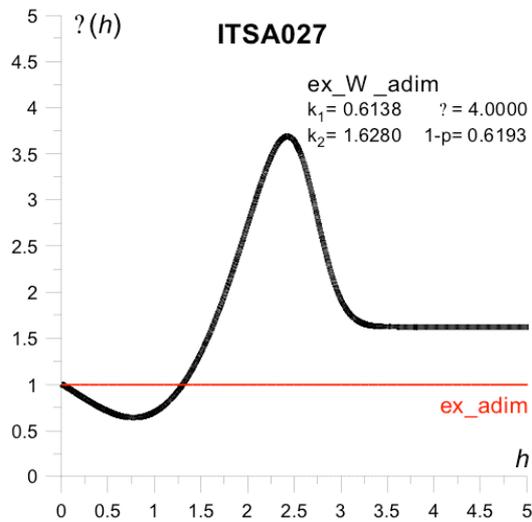


Figura 15 – Sperimentazione di tecniche per limitare la variabilità del parametro di *slip rate* associato alle strutture individuali del DISS 3.0: a) bilanciamento energetico in rapporto al contenuto del catalogo storico (Fig. 3 della scheda della UR 4.1 Akinci); i valori di *slip rate* minimo forniscono un numero annuo cumulativo di eventi molto inferiore a quanto storicamente osservato, anche se criteri di completezza possono portare ad una sovrastima della cumulata sperimentale. b) confronto fra i valori di *slip rate* attribuiti alle strutture individuali dai compilatori del DISS e quelli ricavati in modo semplificato dalla informazione sulla deformazione geodetica (Fig. 5 della scheda della UR 4.8 Peruzza). La modellazione preliminare dello *strain rate* proposta dalla UR 3.1 Barba è stata ricondotta alle strutture individuali e fornisce stime di *slip rate* molto basse, come peraltro evidenziate dal confronto con i valori sperimentali.



t_0	$P_{\Delta t t_0}$			
	$\Delta t=2\text{anni}$		$\Delta t=5\text{anni}$	
	<i>Ex_W</i>	<i>Poisson</i>	<i>Ex_W</i>	<i>Poisson</i>
8	0.0521	$\forall t_0$	0.1222	$\forall t_0$
16	0.0439	0.06	0.1048	0.15
24	0.0467		0.1172	
32	0.0481		0.1226	

Figura 16 - Rappresentazione dell'hazard rate adimensionale, su una distribuzione formata dalla mistura di una esponenziale con una Weibull (Fig.1 e Tab. 2 della scheda della UR 4.4 Garavaglia); la sorgente areale modellata è la SA27 dotata di 13 intertempi. Al variare del tempo trascorso dall'ultimo evento (t_0) la probabilità condizionata si discosta da quanto previsto dal modello stazionario, per tendere, sul lungo termine, a convergere su quest'ultimo.



3. Eventuali difficoltà maggiori, modifiche di indirizzo, ecc.

Nella sua formulazione originale il progetto S2 presenta un grado di complessità organizzativa notevole. Vi si prevede, infatti, la raccolta di nuove informazioni geologiche a scala nazionale, la loro archiviazione nell'ambito di una versione di DISS su *server* cartografico facilmente accessibile, il loro utilizzo in chiave statistica secondo procedure diversificate e, in parte, da perfezionare. Oltre a questo, il progetto prevede l'utilizzo di tutte le informazioni geodetiche disponibili, opportunamente catalogate ed elaborate, e la loro inclusione in un modello geodinamico complesso, anch'esso a scala dell'intera penisola. Lo svolgimento di queste operazioni, infine, è per definizione previsto temporalmente in parallelo, mentre sarebbe stata più facilmente gestibile una loro sequenza in cascata. Per la progettazione della ricerca abbiamo pertanto ritenuto opportuno - o quantomeno non controproducente - fare ricorso ad un numero elevato di UR, al fine di non lasciare strade intentate. Consapevoli di queste difficoltà oggettive di realizzazione, abbiamo formulato una scadenza operativa atta al raggiungimento di alcuni risultati preliminari già alla fine del primo anno, lasciando il secondo alla revisione e aggiornamento dei prodotti e al loro completamento.

Giunti alla fine del primo anno possiamo dire che alcuni importanti risultati sono stati raggiunti in tutti i quattro task in cui il progetto è suddiviso. Siamo inoltre in grado di fare un esame analitico delle difficoltà riscontrate, di quelle che probabilmente incontreremo in futuro e delle azioni correttive che possono essere messe in atto.

Nel **Task 1** c'è stato un ritardo nella diffusione della versione preliminare di DISS da utilizzare nei calcoli del **Task 4**. Tale ritardo è stato determinato da difficoltà incontrate nell'organizzazione del server cartografico su *web*, da una certa sottovalutazione della mole di lavoro da svolgere rispetto alle forze disponibili e dal venire meno di alcune risorse-chiave verso la metà del primo anno.

Il **Task 2** non ha presentato particolari difficoltà né ha richiesto rimodulazioni. Alcuni ritardi sono stati causati dalla difficoltà di organizzare le campagne di misura sul terreno (o in mare) a fronte di varie lentezze amministrative e in relazione alle condizioni meteorologiche. Questo ritardo verrà in gran parte recuperato tra giugno e settembre di quest'anno.

Il **Task 3** prevedeva la raccolta e l'omogeneizzazione di tutti i dati geodetici esistenti per il territorio nazionale. In particolare, è stato necessario risolvere alcuni problemi di messa a punto dei parametri di elaborazione nel calcolo del tasso di deformazione calibrato sulle stime di velocità ricavate dalle elaborazioni sui dati delle stazioni GPS permanenti e quelle ricavate da un set che include anche dati di campagne di misura (stazioni temporanee).

Dato il suo carattere sperimentale e in considerazione del fatto che le attività che vi vengono svolte dipendono dai risultati conseguiti dai task precedenti, il **Task 4** è stato avviato come un insieme di UR che in linea di principio erano in grado di dare un contributo agli obiettivi del task stesso, e quindi del progetto. Successivamente, per garantire una migliore coerenza ed efficienza nella realizzazione delle stime di occorrenza dei forti terremoti, si è deciso di procedere ad una rimodulazione dei vari filoni in cui il task si articola. Più precisamente, il nuovo schema proposto alle UR e concordato in una serie di riunioni tematiche mantiene tre filoni di ricerca, individuati rispettivamente come:

- filone 1: probabilità di occorrenza di un evento imminente;
- filone 2: probabilità di occorrenza di un terremoto maggiore, con l'ausilio di modelli fisici;
- filone 3: probabilità di occorrenza di un terremoto maggiore, con l'ausilio di modelli statistici (ulteriormente suddiviso in un sottofilone operante su singole strutture sismogenetiche, ovvero faglie individuali di DISS, ed uno su strutture estese, ovvero sulle “Seismogenic Areas”, sempre di DISS).

I tre filoni raccolgono al proprio interno tecniche di calcolo ed approcci anche diversi tra



loro, ma sono invece abbastanza omogenei per quanto riguarda il risultato ottenibile, ed è opportuno convergano per quanto riguarda i dati di base da utilizzare. Le UR possono quindi operare utilizzando le stesse informazioni sia dal punto di vista delle sorgenti sismogenetiche, sia dal punto di vista del catalogo storico, per poter giungere ad un confronto significativo dei risultati conseguiti.

L'attività del **Task 4** è fortemente condizionata dalla disponibilità dei dati di base e dalla loro compatibilità (sia quantitativa che qualitativa) con le metodologie statistiche utilizzabili. Il ritardato rilascio della versione preliminare di DISS ha determinato un parallelo ritardo nelle analisi di fattibilità delle elaborazioni previste. A questo si è in parte sopperito con una serie di test sviluppati sulla recente zonazione sismogenetica utilizzata per il calcolo della pericolosità sismica nazionale.



4. Stato di avanzamento dei deliverables, per singolo deliverable

Nella formulazione originale del progetto S2 erano stati individuati *deliverables* di due categorie: i *prodotti applicativi* e i *prodotti di ricerca*. Benché siamo solo alla fine della prima fase, esiste almeno un elaborato preliminare relativo a tutti i prodotti attesi. Si precisa che si tratta sempre di prodotti validi a scala nazionale, o quantomeno regionale. Prodotti a scale diverse non vengono discussi qui ma sono elencati come risultati dei singoli task. I numeri delle figure si riferiscono a immagini contenute nelle singole schede di UR citate.

Prodotti applicativi

1) *Database delle sorgenti sismogenetiche del territorio italiano (DISS 3.x), in versione web e standalone, contenente tutte le informazioni disponibili per le sorgenti sismogenetiche individuali e areali candidate a generare terremoti forti e considerate nell'ambito del progetto.*

L'aggiornamento di DISS è stato curato esclusivamente dalla UR 1.1 Basili ed ha comportato (1) attività di sviluppo tecnologico e (2) attività di sviluppo scientifico. Per quanto riguarda le prime, possiamo ricordare:

- progetto e realizzazione di un server interamente dedicato allo sviluppo e distribuzione della *banca dati* (Figg. 1, 2 e 3);
- realizzazione di software per la conversione delle tabelle fondamentali della *banca dati* tra diversi formati proprietari di varie piattaforme GIS per consentire al personale delle UR del progetto di manipolare i dati utilizzando i software GIS già in loro possesso;
- potenziamento del software per la pubblicazione in Internet della banca dati.

Relativamente alle attività di sviluppo scientifico, va segnalato il consolidamento della consistenza della banca dati relativamente alle sorgenti basate su dati geologici e geofisici (GG e SA). Alla data di inizio del progetto era disponibile la versione 3.0.0 della banca dati, che incorporava lo stato dell'arte sulle sorgenti sismogenetiche introducendo in via sperimentale diverse e significative novità rispetto alla versione DISS 2.0 pubblicata nel 2001. Il 30 novembre 2005 è stata distribuita la versione 3.0.1, che rappresenta la prima versione utilizzabile per le varie elaborazioni e applicazioni previste dai progetti sismologici della convenzione INGV-DPC. Entro la fine di giugno 2006 sarà disponibile la versione 3.0.2. In particolare, per quanto riguarda il contenuto informativo:

- il numero di sorgenti individuali (GG) è passato da 96 per la versione 3.0.0 (inizio progetto) a 115 per la versione 3.0.2 (Figg. 4a, 4b, 4c, 4d);
- le sorgenti areali (SA) sono passate da 53 a 89, e parallelamente è stata completata la copertura di tutte le zone sismogenetiche nazionali (Figg. 4e, 4f, 4g, 4h).

Nella versione per *web* la banca-dati può essere liberamente consultata all'indirizzo <http://www.ingv.it/DISS/>, dove è possibile anche scaricare del software per visualizzare le sorgenti sismogenetiche in ambiente GoogleEarth (©2006 Google™: http://www.ingv.it/DISS/DISS_3.0.1_kml.zip). Il contenuto informativo fondamentale della banca-dati può essere scaricato (<http://www.ingv.it/DISS/Downloads.html>) in diversi formati di scambio (MapInfo Interchange, ESRI ArcInfo Export, ESRI Shape, AutoCAD DXF). Su richiesta il DISS Working Group fornisce la versione *standalone* della banca-dati, utilizzabile in ambiente MapInfo, mentre la versione 2.0 del 2001 è liberamente scaricabile (<http://www.ingv.it/DISS/DISS2.zip>). Ulteriori dettagli su DISS sono contenuti nella scheda della UR 1.1 (Basili).

2) *Mappa con l'individuazione spaziale delle sorgenti sismogenetiche individuate prima del progetto e nell'ambito del progetto stesso, corredate dalla magnitudo attesa e da istogrammi mostranti la probabilità di attivazione di ciascuna delle sorgenti. E' prevista una prima versione sperimentale di queste elaborazioni, ottenuta con diverse tecniche, per la fine del primo anno. I risultati finali saranno ovviamente disponibili alla fine del progetto.*



La UR 4.1 Akinci ha calcolato delle probabilità di occorrenza di forti terremoti per i prossimi 30 anni e per un ampio settore dell'Italia centrale, rispettivamente sotto l'ipotesi di comportamento poissoniano (Fig. 5a) e mediante il modello BPT (Fig. 5b).

La UR 4.8 Peruzza ha calcolato la probabilità di occorrenza di un terremoto caratteristico per tutte le sorgenti sismogenetiche della banca-dati DISS (Fig. 4).

La UR 4.7 Murru ha calcolato la variazione dello stress di Coulomb indotto dall'interazione tra alcune importanti sorgenti sismogenetiche dell'Italia centrale e meridionale (Fig.1 e Tab. 1).

3) *Mappe di altezza dell'onda di tsunami attesa lungo le coste italiane. Una prima mappatura sarà disponibile alla fine del primo anno. Una mappatura definitiva, che tenga conto anche di tutte le nuove conoscenze accumulate nel corso del progetto, sarà resa disponibile alla fine del progetto.*

Grazie a un'attività congiunta delle UR 1.1 Basili, 2.19a Tinti e 2.19b Piatanesi, è stato possibile elaborare scenari di tsunami generati da una selezione delle più importanti sorgenti sismogenetiche del Mediterraneo. I dati di ingresso sono illustrati nelle Figg. 5a, 5b, 5c e 6 della scheda della UR 1.1 Basili. I risultati in termini di tempo di propagazione e di altezza dell'onda attesa sono sintetizzati nelle figg. 1 e 2 della scheda della UR 1.19a Tinti e nelle Figg. 2, 3, 4, 5 della scheda della UR 1.19b Piatanesi. Questi dati possono essere richiesti in forma tabellare.

Principali prodotti di ricerca

- *Monografie delle sorgenti sismogenetiche individuali e areali studiate nel progetto.*
Numerose informazioni in forma testuale, immagini e bibliografia su numerose delle sorgenti sismogenetiche possono essere ricavate dalla consultazione di DISS 3.0x in versione web (per dettagli si veda la scheda della UR 1.1 Basili).
- *Codice Boxer in versione 4.x (per analisi automatica di dati di intensità macrosismica).*
La UR 1.2 Gasperini ha elaborato una versione 4 del codice Boxer (versioni precedenti disponibili al sito <http://ibogfs.df.unibo.it/user2/paolo/www/boxer/boxer.html>, dove nel corso del secondo anno del progetto verrà resa disponibile a tutti anche la versione 4). Le potenzialità del nuovo programma sono descritte nella relativa scheda di UR.
- *Database EMMA in versione aggiornata (meccanismi focali dell'area euro-mediterranea).*
La UR 1.2 Gasperini ha presentato una versione 3.0 del database EMMA, ottenuta come evoluzione della versione 2.2 (parzialmente disponibile per consultazione al sito <http://www.ingv.it/seismoglo/atlas>). La banca-dati include 1629 nuovi meccanismi focali, con un incremento del 26% rispetto alla versione precedente, ottenuti dallo spoglio di 36 pubblicazioni. Ulteriori dettagli sono forniti nella relativa scheda di UR.
- *Mappe di velocità e strain-rate derivate da dati GPS.*
La UR 3.2a Caporali ha generato una mappa di velocità delle stazioni GPS permanenti italiane del Mediterraneo centrale (Fig. 3) e i relativi strain-rates (Fig. 2). La UR 3.1 Barba ha generato una mappa di velocità che include sia stazioni permanenti che stazioni temporanee (Fig. 2). Tutte le mappe sono disponibili in forma tabellare su richiesta.
- *Mappe di velocità e strain-rate derivate da modelli numerici tridimensionali.*
Utilizzando una metodologia agli elementi finiti la UR 3.1 Barba ha generato mappe di velocità (Fig. 3) e strain-rate (Fig. 4a) su griglie regolari con un passo di 10 km per alcune migliaia di modelli numerici (si vedano i dettagli nella scheda relativa). Ha inoltre generato una mappa di strain-rate calcolato nella aree sismogenetiche della zonazione ZS9 (Fig. 4b).

Ulteriori prodotti di ricerca

In aggiunta ai prodotti elencati, la UR 3.1 Barba ha prodotto una mappa di stress orizzontale e stile tettonico (Fig. 5), sempre a scala nazionale e sempre a partire dal medesimo modello geodinamico numerico. Inoltre, la stessa UR ha utilizzato dati geotermici e reologici per calcolare la profondità dello strato sismogenetico (Figg. 6a e 6b).



5. Fattibilità delle attività previste per il secondo anno: previsioni, esigenze

Alcune delle attività previste per il secondo anno sono una pura prosecuzione di quanto già avviato con il primo anno e non dovrebbero quindi da luogo a problemi imprevisi o limitazioni dei prodotti attesi. Ad esempio, nel secondo anno il **Task 1** consoliderà il database DISS con i risultati già conseguiti nel primo anno dal **Task 2**. Inoltre, essendo ormai esaurita l'implementazione del *web-server*, l'attenzione potrà essere concentrata maggiormente sul consolidamento dei dati già presenti nel *database* e sull'assegnazione di stime di attendibilità dei diversi parametri.

La conclusione di diverse delle attività avviate nel **Task 2** dovrebbe portare - e in parte sta già portando - a nuove sintesi e quindi a significative revisioni del quadro sismotettonico in diverse zone della penisola, tra cui segnaliamo:

- il settore di cresta dell'Appennino compreso tra la Lunigiana a nord (4 in Fig. 2) e il bacino di Sansepolcro a sud (5 in Fig. 2). In questo settore nuovi dati geofisici stanno fornendo vincoli ulteriori sulla continuità e la geometria di dettaglio di un sistema di faglie sismogenetiche pendenti verso NE la cui esistenza era stata solo ipotizzata in DISS v. 2.0 (2001);
- l'area dell'avampaese apulo nella sua porzione settentrionale, nel quale vengono riconosciute le sorgenti di terremoti che vanno dal 1706 (Maiella: 8 in Fig. 2), al 1456 (Appennino meridionale), al 1731 (Capitanata: 15 in Fig. 2);
- la porzione meridionale del Salento (16 in Fig. 2), in seguito alla presumibile rilocalizzazione dell'epicentro del grande terremoto del 1743 in mare di fronte alle coste albanesi;
- l'Appennino meridionale, dove sono in corso di revisione alcuni importanti e poco compresi terremoti storici fra cui quello del 1930 (10 in Fig. 2), che sembra appartenere a un dominio di transizione tra il dominio appenninico s.s. (cinematica estensionale pura) e il dominio apulo (cinematica trascorrente su faglie profonde);
- l'*offshore* della Sicilia settentrionale (21 in Fig. 2), a seguito della revisione di dati di sismica di esplorazione che dovrebbe consentire di vincolare con buona accuratezza le sorgenti sismogenetiche attive;
- l'*offshore* della Sicilia nordorientale (versante ionico: estremità meridionale di 17 in Fig. 2), dove le indagini in corso dovrebbero consentire di confermare o smentire in modo definitivo l'esistenza della cosiddetta Faglia di Taormina come proseguimento verso sud della Faglia dello Stretto di Messina;
- l'area dell'avampaese ibleo (18 in Fig. 2), dove si moltiplicano le evidenze di tettonica attiva e dove sono state recentemente ricollocate le sorgenti sismogenetiche dei terremoti del 1693, e plausibilmente anche dei grandi terremoti precedenti avvenuti nella stessa zona (1169, 1542).

In sintesi, anche se il numero complessivo delle sorgenti sismogenetiche censite in DISS non aumenterà in modo drastico, le revisioni riguarderanno le sorgenti dei due più forti terremoti della storia sismica italiana (1456 e 1693) e di alcuni altri forti eventi, la cui comprensione avrà notevoli implicazioni sia di carattere geodinamico, sia sulla comprensione dell'andamento del campo di *strain* geodetico, sia sulla sismotettonica di eventi minori.

Il proseguimento delle attività relative agli tsunami dovrebbe portare a completare il quadro degli scenari derivanti da grandi terremoti mediterranei per le coste italiane. Un eventuale rafforzamento delle UR che elaborano modelli di tsunami (2.19a Tinti e 2.19b Piatanesi) consentirebbe inoltre di elaborare scenari di maggior dettaglio per le aree identificate nel primo anno come maggiormente prone al rischio tsunami, e segnatamente la Sicilia orientale, la Calabria orientale e meridionale e il lato orientale della penisola salentina.

Alla luce di quanto riportato nella precedenti sezioni, i task più critici per quanto riguarda il completamento delle attività secondo quanto delineato nella formulazione iniziale del progetto sono il **Task 3** e il **Task 4**. Per quanto riguarda il **Task 3**, le difficoltà maggiori



riguarderanno la messa a punto del modello geodinamico elaborato dalla UR 3.1 Barba. E' previsto che nel secondo anno i responsabili della UR si confrontino con alcuni gruppi di ricerca internazionali per cogliere eventuali manchevolezze del modello e migliorarlo, compatibilmente con i dati disponibili. Viceversa, la seconda anima del **Task 3**, quella dedicata alla omogeneizzazione dei dati di velocità GPS, dovrebbe poter continuare la propria attività fornendo modelli via via più aggiornati a seguito dell'inclusione di nuove misure delle stazioni "storiche", dei dati di stazioni permanenti di recente istituzione e di dati da reti temporanee.

Sulle difficoltà del **Task 4** si è già detto nella precedente sezione 3 "Eventuali difficoltà maggiori". E' qui il caso di ricordare che uno dei nodi da sciogliere nel secondo anno riguarda l'assegnazione delle probabilità di accadimento ai diversi tipi di sorgente sismogenetica. Infatti, mentre lo schema di calcolo è abbastanza consolidato per quanto riguarda le *sorgenti individuali*, attivate nell'assunzione di un comportamento caratteristico, resta da capire come usare i diversi dati disponibili per le sorgenti areali (geometria, cinematica, *strain rate*, sismicità strumentale e storica, eventuale rapporto sismico/asismico ottenuto su aree che aggregano più sorgenti areali), per le quali per definizione non viene assunto un modello di ricorrenza. Si prevede di sperimentare vari schemi e di avviare collaborazioni con gruppi di ricerca internazionali attivi sulla stessa tematica.



6. Riferimenti bibliografici

- Basili R., Burrato P., Mariano S., Mirabella F., Ravaglia A., Valensise G., Vannoli P. (2005). Identificazione e caratterizzazione delle sorgenti sismogenetiche lungo la fascia costiera marchigiana nei tratti "Fano-Senigallia" e "Civitanova Marche-Pedaso" - Rapporto Tecnico Convenzione INGV-Regione Marche, 56 pp. e 39 fig.
- Galadini, F., Poli M. E., Zanferrari A. (2005). Seismogenic sources potentially responsible for earthquakes with $M \geq 6$ in the eastern Southern Alps (Thiene-Udine sector, NE Italy), *Geophysical Journal International*, **161**, 739.
- Meletti C., Camassi R., Stucchi M., Valensise G. (2004). Definizione dello stato delle conoscenze in materia di pericolosità sismica del territorio regionale, con approfondimento su elementi e aree particolari, Rapporto Tecnico finale Convenzione con la Regione Toscana, 74 pp. e 51 fig.
- Tinti S., Armigliato A., Pagnoni G., Zaniboni F. (2005). Scenarios of giant tsunamis of tectonic origin in the Mediterranean Sea. *ISER Journal of Earthquake Technology*, 42(4), 171-188.
- Valensise G., Pantosti D. (2001). Database of Potential Sources for Earthquakes larger than M 5.5 in Italy. *Annali di Geofisica*, 44, Suppl. 1, 18 pp., con CD-ROM.
- Vannucci G., Pondrelli S., Argnani A., Morelli A., Gasperini P., Boschi E. (2004). An Atlas of Mediterranean seismicity, *Annals of Geophysics, Supplement to Volume 47, N. 1*.

**Tabelle finanziarie riepilogative**

Task/UR	Responsabile	I anno	II anno	Totale	Mesi/pers. (cofin.)	Mesi/pers. (richiesti)
1.1	Basili	46,0	36,0	82,0	36	---
1.2	Gasparini	6,0	6,0	12,0	4	0
1.3	Albini	10,2	8,2	18,4	12	---
2.1a	Brancolini	33,5	33,5	67,0	20	12
2.1b	Argnani	14,5	14,5	29,0	20	12
2.2a	Barbano	38,0	40,0	78,0	24	48
2.2b	De Martini	15,0	13,0	28,0	22	---
2.3	Barchi	27,8	23,1	50,9	16	24
2.4	Burrato	25,3	18,3	43,6	94	---
2.5	Catalano	34,0	32,0	66,0	51	24
2.6	Dogliani	24,0	26,0	50,0	38	24
2.7	Favali	18,0	15,0	33,0	18	---
2.8	Galadini	11,8	15,2	27,0	40	---
2.9	Italiano	40,0	40,0	80,0	64	---
2.10	Lavecchia	30,0	30,0	60,0	36	24
2.11	Mastronuzzi	6,0	6,0	12,0	24	0
2.12	Mucciarelli	10,0	1,5	11,5	26	12
2.13	Neri	20,6	19,6	40,2	20	12
2.14	Pizzi	19,0	19,0	38,0	24	24
2.15	Scandone	20,0	20,0	40,0	30	0
2.16	Siniscalchi	38,0	38,0	76,0	46	12
2.17	Pettenati	8,0	12,0	20,0	24	0
2.18	Solarino	15,0	15,0	30,0	20	---
2.19a	Tinti	2,5	2,5	5,0	1	0
2.19b	Piatanesi	5,5	2,5	8,0	2	---
2.20	Zuppetta	16,0	14,0	30,0	42	12
3.1	Barba	9,0	8,5	17,5	16	---
3.2a	Caporali	18,5	18,5	37,0	52	24
3.2b	Braitenberg	13,5	13,5	27,0	54	12
3.3	Guerra	15,0	0	15,0	10	0
3.4	Sepe	15,0	21,0	36,0	41	---
4.1	Akinci	16,0	16,0	32,0	32	---
4.2	Di Giovambattista	15,0	15,0	30,0	22	---
4.3	Cinti	12,0	10,0	22,0	16	---
4.4	Garavaglia	17,0	18,5	35,5	24	0
4.5	Godano	34,0	18,0	52,0	22	36
4.6	Mantovani	24,0	24,0	48,0	34	24
4.7	Murru	12,8	12,8	25,6	22	---
4.8	Peruzza	33,0	32,0	65,0	31	20
4.9	Rotondi	25,0	25,0	50,0	13	24
	<i>Totale</i>	794,5 <i>Euro</i>	733,7 <i>Euro</i>	1.528,2 <i>Euro</i>	1143 <i>m/p</i>	380 <i>m/p</i>

Totale (Euro) : 1.528.200**INGV: 513.000 (34%) Altri enti: 1.015.200 (66%)**