

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

**Attuazione dei progetti di ricerca
di particolare interesse per
il Dipartimento della Protezione Civile
previsti dalla convenzione ProCiv-INGV 2004-06**

marzo 2005

- Progetto S1 -** **Proseguimento della assistenza a DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi**
coord. G.M. Calvi e M. Stucchi
- Progetto S2 -** **Terremoti probabili in Italia nel trentennio 2005-2035**
coord. D. Slejko e G. Valensise
- Progetto S3 –** **Scenari di scuotimento in aree di interesse prioritario e/o strategico**
coord. F. Pacor e M. Mucciarelli
- Progetto S4 –** **Stima dello scuotimento in tempo reale e quasi-reale per terremoti significativi in territorio nazionale**
coord. L. Malagnini e D. Spallarossa
- Progetto S5 –** **Definizione dell'input sismico sulla base degli spostamenti attesi**
coord. E. Faccioli e A. Rovelli

Progetto S2 - Terremoti probabili in Italia nel trentennio 2005-2035

Coordinatori: Dario Slejko (OGS, Trieste) e Gianluca Valensise (INGV, Roma)

1. Obiettivo

La difesa dai terremoti in Italia è finora consistita pressoché esclusivamente nella prevenzione dei danni causati dai futuri terremoti stimati sulla base di mappe probabilistiche dello scuotimento atteso. Tali mappe usualmente rappresentano la pericolosità sismica e cioè lo scuotimento medio che si stima non venga superato con 90% di probabilità in 50 anni. In tali mappe la definizione delle sorgenti sismiche è, generalmente, grossolana e, conseguentemente, le stime di pericolosità vanno intese come valori di riferimento in base ai quali definire azioni di difesa a scala comunale (zonazione sismica).

Normalmente si ritiene che l'unica alternativa allo scarso potere risolvante delle carte di pericolosità convenzionali sia la previsione sismica, ovvero una indicazione dell'istante e luogo di accadimento e della magnitudo di un futuro forte terremoto. Questo tema di ricerca, molto in voga negli anni '70 e '80, ha perso smalto negli ultimi 20 anni a fronte di diversi insuccessi, di difficoltà di fondo nella comprensione dei meccanismi della sismogenesi, e della mancanza dei dati di base essenziali per una previsione sismica. Si dimentica spesso, infatti, che la previsione di un terremoto presuppone la conoscenza della distribuzione spaziale delle potenziali sorgenti sismogenetiche, così da poter avviare ricerche mutiparametriche mirate in aree geografiche circoscritte. Molti terremoti dell'ultimo ventennio, invece, tanto in Italia quanto 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 progressivamente fatto perdere confidenza nella previsione deterministica dei forti terremoti, spostando l'attenzione di molti sul problema più generale di identificare in modo esauriente le principali strutture sismogenetiche, di comprendere meglio le condizioni che presiedono alla sismogenesi e di indagare le caratteristiche del processo di accumulo di sforzo tettonico.

Con queste premesse, l'obiettivo del presente progetto consiste nell'individuazione delle sorgenti atte a produrre terremoti potenzialmente distruttivi, convenzionalmente identificati con tutti gli eventi di M superiore a 5.5, e nel calcolo della probabilità che tali terremoti si verifichino nel futuro. A differenza di quanto avviene nelle analisi di pericolosità sismica convenzionali, dunque, questo progetto mira innanzi tutto alla individuazione spaziale delle sorgenti sismiche. 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, selezionando unità di ricerca e metodologie in funzione della loro dimostrata capacità di affrontare lo studio delle sorgenti sismogenetiche più problematiche.

L'obiettivo immediatamente successivo sarà 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. In questa fase, ad esempio, sarà possibile ipotizzare le caratteristiche e i ratei di deformazione tettonica anche per zone a bassa sismicità o comunque poco comprese, a partire dalle informazioni disponibili in aree meglio vincolate.

Ogni sorgente verrà poi caratterizzata in termini di terremoto massimo atteso e di sismicità minore associata, e per ogni sorgente verrà espressa la probabilità che tale terremoto massimo si verifichi nel prossimo trentennio. Per le zone meno comprese verranno elaborate ulteriori stime riferite a sorgenti più o meno estese. Anche per esse verrà calcolata una probabilità di attivazione, con metodologie simili a quelle utilizzate per le sorgenti individuali ma adattate al minor livello delle conoscenze disponibili. Tali stime, da considerare complementari ma in nessun modo sostitutive a quelle per sorgenti individuali, rappresenteranno il primo livello di indagine e un punto di riferimento per le stime più avanzate.

2. Stato dell'arte

I *terremoti probabili in Italia* sono stati il tema di uno dei progetti GNDT in fase di conclusione (2001-2004). Il progetto, coordinato da Alessandro Amato, ha visto la partecipazione di ricercatori con competenze che spaziavano in un ampio spettro delle discipline geofisiche. I risultati di quell'iniziativa rappresentano il punto di partenza per il presente progetto. Si osservi però che il progetto qui presentato propone una lettura del tema *terremoti probabili* decisamente più mirata di quanto non facesse il progetto GNDT, pur ispirandosi ad esso nel titolo. In particolare, le iniziative qui proposte si sovrappongono essenzialmente con quelle svolte nel Task 1 del progetto GNDT (indicato anche come GdL "Il modello della sismogenesi in Italia"), mentre le attività che erano state svolte negli altri Task trovano spazio del tutto o in parte nei progetti S3, S4 e S5.

La definizione *terremoti probabili* è stata introdotta all'inizio degli anni '90 dal WGCEP (Working Group on California Earthquake Probabilities) e successivamente ripresa in vari altri contesti e in vari paesi, tra cui appunto il già citato progetto GNDT. È opportuno sottolineare che per *terremoti probabili* si intende una stima della probabilità di accadimento di terremoti ben associati a specifiche sorgenti sismogenetiche, dei quali è quindi possibile ipotizzare non solo la localizzazione, ma anche la magnitudo attesa e le principali caratteristiche di sorgente (geometria e dimensioni del piano di faglia, *dip*, *rake*). Valutazioni probabilistiche dello scuotimento atteso, basate su dati di ingresso diversi, formano invece l'oggetto del progetto S1. Mentre queste ultime possono essere poi utilizzate per scopi normativi e costituiscono quindi una forma di protezione globale del patrimonio edilizio nazionale, le stime sui *terremoti probabili* si sforzano di rispondere a domande molto più precise che emergono oggi dalla comunità sociale, dagli enti locali, da coloro che sono incaricati di pianificazione a medio termine, dal mondo assicurativo. Le informazioni raccolte e le ricerche svolte in questo progetto formano poi la base fondamentale per molte delle elaborazioni caratteristiche dei progetti S3 e S4.

Con questa premessa, si deve ricordare che l'esperienza più rilevante su questo specifico tema rimane quella sviluppata in California (Working Group on California Earthquake Probabilities, 1988, 1995 e seguenti), dove da anni la popolazione della Bay Area (California centrale) e della conurbazione che si estende tra Santa Barbara, Los Angeles e San Diego (California meridionale) è abituata a ragionare in termini di distanza della propria residenza da una delle faglie principali, nonché di probabilità che tale faglia generi un grande terremoto in un intervallo di tempo di immediata percepibilità (in genere le stime californiane assumono come finestra d'interesse quella dei prossimi 30 anni, pari alla durata standard di un mutuo per una residenza civile). È ben noto che le esperienze californiane sono state basate su uno spettro di conoscenze finora non disponibili in Italia, e quindi le poche esperienze-pilota già condotte nel nostro paese (ad esempio quelle di Peruzza et al., 1997, *Natural Hazards*, 14, 113-126, e di Pace et al., 2004, sottomesso a *Bull. Seism. Soc. Am.*) hanno dovuto limitarsi a trattare aree molto limitate, introdurre semplificazioni e, in tutti i casi, a fare a meno di uno degli ingredienti fondamentali delle analisi californiane, rappresentato dalla conoscenza degli *strain rates* istantanei ottenuti per via geodetica. D'altra parte, non si può non riscontrare che:

- 1) diversi recenti terremoti californiani, e più di tutti quello di Northridge del 1994, escono dallo schema finora utilizzato per la valutazioni sui terremoti probabili e pongono nuove sfide relativamente all'identificazione delle sorgenti sismogenetiche più insidiose;
- 2) le conoscenze sulla sismogenesi e sui ratei di deformazione della penisola italiana stanno crescendo a un ritmo superiore a quello di altri paesi ad elevata sismicità, rispetto ai quali l'Italia può, inoltre, vantare un catalogo storico largamente superiore.

Quindi, se da un lato è ovvio che l'approccio da utilizzare in Italia debba essere diverso da quello applicato in California, dall'altro non è opportuno sottovalutare alcune caratteristiche della sismicità italiana e dei dati oggi disponibili che potrebbero addirittura porci in una posizione di vantaggio rispetto ad altri paesi in cui la ricerca sismologica è più avanzata.

3. Descrizione del progetto

Lo scopo del presente progetto può essere efficacemente riassunto nella individuazione delle sorgenti sismiche che possono essere sede di possibile forte attività futura e nella quantificazione probabilistica di questa occorrenza. Si conta, in altre parole, di determinare dove e con quali caratteristiche avverranno i forti terremoti del prossimo futuro e di calcolare le probabilità di accadimento. Poiché esso tratta un tema molto ampio e diversificato, questo progetto sarà certamente avvantaggiato dal poter contare su numerose attività già in corso e su sinergie realizzabili con relativa facilità. Allo stesso tempo, tuttavia, questo progetto non intende diventare uno strumento per finanziare ricerca di base a carattere geodinamico o tettonico, né sviluppi metodologici ancora largamente *in itinere*. Al contrario, nella elaborazione del progetto sono stati sollecitati e accettati solo contributi strettamente applicativi che puntano direttamente ai risultati attesi, eventualmente sviluppando sinergie e promuovendo elaborazioni innovative di informazioni già disponibili. Per le stesse ragioni, ogni attività è stata attentamente considerata in termini dei rapporti costi/benefici e durata/benefici, ricordando anche che si tratta di un progetto a scala nazionale e che è questa la scala spaziale di interesse precipuo della Protezione Civile, che finanzia il progetto.

Con queste premesse, il presente progetto si articolerà nelle fasi di seguito descritte.

Task 1- Organizzazione di un sistema di riferimento unitario per la descrizione della sismogenesi.

Questo task ha come obiettivo fondamentale l'organizzazione e la formalizzazione di tutte le informazioni necessarie per le attività successive in un sistema di riferimento georeferenziato unitario e unico, accessibile via web. Il *task* si baserà su esperienze già sviluppate dall'INGV a partire dalla fine degli anni '90 e accolte con favore da gran parte della comunità scientifica, riassumibili nello schema che segue:

- DISS 1.0 (2000): versione a circolazione ristretta all'interno dell'INGV;
- DISS 2.0 (2001): versione *standalone* (MapInfo) pubblicata su Annali di Geofisica, con CD-ROM (Valensise e Pantosti, 2001, *Annali di Geofisica* 44(4) Suppl.);
- Database of Potential Sources for Earthquakes Larger than M 5.5 in Europe (2002): una versione su web di DISS 2.0 estesa a sorgenti di tutta l'area Euro-mediterranea grazie a un finanziamento della Comunità Europea;
- DISS 3.0 (2005): versione web, in corso di pubblicazione, e versione *standalone*, in preparazione.

Il sistema DISS (originariamente *Database of Italy's Seismogenic Sources*: oggi *Database of Individual Seismogenic Sources*, per sottolinearne il carattere sovranazionale) incorpora attivamente anche esperienze condotte in precedenza dal GNDT (sottoprogetto 5.1.2 "Inventario delle faglie attive e dei terremoti ad esse associabili") e in altri ambiti (es.: progetto Ithaca avviato dall'A.N.P.A., oggi A.P.A.T.), nessuna delle quali è peraltro giunta allo stesso livello di maturazione conseguito oggi da DISS.

Nell'ambito del progetto "Terremoti Probabili" DISS svolgerà alcune funzioni essenziali per tutti i *task* del progetto stesso. In particolare, partendo dalle conoscenze oggi disponibili sulle sorgenti sismogenetiche italiane e sulla sismicità maggiore e minore, DISS consentirà:

- a) la creazione di *link* informatici con altri tipi di dati georeferenziati pertinenti;
- b) una visione sinottica dei dati sulla sismogenesi e di quelli che descrivono le caratteristiche geodinamiche e tettoniche del territorio;
- c) il facile transito delle informazioni via via raccolte verso un sistema centrale, perché le novità possano essere visualizzate da tutte le UR del progetto in tempo reale;
- d) un facile interscambio di dati con chi svolge elaborazioni all'interno dello stesso progetto S2 e con gli operatori di S1, S3 e S4.

- e) una più facile visualizzazione dei risultati nelle maniere che saranno concordate dalle UR, e in particolare da quelle che operano nel Task 4.

Il grosso dell'attività di questo task verrà svolto da una UR della sezione di Roma 1 dell'INGV (**UR Basili**), che si avvarrà del supporto esterno di una società di informatica che ha già curato tutte le precedenti versioni di DISS oltre alla sua estensione su web a scala europea (**IT&T, Bergamo**). Questa UR promuoverà inoltre scambi attivi tra tutte le UR mediante un ricorso estensivo al mezzo informatico. La **UR Meletti** (sezione di Milano dell'INGV) fornirà il necessario supporto per inserire in DISS 3.0 le sorgenti ottenute mediante dati di intensità per tutti i terremoti storici con magnitudo 5.5. e superiore, curando l'importazione dei dati di base dal catalogo CPTI04 ed eventuali *release* successive.

Nell'ambito del Task 1 verrà inoltre completata la sperimentazione su una nuova versione del codice Boxer, che consente l'analisi automatica dei dati di intensità macrosismica, e verrà aggiornata la banca dati EMMA relativa ai meccanismi focali dei terremoti italiani (**UR Gasperini**). Entrambe queste attività forniscono dati di ingresso essenziali per l'aggiornamento dei livelli informativi di DISS.

Task 2 - Definizione spaziale delle principali strutture sismogenetiche della penisola italiana.

A partire dalla banca delle sorgenti sismogenetiche DISS, dall'esperienza condotta per la realizzazione della zonazione sismogenetica ZS9 utilizzata nella realizzazione della nuova carta di pericolosità sismica del territorio nazionale e dalle nuove conoscenze che il sistema scientifico produce all'interno ma soprattutto all'esterno del progetto, questo *task* punta a incidere fortemente sul grado di conoscenza delle sismogenesi in Italia. L'aumento delle conoscenze avverrà secondo una ben chiara lista di priorità e sfruttando al massimo le possibili sinergie con le attività svolte nell'ambito di altri progetti e con altri finanziamenti, tanto nell'INGV che al di fuori di esso.

Il *task* è stato configurato in maniera da fornire nuove informazioni e vincoli secondo quattro canali diversi, che verranno descritti individualmente con riferimento alle UR che concorreranno al loro sviluppo.

a) *Arricchire le conoscenze di base su sorgenti sismogenetiche individuali la cui esistenza sia stata già almeno ipotizzata.* Questa fase del lavoro prevede un ampio ricorso sia a dati geologici che a dati tettonici e sismologico-storici. Le aree di approfondimento sono numerose. Per quanto riguarda i settori tuttora sottoposti a regime compressivo tali aree spaziano dal margine meridionale delle Alpi (**UR Galadini**), alle Alpi orientali (**UR Galadini**), alla fascia dei "terremoti profondi" del settore medio-marchigiano e sua estensione verso l'Emilia-Romagna (**UR Burrato**).

Nel corrispondente settore interno alla catena appenninica, oggi sottoposto a un regime distensivo, verranno svolti approfondimenti sull'importante lineamento noto come Etrurian Fault System (EFS). In particolare, la **UR Scandone** approfondirà il settore settentrionale dello EFS, che include la Garfagnana e la Lunigiana, mentre la **UR Barchi** si concentrerà sul settore centrale e meridionale, compreso tra il Mugello e la Valle Umbra.

Spostandosi verso sud, la **UR Galadini** analizzerà la cinematica di sistemi di faglie ombre e abruzzesi mediante l'analisi di dati di livellazione geodetica. La stessa UR approfondirà le conoscenze sulle strutture responsabili dei grandi terremoti del Sannio e dell'Irpinia del 1688, 1702 e 1732, mentre la **UR Lavecchia** esplorerà il potenziale sismogenetico del settore più meridionale dell'Appennino campano-lucano fino al Massiccio del Pollino.

Un gruppo di ricercatori riunito in una UR mista (**UR Argnani-Brancolini**) affronterà uno dei nodi geodinamici più importanti di tutta l'Italia meridionale, proponendo di fornire nuovi dati sulla struttura e la dinamica del settore posto a sud dello Stretto di Messina e di fronte ai Monti Peloritani. Questa attività dovrebbe gettare nuova luce su un importante settore di incrocio di lineamenti di importanza regionale, e allo stesso tempo dovrebbe fornire dati conclusivi per confermare o

confutare l'esistenza della cosiddetta Faglia di Taormina, intorno alla quale negli ultimi 10 anni si è sviluppato un vivace dibattito.

b) Sviluppare nuove ipotesi riguardanti la sismogenesi delle zone meno comprese. Si tratta dell'obiettivo più importante nel quadro della logica del "raffittimento" e omogeneizzazione dell'informazione oggi disponibile sulle strutture sismogenetiche italiane che caratterizza tutto il *task*. Per raggiungere questo obiettivo verranno utilizzate in modo opportuno tutte le informazioni e le tecniche di indagine correntemente disponibili (dati geologici e paleosismologici, dati geodetici, dati di deformazione, vincoli cinematici e geodinamici).

Un primo settore di approfondimento riguarda nuovamente la fascia dei "terremoti profondi" del settore medio-marchigiano e la sua estensione verso l'Emilia-Romagna, fascia nella quale si alternano settori certamente dotati di potenziale sismogenetico a settori il cui comportamento sismogenetico è ancora da comprendere (**UR Burrato**).

Nell'ambito dell'Appennino centrale, ritenuto una delle zone meglio comprese dal punto di vista della sismogenesi, il Massiccio della Majella si configura come un settore in cui ad un livello di sismicità certamente elevato (terremoti del 1456, 1706, 1933) fa riscontro una assoluta lacunosità delle conoscenze e delle ipotesi. In questo settore opereranno la **UR Pizzi** e la **UR Galadini**, con l'obiettivo massimo di trovare evidenze dirette delle strutture sismogenetiche e l'obiettivo minimo di far emergere conoscenze che possano indirizzare le ipotesi in una direzione piuttosto che in un'altra.

Un settore particolarmente importante nel contesto delle sorgenti sismogenetiche poco comprese è certamente quello corrispondente al cosiddetto Avampaese Apulo. Questo settore, ritenuto pressoché asismico fino a non molti anni fa, è stato invece riconosciuto come potenziale sede di terremoti distruttivi, di cui non mancano esempi nella storia sismica. In questo contesto opererà la **UR Scandone**, che utilizzerà dati di sottosuolo (perforazioni e dati di sismica a riflessione) per elaborare nuove ipotesi riguardanti la sismogenesi della Capitanata e del Salento.

In Sicilia verrà affrontata l'indagine di altri due settori in cui esiste un forte contrasto tra il livello della sismicità, molto elevato, e il livello delle conoscenze, limitato e frammentario. In particolare la **UR Doglioni** utilizzerà dati di sismica a riflessione, dati geologici convenzionali e modelli geodinamici per meglio vincolare il settore del Tirreno meridionale, responsabile per la generazione dei forti terremoti che colpiscono la Sicilia settentrionale (1823, 1940, 2002) e per caratterizzare le strutture sismogenetiche locali. La **UR Catalano** e la **UR Burrato** si concentreranno invece nell'area iblea, un settore in veloce deformazione con un notevole potenziale sismogenetico. Le ricerche spazieranno dalla geologia classica all'analisi strutturale all'integrazione dei dati di terreno con osservazioni geodetiche raccolte dalla sezione INGV di Catania.

In alcune aree-chiave non di terraferma verranno utilizzate nuove tecniche di analisi di dati di sismicità di fondo per capire se e come questa possa essere ricondotta a strutture sismogenetiche relativamente semplici (lineari) e congruenti con i vincoli geologici. In particolare la **UR Favali** integrerà con dati provenienti da stazioni sismiche sperimentali sottomarine i dati già disponibili dalle stazioni in terraferma, con l'obiettivo di illuminare al meglio la sismicità del settore dello Jonio a est della Sicilia e del Tirreno meridionale. Analogamente, la **UR Mucciarelli** integrerà dati di superficie e dati di stazioni sottomarine per il Golfo di Taranto, con l'obiettivo di comprendere meglio l'estensione in mare delle strutture note in terraferma. Infine, la **UR Solarino** utilizzerà tecniche di analisi d'avanguardia per indagare la sismicità di fondo associata alle strutture della Garfagnana e Lunigiana e del marginale ligure occidentale (linea Saorge-Taggia).

Sempre nell'ambito di questo *task*, la **UR Sirovich** utilizzerà una tecnica di analisi dei dati macrosismici molto evoluta per meglio vincolare la sorgente di alcuni forti terremoti storici, operando in stretto contatto con le UR che svolgono ricerca a carattere strettamente geologico e tettonico. I casi di studio previsti dovrebbero concentrarsi nell'Appennino centrale e meridionale (es. terremoti del 1706, 1694, 1857).

c) *Sviluppare nuove ipotesi riguardanti potenziali sorgenti ancora del tutto o parzialmente ignote utilizzando tecniche innovative.* Questo obiettivo ha un carattere largamente sperimentale in quanto punta ad esplorare il potenziale di tecniche provenienti da ambiti disciplinari anche molto diversi nell'identificazione di faglie attive e strutture sismogenetiche.

Un chiaro esempio dell'uso in campo sismotettonico di tecniche mutuare da altri campi disciplinari è quello rappresentato dalle attività proposte dalla **UR Italiano**. Attraverso indagini geochimiche multiparametriche (presenza di fluidi anomali, allineamenti di emissioni di CO₂) questa UR fornirà nuovi vincoli all'esistenza, complessità e grado di attività di strutture sismogenetiche la cui presenza e caratteristiche sono solo ipotizzate o comunque note con approssimazione. Queste tecniche verranno utilizzate in Sicilia nord-orientale, per capire meglio la configurazione del sistema di faglie noto come Tindari-Giardini-Letojanni, e al confine italo-sloveno, dove esiste un importante fascio di strutture collettivamente noto come sistema di Idria.

Indagini dettagliate di tettonica costiera consentiranno alla **UR Mastronuzzi** e alla **UR Burrato** di vincolare meglio l'esistenza stessa e la posizione di importanti corridoi tettonici attivi che interessano il Salento da costa a costa. Il recente ritrovamento in questo settore di depositi ascrivibili a *tsunami* fa ritenere che attraverso queste indagini sia possibile anche mettere in luce eventuali dislocazioni catastrofiche a carattere cosismico.

L'Avampaese apulo sarà l'oggetto di ricerche condotte dalla **UR Siniscalchi** tramite indagini elettromagnetiche ad alta risoluzione per l'identificazione e la caratterizzazione delle principali strutture attive. Queste indagini hanno un ruolo determinante soprattutto dove la *signature* geomorfologica delle faglie è estremamente debole e dove sia la caratterizzazione geoelettrica che quella magnetotellurica risultano insufficienti.

Integrando i dati di numerose stazioni locali nonché dati INGV, la **UR Neri** utilizzerà tecniche di analisi sismologica molto avanzate per giungere a una migliore risoluzione delle strutture attive crostali, nonché all'eventuale segnalazione di strutture oggi non note, nel Tirreno meridionale, nello Jonio e nella Sicilia orientale.

Infine, la **UR Barbano** si propone di caratterizzare le principali sorgenti sismiche della Sicilia orientale attraverso l'analisi di effetti sull'ambiente "indiretti" tra cui tsunami e liquefazioni (*off-fault paleoseismology*). Lo studio è finalizzato alla creazione di un inventario georeferenziato degli effetti geologici diretti e indiretti dei terremoti medio-forti che hanno colpito la Sicilia orientale, da validare anche mediante il ricorso a fonti storiche convenzionali.

d) *Elaborazione di scenari speditivi di tsunami.* Avvalendosi dei dati forniti da DISS 3.0 per l'area mediterranea (**UR Basili**), con eventuali approfondimenti nei casi richiesti, la **UR Tinti** calcolerà l'impatto sulle coste italiane dell'onda di *tsunami* che potrebbe essere prodotta da una sorgente sismogenetica italiana o da una delle importanti sorgenti che si trovano lungo le coste del Nord Africa e della Grecia, continentale e insulare. Le elaborazioni, espresse in mappe di altezza massima dell'onda, potranno essere poi trasformate in mappe di rischio attraverso la collaborazione con ricercatori della sede di Pisa dell'INGV (non configurati come una UR di questo *task* in quanto già finanziati per questa attività), che dispongono di dati di dettaglio sulla batimetria dei mari italiani e sulla conformazione delle linee di costa.

Task 3 - Monitoraggio e caratterizzazione geofisica delle principali strutture sismogenetiche.

Gli studi proposti in questo modulo hanno l'obiettivo generale di inquadrare i dati sulla sismogenesi ottenuti con le indagini di cui ai due moduli precedenti nel quadro più ampio delle conoscenze geodinamiche disponibili per l'Italia. In particolare, esiste una cronica carenza di informazioni su a) velocità di accumulo di deformazione delle strutture tettoniche attive, e b) caratteristiche reologiche dei sistemi attivi, particolarmente nei settori a deformazione compressiva distribuita (es. margine padano meridionale, margine delle Prealpi Venete, *offshore* della Sicilia settentrionale) e nei settori in cui viene ipotizzata la riattivazione di importanti lineamenti antichi (avampaese apulo). A queste

carenze è oggi possibile supplire ricorrendo a un'equilibrata combinazione di dati di deformazione attuale (GPS e VLBI) e modelli geodinamici, che insieme possano fornire vincoli sulle velocità di deformazione attese e su quale quota di tale deformazione sia spesa in processi sismogenetici piuttosto che consumata in *slip* asismico. Poiché l'attività di una faglia sismogenetica dipende dal valore di *strain-rate* crostale nell'area della faglia, e poiché questa relazione si osserva sia alla scala dei tempi geologici che, attraverso osservazioni strumentali, nel breve termine, nel Task 3 verrà studiata la distribuzione dello *strain-rate* nello spazio e nel tempo in Italia. Considerando che una mappa di *strain-rate* fornisce informazione sulla disposizione e sull'attività delle faglie sismogenetiche, la variazione nel tempo dello *strain-rate* influenza la probabilità a breve termine che una faglia rilasci un forte terremoto. Verranno sviluppati, pertanto, uno o più modelli di velocità e deformazione crostale per l'Italia, da confrontare con i dati geologici e geodetici disponibili. Si procederà inoltre alla caratterizzazione delle strutture sismogenetiche che hanno generato eventi di $M > 5.5$ nel periodo 1985-2004 in termini di accelerazione nel rilascio di momento sismico (**UR Barba**).

Parallelamente, i dati da stazioni permanenti GPS di elevata precisione e affidabilità verranno utilizzati per il monitoraggio del tasso medio di accumulo di deformazione, zona per zona, per l'intero territorio italiano. La conoscenza dell'accumulo di deformazione (*strain rate tensor*) è un importante dato in ingresso nella definizione delle probabilità degli eventi sismici. Infatti la velocità di accumulo di deformazione è strettamente legata al rilascio nel tempo del momento sismico. L'impiego sistematico di metodologie di misure GPS e algoritmi di analisi permetteranno un'attività sistematica di monitoraggio a scala nazionale, e necessariamente comprende anche aree limitrofe. Il margine settentrionale della placca Adria, con particolare attenzione al Friuli ed al Veneto pedemontano, verrà considerato area campione dove verranno utilizzate altre tecniche oltre il GPS (osservazioni geodetiche di sottosuolo, clinometri, estensimetri, livellazione) al fine di determinare le velocità di deformazione nell'area (**UR Caporali-Braitenberg**).

Una seconda area campione è il massiccio carbonatico del Matese, dove verrà ricostruito il campo di deformazioni statiche nelle sue componenti plano-altimetriche. Le tecniche GPS e livellazioni, utilizzate congiuntamente, consentiranno, infatti, una buona risoluzione del campo deformativo ed una definizione dello *strain-rate* dell'area (**UR Pingue**).

Una terza area campione è stata individuata nella parte meridionale dell'Altopiano della Sila, l'estremità settentrionale delle Serre Calabre e l'interposto *graben* di Catanzaro. La scelta di quest'area per misure topografiche da utilizzare a complemento alle osservazioni sismometriche è dettata dal fatto che essa comprende l'area mesosismica dell'ultimo dei maggiori terremoti del 1783 e di quello del 1905. Si procederà alla ripetizione del rilevamento delle reti GPS esistenti nell'area, una delle quali istituita durante l'ultima tornata dei progetti GNDT, in modo da valutare le variazioni di posizione verificatesi rispetto alle misure degli anni Novanta (**UR Guerra**).

Task 4 - Caratterizzazione delle principali strutture sismogenetiche e calcolo della probabilità di loro attivazione

Questo *task* rappresenta la parte computazionale di calcolo e modellistica atta a caratterizzare la sismicità delle sorgenti e a stimarne la probabilità di attivazione. Il modulo si articola su tre filoni di ricerca, strettamente interconnessi fra loro.

- a) Il primo filone di ricerca procederà all'analisi di dettaglio della sismicità collegabile alle strutture definite nel modulo 2 per la comprensione delle caratteristiche del rilascio (occorrenza degli eventi; eventuali interazioni con strutture adiacenti; se possibile, massima energia liberabile, ecc.). Questa fase del progetto mira a definire il modello di occorrenza nello spazio (terremoto caratteristico, distribuzione Gutenberg-Richter, attivazione di sorgenti adiacenti, propagazione della rottura lungo la faglia, ecc.) e nel tempo (poissoniano, con memoria, *cluster*, *time predictable*, *slip predictable*, a *trigger*, caratteristiche della sequenza sismica,

ecc.) che possa essere utilizzato come base per le valutazioni di probabilità di attivazione delle singole sorgenti (**UR Rotondi**, **UR Garavaglia** e **UR Godano**). Ulteriori punti di indagine riguarderanno l'analisi della sensitività a singoli dati e la valutazione dell'incertezza nelle procedure di inferenza statistica (**UR Rotondi**). Particolare attenzione verrà prestata allo studio della propagazione di sforzo fra sorgenti vicine e alla previsione dell'evoluzione del processo sismogenetico a medio e a lungo termine come conseguenza dell'interazione fra eventi (**UR Murru**).

- b) Il secondo filone di ricerca si propone di approfondire lo studio del comportamento di una popolazione di strutture sismogenetiche, integrando informazioni geologico/strutturali con una modellistica fisica e statistica. In sintesi, lo scopo è quello di verificare quanto la conoscenza approfondita dell'assetto tettonico di una zona permette l'effettivo miglioramento delle stime di probabilità finora proposte. Lo studio verrà compiuto su un'area campione (scala regionale) ben caratterizzata dal punto di vista geologico/tettonico (**UR Cinti**). Verranno sviluppate, inoltre, modellazioni ulteriori basate sia sul *pattern* della sismicità sia sulle caratteristiche reologiche delle strutture studiate. Più precisamente, verranno condotti esperimenti di modellazione numerica in campo elasto-viscoso per valutare i possibili effetti sulle faglie italiane del rilassamento post-sismico indotto dall'attivazione di sorgenti sismiche nelle zone periadriatiche e appenniniche (**UR Mantovani**).
- c) L'obiettivo del terzo filone di ricerca è il calcolo della probabilità di attivazione delle principali strutture sismogenetiche, individuate nei moduli precedenti, e cioè la probabilità che queste strutture diano origine a un forte terremoto. Si procederà a questo calcolo secondo metodologie diverse (sia dipendenti che indipendenti dal tempo trascorso dall'ultimo terremoto) per quantificare, oltre alle stime più probabili, anche le incertezze insite non solo nei dati utilizzati ma anche derivanti dai diversi modelli utilizzabili. Fra le possibili metodologie di calcolo, verrà applicata quella seguita dal WGCEP e basata sull'utilizzo dei dati di deformazione su faglia ricavati nel precedente *task* (**UR Peruzza**, **UR Akinci**, **UR Sabetta**). Verranno forniti i parametri del modello "Accelerating Moment Release" per tutti gli eventi di magnitudo $M > 5.5$ verificatisi dal 1985: tali parametri verranno associati ad aree tettonicamente omogenee, e saranno utilizzati per evidenziare una accelerazione nel rilascio del momento sismico da introdurre nella stima della probabilità di attivazione delle sorgenti sismogenetiche (**UR Di Giovambattista**).

I risultati del primo filone di ricerca confluiranno nella parametrizzazione delle sorgenti, mentre il confronto fra i risultati del secondo e terzo filone offriranno materia di analisi per la valutazione delle incertezze associate alle stime prodotte. Il prodotto finale consisterà nella mappa delle sorgenti potenzialmente attivabili nel prossimo trentennio con associata la relativa probabilità di attivazione.

4. Deliverables attesi

I prodotti finali possono essere suddivisi in due gruppi: prodotti applicativi e prodotti di ricerca.

Prodotti applicativi

- 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.
- 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.
- Mappe di altezza dell'onda di *tsunami* attesa lungo le coste italiane e, per aree selezionate, mappe di invasione e rischio da *tsunami*.

Principali prodotti di ricerca

- Monografie delle sorgenti sismogenetiche individuali e areali studiate nel progetto.
- Codice Boxer in versione 4.x (per analisi automatica di dati di intensità macrosismica).
- Database EMMA in versione aggiornata (meccanismi focali dell'area euro-mediterranea).
- Mappe di velocità e strain-rate derivate da dati GPS.
- Mappe di velocità e strain-rate derivate da modelli numerici tridimensionali.

5. Tabella mesi/persona, suddivisi per task e UR

Task/N. UR	Resp. UR	Istituzione	Mesi/pers. (cofinanziati)	Mesi/pers. (richiesti)
1.1	Basili	INGV-RM1	38	0
1.2	Gasperini	UniBO	2	0
1.3	Meletti	INGV-MI	1	0
2.1a	Brancolini	OGS	19	12
2.1b	Argnani	CNR	4	12
2.2	Barbano	UniCT	46	48
2.3	Barchi	UniPG	16	24
2.4	Burrato	INGV-RM1	44	0
2.5	Catalano	UniCT	51	24
2.6	Dogliani	CNR-IGAG/UniRM1	14	24
2.7	Favali	INGV-RM2	18	0
2.8	Galadini	INGV-RM1	37	24
2.9	Italiano	INGV-PA	32	0
2.10	Lavecchia	UniCH	36	24
2.11	Mastronuzzi	UniBA	8	0
2.12	Mucciarelli	UniBas	30	12
2.13	Neri	UniME	20	12
2.14	Pizzi	UniCH	12	24
2.15	Scandone	UniPI	15	0
2.16	Siniscalchi	UniBa	28	12
2.17	Sirovich	OGS	24	0
2.18	Solarino	INGV-CNT	10	0
2.19	Tinti	UniBO	3	24
3.1	Barba	INGV-RM1	14	24
3.2a	Caporali	UniPD	52	24
3.2b	Braitenberg	UniTS	86	12
3.3	Guerra	UniCAL	10	0
3.4	Pingue	INGV-OV	22	0
4.1	Akinci	INGV-RM1	26	0
4.2	Di Giovambattista	INGV-CNT	22	0
4.3	Cinti	INGV-RM1	10	0
4.4	Garavaglia	PoliMI	24	0
4.5	Godano	Uni2NA	14	24
4.6	Mantovani	UniSI	34	24
4.7	Murru	INGV-RM1	16	0
4.8	Peruzza	OGS	44	20
4.9	Rotondi	CNR	16	24
4.10	Sabetta	SSN	5	0
			903	428

6a. Tabella UR e relativi finanziamenti richiesti

Dati parziali (disaggregati per voce di spesa)

Task/ N. UR	UR	Personale		Missioni Italia		Missioni estero		Consumi servizi		Inventariabile	
		2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006
		1.1	Basili	0	0	6000	6000	5000	5000	18000	16000
1.2	Gasperini	0	0	3000	3000	0	0	3000	3000	0	0
1.3	Meletti	0	0	2000	2000	0	0	1000	0	3000	0
2.1a	Brancolini	9500	9500	12000	12000	0	0	12000	12000	0	0
2.1b	Argnani	9500	9500	3500	3500	0	0	1500	1500	0	0
2.2	Barbano	30000	30000	6000	6000	5000	5000	12000	12000	0	0
2.3	Barchi	18100	18100	5500	3000	0	0	2200	2000	2000	0
2.4	Burrato	0	0	12000	14000	0	0	9300	5300	3000	0
2.5	Catalano	20000	20000	5000	5000	0	0	5500	7000	3500	0
2.6	Dogliani	19000	19000	5000	3000	0	0	2000	2000	0	0
2.7	Favali	0	0	8000	8500	0	0	6000	6500	4000	0
2.8	Galadini	0	0	7400	10400	0	0	4400	4800	0	0
2.9	Italiano	0	0	20000	20000	0	0	20000	20000	0	0
2.10	Lavecchia	19000	19000	3000	3000	0	0	8000	8000	0	0
2.11	Mastronuzzi	0	0	1000	1000	0	0	5000	5000	0	0
2.12	Mucciarelli	8500	0	1500	1500	0	0	0	0	0	0
2.13	Neri	8000	8000	3600	3600	5000	5000	4000	3000	0	0
2.14	Pizzi	16000	16000	2000	3000	0	0	0	0	0	0
2.15	Scandone	0	0	6000	6000	0	0	14000	14000	0	0
2.16	Siniscalchi	10000	10000	20000	20000	0	0	8000	8000	0	0
2.17	Sirovich	0	0	6000	6000	0	0	4000	4000	0	0
2.18	Solarino	0	0	8000	8000	0	0	2000	2000	5000	5000
2.19	Tinti/Piatanesi	0	0	2500	2500	0	0	2000	2500	2500	0
3.1	Barba	0	0	2500	2500	2500	2500	0	0	5000	0
3.2a	Caporali	15000	15000	2500	2500	0	0	1000	1000	0	0
3.2b	Braitenberg	10000	10000	2500	2500	0	0	1000	1000	0	0
3.3	Guerra	0	0	0	0	0	0	15000	0	0	0
3.4	Pingue	0	0	10000	10000	0	0	8000	8000	0	0
4.1	Akinci	0	0	1000	1000	3000	3000	7000	7000	5000	5000
4.2	Di Giovambattista	0	0	2000	2000	3000	3000	5000	5000	5000	5000
4.3	Cinti	0	0	1500	1500	3000	4500	3500	5000	3000	0
4.4	Garavaglia	0	0	4000	6000	4000	4000	4000	8500	5000	0
4.5	Godano	16000	16000	2000	2000	0	0	0	0	0	0
4.6	Mantovani	15000	15000	4000	4000	0	0	2500	2500	2500	2500
4.7	Murru	0	0	2800	2800	3000	3000	5000	7000	2000	0
4.8	Peruzza	10000	8000	7000	7000	4000	5000	7000	5000	0	2000
4.9	Rotondi	19000	19000	4000	4000	0	0	2000	2000	0	0
4.10	Sabetta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		252600	242100	194800	198800	37500	40000	204900	190600	54500	19500

6. Tabella complessiva finanziamenti richiesti (in migliaia di euro)

UR	Istituz.	Resp UR	Personale		Missioni		Consumi servizi		Inventariabile		Totale		tot
			2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	
1.1	INGV-RM1	Basili	0	0	11	11	18	16	4	0	33	27	60
1.2	UniBO	Gasperini	0	0	3	3	3	3	0	0	6	6	12
1.3	INGV-MI	Meletti	0	0	2	2	1	0	3	0	6	2	8
2.1a	OGS	Brancolini	9,5	9,5	12	12	12	12	0	0	33,5	33,5	67
2.1b	CNR	Argnani	9,5	9,5	3,5	3,5	1,5	1,5	0	0	14,5	14,5	29
2.2	UniCT	Barbano	30	30	11	11	12	12	0	0	53	53	106
2.3	UniPG	Barchi	18,1	18,1	5,5	3	2,2	2	2	0	27,8	23,1	50,9
2.4	INGV-RM1	Burrato	0	0	12	14	9,3	5,3	3	0	24,3	19,3	43,6
2.5	UniCT	Catalano	20	20	5	5	5,5	7	3,5	0	34	32	66
2.6	CNR-IGAG/ UniRM1	Doglioni	19	19	5	3	2	2	0	0	26	24	50
2.7	INGV-RM2	Favali	0	0	8	8,5	6	6,5	4	0	18	15	33
2.8	INGV-RM1	Galadini	0	0	7,4	10,4	4,4	4,8	0	0	11,8	15,2	27
2.9	INGV-PA	Italiano	0	0	20	20	20	20	0	0	40	40	80
2.10	UniCH	Lavecchia	19	19	3	3	8	8	0	0	30	30	60
2.11	UniBA	Mastronuzzi	0	0	1	1	5	5	0	0	6	6	12
2.12	UniBas	Mucciarelli	8,5	0	1,5	1,5	0	0	0	0	10	1,5	11,5
2.13	UniME	Neri	8	8	8,6	8,6	4	3	0	0	20,6	19,6	40,2
2.14	UniCH	Pizzi	16	16	3	3	0	0	0	0	19	19	37
2.15	UniPI	Scandone	0	0	6	6	14	14	0	0	20	20	40
2.16	UniBa	Siniscalchi	10	10	20	20	8	8	0	0	38	38	76
2.17	OGS	Sirovich	0	0	6	6	4	4	0	0	10	10	20
2.18	INGV-CNT	Solarino	0	0	8	8	2	2	5	5	15	15	30
2.19	UniBO	Tinti/ Piatanesi	0	0	2,5	2,5	2	2,5	2,5	0	7	5	12
3.1	INGV-RM1	Barba	0	0	5	5	0	0	5	0	10	5	15
3.2a	UniPD	Caporali	15	15	2,5	2,5	1	1	0	0	18,5	18,5	37
3.2b	UniTS	Braitenberg	10	10	2,5	2,5	1	1	0	0	13,5	13,5	27
3.3	UniCAL	Guerra	0	0	0	0	15	0	0	0	15	0	15
3.4	INGV-OV	Pingue	0	0	10	10	8	8	0	0	18	18	36
4.1	INGV-RM1	Akinci	0	0	4	4	7	7	5	5	16	16	32
4.2	INGV-CNT	Di Giovambattista	0	0	5	5	5	5	5	5	15	15	30
4.3	INGV-RM1	Cinti	0	0	4,5	6	3,5	5	3	0	11	11	22
4.4	PoliMI	Garavaglia	0	0	8	10	4	8,5	5	0	17	18,5	35,5
4.5	Uni2NA	Godano	16	16	2	2	0	0	0	0	18	18	36
4.6	UniSI	Mantovani	15	15	4	4	2,5	2,5	2,5	2,5	24	24	48
4.7	INGV-RM1	Murru	0	0	5,8	5,8	5	7	2	0	12,8	12,8	25,6
4.8	OGS	Peruzza	10	8	11	12	7	5	0	2	28	27	55
4.9	CNR	Rotondi	19	19	4	4	2	2	0	0	25	25	50
4.10	SSN	Sabetta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			252,6	242,1	232,3	238,8	204,9	190,6	54,5	19,5	745,3	691	1436,3

Totale 1.436.300 euro**INGV: 442.200 (31%)****Altri enti: 994.100 (69%)****richieste di personale INGV:**

La UR 2.8 (RM1) chiede una borsa di studio di durata biennale (Euro 16.000 x 2)

La UR 2.19 (RM1) chiede un assegno di ricerca di durata biennale (Euro 19.000 x 2)

La UR 3.1 (RM1) chiede un assegno di ricerca di durata biennale (Euro 19.000 x 2)

per un totale di 108.000 euro

