

Progetto S2

Valutazione del potenziale sismogenetico e probabilità dei forti terremoti in Italia

coordinatori: Dario Slejko (OGS, Trieste) e Gianluca Valensise (INGV-RM1)

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*, ovvero lo scuotimento medio che si stima non venga superato con 90% di probabilità in 50 anni. 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 risolvete 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 successivamente perso smalto 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 tutte 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. Per l'Italia questo è particolarmente importante 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.

Con queste premesse, lo scopo primario del presente progetto è l'individuazione delle sorgenti atte a produrre terremoti potenzialmente distruttivi, convenzionalmente identificati con tutti gli eventi di M superiore a 5.5, e, limitatamente alle strutture sufficientemente definite dal punto di vista sismico, la stima della probabilità che tali terremoti si verifichino nel futuro. Per le zone meno comprese l'analisi sarà centrata su sorgenti areali atte a raccogliere nel loro interno un sistema di faglie omogenee dal punto di vista sismogenetico (si veda nel seguito la definizione di "Seismogenic Areas" nel *database* DISS). 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. 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) verrà quindi caratterizzata in termini di terremoto massimo atteso e di sismicità minore associata, e, per le situazioni meglio documentate, verrà espressa la probabilità che tale terremoto massimo si verifichi nel prossimo trentennio.

I risultati del progetto S2 contribuiranno alle stime di pericolosità sismica del territorio nazionale, previste nel progetto S1. S2 rappresenta, quindi, una fase propedeutica alla realizzazione di carte di pericolosità sismica di nuova generazione. Anche per questo motivo, diverse attività sviluppate nell'ambito di S2 (per esempio: la stima della massima magnitudo possibile per le principali sorgenti sismiche) saranno coordinate congiuntamente a quelle sviluppate nell'ambito di S1.

2. Stato dell'arte

I *terremoti probabili in Italia* sono stati il tema di uno dei progetti GNDT sviluppati nel periodo 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 un importante contributo di conoscenza nonché il punto di partenza per il presente progetto. Si osservi però che lo schema di lavoro qui presentato propone una lettura del tema *terremoti probabili* decisamente più mirata di quanto non facesse il progetto GNDT, pur ispirandosi parzialmente ad esso nel titolo.

La definizione *terremoti probabili* è stata introdotta alla fine degli anni '80 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 normalmente nel mondo 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 spaziali e cinematiche della sorgente. 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 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, ad esempio 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) qualunque valutazione sui terremoti probabili rischia di rimanere un esercizio sterile se le conoscenze di base sulla sismogenesi non raggiungono un livello critico minimo, ovvero se esistono ancora molte sorgenti di cui si ignora completamente anche l'esistenza o aree il cui potenziale sismogenetico è largamente inesplorato;
- 3) le conoscenze sulla sismogenesi e sui ratei di deformazione della penisola italiana hanno un potenziale di crescita più elevato rispetto ad altri paesi ad elevata sismicità, nei confronti dei quali l'Italia può anche vantare un'ampia superiorità nel settore della sismologia storica.

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 - caratteristiche che per taluni aspetti possono addirittura porci in una posizione di vantaggio rispetto ai 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, per le situazioni sufficientemente documentate dal punto di vista sismico, nella quantificazione probabilistica di questa occorrenza. Ma, alla luce di quanto asserito in precedenza e in parziale controtendenza rispetto alle strategie adottate in altri paesi ad elevata sismicità, o anche rispetto a precedenti esperienze italiane, il progetto pone particolare enfasi nelle fasi di riconoscimento e caratterizzazione delle aree sismogenetiche. Preso atto dell'impossibilità di identificare come strutture tettoniche individuali tutte le potenziali sorgenti sismogenetiche italiane, il progetto propone una strategia mista che, attraverso opportuni vincoli di carattere geodinamico e statistico, consenta di descrivere la sismicità come dovuta alla somma di un *set* di *sorgenti individuali* e un *set* di *sorgenti areali*. La strategia prevede che ogni *set* venga caratterizzato in senso probabilistico nel rispetto della tipologia dei dati descrittivi di partenza e del comportamento sismogenetico desumibile dal *record* storico.

Poiché 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 va visto come uno strumento per finanziare ricerca di base a carattere geodinamico o tettonico, né sviluppi metodologici ancora largamente *in itinere*. Al contrario, nella sua elaborazione sono stati sollecitati e accettati solo contributi che puntano direttamente ai risultati attesi, in diversi casi 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 la scala di questo progetto è nazionale e che è questa la scala spaziale di interesse precipuo del Dipartimento della Protezione Civile, che finanzia il progetto. Una parziale eccezione a questo modo di operare è rappresentata dai modelli di occorrenza e dalle stime di probabilità che formano il punto di arrivo di questo progetto. La natura sperimentale di queste valutazioni, non solo a scala italiana ma a livello mondiale, impedisce in questo caso di delineare un percorso dai risultati certi, ma suggerisce piuttosto di percorrere contemporaneamente diverse strade da mettere poi a confronto nelle fasi conclusive del progetto.

Con queste premesse, il progetto si articolerà nelle seguenti quattro fasi, o *task*, che hanno anche lo scopo di rendere il *management* più fluido e razionale:

- Task 1. Organizzazione di un sistema di riferimento unitario per la descrizione della sismogenesi
- Task 2. Definizione spaziale delle principali strutture sismogenetiche della penisola italiana
- Task 3. Caratterizzazione geofisica delle principali strutture sismogenetiche
- Task 4. Caratterizzazione delle principali strutture sismogenetiche e calcolo della probabilità di loro attivazione

Tutti i calcoli sviluppati nel Task 4 si baseranno sui risultati, anche parziali, acquisiti nelle precedenti fasi. Più precisamente, tutte le stime di probabilità di occorrenza di forti terremoti si riferiranno a sorgenti riconosciute ed inserite nel *database* DISS ed utilizzeranno un solo catalogo dei terremoti di riferimento.

Per ognuna delle quattro fasi i coordinatori hanno identificato un responsabile, secondo lo schema che segue:

- | | |
|----------------------------|--------------------------------|
| Task 1 – Roberto Basili | INGV-RM1 (responsabile UR 1.1) |
| Task 2 – Fabrizio Galadini | INGV-RM1 (responsabile UR 2.8) |

Task 3 – Alessandro Caporali Università di Padova (responsabile UR 3.2)
Task 4 – Laura Peruzza OGS, Trieste (responsabile UR 4.8)

Insieme ai coordinatori, questi ricercatori formeranno uno *steering committee* per tutta la durata del progetto, dalla fase di avvio alla sua conclusione, collaborando alla eventuale identificazione di problemi, alla corrispondente ricerca di soluzioni operative e alla gestione logistica delle attività.

Per la natura e la diversificazione delle attività che propone, il progetto si presenta molto ampio e articolato, coinvolgendo ben 40 Unità di Ricerca (UR), di cui 25 esterne all'INGV. Si consideri tuttavia che diverse UR sono state sdoppiate per motivi puramente amministrativi; queste coppie di UR rappresentano in effetti insiemi unitari ai fini delle attività scientifiche in senso stretto. Non tutte le UR parteciperanno a tutte le attività, ma anzi il lavoro si svolgerà coinvolgendo di volta in volta interi *task* o sottoinsiemi di essi a seconda delle necessità. E' prevedibile quindi un notevole sforzo di coordinamento, che potrà però giovare della conoscenza diretta tra i coordinatori e tutti i responsabili di UR, dei numerosi *link* scientifici già stabiliti in progetti precedenti e, naturalmente, dell'esistenza di un responsabile per ogni *task*.

Gli obiettivi essenzialmente nazionali e strettamente applicativi del progetto hanno suggerito di non aprirlo esplicitamente al contributo di unità di ricerca extra-nazionali. Questa scelta è quasi automatica per i Task 1 e 2, visto il carattere strettamente territoriale della maggioranza delle attività previste, mentre i Task 3 e 4 potrebbero beneficiare di un contributo da parte di ricercatori stranieri. A questo proposito si deve osservare che all'interno di diverse UR sono già previsti contributi di ricercatori non italiani, in alcuni casi esperti internazionali di chiara fama. Inoltre, nella seconda metà del progetto verrà considerata la possibilità di coinvolgere nelle elaborazioni, e in particolare nelle fasi di validazione dei risultati, altri esperti che hanno preso parte a esperienze simili negli Stati Uniti, in Giappone, in Nuova Zelanda.

Si rimarca infine che il progetto si pone come un catalizzatore di energie ampiamente presenti nella comunità scientifica nazionale, specialmente quella dedicata alle discipline geologiche, ma i cui risultati si ritrovano spesso dispersi nella letteratura o non vengono pubblicati affatto. In altri casi il progetto proporrà un reindirizzamento di alcune ricerche, o semplicemente diverse scelte operative (ad esempio, l'applicazione di un nuovo metodo geofisico in una zona di interesse del progetto piuttosto che in altra zona selezionata sulla base di criteri diversi). Per quanto riguarda infine il Task 4, il progetto si sforzerà di promuovere test e confronti attraverso un ampio spettro di approcci modellistici, promuovendo massicciamente l'interazione e il *feedback* tra chi produce i dati di ingresso del problema e chi li elabora. La comunità scientifica coinvolta nel progetto ha complessivamente apprezzato questo approccio, come dimostrano i quasi 100 anni/persona di attività di ricerca offerta come cofinanziamento da università, istituzioni di ricerca pubbliche e, naturalmente, dall'INGV stesso.

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 in un sistema di riferimento georeferenziato unitario e unico, accessibile via *web*, di tutte le informazioni necessarie per le attività svolte nell'ambito del progetto. 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 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*, già disponibile in rete, 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. Sia la più recente versione di questo *database*, sia la sua estensione all'area Euro-mediterranea sono accessibili dalla pagina "Banche Dati" del sito dell'INGV (<http://www.ingv.it/banchedati/banche.html>).

La differenza principale tra DISS 2.0 (pubblicato nel 2001) e DISS 3.0 (disponibile su web a partire dalla fine del 2004), a parte un ovvio aumento dell'informazione globalmente fornita e aggiornamenti del *software*, risiede proprio nell'introduzione delle "Seismogenic Areas", sorgenti areali che si collocano a metà tra le sorgenti individuali (Seismogenic Sources di DISS 2.0, *geologico-geofisiche* o *storiche* a seconda dei dati utilizzati per definirle) e le ZS tradizionali. Le Seismogenic Areas contengono allineamenti di faglie di cui siano note la geometria (superficiale e profonda) e la cinematica attesa, ma di cui non siano conosciute la posizione esatta, lo stato di segmentazione e il comportamento sismogenetico, tanto in termini di distribuzione della sismicità per classi di magnitudo che in termini di rapporto tra deformazione sismica e asismica. Come si vedrà nel seguito, questa nuova categoria di sorgenti forma una importante base di sperimentazione per il Task 4.

Il sistema DISS verrà ulteriormente sviluppato principalmente dalla **UR Basili** e fungerà da piattaforma comune per la visione sinottica dei dati sulla sismogenesi che provengono da studi di tipo geologico e geofisico (Task 2), strumentale, con particolare riguardo ai meccanismi focali (**UR Gasperini**), e macrosismico (**UR Albini**). Tale piattaforma faciliterà il transito delle informazioni via via raccolte verso un sistema centrale, perché le novità possano essere visualizzate e utilizzate da tutte le UR del progetto in tempo reale. Inoltre, anche coloro che opereranno nell'ambito dei progetti S1, S3, S4 e S5 potranno beneficiare della disponibilità di dati di base nel più recente stato di aggiornamento per tutte le elaborazioni in cui essi si rendano necessari.

La **UR Basili** (sezione di Roma 1 dell'INGV) si occuperà in particolare di potenziare lo strumento informatico alla base di DISS 3.0 avvalendosi del supporto esterno di una società di informatica (IT&T, Bergamo) che ha già curato tutte le precedenti versioni di DISS, oltre alla sua estensione su *web* a scala europea. Per facilitare il flusso delle informazioni da e verso la banca dati la UR redigerà un protocollo operativo, già in corso di sperimentazione, e renderà disponibili appositi strumenti *software*. Laddove necessario predisporrà le basi per la visualizzazione dei risultati ottenuti da altre UR del progetto S2 mediante livelli informativi tematici.

La **UR Albini** (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 aggiornamenti successivi. La stessa UR collaborerà inoltre alle sperimentazioni relative all'assegnazione dei terremoti storici alle nuove "Seismogenic Areas" di DISS.

La **UR Gasperini** si occuperà di completare la sperimentazione su una nuova versione del codice Boxer, che consente l'analisi automatica dei dati di intensità macrosismica, e aggiornerà la banca dati EMMA relativa ai meccanismi focali dei terremoti italiani.

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 non solo all'interno ma anche 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 **UR Burrato** e la **UR Zuppetta** approfondiranno le conoscenze sulle strutture responsabili dei grandi terremoti del Sannio e dell'Irpinia del 1688, 1702 e 1732, e della Val d'Agri del 1857, 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. L'aumento delle conoscenze avverrà attraverso l'esecuzione di profili sismici nel tratto di mare prospiciente la costa nordorientale della Sicilia, nonché attraverso un riesame di dati di sismica industriale già esistenti. 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.

Passando all'Arco Calabro, in Calabria centrale la **UR Burrato** si avvarrà di dati di tettonica costiera per studiare la sorgente del terremoto del 1905 che ha colpito l'area del Golfo di Sant'Eufemia. 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 la dinamica attuale del settore del Tirreno meridionale responsabile per la generazione dei forti terremoti che colpiscono la Sicilia settentrionale (1823, 1940, 2002), e per caratterizzarne le strutture sismogenetiche. 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. Nella stessa zona, ma con specifico riferimento all'individuazione di depositi da *tsunami*, opereranno anche la **UR Barbano** e la **UR De Martini**.

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 tomografia sismica e di localizzazione di precisione, anche relativa, 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 Pettenati** utilizzerà una tecnica basata sulla funzione cinematica KF e su una tecnica di inversione automatica di dati di intensità 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 (inversione tomografica con tecniche SIMUL e TOMODD; codici di localizzazione che utilizzano le "doppie differenze"; il nuovo metodo di localizzazione probabilistica BAYLOC) 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** e la **UR De Martini** propongono di caratterizzare le principali sorgenti sismiche della Sicilia orientale (dallo Stretto di Messina agli Iblei) 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 e da altre compilazioni per l'area mediterranea, con eventuali approfondimenti nei casi richiesti, la **UR Tinti** e la **UR Piatanesi** calcoleranno 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 con altri fondi per questa attività), che dispongono di dati di dettaglio sulla batimetria dei mari italiani e sulla conformazione delle linee di costa.

Per meglio coordinare il Task 2, in considerazione anche del notevole numero di UR coinvolte e del carattere strettamente regionale di alcune delle ricerche, i coordinatori propongono una ripartizione delle attività secondo quattro macro-regioni:

- 1) *Alpi e Pianura Padana*
- 2) *Appennino settentrionale e centrale*
- 3) *Appennino meridionale e blocco apulo*
- 4) *Arco Calabro-Sicilia*

Questa ripartizione non riflette solo un criterio geografico ma, implicitamente, anche un criterio di approccio scientifico e metodologico (ad esempio, le sorgenti sismogenetiche nelle macroregioni 1 e 3 tendono a essere in terraferma ma "cieche", e quindi da studiare ad esempio con tecniche geomorfologiche, mentre quelle della macroregione 4 sono spesso da ricercare tramite dati di sismica industriale nell'*offshore*). Questo schema aiuterà i coordinatori e i responsabili di *task* a focalizzare meglio le problematiche scientifiche e i risultati attesi e conseguiti da ogni UR, consentendo anche incontri più frequenti e agili con i diversi gruppi di ricercatori. Nelle fasi iniziali del progetto lo *steering committee* valuterà l'opportunità di identificare una UR di riferimento per ogni macro-regione.

Task 3 - 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. Sfortunatamente, 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.

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 tutti i settori del territorio italiano per cui la risoluzione offerta dai dati disponibili lo consentirà (**UR Caporali** e **UR Barba**). La conoscenza dell'accumulo di deformazione (*strain rate tensor*) è un importante dato in ingresso nella definizione del livello globale della sismicità attesa, perché la velocità di accumulo di deformazione è strettamente legata al rilascio nel tempo del momento sismico.

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 anche studiata la distribuzione dello *strain-rate* nel tempo. Considerando che una mappa di *strain-rate* fornisce informazioni 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 aree selezionate della penisola, da confrontare con le informazioni sulle strutture sismogenetiche e con i dati geodetici disponibili (**UR Barba**).

L'analisi di dati GPS sarà particolarmente accurata in aree selezionate del territorio nazionale. In particolare verrà considerato area campione il margine settentrionale della placca Adria, con particolare attenzione al Friuli ed al Veneto pedemontano, dove oltre al GPS verranno utilizzate altre tecniche (osservazioni geodetiche di sottosuolo, clinometri, estensimetri, livellazione) al fine di determinare le velocità di deformazione nell'area (**UR Braitenberg**).

Una seconda area campione sarà 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 e dello *strain-rate* dell'area (**UR Sepe**).

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 la modellistica atte a caratterizzare la sismicità delle sorgenti e a stimarne la probabilità di attivazione. Poiché non esiste ancora una metodologia consolidata di calcolo probabilistico con memoria, questo *task* intende dare spazio a vari approcci anche antagonisti tra loro. Questo sia per garantire una serie di risultati anche nelle situazioni più problematiche dal punto di vista dei dati disponibili, sia per poter procedere in alcune regioni ad un confronto fra i risultati ottenuti con metodi diversi.

Il *task* si articola su tre filoni di ricerca, strettamente interconnessi fra loro. In particolare, il primo filone valuta la probabilità di accadimento di forti terremoti in regioni sufficientemente vaste da contenere sistemi di strutture tettonicamente omogenee fra loro. In attesa di eventuali, ulteriori sviluppi questo filone utilizzerà come dato di ingresso primario le “Seismogenic Areas” recentemente introdotte nella versione corrente (3.0) del *database* DISS.

Il secondo filone risulta propedeutico al terzo in quanto definisce le caratteristiche della sismicità delle strutture tettoniche riconosciute (singole faglie) da utilizzare nel calcolo della loro probabilità di attivazione.

Il terzo filone valuta la probabilità di attivazione delle strutture analizzate nel filone precedente. La dicotomia singola faglia/famiglia di faglie risulta necessaria per il raggiungimento del prodotto finale. Infatti, l'informazione necessaria per un calcolo della probabilità di attivazione in sintonia con quanto le metodologia utilizzata in California, che si ritiene la più completa finora proposta dalla comunità scientifica internazionale, sarà disponibile solo per aree selezionate della penisola. Si intende, pertanto, integrare con le stime su singola faglia i risultati più generali che verranno conseguiti sulle regioni estese.

Segue una descrizione più dettagliata delle attività previste per ognuno dei filoni individuati.

- a) Il primo filone di ricerca si propone di calcolare la probabilità di attivazione di una popolazione di strutture sismogenetiche tramite lo studio del loro comportamento sismico e 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 in letteratura. 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**).
- b) Il secondo filone di ricerca procederà all'analisi di dettaglio della sismicità collegabile alle strutture definite nel Task 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 Garavaglia**, **UR Godano** e **UR Rotondi**). 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**).
- 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 nei Task 2 e 3 (**UR Akinci** e **UR Peruzza**). 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 secondo filone di ricerca confluiranno nella parametrizzazione delle sorgenti, mentre il confronto fra i risultati del primo 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, quando possibile, la magnitudo massima attesa e la relativa probabilità di accadimento. Tale mappa, ricavata sia dai risultati del secondo che del terzo filone, presenterà un dettaglio diverso da regione a regione, in funzione del livello delle conoscenze disponibili. Sono previste, dunque, sia regioni dove la probabilità di attivazione si riferirà a sistemi di faglie (filone 1), sia regioni dove le conoscenze permetteranno di arrivare al dettaglio sulla singola struttura sismogenetica (filone 3).

4. Deliverable attesi

I prodotti finali possono essere suddivisi in due gruppi: prodotti applicativi e prodotti di ricerca. Viene qui fornito un elenco dei prodotti applicativi fondamentali e dei principali tra i prodotti di ricerca. Dato il carattere sperimentale di molte attività, e di contro data la natura di *database* permanenti di alcune delle principali basi di dati utilizzate, non è possibile o significativo fornire uno schema cronologico dettagliato per la disponibilità di alcuni dei prodotti.

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. *Questo prodotto esiste già e verrà progressivamente aggiornato nel corso del progetto.*
- 2) Mappa con l'individuazione spaziale delle sorgenti sismogenetiche individuate prima del progetto e nell'ambito del progetto stesso, corredate dalla magnitudo massima attesa, controllata su base geologica, e, nei casi sufficientemente documentati dal punto di vista sismico, 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.*
- 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.*

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. Validazione dei risultati attesi

La validazione dei risultati dei Task 1 e 2 è in prima istanza affidata alla verifica sperimentale dei dati presenti in DISS a fronte di terremoti piccoli e grandi che possono verificarsi sul territorio nazionale o di nuove elaborazioni su dati strumentali o macrosismici per importanti terremoti del

passato. Alcuni terremoti accaduti nel 2004 e nei primi mesi del 2005 hanno dato un riscontro particolarmente buono sia in termini di localizzazione all'interno di *trend* già chiaramente delineati, sia in termini di geometria di faglia e cinematica attesa, sia in termini di rapporti spaziali con le sorgenti sismogenetiche principali (ad esempio, terremoti minori che avvengono ai margini di importanti sorgenti sismogenetiche già riconosciute e ben vincolate). A questo proposito la versione web di DISS aprirà una specifica sezione per facilitare il confronto tra la sismicità corrente e il contenuto del *database*.

Viceversa, la validazione delle previsioni sui futuri terremoti, e più in generale delle stime di pericolosità sismica, è notoriamente difficoltosa. Difficoltosa intanto perché bisognerebbe attendere i futuri terremoti, e poi perché bisogna considerare che si tratta comunque di stime probabilistiche lontane (o quasi) da modelli deterministici con risultati univoci.

Una prima indicazione sulla robustezza delle stime può essere offerta dalla maggiore o minore congruità dei risultati ottenuti con le diverse metodologie di calcolo. Più precisamente, mentre le analisi areali riguarderanno tutta la regione italiana ed evidenzieranno le zone a maggior probabilità di attivazione, le stime su strutture tettoniche individuali riguarderanno situazioni particolari, dove cioè i dati consentiranno l'applicazione di modelli "con memoria". Il confronto fra i risultati sarà possibile, dunque, solo per alcune aree a più alta pericolosità del territorio nazionale. Si conta, inoltre, di procedere ad una validazione della metodologia applicata nel calcolo dei terremoti probabili (unione dei risultati su aree e su faglie) tramite il calcolo di quella che sarebbe la previsione se fossimo nel 1950. Sarà possibile, in questo caso, verificare quanto i terremoti accaduti nei cinque decenni successivi si siano discostati dalla loro previsione.

6. Gestione e implementazione dei prodotti al completamento del progetto

Il progetto si pone in diretta continuità con le attività che l'INGV svolge per dettato istituzionale nel settore della pericolosità sismica, tanto da essere esplicitamente previsto nel Piano Triennale 2005-2007 dell'ente (Obiettivo 4.1a, pag. 15). Per questa ragione i ricercatori dell'INGV coinvolti nelle UR del progetto (e in particolare le UR 1.1 Basili, 1.3 Albini, 2.8 Galadini, 3.1 Barba, 4.1 Akinci,) sono gli ovvii candidati per gestire i prodotti del progetto anche dopo la sua conclusione, interagendo direttamente con il Dipartimento della Protezione Civile ove necessario. Questo vale in particolare per i "Prodotti Applicativi" 2 e 3 sopra menzionati, che nel corso del progetto diventeranno parti di *database* permanenti gestiti dall'INGV. L'accessibilità (totale o parziale) a tali *database* potrà essere consentita a diversi profili di utenza e verrà discussa con gli organi di Protezione Civile nella fasi conclusive del progetto.

7. Fattori di rischio di mancato completamento attività

Questo progetto contiene un'importante sfida, riassumibile nel tentativo di stabilire un linguaggio comune tra chi svolge ricerca sulla sismogenesi da un lato (Task 1, 2 e 3), e chi cerca di rendere i risultati di tale ricerca direttamente utilizzabili in prodotti di utilità pratica per la società (Task 4). Quindi, la principale fonte di rischio per il conseguimento degli obiettivi globali del progetto non risiede tanto nel conseguimento degli obiettivi dei singoli *task*, ma nella capacità di vincere questa sfida. Ciò premesso, si può osservare quanto segue:

Task 1 – Le attività proposte sono già avviate da tempo e ben sperimentate. Il team di UR che opererà nel Task 1 è competente, ben affiatato e in possesso dei requisiti tecnici necessari. Vi è quindi la certezza che questo *task* svolgerà fino in fondo la sua funzione.

Task 2 – Questo *task* ha obiettivi decisamente ambiziosi perché punta a far emergere nuove conoscenze su aree sismogenetiche della penisola particolarmente "difficili" e poco comprese. Alcune UR opereranno con tecniche abbastanza tradizionali, quindi con una buona probabilità di conseguire risultati praticamente utilizzabili, mentre altre UR propongono approcci innovativi, quantomeno nel settore specifico dell'indagine sismotettonica (ad esempio, le campagne di sismica

offshore nel mar Ionio, l'analisi di dati di sismica industriale per il Tirreno meridionale, le indagini elettromagnetiche della struttura profonda dell'avampaese apulo, l'uso di fluidi anomali come traccianti di strutture tettoniche attive). Proprio in quanto innovativi, alcuni di questi approcci possono dar luogo a risultati inferiori alle aspettative, o possono costringere le UR che li hanno proposti a correzioni di rotta nel corso del progetto.

Task 3 – Questo *task* si fonda in maniera essenziale sull'aumento del numero di dati GPS che si dovrebbe registrare nei prossimi due anni, come risultato sia della progressiva estensione della rete GPS nazionale gestita dall'INGV, sia dell'aumento della capacità di recupero e analisi congiunta di dati relativi a reti locali e/o temporanee. Il livello di rischio della analisi proposte dipende essenzialmente dal verificarsi di queste condizioni. L'obiettivo ultimo del *task* è garantire che i modelli geodinamici che si ricavano dai dati GPS escano dalla scarsa significatività che li caratterizza oggi e, aumentando decisamente la stabilità delle misure e il grado di risoluzione offerti, contribuiscano fattivamente a quantificare lo *strain-rate* che caratterizza le sorgenti e le aree sismogenetiche italiane. Poiché questa strategia viene impiegata per la prima volta in Italia in analisi di pericolosità sismica, è lecito attendersi che vengano fissati nuovi vincoli sulla sismogenesi anche se il potere risolvente dei dati non dovesse aumentare come sperato.

Task 4 – Le UR che concorrono a questo *task* detengono certamente le conoscenze teoriche di base necessarie per proporre uno o più modelli di caratterizzazione della sismogenesi in senso probabilistico. Come si accennava all'inizio, il principale elemento di delicatezza nell'azione di questo *task* sarà l'incisività dell'azione di coordinamento delle diverse UR tra di loro e nei riguardi dei rimanenti partecipanti al progetto. Il raggiungimento di un risultato minimo in termini di assegnazione di probabilità di generare un forte terremoto a sorgenti sismogenetiche individuali e areali non è in discussione, in quanto il progetto è fondato su esperienze-pilota già maturate nei precedenti progetti GNDT. Il successo del *task* si misurerà invece sul grado di consenso che riceverà lo schema operativo prescelto, nonché sulla individuazione di un opportuno metodo di validazione delle probabilità stimate.

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

Task/ UR	Responsabile	Istituzione	Mesi/pers. (cofinanziati)	Mesi/pers. (richiesti)
1.1	Basili	INGV-RM1	36	---
1.2	Gasperini	UniBO	4	0
1.3	Albini	INGV-MI	12	---
2.1a	Brancolini	OGS	20	12
2.1b	Argnani	CNR	20	12
2.2a	Barbano	UniCT	24	48
2.2b	De Martini	INGV-RM1	22	---
2.3	Barchi	UniPG	16	24
2.4	Burrato	INGV-RM1	94	---
2.5	Catalano	UniCT	51	24
2.6	Dogliani	CNR-IGAG	38	24
2.7	Favali	INGV-RM2	18	---
2.8	Galadini	INGV-RM1	40	---
2.9	Italiano	INGV-PA	64	---
2.10	Lavecchia	UniCH	36	24
2.11	Mastronuzzi	UniBA	24	0
2.12	Mucciarelli	UniBas	26	12
2.13	Neri	UniME	20	12
2.14	Pizzi	UniCH	24	24
2.15	Scandone	UniPI	30	0
2.16	Siniscalchi	UniBa	46	12
2.17	Pettenati	OGS	24	0
2.18	Solarino	INGV-CNT	20	---
2.19a	Tinti	UniBO	1	0
2.19b	Piatanesi	INGV-RM1	2	---
2.20	Zuppetta	UniBN	42	12
3.1	Barba	INGV-RM1	16	---
3.2a	Caporali	UniPD	52	24
3.2b	Braitenberg	UniTS	54	12
3.3	Guerra	UniCAL	10	0
3.4	Sepe	INGV-OV	41	---
4.1	Akinci	INGV-RM1	32	---
4.2	Di Giovambattista	INGV-CNT	22	---
4.3	Cinti	INGV-RM1	16	---
4.4	Garavaglia	PolIMI	24	0
4.5	Godano	Uni2NA	22	36
4.6	Mantovani	UniSI	34	24
4.7	Murru	INGV-RM1	22	---
4.8	Peruzza	OGS	31	20
4.9	Rotondi	CNR	13	24
Totali			1143	380

9. Tabella UR e relativi finanziamenti richiesti (I anno, II anno, in Euro)

Task/ UR	Resp.	Personale		Missioni Italia		Missioni estero		Consumi servizi		Inventariabile	
		I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
1.1	Basili	0	0	12000	12000	12000	8000	18000	16000	4000	0
1.2	Gasperini	0	0	3000	3000	0	0	3000	3000	0	0
1.3	Albini	0	0	2000	4000	4000	3000	1200	1200	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
2.2a	Barbano	30000	30000	3000	3000	0	0	5000	7000	0	0
2.2b	De Martini	0	0	5000	5000	3000	3000	7000	5000	0	0
2.3	Barchi	18100	18100	5500	3000	0	0	2200	2000	2000	0
2.4	Burrato	0	0	13000	13000	0	0	9300	5300	3000	0
2.5	Catalano	20000	20000	5000	5000	0	0	5500	7000	3500	0
2.6	Dogliani	9500	9500	6000	10000	0	0	5000	5000	3500	1500
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	1000	5000	4000	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	3000	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	Pettenati	0	9100	5000	1900	0	0	3000	1000	0	0
2.18	Solarino	0	0	8000	8000	0	0	2000	2000	5000	5000
2.19a	Tinti	0	0	1500	1500	0	0	1000	1000	0	0
2.19b	Piatanesi	0	0	1500	1500	0	0	1000	1000	3000	0
2.20	Zuppetta	8000	8000	2000	2000	2000	2000	4000	2000	0	0
3.1	Barba	0	0	2000	2500	5000	5000	0	0	2000	1000
3.2a	Caporali	15000	15000	2500	2500	0	0	1000	1000	0	0
3.2b	Braitenberg	10000	10000	1500	1500	0	0	2000	2000	0	0
3.3	Guerra	0	0	0	0	0	0	15000	0	0	0
3.4	Sepe	0	0	5000	8000	0	0	10000	13000	0	0
4.1	Akinci	0	0	1000	1000	3000	3000	7000	7000	5000	5000
4.2	Di Giovambattista	0	0	2000	2000	5000	5000	5000	6000	3000	2000
4.3	Cinti	0	0	1500	1500	5000	5000	2500	3500	3000	0
4.4	Garavaglia	0	0	4000	6000	4000	4000	4000	8500	5000	0
4.5	Godano	32000	16000	2000	2000	0	0	0	0	0	0
4.6	Mantovani	15000	15000	2000	2000	0	0	3500	3500	3500	3500
4.7	Murru	0	0	2800	2800	3000	3000	5000	7000	2000	0
4.8	Peruzza	10000	8000	12000	12000	4000	5000	7000	5000	0	2000
4.9	Rotondi	19000	19000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	0	0
		267100	249700	201800	211200	57000	53000	210100	199800	58500	20000

Dati complessivi (in migliaia di Euro)

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

Totale (Euro): 1.528.200

INGV: 513.000 (34%)

Altri enti: 1.015.200 (66%)