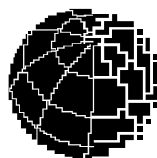


I - 00143 ROMA
Via di Vigna Murata, 605
Tel.: (39) 6 518501
Telex: 625835 GEOROM
Telefax: (39) 6 5041181



**Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia**

PROGETTO INGV-DPC 2004-2006

PROGETTI SISMOLOGICI

*(Attuazione dei progetti di ricerca sismologici
di particolare interesse per il Dipartimento della Protezione Civile
previsti dalla Convenzione 2004-2006 tra DPC e INGV)*

**Allegato 1
al Decreto n. 179 - 18 maggio 2005
del Presidente dell'INGV
Prof. Enzo Boschi**

Indice

Premessa	5
Tabelle finanziarie riassuntive	6
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 <i>coord. Gian Michele Calvi e Massimiliano Stucchi</i>	7
Progetto S2 - Valutazione del potenziale sismogenetico e probabilità dei forti terremoti in Italia <i>coord. Dario Slejko e Gianluca Valensise</i>	21
Progetto S3 - Scenari di scuotimento in aree di interesse prioritario e/o strategico <i>coord. Francesca Pacor e Marco Mucciarelli</i>	39
Progetto S4 - Stima dello scuotimento in tempo reale e quasi-reale per terremoti significativi in territorio nazionale <i>coord. Luca Malagnini e Daniele Spallarossa</i>	57
Progetto S5 - Definizione dell'input sismico sulla base degli spostamenti attesi <i>coord. Ezio Faccioli e Antonio Rovelli</i>	73

Premessa

I progetti che seguono rappresentano l'articolazione dei cinque argomenti che formano l'oggetto dell'allegato tecnico (allegato 1) al punto 5c della convenzione 2004-2006 fra Dipartimento della Protezione Civile (DPC) e Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), approvato nella sua versione finale da DPC nel mese di settembre 2004.

I cinque argomenti sono stati definiti attorno a temi di interesse strategico per il DPC su cui promuovere ricerche finalizzate che possano beneficiare dell'esperienza della comunità scientifica nazionale e delle competenze presenti all'interno dell'INGV, nei settori già interessati dal programma quadro GNDT 2000-2002.

In particolare, il **Progetto S1** rappresenta il completamento del progetto svolto fra 2003 e 2004 per la redazione della mappa di pericolosità sismica di riferimento per l'Ordinanza PCM 3274. Il **Progetto S2**, sviluppando ulteriormente quanto già prodotto dal progetto GNDT "Terremoti probabili...", è dedicato all'approfondimento delle conoscenze sul potenziale sismogenetico e alla definizione della probabilità di occorrenza di forti terremoti nei prossimi decenni. Il **Progetto S3** sviluppa il tema, già sviluppato da alcuni progetti GNDT 2000-2002, della definizione degli scenari di scuotimento e danno attesi a seguito di terremoti medio-forti nelle aree di Gubbio e Potenza, calibrandone i risultati attesi con le osservazioni ottenute da due terremoti recenti (Molise, 2002 e Bresciano, 2004). Il **Progetto S4** sviluppa il tema della definizione rapida di scenari di scuotimento, finalizzati a fornire al DPC uno strumento di avanguardia per la valutazione dei danni attesi e la predisposizione degli interventi. Infine, il **Progetto S5** affronta un tema emergente in ambito ingegneristico, e cioè la definizione dell'input sismico di progetto in termini di spostamento del suolo, a integrazione dei più tradizionali input espressi in termini di accelerazione del suolo.

Con il Decreto 387 (11 novembre 2004) il Presidente dell'INGV, Prof. Enzo Boschi, ha affidato la predisposizione di ciascuno dei cinque progetti a una coppia di responsabili, uno appartenente a INGV e uno a una istituzione esterna. Questa fase si è svolta nel periodo gennaio-marzo 2005 e ha comportato dapprima l'elaborazione da parte delle coppie di responsabili di una formulazione preliminare di ogni progetto. A questa fase è seguita la raccolta, selezione e negoziazione dei contributi da parte delle Unità di Ricerca interessate, sia interne che esterne all'INGV. Nel corso della formulazione dei progetti particolare attenzione è stata rivolta alla definizione di *deliverable* di utilizzo immediato e pratico per DPC, la cui realizzazione verrà comunque sostenuta da ricerca scientifica di alto livello.

I progetti così definiti sono stati sottoposti a una valutazione di tipo speditivo da parte del Collegio di Istituto INGV e da parte di un revisore di chiara fama, non coinvolto nella realizzazione dei progetti stessi. In base alle risultanze di queste valutazioni i progetti sono stati revisionati dai responsabili nel corso del mese di maggio 2005 e sottoposti nuovamente al revisore per una verifica finale.

I progetti iniziano il 1° giugno 2005 e avranno termine il 31 luglio 2007, per una durata totale di 26 mesi suddivisi in due fasi di 13 mesi ciascuna. Subito dopo l'avvio INGV, d'intesa con DPC, completerà il Comitato dei Revisori, come stabilito dall'art. 7 del Decreto INGV 387 (11 novembre 2004). Il mese di giugno 2006 sarà dedicato alla verifica dei risultati conseguiti nella prima fase.

L'insieme dei dieci responsabili forma il Comitato di Gestione dei progetti, del quale Gianluca Valensise è stato nominato coordinatore a partire dal 1 giugno 2005. Sono in corso di definizione le modalità di consultazione e coordinamento con il Committente DPC.

I responsabili dei cinque progetti hanno cercato e ottenuto il massimo coinvolgimento della comunità scientifica italiana. Oltre ai maggiori enti di ricerca (CNR, OGS, oltre allo stesso INGV), collaborano ai progetti il Centro Europeo di Ricerca in Ingegneria Sismica di Pavia (EUCENTRE) e oltre venti atenei distribuiti su tutto il territorio nazionale.

In totale risultano coinvolte 78 Unità di Ricerca e 572 ricercatori, per un totale di 2.711 mesi/persona e una media di 2,4 mesi/persona annui per ricercatore. Il progetto finanzia inoltre 1.059 mesi/persona ad assegnisti, borsisti e dottorandi. Lo schema che segue riassume la forza lavoro complessivamente disponibile:

Progetto	Unità di Ricerca	Unità di Personale	Mesi/persona*	Mesi/persona**
S1	12	57	283	54
S2	40	278	1143	380
S3	11	113	577	306
S4	7	89	582	252
S5	8	35	126	67
Totale	78	572	2711	1059

* non include assegnisti, borsisti e dottorandi finanziati dal progetto

** solo assegnisti, borsisti e dottorandi finanziati dal progetto

Il costo totale dei progetti è di 4.274.330 Euro, così ripartiti per progetto e per voci di spesa:

	Personale		Missioni Italia		Missioni estero		Consumabili e servizi		Materiale durevole		Totale per annualità		Totale generale
	I° anno	II° anno	I° anno	II° anno	I° anno	II° anno	I° anno	II° anno	I° anno	II° anno	I° anno	II° anno	tot
S1	48.000	48.000	39.750	41.250	30.250	33.750	75.000	63.000	57.000	38.000	250.000	224.000	474.000
S2	267.100	249.700	201.800	211.200	57.000	53.000	210.100	199.800	58.500	20.000	794.500	733.700	1.528.200
S3	173.750	156.850	81.600	83.00	25.400	30.500	137.800	98.300	112.300	35.500	530.850	404.150	935.000
S4	138.950	138.750	73.450	56.200	85.500	89.100	132.780	111.800	99.300	60.300	529.980	456.150	986.130
S5	85.400	43.700	24.300	18.300	36.500	23.200	47.300	31.300	28.000	13.000	221.500	129.500	351.000
Tot.	713.200	637.000	420.900	409.950	234.650	229.550	602.980	504.200	355.100	166.800	2.326.830	1.947.500	4.274.330

La ripartizione dei finanziamenti fra gli enti e le voci di spesa è la seguente:

	Personale	Miss. Italia	Miss. estero	Consumabili e servizi	Materiale durevole	Totale	%
INGV	0	340.000	335.000	592.500	206.000	1.473.500	34,5
CNR	110.000	44.000	14.000	18.600	27.400	214.000	5,0
OGS	244.200	155.200	13.000	92.600	63.500	568.500	13,3
Università	985.000	274.650	85.200	368.480	199.000	1.912.330	44,7
Altri	30.000	9.000	17.000	29.000	21.000	106.000	2,5
Totale	1.369.200	822.850	464.200	1.101.180	516.900	4.274.330	100,0
%	32,0	19,3	10,9	25,8	12,1	100,0	

Come si può notare, circa due terzi del finanziamento (per la precisione il 65,5%) sono stati assegnati a Unità di Ricerca esterne a INGV.

Il grande interesse mostrato dalla comunità scientifica per i temi descritti, l'attesa consapevole del Dipartimento per i risultati dei progetti, le novità organizzative introdotte da INGV per una gestione snella ed efficace dei progetti stessi, l'introduzione di un passaggio di valutazione iniziale e di un monitoraggio in corso d'opera, assicurano ai progetti stessi un quadro di riferimento solido e di ottimo auspicio.

Maggio 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**

coordinatori: GianMichele Calvi (EUCENTRE) e Massimiliano Stucchi (INGV-MI)

1. Obiettivo

Questo progetto rappresenta la continuazione di attività che INGV, con alcuni collaboratori esterni, ha intrapreso a favore di DPC a partire dalla seconda metà del 2003 e per tutto il 2004, per la compilazione della mappa di pericolosità sismica denominata MPS04. Per questo motivo il Decreto INGV 387, con riferimento alle modalità di predisposizione dei progetti, recita:

“I progetti S1 e VI, che costituiscono la prosecuzione di attività previste da precedenti convenzioni, proseguono senza la necessità dei predetti adempimenti”

I coordinatori hanno comunque avviato un confronto con gli operatori interessati, che ha visto un momento di discussione in un seminario tenutosi a Milano il 31.01.2005; in seguito hanno valutato i contributi e le proposte ricevute. Da questa fase sono emersi i seguenti obiettivi principali:

- 1) completamento delle elaborazioni relative a MPS04, con riferimento alla valutazione di amax per le isole, per altri periodi di ritorno e per una ordinata spettrale, e sviluppo del sito web per la disseminazione dei materiali del progetto;
- 2) realizzazione di valutazioni di pericolosità sismica in termini di intensità macrosismica, utilizzando sia l'approccio utilizzato per MPS04, sia approcci di sito, ed effettuazione di confronti fra tali valutazioni, MPS04 e dati osservativi;
- 3) contributo alla definizione di priorità di intervento per edifici non adeguati sismicamente, attraverso il pieno utilizzo del potenziale informativo di MPS04 e il confronto con elaborati basati su ipotesi non stazionarie di sismicità, già disponibili o realizzabili in tempi brevi;
- 4) aggiornamento dei database sismologici non altrimenti aggiornati da INGV o da altri enti, con particolare riferimento al database macrosismico e ai prodotti correlati (catalogo parametrico e stime di completezza, ecc.).

In aggiunta, utilizzando principalmente i risultati conseguiti ai punti precedenti, il progetto intende formulare *suggerimenti e contributi* per: a) la gestione delle fasce di tolleranza previste dall'Ordinanza e dei valori di incertezza associati alle stime di amax, anche in relazione ai confronti di cui all'obiettivo 2); b) l'aggiornamento delle azioni di progetto delle norme sismiche; c) la definizione degli input per il progetto S5; d) l'eventuale aggiornamento di MPS04.

Il progetto, viceversa, non intende perseguire obiettivi quali:

- i) la realizzazione di confronti fra MPS04 e altre valutazioni di amax, basate sull'utilizzo di elementi di input e codici di calcolo diversi da quelli usati per MPS04. L'Ordinanza 3274 richiede infatti esplicitamente che tali confronti vengano eseguiti da soggetti *non* coinvolti nella redazione degli elaborati;
- ii) la predisposizione di database complessi, da mettere a disposizione dell'utenza, risultanti ad esempio dal confronto/validazione di documenti di pericolosità sismica di affidabilità comparabile, dalla selezione di accelerogrammi specifici, ecc., in quanto ritiene che tali attività competano eventualmente a DPC, mediante USSN.

E' necessario sottolineare che il progetto è stato dimensionato sugli obiettivi descritti, alcuni dei quali, peraltro, rappresentano aggiunte rispetto a quanto previsto dall'allegato tecnico alla convenzione INGV-DPC, cui si rimanda.

La valutazione speditiva preliminare ha suggerito alcune integrazioni che, per quanto onerose, il progetto cercherà di soddisfare, d'intesa con il Committente e, in alcuni casi, nel secondo anno di attività.

E' stata suggerita inoltre l'estensione del progetto ad altri obiettivi, quali ad esempio la redazione di mappe basate su modelli non stazionari della sismicità. Mentre non si può che concordare sulla opportunità che gli enti di ricerca sviluppino questo settore di ricerca, si ritiene comunque

opportuno sottolineare che non è automatico, né indispensabile, che tali sviluppi avvengano nell'ambito di una convenzione con DPC; tanto meno nell'ambito di questa convenzione che non lo richiede e le cui risorse non sarebbero comunque sufficienti.

In definitiva il progetto ritiene di concentrare sforzi e risorse per rispondere al meglio alle reali esigenze del Committente, e di ricercare altre sedi e altri finanziamenti per lo sviluppo di ricerche di avanguardia ma i cui risultati non siano direttamente utilizzabili da parte del Committente stesso.

Il progetto propone comunque che il tema degli sviluppi metodologici venga affrontato nell'ambito del punto d) dei *suggerimenti e contributi* citati più sopra avviando, a partire dal secondo anno, un gruppo di lavoro, aperto anche alla partecipazione di ricercatori designati dal progetto S2, con il compito di proporre iniziative future.

2. Stato dell'arte

2.1 Contesto di utilizzo di MPS04. Nel corso del 2004 INGV ha consegnato a DPC, previa approvazione da parte di un gruppo di revisori e della Commissione Grandi Rischi, la mappa di pericolosità sismica MPS04, redatta ai sensi della Ordinanza 3274 quale riferimento ufficiale per l'assegnazione dei Comuni alle zone sismiche da parte delle Regioni. L'adozione di MPS04 è in corso di effettuazione da parte di DPC.

I valori puntuali di MPS04, la descrizione delle procedure e delle elaborazioni, i materiali di base utilizzati, ecc., sono stati resi disponibili al pubblico, per la prima volta in Italia per questo tipo di analisi, all'indirizzo internet <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>; il sito vede un accesso costante da parte di un'utenza diversificata.

Vale la pena di ricordare ancora una volta che il problema della definizione delle zone sismiche è passato negli ultimi anni sotto le competenze delle Regioni. Per quanto riguarda le competenze di DPC, il suo compito principale può dirsi praticamente esaurito con:

- a) la definizione dei criteri secondo i quali vanno redatte le mappe di pericolosità sismica a supporto della definizione delle zone sismiche, di competenza delle Regioni, criteri che stabiliscono anche le modalità con cui deve avvenire il confronto fra elaborazioni diverse, quando disponibili;
- b) la messa a disposizione delle stesse Regioni dell'elaborato di riferimento MPS04 e del suo corredo informativo.

Si può ipotizzare che a DPC venga richiesto di esercitare, nei confronti delle Regioni, attività di: i) assistenza per la gestione di MPS04; ii) "vigilanza" sul rispetto dei suddetti criteri.

Nel corso degli ultimi anni sono state prodotte, per finalità e in contesti diversi, varie valutazioni di pericolosità sismica, basate su approcci in parte simili, in parte diversi da quelli utilizzati per MPS04. In generale, tali elaborazioni si riferiscono a porzioni limitate di territorio: si vedano – tra gli altri - i risultati dei progetti GNDT, recentemente conclusi, relativi alle aree di Vittorio Veneto, Liguria Occidentale, Città di Castello ecc. Altre valutazioni sono in corso di elaborazione a cura delle Regioni. Mentre l'Ordinanza esclude la possibilità che INGV – quale redattore di MPS04 - si faccia carico di eventuali confronti, DPC potrebbe essere chiamato a svolgere tale ruolo.

E' interessante notare, inoltre, che la disponibilità di valori puntuali di amax di MPS04 stimola in modo crescente i progettisti a fare diretto riferimento ai predetti valori, nell'ambito delle tolleranze concesse dalle norme sismiche dell'Ordinanza. E' quindi ipotizzabile che DPC promuova un'attività di assistenza diretta ai progettisti, attraverso la messa a disposizione di: a) valutazioni complementari a quelle di MPS04 (obiettivo 1 del progetto); b) dati accelerometrici, ecc;

L'insieme di queste esigenze potrebbe richiedere un'attività complessa di trasferimento, che dovrebbe rappresentare uno dei compiti istituzionali e più qualificanti dell'apposito ufficio DPC (USSN). In questa prospettiva questo progetto è pronto a collaborare con DPC, nel rispetto dei reciproci ruoli, anche mediante il trasferimento dell'intero archivio di MPS04 e degli aggiornamenti che verranno conseguiti nel corso dello sviluppo del progetto stesso.

2.2 Il problema della "validazione". Il problema della valutazione della qualità/affidabilità di un elaborato di pericolosità sismica passa in primo luogo attraverso un'analisi "interna" di coerenza, robustezza e livello di aggiornamento dei dati e delle metodologie utilizzate; sotto questo aspetto pregi e limiti di MPS04 sono ampiamente noti e ben descritti nelle valutazioni dei revisori.

E' comunque evidente che scelte di tipo diverso in materia di dati di ingresso e di metodologie di calcolo avrebbero potuto portare a risultati differenti; tuttavia, non sono ancora disponibili procedure accettate che consentano di stabilire quali elaborazioni siano "migliori" di altre.

Il problema della definizione della qualità relativa di stime diverse di pericolosità sismica deve infatti essere affrontato con procedure compatibili con il carattere intrinsecamente probabilistico delle stime stesse. Nonostante esista sull'argomento una vasta letteratura (es., Lindley, 1987; Lind, 1996; Whinkler, 1996), a parte poche eccezioni (Grandori, 1993; Kagan e Jackson, 1994; Jackson, 1996; Grandori et al., 1998, 2004; Albarello e D'Amico, 2000; Albarello e Mucciarelli, 2003) il problema non ha ancora trovato molta eco nella letteratura sismologica.

Anche per questi motivi in questo progetto non si ritiene utile – come ricordato più sopra - operare confronti con elaborazioni "simili" a MPS04, basate su relazioni di attenuazione di parametri strumentali del moto del suolo.

Si intende viceversa promuovere confronti con elaborazioni che utilizzino al meglio la grande base informativa disponibile in termini di intensità macrosismica messa a disposizione dalle ricerche di sismologia storica prodotte negli ultimi anni (Monachesi et al., 1997; Boschi et al. 2000, ecc.).

Questi confronti richiedono la redazione di mappe di pericolosità sismica in termini di intensità macrosismica con diversa probabilità di eccedenza in 50 anni che potranno essere redatte secondo due approcci diversi:

- a) con procedure analoghe a quelle utilizzate per la redazione di MPS04, utilizzando il medesimo impianto e leggi di attenuazione dell'intensità opportunamente calibrate;
- b) con metodologie basate sull'impiego delle storie sismiche di sito (Magri et al., 1994; Albarello e Mucciarelli, 2002; Albarello et al., 2002, ecc.).

In questa fase risulterà opportuno aggiornare al meglio le correlazioni oggi disponibili fra i parametri di scuotimento, con particolare riferimento alle correlazioni a_{max}/I e v_{max}/I .

2.3 Il problema della priorità di intervento sugli edifici esistenti. L'introduzione della normativa sismica prevista dall'Ordinanza e la disponibilità di MPS04 comporta che, qualora si proceda alla valutazione della sicurezza sismica di edifici, ci si riferisca a valori di a_{max} o a spettri di accelerazione con forma spettrale data dalle norme e magnitudo coerente con a_{max} . In sintonia con le più avanzate normative sismiche, l'Ordinanza definisce le condizioni limite per l'adeguamento come: il soddisfacimento della sicurezza per le vite umane per uno scuotimento caratterizzato da una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (stato limite di danno severo, SLDS) e/o la prevenzione nei confronti del collasso per uno scuotimento caratterizzato da una probabilità di eccedenza del 2% in 50 anni (stato limite di collasso SLCO), oltre alla prevenzione nei confronti di danni strutturali per uno scuotimento caratterizzato da una probabilità di eccedenza del 50% in 50 anni (stato limite di danno limitato, SLDL).

Per rispondere a queste esigenze è opportuno: i) esplorare la dipendenza alla scala regionale della

accelerazione di picco dal periodo di ritorno; ii) considerare la sismicità recente in relazione all'andamento di lungo termine e disporre di valutazioni probabilistiche di occorrenza a breve termine. Per questo scopo è opportuno disporre di informazioni, sia pure preliminari, provenienti da modelli non stazionari di sismicità. Una fase preliminare di questa ricerca è stata avviata da Eucentre.

2.4 L'aggiornamento dei database sismologici. Questo obiettivo non rientra fra quelli strettamente definiti dalla convenzione INGV-DPC; esso rappresenta tuttavia un complemento utile, e in alcuni casi indispensabile, per la realizzazione di valutazioni di pericolosità sismica aggiornate. Ad esempio, è ovvio che per il conseguimento dell'obiettivo 2) sarebbe opportuno disporre di dati osservati il più aggiornati possibile.

Per quanto riguarda i dati macrosismici, la base di dati (DBM04, DataBase Macrosismico 04) che sostiene il catalogo parametrico CPTI04 viene resa disponibile in questi giorni.

Tuttavia, nel corso della compilazione di CPTI04 è stata anche esplorata - parzialmente - la notevole produzione recente di dati macrosismici, che non è confluita nel catalogo stesso per ragioni di tempo. Risulterà quindi utile aggiornare il database e provvedere alla compilazione di una nuova versione del catalogo CPTI, migliorando anche le procedure per la stima dei parametri dei terremoti, con particolare riferimento alle magnitudo.

Analogamente, sarebbe opportuno migliorare le stime di completezza di CPTI04, ottenute per ogni ZS di ZS9 su base sia storica che statistica, e in particolare: i) ottenere stime di completezza di sito almeno per un'ulteriore ventina di città, opportunamente distribuite, in modo da raddoppiare il numero di località di calibrazione oggi disponibili; ii) procedere a una revisione delle stime basate sull'approccio statistico.

Per quanto riguarda i dati accelerometrici, è ben nota la difficoltà di fare riferimento ad una banca dati aggiornata, completa, autorevole e pubblica. Poiché questo compito è attualmente di competenza di USSN, è necessario che il problema venga affrontato a livello di vertici INGV/DPC.

3. Descrizione del progetto

Task 1 - Completamento delle elaborazioni relative a MPS04

Obiettivi di questo task sono:

- i) completare le elaborazioni relative a MPS04, con particolare riferimento alla valutazione di amax per le isole per le quali l'approccio utilizzato per MPS04 non è risultato praticabile;
- ii) realizzare una serie di valutazioni complementari a MPS04, utilizzandone lo stesso impianto metodologico;
- iii) eseguire una serie di verifiche e controlli allo scopo di meglio quantificare i contributi delle incertezze aleatoria e epistemica
- iv) produrre valutazioni sperimentali di pericolosità sismica calibrate per le condizioni locali
- v) ampliare e potenziare il sito web per la disseminazione dei risultati del progetto.

i) Il modello di zonazione sismogenetica ZS9 non rappresenta completamente le caratteristiche cinematiche a cui ricondurre la sismicità di molte delle isole e, pertanto, non consente di valutarne correttamente la pericolosità sismica. Si dovrà pertanto ricorrere a metodologie particolareggiate che saranno individuate caso per caso. Ad esempio, per le isole di Ustica, Alicudi e Filicudi verrà utilizzata la ZS F (zona offshore del Basso Tirreno) non utilizzata per le valutazioni di amax relative alla Sicilia settentrionale; in altri casi si delimiteranno piccole zone sorgente da

caratterizzare con la sismicità recente strumentale, e così via. Ove possibile si eseguiranno confronti preliminari con i dati di intensità disponibili per le isole stesse.

ii) La mappa MPS04, come previsto dall'Ordinanza 3274, rappresenta il valore di a_{max} atteso con la probabilità di superamento del 10% in 50 anni, corrispondente a un periodo di ritorno di 475 anni. Si prevede di completare la descrizione della pericolosità sismica in Italia con la realizzazione delle seguenti ulteriori uscite: a) valutazione di a_{max} con le seguenti probabilità di superamento in 50 anni: 81, 63, 50, 39, 22, 5, 2, rispettivamente corrispondenti ai periodi di ritorno di 30, 50, 72, 100, 200, 475, 1000 e 2500 anni; b) valutazione del valore della ordinata spettrale a 1sec. e, eventualmente, ad altri periodi di interesse ingegneristico.

Nel corso del secondo anno verrà studiata la fattibilità di: (1) valutare la pericolosità sismica anche per periodi di ritorno di 5.000 e 10.000 anni, allo scopo di evidenziare incongruenze non facilmente identificabili per periodi più corti; (2) e di valutare il massimo moto aspettato (es. A_{max} o V_{max}) su tutto il territorio nazionale, con particolare riguardo ai lunghi periodi di ritorno (1.000-10.000 anni). Per questi obiettivi – in collaborazione con il progetto S5 - verrà considerata la possibilità di introdurre leggi di attenuazione non-lineari per accelerazioni elevate.

iii) A titolo sperimentale - e per limitate porzioni del territorio - verranno eseguite valutazioni della pericolosità prendendo in considerazione diverse leggi di attenuazione, modelli alternativi di sorgenti sismiche, di M_{max} e di valutazione della completezza, con la definizione di un albero logico più complesso di quanto non utilizzato da MPS04, allo scopo di meglio quantificare i contributi delle incertezze aleatorie e epistemiche.

iv) Il Progetto GNDT "Terremoti probabili..." ha elaborato la mappa di riferimento tipo NEHRP per il territorio nazionale. Verranno elaborate mappe di pericolosità sismica e di spettri di risposta locali (damping 5%) per il territorio nazionale, allo scopo di fornire uno strumento di grande importanza per la valutazione di scenari di rischio per tutto il territorio nazionale, e un prodotto di immediato utilizzo per varie applicazioni locali. Tali mappe, in aggiunta, consentiranno di verificare l'effettiva corrispondenza statistica degli spettri per varie categorie di suolo definiti nella nuova norma di costruzione antisismica (transitoria per EuroCodice8), con gli spettri calcolati per la cartografia nazionale, verifica che non è stata possibile sino ad oggi.

v) Al fine di rendere velocemente e facilmente disponibili i risultati di valutazioni di pericolosità sismica ad un vasto pubblico che comprende comunità scientifica, progettisti e pianificatori, verrà sviluppato e potenziato il sito zonesismiche.mi.ingv.it, che ha svolto un ruolo importante nel corso della redazione di MPS04. Una parte rilevante di attività sarà dedicata allo sviluppo dell'interfaccia webgis per la pubblicazione delle mappe e la loro consultazione interattiva; in modo tale che il singolo utente potrà interrogare, zoommare, selezionare i dati e salvarli sul proprio computer. Saranno rese disponibili così le mappe di a_{max} per diversi periodi di ritorno in termini di 50mo percentile e relative incertezze; le curve di hazard di singoli siti, attivabili selezionando il singolo nodo della griglia di calcolo o il capoluogo comunale; mappe di disaggregazione secondo rappresentazioni standard, ecc. Tutti i dati e le elaborazioni saranno posti su una base geografica e amministrativa di riferimento che consenta una rapida localizzazione dei siti rappresentati in modo da essere un supporto anche per le amministrazioni regionali in fase di recepimento dell'Ordinanza PCM 3274.

Task 2 - Realizzazione di valutazioni di pericolosità sismica in termini di intensità macrosismica ed effettuazione di confronti fra MPS04 e le tali valutazioni

Come ricordato più sopra, per la redazione di MPS04 sono state considerate alcune relazioni di attenuazione di soli parametri strumentali del moto del suolo. Tale scelta, considerata come

standard dalla maggior parte delle procedure del settore, incontra i ben noti limiti derivanti dalla limitata estensione cronologica dei dataset utilizzati per la calibrazione delle relazioni stesse.

Un altro limite, spesso trascurato ma non per questo meno significativo, è costituito dal fatto che molto spesso i parametri dei terremoti utilizzati per la predetta calibrazione provengono da fonti diverse da quelle utilizzate per calcolare i tassi di sismicità, introducendo notevoli elementi di incoerenza nell'intero processo di valutazione della pericolosità sismica.

La disponibilità dei dati macrosismici italiani, che coprono un ampio intervallo cronologico, rende possibile progettare un'operazione di valutazione della pericolosità sismica in termini di intensità macrosismica del tutto coerente al suo interno, articolata in due percorsi:

- a) valutazione di I con varie probabilità di eccedenza in 50 anni, utilizzando lo stesso impianto metodologico di MPS04 e relazioni di attenuazione opportunamente calibrate, considerando anche relazioni regionalizzate dedotte da indagini tomografiche (Carletti et al., 2003);
- b) valutazione di I con varie probabilità di eccedenza in 50 anni, utilizzando metodi di sito con: i) soli dati di sito originali; ii) dati di sito integrati da dati "virtuali", dedotti da dati epicentrali (distanza dall'epicentro macrosismico e intensità epicentrale) o dai valori di intensità documentati in località vicine.

Per effettuare entrambi i percorsi è necessario disporre di relazioni di attenuazione dell'intensità macrosismica calibrate per via empirica, parametrizzate nella loro forma probabilistica completa (Magri et al., 1994; Cella et al., 1996; Zonno et al. 1995; Gasperini, 2001; Albarello e D'Amico, 2004; Rotondi e Zonno, 2004). I dati virtuali citati più sopra possono essere dedotti anche dai valori di intensità osservati in località limitrofe (entro un raggio ΔR) in corrispondenza dello stesso evento, ad esempio prendendo in considerazione il concetto dei Vicini Naturali (Natural Neighbour) o del Nearest Neighbour (Okabe et al., 2000).

Per rendere le elaborazioni così ottenute confrontabili con MPS04 occorre utilizzare – o al limite determinare ex-novo - opportune relazioni empiriche (possibilmente espresse in forma di distribuzioni di probabilità) che mettano in relazione i valori di intensità con quelli degli stimatori strumentali negli stessi siti (es. Margottini et al., 1992; Atkinson e Sonley, 2000). A questo punto sarà possibile applicare procedure che permettano di definire la qualità relativa delle stime e la loro validità in rapporto alle osservazioni disponibili (es. Albarello e D'Amico, 2000; Albarello e Mucciarelli, 2003). Elemento essenziale di queste procedure sarà la definizione di un quadro di osservabili congruente con il carattere della valutazione di pericolosità (amax o intensità) e di un periodo di controllo (voting) di dimensioni compatibili con l'intervallo di esposizione di volta in volta considerato (decine di anni). Sia confronti "in avanti" (utilizzando come controllo un intervallo di tempo non considerato per la parametrizzazione del modello di calcolo) sia "all'indietro" (utilizzando come controllo un intervallo di tempo considerato per la parametrizzazione del modello di calcolo) possono fornire utili indicazioni.

Task 3 - Contributo alla definizione di priorità di intervento per edifici non adeguati sismicamente

Questo task – a carattere sperimentale e "di servizio" – non è previsto dall'Allegato Tecnico alla convenzione. Esso è scaturito dalla volontà del progetto di rispondere ad una esigenza specifica - e non rinviabile - del DPC: la definizione della priorità di intervento su edifici di importanza strategica non adeguati sismicamente. Il progetto ha chiaro che non è disponibile nè un elaborato direttamente utilizzabile, nè una metodologia consolidata; tuttavia, dato il carattere di urgenza dell'esigenza DPC e avendo chiaro che questo task cercherà di fornire elementi utili:

- a) utilizzando il massimo della informazione estraibile dalle elaborazioni basate su modelli

stazionari della sismicità, con particolare riferimento a MPS04;

- b) eseguendo confronti fra le informazioni così ottenute e elaborazioni, già disponibili o ottenibili in modo speditivo, basate sull'utilizzo di modelli di sismicità non stazionari.

In primo luogo si procederà a esaminare, per tutti i siti di interesse, le similitudini e le differenze fra le curve di pericolosità sismica. Parallelamente verranno realizzati scenari sismici, in termini di coppie magnitudo-distanza, calcolati mediante un processo di disaggregazione a partire da MPS04. Come è ovvio la coppia magnitudo-distanza che fornisce il massimo contributo alla pericolosità sismica per ogni sito cambia a seconda del periodo di ritorno considerato, tipicamente 30 o 50 anni. La disaggregazione consente di ottenere un'immagine approssimata delle aree che più contribuiscono alla pericolosità sismica nell'intervallo di tempo di interesse.

Il limite di questa procedura è identificabile nel carattere "time-independent" che caratterizza la valutazione della pericolosità sismica MPS04. Tuttavia, il suo principale pregio consiste nella capacità di ottenere in modo speditivo e relativamente semplice un risultato che può essere confrontato con elaborati più complessi basati sull'utilizzo di modelli di sismicità non stazionari. Fra questi, occupano un posto di rilievo gli elaborati prodotti dal Progetto GNDT 2000-2002 "Terremoti probabili...", (coord. da A. Amato e G. Selvaggi), formulati in termini sia di probabilità di occorrenza di terremoti, sia di amax con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

Altri elaborati di confronto, finalizzati ad ottenere in modo speditivo valutazioni probabilistiche di occorrenza a breve termine, potranno essere ottenuti dall'utilizzo della metodologia di analisi non parametrica proposta da Faenza et al., 2003; Cinti et al., 2004. Rispetto ai numerosi approcci statistici tradizionali, la particolarità del metodo risiede nella possibilità di verificare direttamente le ipotesi di distribuzione dei terremoti, non imponendo a priori alcuna legge temporale specifica (per esempio, gap sismico, cluster, Poisson, ecc.), e nel considerare parametri geofisici/geologici che potrebbero influenzare la distribuzione spazio-temporale della sismicità ed allo stesso tempo valutarne l'importanza. Applicazioni recenti hanno utilizzato i terremoti con M 5.5+ avvenuti negli ultimi 400 anni distribuiti su una griglia spaziale regolare (Faenza et al., 2003) e su una regionalizzazione basata sui diversi regimi tettonici e caratteristiche sismologiche (Cinti et al., 2004). In particolare si intende sperimentare questa metodologia utilizzando altre regionalizzazioni, fra cui ZS9, e utilizzare diverse soglie di completezza temporale del catalogo sismico in funzione del grado di conoscenza della storia sismica delle varie aree considerate.

Questo task, che potrà giovare di un coordinamento con il progetto S2, si esaurirà entro la metà del progetto; in alternativa potrebbe continuare se le esigenze di DPC lo richiederanno.

Task 4 - Aggiornamento dei database sismologici

Come ricordato, questo obiettivo non fa parte dell'allegato tecnico alla convenzione INGV-DPC. Tuttavia l'aggiornamento dei dati di base è da considerarsi quale obiettivo strategico per il conseguimento di numerosi obiettivi, di questo progetto così come di altri di cui alla stessa convenzione. Obiettivi di questo task sono pertanto:

- a) l'aggiornamento del database macrosismico DBM04 con il rilascio della versione DBM06;
- b) la compilazione della versione CPTI06 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani;
- c) l'aggiornamento delle valutazioni di completezza del catalogo per vari livelli di Mw.

Per quanto riguarda il database macrosismico, esso verrà integrato con gli studi più recenti inventariati nel corso della compilazione di CPTI04, ed essenzialmente: a) la versione 3 del Catalogo dei Forti Terremoti Italiani (CFTI3, Boschi et al., 2000); b) il database francese SISFRANCE (SisFrance, 2002); c) il database svizzero ECOS (Swiss Seismological Service,

2002); d) studi monografici sulla sismicità di Catania e Bologna (Boschi e Guidoboni, 2001; 2003); e) studi di terremoti realizzati dalla società SGA per INGV relativamente al Molise e all'Italia settentrionale; f) studi di terremoti relativi ad aree (Sicilia orientale, Basilicata, Veneto settentrionale, Bassa Padana) o singoli eventi di particolare interesse realizzati da ricercatori INGV (sezioni di Milano e Catania) e SSN (Molin et al., 1999; Galli et al., 2002); g) altri studi storico-macrosismici disponibili in letteratura; h) rilievi macrosismici di terremoti recenti; i) bollettini strumentali e macrosismici INGV per il periodo 1993-2005.

Il catalogo parametrico CPTI verrà aggiornato secondo due modalità:

- (1) Dapprima verrà prodotta una versione compilata con gli stessi criteri di CPTI04, aggiornata nella base di dati che sostiene i parametri dei terremoti utilizzando i nuovi dati citati al punto precedente. Nell'occasione verranno eseguiti anche confronti con altri cataloghi strumentali, quali ad esempio il recente catalogo CSI e i cataloghi ISC e NEIC, allo scopo di migliorare il contenuto riguardante le zone di confine; verranno inoltre aggiornate le modalità di determinazione di alcuni tipi di magnitudo.
- (2) Parallelamente si verificherà la possibilità di compilare un catalogo di nuova impostazione, con particolare riferimento ai seguenti problemi: i) *formato*, per includere - ad es. - la possibilità di doppie localizzazioni (macrosismica e strumentale; ii) *inclusione delle repliche*, al di sopra di una soglia definita, determinando i parametri per tutte le repliche per le quali siano disponibili dati di base, e attivando indagini ad hoc per quelle che ne risultano sprovviste. Nell'occasione verranno riesaminate alcune situazioni complesse, riguardanti alcuni eventi rimossi in modo automatico, quali presunte repliche, nel processo di revisione del catalogo PFG.

Le valutazioni di completezza per la compilazione di MPS04 sono state effettuate estendendo alle ZS i dati puntuali determinati con approcci sia storici che statistici. Si intende in questo progetto aumentare il numero dei punti oggetto di indagine storica, applicando e possibilmente aggiornando la metodologia speditiva utilizzata in precedenza. Parallelamente, le valutazioni di tipo statistico verranno effettuate su una maglia più fitta di località e aggiornate alla versione più recente del catalogo parametrico. Particolare attenzione verrà riservata al problema della definizione dell'incertezza delle stime effettuate con entrambi gli approcci.

Ulteriori risultati e suggerimenti

In aggiunta ai risultati previsti dai task descritti in precedenza, il progetto si propone di contribuire:

- a) alla gestione delle fasce di tolleranza previste dall'Ordinanza 3274 e dei valori di incertezza associati alle stime di amax di MPS04, attraverso i risultati conseguiti nell'ambito di Task 2, che offriranno elementi indipendenti per supportare le scelte di competenza delle Regioni;
- b) all'aggiornamento delle azioni di progetto delle norme sismiche, ad esempio tramite il confronto fra i valori spettrali previsti dalle norme e quelli ottenuti da elaborazioni del materiale di MPS04 (es.: spettri a pericolosità uniforme);
- c) alla formulazione di suggerimenti per l'eventuale aggiornamento di MPS04.

Infine, il progetto S1 fornirà al progetto S5 gli elementi di input più aggiornati per la realizzazione delle mappe previste da quel progetto, e contribuirà attivamente alla redazione delle mappe stesse.

4. Deliverable attesi

	Task1	1a scad.	2a scad.
D1	valutazione standard (10%, 475 anni) di amax (16mo, 50mo e 84mo percentile) per le isole rimaste escluse nella fase di redazione di MPS04	sett. 05	lug. 07
D2	valutazione di amax (16mo, 50mo e 84mo percentile) con le seguenti probabilità di superamento in 50 anni: 81%, 63%, 50%, 39%, 22%, 5%, 2%, rispettivamente corrispondenti ai periodi di ritorno di 30, 50, 72, 100, 200, 475, 1000 e 2500 anni	sett. 05	lug. 07
D3	valutazione del valore della ordinata spettrale a 1sec e ad altri periodi di interesse ingegneristico	ott. 05	lug. 07
D4	valutazioni sperimentali di amax corrispondenti a periodi di ritorno di 5000 e 10000 anni	dic. 06	lug. 07
D5	valutazioni sperimentali di amax provenienti da un albero logico più complesso di quello adottato per la redazione di MPS04	dic. 06	lug. 07
D6	valutazioni sperimentali di amax e di spettri di risposta calibrate per le condizioni locali (mappe tipo NEHRP)	dic. 06	lug. 07
D7	ampliamento del sito web per la disseminazione dei dati del progetto	sett. 05	lug. 07
	Task2		
D8	mappe di pericolosità sismica in termini di intensità macrosismica, con varie probabilità di eccedenza in 50 anni, utilizzando lo stesso impianto metodologico di MPS04	dic. 05	
D9	idem, utilizzando metodi di sito	apr. 06	
D10	nuova formulazione delle procedure per la stima dell'intensità macrosismica da dati epicentrali o da risentimenti in zone vicine	apr. 06	
D11	aggiornamento delle relazioni amax/I e vmax/I	lug. 06	lug. 07
D12	codice per il calcolo della pericolosità sismica da dati di sito (shareware)		
D13	procedure per la valutazione comparativa di stime di pericolosità anche in rapporto agli osservabili disponibili	lug. 06	
	Task3		
D14	disaggregazione dei dati di MPS04 in termini di M-D	dic. 05	
D15	valutazioni sperimentali di probabilità di occorrenza dei terremoti utilizzando metodologie non parametriche applicate a zonazioni diverse	lug. 06	
D16	strumenti speditivi per la definizione di priorità di intervento per edifici non adeguati	lug. 06	lug. 07
	Task4		
D17	versione aggiornata 2006 del database macrosismico (DBM06)	lug. 06	lug. 07
D18	versione aggiornata 2006 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI06)	lug. 06	lug. 07
D19	versione aggiornata delle stime di completezza del catalogo	lug. 06	
	Ulteriori risultati		
D20	suggerimenti per la gestione delle fasce di tolleranza di MPS04	ott. 05	
D21	suggerimenti per l'adeguamento delle azioni sismiche di progetto delle norme	dic. 05	
D22	suggerimenti per l'eventuale aggiornamento di MPS04		lug. 07
D23	trasferimento al progetto S5 degli elementi di ingresso sismologici più aggiornati e collaborazione per la redazione delle relative mappe.	lug. 06	

5. Fattori di rischio di mancato completamento attività

Task1 e deliverable collegati. Non esistono problemi per la produzione dei *deliverable* 1, 2, 3, 7. Se il catalogo CPTI06 verrà prodotto entro il primo anno del progetto, sarà possibile tentare un aggiornamento degli elaborati utilizzando il catalogo stesso.

I *deliverable* n. 4, 5, 6 sono collegati a attività fortemente sperimentali, aggiunte su richiesta del revisore. Il loro conseguimento può risultare oneroso; risultati sono assicurati soltanto per gli aspetti metodologici.

Task2 e deliverable collegati. Tutti i *deliverable* (8-13) non presentano elementi di rischio, nel senso che verranno comunque realizzati utilizzando quanto di meglio disponibile. Uno degli aspetti centrali è la determinazione di una legge di attenuazione della intensità affidabile e calibrata sui dati italiani. La redazione delle mappe verrà comunque impostata a prescindere, facendo uso eventualmente del materiale già esistente. Analoghe considerazioni valgono per la possibilità di calibrare le leggi di attenuazione sul nuovo database delle intensità.

Task3 e deliverable collegati. Gli estensori del progetto sono consapevoli della perfettibilità metodologica della proposta e dell'elevato rischio associato al *deliverable* 16. Si sottolinea comunque che, in considerazione di questi aspetti, le risorse allocate sono modeste. I *deliverable* 14 e 15 non presentano problemi.

Task4 e deliverable collegati. Alcuni elementi per la compilazione di DBM06 e CPTI06 sono già stati predisposti nella fase di redazione di MPS04. In generale la realizzazione dei *deliverable* 17-19 non presenta problemi.

Ulteriori risultati. I *deliverables* 20-23 non presentano problemi.

Si sottolinea che i fondi richiesti non sembrano elevati e che per il conseguimento dei risultati attesi verranno utilizzate risorse proprie degli enti partecipanti – in primo luogo INGV – al di là delle quote standard di cofinanziamento, con particolare riferimento al settore di Task 4.

6. Validazione

Come proseguimento di un progetto in corso, parte del progetto – e segnatamente Task2 – rappresenta una attività di validazione, di carattere fortemente innovativo - dei risultati conseguiti in precedenza (MPS04).

7. Riferimenti bibliografici

- Albarelo D. e D'Amico, 2000. La validità delle stime di pericolosità sismica in Italia. XIX Convegno Nazionale GNGTS, Roma, Novembre 2000.
- Albarelo D. e Mucciarelli M., 2002. Seismic hazard estimates from ill-defined macroseismic data at a site. *Pure Appl. Geophys.*, 159, 6, 1289-1304.
- Albarelo D. e Mucciarelli M., 2003. Seismic hazard assessment and site effects evaluation at regional scale. In Mulargia F. and Geller R.J. (eds.), "Earthquake science and seismic risk reduction. NATO Science Series IV, Kluwer, 148-158.
- Albarelo D. e D'Amico V., 2004. Attenuation relationship of macroseismic intensity in Italy for probabilistic seismic hazard assessment. *Boll.Geofis.Teor.Appl.*, 45, 4, 271-284.
- Atkinson G.M. and Sonley E., 2000. Empirical relationships between Modified Mercalli Intensity and response spectra. *Bull.Seism.Soc.Am.*, 90, 2, 537-544.
- Boschi E. e Guidoboni E., 2001. Catania terremoti e lave dal mondo antico alla fine del Novecento. INGV-SGA, Bologna, 414 pp.

- Boschi E. e Guidoboni E., 2003. I terremoti a Bologna e nel suo territorio dal XII al XX secolo. INGV-SGA. Bologna, 598 pp.
- Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Valensise G. and Gasperini P., 2000. Catalogue of strong Italian earthquakes form 461 B.C. to 1997. INGV-SGA, CD-ROM.
- Carletti F. e Gasperini P., 2003. Lateral variations of macroseismic intensity attenuation in Italy, *Geophys. J. Int.*, 155, 839-856.
- Cella, F., Zonno, G. and Meroni, F., 1996. Parameters estimation of intensity decay relationships. *Annals of Geophysics*, XXXIX, 5, 1095-1113.
- Cinti F.R., Faenza L., Marzocchi W. e Montone P., 2004. Probability map of the next $M > 5.5$ earthquakes in Italy. *G-cubed*, 5, 11, doi:10.1029/2004GC000724.
- Cornell C.A., 1968. Engineering seismic risk analysis. *Bull.Seism.Soc.Am.*, 58, 1583-1606.
- Faenza L., Marzocchi W. e Boschi E., 2003. A nonparametric hazard model to characterize the spatio-temporal occurrence of large earthquakes: an application to the Italian catalogue. *Geophys. J. Int.*, 155(2), 521-531.
- Galli P., Molin D., Galadini F. e Giaccio B., 2002. Aspetti sismotettonici del terremoto irpino del 1930. In: Castenetto S. e Sebastiano M. (eds.), Il "terremoto del Vulture" 23 luglio 1930 VIII dell'Era fascista. SSN, Roma, 217-262.
- Gasperini P., 2001. The attenuation of seismic intensity in Italy: a bilinear shape indicates the dominance of deep phases at epicentral distances longer than 45 km. *Bull.Seism.Soc.Am.*, 91, 826-841.
- Grandori G., 1993. A methodology for the falsification of local seismic hazard analysis. *Ann.Geofis.*, 36, 1, 191-197.
- Jackson D.D., 1996. Hypothesis testing and earthquake prediction. *Proc.Nat.Acad.Sci.USA*, 93, 3772-3775.
- Kagan Y.Y. and Jackson D.D., 1994. Long-term forecasting of earthquakes. *J.Geophys.Res.*, 99, 13685-13700.
- Lind N.C., 1996. Validation of probabilistic models. *Civil.Eng.Syst.*, 13, 175-183.
- Lindley D.V., 1987. The probability approach to the treatment of uncertainty in artificial intelligence and expert systems. *Stat.Sci.*, 2, 17-24.
- Magri L., Mucciarelli M. e Albarello D. 1994. Estimates of site seismicity rates using ill-defined macroseismic data. *PAGEOPH*, 143, 618-632.
- Margottini C., Molin D. e Serva L., 1992. Intensity versus ground motion: a new approach using Italian data. *Eng.Geol.*, 33, 45-58.
- Molin D., Galadini F., Galli P., Mucci L. e Rossi A., 1999. Terremoto del Fucino del 13 gennaio 1915. Studio macrosismico. In: Castenetto S. e Galadini F. (eds.), 13 gennaio 1915. Il terremoto nella Marsica. SSN, Roma, 321-340; 631-661.
- Monachesi G. e Stucchi M., 1997. DOM 4.1 un database di osservazioni macrosismiche di terremoti italiani al di sopra della soglia di danno. <http://emidius.itim.mi.cnr.it/GNDT>
- Okabe A., Boots, K. Sugihara and S. N. Chiu, 2000. *Spatial Tessellations*. Second edition, Wiley eds, pp.671.
- Rotondi R. e Zonno G., 2004. Bayesian analysis of a probability distribution for local intensity attenuation. *Ann.Geophys.*, 47, 5, 1521-1540.
- SisFrance, 2002. *SisFrance: histoire et caractéristiques des séismes ressentis en France métropolitaine et sur ses abords*. <http://www.sisfrance.net/>
- Swiss Seismological Service, 2002. ECOS - Earthquake Catalog of Switzerland. ECOS Report to PEGASOS, Version 31. 3. 2002, Appendix A: ECOS Database. SED, Zürich. <http://histserver.ethz.ch/>
- Whinkler R.L., 1996. Scoring rules and the evaluation of probabilities. *Test*, 5, 1-60.
- Zonno, G., Meroni F., Rotondi R. e Petrini V., 1995. Bayesian estimation of the local intensity probability for seismic hazard assessment. *Proceeding of the Fifth International Conference on Seismic Zonation, Nice, October 17-19, 1995*, 1723-1729.

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

UR	Ente	Resp.	Task1 compl.	Task2 valut. in int.	Task3 priorità	Task4 database	Mesi p. cofin. (tot)	Mesi p. rich. (tot)
1	INGV-MI	Meletti	@	@	@	@	64	0
2	INGV-MI	Meroni	@			@	26	0
3	INGV-MI	Camassi			@	@	58	0
4	INGV-CT	Azzaro		@		@	18	0
5	INGV-RM1	Gasparini				@	12	0
6	INGV-OV	Marturano				@	12	0
7	EUCENTRE	Strobbia	@		@		16	0
8	UNISI	Albarelo		@	@	@	8	32
9	UniBO	Gasparini		@	@	@	18	22
10	UniGE	Spallarossa			@		30	0
11	CNR-MI	Rotondi		@			4	0
12	OGS	Rebez		@		@	17	0
Tot							283	54

9. Tabella finanziamenti richiesti (in migliaia di euro)

UR	Istituzione	Personale		Missioni Italia		Missioni estero		Consum. servizi		Materiale durevole		Totale		
		2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	tot
1	INGV-MI	0	0	7	7	5	9	10	10	4	4	26	32	58
2	INGV-MI	0	0	4	4	2	4	8	8	6	6	20	22	42
3	INGV-MI	0	0	5,5	5	2,5	5	8	8	8	6	24	24	48
4	INGV-CT	0	0	5	3	1	2	2	2	3	2	11	9	20
5	INGV-RM1	0	0	1	1	1	1	3	3	3	0	8	5	13
6	INGV-OV	0	0	2,25	2,25	0,75	0,75	2	2	3	0	8	5	13
7	EUCENTRE	0	0	4	3	4	3	14	8	8	6	30	20	50
8	UNI-SI	28	28	3	3	2	2	4	4	3	3	40	40	80
9	UniBO	20	20	1	2	3	4	6	8	10	6	40	40	80
10	Uni-GE	0	0	0	2	5	0	12	0	3	3	20	5	25
11	CNR-MI	0	0	1	1	2	1	0	0	0	0	3	2	5
12	OGS	0	0	6	6	2	2	6	10	6	2	20	20	40
	Totale	48,0	48,0	39,75	41,25	30,25	33,75	75,0	63,0	57,0	38,0	250,0	224,0	474,0

Totale (Euro): 474.000

INGV: 194.000 (41%)

Altri enti: 280.000 (59%)

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 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 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 un'azienda 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 risolvete 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%)

Progetto S3

Scenari di scuotimento in aree di interesse prioritario e/o strategico

coordinatori: Francesca Pacor (INGV-MI) e Marco Mucciarelli (UNIBas)

1. Obiettivo

Il Progetto S3 si pone come obiettivo generale il calcolo di scenari di scuotimento in alcune aree italiane nel caso di accadimento del terremoto massimo credibile (*Maximum Credible Earthquake*).

Gli scenari saranno valutati a scala comunale e/o intracomunale e saranno descritti attraverso mappe rappresentative dell'andamento nello spazio di vari parametri del moto sismico atteso (picchi di accelerazione, di velocità, ordinate spettrali etc.) e della loro variabilità. Particolare attenzione sarà dedicata alla valutazione della distribuzione dei valori predetti in funzione della variabilità dei parametri di ingresso dei modelli descriventi la sorgente sismica, il mezzo di propagazione e la geologia locale.

Gli scenari saranno calcolati a diverso livello di dettaglio sia attraverso metodologie semplificate, basate sulla combinazione di leggi d'attenuazione del moto e di zonazioni geologiche/geotecniche a scala urbana, sia attraverso tecniche di simulazione di sismogrammi sintetici a faglia finita, in modo da riprodurre gli effetti dei terremoti nel campo vicino (direttività e generazione di impulsi a bassa frequenza). Il mezzo di propagazione sarà simulato attraverso diverse metodologie di calcolo (campo d'onda completo o in approssimazione ad alta frequenza in mezzi 1-D/3-D).

Nel Progetto si prevede inoltre di svolgere una serie di attività trasversali e/o propedeutiche al calcolo degli scenari, a carattere prevalentemente metodologico, finalizzate alla definizione e stesura di linee guida da seguire nella generazione di scenari di scuotimento a scala urbana.

Tali attività riguarderanno tre argomenti principali:

1. La definizione, su basi principalmente sismologiche, dei modelli di sorgente da utilizzare nel calcolo di scenari associati ad eventi sismici futuri, di cui cioè non si conoscono le modalità di accadimento;
2. La caratterizzazione e rappresentazione parametrica delle risposte sismiche associate a diverse condizioni di sito comunemente riscontrabili nel territorio italiano;
3. Lo sviluppo e l'applicazione di metodi di calcolo innovativi per la valutazione del moto sismico a scala locale e/o regionale.

2. Stato dell'arte

Lo scuotimento sismico in una data area può essere valutato sia con approcci probabilistici che deterministici. In questo progetto si seguirà principalmente l'approccio deterministico al fine di realizzare, in alcune aree italiane, studi di scenario di scuotimento sismico.

Con il termine scenario, si intende la stima del moto del suolo atteso in occasione di un insieme di possibili eventi sismici, di cui uno potrebbe rappresentare un evento realmente verificatosi.

Gli scenari sono comunemente descritti attraverso mappe rappresentative dell'andamento spaziale di vari parametri del moto sismico (picchi di accelerazione, ordinate spettrali, etc.) per un dato terremoto nell'area considerata. Ad ogni mappa può essere associata un'informazione circa la sua variabilità derivante dalle diverse ipotesi sismologiche utilizzate per descrivere l'evento sismico. In generale lo studio di scenario intende affrontare il seguente problema "Nell'ipotesi che si rompa una data faglia, che cosa succederebbe nel suo intorno? quali sarebbero gli effetti sul territorio circostante?".

Lo studio di scenario necessita prima di tutto di una identificazione e descrizione delle strutture sismogenetiche di interesse per l'area in esame; successivamente si procede al calcolo del moto atteso da eventi sismici relativi alle possibili rotture delle strutture selezionate. Normalmente si selezionano e si analizzano gli eventi più severi per la regione e si ipotizzano diverse modalità di accadimento del terremoto lungo le varie faglie analizzate. Il calcolo del moto viene compiuto a vari livelli di complessità, sia attraverso modelli semplificati, quali leggi di attenuazione empiriche, sia attraverso modelli numerici che simulano la rottura di una faglia e la propagazione delle onde elastiche in mezzi stratificati.

Per quanto le varie ipotesi utilizzate nel rappresentare l'evento (ad esempio l'estensione della

rottura o la quantità di spostamento sulla faglia) siano scientificamente plausibili, lo scenario non potrà mai essere univocamente definito e dovrà essere corredato da una valutazione dell'incertezza associata.

Un altro aspetto importante per il calcolo degli scenari è la possibilità di disporre, nell'area considerata, di dati sismologici di base quali registrazioni di eventi sismici, anche di bassa intensità, e informazioni geologiche e geotecniche a varie scale, che permettono la calibrazione di alcuni parametri, quali le proprietà elastiche ed anelastiche del mezzo di propagazione e i fattori di amplificazioni dovuti alla geologia locale, necessari al calcolo del moto sismico. Infine, la possibilità di disporre di registrazioni sismiche di eventi di media e forte energia dovrebbe essere sfruttata per validare le grandezze predette attraverso i modelli utilizzati nel calcolo degli scenari.

In Italia, nell'ambito del Programma Quadro 2000-2002 del Gruppo Nazionale Difesa Terremoti, è stata svolta un progetto triennale dal titolo "Sviluppo e confronto di metodologie per la valutazione della pericolosità sismica in aree sismogenetiche: applicazione all'Appennino centrale e meridionale – Coordinatore M. Cocco", il cui scopo era quello di valutare scenari di scuotimento in alcune aree selezionate. In questo progetto sono state applicate diverse tecniche di simulazione di sismogrammi sintetici, quali tecniche stocastiche e ibride e deterministiche pure. Le tecniche sono state calibrate nell'area training di Colfiorito e successivamente applicate a Città di Castello e Val d'Agri.

Dagli studi di scenari condotti sono state tratte importanti conclusioni metodologiche che, in parte, sono state utilizzate per impostare e definire il presente progetto.

Alcuni dei principali risultati che vale la pena di sottolineare sono i seguenti:

- 1) Le analisi geofisiche multidisciplinari sono estremamente utili per vincolare le strutture sismogenetiche e i modelli crostali; ad esempio, la definizione della faglia dell'Alta Val Tiberina analizzata nello studio di scenario a Città di Castello ha giovato dell'acquisizione di registrazioni della sismicità di fondo effettuata durante il progetto;
- 2) Si è evidenziata l'importanza di effettuare analisi comparative dei risultati, quando si utilizzano diverse tecniche di simulazione, poiché ogni tecnica è in grado di riprodurre alcune caratteristiche del moto sismico che dipendono dalla descrizione numerica della sorgente e del mezzo di propagazione;
- 3) Anche nel caso di terremoti moderati, gli effetti di faglia finita devono essere considerati al fine di spiegare la variabilità del moto osservata nell'intorno della faglia. A brevi distanze, le predizioni del moto ottenute da sismogrammi sintetici generati da modelli a faglia estesa dovrebbero essere più accurate rispetto a quelle ottenute dai modelli di attenuazione empirici.
- 4) Le leggi di attenuazione sono importanti per validare le simulazioni, tuttavia possono esistere notevoli differenze fra i valori empirici e quelli predetti poiché la variabilità del moto associata alla faglia finita non è inclusa nelle leggi di attenuazione.
- 5) Gli effetti di sito sono fondamentali per ottenere scenari direttamente utilizzabili dagli enti preposti (DPC ed autorità locali); le funzioni di trasferimento 1D solo parzialmente possono tenere in conto le amplificazioni osservate e in alcune situazioni geomorfologiche è necessario stimare le funzioni di trasferimento 2D e 3D. Un altro aspetto da considerare deve essere la non linearità dei terreni, che può modificare notevolmente la risposta sismica di un dato sito.

Nel seguito è descritto il progetto, introducendo inizialmente le aree selezionate per il calcolo dello scenario; successivamente per ogni area, sarà dettagliata la procedura che si intende seguire per giungere allo studio di scenario.

3. Descrizione del progetto

Le aree

Il Progetto si concentrerà su quattro aree italiane, due scelte a scopo previsionale e due a scopo di validazione. A scopo previsionale si identificano l'area urbana di Potenza (PZ) e quella di Gubbio (PG), comprensiva del centro abitato e della piana sottostante; come aree di validazione si individuano quelle ricoperte dai comuni maggiormente danneggiati da due eventi recenti: il terremoto del basso Molise del 31 Ottobre 2002 e il terremoto del bresciano del 24 Novembre 2004. Queste quattro aree soddisfano più di uno dei criteri inizialmente posti come vincolo:

- 1) sono prossime ad aree indicate come oggetto di studio nel progetto GNDT 2001-2004 per l'occorrenza di prossimi eventi probabili;
- 2) sono state o sono oggetto di progetti relativi a studi di microzonazione e vulnerabilità che permetteranno la generazione di scenari ad alto livello di dettaglio in 2 anni;
- 3) esistono e sono disponibili molti dati di base, sia territoriali sia sismologici, in modo da limitare gli investimenti per la loro raccolta;
- 4) sono state colpite recentemente da eventi sismici e possono quindi essere utilizzate per valutare le capacità predittive delle tecniche e dei modelli applicati nel calcolo degli scenari di scuotimento;
- 5) sono distribuite sull'intero territorio nazionale.

Le aree di validazione. La prima zona scelta è quella tra Molise e Puglia danneggiata dalla sequenza sismica iniziata il 31 Ottobre del 2002 ($M = 5.6$). Per questi comuni esiste una notevole messe di dati sulla risposta sismica locale e sulla vulnerabilità degli edifici, ma non esiste una registrazione delle scosse principali in area epicentrale (escluso un dato all'interno di un edificio di Bonefro). Inoltre durante la sequenza sismica sono stati registrati molti eventi sismici che potranno essere utilizzati per calibrare leggi di attenuazione del moto e i parametri sismologici della regione, quali i termini di sorgente e di attenuazione geometrica ed anelastica. La disponibilità di accurati studi sul danneggiamento permetterà di confrontare gli scenari teorici con quanto realmente accaduto e di valutare la sensibilità degli scenari ai vari parametri di modello.

La seconda zona proposta è quella bresciana compresa fra i comuni di Vobarno, Salò, Gardone Riviera, Toscolano-Maderno, colpita dalla recente scossa di terremoto del 24 Novembre 2004 ($M = 5.2$). Per questi comuni sono disponibili dettagliati studi di microzonazione e di vulnerabilità condotti dalla regione Lombardia in data antecedente all'evento. Questa rara opportunità permetterà di utilizzarli per il calcolo e la validazione di scenari di scuotimento al sito.

Sarà possibile utilizzare gli scenari predetti per confronti con il danno realmente avvenuto, permettendo di valutare le potenzialità e i limiti dei metodi proposti per il calcolo di scenari a supporto della gestione dell'emergenza a seguito di un evento sismico in un'area densamente abitata.

Le aree di previsione. La prima area di previsione è il comune di Gubbio. L'abitato di Gubbio e i suoi dintorni sono rappresentativi di tipologie urbanistiche e/o geomorfologiche molto diffuse in Italia centrale, essendo un centro storico di valenza culturale ed artistica fondato su versante roccioso, con aree di espansione residenziale e produttiva insistenti su valle alluvionale.

La conca Eugubina è un'area sub-pianeggiante formatasi in seguito alla tettonica quaternaria distensiva e colmata da sedimenti lacustri e fluvio-lacustri con profondità stimata dai 150 ai 250 m. Studi recenti hanno indicato la presenza di effetti di sito nella parte meridionale del bacino, evidenziati dalla generazione di onde di superficie per diffrazione ai bordi della struttura sedimentaria.

L'area è stata da poco colpita dalla sequenza sismica umbro-marchigiana del 1997-1998 e lo studio di scenario potrà beneficiare dei dati (in particolare registrazioni accelerometriche) e dei risultati ottenuti dagli studi condotti a seguito dell'evento. Inoltre in tale area la sismicità, moderata ma è

molto frequente favorendo attività di monitoraggio per la comprensione degli effetti di sito in strutture complesse, quali le conche intramontane.

Il comune di Potenza è un sito altamente sismico (classificato in zona sismica 1, danneggiato da 5 terremoti nel passato e prossimo alla faglia Pergola-Melandro studiata nel progetto “Terremoti probabili ...” coordinato da A. Amato) dove sono stati svolti progetti che hanno prodotto dati di vulnerabilità e di amplificazione sismica a vario livello di dettaglio (Dolce et al., 2003, Bull. Earthq. Eng, 1, 115-140).

Sfruttando la possibilità di sinergie con questi e altri progetti di protezione civile a livello locale, gli studi di scenario potranno essere elaborati con maggiore accuratezza e fornire utili indicazioni anche per la valutazione del danno atteso.

Articolazione del progetto

Il progetto è articolato in sette Task, che ne definiscono gli obiettivi generali come da convenzione:

Task	Argomento
1	Scenari di scuotimento
2	Effetti di sito
3	Scenari area 1: Molise
4	Scenari area 2: Garda
5	Scenari area 3: Gubbio
6	Scenari area 4: Potenza
7	Interfacciamento con l'ingegneria ed il DPC

I primi due Task sono a carattere prevalentemente metodologico e comprendono le attività propedeutiche e conoscitive per la generazione di scenari di scuotimento a scala urbana; l'ultimo è relativo al trasferimento dei risultati degli studi di scenario di scuotimento atteso alla comunità ingegneristica per valutazioni relative al danno e al DPC per la gestione del territorio; infine gli altri quattro Task corrispondono ciascuno ad una delle aree proposte e forniranno risultati prevalentemente applicativi specifici per l'area oggetto di studio.

Nelle due aree di validazione saranno generati scenari di scuotimento corrispondenti agli eventi sismici occorsi; viceversa nelle due aree di previsione saranno generati più scenari di scuotimento, corrispondenti alle diverse ipotesi d'accadimento del terremoto massimo credibile (MCE).

In tutte le quattro aree investigate, gli scenari saranno calcolati applicando lo stesso schema: inizialmente saranno elaborati gli scenari al bedrock a diversi livelli di dettaglio dipendenti dalla complessità introdotta nel descrivere la sorgente sismica ed il mezzo di propagazione; successivamente saranno calcolati gli scenari al sito, attraverso l'introduzione degli effetti locali che saranno descritti e valutati con un grado di dettaglio variabile, dipendente dalla disponibilità e qualità dei dati geologici, geotecnici, geofisici e sismologici.

Per ogni zona di studio potranno essere adottati metodi di calcolo differenti, che saranno selezionati sia in funzione della loro applicabilità al singolo caso analizzato sia anche in relazione ai risultati dei Task metodologici 1 e 2.

Task 1 - Scenari di scuotimento

Partecipanti: UR1, UR2, UR3, UR10 - Le UR partecipano a tutte le attività, tranne dove diversamente specificato

Obiettivi: 1) Linee guida per la definizione degli scenari di scuotimento al bedrock; 2)

Sviluppo di metodi innovativi per la valutazione del moto sismico a scala locale e regionale.

In questo Task si prevedono tre attività di ricerca, finalizzate alla calibrazione delle tecniche di simulazione da utilizzare per il calcolo di scenari di scuotimento nelle aree prescelte e per la valutazione della variabilità delle predizioni al variare dei parametri del modello.

Per il raggiungimento degli obiettivi 1 e 2, i risultati derivanti dalle Attività svolte in questo Task e descritte nel seguito, saranno integrati con i risultati riguardanti la definizione degli scenari nelle quattro aree oggetto di studio del Progetto (Molise, Garda, Potenza Gubbio); sempre con lo stesso fine si prevede inoltre di collaborare con il Progetto S5 della stessa convenzione ProtCiv-INGV.

Attività 1 - Tecniche di simulazione. In questa attività si prevede di simulare un terremoto del passato ben conosciuto e per cui è disponibile un data-set di dati accelerometrici, applicando le diverse tecniche di generazione di sismogrammi sintetici proposte nel Progetto. Lo scopo è valutare quale grandezza osservata (valore di picco, contenuto in frequenza, durata) e con quale livello di accuratezza ciascuna tecnica è in grado di riprodurre. Le tecniche sono di tre categorie:

- 1) Tecniche semplificate basate su approcci stocastici a sorgente puntuale (PSSM) e estesa (DSM);
- 2) Tecniche a faglia estesa sia asintotiche che complete;
- 3) Tecniche ibride in cui la componente in bassa frequenza dei sismogrammi sintetici è calcolata in modo deterministico e l'alta frequenza è calcolata con approcci stocastici.

Alla luce dei risultati ottenuti sarà possibile valutare il metodo di calcolo più idoneo per la valutazione del moto atteso nelle varie aree selezionate in dipendenza di vari fattori quali: le caratteristiche del mezzo di propagazione, la vicinanza alla struttura sismogenetica, il parametro *strong-motion* di interesse per la valutazione dei danni e la qualità dei dati utilizzati per la definizione del modello.

Attività 2 - Caratterizzazione della variabilità del moto e valutazione dell'incertezza. In questa attività si intende valutare l'origine della variabilità del moto sismico durante un terremoto in modo da raggiungere una migliore caratterizzazione dell'incertezza nelle stime a fini applicativi.

A questo scopo si analizzeranno data set di forme d'onda osservate e si ricercheranno strumenti di analisi per evidenziare le cause delle variabilità del moto osservato rispetto ad andamenti medi (effetti di sorgente o effetti locali).

Inoltre attraverso l'applicazione delle tecniche di simulazione utilizzate nel progetto saranno condotti studi parametrici per la valutare la variabilità che i singoli parametri del modello (velocità di rottura, momento sismico etc.) introducono nel calcolo del moto atteso.

Attività 3 - Metodi innovativi per la valutazione della pericolosità sismica. In questa attività saranno raccolte tutte le ricerche finalizzate allo sviluppo e alla validazione di metodi innovativi per il calcolo di scenari di scuotimento.

La prima linea di sviluppo consisterà nell'integrazione delle tecniche di simulazione stocastiche con quelle deterministiche al fine di ottenere simulazioni realistiche del moto del suolo sia in campo vicino sia lontano su ampia banda di frequenza. Un'altra linea di sviluppo si baserà sull'introduzione dei risultati ottenuti dalle simulazioni deterministiche a faglia finita del moto del suolo nel classico approccio probabilistico (PSHA, Probabilistic Seismic Hazard Analysis) utilizzato per le stime di pericolosità a scala regionale.

Inoltre si valuterà l'efficacia degli scenari calcolati in termini di intensità risentita, ottenuti sia da semplici leggi di attenuazione/conversione che derivati da tecniche di modellazione.

Task 2 - Effetti di sito

Partecipanti: UR2, UR3, UR4, UR5, UR6, UR7, UR8, UR11 - Le UR partecipano a tutte le attività, tranne dove diversamente specificato

Obiettivi: Linee-guida per l'introduzione degli effetti di sito nel calcolo degli scenari a scala urbana

Per la realizzazione di scenari speditivi è fondamentale validare la possibilità di fornire stime semplificate ma attendibili dell'amplificazione sismica; pertanto in questo Task si prevedono due attività di ricerca. La prima attività è finalizzata alla validazione della capacità predittiva di V_{s30} (velocità delle onde S nei primi trenta metri del terreno per stimare la risposta sismica di un sito) per stimare la risposta di sito; la seconda è mirata alla caratterizzazione della risposta sismica di situazioni geo-morfologiche diffuse sul territorio italiano, ma poco studiate, quali siti con profili di velocità in cui sono presenti inversioni. I risultati derivanti dalle Attività 1 e Attività 2 e descritte nel seguito, saranno integrate con i risultati relativi alla definizione delle risposte locali nelle quattro aree in cui saranno calcolati gli scenari di scuotimento (Molise, Garda, Potenza Gubbio).

Attività 1 - V_{s30} . L'Ordinanza PCM 3274-3316, in linea con le tendenze dell'Eurocodice 8, ha introdotto questo parametro, per la determinazione del quale non sono disponibili procedure standard. Si propone un *cross-check* di tecniche geofisiche speditive da superficie (NASW, Rifrazione S, F-tan, SASW, inversione HVSR, ecc.) per la determinazione del profilo di velocità, di V_{s30} e dell'amplificazione, incluse stime speditive degli effetti non lineari (Bazzurro e Cornell, 2004). I siti dove effettuare misure di confronto saranno da tre a cinque postazioni dotate di strumenti in foro ed in superficie. Al momento i possibili siti individuati allo scopo sono: Casaglia (FE), Tito Scalo (PZ), Senigallia (AN), Tomba di Buia (UD), Roma. La prova si configura come un *semi-blind test*. Alle UR operative partecipanti sarà chiesto di fornire i risultati dapprima senza alcuna informazione supplementare, quindi avendo a disposizione informazioni sulla stratigrafia del foro. Solo alla fine si confronteranno i risultati delle tecniche di superficie con quelli delle misure in foro e con l'amplificazione realmente misurata (UR2, UR3, UR4, UR6).

Attività 2 - Caratterizzazione di alcune tipologie di sito. Esistono molte tipologie diffuse sul territorio nazionale per cui la semplice caratterizzazione V_{s30} o altri modelli semplici non forniscono risultati soddisfacenti. Si propone di studiarne quattro:

1. Inversioni di velocità – questa è una tipologia molto diffusa sul territorio. Basti pensare alle vulcaniti laziali sovrapposte ad argille, alla presenza di travertini all'interno di sedimenti fluvio-lacustri, conglomerati ben cementati in successioni sedimentarie. Quando lo strato più rigido è quello affiorante, molto spesso in passato è stato scelto per le sue caratteristiche dalla popolazioni che vi hanno edificato centri urbani (UR7).
2. Carsismo – questa tipologia è molto diffusa in Friuli, Puglia e Sicilia orientale (UR8).
3. Fratturazione ammassi rocciosi – Molti siti costituiti da materiali lapidei hanno evidenziato risposte di sito che non li inquadrano come suoli di tipo A. La presenza di faglie e intensa fratturazione ne è la causa (UR11).
4. Aree in frana – La nuova normativa sismica prevede la inedificabilità delle aree in frana, ma non fornisce suggerimenti su come comportarsi nel caso, moto diffuso, che le aree in frana (magari stabilizzate) siano già oggetto di insediamento abitativo (UR5).

Queste tipologie verranno studiate sia mediante registrazioni sismiche al sito che modellazioni mono e bi-dimensionali.

Task 3 - Scenari, area 1: Molise

Partecipanti: UR1, UR2, UR3, UR4, UR6, UR7, UR9, UR10 - Le UR partecipano a tutte le attività, tranne dove diversamente specificato

Obiettivi: Scenari di scuotimento al bedrock e al sito nei comuni di Bonefro, S Giuliano di Puglia, Colletorto, S.Croce di Magliano e Ripabottoni

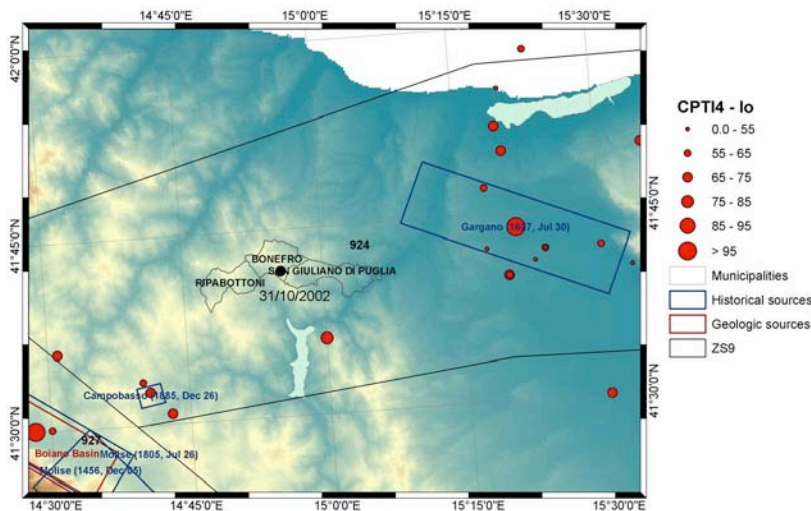


FIGURA 1 – ZONA 1

Attività 1 - Scenari al bedrock. Le attività che saranno svolte per la stima del moto su roccia sono di seguito elencate:

1. Caratterizzazione della sorgente sismogenetica del terremoto del 31 ottobre 2002 e definizione mezzo di propagazione 1D
2. Raccolta dei dati sismometrici registrati durante la sequenza sismica dai vari enti (Università di Genova, INOGS, INGV). Loro utilizzo insieme ai dati accelerometrici registrati dalla rete mobile del DPC-SSN nel periodo Novembre 2002-Dicembre 2003 per la stima dei parametri sismologici dell'area (UR1, UR9).
3. Definizione modelli spettrali che forniranno le caratteristiche dell'attenuazione, le proprietà delle sorgenti e le funzioni di trasferimento empiriche (UR1, UR9).
4. Stima di leggi di attenuazione empiriche e sintetiche dei parametri strong motion (PGA, PGV etc.) da utilizzare per ottenere le prime stime degli scenari di scuotimento (Scenari livello 0) (UR1, UR9).
5. Simulazione a faglia estesa dell'evento principale con tecniche semplificate (Scenari livello 1) e complesse (Scenari livello 2), calibrazione dei modelli attraverso il confronto con le registrazioni accelerometriche in campo lontano e le leggi empiriche stimate al punto precedente.
6. Calcolo dello scenario al bedrock nei 5 comuni oggetto di studio.

Attività 2 - Scenari al sito. Le attività che saranno svolte per la stima del moto ai siti sono di seguito elencate:

1. Tomografie geoleitriche profonde 2,5 D a S.Giuliano di Puglia per la ricostruzione del substrato (UR4).
2. Raccolta e utilizzo dati geotecnici e geologici per definire i modelli mono-, bi-, e tridimensionali per valutare la risposta sismica locale nei comuni oggetto di studio (UR2, UR7).
3. Ricostruzione di un modello geologico 3-D a S.Giuliano di Puglia e studio della propagazione lineare delle onde sismiche (UR2, UR3, UR7).

4. Studio dell'interazione tra suolo-edificato (comune di Bonefro) (UR3, UR4, UR6).
5. Definizione delle funzioni di trasferimento e/o fattori di amplificazione da utilizzare per la stima del moto al sito (UR2, UR4, UR6, UR7).
6. Calcolo degli scenari al sito e confronti con il danno verificatosi durante l'evento principale nei 5 comuni.
7. Creazione di un sistema informativo territoriale con dati di ingresso, risultati intermedi e elaborati finali descrittivi gli scenari a vario livello di dettaglio.

Task 4 - Scenari, area 2: Garda

Partecipanti: UR1, UR2, UR3, UR4, UR6, UR10. Le UR partecipano a tutte le attività, tranne dove diversamente specificato

Obiettivi: Scenari di scuotimento al bedrock e al sito nei comuni di Vobarno, Salò, Gardone Riviera, Toscolano-Maderno.

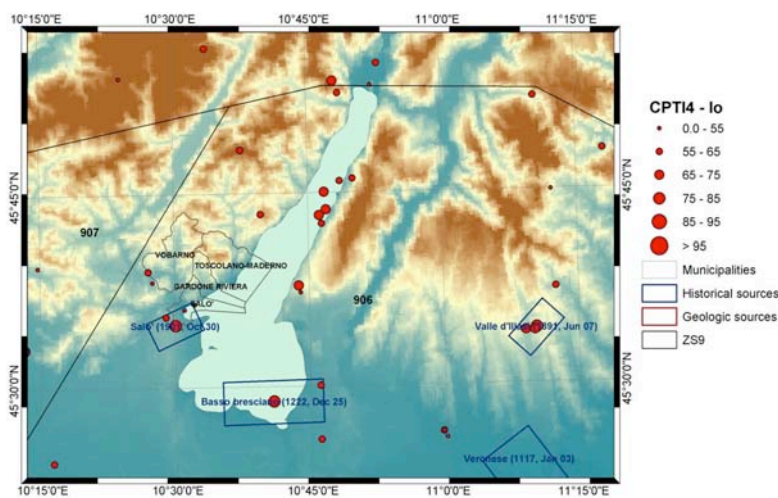


FIGURA 2 – AREA 2

Attività 1 - Scenari al bedrock. Le attività che saranno svolte per la stima del moto su roccia sono di seguito elencate:

1. Caratterizzazione sorgente sismogenetica del terremoto del 24 Novembre 2004 e definizione del mezzo di propagazione 1D.
2. Raccolta dei dati sismometrici registrati dalla rete temporanea installata dall'INGV durante la sequenza sismica che ha interessato l'area. Loro utilizzo insieme a altri dati sismici disponibili per la stima dell'attenuazione nell'area di interesse (UR1).
3. Calcolo di leggi di attenuazione empiriche dei parametri di picco del moto del suolo (Scenari livello 0) (UR1).
4. Simulazione a faglia estesa dell'evento principale con tecniche semplificate (scenari livello 1) e complesse (Scenari livello 2); calibrazione dei modelli con le registrazioni effettuate durante la sequenza.

Attività 2 - Scenari al sito. Le attività che saranno svolte per la stima del moto su roccia sono di seguito elencate:

1. Raccolta dei dati di microzonazione e di vulnerabilità esistenti presso la Regione Lombardia (UR4).
2. Calcolo dello scenario al bedrock nei comuni di Vobarno, Salò, Gardone Riviera, Toscolano-Maderno.
3. Campagne di misura di rumore nei comuni di Vobarno, Salò, Gardone Riviera, Toscolano-Maderno (UR1, UR4).

4. Campagne di misura di rumore in alcuni edifici nei comuni oggetto di studio (UR4).
5. Confronto fra gli studi di microzonazione e i risultati ottenuti dall'elaborazione delle misure di rumore; confronto fra studi di vulnerabilità e i risultati ottenuti dall'elaborazione misure di rumore in edifici (UR4, UR6).
6. Definizione delle funzioni di trasferimento e/o fattori di amplificazione da utilizzare per la stima del moto del suolo al sito.
7. Calcolo di scenari al sito e confronti con i danni osservati.
8. Creazione di un sistema informativo territoriale con dati di ingresso, risultati intermedi e elaborati finali descrittivi dei scenari nei 4 comuni.

Task 5 – Scenari, area 3: Potenza

Partecipanti: UR1, UR2, UR3, UR4, UR6, UR10 - Le UR partecipano a tutte le attività, tranne dove diversamente specificato

Obiettivi: Scenari di scuotimento al bedrock e al sito nel comune di Potenza.

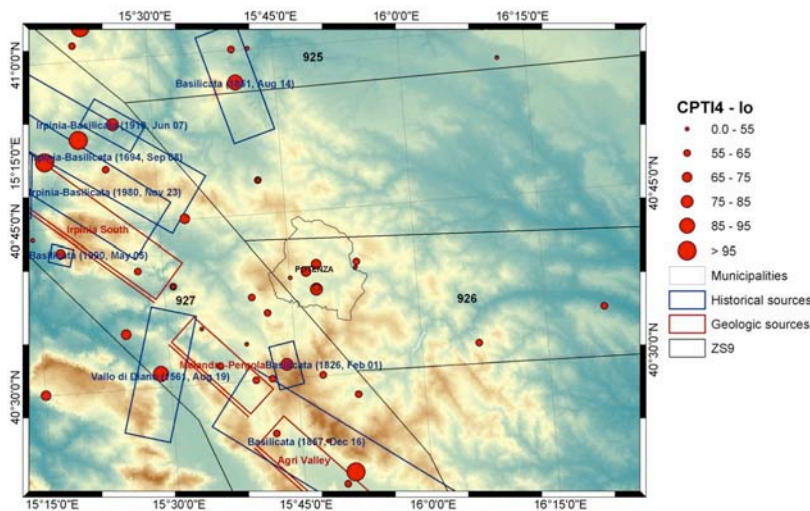


FIGURA 3 – AREA 3

Attività 1 - Scenari al bedrock. Le attività che saranno svolte per la stima del moto su roccia sono di seguito elencate:

1. Caratterizzazione delle sorgenti sismogenetiche per la stima del terremoto massimo credibile e definizione del modello di propagazione 1D (UR6).
2. Raccolta dei dati sismometrici ed accelerometrici registrati in Italia meridionale (Università della Basilicata, CNR-IMAA, UniBA, UniCal). Loro utilizzo per stima dei parametri sismologici dell'area (UR6).
3. Definizione modelli spettrali che forniranno: caratteristiche dell'attenuazione, proprietà delle sorgenti e le funzioni di trasferimento empiriche (UR6).
4. Leggi di attenuazione empiriche e sintetiche (Scenari livello 0).
5. Simulazione a faglia estesa delle strutture sismogenetiche con tecniche semplificate (scenari livello 1) e complesse (scenari livello 2).
6. Calcolo dello scenario al bedrock nel comune di Potenza.

Attività 2 - Scenari al sito. Le attività che saranno svolte per la stima del moto su roccia sono di seguito elencate:

1. Recupero studi di microzonazione e studi di amplificazione sismica nel comune di Potenza. Recupero dati di vulnerabilità (UR4, UR6).

2. Campagna di misura di rumore in edifici significativi (UR4).
3. Stima delle funzioni di trasferimento e/o fattori di amplificazione da utilizzare con gli scenari al bedrock per la stima del moto al sito (UR4, UR6).
4. Calcolo degli scenari al sito.
5. Creazione di un sistema informativo territoriale con dati di ingresso, risultati intermedi e elaborati finali descrittivi gli scenari a Potenza.

Task 6– Scenari, area 4: Gubbio

Partecipanti: UR1, UR2, UR3, UR4, UR6, UR9, UR10, UR11 - Le UR partecipano a tutte le attività, tranne dove diversamente specificato

Obiettivi: Scenari di scuotimento al bedrock e al sito nell'abita e nella piana di Gubbio (PG).

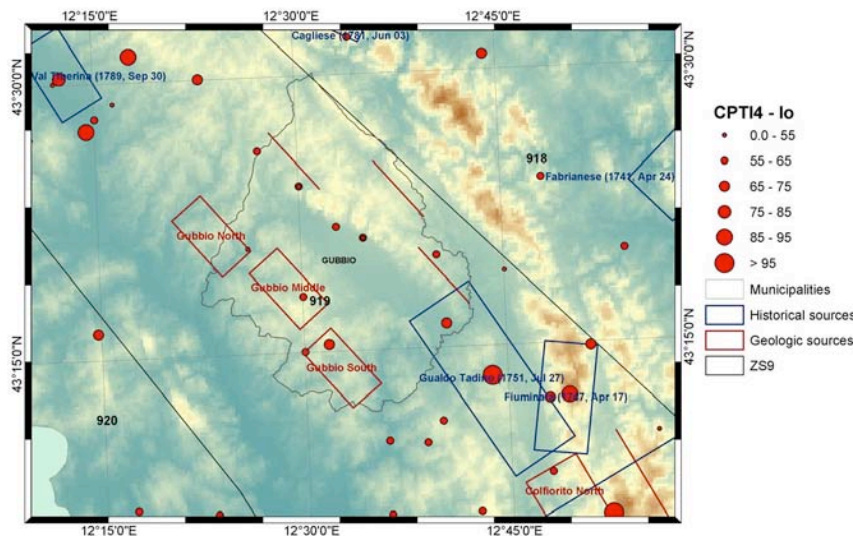


FIGURA 4 – AREA 4

Attività 1 - Scenari al bedrock. Le attività che saranno svolte per la stima del moto su roccia sono di seguito elencate:

1. Caratterizzazione delle sorgenti sismogenetiche per stima del terremoto massimo credibile (MCE) e definizione del modello di propagazione 1D.
2. Recupero studi esistenti per la definizione delle leggi di attenuazione empiriche e sintetiche (scenari livello 0); aggiornamento delle leggi di attenuazione con i dati registrati durante il progetto.
3. Calibrazione dei modelli attraverso la simulazione del terremoto di Gubbio (1984) e simulazione a faglia estesa dell'evento MCE con tecniche semplificate e complesse (scenari livello 1);
4. Calcolo e definizione dello scenario al bedrock nell'abitato e nella piana di Gubbio.

Attività 2 - Scenari al sito. Le attività che saranno svolte per la stima del moto su roccia sono di seguito elencate:

1. Campagna di misura con installazione di circa 24 stazioni sismiche lungo vari transetti e array 2D disposti nel bacino (UR1, UR2, UR6).
2. Installazione di una rete mobile composta di 13 stazioni per monitoraggio sismico (UR9).
3. Esecuzione di un pozzo profondo; installazione di sensori in un pozzo e misure di down-hole (UR11).
4. Tomografia sismiche 3D a riflessione ad alta risoluzione per caratterizzazione sottosuolo (geometria e litologia) (UR3).

5. Campagna di misure di rumore nella piana e nell'abitato (anche in edifici) (circa 160 punti di misura) (UR4).
6. Simulazioni 1D e 2D per definire la risposta sismica della valle.
7. Funzioni di trasferimento e/o fattori di amplificazione da utilizzare con gli scenari al bedrock per calcolare gli scenari al sito.
8. Creazione di un sistema informativo territoriale con dati di ingresso, risultati intermedi e elaborati finali descrittivi gli scenari nell'abitato di Gubbio e nella piana.

Task 7 – Interfacciamento con l'ingegneria ed il DPC

Partecipanti: UR1, UR6 – Le UR partecipano a tutte le attività, tranne dove diversamente specificato

Obiettivi: 1) Definizione e previsione delle variabili di interesse ingegneristico. 2) Creazione di un GIS contenente i risultati degli studi di scenari.

Attività 1 - Definizione parametri del moto a scopi ingegneristici. I risultati di pericolosità andranno espressi in modo di poter essere interfacciati con studi di vulnerabilità altrimenti esperiti allo scopo di creare scenari di danno. Considerate le tecniche sia già a disposizione degli ingegneri sia quelle che sono attualmente oggetto di sviluppo, si forniranno specifici prodotti relazionati come illustrato nella tabella seguente:

Stima di Pericolosità	Stima di Danno
Intensità Macrosismica	Matrici di Danno
Accelerogrammi sintetici	Fragility Curves
Ordinate spettrali	Interstory Displacement Index

Inoltre si effettueranno due attività di ricerca finalizzate allo scopo di migliorare la interfaccia presente e futura tra ingegneria e sismologia.

Si effettueranno studi di sensibilità per valutare gli effetti della convoluzione della distribuzione di probabilità dei parametri stimati dagli scenari con metodologie che impiegano curve di fragilità (es. Hazus) caratterizzazione della frequenza fondamentale di edifici campione per identificare possibili fenomeni di risonanza tra edifici e suoli di fondazione (si veda per il terremoto del Molise Gallipoli et al, 2004, Earthq. Spectra, 20, S81-S94).

Attività 2 - Informatizzazione degli studi di scenario. In questo Task si prevede di predisporre degli strumenti informatici per rendere fruibili gli studi di scenario attraverso la creazione di un GIS che permetterà, per l'area selezionata, di ripercorrere le varie fasi che hanno portato alla generazione delle mappe di pericolosità. Con questo strumento sarà possibile esplorare i dati di ingresso, le elaborazioni intermedie e il prodotto finale.

Il primo obiettivo di questa attività sarà quindi quello di fornire le mappe descrittive gli scenari e i relativi metadati in formato leggibile dai software più comunemente utilizzati dalla DPC; quando disponibili si aggiungeranno anche le informazioni territoriali quali topografia, geologia confini comunali, viabilità etc. I dati saranno inoltre forniti su supporto digitale, in formati importabili nel sistema AUGUSTUS del DPC per consentirne una agevole consultazione da parte degli operatori sia a livello nazionale che locale. Inoltre, per un'area campione, si prevede la realizzazione di un

prototipo di “scenario navigabile”, basato un’interfaccia *user friendly* che permetterà la navigazione del data-set e l’interrogazione delle mappe.

Task	Attività	2005												2006												2007				
		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5					
1	1																													
1	2																													
1	3																													
2	1																													
2	2																													
3	1																													
3	2																													
4	1																													
4	2																													
5	1																													
5	2																													
6	1																													
6	2																													
7	1																													
7	2																													

4. Deliverable attesi

Nel Progetto sono previste principalmente due tipi di attività: il primo a carattere sperimentale, che raggruppa tutte le attività di campagna e raccolta dati, il secondo a carattere numerico, che raggruppa le attività di modellazione. Il primo anno di Progetto sarà quasi interamente dedicato alla fase di misura, raccolta ed elaborazione dati, mentre il secondo anno sarà utilizzato per la ricostruzione dei modelli, le simulazioni e l’implementazione dei risultati delle attività sperimentali nel calcolo degli scenari. Nel seguito è descritto in dettaglio lo svolgimento temporale delle varie attività e i *deliverable* attesi, specificati attraverso il codice D#

Task 1

Attività 1

- 12 mesi: Conclusione confronto tecniche di simulazione

Attività 2

- 18 mesi: Conclusione attività di ricerca per la caratterizzazione della variabilità del moto
- 24 mesi: D1 - Linee guida per la definizione degli scenari

Attività 3

- 24 mesi: D2 - Implementazione codici di calcolo ibridi e validazione tecniche innovative

Task 2

- 24 mesi: D3 - Linee guida per l’introduzione degli effetti di sito negli studi di scenari

Attività 1

- 24 mesi: D4 - Valutazione sull’affidabilità dei metodi di superficie per la stima di V_{s30}

Attività 2

- 24 mesi: D5 - Considerazioni sull’applicabilità di V_{s30} in situazioni geomorfologiche particolari

Task 3

Scenari al bedrock

- 12 mesi: D6 - CD rom contenente registrazioni della sequenza sismica del Molise, registrate dalle reti temporanee di Genova, Udine e INGV.

- 18 mesi: Modello spettrale, funzioni di trasferimento ai siti di registrazione e leggi di attenuazione empiriche e teoriche
 - 18 mesi: Simulazione dell'evento principale
 - 18 mesi: D7 - Scenari al bedrock a vari livelli di complessità
- Scenari al sito
- 12 mesi: D8 - Modelli geotecnici 1D e 2D nei siti prescelti
 - 18 mesi: D9 - Modello 3D a S. Giuliano
 - 18 mesi: D10 - Funzioni di trasferimento teoriche
 - 20 mesi: Validazione del modello per il terremoto principale
 - 24 mesi: D11 - Sistema informativo territoriale degli scenari al sito

Task 4

Scenari al bedrock

- 12 mesi D12 - CD – rom contenente registrazioni della sequenza sismica nella zona del Garda, registrate dalle rete INGV
- 18 mesi Modello spettrale, funzioni di trasferimento ai siti di registrazione e leggi di attenuazione empiriche e teoriche
- 18 mesi: D13 - Scenari al bedrock a vari livelli di complessità

-

Scenari al sito

- 12 mesi: Conclusione attività di recupero dati di micrizonazione e vulnerabilità nei comuni del Garda
- 18 mesi Conclusione campagna di misura di rumore nei 4 comuni
- 18 mesi: Conclusione campagna di misura negli edifici
- 20 mesi: D14 - Funzioni di trasferimento empiriche e risposte in frequenza degli edifici
- 20 mesi Validazione dei modelli per il terremoto del Garda
- 24 mesi D15 - Sistema informativo territoriale degli scenari al sito

Task 5

Scenari al bedrock

- 12 mesi D16 - CD – rom contenente i dati delle registrazioni dell'Italia Meridionale utilizzate nel Progetto per il calcolo dell'attenuazione nell'area di Potenza.
- 18 mesi Modello spettrale, funzioni di trasferimento ai siti di registrazione e leggi di attenuazione empiriche e teoriche
- 18 mesi: D17 - Scenari al bedrock a vari livelli di complessità

Scenari al sito

- 12 mesi: Conclusione attività di recupero dati di micrizonazione e vulnerabilità nei comune di Potenza
- 12 mesi: Conclusione campagna di misura negli edifici
- 18 mesi: D18 - Funzioni di trasferimento e risposte in frequenze degli edifici
- 24 mesi D19 - Sistema informativo territoriale degli scenari al sito

Task 6

Scenari al bedrock

- 18 mesi Calibrazione dei modelli attraverso la simulazione dell'evento del 1984
- 20 mesi: D20 - Scenari al bedrock a vari livelli di complessità

Scenari al sito

- 12 mesi: Conclusione attività di monitoraggio della piana di Gubbio
- 12 mesi: Conclusione campagna di misura negli edifici
- 18 mesi Conclusione attività di tomografia 3D

- 20 mesi: D21 - Definizione del modello 3D del sottosuolo
- 20 mesi: D22 - Funzioni di trasferimento empiriche e risposte in frequenza degli edifici
- 24 mesi D23 - Sistema informativo territoriale degli scenari al sito

Task 7

- 12 mesi D24 - Specifiche dei parametri sismici necessari per la generazione di scenari di danno nel presente e immediato futuro
- 20 mesi D25 – Sviluppo di un'interfaccia user-friendly per navigare all'interno di uno scenario di scuotimento

5. Fattori di rischio di mancato completamento attività

Le attività previste sono generalmente a basso rischio di non completamento. Si tratta in gran parte di porre in atto metodologie sia sperimentali che numeriche ben consolidate e note ai partecipanti. L'elemento di novità del progetto S3 risiede nella integrazione di varie tecniche e nel loro mutuo confronto e validazione incrociata piuttosto che nella sperimentazione. Una parte del progetto è comunque riservata ad attività innovative di modellazione, ma è evidente che in questo caso vi è un fattore di rischio accettabile legato all'innovazione. Oltretutto le risorse dedicate alla sperimentazione sono limitate e marginali nell'economia del progetto S3. Gli elementi di rischio maggiori sono rappresentati dalle attività di campagna. Bisogna dividere le attività *in situ* in due categorie distinte, con diverso livello di rischio e diverso impatto sui risultati in caso di fallimento. Per quanto riguarda le tecniche mirate alla validazione di Vs30 ed allo studio di tipologie particolari di sito, l'insuccesso di una tecnica sarebbe paradossalmente utile, in quanto servirebbe a chiarire le effettive potenzialità dei metodi proposti a seconda delle diverse situazioni geo-morfologiche in esame. Diverso è il discorso per quanto concerne le aree dove si calcoleranno gli scenari. In questo caso è necessario disporre di dati che saranno in parte forniti da attività di campagna, e due sono in particolare le prove più critiche: il sondaggio geognostico profondo nella Piana di Gubbio e le tomografie geoelettriche profonde a San Giuliano di Puglia. Precedenti esperienze e le capacità dei gruppi coinvolti autorizzano comunque ad essere fiduciosi circa una positiva conclusione delle campagne in oggetto. Infine, l'elevato tasso di sismicità dell'Appennino Centrale costituisce un elemento di certezza circa la possibilità di poter disporre di registrazioni sismometriche nella Piana di Gubbio.

6. Tabella mesi/persona per task e UR

UR	Enti	Resp.	Task1 Scen.	Task2 Sito	Task3 Molise	Task4 Garda	Task5 Potenza	Task6 Gubbio	Task 7 INGV/ DPC	Mesi/ pers. cofin.	Mesi/ pers. rich.
1	INGV-MI	Franceschina	@		@	@	@	@	@	84	
2	INGV-RM	Cultrera	@	@	@	@	@	@		62	
3	INOGS	Boehm	@	@	@	@	@	@		71	60
4	CNR – IMAA	Piscitelli		@	IMAA	UniBol DPA	IMAA	UniSI		29	30
5	UniBA	Del Gaudio		@						18	12
6	UniBas	Mucciarelli		@	@	@	@	@	@	33	24
7	UniCal	Silvestri		@	UniCal					164	48
8	UniCT	Maugeri		@						27	36
9	UniGE	Eva			@			@		37	36
10	UniNA1	Emolo	@		@	@	@	@		28	24
11	UniRM3	Scarascia		@				@		24	12
		Totale								577	306

7. Tabella finanziamenti richiesti (in migliaia di euro)

UR	Istituz.	Personale		Missioni Italia		Miss. estero		Consumi servizi		Inventar		Totale		tot.
		2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	
1	INGV-MI	0	0	7,5	4,0	2,5	6,0	12,0	14,0	13,0	10,0	35,0	34,0	69,0
2	INGV-RM	0	0	12,0	7,0	12,0	13,0	41,0	15,0	39,0	11,0	104,0	46,0	150,0
3	INOGS	25,75	34,85	14,5	34,0	0	0	13,5	12,5	6,4	2,5	60,15	83,85	144,0
4	CNR-IMAA	7,5	7,5	13,5	9,5	3,5	3,5	3,8	3,8	20,4	7,0	48,7	31,3	80,0
5	UniBA	0	0	2,6	1,5	1,4	1,0	3,0	1,5	20,0	0	27,0	4,0	31,0
6	UniBas	19,0	19,0	6,0	6,0	0	0	18,0	17,0	0	0	43,0	42,0	85,0
7	UniCal	57,0	19,0	2,5	2,0	0	0	3,5	1,0	4,5	0	67,5	22,0	89,5
8	UniCT	22,0	36,0	5,0	3,0	2,0	3,0	12,0	3,0	0	0	41,0	45,0	86,0
9	UniGE	18,5	18,5	10,0	10,0	0	0	6,0	10,0	4,0	0	38,5	38,5	77,0
10	UniNA1	18,0	18,0	2,0	2,0	4,0	4,0	16,0	16,0	5,0	5,0	45,0	45,0	90,0
11	UniRM3	6,0	4,0	6,0	4,0	0	0	9,0	4,5	0	0	21,0	12,5	33,5
		173,75	156,85	81,6	83,0	25,4	30,5	137,8	98,3	112,3	35,5	530,85	404,15	935,0

Totale (Euro): 935.000

INGV: 219.000 (23%)

Altri enti: 716.000 (77%)

Progetto S4

Stima dello scuotimento in tempo reale e quasi-reale per terremoti significativi in territorio nazionale

coordinatori: Luca Malagnini (INGV-RM1) e Daniele Spallarossa (UNIGe)

1. Obiettivo

La rapida caratterizzazione del moto del suolo intorno alla faglia che lo ha generato è un passo essenziale per la rapida determinazione dell'impatto del terremoto sul territorio, sulla popolazione, e sull'economia della regione colpita. Il programma di calcolo *ShakeMap* (Wald et al., 1999a) è stato sviluppato per essere uno strumento di lavoro in questo ambito. Il principale obiettivo del presente progetto è l'implementazione e la validazione di *ShakeMap* per i terremoti che si verificano sul territorio nazionale e nelle zone ad esso limitrofe. Per raggiungere questo obiettivo, verranno sviluppate e predisposte tutte le procedure per consentire uno scambio dati in tempo reale tra network operanti a livello regionale e nazionale, al fine di giungere ad una rapida determinazione delle caratteristiche della sorgente sismica e per stimare, nel più breve tempo possibile, previa la disponibilità di un insieme di dati sufficienti, uno scenario realistico dello scuotimento sismico. Particolare attenzione verrà dedicata alle attività indirizzate a garantire la sicurezza e l'affidabilità del sistema di procedure che si vuole predisporre: verrà favorita la ridondanza dei risultati delle elaborazioni (sia in termini di parametri di sorgente che di mappe di scuotimento) in modo da mantenere operativo il sistema, una volta a regime, anche in caso di scuotimenti sismici tali da produrre danni severi ai sistemi di trasmissione dati..

Gli obiettivi che vengono proposti in questo progetto riguardano la sperimentazione e la validazione di tutte le procedure necessarie alla produzione delle mappe di scuotimento in tempo quasi reale, in occasione di un evento sismico. È chiara la estrema complessità delle attività necessarie alla totale automazione di tutte le procedure per l'ottenimento routinario di risultati attendibili. In questo progetto ci proponiamo di ottenere risultati preliminari circa la produzione di *ShakeMap* in tempo reale, e non necessariamente uno strumento di calcolo pronto per essere consegnato alla Protezione Civile. Per quanto riguarda la disseminazione dei risultati, modulando opportunamente il contenuto informativo delle mappe di scuotimento sismico, questi potranno essere resi disponibili per la consultazione su un portale WEB dedicato. In tale ambito verranno predisposti specifici protocolli al fine di coordinare ed armonizzare le informazioni relative allo stesso evento avvenuto sul territorio nazionale, ovvero nelle regioni limitrofe. La mappa di scuotimento, o *ShakeMap*, assumerà una doppia valenza: principalmente essa rappresenterà uno strumento di riferimento ad uso delle unità operative di protezione civile, per intervenire tempestivamente ed efficacemente sul territorio, ma potrà anche fornire un rapido ed efficace contributo alla comprensione del terremoto, ad uso dei mezzi di informazione e della comunità scientifica.

2. Stato dell'arte

2.1 Aspetti generali

Recenti esperienze (Dreger et al., 2004) hanno ampiamente dimostrato che, utilizzando moderne tecnologie di acquisizione/trasmissione dati e robuste procedure di elaborazione del dato sismico, è possibile giungere in tempo quasi reale alla caratterizzazione della sorgente sismica ed alla definizione del moto del suolo intorno alla faglia che lo ha generato. Il programma di calcolo *ShakeMap* (Wald et al., 1999a) è stato sviluppato per essere uno strumento di lavoro in questo ambito. *ShakeMap* consente di produrre scenari di scuotimento sismico in tempo quasi reale utilizzando una serie di procedure iterative multi-stadio, a partire dai dati di scuotimento del terreno registrati intorno alla faglia. Dal punto di vista concettuale, quindi, la generazione di uno scenario di scuotimento si attua attraverso due operazioni:

1. Caratterizzazione della sorgente;
2. Generazione dello scenario di scuotimento regionale.

Dal punto di vista operativo, le mappe di scuotimento del suolo vengono raffinate in momenti

successivi in funzione di disponibilità e qualità delle informazioni relative alla sorgente sismica.

In dettaglio, in ordine di importanza e di rapidità di ottenimento, le informazioni necessarie alla definizione di scenari di scuotimento attesi sono:

- Localizzazione ipocentrale;
- Magnitudo momento M_w e posizione del centroide;
- Meccanismo focale.

Per gli eventi di magnitudo più elevata:

- Dimensioni della faglia;
- Distribuzione 2-D dello slip sul piano di faglia.

È chiaro che un approccio tipo *ShakeMap* è più efficace in zone ad elevata densità di strumentazione sismica. Se la copertura è molto densa, infatti, è ovviamente il moto del suolo realmente osservato (i dati di scuotimento) a dominare i risultati ottenuti attraverso *ShakeMap*. In alcuni casi, tuttavia, si dispone di un numero esiguo di dati di scuotimento osservato, anche in presenza di una configurazione di rete ottimale. Ad esempio, situazioni meno che ottimali si verificano quando:

- i forti scuotimenti del terreno rendono impossibile la comunicazione dei dati sismologici relativi al moto del suolo. Un tale scenario è tanto più probabile quanto più ci avviciniamo alla zona epicentrale;
- non è disponibile una adeguata copertura strumentale. Ciò si verifica ancora, in alcune regioni del territorio nazionale.

In entrambi i casi appena citati, la modellazione dello scuotimento sismico, in termini di parametri *strong-motion*, può avvenire solo attraverso la modellazione numerica della sorgente sismica o attraverso l'utilizzo di opportune leggi di attenuazione regionale.

In California, la rete denominata *California Integrated Seismic Network* (www.cisn.org), che risulta dall'integrazione delle reti sismiche esistenti, produce automaticamente mappe di scuotimento *ShakeMap* entro pochi minuti dalla occorrenza di eventi sismici di moderata e di forte entità.

Negli Stati Uniti, *ShakeMap* ha già dato prova di essere uno strumento di grande efficacia ed utilità per la comunità scientifica, per i gruppi chiamati a dare una risposta rapida in caso di emergenza e per gli organi di informazione.

2.2 Caratterizzazione della sorgente sismica

Localizzazione e determinazione della magnitudo. La maggior parte dei sistemi automatici di detenzione ed analisi del segnale sismico in tempo reale impiegano alcune decine di secondi per giungere ad una prima stima della posizione ipocentrale. Per quanto riguarda la magnitudo, il discorso è assai più complesso. Una via per ottenere una stima della magnitudo momento attendibile, M_w , è quella di stimare direttamente la magnitudo locale M_L e/o di durata M_d , e poi utilizzare specifiche leggi di regressione per ottenere il valore di M_w . Al riguardo, per alcune regioni italiane, sono già disponibili regressioni M_L - M_w . Alternativamente, è possibile ottenere direttamente una stima di M_w attraverso tecniche quali quella messa a punto da Mayeda e Walter, (1996), e successivamente raffinata da Mayeda et al. (2003), ed applicata anche a dati del territorio italiano da Malagnini et al. (2004) e da Morasca et al. (2005). Una ulteriore tecnica è stata sviluppata da Malagnini et al. (2004), e consente il calcolo automatico della M_w per terremoti con $M_w < 6.0 - 6.5$. Altre stime rapide di M_w possono essere quelle che utilizzano l'ampiezza della prima onda in spostamento. In ogni caso, una rapida stima automatica di M_L sembra essenziale per garantire un alto grado di efficienza delle procedure per la generazione della *ShakeMap*.

Determinazione del meccanismo di fagliazione. La determinazione del meccanismo di fagliazione deve poter essere ottenuta a partire, in generale, da dati (forme d'onda digitali a larga banda) provenienti da una rete sismica sparsa. A tal riguardo, il codice di calcolo attivo presso la *University of California, Berkeley* (Dreger, 2003) (lo stesso codice viene anche implementato in Giappone dalla *F-net broadband network*) è stato progettato in modo da poter essere utilizzato anche avendo a disposizione un numero esiguo di registrazioni a distanza regionale, ed è quindi la scelta ottimale anche per il territorio italiano, e per il *network broadband* nazionale. Tale codice di calcolo fornisce due piani focali coniugati ed indistinguibili tra loro, uno dei quali è il piano di faglia. La soluzione del problema è ottenuta per una sorgente puntiforme nello spazio (il centroide), avente una distribuzione di slip di lunghezza temporale finita. Le onde che vengono utilizzate a questo scopo sono, tipicamente, nel range di periodo tra i 20 e i 100 secondi. Le funzioni di Green necessarie al buon funzionamento del codice di inversione devono tenere conto della struttura crostale entro cui la propagazione delle onde sismiche avviene, relativamente al range di frequenze utilizzato.

In una regione come quella italiana, che è caratterizzata da rilevanti variazioni laterali dello spessore crostale, diversi insiemi di funzioni di Green dovranno essere calcolati: uno per ogni sub-regione in cui la crosta possa essere descritta come "lateralmente omogenea". In particolari situazioni, le funzioni di Green dovranno essere calcolate tenendo in considerazione variazioni degli spessori crostali in funzione dell'azimut. È opportuno ricordare che la disponibilità di funzioni di Green accurate rende possibile l'utilizzo di dati sismometrici caratterizzati da una maggiore ampiezza di banda, e quindi da un maggiore potere risolutivo rispetto ai dettagli del processo di rottura che avviene sul piano di faglia. Dal punto di vista computazionale, in una situazione normale (a regime), la fase di determinazione del meccanismo di fagliazione può richiedere un tempo totale di circa 10 minuti. Attualmente, in California, codici di calcolo che utilizzano funzioni di Green complete a distanza regionale possono essere utilizzati, disponendo di accurati modelli di velocità, oltre la soglia di M_w 3.5, anche in maniera completamente automatica.

Faglia di dimensioni finite. In occasione di un evento sismico importante, è importante essere in grado di riconoscere l'effettivo piano di faglia, e di determinare su quest'ultimo le dimensioni laterali della rottura e le sue principali caratteristiche cinematiche. Un esempio di implementazione automatica di questo tipo di inversione è descritta da Dreger e Kaverina (2000).

In generale la fase della determinazione automatica delle caratteristiche del terremoto avviene attraverso un processo multi stadio:

- Inizialmente, a partire dalla determinazione del momento sismico ($M_0 = \mu A \langle d \rangle$), si può determinare la lunghezza di faglia, utilizzando le relazioni di Wells e Coppersmith (1994). A questo punto, dividendo l'area per la lunghezza, viene ottenuta la larghezza della faglia. Raddoppiando sia la lunghezza di faglia che la sua larghezza, si può simulare una rottura unilaterale in tutte le direzioni, a partire dalla posizione ipocentrale (vedi Dreger e Kaverina, 2000).
- Il momento scalare viene anche utilizzato per definire un rise time medio per la faglia, utilizzando le relazioni di Somerville et al. (1999). Il rise time così ottenuto può essere mantenuto costante durante tutte le inversioni.
- Per ciascuno dei due piani coniugati ottenuti dall'inversione del tensore momento, sono necessari due diversi insiemi di inversioni relative alla sorgente estesa: uno per una sorgente lineare, l'altro per una sorgente planare. Per motivi di velocità di calcolo e di non unicità di soluzione, soltanto un'unica faglia estesa planare viene considerata nella inversione automatica, caratterizzata da "rake" e "rise time" costanti. In questo modo lo spazio dei modelli viene mantenuto ridotto, tale da consentire una elevata velocità di esecuzione dei programmi. L'attenzione viene in questa fase focalizzata sull'orientazione della faglia estesa, sulle dimensioni della rottura, e sulle sue caratteristiche cinematiche più importanti.

L'insieme di procedure descritto in questo paragrafo è stato sviluppato ed utilizzato per la modellazione dei terremoti di Landers (M_w 7.2, 1992), di Northridge (M_w 6.7, 1994), e di Hector

Mine (M_w 7.1, Dreger e Kaverine, 2000). In sostanza, un approccio al problema che consideri la minimizzazione del *misfit* tra i dati osservati e le forme d'onda sintetiche (problema inverso, ovvero *grid-search* e risoluzione del problema diretto) sembra essere sufficiente per riconoscere il piano di faglia tra i due piani coniugati, risolvendo l'intero problema della distribuzione dello slip su entrambi i piani. L'utilizzo di dati *broadband* osservati a distanza regionale permette di ottenere livelli di *performance* simili tra loro in caso di buona o di cattiva copertura strumentale delle immediate vicinanze della faglia. Nel caso italiano, è chiaro che le potenzialità di applicazione dei metodi appena descritti cresceranno seguendo in modo diretto lo sviluppo tecnologico delle reti sismiche *broadband* operanti. Nelle applicazioni che correntemente vengono fatte in N. California, generalmente, i parametri relativi ad una faglia estesa possono essere disponibili dopo circa 30 minuti dall'occorrenza del terremoto.

2.3 ShakeMap

Generazione della ShakeMap. Il codice *ShakeMap* produce scenari di scuotimento sismico in termini di contour maps di parametri strong motion a partire dai dati di scuotimento del terreno registrati intorno alla faglia. Questi possono essere di vario tipo: valori di picco (accelerazione, velocità), ampiezze spettrali (accelerazione, velocità, spostamento), ma anche intensità strumentali (Wald et al., 1999b). Sulla base di un data base che raccoglie i dati di sintesi relativi alla geologia locale, i dati acquisiti vengono corretti e quindi riferiti ad un generico sito su roccia. In base alle informazioni disponibili sulle caratteristiche della sorgente sismica, ed utilizzando opportuni modelli di attenuazione regionale, i dati di scuotimento vengono successivamente propagati/interpolati/estrapolati entro la regione colpita dal terremoto, tenendo conto dell'anisotropia della radiazione sismica dovuta al meccanismo focale e di eventuali fenomeni di direttività. I dati interpolati sono quindi "riportati" di nuovo in superficie attraverso un processo inverso di correzione relativo alla geologia superficiale dei siti in cui lo scuotimento è interpolato/estrapolato. A questo punto, si possono ottenere contour maps dello scuotimento del terreno in tutta la regione colpita dal terremoto. Le mappe di scuotimento del suolo vengono aggiornate e raffinate in momenti successivi (si veda ad esempio Dreger et al., 2004), passando dall'utilizzo di una sorgente puntiforme isotropa, a quello di una sorgente puntiforme di doppia coppia, e quindi, se la magnitudo del terremoto lo richiede, ad una sorgente estesa con una distribuzione complessa di slip sulla superficie di faglia.

In particolare nel caso di eventi sismici significativi, per la determinazione dello scuotimento sismico vengono utilizzati i risultati delle inversioni 2-D sulla faglia estesa. A questo livello sono disponibili diverse opzioni. Ecco alcune delle scelte possibili:

- Orientazione e lunghezza della faglia estesa possono essere utilizzate per correggere opportunamente la *ShakeMap*, introducendo la distanza faglia-sito (invece che ipocentro-sito, ovvero epicentro-sito) per il calcolo del *ground motion*.
- Orientazione, lunghezza della faglia e direttività della sorgente sismica devono servire per adattare al caso specifico le relazioni predittive del moto del suolo (PGA, PGV, SA, etc.). Come accennato in precedenza, un approccio possibile è quello di Sommerville et al. (1997).
- Il modello cinematico ottenuto per la sorgente sismica può essere spazialmente e temporalmente integrato con funzioni di Green *near-fault*, per simulare correttamente il *ground motion* nel campo vicino. Benché sia chiaro che (a causa del comportamento caotico della radiazione di alta frequenza) modelli cinematici semplificati ed approcci puramente deterministici precludono la corretta simulazione di PGA e PGV, le mappe prodotte con i metodi descritti hanno dimostrato notevole accuratezza (Dreger e Kaverina, 2000; Kaverina et al., 2003).

Inoltre, altre informazioni utili alla determinazione di un modello di sorgente più complesso e realistico (dati geodetici GPS e dati radar telerilevati relativi allo spostamento permanente cosismico del terreno di accuratezza centimetrica, dati relativi alla fagliazione superficiale indotta

dal terremoto) possono essere introdotte nel data base utilizzato per produrre la *ShakeMap*, sia in tempo reale che in tempi successivi.

Revisione della ShakeMap. Nelle attuali applicazioni presso il *California Integrated Seismic Network* è prevista una procedura di revisione da parte di un analista sismologo. In questa fase l'operatore agisce in vari ambiti della procedura di generazione della *ShakeMap*:

- Utilizza modelli di rottura più complessi nella procedura di inversione (esempio: superfici di faglia multiple invece che singolo piano di rottura, *multiple time windows* invece che singola finestra temporale, variabilità nella direzione di *slip* invece che direzione di *slip* costante);
- Aggiunge ulteriori informazioni, mano a mano che queste si rendono disponibili (esempio: dati circa la fagliazione superficiale, dati geodetici, etc.).
- Corregge eventuali errori di localizzazione automatica, ovvero errori di altra natura.

Sempre in questo ambito, sono allo studio interfacce di tipo Web tali da permettere all'analista di apportare, velocemente e semplicemente, le opportune variazioni ai parametri di input iniziali di *ShakeMap*, e che permettano anche di variare le caratteristiche delle inversioni. In altre parole, alcuni parametri chiave devono poter essere facilmente modificati in tutti i diversi stadi previsti dalla procedura di *ShakeMap* (stazioni utilizzate per la determinazione della soluzione focale, funzioni di Green, orientazione della faglia, localizzazione ipocentrale, tempo origine, rise time, velocità di rottura, etc.). L'interfaccia Web ha la funzione di impacchettare i parametri di input secondo le necessità dell'analista, e mantenere traccia di tutti i *run* precedenti. I tempi previsti per la revisione sono quelli tipici del turnista sismologo nelle attuali procedure di localizzazione e comunicazione degli eventi sismici importanti. Nel caso di soluzioni focali più complesse (es, piani di faglia multipli) necessariamente si deve ricorrere ad analisi totalmente off-line; in alcuni casi è possibile ottenere mappe di scuotimento sismico affidabili solo dopo alcuni giorni

3. Descrizione del progetto

Lo scopo del presente progetto è l'implementazione di un insieme di procedure che consentano la rapida caratterizzazione del moto del suolo per terremoti che si verificano nel territorio nazionale. Si conta, in primo luogo, di verificare la reale applicabilità del programma di calcolo *ShakeMap* in relazione alla attuale disponibilità in tempo reale (o quasi reale) di dati Strong Motion e/o Broad-Band per il territorio nazionale. In tale ambito, questo progetto sarà certamente avvantaggiato dal poter contare sulle numerose attività già in corso, indirizzate al miglioramento del sistema di sorveglianza sismica del territorio Italiano. Sia la Rete Sismometrica Nazionale Digitale dell'INGV, sia le reti di monitoraggio regionale, si stanno rapidamente evolvendo verso sistemi di acquisizione e trasmissione in tempo reale del segnale sismico. In diretta continuità con le attività che l'INGV svolge nel settore della sorveglianza sismica, il progetto si propone di sviluppare principalmente le attività di trasmissione, elaborazione (identificazione della sorgente sismica) del dato sismologico oltre all'implementazione di *ShakeMap*.

Ricordando che si tratta di un progetto a scala nazionale di interesse precipuo della Protezione Civile, l'obiettivo è rappresentato dall'implementazione, calibrazione e validazione di un prodotto applicativo in grado di produrre in tempi rapidi uno scenario di scuotimento sismico: in tale ottica sono stati sollecitati ed accettati principalmente contributi strettamente applicativi e indispensabili a garantire l'operatività delle procedure per il calcolo delle *ShakeMaps*.

La realizzazione delle attività del progetto passerà attraverso l'istituzione di un organismo che avrà il compito di raccogliere e distribuire i dati sismologici prodotti da tutti o da alcuni dei soggetti (enti di ricerca ed università) partecipanti al progetto. Si propone pertanto la creazione dell' "Integrated

Italian Seismic Network” (portale web: <http://www.iisn.org>), nel cui ambito le *ShakeMaps* potranno essere presentate al mondo esterno. Dall’interno dell’*Integrated Italian Seismic Network* si potrà realizzare l’interfaccia tra il flusso dei dati in tempo reale ed i programmi di calcolo *ShakeMap*. Sempre attraverso IISN, si potrà anche organizzare la distribuzione dei dati sismologici raccolti per S4 verso il mondo esterno. La distribuzione dei dati avrà luogo con modalità da definirsi, ma simili a quelle che vengono utilizzate da altre analoghe istituzioni internazionali. La realizzazione dell’IISN, pur non essendo strettamente necessaria al raggiungimento del principale obiettivo del progetto, potrebbe rappresentare un efficace tentativo per lo sviluppo della ricerca sismologia italiana: in tale ottica il presente progetto potrebbe stimolare tutti gli enti e organizzazioni che svolgono attività di monitoraggio sismico alla cooperazione finalizzata ad una effettiva integrazione delle reti sismiche ovvero alla condivisione del dato sismologico.

L’intero progetto S4 si gioverà della diretta collaborazione di sismologi di chiara fama della comunità internazionale (Dreger, Mayeda, Herrmann, Walter, etc.), e avrà allocate due unità di personale ricercatore presso INGV (risorse esterne al progetto S4) che verranno reclutate con una *call for applications* internazionale. Tali ricercatori verranno impegnati nelle attività del Task 3, con particolare riferimento a quelle di modellazione di forme d’onda sismometriche.

Il progetto si articolerà nelle seguenti cinque task:

- 1) Organizzazione, integrazione e scambio dati
- 2) Definizione di modelli crostali
- 3) Stima rapida delle caratteristiche della sorgente sismica, implementazione di *ShakeMap* e verifica del suo funzionamento, apertura del portale www.iisn.org.
- 4) *Ground motion scaling* regionale
- 5) Stima degli effetti di sito alle stazioni di registrazione ed utilizzo di GIS esistente (classificazione del territorio nazionale tipo Eurocode)

Task 1 - Organizzazione, integrazione e scambio dati. (Responsabili: S. Mazza e F. Mele)

Scopo di questo Task è quello di formare il database sismologico/geodetico necessario per il funzionamento automatico dei programmi di calcolo: dovranno essere definite le principali caratteristiche dei dati e tutte le procedure necessarie per una loro omogeneizzazione e trasmissione presso il centro dati del Centro Nazionale Terremoti (CNT) dell’INGV. La generazione di una *ShakeMap* si realizza attraverso una procedura multi-stadio che prevede, in primo luogo, la raccolta di dati di reale scuotimento e, in un momento successivo, la determinazione delle principali caratteristiche geometriche/cinematiche della sorgente sismica, ottenute utilizzando dati sismologici di tipo parametrico, inversione di forme d’onda e, nel caso di eventi particolarmente energetici, geodetici. Da quanto esposto, appare chiaro che la realizzazione di un sistema robusto per il calcolo di una *ShakeMap* su qualsiasi regione del territorio nazionale può essere ottenuta soltanto attraverso l’integrazione delle reti regionali (broadband, a corto periodo ed accelerometriche) con la rete nazionale. Le UR coinvolte nel Task, in base alle caratteristiche delle reti operanti sul territorio nazionale, provvederanno alla definizione delle procedure necessarie per il trasferimento dei dati utili alla compilazione di una *ShakeMap* presso il centro elaborazione dati dell’INGV. In particolare, si prevede il trasferimento rapido dei seguenti dati:

- Quelli di scuotimento reale registrati nell’area epicentrale (esempi possibili: PGA, PGV, $S_{aT=1}$, etc.);
- Quelli sismologici necessari alla determinazione della sorgente sismica (tempi di arrivo, forme d’onda, localizzazione dell’evento, stima della magnitudo, etc.).

Altre attività previste nel Task riguarderanno l'utilizzo dei dati provenienti dalle stazioni geodetiche al momento in funzione in Italia. In particolare, saranno interfacciati i dati geodetici e/o interferometrici con le procedure dedicate alla determinazione della sorgente sismica. Fanno capo a questo Task anche le attività indirizzate all'utilizzo ed alla interpretazione dei dati telerilevati, sia ottici che radar. I dati saranno forniti (a prescindere dai formati) corredati di tutte le informazioni necessarie alla correzione strumentale. Tutti i dati in tempo reale saranno condivisi tra tutti i partecipanti al progetto. Il data set sarà aperto anche verso il mondo esterno, con modalità e tempi di accesso simili a quelli richiesti dalle principali istituzioni internazionali che si occupano della gestione di banche dati sismologici. Le più importanti sorgenti di dati che alimenteranno in tempo reale il database delle forme d'onda digitali saranno le seguenti:

- Rete Accelerometrica Nazionale del SSN;
- Rete Sismometrica Nazionale Digitale dell'INGV;
- Rete Geodetica dell'INGV;
- Rete MedNet dell'INGV;
- Rete delle Alpi Occidentali e della Garfagnana-Lunigiana della UniGe;

Nel database verranno anche riversati i dati accelerometrici prodotti dalle stazioni a basso costo che saranno messe a punto presso il CRS-OGS.

Obiettivi

- i) Implementazione presso i centri elaborazione dati delle reti regionali di procedure per la raccolta dei valori di scuotimento reali (forme d'onda, PGA, PGV, Sa, etc.);
- ii) Implementazione di un insieme di procedure robuste per far confluire tutti i dati "sensibili" relativi alle reti regionali (forme d'onda, valori di scuotimento massimo misurati, tempi di arrivo, localizzazioni preliminari, stime di magnitudo, etc.) presso il centro elaborazione dati INGV della rete nazionale;
- iii) Valutazione delle potenzialità di utilizzo (in occasione di grandi terremoti che dovessero colpire il territorio nazionale) dei dati:
 - provenienti dalle stazioni geodetiche;
 - telerilevati per la determinazione di scenari di danno speditivi;
 - di interferometria InSAR;
- iv) Implementazione/installazione software per interfacciare i dati con i programmi di elaborazione necessari per il calcolo delle *ShakeMap*.

Task 2 - Definizione di modelli crostali (Responsabile: C. Chiarabba).

Il principale obiettivo di questo Task consiste nella definizione di modelli di velocità del territorio italiano, da utilizzare nella procedura di determinazione delle caratteristiche della sorgente sismica. Le attività previste per questo Task dovranno portare alla stima degli insiemi di funzioni di Green necessari per il funzionamento dei programmi di calcolo del tensore momento: le variazioni dei modelli crostali entro l'area italiana dovranno essere tenute in considerazione attraverso studi mirati alla definizione della topografia della Moho, ed alla stima di modelli 1-D regionali, validi in opportuni intervalli di frequenza.

Limitatamente ad alcune aree, verranno condotti studi specifici indirizzati alla stima di modelli di

propagazione 3D derivati da inversioni tomografiche. Faranno capo a questo Task anche le attività indirizzate alla valutazione della qualità e dell'attendibilità delle localizzazioni degli eventi sismici in tempo reale, in relazione ai modelli di velocità utilizzati ed alla tipologia di dati disponibili (qualità dell'informazione, geometria di rete disponibile, etc etc).

Obiettivi

- i) Suddivisione del territorio nazionale in un set di regioni "omogenee". La suddivisione potrà essere fatta, ad esempio, sulla base di un modello della topografia della Moho. Per ogni regione:
 - determinazione di un modello di velocità 1-D;
 - calcolo delle funzioni di Green per i vari meccanismi di dislocazione fondamentali.
- ii) Per alcune aree: generazione di modelli di velocità 3-D attraverso l'applicazione di procedure tomografiche.

Task 3 - Stima rapida delle caratteristiche della sorgente sismica, implementazione di ShakeMap e verifica del suo funzionamento, apertura del portale www.iisn.org (Responsabile: A. Michelini)

Le reti regionali broadband accelerometriche e velocimetriche sono generalmente sparse (stazioni di monitoraggio costose ed installazioni complesse). È chiaro che la progettazione di nuovo software, ovvero la scelta di software esistente per la determinazione delle caratteristiche di sorgente, deve partire dal presupposto che, nei casi reali, la distribuzione dei dati è meno che ottimale. In occasione di forti scuotimenti del terreno, è possibile che alcune delle stazioni della zona epicentrale rimangano isolate (caduta delle linee di trasmissione dati, interruzioni dell'energia elettrica, danneggiamento dei siti di osservazione, etc.), per cui la distribuzione delle stazioni attive potrebbe (ulteriormente) deteriorarsi.

Nelle attività in cui si articola questo Task si prevede di utilizzare/sviluppare un insieme di procedure multi-stadio che, in funzione delle caratteristiche dell'evento sismico e della tipologia dei dati sismologici disponibili, consentano differenti determinazioni delle caratteristiche della sorgente sismica: in una prima fase si provvederà a calcolare la magnitudo ed il tensore momento sismico. Nel caso di eventi di particolare rilevanza, verrà calcolata anche la distribuzione dello slip sulla superficie di faglia allo scopo di quantificare eventuali fenomeni di direttività.

Saranno implementate procedure per l'analisi delle sequenze di aftershocks in tempo reale.

Faranno capo a questo Task anche le attività per l'implementazione e la verifica del programma di calcolo *ShakeMap*, e per predisporre il sito *web* denominato "*Integrated Italian Seismic Network*".

Obiettivi

- i) Implementazione/installazione *software* per la determinazione delle localizzazioni mediante approcci di ricerca globale della soluzione;
- ii) Implementazione/installazione *software* per la localizzazione relativa ad alta risoluzione degli eventi di una sequenza sismica;
- iii) Implementazione/installazione *software* per il calcolo automatico rapido della magnitudo momento, per applicazioni tipo *early warning*;
- iv) Implementazione/installazione *software* per il calcolo accurato della magnitudo momento per terremoti, possibilmente anche al di sotto della soglia minima utile per la modellazione del meccanismo focale;
- v) Implementazione/installazione *software* per l'inversione rapida del tensore momento;
- vi) Implementazione/installazione *software* per il riconoscimento rapido del piano di faglia e la modellazione del campo di *slip*;
- vii) Implementazione *software* per lo studio statistico delle variazioni spazio-temporali

- dell'attività sismica (sequenze di aftershocks);
- viii) Implementazione e verifica del funzionamento del programma *ShakeMap*;
 - ix) Sviluppo ed apertura di un sito web denominato: "Integrated Italian Seismic Network" (www.iisn.org), in collaborazione con il Task 1.

Task 4 - Ground motion scaling regionale (Responsabile: A. Akinci).

Il contributo delle leggi di attenuazione regionale a *ShakeMap* è molto importante in quanto sia i dati osservati, che quelli prodotti sinteticamente vengono attenuati alle varie distanze ipocentrali attraverso leggi di attenuazione date. È chiaro anche che, per applicazioni in tempo quasi reale, l'unica distanza che ha senso utilizzare è la distanza ipocentrale (per misure di altro tipo della distanza dall'evento, infatti, occorrono informazioni che possono essere ottenute soltanto in tempi successivi alla determinazione della posizione del piano di faglia, appunto, e della distribuzione di slip su di esso).

Compatibilmente con l'esistenza di data set digitali di qualità sufficiente, in questo Task si provvederà alla quantificazione del *ground motion scaling* a scala regionale, con particolare riferimento all'Appennino Centrale e Meridionale, all'Arco Calabro, ed alla Sicilia Settentrionale. Verranno ottenuti gli andamenti con la distanza ipocentrale, ed eventualmente con la frequenza, dei valori di picco del moto del suolo (PGA, PGV), delle ampiezze di Fourier, delle accelerazioni e delle velocità spettrali.

Dovranno essere prodotte stime della durata dello scuotimento del terreno in funzione della distanza dall'evento (ipocentro) e della frequenza. Saranno coordinate specifiche attività di ricerca dedicate alla determinazione della magnitudo momento per terremoti di magnitudo medio-bassa (Mw 3.0 e inferiore), e studi specifici volti alla quantificazione dell'energia radiata in funzione della magnitudo dell'evento sismico.

Obiettivi

- i) Dopo opportuni studi di fattibilità: caratterizzazione di eccitazione ed attenuazione del *ground motion* nelle seguenti regioni: Arco Calabro, Sicilia Settentrionale, Appennino Centrale e Meridionale;
- ii) Calibrazione tecnica di Mayeda et al. (2003) su siti selezionati della rete nazionale *broadband* in varie regioni d'Italia;
- iii) Sviluppo/implementazione di procedure per la stima della magnitudo momento per terremoti di magnitudo medio-bassa;
- iv) Definizione dello *scaling* dell'energia sismica.

Task 5 - Stima degli effetti di sito alle stazioni di registrazioni ed utilizzo di GIS esistente (classificazione del territorio nazionale tipo Eurocode) (Responsabile: G. Milana)

I dati di scuotimento osservato, per essere effettivamente utilizzabili per la realizzazione di una *ShakeMap*, devono essere opportunamente corretti per tenere conto delle caratteristiche geologiche dei siti di registrazione, e riportati al livello atteso al bedrock. Una volta che i valori di scuotimento del terreno vengono riferiti al substrato roccioso, questi vanno "propagati" nella regione, ed interpolati ai vertici di una griglia che ne ricopre il territorio, e quindi "riportati" in superficie, tenendo conto delle caratteristiche locali della geologia. Appare dunque chiaro come l'attendibilità di una *ShakeMap* sia fortemente determinata dalla possibilità di produrre stime di scuotimento sismico comprensive di effetti di amplificazione locale. Per i motivi ora enunciati, è necessario disporre di una stima accurata della risposta sismica locale di tutti i siti accelerometrici/velocimetrici utilizzati e di un database di informazioni a scala nazionale sulla geologia di superficie.

In primo luogo, si provvederà alla caratterizzazione geologica delle stazioni disponibili, utilizzando

sia le informazioni disponibili (cartografia, etc.), sia attraverso specifiche campagne di rilevamento. Si prevede anche la caratterizzazione di alcuni siti attraverso la determinazione dei profili di velocità delle onde di taglio utilizzando tecniche geofisiche di superficie (NASW, profili a rifrazione SH, SASW, etc.). Sulla base delle informazioni disponibili si provvederà alla classificazione dei siti (EUROCODE) ed alla redazione di una scheda informativa per stazione.

Per quanto riguarda la valutazione della risposta sismica locale ai siti di registrazione, potranno essere utilizzate sia modellazioni numeriche 1D, sia tecniche sismologiche passive. Utilizzando il data base delle registrazioni relative alle stazioni sismiche, verranno condotte analisi standard (metodo "Nakamura", calcolo ed interpretazione dei rapporti H/V, etc.) ma anche studi specifici per lo sviluppo e la implementazione di tecniche innovative per la determinazione della risposta sismica locale in termini assoluti (vedi, ad esempio, la tecnica descritta da Malagnini et al., 2004a).

Per quanto riguarda la generazione di mappe di scuotimento comprensive di effetti di amplificazione locale, si prevede di utilizzare inizialmente la classificazione georeferenziata tipo Eurocode del territorio nazionale prodotta nell'ambito del progetto GNDT 2001-2004 coordinato dal Dr. Amato.

Obiettivi

- i) Raccolta informazioni disponibili ai siti e caratterizzazione geologica (litotecnica);
- ii) Caratterizzazione geofisica dei siti di registrazione;
- iii) Realizzazione di tabelle e classificazione dei siti di registrazione (*NEHRP*);
- iv) Analisi rapporti H/V e Nakamura ai siti di registrazione;
- v) Modellazione numerica della risposta di sito ai siti di registrazione;
- vi) Valutazione della risposta sismica assoluta dei siti di registrazione;
- vii) Verifica e raffinamento della classificazione tipo Eurocode a scala nazionale e sua integrazione in *ShakeMap*.

Le attività descritte ai punti ii), iv), v), e vi) saranno realizzate solo per un sottoinsieme di siti di registrazione, individuato sulla base delle informazioni attualmente disponibili. L'attività vii) sarà svolta soltanto in alcune regioni campione.

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.

Prodotti applicativi

- Prototipo di sistema integrato per la generazione di mappe di scuotimento sismico basato sul software *ShakeMap* (identificazione della sorgente sismica e generazione delle mappe di scuotimento).
- Prototipo del sito web denominato "Integrated Italian Seismic Network"
- Monografie relativi ai siti di installazione delle stazioni accelerometriche/velocimetriche comprensive di caratterizzazione geologico tecnica e/o geofisica e classificazione EUROCODE.

Principali prodotti di ricerca

- Previa raccolta adeguati databases: leggi di attenuazione del *ground motion* nelle seguenti regioni: Arco Calabro, Sicilia Orientale, Appennino Centrale e Meridionale.

- Data Set “regionalizzato” delle funzioni di Green per vari meccanismi di dislocazione fondamentali.
- *Scaling* dell’energia sismica.

5. Validazione dei risultati

Il presente progetto ha una durata troppo breve per garantire il funzionamento a regime di procedure di *ShakeMap* automatiche e affidabili. Una effettiva validazione delle mappe di scuotimento sismico prodotte da *ShakeMap* sarà evidentemente possibile solo quando si renderanno disponibili dati Broad-Band e Strong Motion relativi ad eventi di medie e grandi dimensioni. Nel presente progetto le attività di validazione avranno lo scopo di testare i programmi di calcolo automatico e le varie fasi relative al flusso dei dati nel database di IISN: si propone di produrre una *ShakeMap* con dati sintetici e di valutare in questo modo il livello di performance degli algoritmi utilizzati. Un altro test di validazione verrà condotto utilizzando i dati relativi a terremoti importanti avvenuti negli anni passati, per confrontare le *ShakeMap* calcolate con gli effettivi livelli di scuotimento osservato. I due metodi appena descritti, per il test e la validazione delle procedure automatiche di raccolta dati e di calcolo e modellazione numerica, sono tra loro totalmente complementari.

6. Fattori di rischio di mancato completamento attività

La principale fonte di rischio per il conseguimento dei principali obiettivi del progetto, cioè la implementazione e la validazione di *ShakeMap*, risiede nella effettiva disponibilità, qualità e quantità dei dati sismologici, con particolare riferimento alle forme d’onda ed ai parametri di scuotimento strong-motion. Tuttavia, il raggiungimento di un risultato minimo in termini di produzione di mappe di scuotimento in tempo quasi reale non è in discussione, il progetto essendo fortemente basato su attività già in atto e su procedure già parzialmente implementate e validate.

Le applicazioni tipo *ShakeMap* non sono altro che mappe di scuotimento frutto della interpolazione dei dati strong-motion registrati: è chiaro che un flusso insufficiente di dati accelerometrici in tempo reale o quasi-reale entro il database cui attingeranno i programmi di calcolo rappresenta la principale sorgente di rischio per la buona riuscita del progetto stesso.

Gli strumenti utilizzati per l’interpolazione dei dati relativi al moto del suolo devono tenere conto delle anisotropie della radiazione sismica dovute alla geometria ed alla orientazione del piano di faglia, delle corrette distanze dal luogo in cui l’energia sismica viene radiata, dei fenomeni di direttività connessi con l’attività di sorgenti estese, e delle modalità di attenuazione che le onde sismiche subiscono durante il loro percorso crostale.

Circa la corretta implementazione ed il corretto uso di programmi di calcolo complessi per il calcolo del tensore momento e della distribuzione dello slip su una eventuale faglia estesa, i rischi connessi con questo genere di attività appaiono molto scarsi. Infatti: a) il codice scelto per il calcolo automatico del tensore momento è già operativo da tempo, in modalità completamente automatica, presso CNT di INGV; b) l’estensione al caso in cui si voglia modellare una faglia di dimensioni finite verrà eseguita utilizzando il codice che, presso UC Berkeley, è abbinato allo stesso programma di calcolo scelto per la soluzione focale. La difficoltà consisterà nell’ottenere funzioni di Green affidabili a frequenze relativamente alte, per ottenere soluzioni focali corrette per i piccoli terremoti. Per i forti terremoti (per segnali di bassa frequenza, quindi) funzioni di Green meno raffinate, già disponibili al momento, potranno comunque dare risultati soddisfacenti. Altri metodi di inversione del tensore momento (Regional CMT solution, ad esempio), potranno anche essere utilizzati in modalità automatica, garantendo la ridondanza dei sistemi di calcolo e fornendo più soluzioni che potranno essere comparate tra loro.

Ciò premesso, osserviamo quanto segue:

Task 1. Le attività proposte nell’ambito dell’ acquisizione e trasmissione in tempo reale dei dati

sismologici parametrici (Localizzazione, Magnitudo, etc.) e di informazioni aggiuntive (scuotimento osservato, forme d'onda) sono già avviate da tempo e parzialmente sperimentate. Il team di UR che opererà nel Task 1 è competente e in possesso dei requisiti necessari. Ad oggi sono disponibili in tempo reale le informazioni "minime" necessarie per la generazione di una ShakeMap. Tuttavia, in base alle attività già in atto nell'ambito dello sviluppo del sistema di monitoraggio sismico del territorio nazionale, questa è la situazione attuale per quanto concerne la rete BB italiana: oltre alle 15+ stazioni della rete MedNet, negli ultimi 3-4 anni, soltanto INGV ha installato 30+ stazioni Nanometrics con sensori Trillium a 40 s ed a 120 s. La sola rete INGV a corto periodo consta di oltre 120 stazioni, mentre la rete BB Nanometrics di INGV a trasmissione satellitare consisterà, una volta completata la sua installazione, di altre 80 stazioni BB, in Italia e nei paesi a noi adiacenti (ad esempio, Croazia). A questo imponente network si devono aggiungere le stazioni delle reti regionali delle Alpi Occidentali e della Lunigiana –Garfagnana, gestita dall'Università di Genova, e la Rete Accelerometrica Nazionale di SSN.

Una validazione dei risultati in termini di mappe di scuotimento è certamente difficoltosa: i dati necessari per effettiva validazione delle ShakeMaps, si renderanno evidentemente disponibili al completamento delle reti BB e strong-motion (SM) italiana e con l'accadere di eventi di medie e grandi dimensioni. Rispetto al Task 1, la partecipazione di SSN al progetto potrebbe essere determinante per quanto riguarda il flusso di dati accelerometrici verso il database comune.

Alcune parti del territorio nazionale non saranno sufficientemente "coperte" dai dati SM e BB che confluiranno nel database di S4. Nelle regioni del Nord-Est, ad esempio, (Friuli-Venezia Giulia e Veneto, sostanzialmente), pur esistendo reti di monitoraggio weak-motion e strong-motion di buona qualità finanziate dalla Protezione Civile regionale del Friuli-Venezia Giulia, non sembra sussistere la possibilità di un flusso di dati in tempo reale verso il futuro database di S4. Affinchè la copertura strumentale del territorio nazionale diventi omogenea, INGV dovrà necessariamente espandere le sue reti di monitoraggio nel Nord-Est del Paese. È chiaro che, fino a quando la copertura di dati utili alla determinazione di ShakeMap in tempo reale non sarà sufficiente su tutto il territorio nazionale (dati direttamente disponibili in tempo reale nel database condiviso), non sarà possibile ottenere mappe di scuotimento in tempo reale sulle regioni con la strumentazione più carente. Si ribadisce che la partecipazione di SSN alla creazione del database condiviso dei dati accelerometrici in tempo reale è di importanza sostanziale.

Task 2. Anche se le attività proposte sono già avviate, alcuni degli obiettivi sono decisamente ambiziosi. In particolare se si vuole effettivamente portare la soglia minima di magnitudo per la determinazione del tensore momento ad un valore di M_w 3.5-4.0 è necessario disporre di modelli di velocità particolarmente dettagliati. Tuttavia, risultati inferiori alle aspettative non andranno ad alterare in maniera determinante la possibilità di conseguimento degli obiettivi principali del progetto. È chiaro inoltre che le performances dei codici di calcolo automatici saranno senza dubbio all'altezza delle più ambiziose aspettative in alcune regioni d'Italia, mentre per altre regioni le soglie minime di magnitudo per cui le valutazioni automatiche saranno affidabili dovranno essere più elevate.

Task 3. Questo task ha obiettivi particolarmente importanti in relazione agli obiettivi generali del progetto, in quanto punta ad integrare tutte le procedure (caratterizzazione della sorgente sismica, implementazione e validazione di ShakeMap) necessarie alla produzione delle mappe di scuotimento sismico. In particolare, risultati inferiori alle aspettative nell'ambito delle attività di implementazione e validazione di ShakeMap, rappresentano la principale fonte di rischio per il conseguimento degli obiettivi del progetto. La creazione dell'interfaccia con il mondo esterno dell'Integrated Italian Seismic Network, pur rappresentando un aspetto particolarmente innovativo del progetto e un obiettivo particolarmente importante per tutte le attività sismologiche di ricerca in Italia, non è essenziale ai fini dell'implementazione di ShakeMap.

Task 4. L'obiettivo ultimo del task è la quantificazione del ground motion scaling a scala regionale. Il livello di rischio delle analisi proposte dipende essenzialmente dall'esistenza e dalla disponibilità di dati digitali di qualità adeguata. Vengono inoltre proposti approcci innovativi per lo studio dello scaling dell'energia e del momento sismico che potrebbero dar luogo a risultati inferiori alle aspettative. Anche ipotizzando lo scenario minimo di raggiungimento dei risultati proposti, il rischio per gli obiettivi generali del progetto derivante da questo Task è minimo.

Task 5. Le attività proposte nell'ambito della valutazione della risposta sismica locale ai siti di registrazione sono già avviate da tempo e sperimentate. Il team di UR che opererà nel Task 1 è competente e in possesso dei requisiti necessari. Per quanto riguarda l'obiettivo relativo alla produzione di una nuova classificazione a scala nazionale tipo Eurocode, il livello di rischio dipende essenzialmente dalla disponibilità di informazioni geologiche (Cartografia Tematica Informatizzata) adeguate. Tuttavia il raggiungimento di un risultato minimo è garantito dall'esistenza di classificazioni tipo Eurocode prodotte nell'ambito dei precedenti progetti GNDT.

7. Riferimenti bibliografici

- Dreger, D.R., and A. Kraverina (2000). Seismic remote sensing for the earthquake source process and near-source strong shaking: a case study of the October, 16, 1999 Hector Mine earthquake, *Geophys. Res. Lett.*
- Dreger, D.R. (2003). TDMT_INV: Time Domain Seismic Moment Tensor INVersion, International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology, Volume 81B, p. 1627.
- Dreger, D.R., L. Gee, P. Lombard, M.H. Murray, and B. Romanowicz (2004). Rapid Finite-Source Analysis and Near-Fault Strong Ground Motions – Application to the 2003 Mw6.5 San Simeon and 2004 Mw6.0 Parkfield Earthquakes, *Geophys. Res. Lett.* (submitted).
- Kraverina, A., D.R. Dreger, and E. Price (2003). The combined inversion of seismic and geodetic data for the source process of the October 16 1999 M_w 7.1 Hector Mine, California earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 92, 1266-1280.
- Malagnini, L., K. Mayeda and A. Akinci (2004). Estimare absolute site effects, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 94, 1343-1352.
- Mayeda, K., A. Hofstetter, J.L., O'Boyle, W.R. Walter (2003), Stable and transportable regional magnitudes based on coda-derived moment-rate spectra. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 93, 224-239.
- Mayeda, K. and W.R. Walter (1996), Moment, energy, stress drop, and source spectra of western United States earthquakes from regional coda envelopes. *J. Geophys. Res.* 101, 11, 195-11,208.
- Morasca, P., K. Mayeda, L. Malagnini, and W.R. Walter (2005), Coda-derived source spectra, moment magnitudes, and energy-moment scaling in the western Alps, *Geophys. J. Int.* 160, 263-275.
- Sommerville, P.G., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N.A. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith, and A. Kowada (1999). Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion, *Seism. Res. Lett.*, 70, 59-80.
- Wald, D.J., V. Quitoriano, T.H. Heaton, H. Kanamori, C.W. Scrivner, and C.B. Worden (1999a). TriNet Shakemaps: rapid generation of instrumental ground motion and intensity maps for earthquake in Southern California, *Earthquake Spectra*, 15, 537-555.
- Wald, D.J., V. Quitoriano, T.H. Heaton, H. Kanamori (1999b). Relationships between peak ground acceleration, peak ground velocity and modified Mercalli intensity in California, *Earthquake Spectra*, 15, 557-564.
- Wells, D.L. and K.J. Coppersmith (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 84, 974-1002.

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

UR	Enti	Resp.	Task1 Database	Task2Mod. velocità	Task3 Impl. software	Task4 Leggi attenuaz	Task5 Effetti di sito	Mesi p. cofin.	Mesi p. rich.
UR-1	INGV -CNT	Michelini,	@	@	@		@	316	0
UR-2	INGV-RM1	Akinci		@		@	@	96	0
UR-3	OGS	Priolo	@	@	@		@	54	0
UR-4	UniGE	Spallarossa	@	@	@		@	42	60
UR-5	UniTs	Costa		@	@		@	28	6
UR-6	UniRM2	Pierdicca			@			26	24
UR-7	Uni-RM1	Cardarelli					@	20	60
	Totale							582	252

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

UR	Istituz.	Personale		Missioni Italia		Missioni estero		Consumi servizi		Inventariabile		Totale		tot
		2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	
1	INGV-CNT	---	---	20,80	18,25	58,50	63,00	95,50	46,60	5,00	---	179,80	127,85	307,65
2	INGV-RM1	---	---	7,65	6,60	18,10	16,20	24,70	35,50	10,00	5,00	60,45	63,30	123,75
3	OGS-CRS	49,70	49,70	13,00	13,00	---	---	---	---	22,30	22,30	85,00	85,00	170,00
4	UniGe	38,00	38,00	20,00	16,00	3,40	3,80	6,30	18,00	27,00	27,00	94,70	102,8	197,50
5	UniTs	27,50	27,30	2,50	1,90	5,50	2,50	6,28	7,20	8,00	6,00	49,78	44,90	94,68
6	UniRm2	19,00	19,00	0,50	0,45	---	---	---	1,80	---	---	19,50	21,25	40,75
7	UniRm1	4,75	4,75	9,00	---	---	3,60	---	2,70	27,00	---	40,75	11,05	51,80
	Tot	138,95	138,75	73,45	56,20	85,50	89,10	132,78	111,80	99,30	60,30	529,98	456,15	986,13

Totale (Euro): 986.130

INGV: 431.400 (44 %)

Altri enti: 554.730 (56 %)

Progetto S5

Definizione dell'input sismico sulla base degli spostamenti attesi

Coordinatori: Ezio Faccioli (Politecnico di Milano) e Antonio Rovelli (INGV-RM1)

1. Obiettivo

1. Definizione di un modello dell'azione sismica come spettro di risposta elastico di spostamento (SRS), adatto per normativa sismica, con valore arbitrario del fattore di smorzamento, includendo l'influenza delle caratteristiche locali del suolo e – laddove necessario - gli effetti di campo vicino.
2. Creazione di mappe di pericolosità del territorio nazionale che rappresentino l'azione sismica (corrispondente a periodi di ritorno prefissati) mediante ordinate dello SRS o, in forma equivalente, mediante parametri di moto del suolo atti a determinare univocamente lo spettro stesso secondo il modello del punto 1.

2. Basi e quadro di riferimento

2.1 Cenni sul metodo di progettazione agli spostamenti, e requisiti conseguenti sullo spettro di risposta. Nell'approccio tradizionale alla progettazione antisismica delle strutture, basato sulle forze, si assume che uno spettro di risposta di accelerazione fornisca (per uno smorzamento assegnato) una misura affidabile delle forze elastiche di progetto agenti sulla struttura, e che pertanto esso rappresenti un indicatore adeguato della "domanda" sismica. Pur essendo note le limitazioni della progettazione basata sulle forze, essa rappresenta ancora l'approccio di gran lunga più diffuso, a causa della sua convenienza pratica.

Tuttavia, in anni recenti, la progettazione agli spostamenti ha suscitato interesse crescente tra gli ingegneri perché, in presenza di azioni sismiche, gli spostamenti descrivono in maniera più esplicita delle forze la risposta strutturale, e quindi il danno. La filosofia della progettazione agli spostamenti è coerente con l'impostazione delle normative sismiche più recenti: le strutture vanno progettate per subire deformazioni in campo plastico durante terremoti violenti e per soddisfare criteri di stato limite di servizio in terremoti moderati. Nella progettazione agli spostamenti, si prefissa uno spostamento-obiettivo piuttosto che uno spostamento limite; ciò consente di affrontare tanto stati limite di servizio che ultimi usando lo stesso procedimento.

Approcci alla progettazione agli spostamenti sono stati sviluppati per strutture in calcestruzzo armato (CA), basati sul concetto di struttura equivalente che modella un sistema inelastico come sistema elastico equivalente. Grazie all'introduzione di quest'ultima, diviene possibile progettare e analizzare un sistema strutturale non lineare usando spettri di risposta elastici. La Fig. 1 rappresenta un'approssimazione alla risposta forza-spostamento di una struttura; la rigidezza efficace, K_{eff} , è la rigidezza secante rispetto allo spostamento limite di progetto, D_u , lo smorzamento efficace è collegato all'energia (di tipo isteretico) dissipata, ciò che conduce a livelli di smorzamento elevati. Dato lo spostamento-obiettivo e lo smorzamento efficace, si determina il periodo proprio di vibrazione della struttura equivalente usando lo spettro di spostamento elastico. Si può dunque calcolare la rigidezza efficace e progettare la struttura.

A livello di normativa, solamente l'Eurocodice 8 [CEN (2004), Part 1, Annex A] fornisce uno SRS di progetto definito analiticamente sino a periodi di vibrazione $T > 6$ s, che risente però di limitazioni derivanti dai dati disponibili al momento dell'elaborazione (1998-99). A parte tale ragguardevole eccezione, non sono ancora disponibili né SRS adatti al metodo di progettazione agli spostamenti (estesi cioè fino a valori sufficientemente elevati del periodo di vibrazione e per differenti valori – anche elevati - di smorzamento), né tanto meno mappe di pericolosità che rappresentino l'azione sismica tramite SRS.

Quantunque esistano diversi approcci di dettaglio nel metodo di progettazione agli spostamenti, la loro applicazione richiede che l'azione (o *domanda*) sismica di progetto, anziché da uno spettro di risposta elastico di accelerazione, sia descritta da uno SRS. Una struttura relativamente comune come un edificio di 10-15 piani, sollecitata per effetto del terremoto in campo di comportamento plastico, può subire un aumento molto rilevante del proprio periodo dominante di risposta rispetto

al periodo proprio di vibrazione elastico iniziale (in assenza di danni, compreso indicativamente tra 1.0 e 1.5 s); ne discende l'esigenza di definire lo SRS su un intervallo sufficientemente ampio di valori del periodo proprio di vibrazione (3-4 s); se si considerano, come è d'obbligo, anche strutture lunghe e flessibili come i ponti, tale limite deve essere ulteriormente esteso.

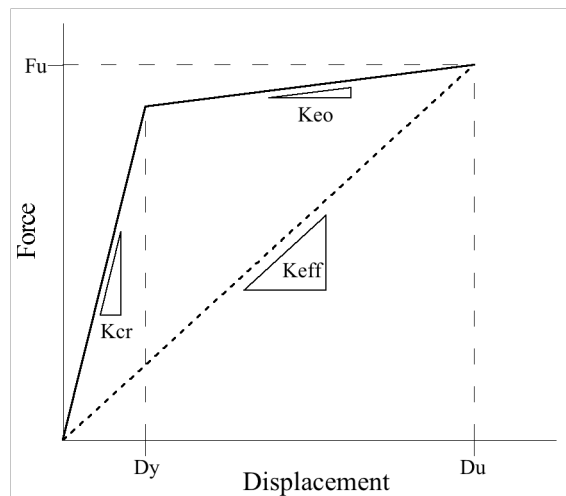


Fig. 1. Struttura elastica equivalente (rigidezza K_{eff}) nel metodo di progettazione agli spostamenti.

Ad esempio, il citato Eurocodice 8 descrive lo spettro di spostamento nell'intervallo di periodi di vibrazione compreso tra 4 e 10s, separatamente da quello di accelerazione che è definito nell'intervallo di periodi di vibrazione $0 \leq T \leq 4s$; entro quest'ultimo si può ricavare lo SRS moltiplicando lo spettro di accelerazione per il fattore $(T/2\pi)^2$. Lo stesso Eurocodice 8, peraltro, non include esplicitamente il metodo agli spostamenti come strumento di progettazione e verifica, pur fornendo la descrizione compatibile dell'azione sismica richiesta.

Rappresentare l'azione sismica con uno spettro di risposta elastico presuppone che la risposta della struttura, assimilata ad un oscillatore dinamico smorzato ad 1 GdL, sia di tipo viscoelastico lineare. Tuttavia la verifica progettuale di una struttura reale viene condotta avendo come obiettivo la sicurezza riguardo a determinati stati limiti di danno, ovvero in campo di comportamento plastico (giacché danno strutturale è sinonimo di deformazioni permanenti). Per rendere la risposta dell'oscillatore non lineare, ad esempio elasto-perfettamente plastico, assimilabile a quella di un sistema linearizzato, lo si sostituisce con un oscillatore viscoelastico equivalente con rigidezza K_{eff} [ovvero periodo proprio: $T_0 = 2\pi(K_{eff}/m)^{-1/2}$] e smorzamento ζ_{eff} tali da dar luogo allo stesso spostamento di progetto e alla stessa energia dissipata per ciclo isteretico dell'oscillatore non lineare. Ciò conduce alla necessità di calcolare SRS *sovrasmorzati*, ovvero corrispondenti a valori del fattore di smorzamento anche molto superiori agli ordinari valori di riferimento (tipicamente 0.02 – 0.05) per gli spettri di progetto elastici.

Infine, nell'approccio (oggi dominante) alla progettazione antisismica basato sulle forze si quantifica l'azione sismica mediante uno spettro di risposta di accelerazione la cui forma dipende dalle condizioni locali del suolo e avente come fattore di scala un unico parametro di pericolosità (a_g = accelerazione orizzontale di picco su suolo rigido per una probabilità prefissata di eccedenza). Nell'ottica di una introduzione a breve-medio termine della progettazione basata sugli spostamenti nelle norme sismiche, un'impostazione analoga appare auspicabile, ovvero uno SRS normalizzato (dipendente dalla magnitudo) su suolo rigido, che usi per la normalizzazione un numero molto ristretto di parametri di scala (al limite, uno solo), da rappresentare in una o più mappe di zonazione sismica del territorio.

2.2 Aspetti relativi alle strutture monumentali. La definizione dell'azione sismica in termini di SRS

appare di notevole importanza per una corretta valutazione, anche a livello normativo, della risposta sismica di strutture storiche e monumentali. Queste infatti sono spesso caratterizzate da grandi aule senza pareti o solai di irrigidimento intermedi, volte sottili di notevole luce, elementi verticali molto snelli. I periodi propri di vibrazione di tali strutture sono quindi, già nella fase elastica iniziale, piuttosto elevati (specie per torri campanarie, alcuni tipi di chiese, obelischi) e tendono ad aumentare notevolmente a seguito della fessurazione delle strutture murarie, pressoché non resistenti a trazione.

Inoltre, le costruzioni storiche in muratura sono spesso affette da meccanismi di collasso locale, che interessano singole porzioni (macroelementi), in genere costituite da parti riconoscibili architettonicamente nella costruzione, ad es. una facciata, un arco trionfale, una loggia. Dal punto di vista meccanico, ciò dà luogo a comportamenti di tipo elastico non lineare, ovvero con una limitatissima dissipazione isteretica. Ne consegue che il problema di definire il sistema elastico equivalente difficilmente può essere risolto assumendo una rigidità secante rispetto allo spostamento limite di progetto, in quanto appare arbitrario agire sullo smorzamento efficace.

La definizione di una rigidità secante intermedia tra la rigidità elastica e quella allo spostamento limite, associata ad uno smorzamento mantenuto al 5%, proposta in precedenti lavori, merita una validazione più ampia, attraverso il confronto con analisi dinamiche non-lineari.

Per le strutture storiche in muratura, in molti casi non è banale definire un sistema non lineare equivalente a 1 gdl (curva di capacità). Recenti approcci basati sul teorema cinematico dell'analisi limite dell'equilibrio, richiede sistematiche verifiche numeriche.

2.3 Modello iniziale di riferimento. Le menzionate applicazioni alle norme sismiche rendono fortemente desiderabile assumere un modello di riferimento per la rappresentazione dello SRS, *per moto sismico sia orizzontale che verticale*, che ne descriva la sua dipendenza da (o relazione con):

- l'energia della sorgente sismica (magnitudo, ovvero momento sismico)
- i parametri di scuotimento di picco del suolo, in particolare lo spostamento massimo,
- le condizioni di suolo locale (secondo lo EC8, e quindi l'ordinanza PCM 3274)
- il valore del fattore di smorzamento.

Per garantire che il progetto raggiunga, entro i limitati tempi previsti, gli obiettivi enunciati in 2. e fornisca i prodotti scientifici conseguenti, in particolare la rappresentazione in termini di SRS della pericolosità sismica del territorio italiano, verrà assunto come modello *iniziale* di riferimento per lo SRS quello formulato da Faccioli et al. (2004), d'ora innanzi indicato come FPR04, per lo spettro a smorzamento standard (0.05 e anche 0.0). Infatti, tale modello:

- discende dallo studio probabilmente più aggiornato e completo di cui si dispone ad oggi (usando in particolare soltanto registrazioni accelerometriche digitali rigorosamente selezionate) sullo SRS per un intervallo di periodi di vibrazione molto esteso ($T \leq 10$ s), che copre praticamente tutte le esigenze dell'ingegneria strutturale;
- traccia un quadro sufficientemente chiaro sulle relazioni intercorrenti tra la forma e l'ampiezza dello SRS, un parametro chiave del moto rappresentato dallo spostamento massimo del suolo, la magnitudo momento, la distanza sorgente-sito, e le condizioni di suolo locali;
- propone un formato analitico della domanda sismica in termini di SRS ragionevolmente adattabile a esigenze di carattere normativo.

Essenziale nel modello di riferimento è il fatto che, con il conforto di una robusta base di osservazioni strumentali, l'ordinata dello SRS a periodo $T = 10$ s, con smorzamento 0.00 – 0.05, viene assunta uguale allo spostamento di picco del suolo (d_{max}) almeno sino a M_w pari a circa 7.5. Questa circostanza rende naturale la scelta di d_{max} come parametro di ancoraggio dello spettro ai lunghi periodi di vibrazione, e quindi anche come parametro di riferimento per la mappatura della

pericolosità in termini di SRS, analogamente a come l'accelerazione orizzontale di picco (a_{max}) è il naturale parametro di normalizzazione e di riferimento quando l'azione sismica è descritta in termini di spettro di risposta di accelerazione

Non rientra nel modello sviluppato in FPR04 la descrizione dello SRS per la componente verticale del moto, mentre vi rientrano in modo solo preliminare le modifiche da introdurre per tener conto di alcuni effetti di campo vicino (andamento a rampa della funzione temporale di spostamento causa dislocazione su faglia, ma non direttività della frattura sismica).

Ci si attende naturalmente che, con l'evolversi delle attività di ricerca del progetto, il modello proposto di riferimento iniziale venga integrato e perfezionato, così da arrivare a soddisfare tutti i requisiti sopra discussi.

3. Descrizione del progetto

In base alle premesse ed al quadro di riferimento testé tracciato, il progetto si articolerà nelle attività di ricerca (sottoprogetti o *task*) descritte a continuazione.

Task 1 - Perfezionamento ed integrazioni del modello iniziale di riferimento per lo SRS

Le attività contemplate in questo sottoprogetto comprendono essenzialmente:

- Reperimento su scala mondiale di registrazioni *strong motion* ottenute da accelerografi digitali, successive al 2001, e loro inclusione nella base dati di calibrazione del modello di riferimento. L'inclusione/esclusione avverrà mediante criteri ben definiti di analogia di contesto tettonico, onde poter procedere a successive applicazioni del modello al territorio italiano. Dovrà essere controllato se, con la base dati accresciuta, risultano variazioni significative rispetto alle curve spettrali medie osservate di FPR04.
- Introduzione della componente verticale, seguendo lo stesso procedimento indicato in FPR04 per le componenti orizzontali, verificando in particolare se esista dipendenza significativa dalle condizioni di suolo locali, definite orientativamente a partire dalle "ground classes" dell'Eurocodice 8 (con semplificazioni). Parimenti, dovrà essere messa in evidenza la dipendenza degli spettri medi osservati rispetto agli intervalli di magnitudo e distanza già individuati.

Task 2 - Valutazione dell'influenza di diverse forme di dissipazione sullo SRS; definizione di spettri di verifica per costruzioni monumentali

Ricadono in questo task due temi, riguardanti rispettivamente la rappresentazione semplificata della dissipazione di energia nel sistema equivalente a 1 gdl in funzione del comportamento isteretico assunto e, problema di rilievo per il patrimonio edilizio italiano, la formulazione di SRS di verifica per gli edifici monumentali.

Influenza delle forme di dissipazione sullo SRS. Nel progettare agli spostamenti, la dissipazione dell'energia sismica tramite meccanismi di risposta anelastici (di tipo isteretico) e/o dovuta alla presenza di appositi elementi dissipativi, può rappresentarsi tramite una adeguata diminuzione delle ordinate dello SRS. I fattori che quantificano tale riduzione dovranno tenere conto di: (i) tipo di risposta anelastica della struttura, (ii) periodo di vibrazione di quest'ultima, (iii) domanda in spostamento e (iv) caratteristiche della azione sismica (Lin e Chang, 2003; Bommer e Mendis, 2005). Le attività da svolgere in questa parte di sottoprogetto comprendono:

- (a) revisioni delle formulazioni attualmente disponibili per il calcolo dei fattori di riduzione dello SRS, e individuazioni dei loro limiti e necessità di sviluppo;

- (b) analisi dinamiche non lineari su sistemi ad 1 gdl, variando il periodo di vibrazione (cioè, rigidità a snervamento), le capacità di deformazione (cioè, duttilità) e il tipo di risposta (cioè, legge isteretica). In particolare i modelli isteretici di maggiore interesse sono: elasto-plastico, bilineare, Takeda modificato, Ramberg-Osgood e “flag-shaped”.
- (c) derivazione, tramite analisi statistica dei risultati di (b), dei fattori di riduzione dello SRS, rapportati allo spettro standard (smorzamento 5%), in funzione di duttilità e periodo proprio;
- (d) introduzione di coefficienti correttivi nei fattori di riduzione derivati in (c) per tenere conto del degrado di resistenza (softening) e di rigidità dovuta all'azione ciclica, non considerati in (b).
- (e) studio approfondito di eventuali modifiche delle equazioni ottenute in (d) per passare dal modello ad 1 gdl (necessario per l'esteso studio parametrico descritto) ad una struttura con più gradi di libertà (tipica delle applicazioni reali).

Definizione di SRS di verifica per costruzioni monumentali. Stante la difficoltà (o impossibilità *tout court*) già commentata di formulare per le costruzioni monumentali uno SRS di verifica con rigidità secante allo spostamento limite di progetto e smorzamento efficace, il compito sarà quello di analizzare alcune situazioni emblematiche, sotto forma di modelli di configurazioni caratteristiche (ad es. facciate e navate principali di chiese). Su questi saranno eseguite analisi dinamiche non-lineari con accelerogrammi di eccitazione accuratamente selezionati, allo scopo di definire precise ed affidabili regole di tipo pre-normativo per la verifica degli edifici monumentali tramite lo spettro di risposta elastico in spostamento.

Task 3 - Introduzione di effetti di campo vicino (*near-field*) nel modello di riferimento

Mentre in FPR04 si illustra, anche analiticamente, l'effetto sullo SRS di un segnale di spostamento a rampa (*fling step*), causato da dislocazione di faglia a breve distanza, non è stata invece trattata l'influenza della direttività della frattura sismica sugli SRS in campo vicino. La valutazione di tale influenza vicino alla faglia è abbastanza complessa perché il “directivity pulse” può subire variazioni spazio-temporali e spettrali importanti nel campo vicino, che si ripercuotono sullo spettro di risposta in spostamento (SRS). Alcuni degli studi più aggiornati (Somerville, 2003) indicano inoltre che l'intervallo di periodi principalmente interessato dipende fortemente dalla magnitudo.

Altro tema non trattato in FPR04 è l'effetto del meccanismo di faglia (*style-of-faulting*), che ha un'influenza importante sulla radiazione sismica. In più, a bassa frequenza, la rottura di faglia fino in superficie crea un comportamento fortemente asimmetrico soprattutto per le faglie inverse, a seconda che i ricevitori giacciono sul tetto o sul letto della faglia stessa.

Nell'ipotesi, da verificare in relazione ai Progetti S1 ed S3, che nel prossimo modello di zone sismogenetiche del territorio italiano saranno effettivamente introdotte singole faglie, e che si dovrà quindi calcolare la pericolosità nel campo vicino di tali faglie, appare approfondire ed integrare FPR04 come segue, principalmente (ma non esclusivamente) sulla base di analisi numeriche :

- Completamento di modelli osservazionali ed analitici semplificati per includere l'effetto di uno spostamento a rampa sullo SRS. Appare in particolare critico stimare come il “periodo d'angolo” dello SRS dipenda dal tempo caratteristico di rampa nello spostamento del suolo.
- Inclusione degli effetti di direttività e del meccanismo di faglia mediante trattazione semplificata e cautelativa, e individuazione dei rispettivi campi di applicabilità rispetto alla distanza dalla sorgente e della magnitudo.

Task 4 - Attenuazione dello spostamento del suolo a scala nazionale e regionale su basi osservazionali.

Sarà sviluppato in questo task un filone principale di ricerca, che sfrutta essenzialmente dati strumentali, ed uno più circoscritto che sfrutta correlazioni semiempiriche a partire dall'intensità

macrosismica.

Modelli di attenuazione su base strumentale. In base a FPR04, la zonazione della pericolosità del territorio italiano in termini di SRS richiede di rappresentare l'attenuazione di d_{max} (spostamento massimo del suolo) in funzione di distanza e magnitudo M_w mediante opportune relazioni eventualmente regionalizzate.

Il presente sottoprogetto avrà come compito principale il raccogliere e selezionare le osservazioni sismologiche strumentali digitali, anche di piccoli terremoti, nell'intervallo indicativo di periodi da circa 1s fino a circa 5 s (in quanto rappresentativo dei periodi a cui è associato lo spostamento di picco del suolo, orizzontale e verticale), e formulare relazioni di attenuazione per d_{max} , ordinate spettrali (e durata del moto) su base nazionale e, in alcuni casi, regionale. In questo ambito, per la prima volta si mirerà tra l'altro a definire il ruolo delle onde di superficie di medio periodo in ampie zone del territorio nazionale dove affiorano unità sedimentarie non calcaree.

Sono già disponibili presso INGV-Roma1 delle basi di dati strumentali digitali (*weak e strong motion*, ad es. Friuli, Abruzzo, Alpi Occidentali, Sicilia). Usando tutti i dati registrati per $M > 4.5$ (indicativamente) verrà effettuato uno studio dettagliato per determinare tutti i fattori che influenzano il moto del suolo in un intervallo di periodi da 2s a 5s. Regressioni di tipo classico saranno stimate usando i valori di picco e le ordinate spettrali in spostamento in funzione della distanza e della magnitudo. Le nuove relazioni di attenuazione che ne deriveranno sono peculiari di questo progetto e si differenziano da quelle degli altri progetti sismologici per il particolare intervallo di frequenze ($f < 1$ Hz) in cui vengono calcolate.

Entro questo tema principale si svilupperanno anche le seguenti attività su base regionale, ovvero:

Relazioni di attenuazione di spettri di risposta in spostamento per terremoti Etnai. Le registrazioni a lungo periodo di terremoti Etnai disponibili da alcuni anni presso INGV-Catania mostrano, già a partire da M_L 2.0, un contenuto spettrale con picchi a frequenze < 1 Hz. Questa anomalia ha generato forte impatto in termini di danni durante il terremoto M 4.4 del 27/10/ 2002 i cui dati mostrano, a un periodo di 3 s, ordinate spettrali di risposta più ampie di quelle predette per M 6 dalla regressione Sabetta-Pugliese (1996). Sfruttando i dati accelerometrici registrati nel 2002 e quelli raccolti successivamente dalla rete locale INGV, saranno sviluppate regressioni specifiche per questi terremoti, indispensabili per qualsivoglia stima di pericolosità nella zona Etna.

Relazioni di attenuazione regionali in zona alpina (provincia di Trento). Inizia, in concomitanza con l'avvio di S5, l'installazione di una rete regionale di accelerometri digitali nell'ambito della provincia di Trento, prevedendosi circa 15 stazioni già nel 2005 e probabilmente altrettante nel 2006, mirata anche a registrare dati da eventi con $M >$ circa 3. La disposizione della rete verrà ottimizzata al fine di: a) produrre una base di dati mirata anche alla formulazione di relazioni di attenuazione in spostamento rappresentative di una regione alpina a sismicità medio-bassa, b) attraverso 1-2 microreti locali, fornire indicazioni quantitative sulla risposta sismica ai medi e lunghi periodi delle valli alpine profondamente incise e con riempimenti alluvionali molto potenti (fino a 600 m, p. es. valle dell'Adige).

Correlazioni a base semiempirica. Verrà sviluppata un'attività indipendente dalla precedente, volta a formulare correlazioni a base semiempirica su scala regionale fra distanza dalla sorgente e picco di spostamento orizzontale, derivate da simulazioni condotte con il metodo della "funzione cinematica" KF (e. g. Pettenati e Sirovich, 2003). L'approccio si basa su: impiego di correlazioni tra intensità e spostamento di picco del suolo, validazione di mappe di scuotimento generate con il metodo KF su alcuni terremoti ben registrati anche spostamento, e infine calcolo di scenari parametrici comprendenti tutti i possibili meccanismi di rottura all'interno di una zona sismogenetica predefinita. Scelti in ogni punto i valori corrispondenti ad un certo percentile, tutte le

coppie di valori (distanza, spostamento massimo) verranno regrediti per ottenere una correlazione da impiegare in calcoli di pericolosità in termini di massimo spostamento del suolo.

Task 5 - Attenuazione dello spostamento del suolo sul territorio nazionale – modellazioni numeriche

Parallelamente al Task 4, data l'assenza di registrazioni accelerometriche da terremoti forti in molte zone chiave (ad es. la pianura padana), si ravvisa la necessità di ricorrere a modelli numerici sorgente-crosta-siti per simulare, su scala regionale (entro circa 200 km), la propagazione delle onde sismiche che governano lo SRS a periodi indicativamente > 2 s. Inoltre, sarà specificamente indagata con strumenti numerici anche la generazione di onde di lungo periodo lungo i bordi di importanti bacini sedimentari.

Modellazione della propagazione di onde a lungo periodo (1-10 s) in regioni estese. Atteso che la modellazione numerica dovrà rispettare i requisiti di: (a) definizione adeguata della struttura crostale quanto a contrasti di impedenza in superficie e in profondità (inclusa la profondità della Moho), (b) descrizione del campo d'onda completo in mezzi verticalmente eterogenei e con modelli di sorgente a dimensione finita con distribuzione eterogenea dei parametri, (c) dati di ingresso per la sorgente vincolati in modo statisticamente e fisicamente corretto, sarà sviluppato il calcolo di scenari di scuotimento per distanze sorgente-sito comprese tra 50 km e 200 km e magnitudo attese $M \geq 6$, in zone italiane da definire, usando come base di partenza la zonazione sismica ZS9 e modelli strutturali caratteristici della penisola italiana. La Pianura Padana rappresenta, in particolare, una delle aree più interessanti, per quanto attiene agli spostamenti a lungo periodo, in quanto caratterizzata da una spessa coltre sedimentaria e da scarsa attenuazione. Le modellazioni saranno effettuate con approcci che simulano gli effetti di sorgente finita in modo semplificato (rispettivamente modello di sorgente puntuale e correzione spettrale per la direttività, o somma stocastica di sub-eventi). I risultati delle simulazioni serviranno per calibrazione/confronto con le relazioni di attenuazione derivate su base osservazionale nel Task 4, ponendo particolare attenzione alla completezza degli insiemi di dati di partenza. Le simulazioni potranno anche fornire insiemi autonomi di dati di valore predittivo, particolarmente in zone dove mancano dati strong motion significativi.

Analisi parametriche di onde di lungo periodo generate localmente nei bacini sedimentari. Nei terremoti di San Fernando (1972) e Northridge (1994) si è riscontrata una forte discrepanza tra osservazioni e valori predetti dalle leggi di attenuazione per gli spettri di risposta a lungo periodo; è stato dimostrato che la causa è la diffrazione al bordo dei bacini sedimentari, che genera localmente onde superficiali la cui eccitazione/attenuazione dipende dalla geometria e dal profilo di velocità del bacino. Il bordo diventa così una potente sorgente locale di onde di lungo periodo che poi si attenuano con meccanismi mai parametrizzati finora in modo specifico. Si studieranno pertanto, con un approccio semplificato, le caratteristiche degli SRS a periodi $> 1-2$ s rappresentando in modo semplice geometria e profilo di velocità, in bacini sia di piccole (ordine di alcuni km) che di grandi dimensioni (centinaia di km), e usando modellazioni numeriche 2D, con dati di ingresso variati entro intervalli realistici. La validazione dei risultati delle modellazioni potrà essere effettuata grazie ai dati strong motion registrati in terremoti recenti su bacini sedimentari (ad es. Osaka, nel terremoto del 1995, e forse altri ancora). I risultati indicheranno le correzioni eventualmente da apportare in sede di pericolosità in presenza di bacini sedimentari.

Task 6 - Rappresentazione in mappa della pericolosità sismica del territorio italiano sulla base degli spostamenti spettrali attesi (SRS).

Questa attività costituirà il coronamento di tutto il progetto e consisterà nella costruzione di mappe

probabilistiche di pericolosità che rappresentino la domanda sismica in termini di SRS, presumibilmente attraverso d_{max} , a cui vengono direttamente associati gli spettri, come nell'esempio di Fig. 2. In particolare, la domanda sismica sarà quantificata in mappe corrispondenti a periodi di ritorno diversi, ad esempio, 100, 475 e 2000 anni, tali da consentire l'uso in un ambito (anche normativo) che prevede diversi livelli di prestazione delle costruzioni.

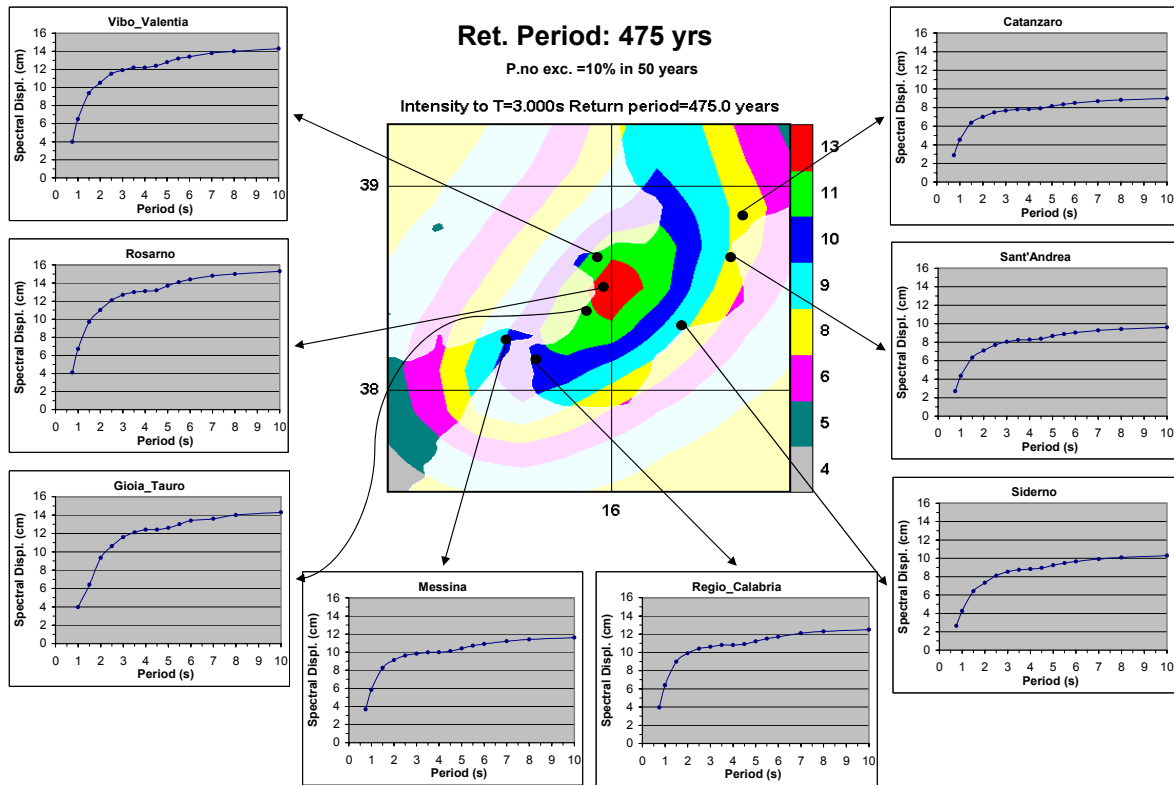


Fig. 2 - Esempio di mappatura di SRS nella regione dell'arco calabro, con smorzamento 0.05, per probabilità di eccedenza 0.10 in 50 anni (con zonazione sismogenetica ZS4)

Per la costruzione delle mappe, che inizierà in modo sistematico nel 2° anno del progetto, saranno utilizzate appieno le risorse già disponibili nel progetto S1. In particolare saranno:

- usati come dati di ingresso (zonazione sismogenetica, catalogo e derivati, criteri di completezza) quelli finali, o quasi, a cui sarà pervenuto il progetto S1 al termine del primo anno, nonché – per quanto riguarda in particolare sorgenti sismogenetiche identificate come singole faglie – quelli del progetto S2 alla stessa epoca;
- raccolti tutti i risultati rilevanti degli altri Task, parametrizzandoli ove necessario in modo da poterne fare uso nell'ambito di un calcolo probabilistico di pericolosità;
- adottato un metodo di calcolo analogo a quello usato per redigere la carta di pericolosità 2004 in termini di a_{max} , partendo dalla stessa struttura di albero logico (con le necessarie modifiche derivanti dalle diverse relazioni di attenuazione impiegate, e dalla eventuale introduzione di singole sorgenti sismogenetiche).

4. Fattori di rischio di mancato completamento attività

Il progetto ha per scopo la produzione di carte di pericolosità in termini di spettro di risposta di

spostamento. Esso è articolato in modo tale che, anche ove l'elevato grado di innovazione previsto nei singoli Task non fosse pienamente raggiunto, l'obiettivo sarà comunque essere realizzato con la costruzione del prodotto previsto. Per quanto riguarda i fattori di rischio derivanti dalla acquisizione di risultati da altri progetti sismologici, si può far riferimento all'introduzione – in alcune regioni - di singole faglie nel modello delle zone sismogenetiche (previste da S2), e ad alcuni approfondimenti previsti in S1 (vedasi *deliverable* 19 dello stesso). Un trasferimento in misura inferiore al previsto dei precedenti elementi potrà influire solo sul grado di innovazione, ma non sulla fattibilità del progetto stesso che è comunque garantita in termini di spettri in spostamento dalla zonazione ZS9 (con gli altri dati di ingresso a questa associati) e dalla base di dati DISS 3 per le sorgenti sismogenetiche.

5. Validazione dei prodotti applicativi

I prodotti applicativi finali del progetto sono le carte di pericolosità in spettro di spostamento (SRS) e si basano sull'assunzione di un modello dello stesso SRS ancorato al valore di picco dello spostamento del suolo. La fase finale di validazione verterà soprattutto sulla verifica di questa assunzione innovativa introdotta nella rappresentazione della pericolosità: l'ampio spazio dedicato nel progetto alla raccolta dei dati osservazionali e al confronto con risultati delle simulazioni numeriche offrirà strumenti sufficienti per valutare la validità (e le incertezze) del modello utilizzato. In particolare, si valuterà la fattibilità di validare l'assunzione relativa alla parametrizzazione dello SRS con il solo spostamento di picco mediante relazioni di attenuazione per ordinate spettrali a diversi periodi di vibrazione (da sviluppare).

6. Deliverable attesi e diagramma temporale delle attività

Task 1

- 6 mesi: D1 - Completamento base dati mondiale di registrazioni strong motion digitali, acquisizione della componente verticale per tutta la base dati, correzione, e processamento degli spettri.
- 12 mesi: D2 - Conferma/modifica modello di rif. iniziale FPR04; se necessarie modifiche, formulazione di ipotesi di modello aggiornato.
- 18 mesi: D3 - Modello finale di riferimento SRS campo lontano per zonazione
- 20 mesi: D4 - Modello finale SRS comprendente effetti campo vicino.

Task 2

Tema 1:

- 6 mesi: D5 - Completamento attività (a), (b) pag. 55
- 12 mesi: D6 - Quantificazione fattori di riduzione dello SRS, rapportati a spettro standard (smorzamento 5%), in funzione di duttilità e T .
- 18 mesi: D7 - Formulazione fattori di riduzione corretti per degrado di resistenza (softening) e di rigidità; procedura per passaggio da 1 a molti gdl. Relazione scientifica su metodo con esempi applicativi

Tema 2:

- 6 mesi: D8 - Completamento analisi preliminari per scelta di configurazioni caratteristiche in strutture monumentali ai fini analisi SRS.
- 12 mesi: D9 - Esecuzione e completamento analisi dinamiche non lineari di modelli di configurazioni caratteristiche in strutture monumentali.
- 18 mesi: D10- Formulazione completa metodo SRS per verifica strutture monumentali. Relazione scientifica su metodo con esempi applicativi.

Task 3

- 6 mesi: D11 - Formulazione quantitativa preliminare (di limite superiore), applicabile a relazioni di attenuazione, di modifiche a SRS per direttività in funzione di T e M ;
- 12 mesi: D12 - Formulazione quantitativa (di limite superiore), applicabile a relazioni di attenuazione, di modifiche a SRS per meccanismo di faglia.
- 18 mesi: D13 – Completamento confronti tra formulazioni semplificate (D11 e D12) e modellazioni avanzate per SRS in campo vicino. Relazione scientifica finale.

Task 4

- 6 mesi: D14 – (a) Italia: formazione base dati per eventi con $M > 4$ e verifica se regionalizzare o meno attenuazione spostamento di picco (d_{max}); (b) Zona etnea: selezione base dati e prime formulazioni rel. di atten.; (c) Trentino: layout configurazione finale rete accelerometrica e analisi primi dati.
- 12 mesi: D15 - (a) Italia e zona etnea: relazioni di attenuazione finali per spostamento di picco del suolo – prima uscita; (b) Trentino: quadro attività rete accelerometrica fine 1° anno, e ipotesi su modelli di attenuazione weak motion.
- 18 mesi: D16 - (a) Italia e zona etnea: relazioni di attenuazione finali d_{max} a seguito di confronti con modellazioni numeriche – uscita definitiva; relazione scientifica finale. (b) Trentino: relazione regionale (su roccia) per attenuazione d_{max} , v_{max} , a_{max} da dati weak motion. Relazione scientifica.

Task 5

- 6 mesi: D17 - (a) Definizione configurazioni geologiche e sorgenti (scala decine a centinaia km) da modellare numericamente e uscita primi risultati; (b) impostazione e risultati prime analisi 2D per effetti di bordo bacini sedimentari.
- 12 mesi: D18 - (a) Modelli attenuazione numerica grandi strutture geologiche, tipo Pianura Padana; (b) Formulazione (eventuali) modifiche ad attenuazione d_{max} per effetti di bordo bacini sedimentari – prima uscita.
- 18 mesi: D19 - Modifiche definitive a relazioni di attenuazione d_{max} per presenza bacini sedimentari e per effetti di bordo – uscita definitiva. Relazione scientifica finale.

Task 6

- 6 mesi: D20 - Indagini preliminari su strumenti di calcolo per creazione mappe probabilistiche di pericolosità in termini di SRS.
- 12 mesi: D21 - Integrazioni prime uscite da altri task per verificare effetti loro inclusione su mappe pericolosità, in particolare per campo vicino e importanti bacini sedimentari.
- 18 mesi: D22 - Integrazione uscite da progetti S2 ed S5 per scelta modello zone sismogenetiche da usare per carta di pericolosità in d_{max} o ordinate spettrali SRS; risultati di tests su alcune regioni.
- 24 mesi: D23 – Uscita di:
 - Mappa(e) di pericolosità del territorio nazionale in termini di SRS (o di quantità che lo parametrizzi direttamente) per diversi periodi di ritorno;
 - Relazione scientifica di accompagnamento.

	Primo Anno										Secondo Anno									
	Primo Semestre					Secondo Semestre					Primo Semestre					Secondo Semestre				
Task 1:																				
D1	█	█	█	█	█															
D2	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█										
D3	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█					
D4	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█			
Task 2:																				
D5	█	█	█	█	█															
D6	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█										
D7	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█					
D8	█	█	█	█	█															
D9	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█										
D10	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█					
Task 3:																				
D11	█	█	█	█	█															
D12	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█										
D13	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█					
Task 4:																				
D14	█	█	█	█	█															
D15	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█										
D16	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█					
Task 5:																				
D17	█	█	█	█	█															
D18	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█										
D19	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█					
Task 6:																				
D20	█	█	█	█	█															
D21	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█										
D22	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█					
D23	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█

7. Riferimenti bibliografici essenziali

Bommer J. e Mendis R.(2005) “Scaling of spectral displacement ordinates with damping ratios”, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* **34**, in press.

CEN (2004) “Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings”, Bruxelles, May 2004

Faccioli E., Paolucci R. e Rey J. (2004) “Displacement spectra for long periods”, *Earthquake Spectra* **20**, 347-376.

Lin Y. e Chang K. (2003) “Study on damping reduction factor for buildings under earthquake ground motion”, *J. Structural Engineering ASCE* **129** (2), 206-214.

Pettenati F. e Sirovich L., 2003 “Tests of source-parameter inversion of the U.S. Geological Survey intensities of the Whittier Narrows, 1987 Earthquake”, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 93, 1, 47-60

Somerville P. (2003) “Magnitude scaling of the near fault rupture directivity pulse”, *Phys Earth. Planet. Inter.* **137**, 201– 212.

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

UR	Enti	Resp.	Task1	Task2	Task3	Task4	Task 5	Task 6	Mesi p. cofin.	Mesi p. rich.
1	INGV-CT	Langer				18			18	
2	INGV-RM	Herrero			9	7	2		18	
3	INGV-MI	Pessina	1	0.5	0.5	0.5	0.5	14	17	
4	INOGS	Vuan					4		4	15
5	INOGS	Sirovich				16			16	
6	Polit. Milano	Paolucci	8						8	20
7	UniGE	Lagomarsino		5					5	16
8	UniPV	Pinho		5					5	16
9	Servizio Geol. TN					35			35	
	Totale		9	10.5	9.5	76.5	6.5	14	126	67

9. Tabella finanziamenti richiesti (in migliaia di euro)

UR	Istituz.	Personale		Missioni Italia		Missioni estero		Consumi servizi		Inventariabile		Totale		tot
		2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	
1	INGV-CT	0	0	1,5	0,8	4,0	2,2	3,5	2,0	0	0	9,0	5,0	14,0
2	INGV-RM1	0	0	4,0	2,0	16,0	7,0	18,0	9,0	6,0	4,0	44,0	22,0	66,0
3	INGV-MI	0	0	3,5	4,0	3,5	4,0	5,0	8,0	6,0	2,0	18,0	18,0	36,0
4	INOGS	25,4	12,7	4,3	3,5	0	0	3,3	1,8	0	0	33,0	18,0	51,0
5	INOGS	0	0	3,0	3,0	0	0	2,5	3,0	0	0	5,5	6,0	11,5
6	PoliMI	20,0	11,0	4,0	2,0	3,0	3,0	5,0	3,5	6,0	3,0	38,0	22,5	60,5
7	EUCENTRE	20,0	10,0	1,0	1,0	6,0	4,0	5,0	2,0	5,0	2,0	37,0	19,0	56,0
8	UniGE	20,0	10,0	3,0	2,0	4,0	3,0	5,0	2,0	5,0	2,0	37,0	19,0	56,0
		85,4	43,7	24,3	18,3	36,5	23,2	47,3	31,3	28,0	13,0	221,5	129,5	351,0

Totale (Euro): 351.000

INGV: 116.000 (33%)

Altri enti: 235.000 (67%)