

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

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

marzo 2005

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

Progetto S4 – Stima dello scuotimento in tempo reale e quasi-reale per terremoti significativi in territorio nazionale **coordinatori: L. Malagnini (INGV, RM) e D. 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 di *ShakeMap* per i terremoti che si verificano sul territorio nazionale e nelle zone immediatamente circostanti. Per raggiungere questo obiettivo, verranno sviluppate e predisposte tutte le procedure per consentire uno scambio dati in tempo reale tra i network operanti a livello nazionale, al fine di giungere ad una rapida determinazione delle caratteristiche della sorgente sismica e per stimare, nel più breve tempo possibile, 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 garantita 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 anche in caso di scuotimenti sismici tali da produrre danni severi ai sistemi di trasmissione dati. Per quanto riguarda la disseminazione dei risultati, gli scenari di scuotimento sismico verranno prioritariamente comunicati, nella loro forma finale rivista, alla sala operativa della Protezione Civile; successivamente, modulando opportunamente il contenuto informativo delle mappe di scuotimento sismico, i risultati verranno resi disponibili per la consultazione su un portale *WEB* dedicato. In tale ambito verranno predisposti specifici protocolli al fine di evitare comunicazioni multiple, discordanti tra loro, di 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 *ShakeMap* potrà anche fornire un rapido ed efficace contributo alla comprensione del terremoto, per i mezzi di informazione e della comunità scientifica.

2. Stato dell'arte

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 Sommerville 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 Somerville 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

Considerazioni generali.

Alcune considerazioni si rendono necessarie, allo scopo di rendere chiari gli obiettivi del progetto, le idee generali che ne hanno ispirato la stesura, e le modalità di partecipazione per i diversi enti.

I dati. Innanzitutto, il progetto dovrà garantire il massimo livello di condivisione dei dati che entreranno nel data base di cui si occuperà il Task 1. I dati saranno forniti (a prescindere dai formati) corredati di tutte le informazioni necessarie alla correzione strumentale. Per quanto riguarda i dati GPS, questi saranno forniti sia in termini di spostamento del terreno, sia nel formato RINEX. 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;
- Rete Accelerometrica del Friuli Venezia Giulia del Dipartimento di Scienze della Terra della UniTri;
- Rete Sismica Digitale del Friuli-Venezia Giulia, di OGS-CRS.

Realizzazione dell'Integrated Italian Seismic Network.

Si propone la creazione di un organismo denominato: "Integrated Italian Seismic Network" (portale web: <http://www.iisn.org>), nel cui ambito le ShakeMap saranno presentate al mondo esterno con il logo degli enti partecipanti, sotto a quello della Protezione Civile. La creazione dell'*Integrated Italian Seismic Network* è uno degli obiettivi primari, se non il più importante, di tutto il progetto S4: attraverso questo organismo, infatti, si organizzerà la raccolta dei dati provenienti dalle diverse reti (sismiche, accelerometriche e geodetiche) regionali e nazionali, e la distribuzione dei dati, su richiesta, verso il mondo esterno.

Le Shake Map da presentare al mondo esterno

La soluzione *ShakeMap* che verrà presentata al mondo esterno come prodotto delle attività dell'*Integrated Italian Seismic Network* sarà unica. In caso di forti ed irrimediabili dissensi tra i partecipanti al progetto circa la *ShakeMap* da presentare dopo un evento sismico, i funzionari dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia si faranno carico della scelta finale.

Massima collaborazione tra le istituzioni partecipanti

Durante tutte le fasi in cui si articolerà il progetto, tutti gli istituti partecipanti si impegnano a fornire la massima collaborazione, sia per quanto riguarda il flusso dei dati verso il database e la sua realizzazione, sia per l'implementazione dei moduli software e delle procedure di validazione dei risultati. In particolare, per quanto riguarda queste ultime, si propone di produrre una *ShakeMap* con dati sintetici, e di valutare in questo modo il livello di performance degli algoritmi. Un altro test di validazione deve essere fatto su alcuni terremoti importanti avvenuti negli anni passati, per confrontare le *ShakeMap* calcolate con gli effettivi livelli di scuotimento osservato.

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 broadband e 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 progetto, 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 (PGA, PGV, $Sa_{T=1}$, 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.

Obiettivi

- i) Implementazione presso i centri elaborazione dati delle reti regionali di procedure per la raccolta dei valori di scuotimento reali (PGA, PGV, Sa, etc.);
- ii) Implementazione di un insieme di procedure robuste per far confluire tutti i dati "sensibili" relativi alle reti regionali (valori di scuotimento 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:
 - dei dati provenienti dalle stazioni geodetiche;
 - dei dati telerilevati per la determinazione di scenari di danno speditivi;
 - dei dati 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: F. di Luccio).

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 nella regione italiana, 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 previste in 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 e geodetici 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.

Saranno implementate procedure per l'analisi della sismicità in tempo reale indirizzate a valutazioni di hazard dipendenti dal tempo.

Faranno capo a questo Task anche le attività per l'implementazione e 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 la valutazione delle variazioni spazio-temporali dell'hazard sismico;
- 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 attraverso leggi di attenuazione date.

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 inoltre quantificati gli andamenti con la distanza, 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 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 e Walter (1996) e Mayeda et al. (2003) sui siti 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 NEHRP) (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 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 di tutte le stazioni disponibili, utilizzando sia le informazioni disponibili (cartografia, etc.), sia attraverso specifiche campagne di rilevamento. Si prevede anche la caratterizzazione dei 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 (NEHRP o similare) e 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 la classificazione georeferenziata tipo NEHRP 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* o affine);
- 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 *NEHRP* (o affine) a scala nazionale e sua integrazione in *ShakeMap*.

Le attività descritte ai punti ii), iv), v), vi), vii) saranno realizzate solo per un sottoinsieme di siti di registrazione, individuato sulla base delle informazioni attualmente disponibili.

Riferimenti

- 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). Estimate 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.

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

U.R	Enti	Principali responsabili	Task1 Databases	Task2 Mod. Velocita'	Task3 Impl. Software	Task4 Leggi Attenuaz	Task5 Effetti di Sito	Mesi p. cofin.	Mesi p. rich.
UR-1	INGV RM1-CNT-OV	Akinci, Michelini, Mazza, Mele, Milana, Di Luccio, Del Pezzo, Malagnini	@	@	@	@	@	373	54
UR-2	UniGe	Spallarossa	@	@	@		@	130	48
UR-3	UniTri	Costa, Suhadolc	@		@	@	@	70	60
UR-4	UniRM-1	Cardarelli					@	26	6
UR-5	UniRM-2	Pierdicca			@			14	24
UR-6	OGS-CRS	Priolo, Bragato	@	@	@		@	44	60
UR-7	SSN	Marsan	@			@	@	20	0
Totale								677	252

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

UR	Istituz.	Resp UR	Personale		Missioni		Consumi servizi		Inventariabile		Totale		tot
			2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	
1	INGV	Akinci-Michelini	---	---	105,05	104,05	120,2	82,1	15	5	240,25	191,15	431,40
2	UniGe	Spallarossa	38	38	23,4	19,8	6,3	18	27	27	94,7	102,8	197,5
3	UniTRi	Costa	46,5	46,3	18	14,4	6,28	7,2	27,1	4,77	97,88	72,67	170,55
4	UniRm1 "La Sapienza"	Cardarelli	4,75	4,75	9	3,6	0	2,7	27	0	40,75	11,05	51,80
5	UniRm2 "La Sapienza"	Pierdicca	19	19	0,5	0,45	0	1,8	0	0	19,5	21,25	40,75
6	OGS-CRS	Bragato	48,1	47,7	13,4	13,1	24,46	18,8	0	0	85,96	79,6	165,56
TOTALE			156,35	155,75	169,35	155,40	157,24	130,6	96,1	36,77	579,04	478,52	1057,56

Totale 1.057.560 euro

INGV: 430.400 (41%)

altri enti 621.739,6 (39%)

richieste di personale INGV:

UR1 chiede per CNT 1 borsa di studio di 24 mesi,
per RM1 1 borsa di studio di 24 mesi

totale 64.000 euro

UR SSN chiede 72.000 euro per missioni

