

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

Progetti Sismologici S1, S2, S3, S4, S5

Premessa

In adempimento di quanto previsto dal Decreto del Presidente INGV n.387, nel seguito vengono presentate le linee programmatiche dei progetti sismologici S1, S2, S3, S4, S5, che verranno sviluppate nelle prossime settimane, con il contributo dei ricercatori interessati, fino alla definizione dei progetti esecutivi 2005-2006.

I ricercatori interessati sono invitati a inviare commenti, contributi e proposte di collaborazione ai vari coordinatori dei progetti entro il 10 febbraio 2005.

Il Presidente
(Enzo Boschi)

Roma, 20 gennaio 2005

Progetto S1 (coord. M. Stucchi e G.M. Calvi)

Proseguimento della assistenza al DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi

Obiettivo

Questo progetto rappresenta la continuazione delle attività che INGV ha già intrapreso a favore del DPC a partire dalla seconda metà del 2003 e per tutto il 2004. Nel corso del 2004 INGV ha consegnato, previa approvazione da parte di un gruppo di revisori e della Commissione Grandi Rischi, una mappa di pericolosità sismica redatta ai sensi della predetta Ordinanza, finalizzata alla definizione delle zone sismiche. La mappa stessa, la descrizione delle elaborazioni e i materiali di base sono disponibili all'indirizzo internet <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>.

L'adozione ufficiale della mappa quale riferimento per l'assegnazione dei Comuni alle zone sismiche da parte delle Regioni è in corso di effettuazione a cura del DPC.

Come prosecuzione delle attività in corso, questo progetto ha due obiettivi principali:

- 1) assistere DPC nella gestione della mappa stessa con particolare riferimento a: i) valutazione della pericolosità sismica delle isole, non effettuata nella versione 2004; ii) calcolo della pericolosità sismica in termini di amax con diverse probabilità di superamento in 50 anni; iii) formulazione di suggerimenti e scenari per la gestione delle fasce di tolleranza previste dall'Ordinanza e più in generale dell'incertezza;
- 2) formulazione di eventuali ipotesi per aggiornare la mappa, ove specificamente richiesto da DPC. Il progetto non si pone l'obiettivo di compilare una nuova mappa di pericolosità, ma quello di esplorare i margini di miglioramento che potrebbero essere indotti dall'utilizzo di nuovi approcci e di nuovi dati di ingresso.

Ipotesi per il programma

Per quanto riguarda l'obiettivo 1, mentre i punti i) e ii) non presentano grandi difficoltà, il punto iii) richiede un forte impegno sul tema della valutazione/gestione dell'incertezza, che riveste un'importanza particolare in relazione alle conseguenze pratiche che può rivestire. E' opportuno a questo scopo effettuare, tra le altre cose, analisi di disaggregazione finalizzate alla evidenziazione delle maggior fonti di incertezza. Inoltre, è opportuno avviare considerazioni e analisi sul tema della validazione dei valori di pericolosità sismica attraverso confronti con altri elaborati, formulati in termini sia di amax sia di altri parametri di scuotimento.

Per quanto riguarda l'obiettivo 2 si possono prevedere analisi di sensibilità dei risultati al variare di dati di ingresso e di codici di calcolo. Verranno sperimentati approcci e codici di calcolo alternativi a quello usato nel corso della prima parte del progetto. Inoltre verranno utilizzati nuovi dati di ingresso che si rendessero disponibili nel biennio.

Il progetto non intende promuovere in modo massiccio ricerche per il miglioramento dei dati di base; intende tuttavia favorire l'utilizzabilità – per gli scopi del progetto - dei risultati di ricerche nel settore, con particolare riferimento all'aggiornamento di database.

Progetto S2 (coord. G. Valensise e D. Slejko)

Terremoti probabili in Italia nel trentennio 2005-2035

1. Generalità

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

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

Con questa premessa, si deve ricordare che l'esperienza più rilevante su questo specifico tema rimane quella sviluppata in California (Working Group on California Earthquake Probabilities, 1988, 1995 e seguenti), dove da anni la popolazione della Bay Area (California centrale) e della conurbazione che si estende tra Santa Barbara, Los Angeles e San Diego (California meridionale) è abituata a ragionare in termini di distanza della propria residenza da una delle faglie principali, nonché di probabilità che tale faglia generi un grande terremoto in un intervallo di tempo di immediata percepibilità (in genere le stime californiane assumono come finestra d'interesse quella

dei prossimi 30 anni, pari alla durata standard di un mutuo per una residenza civile). E' ben noto che le esperienze californiane sono state basate su uno spettro di conoscenze finora non disponibili in Italia, e quindi le poche esperienze-pilota già condotte nel nostro paese (ad esempio quelle di Peruzza et al., 1997, *Natural Hazards*, 14, 113-126, e di Pace et al., 2004, sottomesso a *Bull. Seism. Soc. Am.*) hanno dovuto limitarsi a trattare aree molto limitate, introdurre semplificazioni e, in tutti i casi, a fare a meno di uno degli ingredienti fondamentali delle analisi californiane, rappresentato dalla conoscenza degli *strain rates* istantanei ottenuti per via geodetica. D'altra parte, non si può non riscontrare che:

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

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

2. Descrizione del progetto

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

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

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

Basandosi su esperienze recenti già in atto all'interno dell'INGV, questo modulo ha come unico obiettivo l'organizzazione e la formalizzazione di tutte le informazioni necessarie per le attività successive in un sistema di riferimento georeferenziato unitario e unico, accessibile via web. Si tratterà di un sistema che, partendo dalle conoscenze oggi disponibili sulle sorgenti sismogenetiche italiane e sulla sismicità maggiore e minore, consenta:

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

2) Definizione spaziale delle principali strutture sismogenetiche della penisola italiana.

A partire dalla banca delle sorgenti sismogenetiche DISS, dall'esperienza condotta per la realizzazione della zonazione sismogenetica ZS9 utilizzata nella realizzazione della nuova carta di pericolosità sismica del territorio nazionale e dalle nuove conoscenze che il sistema scientifico produce all'interno ma soprattutto all'esterno del progetto, questo modulo punta a:

- a) arricchire le conoscenze di base su sorgenti sismogenetiche individuali la cui esistenza sia stata già almeno ipotizzata, ricorrendo sia a dati geologici e tettonici che a dati sismologici storici;
- b) sviluppare nuove ipotesi riguardanti la sismogenesi delle zone meno comprese, utilizzando 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);
- c) sviluppare nuove ipotesi riguardanti potenziali sorgenti ancora del tutto o parzialmente ignote utilizzando tecniche innovative provenienti da ambiti disciplinari diversi, quali ad esempio l'identificazione di faglie attive con metodi geochimici (es. allineamenti di emissioni di CO₂), indagini di tettonica costiera finalizzate a mettere in luce eventuali variazioni di quota improvvise, indagini geomagnetiche ad alta risoluzione, etc.;
- d) identificare le sorgenti individuali o aree sismogenetiche che devono essere ritenute prioritarie per lo sviluppo dei moduli successivi nonché per le attività di S3 e S4.

All'interno di questo modulo verrà sviluppata una sezione appositamente dedicata alle sorgenti

sismogenetiche della penisola e del Mediterraneo in grado di produrre *tsunami* che possono avere effetti avversi sulle coste italiane.

3) Caratterizzazione delle principali strutture sismogenetiche.

Si procederà all'analisi di dettaglio della sismicità collegabile alle strutture definite nel modulo precedente (punto c) 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*, caratteristiche della sequenza sismica, ecc.) che possa essere utilizzato come base per le valutazioni di probabilità di attivazione delle singole sorgenti.

4) Monitoraggio e caratterizzazione geofisica delle principali strutture sismogenetiche.

Gli studi proposti in questo modulo hanno l'obiettivo generale di inquadrare i dati sulla sismogenesi ottenuti con le indagini di cui ai due moduli precedenti nel quadro più ampio delle conoscenze geodinamiche disponibili per l'Italia. In particolare, esiste una cronica carenza di informazioni su a) velocità di accumulo di deformazione delle strutture tettoniche attive, e b) caratteristiche reologiche dei sistemi attivi, particolarmente nei settori a deformazione compressiva distribuita (es. margine padano meridionale, margine delle Prealpi Venete, *offshore* della Sicilia settentrionale) e nei settori in cui viene ipotizzata la riattivazione di importanti lineamenti antichi (avampaese apulo). A queste carenze è oggi possibile supplire ricorrendo a un'equilibrata combinazione di dati di deformazione attuale (GPS e VLBI) e modelli geodinamici, che insieme possano fornire vincoli sulle velocità di deformazione attese e su quale quota di tale deformazione sia spesa in processi sismogenetici piuttosto che consumata in *slip* asismico.

5) Calcolo della probabilità di attivazione delle principali strutture sismogenetiche.

L'obiettivo del presente progetto è il calcolo della probabilità di attivazione delle principali strutture sismogenetiche, individuate nei punti precedenti, e cioè la probabilità che queste strutture diano origine a un forte terremoto. Si conta di procedere secondo metodologie diverse a questo calcolo per quantificare, oltre alle stime più probabili, anche le incertezze insite non solo nei dati utilizzati ma anche derivate dai diversi modelli utilizzabili. Fra le possibili metodologie di calcolo, verrà applicata quella seguita dal WGCEP e basata sull'utilizzo dei dati di deformazione su faglia ricavati nel precedente punto 3. Sono attese, inoltre, modellazioni ulteriori basate sia sul pattern della sismicità sia sulle caratteristiche reologiche delle strutture studiate.

Progetto S3 (ccord. F. Pacor e M. Mucciarelli)

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

1. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

L'Obiettivo di questo Progetto è il calcolo di scenari di scuotimento in cinque aree italiane, delle quali tre a scopo previsionale e due a scopo di validazione. Nel Progetto è previsto anche lo svolgimento di una serie attività di trasversali e/o propedeutiche al calcolo degli scenari, a carattere prevalentemente metodologico e descritte nel seguito.

Gli scenari dovranno permettere la valutazione della variabilità dei valori attesi a scala inter- e/o intra-comunale, e di apprezzare la distribuzione dei valori stessi in funzione della variabilità dei parametri di ingresso. Gli scenari si intendono calcolati per MCE (*Maximum Credible Earthquake*), ma al Task 4 (Attività 3) potranno esser considerati scenari tipo OBE (*Operating Base Earthquake*), in funzione di ricorrenze prefissate e/o a probabilità uniforme.

La prima area scelta per la validazione è quella tra Molise e Puglia danneggiata dalla sequenza sismica iniziata il 31 Ottobre del 2003 (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). 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 area proposta è l'area 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. 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.

Come aree a scopo previsionale si identificano, al momento, le seguenti aree urbane: Potenza (PZ), Senigallia (AN) e Gubbio (PG).

Le motivazioni per le quali si propongono queste tre aree sono molteplici:

- 1) sono state o sono oggetto di progetti che hanno prodotto dati di vulnerabilità e amplificazione sismica a vario livello di dettaglio (Potenza e Senigallia);
- 2) ricadono in zone indicate come oggetto di studio nel progetto GNDT 2001-2004 per l'occorrenza di prossimi eventi probabili (Potenza, Senigallia e Gubbio);
- 3) favoriscono potenziali sinergie con progetti di protezione civile a livello locale (Senigallia,

Potenza);

- 4) sono rappresentative di tipologie urbanistiche e/o geomorfologiche diffuse nel territorio italiano (ad esempio Gubbio è un centro storico di valenza culturale ed artistica fondato su versante roccioso, con aree di espansione residenziale e produttiva insistenti su valle alluvionale)

I coordinatori del progetto sono disponibili a valutare altre proposte relative alla scelta di aree di studio, qualora sufficientemente motivate. In particolare i siti proposti dovranno soddisfare almeno due delle condizioni sopra citate.

2. ARTICOLAZIONE DEL PROGETTO

Il progetto è stato articolato in sette task, che ne definiscono gli obiettivi generali come da convenzione: ogni singolo task fornirà risultati di tipo sia applicativo, relativi alle 5 aree proposte per il calcolo degli scenari, sia metodologico per la valutazione della pericolosità sismica a scala locale e/o regionale.

2.A TASK 1 – SORGENTI SIMOGENETICHE

Obiettivo

- 1) *individuazione e caratterizzazione geometrico/meccanica delle strutture sismogenetiche di interesse per le aree proposte.*

Per le aree di validazione sarà definita la struttura che ha dato luogo all'evento sismico; viceversa per le altre aree di studio saranno individuate le strutture attive più probabili, specificando oltre alle caratteristiche geometriche e meccaniche anche la magnitudo o il momento sismico potenziale del terremoto di riferimento.

Per ciascuna area prescelta si attiverà una azione sinergica con quanto previsto nel Progetto S2 per l'aggiornamento del DISS.

2.B TASK2 – MEZZI DI PROPAGAZIONE E LEGGI DI ATTENUAZIONE

Obiettivi:

- 1) *Definizione di modelli 1D dei mezzi di propagazione.*
- 2) *Caratterizzazione dei mezzi di propagazione, in termini dei parametri d'attenuazione geometrica ed anelastica.*
- 3) *Calcolo delle relazioni d'attenuazione dei parametri del moto strong motion da utilizzare nel calcolo degli scenari di scuotimento.*

Nel Task 2 si prevedono tre attività di ricerca, finalizzate alla descrizione dei mezzi di propagazione e dei loro effetti sul moto sismico. Per lo svolgimento delle attività e il raggiungimento degli obiettivi

descritti si prevede di collaborare con il Progetto S4 e S5 (e di co-finanziare UR).

ATTIVITÀ 1 – PROFILI DI VELOCITÀ E STIMA DI PARAMETRI

Per le aree di Potenza, Senigallia e Molise esistono numerosi dati digitali a tre componenti, gestiti da vari enti e università. Per l'area del bresciano potranno essere utilizzati i dati raccolti dalla rete temporanea installata dall'INGV a seguito dell'evento sismico verificatosi il 24 novembre 2004.

Nelle aree d'interesse si provvederà alla caratterizzazione dei mezzi di propagazione definendo i profili di velocità 1D nelle aree d'interesse, necessari per il calcolo delle Green Function teoriche.

In questa attività saranno condotti studi per fornire stime dell'attenuazione media in termini di attenuazione geometrica e anelastica tramite il fattore di qualità Q dipendente dalla frequenza. Di interesse saranno anche specifiche analisi finalizzate all'individuazione di possibili anisotropie presenti nei mezzi di propagazione.

ATTIVITÀ 2 A – RELAZIONI DI ATTENUAZIONE DEL MOTO DEL SUOLO

In questa attività si definiranno le relazioni di attenuazione dei parametri del moto (picchi di accelerazione, velocità e ove possibile di spostamento) nelle aree prescelte per il calcolo degli scenari ricercando le dipendenze dal mezzo di propagazione, dalla sorgente sismica e dalle condizioni di sito. In questo progetto le relazioni di attenuazione saranno definite a scala locale e regionale e dovranno essere confrontate con le leggi di scala al *bedrock*, valutate nel Progetto S4. Le relazioni di attenuazione definite in questa attività saranno utilizzate per la stima del moto sismico nelle aree urbane selezionate e definiranno il primo livello di scenari di scuotimento.

ATTIVITÀ 2 B – LEGGI DI ATTENUAZIONE DELLA DURATA

Oltre all'attenuazione dei valori di picco, si prevede anche di stimare relazioni di variazione della durata del moto sismico *strong-motion*, ricercando la sua dipendenza dalla magnitudo, distanza e condizioni di sito, al variare della frequenza. Data la limitatezza dei dati disponibili, si propone di stimare l'attenuazione della durata per il territorio nazionale, non regionalizzando ma suddividendo per tipologia dei siti di registrazione. Si utilizzeranno forme di attenuazione non parametrica del tipo *rank ordering*.

2.C TASK3 - EFFETTI DI SITO

Obiettivi:

- 1) *Definizione della risposta locale nelle aree di interesse.*
- 2) *Linee guida per l'introduzione degli effetti di sito nel calcolo degli scenari a scala urbana.*

In questo Task si prevedono tre attività di ricerca, finalizzate alla valutazione degli effetti di sito sia attraverso tecniche sperimentali sia numeriche; per le città (al momento proposte) di Potenza, Senigallia ed i comuni del Molise si intendono utilizzare studi di microzonazione e dati sismici già disponibili, mentre si prevede una campagna di acquisizione di dati sismici in una struttura geomorfologica complessa, quale la piana alluvionale di Gubbio.

ATTIVITÀ 1 - IDENTIFICAZIONE SITI DI RIFERIMENTO E FUNZIONI DI TRASFERIMENTO

In questa attività si intende utilizzare quanto più possibile dati, misure e studi di micrizonazione esistenti per la definizione degli effetti di sito da inserire negli scenari. Per alcune aree di studio attualmente proposte (Potenza, Senigallia e Molise) molti dati sono già disponibili o lo diventeranno entro il primo anno del progetto. In tutti questi siti sono state installate reti di rilevamento sismico, in alcuni casi anche con misure di riferimento in pozzo. I dati sono stati integrati ed estesi sul territorio urbano utilizzando i siti monitorati come riferimento per misure speditive di superficie (HVSR, NASW). Il finanziamento sarà limitato alla informatizzazione ed omogeneizzazione delle funzioni di amplificazione di sito nei formati necessari al calcolo degli scenari di scuotimento.

ATTIVITÀ 2 – CAMPAGNA DI MISURA IN UN BACINO ALLUVIONALE

In questa attività si prevede di effettuare una campagna di misura, posizionando un'array di stazioni, lungo uno o più transetti, per valutare la risposta in vari punti della struttura oggetto di indagine. L'analisi dati sarà finalizzata ad una miglior comprensione degli effetti di sito in strutture complesse, quali le conche intramontane e alla verifica dell'attendibilità della tecnica basate su misure di microtremiti in strutture con coperture alluvionali spesse (>100m).

ATTIVITÀ 3 – DEFINIZIONE DI PROFILI DI VELOCITÀ

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, eventualmente inclusi gli 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); proposte di ulteriori luoghi saranno attentamente valutate.

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.

2.D TASK4 – CALCOLO DEGLI SCENARI DI SCUOTIMENTO

Obiettivi:

- 1) *definizione degli scenari di scuotimento nelle aree identificate*
- 2) *linee guida per la definizione degli scenari di scuotimento*
- 3) *sviluppo di metodi innovativi per la valutazione della pericolosità.*

Nel Task 4 si prevedono tre attività di ricerca, finalizzate al calcolo di scenari di scuotimento e alla valutazione della variabilità delle predizioni al variare dei parametri del modello. Per lo svolgimento delle attività e il raggiungimento degli obiettivi si prevede di collaborare con i Progetti S4 e S5.

ATTIVITÀ 1 - DEFINIZIONE DEGLI SCENARI DI SCUOTIMENTO

In questa attività si prevede di calcolare, nelle le aree di studio previste e per le strutture sismogeniche identificate nel Task1, gli scenari di scuotimento a scala urbana. Gli scenari saranno descritti attraverso mappe rappresentative dell'andamento nello spazio di vari parametri del moto sismico atteso (picchi di accelerazione, ordinate spettrali, etc.) per un dato terremoto nell'area considerata. A ogni mappa sarà associata una informazione circa la sua variabilità derivante dalle varie ipotesi sismologiche utilizzate per descrivere il processo di rottura, la propagazione ed il sito.

Gli scenari saranno calcolati a diverso livello di dettaglio sia attraverso metodologie semplificate, basate sulla combinazione di leggi di attenuazione del moto e di una zonazione geologica/geotecnica a scala urbana, sia attraverso tecniche di simulazione di sismogrammi sintetici a faglia finita, in modo da riprodurre gli effetti dei terremoti nel campo vicini (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).

In ciascuna delle tre aree di previsione, sarà utilizzata la metodologia di calcolo ritenuta più idonea per la valutazione del moto atteso 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.

Nelle due aree di validazione si prevede, viceversa, l'utilizzo di più tecniche per il calcolo degli scenari e il successivo confronto con la distribuzione del danneggiamento realmente verificatosi.

ATTIVITÀ 2 - CARATTERIZZAZIONE DELLA VARIABILITÀ DEL MOTO E VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA

In questa attività si prevede di valutare l'origine della variabilità del moto sismico durante un terremoto in modo da raggiungere una migliore caratterizzazione dell'incertezza nelle stime del moto sismico a fini applicativi.

Allo scopo si prevede di analizzare data set di forme d'onda osservate e ricercare 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

Questa attività è al momento lasciata aperta a contributi liberi provenienti dalla comunità scientifica. Due temi prioritari che possono ricadere in questa attività sono:

- 1) scenari di scuotimento probabilistici a scala urbana
- 2) sviluppo di tecniche di calcolo ibride (simulazione di basse frequenze con tecniche deterministiche e di alte frequenze con approcci stocastici) per la valutazione della pericolosità a scala urbana.

2.E TASK5 – INTERFACCIA CON GLI SCENARI DI DANNO

Obiettivi:

1) *DEFINIZIONE E PREVISIONE DELLE VARIABILI DI INTERESSE INGEGNERISTICO*

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
Time-histories in accelerazione	Fragility Curves
Ordinate spettrali	Interstory Displacement Index

Sarà cura delle unità finanziate per la realizzazione degli scenari fornire le informazioni nel formato richiesto.

2.F TASK 6 – SVILUPPO SISTEMI INFORMATIVI E MAPPE DI PERICOLOSITÀ

Obiettivi:

1) *CREAZIONE DI UN GIS CONTENENTE I RISULTATI DEGLI STUDI DI SCENARI*

2) *SVILUPPO DI UN' INTERFACCIA USER-FRIENDLY PER RENDERE NAVIGABILE UNO STUDIO 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 questo Task sarà quindi quello di fornire le mappe descrittive degli 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.

Il secondo obiettivo di questo Task sarà, per un'area campione, la realizzazione di un prototipo di "scenario navigabile", basato un'interfaccia *user friendly* che permetterà la navigazione del dataset e l'interrogazione delle mappe.

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.

Progetto S4 (Coord. L. Malagnini e D. Spallarossa)

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

Obiettivo: Implementazione di *ShakeMap*

La rapida caratterizzazione del moto del suolo intorno alla faglia che lo ha generato e' un passo essenziale per la rapida determinazione dell'impatto del terremoto sul territorio, sulla esistenza delle persone che lo popolano, e sulla economia della regione colpita. Il programma di calcolo *ShakeMap* (Wald et al., 1999a) e' stato sviluppato per essere uno strumento di lavoro in questo ambito.

La generazione di una *ShakeMap* e' ottenuta attraverso procedure iterative multi-stadio, a partire dai dati di scuotimento e di spostamento del terreno registrati in tempo reale 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).

I dati acquisiti sono corretti per gli effetti della geologia locale, e quindi riferiti ad un generico sito su roccia. Utilizzando opportuni modelli di attenuazione regionale, essi sono "propagati" ed interpolati entro la regione colpita dal terremoto, e quindi "riportati" di nuovo in superficie attraverso un processo inverso di correzione relativo alla geologia superficiale dei siti in cui lo scuotimento e' 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 sono raffinate in momenti successivi, 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. A questo scopo, 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 nella *ShakeMap*.

Per la definizione di *ShakeMaps* rapide, la direzione del vettore di slip può essere mantenuta costante, ma per la generazione di mappe di scuotimento atteso più sofisticate, da fornire diverse ore, o addirittura giorni, dopo l'occorrenza del terremoto, la distribuzione del vettore di *slip* può anche essere caratterizzata da una direzione variabile nello spazio, sul piano di faglia.

Da quanto detto fino a questo momento, appare chiaro che la *ShakeMap* ha una doppia valenza: anche se principalmente essa deve essere lo strumento di riferimento ad uso delle unità operative

di protezione civile, per intervenire tempestivamente ed efficacemente sul territorio, *ShakeMap* puo' fornire un rapido ed efficace contributo alla comprensione del terremoto, ad uso dei mezzi di informazione e della comunità scientifica.

Articolazione del progetto in Tasks:

Task 1. Organizzazione, integrazione e scambio dati;

Scopo di questo Task e' quello di formare il database sismologico/geodetico necessario per il funzionamento automatico dei programmi di calcolo. Tutti i dati di interesse (accelerometrici, broadband, geodetici, immagini telerilevate) dovranno essere organizzati in un singolo database. Sara' necessario predisporre i protocolli di scambio dati tra le varie istituzioni impegnate nel Task, integrare i dati provenienti dalle diverse reti (rete nazionale INGV – sismometrica, accelerometrica, geodetica - rete accelerometrica nazionale, reti sismometriche ed accelerometriche regionali, etc), ed omogeneizzarli.

Task 2. Definizione di modelli crostali

Questo Task si propone di definire i modelli crostali da utilizzare nelle procedure di localizzazione degli eventi, e soprattutto in quelle di inversione automatica del tensore momento. Le variazioni dei modelli crostali entro l'area italiana dovranno essere tenute in considerazione attraverso opportune regionalizzazioni. Andranno calcolati gli insiemi delle funzioni di Green necessari al funzionamento dei programmi di calcolo del tensore momento, tenendo conto delle loro variazioni regionali, e delle conseguenti variazioni azimutali.

Task 3. Stima rapida delle caratteristiche di sorgente, implementazione di *ShakeMap* e verifica del suo funzionamento

Questo Task si prefigge di individuare ed implementate sul territorio nazionale tecniche automatiche per: i) il calcolo rapido della magnitudo momento, per applicazioni tipo *early warning*; ii) il calcolo accurato della magnitudo momento per terremoti anche al di sotto della soglia minima utile per la modellazione del meccanismo focale; iii) l'inversione rapida del tensore momento; iv) il riconoscimento rapido del piano di faglia e la modellazione cinematica del campo di *slip*. Fara' capo a questo Task anche l'implementazione del programma di calcolo *ShakeMap*, e la verifica del suo funzionamento.

Task 4. Ground motion scaling regionale

Scopo di questo Task e' la quantificazione del *ground motion scaling* regionale per lo scuotimento del terreno, con particolare riferimento all'Appennino Meridionale, all'Arco Calabro, ed alla Sicilia Settentrionale. Andranno quantificati gli andamenti con la distanza, ed eventualmente della 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. Dovranno anche essere prodotti modelli spettrali per descrivere lo *scaling* dell'energia radiata.

Task 5. Stima degli effetti di sito alle stazioni di registrazione ed utilizzo GIS esistente (classificazione del territorio Nazionale tipo *NEHRP*)

Scopi di questo Task: i) determinazione sistematica e speditiva degli effetti di sito alle stazioni di registrazione (individuazione delle tecniche più idonee e validazione delle stesse su un insieme di stazioni limitato); ii) interfacciamento con *ShakeMap* della classificazione tipo *NEHRP* del territorio nazionale (georeferenziata) prodotta nell'ambito del progetto GNDT 2001-2004 coordinato dal Dr. Amato.

Riferimenti Bibliografici

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.

Progetto S5 (coord. A. Rovelli e E. Faccioli)

DEFINIZIONE DELL'INPUT SISMICO SULLA BASE DEGLI SPOSTAMENTI ATTESI

Obiettivi:

1. Definizione di un modello dell'azione sismica in termini di 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 che determinino univocamente lo spettro stesso secondo il modello del punto 1.

Descrizione del progetto da svilupparsi nel 2005 - 06

Premesse e stato dell'arte sul tema centrale del progetto

3.1 Metodo di progettazione agli spostamenti (cenni), e requisiti conseguenti sullo spettro di risposta.

Come è noto, 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) [e.g., Moehle 1992, Kowalsky et al. 1995, Calvi and Kingsley 1995, Priestley 1997], 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.

Dal punto di vista dei documenti normativi, solamente l'Eurocodice 8 (EC8, v. Parte 1, *Annex A*) propone una forma analitica dello SRS di progetto definita sino a periodi di vibrazione > 6 s [ma che risente di serie limitazioni della base di dati disponibile al momento dell'elaborazione (1998-99)]. A parte tale ragguardevole eccezione, non sono ancora disponibili né SRS espressamente concepiti per il metodo di progettazione agli spostamenti con il procedimento generale sopra delineato, né tanto meno mappe di pericolosità che rappresentino l'azione sismica di progetto in modo appropriato per definire gli spettri di spostamento fino a valori sufficientemente elevati del periodo di vibrazione per differenti valori di smorzamento.

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 flessibile come i ponti, tale limite deve essere ulteriormente esteso.

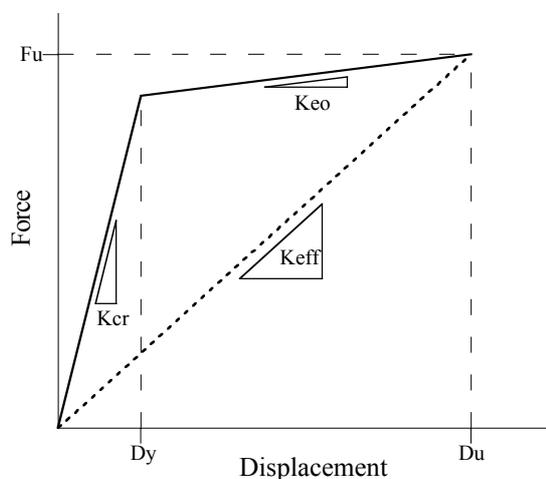


Fig. 1. Struttura elastica equivalente (rigidezza K_{eff}) nel metodo di progettazione agli spostamenti.

Ad esempio, il citato *Annex A* dell'EC8 - Parte I 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 $0 \leq T \leq 4$ s; entro quest'ultimo si può ricavare lo SRS moltiplicando lo spettro di accelerazione per il fattore $(T/2p)^2$. 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 per definizione

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 = 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 mediante un oscillatore viscoelastico equivalente con parametri di rigidezza K_{eff} (ovvero periodo proprio: $T_0 = 2\pi (K_{eff}/m)^{-1/2}$) e smorzamento z_{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 sul calcolo delle forze si quantifica l'azione sismica mediante uno spettro di risposta di accelerazione la cui forma (dipendente in generale dalla magnitudo dei terremoti) è funzione delle condizioni locali del suolo e le cui ordinate hanno 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 sarebbe auspicabile. Ovvero, una forma (dipendente dalla magnitudo) dello SRS di progetto su suolo rigido, che usi come fattori di normalizzazione un numero molto ristretto di parametri di scala (al limite, uno solo), da rappresentare in una o più carte di zonazione sismica del territorio.

Modello iniziale di riferimento

Le menzionate applicazioni in tema di 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 tempi (abbastanza limitati) previsti, gli obiettivi enunciati in 1. 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 (fattore di smorzamento 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;
- definisce un quadro sufficientemente chiaro sulle relazioni intercorrenti tra la forma e il

livello di severità dello spettro, un parametro chiave di moto del suolo rappresentato dallo spostamento massimo, la magnitudo (momento sismico scalare), la distanza sorgente-sito, e le condizioni di suolo locali;

- propone un formato analitico di definizione della domanda sismica in termini di SRS che può essere ragionevolmente adattato a esigenze di carattere normativo.

Un elemento essenziale del modello di riferimento è 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, può essere assunta coincidente con lo spostamento di picco del suolo (d_{max}) almeno sino a magnitudo M_w di circa 7.5. Questa circostanza rende naturale la scelta di d_{max} come parametro di ancoraggio dello spettro ai lunghi periodi, 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 nell'ambito del modello di riferimento la descrizione dello SRS per la componente verticale del moto sismico, mentre vi rientrano in modo semplificato le modifiche da introdurre per tener conto di 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. Attività del progetto da svilupparsi nel biennio 2005-06

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

3.1 Task 1: Perfezionamento ed integrazioni del modello iniziale di riferimento per lo SRS.

Le attività da svolgere 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 sarà effettuata per mezzo di criteri ben definiti di analogia di contesto tettonico (p. es. distensivo o compressivo) per 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" EC8 (con qualche semplificazione). Parimenti, dovrà essere messa in evidenza la dipendenza degli spettri medi osservati rispetto agli intervalli di magnitudo e distanza già individuati.

Previsioni di impegno: 1 UR nel corso del 2005-06.....

3.2 Task 2: Valutazione degli effetti di diverse forme di dissipazione sullo SRS.

Come menzionato sopra, nel metodo di progettazione agli spostamenti la dissipazione dell'energia sismica tramite lo sviluppo di meccanismi di risposta anelastici (dissipazione isteretica) e/o dovuta alla presenza di appositi elementi dissipativi, può essere rappresentata tramite una adeguata riduzione della domanda, cioè una 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 questo sottoprogetto comprendono dunque:

- (a) revisioni delle formulazioni attualmente disponibili in letteratura per il calcolo dei fattori di riduzione dello SRS, e individuazioni dei loro limiti e necessità di sviluppo;
- (b) svolgimento di analisi dinamiche non lineari su sistemi ad 1 grado di libertà, variando il loro periodo di vibrazione (cioè, rigidità a snervamento), le loro capacità di deformazione (cioè, duttilità) e il loro tipo di risposta (cioè, legge isteretica). In particolare i tipi di modelli isteretici di maggiore interesse sono: elasto-plastico, bilineare, due versioni del Takeda modificato, Ramberg-Osgood e "flag-shaped".
- (c) derivazione, tramite una accurata analisi statistica dei risultati ottenuti in (b), dei fattori di riduzione dello SRS, rapportati allo spettro elastico standard (smorzamento 5%), in funzione della duttilità e periodo della struttura;
- (d) introduzione di coefficienti correttivi nei fattori di riduzione derivati in (c) per tenere conto dei parametri isteretici non considerati in (b); degrado di resistenza (softening) e di rigidità dovuta all'azione ciclica.
- (e) studio approfondito di eventuali ulteriori modifiche delle equazioni ottenute in (d) per tener conto del passaggio di un modello ad 1-GDL (necessario per lo svolgimento dell'esteso studio parametrico sopradescritto) ad una struttura con più gradi di libertà (tipica delle applicazioni reali).

Previsioni di impegno: 1 UR nel corso del 2005-06,

modello di riferimento.

In FPR04 si illustra, anche mediante formulazione analitica, l'effetto sullo SRS di un segnale di spostamento caratterizzato dalla presenza di una rampa, o scalino (*fling step*), conseguente ad una dislocazione di faglia a distanza ravvicinata. Esempio preminente di questo comportamento sono le registrazioni di campo vicino del terremoto di Chi Chi (Taiwan, M 7.4) del 1999, per il quale gli spettri osservati sono confrontati con quelli analitici. Non è stato invece trattato il tema dell'influenza della direzionalità della frattura alla sorgente sugli SRS in campo vicino: alcuni degli studi più aggiornati (Somerville 2003) indicano che l'intervallo di periodi principalmente affetto dalla direzionalità dipende fortemente dalla magnitudo.

Nell'ipotesi, da verificare in questa stessa convenzione DPC-INGV (Progetti sismologici S1 ed S3?), che nel prossimo modello di zone sismogenetiche del territorio italiano saranno effettivamente introdotte singole faglie e che si renderà quindi necessario calcolare la pericolosità nel campo vicino di tali faglie, si ravvisa l'opportunità di procedere agli approfondimenti ed integrazioni seguenti :

- Completamento, rispetto al modello di riferimento, di modelli osservazionali ed analitici semplificati per l'inclusione del *fling step* (spostamento a rampa) nello SRS. Appare in particolare importante stimare come il "periodo d'angolo" dello SRS dipende dal tempo caratteristico di rampa nello spostamento del suolo.
- Inclusione dell'effetto di direttività della frattura mediante trattazione semplificata, e individuazione dei rispettivi campi di applicabilità rispetto alla distanza dalla sorgente e della magnitudo (utile punto di partenza: Somerville 2003).

Previsioni di impegno: da 0.5 a 1 UR nel corso del 2005.....

3.4 Task 4a: Relazioni di attenuazione per lo spostamento del suolo sul territorio nazionale: basi osservazionali.

Sulla scorta di quanto indicato in FPR04 per il modello di riferimento (assunzione dello spostamento di picco come parametro di ancoraggio dello SRS a lungo periodo), la zonazione della pericolosità del territorio italiano in termini di SRS rende necessario rappresentare l'attenuazione di d_{max} in funzione di distanza e magnitudo M_w mediante opportune relazioni eventualmente regionalizzate.

Il presente task avrà per compito principale: raccogliere e selezionare le osservazioni sismologiche strumentali digitali, anche *weak motion*, nell'intervallo indicativo di periodi da 1-2s a 10s (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. Per la prima volta si mirerà a definire il ruolo delle onde di superficie di medio periodo in ampie zone del territorio nazionale caratterizzate dall'affioramento di unità sedimentarie non calcaree.

Previsioni di impegno: 1 UR nel corso del 2005-06,

3.5 Task 4b: Attenuazione dello spostamento del suolo sul territorio nazionale - modellazioni numeriche.

Parallelamente al Task 4a, vista la carenza di registrazioni accelerometriche (digitali e non) da terremoti forti in molte zone chiave del territorio italiano (ad es. la pianura padana), si ravvisa la necessità di costruire modelli numerici sorgente- crosta-siti per simulare, su scala regionale (da 0 a 200-300 km), la propagazione delle componenti del moto sismico che governano lo SRS a periodi indicativamente $> 1 - 2$ s.

La necessità di calcolare le ordinate spettrali in spostamento anche per periodi relativamente bassi è dettata dal fatto che nel campo vicino esse possono variare in modo considerevole per quanto riguarda il valor medio (per effetto della direttività), e risentire inoltre di forte variabilità della stima (a causa della forte eterogeneità dei parametri che descrivono la sorgente estesa).

I requisiti principali da rispettare nella modellazione saranno:

- La struttura crostale deve essere definita in modo corretto soprattutto per quanto riguarda i principali contrasti di impedenza, sia in superficie che in profondità, mentre ad elevate distanze può giocare un ruolo importante anche la profondità della Moho.

- Devono essere utilizzati metodi numerici che risolvano il campo d'onda completo in mezzi verticalmente eterogenei e devono essere considerati modelli di sorgente a dimensione finita con distribuzione eterogenea dei parametri.
- Deve essere vincolato in modo statisticamente e fisicamente corretto l'insieme dei dati di ingresso per i modelli di sorgente.

I metodi numerici di cui sopra, oltre a risolvere accuratamente le caratteristiche di attenuazione spettrale del moto e dello spostamento del suolo, nel campo vicino e lontano dalla sorgente, sono gli unici che permettono di stimare anche le deformazioni permanenti dovute alla dislocazione sulla faglia ("offset" statico).

I risultati delle simulazioni in questione dovranno servire a calibrazione/confronto con le relazioni di attenuazione derivate su base osservazionale, ponendo particolare attenzione alla completezza degli insiemi di dati di partenza. I risultati delle simulazioni potranno anche fornire insiemi autonomi di dati di valore predittivo, particolarmente per le regioni per le quali non si hanno dati strong motion significativi.

Previsioni di impegno: 1 UR nel corso del 2005-06,

3.6 Task 5: Rappresentazione della pericolosità sismica del territorio italiano sulla base degli spostamenti attesi (SRS).

L'attività di questo sottoprogetto sarà fundamentalmente diretta alla costruzione di mappe di pericolosità che rappresentino parametri adatti a definire la domanda sismica in termini di SRS, vuoi attraverso d_{max} , vuoi direttamente mediante spettri di spostamento, come nell'esempio della Fig. 2. A tale scopo saranno raccolti tutti i risultati principali degli altri Tasks e verrà adottato un approccio generale analogo a quello usato per redigere la carta di pericolosità 2004 in termini di a_{max} .

Previsioni di impegno: 1 UR nel corso del 2005-06,

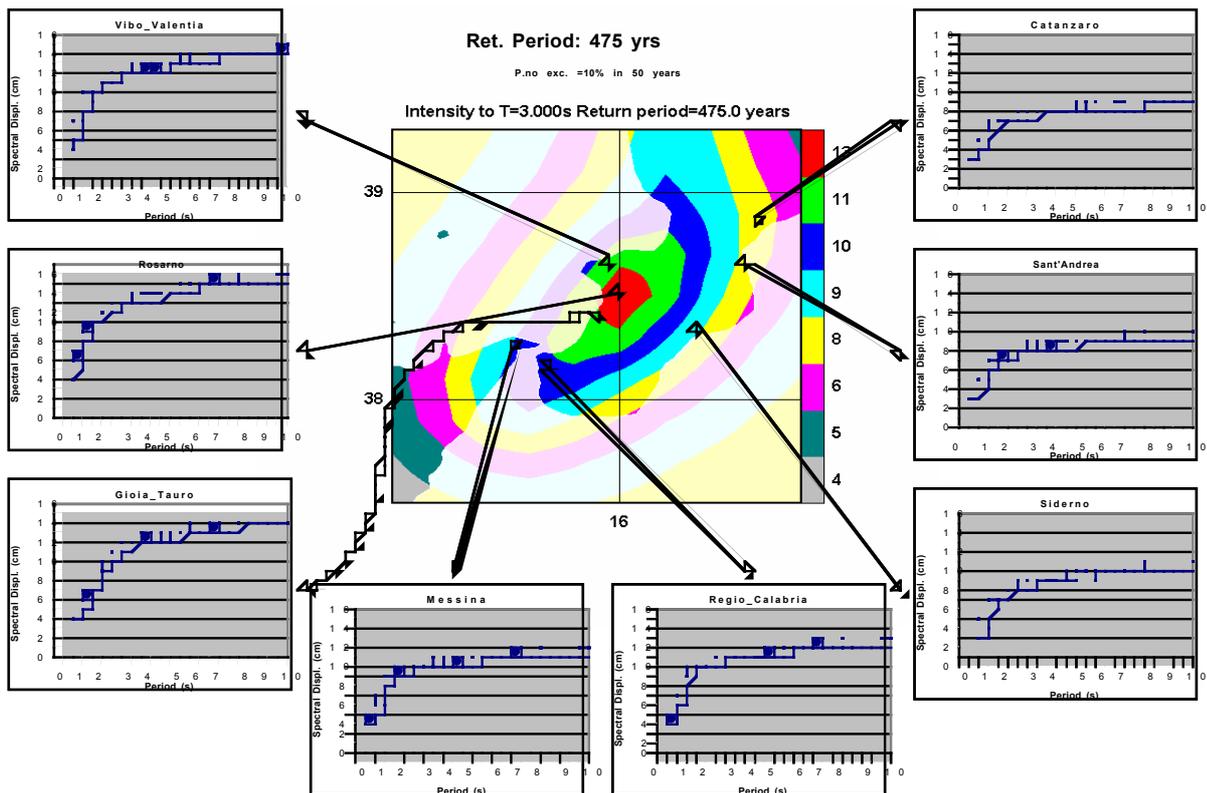


Fig. 2 Esempio di mappatura di SRS nella regione dell'arco calabro, con smorzamento 0.05, per probabilità di eccedenza 0.10 in 50 anni

Riferimenti bibliografici (parziali, da completare)

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

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.

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