

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 S5 – Definizione dell’input sismico sulla base degli spostamenti attesi *Coordinatori: E. Faccioli (Politecnico di Milano) e A. Rovelli (INGV, Roma 1)*

1. Obiettivo

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

2. Basi e quadro di riferimento

2.1 Cenni sul metodo di progettazione agli spostamenti, e requisiti conseguenti sullo spettro di risposta.

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

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

Approcci alla progettazione agli spostamenti sono stati sviluppati per strutture in calcestruzzo armato (CA), basati sul concetto di struttura equivalente che modella un sistema inelastico come sistema elastico equivalente. Grazie all’introduzione di quest’ultima, diviene possibile progettare e analizzare un sistema strutturale non lineare usando spettri di risposta elastici. La Fig. 1 rappresenta un’approssimazione alla risposta forza-spostamento di una struttura; la rigidità efficace, K_{eff} , è la rigidità 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 rigidità efficace e progettare la struttura.

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

Quantunque esistano diversi approcci di dettaglio nel metodo di progettazione agli spostamenti, la loro applicazione richiede che l'azione (o *domanda*) sismica di progetto, anziché da uno spettro di risposta elastico di accelerazione, sia descritta da uno SRS. Una struttura relativamente comune come un edificio di 10-15 piani, sollecitata per effetto del terremoto in campo di comportamento plastico, può subire un aumento molto rilevante del proprio periodo dominante di risposta rispetto al periodo proprio di vibrazione elastico iniziale (in assenza di danni, compreso indicativamente tra 1.0 e 1.5 s); ne discende l'esigenza di definire lo SRS su un intervallo sufficientemente ampio di valori del periodo proprio di vibrazione (3-4 s); se si considerano, come è d'obbligo, anche strutture lunghe e flessibili come i ponti, tale limite deve essere ulteriormente esteso.

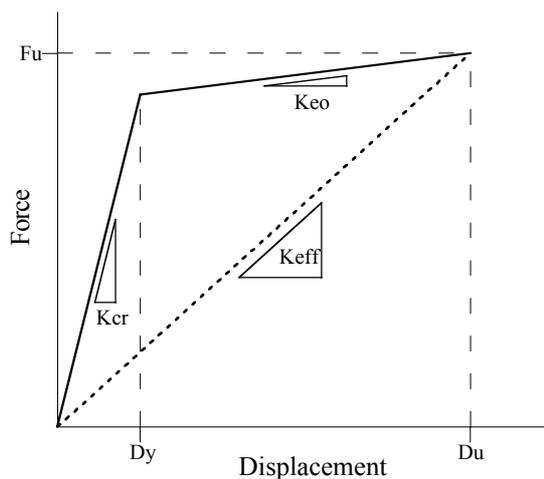


Fig. 1. Struttura elastica equivalente (rigidezza K_{eff}) nel metodo di progettazione agli spostamenti.

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

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

Infine, nell'approccio (oggi dominante) alla progettazione antisismica basato sulle forze si quantifica l'azione sismica mediante uno spettro di risposta di accelerazione la cui forma dipende dalle condizioni locali del suolo e avente come fattore di scala un unico parametro di pericolosità (a_g = accelerazione orizzontale di picco su suolo rigido per una probabilità prefissata di eccedenza). Nell'ottica di una introduzione a breve-medio termine della progettazione basata sugli spostamenti

nelle norme sismiche, un'impostazione analoga appare auspicabile, ovvero uno SRS normalizzato (dipendente dalla magnitudo) su suolo rigido, che usi per la normalizzazione un numero molto ristretto di parametri di scala (al limite, uno solo), da rappresentare in una o più mappe di zonazione sismica del territorio.

2.2 Aspetti relativi alle strutture monumentali

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

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

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

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

2.3 Modello iniziale di riferimento

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

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

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

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

- propone un formato analitico della domanda sismica in termini di SRS ragionevolmente adattabile a esigenze di carattere normativo.

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

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

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

3. Descrizione del progetto

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

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

Le attività contemplate in questo sottoprogetto comprendono essenzialmente:

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

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

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

Influenza delle forme di dissipazione sullo SRS

Nel progettare agli spostamenti, la dissipazione dell'energia sismica tramite meccanismi di risposta anelastici (di tipo isteretico) e/o dovuta alla presenza di appositi elementi dissipativi, può

rappresentarsi tramite una adeguata diminuzione delle ordinate dello SRS. I fattori che quantificano tale riduzione dovranno tenere conto di: (i) tipo di risposta anelastica della struttura, (ii) periodo di vibrazione di quest'ultima, (iii) domanda in spostamento e (iv) caratteristiche della azione sismica (Lin e Chang, 2003; Bommer e Mendis, 2005).

Le attività da svolgere in questa parte di sottoprogetto comprendono:

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

Definizione di SRS di verifica per costruzioni monumentali

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

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

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

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

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

- Completamento di modelli osservazionali ed analitici semplificati per includere l'effetto di uno spostamento a rampa sullo SRS. Appare in particolare critico stimare come il "periodo d'angolo" dello SRS dipenda dal tempo caratteristico di rampa nello spostamento del suolo.

- Inclusione degli effetti di direttività e del meccanismo di faglia mediante trattazione semplificata e cautelativa, e individuazione dei rispettivi campi di applicabilità rispetto alla distanza dalla sorgente e della magnitudo.

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

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

Modelli di attenuazione su base strumentale

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

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

Sono già disponibili presso INGV-Roma1 delle basi di dati strumentali digitali (*weak e strong motion*, ad es. Friuli, Abruzzo, Alpi Occidentali, Sicilia). Usando tutti i dati registrati per $M > 4.5$ (indicativamente) verrà effettuato uno studio dettagliato per determinare tutti i fattori che influenzano il moto del suolo in un intervallo di periodi da 2s a 5s. Regressioni di tipo classico saranno stimate usando i valori di picco e le ordinate spettrali in spostamento in funzione della distanza e della magnitudo.

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

Relazioni di attenuazione di spettri di risposta in spostamento per terremoti Etnei.

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

Relazioni di attenuazione regionali in zona alpina (provincia di Trento).

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

Correlazioni a base semiempirica

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

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

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

Modellazione della propagazione di onde a lungo periodo (1 – 10 s) in regioni estese

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

Analisi parametriche di onde di lungo periodo generate localmente nei bacini sedimentari.

Nei terremoti di San Fernando (1972) e Northridge (1994) si è riscontrata una forte discrepanza tra osservazioni e valori predetti dalle leggi di attenuazione per gli spettri di risposta a lungo periodo; è stato dimostrato che la causa è la diffrazione al bordo dei bacini sedimentari, che genera localmente onde superficiali la cui eccitazione/attenuazione dipende dalla geometria e dal profilo di velocità del bacino. Il bordo diventa così una potente sorgente locale di onde di lungo periodo che poi si attenuano con meccanismi mai parametrizzati finora in modo specifico. Si studieranno pertanto le caratteristiche degli SRS a periodi $> 1-2$ s rappresentando in modo semplice geometria e profilo di velocità, in bacini sia di piccole (ordine di alcuni km) che di grandi dimensioni (centinaia di km), e usando modellazioni numeriche 2D, con dati di ingresso variati entro intervalli realistici. La

validazione delle relazioni trovate potrà essere effettuata grazie ai dati registrati nei bacini di Los Angeles e Osaka (e forse altri ancora). I risultati indicheranno le correzioni eventualmente da apportare in sede di pericolosità in presenza di bacini sedimentari.

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

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

Per la costruzione delle mappe, che inizierà in modo sistematico nel 2° anno del progetto, saranno:

- usati come dati di ingresso (zonazione sismogenetica, catalogo e derivati, criteri di completezza) quelli finali, o quasi, a cui sarà pervenuto il progetto S1 al termine del primo anno, nonché – per quanto riguarda in particolare sorgenti sismogenetiche identificate come singole faglie – quelli del progetto S2 alla stessa epoca;
- raccolti tutti i risultati principali degli altri Tasks, parametrizzandoli ove necessario in modo da poterne fare uso nell'ambito di un calcolo probabilistico di pericolosità;
- adottato un metodo di calcolo analogo a quello usato per redigere la carta di pericolosità 2004 in termini di a_{max} , a parte variazioni e semplificazioni nella procedura di albero logico.

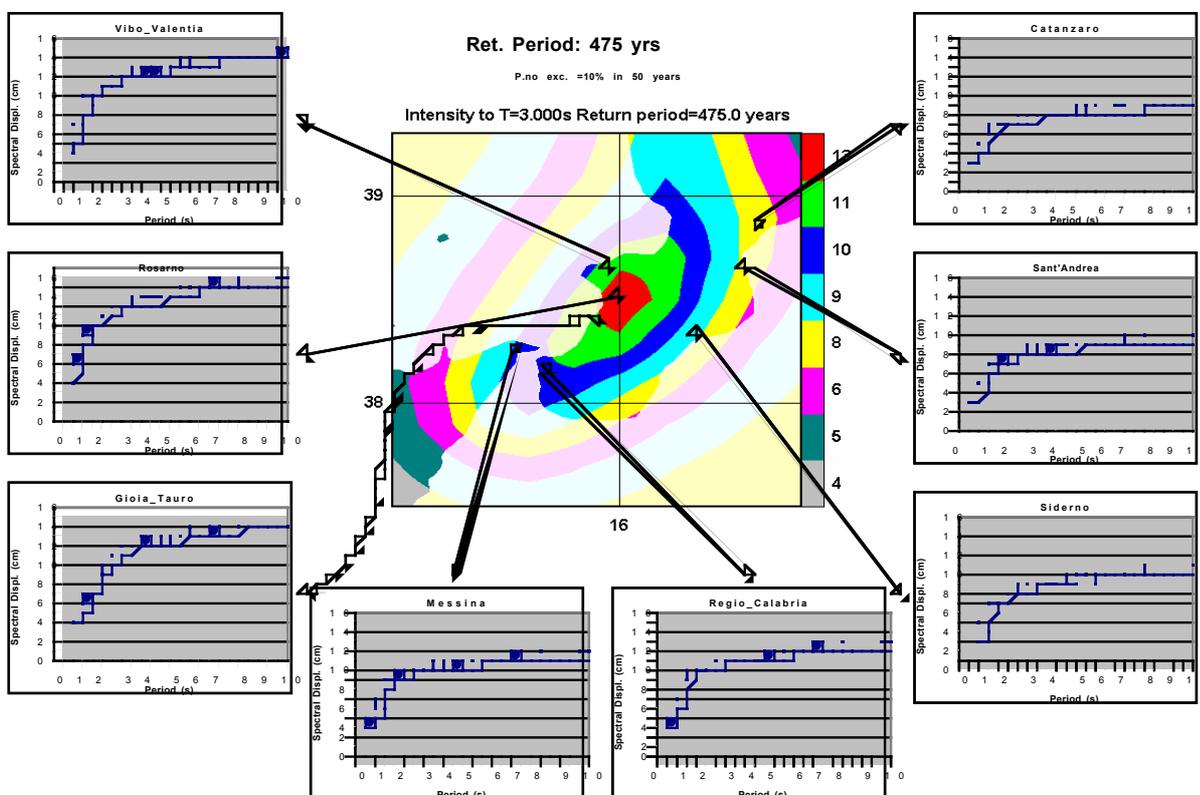


Fig. 2 - Esempio di mappatura di SRS nella regione dell'arco calabro, con smorzamento 0.05, per probabilità di eccedenza 0.10 in 50 anni (con zonazione sismogenetica ZS4)

Riferimenti (parziali)

- Bommer J. e Mendis R.(2005) "Scaling of spectral displacement ordinates with damping ratios", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* **34**, in press.
- CEN (2004) "Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings", Bruxelles, May 2004
- Faccioli E., Paolucci R. e Rey J. (2004) "Displacement spectra for long periods", *Earthquake Spectra* **20**, 347-376.
- Lin Y. e Chang K. (2003) "Study on damping reduction factor for buildings under earthquake ground motion", *J. Structural Engineering ASCE* **129** (2), 206-214.
- Pettenati F. e Sirovich L., 2003 "Tests of source-parameter inversion of the U.S. Geological Survey intensities of the Whittier Narrows, 1987 Earthquake", *Bull. Seism. Soc. Am.*, 93, 1, 47-60
- Somerville P. (2003) "Magnitude scaling of the near fault rupture directivity pulse", *Phys Earth. Planet. Inter.* **137**, 201–212.

4. Deliverables attesi

Task 1

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

Task 2

Tema 1:

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

Tema 2:

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

Task 3

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

Task 4

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

Task 5

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

Task 6

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

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

| U.R | Enti | Principali responsabili | Task1 | Task2 | Task3 | Task4 | Task 5 | Task 6 | Mesi p. cofin. | Mesi p. rich. |
|--------|------------------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|----------------|---------------|
| UR-1 | INGV-CT | Langer | | | | 18 | | | 18 | |
| UR-2 | INGV-RM | Herrero, Akinci, Rovelli | | | 9 | 7 | 2 | | 18 | 24 |
| UR-3 | INGV-MI | Faccioli (¹) | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 14 | 17 | 18 |
| UR-4 | INOGS | Priolo | | | | | 4 | | 4 | 15 |
| UR-5 | INOGS | Sirovich | | | | 16 | | | 16 | |
| UR-6 | Politecnico Milano | Paolucci | 8 | | | | | | 8 | 20 |
| UR-7 | UniGE | Lagomarsino | | 5 | | | | | 5 | 16 |
| UR-8 | UniPV | Pinho | | 5 | | | | | 5 | 16 |
| UR-9 | Servizio Geol. TN (²) | | | | | 35 | | | 35 | |
| Totale | | | 9 | 10.5 | 9.5 | 76.5 | 6.5 | 14 | 126 | 109 |

(¹) O altro responsabile, da specificare in seguito; (²) UR non finanziata.

6. Tabella 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 | |
| UR-1 | INGV-CT | Langer | 0 | 0 | 5,5 | 3 | 3,5 | 2 | 0 | 0 | 9 | 5 | 14 |
| UR-2 | INGV-RM1 | Herrero | 0 | 0 | 20 | 9 | 18 | 9 | 6 | 4 | 44 | 22 | 66 |
| UR-3 | INGV-MI | Faccioli(*) | 0 | 0 | 7 | 8 | 5 | 8 | 6 | 2 | 18 | 18 | 36 |
| UR-4 | INOGS | Priolo | 25 | 12 | 4 | 3 | 4 | 3 | 0 | 0 | 33 | 18 | 31 |
| UR-5 | INOGS | Sirovich | 0 | 0 | 3 | 3 | 2,5 | 3 | 0 | 0 | 5,5 | 6 | 11,5 |
| UR-6 | PoliMI | Paolucci | 20 | 11 | 7 | 5 | 5 | 3,5 | 6 | 3 | 38 | 22,5 | 50,5 |
| UR-7 | Eucentre PV | Pinho | 20 | 10 | 7 | 5 | 5 | 2 | 5 | 2 | 37 | 19 | 56 |
| UR-8 | UniGE | Lagomarsino | 20 | 10 | 7 | 5 | 5 | 2 | 5 | 2 | 37 | 19 | 56 |
| | | Totale | 85 | 43 | 60,5 | 41 | 48 | 32,5 | 28 | 13 | 221,5 | 129,5 | 351 |

(*)O altro responsabile, da specificare in seguito

Totale 351.000 euro **INGV: 116.000 (33%)** **Altri enti** **235.000 (67%)**

richieste di personale INGV:

La UR 2 (RM1) chiede una borsa di studio per 18 mesi (Euro 24000)

La UR 3 (MI) chiede una borsa di studio per due anni (Euro 32000)

Totale 56.000 euro