

**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 S3 – Scenari di scuotimento in aree di interesse prioritario e/o strategico**

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

### **1. Obiettivo**

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

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

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

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

Tali attività riguarderanno tre argomenti principali:

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

### **2. Stato dell'arte**

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

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

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

Lo studio di scenario necessita prima di tutto di una identificazione e descrizione delle strutture sismogenetiche di interesse per l'area in esame; successivamente si procede al calcolo del moto atteso da eventi sismici relativi alle possibili rotture delle strutture selezionate. Normalmente si selezionano e si analizzano gli eventi più severi per la regione e si ipotizzano diverse modalità

accadimento del terremoto lungo le varie faglie analizzate. Il calcolo del moto viene compiuto a vari livelli di complessità, sia attraverso modelli semplificati, quali leggi di attenuazione empiriche, sia attraverso modelli numerici che simulano la rottura di una faglia e la propagazione delle onde elastiche in mezzi stratificati.

Per quanto le varie ipotesi utilizzate nel rappresentare l'evento (ad esempio l'estensione della rottura o la quantità di spostamento sulla faglia) siano scientificamente plausibili, lo scenario non potrà mai essere univocamente definito e dovrà essere corredato da una valutazione dell'incertezza associata.

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

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

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

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

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

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

### 3. Descrizione del progetto

#### *Le aree*

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

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

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

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

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

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

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

L'area è stata da poco colpita dalla sequenza sismica umbro-marchigiana del 1997-1998 e lo studio di scenario potrà beneficiare dei dati (in particolare registrazioni accelerometriche) e dei risultati ottenuti dagli studi condotti a seguito dell'evento. Inoltre in tale area la sismicità, moderata ma è molto frequente favorendo attività di monitoraggio per la comprensione degli effetti di sito in strutture complesse, quali le conche intramontane.

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

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

### ***Articolazione del progetto***

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

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

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

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

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

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

### **Task 1 – Scenari di scuotimento**

*Obiettivi:* 1) Linee guida per la definizione degli scenari di scuotimento al bedrock; 2) Sviluppo di metodi innovativi per la valutazione del moto sismico a scala locale e regionale.

Nel Task 1 si prevedono tre attività di ricerca, finalizzate alla calibrazione delle tecniche di simulazione da utilizzare per il calcolo di scenari di scuotimento nelle aree prescelte e per la valutazione della variabilità delle predizioni al variare dei parametri del modello.

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

#### *Attività 1 - Tecniche di simulazione*

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

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

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

#### *Attività 2 - Caratterizzazione della variabilità del moto e valutazione dell'incertezza*

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

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

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

#### *Attività 3 - Metodi innovativi per la valutazione della pericolosità sismica*

In questa attività saranno raccolte tutte le ricerche finalizzate allo sviluppo e alla validazione di metodi innovativi per il calcolo di scenari di scuotimento.

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

utilizzato per le stime di pericolosità a scala regionale.

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

## **Task 2 – Effetti di sito**

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

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

### *Attività 1 - $V_{s30}$*

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

### *Attività 2 – Caratterizzazione di alcune tipologie di sito*

Esistono molte tipologie diffuse sul territorio nazionale per cui la semplice caratterizzazione  $V_{s30}$  o altri modelli semplici non forniscono risultati soddisfacenti. Si propone di studiarne 4:

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

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

### Task 3 – Scenari Area 1: Molise

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

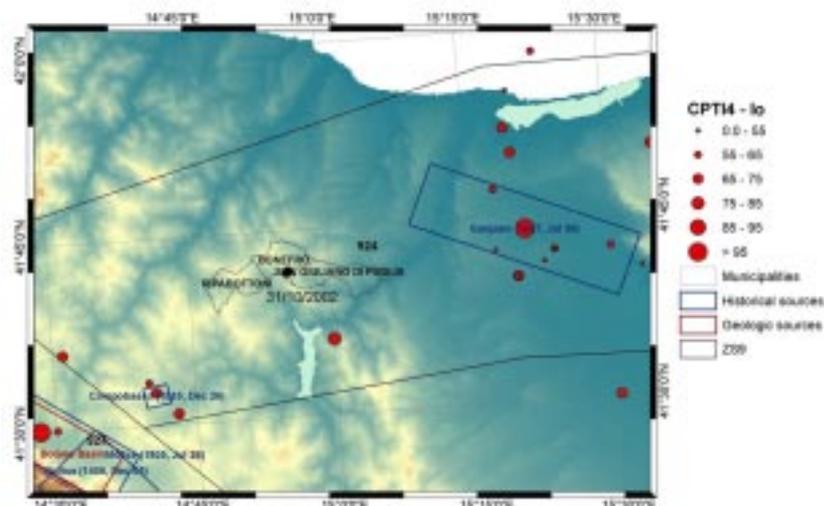


FIGURA 1 – ZONA 1

#### Scenari al bedrock

Le attività che saranno svolte per la stima del moto su roccia sono di seguito elencate:

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

#### Scenari al sito

Le attività che saranno svolte per la stima del moto ai siti sono di seguito elencate:

1. Tomografie geoleitriche profonde 2,5 D a S. Giuliano di Puglia per la ricostruzione del substrato.
2. Raccolta e utilizzo dati geotecnici e geologici per definire i modelli mono-, bi-, e tridimensionali per valutare la risposta sismica locale nei comuni oggetto di studio.
3. Ricostruzione di un modello geologico 3-D a S. Giuliano di Puglia e studio della propagazione lineare delle onde sismiche.
4. Studio dell'interazione tra suolo-edificato (comune di Bonefro).

5. Definizione delle funzioni di trasferimento e/o fattori di amplificazione da utilizzare per la stima del moto al sito.
6. Calcolo degli scenari al sito e confronti con il danno verificatosi durante l'evento principale nei 5 comuni.
7. Creazione di un sistema informativo territoriale con dati di ingresso, risultati intermedi e elaborati finali descrittivi gli scenari a vario livello di dettaglio.

#### Task 4 – Scenari Area 2: Garda

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

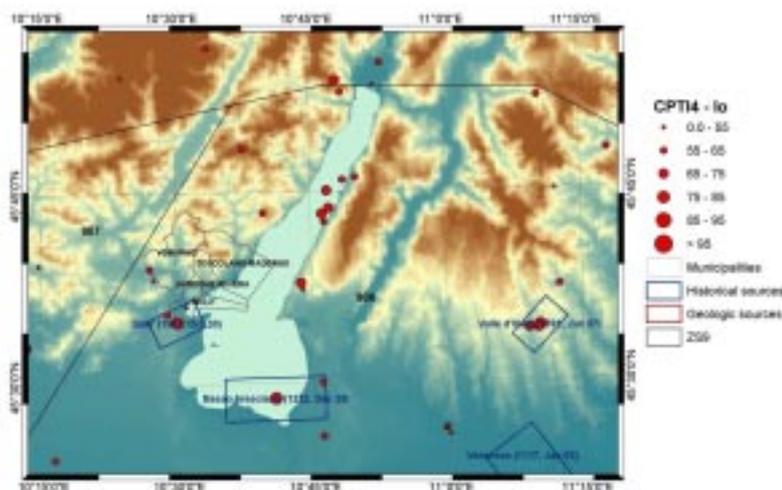


FIGURA 2 – AREA 2

#### Scenari al bedrock

Le attività che saranno svolte per la stima del moto su roccia sono di seguito elencate:

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

#### Scenari al sito

Le attività che saranno svolte per la stima del moto su roccia sono di seguito elencate:

1. Raccolta dei dati di microzonazione e di vulnerabilità esistenti presso la Regione Lombardia.
2. Calcolo dello scenario al bedrock nei comuni di Vobarno, Salò, Gardone Riviera, Toscolano-Maderno.
3. Campagne di misura di rumore nei comuni di Vobarno, Salò, Gardone Riviera, Toscolano-Maderno.
4. Campagne di misura di rumore in alcuni edifici nei comuni oggetto di studio.

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

### Task 5 – Scenari Area 3: Potenza

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

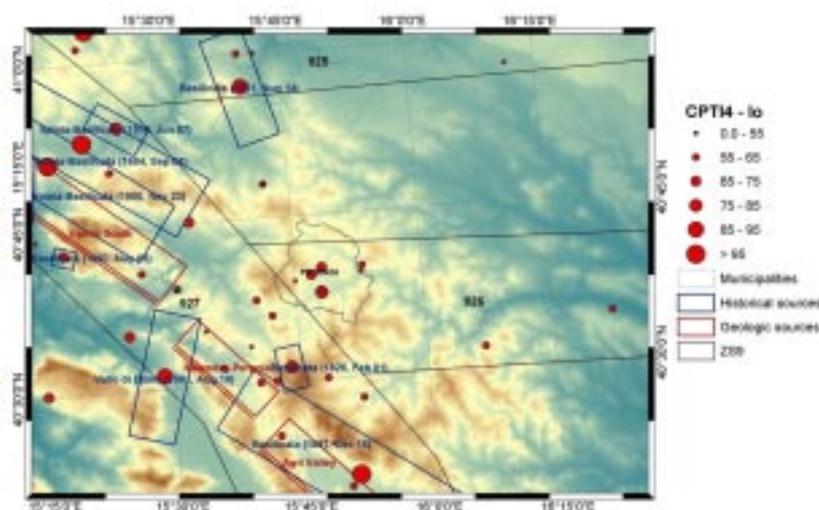


FIGURA 3 – AREA 3

#### Scenari al bedrock

Le attività che saranno svolte per la stima del moto su roccia sono di seguito elencate:

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

#### Scenari al sito

Le attività che saranno svolte per la stima del moto su roccia sono di seguito elencate:

1. Recupero studi di microzonazione e studi di amplificazione sismica nel comune di Potenza. Recupero dati di vulnerabilità.

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

### Task 6– Scenari Area 4: Gubbio

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

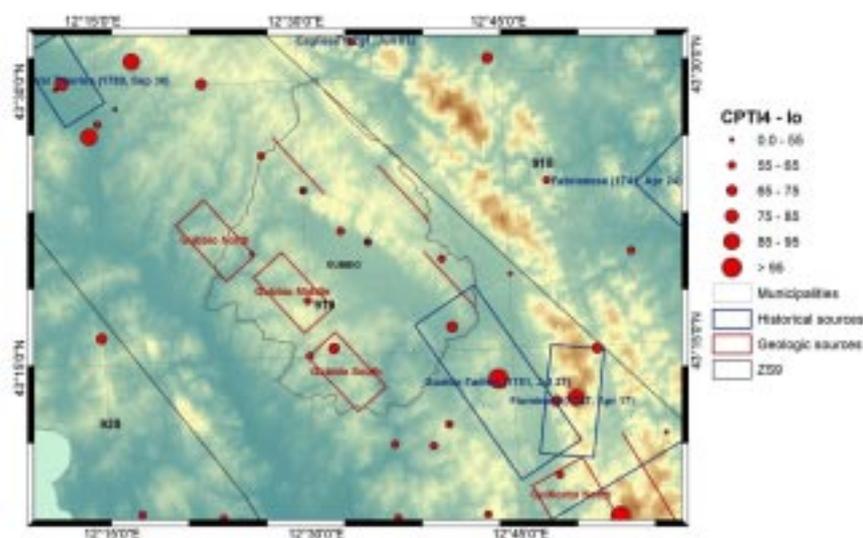


FIGURA 4 – AREA 4

#### Scenari al bedrock

Le attività che saranno svolte per la stima del moto su roccia sono di seguito elencate:

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

#### Scenari al sito

Le attività che saranno svolte per la stima del moto su roccia sono di seguito elencate:

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

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

### **Task 7 – Interfacciamento con l'ingegneria ed il DPC**

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

#### *Attività 1 - Definizione parametri del moto a scopi ingegneristici*

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

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

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

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

#### *Attività 2 – Informatizzazione degli studi di scenario*

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

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

#### 4. Deliverables attesi

##### Dati

- 1) CD – rom contenente registrazioni della sequenza sismica del Molise, registrate dalle reti temporanea Genova, Udine e INGV
- 2) CD – rom contenente registrazioni della sequenza sismica nella zona del Garda, registrate dalle rete INGV
- 3) CD – rom contenente i dati delle registrazioni di Gubbio raccolte durante il Progetto
- 4) CD – rom contenente i dati delle registrazioni dell'Italia Meridionale utilizzate nel Progetto per il calcolo dell'attenuazione nell'area di Potenza.

##### Prodotti

- a) Studio di scenario nelle 4 aree
- b) Linee guida per la definizione di scenari
- c) Linee guida per valutare effetti di sito

#### 5. Tabella mesi/persona per task e UR

U.R	Enti	Principali responsabili	Task1 Scenari	Task2 Sito	Task3 Molise	Task4 Garda	Task5 Potenza	Task6 Gubbio	Task7 ING./DPC	Mesi pers. cofin.	Mesi pers. rich.
UR-1	INGV-MI	Pacor, Augliera, Franceschina	@		@	@	@	@	@	83	24
UR-2	INGV-RM	Rovelli, Cultrera, Caserta	@	@	@	@	@	@		71	
UR-3	INOGS	Priolo, Sirovich, Boehm	@	@	@	@	@	@		52	60
UR-4	IMAA, UniBO, UniSI, IDPA	Piscitelli, Mulargia, Albarello			IMAA	UniBo IDPA	IMAA	UniSI		29	30
UR-5	UniBA	Del Gaudio		@						11	12
UR-6	UniBas	Mucciarelli, Masi		@	@	@	@	@	@	33	24
UR-7	UniCal, UniNA, UniRM1, UniSN	Silvestri, Lanzo		@	UniCal					32	48
UR-8	UniCT	Lombardo, Maugeri		@						33	36
UR-9	UniGE	Eva, Spallarossa			@			@		29	36
UR-10	UniNA1	Zollo, Emolo	@		@	@	@	@		28	24
UR-11	UniRM3	Scarascia		@				@		12	12
<b>Tot</b>										<b>413</b>	<b>306</b>

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

UR	Istituz.	Resp UR	Personale		Missioni Italia Consumi servizi				Inventariabile		Totale		tot.
			2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	
UR-1	INGV-MI	Pacor, Augliera, Franceschina			12	8	13	13	13	10	38	31	69
UR-2	INGV-RM	Rovelli, Cultrera, Caserta			25	15	29	20	36	25	90	60	150
UR-3	INOGS	Priolo, Sirovich, Boehm	48	48	15	15	9	9	0	0	72	72	144
UR-4	IMAA, UniBO, UniSI, IDPA	Piscitelli, Mulargia, Albarello	30	20	10	7	8	5	0	0	48	32	80
UR-5	UniBA	Del Gaudio	19		0	0	0	0	8	4	27	4	31
UR-6	UniBas	Mucciarelli, Masi	19	19	6	6	18	17	0	0	43	42	85
UR-7	UniCal, UniNA, UniRM1, UniSN	Silvestri, Lanzo	46	30	2	1	1.5	1	5	3	54,5	35	89,5
UR-8	UniCT	Lombardo, Maugeri	35	22	6	4	7	4	5	3	53	33	86
UR-9	UniGE	Eva, Spallarossa	28,5	28,5	6	6	4	4	0	0	38,5	38,5	77
UR-10	UniNA1	Zollo, Emolo	24	24	3	3	14	14	4	4	45	45	90
UR-11	UniRM3	Scarascia	19	9	2	1	1.5	1	0	0	22,5	11	33,5
		<b>tot</b>	<b>268,5</b>	<b>200,5</b>	<b>87</b>	<b>66</b>	<b>105</b>	<b>88</b>	<b>71</b>	<b>49</b>	<b>531,5</b>	<b>403,5</b>	<b>935</b>

**Totale: 935.000 euro**

**INGV: 219000 (23%)**

**Altri enti: 716000 (77%)**

### richieste di personale INGV:

L'UR (INGV-MI) richiede un assegno di ricerca per due anni,  
**38.000 Euro.**

