



## **Progetto S3 - Scenari di scuotimento in aree di interesse prioritario e/o strategico**

*Responsabili: Marco Mucciarelli (UniBas) e Francesca Pacor (INGV-MI)*

**Rendiconto prima fase di attività (1 giugno 2005 - 31 Maggio 2006)**

### **Abstract/obiettivi del progetto**

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

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

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

Nel progetto S3 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; la verifica di vari metodi per la stima di  $V_{s30}$  e studi di dettaglio su tipologie di suoli ove questo parametro non sembra una buona approssimazione dell'amplificazione attesa (inversioni di velocità, frane, ammassi rocciosi fratturati, aree con carsismo)
- 3) Lo sviluppo e l'applicazione di metodi di calcolo innovativi per la valutazione del moto sismico a scala locale e/o regionale (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; introduzione dei risultati ottenuti dalle simulazioni deterministiche a faglia finita del moto del suolo nel classico approccio probabilistico utilizzato per le stime di pericolosità a scala regionale).

Il Progetto si concentrerà su quattro aree italiane, due scelte a scopo previsionale e due a scopo di validazione. 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 (M = 5.8) e il terremoto del bresciano del 24 Novembre 2004 (M = 5.2). A scopo previsionale si identificano l'area urbana di Potenza (PZ) e quella di Gubbio (PG).

## **1. Stato di avanzamento del progetto: aspetti generali**

Il progetto è stato coordinato direttamente dai responsabili senza la nomina di responsabili di Task; sono state organizzate due riunioni plenarie (30 e 31 Maggio 2005 e 14 giugno 2006 a Roma) e numerosi incontri per singoli Task a cui hanno partecipato le UR coinvolte, quando possibile i referenti DPC e le autorità locali.

Nel corso del primo anno il Progetto S3 ha rispettato i tempi e metodi previsti inizialmente. Le variazioni principali hanno riguardato alcune attività sperimentali le quali sono state ridefinite in corso d'opera e descritte in dettaglio nei singoli Task. A favore del Progetto si segnala l'aggiunta di nuove indagini e calcoli inizialmente non previsti che si è potuta ottenere da un lato grazie ad una ottimizzazione delle risorse allocate presso alcune unità, dall'altro grazie al coinvolgimento a titolo gratuito di alcuni gruppi di ricerca che hanno trovato di loro interesse collaborare alle attività proposte attingendo a finanziamenti istituzionali o nell'ambito di altre iniziative in corso (ad esempio il modello 3D della Piana di Gubbio).

Particolare attenzione è stata dedicata ai rapporti con gli utenti finali dei prodotti previsti, sia con le amministrazioni locali che con la comunità ingegneristica.

Per quanto riguarda il primo aspetto, si forniranno ulteriori dettagli per i task interessati. Va comunque detto che le autorità locali sono state direttamente coinvolte nelle attività di reperimento dati e sono sempre state invitate alle riunioni di progetto che si è cercato di tenere nei luoghi oggetto di studio.

Per quanto riguarda invece i rapporti con la comunità ingegneristica (oggetto del task 7), è bene ricordare che il documento istitutivo dei progetti prevedeva che i prodotti di S3 dovessero essere interfacciati con studi di vulnerabilità "altrimenti esperiti" allo scopo di produrre scenari di danno. Durante il primo anno di attività è emersa la necessità di un maggiore confronto sui temi al confine tra prodotti sismologici ed ingegneristici, e si è individuato un naturale interlocutore nel gruppo che rappresenta l'altra metà delle ricerche finanziate dal Dipartimento Protezione Civile, ovvero nei progetti ReLUIIS. Il risultato principale e non previsto inizialmente è stata l'organizzazione di un workshop sull'input sismico che si terrà il 12 e 13 giugno.

Per quanto riguarda i *deliverables* previsti per il primo anno, sono già stati tutti predisposti ad eccezione di uno: *D24 - Specifiche dei parametri sismici necessari per la generazione di scenari di danno nel presente e immediato futuro* per il quale si attendono le conclusioni del workshop sopra citato, che prevede da parte di due *rapporteur* (un sismologo ed un ingegnere) la redazione in tempo reale di un documento di consenso da discutere ed approvare al termine della riunione. *D24* sarà predisposto entro il 15 giugno. Per quanto riguarda il deliverable *D8*, sono stati elaborati i modelli geotecnici a San Giuliano di Puglia e Ripabottoni; per gli altri tre comuni si attende la pubblicazione dei dati della Microzonazione Sismica effettuata dalla Regione Molise. Rispetto all'elenco iniziale dei Deliverables si forniranno due deliverables aggiuntivi: *D0*, descrittiva il confronto fra le tecniche di simulazione; e *D26* rappresentato dal CD-rom dei dati registrati nella Piana di Gubbio.

Tra gli aspetti generali del progetto vanno menzionate le azioni intraprese a seguito dei commenti del Comitato dei Revisori.

I commenti riguardavano:

1. la definizione dei risultati in un formato appropriato per le valutazioni di perdite effettuate da DPC;
2. il trattamento della variabilità aleatoria del moto del suolo ed in particolare come le incertezze saranno propagate al calcolo del danno;
3. la dipendenza esclusiva dal metodo di Nakamura per la caratterizzazione del sito;
4. l'inclusione di aspetti non-lineari e di liquefazione ed utilizzo di tecniche di modellazione dinamica per la sorgente.

Per quanto riguarda il commento 1, si sono intraprese due azioni. La prima riguarda direttamente il responsabile DPC per S3, che ha invitato presso la sede del Dipartimento stesso i coordinatori di progetto e le persone più direttamente coinvolte nella preparazione dei prodotti finali informatizzati, al fine di visionare gli strumenti di cui si sta dotando DPC per la stima di perdite e necessità di soccorso. L'incontro è programmato al termine delle attività di chiusura del primo anno. La seconda attività è consistita nella partecipazione dei due coordinatori ad una esercitazione nazionale di protezione civile svoltasi dal 10 al 14 maggio in Val d'Agri con il coinvolgimento di un migliaio di partecipanti. Per quest'area erano disponibili scenari di scuotimento realizzati da INGV-MI durante i progetti svolti nell'ambito del Programma Quadro 2000-2002 del Gruppo Nazionale Difesa Terremoti. E' stato così possibile, assieme agli ingegneri che coordinavano la parte scientifica dell'esercitazione, seguire tutto il processo dall'integrazione con gli studi di vulnerabilità, attraverso le stime di danno fino allo scenario di perdite/soccorsi attesi. In tutto il processo si è tenuto conto delle incertezze e della loro propagazione, giungendo a farne un elemento caratterizzante della stessa esercitazione.

Il rappresentante del DPC nel comitato organizzatore, Dott. Casenghini, ha espresso compiacimento per il risultato raggiunto ed in particolare per l'integrazione tra la componente scientifica e quella operativa. L'esperienza si è rivelata molto utile per l'identificazione delle criticità nel processo: come già si sospettava in partenza, il problema principale che viene richiamato anche dal task 7 di S3, è la necessità da parte degli ingegneri di avere dati di ingresso sotto forma di intensità, e possibilmente sia in scala MCS che EMS.

Quanto sopra si ricollega anche al secondo commento dei revisori circa il trattamento delle incertezze. Per la propagazione delle stesse alle stime di danno è fondamentale il confronto che ci si attende con la componente ingegneristica nel workshop di giugno. L'impressione attuale è che i modelli che meglio potrebbero tenere conto delle incertezze mediante una convoluzione diretta, come le curve di fragilità, al momento manchino ancora di una base dati estesa e comprensiva di tutte le tipologie di interesse per il territorio italiano.

Riguardo al commento circa l'uso esclusivo del metodo di Nakamura come stimatore degli effetti di sito, si ritiene che sia stato originato da un fraintendimento derivante dal fatto che i risultati disponibili alla data del primo incontro con i Revisori e mostrati in quella sede fossero misure di microtremiti. In realtà, il metodo HVNR è utilizzato o in combinazione con misure sugli edifici allo scopo di evidenziare la presenza di fenomeni di risonanza (task 2, 5 e 6) o allo scopo di estendere spazialmente i risultati ottenuti in un numero limitato di punti di misura/modellazione. Nel task 2 vengono utilizzate molte tecniche, dato che lo scopo è il confronto tra vari metodi per stimare  $V_{s30}$  (rifrazione, NASW-REMI,

ESAC) e confrontare i risultati di modelli 1-d con l'amplificazione misurata in siti dotati di sensori *borehole*. Per i due scenari previsionali (task 5 e 6) sono state installate decine di stazioni che hanno registrato centinaia di eventi, e le relative elaborazioni sono descritte in dettaglio al successivo capitolo 2. Per il task 3 si utilizzeranno modelli bi- e tri-dimensionali allo scopo di stimare l'amplificazione per la quale non si hanno misure dirette ottenute durante il *mainshock*.

Per quanto la non-linearità, una stima speditiva degli effetti non lineari secondo il metodo proposto da Bazzurro e Cornell (2004) è già presente tra le attività previste per secondo anno del progetto. Per un errore materiale è riportato solo tra gli esperimenti del task 2 e non anche tra le attività previste nel task 3 per i siti del Molise per cui siano disponibili dati geotecnici di cui al deliverable D8. Per quanto riguarda lo studio di possibili fenomeni di liquefazione, non si ritiene di poterlo eseguire poiché il budget previsto per S3 non consente di effettuare i sondaggi geognostici e le prove geotecniche *in situ* ed in laboratorio che sarebbero necessarie.

Infine, come già discusso, l'utilizzo diretto di tecniche di modellazione dinamica della sorgente per il calcolo degli scenari di scuotimento non era previsto nel Progetto S3; si è, infatti, ritenuto preferibile utilizzare tecniche di simulazione note e già sperimentate in progetti precedenti (progetto GNDT) al fine di garantire risultati applicativi e applicabili a più situazioni. Modelli dinamici saranno utilizzati nell'ambito dello studio parametrico delle sorgenti sismiche per vincolare alcune grandezze quali ad esempio le funzioni sorgente o i range di variabilità del rise time e delle velocità di rottura.

Il primo anno del progetto era dedicato all'approfondimento di aspetti teorici della modellazione e soprattutto all'acquisizione dei dati sperimentali. Si può ritenere adempiuto questo compito, senza particolari ritardi e con una buona quantità e qualità dei dati disponibili, come sarà illustrato nel capitolo seguente. Tra i risultati che hanno già iniziato a delinearci vanno menzionati:

- a. quelli riguardanti Vs30: in oltre un terzo dei siti esaminati questo parametro non sembra essere una buona approssimazione dell'amplificazione sismica.
- b. Per quanto riguarda il confronto delle tecniche di simulazione si osserva che in generale i singoli scenari di scuotimento relativi ad un terremoto e calcolati con le diverse tecniche di simulazione hanno valori confrontabili ma distribuzioni areali differenti, dipendendo dalla parametrizzazione della sorgente implementata nella singola tecnica. Le medie di tutti gli scenari hanno valori simili quando analizzati in funzione della distanza, al contrario le deviazioni standard associate variano, dipendendo dal parametro del moto del suolo analizzato.

## 2. Stato di avanzamento del progetto: aspetti di dettaglio, per singoli task

Il progetto S3 è diviso in 7 task, come da tabella seguente:

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

## Task 1 - Scenari di scuotimento

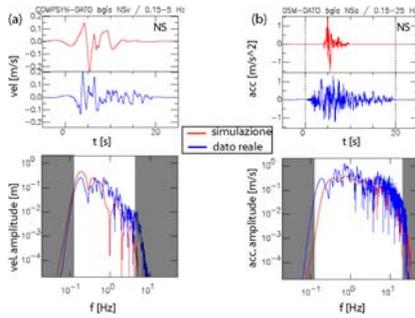
In questo Task erano previste tre attività di ricerca finalizzate alla calibrazione delle tecniche di simulazione da utilizzare per il calcolo di scenari di scuotimento nelle aree prescelte e per la valutazione della variabilità delle predizioni al variare dei parametri del modello.

Si è conclusa l'attività 1 relativa al confronto fra le tecniche di simulazione; i risultati sono presentati nel Deliverable **D0**, inizialmente non previsto nel Progetto. Le attività 2 e 3 sono in corso di svolgimento; tutti i test parametrici per indagare la variabilità del moto in funzione dei parametri descrittivi la cinematica della sorgente sono stati progettati e saranno conclusi entro il II anno di progetto (attività 2); i primi scenari di scuotimento in termini di intensità macrosismica (attività 3) sono stati elaborati nell'ambito del Task 3 - Molise e Task 4 - Garda. Lo sviluppo di metodi innovativi per la valutazione della pericolosità sismica (attività 3) sta procedendo su due linee: la prima relativa alla calibrazione e validazione della tecnica broad band HIC (Gallovic e Brokesova, 2006) proposta dall'UR10, la seconda finalizzata ad un miglioramento della tecnica DSM (Pacor et al., 2005), proposta da UR1 e UR2, attraverso l'introduzione di distribuzioni di slip più realistiche descritte dal modello  $k^2$ . Inoltre nelle aree di validazione si stanno testando le tecniche di simulazione basate sulle Green Function empiriche (Hutchings; 1994; Irikura; 1986) utilizzando i data set di registrazioni delle sequenze sismiche del Molise e dal Garda.

Le ricerche sono state condotte in collaborazione tra le UR (UR1, UR2 e UR10) e a tal fine sono stati organizzati 2 incontri di più giorni a Milano (27 - 30 Giugno 2005 e 7 - 8 Marzo 2006). Per gravi motivi di salute del ricercatore incaricato, l'UR3 non ha partecipato al Task. I fondi destinati alla calibrazione delle tecniche broad band saranno quindi utilizzati, come concordato con il responsabile della UR3, per un rilievo gravimetrico a San Giuliano di Puglia, da effettuare nel II anno di Progetto.

### Attività 1

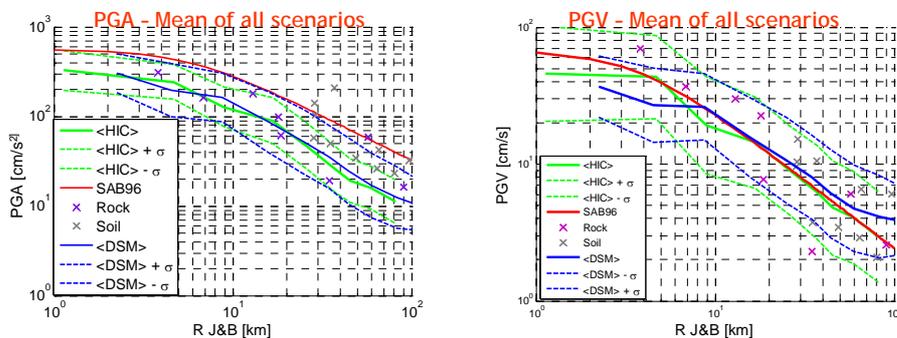
Per il confronto delle tecniche si è utilizzato il terremoto dell'Irpinia del 23 Novembre 1980 (M 6.9) ampiamente discusso in letteratura e per il quale sono disponibili 8 registrazioni accelerometriche in campo vicino. Sono stati definiti i parametri necessari alla simulazione, quali la geometria della sorgente, il modello di rottura, il profilo di velocità e il modello d'attenuazione. Nel confronto sono state impiegate 4 tecniche: Compsyn (Spudich e Xu; 2002), tecnica deterministica in bassa frequenza che risolve il teorema di rappresentazione con una combinazione di due metodi numerici basati sugli elementi finiti e sui numeri d'onda discreti; la tecnica di Okada (1985) per il calcolo dello spostamento permanente; DSM, tecnica in alta frequenza che estende il metodo stocastico di Boore (2003) al fine di riprodurre alcuni effetti della faglia finita, HIC, metodo parzialmente sviluppato nell'ambito del Progetto, che combina l'approccio deterministico con l'approccio composito, basato sulla somma dei contributi al moto del suolo provenienti da sottofaglie elementari. Il confronto fra dati sintetici e registrati è stato condotto in termini di durata temporale, forme d'onda, valori di picco e ordinate spettrali (Figura 1.1). Il confronto ha evidenziato le buone prestazioni delle tecniche sia alle basse frequenze ( $f < 1$  Hz) per Compsyn che alle alte frequenze ( $f > 0.5$  Hz) per DSM, nonostante non si sia tenuto conto degli effetti di sito che alterano il segnale ad alcune stazioni. Le simulazioni effettuate hanno mostrato che Compsyn e HIC danno risultati simili per frequenze minori di 1 Hz, mentre DSM ha valori confrontabili con i valori di HIC solo per frequenze maggiori.



**Fig. 1.1** Confronto tra sismogrammi simulati e registrati alla stazione accelerometrica di Bagnoli Irpino (BGI, componente NS), nel dominio del tempo e delle frequenze: (a) simulazioni di Compsyn e dati reali filtrati tra 0.15 e 5 Hz (velocità); (b) simulazioni DSM e dati reali filtrati tra 0.15 e 25 Hz (accelerazione).

Diverse mappe di scuotimento fino a 100 km dalla sorgente sono state prodotte per l'evento a 0s con la tecnica DSM e la tecnica HIC, variando distribuzione di slip, velocità di rottura e punto di enucleazione.

L'attenuazione media dello scuotimento in termini di PGA e PGV in funzione della distanza dalla faglia R<sub>JB</sub>, è stata calcolata considerando tutti gli scenari ipotizzati per DSM e per HIC e mediando rispetto all'azimuth (Figura 1.2). I risultati mostrano tendenze medie molto simili per le due tecniche e per i due parametri strong motion considerati. Tuttavia, a causa degli effetti di direttività, con DSM si ottiene una maggiore deviazione standard sulla PGA, rispetto a quanto ottenuto con HIC. La maggiore dipendenza dalla distribuzione di slip di HIC produce invece sulla PGV una maggiore deviazione standard rispetto a DSM. Il confronto con i dati accelerometrici evidenzia un buon accordo tra simulazioni e osservazioni, mentre si osserva che la legge di attenuazione empirica sovrastima le osservazioni. La sovrastima deriva probabilmente dalla definizione di distanza utilizzata, dipendente dalla geometria di faglia adottata.



**Fig. 1.2** Attenuazione media di PGA e PGV con la distanza per DSM e HIC. Per confronto sono riportate le curve di attenuazione empirica di Sabetta e Pugliese (1996) e i picchi registrati.

## Task 2 - Effetti di sito

### Attività 1 - Vs30

Scopo dell'attività è un *cross-check* di tecniche geofisiche speditive da superficie per la determinazione del profilo di velocità, di Vs30 e dell'amplificazione. I siti dove effettuare misure di confronto sono stati scelti all'interno della rosa originariamente individuata e sono Tito Scalò (PZ), Tomba di Buia (UD) e Roma.

A Tito Scalò la coppia di sensori accelerometrici superficie-borehole è in attività da luglio 2005 ed ha già acquisito una dozzina di eventi. E' già stata compiuta una misura con *array* a geometria variabile che ha consentito un'inversione del profilo di velocità mediante algoritmi genetici. Si è predisposta la logistica per le misure di sismica a riflessione, ESAC e mediante il dilatometro Marchetti. Per Tomba di Buia si sono recuperate tutte le registrazioni effettuate durante il periodo di attività del

senso *borehole* e si è predisposta la logistica per le misure di sismica a riflessione. A Roma si è proceduto all'esecuzione del foro ed all'installazione dei sensori.

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

Esistono molte tipologie diffuse sul territorio italiano per le quali la semplice caratterizzazione mediante Vs30 o altri modelli semplici non forniscono risultati soddisfacenti. Ne sono state studiate quattro:

#### 1. Inversioni di velocità

I siti prescelti sono stati Gerace e Tricarico. Gli studi sono in corso. Va segnalato che è stato possibile predisporre un modello di calcolo più complesso del modello bidimensionale originariamente previsto, grazie a due dei partner stranieri del progetto (Charles University e GFZ) che hanno deciso di utilizzare Tricarico come caso test di un programma di calcolo che stanno predisponendo.

A Gerace l'attività sperimentale del primo anno è consistita nell'esecuzione di prove SASW per la misura delle velocità delle onde di taglio VS nelle argille e nelle calcareniti. Il profilo di VS nelle calcareniti è stato confrontato con i dati di prove CH effettuate per la progettazione degli interventi di consolidamento della rupe.

La caratterizzazione geotecnica verrà integrata attraverso un'ulteriore campagna di indagini in foro con prove DH in entrambi i siti, e misure piezometriche e di permeabilità nelle argille; qui verranno anche prelevati campioni indisturbati sui quali eseguire prove di laboratorio cicliche e dinamiche. Si rimanda per dettagli all'elaborato di UR 7.

#### 2. Carsismo

Lo studio è in corso nell'area della Sicilia orientale. Originariamente erano previste solo misure empiriche, ma ora si sta concretizzando la possibilità di effettuare una modellazione bidimensionale grazie ad un gruppo di geotecnici di Roma<sup>1</sup> che erano alla ricerca di dati sperimentali per validare un loro codice di calcolo. I risultati delle indagini realizzate nelle cavità, allo stato attuale, non mostrano un comportamento univoco. Effetti di amplificazione non sempre vengono osservati. Nei casi in cui sono presenti, si riscontrano a volte in corrispondenza dei siti di campionatura ubicati al di sopra della cavità e a volte sia all'interno che al di sopra della stessa. La presenza o meno di effetti di amplificazione sembra sia da mettere in relazione con le dimensioni della cavità. Tali effetti sembrano infatti riscontrabili solo se quest'ultima ha altezza superiore a circa 4 metri. In alcuni casi è stato inoltre osservato che l'effetto di amplificazione è determinato dalla componente orizzontale parallela alla direzione di allungamento della grotta. Si rimanda per dettagli all'elaborato di UR 8.

#### 3. Fratturazione ammassi

Lo studio è in corso nell'area dell'Appennino Centrale. Si rimanda per dettagli all'elaborato di UR 11.

#### 4. Aree in frana

Le aree oggetto di studio sono in Abruzzo e Basilicata. Su due frane sono in corso registrazioni accelerometriche, i cui risultati preliminari hanno evidenziato caratteristiche comuni nel moto del suolo, prima fra tutte una polarizzazione delle onde di taglio non dipendente dall'azimut di arrivo. Si rimanda per dettagli all'elaborato di UR 5.

A compendio delle due attività, si è inoltre ritenuto opportuno analizzare dati disponibili riguardanti profili Vs e misure di amplificazione di sito. Si sono raccolti sino ad ora dati per 46 siti. Il risultato più interessante emerso sino ad ora evidenzia un'inadeguatezza di Vs30 in oltre un terzo dei casi considerati.

### Task 3 - Molise

Le attività svolte hanno riguardato da una parte il calcolo degli scenari a vari livelli di complessità, dall'altra la definizione dei modelli geotecnici dei terreni a San Giuliano di Puglia e nei comuni limitrofi (Deliverable D8). Molto complessa appare la ricostruzione delle strutture sepolte a San Giuliano e nessun modello geologico attualmente proposto appare in completo accordo con le misure geofisiche effettuate nel Progetto.

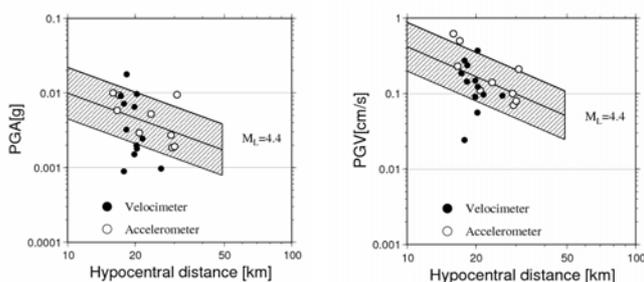
Nel corso dell'anno si sono tenute due riunioni di coordinamento (11 Ottobre 2005 a Roma, 4 Aprile 2006 a Roma). Il Task ha fruito dei molti dati territoriali, geografici e geofisici forniti dalla regione Molise, dal comune di San Giuliano e dal Dipartimento della Protezione Civile, nell'ambito degli studi di microzonazione effettuati a San Giuliano di Puglia subito dopo il terremoto.

#### Scenari al bedrock

La definizione degli scenari al bedrock è articolata in 6 attività; di queste è conclusa l'attività 2 relativa alla raccolta di dati velocimetrici e accelerometrici (Deliverable D6) e l'attività 1 relativa alla definizione delle sorgenti sismogenetiche e del mezzo di propagazione; le altre, come previsto da Progetto, si concluderanno entro 18 mesi.

#### A) Raccolta dati sismometrici e definizione delle leggi attenuazione

Questo lavoro è stato svolto in collaborazione tra UR1 e UR9 e si è articolata in tre fasi, corrispondenti alle attività 2) 3) e 4) del Task. Sono state raccolte le registrazioni disponibili relative alla sequenza molisana del 2002, sia velocimetriche (rete temporanea) che accelerometriche (DPC-SSN). I dati sono stati processati (correzione strumentale, filtraggio, ecc.) in funzione del loro successivo utilizzo. In totale, il data set selezionato consiste di circa 900 registrazioni relative a 100 terremoti e 37 stazioni (Deliverable D6). Le registrazioni velocimetriche sono state utilizzate per calibrare una scala di magnitudo locale. Le leggi di attenuazione per il picco di accelerazione e velocità (Figura 3.1) sono state calibrate con ambedue i data set, sia per la massima componente orizzontale e per quella verticale, considerando come metrica la distanza ipocentrale e suddividendo i siti in due classi, rock ( $V_s > 800$  m/s) e soil ( $V_s < 800$  m/s). I coefficienti della legge di attenuazione sono stati determinati applicando il modello "random effects" (e.g., Abrahamson and Youngs, 1992) che permette di stimare i contributi alla varianza totale dovuti alla variabilità "inter-event" e "inter-station" (e.g., Bindi et al., 2006). In particolare, l'analisi della distribuzione degli errori "inter-event" non ha evidenziato la presenza di errori sistematici per i terremoti a cui è stata associata la magnitudo locale di catalogo, suggerendo che tali valori sono compatibili con quelli derivati dalla legge calibrata nel presente lavoro.



**Fig. 3.1:** Valori di PGA (a sinistra) e PGV (a destra) predetti considerando una stazione appartenente alla classe *soil* e un terremoto di magnitudo  $M_L = 4.4$ . L'area indicata rappresenta la media  $\pm$  una deviazione standard. I cerchi neri e bianchi indicano i valori osservati.

Al fine di indagare la proprietà attenuative dell'area in funzione delle caratteristiche geologiche è stata condotta un'analisi preliminare di tomografia a scala regionale del fattore di qualità  $Q$ , per l'Appennino Meridionale. Dai primi risultati si osservano valori di attenuazione maggiori lungo la catena Appenninica e nel versante Tirrenico rispetto al settore Adriatico. In particolare l'area del Gargano sembra essere caratterizzata da una buona efficienza di propagazione delle onde sismiche.

### B) Definizione delle sorgenti sismogenetiche e simulazione dei dati accelerometrici

Questo studio è stato svolto in collaborazione tra le UR1, UR2 e UR10. Il lavoro è stato suddiviso in tre fasi e corrispondenti alle attività 1) 5) e 6) del Task. Le sorgenti sismogenetiche delle scosse principali della sequenza molisana del 2002 ( $M_W=5.8$  e  $M_W=5.7$  per gli eventi del 31 Ottobre e del 1 Novembre, rispettivamente), sono state definite con la collaborazione del Progetto S2. Due diversi modelli di faglia estesa sono stati esaminati: il primo è quello da letteratura elaborato da Valleè e Di Luccio (2005) (VDL) e il secondo è definito nell'ambito del DISS (Basili e Vannoli, 2006) e denominato BV. I due modelli si differenziano per profondità e dimensioni. Si è utilizzata la tecnica DSM per discriminare la faglia dell'evento principale e calibrare i parametri dei modelli attraverso il confronto con le registrazioni accelerometriche (6 stazioni a  $R < 60$  Km) raccolte durante la scossa principale. Complessivamente, per l'evento del 31 Ottobre 2002, il confronto effettuato in termini di ampiezza e contenuto in frequenza favorisce una propagazione unilaterale da Ovest verso Est lungo la faglia BV31. Il modello BV31 è stato impiegato per generare uno scenario di scuotimento del terremoto del 31 Ottobre fino a 150 km di distanza epicentrale. Le simulazioni sono state effettuate su grigliato regolare con punti egualmente spaziatati di 10 km e in siti sparsi coincidenti con le stazioni accelerometriche.

In Figura 3.2 si mostra la distribuzione di PGA ottenuta. A causa della profondità della faglia assunta, l'effetto di direttività si manifesta semplicemente come spostamento verso Est dell'area di massimo scuotimento, che conserva comunque una simmetria circolare.

In Figura 3.3 viene riportata l'attenuazione della PGA con la distanza dalla faglia. Le linee continue sono state ottenute mediando su tutti gli azimuth i risultati ottenuti dalla simulazione. vengono riportati i valori di picco registrati e i valori ottenuti da altre simulazioni calcolate con la tecnica broad band HIC. Come si vede, i valori di PGA simulati seguono l'andamento generale dei picchi osservati alle stazioni accelerometriche.

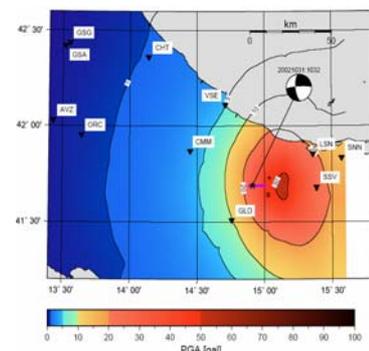


Fig. 3.2 Scenario in PGA

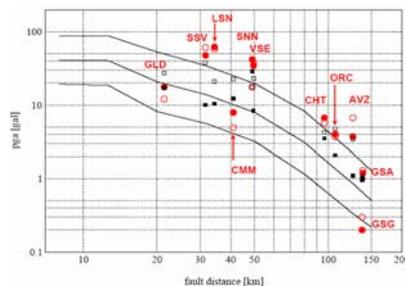


Fig. 3.3 Attenuazione della PGA orizzontale ottenuta mediante DSM e HIC con il modello BV31. Le linee continue rappresentano la PGA media e la media  $\pm 1$  deviazione standard simulata con DSM su grigliato regolare. I simboli neri e rossi rappresentano le simulazioni ottenute mediante il metodo HIC e le PGA registrate rispettivamente: simboli pieni, componente EW; simboli vuoti, componente NS.

## Scenari al sito

Per quanto riguarda le attività al sito, ci si è concentrati sull'elaborazione dei modelli geologico-geotecnici da utilizzare come input per i modelli 3-d (S. Giuliano), 2-d (Bonefro) e 1-d (Ripabottoni ed altre località con danni minori).

Come già anticipato, il problema principale per San Giuliano consiste nella non adeguatezza dei modelli geologici disponibili. Le indagini geoelettriche effettuate appositamente per il progetto hanno rilevato come il bedrock sia molto più profondo ed irregolare di come descritto nella letteratura disponibile.

In Figura 3.4 si riportano due delle tre tomografie geoelettriche elaborate.

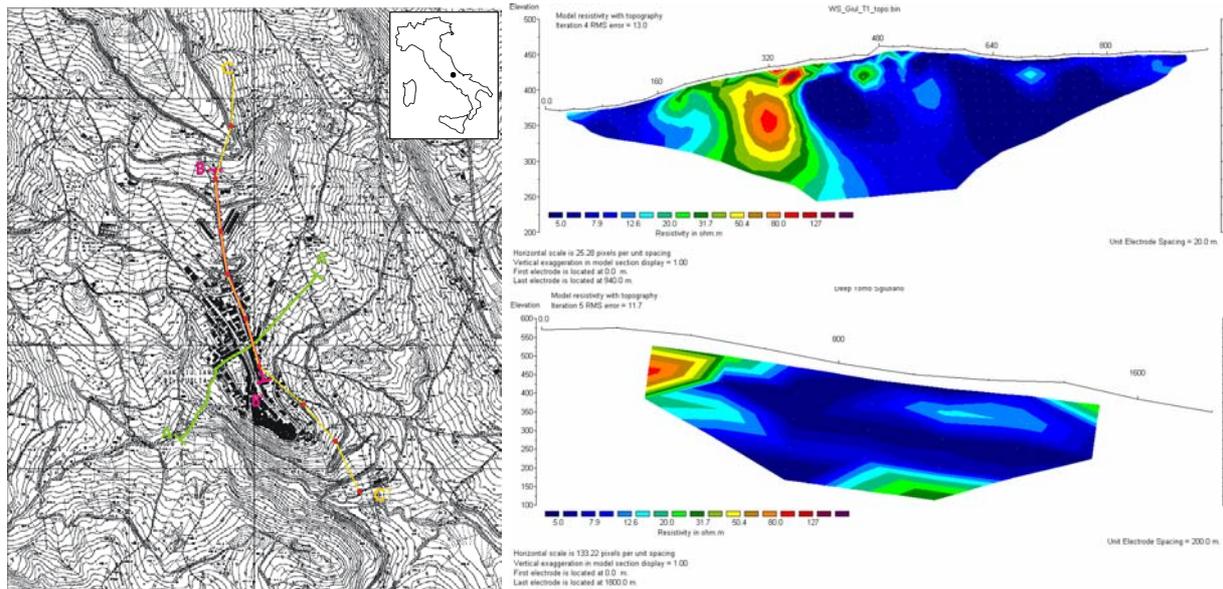


Fig. 3.4 Tomografie geoelettriche a San Giuliano di Puglia.

Per il sito di san Giuliano sono stati recuperati i dati di oltre 70 sondaggi geognostici, e si è predisposta la logistica per l'effettuazione di prove con il dilatometro sismico. Si è anche valutata la possibilità di aggiungere due ulteriori campagne geofisiche: microgravimetrica (con fondi derivanti da una rivenienza interna ad INOGS) e sismica ad alta risoluzione (prima in lista per finanziamento da eventuali rivenienze dalle UR.)

Per Bonefro si è già provveduto alla modellazione, e sono in esecuzione i calcoli sul modello 2-d. Tutti i dati geologici e geotecnici disponibili sono stati raccolti nel deliverable D8.

## Task 4 - Garda

Le attività svolte hanno riguardato da una parte il calcolo degli scenari a vari livelli di complessità dall'altra la raccolta dati esistenti precedenti all'evento sismico del 24 Novembre (studi di vulnerabilità e microzonazione) e successivi (dati macrosismici e dati di danneggiamento). In tale task sono state coinvolte le unità di ricerca UR1 e UR4, le quali si sono coordinate fra loro per lo scambio dei dati e la programmazione delle campagne di misura di rumore sismico. La ricerca ha anche ampiamente fruito dei dati territoriali e geologici forniti dalla regione Lombardia e dalla Provincia di Brescia.

## Scenari al bedrock

La definizione degli scenari al bedrock è articolata in 4 attività; di queste è conclusa l'attività 1 e 2 relative rispettivamente alla definizione della sorgente sismogenetica e alla raccolta dei dati sismometrici della sequenza sismica a seguito dell'evento del 24 Novembre 2004 ( $M = 5.2$ ). Poiché la distribuzione degli eventi in termini di magnitudo e distanza ( $M < 3$  e  $R < 10$  km) non permette l'elaborazione dei modelli empirici predittivi, l'attività 3 prevista da Progetto non sarà svolta. I dati raccolti

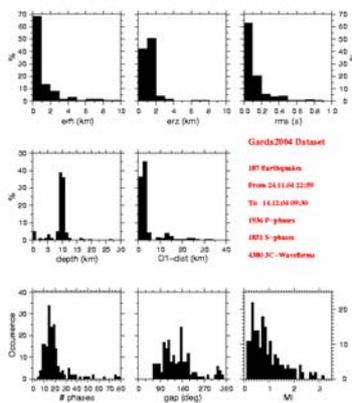


Fig. 4.1

saranno viceversa utilizzati da una parte per stimare i fattori di qualità  $Q$  e le funzioni di trasferimento empiriche nell'area epicentrale, dall'altra per il calcolo degli scenari di scuotimenti con la tecnica delle Green Function Empiriche. La stima degli scenari di scuotimento (attività 4) è in corso di svolgimento e la validazione si basa sul confronto con il campo macrosismico.

Sono state raccolte le registrazioni velocimetriche relative alla sequenza bresciana. del 2004. I dati sono stati processati (letture P e S, correzione strumentale, filtraggio, ecc.) in funzione del loro successivo utilizzo. In totale, il data set selezionato consiste di circa 400 registrazioni, relative a 187 eventi 10 stazioni (Deliverable **D12**). Le caratteristiche del data set sono illustrate in Figura 4.1.

La sorgente sismogenetica è stata fornita dal Progetto S2 e corrisponde alla struttura a basso angolo ( $24^\circ$  dip) di dimensioni  $2.5 \times 2.5$  km<sup>2</sup> illustrata in Figura 4.2a. A partire da questa sorgente sono stati calcolati gli scenari di livello 0 ottenuti mediante l'applicazione di leggi di attenuazione isotropa dell'intensità macrosismica (Grandori et al., 1991; Faccioli e Cauzzi, 2005), e il livello I, basati sulle simulazioni DSM e sulle leggi di conversione  $a_{max} - I(MCS)$  e  $v_{max} - I(MCS)$  sviluppate da Faccioli e Cauzzi (2005) (Fig. 4.2b e c).

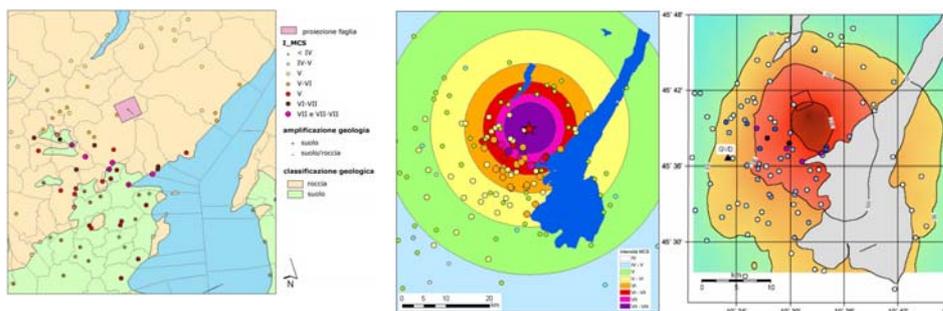


Fig. 4.2 a) Modello di sorgente e dati macrosismici. b) Scenari di intensità (livello 0) e c) di scuotimento (livello I).

Le incertezze di localizzazione dell'evento principale della sequenza hanno consentito di variare la posizione del punto di enucleazione sulla faglia ipotizzata ottenendo in tal modo diversi scenari di scuotimento dipendenti dal modello cinematica di rottura, da confrontare (in termini di intensità) con il campo macrosismico.

## Scenari al sito

Tale fase è articolata in 8 attività; di queste è conclusa l'attività 1, relativa alla raccolta

di dati esistenti di vulnerabilità e di studi di microzonazione, i quali sono disponibili solo in versione cartacea. Sono stati anche raccolti i dati di danneggiamento, definiti a livello comunale. Tutte le attività prevedono la conclusione a 18 e 20 mesi.

Per quanto riguarda gli effetti di sito (attività 3), la UR1 e la UR4 hanno effettuato due campagne di misura di rumore in Val Sabbia (BS) in circa 55 siti. Per la loro scelta sono stati considerati sia gli effetti rilevati dall'indagine macrosismica condotta a seguito dell'evento sismico che i danneggiamenti riportati dagli edifici nei comuni interessati. Nelle località di massimo danneggiamento sono state inoltre calcolate i fattori di amplificazione con modelli monodimensionali (attività 6).

### Task 5 - Potenza

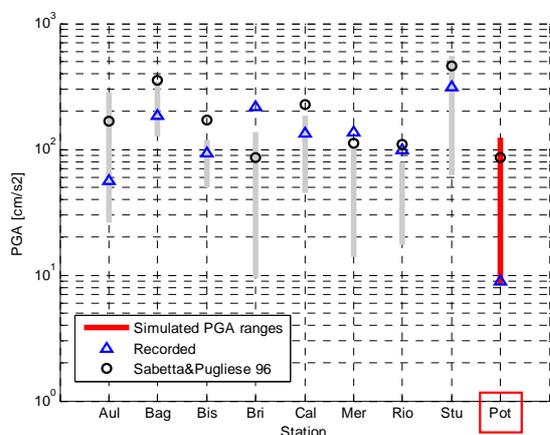
Le attività svolte hanno riguardato principalmente le parte relativa al calcolo degli scenari al sito e si sono concluse le attività relative alla raccolta dati e le campagne di misura per la definizione delle risposte di sito empiriche e le risposte agli edifici (attività 1, 2, 3).

Per la parte che riguarda il calcolo degli scenari al bedrock è conclusa la fase di raccolta di registrazioni velocimetriche e accelerometriche digitali a tre componenti per il calcolo delle leggi di attenuazione (Attività 2 - Deliverable **D16**) e sono state definite, con la partecipazione del gruppo di lavoro DISS del Progetto S2, le struttura sismogenetiche di interesse per la città. Nel corso dell'anno si è svolta una riunione di coordinamento (15 Marzo 2006 a Potenza) in cui hanno partecipato oltre che le UR coinvolte anche le autorità locali. La ricerca ha anche ampiamente fruito dei dati territoriali, geologici e di vulnerabilità forniti dal comune e dalla provincia di Potenza e dalla Regione Basilicata.

### Scenari al bedrock

Oltre alle sorgenti disponibili nel DISS (2006), si è studiato anche il potenziale sismogenico della Faglia Scorciabuoi, non presente nella banca dati INGV. La città è interessata da almeno 7 strutture sismogenetiche.

Al momento sono state effettuate le simulazioni con la tecnica DSM e HIC per la faglia responsabile del terremoto dell'Irpinia del 1980. In figura 7.1 si mostra la variabilità del picco di accelerazione, PGA, calcolata a Potenza variando diversi parametri cinematici sulla faglia confrontata con il picco predetto dalla legge di attenuazione di Sabetta e Pugliese.



**Fig. 5.1:** Valori di PGA calcolati a Potenza e alle stazioni accelerometriche che hanno registrato il terremoto dell'Irpinia del 1980. I triangoli sono i valori registrati, i cerchi rappresentano i valori predetti dalla legge di attenuazione e le barre indicano la variabilità stimata dagli scenari. Il triangolo a Potenza rappresenta il valore simulato nell'ipotesi che uno strumento avesse registrato l'evento.

## Scenari al sito

Si sono recuperati gli studi di microzonazione e studi di amplificazione sismica nel comune di Potenza, oltre ai dati di vulnerabilità del patrimonio edilizio.

In collaborazione tra l'UR6 e l'UR 4 (gruppo CNR-IMAA) si sono effettuate misure di rumore sismico in 250 punti sul terreno ed in 40 edifici selezionati tra i più rappresentativi delle classi di vulnerabilità presenti, allo scopo di evidenziare possibili fenomeni di risonanza suolo-struttura.

L'elaborazione dei dati di una rete mobile composta di 13 stazioni installata in collaborazione con GFZ, Potsdam ha permesso di ottenere una stima dei fattori di amplificazione. Al momento le misure sono già state elaborate secondo la tecnica HVSR e sono in corso le elaborazioni SSR e GIT. I risultati più importanti emersi sino ad ora sono: la notevole variabilità degli effetti di sito nella città di Potenza, da risposte piatte a picchi mono-frequenziali con ampiezza 6; la somiglianza tra i risultati ottenuti con le diverse tecniche; la notevole somiglianza tra le funzioni di amplificazione ottenute con terremoti e rumore. Poiché anche le modellazioni con i profili di velocità dei D-H disponibili confermano la natura essenzialmente monodimensionale delle amplificazioni osservate, il denso reticolo di 250 punti di misura HVNR consentirà di ottenere un notevole dettaglio spaziale delle funzioni di amplificazione.

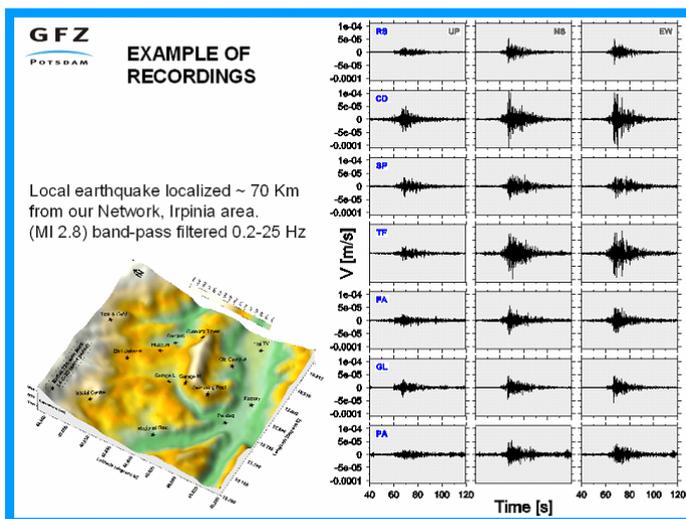


Fig. 5.2 Esempio di registrazione ai vari siti a Potenza.

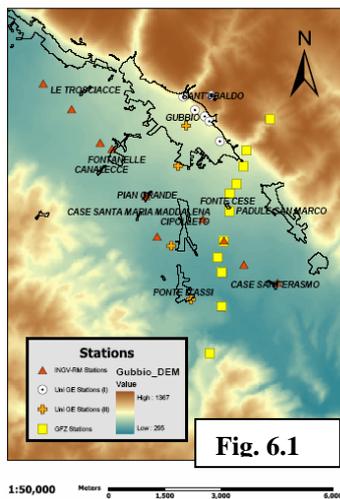
## Task 6 - Gubbio

Le attività svolte hanno riguardato principalmente le campagne di misura nella piana di Gubbio; queste sono state condotte in stretta collaborazione fra le UR coinvolte (UR1, UR2, UR3, UR4, UR6 e UR11) e hanno goduto della disponibilità dell'amministrazione locale che ha favorito l'installazione della strumentazione fornendo i necessari permessi e prendendo contatti con i privati. Nel corso dell'anno si sono tenute tre riunioni di coordinamento (20 Luglio 2005 a Gubbio, 20 gennaio 2006 a Roma e 24 Maggio 2006 a Roma). Le attività riguardanti il calcolo degli scenari al bedrock, come previsto, saranno svolte nei primi 6 mesi del secondo anno di progetto. Il task ha fruito di molti dati messi a disposizione dal Comune di Gubbio, dalla regione Umbria e dal Prof. Marco Menichetti dell'Università di Urbino.

## Scenari al sito

La definizione degli scenari al sito è articolata in 8 attività; di queste sono concluse le attività di monitoraggio effettuate con transetti lineari (attività 1 e 2). Congiuntamente è stato deciso di non installare il sismometro in pozzo (attività 3). Questa scelta è stata motivata dalla profondità del substrato ( $> 400$  m) nella zona della piana soggetta alle maggiori amplificazioni del moto. La difficoltà di realizzare un foro fino a tale profondità e di gestire un'installazione borehole così complessa ha consigliato di rinunciare all'opzione array 3D a favore di un array 2D, che sarà operativo da giugno 2006, e fornirà importanti indicazioni sul tipo di onde che si propagano nel bacino. L'attività 4, che prevedeva la tomografia sismica 3D (attività 4), è stata sostituita con una linea sismica a riflessione di lunghezza di circa 5 km in direzione trasversale al bacino, finalizzata all'individuazione del bedrock. Infine il monitoraggio di edifici (parte dell'attività 5) è stato rinviato di alcuni mesi, poiché i punti di misura effettuati nella piana per la stima delle risposte locali e della profondità del bedrock sono stati in numero maggiore di quanto previsto inizialmente.

Nella piana sono stati installati in totale 4 transetti temporanei, illustrati in Figura 6.1. Due transetti sono stati posizionati in direzione trasversale (GFZ, da giugno a dicembre 2005 e UniGE da febbraio a maggio 2006), uno in direzione longitudinale (INGV-RM da novembre a maggio 2006) e l'ultimo (UniGe da ottobre a febbraio 2006) presso il centro storico di Gubbio. Sono stati registrati più di 300 terremoti locali e regionali.



I risultati ottenuti evidenziano che la risposta sismica presso il centro storico di Gubbio, in prossimità della parte di versante maggiormente acclive, non presenta particolari effetti di amplificazione locale, caratterizzata da funzioni di trasferimento empiriche praticamente piatte. Viceversa i sismogrammi registrati dai transetti nella piana confermano il verificarsi della risonanza a bassa frequenza in un'ampia parte centrale del bacino, mentre in prossimità dei bordi le frequenze amplificate si spostano verso valori  $f > 1$  Hz e le amplificazioni rispetto a stazioni di riferimento su roccia tendono a diminuire. Questi risultati appaiono strettamente controllati dalle variazioni degli spessori dei depositi alluvionali. Su tale data set è in corso l'applicazione di metodi non convenzionali (sonogrammi e polarizzazione) per

indagare le caratteristiche degli arrivi successivi alle onde di volume, importanti poiché hanno le ampiezze massime e aumentano in modo significativo le durate dei segnali.

Per l'attività 5 sono state applicate metodologie di indagine di tipo esplorativo basate sull'acquisizione e l'analisi del rumore sismico ambientale con metodi a stazione singola e ad antenna. In particolare, è stata condotta un'ampia campagna di misure di rumore (per un totale di 90 siti indagati) mediante la tecnica a stazione singola (o dei rapporti spettrali HVSR) per la stima delle frequenze di risonanza del sottosuolo. I risultati delle analisi dei microtremori sono in stretto accordo con quelli delle analisi spettrali dei dati velocimetrici. Da una sintesi dei due approcci potranno emergere dei vincoli stringenti sulla geometria del bacino e le proprietà dei depositi alluvionali, soprattutto in termini di topografia del substrato e profilo di velocità

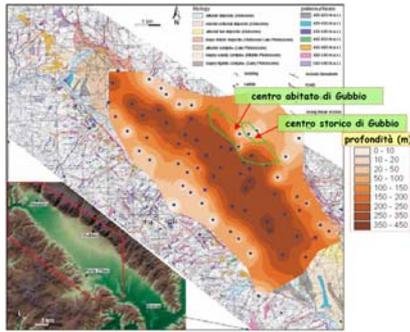


Fig. 6.2

ricostruzione della geometria del bacino (Figura 6.2).

E' in corso di svolgimento la ricostruzione del modello geologico-tecnico dell'area della piana di Gubbio per un'estensione di circa 30 km<sup>2</sup>; a tal fine sono stati condotti studi specifici basati sia sull'acquisizione dei dati esistenti in letteratura sia di quelli raccolti con appositi rilievi in situ e prove di laboratorio. Per la ricostruzione della geologia del sottosuolo della piana, sono stati invece acquisiti ed elaborati dati provenienti da circa 100 punti d'indagine (dati stratigrafici da indagini geognostiche contenute nei documenti tecnici depositati presso gli archivi del Comune di Gubbio nonché di studi tecnici professionali ed Enti pubblici).

A partire da tali dati, è stato definito un modello geologico-tecnico preliminare del sottosuolo attraverso la delimitazione, con piani quotati, dell'estensione areale in profondità (fino a una profondità massima di circa 30 m dal p.c. per mancanza di dati stratigrafici profondi) delle unità geologico-tecniche identificate nell'area.

Il modello, integrato con gli altri dati sperimentali, sarà successivamente utilizzato per il calcolo delle funzioni di trasferimento teoriche 1D, 2D e 3D; queste ultime inizialmente non previste nel Progetto saranno effettuate dal GFZ.

## Task 7 - Intefacciamento con l'ingegneria e DPC

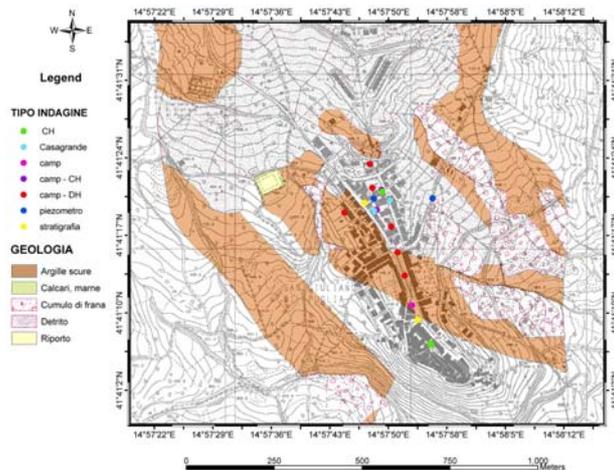
L'attività 1 relativa alla definizione dei parametri del moto a scopi ingeneristici è in corso di svolgimento e si concluderà come discusso in precedenza con il workshop organizzato ad Anacapri a Giugno.

Per quanto riguarda l'attività 2, dedicata all'informatizzazione degli studi di scenario, le risorse si sono concentrate nell'attività di raccolta dei dati di base e nella loro uniformazione in un unico sistema di coordinate (UTM zona 33) e archiviazione (shapefile e coverages di Arc/Info). I GIS sono stati strutturati in modo tale da essere facilmente trasferibili e consultabili.

Nel corso del primo anno è stata organizzata una riunione di coordinamento (20 Marzo 2006 a Milano) in cui è stato presentato lo stato di avanzamento dei sistemi informativi territoriali nelle varie aree e l'utilizzo dei GIS per la ricostruzione del sottosuolo con metodi geostatistici con applicazione a S. Giuliano di Puglia e per la combinazione di scenari di scuotimento. Il responsabile DPC per il Progetto ha mostrato esempi di scenari sismici che vengono elaborati da Dipartimento della Protezione Civile a seguito di un evento sismico. I sistemi informativi territoriali sono stati predisposti nelle aree selezionate, con l'eccezione di Potenza che sarà implementato nel II anno di Progetto.

**Area Garda.** Si e' provveduto alla raccolta e organizzazione dei dati al fine di creare un GIS utile per la generazione di scenari di scuotimento. I dati assemblati sono di tipo amministrativo e geografico, prevalentemente forniti dalla Regione Lombardia. I dati di pericolosità sono invece stati prodotti da INGV e riguardano scenari di scuotimento a diverso livello di complessità, piano quotato macrosismico, localizzazione stazioni, sorgente sismogenetica, ecc.

**Area Molise** E' stata raccolta una cartografia di base per quanto riguarda l'inquadramento geografico e amministrativo della regione, mentre per i comuni selezionati sono stati immagazzinati i dati di maggior dettaglio. In particolare per il comune di San Giuliano di Puglia sono stati archiviati la carta geologica di dettaglio, l'ubicazione e le stratigrafie dei sondaggi geognostici (Fig. 7.1), l'ubicazione delle stazioni accelerometriche e la carta del danneggiamento.

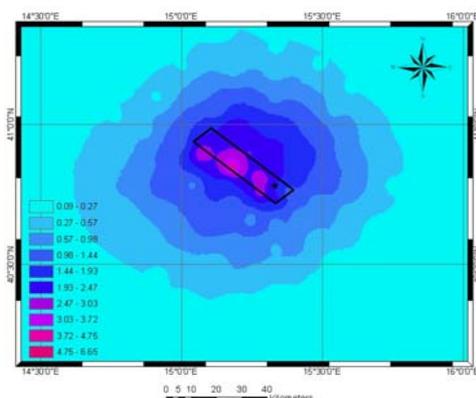


**Fig 7.1:** Mappa geologica con ubicazione dei sondaggi geognostici.

Si prevede di inserire i dati geofisici in corso di elaborazione nell'ambito del Progetto che saranno utilizzati per la ricostruzione dei modelli 1D, 2D e 3D del sottosuolo.

**Area Gubbio.** Sono state archiviate informazioni di base, come la carta tecnica regionale alla scala 1.10.000, Tutti i sondaggi disponibili sono stati digitalizzati insieme ai punti di ubicazione delle stazioni velocimetriche installate da diversi enti (GFZ, UNIGE, INGV) per la determinazione degli effetti di sito e per lo studio della polarizzazione delle onde di superficie all'interno del bacino stesso.

Si prevede nel futuro di disporre della cartografia geologica di dettaglio e della ricostruzione tridimensionale della stratigrafia sepolta, per la ricostruzione dei rapporti stratigrafici esistenti tra le diverse fasi sedimentarie. Il modello 3D servirà all'applicazione di modelli teorici per il calcolo della risposta sismica locale.



**Fig. 7.2:** Esempio di elaborazione statistica: Mappa di sintesi espressa come media tra 40 scenari calcolati.

Oltre a queste attività si sta valutando l'utilizzo del GIS per l'analisi delle mappe di scuotimento che derivano da diverse assunzioni dei parametri di partenza e dalle tecniche utilizzate. Si stanno analizzando diverse tecniche di interpolazione (IDW (Inverse Distance Weight) e TIN (triangulated irregular network) e diverse tecniche statistiche per la loro analisi (Figura 7.2). Per il futuro si propone di implementare all'interno del GIS delle tecniche statistiche per la selezione oggettiva gli scenari di scuotimento che hanno il minimo grado di correlazione. Lo scopo si può

raggiungere calcolando il coefficiente di correlazione tra coppie di mappe, che permette di selezionare gli scenari con il minimo grado di correlazione.

### **3. Eventuali difficoltà maggiori, modifiche di indirizzo, ecc.**

Come già accennato nell'introduzione, non si sono rilevate difficoltà particolari nelle attività di ricerca, né si sono rese necessarie modifiche rispetto a quanto previsto.

L'analisi del rischio che ha corredato il progetto (cap. 5) evidenziava come elementi a maggiore criticità le misure geofisiche in campagna e l'acquisizione di dati sismologici. In entrambi i casi non si sono rilevati problemi.

Il *deliverable* D24, l'unico non consegnato al 30 maggio, sarà disponibile e visionabile durante la riunione con i Revisori del progetto.

Invece, una difficoltà operativa è stata segnalata da alcune sub-unità che hanno ricevuto i finanziamenti con ritardo rispetto alle unità principali. Questo è stato causato dai passaggi formali necessari tra capofila ed associati, ed il problema ha assunto dimensioni particolarmente allarmanti per sub-unità dipendenti da U.R. principale allocata presso istituti C.N.R. La nuova gestione centralizzata dell'ente ha impedito la necessaria agilità nei passaggi finanziari, ostacolati anche dalla chiusura del programma centrale di contabilità da fine Novembre ai primi di Marzo. Questo ha posto le sub-unità nella condizione di dover anticipare molte spese e quindi di avere a disposizione un tempo molto stretto per formalizzare gli impegni di spesa.

L'UR3 dell'O.G.S. è stata costretta a sospendere un assegno di ricerca in atto, a sensi di norma vigente, per sopravvenuta grave malattia del titolare, indirizzando i fondi ad altra attività concordata con i coordinatori.

### **4. Stato di avanzamento dei *deliverables*, per singolo *deliverable***

I *deliverables* previsti per i primi 12 mesi di attività erano i seguenti:

- Task 1 D0** - Confronto fra tecniche di simulazione: applicazione al terremoto dell'Irpinia del 1980 (M = 6.9), Italia Meridionale
- Task 3 D6** - CD rom contenente registrazioni della sequenza sismica del Molise, registrate dalle reti temporanee di Genova, Udine e INGV.  
**D8** - Modelli geotecnici 1D e 2D a San Giuliano di Puglia e comuni limitrofi
- Task 4 D12** - CD - rom contenente registrazioni della sequenza sismica nella zona del Garda, registrate dalle rete INGV
- Task 5 D16** - CD - rom contenente i dati delle registrazioni dell'Italia Meridionale utilizzate nel Progetto per il calcolo dell'attenuazione nell'area di Potenza.
- Task 6 D26** - CD - rom contenente i dati delle registrazioni sismometriche e di rumore raccolte nella Piana di Gubbio e utilizzate nel Progetto per il calcolo della risposta sismica locale e della geometria del substrato del bacino.
- Task 7. D24** - Specifiche dei parametri sismici necessari per la generazione di scenari di danno nel presente e immediato futuro

Come descritto in precedenza, D24 sarà predisposto entro il 15 giugno. Per gli altri *deliverables* si riporta una sintesi del contenuto. In questa sezione vengono anche riportati i prodotti scientifici che non erano originariamente previsti come *deliverables* ma che testimoniano comunque il lavoro svolto:

**D0** - In questo rapporto viene descritto in dettaglio il confronto fra le tecniche di

simulazione adottate nel Progetto. Per ogni tecnica sono descritti i principi teorici su cui si basano. Successivamente si illustra l'applicazione al terremoto dell'Irpinia del 1980 descrivendo i parametri utilizzati (geometria della faglia, modello di velocità e attenuazione, parametri cinematici della rottura), gli accelerogrammi registrati e i confronti effettuati fra sintetici e dati. Infine si conclude con i calcoli di scenario in termini di PGA e PGV ottenuti dalle tecniche ibride DSM e HIC nell'ipotesi che si verifichi nuovamente il terremoto ma con diverse modalità.

**D6** - Il CD-ROM contiene le registrazioni velocimetriche e accelerometriche in formato non corretto relative alla sequenza molisana del 2002 e utilizzate nel Progetto per la calibrazione delle leggi di attenuazione predittive.

Il data set velocimetrico contiene 2787 registrazioni in formato SAC, relative a 86 terremoti e 25 stazioni; quello accelerometrico è archiviato in formato ASCII e composto da 24 registrazioni analogiche e 540 digitali, relative a 51 terremoti e 30 stazioni. Per entrambi i dataset, ogni file è corredato di un header che riporta le caratteristiche più importanti della registrazione. Le informazioni relative ai parametri ipocentrali, alla magnitudo e alle caratteristiche delle stazioni di misura (posizione, caratteristiche strumentali, etc.) sono contenute in alcuni files Excel.

**D8** - In questo rapporto sono descritti i modelli geotecnici 1D e/o 2D per i comuni del Molise selezionati nel Progetto.

La caratterizzazione della geometria e delle proprietà geotecniche del sottosuolo a San Giuliano si è basata su una revisione complessiva degli studi geologici di base e delle stratigrafie raccolte dalle indagini geognostiche (più di 80 sondaggi) eseguite dopo l'evento del 31.10.2002. Queste informazioni costituiscono un supporto più che abbondante per la definizione della variabilità delle caratteristiche stratigrafiche in superficie ma dovranno essere integrate con i risultati delle tomografie geoelettriche già eseguite e delle ulteriori indagini sismiche previste dal Progetto, per definire la morfologia profonda di sottosuolo più attendibile per le analisi di scenario. Le proprietà geotecniche dei terreni argillosi sono state invece definite con notevole accuratezza in base ai risultati delle indagini geofisiche in foro (8 prove DH e 3 CH) ed alle numerose prove di taglio torsionale ciclico (CTS) e di colonna risonante (RC) in laboratorio che hanno permesso di ricavare i profili di  $V_S$  e  $V_P$  con la profondità e le curve di variazione di rigidità normalizzata,  $G/G_0$ , e smorzamento,  $D$ , con la deformazione  $\gamma$ .

Per il comune di Ripabottoni, i modelli sono stati definiti sulla base delle mappe geologiche e geomorfologiche aggiornate e 3 nuovi sondaggi geognostici e downholes; inoltre sono state calcolate le funzioni di trasferimento per diversi punti ubicati all'interno del centro storico utilizzando metodi numerici di simulazione 1D e metodologie spettrali basate sui dati raccolti dalla rete sismica temporanea installata dall'Università di Genova. Per quanto riguarda i Comuni di Bonefro, Santa Croce di Magliano e Colletorto i modelli geotecnici non sono ancora definiti essendo in attesa della relazione riguardante l'analisi di microzonazione effettuata presso i sopraccitati comuni e redatta dalla Regione Molise sotto il coordinamento della Commissione per la Microzonazione del Molise e con la collaborazione dell'Università di Genova Dip.Te.Ris.

**D12** - E' stato predisposto un DVD anziché un CD visto il volume dei dati. Il DVD contiene le forme d'onda degli eventi registrati dalle stazioni installate a cura della Unità di Emergenza ReteMobile (INGV-CNT) in collaborazione con la Sezione di

Milano a seguito dell'evento del 24 novembre 2004 (ore 23:59 locali). Oltre ai dati delle 10 stazioni della Rete temporanea vengono fornite le forme d'onda delle stazioni gestite dalla Sezione di Milano e delle 6 stazioni più vicine della Rete Sismica Nazionale Centralizzata (INGV-CNT). Le forme d'onda sono fornite anche corrette per la risposta strumentale e trasformate in accelerazione e spostamento. In totale sono disponibili 4380 forme d'onda (1460 valori di picco massimo in accelerazione, velocità e spostamento), relative a 187 eventi, registrati sino al 14 dicembre 2004. Sono inoltre disponibili le letture delle fasi P ed S e le localizzazioni di routine degli eventi. Per le determinazioni focali sono state inoltre utilizzati i tempi d'arrivo relativi alla Rete Sismica della Provincia di Trento e alla Rete Sismica del CRS-Udine. Nell'header di ogni file (in formato SAC), oltre ai parametri usuali, sono inserite le letture effettuate e la localizzazione dell'evento

**D16** - E' stato predisposto un CD che raccoglie le registrazioni digitali a tre componenti disponibili per eventi in un raggio di 300 Km da Potenza, registrati da stazioni ubicate nell'Appennino Lucano. Si tratta sia di registrazioni sismometriche che accelerometriche. I dati sono stati convertiti nel formato SAC. Non è stata eseguita alcuna operazione di correzione. Si è predisposta un'interfaccia in formato HTML che permette l'interrogazione della banca dati secondo i parametri di interesse (magnitudo, localizzazione, disponibilità in più stazioni) e la visualizzazione e gestione delle tracce mediante un *applet* di SeisGram.

**D26** - E' stato predisposto un DVD anzichè un CD visto il volume dei dati. Si sono raccolti i dati velocimetrici digitali a tre componenti registrati dai 4 transetti installati nel Progetto. Le registrazioni sono relative a 270 eventi locali, regionali e telesismici registrati nella Piana di Gubbio da Giugno 2005 fino a marzo 2006. I dati sono forniti nella versione non corretta in formato SAC. Per i dati già processati sono state inserite le immagini delle tracce corrette, componente NS. Sono inoltre inserite le misure di rumore effettuate in 90 siti distribuiti nella piana, in formato ASCII. Il DVD è completamente navigabile e contiene le principali informazioni relative alle campagne di misura svolte nella Piana.

### Comunicazioni a convegni

- Barani S., De Ferrari R., Ferretti G., Eva C. and Spallarossa D., (2006). Site amplification factor assessment via a multidisciplinary approach: an application in Molise region (Southern Italy),. *First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, September 3-8, Geneva, Switzerland*
- Cara S. Parolai, G. Monachesi, R. Milkereit, E. Günther, G. Di Giulio, G. Milana, D. Bindi, and A. Rovelli (2006). Test sites in Europe for the evaluation of ground motion amplification: site response of the Gubbio basin (central Italy) using weak motions recorded by linear seismic arrays. *First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, September 3-8, Geneva, Switzerland*
- Convertito, V., A. Emolo, F. Gallovič, and A. Zollo, A. (2005). Probabilistic-Deterministic Hazard Scenario for the 1980 Irpinia Earthquake M=6.9, Southern Italy, *IASPEI General Assembly, October 2-8, Santiago, Chile*. Poster presentation
- Convertito, V., F. Gallovič, A. Emolo, and A. Zollo. (2005). Integrated Deterministic and Probabilistic Strong Ground Motion Prediction: Application to 1980 Irpinia Earthquake, M=6.9, Southern Italy, *AGU 2005 Fall Meeting, San Francisco, USA, Eos Trans. AGU, 86(52), Fall Meet. Suppl., Abstract S51D-1045*. Poster presentation
- D'Amico et al. (2006) Test sites in Europe for the evaluation of ground motion amplification: site

response of the Gubbio basin (central Italy) using geological data and seismic noise measurements *First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, September 3-8, Geneva, Switzerland, Oral presentation*

- Del Gaudio V., Wasowski J., Venisti N. and Pierri P. (2006): Polarisation and spectral properties of the seismic site response of landslide-prone hillslopes: a case study from Italy. *EGU General Assembly 2006, Vienna, 2-7 April 2006*. Geophysical Research Abstracts, Vol. 8, 02228, 2006 SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU06-A-02228.
- Emolo, A., and F. Gallovič. (2005). Relations Between Instrumental Ground Motion Parameters and MCS Intensity in Italy, Application to the Simulated 1980 Irpinia Earthquake, M=6.9, Southern Italy, *IASPEI General Assembly, October 2-8, Santiago, Chile*. Poster presentation
- Guerriero L., Bovenga F., Nutricato R., Wasowski J., Casarano D., Gostelow P., Del Gaudio V., Blonda P. and Refice A. (2006): Developing a Landslide Early Warning System based on satellite measurements. *EGU General Assembly 2006, Vienna, 2-7 April 2006*. Geophysical Research Abstracts, Vol. 8, 07362, 2006 SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU06-A-07362.
- Luzi L., Morasca P., Zolezzi F., Bindi D., Pacor F., Spallarossa D., Franceschina G. (2006). Ground motion models for Molise region (Southern Italy), *First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, September 3-8, Geneva, Switzerland, Oral presentation*.
- Pacor, F., G. Cultrera, A. Emolo, F. Gallovič, A. Cirella, I. Hunstad, A. Piatanesi, E. Tinti, G. Ameri, and G. Franceschina. (2006). Effects of Directivity on Shaking Scenarios: an Application to the 1980 Irpinia Earthquake, M6.9, Southern Italy, *SSA 2006 Fall Meeting, San Francisco, USA*. Poster presentation
- Zonno, G., Carvalho, A. (2006). Modeling the 1980 Irpinia earthquake by stochastic simulation. Comparison of seismic scenarios using finite-fault simulation methods. *First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, September 3-8, Geneva, Switzerland*.

### Articoli

- Convertito V., A. Emolo, and A. Zollo (2006). Seismic-hazard assessment for a characteristic earthquake scenario: an integrated probabilistic-deterministic method. *Bull. Seism. Soc. Am.* **96**, 377-391, doi:10.1785/0120050024
- Franceschina, G., F. Pacor, G. Cultrera, A. Emolo, and F. Gallovič (2006). Modelling Directivity Effects of the October 31, 2002 (MW=5.8), Molise, Southern Italy, Earthquake, *Proceedings of the First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, September 3-8, Geneva, Switzerland*. in press
- Gallovič, F., and J. Brokešová. (2006). Hybrid k-squared Source Model for Strong Ground Motion Simulations: an Introduction, *submitted to Phys. Earth Planet. Interiors*.
- Keefer D.K., Wasowski J. and Del Gaudio V. (editors) (2006): Special issue from the European Geosciences Union Symposium on landslides induced by earthquake and volcanic activity. *Engineering Geology*, in press.
- Mucciarelli M., M. R. Gallipoli (2006); Comparison between Vs30 and other estimates of site amplification in Italy, *Proceedings of the First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, September 3-8, Geneva, Switzerland* in press.
- Lombardo G., Rigano R. 2006. Amplification of ground motion in fault and fracture zones: observations from the Tremestieri fault, Mt. Etna (Italy). *J. Volc. Geoth. Res.*, 153, 3-4, 167-176.
- Pacor F., D. Bindi, L. Luzi, S. Parolai S., S. Marzorati and Monachesi G. (2006). Characteristics of strong ground motion data recorded at Gubbio (Central Italy), *Submitted to Bull. Earthq. Eng.*
- Pessina, V., G. Franceschina, P. Vannoli, L. Luzi and F. Pacor (2006) Damage Distribution and Seismological Model of the November 2004, Salò (Northern Italy) Earthquake, *Proceedings of the First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, September 3-8, Geneva, Switzerland* in press.
- Strollo A., S. M. Richwalski, S. Parolai, M. R. Gallipoli, M. Mucciarelli and R. Caputo, (2006) Site effects of the 2002 Molise earthquake, Italy: analysis of strong motion, ambient noise, and synthetic data from 2d modelling in San Giuliano di Puglia (CB). *Submitted to Bull. Earthq. Eng.*
- Silvestri F., Vitone C., d'Onofrio A., Cotecchia F., Puglia R., Santucci de Magistris F. (2006). The

influence of meso-structure on the mechanical behaviour of a marly clay from low to high strains.  
*Symposium to celebrate Prof. Tatsuoka's 60th birthday, Roma.*

## **5. Fattibilità delle attività previste per il secondo anno: previsioni, esigenze, ecc.**

Le attività per il secondo anno presentavano sin dall'inizio una minore criticità, essendo focalizzate principalmente sulla elaborazione dei dati ottenuti nel primo anno e su modelli di calcolo. Le U.R. hanno tutte rispettato le scadenze previste ed i compiti assegnati. In alcuni casi hanno anche prodotto (direttamente o per coinvolgimento gratuito di terzi) più di quanto loro richiesto. Non si ravvisano pertanto motivi di ostacolo al corretto e completo svolgimento delle attività previste per il secondo anno.

Nel caso vi fossero rivenienze del primo anno da distribuire, al primo posto delle possibili aggiunte al programma figura una prospezione di sismica a riflessione HR da effettuarsi a San Giuliano di Puglia, dove la geometria del *bedrock* non è stata ancora completamente chiarita. Richieste di minore entità riguardano aggiustamenti di poche migliaia di Euro per le UR 8 e UR2. Alcune UR hanno richiesto uno spostamento di fondi dal primo al secondo anno, per trasferite in corso di effettuazione a cavallo del periodo di rendicontazione. Una richiesta di finanziamento integrativa è stata inoltrata da UR1 per attività collegate all'installazione e gestione di 30 sensori accelerometrici in Italia Settentrionale. Tale attività, inizialmente non prevista, potrà infatti contribuire efficacemente alla validazione degli scenari di scuotimento realizzati nell'ambito del Task 4.

## 6. Riferimenti bibliografici

- Abrahamson N. A., Youngs R. R. (1992). A stable algorithm for regression analyses using the random effects model, *Bull Seism. Soc. Am.*, 82, 505-510.
- Basili, R., Vannoli, P. (2005). Source ITGG052 *San Giuliano di Puglia* and Source ITGG053 *Ripabottoni*. In: DISS Working Group, Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.0.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://www.ingv.it/DISS/> - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
- Bazzurro, P., C. A. Cornell (2004) Ground-Motion Amplification in Nonlinear Soil Sites with Uncertain Properties, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 94, 2090 - 2109
- Bindi D., Luzi L., Pacor F., Franceschina G., Castro R. R. (2006). Ground motion predictions from empirical attenuation relationships versus recorded data: the case of the 1997-98 Umbria-Marche (Central Italy) strong motion data-set, *Bull Seism. Soc. Am.*, in press.
- Boore, D.M. (2003). Simulation of ground motion using the stochastic method, *Pure Appl. Geophys* **160**, 635-676.
- DISS Working Group (2006). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://www.ingv.it/DISS/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
- Faccioli, E., Cauzzi, C. (2005). An attempt at improving felt intensity assessment of historical earthquakes by means of instrumentally based correlations. *Proceedings of Luis Esteva Symposium - Earthquake Engineering Challenges and Trends - Mexico City*, September 12, CD-ROM
- Gallovic, F., Brokesova, J. (2006), Hybrid k-squared Source Model for Strong Ground Motion Simulations: an Introduction, submitted to *Physics Earth. Planet. Int.* (<http://geo.mff.cuni.cz/~gallovic>)
- Grandori, G., Drei, A., Perotti, F., Tagliani, A. (1991). Macroseismic intensity versus epicentral distance: the case of central Italy. *Tectonophysics*, **193**, 165-171.
- Hutchings, L. (1994). Kinematic Earthquake Models and Synthesized Ground Motion Using Empirical Green's Functions. *Bull. Seism. Soc. Am.* 84, pp. 1028-1050.
- Irikura K., (1986). Prediction of strong acceleration motion using empirical Green's function, *Proc. 7<sup>th</sup> Japan Earthq. Eng. Symp.*, 151-156.
- Okada Y., 1985, Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bull. seism. Soc. Am.*, **139**, 1135-1154.
- Pacor, F., Cultrera, G., Mendez, A., Cocco, M. (2005). Finite Fault Modeling of Strong Ground Motion Using a Hybrid Deterministic-Stochastic Method, *Bull. Seism. Soc. Am.* **95**, 225-240.
- Sabetta, F., Pugliese, A. (1996). Estimation of response spectra and simulation of non-stationary earthquake ground motions, *Bull. Seism. Soc. Am.* **86**, 337-352.
- Spudich, P., Xu, L. (2002), Documentation of software package Compsyn svx3.11: programs for earthquake ground motion calculation using complete 1-d green's functions, *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology CD, Int. Ass. Of Seismology and Physics of Earth's Interior, Academic Press, 2002.*
- Vallée, M., Di Luccio, F. (2005), Source analysis of the 2002 Molise, southern Italy, twin earthquakes (10/31 and 11/01), *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L12309.

## 7. Tabelle finanziarie riepilogative (KEur)

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