



Progetto S6 - Data base dei dati accelerometrici italiani relativi al periodo 1972 – 2004

UR 1 - Coordinatore: Dino Bindi (INGV-Sezione di Milano-Pavia)

L'attività dell'Unità di Ricerca 1 (UR1) si è sviluppata all'interno dei quattro *tasks* in cui è stato suddiviso il progetto:

TASK1–Progettazione e controllo della banca dati

TASK2–Acquisizione e processamento delle registrazioni

TASK3–Controllo delle informazioni sugli eventi, i siti di registrazione e gli strumenti

TASK4–Creazione della banca dati e disseminazione

Nel seguito sarà descritta l'attività svolta dall'UR1 in ogni singolo *task*.

TASK1

L'attività dell'UR1 nell'ambito del TASK1 ha riguardato sia la definizione della struttura e delle specifiche tecniche della banca dati, sia la scelta del supporto informatico più idoneo alla sua realizzazione. La realizzazione informatica della banca dati è stata l'oggetto di un contratto esterno eseguito dalla ditta IT&T. In particolare, la banca dati è stata sviluppata in ambiente Microsoft Access per la sua disseminazione su supporto CD-ROM e in ambiente MySQL per la sua disseminazione attraverso un'interfaccia web. L'attività principale dell'UR1 è stata la definizione della struttura della banca dati (*tabelle*) e delle modalità di interrogazione (*queries*). La struttura della banca dati è costituita da quattro blocchi principali (eventi, forme d'onda, siti di registrazione e referenze) connessi tra loro. Ciascun blocco è a sua volta costituito da un certo numero di tabelle, connesse attraverso relazione *uno-a-uno* oppure *uno-a-molti*. **Figura 1** riporta a titolo di esempio il blocco della banca dati relativo ai siti di misura. L'interrogazione della banca dati è possibile sia partendo da una selezione sulle caratteristiche del terremoto o delle stazioni accelerometriche, sia partendo da una selezione sulle caratteristiche delle forme d'onda. Inoltre uno schema basato su *queries progressive* è stato implementato per il raffinamento della selezione in passi successivi. Infine l'UR1 ha coordinato le attività per la definizione delle informazioni da inserire nel *file* relativo ad ogni singola registrazione. È stato adottato un formato costituito da una sezione di 43 righe informative (*header*) seguito dai valori riportati in singola colonna. Il *file* è scritto in formato *ascii* e nell'*header* sono presenti le informazioni relative al terremoto (e.g. nome, coordinate ipocentrali, valori della magnitudo per diverse scale, meccanismo focale, etc.), alla stazione (e.g. nome, coordinate, tipologia dello strumento, classificazione EC8, etc.), alla registrazione (e.g. numero di campioni, tempo del primo campione, tempo di campionamento, unità sulle ordinate, etc.), informazioni sul processamento, con un *flag* per indicare se il processamento è stato applicato al dato oppure no.



TASK 2

L'attività dell'UR1 in questo TASK ha riguardato innanzitutto il reperimento delle registrazioni da inserire nella banca dati e di tutte le informazioni accessorie per qualificare i dati e completare i campi dell'*header*. Le fonti principali per le registrazioni sono state: ENEL, per il periodo 1972-1997; DPC-USSN/ENEA, per il periodo 1972-1997; Rete Accelerometrica Nazionale (RAN), per il periodo 1997-2004. I dati relativi ai terremoti sono stati raccolti e revisionati dall'Unità di Ricerca 2.

I dati acquisiti sono stati processati per stimare i parametri ingegneristici di interesse (e.g. picco di accelerazione PGA, picco di velocità PGV, picco di spostamento PGD, durata significativa, intensità di Arias, spettri di risposta, etc.). Poiché la banca dati include registrazioni sia analogiche che digitali, il processamento è stato adeguato alla tipologia del dato. In generale lo schema di elaborazione include la rimozione della linea di base, la rimozione della risposta strumentale (dato analogico), filtraggio passa banda per la rimozione del rumore sia in bassa che in alta frequenza, integrazione per ottenere il dato di velocità e spostamento. Un elemento qualificante della banca dati è l'ottimizzazione dei parametri di processing per ogni singola registrazione. I parametri di filtraggio sono stati selezionati osservando lo spettro di Fourier di ogni singola registrazione e considerando le caratteristiche dello strumento di misura. Inoltre, alcune scelte generali sono state fatte a seconda della tipologia di registrazione, come ad esempio l'utilizzo di filtri *Raised cosine* per i dati analogici senza *pre-event*, oppure filtri *acausal Butterworth* del 4° ordine per i dati digitali o analogici con *pre-event*. Un esempio di processamento è mostrato in **Figura 2**.

Le tecniche applicate per il processamento sono state implementate e distribuite in un software sviluppato in ambiente Matlab®. Infine, la banca dati include sia i dati originali che quelli elaborati secondo le specifiche descritte nell'*header* di ciascuna registrazione.

TASK3

All'interno di questo task, l'UR1 si è occupata principalmente della caratterizzazione dei siti di misura. Le informazioni raccolte nel TASK2, relative ai siti e alla strumentazione, sono state utilizzate sia per verificare l'esattezza delle coordinate della stazione, sia per classificare il sito. In alcuni casi specifici sono state eseguite delle misure per la definizione della risposta di sito (misure di microtremore e utilizzo del metodo di Nakamura) oppure sono state incaricate ditte esterne per eseguire misure geofisiche, di cui l'UR 1 ha coordinato le attività. In particolare, il profilo verticale di velocità è stato misurato in prossimità della stazione di Bevagna e di Gubbio Piana. Nel primo caso, l'UR1 ha finanziato l'esecuzione di due fori profondi circa 60 m e distanti circa 6m, utilizzati per stimare il profilo di velocità delle onde P e S attraverso una misura *crosshole*. Inoltre, una stesa di sensori tra i fori ha permesso anche di eseguire un'inversione tomografica per ottenere la variazione spaziale della v_p tra i fori. Nel caso di Gubbio Piana invece è stata eseguita una misura *downhole* utilizzando un foro profondo circa 50m. **Figura 3** mostra il profilo di velocità vs ottenuto a Gubbio. L'UR1 ha inoltre eseguito alcune campagne di misura di microtremore per caratterizzare la risposta di sito in corrispondenza di 22 stazioni della RAN installate nelle regioni Umbria e Marche, e delle stazioni GAI



(Gaiano) e SAI (Salò) nella zona del lago di Garda. **Figura 4** mostra i risultati per la postazione accelerometrica di Salò.

Le informazioni raccolte sui siti di misura ha portato a censire 615 stazioni, di cui 270 sono attualmente attive mentre le rimanenti sono non operative (stazioni temporanee oppure dismesse).

TASK4

L'UR1 ha contribuito a questo TASK eseguendo l'inserimento dei dati nella banca dati e definendo le procedure la sua disseminazione. In particolare, è stata richiesta alla ditta IT&T di strutturare la banca dati sia in formato Microsoft Access, per la sua distribuzione attraverso CD-ROM, sia in formato MySQL, per la distribuzione attraverso la rete internet. In questo caso sono state costruite le interfacce per l'interrogazione della banca dati via *web*. L'UR1 ha inoltre acquistato e configurato un *server* per ospitare la banca dati, *server* installato presso la Sezione di Milano-Pavia dell'INGV. La banca dati sarà accessibile al sito internet <http://itaca.mi.ingv.it>. Infine, l'UR1 ha prodotto e gestito il sito web di progetto, consultabile all'indirizzo <http://esse6.mi.ingv.it>, la cui *homepage* è mostrata in **Figura 5**.

APPLICAZIONI

La banca dati prodotta dal progetto DPC-INGV S6 è di enorme utilità per la definizione di modelli empirici per la predizione dei livelli di scuotimento da utilizzare nelle stime di *hazard* a scala nazionale. A tale proposito, l'UR1 ha iniziato ad analizzare i parametri *strong-motion* stimati nella banca dati, con lo scopo di derivare dei modelli predittivi (empirical Ground Motion Prediction Equations, GrMPEs) che aggiornino quelli ottenuti da Sabetta e Pugliese nel 1987 e nel 1996. I primi risultati sono relativi al confronto tra il modello ottenuto per la PGA considerando i 28 terremoti più forti presenti nella banca dati e il modello di Sabetta e Pugliese (modello SP). I confronti mostrano la tendenza del modello SP a sovrastimare le PGA per i siti su roccia e a sottostimare la variabilità del moto (Bindi et al., 2007), come mostrato in **Figura 6**. L'attività futura riguarderà la calibrazione di nuove equazioni predittive per vari parametri *strong-motion*, considerando modelli più complicati e utilizzando le informazioni raccolte nella banca dati.

Bibliografia

- D. Bindi, B. Castello, L. Luzi, F. Mele, G. Milana, F. Pacor, F. Sabetta (2007). Improving the Italian strong ground motion attenuation relationship: preliminary results with an updated accelerometric data set, Geophysical Research Abstracts, Vol. 9, 07399, 2007 SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU2007-A-07399 © European Geosciences Union, Vienna, 2007.
- Sabetta F. and Pugliese A. (1987). Attenuation of peak horizontal acceleration and velocity from Italian strong-motion records, Bull. Seism. Soc. Am., 77, 1491-1511.
- Sabetta F. and Pugliese A. (1996). Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground motion. Bull. Seism. Soc. Am. 86, 337-352.

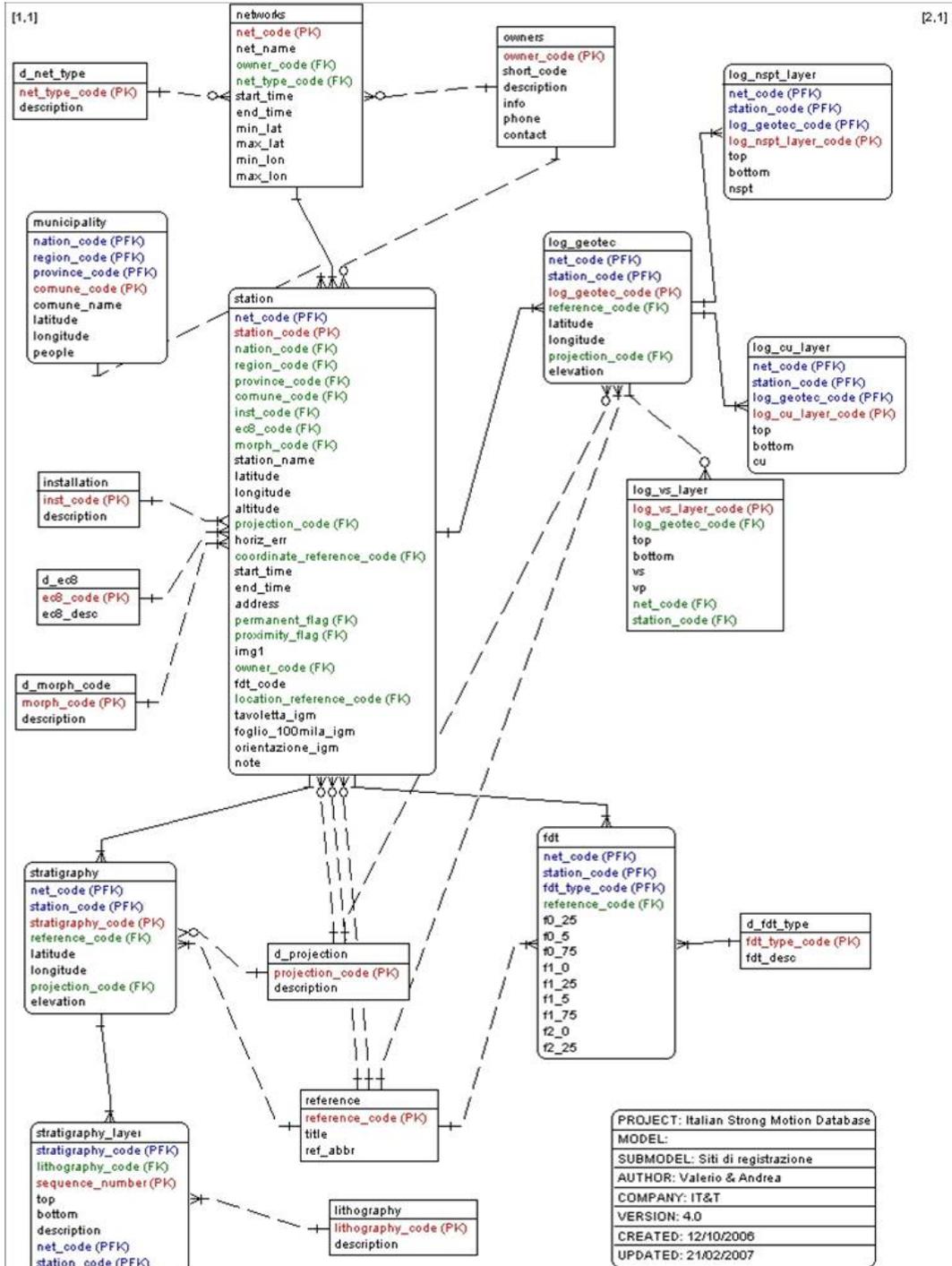


Figura 1. Struttura della banca dati relativa ai siti di registrazione.

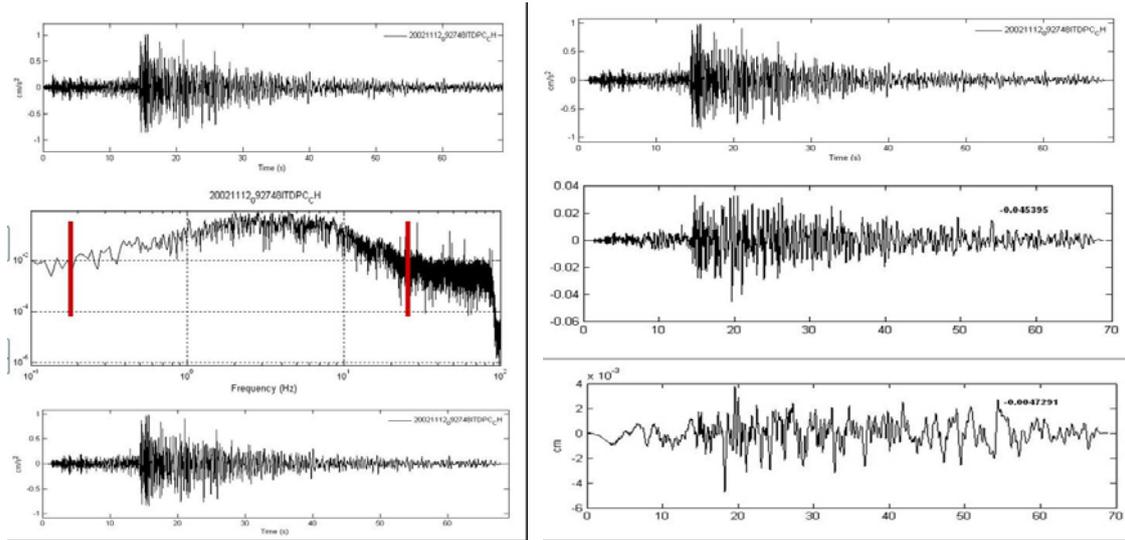


Figura 2. Processamento della registrazione relativa al terremoto del 12/11/2002 alle 09:27 registrato a Chieti. Sinistra: accelerogramma (in alto), spettro di Fourier (centro) e banda passante selezionata (barre verticali rosse), accelerogramma filtrato (in basso). Destra: accelerazione (in alto), velocità (centro) e spostamento (in basso) ottenuti a partire dal dato corretto.

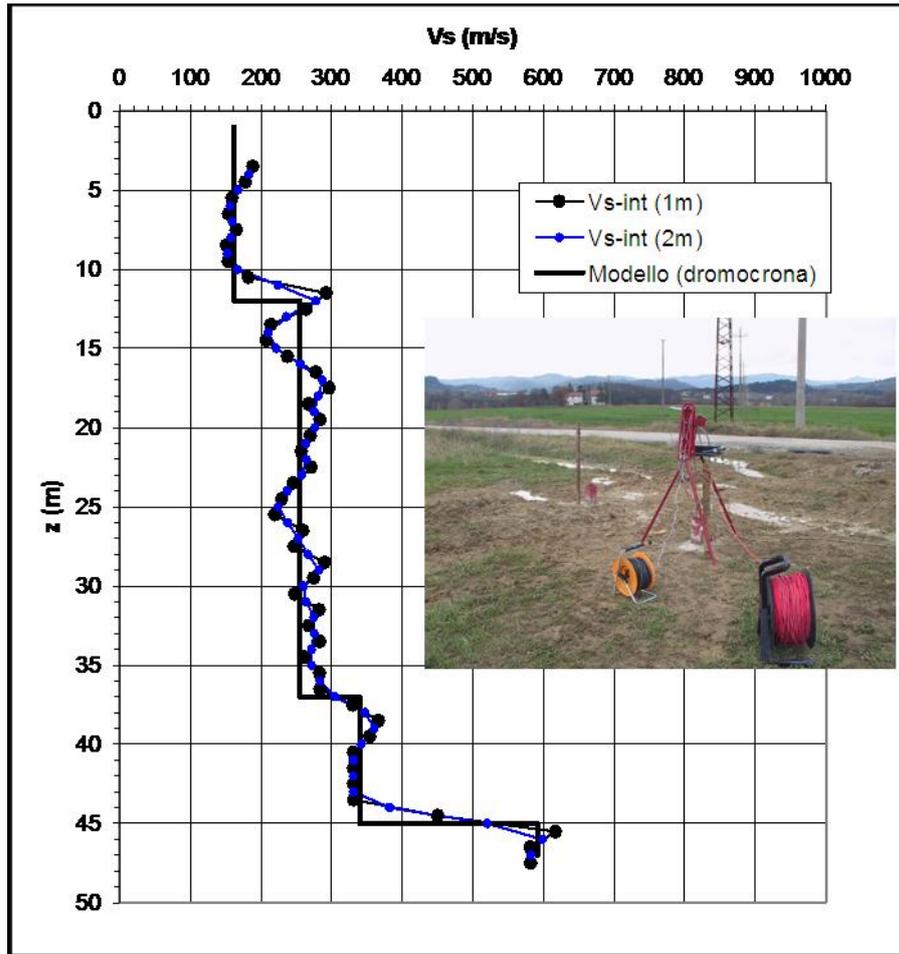


Figura 3. Risultato della misura downhole per la stazione di Gubbio Piana.

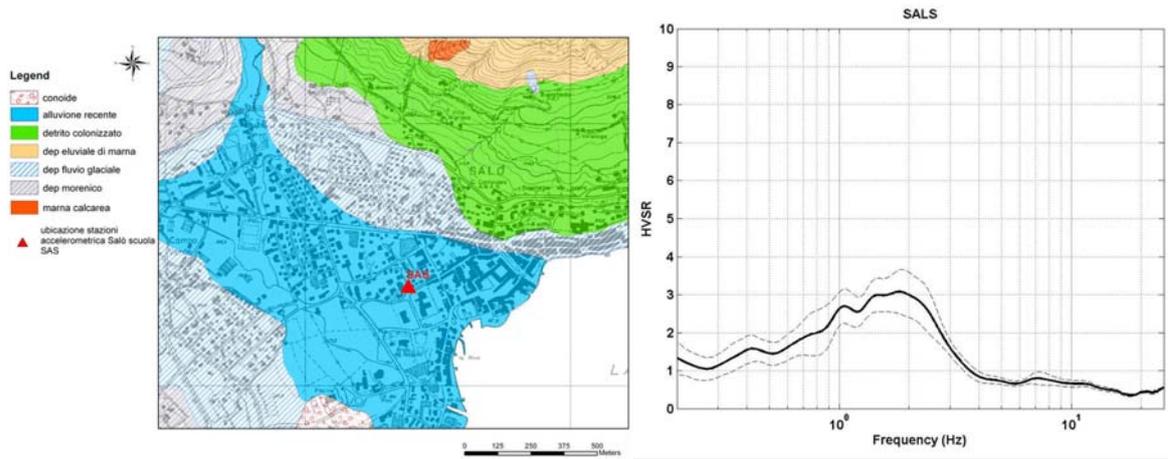


Figura 4. Stazione accelerometrica SAS (Salò): caratterizzazione geologica (sinistra) e risposta sismica locale stimata dai rapporti H/V per misure di microtremore (destra).



Data base dei dati accelerometrici Italiani relativi al periodo 1972-2004
Database of the Italian strong motion (1972-2004)



MENU PRINCIPALE

Home
Partecipanti
Eventi sismici
Stations List
Deliverables
Download Area
Documentazione

Descrizione e Obiettivi

L'esigenza della creazione di un data base dei dati accelerometrici italiani è motivata dalla crescente richiesta da parte della comunità scientifica di dati strong motion e dall'assenza di una banca dati nazionale aggiornata. I dati registrati nel periodo 1972 – 1993 sono infatti organizzati in una banca dati di proprietà del Dipartimento della Protezione Civile, Ufficio Servizio Sismico (DPC-USSN), mentre i dati registrati successivamente al 1993, ad eccezione della sequenza Umbro-Marchigiana e del Molise, non sono strutturati come banca dati ma in un archivio di proprietà del DPC- USSN.

Il progetto intende unificare i dati acquisiti da diversi enti nel corso degli ultimi decenni, migliorare la qualità dell'informazione e favorire l'accessibilità dei dati alla comunità scientifica, attraverso lo sviluppo di quattro attività:

Progettazione della banca dati;
acquisizione e archiviazione delle forme d'onda originali;
qualificazione dei parametri degli eventi sismici, dei siti di registrazioni e degli strumenti;
creazione di una banca dati e disseminazione tramite web e CD-ROM.

Il progetto viene proposto congiuntamente dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e dal Dipartimento della Protezione Civile, Ufficio Servizio Sismico Nazionale, con il contributo del personale di entrambi gli enti. Tale attività si inserisce in modo trasversale ai pre-esistenti progetti sismologici di interesse per il Dipartimento della Protezione Civile attivati nell'ambito della Convenzione INGV – DPC (2004 –2006). In particolare, i progetti denominati S1, S3, S4 e S5 dovranno avvalersi di dati strong motion per la compilazione di leggi di attenuazione regionali in termini di parametri di picco del moto del suolo, per la verifica di scenari di scuotimento, di shaking maps, o mappe di pericolosità in termini probabilistici.



[© Data base dei dati accelerometrici Italiani (Periodo 1972-2004)]
I responsabili delle informazioni contenute nel sito sono [Luola Luzi](#) e [Fabio Sabatini](#), coordinatori del progetto.

Figura 5.Homepage della pagina del progetto DPC-INGV S6 (<http://esse6.mi.ingv.it>)

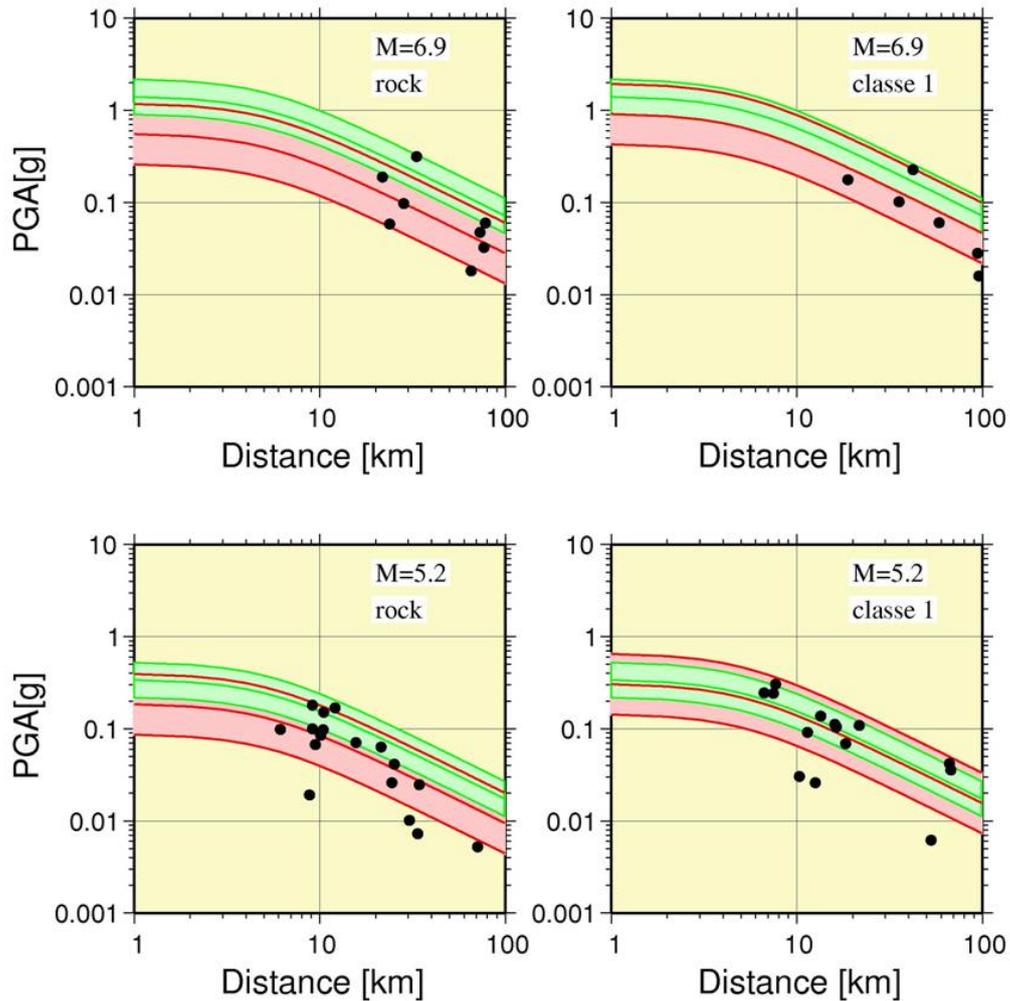


Figura 6. Confronto tra il modello di Sabetta e Pugliese per la PGA (verde) e il modello ottenuto con i valori di PGA per i 28 terremoti più forti presenti nella banca dati (rosso). Le aree colorate rappresentano il valore medio \pm una deviazione standard. I pallini neri sono i dati osservati per un terremoto di magnitudo Mw 6.9 (in alto) e 5.2 (in basso). A sinistra sono mostrati i risultati per siti su roccia, a destra per siti in classe 1 (alluvioni sottili).



Progetto S6 - Data base dei dati accelerometrici italiani relativi al periodo 1972 – 2004

UR 2 – Centro Nazionale Terremoti
Coordinatore: Franco Mele

Risultati delle attività delle due annualità del progetto

L'Unità di Ricerca 2 (Centro Nazionale Terremoti) ha partecipato a due task del progetto:

Task 1 - Deliverable 1: Schema e specifiche tecniche della banca dati.

Task 3 - Deliverable 5: Elenco degli eventi registrati e aggiornamento dei parametri corrispondenti.

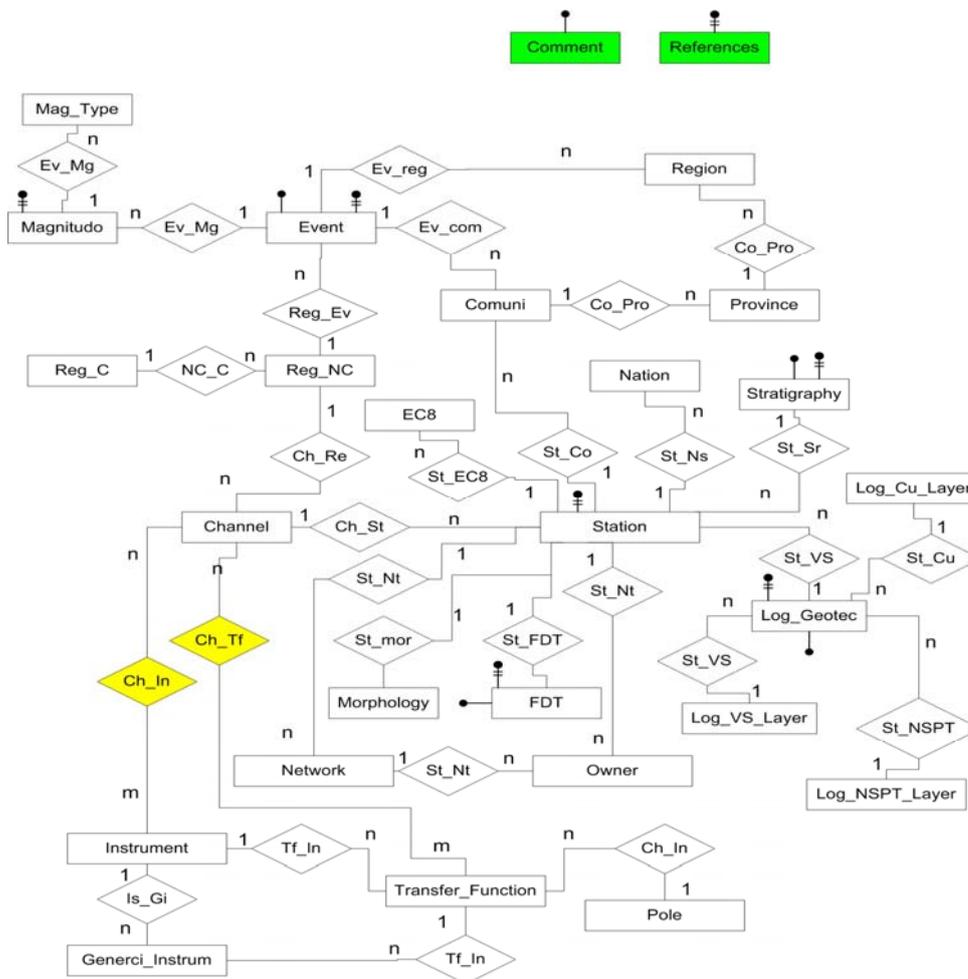


Figura 1. Schema logico della banca-dati accelerometrici.



Contributi al Deliverable 1: Schema e specifiche tecniche della banca dati

La UR2 ha definito il progetto logico iniziale della banca-dati accelerometrici il cui schema a blocchi è mostrato in figura 1. Il progetto, nella sua parte che riguarda la descrizione degli strumenti e dei parametri di evento, è stato sviluppato sulla base dello schema logico già utilizzato presso il CNT per i dati della Rete Sismica Nazionale allo scopo di facilitare un eventuale futuro sviluppo di procedure di interrogazione comuni ai due data-base. Si è tenuto conto anche della possibilità di estendere il data base accelerometrico a dati successivi al periodo 1972-2004.

Lo schema finale del data-base è stato definito con i contributi delle altre UR che partecipano al progetto e la realizzazione è stata affidata alla IT&T (società che sviluppa sistemi informatici) seguita dalla UR1. La UR2 ha contribuito alla revisione degli schemi e delle modifiche agli schemi del data-base che sono stati proposti, in corso d'opera, dalla società IT&T.

Il data-base prevede l'implementazione di 40 tabelle di dati il cui elenco è riportato in tabella 1.

lista delle TABELLE del DATA-BASE ACCELEROMETICO
1. <i>Events</i> (eventi sismici)
2. <i>Magnitude</i> (magnitudo)
3. <i>Mag_type</i> (descrizione del tipo di magnitudo)
4. <i>Station</i> (siti di registrazione)
5. <i>Networks</i> (descrizione delle reti di monitoraggio)
6. <i>Stratigraphy</i> (tabella master stratigrafia del sito di registrazione)
7. <i>Stratigraphy_layer</i> (stratigrafia del sito di registrazione)
8. <i>Lithography</i> (tabella descrittiva dell'unità litotecnica)
9. <i>Log_geotec</i> (tabella master dei dati geotecnici-geofisici)
10. <i>Log_vs_layer</i> (log velocità delle onde di taglio)
11. <i>Log_nst_layer</i> (log prova penetrometrica standard)
12. <i>Log_Cu_layer</i> (log coesione non drenata)
13. <i>FDT</i> (funzione di trasferimento del sito)
14. <i>Channel</i> (canale di registrazione)
15. <i>Generic_instr</i> (caratteristiche dello strumento di registrazione)
16. <i>Pole</i> (poli e zeri strumento)
17. <i>Instrument</i> (descrizione dello strumento)
18. <i>Owners</i> (descrizione ente proprietario del dato)
19. <i>Uncorrected</i> (caratteristiche delle registrazioni non corrette)
20. <i>Corrected</i> (caratteristiche delle registrazioni corrette)
21. <i>Municipality</i> (elenco comuni d'Italia)
22. <i>Province</i> (elenco province d'Italia)
23. <i>Region</i> (elenco delle regioni d'Italia)
24. <i>Nation</i> (elenco di nazioni interessate da reti accelerometriche)
25. <i>D_installation</i> (tabella descrittiva del tipo di installazione strumento)
26. <i>D_C8</i> (tabella descrittiva della classificazione dei suoli secondo l'eurocode 8)
27. <i>D_FDT_type</i> (tabella descrittiva della tipologia funzione di trasferimento)
28. <i>D_flag_digit</i> (tabella descrittiva del tipo di digitalizzazione)
29. <i>D_fm_method</i> (tabella descrittiva della determinazione dl meccanismo focale)
30. <i>D_fm_type</i> (tabella descrittiva della tipologia di meccanismo focale)
31. <i>D_instrument_type</i> (tabella descrittiva della tipologia di strumento)
32. <i>D_mag_method</i> (tabella descrittiva della tipologia di determinazione della magnitudo)
33. <i>D_morph_code</i> (tabella descrittiva del tipo morfologico)
34. <i>D_net_type</i> (tabella descrittiva della tipologia di rete di monitoraggio)
35. <i>D_orientation</i> (tabella descrittiva dell'orientazione del sensore)
36. <i>D_permanent_flag</i> (tabella descrittiva della tipologia di stazione)
37. <i>D_pole_type</i> (tabella descrittiva della tipologia poli/zeri)



38. <i>D_projection</i> (tabella descrittiva del tipo di proiezione cartografica)
39. <i>D_proximity_flag</i> (tabella descrittiva della prossimità del sito ad edifici)
40. <i>D_Reference</i> (riferimenti bibliografici)

Tabella 1. Lista delle tabelle del data-base accelerometrico

Contributi al Deliverable 5: Elenco degli eventi registrati e aggiornamento dei parametri corrispondenti

La UR2 ha curato la revisione dei parametri ipocentrali del data-base, ovvero localizzazioni dei terremoti, meccanismi focali e geometrie di faglia reperibili nei cataloghi e in letteratura. Il data base accelerometrico include le registrazioni presenti nella banca dati ENEA per gli anni dal 1972 al 1993 e le registrazioni della Rete Accelerometrica Nazionale (RAN) gestita dal DPC-USSN negli anni dal 1993 al 2004. La precisione con cui sono stati valutati i parametri ipocentrali dei terremoti è variata, nell'arco di tempo 1972-2004 coperto dal data-base, di un ordine di grandezza a causa dello sviluppo considerevole delle reti sismiche regionali e nazionale negli ultimi 20 anni.

Controlli incrociati sulla qualità della registrazioni e sulla corrispondenza tra registrazioni ed ipocentri noti nei cataloghi hanno prodotto una lista definitiva degli eventi da includere nel data-base accelerometrico, pubblicato sul sito web del progetto. Per 17 dei 969 eventi riportati nel catalogo esiste una geometria di fagli individuata nel catalogo delle faglie DISS 3.0.2 (DISS Working Group, 2006).

Fonti di informazione e criteri di scelta per le coordinate e la profondità degli ipocentri

Sono stati consultati il Catalogo Sismico ING-ENEL (data-base interno dell'Istituto Nazionale di Geofisica) per gli eventi dal 1972 al 1982, il Bollettino Sismico italiano (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – CNT, 2007), il Catalogo della Sismicità Italiana per il periodo dal 1981 al 2004 (CSI1.1, Castello et al. 2006, e CSI2.0 in corso di pubblicazione), il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI04 (Gruppo di lavoro CPTI, 2004).

Per assegnare una localizzazione ai terremoti è stato seguito un ordine generale di preferenza che privilegia le localizzazioni strumentali (CSI1.1, Bollettino Sismico e parte del Catalogo INGV) alle localizzazioni macrosismiche (parte del CPTI.04). Il CSI1.1 ha integrato le fasi sismiche del Bollettino con fasi provenienti da altre reti locali italiane o delle nazioni a noi vicine. Per questa ragione i parametri ipocentrali del CSI 1.1 sono stati preferiti alle localizzazioni del Bollettino. La localizzazione CSI è stata in alcuni casi sostituita da una localizzazione rivista ex novo; ciò è accaduto per alcuni eventi per i quali l'attribuzione del corretto ipocentro era dubbia a causa della presenza nel CSI 1.1 di due ipocentri molto vicini nel tempo e nello spazio. In seguito ad un'analisi di dettaglio, è stato riscontrato che la maggior parte di queste coppie è imputabile a cattive associazioni delle fasi di un unico evento, erroneamente separate in due nel CSI 1.1. Questi eventi sono stati localizzati nuovamente con IPOP, parte del sistema *Locator* (Mele et al. 2002), utilizzato oggi per la produzione del Bollettino Sismico Italiano. Per il periodo 2003-2004, è stata adottata la localizzazione fornita



dalla revisione del CSI che è in corso di elaborazione (R. Di Stefano, comunicazione personale); le localizzazioni provenienti da tale estensione sono indicate con la sigla CSI2.0 L'ordine generale delle preferenze è il seguente:

- 1) CSI 1.1 (o revisione CSI 2.0 per gli anni 2003-2004, o nuova localizzazione con IPOP)
- 2) Bollettino ING-INGV
- 3) Catalogo INGV (ex ING-ENEL, integrato con dati da Bollettino)
- 4) CPTI.04

I criteri di selezione sono stati applicati tramite una procedura automatica. Tuttavia le localizzazioni disponibili sono state visionate nuovamente e riconsiderate nei seguenti casi:

- a) localizzazione CSI 1.1 con errore orizzontale maggiore dell'errore orizzontale del Bollettino;
- b) localizzazione CSI 1.1 con errore orizzontale o verticale superiore a 10 km;

Nel catalogo CSI le fasi della rete sismica nazionale sono integrate con fasi di altre reti sismiche. La principale differenza procedurale tra Bollettino e CSI 1.1 consiste nel fatto che nei casi dubbi analizzati la profondità ipocentrale è fissata a priori nel Bollettino (a 5 o 10km) mentre è lasciata libera nel CSI 1.1. Le localizzazioni epicentrali di Bollettino e CSI sono risultate sensibilmente diverse solo nei casi in cui la profondità ipocentrale del CSI è nulla; queste localizzazioni CSI (con profondità ipocentrale nulla e con errore verticale uguale a 99km o con errore orizzontale superiore all'errore del Bollettino) sono state rigettate a favore della localizzazione del Bollettino effettuata a profondità fissata a priori. Negli altri casi sono state scelte comunque le localizzazioni del CSI 1.1 per includere nel data-base un insieme di localizzazioni maggiormente omogeneo e poiché il CSI 1.1 si basa un set di dati più completo rispetto a quello utilizzato dal Bollettino.

Sono state inoltre inserite altre localizzazioni ipocentrali provenienti da altri cataloghi o da studi specifici. In questi casi non sono riportati espressamente i parametri della localizzazione, bensì il codice di evento relativo al catalogo o il link al riferimento bibliografico della tabella *REFERENCE*. Sono stati utilizzati:

- Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI04
- Riferimento bibliografico (per terremoti al di sotto della soglia del danno).

Valori di Magnitudo

Ad ogni evento sono associati più valori di magnitudo:

- ML - magnitudo Richter locale,
- MD - stima di ML da durata del segnale sismico attraverso scale di calibrazione locali,
- Mw - magnitudo momento,
- MS - magnitudo da onde di superficie,
- Mb - magnitudo da onde di volume telesismiche.

Per gli eventi più forti con magnitudo superiore a 5.0 i cataloghi internazionali riportano almeno Mw, MS e Mb. In questo catalogo viene riportata la Mw calcolata dalle soluzioni dei parametri dei *Centroid Moment Tensor* (CMT) o *Regional Centroid Moment Tensor* (RCMT), mentre la Mb e la MS sono



fornite dal Bollettino ISC o dal catalogo NEIC. Per i terremoti di magnitudo inferiore la magnitudo di riferimento è la magnitudo locale ML proveniente dai cataloghi o bollettini di sismicità strumentali prodotti dall' INGV. Qualora non fosse disponibile una stima di ML, viene utilizzato un valore di magnitudo di durata MD o una magnitudo ML ottenuta da valori di durata del segnale sismico e leggi di regressione del tipo $ML=f(\text{durata}; \text{distanza ipocentrale})$.

Fonti e definizione delle magnitudo

Per le magnitudo locali ML, le fonti di informazione sono state i seguenti cataloghi in ordine di priorità:

- 1) CSI 1.1 1981-2002 (o revisione CSI 2.0 per gli anni 2003-2004)
- 2) Bollettino ING-INGV 1984-2004
- 3) Catalogo INGV (ex ING-ENEL, integrato con dati da Bollettino)

All' interno del CSI sono presenti magnitudo locali da registrazioni di strumenti *Wood-Anderson* (o sismogrammi sintetici *Wood-Anderson* ottenuti da strumenti a larga banda) per i terremoti più forti con soglia di completezza $ML = 3.8$; alcuni di questi valori provengono dal catalogo CSTI 1.0 (2001). Per terremoti minori per i quali non è disponibile una ML strumentale, viene stimata la ML dalla durata del segnale sismico tramite una regressione lineare del tipo $ML=f(\text{durata})$ e correzioni di stazione valutate solo per la Rete Sismica Nazionale (Castello et al. 2002).

Il bollettino ING-INGV fornisce invece fino al 2004 una magnitudo locale approssimata calcolata su ampiezza massima e periodo corrispondente di registrazioni effettuate da sismometri a corto periodo verticali. S13.

Dal Catalogo ING, consultato per questo DB per gli anni 1972-1983, provengono magnitudo locali da singoli strumenti *Wood-Anderson* reali o calcolate da segnali provenienti da altri tipi di strumenti.

Le MD da durata calcolata all'INGV è stata inclusa nel DB per completezza di informazione laddove presente nel Bollettino ING-INGV. Per eventi i cui parametri ipocentrali sono stati nuovamente calcolati, è fornita una magnitudo da durata che è calcolata dalla procedura di localizzazione con la stessa relazione (correzione per la distanza epicentro-stazione) usata nel Bollettino.

La magnitudo momento MW, derivata dalla relazione con il Momento sismico Mo, è stata calcolata dai seguenti cataloghi in ordine di priorità:

- 1) Il data-set dei CMT italiani dal 1976 ad oggi (Pondrelli et al., 2006), catalogo che comprende sia tutti i momenti tensori CMT dei terremoti italiani di magnitudo momento $M_w \geq 5$ calcolati dal *Global Centroid Moment Tensor Project* di Harvard, sia i momenti tensori regionali RCMT calcolati all' INGV per i terremoti italiani con $M_w < 5.0$.
- 2) EMMA, database dei meccanismi dei terremoti nell'Area del Mediterraneo versione 2, nel quale la M_w è ricalcolata da altri tipi di magnitudo.
- 3) CPTI04, ove la M_w è ricalcolata da altri tipi di magnitudo.

La MS, magnitudo da onde superficiali, è calcolata generalmente per i terremoti maggiori e proviene da :

- 1) Bollettino dell'*International Seismological Centre* (ISC),
- 2) Data-base del *National Earthquake International Centre* (NEIC),



- 3) CPTI04, nel quale la M_s è ricalcolata dalla magnitudo macrosismica M_a tramite leggi di regressione.

La M_b , magnitudo da onde di volume, calcolata generalmente per i terremoti maggiori, è una buona stima di grandezza per i terremoti profondi; questa magnitudo, ove presente nel data base, proviene da:

- 1) Bollettino dell' *International Seismological Centre*,
- 2) Data-base del *National Earthquake International Centre*.

Fonti e criteri di scelta per i meccanismi focali

Vengono riportati nel data-base i riferimenti bibliografici di 148 meccanismi focali. Essi provengono dal *CMT Italian data-set* che si riferisce al periodo 1976-2004 (Pondrelli et al., 2006) o dal data base dei meccanismi focali del mediterraneo *Emma*, per il periodo 1972-1976 (Vannucci e Gasperini, 2004). La metodologia di calcolo del meccanismo focale è definita con la sigla CMT se proveniente dal *Global Centroid Moment Tensor Project* di Harvard. Su scala regionale si usa invece un algoritmo modificato (modellazione del periodo intermedio delle onde di superficie) detto *Regional Centroid Moment Tensor* (indicato come RCMT) (Pondrelli et al., 2002, 2004) applicato ad eventi sismici di magnitudo moderata.

Laddove non siano disponibili meccanismi CMT o RCMT, soprattutto per i terremoti prima del 1977, sono riportati nel data base i momenti tensori forniti da EMMA (sigla REC nel DB). Questi valori sono calcolati dai meccanismi focali presenti in bibliografia, generalmente determinati dalla distribuzione delle polarità dei primi arrivi di fase (in tal caso la sigla che li identifica è PA = Primi Arrivi). Dove possibile, è stato riportato anche il codice che identifica l'evento nel catalogo di provenienza.

Classificazione dei regimi tettonici

Per caratterizzare il regime tettonico dei terremoti riportati in questo data-base abbiamo utilizzato la classificazione fornita da M. L. Zoback (1992). Essa si basa sull'analisi del tensore di stress ed in particolare sull'orientazione degli assi P, T e B. La convenzione utilizzata assume che lo stress compressivo sia positivo, secondo lo standard geologico/geofisico, in modo che la notazione $S_1 > S_2 > S_3$ sta ad indicare che S_1 è l'asse principale di compressione massima mentre S_3 è l'asse di minima compressione. Sulla base della grandezza relativa e dell'orientazione dei valori associati ai tre assi principali del tensore di stress Zoback, seguendo Anderson (1951), contraddistingue tre regimi tettonici principali:

1. **Normal Fault (NF):** il regime estensionale, dove $S_v > S_{Hmax} > S_{Hmin}$ (dove S_v è l'asse verticale, S_{Hmax} è l'asse orizzontale maggiore e S_{Hmin} è l'asse orizzontale minore), che corrisponde a una fagliazione normale con direzione dello *slip* immergente ad alto angolo (*deep-slip*).
2. **Strike Slip Fault (SS):** il regime di stress trascorrente (strike-slip) dove $S_{Hmax} > S_v > S_{Hmin}$; si tratta in questo caso di fagliazione in cui lo *slip* ha componente orizzontale



predominante (in alcuni casi può essere presente una minima componente di tipo normale o thrust).

3. **Thrust Fault (TF):** quest'ultimo regime tettonico principale è dovuto a compressione con orientazione degli assi tale che $S_{Hmax} > S_{hmin} > S_v$, e corrisponde a *deep-slip* inverso. Zoback introduce nella classificazione anche dei regimi tettonici intermedi, supposti di transizione da un regime a un altro, che si presentano quando due degli stress hanno modulo simile tra loro.
4. **Normal - Strike Slip Fault (NS):** il regime di stress in cui $S_v \cdot S_{Hmax} \gg S_{hmin}$ può generare meccanismi focali che presentano una componente normale predominante che però è associata a una componente strike-slip non trascurabile.
5. **Strike Slip - Thrust Fault (TS):** il regime di stress del tipo $S_{Hmax} \gg S_{hmin} \cdot S_v$ genera fagliazione di tipo misto, con componente thrust predominante associata a una componente non trascurabile strike-slip.
6. **Regime non definibile (U = Unknown):** per la caratterizzazione del regime di stress Zoback fornisce degli intervalli e limiti di variabilità degli angoli di *plunge* degli assi P, B e T (o S_1 , S_2 , e S_3) Quando il meccanismo focale non ricade nei limiti previsti dai casi precedenti, esso viene dichiarato indefinito.

Geometria di faglia

Vengono riportati i parametri di strike, dip e rake dei terremoti che nel catalogo DISS (versione 3.0.2) sono associati a una geometria di faglia. Se esistono in bibliografia studi sulla fagliazione superficiale indotta dalla sorgente, il fenomeno viene segnalato attraverso un flag del data base. Vengono inoltre riportati altri riferimenti bibliografici o di catalogo che indichino la presenza di altre faglie associate all'evento sismico.

Intensità macrosismica

L'intensità macrosismica I_0 , ove riportata, è tratta dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI04.

Bibliografia

Castello B., Selvaggi G., Chiarabba C., Amato A. (2006). CSI Catalogo della sismicità italiana 1981-2002, versione 1.1. INGV-CNT, Roma. <http://www.ingv.it/CSI/>

Catalogo ING (1450 b.C. - 1990) , file interno INGV

CSTI 1.0 Working Group (2001), Catalogo strumentale dei terremoti italiani dal 1981 al 1996, Versione 1.0 ISBN 88-491-1734-5 Clueb Bologna, CD-ROM

DISS Working Group (2006). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.0.2: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://www.ingv.it/DISS/>, © INGV 2005, 2006 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - All



rights reserved.

Global Centroid Moment Tensor Project. <http://www.globalcmt.org>

Gruppo di lavoro CPTI (2004). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04), INGV, Bologna. <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI04/>

International Seismological Centre. Bulletin of the International Seismological Centre. <http://www.isc.ac.uk>

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – CNT (2007). Bollettino della sismicità strumentale. Centro Nazionale Terremoti, INGV, Roma. <http://www.ingv.it/~roma/reti/rms/bollettino>

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia MedNet - Mediterranean Very Broadband Seismographic Network. <http://mednet.rm.ingv.it>

Istituto Nazionale di Geofisica. ING Catalogue (1450 b.C. - 1990) Roma.

F. Mele e G. Valensise (1987). Un modello crostale per la localizzazione di eventi sismici regionali rilevati dalla rete sismica nazionale centralizzata dell'I.N.G., Atti del 6° Convegno Annuale del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Roma Dicembre 1987.

F. Mele, L. Badiali, C. Marcocci e A. Piscini (2002). Locator: i codici. Un sistema di localizzazione in tempo quasi reale. Note Tecniche del Centro Dati e Informazione sui Terremoti n. 6 / 2002.

National Earthquake Information Center – NEIC. Earthquake catalogue. <http://earthquake.usgs.gov/regional/neic>

Pondrelli, S., Ekström, G., Morelli, A., Primerano, S., 1999. Study of source geometry for tsunamigenic events of the Euro-Mediterranean area. In International Conference on Tsunamis, 297-307, UNESCO books, Paris

Pondrelli, S., A. Morelli, G. Ekström, S. Mazza, E. Boschi, and A. M. Dziewonski, 2002, European-Mediterranean regional centroid-moment tensors: 1997-2000, Phys. Earth Planet. Int., 130, 71-101, 2002

Pondrelli S., A. Morelli, and G. Ekström, European-Mediterranean Regional Centroid Moment Tensor catalogue: solutions for years 2001 and 2002, Phys. Earth Planet. Int., 145, 1-4, 127-147, 2004.

Pondrelli, S., S. Salimbeni, G. Ekström, A. Morelli, P. Gasperini and G. Vannucci, (2006) The Italian CMT dataset from 1977 to the present, Phys. Earth Planet. Int., doi:10.1016/j.pepi.2006.07.008, 159/3-4, pp. 286-303. www.ingv.it/seismoglo/RCMT

Vannucci G., Gasperini P. (2004). The new release of the database of Earthquake Mechanisms of the Mediterranean Area (EMMA version 2). Annals of Geophysics, supplement to vol.47, N. 1

Zoback M.L. (1992). First- and Second-Order Patterns of Stress in the Lithosphere: the World Stress Map Project. J. Geoph. Res., v.97, n.B8, pp. 11703-11728.



Progetto S6 - Data base dei dati accelerometrici italiani relativi al periodo 1972 – 2004

UR3 - Coordinatore: Giuliano Milana (INGV-ROMA1)

L'unità di ricerca UR3, composta da personale della Sezione di ROMA1 dell'INGV coadiuvato da un borsista esterno, è stata coinvolta nei Task 1,2,3 del progetto, in particolare nelle fasi di: progettazione della Banca Dati (Task1), processamento dei dati accelerometrici (Task2), valutazione delle caratteristiche dei siti di registrazione (Task3). Di seguito si riporta una più dettagliata descrizione delle attività svolte.

Task1

Il personale dell'UR è stato coinvolto, nel periodo luglio-novembre 2005, nello studio di fattibilità per la creazione di un data base di dati accelerometrici nel quale si sono disegnate le principali caratteristiche della futura banca dati e la necessità di dare impulso alla caratterizzazione dei siti di registrazione. Il Task1 del progetto porta a compimento le premesse insite nello studio di fattibilità attraverso la progettazione della Banca Dati. Il personale dell'UR ha partecipato ad una serie di incontri per specificare la struttura del data base e la selezione degli eventi da inserirvi. Il contributo fornito in questa fase si basa sulla lunga esperienza maturata dal personale dell'UR nella gestione e nell'utilizzo di dati accelerometrici, nonché sulla conoscenza delle problematiche proprie dell'ingegneria sismica e delle necessità espresse dalla comunità scientifica per quanto riguarda un corretto uso dei dati accelerometrici. Anche le esperienze acquisite nella diffusione di dati accelerometrici in occasione degli eventi dell'Umbria-Marche (1997-1998) e Molise (2002) consente al personale della UR di svolgere un ruolo attivo nella definizione dei parametri da inserire in banca dati.

Task 2

Anche in questo caso il personale della UR è coinvolto nelle scelte riguardanti la tipologia di dati, originali e corretti, da inserire nella banca dati e le procedure da adottare per il filtraggio delle forme d'onda necessario in particolar modo per i dati provenienti da strumentazione analogica. Come per il task precedente, tutte le competenze in possesso del personale dell'UR sono state messe a disposizione per produrre dati di immediata fruibilità da parte della comunità ingegneristica e scientifica in generale, anche da parte di operatori non particolarmente specializzati nell'analisi dei segnali digitali. L'UR ha fornito un contributo anche nelle fasi di verifica dei dati processati una volta inseriti nella banca dati.

Task3

Nell'ambito di questo task l'UR è risultata particolarmente impegnata, sia nelle fasi organizzative che nelle successive attività sperimentali volte alla caratterizzazione dei siti della rete accelerometrica nazionale. Il personale dell'UR ha partecipato alla scelta dei siti su cui effettuare indagini geotecniche, alla scelta delle indagini geotecniche da effettuare, alla scelta ed alla esecuzione delle indagini di superficie da eseguire per poter confrontare i risultati ottenuti con metodologie complesse con



quelli ottenuti con approcci a basso costo. Un problema affrontato in tale ambito è stato quello della validazione dei dati di velocità delle onde di taglio per i siti che hanno registrato eventi durante il terremoto dell'Irpinia ricavati da indagini in foro eseguite negli anni ottanta. Tale obiettivo è di particolare importanza in quanto i dati relativi al terremoto irpino sono ancora oggi i dati più energetici registrati sul territorio italiano e per un loro corretto utilizzo a fini ingegneristici è necessario poterli depurare degli eventuali effetti di sito. A valle di una serie di incontri e di discussioni, a cui ha partecipato attivamente il personale della UR, è stato scelto il sito di Santa Maria a Vico (Ce) per la verifica della validità delle indagini geotecniche già disponibili, ed i siti di Gubbio (Pg), Bevagna (Pg), Cesena, Valle Aterno (Aq) e Sturno (Av) per la realizzazione di misure in foro e di misure di superficie a basso costo, infine il sito di Airola (Bn) è stato scelto per la verifica dell'applicabilità di tecniche di superficie su siti rocciosi fratturati.

Per il sito di Santa Maria a Vico (Ce) sono state effettuate prove di rumore in prossimità del sito dove era installata la postazione accelerometrica, ora dimessa. Successivamente sono state effettuate misure di dispersione delle onde di Rayleigh utilizzando un array lineare di geofoni (misure MASW). Si è realizzato un array formato da 52 canali sismici a geometria lineare e spaziatura di 2 metri. I sensori utilizzati erano a componente verticale e frequenza propria di 4.5 Hz per investigare spessori massimi di 20-25 metri. L'acquisizione è stata garantita da tre acquisitori Geometrics Geode collegati in serie. Viste le difficili condizioni ambientali non è stato possibile utilizzare sorgenti attive, si è quindi deciso di utilizzare dati di rumore ambientale con la tecnica nota come Re.Mi (Refraction Microtremor). Le indagini eseguite hanno permesso di ricavare la curva di dispersione riportata (figura 1a) definita nel range di frequenze 10-30 hz successivamente invertita per ottenere un modello di velocità (figura 1b) degli strati più superficiali di terreno.

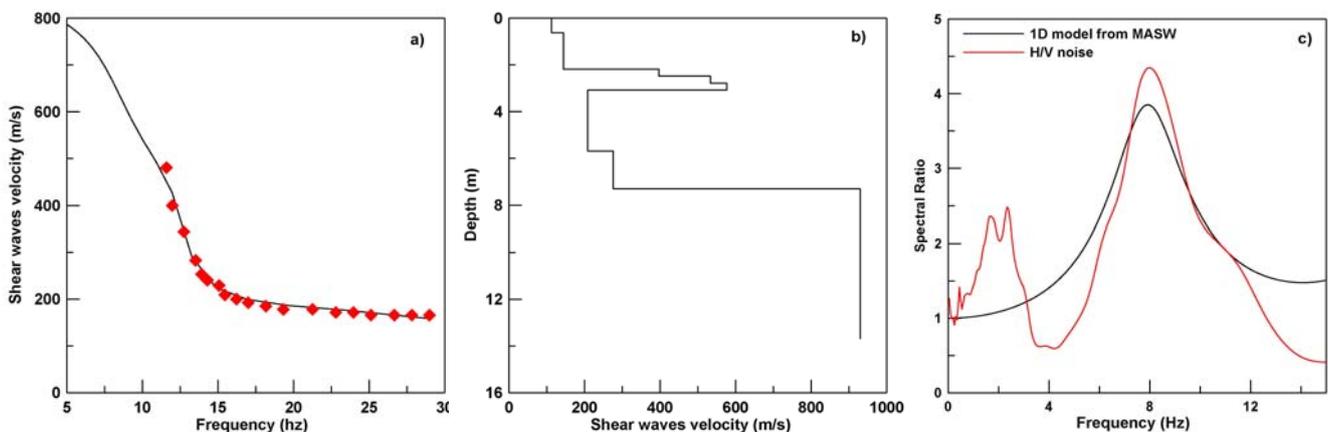


Figura 1) Curva di dispersione sperimentale per le onde di Rayleigh con associata la curva di dispersione teorica per il modo fondamentale ricavata dal modello invertito (a) – Modello di velocità delle onde di taglio ricavato dall'inversione della curva di dispersione sperimentale (b) – Confronto tra la funzione di trasferimento monodimensionale Haskell-Thomson calcolata a partire dal modello di velocità ricavato confrontata con il rapporto H/V per i microtremori (c).

Il modello che meglio fitta la curva di dispersione sperimentale è stato successivamente utilizzato per generare la funzione di trasferimento 1D (lineare)



tramite un approccio alla Haskell Thomson che prevede onde SH incidenti verticalmente alla base del modello. I risultati della modellazione 1D sono in ottimo accordo con i rapporti spettrali H/V del rumore sismico (figura 1c).

Il modello di velocità ottenuto a partire da dati di superficie è congruente con quello ottenuto da misure in foro per le profondità investigate dalla tecnica MASW. Tale risultato suggerisce la validità delle misure in foro disponibili che si considerano altrettanto valide per tutti i siti dell'Irpinia per cui sono disponibili.

Per il sito di Airola (Bn) si è proceduto in modo analogo utilizzando però anche una sorgente artificiale per le indagini MASW (cannoncino a cartuccia esplosiva). Vista la tipologia del sito, posto su roccia fratturata, l'individuazione della curva di dispersione e del susseguente modello di velocità non è altrettanto chiara ed univoca come per il sito di Santa Maria a Vico. E' comunque possibile almeno ipotizzare un modello di velocità per gli strati più superficiali (figura 2a). Anche in questo caso il confronto tra la modellazione 1D basata sul modello ipotizzato ed i rapporti spettrali H/V del rumore sismico fornisce risultati soddisfacenti (figura 2b).

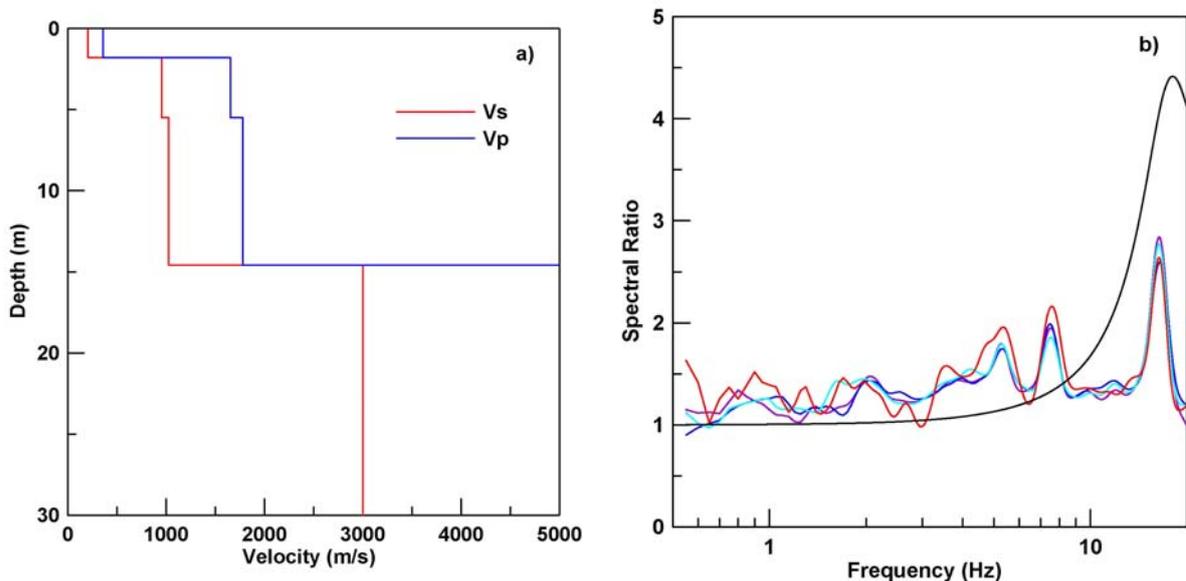


Figura 2) Modello di velocità delle onde di taglio ricavato dall'inversione della curva di dispersione (a) – Confronto tra la funzione di trasferimento Haskell-Thomson, linea continua nera, calcolata a partire dal modello di velocità ricavato confrontata con il rapporto H/V per i microtremori calcolati su quattro finestre temporali di 30 minuti, linee colorate (b).

Altro sito investigato con grande dettaglio è quello della Valle dell'Aterno (località Coppito, Aq), sito particolarmente interessante in quanto fa parte di un array di stazioni accelerometriche installate trasversalmente alla Valle del fiume Aterno. In questo sito è stata commissionata una indagine cross hole a profondità di 50m che ha fornito una misura diretta delle velocità delle onde P ed S in corrispondenza della stazione accelerometrica. Le indagini eseguite dall'UR sono simili a quelle descritte per il sito di Santa Maria a Vico. In questo caso però sono stati utilizzati 72 geofoni verticali con una spaziatura di 4 metri e per una lunghezza totale di 284 metri. Tale geometria consente in teoria di raggiungere profondità comprese tra 50 e 60 metri, compatibili quindi con quelle del bedrock individuato tra 46 e 48 metri dal piano



campagna. Le misure di microtremore sono state effettuate in una zona abbastanza estesa intorno alla postazione accelerometrica per individuare variazioni nella risposta di sito che potessero far ipotizzare effetti non 1D. Tale controllo è tanto più necessario quanto più esteso è lo stendimento utilizzato per le indagini MASW, visto che tali indagini si basano sull'ipotesi di comportamento monodimensionale dei terreni investigati. Le analisi di microtremore evidenziano su gran parte dell'area indagata un doppio picco nei rapporti H/V che fa ipotizzare la presenza di almeno due strati a forte contrasto di impedenza con gli strati sottostanti con possibili inversione di velocità. Nell'area circostante il sondaggio si notano variazioni importanti dei rapporti H/V che fanno ipotizzare una grossa variabilità laterale nelle coltri più superficiali di terreno (figura 3).

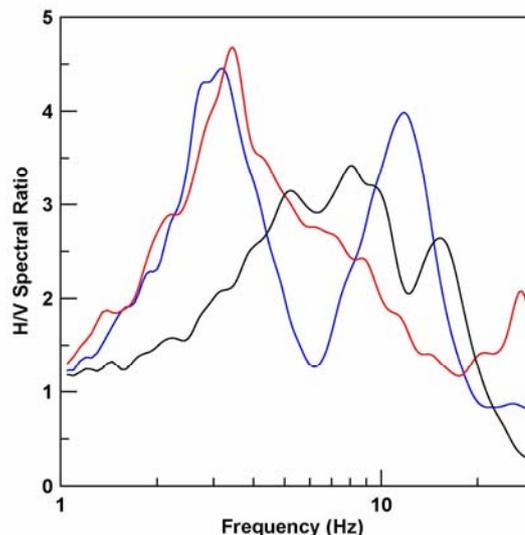


Figura 3) Confronto tra il rapporto H/V per i microtremori calcolati in corrispondenza della stazione accelerometrica (linea blu) e di due altri siti posti a distanze inferiori ai cento metri (linee nera e rossa).

Questa osservazione è supportata anche dalle misure MASW che presentano nel piano F-K andamenti differenti al variare della posizione del punto di energizzazione (figura 4). I dati registrati risultano quindi di difficile interpretazione e di poca utilità nella ricostruzione delle geometrie profonde. In questo sito si è sperimentata una nuova procedura di energizzazione per aumentare il contenuto a bassa frequenza dei segnali ed indagare, di conseguenza, profondità maggiori. Si è infatti utilizzato come sorgente il maglio standard impiegato nelle prove SPT. Tale maglio è stato azionato in modo ciclico per circa 30 secondi mentre il sistema di acquisizione era in registrazione continua su finestre appunto di 30 secondi. L'incremento dei segnali a bassa frequenza è risultato molto evidente nel piano F-K per cui si può affermare che questo tipo di sorgente permette di aumentare l'intervallo di profondità da studiare. Sempre nella Valle dell'Aterno si è sperimentato l'utilizzo di stazioni sismiche tradizionali per la misura in situ del fattore di attenuazione analastica Q. A tale scopo sono state posizionate due stazioni sismiche RefTek 130 equipaggiate con sensori Lennartz Le3D-5sec a distanza rispettivamente di 20 e 40 metri dalla sorgente di onde S utilizzata per le misure cross hole. Le stazioni hanno quindi registrato tutte le energizzazioni effettuate a profondità variabili tra 2 e 50 metri. Un'analisi preliminare dei dati sembra indicare la possibilità di misurare il fattore Q nel range



di frequenze compreso tra 15 e 30 Hz. Una misura sperimentale di Q , seppure non prevista dal progetto, è molto importante. L'UR prevede di completare le analisi dei dati, lunghe e dispendiose in termini di preparazione del data set, nei mesi immediatamente successivi alla fine del progetto stesso.

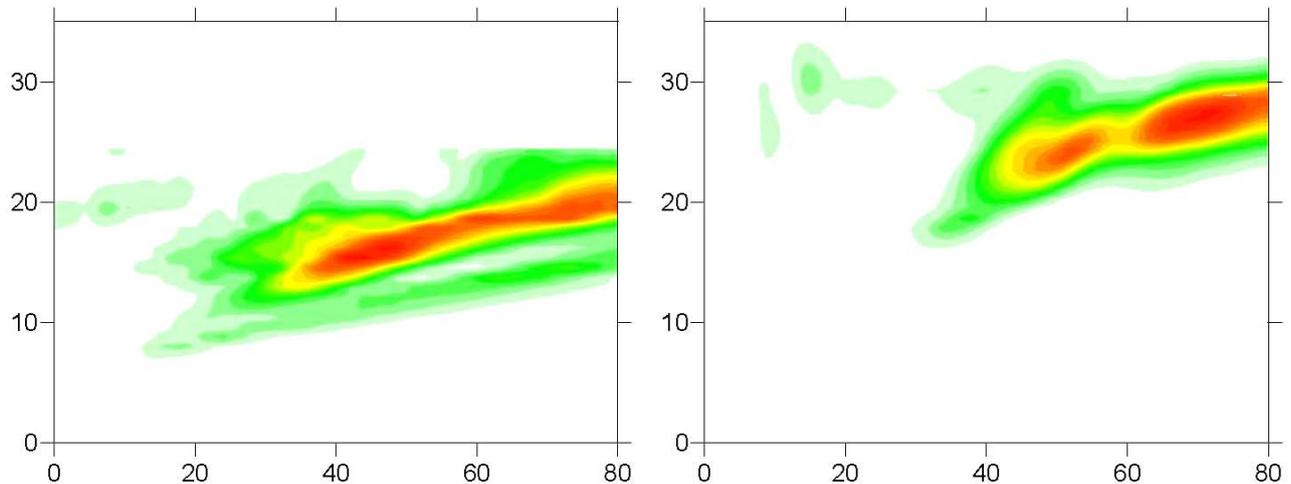


Figura 4) Confronto tra i risultati dell'analisi FK per due scoppi realizzati ad estremi opposti dell'array. In ascisse il numero d'onda espresso in cicli/Km, in ordinata la frequenza in Hz.

Oltre che per tutti i siti precedentemente citati sono stati investigati anche altri siti dove sono o sono stati installati strumenti della rete accelerometrica nazionale. L'UR ha infatti provveduto all'analisi di dati di microtremore raccolti sia direttamente nell'ambito di S6 che di altri progetti DPC (S4), oppure nel corso di collaborazioni già in atto con lo stesso Dipartimento della Protezione Civile e con l'Università "G. D'Annunzio" di Chieti. I dati sono stati acquisiti utilizzando stazioni sismiche RefTek 130 equipaggiate con sensori Lennartz Le3D-5sec che hanno operato in registrazione continua per periodi di durata variabile da trenta minuti ad alcune ore. I segnali, campionati alla frequenza di 125 campioni per secondo, sono stati tagliati in finestre di circa trenta minuti ed elaborati con il software di analisi J-Sesame utilizzando un algoritmo di dettrigger per eliminare le finestre troppo contaminate da rumore antropico. Per poter utilizzare il programma J-Sesame, i dati sono stati convertiti in formato ASCII libero chiamato SAF (Sesame Ascii Format), che prevede dopo alcune righe di header, le tre componenti del moto poste su tre colonne separate. I rapporti H/V sono calcolati separatamente per le singole componenti orizzontali e per la loro media geometrica. Il software fornisce in uscita anche la stima della deviazione standard dei rapporti spettrali. Copia dei dati in formato SAF e dei rapporti spettrali H/V figurano tra i deliverables del progetto stesso. Nella tabella seguente sono riportati tutti i siti investigati dall'UR unitamente ad una descrizione delle attività svolte per ognuno dei siti stessi.



Sito	Sondaggio meccanico	Cross- Down hole	H/V	MASW attiva	MASW passiva
Santa Maria a Vico			X		X
Bagnoli Irpino			X		
Airola			X	X	X
Sturno	X	X	X		
Valle Aterno	X	X	X	X	X
Scafa			X		
Guardiagrele			X		
Lama dei Peligni			X		
San Demetrio nei Vestini			X		
Gubbio	X	X	X		X
Cesena	X	X	X		

Conclusioni

Le attività dell'UR nel progetto S6 sono conformi con i compiti a lei assegnati, in particolare i risultati ottenuti per quanto riguarda il Task 3 consentono di ricavare utili indicazioni anche in funzione di una loro estensione ad un numero sempre maggiore di siti della rete accelerometrica nazionale. Si è infatti potuto constatare come tecniche di indagine di superficie ed a basso costo possano effettivamente fornire risultati comparabili con quelli ricavati dalle più costose e complesse indagini in foro. Comunque, senza un adeguato controllo delle condizioni geologiche e morfologiche in cui si opera per garantire l'assenza di importanti effetti 2D, tali risultati possono essere a volte fuorvianti. Tra i fattori che possono inficiare i risultati delle tecniche di superficie, in particolare delle tecniche di array, si deve considerare la presenza di forti variazioni laterali nei terreni di copertura. Tale circostanza ha reso, nel caso della Valle dell'Aterno, le misure MASW effettuate con un grande numero di sensori poco utilizzabili proprio in quanto viene a mancare la base teorica su cui si fonda l'indagine. Inoltre la scarsa disponibilità di spazi per installare array di dimensioni adeguate porta ad una spesso notevole limitazione delle profondità investigate. Tale problema, per quanto apparentemente banale, impedisce spesso l'individuazione del reale bedrock sismico e quindi la valutazione corretta della funzione di amplificazione di un sito. Quanto finora detto suggerisce ancora una volta la opportunità di combinare le analisi di array con altri tipi di misure. In particolare le misure di microtremore possono essere utili per individuare le frequenze di risonanza e quindi per tarare le geometrie degli array. Tali misure possono anche, come nel caso della Valle dell'Aterno, fornire indicazioni sulla variabilità dei terreni investigati circoscrivendo le aree in cui le condizioni di comportamenti 1D sono più probabili.

Nonostante queste considerazioni possano di nuovo sembrare ovvie riteniamo necessario formularle ancora una volta per evitare che la caratterizzazione dei siti si basi su approcci troppo semplificati e potenzialmente inesatti.



Progetto S6 - Data base dei dati accelerometrici italiani relativi al periodo 1972 – 2004

UR 5 CH - Coordinatore: Mario L. Rainone (Di.G.A.T- U.d'A Chieti-Pescara)

Rapporto e risultati del progetto

1. Premesse

Con riferimento al Contratto di Ricerca stipulato tra l'INGV e questo Dipartimento, nell'ambito del Progetto S6 "Database dei dati accelerometrici italiani relativi al periodo 1972-2004", vengono, qui di seguito, illustrate le attività svolte, le problematiche affrontate, i risultati conseguiti.

Riteniamo necessario sottolineare come, l'erogazione tardiva dei fondi, accreditati materialmente al nostro Dipartimento solo in data 16 luglio 2007, abbia rappresentato un problema rilevante nello svolgimento dell'attività prevista. Per l'esecuzione delle indagini, conseguentemente, sono state utilizzate risorse finanziarie alternative, provenienti da altri Capitoli di Spesa e pertanto con alcune, ma sostanziali, limitazioni per quanto attiene lo svolgimento di alcune attività; in particolare, essendo i capitoli di spesa utilizzati, quelli della Ricerca ordinaria, essi sono assoggettati ad una serie di vincoli che, di fatto e nello specifico, hanno impedito, ad esempio, la formalizzazione di contratti per la fornitura di Beni e Servizi (incarichi a collaboratori esterni, noleggio mezzi, etc.). Ciò ci ha costretti a concentrare una serie di indagini nell'ultimo mese ed a eseguire acquisizioni sismiche particolarmente delicate (ad esempio in aree intensamente urbanizzate e interessate da traffico veicolare) in tempi molto ristretti e in condizioni certamente non ottimali.

Ciò nonostante, alla data odierna sono state portate a compimento tutte le indagini previste.

2. Compiti dell'Unità

Le attività previste per la nostra UR hanno riguardato la caratterizzazione, in chiave dinamica, di alcuni siti su cui sono installate stazioni della RAN.



Tale caratterizzazione è stata eseguita attraverso l'utilizzo di tecniche sismiche a rifrazione con onde di compressione (P) e trasversali polarizzate orizzontalmente (SH) e a riflessione ad alta risoluzione (HR) con onde trasversali polarizzate orizzontalmente (SH).

E' ben noto come negli studi di caratterizzazione sismica dei terreni, in generale, uno dei parametri principali è il valore di velocità di propagazione delle onde di taglio nei mezzi, cioè la c.d. *V_s*. Per la determinazione di questo parametro (a bassi livelli di deformazione) vengono di solito impiegate, tra le metodologie geofisiche e geotecniche di indagine in situ, diverse tecniche quali: sismica down-hole e cross-hole, che utilizzano le onde di corpo, tecniche SASW o FK, mediante l'utilizzo di onde superficiali, registrazioni di rumore sismico (o passive), quali Nakamura, etc..

La nostra UR, ha maturato ormai da molti anni, un'ampia esperienza nell'utilizzo delle tecniche sismiche a rifrazione e a riflessione nell'ambito di problematiche quali quelle sopraccitate. In particolare, sia la tecnica a rifrazione, sia quella a riflessione, entrambe applicate utilizzando onde di taglio polarizzate orizzontalmente (SH), hanno dimostrato rispetto alle altre tecniche sismiche, un notevole campo di applicabilità, risultati soddisfacenti e ripetibili (Gasperini et al. 1994; Anibaldi et al., 1994; Barsanti et alii, 2000). I vantaggi principale derivanti dall'utilizzo delle di indagini in grado di caratterizzare il terreno in termini di onde SH è ascrivibile soprattutto alla proprietà di tali onde di non subire trasmutazione in corrispondenza delle superfici di contatto tra mezzi a diversa rigidità sismica; ciò significa che se si generano inizialmente onde SH, si avranno unicamente onde rifratte e riflesse SH, diminuendo così ambiguità e incertezze proprie di molte delle tecniche sismiche (Zoeppritz, 1919; Mc Cornack et al., 1984; Stümpel et al., 1984; Milkerei et al., 1986; Gasperini et al., 1990; Gasperini et al., 1994, Blair & Korringa, 1987).

Per ottenere ciò è però importante definire uno standard operativo tale da garantire un elevato livello di qualità dei data set sismici, in particolare per quanto attiene alle operazioni di energizzazione con onde SH. In tal senso si è ritenuto utile, per le indagini di sismica a rifrazione, attenersi alle Istruzioni Tecniche redatte dal Servizio Sismico della Regione Toscana nell'ambito del Progetto VEL (Regione Toscana, 2006).

Quando è stato possibile, nei siti investigati, sul medesimo profilo, è stata eseguita una linea a rifrazione con onde P, una a rifrazione con onde SH e una a riflessione HR con onde SH.



Tale approccio metodologico ha consentito una buona ricostruzione 2D dei siti investigati consentendo, tra l'altro di superare alcuni dei limiti propri della tecnica a rifrazione (orizzonti muti, profondità di investigazione condizionate dalla lunghezza dello stendimento, etc.), il carattere particolarmente puntale delle indagini in foro tipo down-hole (e gli elevati costi), la scarsa applicabilità delle tecniche con onde di superficie in contesti contraddistinti da forti variabilità laterali o la scarsa attendibilità dei risultati di indagini tipo Nakamura in presenza di ridotti contrasti di rigidità sismica.

Quando le condizioni dei siti non hanno consentito l'utilizzo della tecnica a riflessione (aree intensamente urbanizzate, mancanza di spazi adeguati, presenza di lastricati, pavimentazioni, etc.), la tecnica a rifrazione, sia in P, sia in SH, è stata eseguita con un numero di scoppi adeguato (almeno 8) e con parametri di acquisizione che consentissero anche un'interpretazione con tecnica a riflessione (Torrese & Signanini 2007), e permettere, in aggiunta, un'analisi delle onde superficiali (Rayleigh e Love).

3. I siti oggetto di indagine

Alla nostra UR, sulla base delle conoscenze esistenti sulle aree in esame, della loro raggiungibilità e accessibilità, valutati gli aspetti logistici nonché le problematiche connesse con le caratteristiche geologiche s.l. e con eventuali particolari necessità di ricostruire assetti geologico-tecnici complessi, sono state assegnate le seguenti aree:

1. Regione Marche

- n. 2 siti localizzati nell'area urbana di Ancona
- n. 1 sito nel Comune di Falconara Marittima (AN)

2. Regione Umbria

- n. 1 sito nel Comune di Bevagna (PG)
- n. 2 siti nel Comune di Norcia (PG)

3. Regione Abruzzo

- n. 1 sito nel Comune di Chieti
- n. 1 sito nel Comune di Avezzano (AQ)
- n. 1 sito nella Valle Aterno (AQ)

Accanto a questi siti, è successivamente emersa l'opportunità di caratterizzarne altri, interessati da stazioni accelerometriche, ubicati nella Regione Toscana, in particolare nelle aree della Garfagnana, Lunigiana,



Valtiberina. In particolare:

Bagnone

Bibbiena – loc. Partina

Dicomano

Firenzuola

Fivizzano

Piazza al Serchio

Pieve S. Stefano

S. Casciano dei Bagni

San Sepolcro

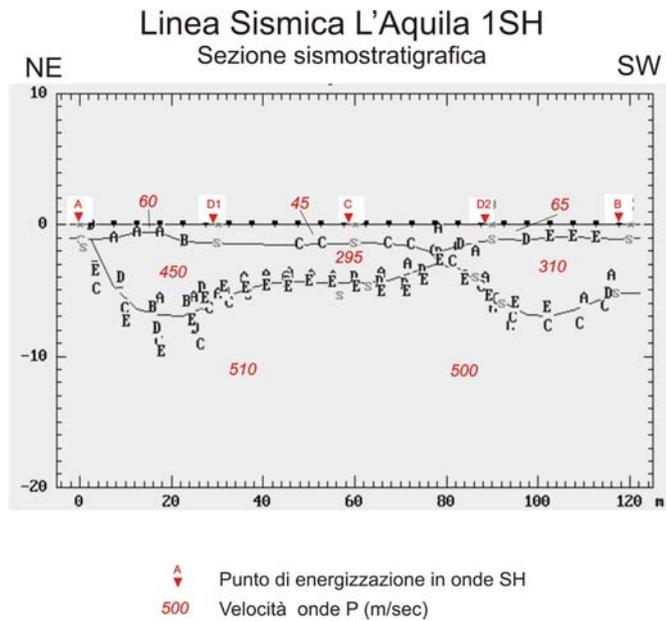
Su tali aree esistevano dati di sottosuolo e caratterizzazioni sismiche eseguite nell'ambito del Progetto VEL del Servizio Sismico della Regione Toscana. Il compito della nostra UR è stato pertanto quello di raccogliere il materiale esistente, valutare l'opportunità di integrare il quadro conoscitivo esistente attraverso nuove indagini, redigere una sintesi dei dati adeguata alle finalità del Progetto.

4. Problematiche e difficoltà incontrate

Come accennato in premessa, le principali difficoltà incontrate nello svolgimento delle attività sono state essenzialmente riconducibili alla necessità, su alcuni siti, di eseguire tutte le indagini previste in tempi molto ristretti, a seguito del ritardo nell'erogazione dei fondi. Il programma iniziale aveva infatti previsto l'esecuzione delle campagne di indagini a rifrazione in una prima fase e successivamente, sulla base dei risultati ottenuti, valutare con più attenzione l'ubicazione delle linee a riflessione e le relative modalità di energizzazione ed acquisizione dei dati.

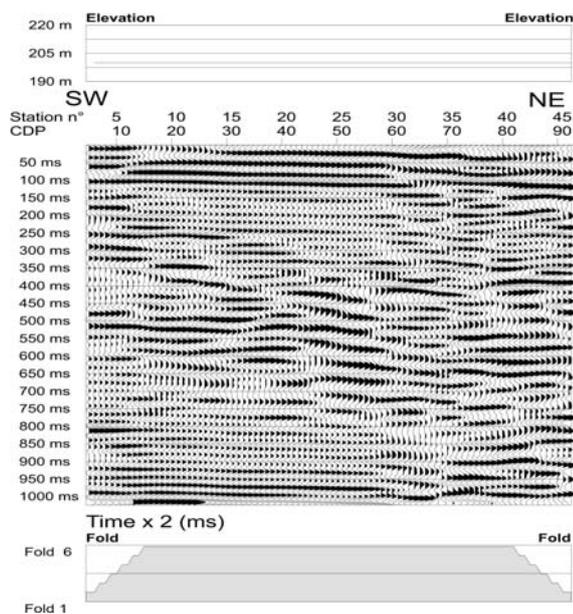
Va segnalato, inoltre, come a Norcia, la scarsa sensibilità del Responsabile di un Istituto scolastico abbia di fatto impedito lo svolgimento delle indagini sismiche, nonostante il D.P.C. si fosse particolarmente attivato nell'informare gli Enti e le Amministrazione Pubbliche sulle cui aree erano state programmate le prove geofisiche delle finalità del Progetto, della sua importanza a fini di Protezione Civile, delle modalità delle prove che sarebbero state eseguite. Ciò ha comportato alcune variazioni nella scelta dei siti e alcuni problemi logistici comunque risolti.

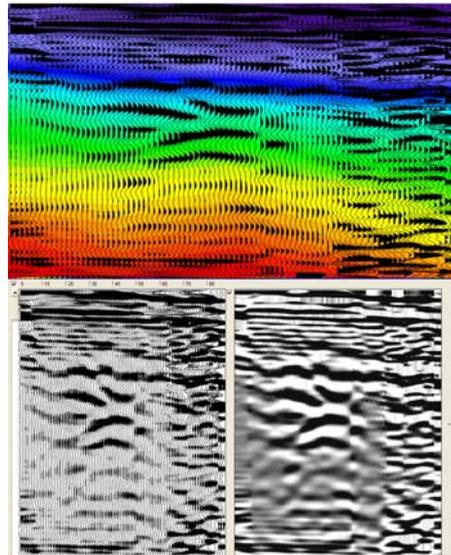
L'ultima questione da sottolineare riguarda il rumore ambientale che si è purtroppo riscontrato nei siti di Ancona centro, di Avezzano di Ancona Rocca Priora (Falconara MM.). Fatta eccezione per quest'ultima, vicina alla Raffineria Api dove i disturbi legati a impianti "rumorosi" risultano



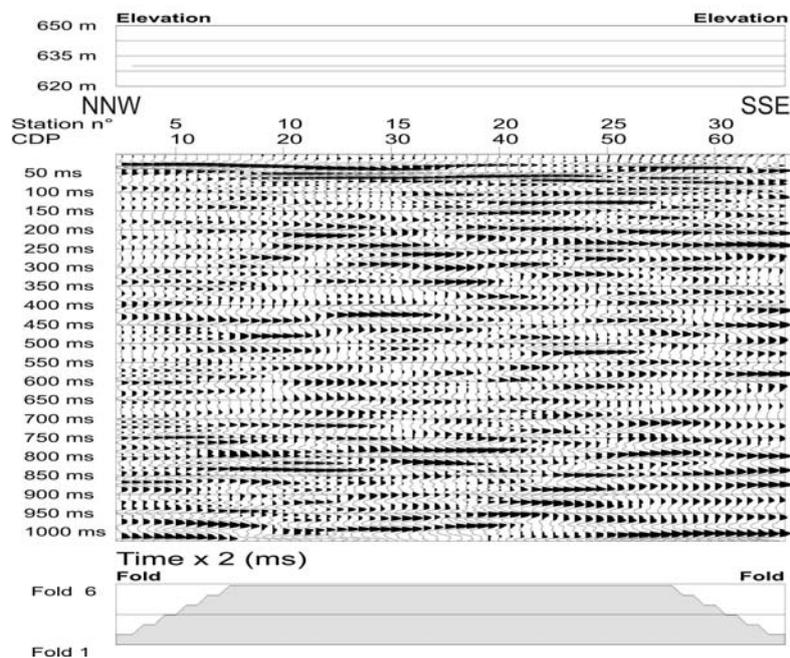
Le sezioni sismiche a riflessione hanno consentito un'ottima ricostruzione delle geometrie del sottosuolo e fino a profondità significative e di interesse. Nel presente rapporto, a titolo esemplificativo, vengono allegate alcune sezioni stack finali e per la linea Bevagna anche una serie di elaborazioni.

Sezione STACK - Bevagna

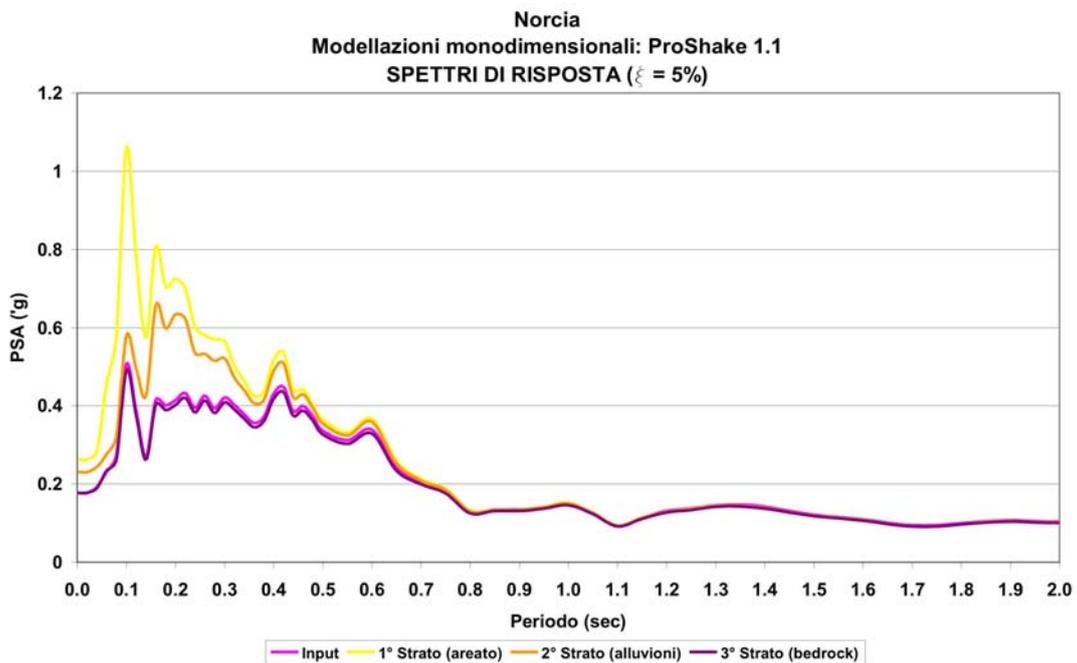
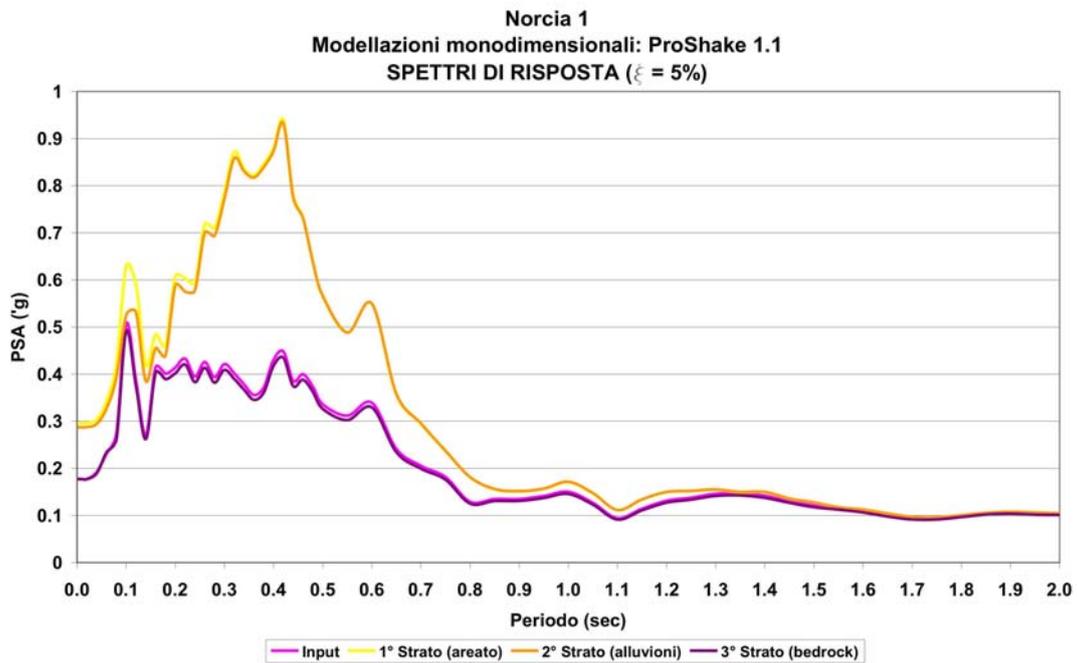




Sezione STACK - Norcia



Sulla base dei risultati ottenuti, abbiamo inoltre ritenuto interessante, procedere a valutazioni speditive della risposta sismica locale 1D attraverso codice di calcolo Pro-shake (Idriss, 1992), utilizzando accelerogrammi spettrocompatibili con le zone in esame e scalati al PGA fornito dalla Banca dati del S.S.N. Qui di seguito vengono allegati alcuni output ottenuti sul sito di Norcia.



I dati ottenuti sono quantomeno interessanti; alcune aree mostrano sensibili amplificazioni. Sarebbe pertanto auspicabile, un confronto coordinato con le altre UU.RR. anche su tale problematica.



Bibliografia:

ANIBALDI A., MASSETANI A., PELLEGRINI F., RAINONE M.L. & SIGNANINI P. (1994) - *Un'applicazione della metodologia sismica a riflessione ad alta risoluzione con onde SH per lo studio dei versanti instabili*. Atti 13° Convegno Nazionale di Geofisica della Terra Solida. Roma.

BARSANTI P., D'INTINOSANTE V., FERRINI M., SIGNANINI P. – 2000, *Note sulla sismica a rifrazione con onde di taglio per la caratterizzazione sismica dei terreni*. Atti del XIX Convegno Nazionale GNGTS, Roma.

CALOSI E., CANCELLI A., FERRINI M., FOTI S., LO PRESTI D., LUZI L., PALLARA O., POCHINI A., PUCCINELLI A., RAINONE M.L., & SIGNANINI P. (2001) – *Geological and Geotechnical investigations for the seismic response analysis at Castelnuovo Garfagnana in Central Italy*, XV ICSMGE, Special Volume. Istanbul.

CHERUBINI C., D'INTINOSANTE V., FERRINI M., RAINONE M.L., PUCCINELLI A., D'AMATO AVANZI G., SIGNANINI P. & VESSIA G. – 2004, *Valutazione della risposta sismica locale attraverso l'applicazione di metodologie multidisciplinare comparate: gli esempi di Fivizzano e Licciana Nardi (Toscana Settentrionale)*. XI Congresso Nazionale "L'ingegneria Sismica in Italia", Genova 25-29 gennaio 2004.

FERRINI M., LO PRESTI D., LUZI L., PERGALANI F., PETRINI V., POCHINI A., PUCCINELLI A., RAINONE M.L., SCIARRA N. & SIGNANINI P. (2001) – *Evaluation of site effects for land use planning in some municipalities of Tuscany Region*. XXVI General Assembly of EGS. Nizza. Francia. Vol. Abs.

GASPERINI M., F. GIORGETTI, M. L. RAINONE & P. SIGNANINI (1994) - *SH wave high resolution and ultra high resolution reflection prospecting: some examples*. Atti 1st European Congress on Regional geological Cartography and Information System - Bologna 13-16 giugno.

IDRISS I.M. & SUN J.I. – 1992, *SHAKE91: A computer program for conducting equivalent linear seismic response analyses of horizontally layered soil deposits*. User's Guide, University of California, Davis, California, 13 pp.

MC CORNACK M.D., DUMBAR J.A. & SHARP W.W., 1984. *A case study of stratigraphic interpretation using shear and compressional data*. Geophysics, 49, 5, 509-520.



MILKEREIT B., STÜMPPEL H., RABEL W., 1986. *Shear waves reflection profiling for near surface lignite exploration*. Geophys. Prosp., 34, 45-67.

RAINONE M.L., N. SCIARRA & P. SIGNANINI (1994) - *Geophysical methods for the study of landslides: some applications*. Atti 7th IAEG Congress, 5-9 Settembre. Lisbona.

RAINONE M.L., SIGNANINI P. & SCIARRA N. (2001) - *Evaluation of local effects in the study on seismic risk reduction: discussion about the resolution capability of the updated techniques*. Proceedings of Symposium on Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems (SAGEEP 2001).Febbraio 2001, Denver. Colorado.

RAINONE M.L., P. SIGNANINI, F. PIZZICA, R. MADONNA, P. TORRESE, V. D'INTINOSANTE , M. FERRINI (2007); *Applicabilità delle tecniche di sismica a rifrazione in onde sh per la valutazione della risposta sismica locale* ANIDIS 2007 – XII Convegno Nazionale “L’Ingegneria sismica in Italia” PISA – 10-14 GIUGNO 2007

REGIONE TOSCANA – Dipartimento Politiche Ambientali e Territoriali – Servizio Sismico Regionale – 2006, *Istruzioni tecniche per le indagini geologiche, geofisiche, geognostiche e geotecniche per la valutazione degli effetti locali nei comuni classificati sismici della Toscana*. VOLUME 1B Criteri, metodologie, modalità di presentazione delle indagini e degli elaborati. “Progetto VEL” in Garfagnana, Lunigiana, Valtiberina, Casentino, Mugello ed Amiata.

STÜMPPEL H., KÄLER S., MEISSNER R., 1984. *The use of seismic shear waves and compressional waves for lithological problems of shallow sediments*. Geophys. Prosp., 32, 662-675.

ZOEPPRITZ K. – 1919, *Erdbebenwellen VIII B, Über Reflexionsband durchgang seismischer wellen durch unstetigkeitslachen*, Gottinger Nachr. 1, pp. 66-84.



Alcune unità di ricerca di altri progetti hanno ricevuto un'integrazione di fondi per svolgere indagini per conto del progetto S6. Per la rendicontazione consultare:

- progetto S4 - UR7 UNIROMA1 (resp. Prof. Cardarelli)
- Progetto S3 - UR11 UNIROMA1 (resp. Prof. Scarascia Mugnozza)