



## **Progetto S4- Stima dello scuotimento in tempo reale e quasi-reale per terremoti significativi in territorio Nazionale.**

*Responsabili: Daniele Spallarossa (Università di Genova) e Luca Malagnini (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia)*

**Rendiconto prima fase di attività (1 giugno 2005 - 30 giugno 2006)**

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

Una ShakeMap non è altro che un'immagine georeferenziata che rappresenta lo scuotimento sismico a scala regionale ottenuto attraverso l'interpolazione dello scuotimento del terreno realmente osservato (accelerazione di picco, oppure velocità di picco, ovvero accelerazione spettrale a una frequenza fissata, etc.). La ShakeMap è prodotta in modo rapido ed automatico utilizzando tutti i dati accelerometrici e sismometrici disponibili, e tutte le conoscenze sismologiche acquisite per la regione in cui ShakeMap è applicato (caratteristiche di attenuazione regionale, geologia di superficie, etc.). L'obiettivo primario del progetto S4 riguarda l'implementazione e la validazione del programma di calcolo ShakeMap (Wald et al., 1999), per quanto riguarda i terremoti che si possono verificare sul territorio nazionale, ed in zone ad esso limitrofe. Il progetto è suddiviso in cinque Task, ed è articolato nelle seguenti attività:

- Integrazione delle reti di monitoraggio regionali, sismometriche ed accelerometriche, afferenti alle istituzioni partecipanti al progetto;
- Sviluppo ed implementazione di procedure mirate al calcolo rapido dei parametri di sorgente;
- Sviluppo ed implementazione a scala regionale di equazioni per la previsione dello scuotimento del terreno;
- Determinazione degli effetti della geologia di superficie, per la correzione dei dati osservati, e per la loro "propagazione" sulla porzione del territorio nazionale interessata dall'evento sismico.

Particolare attenzione è dedicata alle attività indirizzate a garantire la sicurezza e l'affidabilità delle procedure che si vogliono predisporre e alla diffusione e disseminazione dei risultati.

Il progetto S4 ha una durata troppo breve per garantire lo sviluppo di procedure automatiche affidabili entro la data della sua conclusione, che siano direttamente utilizzabili dalla protezione Civile; più realisticamente, si prevede di poter sviluppare e validare un insieme di procedure per il calcolo di ShakeMaps che potrà rappresentare un utile strumento per i sismologi impegnati nelle attività di monitoraggio della sismicità del territorio italiano. Tuttavia, a fine progetto, la Protezione Civile beneficerà direttamente delle attività condotte.

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

Gli obiettivi principali del progetto S4 riguardano la sperimentazione e la validazione di tutte le procedure necessarie alla produzione di mappe di scuotimento in tempo quasi reale, da ottenersi utilizzando il codice ShakeMap. Per tale motivo, lo stato di avanzamento generale del progetto verrà qui di seguito descritto attraverso una breve esposizione dello stato di avanzamento delle attività relative alle varie fasi necessarie alla produzione di una ShakeMap. Nei paragrafi successivi verranno invece dettagliatamente descritte le attività condotte nell'ambito dei singoli Task.

### **Elaborazione di ShakeMap presso il centro dati del Centro Nazionale Terremoti (CNT): - DATI SISMOMETRICI E VELOCIMETRICI IN TEMPO REALE**

Prima di entrare nel dettaglio sulla disponibilità, alla fine del primo anno di attività, dei dati sismici in tempo reale per il calcolo delle ShakeMaps e più in generale per tutte le attività previste nel progetto S4, appare necessario riassumere brevemente le peculiarità delle attività di monitoraggio sismico in Italia.

È ben noto che in Italia convivono due reti di monitoraggio sismico a scala nazionale: la rete di sorveglianza nazionale (RSND) gestita dall'INGV e la rete accelerometrica nazionale (RAN) gestita dall'Unità Servizio Sismico Nazionale del Dipartimento della Protezione Civile (USSN). In linea teorica, nonostante la quasi totale sovrapposizione territoriale, le due reti dovrebbero avere funzioni diverse tra loro, e tra loro complementari.

Senza entrare nei dettagli tecnici, occorre specificare le caratteristiche principali delle due reti sismiche. Attualmente, la RAN è costituita da 131 stazioni analogiche e 161 stazioni digitali (**Figura 1**) dotate (quasi tutte) di accelerometri "strong motion". Tuttavia, per la quasi totalità di esse non è prevista una acquisizione e trasmissione del segnale sismico in tempo reale: in caso di evento sismico significativo il dato sismico (sia quello parametrico che la forma d'onda) viene trasmesso al RAN DATA CENTER attraverso tecnologia GSM.

Occorre sottolineare che la RAN è in fase di profonda ristrutturazione ed ammodernamento: nella sua configurazione finale, essa sarà dotata di 400 stazioni, tutte digitali. Nel corso degli ultimi anni, anche la rete di sorveglianza nazionale dell'INGV ha subito profonde mutazioni e sostanziali miglioramenti, che hanno portato alla nascita della Rete Sismica Nazionale Digitale (RSND). Allo stato attuale la RSND è costituita da circa 120 stazioni sismiche (**Figura 2**), tutte equipaggiate con sismometri BB weak-motion (alcune di esse sono dotate anche di accelerometro). Il dato sismico viene trasmesso in tempo reale al centro dati del Centro Nazionale Terremoti (CNT) dell'INGV.

Alla luce di quanto appena descritto, appaiono evidenti quali dovrebbero essere i diversi obiettivi delle due reti sismiche di monitoraggio a scala nazionale, ed emerge chiaramente la necessità di una integrazione tra esse. Anche la RSND sta rapidamente evolvendo verso una rete di sorveglianza moderna: la sua attuale configurazione e le sue caratteristiche tecniche la rendono particolarmente adatta alla detenzione degli eventi sismici, alla localizzazione di essi ed alla caratterizzazione della sorgente sismica.

Appare molto probabile che, durante terremoti di energia medio alta (5.5-6.0), molte stazioni della rete RSND ubicate in prossimità della sorgente sismica saranno affette da saturazione. La disponibilità dei dati accelerometrici rimane quindi di fondamentale importanza per una stima affidabile del moto del suolo in condizioni di scuotimento severo, e per vincolare opportunamente il modello di sorgente sismica.

Di grande importanza per il progetto è anche la Rete Accelerometrica del Friuli (RAF) che, pur essendo direttamente finanziata dalla Protezione Civile (Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia – Direzione Regionale della Protezione Civile) viene gestita dall'Università di Trieste: essa è costituita da 14 accelerometri digitali ed è dotata di trasmissione in continuo del segnale sismico.

Allo stato attuale, per problemi principalmente tecnici collegati al funzionamento della RAN, ma anche di altro ordine (ad esempio vincoli contrattuali che impongono dei limiti alla disseminazione dei dati accelerometrici), i dati della RAN non sono stati resi disponibili, e quindi non possono essere utilizzati per la realizzazione di ShakeMaps. Nonostante le avversità appena citate, nell'ambito delle attività del Task 1, sono state già state specificate e concordate con il SSN tutte le procedure per inserire nel data base INGV sia tutte le registrazioni in tempo reale (accelerogrammi), sia tutti i dati parametrici relativi ai valori di scuotimento di picco che vengono trasmessi dalle stazioni RAN via

GSM. Da parte di S4, tutte le procedure di scambio dati con la RAN sono state già realizzate, come pure è stato messo a punto tutto l'hardware necessario all'operazione di integrazione del data base, e siamo soltanto in attesa dell'apertura del collegamento da parte della RAN. Ad oggi, il database di dati sismologici in tempo reale direttamente utilizzabili per le attività previste da S4 ed in particolare per il calcolo di ShakeMap è quindi costituito dai soli contributi delle reti gestite direttamente da INGV, UniGe (circa 120 stazioni), dalla rete MedNet (19 stazioni), e da quelli provenienti da enti preposti al monitoraggio di alcune nazioni confinanti con l'Italia (Svizzera 8 stazioni; Francia e Austria 2 stazioni; Slovenia 1 stazione).

Alla luce della situazione attuale è altamente probabile che la mancanza dei dati accelerometrici della RAN sia destinata a perdurare per tutto il prosieguo del progetto S4, mentre, attraverso il centro di calcolo della Protezione Civile del Friuli-Venezia Giulia di Palmanova, sarà forse possibile ottenere il dato accelerometrico in tempo reale delle stazioni sismiche gestite dal Dipartimento di Scienze della Terra di Trieste (rete RAF), e dal Centro Ricerche Sismologiche (CRS) dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale (INOGS). D'altra parte, nel caso di eventi sismici significativi, è già possibile accedere ("on demand") a dati strong motion: 12 stazioni della rete RSND sono dotate anche di un accelerometro Kinematics K2 (quadrati rossi in Figura 1). È previsto inoltre, di estendere l'installazione di accelerometri, in aggiunta ai velocimetri, a tutte le stazioni RSND dotate di trasmissione satellitare del segnale sismico (circa 80).

Per quanto riguarda la creazione dell' "Integrated Italian Seismic Network" ovvero di un portale web (<http://www.iisn.org>) dedicato alla distribuzione di dati sismologici e nel cui ambito le ShakeMaps potranno essere presentate al mondo esterno, è stato riservato il dominio iisn.it, ed è stata avviata la fase di progettazione del portale (definizione dei contenuti e delle modalità di accesso).

La realizzazione dell'IISN, pur non essendo strettamente necessaria alla realizzazione dei principali obiettivi del progetto, rappresenta una iniziativa molto importante per lo sviluppo della ricerca sismologia italiana, in particolare per lo sviluppo della cooperazione tra tutti gli enti coinvolti nel monitoraggio sismico. A prescindere della disponibilità del dato accelerometrico della RAN, dunque, l'IISN verrebbe comunque realizzata e, dopo la scadenza di S4, rimarrebbe comunque funzionante, almeno per quanto riguarda i contributi al progetto portati da INGV e da UniGe. Data l'importanza di tale argomento esso viene trattato separatamente, alla fine di questo paragrafo.

L'importanza della disponibilità del dato accelerometrico nel campo del monitoraggio sismico prescinde dalle finalità specifiche del progetto S4: anche se uno dei suoi più importanti obiettivi risiede nello sviluppo di attività indirizzate allo scambio dati in tempo reale, il processo di integrazione tra la rete RAN e la rete RSND dovrà essere affrontato e risolto a livello istituzionale.

#### **- CARATTERIZZAZIONE DELLA SORGENTE SISMICA IN TEMPO QUASI-REALE**

- Localizzazione ipocentrale:
  - I metodi "tradizionali" basati su modelli 1D sono già in uso e ampiamente sperimentati; sono in via di sperimentazione tecniche basate su modelli di velocità tridimensionali di tutto il territorio Italiano, ottenuti con tecniche tomografiche.
  - Metodi "non tradizionali": è stato installato ed automatizzato il software di localizzazione NonLinLoc, basato su metodi di ricerca globale.
- Calcolo della magnitudo e del momento sismico:
  - Magnitudo locale: viene calcolata automaticamente utilizzando sia i dati della rete RSND, sia quelli delle reti regionali.
  - Magnitudo momento ( $M_w$ ): viene attualmente calcolata utilizzando diversi metodi. Presso il centro dati del Centro Nazionale Terremoti sono state implementate diverse procedure basate sull'inversione del tensore momento:
    - Codice sviluppato da Dreger: elaborazione automatica;
    - Codice sviluppato da Domenico Giardini e utilizzato presso l'ETH di Zurigo: elaborazione off-line;
    - Regional Centroid Moment Tensor (RCMT): elaborazione off-line. La partecipazione attiva al progetto S4 del gruppo che si occupa di utilizzare queste tecniche, che era stata richiesta anche dal Comitato di Revisione, era stata prevista per il secondo anno di vita di S4. Si è deciso che tale gruppo dovrà afferire alla UR1 (INGGV-CNT), e dovrà essere previsto un finanziamento accessorio di circa diecimila euro da mettere a disposizione di

tale gruppo. Si porta all'attenzione del lettore che questi fondi potranno essere presi dalle rimanenze del finanziamento del primo anno della UR1.

Presso il Centro Elaborazione Dati della Rete Sismica dell'Italia Nord Occidentale e' in via sperimentazione una procedura automatica per la stima di  $M_w$  calcolata sulla base dell'analisi delle onde di coda. Per la seconda meta' di Giugno 2006, e' prevista una riunione del gruppo intra-UR che si occupa di propagazione regionale, per la possibile installazione del modulo sviluppato da Malagnini per il calcolo automatico della  $M_w$  basato sulla correzione degli spettri delle onde S dirette per la propagazione regionale, e per la distorsione dovuta agli effetti della geologia di superficie.

#### **- SHAKEMAP**

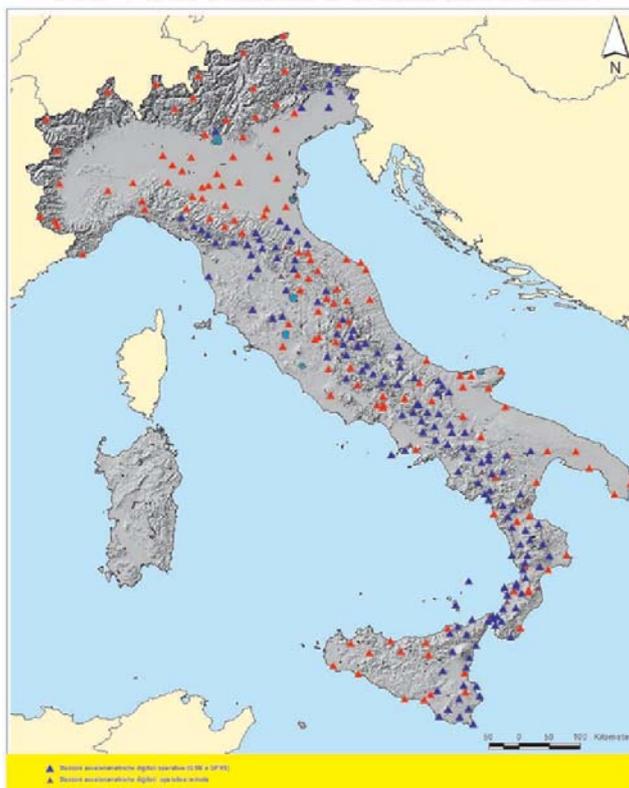
Ad oggi e' gia' stato installato ed automatizzato il software ShakeMaps sia presso il centro dati del Centro Nazionale Terremoti dell'INGV sia presso il Centro Elaborazione Dati della rete RSNI (UniGe). Nella sua configurazione attuale ShakeMaps utilizza sia leggi di attenuazione "strong motion" (Ambraseys et al.; 1996; Sabetta e Pugliese 1996), sia leggi di attenuazione a validità regionale calibrate su dati "weak motion" (Mercuri et al., 2006) sviluppate all'interno del presente progetto. Le mappe di scuotimento così generate sono comprensive degli effetti di amplificazione locale, calcolati sulla base di una preliminare classificazione georeferenziata tipo Eurocode del territorio nazionale prodotta nell'ambito del progetto GNDT 2001-2004 coordinato dal Dr. Amato.

#### **Altre attività non presenti nel progetto originale:**

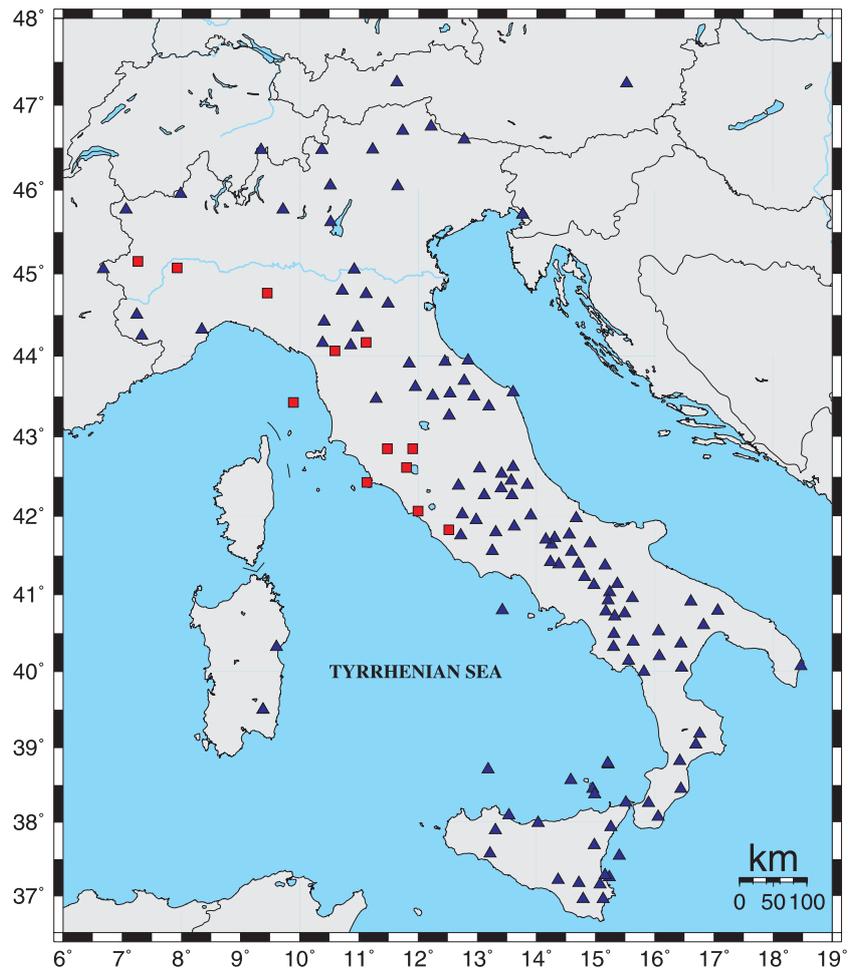
Il Comitato di Coordinamento aveva anche suggerito l'inserimento di procedure tipo: "Did you feel it?", da aggiungere alle attività del Task 3. Come spiegato successivamente, tali procedure sono state integrate nel progetto a costo zero per il primo anno. Per il secondo anno, dovranno essere previsti:

1. un borsista, su fondi DPC;
2. un finanziamento di 15000 Euro, per fare fronte alle esigenze finanziarie del gruppo di ricerca (3 persone).

## RAN RETE ACCELEROMETRICA NAZIONALE



**Figura 1.** Geometria della Rete Accelerometrica Nazionale (RAN). I triangoli rossi rappresentano le stazioni accelerometriche analogiche operative; i triangoli blu le stazioni accelerometriche digitali operative.

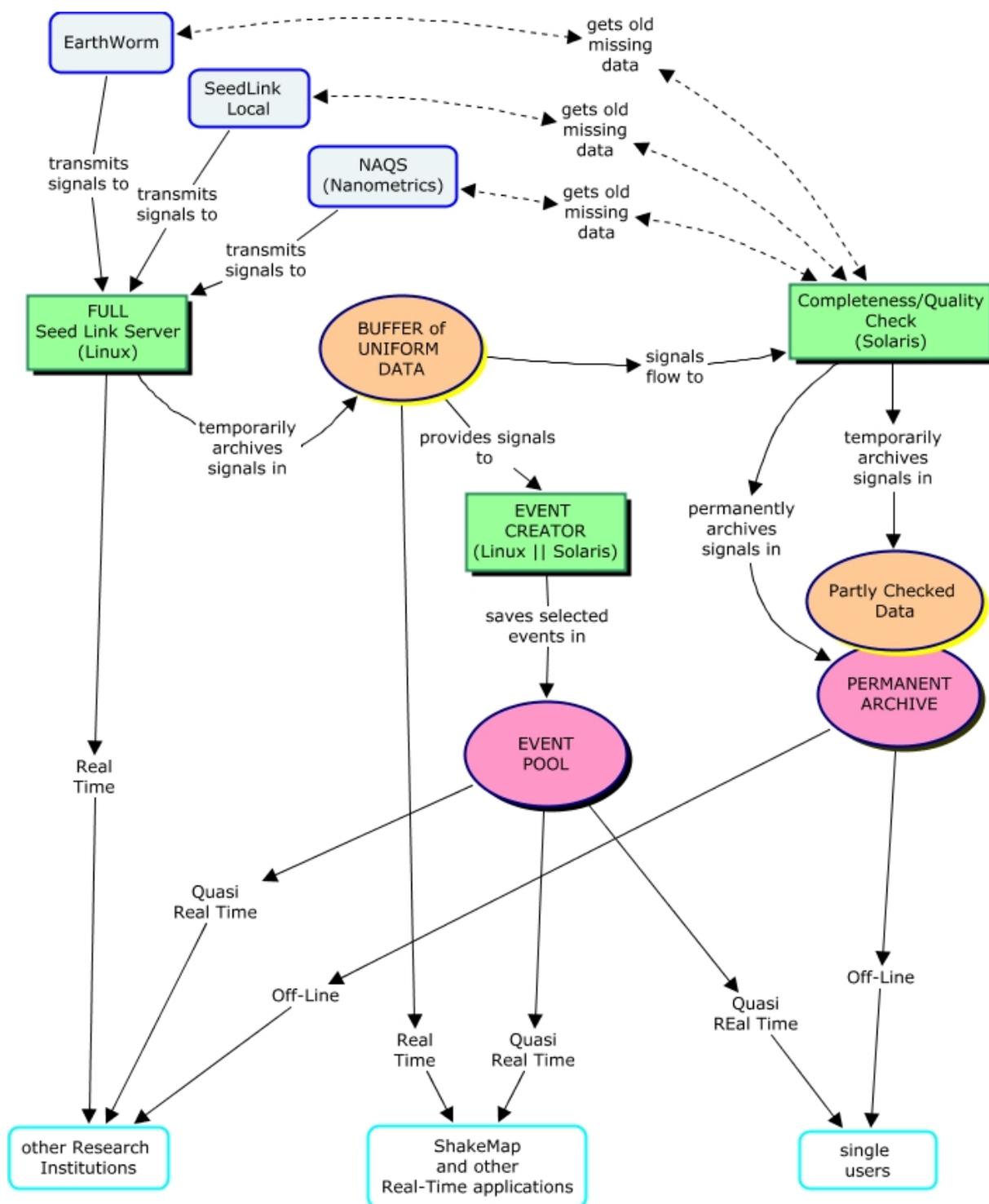


**Figura 2.** Geometria della Rete Sismica Nazionale Digitale (RSND). I quadrati rossi indicano le stazioni dotate anche di accelerometro.

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

### **Task 1: Organizzazione, integrazione e scambio dati (Responsabili: S. Mazza e F. Mele)**

Lo scopo del *task* è quello di rendere disponibile, in modo organico e veloce, il maggior numero di informazioni possibili per la stima dello scuotimento in tempo reale e quasi-reale di eventi sismici italiani rilevanti. Le attività del primo anno sono state dedicate sia al miglioramento della trasmissione dei dati sismometrici in tempo reale, sia alla progettazione e sviluppo del database sismologico necessario per il funzionamento delle procedure per l'elaborazione di Shakemap. In particolare, nei primi mesi di attività è stato elaborato e definito il progetto dell'intero sistema di archiviazione, verifica e distribuzione dei segnali operante presso il centro dati del Centro Nazionale Terremoti (CNT), sintetizzato in Figura 3. Caratteristica principale del sistema è la sua "reciprocità", ovvero la sua capacità di operare sia come ricevitore di segnali provenienti da altre istituzioni, sia come distributore di segnali verso altre istituzioni.



**Figura 3.** Schema del progetto per la ricezione, archiviazione e distribuzione dei dati in tempo reale.

Il blocco *SeedLink Local* indica l'insieme di tutte le fonti di dati, costituite da un *SeedLink server*, che forniscono segnali già in formato *Mseed*. Il blocco *NAQS* indica le fonti di dati in formato *Nanometrics* (ricevuti tramite connessione satellite oppure tramite connessione internet). Il blocco *EarthWorm* indica le fonti di segnali che giungono in sede appoggiandosi sul sistema *EarthWorm*. Secondo il progetto il sistema fornisce in primo luogo segnali continui in tempo reale (*Full SeedLink Server*) a utenti privilegiati (siano essi istituzioni italiane o estere, oppure procedure che operano localmente come *ShakeMap*); in secondo luogo il sistema fornisce segnali selezionati (a eventi) in

tempo quasi-reale (*Event Pool*). I singoli utenti (ricercatori di tutti gli enti di ricerca) hanno poi accesso sia ai segnali continui rivisti (*Permanent Archive*) che ai segnali selezionati per evento (*Event Pool*).

#### ***Storage***

La preventivata Storage Area Network (SAN) è stata modificata in NAS (Network-Attached Storage): un sistema centralizzato cui si può accedere via IP su rete LAN non separata. Il NAS è attualmente in fase di testing. L'infrastruttura è stata realizzata nella sua parte iniziale: uno storage di 15 TB comprensivo di servers che ne gestiscono funzionamento e accesso via rete. A breve il sistema NAS verrà messo in produzione e andrà a sostituire l'attuale storage del sistema di acquisizione in sala sismica.

#### ***Data Base***

Sono state realizzate e popolate le parti di data-base relative ai parametri di stazione e strumentali. E' in corso di popolamento la parte di data-base relativa ai parametri di sorgente (epicentri e magnitudo); in particolare, sono stati inclusi nel data-base gli epicentri estratti dal Bollettino Sismico INGV dal gennaio 1980 all'aprile 2005.

E' già stata progettata ed è in corso di realizzazione la procedura di immissione nel Data-Base di dati parametrici d'evento operante in tempo reale. Alcune parti della stessa procedura verranno riutilizzate per l'immissione nel Data-Base anche dei dati parametrici d'evento rivisti (sala sismica e Bollettino). Riguardo alle forme d'onda, è stata realizzata una procedura per l'archiviazione in tempo reale, organizzata in file-system, di forme d'onda in formato SAC selezionate (a eventi). Non è ancora realizzata l'organizzazione delle forme d'onda (continue e a eventi) nel data-base.

#### ***Scambio dati in tempo reale***

Sono stati definiti i protocolli di scambio di segnali tra reti nazionali, regionali, locali ed estere: prevalentemente nel formato MSEED, avvalendosi in parte di procedure standard già disponibili (ad esempio *SeedLink*), in parte di procedure che sono state sviluppate appositamente nell'ambito di S4. Il *FULL SeedLink Server* (Figura 1) è già installato presso il CNT: assicurerà la possibilità di distribuire a tutte le istituzioni interessate i dati di tutte le reti collegate. Il sistema è già funzionante per la rete MedNet ed è sotto test per 22 stazioni della Rete Sismica Nazionale. Riguardo alle stazioni gestite dall'OGS-CRS, è già stata sottoposta a test la trasmissione di segnali in formato MSEED tramite un sistema *Antelope*. Il trasferimento di segnali tra Roma e Unige-Dip.Te.Ris è già funzionante e realizzato in formato *Nanometrics* tramite *Internax*; vengono trasferiti in tempo reale i segnali di tre stazioni Broad Band ed è previsto il completamento entro fine anno della centralizzazione di tutte le stazioni delle Alpi Occidentali e dell' Appennino Settentrionale).

Come già esposto precedentemente, riguardo ai dati della RAN (*Rete Accelerometrica Nazionale*) e della RAF (*Rete Accelerometrici del Friuli*), sono state definite le modalità di trasmissione e scambio di informazioni tra l'INGV e il centro USSN-DPC e il centro della Protezione Civile del Friuli-Venezia Giulia: i picchi di accelerazioni saranno diffusi tramite messaggi di mail e i segnali saranno scambiati in due direzioni tramite connessioni di tipo *SeedLink* tra il *FULL-SeedLink Server* dell'INGV e il sistema *Antelope* dell'USSN. Inoltre lo scambio dati è già attivo con molte Istituzioni di Paesi europei e mediterranei: tramite protocollo *SeedLink* sono acquisite stazioni da Francia, Grecia, Austria, Slovenia, Serbia, Croazia, mentre i dati provenienti da Svizzera e Albania arrivano tramite *Internax*.

***Controllo di completezza/Qualità*** E' stata realizzata presso il CNT, nell'ambito del progetto S4, una procedura automatica per il controllo della qualità dei segnali scambiati tra due sistemi *SeedLink*. In particolare, la procedura permette di verificare la completezza dei segnali ricevuti da un *SeedLink Server* e di ripristinare le parti mancanti tramite una apposita interrogazione del *SeedLink Server* che ha fornito il segnale.

#### ***Distribuzione off-line dei dati a richiesta.***

Il protocollo standard NETDC (formato SEED 2.4), per la gestione automatica delle richieste off-line di forme d'onda e di parametri di stazione è stato attivato unicamente sulle stazioni MedNet.

#### ***Mini-Rete Accelerometrica prototipale a basso costo***

Presso al UR OGS-CRS è in corso di realizzazione una micro-rete accelerometrica prototipale a basso costo. E' stata effettuata una ricerca di mercato per l'individuazione della migliore strumentazione adottabile, sulla base del rapporto qualità/prezzo; è stato deciso di procedere all'acquisto di sensori

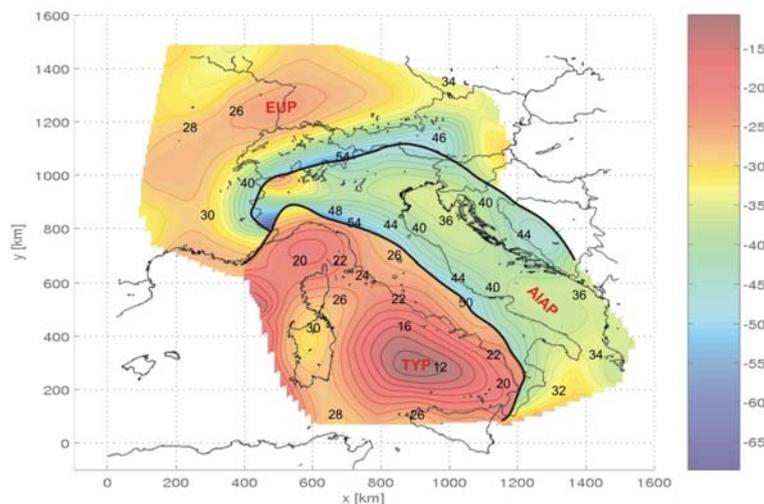
GeoSIG-IA-1, di facile installazione e connessione (permette l'interrogazione via connessione SSH su LAN o WAN). Nell'installazione prototipale, la connessione avverrà tramite ponti radio di tipo *spread-spectrum*.

**Task 2: Definizione di modelli crostali (Responsabile: C. Chiarabba – tomografia – e A. Micheleni – waveform modeling)**

Il principale obiettivo di questo Task consiste nella definizione di modelli di velocità del territorio italiano, da utilizzare in primo luogo nella procedura di determinazione delle caratteristiche della sorgente sismica e, secondariamente, per tentare migliorare l'attendibilità delle localizzazioni. In particolare, è previsto di suddividere il territorio italiano in zone a struttura crostale omogenea, di determinarne il profilo di velocità, e di calcolare le funzioni di Green per i vari meccanismi di dislocazione fondamentali. Questa attività del task 2 è di particolare rilevanza per il calcolo del tensore momento sismico per terremoti di magnitudo inferiore a  $M=4$ , ove è fondamentale la modellazione accurata delle forme d'onda ad "alta" frequenza (fino a 0.1 Hz o superiore). Le attività della task 2 possono essere suddivise in tre filoni di studio principali:

***Integrazione di dati di sismica attiva e passiva in un modello 3D della Moho in Italia***

È stata implementata una procedura che consente la stima della profondità della Moho e delle velocità crostali dall'utilizzo congiunto di dati di sismica attiva (i numerosi profili sismici CSS, CROP, etc) e le informazioni sulla struttura ricavabili da dati topografici. I valori di profondità della Moho e di velocità crostale delle onde P provenienti dai dati di sismica attiva e passiva, debitamente pesati in funzione della qualità, vengono processati per ricavare una mappa 3D della profondità della Moho. Il punto di partenza è rappresentato dalla mappa delle profondità della Moho (Figura 4, Di Stefano, 2005) nel Mediterraneo centrale, ottenuta dall'integrazione di tutti i dati di sismica attiva pubblicati, per i quali sia stato possibile verificare sia la qualità del dato di base sia i limiti dell'interpretazione proposta. La redazione della mappa della Moho è stata inoltre realizzata utilizzando i risultati di uno studio tomografico attualmente in corso, finalizzato alla realizzazione di un modello tomografico P ad alta risoluzione (Di Stefano et al., 2006). Nell'ambito del presente progetto, tale modello, e in particolare la mappa delle profondità della Moho, verrà utilizzato per la regionalizzazione dei modelli di velocità utilizzati per l'inversione delle forme d'onda.

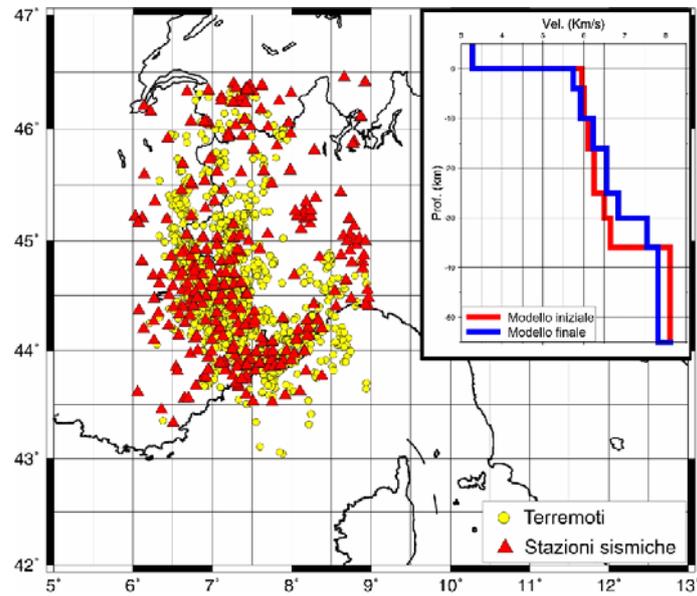


**Figura 4.** Mappa della Moho ed isolinee della sua topografia, per le tre maggiori unità litosferiche individuate nella regione.

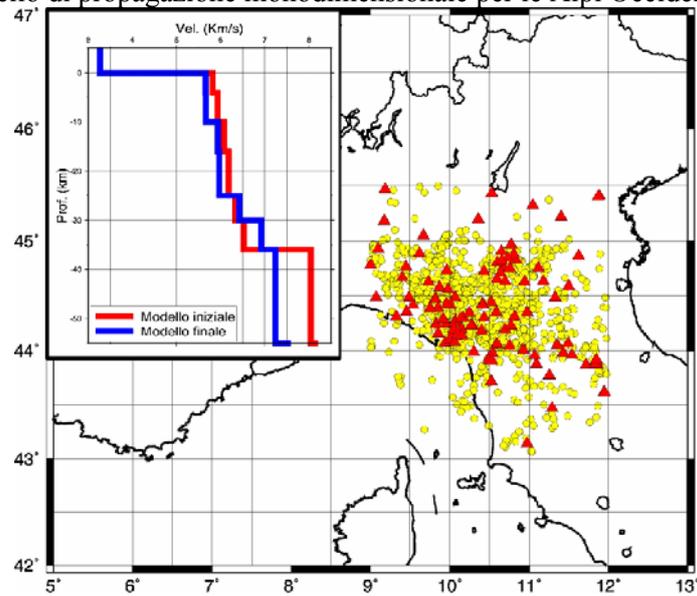
***Definizione di modelli di propagazione 1D e 3D della litosfera***

Per alcuni settori del territorio nazionale, utilizzando l'inversione dei tempi di arrivo di fasi sismiche locali ed altre informazioni, sono stati ottenuti modelli di propagazione monodimensionali. In Figura 5a e 5b sono riportati i modelli di propagazione ottenuti per le Alpi Occidentali e per l'Appennino Settentrionale utilizzando un ampio data set completato di tutti i dati derivanti anche da installazioni di reti temporanee. In Figura 6 è riportata una zonazione dell'Italia nord-orientale ottenuta sulla base di

risultati di inversione tomografica e di altre informazioni geologiche e sismologiche. Per ciascuna zona (6 zone) è stato definito un modello geofisico monodimensionale suddiviso in 4/5 intervalli di profondità da 0 a 35/40 km per i quali sono stimati velocità  $V_p$ , rapporto  $V_p/V_s$ , densità e fattori di qualità  $Q_p$  e  $Q_s$ .



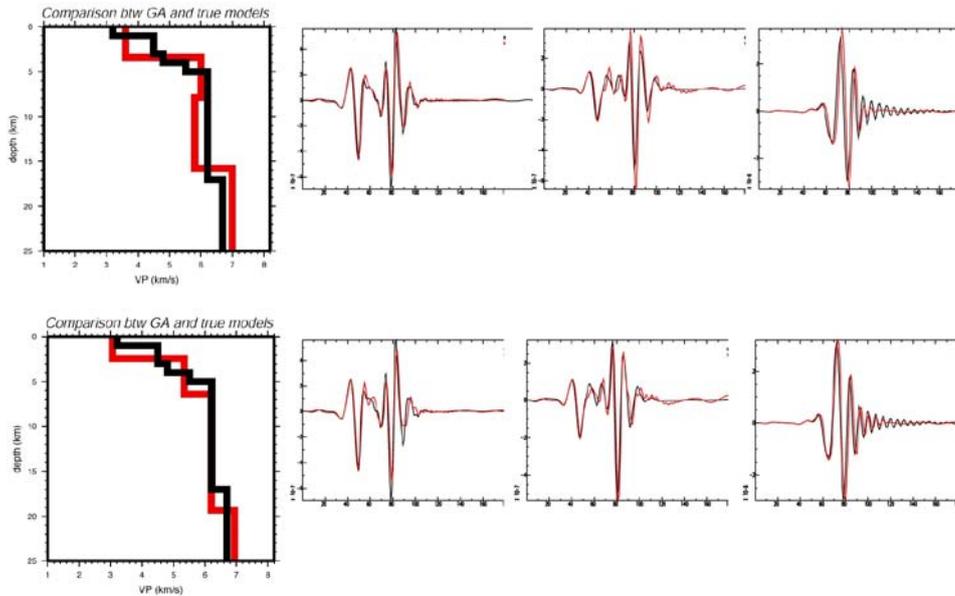
**Figura 5a.** Modello di propagazione monodimensionale per le Alpi Occidentali.



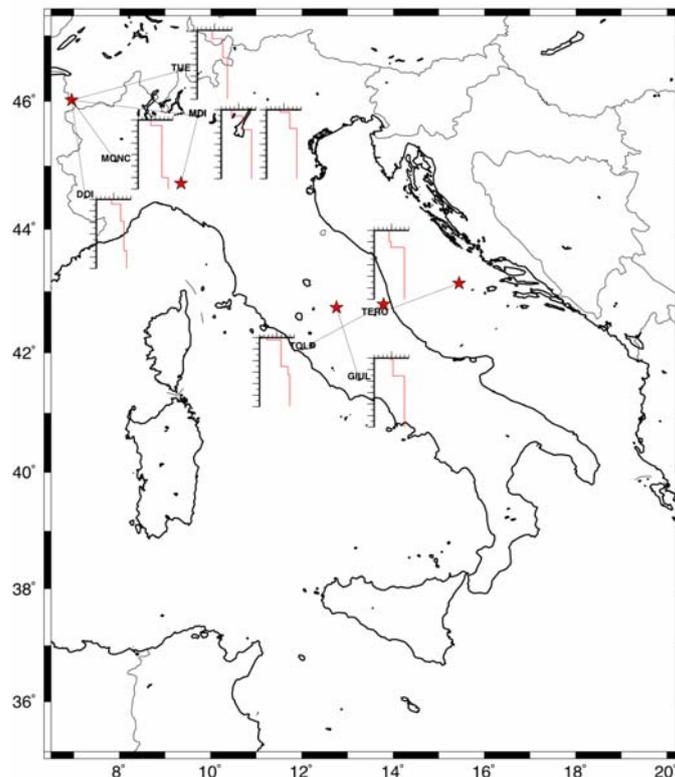
**Figura 5b.** Modello di propagazione monodimensionale per l'Appennino Nord Occidentale.



stazioni a larga banda permanenti della rete



**Figura 7.** Risultati del “blind test” effettuato con il Prof. Doug Dreger (U. C. Berkeley). La linee di color nero corrispondono al modello (incognito) ed ai sismogrammi (forniti) provvisti da Dreger per il test. Il fit tra sismogrammi osservati (nero) e quelli calcolati (rosso) è molto buono. La struttura litosferica viene parametrizzata imponendo un modello costituito da 4 parametri di velocità delle onde-P, 3 parametri per lo spessore degli strati e un valore di  $V_p/V_s$ . La sorgente era posta ad 8 km di profondità e ad una distanza di 175 km dal ricevitore. Il fit è stato fatto nel range di frequenza 0.02-0.1 Hz.



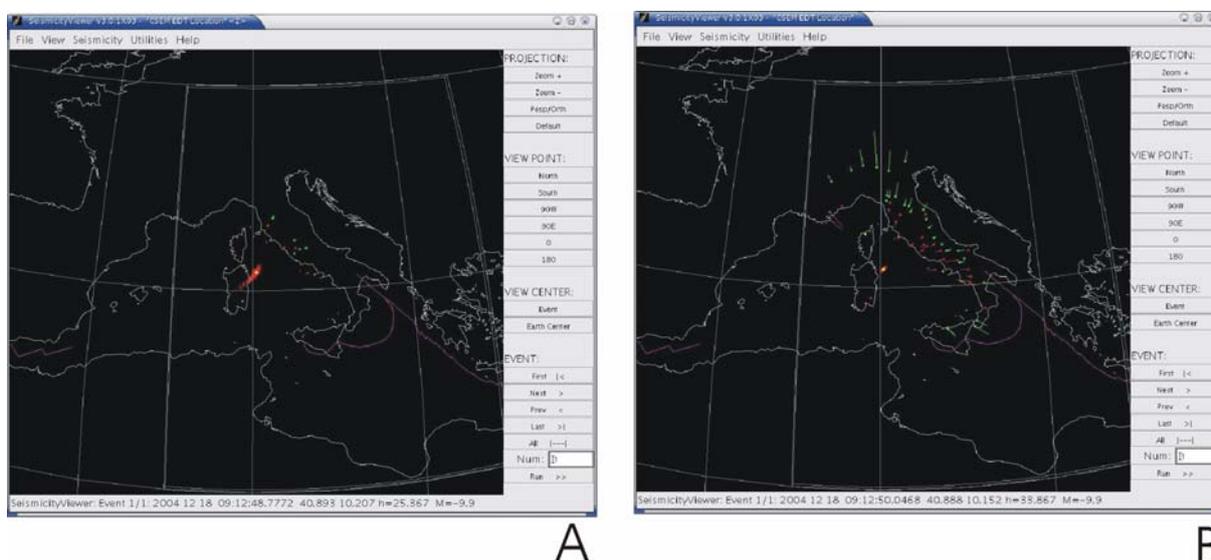
**Figura 8.** Alcuni dei tragitti per i quali sono state calcolate le strutture di velocità dall’inversione con l’algoritmo genetico delle forme d’onda.

**Task 3: Stima rapida delle caratteristiche della sorgente sismica, implementazione di ShakeMap e verifica del suo funzionamento, apertura del portale [www.iisn.org](http://www.iisn.org) (Responsabile: A. Michelini)**

L'attività di questo task è centrale per la realizzazione del progetto. La parte principale del task è costituita dalla realizzazione delle mappe di scuotimento (ShakeMap). Il task, tuttavia, prevede l'implementazione di importanti procedure sia strumentali a quella delle ShakeMap (es. localizzazione ipocentrale), sia corollarie ad esse, molto importanti per la corretta caratterizzazione dell'evento sismico.

***Implementazione/installazione software per la determinazione delle localizzazioni mediante approcci di ricerca globale della soluzione***

Presso il centro elaborazione di CNT e' stato implementato ed automatizzato il software di localizzazione NonLinLoc (Lomax, et al., 2000; Lomax, et al., 2001; Lomax, 2005; <http://www.alomax.net/nlloc>; NLL di seguito) ed il relativo software di visualizzazione della localizzazione (SeismicityViewer, Lomax, 2005). I risultati della localizzazione vengono visualizzati utilizzando rappresentando la funzione "densità di probabilità della localizzazione" mediante punti a densità variabile. Un esempio e' riportato in Figura 9.



**Figura 9.** Esempio di localizzazione mediante il programma NLLoc di un evento (200412180912) al largo di Olbia (Sardegna). A) localizzazione con le prime stazioni che registrano l'evento sulla parte tirrenica della penisola, B) localizzazione con un numero maggiore di stazioni.

***Implementazione/installazione software per la localizzazione relativa, ad alta risoluzione, degli eventi di una sequenza sismica.***

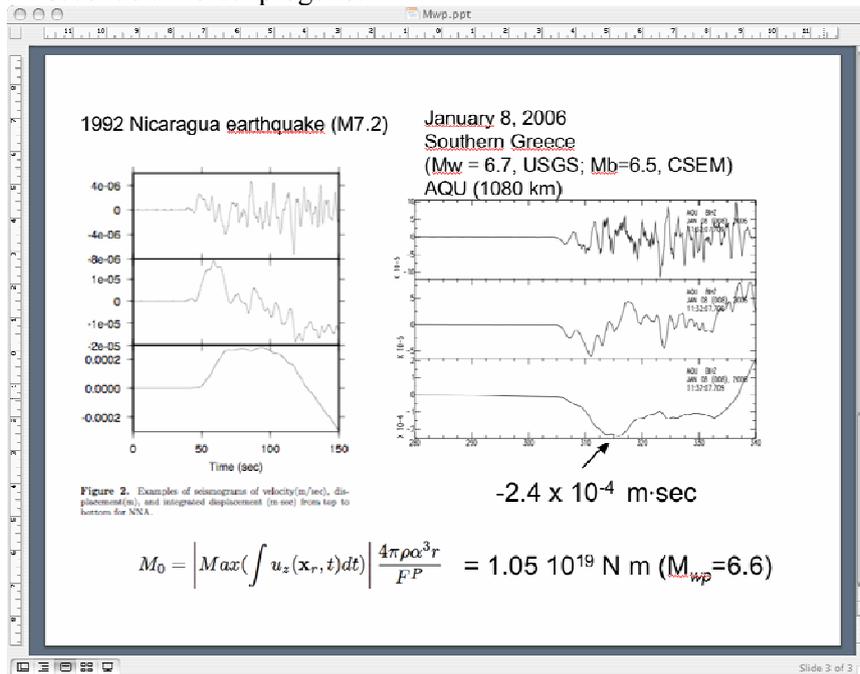
Il software HYPODD (Waldhauser & Ellsworth, 2000) o il software DoubDiff (Michelini & Lomax, 2004) non è stato ancora installato. Si prevede la sua installazione presso CNT durante il secondo anno del progetto.

***Implementazione/installazione software per il calcolo accurato della magnitudo momento***

Presso CNT, ma anche presso i centri elaborazione dati delle reti regionali, sono in via di implementazione e verifica diverse procedure per la stima della magnitudo momento per terremoti anche al di sotto della soglia minima utile per la modellazione del meccanismo focale.

E' in fase di test la procedura proposta da Tsuboi et al. (1995). Questa tecnica permette di utilizzare le onde P per calcolare il momento sismico (e la magnitudo momento,  $M_{wp}$ ). In Figura. 10 viene presentato un esempio di calcolo della magnitudo  $M_{wp}$  per il terremoto di  $M6.7$  del 8/1/2006 in Grecia.

Nei prossimi mesi la procedura verrà automatizzata. Altre tecniche, basate sull'analisi dell'ampiezza dell'onda S (Bodin et al., 2004), sono anche in fase di sperimentazione e la loro implementazione avverrà durante il secondo anno del progetto.

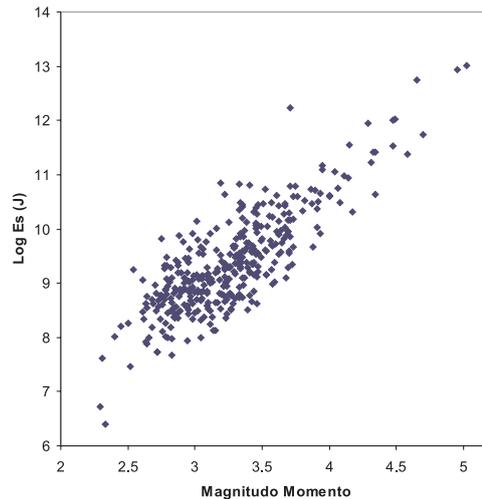


**Figura 10.** Calcolo di  $M_{wp}$  per il terremoto del 8/1/2006 in Grecia. Per confronto, viene mostrato sulla sinistra l'analisi condotta da Tsuboi (2002) per il terremoto del Nicaragua del 1992.

### Rete Sismica RSNI

Attualmente, per gli eventi registrati dalla rete sismica dell'Italia Nord Occidentale, viene calcolata automaticamente un valore di MI utilizzando una specifica legge di magnitudo calibrata regionalmente, utilizzando tutti i dati delle stazioni che forniscono il dato sismico in tempo reale (INGV, RSNI, ETH).

Per quanto riguarda la valutazione della magnitudo momento, e' stata recentemente sviluppata ed implementata una procedura che consente di stimarne il valore in base alle caratteristiche delle onde di coda (Mayeda et al. 2003, Morasca et al. 2005a, Morasca et al. 2005b). In particolare, sono stati ricalibrati per ogni stazione sismica i parametri che definiscono le caratteristiche degli involucri di coda della regione, e le caratteristiche di amplificazione/deamplificazione dei siti. La procedura, testata su un data set di eventi sismici selezionati, si e' dimostrata un efficace metodo per ottenere una stabile stima del momento sismico per eventi di magnitudo anche inferiore a 3.0. Inoltre, il metodo implementato consente di ottenere altre informazioni quali ad esempio l'energia sismica radiata dalla sorgente. In Figura 11 e' riportato la distribuzione dei valori dell'energia sismica radiata in funzione della magnitudo momento per un data set di circa 370 terremoti. Quella dell'energia radiata dai piccoli eventi e' una stima estremamente delicata, perche' deve essere fatta integrando i contributi della radiazione di alta frequenza, oltre la corner frequency. Quello di Mayeda e collaboratori sembra essere l'unico metodo affidabile esistente al momento, per quanto riguarda i piccoli terremoti.



**Figura 11.** Energia sismica radiata in funzione della magnitudo momento.

**RAF ( DST - Universita' di Trieste):**

Durante il primo anno del progetto sono state controllate e completate le informazioni sulle calibrazioni e risposte strumentali delle stazioni gestite dal DST nel sistema Antelope. E' stato implementato in MATLAB un algoritmo per la stima della magnitudo momento secondo il metodo descritto da Andrews [1986] (usando la frequenza d'angolo e lo spettro di Brune). Il programma è stato testato con successo su un certo numero di segnali.

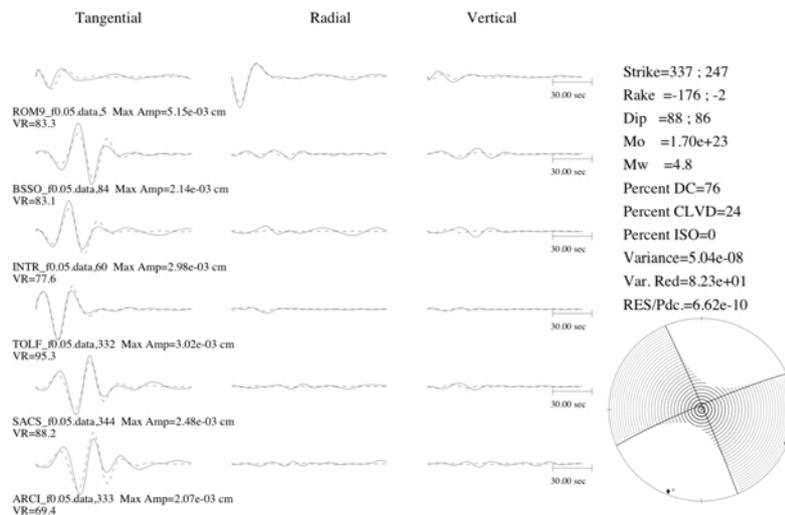
*Implementazione/installazione software per l'inversione rapida del tensore momento*

**CNT (INGV):**

Attualmente presso il centro elaborazione dati di CNT sono stati installati due programmi per effettuare il calcolo del tensore momento sismico.

Il primo programma è il Time Domain Moment Tensor (TDMT) di Dreger mentre il secondo è il Regional Moment Tensor (RMT) sviluppato originariamente da Giardini con il contributo di Barbara Palombo e poi modificato presso l'ETH di Zurigo.

TDMT è stato testato in maniera intensiva per eventi, principalmente italiani, con magnitudo  $\geq 3.5$ . Dalle analisi condotte si è visto che, specialmente per gli eventi più piccoli, per i quali si usano stazioni più vicine all'ipocentro che garantiscono un buon rapporto segnale-rumore, le soluzioni sono affette dall'indeterminatezza della struttura di velocità. Per quanto riguarda l'automatizzazione del calcolo del TDMT, e' stata realizzata (al momento e' in fase di test) una procedura che calcola il momento tensore effettuando una ricerca sulle profondità per selezionare la soluzione migliore. Per quanto riguarda l'identificazione delle stazioni da utilizzare nel calcolo del tensore momento, è in fase di sviluppo una procedura che permette di eliminare i dati ridondanti mantenendo quelli che maggiormente vincolano la soluzione. Siamo in grado di calcolare il tensore momento per tutti gli eventi  $M > 4.0$  sul territorio nazionale e zone limitrofe. In Figura 12, si presenta un esempio di "moment tensor" ottenuto dall'inversione delle forme d'onda del terremoto di Anzio dell'agosto 2005.

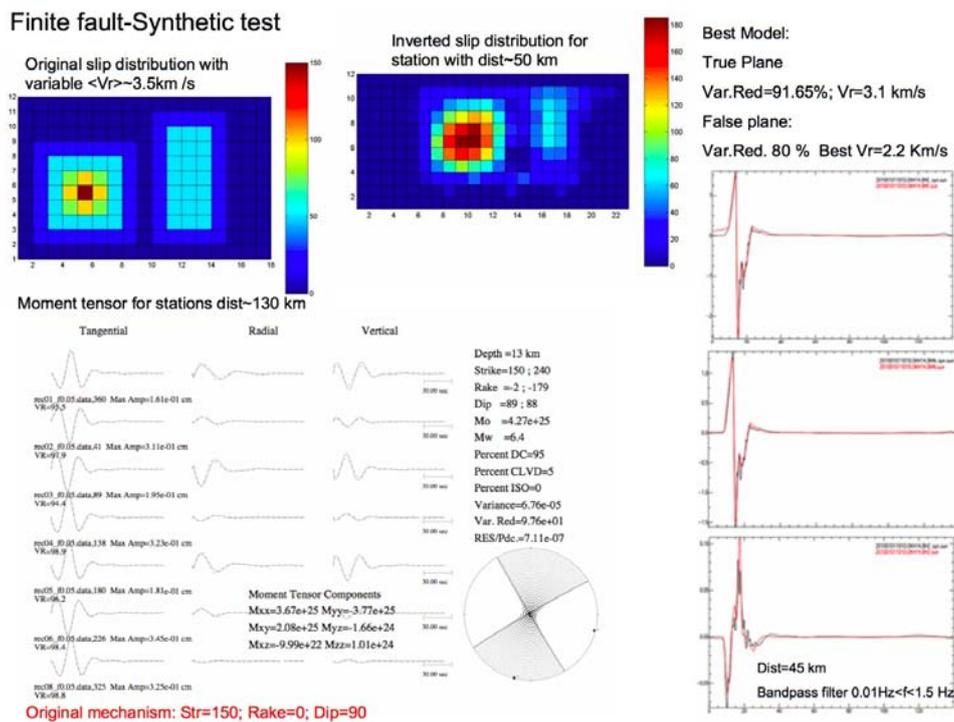


**Figura 12.** Tensore momento calcolato per il terremoto di Anzio (200508221200) utilizzando il TDMT di  $M_{wp}$  per il terremoto del 8/1/2006 in Grecia.

Il codice TDMT è inoltre in fase di sperimentazione ed implementazione (applicato ad eventi del passato) presso il CRS (Centro di Ricerche Sismologiche, OGS - Trieste) e la RSNI. RMT è un programma che allo stato attuale può venire usato solamente per eventi  $M_w > 4.2$ . La procedura automatica si avvale principalmente di dati a banda larga provenienti da sismometri STS1 e STS2, disponibili tramite MedNet, ORFEUS ed IRIS. In merito, si sta effettuando una calibrazione per le velocità di fase e di gruppo per i modi fondamentali di Rayleigh e Love, per cercare di minimizzare l'effetto dovuto alla presenza di forti eterogeneità litosferiche. Questo dovrebbe permettere l'analisi di terremoti con magnitudo  $M_w \geq 4.0$ .

***Implementazione/installazione software per il riconoscimento rapido del piano di faglia e la modellazione del campo di slip.***

Il programma per l'inversione dello slip su faglia estesa sviluppato da Dreger e Kaverina (2000) è stato implementato e testato presso CNT. Il programma è stato testato sul terremoto di San Simeon 2003 (M 6.5), per il quale erano disponibili i dati della rete digitale di Berkeley, e di cui si conosceva la soluzione dalla letteratura (Dreger et al. 2005). Sono stati effettuati inoltre due test sintetici per un evento trascorrente: il primo test con le stazioni poste ad una distanza di ~50km dalla faglia, ed il secondo test con stazioni a ~100km dalla faglia.



**Figura 13.** Test sintetico in cui si replica l'intera procedura per ricavarsi lo slip sul piano di faglia a partire dal calcolo del moment tensor per una sorgente puntiforme.

Dopo aver ricavato il meccanismo focale con il codice TDMT, sono stati considerati entrambi i piani della doppia coppia come possibili piani di faglia e si è verificato quale fosse il migliore per riprodurre le forme d'onda. L'inversione ha riconosciuto tra i due piani di faglia quale fosse quello utilizzato effettivamente nei test per produrre i dati, ed ha riprodotto una buona distribuzione del campo di slip sul piano di faglia (Figura 13).

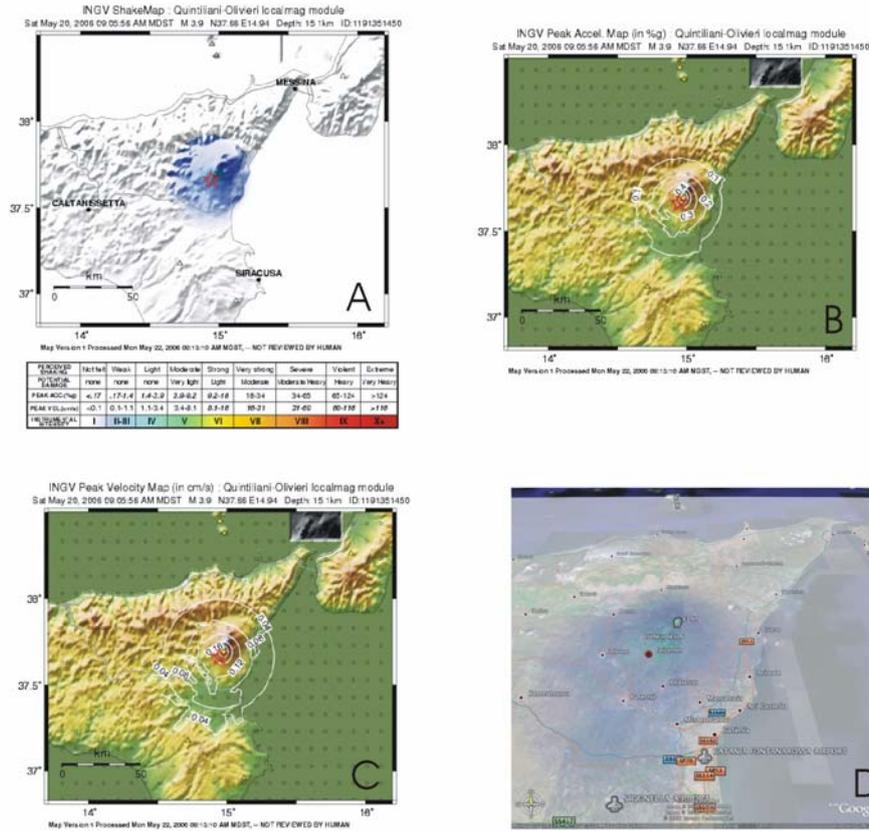
In ultimo, si sta cercando di ricostruire con questa tecnica un modello su faglia finita per l'evento di Colfiorito del 26 Settembre 1997, delle 09:40. Si sta inoltre pensando di utilizzare una procedura che, assieme alla modellazione dello slip, inverta anche per la velocità di rottura e per il rise time.

### ***Implementazione e verifica del funzionamento del programma ShakeMap.***

Presso CNT ed anche presso i centri elaborazione dati delle reti regionali il software shakemap e' gia' stato installato e testato.

A fine primo anno, ShakeMap (versione 3.1) risulta installata, sul server interno wood.int.ingv.it, la versione 3.1 del pacchetto ShakeMap. Le shakemap vengono elaborate anche in maniera automatica avvalendosi dei moduli per il calcolo dei parametri di scuotimento disponibili nel sistema di acquisizione *earthworm*. Rimangono da implementare le relazioni di attenuazione a scala regionale estratte dai dati italiani e fornite dal task 4 del progetto. Per le amplificazioni di sito, attualmente viene utilizzata una mappa con la risoluzione di 0.01667 gradi (1') relativa alle classi di terreno A, B, C, corrispondenti a litotipi rock, stiff e soft. ( 1000, 600 e 350 m/s rispettivamente.).

Un esempio di mappa di scuotimento per un terremoto verificatosi recentemente nella zona etnea è mostrato in Figura 14.

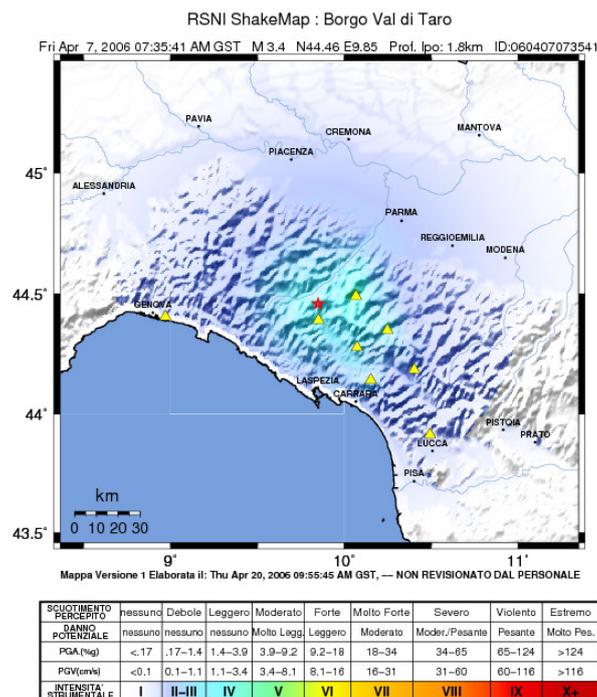


**Figura 14.** ShakeMaps generate per il terremoto di M3.9 del 20/05/2006 alle 7:05 UTC. A.) mappa delle intensità espresse in “instrumental intensity”; B) PGA; C) PGV; D) mappa dell’intensità strumentale visualizzata mediante il programma Google Earth.

### Rete Sismica RSNI:

ShakeMap è stato installato presso il centro elaborazione dati della RSNI nella sua ultima versione disponibile (v3.1). Sono state sviluppate e quindi implementate in ShakeMap adeguate leggi di attenuazione, aventi validità regionale, calibrate sui dati digitali registrati negli ultimi dieci anni ( $2.5 < M_l < 5.2$ ). Analogamente, è stata introdotta una legge valida per il territorio italiano (Faccioli e Cauzzi, 2006) utile alla conversione dei parametri di scuotimento sismico PGV in intensità MCS.

Per le amplificazioni di sito, anche in questo caso si fa riferimento alla mappa con la risoluzione di 0.01667 gradi (1’) relativa alle classi di terreno A, B, C. È in fase di completamento una mappa litologica derivata dai Piani di Bacino Provinciali. In una prima fase, ShakeMap è stato utilizzato per alcuni eventi sismici del passato, e si prevede di automatizzare completamente la procedura implementata in modo da poter elaborare mappe di scuotimento e di intensità relative a ciascun evento sismico significativo ( $M_l > 3.0$ ) rilevato dalle stazioni della reti operati in Italia Nord-Occidentale. A titolo esemplificativo viene riportata in Figura 15 la mappa di intensità relativa all’evento del 7 Aprile 2006 delle ore 7:35 GMT.



**Figura 15.** ShakeMaps (in intensita') generate per il terremoto di M3.4 del 07/04/2006 alle 7:35 UTC.

***Sviluppo ed apertura di un portale web denominato "Integrated Italian Seismic Network" ([www.iisn.org](http://www.iisn.org)) in collaborazione con il Task 1.***

E' stato riservato il dominio iisn.it (il dominio iisn.org non era più disponibile).

Si è iniziato a sviluppare il sito web nel quale vengono raccolte le informazioni delle analisi descritte nei punti precedenti (<http://wood.int.ingv.it/~lauciani/earthwormpage>). Questa attività ha due funzioni. La prima è di fare da raccogliitore di quanto viene pubblicato nel Task 3. Ciò permette di confrontare e sintetizzare facilmente i risultati delle singole analisi. La seconda funzione è di fungere da prototipo dal punto di vista grafico per quanto verrà pubblicato sul sito [www.iisn.it](http://www.iisn.it).

***Sviluppo Implementazione del software per la valutazione delle variazioni spazio-temporali dell'hazard sismico.***

Il software si basa su algoritmi ben collaudati e pubblicati su riviste internazionali, appartenenti alla categoria dei modelli epidemici (ETAS). In questi modelli, il rateo di occorrenza atteso ad un particolare istante in un punto qualsiasi dell'area di interesse viene calcolato tramite il contributo di ogni evento precedente, utilizzando una funzione kernel che tiene conto in varie maniere della magnitudo dell'evento precedente, della distanza spaziale dall'epicentro dell'evento precedente, dell'intervallo temporale intercorso tra il tempo origine dell'evento precedente e l'istante considerato per il calcolo (legge di Omori).

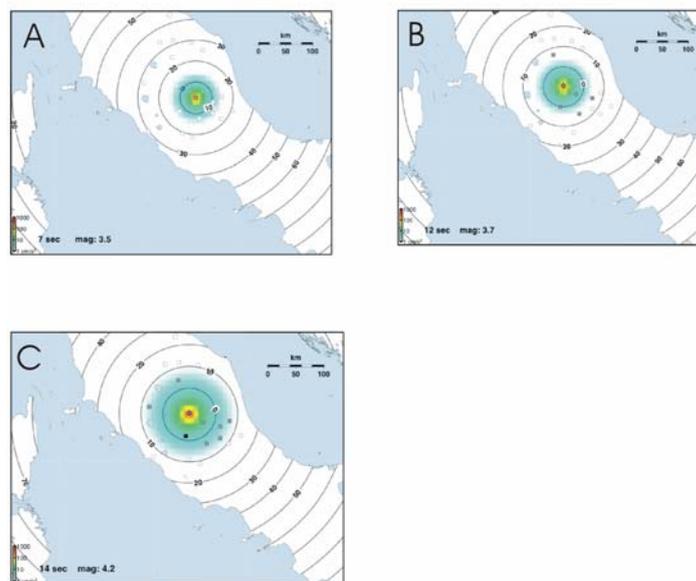
Tutti i parametri liberi dell'algoritmo devono preliminarmente determinati tramite una procedura di best fit basata sulla massima verosimiglianza di un catalogo sismico.

Nel primo anno di attività il software è stato messo a punto e provato estesamente sul catalogo sismico italiano CSI ed altri cataloghi stranieri. Esso verrà implementato in tempo reale dandogli in ingresso i dati disponibili in tempo reale da CNT. L'uscita del programma mostrerà all'utilizzatore una mappa dell'hazard istantaneo in una qualsiasi area italiana di dimensioni volute con aggiornamento automatico ogni 5 minuti, consentendo quindi il controllo immediato dell'evoluzione delle sequenze sismiche. Un recente aggiornamento consente di avere in uscita la mappa della densità dei ratei attesi di eventi superiori ad una data magnitudo, e quella della probabilità di eccedenza di una data accelerazione di picco (PGA). Una fase successiva del progetto, ancora da mettere a punto, sarà

destinata alla validazione statistica dei risultati basata su un congruo periodo di funzionamento in tempo reale.

***Implementazione/installazione software per il calcolo automatico rapido della magnitudo momento, per applicazioni tipo early warning.***

Presso in centro dati di CNT e' stato implementato per la rete sismica italiana ed è al momento in fase di test il software ELARMS. Si sta verificando la capacità della rete di fornire rapidi e robusti parametri di sorgente entro pochi secondi dall'occorrenza di un forte terremoto. Il codice, sviluppato da Richard Allen (UC Berkeley) per la California, permette di processare i dati sia in tempo reale che in tempo differito utilizzando i dati presenti in archivio. In particolare, si desidera verificare l'efficienza e l'accuratezza del metodo per l'Italia in modo da capire che sviluppi siano necessari per il caso specifico italiano. Un esempio di localizzazione ottenuto usando ELARMS e' presentato in Figura 16.



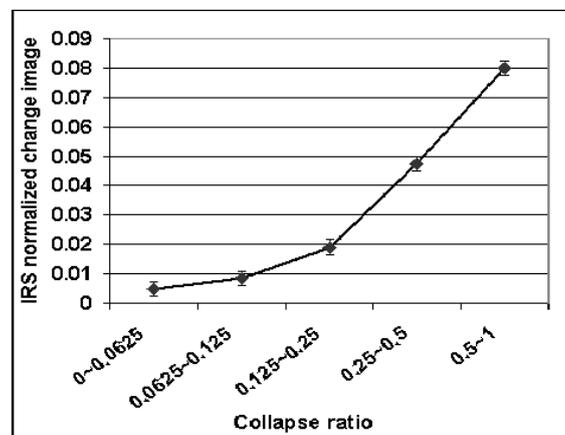
**Figura 16.** Esempio per un terremoto M 4.2 verificatosi in Italia Centrale. Il diamante identifica la localizzazione dell'evento, I cerchi identificano il tempo a cui la fase S e' attesa, I colori rappresentano lo scuotimento stimato in funzione della magnitudo. A) 7 secondi dopo l'evento la localizzazione e' fissata sotto la prima stazione, la magnitudo e' sottostimata. B) a 12 secondi dall'evento, la localizzazione e' corretta ma la magnitudo rimane sottostimata. C) 14 secondi dopo l'evento, il sistema fornisce sia una accurata localizzazione e una realistica stima di magnitudo.

***Valutazione delle potenzialita' delle tecniche di telerilevamento da satellite per la stima del danno da terremoti in aree urbane.***

Nell'ambito del Task 3 il Dipartimento di Ingegneria Elettronica dell'Università La Sapienza di Roma (UniRm2) ha portato avanti una attività di ricerca avente lo scopo di valutare le potenzialità delle tecniche di telerilevamento da satellite (Osservazione della Terra) per la valutazione del danno da terremoti in aree urbane. L'interesse di tali tecniche è determinato soprattutto dalle potenzialità della vista sinottica (osservazioni di grandi aree in tempi brevi) da satellite, anche in regioni poco accessibili e con scarse infrastrutture di comunicazione. Un limite all'utilizzo applicativo è invece determinato al momento dalla disponibilità di immagini in tempi adeguati, in quanto i vincoli orbitali impongono tempi di accesso che possono arrivare a diversi giorni. Nel primo anno la ricerca è stata focalizzata all'analisi di immagini satellitari ad alta-media risoluzione spaziale (dell'ordine della decina di metri) riprese in occasione di eventi sismici significativi (Turchia, 1999, dati IRS, ERS, Landsat; Italia, San Giuliano, 2002, dati EROS; Marocco, Al Hoceima, 2004, dati Ikonos; Iran, Bam, 2003, dati Envisat, SPOT, Quickbird). Sono state studiate immagini ottiche (nel visibile ed infrarosso) e soprattutto immagini radar (a microonde), che per la qualità di operare in ogni condizione (ora del giorno e anche in presenza di copertura nuvolosa) offre maggiori opportunità di ripresa. Con riferimento al radar, è stato anche condotta una analisi di tipo più teorico per comprendere quali fenomeni (ad esempio la

tessitura urbana o la *baseline* di ripresa di coppie di immagini) possano influenzare il segnale radar in aggiunta ai fenomeni di cambiamento che intendiamo rilevare. L'analisi è stata effettuata nell'area di Roma, dove sono state acquisite ed analizzate un gran numero di immagini a diversa *baseline* spaziale. L'esperienza del primo anno a messo in luce come le immagini ottiche ad alta-media risoluzione sono in grado di rilevare i cambiamenti associati ai danni alla corrispondente scala spaziale. Le immagini radar attualmente disponibili (stessa scala spaziale ma solo 1-2 canali spettrali) possono contribuire a tali riconoscimenti con informazioni complementari, ma non sono in grado da sole di riconoscere il danno a scala di pixel (decina di metri). Se invece l'obiettivo è una valutazione del grado di danneggiamento su aree più estese (alla scala di diversi blocchi di edifici), allora sia le tecnologie ottiche che radar hanno mostrato buona correlazione con dati macrosismici di grado di danneggiamento (Figura 17).

In conclusione, seppure l'insieme delle piattaforme satellitari al momento disponibili non sono in grado di offrire un servizio altamente affidabile in questo settore (elevata tempestività nell'osservazione), quando le immagini siano disponibili esse forniscono in zone remote informazioni interessanti e complementari ai costosi e lenti rilievi macrosismici. Alcune missioni satellitari che verranno lanciate nell'immediato futuro (come la costellazione COSMO-SkyMed dell'Agencia Spaziale Italiana) sono in grado di migliorare proprio la tempestività di ripresa, attualmente maggiore limite di queste tecniche.



**Figura 17.** Nel caso della città di Izmit (Turchia) i cambiamenti nella immagini pancromatica IRS (5 metri risoluzione) prima e dopo il terremoto (a sinistra) e il coefficiente di correlazione tra due immagini radar ERS-SAR (30 metri risoluzione)(a destra) si sono mostrati ben correlati ai dai macrosismici di “collapse ratio” (frazione di edifici collassati) rilevati da campagne a terra.

***Procedure tipo “Did you feel it?:procedura di raccolta ed elaborazione dei dati macrosismici tramite internet.***

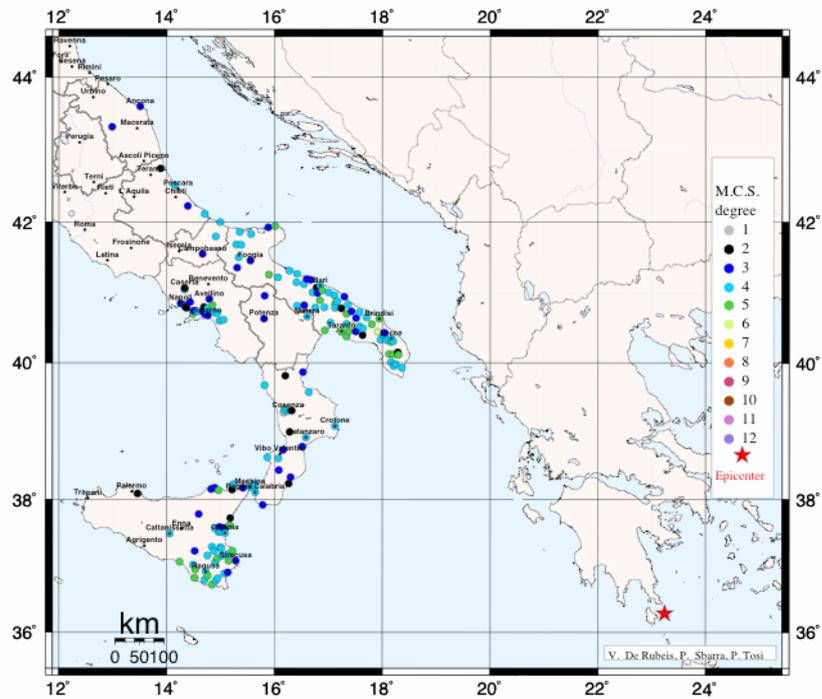
Sfruttando la diffusione delle connessioni in internet, è stato sviluppato presso INGV un metodo di raccolta ed elaborazione degli effetti del terremoto avvertiti dalla popolazione. Tale metodo si basa sulla compilazione di un questionario *on-line*:

<http://www.ingv.it/~roma/attivita/pererischio/macrosismica/macros/questionari/questit.html>

contenente una serie di domande che riflettono gli effetti della scala M.C.S. Una volta compilati, i questionari vengono elaborati statisticamente al fine di definire il grado macrosismico corrispondente per ogni località ed evidenziare eventuali incongruenze dovute ad errori nella compilazione. L'insieme delle intensità rilevate viene cartografato e reso disponibile in internet:

<http://www.ingv.it/~roma/attivita/pererischio/macrosismica/macros/campi/effettirecenti/lista.html>.

I dati così ottenuti, sebbene provenienti dalla popolazione, permettono una buona rappresentazione del campo macrosismico, non altrimenti ottenibile in un così breve lasso di tempo avvalendosi delle indagini dirette da parte di personale specializzato. Un esempio di mappa del risentimento sismico e' riportata in Figura 18.



**Figura 18.** Mappa dei risentimenti macrosismici relativi al terremoto del 08-01-06 nella Grecia meridionale di magnitudo  $m_1 = 6.7$ . La Figura mostra la rappresentazione complessiva delle intensità macrosismiche sulla penisola Italiana, per un totale di 374 questionari compilati.

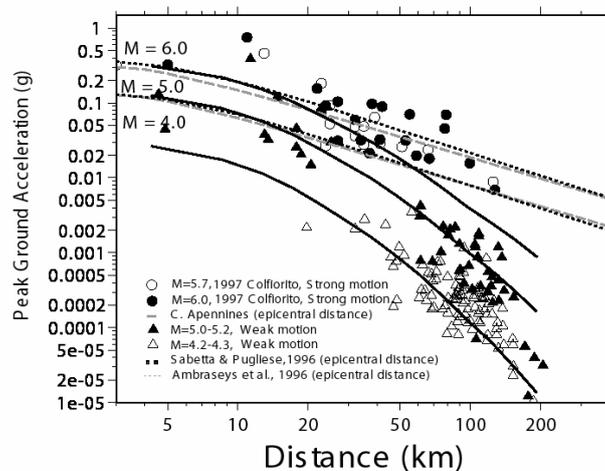
#### **Task 4: Ground motion scaling regionale (Responsabile: A. Akinci)**

Il Task 4 relativo al Progetto DPC-S4 aveva come compito principale *lo studio delle Leggi di Attenuazione* a scala regionale per l'Appennino Centrale/Meridionale (con nuovi dati), l'Arco calabro e la Sicilia settentrionale.

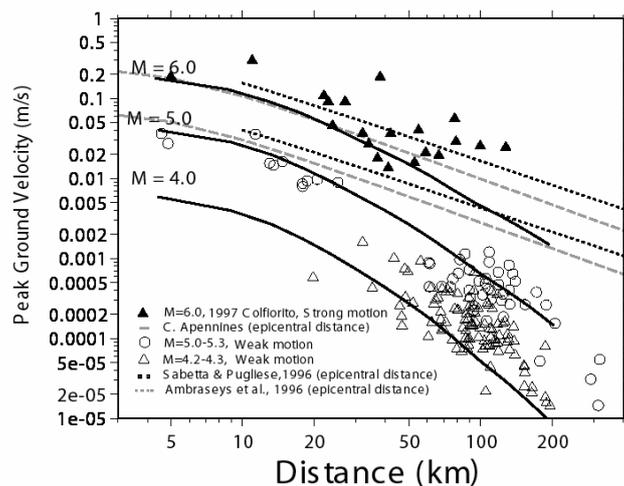
##### ***Leggi di attenuazione weak-motion per l'Appennino Centrale.***

Durante il primo anno del progetto e' stata elaborata una nuova legge di attenuazione regionale per l'Appennino Centrale, i cui risultati in funzione della distanza, forniti a diverse magnitudo e per diversi intervalli di frequenza, sono stati confrontati con le diverse leggi di attenuazione disponibili. La nuova relazione predittiva per l'Appennino Centrale si basa sulle registrazioni strong e weak motion ottenute anche durante la sequenza sismica di Colfiorito del 1997. Sono stati utilizzati 705 eventi, per un totale di 11565 forme d'onda, registrate durante gli anni 1991 - 2002 da 23 stazioni digitali a tre componenti, gestite dal *Servizio Sismico Nazionale (SSN)*. I segnali sono stati registrati con un passo di campionamento di 125 campioni/sec. Sono stati usati soltanto eventi crostali, con profondità inferiore a 30 km, con distanza ipocentrale variabile tra 1 e 155 km, e magnitudo compresa tra 2.0 e 5.1.

Una serie di test ha dimostrato che le relazioni di attenuazione regionalizzate sono complessivamente in accettabile accordo con i valori di picco di registrazioni accelerometriche relative a terremoti avvenuti nella regione. I dati accelerometrici (PGA) utilizzati per il confronto mostrato in Figura 19 sono stati registrati in occasione di diversi terremoti di magnitudo circa 4, 5 e 6. In Figura 20 sono invece usati i picchi di velocità. In generale, da tutti i test fatti si evince che l'accordo per magnitudo intermedie (4.0 – 6.0). Infine, la Figura mostra il confronto tra le curve ottenute dalle nostre relazione e i dati di terremoti della sequenza umbro-marchigiana del 1997-1998. In Figura 19, i valori di PGA registrati si riferiscono a diversi aftershocks di magnitudo  $M_w$  comprese tra 4.0 e 5 e i dati relativi al terremoto di Colfiorito del 26 settembre 1997, 09:40 ( $M_w$  6.0). Si osserva che l'accordo tra le stime di PGA ed i valori effettivamente registrati è generalmente buono.



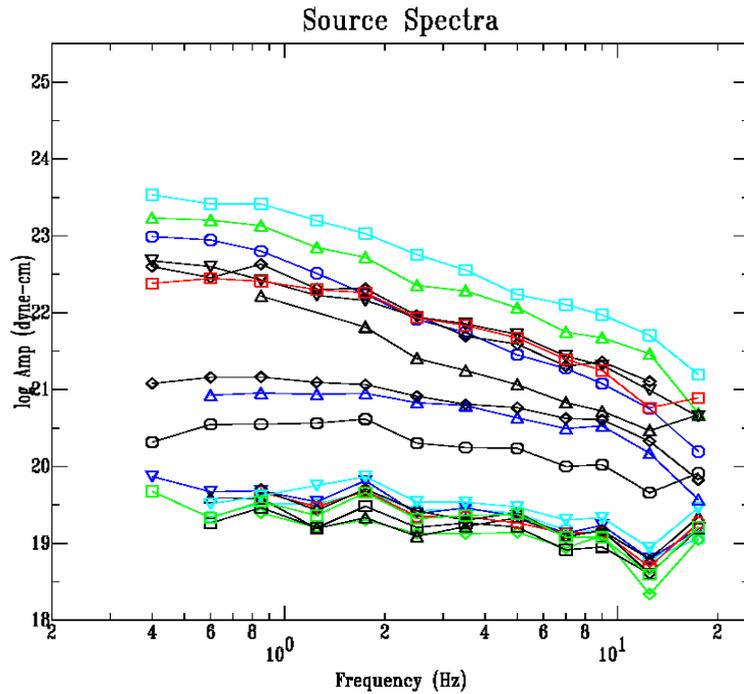
**Figura 19.** Confronto tra le curve di attenuazione della PGA del presente studio per  $M_w = 4, 5$  e  $6$  (in nero) con i dati di alcuni aftershocks della sequenza umbro-marchigiana del 1997-1998 ( $4.0 < M_w < 5$ ) e confronto delle stesse per  $M_w = 6.0$  con i dati strong motion del terremoto di Colfiorito  $M_w = 6.0$  e confronto tra le curve per  $M_w = 6.0$  e  $5.0$  di Sabetta&Pugliese (1996, curve punteggiate nere) e Ambraseys ed altri (1996) (curve punteggiate grige) .



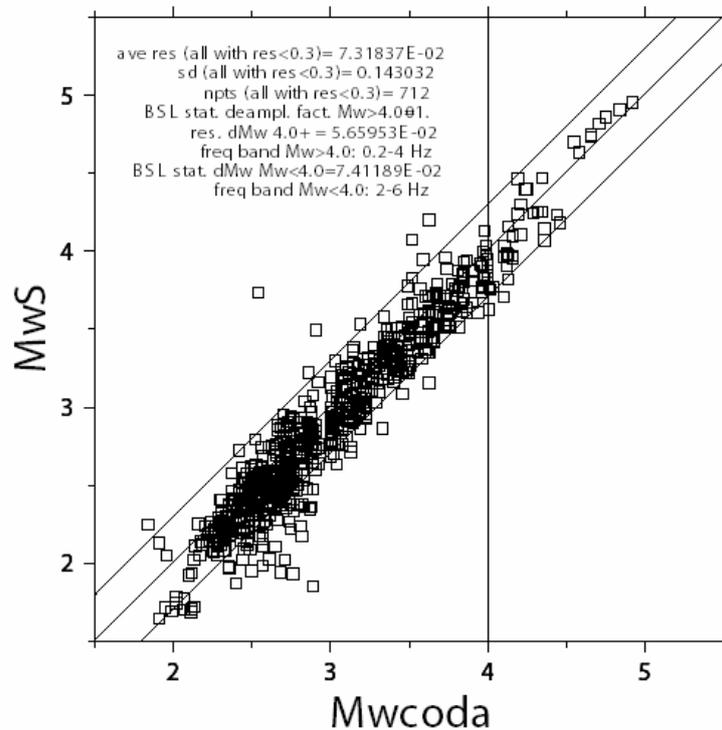
**Figura 20.** Confronto tra le curve di attenuazione della PGV del presente studio per  $M_w = 4, 5$  e  $6$  (in nero) con i dati di alcuni aftershocks della sequenza umbro-marchigiana del 1997-1998 ( $4.0 < M_w < 5$ ) e confronto delle stesse per  $M_w = 6.0$  con i dati strong motion del terremoto di Colfiorito  $M_w = 6.0$  e confronto tra le curve per  $M_w = 6.0$  e  $5.0$  di Sabetta & Pugliese (1996, curve punteggiate nere) e Ambraseys ed altri (1996) (curve punteggiate grige) .

***Parametri di sorgente derivati dalla analisi dalle onde di coda in Appennino Centrale.***

Sono stati stimati i parametri di sorgente di terremoti locali e regionali registrati nell'Italia Centrale dalla rete regionale dell'Aquilano. L'analisi dei dati ha portato a utilizzare 12 delle stazioni, per un totale di 836 eventi elaborati; con una  $M_w$  compresa da circa 2.0 a 5.1, e una distanza sorgente-ricevitore compresa da 1 a 150 km. La banda di frequenza osservata va da 0.4 a 15.0 Hz. Spettri di moment-rate, Magnitudo momento  $M_w$ , Momento sismico  $M_0$ , Energia radiata  $E_R$ , sono ottenuti attraverso l'analisi delle onde di coda dei sismogrammi utilizzando la tecnica di Mayeda e Walter (1996), modificata da Mayeda et al. (2003). In Figura 21 sono riportati gli spettri di moment-rate dei 7 eventi del data set di cui è nota la  $M_w$  da RCMT, oltre agli spettri degli eventi più piccoli, utilizzati per la calibrazione alle alte frequenze. Le magnitudo vanno dal valore di 5.1, per l'evento più grande registrato, fino a valori di 2.5 degli eventi più piccoli, utilizzati per la calibrazione delle ampiezze alle frequenze più alte. In Figura 22 sono mostrati i valori di  $M_w$  calcolati automaticamente sulle onde S, e su quelle di coda. Per calcolare le  $M_w$  coda, è stata fatta la calibrazione di ognuna delle stazioni della rete. Per il calcolo automatico delle  $M_w$  S, ogni spettro è stato corretto per l'attenuazione regionale, e per l'effetto di sito assoluto che caratterizza la specifica stazione di registrazione. L'importanza di questo risultato deriva dal fatto che parte delle stazioni della rete Abruzzese sono state integrate nella rete sismica nazionale digitale INGV. In due di queste stesse stazioni (Barisciano e Castelli) sono state effettuate in questi giorni misure in pozzo per la determinazione della struttura di velocità, e per il calcolo di una funzione di trasferimento teorica da confrontare con i risultati di origine sismologica (si veda il Task 5).



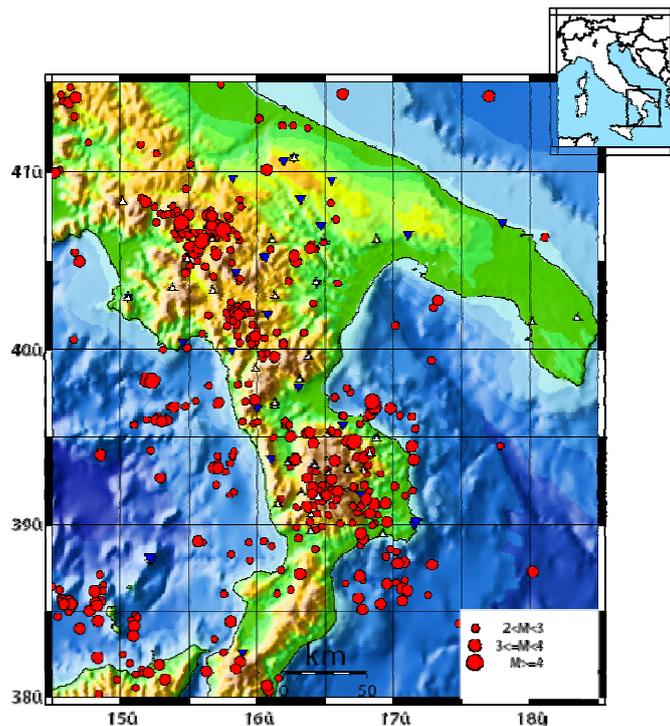
**Figura 21.** Spettri di moment-rate, calcolati sugli eventi di calibrazione del data set registrato dalla rete sismica dell'Abruzzo (SSN). Sono raffigurati gli spettri di 7 eventi, per alcuni dei quali era nota la  $M_w$  da soluzioni RCMT; gli spettri degli eventi piu' piccoli sono stati utilizzati come funzioni di Green empiriche, per la calibrazione delle correzioni di alta frequenza.



**Figura 22.** L'immagine è ottenuta usando il codice sviluppato da Malagnini ed altri (2004) per il calcolo automatico della grandezza di momento, dato il  $g(r)$ , della  $Q(f)$ , del  $\square_{\square}$ , di  $T(r)$  ottenuto dallo studio regionale sull'eccitazione e di attenuazione del movimento al suolo. Nonostante lo scattering che caratterizza i valori di magnitudo, riteniamo che questo strumento possa essere molto utile per le attività di monitoraggio sismico del territorio.

### *Dataset per l'analisi dell'attenuazione nella regione dell'arco Calabro.*

Il data set è stato costituito utilizzando dati di registrazioni sismiche provenienti da due diversi progetti sviluppati nell'Italia meridionale: SAPTEX (Southern APennines Tomography Experiment) progetto I.N.G.V e CAT-SCAN (Calabria Apennine Tyrrhenian – Subduction Collision Accretion Network) progetto congiunto tra Lamont-Doherty Earth Observatory, INGV e Università della Calabria. Le 26 stazioni sismiche del progetto SAPTEX (triangoli blu in Figura 22) sono state installate dal Gennaio 2002 fino alla fine del 2004. Ogni stazione è stata equipaggiata con digitalizzatori Reftek72A07 e sensori a tre componenti Lennartz 3D-5s (passo di campionamento 50 sps). Durante il periodo sopra citato sono stati registrati oltre 350 eventi aventi magnitudo locale  $M_l \geq 2$  e profondità  $2 \text{ km} < h < 35 \text{ km}$ . Le 42 stazioni del progetto CAT-SCAN (triangoli bianchi in Figura 22) sono state installate per circa 2 anni da Dicembre 2003 all'Ottobre del 2005. In tale periodo sono stati registrati circa 500 eventi con magnitudo locale  $M_l \geq 2$ . Le stazioni sono state equipaggiate con digitalizzatori Reftek130 e Reftek72A07 e diversi tipi di sensori a tre componenti (cmg40t, cmg3t, 1-22, sts2, triliun40, cmg3esp). In Figura 23 è riportato il settore e i 420 eventi che saranno utilizzati nei successivi studi. Gli eventi riportati in Figura 23 hanno magnitudo  $M \geq 2$  e profondità ipocentrale minore di 40 km.



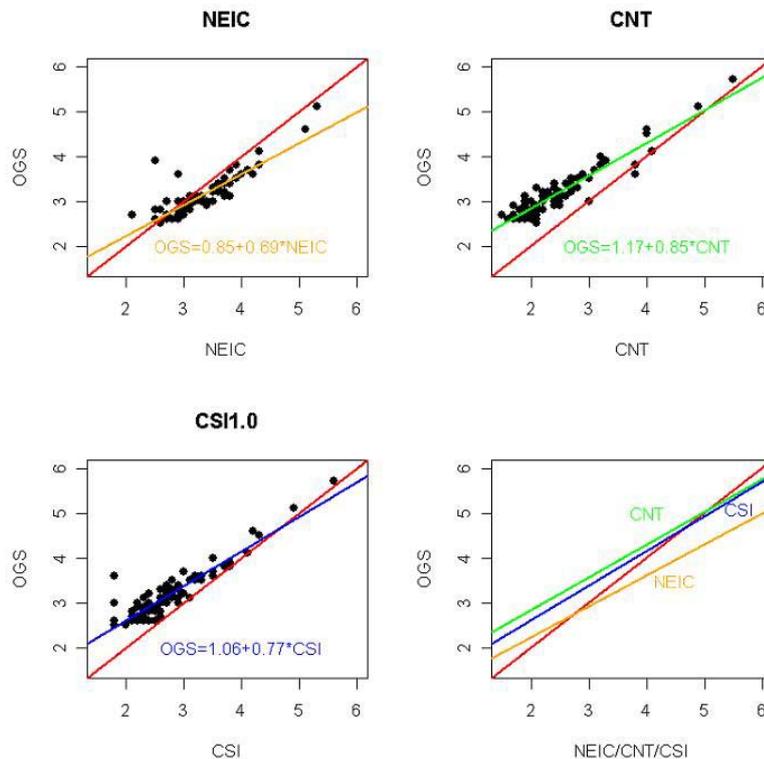
**Figura 23.** Distribuzione delle stazioni CAT-SCAN (triangoli bianchi) e SAPTEX (triangoli blu), e distribuzione epicentrale degli eventi con magnitudo  $M > 2$  e profondità  $h < 40 \text{ km}$  di sorgente Moment-rate.

### *Leggi di attenuazione in Italia Nord Orientale*

Durante il primo anno di attività, gli sforzi sono stati concentrati sulla modellazione delle leggi di attenuazione: in particolare, i dati accelerometrici (della RAF e ESD) sono stati processati per fornire una relazione tra PGA e magnitudo di durata. I risultati sono in accordo con quanto indicato da Bragato and Slejko (2005), evidenziando una maggiore attenuazione per piccole magnitudo ( $M < 5.0$ ) e per grandi distanze ( $d > 100 \text{ km}$ ) se confrontate con le leggi proposte da Sabetta and Pugliese (1987; 1996) e Ambraseys et al. (1996). Le leggi di attenuazione sono state calcolate anche separatamente per

diversi intervalli di magnitudo: in questo caso lo studio non evidenzia differenze rilevanti nell'usare intervalli con alti o bassi valori di magnitudo.

E' stato iniziato uno studio per stimare tutti i parametri del moto richiesti in funzione della magnitudo locale, parametro stabile ed appropriato per la generazione di mappe di scuotimento. Differenti cataloghi sono stati utilizzati (CSI\_1.0, NEIC, EMSC, OGS...) selezionando e confrontando gli eventi di interesse con diverse stime di magnitudo locale (Figura 24); quindi è stata fatta una regressione lineare per ottenere stime di magnitudo conformi a quelle del catalogo OGS (Bragato and Slejko, 2005); i nuovi valori saranno utilizzati come input nello studio delle leggi di attenuazione.



**Figura 24.** Confronto delle magnitudo locali di eventi contenuti nel catalogo OGS rispetto a quelle contenute nei cataloghi NEIC, CNT INGV.

Per rendere inoltre più agevole il trattamento dei dati è stato riorganizzato tutto il database della RAF, dal 1993 ad oggi, inserendolo nel sistema Antelope. Attualmente si stanno realizzando i seguenti punti:

- Modellazione delle leggi di attenuazione per diversi parametri (PGA, PGV, PSA03, PSA10 e PSA30) nell'area del Friuli-Venezia Giulia.
- Modellazione di una relazione che permetta di stimare l'intensità macrosismica ( $I_{MM}$ ) in funzione dei parametri ricavati con le leggi di attenuazione nella medesima area.

**Task 5: Stima degli effetti di sito alle stazioni di registrazione ed utilizzo di GIS esistente (classificazione del territorio nazionale tipo Eurocode) (Responsabile: G. Milana).**

Le attività di questo task sono indirizzate principalmente alla caratterizzazione della risposta sismica locale in corrispondenza dei siti accelerometrici/velocimetrici per “correggere” opportunamente lo scuotimento osservato, ma anche alla implementazione in ShakeMap di un data base “geologico” per generare mappe di scuotimento sismico a scala regionale comprensive di effetti di amplificazione locale. Gli obiettivi generali del Task 5 e le unità di ricerca coinvolte sono riportati nella seguente tabella:

Obiettivo	Descrizione Obiettivo	UR
1	Raccolta informazioni disponibili ai siti e caratterizzazione geologica (litotecnica)	1,2,3,4,5
2	Caratterizzazione geofisica dei siti di registrazione	1,2,3,4,5,7
3	Realizzazione di tabelle e classificazione dei siti di registrazione (EUROCODE)	1,2,3,4,5
4	Analisi rapporti H/V e Nakamura ai siti di registrazione	1,2,3,4,5
5	Modellazione numerica della risposta di sito ai siti di registrazione	1,2,3,4,5
6	Valutazione della risposta sismica assoluta dei siti di registrazione	1,2,3,4,5
7	Verifica e affinamento della classificazione tipo EUROCODE a scala nazionale e sua integrazione in <i>ShakeMap</i>	1,2,3,4

Visto il gran numero di siti di registrazione coinvolti nello studio e considerando che molti di tali siti sono ubicati su terreni rigidi, il dettaglio degli studi non sarà lo stesso per tutte le stazioni di registrazione della rete nazionale dell'INGV e dalle reti gestite dagli altri partners del progetto. In particolare le attività descritte ai punti 2,4,5,6 vanno realizzate solo per un sottoinsieme di siti di registrazione, individuato sulla base delle informazioni attualmente disponibili, mentre l'attività 7 sarà svolta soltanto in alcune regioni campione.

Nel seguito, verranno brevemente riassunte per ciascun obiettivo le attività svolte nel primo anno.

**Obiettivo 1):**

Tutte le UR coinvolte nelle attività di scambio di dati sismometrici (UR 1-3-4-5) hanno iniziato la raccolta delle informazioni disponibili ed utili alla caratterizzazione geologica dei siti di propria competenza. Tale attività non può ritenersi conclusa ed impegnerà anche il secondo anno del progetto.

**Obiettivo 2):**

Le unità di ricerca 2 e 7 hanno intrapreso diverse attività in questo settore. Uno dei obiettivi primari degli studi condotti risiede nella valutazione con tecniche speditive degli effetti che la geologia di superficie produce sullo scuotimento atteso e la verifica, su siti di particolare interesse, della validità dei risultati ottenuti mediante un confronto con tecniche di indagine più complete e sofisticate. In tale contesto, le attività del primo anno hanno principalmente riguardato l'acquisizione e la verifica di strumentazione di nuova generazione (sorgente SH sparker da foro) e la caratterizzazione geofisica di

dettaglio di alcuni siti campione. Sono state pertanto pianificate apposite campagne di misura in cui sono da operarsi confronti tra tecniche di stima del profilo di Vs utilizzando array e sorgenti attive (MASW), accompagnate da misure in foro dei profili di velocità, con tecniche più speditive e meno invasive che utilizzano configurazioni geometriche simili ma sorgenti di microtremore (NASW).

Sul sito Valmontone (Sito Campione) sono state già effettuate misure cross hole, misure di microrumore a singola stazione: in Figura 25 e' riportato un esempio di registrazione di onde SH in foro e in Figura 26 il risultato di una tomografia sismica cross-hole.

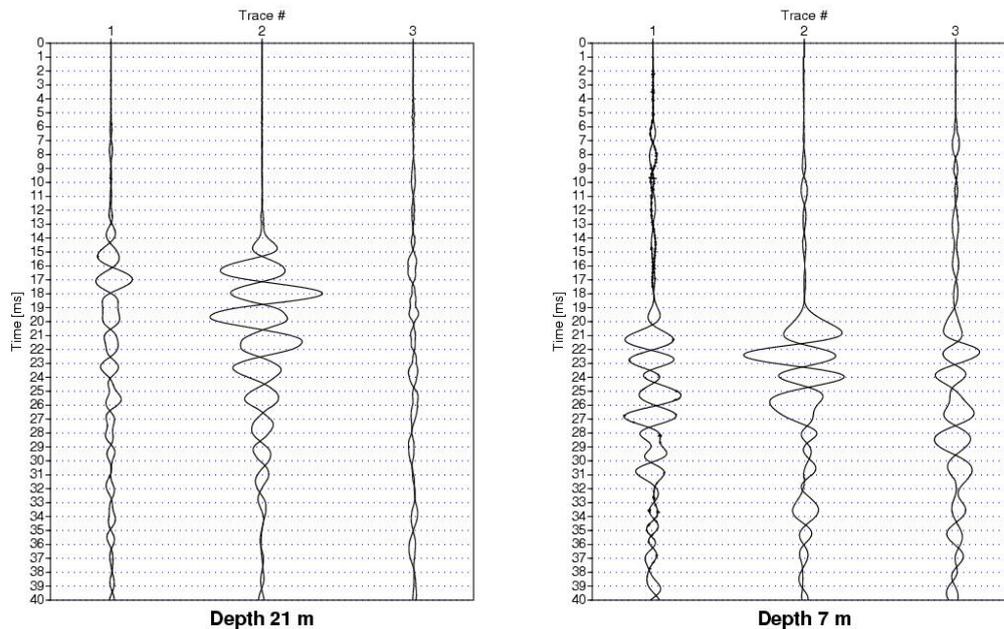


Figura 25. Esempi di sismogrammi acquisiti in località Valmontone (RM).

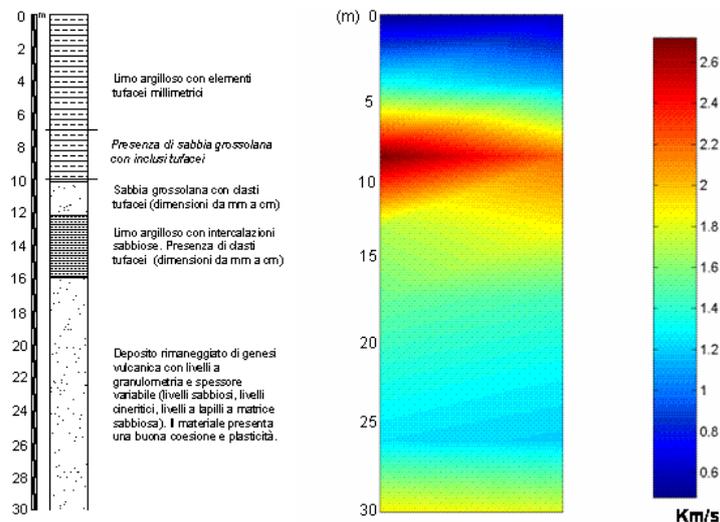


Figura 26. Tomografia sismica in località Valmontone (RM).

Inoltre sono stati individuati altri due siti, Barisciano (Aq) e Castelli (Te), sui quali effettuare indagini geofisiche e geotecniche di dettaglio. In particolare, a Barisciano sono stati effettuati una coppia di fori a profondità di 40 metri che sono stati attrezzati per misure cross hole che sono in corso di effettuazione. Su entrambi i siti sono state anche eseguite misure di microtremore. Tali dati contribuiranno alla valutazione della risposta sismica assoluta dei siti di registrazione della rete locale abruzzese. Tale rete, operativa negli anni 90 a cura del SSN è in fase di ripristino a cura dell'INGV. Per quanto riguarda le stazioni della rete regionale RSNI (UR-4), dopo una valutazione preliminare

delle proprietà dei siti di registrazione basata principalmente su dati geologici e sismologici, sono state utilizzate tecniche geofisiche passive (NASW) per caratterizzare (definizione del profilo di Vs e classificazione EUROCODE) due stazioni sismiche centralizzate presso INGV.

**Obiettivo 3):**

Allo stato attuale, sulla base delle informazione cartografiche di dettaglio (Carta geologica a scala 1:25000 derivata dai piani di bacino), degli studi sismologici e di alcune misure di sito, e' stato possibile classificare alcuni siti della rete RSNI (UR-4). E' stato inoltre realizzato e sperimentato un prototipo di relazione monografica di stazione contenente tutte le informazioni necessarie per documentare le caratteristiche dei siti di registrazione.

**Obiettivo 4):** Tutte le UR coinvolte nelle attività di scambio di dati sismometrici (UR 1-3-4-5) hanno effettuato misure o recuperato dati esistenti sui quali valutare i rapporti H/V.

- UR-2 (OGS) è stata effettuata una campagna di misure di rumore sulle stazioni accelerometriche del terremoto del 1976 (6 siti). I rapporti spettrali H/V medi tra 1 e 8 Hz sono stati posti in relazione con i residui medi di stazione rispetto a leggi di attenuazione (logaritmo della PGA) calcolati da Bragato e Slejko (2005). Come mostrato in Figura 27, vi è un'elevata correlazione per 5 stazioni (coefficiente di correlazione 0.91): per esse il rapporto H/V rispecchia molto bene la reale amplificazione osservata. I valori di H/V medi sono stati inseriti nelle leggi di attenuazione regionale della PGA quali fattori di correzione di sito con modalità analoghe a quelle descritte da Bragato e Slejko (2005). Sempre nell'ambito del Task 5 sono stati acquistati i profili Vp e Vs delle stazioni accelerometriche del 1976 disponibili presso il Servizio Sismico Nazionale.
- UR-4 (UniGe): in base agli ultimi 10 anni di registrazioni, sono stati stimati i rapporti H/V di tutte le stazioni sismiche che operano in Italia Nord Occidentale (circa 25 stazioni) utilizzando sia i dati relativi a terremoti locali (circa 5000 eventi) sia il noise sismico. In Figura 28 sono riportati i rapporti spettrali H/V per tre stazioni della RSNI. In base ai risultati di questa analisi ed utilizzando altre evidenze sismologiche (ad esempio correzioni di stazioni di magnitudo) e geologiche si è giunti ad una prima classificazione (rock o soil e relativo range di amplificazione) di tutte le stazioni prese in considerazione.
- UR-5 (UniTs): Per una prima stima delle amplificazioni relative ai siti delle stazioni della Rete Accelerometrica del Friuli (RAF) sono state confrontate le medie dei valori di PGA registrate con le leggi di attenuazione ottenute sempre nell'ambito di questo progetto (Figura 29).

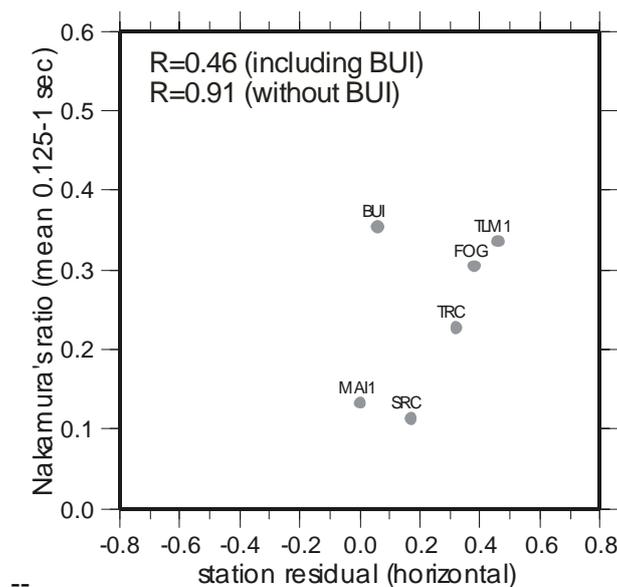


Figura 27. Confronto tra rapporto spettrale H/V medio tra 0.125 e 1 sec (1-8 Hz) e residuo di stazione rispetto alla relazione di attenuazione della PGA.

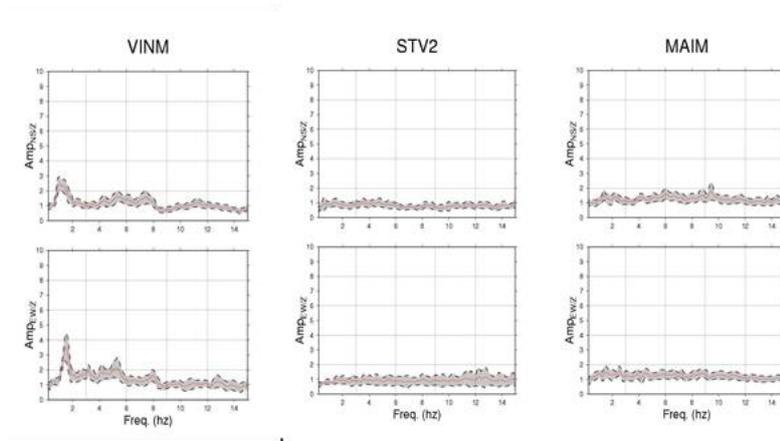


Figura 28. Rapporti spettrali H/V (noise) per tre stazioni della rete RSNI: A) Vinca, B) Sant'Anna di Valdieri, C) Mastiano.

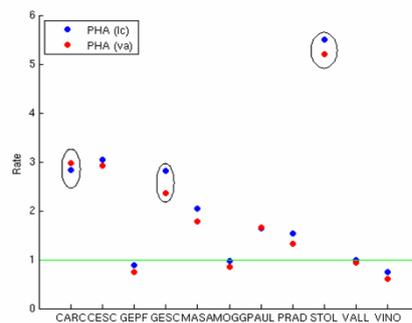


Figura 29. Rapporto tra le medie dei valori di PGA registrate presso le stazioni della RAF ed i valori ottenuti dalle leggi di attenuazione

**Obiettivo 5):** La modellazione dei siti con tecniche numeriche sarà sviluppata nel secondo anno del progetto.

**Obiettivo 6):** Sono stati condotti (UR-2) studio di completa calibrazione della rete dell'Abruzzo (ex SSN). Tale studio ha prodotto le funzioni di trasferimento assolute dei siti. Sulla base delle informazioni contenute in questo studio, sono state scelte le stazioni Barisciano e Castelli per le misure di dettaglio.

**Obiettivo 7):** Nel primo anno di attività, è stata inserita la classificazione georeferenziata tipo Eurocode del territorio nazionale prodotta nell'ambito del progetto GNDT 2001-2004 coordinato dal Dr. Amato nelle procedure per generare mappe di scuotimento comprensive di effetti di amplificazione locale. Tale classificazione deriva da una mappa geologica in cui sono state differenziate classi di suolo a partire dalla Carta Geologica d'Italia a scala 1:1,000,000 (Servizio Geologico Nazionale, 1978). Le unità geologiche sono state accorpate in tre differenti classi di suolo in accordo con la normativa EuroCode8, basata sulle risposte di accelerazione al suolo. Alle tre classi differenziate in A, B e C, corrispondenti alla classificazione rock, stiff, soft, sono stati attribuiti valori di velocità relativi rispettivamente a 1000, 600 e 350 m/s (Figura 30). Successivamente, è stato prodotto un file ASCII costituito da una matrice dei valori di velocità il cui passo è di 0.016667 gradi espresso in coordinate geografiche (risoluzione in coordinate metriche circa 1 km).

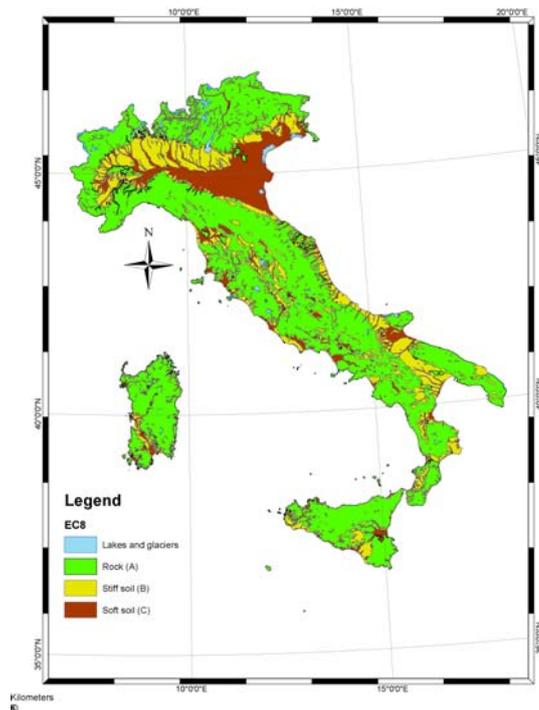


Figura 30. Classificazione del territorio Italiano (Eurocode) basata sulla Carta Geologica d'Italia a scala 1:1,000,000. Questo risultato e' stato fornito dal recente progetto GNDT coordinato dal Dr. Amato.

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

#### **Cambiamenti:**

1. Un cambiamento di grande importanza e' relativo al principale obiettivo di IISN: non e' stata realizzata l'integrazione dei dati di RAN e di RAF entro il database in tempo reale. Come abbiamo detto in precedenza, la nostra impressione e' che i dati della RAN non saranno disponibili nemmeno per la seconda parte del progetto, mentre abbiamo ragione di credere che i dati della RAF entreranno a far parte del database in tempi ragionevoli.
2. La persona che inizialmente era stata incaricata di seguire le attivita' di affinamento dei modelli crostali (Task 2, una sismologa con esperienza nella modellazione delle forme d'onda e della inversione del TM) ha rassegnato le sue dimissioni da responsabile di Task per motivi personali. E' subentrato Claudio Chiarabba. Inoltre, una parte importante delle attivita' del Task 2 e' passata sotto il controllo di Alberto Michellini (modellazione delle forme d'onda, affinamento dei modelli di velocita', inversione del tensore momento).
3. Un altro marginale cambiamento riguarda le attivita' di OGS-CRS, relativamente alla progettazione e realizzazione di una stazione sismometrica a basso costo. Essendo stata realizzata industrialmente una stazione di queste caratteristiche, la parte del progetto relativa a queste attivita' e' stata del tutto cancellata.
4. Piccoli cambiamenti sono stati fatti alla scansione temporale delle attivita' in cui era impegnata la UR 7 (Cardarelli), in quanto le complementari attivita' di pertinenza della UR 1 e della UR 2 erano previste per il primo anno, e non per il secondo. I cambiamenti sono stati apportati alle attivita' del Task 5, UR-1. Le attivita' di prospezione e di indagine geofisica passiva non cambieranno rispetto al progetto iniziale.
5. Aybige Akinci, responsabile della UR 2 (INGV-Roma1), e' entrata in aspettativa per maternita'. Al suo posto subentra Laura Scognamiglio, che assume anche le funzioni di responsabile del Task 4.

#### **Novita':**

Nella stesura originale, era stato appena accennato che la UR1 si sarebbe occupata di attivita' di Early Warning. E' stata invece avviata una importante attivita' di ricerca in questo settore, in collaborazione con la UC Berkeley. Al momento, il finanziamento a carico del progetto riguarda soltanto missioni di personale INGV e visite di personale UC Berkeley.

#### **Valutazioni di rischio:**

Nel paragrafo sulle valutazioni di rischio delle varie parti del progetto, si affermava che il maggiore fattore di rischio era rappresentato dalla mancata erogazione del flusso dei dati accelerometrici, dalla RAN verso il centro di calcolo di IISN. Alla fine del primo anno, il rischio che tale flusso non venga mai erogato e' estremamente elevato. Al momento attuale, un rischio elevato e' rappresentato anche dalla mancata erogazione del flusso dati accelerometrici dalla RAF all'IISN. Colloqui informali tra il Direttore di CNT e il responsabile della Protezione Civile Regionale friulana, fanno sperare che in breve tempo sara' possibile attivare un canale di trasmissione tra il centro dati ProCiv di Palmanova ed il centro dati IISN (INGV). Entro S4 sembra che non sussistano altre situazioni di rischio elevato.

### 4. Stato di avanzamento dei deliverables, per singoli deliverable

#### **Task 1:**

1. progetto e realizzazione di uno Storage Area Network (SAN) presso il CNT: in funzione;
2. progetto delle procedure di archiviazione: realizzata;
3. schema logico e fisico del DB: realizzato;
4. procedure di immissione nel DB di informazioni relative agli strumenti e alle forme d'onda: parzialmente realizzate;

5. studio di fattibilità dei sistemi di scambio dati accelerometrici con la RAN-SSN: realizzato.
6. studio dei protocolli di scambio di forme d'onda con le reti nazionali, regionali, locali ed estere: realizzato ed attivato in alcuni casi;
7. ricerca di mercato per l'individuazione della migliore strumentazione sulla base del rapporto qualità/prezzo per la realizzazione di una micro-rete accelerometrica prototipale a basso costo: realizzato.
8. realizzazione delle procedure di immissione nel DB di informazioni parametriche in tempo reale (fasi, localizzazioni, magnitudo): in fase di test;
9. implementazione del protocollo standard NETDC (formato SEED 2.4), per la gestione automatica delle richieste off-line di forme d'onda e di parametri di stazione: in funzione solo per le stazioni MedNet.
10. implementazione dei protocolli di scambio dati con RAN-SSN e altre reti: progettato ed attivato in alcuni casi
11. progettazione di una stazione accelerometrica prototipale a basso costo: in fase di sviluppo.

**Task 2:**

1. Modelli 1D: parzialmente realizzato (50 %);
2. Modello 3D: parzialmente realizzato (50 %);
3. Generazione delle funzioni di Green: parzialmente realizzato (20%);

**Task 3:**

1. Implementazione di NLLoc: realizzato;
2. Installazione codici per calcolo automatico momento tensore: parzialmente realizzato in tutte le sedi coinvolte (60 %);
3. Implementazione di ShakeMap: realizzato, in tutti gli Enti coinvolti;
4. Portale [www.iisn.org](http://www.iisn.org): parzialmente realizzato (10%);
6. Studio preliminare per l'uso di dati tele-rilevati per la stima dei danni in area urbana: realizzato;
7. Procedure tipo: "Did you feel it?": funzionanti sul sito di INGV;
8. Implementazione procedure tipo "Early Warning": funzionanti su dati storici e, automaticamente, su dati in tempo differito;

**Task 4:**

1. Relazioni di attenuazione Appennino Centrale: parzialmente realizzate (80%)
2. Creazione data set Appennino Meridionale-Arco Calabro: realizzato;
3. Implementazione delle relazioni di attenuazione regionale entro ShakeMap: parzialmente realizzato (80%);
4. Relazione di attenuazione per PGA in relazione al valore della magnitudo di durata, dati della RAF (Friuli-Venezia Giulia): realizzata;
5. Stima dei parametri del moto richiesti in funzione della magnitudo locale, dati della RAF (NE Italia): iniziata;
6. Modellazione di una relazione che permetta di stimare l'intensità macrosismica ( $I_{MM}$ ) in funzione dei parametri ricavati con le leggi di attenuazione Friuli-Venezia Giulia: in fase di realizzazione;
7. Modellazione delle leggi di attenuazione per diversi parametri (PGV, PSA03, PSA10 e PSA30) nell'area del Friuli-Venezia Giulia: in fase di realizzazione;
8. Procedure per il calcolo di Mw sulla base delle informazioni sull'attenuazione regionale: parzialmente realizzate (60%);

**Task 5:**

1. Caratterizzazione delle stazioni: parzialmente realizzata (10 %);
2. Realizzazione di schede di stazione per la RSND: non realizzato;
3. Inserimento effetti geologia di superficie nelle mappe di scuotimento (risultati dal progetto GNDT Amato): realizzato;
4. Stima delle amplificazioni locali alle stazioni della RAF: parzialmente realizzata;
5. Stima degli effetti di sito assoluti di alcune stazioni dell'Appennino Centrale: realizzato;
6. Realizzazione misure geofisiche in pozzo a stazioni di particolare interesse: realizzati 2 pozzi e fatte le campagne di acquisizione in 3 pozzi;

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

**Task 1:** A parte quanto detto circa il flusso di dati dalle reti della Protezione Civile verso il database IISN, al momento non sussistono motivi per prevedere che quanto previsto non sarà realizzato.

**Task 2:** Questo Task è stato giudicato di secondaria importanza dal comitato dei revisori, che hanno suggerito di farne una estensione di S4, oltre la durata del resto del progetto. Nonostante questo giudizio, i gruppi di ricerca impegnati in questo Task continueranno le loro attività come pianificato. Riteniamo che un progetto futuro per lo studio della struttura crostale nella regione italiana dovrà essere stilato a partire dai risultati che riusciremo ad ottenere con S4, tenendo bene presenti le esigenze di quanti si occupano di inversione di forme d'onda sismologiche. Uno degli aspetti di maggiore interesse, a parte quello della conoscenza di un modello 1-D regionale, è quello dell'estensione areale delle informazioni legate a modelli 1D (Vs) a singola stazione.

Verrà esteso il calcolo dei modelli 1D (Vs) al maggior numero possibile di stazioni sismiche permanenti a larga banda (o a banda estesa) per avere una miglior copertura areale della regione, intensificando le misure nelle aree dove le informazioni provenienti dalla sismica attiva o dai modelli tomografici sono scarse o meno attendibili (Appennino Meridionale e Sicilia).

Le profondità della Moho ricavate dai modelli 1D (Vs) verranno utilizzate al pari delle informazioni provenienti dalla sismica attiva e dalla tomografia come ulteriori punti per il calcolo della Moho 3D ottenuta in precedenza. Verranno effettuati confronti fra dati e modelli.

**Task 3:** Molto di quanto è stato proposto nel progetto del Task 3 potrà essere realizzato entro la finestra vitale di S4. Alcune importanti nuove esigenze emergono alla fine del primo anno:

- Per quanto riguarda la partecipazione al progetto del gruppo che si occupa della inversione del momento tensore con i codici RCMT (Andrea Morelli e Silvia Pondrelli), questa era prevista per il secondo anno di attività. Per il secondo anno, dunque, si dovrà prevedere una cifra accessoria, da aggiungere al finanziamento della UR1 (INGV-CNT), di circa diecimila euro. Si ricorda che la partecipazione di tale gruppo era stata richiesta anche dal Comitato di Revisione.
- Il Comitato di Coordinamento aveva anche suggerito la definizione di procedure tipo: "Did you feel it?", da aggiungere alle attività del Task 3. Durante il primo anno di vita del progetto S4, queste attività sono state incluse a costo zero. Per il prosieguo del progetto, invece, si ritiene necessario integrare il gruppo di lavoro (Valerio De Rubeis e Patrizia Tosi) con una borsa di studio, e con un finanziamento accessorio di circa quindicimila euro.

**Task 4:** Si riuscirà certamente a produrre un modello attenuativo definitivo per la regione dell'Appennino Centrale, ed uno per l'Arco Calabro. Per quanto riguarda la regione della Sicilia Settentrionale, si procederà ad una indagine per stabilire la fattibilità di uno studio completo.

**Task 5:** Per quanto riguarda la caratterizzazione di tutti i siti, in particolare per quelli della RSND che sono molto numerosi, sarebbe necessario prevedere l'ingresso nel progetto di una persona coinvolta a tempo pieno su tali attività. Ad inizio progetto era stata ipotizzata la figura di un borsista, pagato su fondi diversi. Si ritiene che si debba provvedere al più presto all'individuazione di tale figura per avviare le attività in tempi brevi.

## 6. Riferimenti bibliografici

Ambraseys N.N., K.A. Simpson and J.J. Bommer [1996]. Prediction of horizontal response spectra in Europe. *Earthquake Eng. Struct. Dyn.* 25, 371-400.

Ambraseys N.N. and K.A. Simpson [1996]. Prediction of vertical response spectra in Europe. *Earthquake Eng. Struct. Dyn.* 25, 401-412.

Andrews D.J. [1986]. Objective determination of source parameters and similarity of earthquakes of different size, in *Earthquake Source Mechanics*, S. Das, J Boatwright, and C.H. Scholz, Editors, A.G.U. Monograph 37, 259-267.

Barnaba C., Priolo E. and Vuan A. [2006]. Site effect and strong motion re-evaluation at the Tolmezzo Ambiesta dam accelerometric site (Northeastern Italy), submitted to BSSA.

Bindi, D.; Spallarossa, D.; Eva, C.; Cattaneo, M. (2005) Local and Duration Magnitudes in Northwestern Italy, and Seismic Moment Versus Magnitude Relationships. BSSA 95, 2 p. 592 ? 604.

Bodin P., L. Malagnini, and A. Akinci [2004]. Ground-motion scaling in the Kachchh Basin, India, deduced from aftershocks of the 2001 Mw 7.6 Bhuj earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.* 94, no.5, 1658-1669.

Bragato P.L. and Slejko D. [2005]. Empirical ground motion attenuation relations for the eastern Alps in the magnitude range 2.5-6.3, BSSA, Vol. 95, No.1, pp.252-276.

Bressan, G. [2005]. Modelli di velocità 1D dell'Italia nord-orientale, Rapporto OGS Rel. CRS/5/20/2005, OGS, Trieste, Italy.

Dreger, D., and A. Kaverina [2000]. Seismic remote sensing for the earthquake source process and near-source strong shaking: A case study of the October 16, 1999 Hector Mine earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 27, 1941-1944.

Dreger, Douglas S.; Gee, Lind; Lombard, Peter; Murray, Mark H.; Romanowicz, Barbara [2005]. Rapid Finite-source Analysis and Near-fault Strong Ground Motions: Application to the 2003 Mw 6.5 San Simeon and 2004 Mw 6.0 Parkfield Earthquakes, *SRL*, 76, 40-48.

Frisenda M., Massa M., Spallarossa D., Ferretti G. and Eva C. (2005) "An attenuation relationship for peak horizontal accelerations and velocities in Northwestern Italy" *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 9, No. 1 23 -40

Lomax A., [2005]. A Reanalysis of the hypocentral location and related observations for the great 1906 California Earthquake - *Bull. Seism. Soc. Am.*, 95, 861-877.

- Lomax A., Virieux J., Volant P. e Berge C., [2000]. Probabilistic earthquake location in 3D and layered models: Introduction of a Metropolis-Gibbs method and comparison with linear locations - in Thurber C.H. e Rabinowitz N. (eds.): *Advances in seismic event location* - Kluwer, Amsterdam, 101-134.
- Lomax A., Zollo A., Capuano P. e Virieux J., [2001]. Precise, absolute earthquake location under Somma-Vesuvius volcano using a new 3D velocity model - *Geophys. J. Int.*, 146, 313-331.
- Malagnini, L., K. Mayeda, R. Uhrhammer, A. Akinci, and R. B. Herrmann (2006). Calibration of the Ground Motions in the San Francisco Bay Area: Excitation, Regional Propagation and Absolute Site Responses, *Bull. Seism. Soc. Am.*, submitted.
- Malagnini, L., P. Bodin, K. Mayeda, and A. Akinci (2005). Unbiased moment-rate spectra and absolute site effects in the Kachchh basin, India, from the analysis of the aftershocks of the 2001 Mw 7.6 Bhuj earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.*, submitted.
- Mayeda K., Hofstetter A., O'Boyle J., Walter W. R. (2003): Stable and Transportable Regional Magnitudes Based on Coda-Derived Moment-Rate Spectra. . *Bull. Seism. Soc. Am.* 93, n1, 224-239.
- Morasca, P., Mayeda K., Malagnini, L. and W. R. Walter (2005). Coda Derived Source Spectra, Moment Magnitudes, and Energy-Moment Scaling in the Western Alps. *Geophysical Journal International* 160 (1), 263-275.
- Morasca, P., Mayeda, K., Gök, R., Malagnini, L., Eva C. (2005). *A break in self-similarity in the Lunigiana-Garfagnana region (Northern Apennines)*. *Geophysical Research Letters* Vol. 32, No. 22, L2230110.1029/2005GL024443
- Malagnini, L., K. Mayeda, A. Akinci, and P. L. Bragato (2004). Estimating absolute site effects, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 94, 1343-1352.
- Mayeda, K., L. Malagnini, W. S. Phillips, W. R. Walter, and D. Dreger (2005), 2-D or not 2-D, that is the question: A northern California test, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L12301, doi:10.1029/2005GL022882.
- Mayeda, K. and W. R. Walter (1996). Moment, energy, stress drop, and Source spectra of western United States earthquakes from regional coda envelopes, *J. Geophys. Res.*, 101, 11195-11208.
- Mayeda, K., A. Hofstetter, J. Boyle and W. R. Walter (2003). Stable and Transportable Regional Magnitudes Based on Coda-Derived Moment-Rate Spectra, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 93, 224-239.
- Mercuri A., L. Malagnini, L. Scognamiglio, A. Akinci, G. De Luca [2006]. Calibration of the Ground Motion in Central Italy, *Seism. Res. Lett.*, V. 77, 317
- Michelini A., A. Lomax [2004]. The effect of velocity structure errors on double difference earthquake location, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L09602, doi:10.1029/2004GL019682.
- Shapiro, N., Campillo, M., Stehly, L., Ritzwoller, M. [2005]. High-Resolution Surface-Wave Tomography from Ambient Seismic Noise, *Science*, 307, 1615-1618.
- Tsuboi, S., K. Abe, K. Takano, and Y. Yamanaka, [1995]. Rapid determination of Mw from broadband P waveforms, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 85, 606-613.
- Waldhauser, F., and W. L. Ellsworth [2000]. A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the northern Hayward fault, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 90, 1353 – 1368.

Sabetta F. and A. Pugliese [1987]. Attenuation of peak horizontal acceleration and velocity from Italian strong motion records. *Bull. Seism. Soc. Am.* 77, 1491-1513.

Sabetta F. and A. Pugliese [1996]. Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground motions. *Bull. Seism. Soc. Am.* 86-2, 337-352.

Spallarossa D., Bindi D., Augliera P., Cattaneo M.  
"An ML Scale in Northwestern Italy" *BSSA* 92 (6)p. 2205 - 2216

Wald D.J., Quitoriano V., Heaton T.H., Kanamori H., Scrivner C.W. and C.B. Worden [1999]. TriNet "ShakeMaps": rapid generation and intensità maps for earthquakes in Southern California. *Earthquake spectra* 15-3, 537-555.

Tabella finanziaria riepilogativa, non inclusiva di variazioni
--

### Tabella complessiva finanziamenti richiesti (in migliaia di euro)

UR	Istituz.	Personale		Missioni Italia		Missioni estero		Consumi servizi		Inventariabile		Totale		tot
		2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	
1	INGV-CNT	---	---	20,80	18,25	58,50	63,00	95,50	46,60	5,00	---	179,80	127,85	307,65
2	INGV-RM1	---	---	7,65	6,60	18,10	16,20	24,70	35,50	10,00	5,00	60,45	63,30	123,75
3	OGS-CRS	49,70	49,70	13,00	13,00	---	---	---	---	22,30	22,30	85,00	85,00	170,00
4	UniGe	38,00	38,00	20,00	16,00	3,40	3,80	6,30	18,00	27,00	27,00	94,70	102,8	197,50
5	UniTs	27,50	27,30	2,50	1,90	5,50	2,50	6,28	7,20	8,00	6,00	49,78	44,90	94,68
6	UniRm2	19,00	19,00	0,50	0,45	---	---	---	1,80	---	---	19,50	21,25	40,75
7	UniRm1	4,75	4,75	9,00	---	---	3,60	---	2,70	27,00	---	40,75	11,05	51,80
	<b>Tot</b>	<b>138,95</b>	<b>138,75</b>	<b>73,45</b>	<b>56,20</b>	<b>85,50</b>	<b>89,10</b>	<b>132,78</b>	<b>111,80</b>	<b>99,30</b>	<b>60,30</b>	<b>529,98</b>	<b>456,15</b>	<b>986,13</b>

**Totale (Euro): 986.130**

**INGV: 431.400 (44 %)**

**Altri enti: 554.730 (56 %)**