

SVILUPPO E CONFRONTO DI METODOLOGIE PER LA VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA IN AREE SISMOGENETICHE: APPLICAZIONE ALL'APPENNINO CENTRALE E MERIDIONALE.

PARTECIPANTI AL PROGETTO

UNITÀ DI RICERCA	RESPONSABILE SCIENTIFICO	AFFERENZA
UR1	Massimo Cocco	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia INGV – Roma -
UR2	Enrico Priolo	Osserv. Geofisico Sperimentale, Trieste OGS
UR3	Aldo Zollo	Università di Napoli UniNa
UR4	GianLorenzo Franceschina	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia INGV – Milano - (ex-IRRS)
UR5	Peter Suhadolc	Università di Trieste UniTri
UR6	Paolo Augliera	Università di Genova UniGE
UR7	Alfredo Mazzotti	Università di Milano UniMi

INTRODUZIONE

Le iniziative portate avanti durante il primo anno di attività del progetto, in accordo con la pianificazione del lavoro prevista nel progetto esecutivo, sono principalmente focalizzate nei *tasks* 1, 2, 3 e 4 per l'area di *training* di Colfiorito. Inoltre, è stata completata la campagna di acquisizione dati sismici nella zona di Città di Castello mediante l'installazione di una serie di reti di monitoraggio. A questa campagna di acquisizione di dati sismometrici hanno partecipato quattro unità di ricerca (in particolare le UR1, 2, 4 e 6) ed era stata prevista nell'ambito del programma di lavoro nel *task* 2. Per quanto riguarda i *tasks* 4 e 5 l'inizio delle ricerche era stato previsto per la seconda metà del primo anno. In particolare nel *task* 4 (modellazione del moto del suolo) si è iniziato eseguendo un *blind test* tra le diverse metodologie di simulazione al fine di calibrare le procedure di calcolo da applicare nell'area *training* di Colfiorito. Al contrario, il *task* 5, che è dedicato agli studi sugli effetti di amplificazione del moto del suolo causati dalla geologia locale, inizierà le attività dopo il completamento della fase di processamento dei dati acquisiti durante la campagna di Città di Castello.

Gli obiettivi previsti per il primo anno di attività sono stati completamente raggiunti e già sono disponibili i primi prodotti fruibili.

La relazione verrà articolata elencando gli obiettivi previsti per il primo anno di attività e successivamente presentando i risultati raggiunti nei diversi *tasks* in modo da consentire un facile confronto con il progetto esecutivo.

OBIETTIVI I° ANNO

Task 1. Responsabile P. Montone, INGV Roma
Caratterizzazione Geometrica e Meccanica delle Sorgenti

Coinvolte UR1, UR3, UR7.

- Raccolta e Revisione informazioni sulle strutture sismogenetiche per l'area training di Colfiorito*
 - *UR1*
- Sviluppo e test dei codici per la modellazione termo-elettrica e studi di risoluzione dei metodi*
 - *UR3*
- Processamento ed Interpretazione Linee di Sismica di esplorazione*
 - *UR7*

Task 2. Responsabile A. Michelini, OGS, Trieste
Caratterizzazione della struttura crostale (elastica ed anelastica)

Coinvolte UR1, UR2, UR4, UR6.

- Modelli di velocità e attenuazione per il sito training di Colfiorito e Sellano: raccolta e revisione delle informazioni disponibili.*
 - *UR1, UR2, UR4, UR6*
- Campagna di acquisizione dati nel test site Città di Castello*

Task 3. Responsabile L. Malagnini, INGV Roma
Determinazione delle Leggi di attenuazione del moto del terreno

Coinvolte UR1 e UR6.

- Studio delle leggi di Attenuazione a scala regionale per l'Appennino Centro-Settentrionale*
 - *UR1*

Task 4. Responsabile A. Zollo, Università di Napoli
Validazione di metodologie per il calcolo di sismogrammi sintetici.

Coinvolte UR1, UR2, UR3, UR4 e UR5.

- Sviluppo di Codici di calcolo*
 - *UR1, UR2, UR3,*
- Calcolo di Sismogrammi sintetici per l'area di Colfiorito*
 - *UR1, UR2, UR3, UR4, UR5*
- Confronto e verifica dei risultati delle simulazioni (tutte le unità)*

Task 5. Responsabile Antonio Rovelli, INGV, Roma.
Caratterizzazione degli effetti di sito.

Coinvolte UR1, UR2, UR4 e UR6.

- Raccolta di informazioni geologiche e geotecniche per l'area training di Colfiorito (UR1,UR4, UR6).*
- Raccolta di materiale bibliografico e di informazioni geologiche e geotecniche per le aree test (UR1,UR4, UR6).*

- ❑ *Raccolta ed organizzazione dei dati sismici weak e strong motion esistenti ed utili agli obiettivi del task per l'area training (UR1 & UR6).*
- ❑ *Campagna di raccolta dati microsismici e di microtremore nell'area test di Città di Castello (UR1,UR2, UR4, UR6).*
- ❑ *Valutazione con tecniche spettrali degli effetti di sito per l'area di Sellano utilizzando i dati raccolti nell'esperimento TOMOSEL e per l'area di Cesi (UR2, UR4, UR6).*
- ❑ *Valutazione e confronto delle varie tecniche per la stima degli effetti di amplificazione locale con particolare riferimento agli effetti topografici (Sellano, Nocera) (UR1, UR2, UR4, UR6).*

RISULTATI I° ANNO

TASK 1 - Identificazione e caratterizzazione delle Sorgenti Sismiche.

(Resp. Scient: P. Montone, *UR1, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – INGV – Roma*) (UR1. P. Montone, L. Cucci, M.T. Mariucci, S. Pierdominici)

- (UR PARTECIPANTI: UR1,UR3, UR7)

◆ AREA TRAINING DI COLFIORITO

In questo primo anno di attività i lavori sono stati focalizzati nell'area training di Colfiorito. E' terminato il documento relativo allo stato dell'arte per quanto riguarda le conoscenze disponibili sulle sorgenti sismiche attivate durante la sequenza sismica del 1997-1998. Questo rapporto finale costituisce uno strumento fondamentale per la proposizione dei modelli di sorgente con cui iniziare le simulazioni del movimento del terreno durante i terremoti più forti previste nel task 4. Lo stato dell'arte elaborato in questo progetto sarà anche un utile prodotto che verrà distribuito tra i ricercatori afferenti al progetto stesso ed alla comunità scientifica italiana. Il rapporto finale è presentato nell'ALLEGATO A.

Le principali considerazioni che possiamo trarre riguardano l'estensione e la forma di questo bacino sedimentario e di quelli limitrofi, che sembrano essere legate alle dimensioni dei segmenti di faglia che mostrano l'esistenza di deformazioni attive permanenti.

La sequenza sismica, iniziata il 3 Settembre 1997 con scosse di $M_L = 4.4$, ha avuto la sua massima espressione il 26 Settembre 1997 con il verificarsi di due scosse di $M_w = 5.7$ e 6.0 . La sequenza sismica si è conclusa nel Maggio 1998, con un evento profondo verificatosi il 26 Marzo 1998 nel bacino di Gualdo Tadino, che può essere relazionato alla deflessione della crosta Adriatica sotto la catena Appenninica (40-60 Km). I piani di faglia a basso angolo e la fagliazione normale dell'area può essere associata ad un'inversione dei preesistenti *thrust*, anche se l'andamento delle faglie sismogenetiche è planare. Vari modelli suggeriscono che una faglia normale può riattivare in profondità un *thrust-ramp* con un angolo critico di immersione $\alpha \geq 32^\circ \pm 1^\circ$. Il particolare assetto tettonico dell'area, legato a strutture poste trasversalmente all'andamento generale, rappresenta una barriera geometrica alla propagazione della rottura durante il verificarsi di un terremoto. Per quanto concerne l'interpretazione delle strutture tettoniche rilevate sul terreno (se di origine gravitativa o tettonica) si evince che, allo stato attuale delle conoscenze, è ancora di difficile soluzione. Nel lavoro di BARCHI *et alii* (2000), che rappresenta un rendiconto sintetico dei risultati ottenuti, relativo alle conoscenze disponibili su Colfiorito, la maggior parte degli Autori è concorde nel considerare la faglia sismogenetica come un piano di sovrascorrimento invertito in regime distensivo. Mentre, sono discordi sull'interpretazione in chiave cinematica della sequenza sismica 1997-98. Per una più rapida consultazione dei dati, sono stati riassunti in due tabelle di dettaglio.

◆ AREA TEST DI CITTÀ DI CASTELLO

(UR1 P. Montone, L. Cucci, A. Amato)

Parallelamente è iniziata l'attività di ricerca sull'area test di Città di Castello (CdC) mediante un lavoro sistematico di sintesi e revisione critica delle conoscenze attuali su quest'area, ed in particolare:

Bibliografia – raccolta e revisione del materiale esistente in letteratura per l'area di CdC; i dati più interessanti e/o originali provengono dal rapporto sul progetto CROP 03 e da alcune recenti pubblicazioni sulla faglia altotiberina.

Sismicità storica – sono stati individuati dal CPTI i sette più forti eventi storici in un raggio di ~50 km da CdC, nonché quelli che su CdC hanno avuto il maggior risentimento. È stato inoltre analizzato preliminarmente il campo macrosismico di questi terremoti. Per tre di questi eventi (1781, 1789, 1917) esiste anche una possibile localizzazione della sorgente sismogenetica, basata esclusivamente sull'analisi di dati di risentimento.

Sismicità strumentale – l'analisi preliminare della microsismicità degli ultimi 15 anni ha portato all'individuazione di due sequenze sismiche significative (agosto 1986, $M_d \max=3,7$) (ottobre 1997, $M_d \max=4,1$) entro 20 km da CdC. Il riprocessamento con procedure più sofisticate degli eventi in queste due sequenze potrebbe eventualmente aiutare a definire lo spessore crostale sismogenetico e a dare qualche indicazione sul meccanismo di fagliazione più probabile e sulla geometria delle strutture sismogenetiche.

Geologia e geomorfologia – è stata prodotta una carta geologica di base mettendo a confronto i dati provenienti dalla Carta Geologica d'Italia al 100.000, dal Modello Strutturale al 500.000 e dai risultati del progetto CROP 03. L'analisi geomorfologica a grande scala ha portato all'individuazione di alcune anomalie nel drenaggio e nei processi deposizionali in atto nella Val Tiberina, che verranno esaminati più in dettaglio in quanto potrebbero essere messe in relazione con strutture attive nell'area.

Infine in Eni si sono avuti diversi incontri con Merlini e Cippitelli (ricercatori Eni) per lo studio delle linee sismiche dell'area di Città di Castello ma anche si è iniziata a verificare la disponibilità per la Val d'Agri.

◆ Aree Test di Città di Castello e Val d'Agri

Stato di stress attivo nella crosta

Nell'ambito di questo progetto sono stati revisionati tutti i dati in nostro possesso relativi alle perforazioni profonde ubicate entro le due aree test (il rapporto completo è presentato nell'**ALLEGATO B**). Sono stati esaminati 13 pozzi dei quali 11 nell'area della Val d'Agri e 2 nella zona di Città di Castello. E' stata effettuata un'attenta revisione dei dati riguardanti le sequenze stratigrafiche attraversate dalle perforazioni, al fine di poter correlare eventuali variazioni in profondità della direzione dell' Sh_{min} all'assetto geologico-strutturale.

Zona "Città di Castello"

In quest'area sono presenti solo due perforazioni dalle quali risultano direzioni di Sh_{min} differenti (N77+/-23 e N11+/-29), che complessivamente quindi concordano con un'estensione in direzione antiappenninica. Questi due dati sono ovviamente pochi per fare qualsiasi ipotesi ma rappresentano le uniche informazioni di questo tipo in questa parte della catena appenninica. E' stata effettuata una stima del regime di stress dalla presenza dei breakout e i risultati per il pozzo n.2 indicano un regime di stress distensivo in accordo con le orientazioni di Sh_{min} trovate

Zona "Val d'Agri"

Solo 8 degli 11 pozzi presenti forniscono una direzione media di Sh_{min} attendibile. Nonostante la qualità differente tutti i dati sono coerenti fra loro e indicano un Sh_{min} medio in direzione circa NE-SW (da N13 a N59). Dal confronto tra distribuzione dei breakout in profondità e resistenza delle rocce è stata stimata l'esistenza di un regime di stress distensivo, in accordo con le direzioni di Sh_{min} . Vengono anche riportati i risultati di un tentativo di calcolo dei valori degli stress principali a partire da dati di test di leak off; sono valori puntuali affetti da errore che vanno considerati solo come indicazione.

◆ RICOSTRUZIONE DELLE STRUTTURE, DEI SISTEMI DI FAGLIE E DELLE DISTRIBUZIONI DI VELOCITÀ ATTRAVERSO LA RIELABORAZIONE DELLA SISMICA DI ESPLORAZIONE ESISTENTE. RELAZIONE PRELIMINARE
(UR 7. Mazzotti, Zanzi, Stucchi, Fradelizio, Zamboni, Grandi)

Nel primo anno di attività questa unità aveva come obiettivi la selezione delle linee sismiche NVR da rielaborare con priorità 1 e la produzione dei relativi risultati in termini di *stack* finali e di campi di velocità I principali risultati raggiunti (si veda anche la relazione di UR7 per una estesa discussione) sono relativi a:

Definizione di una sequenza di elaborazione ottimizzata per evidenziare riflettori in profondità in aree caratterizzate da strutture complesse e da rapporto segnale-rumore basso. Sono state selezionate due linee sismiche per sperimentare questa procedura di elaborazione, entrambe messe a disposizione da ENI-AGIP. Entrambe le linee sono state selezionate per la loro importanza nella definizione delle strutture di sottosuperficie e per il riconoscimento delle faglie. Si tratta di profili acquisiti con sorgente *Vibroseis* e che mostrano problemi analoghi in termini di qualità del dato, in generale assai bassa.

La linea PG-308-83-V e' stata rielaborata due volte. Nella prima rielaborazione l'attenzione è stata puntata sui riflettori profondi come ad esempio quelli tra 4s e 45 s nel segmento centrale della linea (CMP 1000 – 1300). La seconda rielaborazione e' stata invece finalizzata a ricostruire meglio la parte superficiale (fino a 2 s) per l'intero profilo in modo da evidenziare la presenza di faglie vicine alla superficie o addirittura affioranti.

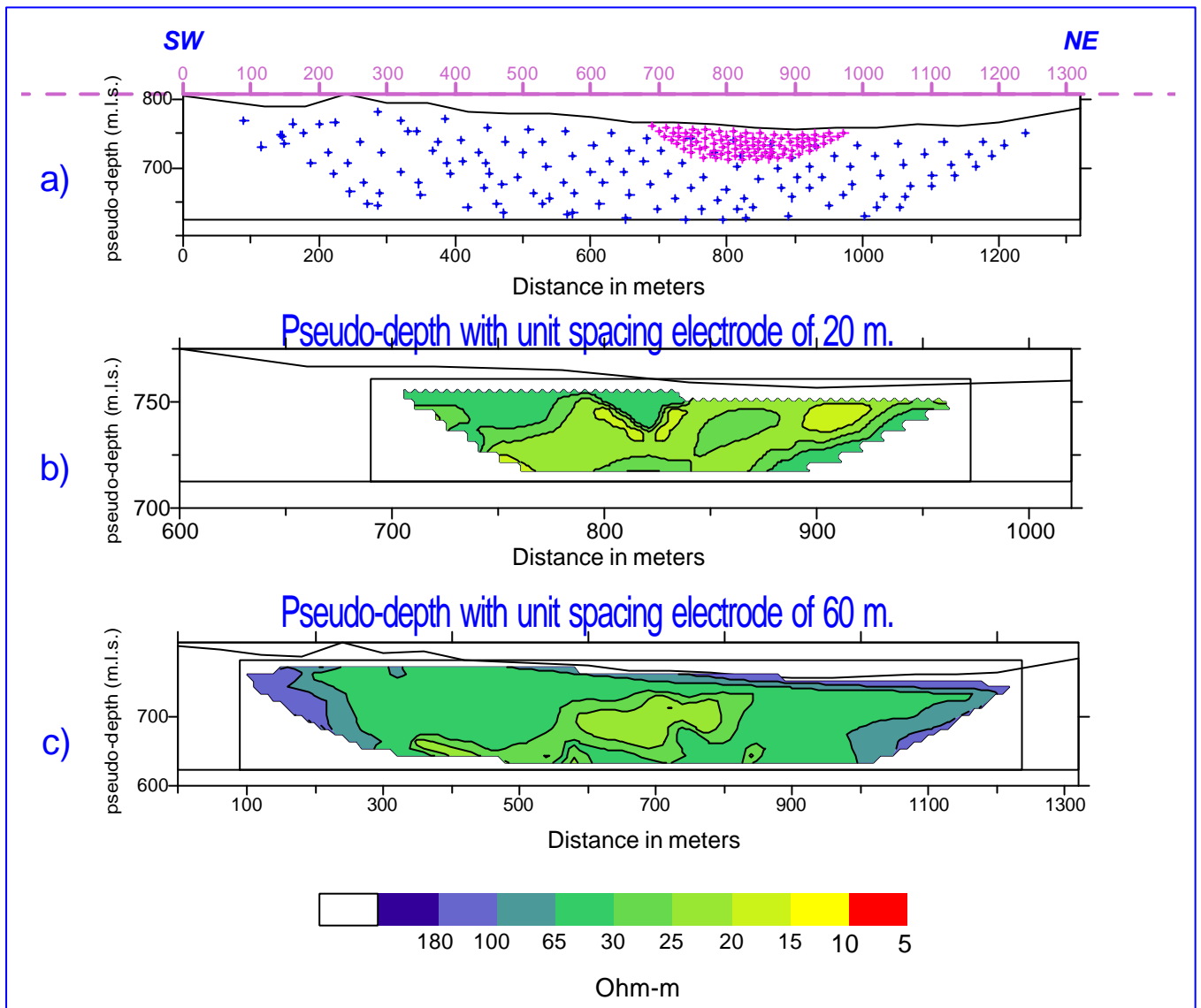
I dati del profilo MC-347-81-V sono stati elaborati fino alla produzione di uno *stack* preliminare. Durante il primo semestre e' stata ricavata una stima del campo di velocità 2D per le onde P il cui confronto con la funzione di velocità 1D, ricavata da dati sismologici da altri partner del progetto, ha evidenziato un buon accordo almeno fino a 4000m di profondità.

◆ MESSA A PUNTO DI MODELLI TERMO-ELETTRICI PER LE AREE DI FAGLIA ED ACQUISIZIONE DI PSEUDOSEZIONI GEOELETTRICHE AD ALTA RISOLUZIONE NELL'AREA DI COLFIORITO.

Sviluppi metodologici

Uno degli sforzi più significativi di questa UR in ambito metodologico è finalizzato alla caratterizzazione delle aree di faglia, mediante l'elaborazione di modelli che utilizzino congiuntamente dati relativi a diversi parametri fisici. In questo primo anno di attività è stato sviluppato un modello "termo-elettrico" per il sistema di faglie Umbro-Marchigiano (UM). Tale modello rappresenta una plausibile interpretazione congiunta di dati sperimentali relativi a 3 profili, uno relativo al flusso di calore, uno magnetotellurico e uno di sismica a riflessione, quasi coincidenti tra loro lungo una direttrice antiappenninica e attraversante il sistema di faglie UM nella parte settentrionale. Tale modello è basato sull'ipotesi che la faglia altotiberina (AT) agisca come un piano di scollamento lungo cui si sviluppa calore generato dall'attrito. I dati utilizzati sono stati reperiti in letteratura e/o derivano da precedenti e recenti ricerche effettuate nell'area dai componenti il gruppo di ricerca. L'incremento di temperatura nella "shear zone" è stato calcolato mediante una nuova formulazione analitica che consente di modellare il campo termico, in regime stazionario, generato da una faglia inclinata di un angolo θ rispetto alla verticale, imponendo come geometria della faglia quella dedotta dal profilo di sismica a riflessione. Per questa zona sono stati stimati gli effetti sulla resistività elettrica della matrice rocciosa mediante l'applicazione della legge di semiconduzione.

Field data



2-D model resistivity

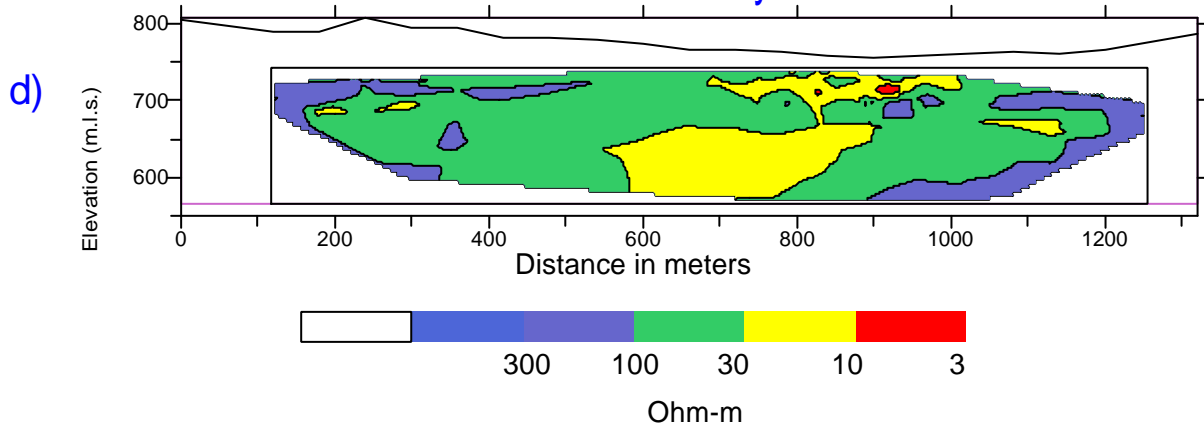


Figura 1. Dipole-dipole geoelectrical pseudosection results: a) pseudosection configurations; b) experimental data obtained with spacing electrode of 20m; c) experimental data obtained with spacing electrode of 60m; d) 2D resistivity model.

Acquisizione dati

Nell'area di Colfiorito il progetto prevede misure di magnetotellurica a profilo continuo e di pseudosezioni di geoelettrica dipolare. Queste ultime permettono di ottenere l'alta risoluzione nella parte superficiale della sezione (dell'ordine di alcune centinaia di metri), mentre le misure magnetotelluriche sono finalizzate all'estrazione di informazioni a scala crostale. In questo primo anno al margine settentrionale della palude di Colfiorito sono state effettuate due pseudosezioni di geoelettrica (configurazione dipolo-dipolo) con differente risoluzione (vedi figura 1a) lungo lo stesso profilo (direzione N66°E) su cui verranno realizzate le misure magnetotelluriche: In figura 1b e 1c sono riportate le misure sperimentali relative alle due pseudosezioni.

Interpretazione e modellistica

Il modello sviluppato per il sistema di faglie Umbro-Marchigiano, che contemporaneamente soddisfa i dati termici ed elettromagnetici disponibili, ha portato ad una stima del prodotto σv di 95 mPa*cm/anno, dove σ è il valore medio dello sforzo di taglio lungo il piano di scollamento e v è la velocità relativa lungo il piano di detachment.

Per quanto riguarda, invece, i dati geoelettrici acquisiti, una procedura di inversione, comprendente gli effetti topografici è stata applicata alle due pseudosezioni fornendo il modello 2D presentato in figura 1d che illustra le variazioni della resistività elettrica nei primi 200m di profondità. Come si può notare in esso è possibile distinguere:

- alle due estremità:
 - zone più resistive associabili rispettivamente a formazioni calcareo-marnose;
- nella parte centrale:
 - a) una zona conduttiva superficiale, che è stata dettagliata grazie alla pseudosezione a 20m, associabile alla zona di palude con spessore massimo in quest'area di circa 50m;
 - b) al disotto di questa un resistivo probabilmente dovuto ad una zona impermeabile al fondo della palude;
 - c) una seconda zona conduttiva che potrebbe rappresentare l'area di massima fratturazione dei calcari, cui sono associati anche fluidi.

Quest'ultima zona potrebbe essere l'espressione dell'anomalia elettrica associabile all'area di faglia.

Questi risultati saranno usati come vincolo per l'interpretazione dei dati magnetotellurici che sono in fase di acquisizione lungo lo stesso profilo.

TASK 2 - Caratterizzazione della struttura crostale (elastica ed anelastica)

(Resp. Scient: A. Michellini, **UR2**, - **OGS** - **Trieste**) (UR2: Alberto Nichelini, Marco Romanelli, Paolo Di Bartolomeo, Andrea Restivo, Aladino Covoni. UR1: Claudio Chiarabba, Marco Cattaneo, Daniele Piccinini. UR4: Roberto De Franco. UR6: Paolo Augliera, Daniele Spallarossa, Elena Eva)

- (UR PARTECIPANTI: UR1,UR2, UR4, UR6)

Acquisizione dati a Città di Castello

E' stata ultimata la campagna di acquisizione dati di Città di Castello che ha avuto una durata complessiva di più di otto mesi. La campagna è stata suddivisa in due fasi principali. Hanno partecipato all'esperimento le UR 1, 2 e 6. Nella prima, come già dettagliato nel rapporto semestrale del progetto, si sono poste le stazioni su un grigliato la cui maglia aveva spaziature dell'ordine dei 5 km e si copriva un area di quasi 60x40 km posta all'incirca tra Gualdo Tadino a S e San Sepolcro a N. Sono stati installati un totale di 27 stazioni portatili che hanno registrato in modalità continua durante tutto il periodo.

L'attività delle UR si è incentrata sulla lettura delle fasi P ed S delle forme d'onda registrate. A questo fine è stata messa a punto una procedura di "event selection" tramite la quale si è riusciti in maniera automatica ad identificare un

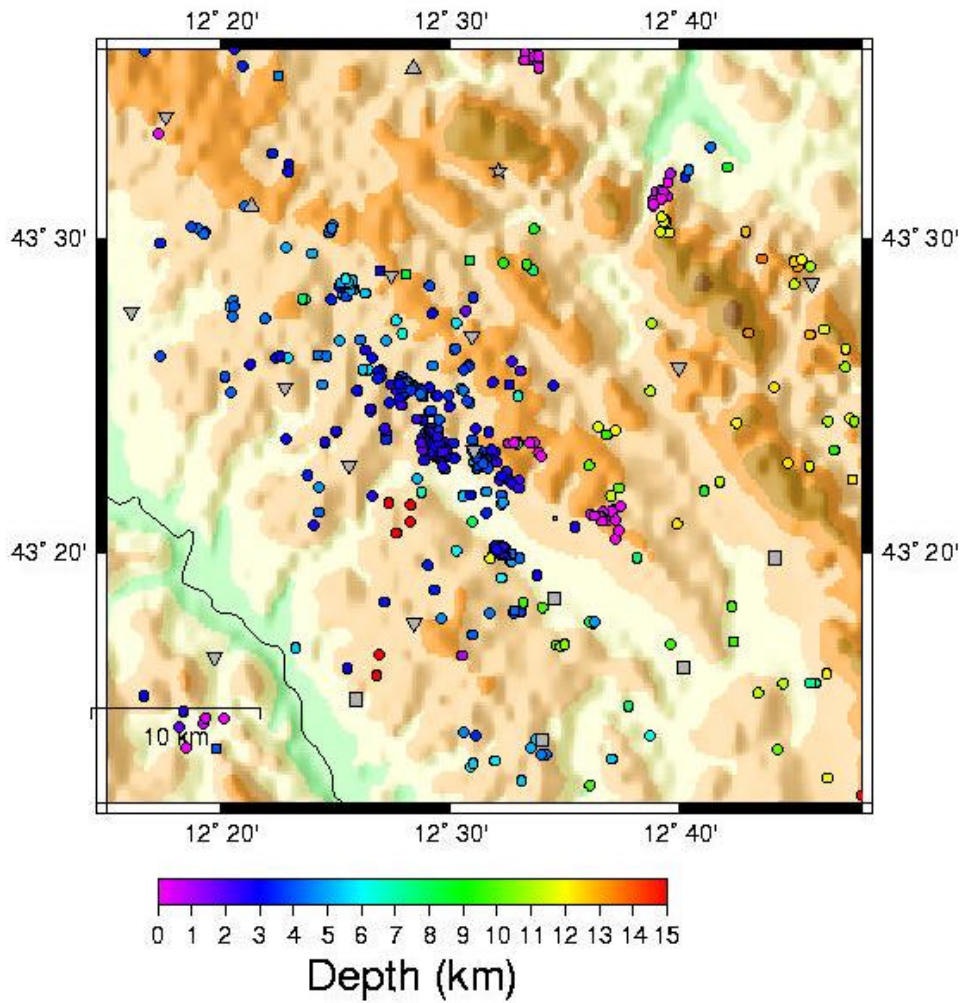


Figura 2 Mappa delle stazioni mobili utilizzate nell'esperimento di Città di Castello. I simboli si riferiscono alle diverse UR partecipanti (Triangoli invertiti=UR1; Quadrati=UR2; Triangoli=UR6). I cerchi si riferiscono ai terremoti localizzati con i dati della rete.

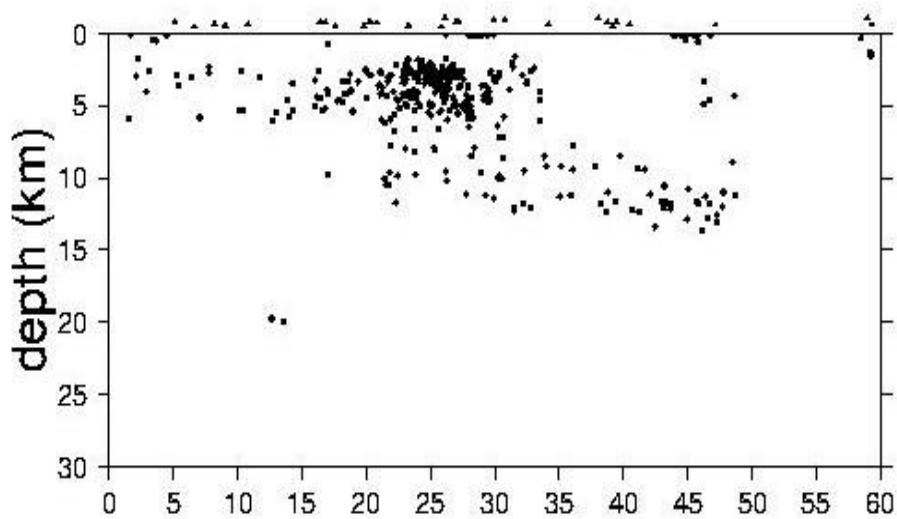


Figure 3. Sezione verticale SO-NE che abbraccia tutta la sismicità registrata nell'esperimento di Città di Castello.

totale di circa 1500 eventi e le letture di fase, suddivise per le varie UR coinvolte nel task 2, sono tuttora in corso. A tal fine è stata poi messa punto una procedura basata sul programma java SeisGram2k sviluppato da Anthony Lomax per lo svolgimento delle letture utilizzando un normale web browser. Questo approccio permette di semplificare in maniera considerevole la parte di lettura dei sismogrammi in quanto è platform independent. Al momento detto sistema è stato utilizzato dalla UR2 ed è prevista l'estensione del suo utilizzo anche alle altre UR. In Figura 2 si presenta la mappa che descrive l'esperimento con posizione delle stazioni mobili e dei terremoti finora localizzati mentre in Figura 3 viene presentata una sezione verticale SO-NE.

Nella seconda e conclusiva fase dell'acquisizione, si sono installate tutte le stazioni mobili nell'area municipale di Città di Castello e, in stretta collaborazione con l'UR 4, si è svolta un'acquisizione mirata allo studio delle amplificazioni locali del moto del suolo nell'ambito del Task 5.

Modelli di velocità a Colfiorito

In questa parte del progetto si sono confrontati i modelli tomografici ottenuti separatamente da parte della UR 1 e UR 2 per la zona di Colfiorito. L'inversione tomografica dell'UR2 ha fatto uso del data set completo (GNDT+INGV) per il periodo della sequenza in cui tutte le reti installate hanno acquisito simultaneamente e si è avuta quindi la massima copertura in termini di stazioni della area epicentrale (18/10 - 3/11/1997).

In Figura 4 si riassume la geometria di acquisizione con le stazioni utilizzate per lo studio di tomografia oggetto del capitolo precedente (triangoli blu) mentre le stazioni dell'ING sono indicate mediante triangoli gialli. I terremoti utilizzati nell'inversione sono rappresentati mediante cerchi bianchi. Nella stessa figura, viene anche riportato il reticolo di inversione utilizzato con la metodologia tomografica con basi cubiche B-splines (cerchi neri piccoli mentre i cerchi rossi piccoli si riferiscono al reticolo utilizzato con basi di interpolazione lineari) assieme alle tracce delle sezioni verticali trasversali (SO-NE) e longitudinali (NO-SE). 537 terremoti per un totale di 25680 fasi (13106 letture P e 12574 S) sono state utilizzate per ottenere il modello finale che viene presentato nelle figure 5 e 6 per quel che riguarda le sezioni orizzontali di velocità. Lo scarto quadratico medio pesato per il modello di velocità delle onde-P, 1-D, iniziale era di 0.113 s che decresce a 0.058 s dopo cinque iterazioni (quasi il 50% di decremento). Analogamente, il decremento per il "misfit" delle fasi S va da 0.135 a 0.076 s. Si nota che, i valori di "misfit" sono leggermente superiori a quelli riscontrati nelle inversione in cui le sole stazioni GNDT erano state usate.

Da una analisi delle figure 5 e 6, si osserva che il modello risolto non differisce particolarmente da quello ottenuto in precedenza (Michelini et al., Journal of Seismology, 4, 415-433) per quel che riguarda la parte meridionale dell'area investigata mentre, nella parte settentrionale del modello, emergono molti dettagli prima assenti o "sfuocati". L'inversione tomografica dell'UR1 ha fatto uso del data set ING (coordinato da tale Ente) che comprende tutti i terremoti di M_L superiore a 2.5 avvenuti nel periodo 27 settembre - 3 Novembre. Il numero di stazioni utilizzate è minore di quello usato dall'inversione dell'UR1 ma il numero di terremoti è maggiore. Sono stati risolti sette strati posizionati fra 0 e 6 km di profondità con nodi spaziali di 2 km nella parte centrale del modello. La parametrizzazione usata è stata scelta ottimizzando la risoluzione di ogni parametro e la fedeltà delle immagini.

Sono stati invertiti 24,172 arrivi P e 22,444 tempi S-P da 1982 terremoti ad un totale di 33 stazioni ottenendo il 71 % di riduzione di varianza e un rms finale di 0.08 s dopo quattro iterazioni. La risoluzione dei modelli è stata verificata sia con test di risoluzione con una analisi completa della matrice di risoluzione considerando sia gli elementi diagonali che quelli fuori dalla diagonale (*spread function*). Le figure 7 e 8 mostrano i modelli di velocità ricavati per le onde P e per il rapporto V_p/V_s . Possiamo notare una forte eterogeneità del mezzo nella parte centrale del modello dove evidenti zone ad alta velocità indicano la presenza di un alto strutturale nella zona sede delle due principali faglie rotte dai mainshocks del 26 settembre. Anche il rapporto V_p/V_s mostra forti variazioni con anomalie di alto V_p/V_s negli strati più superficiali associate a zona di alta V_p mentre alla profondità di nucleazione dei terremoti forti osserviamo anomalie negative di V_p/V_s .

UMBRIA-MARCHE: TOPOGRAPHY

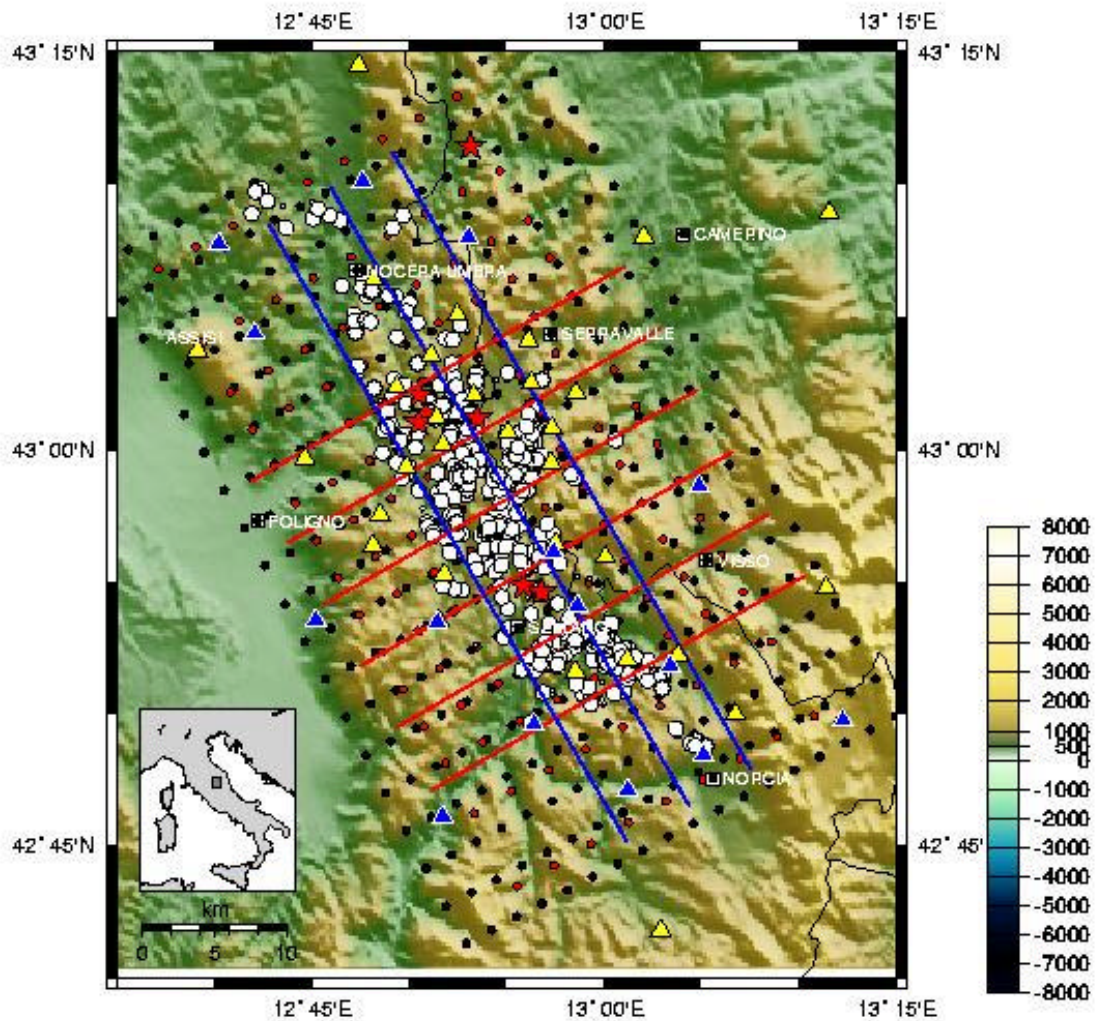


Figure 4 Mappa di Colfiorito con indicate le stazioni (Triangoli blu e gialli), i terremoti utilizzati nell'inversione (cerchi bianchi), il grigliato di inversione (punti neri). Le tracce delle sezioni sono anche riportate mediante linee spesse blu e rosse.

Le sezioni ortogonali alla struttura in *slices* intervallati di 2 km da NW a SE (non presentati in questa sede per brevità) mostrano dettagli della struttura e geometria delle faglie. Si possono notare come le faglie normali a basso angolo attivate con ripetuti terremoti di Md maggiore di 4 sono in qualche modo controllate dalla struttura pre-esistente dominata dalla presenze di unità mesozoiche sovrascorse ed est-vergenti.

In generale notiamo una forte similitudine con i modelli calcolati da UR2 specialmente nella zona centrale e meridionale della struttura.

Modelli di velocità a Sellano

Questa parte del progetto è leggermente in ritardo rispetto al programma previsto. E' in fase di organizzazione il data set relativo a Sellano che si compone di dati di sismica multi-canale e di registrazioni ottenute da stazioni mobili. Si prevede il rilascio dei dati alle altre UR entro la fine del 2001.

Vp (top) and dVp/Vp (bottom)
 DEPTH: 1 km (left), 2 km (center), 3 km (right)

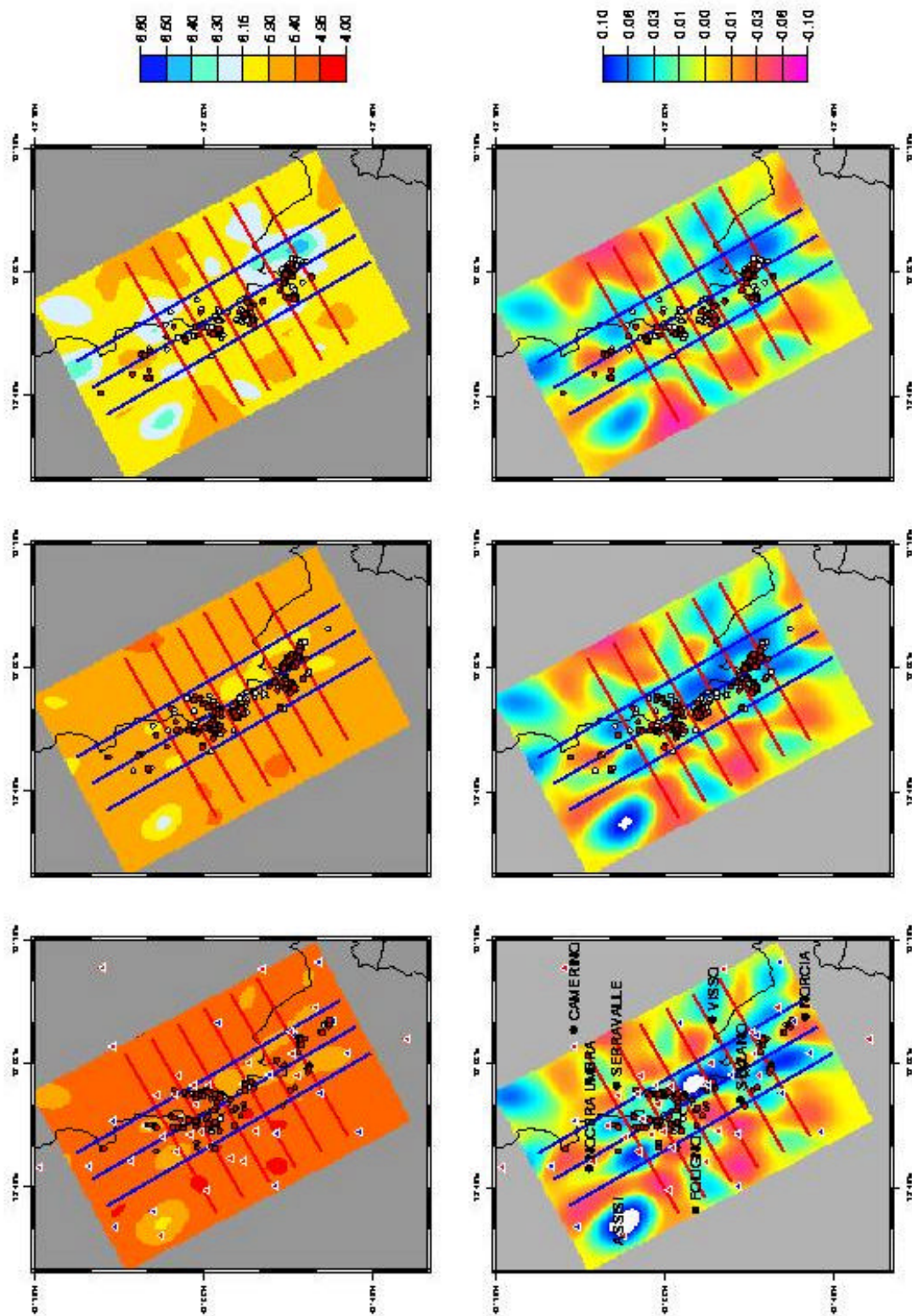


Figure 5. Modello tomografico delle onde P ottenuto da UR 2. I pannelli di sopra mostrano le sezioni in velocità mentre quelli in basso come perturbazioni rispetto al modello 1-D di partenza.

Vp (top) and dVp/Vp (bottom)
 DEPTH: 4 km (left), 6 km (center), 8 km (right)

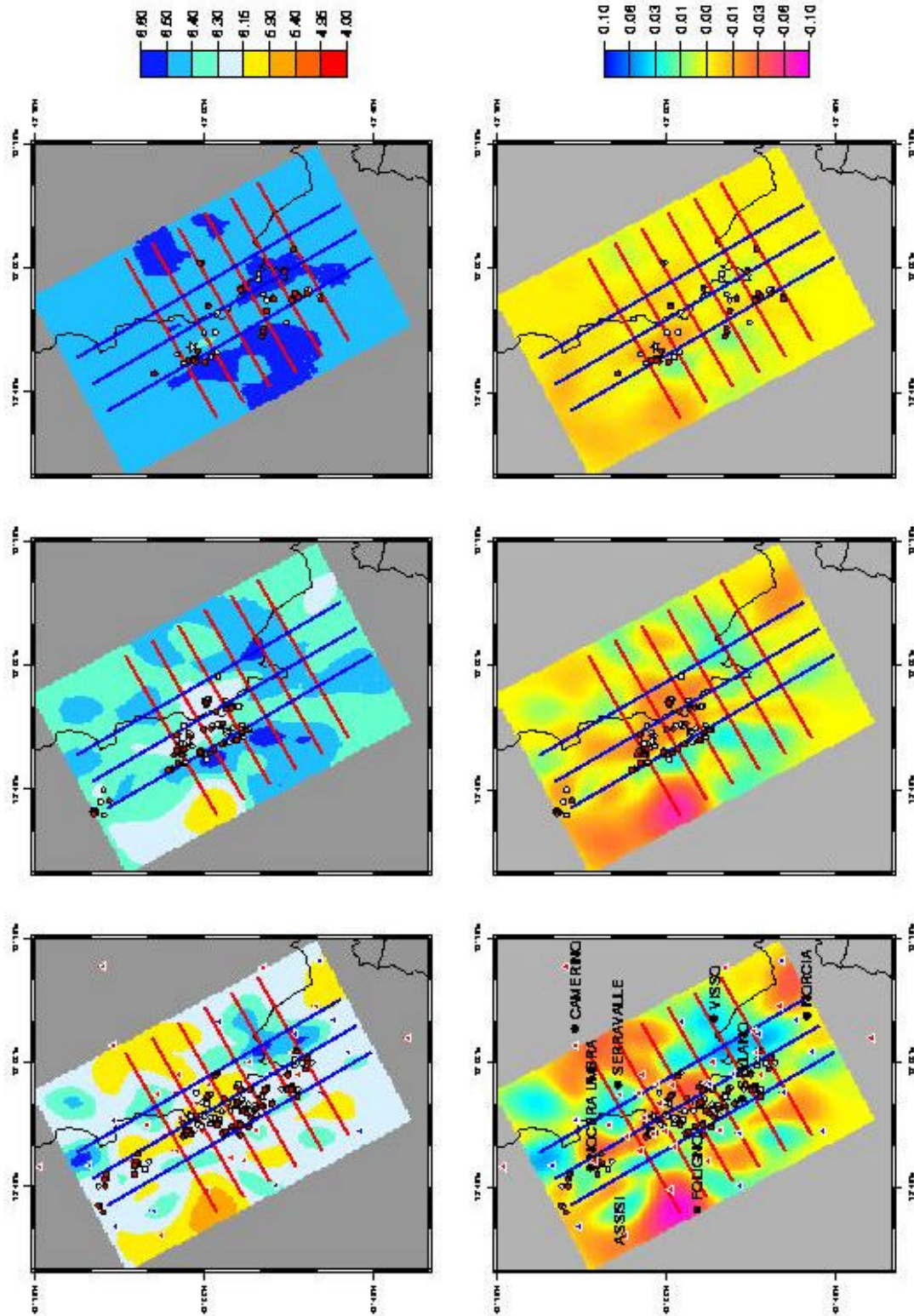


Figura 6. Come in Figura 5 ma per profondità maggiori.

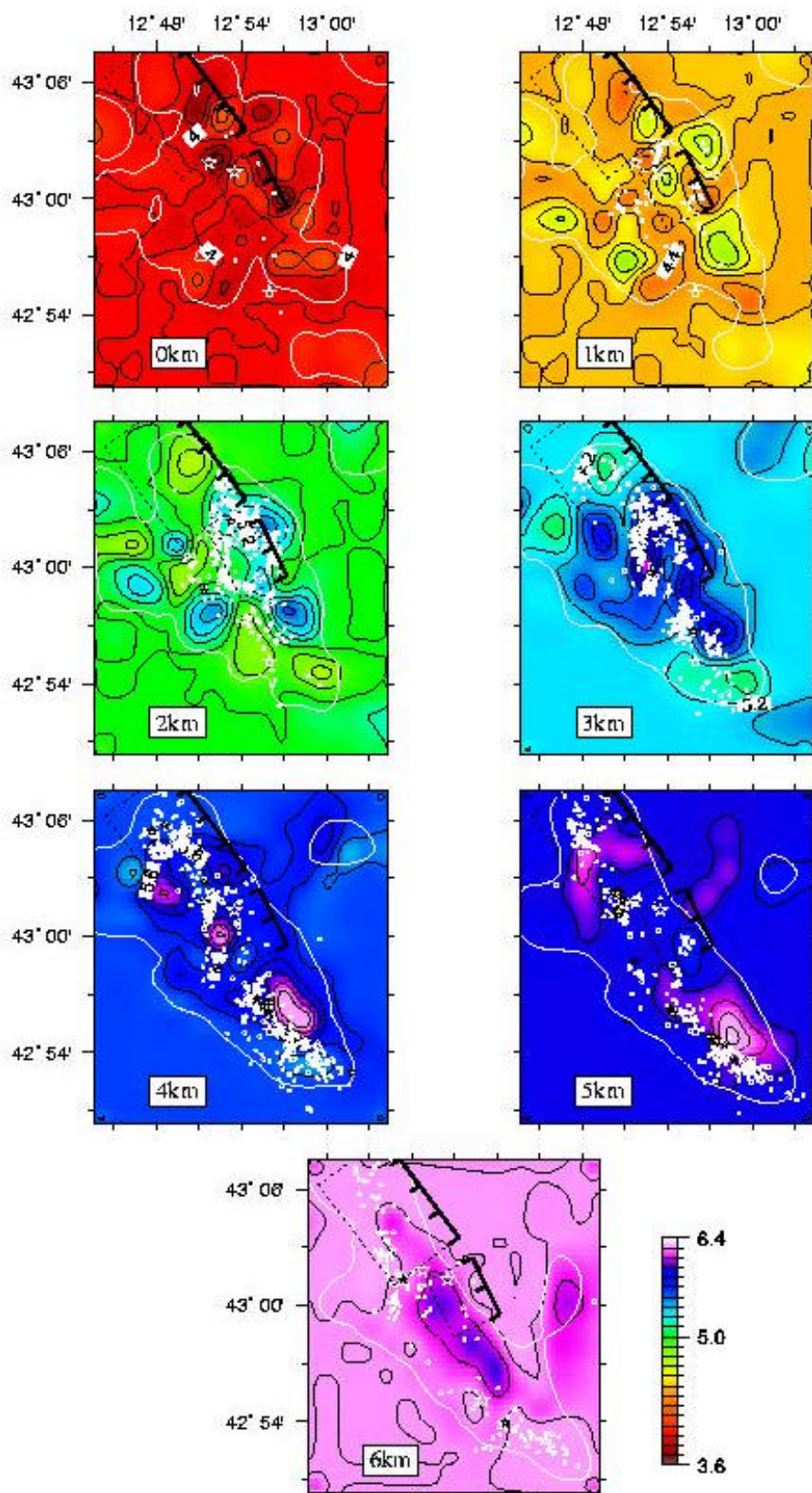


Figura 7. Modello di velocità delle onde P presentato mediante sezioni orizzontali ottenuto dalla UR 1.

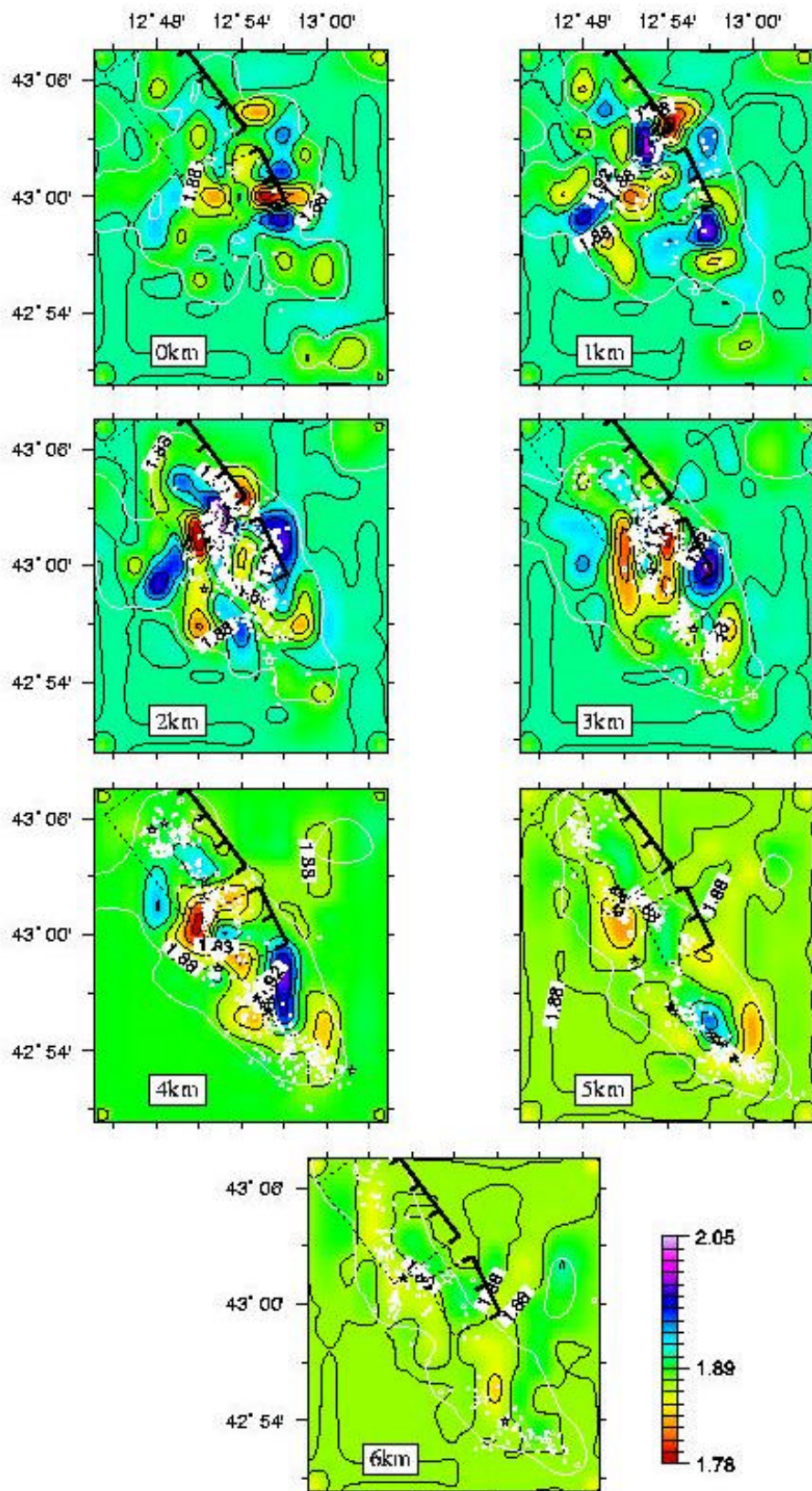


Figura 8. Rapporto V_p/V_s per le stesse sezioni orizzontali di Figura 7.

TASK 3 - Determinazione delle Leggi di Attenuazione del moto del Terreno

(Resp. Scient: L. Malagnini, URI, - INGV – Roma)

(UR PARTECIPANTI: UR1)

La valutazione della pericolosità sismica non può prescindere dall'utilizzo di adeguate relazioni empiriche che descrivano le leggi di scala del ground-motion. E' stata inoltre recentemente puntualizzata la necessità di regionalizzare tali leggi empiriche (Raouf et al., 1998), ed in questo contesto si inseriscono le valutazioni empiriche delle leggi di scala per il *ground motion* in Appennino che verranno descritte in questa sede. Per questo studio sono state raccolte oltre 6000 forme d'onda orizzontali relative a terremoti appenninici registrati entro una distanza ipocentrale di 300 km. Tali sismogrammi sono stati registrati durante tre esperimenti realizzati negli anni 1994-95-96, i quali hanno visto l'installazione di tre *array* appenninici per l'osservazione di eventi a distanza telesismica per lo studio della struttura crostale. Tutta la sismicità locale e regionale registrata durante i periodi di funzionamento dei transetti, e' stata utilizzata per costruire il set di dati sopra menzionato. Allo stesso sono stati aggiunti circa 2000 forme d'onda orizzontali registrate dalla rete mobile dell'INGV durante la crisi sismica di Colfiorito del 1997-98, ed alcune centinaia di registrazioni provenienti dalla zona di Massa Martana.

I sismogrammi, corretti per la risposta strumentale e ruotati secondo le direzioni radiale e trasversale del moto, sono stati controllati singolarmente allo scopo di eliminare tutti quelli relativi a eventi multipli e/o affetti da picchi spuri. Esaurita la fase di selezione, i sismogrammi, divisi per evento, sono stati filtrati intorno a un set di frequenze di campionamento. Per ogni frequenza centrale di tale set, f_c , viene definito un filtro passa-basso, con *corner frequency* a $0.707 f_c$, ed un passa-alto con *corner frequency* a $1.414 f_c$. I filtri utilizzati sono dei Butterworth a 8 poli. Ogni singolo sismogramma viene filtrato secondo le caratteristiche appena descritte, ed i valori di picco delle forme d'onda così ottenute sono scritti nella forma seguente:

$$\log (a(f)) = SRC(f) + D(r,f) + SITE(f).$$

L'insieme di tutte le osservazioni così ottenute viene inserito in una forma matriciale che verrà poi invertita per i tre termini dell'equazione appena descritta. Il termine di propagazione crostale, $D(r,f)$, e' scritto in forma di funzione lineare a tratti, e non e' parametrizzato. Questo ci permette di lasciare che i dati effettivamente definiscano l'attenuazione crostale, senza che la introduzione di un particolare modello di attenuazione influenzi in alcun modo il termine empirico di propagazione crostale. Le regressioni vengono effettuate separatamente a tutte le singole frequenze di campionamento.

Allo scopo di ridurre i gradi di libertà del sistema, alcune condizioni vengono imposte al sistema:

1. $D(r=r_{ref},f)=0$; $r_{ref} = 40 \text{ km}$
2. $\sum_i SITE_i(f) = 0$
3. Una leggera condizione di *smoothing* viene applicata a $D(r,f)$ durante le regressioni.

La prima condizione separa il contributo all'attenuazione regionale dal termine

$$\exp(-\pi\kappa_0),$$

l'effetto del quale viene interamente riversato sul termine di sorgente, $SRC(f)$; il significato fisico di quest'ultimo va ora riferito alla distanza di riferimento (arbitraria), ed è leggermente modificato dalla seconda condizione, nel senso che ora qualunque effetto sistematico sui dati dovuto, per esempio, a caratteristiche comuni a molti dei siti di registrazione viene interamente riversato sui termini di sorgente. Uno strumento matematico chiamato Random Vibration Theory (RVT) viene utilizzato per le successive modellazioni teoriche. A questo scopo si rende necessario studiare l'andamento

delle durate dei segnali significativi in funzione della distanza ipocentrale e della frequenza. Anche questo risultato viene ottenuto attraverso una regressione.

Risultati Relativi all'Appennino

La modellazione dei risultati delle regressioni sui valori di picco delle serie temporali filtrate ha fornito i seguenti risultati:

1. $Q(f) = 130 (f/1.0)^{0.1}$
2. $\kappa = 0.00$ s
3. Una funzione di *spreading* geometrico tri-lineare (in uno spazio loglog), con distanze di *crossover* a 30 ed 80 km. L'andamento dell'attenuazione geometrica e' iperbolico fino alla distanza di 30 km, quindi costante fino a 80 km, ed e' quindi proporzionale a $r^{-1/2}$ per distanze maggiori.
4. Una funzione lineare della distanza, con coefficiente angolare pari a 0.06 s/km e termine costante nullo, descrive in maniera soddisfacente la durata dei segnali in funzione della distanza ipocentrale. Un funzionale empirico che descrive nel dettaglio la durata temporale dello scuotimento, in funzione di frequenza e distanza ipocentrale, e' stato anche determinato.

La validità dei risultati indicati e' stata verificata nell'intervallo di frequenza: 0.25 - 16 Hz.

I parametri dei funzionali di attenuazione e durata sono stati utilizzati per calcolare gli andamenti teorici delle accelerazioni orizzontali di picco; questi ultimi sono stati confrontati con le relazioni empiriche di Sabetta e Pugliese (1987). Il confronto mette in luce notevoli differenze, indicando però un accordo sostanziale per quanto riguarda i comportamenti medi, entro gli intervalli di distanze campionate dai dati utilizzati da Sabetta e Pugliese. I confronti riguardanti le velocità di picco, invece, indicano l'esistenza di sostanziali lacune nei modelli spettrali utilizzati per le valutazioni teoriche. Si ravvede la necessità di utilizzare modelli spettrali a due *corner frequencies* per le magnitudo più elevate in Appennino. La Figura 9 mostra le leggi di attenuazione descritte.

TASK 4 - Validazione Di Metodologie Per Il Calcolo Di Sismogrammi Sintetici.

(Resp. Scient: Aldo Zollo, UR3, Università di Napoli)
(UR PARTECIPANTI: UR1, UR2, UR3, UR4 e UR5)

Questo macro-obiettivo comprende studi di carattere metodologico ed applicativo finalizzati alla predizione del movimento forte del suolo considerando modelli realistici di frattura sismica e di propagazione. Per la modellistica della sorgente sismica sono adottate ed implementate numericamente tecniche che considerano fratture eterogenee. L'effetto di propagazione è valutato attraverso metodi asintotici e di calcolo del campo completo in mezzi 1-D/3-D. Nel primo anno le UR hanno condotto un'attività di sviluppo metodologico e di applicazione all'area training di Colfiorito interessata dalla sequenza sismica del 1997. In particolare il problema del confronto quantitativo dei sismogrammi sintetici calcolati con diversi metodi numerici è stato affrontato mediante la realizzazione di una serie di *tests* di comparazione di forme d'onda e spettri calcolati per una dimensione, geometria e meccanismo di sorgente che riproduce il caso del terremoto principale della sequenza di Colfiorito (*Blind Tests*). I risultati di queste analisi sono descritti nell'**ALLEGATO C** del presente rapporto.

Sviluppo metodologico e studi numerici

Metodo pseudospettrale di Fourier 3-D

E' stato sviluppato ed implementato un algoritmo per la modellazione 3D dei campi d'onda sismici con un algoritmo che utilizza griglie sfalsate, basato sulla soluzione dell'equazione completa delle onde elastiche in mezzi eterogenei con il metodo pseudospettrale di Fourier. Il metodo lavora con sorgenti impulsive come forze unidirezionali, volumetriche e di doppia coppia. La validazione della tecnica è stata effettuata attraverso comparazione dei sismogrammi ottenuti in casi standard con approcci analitici e numerici.

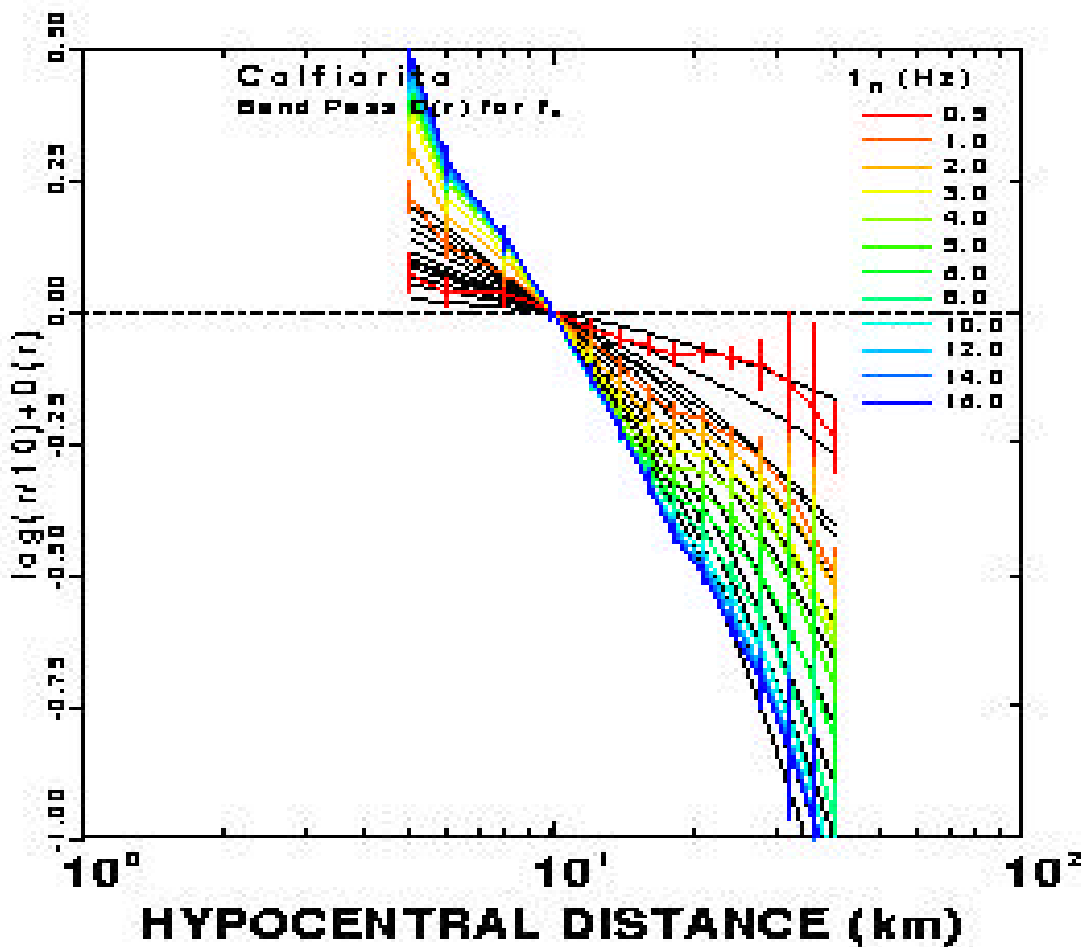


Figure 9. Nuove leggi di attenuazione dei valori di picco (PGA) proposte da Malagnini et al. (2000) per l'area di Colfiorito.

Somma delle Funzioni di Green Empiriche

E' stato sviluppato una tecnica per il calcolo di sismogrammi sintetici basati sulla somma di funzioni di Green empiriche introdotte da Hartzell (1978). Il metodo consiste nell'uso della registrazione di piccoli eventi sismici, spesso aftershocks, come funzione di Green. Il modello k-quadro proposto da Herrero e Bernard (1984) è stato utilizzato per approssimare le forme spettrali dell'evento principale di cui si vuole calcolare il campo sismico irradiato. Il metodo è stato testato su dati sintetici ed è stato applicato per la simulazione del moto sismico registrato durante la sequenza del 1997 utilizzando come funzione di Green un evento precursore del 3 Settembre 1997.

Inversione non lineare di dati sismici a corto periodo

E' stata implementata una tecnica di ottimizzazione non lineare (Algoritmo genetico) per la determinazione della storia di rottura a partire da registrazioni sismiche di alta frequenza ottenute in condizioni "far-field" ed in prossimità della sorgente. Il modello cinematico di rottura assume che ciascun punto sulla faglia dislocchi al passaggio di un fronte di rottura a velocità variabile secondo una funzione rampa di ampiezza variabile da punto a punto. La funzione di Green è calcolata in approssimazione asintotico del campo d'onda in un mezzo 1-D. Il metodo di inversione è stato applicato

ad un caso sintetico che riproduce l'occorrenza di un evento sismico di $M=6$ con meccanismo di faglia normale, tipico dei terremoti moderati in Appennino.

Sismogrammi sintetici con un metodo ibrido

E' stata messa a punto una tecnica di simulazione ibrida che rappresenta uno sviluppo della metodologia proposta da Cultrera (1994), Mendez e Pacor (1994) e Berardi et. al. (1995) basata su un approccio ibrido in cui le basse frequenze sono simulate in modo deterministico e le alte frequenze in modo stocastico. Gli sviluppi principali sono stati l'implementazione di vari modelli di attenuazione della radiazione in alta frequenza e l'automatizzazione del codice per la sua applicazione ad aree estese (grigliato).

Correlazione tra i parametri cinematici e dinamici della frattura

Sono stati sviluppati ed applicati metodi numerici 3D per il calcolo della frattura dinamica con l'obiettivo di scoprire come lo sforzo, il tasso di dislocazione e lo slip finale sono correlati sulla superficie della faglia. In prima approssimazione si è ipotizzata una frattura impulsiva che attraversa disomogeneità semplici e ben definite nel campo di sforzo iniziale. Si è dunque studiato come il sistema viene alterato dal passaggio della frattura, paragonando le distribuzioni finale ed iniziale di sforzo e di dislocazione. Un risultato importante è il fatto che una delle proprietà dell'impulso di frattura, il tasso di espansione locale, è essenzialmente prevedibile a partire dallo sforzo locale nei modelli disomogenei, data una legge di attrito e le proprietà elastiche del mezzo. Questo tipo di studi può avere importanti implicazioni per la definizione di modelli semplificati quasi-dinamici di frattura da utilizzare per la modellazione di sismogrammi reali.

Applicazione all'area training di Colfiorito

Simulazioni del moto forte del suolo per l'area di Colfiorito (Blind Tests)

Nell'ambito delle simulazioni del moto forte del suolo sono stati effettuati una serie di blind test in una situazione realistica coincidente con il terremoto di Colfiorito. Tali test hanno avuto lo scopo di confrontare i risultati ottenuti da diverse unità di ricerca con metodologie di simulazione differenti consentendo di stabilire la consistenza delle stime del tempo di arrivo, ampiezza, polarizzazione e forme spettrali delle principali fasi sismiche. Le metodologie utilizzate sono state la teoria asintotica del raggio (UR 3), il metodo dei numeri d'onda discreti (UR 3), il *wave number integration method* (UR 2), la tecnica dei modi normali (UR 5), un metodo ibrido (UR1,UR4). Il primo test ha riguardato il confronto tra i sismogrammi che rappresentano la risposta impulsiva del mezzo di propagazione (funzione di Green) che si utilizzerà nella simulazione dei processi di frattura sulla faglia di Colfiorito. Il secondo test è stato invece finalizzato al confronto dei sismogrammi ottenuti utilizzando le *Source Time Function* solitamente adottate dai metodi utilizzati dalle diverse unità di ricerca. I dettagli di questo lavoro sono descritti nei rapporti tecnici allegati al presente rapporto. Sono stati inoltre eseguiti dei test aggiuntivi di confronto tra il metodo WIM (UR2) ed il metodo modale (MSM, UR5) per stimare la congruenza dei risultati per diverse profondità della sorgente e distanze epicentrali.

Parametri di attenuazione

Questo studio è basato sui dati raccolti durante la campagna di microzonazione che nel periodo Ottobre-Novembre 1997 nell'area urbana della città di Fabriano. L'obiettivo è la verifica di una possibile correlazione tra i risultati ottenuti nelle indagini di microzonazione e il valore del parametro k di decadimento spettrale

La valutazione di k nei diversi siti monitorati è stata effettuata utilizzando esclusivamente gli eventi di magnitudo più elevata ($M_L > 3.5$), allo scopo di separare la stima di k da quella dei parametri di sorgente. Le elaborazioni effettuate mostrano una buona stabilità nella stima del parametro di decadimento spettrale. Nei diversi siti rilevati sembra esistere una correlazione fra il valore di k e l'andamento del rapporto spettrale in alta frequenza ($f > 5$ Hz circa)

mentre, l'eventuale presenza picchi di amplificazione in bassa frequenza (ben rilevabile anche mediante la tecnica di Nakamura) sembra essere indipendente da κ .

TASK 5 - Caratterizzazione degli Effetti di Sito.

(Resp. Scient: Antonio Rovelli, UR1, INGV – Roma -)
(UR PARTECIPANTI: UR1, UR2, UR4 e UR6)

Questo task ha come obiettivo la stima degli effetti della geologia di superficie sul moto del suolo durante i terremoti, e conseguentemente la formulazione di una o più procedure per includere tali effetti nei sismogrammi sintetici forniti da altri *tasks*, che studiano il contributo della sorgente e della propagazione crostale.

Nel primo anno di attività sono state prese in considerazione sia zone per le quali si dispone di dati acquisiti attraverso esperimenti effettuati durante la sequenza sismica in Umbria e Marche, sia l'area di Città di Castello dove, nell'ambito di questo progetto, si sono effettuate misure di rumore sismico a maglia densa e si è tenuto in funzione un transetto temporaneo di 21 stazioni sismiche, trasversale alla Valle del Tevere.

Studi nell'area training di Colfiorito

Per quanto riguarda le aree studiate durante la sequenza sismica dell'Umbria-Marche, si dispone oggi di risultati relativi al bacino di Colfiorito (Caserta et al., 1998; Rovelli et al., 2001), alla valle di Verchiano (Gaffet et al., 2000), e alle aree comunali di Nocera Umbra (Tento et al., 1998; Caserta et al., 2000; Marra et al., 2000; Cultrera et al., 2000; Donati et al., 2001; Luzi et al., 2001), Sellano e Fabriano. Mediamente, tutte le situazioni locali studiate hanno messo in evidenza effetti significativi. In particolare, le amplificazioni spettrali sono risultate decisamente più alte dei valori standard ($\gg 10$) nel sito della stazione accelerometrica di Nocera Umbra (Figura 10) e nel centro del bacino di Colfiorito (Figura 11).

La Figura 10 mostra i rapporti spettrali tra il sito della stazione accelerometrica di Nocera Umbra e un vicino sito su roccia usato come riferimento. Risulta evidente una forte variazione della risposta di sito in funzione dell'azimut dei terremoti. In particolare, la radiazione degli eventi di Colfiorito e Sellano risulta essere arrivata alla stazione accelerometrica di Nocera Umbra da un azimut caratterizzato dalla massima amplificazione spettrale. La Figura 11 (a) fornisce invece una stima dell'amplificazione spettrale causata dal riempimento sedimentario della piana di Colfiorito, sia in un sito al bordo del bacino (a circa 50 m dalla stazione accelerometrica) sia al centro del bacino stesso.

Station S2

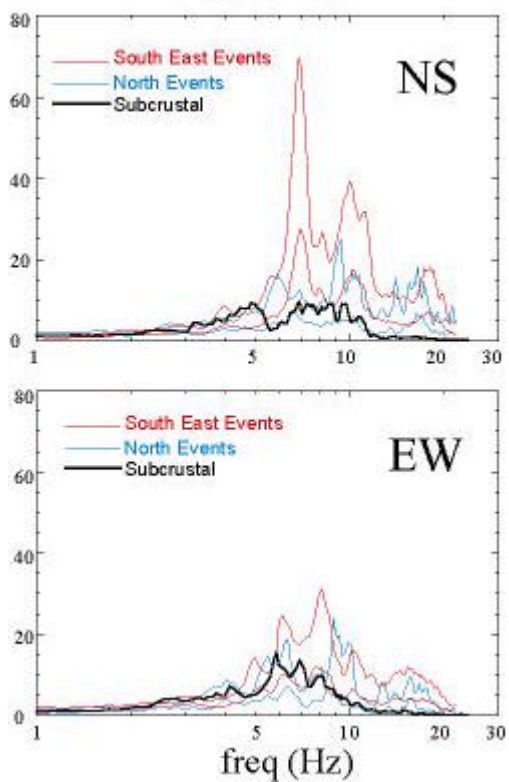


Figure 10.

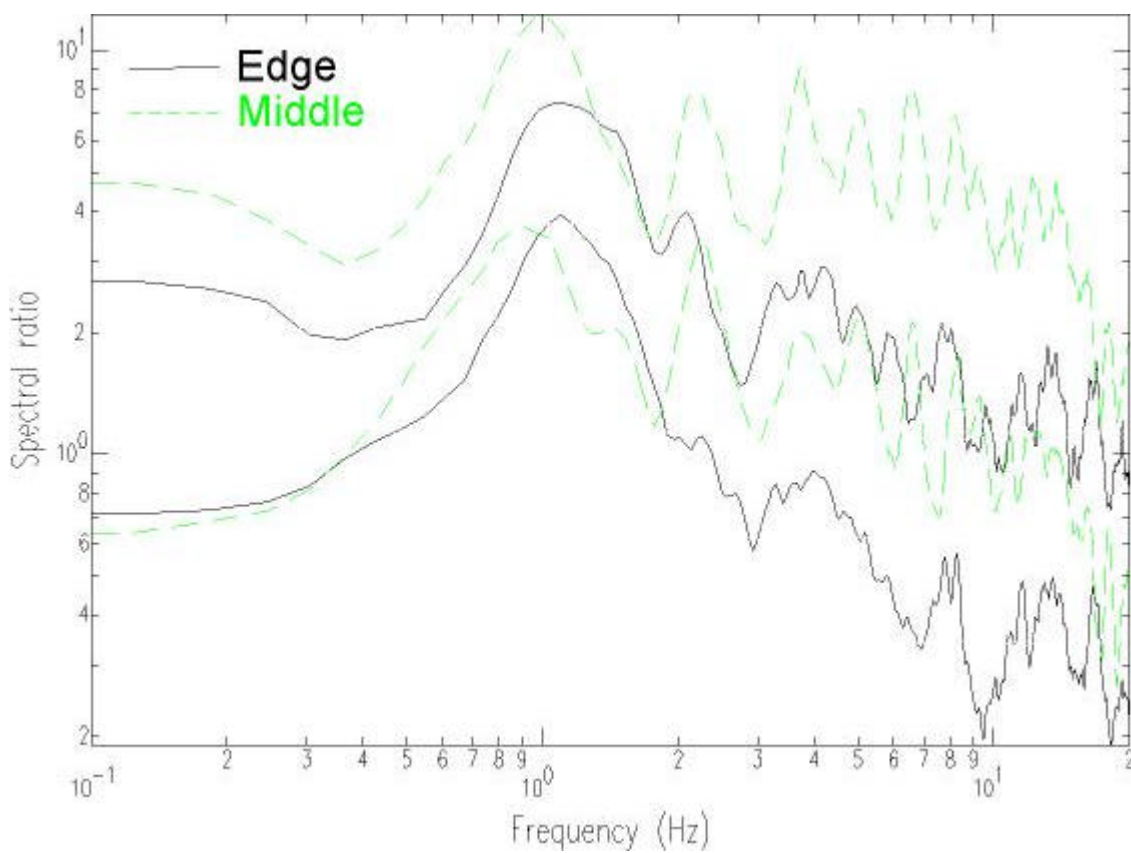


Figure 11-a.

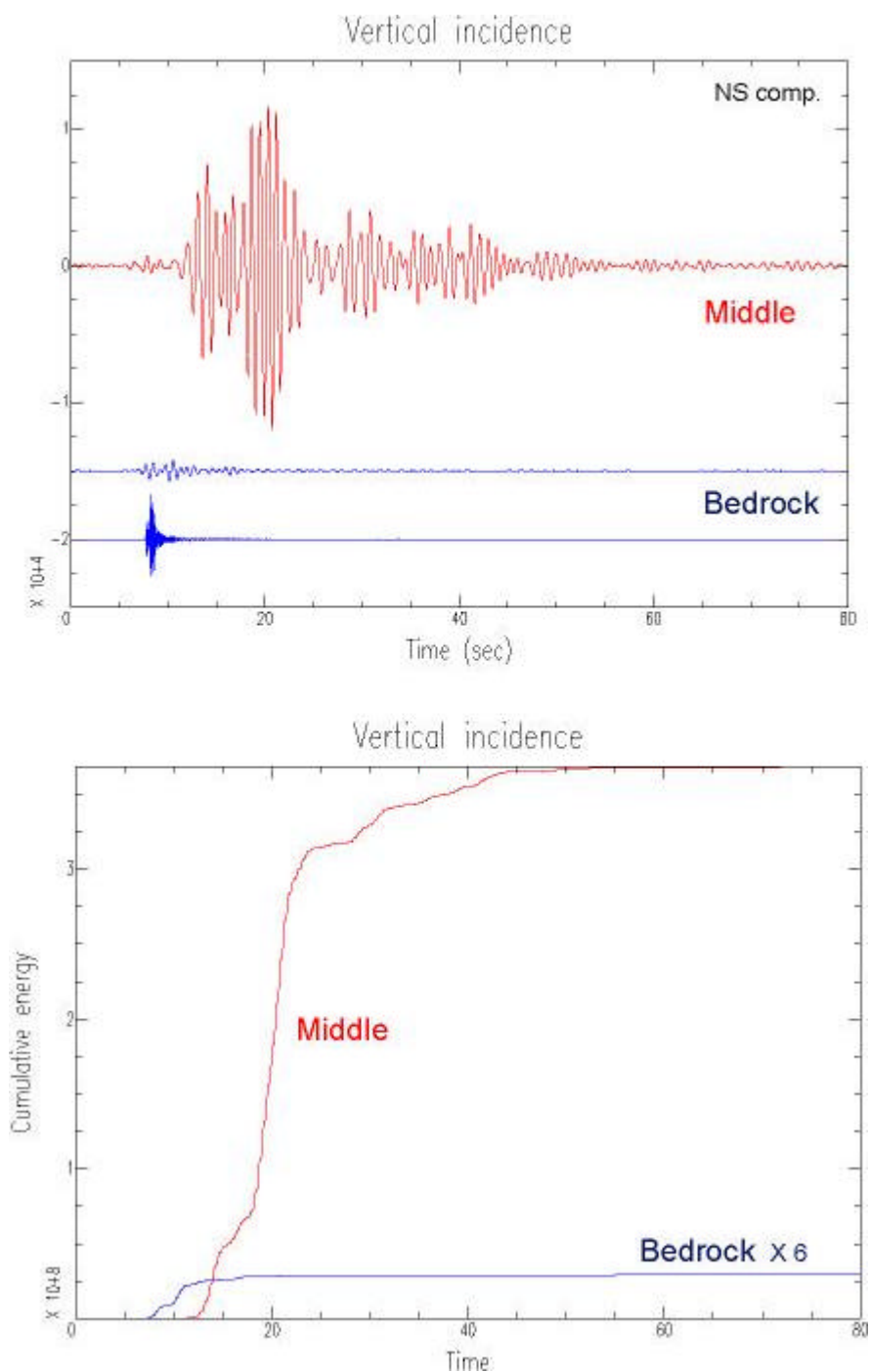


Figura 11-b.

La Figura 11 (b) confronta il moto orizzontale del suolo nella banda di frequenza 0.5-1.5 Hz tra il riferimento su roccia e il centro del bacino, mostrando come l'energia cumulata a quella frequenza possa differire di più di un fattore 200, con effetti ingegneristici che potrebbero essere devastanti qualora nel bacino vi fossero strutture con periodo proprio intorno a 1 secondo.

Si rimane in attesa della definizione del protocollo di intesa INGV-Regione Umbria per poter avere accesso ai dati topografici, geotecnici, e idrogeologici in possesso della Regione per l'area di Città di Castello, che saranno fondamentali nel secondo anno per la ricostruzione di sezioni geologiche e per la parametrizzazione dei caratteri meccanici dei litotipi presenti.

Tabella 1. Terremoti registrati durante l'esperimento per la valutazione degli effetti di sito

Date	Time	Date	Time	Date	Time
2001/05/14	22:03:42	2001/05/18	22:06:52	2001/05/21	04:46:02
2001/05/15	02:14:42	2001/05/18	23:01:12	2001/05/21	14:27:32
2001/05/15	02:39:52	2001/05/19	01:14:32	2001/05/22	02:50:12
2001/05/15	18:46:52	2001/05/19	02:12:22	2001/05/22	03:28:12
2001/05/15	21:13:30	2001/05/19	02:13:02	2001/05/22	03:57:30
2001/05/16	07:52:30	2001/05/19	03:53:22	2001/05/22	04:15:30
2001/05/16	16:09:02	2001/05/19	04:33:42	2001/05/22	06:38:22
2001/05/16	19:18:32	2001/05/19	05:31:52	2001/05/22	07:38:12
2001/05/17	03:40:02	2001/05/19	07:13:02	2001/05/22	07:44:12
2001/05/17	04:39:02	2001/05/19	12:51:22	2001/05/22	09:06:42
2001/05/17	09:28:52	2001/05/19	12:55:30	2001/05/22	15:21:40
2001/05/17	11:43:30	2001/05/19	13:13:02	2001/05/22	14:21:32
2001/05/17	19:07:30	2001/05/19	18:19:02	2001/05/22	14:40:42
2001/05/17	19:44:52	2001/05/19	23:44:32	2001/05/22	14:52:52
2001/05/17	23:23:22	2001/05/20	01:33:32	2001/05/22	14:56:42
2001/05/18	00:36:52	2001/05/20	03:57:42	2001/05/22	22:34:42
2001/05/18	00:54:52	2001/05/20	05:07:02	2001/05/22	23:23:12
2001/05/18	06:04:30	2001/05/20	06:08:22	2001/05/23	03:21:52
2001/05/18	06:56:02	2001/05/20	11:49:22	2001/05/23	03:49:30
2001/05/18	07:18:22	2001/05/20	13:42:12	2001/05/23	13:09:52
2001/05/18	07:30:02	2001/05/20	17:59:30	2001/05/23	15:11:02
2001/05/18	19:06:32	2001/05/20	22:55:02	2001/05/23	15:57:32
2001/05/18	20:33:22	2001/05/20	23:42:42	2001/05/23	19:35:02
2001/05/18	20:45:32	2001/05/20	23:47:30	2001/05/24	13:11:42
2001/05/18	21:10:02	2001/05/21	00:39:12		

Studio della risposta di sito nel bacino di Città di Castello

Nell'ambito della campagna di acquisizione del progetto e' stata realizzato un esperimento finalizzato allo studio della risposta di sito all'interno del bacino di Città di Castello. Questo esperimento si e' svolto tra il 14 ed il 24 maggio 2001. Ventuno stazioni sismiche sono state messe in acquisizione continua lungo un transetto che taglia il bacino nella sua parte più meridionale. Il transetto si estende in direzione Est Ovest; dalla zona delle Terme attraverso il settore meridionale della città fino al versante occidentale del Bacino (Figura 12). All'esperimento hanno collaborato l'Università' di Genova, l' OGS di Trieste, l'INGV di Roma e il CNR di Milano.

In Tabella 1 è riportato il tempo origine degli eventi registrati dalle stazioni durante l'esperimento. La lista e' stata compilata in base alla coincidenza dei trigger delle stazioni che contemporaneamente stavano acquisendo nell'area limitrofa alla piana. Si tratta quindi di terremoti di medio-bassa magnitudo avvenuti a distanza locale e regionale. Questi terremoti, dopo la verifica del rapporto segnale/rumore, potranno essere utilizzati per una stima della risposta di sito alle stazioni del transetto attraverso il calcolo di rapporti spettrali delle onde S e delle onde di coda rispetto ad un sito di riferimento. Finestre di rumore sismico sono state selezionate alle 21 stazioni del transetto (Tabella 2). Lo studio del rumore sismico permette di valutare come le caratteristiche del rumore vengano influenzate dalla geologia del sito. Inoltre il confronto tra i rapporti spettrali H/V ottenuti dall'elaborazione dei terremoti registrati e quelli ottenuti dalle misure di rumore ci consentirà di valutare l'idoneità del rumore ambientale per la stima delle funzioni di trasferimento dei siti. A tal scopo il rumore sismico e' stato acquisito con varie configurazioni di *array* (Figura 12 e Tabella 3) in aree di particolare interesse della piana.

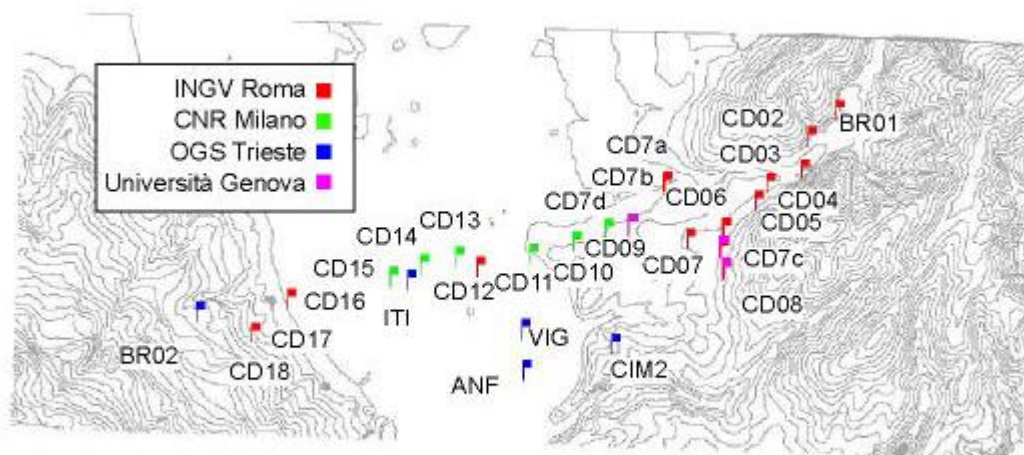


Figura 12.

Tabella 2. Rumore sismico registrato alle stazioni del transetto (5 min)

Date	Time	Date	Time	Date	Time
2001/05/15	00:00:00	2001/05/18	12:00:00	2001/05/21	18:00:00
2001/05/15	03:00:00	2001/05/18	15:00:00	2001/05/21	21:00:00
2001/05/15	06:00:00	2001/05/18	18:00:00	2001/05/22	00:00:00
2001/05/15	09:00:00	2001/05/18	21:00:00	2001/05/22	03:00:00
2001/05/15	12:00:00	2001/05/19	00:00:00	2001/05/22	06:00:00
2001/05/15	15:00:00	2001/05/19	03:00:00	2001/05/22	09:00:00
2001/05/15	18:00:00	2001/05/19	06:00:00	2001/05/22	12:00:00
2001/05/15	21:00:00	2001/05/19	09:00:00	2001/05/22	15:00:00
2001/05/16	00:00:00	2001/05/19	12:00:00	2001/05/22	18:00:00
2001/05/16	03:00:00	2001/05/19	15:00:00	2001/05/22	21:00:00
2001/05/16	06:00:00	2001/05/19	18:00:00	2001/05/23	00:00:00
2001/05/16	09:00:00	2001/05/19	21:00:00	2001/05/23	03:00:00
2001/05/16	12:00:00	2001/05/20	00:00:00	2001/05/23	06:00:00
2001/05/16	15:00:00	2001/05/20	03:00:00	2001/05/23	09:00:00
2001/05/16	18:00:00	2001/05/20	06:00:00	2001/05/23	12:00:00
2001/05/16	21:00:00	2001/05/20	09:00:00	2001/05/23	15:00:00
2001/05/17	00:00:00	2001/05/20	12:00:00	2001/05/23	18:00:00
2001/05/17	03:00:00	2001/05/20	15:00:00	2001/05/23	21:00:00
2001/05/17	06:00:00	2001/05/20	18:00:00	2001/05/24	00:00:00
2001/05/17	09:00:00	2001/05/20	21:00:00	2001/05/24	03:00:00
2001/05/17	12:00:00	2001/05/21	00:00:00	2001/05/24	06:00:00
2001/05/17	15:00:00	2001/05/21	03:00:00	2001/05/24	09:00:00
2001/05/17	18:00:00	2001/05/21	06:00:00	2001/05/24	12:00:00
2001/05/17	21:00:00	2001/05/21	09:00:00	2001/05/24	15:00:00
2001/05/18	03:00:00	2001/05/21	12:00:00	2001/05/24	18:00:00
2001/05/18	06:00:00	2001/05/21	15:00:00	2001/05/24	21:00:00
2001/05/18	09:00:00				

Tabella 3. configurazioni di acquisizione fatte utilizzando stazioni mobili (10 min)

Date	Array	Date	Array
2001/05/17	discarica	2001/05/24	cenL
2001/05/18	parco	2001/05/24	cenR
2001/05/19	muro	2001/05/24	est
2001/05/21	Stella e stellina	2001/05/24	ovest
2001/05/22	longitudinale	2001/05/24	clusterR
2001/05/24	cimitero	2001/05/24	clusterL

PRODOTTI DELLA RICERCA

Tutti gli obiettivi previsti nel progetto esecutivo sono stati raggiunti.

TASK 1. Caratterizzazione Geometrica e Meccanica delle Sorgenti

1. Stato dell'arte sulle conoscenze relative alle sorgenti sismiche nella zona di Colfiorito (**ALLEGATO A**).
2. Identificazione di parametri di sorgente ben vincolati per l'area *training* di Colfiorito da trasferire al task 4 per iniziare le simulazioni.
3. Inizio studi per una revisione critica dello stato delle conoscenze nella zona di Colfiorito (si veda **ALLEGATO B**), i quali comprendono le ricerche svolte in collaborazione con UR7 relative al riprocessamento ed alla successiva interpretazione delle linee sismiche disponibili nell'area. In particolare:
 - ❖ Sezioni *stack* NVR finali in tempi per la linea PG-308-83-V. Due versioni (superficiale e profonda).
 - ❖ Sezione *stack* NVR preliminare in tempi per la linea MC-347-81-V.
 - ❖ Campo di velocità 2D per le onde P per entrambe le linee.
 - ❖ Una presentazione scientifica ad un congresso nazionale (GNGTS 2000)
4. Studi relativi allo sviluppo di codici di calcolo per la realizzazione del modello termo-elettrico nella *shear-zone* (una presentazione a convegno internazionale ed una pubblicazione su rivista internazionale).

TASK 2. Caratterizzazione della struttura crostale (elastica ed anelastica)

1. Stato dell'arte sulle conoscenze relative alla struttura crostale nella zona di Colfiorito.
2. Identificazione di modelli di velocità per l'area *training* di Colfiorito da trasferire al task 4 per iniziare le simulazioni. È stato proposto un modello crostale medio (semispazio) ed uno stratificato da fornire ai "modellisti" per lo svolgimento di alcuni "blind test" previsti nel task 4. I modelli proposti sono i seguenti:

- ❖ miglior semispazio: $V_p = 6.0$ Km/s e rapporto $V_p/V_s = 1.89$, $V_s = 3.17$
- ❖ Modello 1D:

Z	Vp	Vp/Vs	Vs	densità
0.0	4.25	1.9	2.24	2.39
1.0	5.5	1.9	2.89	2.65
3.0	5.75	1.9	3.03	2.65
5.0	6.0	1.9	3.16	2.80
7.0	6.25	1.9	3.30	2.80
15	6.5	1.9	3.42	2.80

3. Banche dati per le zone di Città di Castello e Colfiorito-Sellano comprendenti:
 - banca dati forme d'onda;
 - banca dati tempi di arrivo;

TASK 3. Determinazione delle Leggi di attenuazione del moto del terreno

1. Nuove leggi di attenuazione a scala regionale per l'Appennino Centro Settentrionale (2 pubblicazioni su riviste scientifiche internazionali).

TASK 4. Validazione di metodologie per il calcolo di sismogrammi sintetici.

1. Codici di calcolo sviluppati nell'ambito del progetto per le applicazioni previste. In particolare:
 - ❖ Codice di calcolo WIM-3D per macchine parallele (Cray T3E e SGI Origin 2000).
 - ❖ codice per la somma delle funzioni di Green empiriche basata sul k-quadro;
 - ❖ codici 2D e 3D alle differenze finite con ottimizzazione e miglioramento delle condizioni ai bordi;
 - ❖ codice cilindrico per il calcolo rapido di modelli con simmetria semplificata;
 - ❖ codice in inversione non lineare basato sull'algoritmo genetico;
 - ❖ codice di simulazione di sismogrammi sintetici basato sul k-quadro.
2. Prime applicazioni al calcolo di Sismogrammi sintetici per l'area di Colfiorito (pubblicazioni su riviste internazionali, nazionali e presentazione a convegni).
3. Banche dati
 - ❖ CD-ROM delle registrazioni di aftershocks e microtrempi effettuate in Fabriano dal 4/11/97 al 14/11/97.
 - ❖ Set di dati che costituiscono il risultato dei *blind tests* con i sismogrammi sintetici calcolati dalle varie UR che hanno partecipato al task 4 (si veda **ALLEGATO C**).
 - ❖ E' in corso di costruzione una banca dati strong motion per terremoti italiani che vede attualmente disponibili i dati relativi al terremoto del Friuli (1976), al terremoto dell'Irpinia (1980), al terremoto di Augusta (1980) ed agli eventi umbro-marchigiani (1997).
 - ❖ ftp-site (ftp://luxgea1.na.infn.it/pub/OUTGOING/BLIND_TEST/) per l'archiviazione dei risultati e dei contributi relativi ai blind tests.

Task 5. Caratterizzazione degli effetti di sito.

1. Informazioni geologiche e geotecniche per l'area training di Colfiorito.
2. Informazioni geologiche e geotecniche per l'area test di Città di Castello, disponibili anche grazie al protocollo di intesa con la Regione Umbria.
3. Banca dati sismici weak e strong motion, microsismici e di microtrempo nell'area test di Città di Castello.

ELENCO PUBBLICAZIONI

(prodotte nell'ambito delle attività del progetto)

- Castro R., Rovelli A., Cocco M., Di Bona M. and F. Pacor (2000). Stochastic simulation of strong-motion records from the september 26, 1997 (Mw 6.0) Umbria-Marche (Central Italy) earthquake. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **91**, N.1, 27-39.
- De Lorenzo S. and A. Siniscalchi (2001). Thermal effects of frictional sliding along the Umbria-Marche fault system and related magnetotelluric response. *PAGEOPH (Submitted)*.
- Donati S., F. Marra, and A. Rovelli, (2001). Damage and Ground Shaking in the Town of Nocera Umbra during Umbria-Marche, Central Italy, Earthquakes: The Special Effect of a Fault Zone. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **91**, 3, 1233-1251.
- Emolo A. and A. Zollo (2001b). Accelerometric radiation simulation for the September 26, 1997 Umbria-Marche (Central Italy) mainshocks. *Annali di Geofisica*. In stampa.
- Festa G. and S. Nielsen (2001). Use of the Perfect Matching Layer technique for efficient boundary absorbing conditions in 3D elastic finite-differences. In preparazione.
- Franceschina G.L. (2001). "Stima di parametri per la simulazione del moto sismico di riferimento", *Quaderni di Geofisica*, 2001 (sottomesso).
- Malagnini L. and R. Herrmann (2000). Ground-motion scaling in the region of the 1997 Umbria-Marche earthquake (Italy). *Bull. Seism. Soc. Am.*, **90**, 1041-1051.
- Malagnini L., Herrmann R. and M. Di Bona (2000). Ground-motion scaling in the Apennines (Italy). *Bull. Seism. Soc. Am.*, **90**, 1062-1081.
- Rovelli A., Scognamiglio L., Marra F., Caserta A. (2001). Edge-diffracted 1-s surface waves observed in a small-size intramountain basin (Colfiorito, Central Italy). *Bull. Seism. Soc. Am.*, in press.

Presentazioni e- Atti di Convegni

(prodotti nell'ambito delle attività del progetto)

- Cultrera G., R. Azzara, A. Caserta, S. Donati, F. Marra, G. Mele, and A. Rovelli, Amplification effects within a fault zone (Nocera Umbra, central Italy): observations of weak and strong motions, poster, AGU Fall Meeting, San Francisco, California, 15-19 December 2000.
- Diaferia I., M. Loddo, R. Quarto, D. Schiavone, A. Siniscalchi and A. Tramacere, 2001. Electrical imaging across the Colfiorito fault. II International Workshop on Geo-Electro-Magnetism – Lerici, Italy, 26-28 September 2001.
- ** G.N.D.T. group & M. Cocco (2001). Ground motion prediction and earthquake scenarios in Italy: a methodological comparison and perspectives of applicability. AGU Fall Meeting, San Francisco, California, 10-14 December 2001.
- Emolo A., A. Gorini, G. Iannaccone e A. Zollo (2000). Il terremoto irpino del 1930: caratteristiche della sorgente sismica da simulazioni numeriche del processo di frattura. Atti del XIX Convegno Nazionale del GNGTS, Roma, Italia.
- Emolo A. and A. Zollo (2001a). Non linear inversion of high frequency seismic records for fault rupture kinematic parameters. EGS, XXVI General assembly, Nice, France.
- Fradelizio G.L., Stucchi e., Grandi A., Zanzi L., Mazzotti A. (2000): Esperienze di incremento del rapporto S/N su dati sismici a riflessione. Convegno Nazionale di Geofisica della Terra Solida, 7-9 Novembre, Roma.
- Luzi L., G. Cultrera, F. Marra, R. Azzara, A. Caserta and A. Rovelli (2001). Topographic site effects in the Nocera Umbra hill (Central Italy) during May-June 1998: preliminary results, XVIII° workshop of the International School of Geophysics "Advances in the Assessment of Earthquake and Volcanic Hazards", Erice, 5-15 July 2001.
- Seriani G., Wave propagation modeling in complex media by using spectral methods: Recent advances. *Invited Lecture at 5th Int. Conf. on Theor. and Comp. Acoustics (ICTCA 2001), May 21-25, 2001, Beijing, China.*

** Il lavoro evidenziato in grigio sarà presentato al prossimo Fall Meeting dell'American Geophysical Union e conterrà i risultati preliminari presentati nel presente rapporto. Esso costituisce un primo tentativo di confrontare le nostre ricerche e risultati con la comunità scientifica internazionale sul tema degli scenari di pericolosità.

Bibliografia

- Barchi M., Galadini F., Lavecchia G., Messina P., Michetti A.M., Peruzza L., Pizzi A., Tondi E. & Vittori E. (2000) – Sintesi delle conoscenze sulle faglie attive in Italia centrale: parametrizzazione ai fini della caratterizzazione della pericolosità sismica – CNR – Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti – Roma, 2000, pp. 62.
- Berardi R., Mendez A., Mucciarelli M., Pacor F., Longhi G. and C. Petruccaro (1995). On the modelling of strong motion parameters and correlation with historical macroseismic data: an application to the 1915 Avezzano earthquake, *Annali di Geofisica*, XXXVIII, N° 5-6, 851-866.
- Capuano P., A. Zollo, A. Emolo, S. Marucci and G. Milana (2000). Rupture mechanism and source parameters of Umbria-Marche mainshocks from strong motion data. *Journal of Seismology*, 4: 463-478.
- Caserta A., Rovelli A., Marra F., Bellucci F., (1998). Strong diffraction effects at the edge of the Colfiorito, central Italy, basin. In "The effects of Surface Geology on Seismic Motion", Irikura et al. Eds., 531-536, Balkema, Rotterdam (NL).
- Caserta A. Bellucci F., Cultrera G., Donati S., Marra F., Mele G., Palombo B., Rovelli A., 2000. Study of site effects in the area of Nocera Umbra (Central Italy) during the 1997 Umbria-Marche seismic sequence. *J. of Seism.*, 4, 555-565.
- Cultrera G. (1994). La modellazione del movimento del terreno prodotto da terremoti: confronto tra metodi deterministici e stocastici, Tesi di Laurea in Fisica, Università degli studi di Roma La Sapienza, Roma, Italia.
- Emolo A. (2001). Modelli di frattura dei terremoti crostali di media e forte magnitudo dall'inversione non lineare di registrazioni a corto periodo. Tesi di Dottorato in Geofisica e Vulcanologia, Università di Napoli "Federico II", Napoli, Italia.
- Franceschina G.L. (2000). "Allegato 2 - CD-ROM delle registrazioni velocimetriche delle repliche effettuate dalla rete installata a Fabriano", In Marcellini A., Tiberi P. (eds.), CNR-GNDT / Regione Marche -Assessorato Protezione Civile / SSN, "La microzonazione sismica di Fabriano", pp.257-291, Bimmesgraf, Piediripa di Macerata, 2000.
- Festa G. (1999). Propagazione delle onde sismiche in mezzi viscoelastici attraverso una tecnica alle differenze finite nel dominio delle frequenze. Tesi di Laurea in Fisica, Università di Napoli "Federico II", Napoli, Italia.
- Gaffet S., Cultrera G., Dietrich M., Courboux F., Marra F., Bouchon M., Caserta A., Comou C., Deschamps A., Glot J.-P., and R. Guiguet (2000). A site effect study during the 1997 Umbria-Marche (central Italy) earthquakes. *J. of Seism.*, 4, 525-541.
- Hartzell S. (1978). Earthquake aftershock as Green's function, *Geophys. Res. Lett.*, 5, 1-4.
- Herrero A. e P. Bernard (1984). A kinematic self-similar rupture process for earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 84, 1216-1228.
- Lancieri M. (2001). Simulazioni di forti movimenti del suolo mediante l'uso di Funzioni di Green Empiriche. Tesi di Laurea in Fisica, Università di Napoli "Federico II", Napoli, Italia.

- Marra F., Azzara R., Bellucci F., Caserta A., Cultrera G., Mele G., Palombo B., Rovelli A. and E. Boschi (2000). Large amplification of ground motion at rock sites within a fault zone in Nocera Umbra (central Italy). *J. of Seism.*, 4, 543-554.
- Mendez A. e F. Pacor (1994). A study of rupture characteristics of the 40's subevent of the 1980 Irpinia earthquake, *Annali di Geofisica*, XXXVII, 1601-1620.
- Michelini A., D. Spallarossa, M. Cattaneo, A. Govoni and A. Montanari (2000). The 1997 Umbria-Marche (Italy) earthquake sequence: tomographic images obtained from data of the GNDT-SSN temporary network. *Journal of Seismology*, 4, N° 4, 415-433.
- Nielsen S. and J Carlson (2001). Properties of self-healing fracture pulses propagating through inhomogeneous stress. In preparazione.
- Raof M., R.B. Herrmann and L. Malagnini (1998). Attenuation and excitation of three-component ground motion in Southern California, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 89, 888-902.
- Sabetta F. e A. Rugliese (1987). Attenuation of peak horizontal acceleration and velocità from italian strong motion records, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 77, 1491-1511.
- Seriani G., Wave propagation modeling in complex media by using spectral methods: Recent advances. *Invited Lecture at 5th Int. Conf. on Theor. and Comp. Acoustics (ICTCA 2001), May 21-25, 2001, Beijing, China.*
- Tento A., de Franco R., Franceschina G. L. (1998). Experimental site effect evaluation in Nocera Umbra area, Italy. In "The effects of Surface Geology on Seismic Motion", Irikura et al. Eds., 559-566, Balkema, Rotterdam (NL).
- Zollo A. and A. Emolo, (2000a). Modelling of ground acceleration field in the Catania area associated with the Ibleo-maltese fault system. In "The Catania project", E. Faccioli and V. Pessina eds., Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, CNR, Italia, pp. 84-89.
- Zollo A., A. Emolo e S. Nielsen (2000b). Modellazione della radiazione accelerometrica ed applicazione a problematiche di rischio. LXXXVI Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica, Palermo, Italia.