

- l'opportuna configurazione l'interfaccia SeedLink di SeisComP in modo da rendere disponibili all'esterno tutti i dati raccolti dal CRS;
- l'abilitazione dei servizi DRM ed AutoDRM.

In relazione ai punti del paragrafo precedente, l'attuale stato di avanzamento del progetto è così riassumibile:

- 1) Il sistema SeisComP (versione 1.1/2001.318) è attivo sulla macchina pdb2.crs.inogs.it (IP address 158.110.30.62);
- 2) SeisComP acquisisce i dati dalle stazioni broad-band TRI e CUSI. A breve saranno disponibili i dati della stazione CIMO (collegata ad INTERNET tramite routing su linea ISDN), mentre per la stazione VINO si è in attesa della realizzazione di un collegamento telefonico (dalla stazione alla sede del DST) per renderla visibile alla rete. Tutte queste stazioni utilizzano un acquisitore Quanterra. Presso la sede del CRS è stata installata una stazione temporanea (sigla CUSL) per sperimentare l'acquisizione da un sistema Lennartz M24;
- 3) E' in avanzato stato di realizzazione il plug-in per il sistema di acquisizione Lennartz M88/RC che dovrebbe consentire la diffusione dei dati dalle stazioni a corto periodo di Friuli-Venezia Giulia e Veneto. Se ne prevede il completamento entro febbraio 2002.
- 4) E' terminata la fase di test per l'acquisizione dei dati da sistemi Antelope. I test sono stati condotti con un Antelope in licenza temporanea installato presso il DST. Questo acquisisce i dati di alcune stazioni broad-band austriache e slovene. Mediante l'interfaccia sviluppata da ORFEUS è stato possibile esportare dati della stazione di Lubiana (LJU) verso il SeisComP del CRS con protocollo SeedLink. In futuro i dati potranno essere prelevati direttamente dai centri di acquisizione dati di Vienna e Lubiana.
- 5) SeisComP è attualmente configurato in modo da diffondere i dati di TRI e CUSI sulla porta 18000 dell'host pdb2.crs.inog.it (158.110.30.62). Permangono dei problemi per la stazione CUSL. I dati della stazione di Lubiana saranno resi disponibili, insieme a tutti quelli delle altre stazioni austriache e slovene, non appena perfezionati gli accordi con i colleghi d'oltre confine. Entro febbraio 2002 dovrebbero essere inoltre disponibili in linea i dati delle reti sismometriche a corto periodo di Friuli-Venezia Giulia e Veneto.
- 6) E' attivo il DRM per lo scaricamento dei dati di TRI e CUSI. E' stato provato ma non è ancora perfettamente funzionante l'AutoDRM.

Allo stato attuale è possibile accedere ai dati simometrici diffusi dal CRS secondo le seguenti modalità:

- 1) Mediante un client con interfaccia SeedLink. Abbiamo già detto che questa interfaccia è già disponibile per sistemi SeisComP ed Antelope, mentre dovrebbe essere agevole lo sviluppo per sistemi NAQS Nanometrics. La soluzione SeisComP (disponibile per Linux e Solaris al sito <http://www.gfz-potsdam.de/geofon>) è

comunque la più economica e facile da applicare. Per avere in linea i dati di una stazione, è sufficiente usare lo strumento di configurazione "make_key" specificando il nome della stazione (p.e. CUSI), il protocollo di comunicazione (SeedLink) e fornendo host e numero di porta da cui attingere i dati (rispettivamente pdb2.crs.inogs.it e 18000). Eventualmente è possibile richiedere una copia già preconfigurata di SeisComP al CRS (pbragato@inogs.it). I dati via via acquisiti vengono posti in file giornalieri (uno per canale) in formato MiniSEED.

- 2) Mediante DRM. Ci si collega (p.e. con "telnet") alla stazione pdb2.crs.inogs.it (user "drm", password "data"). Una semplice interfaccia a caratteri guida alla selezione ed al trasferimento dei dati presso il proprio sito ftp (o alla loro visualizzazione grafica).
- 3) Citiamo infine il sistema AutoDRM, seppure non ancora funzionante. I dati potranno essere richiesti secondo le normali modalità AutoDRM (si veda al sito <http://seismo.ethz.ch/autodrm>) inviando messaggi di posta elettronica all'utente autodrm@inogs.it.

Obiettivo 2.3.6 Effetti di Sito

Questa branca della sismologia è stata oggetto di molta attenzione negli ultimi anni. E' stato infatti verificato che dall'analisi di registrazioni "del movimento debole (weak motion)" è spesso possibile ottenere elementi importanti per la microzonazione sismica e, soprattutto, per la stima di amplificazioni locali del terreno.

All'interno dell'OGS (CRS e GDL) vi è già una certa esperienza e competenza nell'analisi di dati "weak motion" sia rispetto ad analisi di rapporti spettrali rispetto ad uno o più siti di riferimento che per quello che riguarda l'analisi dei rapporti spettrali fra le componenti orizzontale e verticale di rumore sismico (metodo di Nakamura). La disponibilità di stazioni mobili (5 del CRS e 7 del GDL) rende possibile lo svolgimento di campagne di acquisizione "di servizio in ambito regionale (province o comuni).

Effetti di sito a Claut (PN)

Il 13 aprile 1996 in quest'area si è verificato un evento di magnitudo 4,3 (VI-VII MCS), massima intensità verificatasi nel periodo strumentale. Questa intensità è prossima al valore massimo osservato nel corso degli ultimi secoli, ciò ha motivato un'indagine conoscitiva degli effetti di sito da correlare con il danneggiamento subito dagli edifici.

Le condizioni locali del sito e il processo di rottura possono influenzare tutte le più importanti caratteristiche del moto del suolo, quali l'ampiezza, la durata e il contenuto in frequenza. L'estensione di queste influenze dipendono dalla geometria e dalle caratteristiche meccaniche degli strati più superficiali, dalla morfologia, dalla topografia e dalle caratteristiche intrinseche del moto di input al bedrock. Gli effetti delle irregolarità topografiche e della geometria dei bacini alluvionali sul moto del suolo possono essere significativi. I bacini alluvionali riempiti con sedimenti soffici, in funzione della loro forma, tengono ad intrappolare le onde sismiche che possono amplificare notevolmente lo scuotimento ed il relativo danneggiamento. Nel caso specifico, trovandoci in presenza di condizioni analoghe a quelle descritte, in via preliminare sono stati previsti otto punti di monitoraggio velocimetrico. Durante il 2001 è stata completata l'indagine aggiungendo quattro stazioni prima impegnate nel progetto di Citta' di Castello.

Le stazioni sono state posizionate all'interno di un allineamento NNW e SSE nella parte mediana della copertura di materiale detritico avente uno spessore variabile via via maggiore in prossimità del torrente Cellina. I risultati ottenuti evidenziano la presenza di amplificazioni locali del campo d'onda sismico fino a cinque volte quello registrato sul sito su roccia preso a riferimento. Questi risultati sono in accordo con studi svolti altrove e, nel caso specifico di Claut, sono anche correlati con i danni osservati nella su citata sequenza del 1996.

Città di Castello

Tra il 9 ottobre 2000 ed il 25 maggio 2001, si è svolto, in ambito GNDT, un esperimento di acquisizione sismologica al fine di investigare ad alta risoluzione il "gap sismico" di Città di Castello. L'area indagata rappresenta il settore dell'Appennino umbro-marchigiano compreso tra Gualdo Tadino (e quindi il limite nord-occidentale della sequenza sismica 1997-98) e Sansepolcro. All'interno di questa area è stata realizzata una rete di 27 stazioni in forma di grigliato regolare allungato in direzione appenninica in collaborazione con operatori dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e dell'Università di Genova.

Nell'area di competenza OGS, posta a sud della rete nella fascia tra Gubbio e Gualdo Tadino, sono state installate complessivamente 6 stazioni digitali ad alta dinamica dotate di sensori a tre componenti e sincronizzazione del tempo GPS, rispettivamente 4 ORION Nanometrics con sensori Lennartz 3DLite da 1s e 2 Reftek 72A-07 con sensori Mark L22 da 2 Hz (queste ultime sono state gentilmente concesse dal Prof. Bruno Della Vedova dell'Università di Trieste).

I dati sono stati raccolti periodicamente a cadenze di una trentina di giorni. Per il loro trattamento sono state sviluppate procedure omogenee di scaricamento, backup, indicizzazione, triggering ed estrazione dati.

Durante gli otto mesi di acquisizione sono stati registrati quasi 2500 terremoti ed i dati disponibili stati letti per individuare i tempi delle fasi delle onde P ed S. Il buon coordinamento tra i gruppi ha permesso di ricavare un set di dati di alta qualità che verrà adoperato per analisi volte alla identificazione della struttura di dettaglio del gap sismico ed alle modalità di rilascio degli sforzi elastici accumulati. Nell'ultima parte dell'esperimento, tutte le stazioni disponibili sono state installate trasversalmente alla Val Tiberina proprio a Città di Castello per condurre uno studio rivolto alla stima delle amplificazioni locali del campo d'onda sismico incidente.

Effetti di sito a Vittorio Veneto (TV)

Nel mese di dicembre del 2001 è iniziata l'acquisizione di dati sismologici a Vittorio Veneto. Questa acquisizione si svolge nell'ambito del progetto GNDT denominato "Rischio Sismico nel NE-Italia". Il CRS ha installato dieci stazioni sismologiche nel quartiere storico di Serravalle a Vittorio Veneto (TV) per condurre degli studi rivolti alla stima degli effetti di sito da misure strumentali. Infatti, nelle aree circocostanti Vittorio Veneto sono state individuate una serie di faglie sismogenetiche le quali pongono la cittadina, e la sua parte storica in particolare, a rischio in caso di terremoti di magnitudo > 5.5 ubicati su dette faglie. La campagna di acquisizione di concluderà a luglio 2002.

Il progetto GNDT Vittorio Veneto è stato sviluppato in più parti in ambito OGS, il Gruppo RISK ne ha curato alcune che illustreremo di seguito.

Si è partiti da una ampia revisione dei dati strumentali di base, sono stati analizzati e rivisti i dati della sismicità strumentale utilizzando le localizzazioni effettuate dalla rete

OGS in Friuli-Veneto. Sono stati inoltre studiati e rivalutati anche i terremoti storici dell'Italia nord-orientale. Utilizzando queste informazioni e interpretando anche i dati tettonici della zona e quelli relativi ai meccanismi focali disponibili è stata ridisegnata la zonazione sismogenetica che sta alla base dei calcoli di pericolosità sismica. Il disegno della nuova zonazione sismogenetica eredita l'impostazione di base di quella prodotta per il progetto di pericolosità sismica a base nazionale e aumenta ulteriormente il dettaglio rispetto a quella usata nel calcolo della pericolosità della regione Friuli - Venezia Giulia suddividendo la zona di Belluno-Cansiglio.

I tassi di sismicità delle zone sono stati tutti accuratamente rivalutati ponendo molta attenzione al contributo delle magnitudo basse, che è risultato essere non trascurabile. A questo scopo si è ritenuto necessario riesaminare il meccanismo di definizione degli aftershocks definendone uno nuovo adattato specificatamente alla base di dati dell'Italia nord-orientale.

Sulla base di queste impostazioni di partenza sono stati effettuati dei nuovi calcoli di pericolosità sismica che differenziano maggiormente le stime accelerazione attesa nel Friuli centro-orientale da quelle invece delle zone a cavallo del confine tra Veneto e Friuli che sono oggetto principale dello studio.

Su questo impianto di pericolosità sismica si è ulteriormente indagato mediante l'utilizzo delle tecniche di disaggregazione al fine di stabilire il contributo delle varie zone alla pericolosità del sito di Vittorio Veneto. Sono stati analizzati, per i diversi periodi di ritorno, i contributi delle varie classi di magnitudo alla pericolosità sismica ed è stato effettuato uno studio statistico sulla magnitudo massima attesa per il sito. Sempre su base probabilistica sono stati effettuate delle valutazioni di scenario per due diversi terremoti ($M=5,8$ e $M=6,7$) sempre per il sito di Vittorio Veneto e questi risultati sono stati paragonati a quelli ottenuti da metodi di modellazione.

Rischio Geologico residuo nel Comune di Erto e Casso (Vajont)

Il progetto, commissionato dalla Direzione Regionale di Protezione Civile del Friuli - Venezia Giulia all'OGS, Università di Trieste e di Udine e C.N.R. di Padova, prevedeva analisi combinate di tipo geologico, geomorfologico, geotecnico e sismologico per individuare le aree a rischio geologico residuo nel comune che, come probabilmente è noto, è vincolato ancora in modo pressoché totale nell'utilizzo del territorio dall'epoca del disastro del Vajont. Il gruppo RISK, congiuntamente al CRS, ha curato la revisione e analisi critica della sismicità che influenza il comune, e valutato con tecniche probabilistiche e deterministiche lo scuotimento atteso sull'area comunale in relazione a condizioni semplificate di suolo. In questo caso, essendo l'analisi mirata alla valutazione di frane sismo-indotte, sono stati considerati tempi di ritorno e indicatori di scuotimento diversi rispetto a quanto viene usualmente fatto per le valutazioni finalizzate allo sviluppo antropico. Nello studio viene infine introdotta anche una valutazione qualitativa legata alla acclività, elemento che assieme alla reologia dei materiali gioca un ruolo determinante nella valutazione a scala comunale delle aree maggiormente instabili. La convenzione, rendicontata da un rapporto interno individuale e da una relazione congiunta da parte delle diverse istituzioni scientifiche coinvolte completata all'inizio del 2002, è stata anche l'occasione per instaurare con l'Università di Udine un rapporto di fattiva collaborazione sul tema della pericolosità sismica applicata all'ambiente naturale (frane).

Obiettivo 2.3.7 Preparazione per un terremoto

Informazioni molto importanti sulle modalità di rottura di un terremoto vengono ottenute da installazioni di reti sismometriche temporanee nella zona epicentrale di un terremoto.

E' stato osservato in passato che, sebbene nell'arco di poche ore dal sisma intervengano diverse istituzioni con apparecchiature di registrazione mobile, la loro installazione viene poi svolta in maniera spesso approssimativa e poco ottimale per quello che riguarda la scelta dei siti. Infatti, in occasioni di emergenza, si è osservato una generale impreparazione che porta spesso ad acquisire dati non proprio di primissima qualità. Prendendo spunto da questo fatto, si è effettuata nell'Italia nord-orientale una cernita dei siti che, in caso di emergenza sismica, possono essere rioccupati con postazioni mobili. Il fine è di ottenere, in funzione di diversi scenari di terremoto, un ottimale geometria di acquisizione così da ridurre al minimo l'acquisizione di dati di bassa qualità e di scarsa possibilità di utilizzo. Lo studio in oggetto è stato effettuato utilizzando le stazioni sismiche mobili in dotazione al CRS ed al GDL.

Obiettivo 2.3.8 Organizzazione, percorso di elaborazione e visualizzazione dei dati della rete

Durante il 2001 si è iniziato, in collaborazione con il dott. Anthony Lomax dell'Università di Nizza, lo sviluppo di un sistema che permette la visualizzazione delle tracce sismiche e la localizzazione degli eventi direttamente tramite browser web. A riguardo, si è introdotto il programma SeisGram2k sviluppato da Lomax nell'analisi di routine dei dati della rete. Ciò ha permesso di semplificare notevolmente le difficoltà esistenti nelle operazioni di accesso e qualificazione dei dati comportando limitazioni e lentezze nelle operazioni di pubblicazione dei dati stessi e nella loro condivisione con la comunità scientifica.

In generale, l'evoluzione degli ambienti grafici e dei protocolli di accesso alle risorse condivise in ambienti di rete permette oggi di realizzare soluzioni agli attuali problemi di gestione con costi di sviluppo relativamente contenuti. L'obiettivo è di arrivare all'automazione completa del percorso di analisi di routine dei dati della rete come premessa ad una efficiente implementazione della gestione dell'archiviazione ed alla realizzazione delle procedure di accesso e di consultazione da parte della comunità scientifica.

Il programma di sviluppo ha ricevuto enorme impulso dall'implementazione di SeisGram2k e dalla gestione dei dati dell'acquisizione dati svolta in collaborazione con INGV e Università di Genova a Città di Castello (PG). In aggiunta ai dati del bollettino della rete dell'Italia Nord-Orientale, che sono consultabili sul sito WEB di dipartimento, è ora possibile procedere alla consultazione ed all'accesso dei dati delle forme d'onda sfruttando lo sviluppo dei punti precedenti. Anche su questo versante le caratteristiche e le funzionalità dell'ambiente JAVA sono risultate essere particolarmente vantaggiose per la realizzazione di accessi WEB sicuri alla base dati sismologica e per la gestione dell'interattività con l'utente.

Obiettivo 2.3.10 Calcolo della Magnitudo locale Wood-Anderson (M_L) da dati digitali

In collaborazione con Alberto Tonto del CNR di Milano, è stata svolta un'analisi per il calcolo della magnitudo Wood-Anderson, W_A , (M_L) dai dati digitali delle reti FVG e Veneto. Questa stima della magnitudo sostituirà a breve quella svolta fino ad ora che si basa sulla durata del segnale e che era stata "calibrata" sulla magnitudo del Wood-Anderson della stazione WWSSN di Trieste (TRI). In questo contesto, è stata anche avviata una collaborazione con l'"Urad za seizmologijo, Agencija Republike Slovenije za okolje" (ARSO) Servizio Geofisico Sloveno, che gestisce le stazioni della rete Slovena in modo da determinare ed utilizzare una singola scala per il calcolo della Magnitudo dalla simulazione W_A .

Obiettivo 2.3.11 Rilocalizzazione assoluta e relativa degli eventi sismici in Italia Nord Orientale

Nell'ambito del progetto di rianalisi dei dati della RSFVG, è in atto un progetto che prevede la rilocalizzazione di tutti gli eventi registrati dalla rete e la determinazione di un modello di velocità sismiche (P e S) in 3-D ad alta risoluzione. Il progetto si articola su più fasi e si avvale di diversi strumenti di analisi.

La prima consiste nella rilettura ad alta risoluzione delle fasi per un sotto insieme di eventi di interesse. Questa fase è già stata in gran parte svolta e verrà ultimata durante il 2002 avvalendosi dei programmi di visualizzazione sopra descritti.

La seconda fase comprende la determinazione di un nuovo modello crostale medio e delle relative correzioni di stazione in modo da ottenere una stima più accurata delle localizzazioni. Questa parte del progetto è stata completata durante il 2001. In particolare, la terza fase si avvale di una nuova tecnica che viene denominata delle "doppie differenze" dei tempi di tragitto la quale permette di rilocalizzare in maniera relativa tutti gli eventi rispetto a tutti gli altri. La tecnica è stata opportunamente codificata all'interno del CRS e permetterà di analizzare la distribuzione spaziale della sismicità e di valutare l'eventuale esistenza di particolari strutture ove gli l'energia elastica si rilascia preferenzialmente.

La quarta fase prevede l'utilizzo del set di dati di fase individuato inizialmente per la determinazione di un modello di velocità sismiche (P e S) in 3-D ad alta risoluzione. Se possibile ci si intende avvalere di inversioni sismogravimetriche condotte dall'IDPA del CNR di Milano per la determinazione dei parametri elastici in 3-D.

Per quanto concerne la seconda e la terza fase del programma di ricerca, durante il 2001 si è determinata la struttura di velocità 1-D in NE-Italia utilizzando un metodo di ricerca globale che si avvale dell'Algoritmo Genetico.

Il data set che è stato utilizzato in questo studio consiste in 9494 eventi (dal 01.08.1994 al 31.12.1999) per un totale di 31896 fasi P e 18895 fasi S registrate complessivamente ad 80 stazioni in quanto sono state aggiunte tutte le stazioni delle reti confinanti oltre a quella della Rete Nazionale Centralizzata dell'INGV.

I dati utilizzati in questo studio sono stati selezionati i seguenti criteri generali:

- $RMS < 0.35$ s;
- $NPHA > 13$;
- $D_{sor-ric} < 100$ km.

A questi criteri, col proposito di rendere il set di dati da utilizzare quanto più omogeneo possibile a livello spaziale, e cioè evitando che nei dati vi fossero zone a grande concentrazione di eventi le quali introdurrebbero del bias nella determinazione della struttura media, si è scelto di inserire un grigliato imponendo un numero massimo di terremoti per ogni cella del grigliato medesimo.

L'algoritmo genetico (GA) è un metodo di ricerca *globale* dello spazio dei parametri. Viene comunemente utilizzato per minimizzare funzionali complessi (vedi Goldberg, 1989) quando il calcolo del problema diretto può venir compiuto in tempi brevi se non brevissimi (dell'ordine del secondo) ed il numero di parametri è dell'ordine della decina o poco più.

In pratica, la ricerca dello spazio dei parametri tramite GA si rifà a meccanismi di selezione esistenti in genetica. Nella descrizione di ogni modello, l'algoritmo genetico si avvale di una codifica a codice binario che consiste in un numero pre-definito di cromosomi.

Il driver dell'algoritmo genetico usato in questo studio è stato codificato da Istvan Bondar (SAIC, Arlington, VA 22209-3872, USA) mentre il problema diretto è stato risolto utilizzando il programma di localizzazione ipocentrale {HYPOELLIPSE} sviluppato da {Lahr, 1989}. Il misfit viene calcolato come media dei residui quadratici di localizzazione degli eventi utilizzati.

L'applicazione della tecnica dell'algoritmo genetico ha permesso di esplorare lo spazio dei parametri consentendo di ottenere un'insieme di modelli di velocità che soddisfano criteri di misfit e di semplicità della soluzione determinata. In particolare, il modello {NEI-0.02_19} verrà inserito a partire dal 2002 nella localizzazione automatica e nella preparazione del bollettino della rete sismica delle Alpi Orientali.

Prima di effettuare l'analisi della terza fase che si avvale della tecnica delle doppie-differenze, si è completato durante il 2001 un lavoro di qualificazione dei dati registrati sfruttando una tecnica basata sulla correlazione la quale permette l'analisi sistematica della similitudine tra forme d'onda.

La correlazione (più spesso il suo valore assoluto) è utilizzata come misura di similitudine in diversi settori dell'elaborazione dei segnali, principalmente per scopi di pattern matching, ossia il riconoscimento nei dati di forme e modelli noti a priori (p.e. un oggetto in una immagine).

In sismologia ha trovato crescente applicazione a partire dagli anni '80, mano a mano che si sono rese disponibili registrazioni digitali di buona qualità. Il presupposto è che onde emesse da sorgenti sismiche molto simili che si propagano lungo percorsi analoghi dovrebbero generare segnali altamente correlati.

Il principale contributo si è avuto nella localizzazione relativa di famiglie di terremoti che si verificano in aree ristrette. In questi casi l'analisi di similitudine è stata sfruttata per ottenere picking relativi di alta precisione, o per attribuire pesi alle equazioni coinvolte nel processo di localizzazione.

La similitudine tra forme d'onda è stata anche utilizzata per l'individuazione e la localizzazione automatica dei terremoti senza l'effettuazione di picking. Questa tecnica presuppone l'esistenza di un ampio database di forme d'onda relative ad eventi già localizzati: un nuovo terremoto viene quindi associato all'area ed alla classe di magnitudo dell'evento del database che più gli somiglia.

Sono state considerate tutte le coppie di eventi localizzati dalle reti sismometriche del Friuli-Venezia Giulia e del Veneto tra gennaio 1995 e febbraio 2002 ed aventi tra loro distanza epicentrale inferiore ai 20 km: un totale di 817.403 coppie relative a 2.658 eventi. Per essi sono risultate disponibili 16.585 registrazioni velocimetriche della componente verticale del moto del suolo. Per ciascuna coppia di registrazioni da una stessa stazione sono stati calcolati 5 valori del massimo della correlazione, relativi ai seguenti intervalli temporali:

- finestra di un secondo nell'intorno dell'arrivo P (nel seguito indicata con la sigla P1s);
- finestra di 4 secondi nell'intorno dell'arrivo P (P4s);
- finestra di un secondo nell'intorno dell'arrivo S (S1s);
- finestra di 4 secondi nell'intorno dell'arrivo S (S4s);
- intero evento, considerando il dato di durata utilizzata per il calcolo della magnitudo, oppure, se non disponibile, una durata stimata a partire dalla magnitudo stessa invertendo la formula (Rebez e Renner, 1991).

Nel corso del 2001 sono state messe a punto le procedure per il calcolo della correlazione tra sismogrammi su diverse finestre temporali e con tecniche alternative. Queste procedure sono state applicate ai dati registrati a partire dal 1995, creando un data set di misure di similitudine tra coppie di tracce da una stessa stazione e tra coppie di eventi.

Su questo data set è stata condotta l'analisi a cluster di Aster (1993). E' stata inoltre svolta un'indagine sulla distribuzione dei cluster rispetto ai principali parametri di interesse sismologico (magnitudo, estensione spaziale e temporale).

L'osservazione in dettaglio dei principali cluster ottenuti con una finestra di 4 secondi attorno all'arrivo S, ha evidenziato come tutti, ad eccezione di uno (cluster 4), rientrino in due categorie:

- sequenze sismiche classiche, con evento principale e repliche. In questo caso il cluster ingloba solo parte della sismicità registrata, con una punta del 40% per la sequenza di Claut del 1996. Inoltre la similitudine sussiste tra gli eventi di magnitudo più bassa;
- swarm, ossia serie di eventi di magnitudo simile che si verificano in assenza di un evento principale. In questo caso, i cluster sono molto concentrati e tendono ad esaurire tutta la sismicità dell'area su cui insistono.

Notiamo anche che, al di fuori delle sequenze, non sono stati osservati cluster consistenti (cioè con almeno 12 eventi simili) sovrapposti ad eventi dissimili.

Il controllo incrociato con dati di localizzazione da bollettino ha permesso di discriminare tra cluster affidabili, per i quali gli eventi somiglianti sono anche molto ravvicinati, e cluster dubbi in quanto molto estesi. Nei casi dubbi è ancora da verificare quanto sia attribuibile ad errori di localizzazione, quanto ai limiti delle misure di somiglianza e quanto ancora a reali processi fisici (p.e. sequenze di rotture a due a due simili che migrano da un punto ad un altro).

Il passo successivo, previsto per l'anno 2002, riguarda l'uso delle misure di correlazione per l'effettuazione di picking relativi in maniera automatica. Questi picking dovrebbero essere integrati con quelli assoluti effettuati manualmente dai sismologi per arrivare ad una migliore localizzazione degli eventi.

Obiettivo 2.3.12 Studio dell'attenuazione in FVG e zone limitrofe

Verrà completato nel corso del 2002 lo studio delle caratteristiche di attenuazione delle onde sismiche nell'area delle Alpi nord-orientali con metodi parametrici e non. Durante il 2001 sono state definite delle leggi di attenuazione relative alle principali grandezze di interesse ingegneristico e sismologico quali l'accelerazione e la velocità di picco (sia orizzontali che verticali) e lo spettro di risposta. E' stato utilizzato un ampio data set di registrazioni velocimetriche ed accelrometriche relative al Veneto, al Friuli-Venezia Giulia ed alla Slovenia raccolte dal CRS, dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Trieste e dal Servizio Geofisico Sloveno. Il lavoro è da ritenersi complementare a quello relativo all'analisi degli effetti di sito descritto in precedenza.

Obiettivo 2.3.13 Studio del campo di sforzi e stress-triggeringAnalisi sismotettonica dell'area friulana

Lo studio prevede la stima nell'area regionale maggiormente interessata dalla sismicità, della magnitudo assoluta massima teorica degli assi principali di sforzo e dei parametri di attrito secondo la legge di Coulomb, e dell'entità della deformazione e della velocità di deformazione cosismica. La ricerca si basa sul tensore di sforzi e deformazioni ricavato da meccanismi focali.

E' stato aggiornato con gli eventi del 2000, lo studio relativo alla determinazione dei tensori di sforzo e di deformazione del Friuli Venezia-Giulia e zone contermini realizzato l'anno precedente. L'area del Friuli-Venezia Giulia corrisponde ad un settore interessato da più fasi deformative, principalmente a seguito delle compressioni tettoniche Meso- e Neoalpine, attive dall'Eocene al Plio-Quaternario.

La regione è stata suddivisa in più zone sismotettoniche, all'interno delle quali sono stati calcolati gli assi principali di sforzo e di deformazione da meccanismi focali di eventi avvenuti dal 1984 al 1998. La suddivisione è stata effettuata sulla base dello stile tettonico, dominio del fagliamento, tipologia dei meccanismi focali, attività sismica spaziale e temporale e dati geofisici disponibili come modelli 3-D di anomalie Vp e Vp/Vs, distribuzione delle anomalie gravimetriche, modelli Vp da dati di sismica di rifrazione profonda.

L'inversione dei meccanismi focali ha evidenziato due principali domini di sforzo. Le parti orientale e nord-occidentale dell'area sono interessate da un regime di stress trascorrente mentre le porzioni centrale e occidentale sono interessate da un campo di sforzi compressivo. L'orientazione dell'asse di compressione massima varia da NNW-SSE a NNE-SSW. L'ampiezza relativa degli assi di sforzo assume valori compresi tra 0.3 e 0.6. L'orientazione dell'asse di accorciamento massimo è generalmente attorno a NNW-SSE, assumendo solo nella parte sud-orientale dell'area direzione NNE-SSW. E' stata inoltre valutata l'uniformità della resistenza a rottura della crosta nelle varie zone sismotettoniche. Se la resistenza a rottura della crosta è uniforme, l'orientazione degli assi principali di sforzo e di deformazione è simile e i piani preferenziali di rottura sono univocamente determinati. Nel caso che gli assi principali di sforzo e di deformazione siano diversamente orientati, la crosta è caratterizzata da piani di debolezza meccanica, non favorevolmente orientati rispetto agli assi di sforzo, ma lungo cui avviene lo scivolamento anche se lo stress di taglio risultante se di essi è piccolo. E' stata riscontrata disuniformità a rottura nelle zone sismotettoniche settentrionali e orientali dell'area regionale.

Quale completamento di tale analisi, si prevede l'utilizzo dei parametri che descrivono la sorgente quali momento sismico, stress drop, stress apparente, energia irradiata, ricavati da inversione sulle registrazioni a corto periodo della rete sismometrica. Tale studio, condotto in collaborazione con l'IRRS di Milano dell'INGV, è tra l'altro finalizzato all'elaborazione di leggi di scala adeguata per l'area regionale e allo studio delle caratteristiche del moto del suolo.

Caratteristiche sismogenetiche dell'area dell'Alpago-Cansiglio

Nell'ambito del progetto GNDT "Scenari di danno nei sottotemi.1/2.4, è stato effettuato uno studio relativo alle caratteristiche sismogenetiche dell'area dell'Alpago-Cansiglio mediante l'analisi dei meccanismi focali disponibili, l'analisi della distribuzione della sismicità, la determinazione dei campi di sforzo e di deformazione dai meccanismi focali.

Carta di Rischio per la Regione Friuli Venezia Giulia

La carta di rischio per la regione Friuli Venezia - Giulia è stato un progetto pluriennale (1998-2001) svolto dall'OGS in collaborazione con l'Università di Trieste, che ha curato maggiormente gli aspetti geologici, e con l'Università di Udine, che ha trattato la parte relativa alla vulnerabilità degli edifici. Nel 2001 il progetto ha trovato la sua conclusione con la carta finale di pericolosità sismica in PGA ed intensità e con la mappa di rischio, sintesi delle conoscenze regionali in questo settore.

Gli aspetti innovativi dello studio realizzato riguardano l'introduzione degli effetti locali nel calcolo della pericolosità sismica regionale al fine di ottenere una carta che rispecchi più dettagliatamente gli effetti attesi dai terremoti futuri. Per far ciò, è stata messa a punto una nuova zonazione sismogenetica, disegnata appositamente per questo progetto, che caratterizza con più precisione la sismicità regionale. In particolare, il Friuli viene diviso in 5 zone più piccole. La caratterizzazione dei terreni presenti nella regione Friuli - Venezia Giulia è stata definita sulla base geologico-litologica utilizzando oltre 1000 stratigrafie di pozzi e svariati rilievi geofisici per ricostruire la geometria e le proprietà meccaniche dei depositi quaternari e per trovare la profondità del substrato pre-quaternario. La pericolosità sismica è stata calcolata tramite un approccio probabilistico considerando sia relazioni di attenuazione diversificate per i diversi terreni presenti in regione, sia amplificando lo scuotimento calcolato per il bedrock sulla base dei risultati ottenuti dalla modellazione monodimensionale della risposta locale. La carta finale mostra chiaramente l'influenza della geologia locale sia nella zona di montagna che nella pianura, dove le variazioni dello scuotimento atteso sono prodotte da brusche variazioni dello spessore dei depositi quaternari. Le elaborazioni relative ad areali di limitate dimensioni sono state realizzate tramite l'utilizzo del GIS.

Obiettivo 2.3.14 OBS telemetrato a terra

E' in avanzato stadio di svolgimento un progetto che prevede l'installazione di un Ocean Bottom Seismometer (OBS) in acque basse. La principale caratteristica di questa installazione è che permette di poter aver accesso ai dati tramite connessione via satellite. Infatti, l'OBS è cablato ad una boa posta in superficie ove è disposto un modem ed un telefono satellitare. Pertanto, è possibile accedere ai dati via modem.

Durante il 2001 si è proceduto ad assemblare l'acquisitore da inserire all'interno della sfera dell'OBS e a calibrare il sensore a basso consumo prodotto dalla PMD. Per quanto riguarda la trasmissione del dato, si è scelto di verificare diversi sistemi satellitari in commercio. Il progetto verrà completato durante il 2002 e durante la fase di test preliminare, l'acquisitore ed il relativo sismometro verranno disposti in corrispondenza della boa oceanografica dell'OGS denominata MAMBO disposta all'interno del Parco Marino di Miramare (TS). Successivamente, è intenzione piazzare la boa sulla congiungente Pola (Croazia) - delta del Po.

Obiettivo 2.3.15 Sismologia a larga banda del Mare di Scotia

Nel quadro delle attività incluse nel Piano Triennale PNRA per il periodo 1999-2001 è proseguita la gestione del progetto 2.4 "Sismologia a Larga Banda nella regione del Mare di Scotia" facente capo al Settore di Ricerca 2 "Geodesia ed Osservatori" del PNRA.

L'attività scientifica a supporto di questo progetto - che conta su un finanziamento PNRA per il periodo 1999-2001 per complessivi 290 milioni di Lire - svolta nel 2001 e' stata la prosecuzione logica di quanto fatto nel 2000 e negli anni precedenti.

Il progetto e' nato nel 1992, quando e' stata installata la prima stazione sismografica a larga banda della Rete ASAIN (Antarctic Seismographic Argentinian Italian Network), nella Base Argentina Esperanza in Penisola Antartica, e da allora e' stato finanziato dal PNRA senza interruzione.

Il lavoro svolto puo' sintetizzarsi come di seguito descritto:

- acquisizione dati continua per mezzo delle tre stazioni sismometriche a larga banda (Ushuaia, Esperanza, Orcadas) componenti la rete ASAIN; durante la campagna antartica 2000/2001 è stato inoltre effettuato un sopralluogo a tutte le stazioni e sono state eseguite operazioni di ordinaria manutenzione e calibrazione delle apparecchiature;
- elaborazione ed interpretazione dei dati (con pubblicazione dei risultati su riviste internazionali), integrati da quelli di altre stazioni a larga banda operanti nell'area, per incrementare le informazioni sulla distribuzione spaziale e temporale della sismicità nella regione dell'Arco di Scotia ed ottenere, attraverso l'utilizzo dei metodi della sismologia quantitativa, ulteriori informazioni sulle sue caratteristiche strutturali;
- pubblicazione (guest editors G.Brancolini, G.F. Panza, M. Russi, F.Wu) del volume speciale di Terra Antartica dedicato al Workshop "Broad-band Seismic Observations and the Geodynamics of the Scotia Sea Region" organizzato dall'OGS e tenutosi a Miramare nei giorni, 25 - 26 ottobre 1999, con la collaborazione del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Trieste e dell'ICTP;
- predisposizione della proposta per la prosecuzione durante il biennio 2002 - 2003 del Progetto di Ricerca PNRA "Sismologia a larga banda nella regione del Mare di Scotia". I punti qualificanti del documento prevedono l'ampliamento della Rete ASAIN "Antarctic Seismographic Argentinian Italian Network" con l'installazione di una quarta stazione sismografica a Estancia Despedida (Tierra del Fuego) e la sperimentazione in Italia ed implementazione nella stazione di Base Orcadas (ORCD) di un sistema che permetta il recupero in forma remota, attraverso l'impiego di tecniche di trasmissione dati via satellite, delle registrazioni delle stazioni ASAIN.

Obiettivo 2.3.16 Stazione sismologiche a larga banda di Trieste (TRI) e Villanova Grotte (VINO)

Anche nel 2001, secondo quanto previsto dagli esistenti accordi tra l'OGS, il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Trieste e l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, il gruppo BORA ha continuato a gestire le stazioni sismografiche broad-band di Trieste (TRI, che è inserita nella Rete MedNet (Mediterranean Network)) e Villanova Grotte (VINO) apportando migliorie agli impianti ed ai sistemi di recupero dei dati.

Tra i compiti di carattere routinario, esperiti nell'ambito del servizio di stazione, la gestione dell'attività di scambio dati su base internazionale (EMSC, ISC, USGS, ORFEUS, Istituzioni sismologiche slovene (Lubiana) e croate (Zagabria)) e nazionale (INGV, Dipartimento Centro Ricerche Sismologiche dell'OGS) è quella che presenta la maggior rilevanza.

Obiettivo 2.3.17 Sismicità strumentale e macrosismica

L'anno 2001 è stato anche il venticinquesimo anniversario del terremoto del Friuli, per le cui celebrazioni OGS si è fatto promotore di una iniziativa di divulgazione scientifica, supportata in parte economicamente anche dalla Regione Friuli - Venezia Giulia, di cui verrà dato maggior dettaglio nel seguito.

Un settore collegato sia agli archivi di dati storici sia a quelli strumentali è quello della "completezza". La definizione degli intervalli di completezza dei dati sismici è fondamentale per vari settori disciplinari della sismologia ed in particolare risulta nodale per la definizione dei "modelli di sismicità" da adottare nei calcoli di pericolosità sismica. In questo settore sono stati sviluppati degli avanzamenti che prevedono una diversa modalità di rimozione degli aftershocks (che influenza poi sia la completezza sia i tassi di sismicità che ne derivano) adattata alla sismicità locale del nordest Italia. Inoltre negli studi a carattere regionale svolti nell'anno i tassi sismicità per le magnitudo minori sono stati individuati attingendo direttamente dagli archivi della sismicità strumentale recente registrata dalla Rete OGS. Questa assunzione si basa sul presupposto che gli archivi storici o comunque i terremoti di bassa magnitudo contenuti nei cataloghi tradizionali sono, in maniera molto evidente, incompleti - quindi per le magnitudo basse è meglio appoggiarsi a periodi molto più brevi ma ben documentati dalle reti moderne. I dati così utilizzati sono alla base dei calcoli di pericolosità sismica svolti per conto della Regione Friuli - Venezia Giulia e per lo studio GNDT su Vittorio Veneto.

Con l'installazione del sismometro larga banda il vecchio sistema analogico, operante nell'ambito delle rete WWSSN fin dal 1962, era stato completamente abbandonato.

Il suo ripristino richiedeva soltanto la sostituzione di un modulo, guasto sia nella parte elettronica che in quella meccanica, la sostituzione di alcuni componenti negli altri moduli e quella delle batterie in tampone. Poiché gli interventi da effettuare erano minimi, per garantire la continuità storica ed anche scientifica con il passato si è deciso di effettuarne la riparazione ed una verifica della taratura.

E' stato, inoltre, trovato in commercio un sistema di acquisizione digitale con temporizzazione GPS a bassissimo costo (circa 1200 euro) che è operante in parallelo al vecchio sistema. L'acquisitore GPS serve anche il temporizzatore analogico risolvendo il problema della sincronizzazione dell'orologio con segnali radio che, a causa dei forti disturbi presenti nell'ambito dell'OGS, comportava un notevole dispendio di tempo.

Attualmente sono attive le tre componenti del corto periodo e la componente verticale del lungo periodo. L'acquisizione è sia su carta termosensibile che in forma digitale.

Per quanto riguarda l'analisi dei dati, è stato ulteriormente sviluppato il metodo di contour delle intensità macrosismiche, anche in vista di una diffusione internazionale e di una possibile commercializzazione in vari settori disciplinari. Il contour ConVor supera il problema della soggettività interpretativa, e non introduce filtraggi più o meno spuri. ConVor risolve il problema mediante interpolazione locale basata sul principio dei "vicini naturali". Per pesare i contributi dei dati distribuiti irregolarmente sul piano nei nodi di una griglia regolare, in cui le intensità non sono state osservate, questo interpolatore utilizza le intersezioni tra poligoni di Voronoi, ottenendo il risultato di onorare i dati sperimentali con un contour isoparametrico e confinato dai valori dei dati sperimentali; la superficie sezionata dalle isolinee è regolare in tutti i punti meno che sui dati osservati. Ne discende che le isolinee n-n così ottenute non richiedono alcun parametro di contour, e quindi non appesantiscono eventuali inversioni o altri trattamenti.

Precursori Sismici

E' ancora in atto la collaborazione con l'ETH di Zurigo per verificare l'esistenza di

gap sismici nell'area friulana. Il file di dati comprendente i terremoti registrati dal 1977 al 1999 è stato ulteriormente migliorato, specialmente per quanto riguarda le magnitudo disponibili. In presenza di più magnitudo viene riportato il tipo e la provenienza.

All'inizio dell'anno è partita una collaborazione con ricercatori dell'Istituto Jozef Stefan di Lubiana (Slovenia), della Regione Emilia Romagna e della sede di Palermo dell'INGV in merito allo studio di parametri chimico-fisici nella zona di confine italo-slovena. è stato fatto un meeting con lo scopo di fare il punto sullo stato dell'arte sino a quel momento e concordare sulle prospettive e sulle linee da portare avanti. Un primo lavoro in collaborazione è stato presentato al 20° Convegno GNGTS.

Pubblicazioni del Dipartimento CRS

- Augliera, P., Cattaneo, M., Coppari, H., Di Giovanbattista, R., Duri, G., Frapiccini, M., Gasperini, P., Gervasi, A., Govoni, A., Guerra, I., Marchetti, A., Mars, P., ING-GNDT Gruppo di lavorocatalogo strumentale (2001) . Catalogo strumentale dei terremoti "Italiani" dal 1981 al 1996 (Versione 1.0). In: 20° Convegno GNGTS, Roma, Italy.
- Bernardis, G., Bragato, P. L., Di Bartolomeo, P., Duri, G., Govoni, A., Michelini, A., Ponton, F., Restivo, A., Snidarcig, A., Zuliani, D. (2001). Risultati preliminari riguardanti lo studio degli effetti di sito a Claut utilizzando acquisizioni di dati simometrici. In: 20° Convegno GNGTS, Roma, Italy.
- Costa, G., Michelini, A., Restivo, A., Suhadolc, P. (2001). Two meetings held in Italy on seismological data acquisition, exchange and analysis in Central Europe. ORFEuS On-Line Newsletter, Vol. 3, No. 2, December 2001.
- Michelini, A. and Govoni, A. (2001). Site amplification from earthquake data in Fabriano, Central Italy. Italian Journal of Geotechnics, 2/2001, pp. 118-130.
- Michelini-A; Bernardis-G; Bragato-P-L; Bressan-G; Candido-M; Di Bartolomeo-P; Duri-G; Govoni-A; Ponton-F; Romanelli-M; Snidarcig-A; Urban-S . Gestione della rete di controllo sismico e studio della sismicità regionale a fini di protezione civile - Anno 2000. OGS, CRS, 108 pp.
- Michelini, A., Kravanjia, S., Bragato, P. L., Snidarcig, A. (2001). Struttura di velocità 1-D in NE-Italia: ricerca globale mediante l'algoritmo genetico. In: 20° Convegno GNGTS, Roma, Italy.
- Nadeau, R. M., T.V. McEvilly, and Michelini, A. , Hypocenter locations at Parkfield and SAFOD drilling targets, SSA 2001 meeting.
- Singh, D. D., Govoni, A., and Bragato, P. L. (2001). Coda Qc Attenuation and source parameters Analysis in Friuli (NE Italy) and its vcinity, PAGEOPH, 158, 1737-1761.

Pubblicazioni del Dipartimento GDLgruppo REDS

Böhm, G., Madrussani, G., Rossi, G. and Vesnaver, A., [2001]. *Ray footprint and redundancy in seismic tomography*. Journal of Seismic Exploration 9, 285-302.

Rossi, G., Corubolo, P., Böhm, G., Ceraggioli, E., Dell'Aversana, P., Morandi, S., Poletto, F. and Vesnaver, A., [2001]. *Joint 3D inversion of SWD and surface seismic data*. First Break, 19, 453-459.

Rossi, G., Vesnaver, A. and Petersen, S., [2001]. Anisotropy detection by tomography and polarization analysis in a 3D three-component VSP. *First Break* 19, 191-200.

Rossi, G. and Vesnaver, A., [2001]. Joint 3D traveltime inversion of P, S and converted waves. *Journal of Computational Acoustics* 9, 1407-1416.

Böhm, G., Accaino, F. and Brancolini, G., [2001]. *Analisi tomografica per la ricostruzione dell'espansione della calotta glaciale antartica*. Riassunti estesi del 20° Convegno Nazionale GNGTS 153-155.

Cernobori L., Della Vedova, B., Accaino, F., Camerlenghi, A., Pellis, G., Romanelli, M. and Sormani L., [2001]. Structure and Evolution of the South Shetland Margin to the NE and SW of the Hero Fracture Zone, Northern Antarctic Peninsula. Antarctic Neotectonics Workshop, Certosa di Pontignano Siena,

Böhm, G., Brancolini, G., Accaino, F., [2001]. *Antartic glaciations' analysis by reflection and refraction tomography*. Expanded Abstracts of the 63th EAEG Meeting, Amsterdam, N-30.

Vesnaver, A., Dal Moro, G., Madrussani, G., Pajchel, J. and Rossi, G., [2001]. 4D tomography at the North Sea. 63rd Mtg. Eur. Assoc. Expl. Geophys., Extended Abstracts, Amsterdam, P-012.

Accaino, F., Batini, F., Corubolo, P., Petronio, L., Rossi, G. and Vesnaver, A., [2001]. SWD tomography by radial staggered grids at a geothermal well. 63rd Mtg. Eur. Assoc. Expl. Geophys., Extended Abstracts, Amsterdam, P-663.

Rossi, G., Dal Moro, G., Mammo, T., Nieto, D., Picotti, S., Vesnaver, A. and Vuan, A., [2001]. A 3D seismic survey for groundwater protection. 71st Annual Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, San Antonio, 1333-1336.

Vesnaver, A., Janex, G., Madrussani, G., Mazzotti, A., Pajchel, J., Stucchi, E. and Williamson, P., [2001]. Target-oriented time-lapse analysis by AVO and tomographic inversion. 71st Annual Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, San Antonio, 730-733

Vesnaver, A., [2001]. Review of the book "Planning land 3-D seismic surveys" by Andreas Cordsen, Mike Galbraith and John Peirce. *The Leading Edge* 20, 1064.

Vesnaver, A., [2001]. Review of the book "Processing near-surface seismic-reflection data: a primer" by Gregory S. Baker. *The Leading Edge* 20, 217.

Vesnaver, A., [2001]. Review of the book "Numerical methods for wave equations in geophysical fluid dynamics" by Dale R. Durran. *The Leading Edge* (in stampa).

Vesnaver, A., Accaino, F., Böhm, G., Dal Moro, G., Madrussani G., Pajchel, J. and Rossi, G., [2001]. *Time-lapse tomography, in 4- tomography and AVO inversion of seismic lithology for hydrocarbon exploration and production*, OG/129/97/IT/GB/NO, final report.

Gruppo GEMS

Arntsen, B., and Carcione, J. M., 2001, Numerical simulation of the Biot slow wave in water-saturated Nivelsteiner sandstone, *Geophysics*, 66, 890-896.

Carcione, J. M., 2001, Energy balance and fundamental relations in dynamic anisotropic poro-viscoelasticity, *Proc. Roy. Soc. London A*, 457, 331-348.

Carnevale, G.F., Cavallini, F., Crisciani, F., 2001, Dynamic boundary conditions revisited, *J. Phys. Oceanogr.*, 31(8), 2489-2497.

Carcione, J. M., and Seriani, G., 2001, Wave simulation in frozen sediments, *J. Comput. Phys.*, 170, 1-20.

Poletto, F., and Carcione, J. M., 2001, On the group velocity of guided waves in drill strings, *J. Acoust. Soc. Am.*, 109(4), 1743-1746.

Carcione, J. M., and Cavallini, F., 2001, A semi-analytical solution for the propagation of electromagnetic waves in 3-D lossy orthotropic media, *Geophysics*, 66, 1141-1148.

Carcione, J.M., Cavallini, F., 2001, Absorbing layer via wave-equation splitting, *J. Comput. Acoustics*, 9(4):1347-1354.

Petronio, L., Poletto, F., Carcione, J. M., and Seriani, G., Luca, A., and Miranda, F., 2001, Seismic-wave modelling of a 3D SWD survey, 63th EAGE Conf. & Exhib., Extended Abstracts, Amsterdam, P010:1--4.

Priolo, E., 2001, Deterministic computation of the reference ground motion in Fabriano (Marche, Italy). *Ital. Geotech. J.*, 35(2), 59-75.

Priolo, E., 2001, Earthquake ground motion simulation through the 2-D spectral element method. *J. Comp. Acoustics*, 9 (4), 1561-1582.