

2.1.1. Acquisizione dati e manutenzione rete

Nel corso del 1999 è stata effettuata regolare manutenzione ordinaria e straordinaria per interventi di riparazione dei guasti e/o manutenzione preventiva (verifiche dell' offset, efficienza dell' alimentazione, funzionalità dei ponti radio, ecc.). Oltre a ciò si è proceduto ad effettuare la taratura annuale di tutti i sensori della rete con relativo rapporto tecnico in fase di redazione.

Allo scopo di ottimizzare l' efficienza della rete, si è provveduto a:

- incrementare la velocità di trasmissione dei dati, ottenendo un risparmio sui tempi d' acquisizione passando da una velocità di 10500 a 17200 bit/s;
- sostituire, sulle stazioni di BAD (Bernadia) e CAE (Caneva) i sensori di tipo Willmore MKIII con quelli di tipo Lennartz LC4 3D di più nuova concezione;
- sostituire, sulla stazione di UDI (Udine), il velocimetro di tipo Willmore MKIII con l' accelerometro del tipo Kinematics FBA-23 3D;
- sostituire, sulla stazione di BOO (Bordano), l'accelerometro Kinematics FBA-23 con l' accelerometro di tipo Kinematics "Episensor", nell'ambito di un contratto con la SIOT.

Inoltre, si è provveduto alla messa in sicurezza di tutta la strumentazione d' acquisizione ed elaborazione, sia presso il Centro che sulle stazioni remote, allo scopo di affrontare il passaggio all' anno 2000 senza disfunzioni. Questo è stato effettuato preventivamente mediante una simulazione del passaggio di data 1999-2000, verificando le conseguenze sulle apparecchiature e sui protocolli interessati.

2.1.2. Elaborazione dati

I dati registrati dalla RSFVG nel corso del 1999 sono stati elaborati con metodologie standard e sono stati archiviati con cadenza giornaliera. In seguito, sono stati integrati con i dati registrati da stazioni limitrofe al fine di calcolare le localizzazioni finali da riportare nel relativo bollettino annuale. Esso contiene i tempi d' arrivo delle fasi degli eventi con epicentro ad una distanza non superiore a 500 km da almeno una delle stazioni della rete, e le localizzazioni di quelli distanti meno di 100 km.

Durante il 1999 sono state completate le localizzazioni dei terremoti dell'anno precedente. Vista la notevole mole di dati, causati dalla sequenza di Bovec peraltro ancora in atto, e la necessità di migliorare e velocizzare la consultazione delle localizzazioni e dei dati in genere, per la prima volta si è provveduto alla redazione del bollettino su supporto CD-ROM, dandogli cadenza annuale e non più semestrale. A contorno del CD-ROM viene allegato un fascicolo riportante le caratteristiche tecniche della rete, un sommario di tutti gli eventi localizzati dalla RSFVG e una rappresentazione dei dati acquisiti tramite l' utilizzo di grafici statistici.

A seguito delle elaborazioni sismologiche compiute nel 1998, è stata predisposta la relazione annuale (Slejko et al., 1999) per la Protezione Civile regionale, che comprende sia lo studio della sismicità registrata dalla rete sismometrica che l' attività tecnica e scientifica svolta presso il CRS.

La relazione annuale, come di consuetudine, ha analizzato la sismicità regionale e quella di una fascia contermina che ha risentimenti nella regione Friuli-Venezia

Giulia. In particolare ci si è soffermati sul terremoto di Bovec (Slo), del 12 aprile 1998, di magnitudo Richter 5,6, che ha creato un certo grado di apprensione tra la popolazione regionale confinante con la vicina repubblica slovena. A tal riguardo si sono prodotti studi sismologici sulla sequenza sismica e studi sulle caratteristiche sismotettoniche e macrosismiche del terremoto, che hanno anche dato origine a pubblicazioni scientifiche presentate a convegni nazionali ed internazionali.

2.1.3. Gestione del sistema automatico di allarme e servizio di pronto intervento

Per tutto il 1999 il CRS ha curato la gestione del sistema di monitoraggio sismico previsto dalla convenzione stipulata con la Direzione Regionale per la Protezione Civile del Friuli -Venezia Giulia. Il sistema, interamente sviluppato presso il dipartimento, comprende un nucleo software per l'elaborazione rapida degli eventi attivo presso il CRS ed una stazione grafica di monitoraggio installata a Palmanova, presso la sala operativa della Protezione Civile regionale. Il collegamento tra le due sedi è realizzato per mezzo di un collegamento telefonico dedicato a 64 kbit/s.

Il sistema ha segnalato 21 eventi di magnitudo maggiore o uguale a 2,8 gradi della scala Richter localizzati in Friuli-Venezia Giulia o aree limitrofe. Di questi, 10 hanno avuto magnitudo maggiore di 3, con una magnitudo massima di 3,9 fatta registrare dall' evento verificatosi in Slovenia nella zona di Kobarid il 13 maggio alle ore 16:06:52 GMT. Le informazioni relative a questi terremoti sono state trasmesse anche via fax e via posta elettronica alla stessa Protezione Civile regionale, alle prefetture interessate e ad una serie di istituzioni sismologiche italiane ed europee. A partire da quest' anno le segnalazioni sono state inviate anche alla SIOT s.p.a. (Società Italiana per l' Oleodotto Transalpino) nell' ambito della convenzione per il monitoraggio della stazione di pompaggio di Trasaghis, convenzione sulla quale ci soffermeremo nel seguito.

2.2. Rete Sismometrica del Garda

Il progetto di realizzazione di tale rete, è stato presentato all' Assemblea dei Soci dell' Istituto di Geofisica e Bioclimatologia di Desenzano già nel 1997 e durante il 1998 i quattro partner (Regione Lombardia, Provincia di Brescia, Consorzio Garda 1 e Comune di Desenzano) sono giunti al pronunciamento di interesse finalizzato al supporto economico sia per la realizzazione del progetto che per la gestione ordinaria dell'Istituto di Desenzano. Nel 1999 si è giunti alla definizione del primo impegno di spesa, supportato in maniera preponderante dalla Provincia di Brescia ed in subordine dal Comune di Desenzano, atto all'acquisto della prima tranche di strumentazione. Rimane da definire il contesto statutario dell'istituto di Desenzano, che nel progetto dovrebbe garantire la gestione della rete con l'OGS quale partner scientifico.

2.3. La Rete Sismometrica del Veneto

Il 20 gennaio 1999 è stata siglata la convenzione fra l' OGS e la Regione Veneto per la realizzazione di una rete sismometrica, composta da 8 stazioni dotate di apparecchiature per la teletrasmissione automatica continua dei segnali raccolti sul territorio regionale del Veneto al centro acquisizione dati integrato, presso il CRS.

Tale rete sismometrica ha la finalità di monitorare, integrandosi con l' esistente RSFVG, l' attività sismica dell' area del nord-est. Inoltre garantirà un sistema di allerta sismico in tempo reale, con informazione sull' ubicazione degli eventi sismici, nonché con l' aggiornamento dell' evoluzione del fenomeno. La rete contribuisce, dunque, alla conoscenza di dettaglio del rischio sismico regionale.

Le specifiche tecniche relative al progetto complessivo della Rete Sismometrica del Veneto (RSV) replicano a dimensione ridotta quelle della RSFVG.

Come primo atto della convenzione nel 1999 sono state installate le prime due stazioni ubicate nelle località di Alpe Faloria e Forcella Aurine. I geofoni installati sono di tipo Lennartz Le 3D. I dati rilevati durante l'anno sono stati integrati con quelli della RSFVG.

Inoltre, secondo quanto citato nell' allegato tecnico della convenzione, è stata acquistata la strumentazione relativa alla centrale d' acquisizione dei dati di tutte le stazioni remote, da realizzarsi a Udine presso il CRS. E' stato installato e verificato tutto il software d' acquisizione e sono state realizzate le procedure per l' integrazione dei dati della RSV con quelle della RSFVG.

Per quanto riguarda la sorveglianza sismica sono state predisposte le procedure sperimentali di "veglia sismica". Allo stato attuale è disponibile un prototipo del sistema d' allarme automatico congiunto tra le due reti. Esso potrà diventare pienamente operativo con la completa realizzazione della RSV.

Alla fine del 1999 è stato proposto un primo ampliamento della rete sismometrica del Veneto (secondo stralcio), che prevede la realizzazione di ulteriori tre stazioni remote e l' adeguamento della stazione di ripetizione del Col Visentin. Le tre stazioni remote sono state localizzate nelle zone di Jesolo, del Monte Venda e del Monte Grappa. Esse verranno costruite durante l' anno 2000.

Per la loro piena realizzazione rimangono alcuni punti di competenza della Regione Veneto. Essi sono:

- le richieste dei permessi relativi alle concessioni per la loro costruzione, nonché la sanatoria per quanto riguarda le stazioni già esistenti;
- le richieste di permessi per l' utilizzo di due frequenze (più una di riserva) per la trasmissione radio.

Per quanto riguarda la gestione della rete, è in fase di definizione la convenzione che garantisce le spese relative alle prime due stazioni già installate per le procedure tecniche che consentono di ottimizzare i processi di trasmissione dati alla centrale d' acquisizione, effettuare le tarature e le manutenzioni relative allo scopo di integrare il loro funzionamento alla più estesa rete nord-orientale e che ne permettano l' inserimento nel sistema di "veglia sismica".

2.4. Rete mobile

Nel territorio regionale ed in alcune zone limitrofe (Bellunese) sussistono problematiche legate alla sismicità che necessitano di una soluzione urgente,

costituendo un livello di rischio elevato per le popolazioni e le strutture ivi insediate. Per una più dettagliata conoscenza della sismicità locale appare indispensabile l'utilizzo di una rete sismica mobile, da affiancare all' attuale rete sismometrica fissa. A tale proposito è stato predisposto un primo progetto comprensivo di dieci stazioni mobili, aventi come sensori geofoni e accelerometri a tre componenti.

Durante il 1999 è proseguita l' attività di monitoraggio della zona di Claut, iniziato nel dicembre 1998 tramite l'utilizzo di due stazioni locali. Le ulteriori stazioni, che avrebbero dovuto essere acquistate ed installate nel corso del 1999, causa il protrarsi della stipula della convenzione tra l' OGS e la Protezione Civile Regionale, sono state demandate all' anno 2000. In considerazione di ciò l' obiettivo di dotarsi di una rete mobile ha subito un rallentamento che dovrebbe essere colmato con gli anni a venire.

2.5. Sorveglianza della diga del Vajont

Il rilevamento della sismicità dell' area circostante la diga del Vajont per conto della Direzione Produzione Idroelettrica Alpi Est dell' Enel è stato limitato al primo trimestre del 1999. Questo a causa della ristrutturazione in atto dei vari organi e rispettive competenze dell' Enel s.p.a. che prevede drastiche riduzioni di spesa. Lo scopo del monitoraggio è stato quello di rilevare la sismicità ai più bassi livelli di magnitudo presso la diga, utilizzando le stazioni sismiche della RSFVG e della RSV. Sono stati predisposti rapporti mensili relativi alle elaborazioni ipocentrali al fine di poter segnalare tempestivamente alle autorità competenti la eventuale presenza di eventi con magnitudo maggiore o uguale a 2 gradi della scala Richter ubicati a meno di 10 km dalla diga.

2.6. Sorveglianza dell' Oleodotto Transalpino

Nel 1999 il CRS ha stipulato una convenzione con la SIOT s.p.a. (Società per l' Oleodotto Transalpino) per il monitoraggio dal punto di vista sismico dell' oleodotto che collega Trieste all' Austria passando per il Friuli centrale. Per lo svolgimento del servizio sono state valutate diverse possibilità in relazione alle esigenze della SIOT ed al budget disponibile. In sostanza, la SIOT ha la necessità di stimare i possibili danni alle proprie strutture, che comprendono tubazioni e stazioni di pompaggio, in seguito ai terremoti che possono verificarsi nell' area friulana. La società è interessata sia a valutazioni di pericolosità sismica, al fine di individuare e potenziare le tratte dell' oleodotto più a rischio, che alla rapida stima dei danni in caso di terremoto, e ciò al fine di decidere sull' interruzione o meno del flusso di petrolio. Si tratta quindi di un problema molto complesso, attualmente non affrontabile globalmente per l' impegno che richiederebbe in termini sia di risorse umane che finanziarie. Quale primo passo per l' avvio della collaborazione tra OGS e SIOT, è stato quindi deciso di attivare una convenzione che contemplasse:

- a) la comunicazione rapida alla SIOT dei dati di localizzazione e magnitudo dei terremoti che avvengono in Friuli - Venezia Giulia;

- b) il monitoraggio con specifico sensore di una località prossima ad una delle stazioni di pompaggio più esposte al rischio sismico.

Per quel che riguarda il primo aspetto, la SIOT è stata inserita tra i destinatari delle segnalazioni di allarme generate dal sistema di allerta rapido attivo presso il CRS e che funziona sulla base dei dati inviati via radio dalle stazioni della RSFVG.

Relativamente al secondo punto, è stato invece deciso di potenziare la preesistente stazione di Bordano mediante l'installazione di un sensore accelerometrico a tre componenti. La stazione sismometrica è posta a circa 5 km dalla stazione di pompaggio di Trasaghis e consente quindi di avviare studi di pericolosità sul sito specifico. E' stato scelto un accelerometro Kinematics "Episensor" con sensibilità 2,5 V/g, frequenza naturale 200 Hz e smorzamento pari a 0,7, i cui segnali sono campionati ad una frequenza di 125 Hz con filtraggio antialias a 50 Hz.

A fine anno è stata redatta una relazione del servizio svolto, contenente un'analisi della sismicità di interesse per la SIOT e degli accelerogrammi registrati dalla stazione di Bordano. Per questi ultimi è stato rilevato il picco di accelerazione, esaminato il contenuto in frequenza ed elaborato il relativo spettro di risposta (Fig.1).

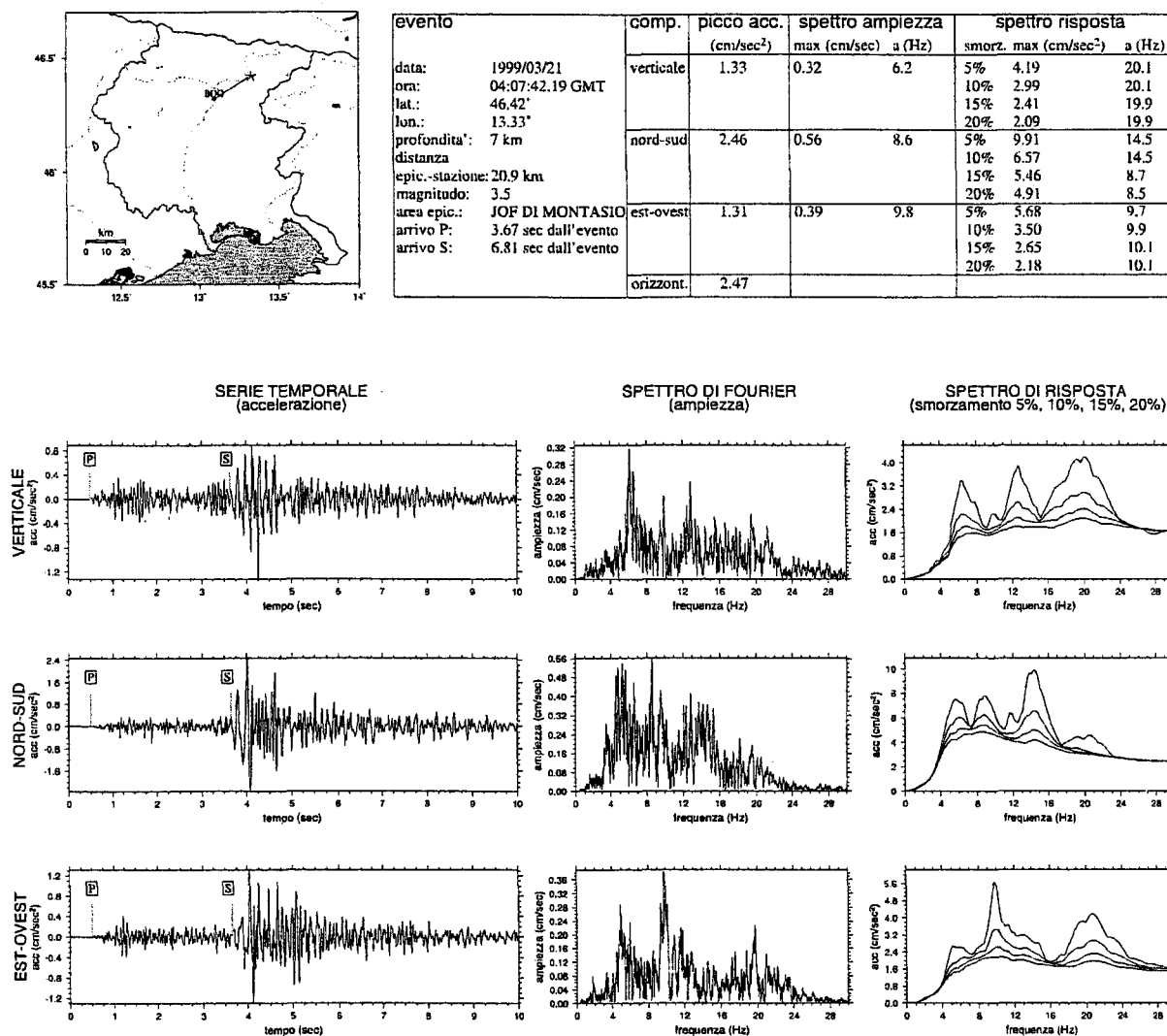


Fig. 1 Esempio di elaborazione degli accelerogrammi registrati dalla stazione di Bordano.

3. Studi di sismogenesi regionale

La sismicità dell'Italia nord - orientale è l'argomento principe curato dal CRS ma particolare attenzione è stata data ai fenomeni sismici principali che hanno colpito regioni vicine. Così sono proseguiti gli studi dei terremoti di Umbria - Marche e di Bovec, avvenuti negli anni precedenti, sviluppati nell'ambito di collaborazioni internazionali. Ancora in ambito internazionale, è iniziato uno studio della sismogenesi della Bulgaria.

3.1. Campo di sforzi tettonici nell' area regionale

L'intera area regionale e zone contermini del Friuli Venezia-Giulia sono state suddivise secondo le caratteristiche sismotettoniche in più zone ove è stato calcolato il tensore del campo di sforzi tettonici, tramite l'inversione di meccanismi focali. Tale studio costituisce un ampliamento ed un completamento di un analogo studio svolto precedentemente. A questo scopo, rispetto allo studio precedente, è stato ampliato il set di dati dei meccanismi focali e sono stati rivisti quelli degli eventi più significativi. Sono state inoltre determinate le orientazioni degli assi principali di deformazione. Sebbene lo studio non sia ancora completato, i risultati preliminari evidenziano che lo stato di sforzo tettonico nell'area è molto eterogeneo. Il settore occidentale e centrale è interessato da campo di sforzi compressivo, mentre il settore nord-occidentale da campo di sforzi trascorrente. Il settore orientale, ed in generale il settore con morfologia dinarica, è interessato da un campo di sforzi trascorrente. L'intensità relativa degli assi principali di sforzo è variabile da zona a zona, così come l'orientazione degli assi principali. Secondo i risultati preliminari, l'orientazione degli assi principali di deformazione mostrano una buona coincidenza con gli assi principali di sforzo, stando a significare che il comportamento di ciascuna zona in relazione agli sforzi tettonici agenti è abbastanza omogeneo.

3.2. Parametri elastici 3-D della crosta superficiale friulana

Sono stati ricavati i parametri elastici crostali quali il modulo di compressibilità, il coefficiente di Poisson ed il modulo di taglio, sulla base delle anomalie tridimensionali V_p e V_p/V_s dell'area friulana. A tale scopo sono state effettuate delle verifiche della bontà dell'inversione tomografica 3-D con il "checkerboard test" e con il "restore resolution test". È stato cioè verificato che l'inversione tomografica ricadesse nelle condizioni di linearità della modellazione e che l'influenza degli errori casuali nella lettura delle fasi non alterasse significativamente l'esito dell'inversione stessa. Tali verifiche hanno dato esito soddisfacente.

I parametri elastici 3-D sono stati posti in relazione alla distribuzione della sismicità. In particolare sono state elaborate rappresentazioni del gradiente e del laplaciano del modulo di rigidità. Tali rappresentazioni evidenziano che la sismicità tende a concentrarsi nella zona a maggiore variazione del gradiente ed in particolare verso i valori più bassi del modulo di rigidità.

Sono state pertanto avviate delle analisi per l'uso integrato dei parametri caratterizzanti la sorgente sismica ed i moduli elastici crostali, finalizzato alla nucleazione degli eventi sismici. Tali studi risultano particolarmente significativi per lo studio delle sequenze sismiche.

3.3. Caratteristiche sismotettoniche e macrosismiche del terremoto di Bovec (Slovenia NW) del 12 aprile 1998

Il terremoto del 12 aprile 1998 è avvenuto in una regione della Slovenia che era considerata di sismicità bassa, in quanto priva di eventi significativi sia nel periodo

storico che in quello strumentale. Solo il terremoto di Idrija del 1511, di cui tuttavia esistono varie soluzioni epicentrali, potrebbe rappresentare un' importante precedente storico. Pertanto, l' evento di Bovec, di magnitudo 5,6 e seguito da oltre 4000 repliche, è importante per classificare meglio la pericolosità sismica della regione slovena nord-occidentale.

Il meccanismo focale trascorrente destro della scossa maggiore e delle repliche principali si inserisce perfettamente nel quadro cinematico attuale dell' area a cavallo del confine italo-sloveno, dove un sistema di faglie NW-SE trascorrenti destre agisce da svincolo per la Catena Sudalpina orientale che migra verso SSE. La faglia di Passo Potoce, lungo la quale si sono distribuiti la scossa principale e la quasi totalità delle repliche, fa parte di tale sistema ed è stata definita come faglia sismogenetica per l' evento maggiore.

Il rilevamento macrosismico ha evidenziato che l' epicentro strumentale non coincide con quello macrosismico: i centri abitativi più danneggiati sono Drezniske Ravne, Bovec, Javorca e la parte meridionale della Val Lepena. Si sono verificati diffusi fenomeni di amplificazione legati alle caratteristiche geolitologiche dei siti.

Nella regione Friuli - Venezia Giulia il risentimento è stato modesto. L' andamento particolare delle isosisme del VI e del V grado MCS nell' area friulana orientale sottolinea la stretta correlazione fra attenuazione dei danni ed entità e completezza degli interventi di adeguamento antisismico eseguiti dopo il disastroso terremoto del 1976. Tale fatto evidenzia di nuovo l' importanza fondamentale che l' adeguamento antisismico degli edifici, in particolare quelli di antica costruzione, riveste per la mitigazione del rischio sismico.

3.4. Definizione di uno scenario di danneggiamento sismico dell' abitato di Claut

In riferimento ai terremoti che hanno avuto effetti macrosismici nell' area clautana (Friuli occidentale), ricavata dai cataloghi GNDT e OGS, si rileva che la sismicità storica dell' area ha raggiunto la massima intensità del VII grado MCS il 23 giugno 1892. Il 13 aprile 1996 nella stessa zona è stato localizzato un evento di magnitudo 4,3 (VI-VII MCS), massima intensità verificatasi nel periodo strumentale. L'intensità piuttosto alta di questo terremoto, prossima al valore massimo osservato nel corso di tutti i secoli, ha motivato un'indagine macrosismica degli effetti del sisma finalizzata alla definizione del danneggiamento subito dall' abitato di Claut.

Dal rilevamento macrosismico effettuato si sono individuate tre cause fondamentali per l' innesco dei meccanismi fessurativi.

In edifici recenti o per quelli ristrutturati dopo il terremoto del 6 maggio 1976, sembra essere la differenza di rigidezza tra parti della stessa struttura o tra corpi di fabbrica dello stesso edificio la causa principale delle lesioni che immancabilmente si manifestano in corrispondenza di brusche variazioni della sezione resistente o in presenza di rilevanti irregolarità geometriche in pianta, tali da causare comportamenti dinamici differenti per le diverse parti dell' edificio.

Per edifici vecchi, per lo più inseriti in aggregati strutturali, sono tipiche le lesioni ad andamento verticale o subverticale, la cui origine è da attribuirsi ad un differente comportamento della muratura di facciata di edifici contigui, costruiti in tempi successivi, senza ripristino della continuità della tessitura muraria.

Altrettanto frequenti sembrano essere le riattivazioni di meccanismi fessurativi preesistenti, specie per gli edifici senza adeguata ristrutturazione.

Inoltre, pur in mancanza di una microzonazione completa, non è possibile escludere effetti di amplificazione locale dovuti alle morfologie sepolte del substrato roccioso, come suggerirebbe la particolare ubicazione degli edifici danneggiati.

Il fatto che i danni si siano concentrati principalmente su edifici non adeguati sismicamente dimostra ancora una volta quanto sia indispensabile l' adeguamento antisismico su fabbricati di antica costruzione, ancora così frequenti in quei settori marginali della regione friulana che furono interessati solo marginalmente dagli eventi distruttivi del 1976.

Pertanto, si ritiene fondamentale una microzonazione almeno per quei siti che presentano condizioni geologico-geotecniche penalizzanti, ai fini dell' individuazione di procedure e raccomandazioni finalizzate alla mitigazione dei danni.

Sono state identificate in via preliminare quattro classi di suolo. Il limite assunto dagli spessori amplificativi è quello indicato dall' EUROCODICE 8, anche se frutto di analisi di dati provenienti da una classificazione a grande scala. In fase progettuale sono stati previsti otto punti di monitoraggio di tipo velocimetrico ed accelerometrico. Nel 1999 per la mancanza di fondi, si sono utilizzate solo due apparecchiature di acquisizione. Esse sono state posizionate l' una su bedrock e l' altra su una copertura di materiale detritico avente uno spessore di alcune decine di metri, secondo un allineamento nord-sud che attraversa l' abitato di Claut. Nel corso dell' anno sono state effettuate misure di microtremori che si aggiungono alla registrazione di alcuni eventi verificatisi nell' area. L' attività di monitoraggio, compatibilmente con il completamento della dotazione strumentale, proseguirà negli anni a venire al fine di ottenere un data set più completo di dati.

Alle forme d' onda dei velocigrammi ed accelerogrammi verranno applicate le metodologie classiche di analisi.

3.5. Catalogo strumentale dei terremoti italiani dal 1981 al 1996

In collaborazione con il dipartimento OGA e nell' ambito del Sottoprogetto 5.1.3 "Catalogo strumentale dei terremoti dal 1981 al 1996" finanziato dal GNDT nel progetto esecutivo 1998, sono state portate avanti le attività di seguito descritte.

- 1) Messa a punto del data set dei tempi di arrivo per la RSFVG) relativo al periodo 1981-1997.

Sono state assemblate e ri-formattate un totale di 72579 fasi P e di 54804 fasi S relative al periodo in questione provenienti da tutte le stazioni gestite dall' OGS, che, con modalità e configurazione diverse, coprono la parte orientale del Veneto, il Trentino - Alto Adige ed il Friuli - Venezia Giulia. Sono state aggiunte anche tutte le fasi di stazioni estere utili alla localizzazione degli eventi di frontiera. Queste sono state passate all' unità di ricerca di Macerata, coordinatrice del progetto, per l' integrazione nel data-set del progetto.

- 2) Verifica delle informazioni relative alle diverse configurazioni della RSFVG .

Le informazioni relative alla configurazione ed alle modalità di funzionamento e gestione di tutte le stazioni sismometriche utilizzate per le letture sono state

recuperate, opportunamente verificate e comunicate all' unità di ricerca di Macerata per l' inserimento nel data-set unificato delle stazioni, strumento di lavoro indispensabile per la creazione del catalogo.

3) Recupero di letture da nastri analogici per il periodo 1988-1993.

Nel periodo 1988-1993 la RSFVG ha acquisito i dati con un sistema digitale EarthData, mantenendo in parallelo il vecchio sistema analogico che registrava i dati in continuo su nastri a 14 piste. A causa dell' assenza di un sistema di correzione degli errori sulla trasmissione radio, è stato necessario adottare criteri di trigger con soglie maggiori per minimizzare i falsi trigger dovuti a disturbi radio. Da un' analisi accurata condotta è risultato che questo settaggio dei trigger del sistema digitale ha portato, in diversi casi, ad una perdita di dati analizzati per la compilazione del bollettino. Stime accurate sono difficili, ma è possibile affermare che il catalogo OGS per il periodo in questione sia incompleto, in bassa magnitudo, per un fattore dell' ordine del 5% (10% nella peggiore delle ipotesi) degli eventi complessivi. Particolarmente affetta da incompletezza dovrebbe essere l' attività sismica ai confini della zona coperta dalla rete. Per questo motivo è stato avviato un progetto di recupero delle forme d' onda registrate nel periodo di sovrapposizione sui nastri magnetici. A tale scopo un vecchio registratore magnetico a 14 piste, a suo tempo utilizzato per il playback dei nastri, è stato interfacciato, tramite opportuni circuiti elettronici, ad un PC dotato di scheda di conversione A/D ed è stato realizzato un primo programma di acquisizione dati. Allo stato attuale, ci sono ancora alcuni problemi da risolvere sia nella parte software di acquisizione (decodifica affidabile del segnale DCF presente sui nastri, saltuari problemi di buffer-under run sui canali DMA dovuti alla piattaforma Windows) sia nella parte di controllo del registratore (in particolare la gestione degli inceppamenti del nastro). Ciò ha ritardato notevolmente la realizzazione del progetto, allo stato attuale sono stati recuperati, tramite i playbacks su carta, soltanto i dati relativi ai primi otto mesi del 1988.

3.6. CD-ROM del data-set registrato nella campagna di acquisizione dati a seguito della sequenza sismica del 26 settembre 1997 in Umbria-Marche

Nell' ambito del sottoprogetto 6a1 "Struttura e sorgente della sequenza" finanziato dal GNDT nel progetto esecutivo 1998, in collaborazione con l' Università di Genova e con l' Osservatorio Geofisico di Macerata, i dati registrati durante la campagna di acquisizione svolta in Umbria-Marche nel periodo 18 ottobre - 3 novembre 1997 sono stati raccolti in un data set relazionato adeguatamente organizzato per la distribuzione su CD-ROM. Dopo un lungo lavoro di validazione delle forme d' onda e delle letture, i dati sono stati integrati con quelli delle stazioni più vicine alla zona della sequenza (tre stazioni appartenenti alla Rete Sismometrica Marchigiana (RSM) gestita dall' Osservatorio Geofisico Sperimentale di Macerata (OGSM) e cinque stazioni appartenenti alla Rete Sismometrica dell' Umbria (RESIL) gestita dall' Osservatorio Bina di Perugia). Il data set complessivo è costituito da 621 eventi completi di forme d' onda (10459 tracce), letture delle fasi, localizzazioni,

magnitudo Wood-Anderson e dati relativi alle 23 stazioni utilizzate (posizione, strumentazione e calibrazione).

Per la distribuzione dei dati alla comunità scientifica è stato scelto un' approccio di massima portabilità utilizzando gli standard più diffusi (ISO9660 più estensioni Rockridge e Joliet per il filesystem del CD-ROM) e formati dati accessibili con programmi di pubblico dominio presenti su tutte le piattaforme più diffuse (GNU tar e gzip per la compressione). I dati delle forme d' onda sono stati scritti in un formato ASCII simile a quello XPITSA arricchito di tutte le informazioni accessorie sulla stazione, sulle fasi lette e sulla localizzazione dell' evento. I dati relativi a ciascun evento sono stati raggruppati e compressi in unico file denominato a partire dal tempo di registrazione. I file degli eventi sono stati organizzati in directory mese/giorno per permettere l' accesso diretto basato sul tempo di registrazione. Inoltre, è stato aggiunto un file indice contenente tutte le informazioni necessarie sui dati scritto in un formato facilmente leggibile e filtrabile con strumenti standard di parsing (tipo GNU grep e awk). Ciò consente all' utente esperto di filtrare, selezionare ed importare gli eventi di interesse dal CD-ROM con semplici script. Sempre in formato ASCII sono stati aggiunti i dati relativi alle stazioni completi di coordinate di posizione, tipologia della strumentazione del sito e dati di calibrazione dei sismometri. Questi ultimi sono disponibili anche in formato PAZ. Tutte le operazioni necessarie per la creazione del data set in formato distribuibile sono state implementate in un apposito programma che prende in input un file di descrizione dei dati contenente le informazioni accessorie (fasi, localizzazioni, geometria della rete) e le directory contenenti i dati di forma d' onda in vari formati (attualmente supporta sac, ah, m88 e pcSUDS), controlla le associazioni e le finestre temporali, realizza tutti i file indice e costruisce la gerarchia di directory contenente le forme d' onda nel formato precedentemente descritto.

Come ulteriore chiave di accesso ai dati è stata realizzata un' interfaccia HTML che permette tramite semplici tabelle contenenti la descrizione dei singoli eventi di ricercare, valutare ed importare i dati dal CD-ROM. Tale interfaccia è completa di descrizione della geometria della rete, di cartine di localizzazione per ogni giorno di registrazione e dei plot di tutte le forme d' onda. Il tutto è accompagnato dalla documentazione relativa alla realizzazione del progetto, all' organizzazione ed al formato dei dati. Anche per questa operazione è stato realizzato un apposito programma che genera tutta la gerarchia dei file HTML, con gli appositi link agli eventi ed ai dati su disco e realizza, mediante il package GMT, tutti i plot dei dati.

Sono state stampate in tutto 100 copie del CD-ROM (è la tiratura minima realizzabile commercialmente) ed è stata organizzata la spedizione agli utenti che ne hanno fatto richiesta. Sfruttando l' interfaccia realizzata è stato messo a punto un sito WEB che permette l' accesso a tutti i dati del CD-ROM all' indirizzo:

<http://wave.crs.ogs.trieste.it/Umbria97/>

Sul sito, oltre al contenuto del CD-ROM, è presente un form per la richiesta di un copia dello stesso ed un form per la ricerca/selezione degli eventi di interesse ed il loro batch-download dal server. L' accesso ai dati per il download è comunque effettuabile anche tramite server ftp anonymous sempre allo stesso indirizzo.

3.7. Esperimento di sismica attiva e passiva a Sellano per lo studio della struttura superficiale e dei relativi effetti di sito (15-22 gennaio, 1999)

Nell'ambito del progetto di microzonazione Umbria-Marche, commissionato dalla Protezione Civile al GNDT ed al SSN, il CRS ha partecipato all' esperimento TOMOSEL coordinato dal GDL con la collaborazione di operatori del Dipartimento Scienze della Terra dell'Università di Genova (UNIGE), dell'Istituto di Ricerca sul Rischio Sismico del CNR (IRRS) di Milano, del Servizio Sismico Nazionale (SSN) di Roma.

Nel periodo 15-22 gennaio 1999, è stata effettuata la campagna di acquisizione di dati sismici presso Sellano (PG). Sellano è stata gravemente danneggiata da alcuni degli eventi maggiori della sequenza umbro-marchigiana del 1997. In particolare, i terremoti con ML > 5 del 12 e 14 ottobre hanno prodotto danni particolarmente ingenti, ed in certi casi difficilmente spiegabili, alle strutture edilizie del centro storico. Poiché il paese giace in cima ad una collina/crinale si è ipotizzato che il rilievo topografico e la peculiare situazione geologica possano aver determinato amplificazioni locali del moto del suolo. Quindi, il fine principale dell' esperimento è stato quello di ottenere un'immagine dettagliata tridimensionale della struttura geologica del sito di Sellano utile a dare delle indicazioni quantitative sull' origine degli effetti di sito evidenziati dagli eventi sismici locali.

L'esperimento ha mutuato tecniche di acquisizione proprie della sismica di esplorazione con metodologie comunemente in uso per la valutazione degli effetti di sito. In pratica, con questo esperimento di acquisizione si è puntato, da un lato, ad ottenere dei dati "sulle modalità di propagazione" per poter svolgere delle indagini tomografiche atte a ricostruire la struttura interna e più profonda della collina/crinale su cui è posto il centro storico mentre, dall'altro, si è cercato di determinare misure "di ampiezza" che permettessero di correlare la struttura geologica con le amplificazioni di sito osservate. Pertanto, nella scelta e nella disposizione della strumentazione impiegata si è cercato di realizzare il miglior compromesso possibile tra questi due obiettivi.

3.8. Campo di sforzi tettonici nell' area della Bulgaria

Nell'ambito di una borsa di ricerca del Centro Internazionale di Fisica Teorica, in collaborazione con un ricercatore dell'Accademia Bulgara delle Scienze, è stata studiata la sismogenesi della Bulgaria. L'analisi globale dei dati sismologici e geologici ha portato alla definizione di una zonazione del territorio bulgaro in settori sismotettonicamente omogenei. Sono state determinate le orientazioni degli assi principali di sforzo tettonico e di deformazione dall' inversione di meccanismi focali nelle zone sismogenetiche precedentemente individuate. I risultati evidenziano che le aree centrali e settentrionali della Bulgaria sono interessate da un campo di sforzi normale, con orientazione dell' asse di compressione massima variabile da NE-SW a ESE-WNW. Le aree meridionali sono invece interessate da un regime di stress trascorrente, con orientazione dell' asse di compressione massima variabile da ENE-WSW a E-W. L' inversione evidenzia che le magnitudo degli stress principali sono variabili e conferma quanto già evidenziato dai dati geologico-tettonici riguardo alla

complessa evoluzione geodinamica dell' area. Il confronto tra i tensori di sforzo e di deformazione evidenzia che le direzioni degli assi principali di sforzo e di deformazione non sono coincidenti. Ciò suggerisce che all' interno delle varie zone il campo di sforzo è eterogeneo, a causa della disuniformità nella resistenza a rottura della crosta. In un materiale relativamente uniforme, gli assi principali di sforzo e di deformazione hanno uguale orientazione, ma se esistono zone di debolezza strutturale le orientazioni degli assi possono essere significativamente differenti. Infatti, anche se tali zone di debolezza strutturale non sono favorevolmente orientate per la fratturazione rispetto al tensore di sforzo, bastano bassi sforzi di taglio sul piano di debolezza per indurre lo scivolamento. Tale fenomeno può essere rilevante in volumi rocciosi interessati da estese faglie listriche, come è il caso delle aree della Bulgaria.

4. Studi di rischio sismico regionale

La Regione Autonoma Friuli - Venezia Giulia ha commissionato all'OGS, in collaborazione con le università di Trieste ed Udine, uno studio di rischio sismico regionale. Il CRS è coinvolto in questa importante operazione per quanto attiene la caratterizzazione delle zone sismogenetiche e per la definizione delle relazioni di attenuazione di validità regionale.

Insieme ai geologi dei due atenei regionali, sono state revisionate le zone sismogenetiche definite nel modello generale di validità nazionale sviluppato nell'ambito del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti. Questo modello prevede due zone sismogenetiche nelle Dinaridi, il Friuli appartiene ad un'unica zona ed la zona di svincolo Bellunese mette in relazione il Friuli al Veneto. L'analisi della sismicità, soprattutto di quella registrata dalla RSFVG, suggerisce una diversa geometria per le zone dinariche, l'introduzione di una fascia a bassa sismicità nel Friuli meridionale ed una più ampia estensione della zona Bellunese. Di particolare importanza in questa rimodellazione delle zone sismogenetiche risulta l'ipotesi di collocare il forte terremoto del 1348, conosciuto come terremoto di Villaco, nella zona sismogenetica delle Dinaridi interne.

Sia il nuovo modello sismogenetico che la relazione di attenuazione definita dai dati velocimetrici, ampiamente descritta nel seguito, non sono state utilizzate nel calcolo della pericolosità sismica regionale perché rivestono ancora carattere sperimentale. I calcoli sono stati, invece, effettuati a partire da prodotti consolidati ed hanno portato alla stima dei valori di PGA e di intensità macrosismica attesi con periodo di ritorno di 475 anni. In particolare, i valori di PGA sono stati riferiti al terreno tipo di ogni comune regionale.

4.1. Attenuazione dell'accelerazione

Uno degli aspetti trattati nell' ambito della redazione della mappa di rischio sismico per il Friuli - Venezia Giulia è stato la determinazione di una relazione di attenuazione dell' accelerazione orizzontale di picco (PGA) al variare della distanza della sorgente e della magnitudo, che fosse specifica per la regione e che tenesse in

considerazione anche terremoti di bassa magnitudo (inferiore a 4). L' esigenza nasce dal fatto che le relazioni disponibili in letteratura sono spesso calibrate solo su dati "strong motion" relativi ad aree molto vaste ed eterogenee (p. es. concernenti l' intero territorio nazionale od europeo). Esistono anche relazioni valide per il solo Friuli, ma queste sono tarate esclusivamente sui dati della sequenza del 1976 e non tengono conto di terremoti localizzati in aree di potenziale pericolosità, quale quella di confine con la Slovenia in prossimità di Bovec e quella di confine con il Veneto.

Si è quindi utilizzato un ampio insieme di dati "weak" e "strong motion" relativi all'area friulana per la definizione di una relazione di attenuazione di PGA valida nell'intervallo di magnitudo 3.1 - 6.4 e per distanze dalla sorgente fino a 120 km. Allo scopo è stato utilizzato il modello di attenuazione

$$\log(A) = c_1 + c_2M + c_3\log(d) \quad (1)$$

ove A , M e d rappresentano rispettivamente il valore di PGA espresso in g , la magnitudo da durata dell'evento e la distanza epicentro-stazione in km. I parametri c_1 , c_2 e c_3 sono stati stimati mediante regressione multi-lineare sulla base di un insieme di 773 terne di valori (A, M, d) , ottenendo la relazione (si veda anche Fig. 2)

$$\log(A) = (-3.62 \pm 0.09) + (0.90 \pm 0.20)M - (1.82 \pm 0.05)\log(d) \quad \text{con } \sigma_{\log(A)} = 0.35 \quad (2)$$

Per quel che riguarda i valori di accelerazione, sono stati utilizzati dati da letteratura relativi alla sequenza sismica del 1976 nonché registrazioni effettuate nel periodo 1995 - 1998 dalla Rete Sismometrica del Friuli - Venezia Giulia (RSFVG) e dalla Rete Accelerometrica del Friuli (RAF, gestita dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Trieste). I corrispondenti valori di magnitudo e distanza epicentrale sono stati tratti da letteratura (per la sequenza del 1976) oppure dal bollettino della RSFVG. Per rendere più completo il catalogo sono state utilizzate registrazioni provenienti sia da sensori velocimetrici che accelerometrici. Poiché molte delle stazioni della RSFVG risultavano essere a singola componente, sono state considerate anche stime di PGA orizzontale dedotte dalla PGA verticale.

Preliminarmente alla determinazione della (2) sono stati affrontati una serie di problemi di gestione dati e di trattamento del segnale sismico, quali:

- la raccolta dei dati di calibrazione dei sensori della RSFVG per il periodo 1995 - 1998, dati ottenuti nelle varie campagne di taratura che ora sono stati integrati in un unico file di descrizione della rete, file consultabile con un apposito programma;
- l' integrazione in un unico data set omogeneo di tutte le forme d' onda e dei relativi dati di localizzazione degli eventi e di calibrazione dei sensori, e ciò utilizzando un formato dati standard (SAC);
- l' applicazione e la verifica delle procedure numeriche per la correzione strumentale. La verifica è stata effettuata tramite confronto tra registrazioni da sensori diversi posti nello stesso sito e mediante sperimentazione su tavola vibrante;

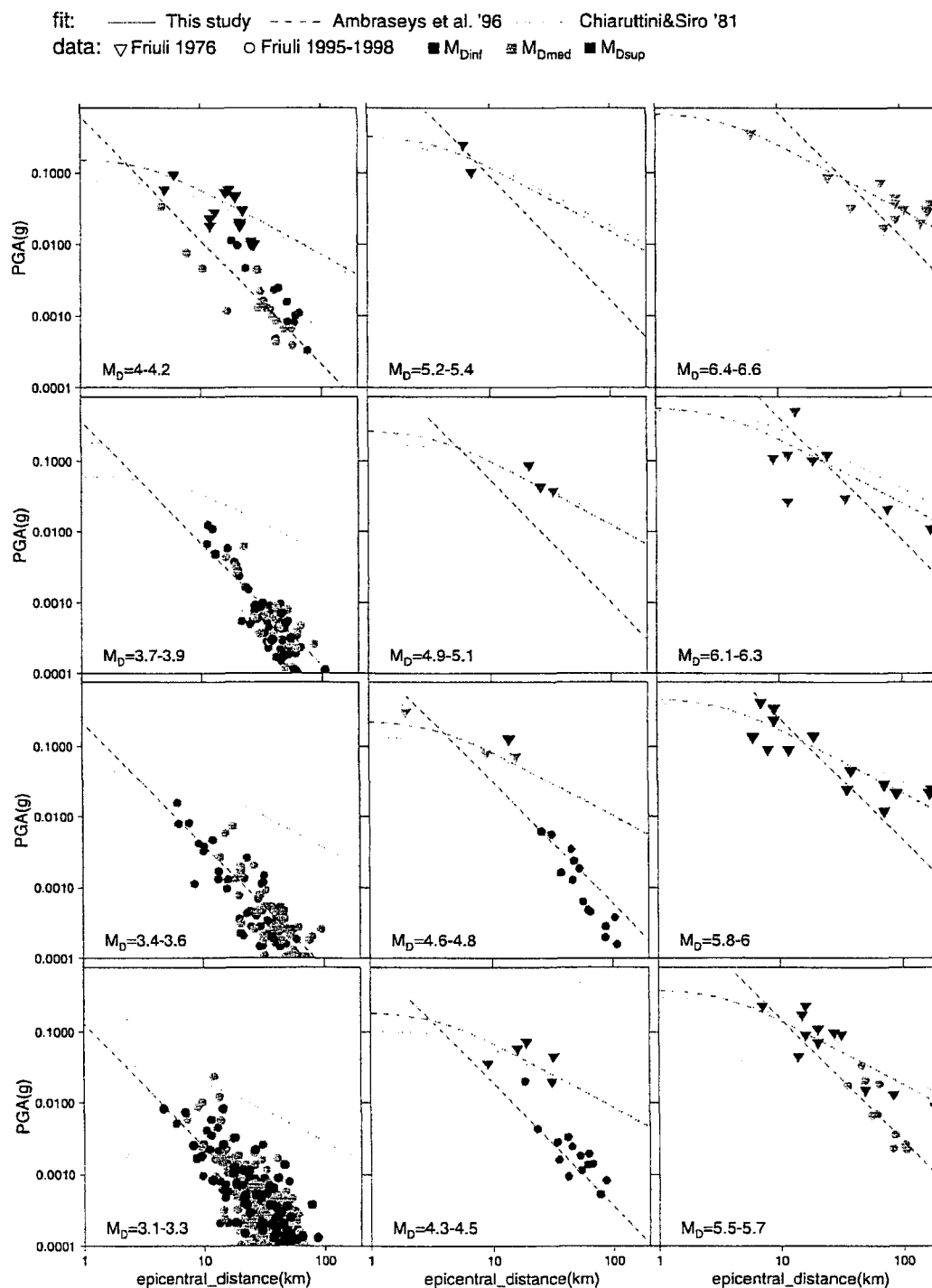


Fig. 2 Relazione di attenuazione: dati utilizzati, curva di regressione ottenuta e confronto con alcune relazioni da letteratura.

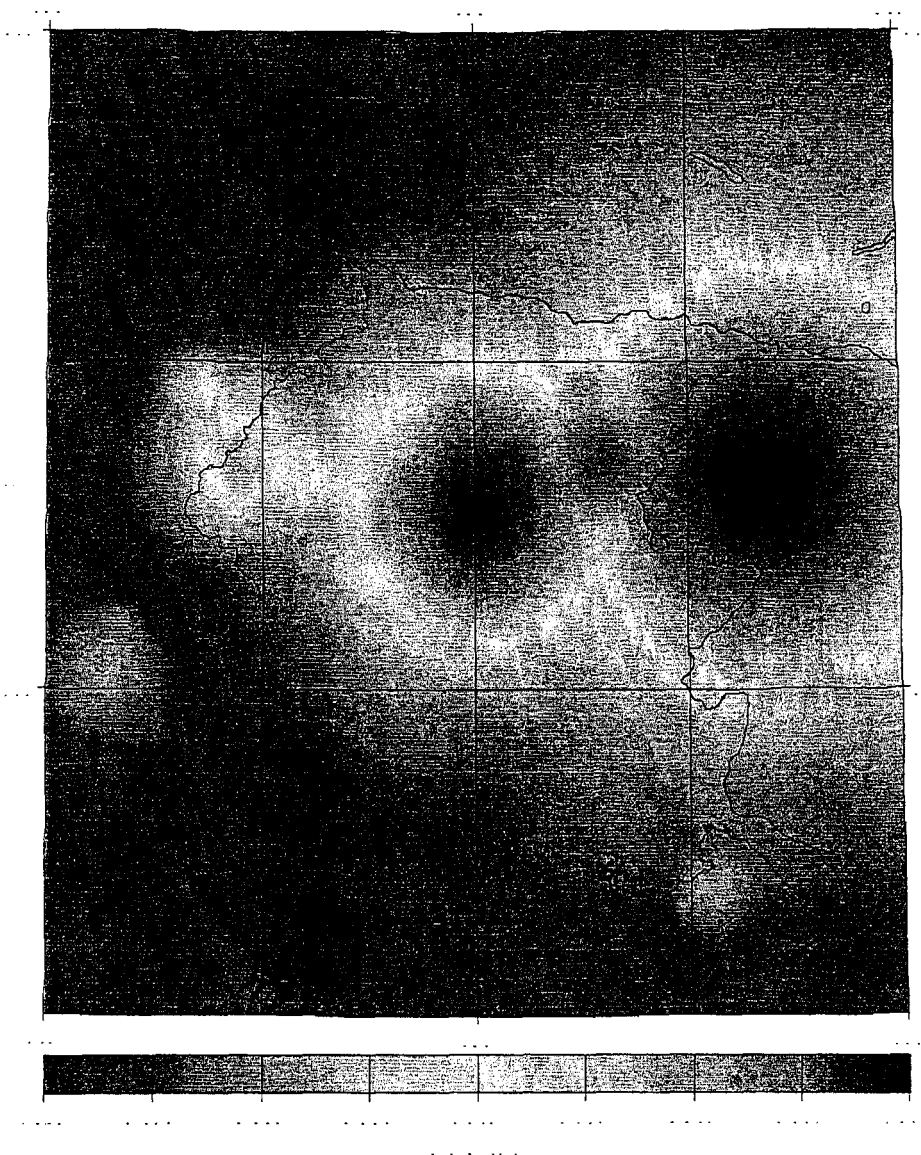


Fig. 3 Accelerazioni massime stimate per l' area friulana nel il periodo 1977-1998. La stima si basa sulla relazione di attenuazione (2) e sui dati di localizzazione e magnitudo tratti dal Bollettino delle Rete Sismometrica del Friuli -Venezia Giulia.

- la definizione di una legge empirica per la stima della PGA orizzontale a partire dalla PGA verticale.

La relazione di attenuazione (2) è stata messa a confronto con quelle ottenute per gli stessi dati, ma utilizzando modelli di attenuazione alternativi alla (1), che considerano fenomeni di saturazione in prossimità della sorgente oppure utilizzano la distanza ipocentrale al posto di quella epicentrale. In nessun caso sono emerse differenze significative. La (2) è anche stata messa a confronto con le già citate relazioni da letteratura calibrate su dati "strong motion" italiani ed europei. In questo