

Scenari di danno nell'area veneto-friulana

(Marcello Ruscetti, Università di Udine)

Premessa

La relazione del I anno di lavoro dà conto dell'attività di ricerca svolta per i singoli sottotemi ed è, quindi, un documento del work in progress con evidenti asimmetrie nelle attività dei vari settori. Asimmetrie che derivano soprattutto dalla difficoltà nell'avvio del progetto e nelle differenze di impegno, anche finanziario, a carico delle U.R.

Naturalmente, con il secondo anno si potrà andare a regime ed armonizzare il lavoro. Allo scopo è in fase organizzativa un seminario scientifico interno che, oltre a consentire un'ampia discussione sul lavoro svolto, servirà a meglio definire le ulteriori fasi del progetto.

Sottotema 2.1. "Caratteristiche geometriche e meccaniche delle sorgenti sismiche in prossimità dell'area urbana selezionata" (L. Sirovich)

2.1.3. Faglie attive nelle Alpi nordorientali (F. Galadini)

Introduzione. Durante il primo anno di progetto, si è proceduto al reperimento dell'informazione disponibile sulle faglie caratterizzate da attività recente nelle Alpi nordorientali. Partendo da una visione regionale dell'attività tettonica recente, si è tentato di definire una segmentazione delle strutture ritenute attive nel Pleistocene superiore (post-LGM)-Olocene che potrebbe essere utile per la definizione della geometria di sorgenti responsabili di terremoti con $M > 6$.

Alcuni aspetti del lavoro svolto sono di seguito riportati. Il documento fornisce lo spunto per una discussione sulla tettonica attiva dell'area in questione.

Quadro tettonico. L'area indagata è parte del dominio Sudalpino; le strutture principali sono rappresentate da thrust S- e SE-vergenti che interessano le regioni veneta e friulana. I thrust più meridionali marcano il limite fra le pianure veneta e friulana e i rilievi prealpini, coinvolgendo nella deformazione rocce marine meso-cenozoiche e depositi continentali tardo cenozoici-quadernari (es. CNR-PFG, 1983). Questo dominio è strutturalmente delimitato ad ovest dai thrust e dalle strutture transpressive con andamento NNE-SSW del sistema di faglie Giudicarie, mentre è limitato ad est dai thrust con direzione NW-SE del dominio dinarico.

Attività tettonica recente è riferibile ai thrust che limitano le pianure veneta e friulana (es. CNR-PFG, 1987). Dati geomorfologici sull'attività delle faglie sono, comunque, difficilmente acquisibili, a causa della recente storia geologica della catena alpina, fortemente condizionata dai processi erosivi e deposizionali legati all'ultimo massimo glaciale. Le lingue glaciali hanno cancellato l'evidenza di attività tettonica recente e la sedimentazione post-glaciale è stata caratterizzata da ratei sicuramente superiori ai ratei di movimento delle faglie (inferiori a 1 mm/a, secondo Castaldini e Panizza, 1991).

Faglie attive nelle Alpi nordorientali: dati disponibili. Una notevole quantità di dati sull'attività delle faglie che interessano l'Italia nordorientale fu acquisita nel corso del Progetto Finalizzato Geodinamica. In base a questi dati, faglie interessate da attività plio-quadernaria sono state riportate in Zanferrari et al. (1982), CNR-PFG (1987) e Castaldini e Panizza (1991). Il primo dei lavori menzionati riporta informazioni sull'attività plio-quadernaria di 66 faglie e sistemi di faglie posti tra il Lago di Garda e il Friuli, insieme a dati sulla storia dei movimenti verticali che hanno interessato l'area nello stesso intervallo cronologico. Questa informazione è stata trasferita nella "Carta Neotettonica d'Italia" (CNR-PFG, 1987), dove i principali sistemi di thrust che bordano le pianure veneta e

friulana sono state riportate come strutture attive durante il Pliocene e il Quaternario. Nessuna informazione sulla segmentazione era disponibile nel menzionato prodotto. Veniva inoltre cartografato un thrust più recente, sepolto, definito come attivo durante il Quaternario ("Linea di Sacile" in Castaldini e Panizza, 1991, vedi oltre), tra l'area di Treviso e il fiume Tagliamento.

L'importanza dei thrust bordieri delle pianure veneta e friulana veniva evidenziata in Castaldini e Panizza (1991), in cui sono cartografate 112 faglie attive nell'area fra il lago di Garda e la regione friulana. Nel menzionato lavoro, sono stati riportati tre thrust principali, con andamento ENE-WSW e vergenza verso sud (linee Bassano-Valdobbiadene, di Aviano, di Sacile). A nord di questi tre thrust principali, gli autori hanno riportato un'altra struttura compressiva, più lunga di 100 km (linea della Valsugana). Nessuna informazione sulla segmentazione è riportata nel menzionato lavoro.

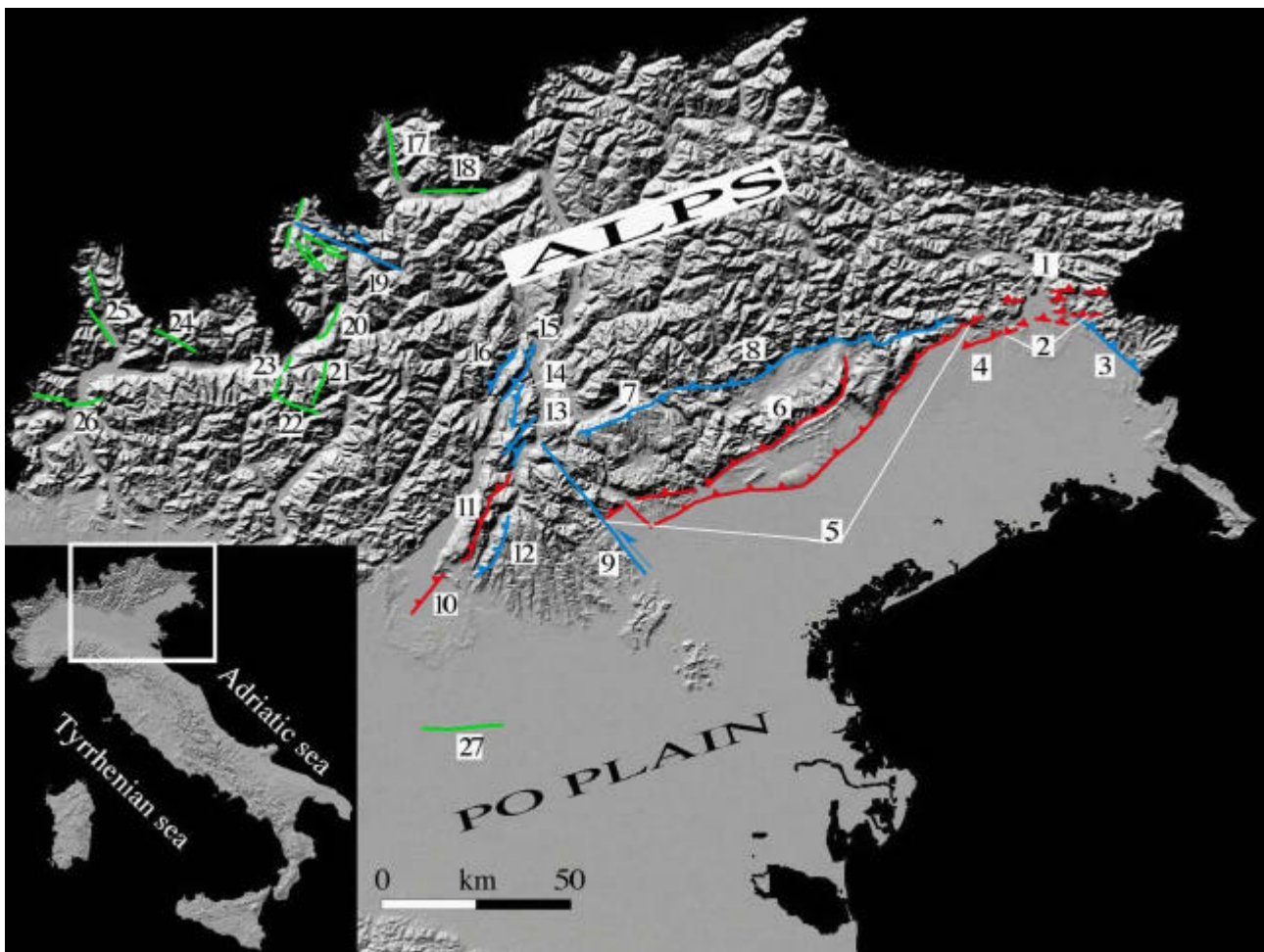


Fig. 1

Faglie attive nelle Alpi nordorientali: un nuovo inventario. Più recentemente, i dati disponibili sull'attività delle faglie nell'area compresa tra i Monti Lessini e la regione friulana sono stati riportati da Galadini et al. (in stampa), in un inventario di faglie attive che interessano il territorio nazionale, basato su dati di geologia di superficie. In questo lavoro sono state cartografate soltanto quelle faglie principali la cui lunghezza potrebbe essere compatibile con l'occorrenza di terremoti con $M=6.2$ (sulla base dell'equazione di Wells e Coppersmith, 1994, che lega la lunghezza della rottura di superficie con la magnitudo). Per quanto concerne le Alpi centro-orientali (fig.1), sono riportate faglie con evidenze di movimento durante il Pleistocene superiore-Olocene (dopo l'ultimo massimo glaciale) e

faglie interessate da attività genericamente quaternaria con possibili (dati non conclusivi) movimenti post-ultimo massimo glaciale.

Ulteriori tentativi sono stati fatti per definire segmenti di faglia che potrebbero rappresentare l'espressione superficiale di singole sorgenti sismogenetiche responsabili dei terremoti principali dell'Italia nordorientale (fig. 2). Per questo scopo, sono state usate fotografie aeree e carte strutturali, geologiche e topografiche.

Evidenze di attività recente sono state osservate lungo l'intera traccia superficiale della struttura compressiva che borda le pianure veneta e friulana, fra Schio e il fiume Tagliamento (linea di Aviano di Castaldini e Panizza, 1991). Le caratteristiche geomorfologiche osservate testimoniano di movimenti verticali significativi nell'area menzionata, come indicato dalla presenza di terrazzi sollevati, valli fluviali abbandonate, settori subsidenti prossimi all'espressione superficiale dei thrust, scarpate a basso angolo che interessano superfici deposizionali recenti. Paradossalmente, le caratteristiche geomorfologiche che suggeriscono attività recente sono meno evidenti nell'area del Tagliamento, considerata come la regione tettonicamente più attiva dell'Italia settentrionale.

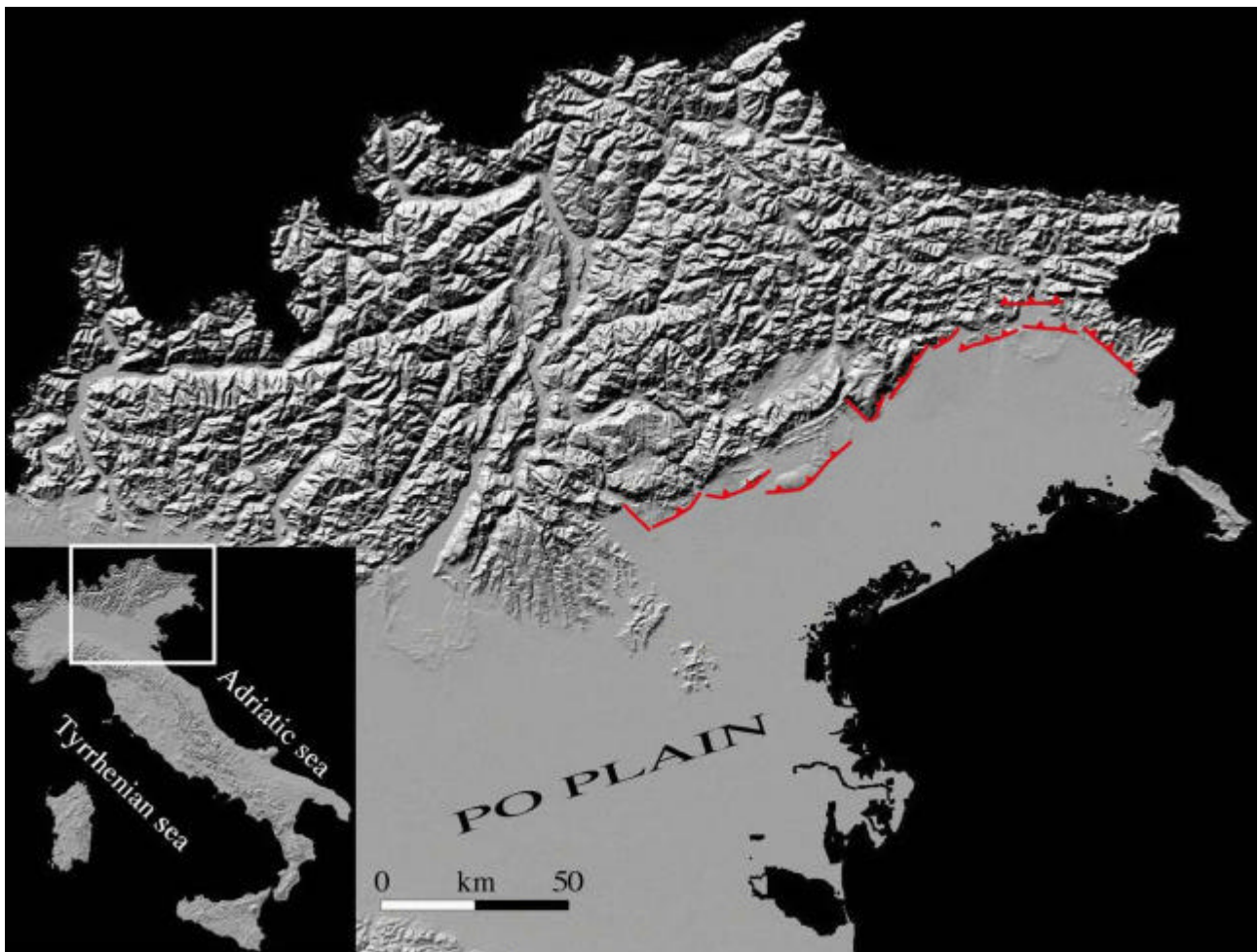


Fig. 2

La linea di Aviano è stata segmentata in base ad una indagine geomorfologica lungo l'espressione superficiale della struttura stessa. I vari segmenti di questa struttura compressiva marcano solitamente i bordi di paesaggi maturi scolpiti su sedimenti neogenico-quaternari e sospesi sopra le attuali pianure alluvionali. L'altopiano del Montello è probabilmente il caso più evidente di paleopaesaggio sollevato. Esso è scolpito su ghiaie del Miocene con intercalazioni di strati argilloso-arenacei; è inoltre interessato da intensa

erosione carsica indicata dall'abbondanza di doline ed è sospeso fino a 150 m sopra l'attuale pianura veneta. La sua terminazione sudoccidentale è interessata da una valle abbandonata (paleo-Piave) caratterizzata dalla presenza di terrazzi deformati (Ferrarese et al., 1998; Benedetti et al., 2000). Ancora più a SW, la struttura mostra una chiara chiusura di tipo periclinale. Il proseguimento verso NE della struttura del Montello è rappresentato dal bordo sudorientale del paleopaesaggio di Conegliano, un terrazzo disseccato e inciso, con probabili relitti dell'antica superficie deposizionale. Nessuna evidenza di separazione strutturale tra il Montello e il settore di Conegliano è stata osservata su basi geomorfologiche ed è quindi possibile che le evidenze di attività recente siano relative all'emergenza della deformazione legata ad un singolo segmento di thrust. Questo costituirebbe l'espressione superficiale di una singola struttura sismogenetica (Montello-Conegliano).

A ovest di questa struttura, può essere individuato il segmento Cornuda-Bassano: mostra una relazione en-echelon con il precedente ed è anch'esso marcato dal bordo di un paleopaesaggio scolpito su depositi neogenici, sospeso sull'attuale pianura. La valle del fiume Brenta sembra indicare la terminazione occidentale di questo segmento, evidenziata dalla chiusura della struttura arcuata (in pianta) riferibile al thrust in oggetto. A ovest del fiume Brenta è stato riportato il segmento Bassano-Thiene, marcato da una ripida scarpata che delimita la pianura veneta. La terminazione occidentale di questa struttura sembra riferibile a una faglia NW-SE, come riportato in CNR-PFG (1987).

Il settore orientale della linea di Aviano è costituito da quattro segmenti: il trasferimento del Cansiglio (dir. NW-SE) e i thrust del Cansiglio, di Aviano e di Meduno. Il primo era già stato cartografato in CNR-PFG (1987) e rappresenta il bordo orientale della depressione di Vittorio Veneto. Il ruolo della faglia di trasferimento può essere derivato da lavori strutturali (es. Doglioni, 1990). In generale, terrazzi con andamento parallelo al rilievo prealpino (sospesi sopra l'attuale pianura), importanti anomalie del drenaggio e scarpate a bassa pendenza su recenti superfici deposizionali interessano questa parte della linea di Aviano. In questo caso non è chiaro se i tre segmenti minori che sono stati definiti costituiscono l'espressione superficiale di una singola sorgente o sono riferibili a tre differenti sorgenti.

Verso est è stato identificato il segmento di Sequals. Alla terminazione sudoccidentale di questa struttura (vicino al paese di Sequals), un'area in subsidenza attiva ha condizionato la deposizione di una grande conoide alluvionale e la formazione di un'area paludosa. Il prolungamento verso NE di questa struttura è rappresentato dall'anticlinale di Ragogna, che mostra evidenze di sollevamento recente, secondo Aoudia et al. (2000).

Soltanto due thrust con andamento alpino (E-W) sono stati riportati nell'area del Tagliamento, vale a dire le strutture di Gemona (Lineamento Periadriatico auct.) e Tricesimo che rappresentano (in base alla vasta letteratura pubblicata dopo il 1976) le possibili espressioni superficiali delle sorgenti della sequenza del 1976. Altri thrust definiti come attivi durante il Quaternario in CNR-PFG (1987) non sono stati riportati in figura 2 poiché i dati pubblicati sull'attività recente non sembrano conclusivi in termini di attività post-ultimo massimo glaciale.

Il segmento di Cividale è stato riportato in figura 2 sulla base dei dati pubblicati in Carulli et al. (1980) e CNR-PFG (1987).

Bibliografia

- Aoudia, A., Sarao', A., Bukchin, B. & Suhadolc, P., 2000. The 1976 Friuli (NE Italy) thrust faulting earthquake: a reappraisal 23 years later. *Geophysical Research Letters* 27: 573-576.
- Benedetti, L., Tapponnier, P., King, G.C.P., Meyer, B. & Manighetti, I., 2000. Growth folding and active thrusting in the Montello region, Veneto, northern Italy. *Journal of Geophysical Research* 105: 739-766.

- Carulli G.B., Carobene L., Cavallin A., Martinis B., Onofri R., Cucchi F., Vaia F., 1980. Evoluzione strutturale plio-quadernaria del Friuli e della Venezia Giulia. In: "Contributi alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia", Publication no. 356 of the Progetto Finalizzato Geodinamica, 489-545.
- Castaldini, D. & Panizza, M., 1991. Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave e il Lago di Como (Italia settentrionale). *Il Quaternario* 4: 333-410.
- CNR-PFG, 1983. Structural Model of Italy and Gravity Map. Quaderni de La Ricerca Scientifica, 114.
- CNR-PFG, 1987. Neotectonic Map of Italy. Quaderni de La Ricerca Scientifica, 114.
- Dogliani C., 1990. Thrust tectonics examples from the Venetian Alps. *Studi Geologici Camerti*, spec. vol. 1990, 117-129.
- Ferrarese, F., Sauro, U. & Tonello, C., 1998. The Montello Plateau. Karst evolution of an alpine neotectonic morphostructure. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F. Suppl.-Bd.* 109: 41-62.
- Galadini F., Meletti C., Vittori E., in press. Major active faults in Italy: available surficial data. *Netherlands Journal of Geosciences (Geologie en Mijnbouw)*.
- Wells, D. L. & Coppersmith, K. J., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America* 84: 974-1002.
- Zanferrari, A., Bollettinari, G., Carobene, L., Carton, A., Carulli, G.B., Castaldini, D., Cavallin, A., Panizza, M., Pellegrini, G.B., Pianetti, F. and Sauro, U., 1982. Evoluzione neotettonica dell'Italia nord-orientale. *Memorie di Scienze Geologiche* 35: 355-376.

Sottotema 2.2: Modelli di velocità ed attenuazione elastica a scala regionale (D. Slejko)

2.2.1 Modelli di attenuazione dell'accelerazione spettrale mono- e bi- dimensionali (Pierluigi Bragato e Dario Slejko)

Introduzione. Nel calcolo della pericolosità sismica risulta, generalmente, necessario adottare relazioni di attenuazione che permettano di predire i parametri di scuotimento del suolo al sito in funzione della magnitudo dell'evento e della distanza dalla sorgente. Tra questi parametri, uno dei più utilizzati in ingegneria sismica è l'accelerazione di picco (PGA), mentre una migliore descrizione dello scuotimento si può avere dall'accelerazione spettrale (SA). In letteratura sono disponibili diverse relazioni empiriche di attenuazione sia per PGA che per SA calibrate su dati "strong motion" (e cioè registrazioni accelerometriche di terremoti con magnitudo maggiore di 4) e definite su scala almeno regionale. Tra queste citiamo quelle di Sabetta e Pugliese (1987, 1996) e Tutto et al. (1992), valide per il territorio italiano, e quella di Ambraseys et al. (1996) definita a livello europeo. La specializzazione su scala locale di queste relazioni è resa problematica dalla relativa scarsità di registrazioni "strong motion". In particolare, per l'area friulana (che qui intenderemo comprendere anche il Veneto orientale e la Slovenia occidentale) i dati disponibili si riferiscono quasi esclusivamente alla sequenza sismica del 1976 e sono stati utilizzati da Chiaruttini e Siro (1981) per la definizione di una legge di attenuazione della PGA valida su scala locale per magnitudo comprese tra 3,3 e 6,2. Per la medesima zona sono disponibili due leggi di attenuazione della PGA definite prevalentemente con dati "weak motion" (magnitudo inferiore a 4). Per la prima (Costa et al., 1998), sono state utilizzate registrazioni di eventi a bassa magnitudo (4,4 max) raccolte dalla RAF (Rete Accelerometrica del Friuli; DST, 1993-1999) nel periodo 1993-1997, mentre la seconda (Bragato et al., 2001) si riferisce ad eventi di magnitudo compresa tra 3,1 e 5,6 registrati nel periodo 1995-1998 da stazioni accelerometriche e velocimetriche della RAF e della RSFVG (Rete Sismometrica del Friuli - Venezia Giulia). Allo stato attuale non sono disponibili in letteratura leggi di attenuazione della SA per il Friuli.

Qui sono presentate le relazioni spettrali di attenuazione ottenute con dati raccolti dalla RSFVG e dalla RAF nel periodo 1995-2000 (magnitudo max. 5,6). Le relazioni si riferiscono a 46 ordinate spettrali (periodi di oscillazione) compresi tra 0,1 e 2 secondi (le stesse considerate da Ambraseys et al. (1996)) per uno smorzamento del 5%. Verrà

inoltre documentato lo stato di avanzamento della raccolta di registrazioni accelerometriche e velocimetriche per terremoti italiani ed europei con caratteristiche analoghe a quelli che potrebbero interessare l'area di Vittorio Veneto.

Dati. Per la definizione della leggi di attenuazione di SA sono state utilizzate un totale di 672 registrazioni accelerometriche e velocimetriche per ciascuna componente orizzontale del moto del suolo (nord-sud ed est-ovest). Le registrazioni sono state raccolte dalla RSFVG e dalla RAF e si riferiscono a 155 eventi di magnitudo compresa tra 3,0 e 5,6 verificatisi nel periodo 1995-2000 nell'area friulana (rettangolo compreso tra 45,6 e 46,8 gradi di latitudine nord e 12 e 14 gradi di longitudine est, Fig. 1). La magnitudo da durata degli eventi ed i parametri ipocentrali sono stati tratti dal bollettino della RSFVG (OGS, 1995-2000). La soglia inferiore di magnitudo (3,0) è stata scelta in modo da garantire un elevato rapporto segnale/rumore, e quindi una stima affidabile dell'accelerazione. La distribuzione dei dati per magnitudo e distanza è mostrata in Fig. 2.

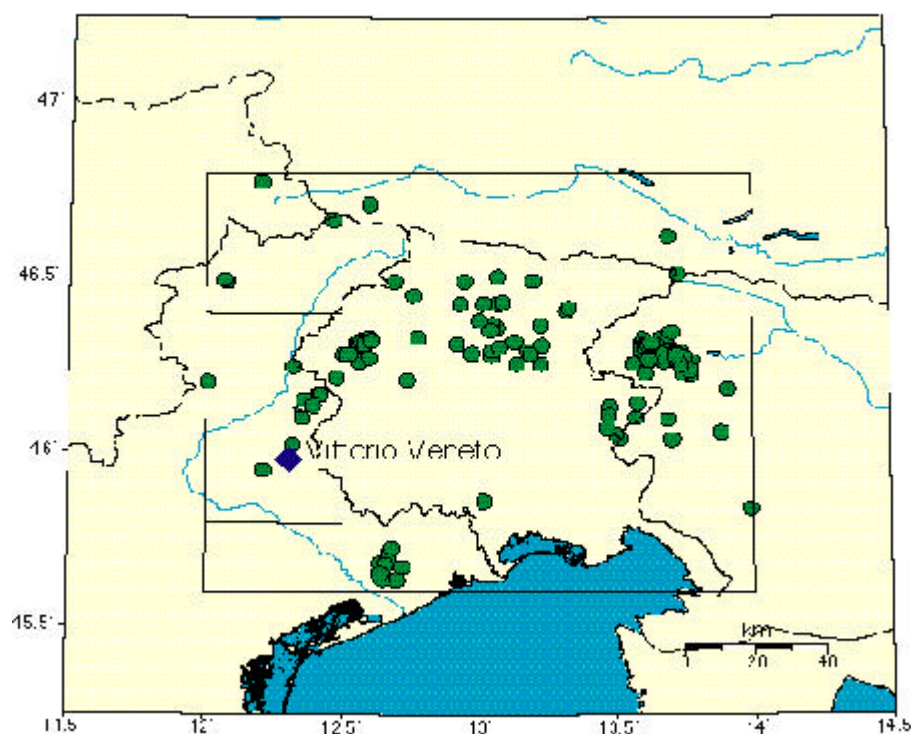


Fig. 1 - Eventi utilizzati per la stima dei parametri di attenuazione di SA. Il rettangolo più grande delimita l'intera area friulana, mentre il rettangolo più piccolo corrisponde all'area del Bellunese.

Tutte le serie temporali sono state ricondotte a valori di accelerazione mediante correzione strumentale, e, nel caso di serie velocimetriche, derivazione. I valori di SA per ciascuna ordinata spettrale sono stati determinati per mezzo dell'algoritmo di Navin et al. (1969) e considerando la composizione vettoriale della SA relativa ai canali nord-sud ed est-ovest.

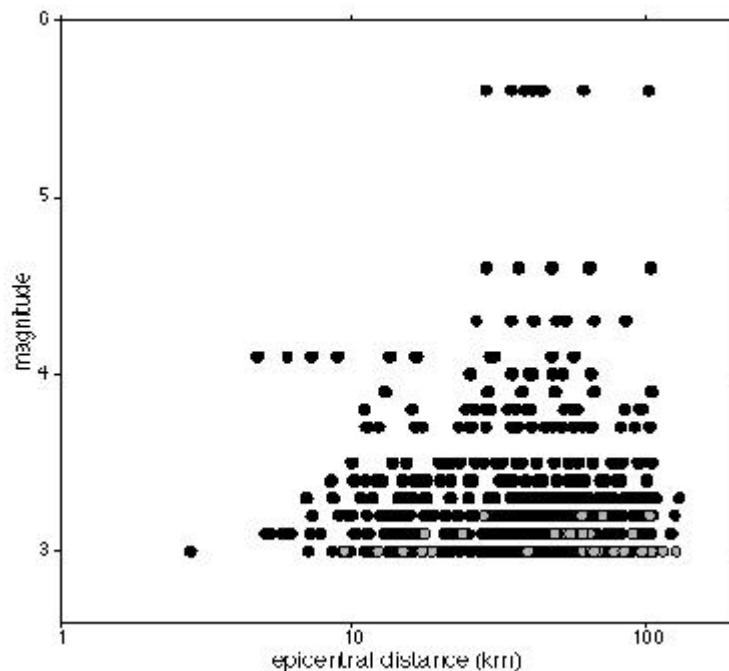


Fig. 2 - Distribuzione per magnitudo e distanza dall'epicentro delle registrazioni accelerometriche e velocimetriche utilizzate per questo lavoro. In grigio sono evidenziate quelle relative ad eventi del Bellunese.

Inversione del modello di attenuazione. Pur con qualche variante, il modello di attenuazione più comunemente utilizzato in letteratura assume la forma (Joyner e Boore, 1981)

$$\log(y) = c_1 + c_2M + c_3r + c_4\log(r) \quad (1)$$

dove y rappresenta il valore di SA per una determinata ordinata spettrale che si intende predire, M la magnitudo dell'evento ed r una misura legata alla distanza del punto di registrazione dalla sorgente sismica. Il secondo addendo della (1) modella l'incremento di SA con la magnitudo (c_2 deve quindi essere positivo), mentre il terzo ed il quarto modellano l'attenuazione con la distanza rispettivamente per effetti anelastici e per spreading geometrico (c_3 e c_4 devono dunque essere entrambi negativi). La relazione (1) prevede che la curva di attenuazione di SA in funzione della distanza abbia una forma indipendente dalla magnitudo e che al crescere di quest'ultima la curva venga semplicemente traslata verso l'alto di una quantità c_2M (l'utilizzo di una curva di attenuazione con forma dipendente dalla magnitudo viene discussa da Joyner e Boore (1981) e da Sabetta e Pugliese (1987)).

Per quel che riguarda il valore di magnitudo da utilizzare nella (1), in letteratura vengono presi in considerazione M_W , M_L ed M_S (si veda Ambraseys et al., 1996; per una discussione più approfondita). La tendenza è in ogni modo quella di utilizzare la magnitudo momento M_W , sebbene questa sia disponibile solo per gli eventi più recenti (indicativamente, per i forti terremoti degli ultimi vent'anni). La scelta del valore appropriato per r è resa problematica dal fatto che la sorgente sismica non è puntiforme: essa ha un'estensione volumetrica che diventa non trascurabile per eventi forti registrati a breve distanza. Inoltre, come osservato da Joyner e Boore (1981), la sorgente del valore di picco della PGA (della SA per ciascuna ordinata spettrale nel nostro caso) è da ritenersi costituita da una limitata porzione dell'intera superficie di rottura, porzione che può essere diversa per ciascuno dei punti di osservazione. Generalmente viene adottata l'approssimazione

$$r^2 = d^2 + h^2 \quad (2)$$

dove d rappresenta la distanza della stazione dalla proiezione sulla superficie terrestre della superficie di rottura, mentre h costituisce un ulteriore parametro del modello. Quest'ultimo consente di mediare tra le diverse profondità ipocentrali degli eventi, e, per uno stesso evento, tra i diversi punti origine dei valori di SA misurati. Come osservato da Joyner e Boore (1981), il parametro h ingloba tutti quei fattori che tendono a limitare il movimento del suolo in prossimità della sorgente. Dal punto di vista matematico, h induce la diminuzione di pendenza a piccole distanze (pianerottolo) riscontrabile nelle curve di attenuazione (si veda ad esempio in Fig. 3 la curva tratta da Ambraseys et al. 1996). Inoltre, la sua presenza all'argomento di un logaritmo rende il modello (1) non lineare rispetto ai propri parametri.

In una prima fase, in questo lavoro si è fatto riferimento al modello di attenuazione (1), dove per d si è utilizzata la distanza epicentrale (approssimazione valida per eventi a bassa magnitudo), mentre per M è stata considerata la magnitudo da durata (calibrata sulla magnitudo da ampiezza Wood-Anderson (Rebez e Renner, 1991)). Il modello (1) è stato invertito per i suoi 5 parametri utilizzando le terne di SA, distanza e magnitudo. Allo scopo è stata utilizzata la routine numerica di regressione non lineare MRQMIN tratta da Press et al. (1992), implementazione del metodo di Levenberg e Marquardt. Da questa prima analisi, per tutte le ordinate spettrali, sono emersi due elementi significativi:

1. un valore positivo, seppure prossimo a zero, del parametro relativo all'attenuazione anelastica (c_3 nella (1)), e ciò in contraddizione con il suo significato fisico;
2. l'elevata deviazione standard associata al parametro h , che lo rende non significativamente diverso da 0. Ciò indica uno scarso vincolo dei dati sul parametro, giustificato dal fatto che nell'insieme qui considerato sono incluse poche registrazioni a piccole distanze.

Queste considerazioni hanno fatto propendere per l'adozione del modello di attenuazione semplificato privo dei due parametri critici (e lineare nei parametri):

$$\log(y) = c_1 + c_2 M + c_3 \log(d) \quad (3)$$

L'inversione di questo modello ha permesso di determinare i tre parametri per ciascuna ordinata spettrale (Tab. 1) e di definire leggi di attenuazione della SA che assumeremo valide per l'area friulana nell'intervallo di magnitudo 3,0-5,6 e per distanze epicentrali fino a 120 km. A titolo di esempio, in Fig. 3 sono riportate le curve di attenuazione con la distanza della SA per alcuni periodi di oscillazione relativamente ad un evento di magnitudo 4. Compare inoltre la curva ottenuta da Ambraseys et al. (1996) per un periodo di 0,4 sec relativamente ai siti su roccia. Come si può osservare vi è da parte di quest'ultima una sovrastima di circa un fattore 10 per distanze attorno ai 50 km. La differenza è da imputare in massima parte alla diversa scalatura con la magnitudo, mentre la pendenza delle due curve è abbastanza simile per distanze superiori ai 5 km. Ricordiamo che nei due lavori si fa riferimento ad intervalli di magnitudo ben distinti. È quindi possibile ipotizzare modalità di scalatura diversi in funzione della magnitudo stessa.

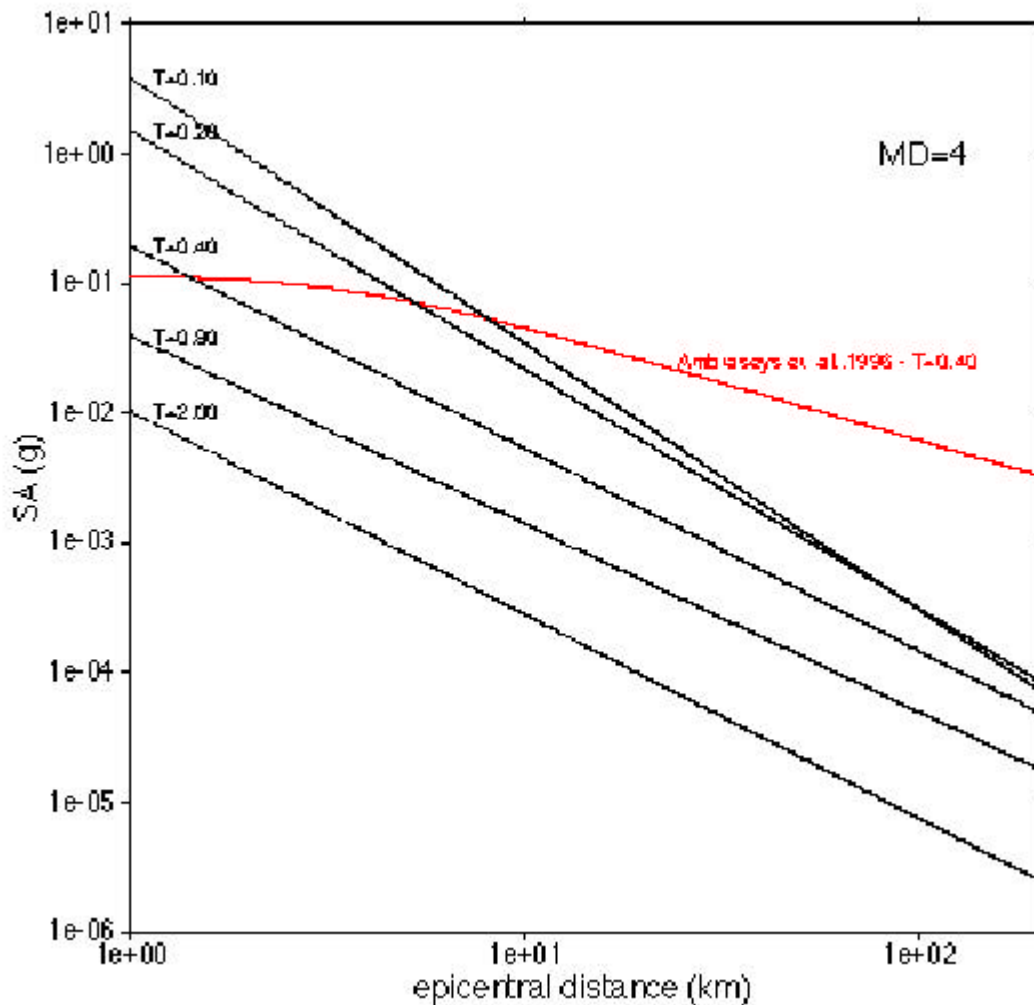


Fig. 3 - Curve di attenuazione di SA con la distanza ottenute per diversi periodi di oscillazione. È riportata anche la curva ottenuta da Ambraseys et al. (1996) per un periodo di 0,40 sec riferita a siti su roccia.

Attenuazione per l'area del Bellunese. Le caratteristiche di attenuazione di SA, oltre che per l'area friulana in generale, sono state determinate anche per l'area del Bellunese, considerando come tale il rettangolo più piccolo evidenziato in Fig. 1 e compreso tra 45,8 e 46,4 gradi di latitudine nord e 12,0 e 12,5 gradi di longitudine est. Per essa sono risultate disponibili 36 coppie di registrazioni orizzontali relative a 10 eventi di magnitudo compresa tra 3 e 3,2 (cerchi grigi in Fig. 2). I coefficienti del modello (3) stimati per questo insieme di dati sono riportati in Tab. 1. L'intervallo ristretto di magnitudo rende poco significativa la stima del parametro c_2 , mentre possiamo ritenere in qualche misura valide le indicazioni relative all'attenuazione con la distanza (c_3 nella (3)). In Fig. 4 sono posti a confronto i valori di c_3 ottenuti per i vari periodi di oscillazione per l'intera area friulana e per il solo bellunese: in generale questi ultimi risultano minori in valore assoluto, il che sta ad indicare una minore attenuazione con la distanza. Le differenze appaiono significative anche tenendo conto dell'errore associato alla stima dei parametri.

Raccolta dati per terremoti dell'area italiana. Ricordiamo che questa raccolta è orientata ad eventi verificatisi nell'area italiana in diversi contesti tettonici e di magnitudo compresa indicativamente tra 5 e 6. Lo scopo è quello di studiare l'influsso del tipo di sorgente

(meccanismo focale) sulle modalità di attenuazione. Allo stato attuale il materiale raccolto è il seguente:

- a) CD "Elaborazione delle principali registrazioni della sequenza sismica umbro-marchigiana del settembre-ottobre 1997", edito dal Servizio Sismico Nazionale (SSN) e dall'ENEL contenente dati relativi ad almeno 4 eventi di magnitudo maggiore di 5;
- b) CD "European strong-motion database" edito da Imperial College di Londra, ENEL, SSN e IPSN (Francia), contenente tra le altre le registrazioni del terremoto del Friuli del 1976;
- c) CD "The 1998 Krno mountains earthquake sequence" pubblicato da OGS, DST dell'Università di Trieste e URSG (Slovenia) relativo alla sequenza sismica verificatasi nella Slovenia occidentale, in prossimità del confine con l'Italia (magnitudo max. 5,6).

Sono stati inoltre avviati contatti con l'amministrazione della Provincia di Trento e con l'ETH di Zurigo per ottenere le registrazioni del recente terremoto di Merano (magnitudo 5,2) effettuate dalle rispettive reti sismometriche.

Tab. 1 – Coefficienti delle relazioni di attenuazioni ottenute per eventi dell'intera area friulana e per eventi del solo Bellunese.

T (s)	area friulana				area bellunese			
	C1	C2	C3	S	C1	C2	C3	S
0.10	-3.45±0.16	1.01±0.04	-2.05±0.06	0.44	-6.27±3.44	1.59±1.13	-1.49±0.27	0.49
0.11	-3.54±0.16	1.02±0.04	-2.02±0.06	0.44	-6.43±3.52	1.62±1.15	-1.45±0.28	0.50
0.12	-3.63±0.16	1.03±0.04	-2.00±0.06	0.44	-6.89±3.48	1.75±1.14	-1.44±0.28	0.50
0.13	-3.70±0.16	1.04±0.04	-1.98±0.06	0.43	-7.45±3.34	1.95±1.09	-1.48±0.27	0.48
0.14	-3.77±0.16	1.06±0.04	-1.98±0.06	0.43	-7.57±3.24	1.99±1.06	-1.50±0.26	0.46
0.15	-3.88±0.16	1.07±0.04	-1.96±0.06	0.42	-7.47±3.17	1.94±1.04	-1.48±0.25	0.45
0.16	-3.98±0.15	1.09±0.04	-1.94±0.05	0.42	-7.38±3.13	1.88±1.03	-1.44±0.25	0.45
0.17	-4.07±0.15	1.10±0.04	-1.91±0.05	0.41	-7.60±3.04	1.95±0.99	-1.43±0.24	0.43
0.18	-4.18±0.15	1.12±0.04	-1.89±0.05	0.41	-7.93±2.89	2.02±0.95	-1.39±0.23	0.41
0.19	-4.30±0.15	1.14±0.04	-1.87±0.05	0.40	-7.73±2.74	1.93±0.90	-1.36±0.22	0.39
0.20	-4.42±0.15	1.15±0.04	-1.84±0.05	0.40	-7.76±2.63	1.90±0.86	-1.32±0.21	0.37
0.22	-4.61±0.14	1.17±0.04	-1.79±0.05	0.39	-7.88±2.41	1.89±0.79	-1.29±0.19	0.34
0.24	-4.78±0.14	1.18±0.04	-1.74±0.05	0.38	-7.57±2.51	1.80±0.82	-1.32±0.20	0.36
0.26	-4.91±0.14	1.19±0.04	-1.71±0.05	0.38	-7.18±2.67	1.66±0.88	-1.34±0.21	0.38
0.28	-5.03±0.14	1.19±0.03	-1.67±0.05	0.38	-7.05±2.69	1.58±0.88	-1.30±0.21	0.38
0.30	-5.16±0.14	1.20±0.03	-1.65±0.05	0.37	-6.57±2.68	1.40±0.88	-1.28±0.21	0.38
0.32	-5.27±0.14	1.21±0.03	-1.63±0.05	0.37	-6.85±2.66	1.47±0.87	-1.27±0.21	0.38
0.34	-5.39±0.14	1.22±0.03	-1.62±0.05	0.37	-6.94±2.63	1.46±0.86	-1.22±0.21	0.37
0.36	-5.51±0.13	1.23±0.03	-1.59±0.05	0.36	-6.69±2.57	1.35±0.84	-1.19±0.21	0.37
0.38	-5.62±0.13	1.24±0.03	-1.57±0.05	0.36	-6.49±2.54	1.25±0.83	-1.17±0.20	0.36
0.40	-5.71±0.13	1.25±0.03	-1.56±0.05	0.36	-6.22±2.44	1.14±0.80	-1.16±0.19	0.35
0.42	-5.78±0.13	1.26±0.03	-1.55±0.05	0.36	-6.46±2.42	1.22±0.79	-1.20±0.19	0.34
0.44	-5.83±0.13	1.26±0.03	-1.55±0.05	0.36	-6.90±2.41	1.36±0.79	-1.22±0.19	0.34
0.46	-5.88±0.13	1.26±0.03	-1.56±0.05	0.36	-6.82±2.39	1.32±0.78	-1.22±0.19	0.34
0.48	-5.94±0.13	1.27±0.03	-1.56±0.05	0.36	-7.10±2.36	1.40±0.77	-1.22±0.19	0.34
0.50	-6.00±0.13	1.28±0.03	-1.56±0.05	0.36	-7.07±2.33	1.38±0.76	-1.24±0.19	0.33
0.55	-6.15±0.13	1.29±0.03	-1.53±0.05	0.36	-6.98±2.31	1.34±0.76	-1.27±0.18	0.33
0.60	-6.30±0.13	1.29±0.03	-1.51±0.05	0.36	-7.69±2.24	1.55±0.73	-1.27±0.18	0.32
0.65	-6.43±0.13	1.31±0.03	-1.49±0.05	0.36	-7.69±2.20	1.51±0.72	-1.25±0.18	0.31
0.70	-6.59±0.13	1.33±0.03	-1.47±0.05	0.35	-7.81±2.16	1.51±0.71	-1.24±0.17	0.31
0.75	-6.72±0.13	1.34±0.03	-1.46±0.05	0.35	-7.64±2.19	1.44±0.72	-1.24±0.18	0.31
0.80	-6.84±0.13	1.36±0.03	-1.45±0.05	0.36	-8.10±2.18	1.56±0.72	-1.23±0.17	0.31
0.85	-6.93±0.13	1.37±0.03	-1.45±0.05	0.36	-9.05±2.07	1.86±0.68	-1.23±0.17	0.29
0.90	-6.97±0.13	1.37±0.03	-1.46±0.05	0.36	-9.27±1.99	1.90±0.65	-1.20±0.16	0.28
0.95	-7.02±0.13	1.37±0.03	-1.47±0.05	0.36	-9.04±1.96	1.80±0.64	-1.19±0.16	0.28
1.00	-7.07±0.13	1.38±0.03	-1.48±0.05	0.36	-8.99±1.99	1.76±0.65	-1.18±0.16	0.28
1.10	-7.13±0.13	1.38±0.03	-1.50±0.05	0.36	-8.98±1.98	1.72±0.65	-1.17±0.16	0.28
1.20	-7.18±0.14	1.38±0.03	-1.53±0.05	0.37	-9.25±1.93	1.77±0.63	-1.15±0.15	0.28
1.30	-7.24±0.14	1.39±0.03	-1.55±0.05	0.37	-9.80±1.93	1.93±0.63	-1.14±0.15	0.28
1.40	-7.34±0.13	1.40±0.03	-1.55±0.05	0.36	-9.82±1.96	1.91±0.64	-1.14±0.16	0.28
1.50	-7.38±0.13	1.40±0.03	-1.56±0.05	0.36	-9.50±2.00	1.78±0.65	-1.11±0.16	0.28
1.60	-7.38±0.13	1.39±0.03	-1.57±0.05	0.36	-9.19±2.00	1.66±0.65	-1.10±0.16	0.28
1.70	-7.40±0.13	1.39±0.03	-1.58±0.05	0.36	-8.86±1.98	1.54±0.65	-1.10±0.16	0.28
1.80	-7.42±0.13	1.38±0.03	-1.58±0.05	0.36	-8.89±2.02	1.53±0.66	-1.10±0.16	0.29
1.90	-7.45±0.13	1.38±0.03	-1.57±0.05	0.36	-8.58±2.13	1.41±0.70	-1.07±0.17	0.30
2.00	-7.50±0.13	1.38±0.03	-1.57±0.05	0.36	-8.28±2.16	1.28±0.71	-1.03±0.17	0.31

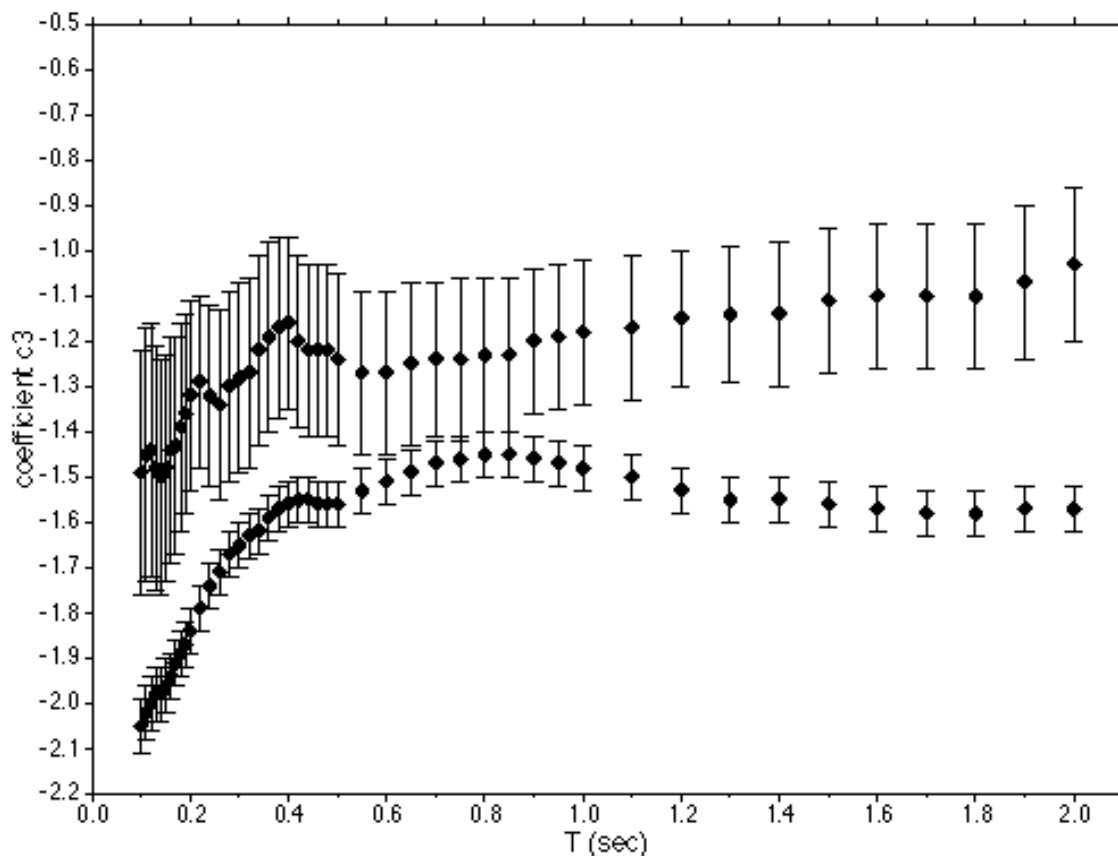


Fig. 4 - Valori dei coefficienti di attenuazione con la distanza ottenuti per l'intera area friulana (in rosso) e per il Bellunese (in verde). Le barre verticali indicano la deviazione standard associata alla stima dei parametri.

Conclusioni. In seguito al rinnovamento tecnologico della RSFVG e all'installazione della RAF avvenuti nella prima metà degli anni '90, si è resa disponibile per l'area friulana una notevole mole di registrazioni per eventi fino a magnitudo 5,6. È stato, quindi, possibile ottenere 672 coppie di registrazioni orizzontali e mettere a punto le relazioni per la stima della SA per 42 periodi di oscillazione compresi tra 0,1 e 2 sec. I risultati qui ottenuti stimano valori di SA sensibilmente inferiori rispetto alle relazioni "strong motion" disponibili in letteratura. Le differenze sono da imputare principalmente ai coefficienti di scalatura con la magnitudo, e solo in misura minore alle modalità di attenuazione con la distanza. Una specifica analisi condotta per gli eventi del Bellunese sembra indicare una minore attenuazione rispetto a quella che si ottiene per l'intera area friulana. Si tratta comunque di un risultato preliminare che attende di essere verificato con un più ampio insieme di dati.

Bibliografia

- Ambraseys N.N., Simpson K.A. e Bommer J.J.; 1996: Prediction of horizontal response spectra in Europe. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 25, 371-400.
- Bragato P.L., Govoni A. e Slejko D.; 2001: Attenuazione dell'accelerazione di picco orizzontale nell'area friulana. In: *Atti del XVIII Convegno Nazionale GNGTS, Roma 9-11 novembre 1999*. CDrom.
- Chiaruttini C. e Siro L.; 1981: The correlation of peak ground horizontal acceleration with magnitude, distance, and seismic intensity for Friuli and Ancona, Italy and the Alpidic belt. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 71, 1993-2009.
- Costa G., Suhadolc P. e Panza G.F.; 1998: The Friuli (NE Italy) Accelerometric Network (RAF): analysis of low-magnitude high-quality digital accelerometric data for seismological and engineering applications. *Proc. 6th U.S. National Conference on Earthquake engineering*.

- DST; 1993-1999: Report of the Friuli Strong Motion Network. Dipartimento di Scienze della Terra dell'Universit  di Trieste.
- Joyner W.B. e Boore D.M.; 1981: Peak horizontal acceleration and velocity from strong motion records including records from the 1979 Imperial Valley, California, earthquake. Bull. Seism. Soc. Am., 71, 2011-2038.
- Navin C., Nigam C. e Jennings P.C.; 1969: Calculation of response spectra from strong-motion earthquake records. Bull. Seism. Soc. Am., 59, 909-922.
- OGS; 1995-2000: Bollettino della Rete Sismometrica del Friuli-Venezia Giulia. OGS, Trieste.
- Press W.A., Teukolsky S.A., Vetterling W.T e Flannery B.P; 1992: Numerical Recipes in C -Second Edition. Cambridge University Press, Cambridge, 963 pp.
- Rebez A e Renner G.; 1991: Duration magnitude for the Northeastern Italy seismometric network. Boll. Geof. Teor. Appl., 33, 177-187.
- Sabetta F. e Pugliese A.; 1987: Attenuation of peak horizontal acceleration and velocity from italian strong-motion records. Bull. Seism. Soc. Am., 77, 1491-1513.
- Sabetta F. e Pugliese A.; 1996: Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground. Bull. Seism. Soc. Am., 86, 337-352.
- Tento A., Franceschina L. e Marcellini A.; 1992: Expected ground motion evaluation for Italian sites. In: Proc. 10th World Conf. Earth. Eng., Madrid, vol. 1, 489-494.

Sottotema 2.3: Caratterizzazione del moto atteso (A. Rebez)

2.3.1 Zonazione sismogenetica per l'Italia nord-orientale

La zonazione sismogenetica da utilizzare nella stima probabilistica della pericolosit  sismica deve tener conto dei requisiti e delle assunzioni dell'approccio metodologico utilizzato. Nel nostro caso, le sorgenti sono definite come sorgenti areali, al cui interno si possa considerare omogeneamente distribuita la sismicit ; inoltre, i terremoti da considerare devono essere indipendenti tra loro. Sono infatti molto recenti i primi tentativi di riconoscimento di sorgenti individuali responsabili di terremoti maggiori, sulla base dei dati geologici, paleosismologici e sismologici disponibili (Galadini et al., 2000; Valensise e Pantosti, 2001); tali elementi sono indispensabili per l'utilizzo di approcci pi  innovativi e sofisticati, che considerino anche il tempo trascorso dall'ultimo terremoto come un ingrediente su cui calibrare la previsione. Ma per l'Italia nord-orientale, le indicazioni disponibili sono ancora frammentarie, e talvolta contraddittorie; si pensi a come neppure per il terremoto del Friuli del 1976 vi sia, ad oggi, una condivisa interpretazione sulla sorgente responsabile (vedi ad esempio Peruzza et al., 2001).

La zonazione sismogenetica qui utilizzata muove quindi da quella proposta da Carulli et al. (2000) che rappresenta una evoluzione ed un raffinamento della zonazione utilizzata per la realizzazione delle carte di pericolosit  del territorio nazionale a fini di riclassificazione sismica (Slejko et al., 1998 Albarello et al., 2000), prodotte negli ultimi anni nell'ambito delle attivit  finanziate al Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT) dal Dipartimento Nazionale della Protezione Civile. La zonazione di Carulli et al. (2000) manteneva il significato geodinamico complessivo delle sorgenti definite da Meletti et al. (2000), dettagliando con maggior precisione le aree di pertinenza regionale. Sulla base dei principali elementi tettonici, la porzione delle Alpi e Prealpi Carniche e Giulie veniva suddivisa in quattro sorgenti individuali (denominate ZS04, ZS05, ZS07 e ZS08), modellando anche una fascia pedemontana caratterizzata da sismicit  minore (ZS06); per esse viene mantenuto inalterato il significato di zone di compressione. Similmente veniva conservato il significato di zona di trasferimento alla fascia all'incirca meridiana collocata fra Friuli e Veneto (ZS09 – Bellunese), ampliandone leggermente i limiti originari per comprendere anche le localizzazioni strumentali del terremoto del Cansiglio del 1936.

Passando dalla scala regionale a quella locale (Vittorio Veneto), abbiamo deciso di operare un ulteriore raffinamento nella individuazione geometrica delle sorgenti (Fig. 1) , mantenendo peraltro inalterato il loro significato geodinamico complessivo; in particolare,

seguendo gli andamenti in superficie dei principali sistemi di sovrascorrimento è stata suddivisa la ZS09 in due sottozone; nella porzione più meridionale (fronte esterno della catena) resta confinata la sismicità maggiore dell'Alpago-Cansiglio. Modificati sono anche i limiti orientale ed occidentale, che traslano verso W di qualche chilometro, da un lato per consentire di separare completamente la sismicità riferita all'area di Claut (che rientra nelle sorgenti delle Alpi e Prealpi Carniche), dall'altro per comprendere la sismicità di basso grado localizzata nel tratto N-S del fondovalle del Piave; in tal modo le strutture meridiane su cui è impostata la stretta di Longarone, e l'originario asse di deflusso del fiume attraverso il lago di Santa Croce e la valle Lapisina ricadono tutte nella fascia cui si attribuisce significato di trasferimento del fronte esterno di massima attività. Anche la sorgente delle Alpi Carniche (ZS08) è stata ritoccata, nei propri limiti, per aderire meglio alle strutture in superficie dell'area.

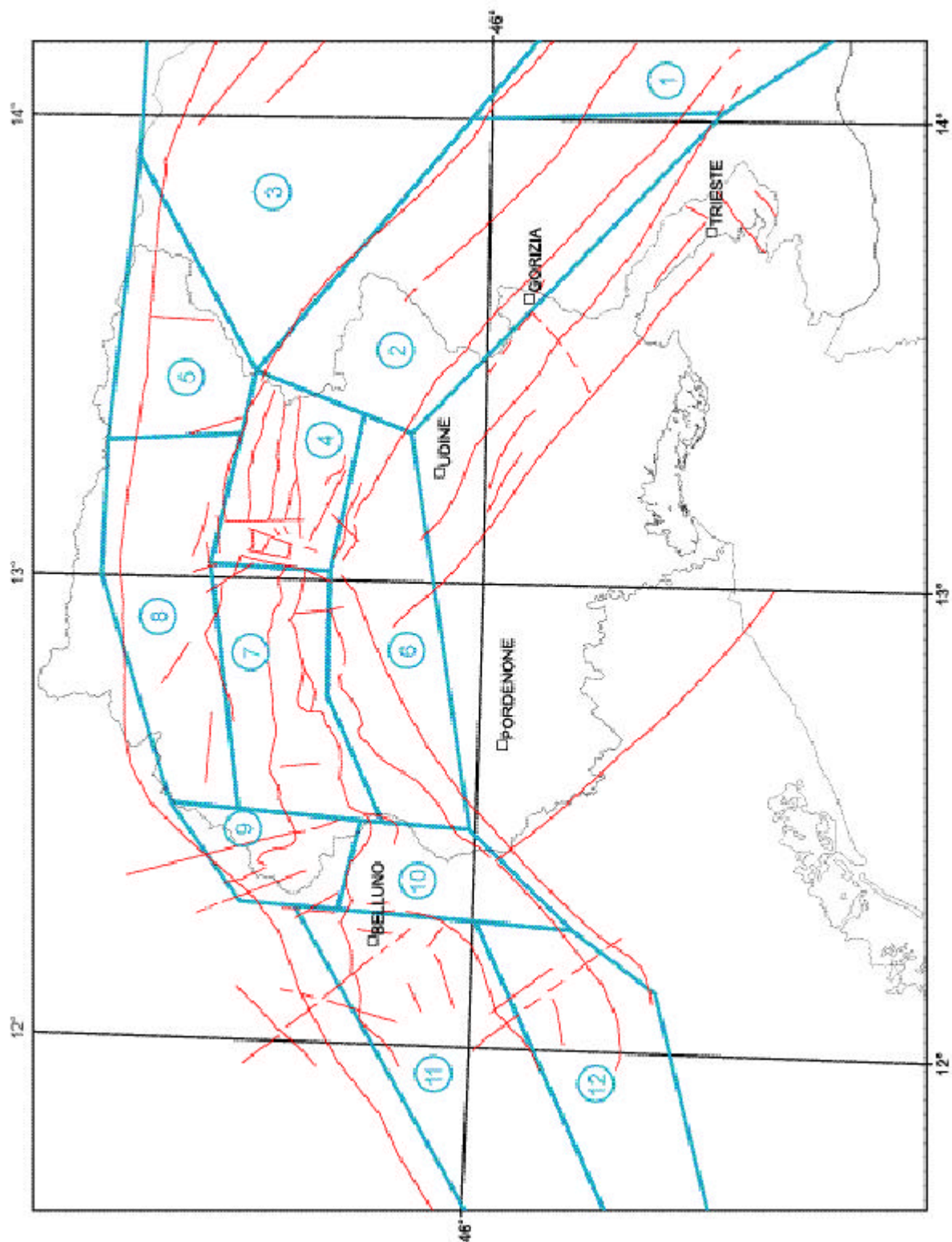


Fig. 1 - Zonazione sismogenetica e tettonica per l'Italia nord-orientale.

2.3.2 Calcolo delle accelerazioni attese a Vittorio Veneto

Per il calcolo della pericolosità sismica dell'area di Vittorio Veneto oltre al ridisegno della zonazione sismogenetica descritto precedentemente è stata effettuata una accurata revisione sia dei dati sismici disponibili (catalogo storico e strumentale) sia dei tassi di sismicità relativi alle zone studiate. Il calcolo della pericolosità sismica a Vittorio Veneto secondo l'approccio probabilistico tradizionale (Cornell, 1968; Bender e Perkins, 1987; Slejko et al., 1998) porta ad un valore di PGA attesa con periodo di ritorno 475 anni pari a 0,31 se riferita ad un terreno roccioso (Fig. 2) e pari a 0,40 su terreno soffice (Fig. 3 - calcoli con deviazione standard della relazione di attenuazione).

Per la definizione dello scenario di scuotimento a Vittorio Veneto è stato necessario, per prima cosa, procedere ad un'analisi mirata ad individuare la ZS che determina maggiormente la pericolosità sismica del sito. Sebbene Vittorio Veneto si trovi all'interno della ZS10 (vedi Fig. 1), la presenza di forti terremoti in ZS limitrofe motiva questa ricerca. Una volta individuata la ZS maggiormente influente sul sito studiato, ne è stata analizzata la sismicità per individuare quali classi di terremoti fossero dominanti. L'indicazione ricevuta suggerisce che, anche se poco probabile, è il terremoto massimo a condizionare la pericolosità del sito. È stato, dunque, prodotto uno scenario di scuotimento per questo terremoto massimo, seguendo la metodologia proposta recentemente da Kijko e Graham (1998, 1999).

2.3.2.1 Disaggregazione dei risultati di pericolosità sismica probabilistica

L'analisi di sensibilità dei risultati di pericolosità sismica ottenuti con le tradizionali tecniche probabilistiche è stata fatta disaggregando il contributo fornito da ogni ZS alla pericolosità sismica del sito studiato (Vittorio Veneto). La disaggregazione dei risultati di pericolosità è una tecnica entrata in vigore solo recentemente e serve ad analizzare il contributo di ogni singola ZS alla pericolosità al sito (McGuire, 1995; Bazzurro e Cornell, 1999). Tecniche più sofisticate, dove il contributo alla pericolosità sia in termini di specifica distanza che di magnitudo, sono state sviluppate recentemente ed applicate all'analisi della pericolosità sismica degli Stati Uniti (Harmsen e Frankel, 2001), dove è stato usato un diverso approccio probabilistico, dipendente più direttamente dalla distribuzione spaziale della sismicità. È stata utilizzata a tale scopo l'implementazione di LaForge (vedi pagina web dell'USGS) al codice di calcolo SeisriskIII (Bender e Perkins, 1987) che permette di calcolare il contributo percentuale alla pericolosità dato da ogni ZS sia in termini di valori medi che di valori aumentati di una deviazione standard della relazione di attenuazione.

Le Fig. 4 mostra in dettaglio il contributo delle varie ZS specificatamente per i valori di pericolosità calcolati per Vittorio Veneto relativamente al periodo di ritorno di 475 anni (0,22 g) considerando la deviazione standard. Il contributo dominante deriva dalla ZS10 (88%) seguito dalla ZS12 (8%).

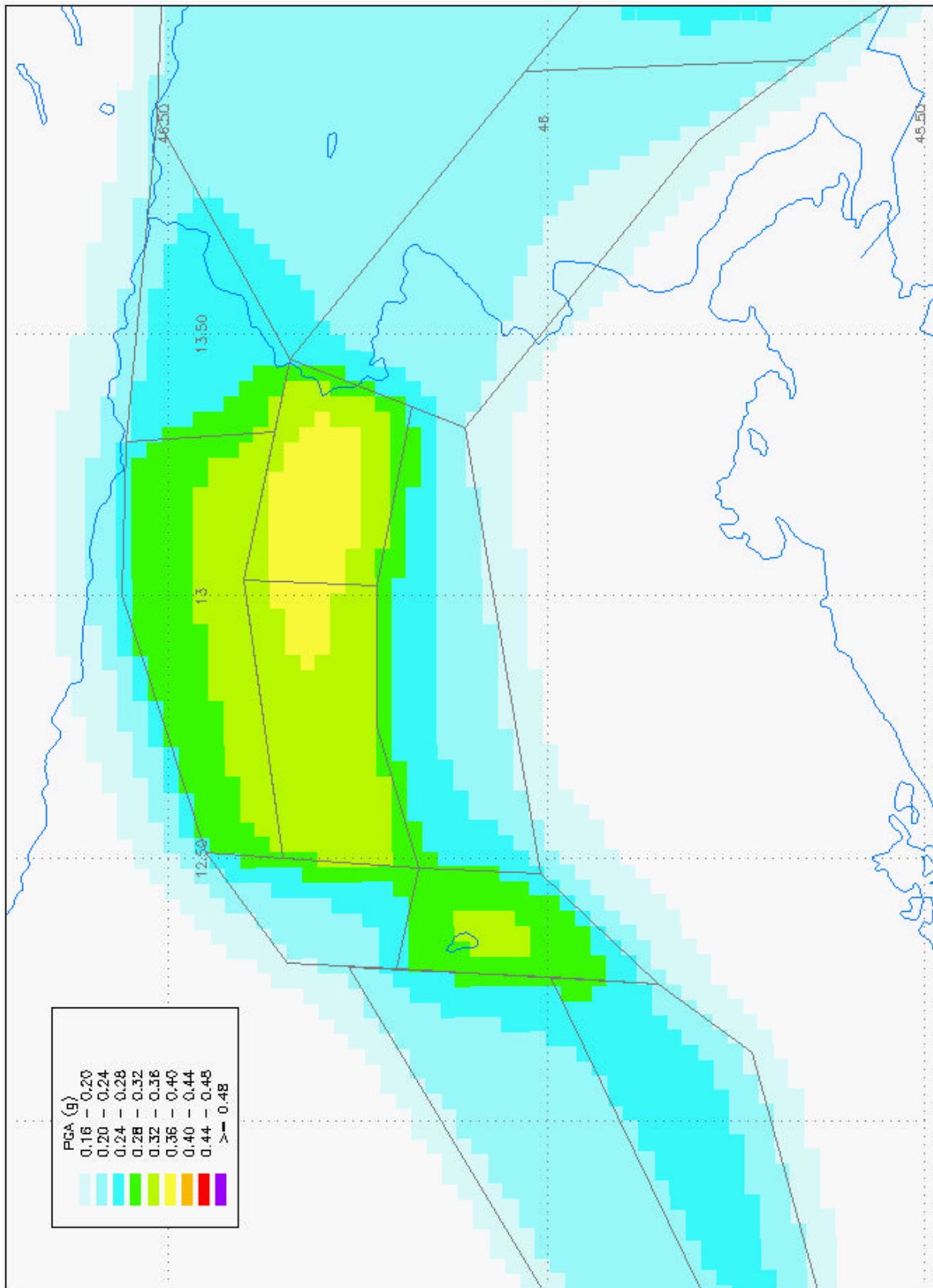


Fig. 2 - PGA regionale con periodo di ritorno 475 anni riferita a roccia; deviazione standard sull'attenuazione.

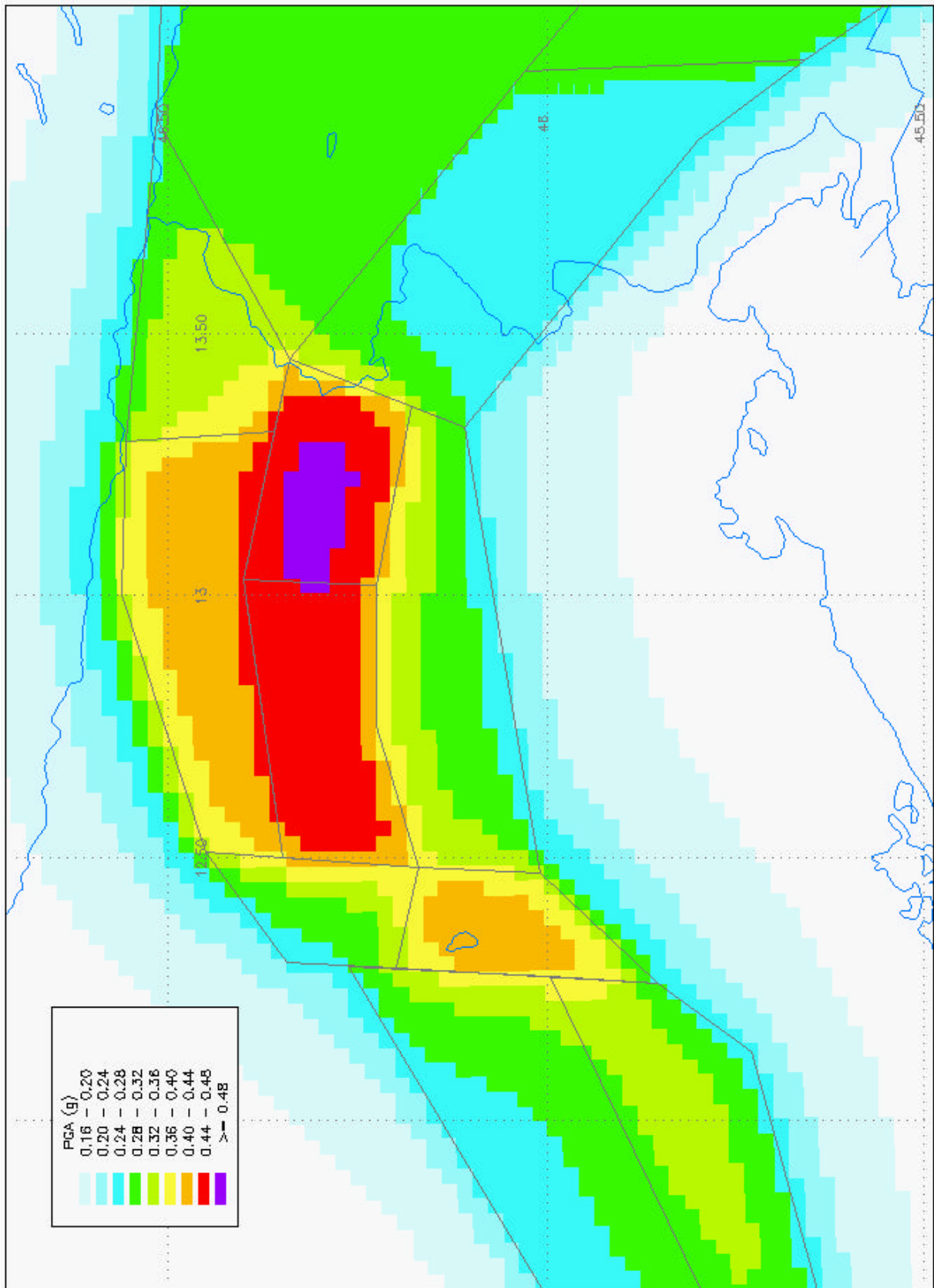


Fig. 3 - PGA regionale con periodo di ritorno 475 anni riferita a terreno soffice; deviazione standard sull'attenuazione.

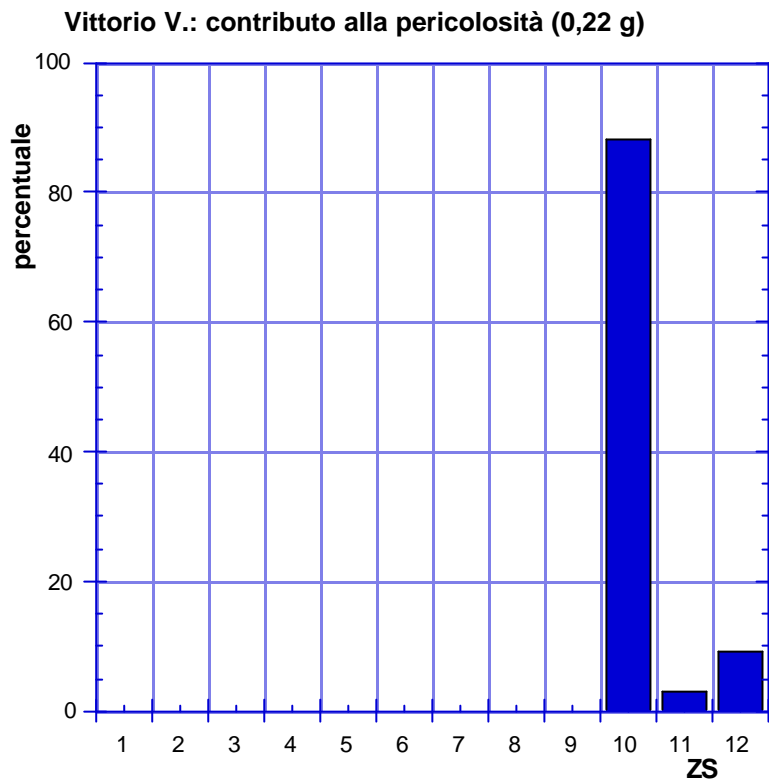


Fig. 4 - Contributo delle varie ZS al valore medio di pericolosità di Vittorio Veneto aumentato di una deviazione standard della relazione di attenuazione.

Stabilito che è la ZS10 a influenzare maggiormente la pericolosità di Vittorio Veneto, è stato analizzato il contributo individuale delle singole classi di magnitudo della ZS10. La Fig. 5 mostra il risultato ottenuto per i tre periodi di ritorno 100, 475 e 1000 anni; i valori considerati sono quelli medi, cioè senza considerare la deviazione standard della relazione di attenuazione. Si può vedere che per il breve periodo di ritorno sono le magnitudo basse a dare il massimo contributo, mentre per 475 e 1000 anni è la magnitudo 5,8 a dominare, ancora più di quella 6,4.

Considerando quanto visto precedentemente, si può affermare che due possono essere i terremoti di interesse per Vittorio Veneto: un terremoto di magnitudo 5,8 nella ZS10 e, quale ulteriore stima cautelativa, l'evento massimo possibile della ZS10.

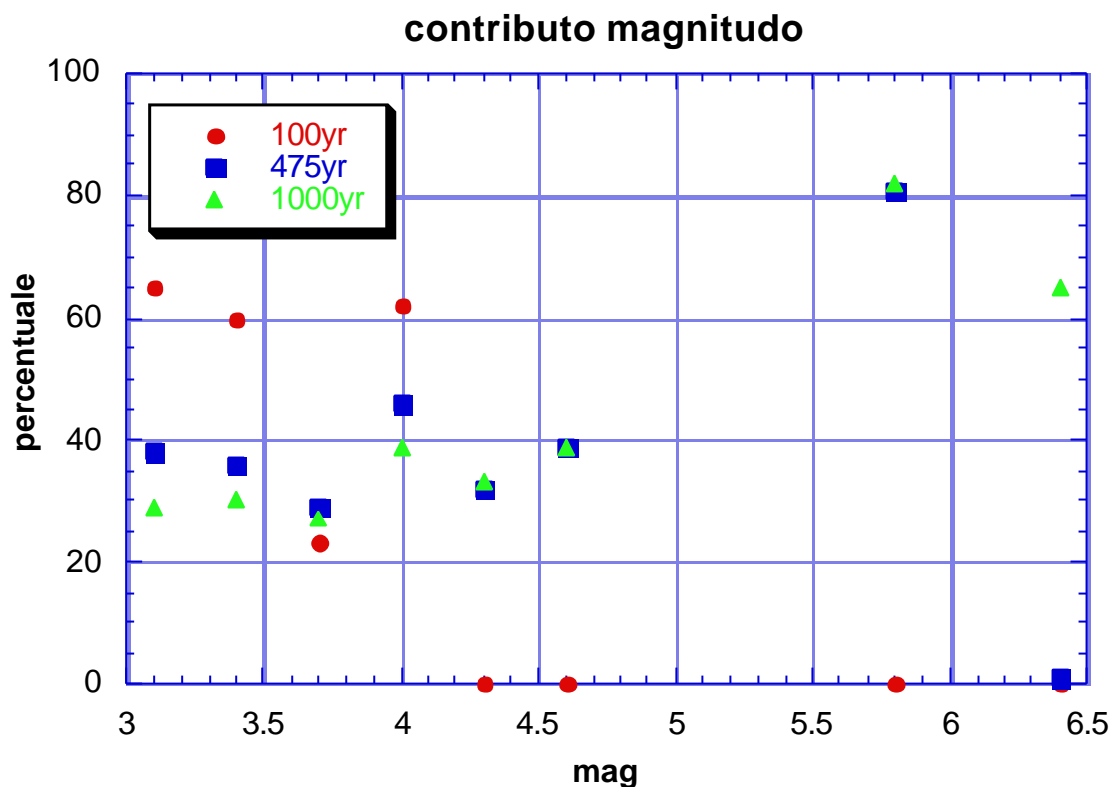


Fig. 5 - Contributo delle varie magnitudo alla pericolosità sismica della ZS10.

2.3.2.2 Calcolo del terremoto massimo per la ZS10

Nell'approccio di Kijko e Graham (1998) il calcolo della magnitudo massima per una regione, nel nostro caso la ZS10, viene fatto su base statistica a partire da una serie di dati non sempre di banale calcolo. I dati richiesti, che caratterizzano la regione studiata dal punto di vista sismico, sono: massima magnitudo osservata nel catalogo (per la ZS10 6,4), minima magnitudo per cui il catalogo è completo (3,1), errore nel calcolo della magnitudo (da noi fissato soggettivamente in 0,2), pendenza (valore b) della relazione Gutenberg-Richter (GR) e suo errore, numero annuale di terremoti di magnitudo maggiore o uguale alla magnitudo minima (0,631 per la ZS10) e periodo di completezza del catalogo.

Poichè i tassi di sismicità nel calcolo probabilistico vengono calcolati con una metodologia che considera, opportunamente pesati, tutti i segmenti temporali del catalogo, si può ritenere che il calcolo dei tassi abbia validità su tutto il periodo di osservazione del catalogo (1000 anni).

Per il calcolo del valore b esistono in letteratura numerosi lavori che hanno proposto metodologie specifiche di calcolo. Il metodo dei minimi quadrati, di facile applicazione, non risulta statisticamente corretto nell'applicazione ai tassi di sismicità in quanto la magnitudo non è priva di incertezze e il numero dei terremoti non segue la distribuzione gaussiana con varianza uniforme. Qualora si consideri il numero cumulativo di terremoti i minimi quadrati sono ancor più inadatti in quanto i valori della variabile dipendente non sono indipendenti fra loro come richiesto dalla tecnica stessa dei minimi quadrati, in quanto il numero di terremoti maggiore di 5 comprende anche quello degli eventi maggiori di 6 e così via. A scopi sismologici, pertanto, è stato applicato il metodo della massima verosimiglianza, proposto originariamente da Utsu (1965) e da Aki (1965). Weichert (1980) propose una procedura di applicabilità generale che considera anche diversi periodi di completezza del catalogo dei terremoti.

Per i nostri scopi abbiamo pensato di utilizzare anche il metodo dei minimi quadrati e poi di confrontare i risultati ottenuti con quelli ottenuti dalla massima verosimiglianza. L'applicazione del metodo dei minimi quadrati è giustificato dal fatto che, mentre il metodo della massima verosimiglianza tiene conto di tutti gli eventi che concorrono a formare il numero di terremoti in ogni classe di magnitudo, esso considera alla stessa stregua il numero di terremoto in ogni classe di magnitudo, a meno di non introdurre opportuni pesi. La retta interpolatrice segue, dunque, meglio i punti ad elevata magnitudo di quanto lo faccia l'interpolazione con la massima verosimiglianza.

I tassi di sismicità utilizzati per il calcolo del b coprono l'intervallo di magnitudo da 3,1 a 6,4 (Tab. 1). Il risultato ottenuto con il metodo dei minimi quadrati è 0,67 (Tab. 1), mentre la stima secondo il metodo proposto da Wiechert (1980) risulta pari a 1,03 e si è deciso di considerare questo valore con la relativa deviazione standard (0,10) nei successivi calcoli. La Fig. 6 riporta graficamente i risultati ottenuti.

Con i valori così definiti si è proceduto al calcolo della magnitudo massima per la ZS10. Il metodo di Kijko e Graham (1998) propone 2 formulazioni per questo calcolo, il primo detto di Tate-Pisarenko (T-P) ed il secondo di Kijko-Sellevol (K-S), per entrambi viene anche proposta la formulazione bayesiana (T-P-B e K-S-B, rispettivamente), di più complicato calcolo ma statisticamente più robuste. La magnitudo massima calcolata con tutte queste formulazioni risulta generalmente abbastanza stabile (valori compresi fra 6,40 e 6,98), tranne nel caso T-P, vedi scenario 2 in Tab. 2 e superiore al valore effettivamente osservato. Ciò dipende dal lungo periodo di osservazione considerato (1000 anni), parametro molto influente sui risultati. La stima scelta è stata quella ottenuta con K-S-B, pari a 6,75 con una deviazione standard di 0,4.

Tab.1 - Calcolo del b per la ZS10.

INPUT DATA:

MAG	RATE	CUMRATE	LGCUMRAT
1.90	65.22	204.87	2.31
2.20	61.11	139.65	2.15
2.50	61.11	78.54	1.90
2.80	11.11	17.43	1.24
3.10	4.35	6.32	0.80
3.40	0.67	1.97	0.29
3.70	0.00	1.30	0.11
4.00	0.00	1.30	0.11
4.30	1.30	1.30	0.11

LEAST SQUARES FIT:

$a = 4.34 (+/- 0.37)$ $b = 1.08 (+/- 0.12)$ $\chi^2 = 0.52$

MAXIMUM LIKELIHOOD (WEICHERT) ESTIMATE:

$a = 4.39 (+/-)$ $b = 1.06 (+/- 0.05)$

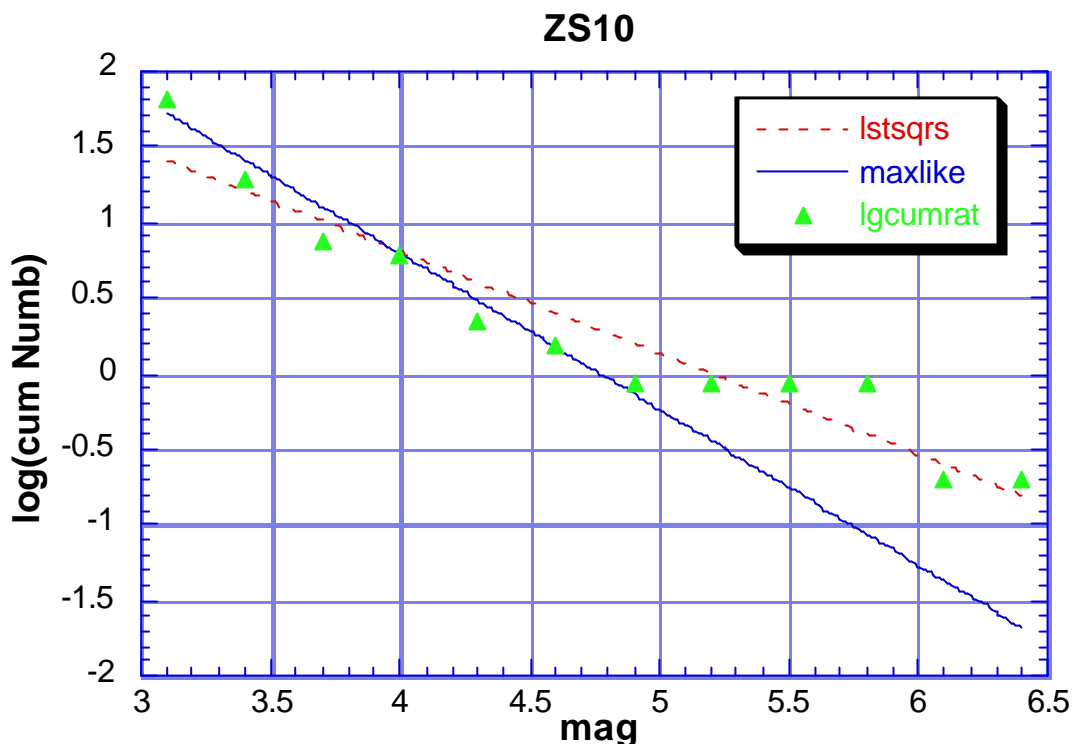


Fig. 6 - Relazione GR per la ZS10; le interpolazioni sono state calcolate col metodo dei minimi quadrati e della massima verosimiglianza.

2.3.3 Calcolo dello scenario di scuotimento per Vittorio Veneto

Nel calcolo dello scenario di scuotimento bisogna fissare le coordinate epicentrali del terremoto di scenario ed il suo errore. Come epicentro del terremoto di scenario sono state fatte due ipotesi: un forte terremoto (magnitudo 5,8) nella ZS10, il terremoto massimo della ZS10 (magnitudo 6,7). Per il terremoto forte o massimo nella ZS10 è stata considerata la localizzazione strumentale del sisma del 1936 (Slejko et al., 1987) con il relativo errore epicentrale (2,5 km) raddoppiato per cautela. Il calcolo si riduce, pertanto, alla stima deterministica del picco di accelerazione orizzontale (PGA) e dell'intensità di Arias al sito di Vittorio Veneto.

Di estrema importanza risulta a questo punto la scelta della relazione di attenuazione da usare. Viste le considerazioni fatte precedentemente, si è deciso di applicare tutte le relazioni disponibili in letteratura per poi valutare il valore medio dei risultati conseguiti con la relativa deviazione standard. I risultati ottenuti dall'applicazione di queste 4 relazioni sono riportati in Tab. 18, dove nelle colonne "rock" e "soft" vengono riportati i rispettivi valori medi, nelle colonne "rock+sd" e "soft+sd" sono state considerate nel calcolo le deviazioni standard delle varie relazioni di attenuazione (che sono piuttosto diverse fra loro), e nelle colonne "rock+sdt" e "soft+sdt" sono state considerate le deviazioni standard totali delle relazioni di attenuazione, della magnitudo e dell'epicentro (Kijko e Graham, 1999). I valori di PGA ottenuti variano notevolmente fra loro (più che raddoppiando in certi casi) e ciò si riflette sulla deviazione standard calcolata sui relativi valori medi.

Per lo scenario del terremoto di magnitudo 5,8 in Cansiglio (ZS10) si è ottenuto un valore medio di PGA su roccia a Vittorio Veneto pari a 0,21 g, il quale tiene conto di tutte le incertezze nei parametri. Tale valore aumenta a 0,32 g nel caso di terreno soffice. Per il terremoto di magnitudo massima prevista nella stessa ZS, si arriva a 0,41 g su roccia e 0,76 g su terreno soffice.

L'unica relazione disponibile per l'intensità di Arias è quella di Sabetta e Pugliese (1996) che fornisce i risultati riportati in Tab. 2.

Tab. 2 - Scenari di scuotimento per Vittorio Veneto.

EARTHQUAKE SCENARIO 1 FOR SITE 45.982 12.305									
Amax	amin	sdm	bvalue	sdb	rate	t	alaep	aloep	sdep
6.400	3.100	0.200	1.030	0.100	0.631100	0.000	46.100	12.462	5.000
TYPE		MAX MAG	SD						
T-P		8.07	1.69						
T-P-B		6.40	0.20						
K-S		6.98	0.62						
K-S-B		6.75	0.40						
EARTHQUAKE: LAT = 46.10 LON = 12.46 (+/- 5.0) MAG=6.7 (+/- 0.40) DIST=17.9									
PGA (g)									
Relation			rock	rock+sd	rock+sdt	soft	soft+sd	soft+sdt	
Ambraseys et al. 1996			0.142	0.253	0.334	0.189	0.336	0.444	
Sabetta & Pugliese 1989			0.216	0.335	0.496	0.339	0.525	0.777	
Chiaruttini & Siro 1981			0.210	0.326	0.423	0.542	0.964	1.416	
Marcellini et al. 1991			0.193	0.377	0.409	0.193	0.377	0.409	
Mean			0.190	0.323	0.415	0.316	0.550	0.762	
SD			0.029	0.045	0.057	0.144	0.249	0.404	
ARIAS INTENSITY (m ² /s ³)									
Sabetta & Pugliese 1996			3.670	9.155	19.551	6.437	16.057	34.290	
EARTHQUAKE SCENARIO 2 FOR SITE 45.982 12.305									
Amax	amin	sdm	bvalue	sdb	rate	t	alaep	aloep	sdep
5.800	3.100	0.200	1.030	0.100	0.631100	0.000	46.100	12.462	5.000
EARTHQUAKE: LAT = 46.10 LON = 12.46 (+/- 5.0) MAG=5.8 (+/- 0.20) DIST=17.9									
PGA (g)									
Relation			rock	rock+sd	rock+sdt	soft	soft+sd	soft+sdt	
Ambraseys et al. 1996			0.080	0.142	0.182	0.106	0.188	0.242	
Sabetta & Pugliese 1989			0.098	0.152	0.214	0.154	0.238	0.335	
Chiaruttini & Siro 1981			0.096	0.149	0.182	0.195	0.347	0.472	
Marcellini et al. 1991			0.118	0.230	0.245	0.118	0.230	0.245	
Mean			0.098	0.168	0.206	0.143	0.251	0.323	
SD			0.014	0.036	0.026	0.035	0.058	0.093	
ARIAS INTENSITY (m ² /s ³)									
Sabetta & Pugliese 1996			0.505	1.260	2.280	0.886	2.209	4.000	

Bibliografia

- Aki K., 1965. Maximum likelihood estimate of b in the formula $\log N = a - bM$ and its confidence limits. Bull. Earthquake Res. Inst., 43, 237-239.
- Albarelo D., Bosi, V., Brammerini F., Lucantoni A., Naso G., Peruzza L., Rebez A., Sabetta F., Slejko D.; 2000: Carte di pericolosità sismica del territorio nazionale. Quaderni di Geofisica, 12 Editrice compositori, Bologna, 7 pp.
- Bazzurro P. and Cornell C.A.; 1999: Disaggregation of seismic hazard. Bull. Seismol. Soc. Am., 89, 501-520.
- Bender B. and Perkins D.M. (1987). Seisrisk III: a computer program for seismic hazard estimation. U.S. Geological Survey Bulletin 1772, 48 pp.
- Galadini F., Meletti C., Rebez A. (eds); 200: Ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-1999). CNR-GNDT, Roma,
- Harmsen S. and Frankel A.; 2001: Geographic deaggregation of seismic hazard in the United States. Bull. Seismol. Soc. Am., 91, 13-26.
- Kijko A. and Graham G.; 1998: Parametric-historic procedure for probabilistic seismic hazard analysis. Part I: estimation of maximum regional magnitude m_{max} . Pure Appl. Geophys., 152, 413-442.
- Kijko A. and Graham G.; 1999: Parametric-historic procedure for probabilistic seismic hazard analysis. Part II: assessment of seismic hazard at specific site. Pure Appl. Geophys., 154, 1-22.
- McGuire R.K.; 1995: Probabilistic seismic hazard analysis and design earthquakes: closing the loop. Bull. Seismol. Soc. Am., 85, 1275-1284.
- Meletti C., Patacca E., Scandone P., 2000. Construction of a seismotectonic model: the case of Italy. Pure Appl. Geophys., 157, 11-35.
- Peruzza L., Poli E., Renner G., Rebez A., Rogledi S., Slejko D., Zanferrari A.; 2001: The 1976-1977 seismic sequence in Friuli: new seismotectonic aspects. Sottomesso a Memorie Società Geologica Italiana.
- Sabetta F. and Pugliese A.; 1996: Estimation of response spectra and simulation of nonstationarity earthquake ground motion. Bull. Seism. Soc. Am., 86, 337 - 352.
- Slejko, D., Carulli, G.B., Carraro, F., Castaldini, D., Cavallin, A., Doglioni, C., Iliceto, V., Nicolich, R., Rebez, A., Semenza, E., Zanferrari, A. e Zanolla, C., 1987. Modello sismotettonico dell'Italia Nord-Orientale. C.N.R. G.N.D.T. Rendiconto n. 1, Ricci, Trieste, 83 pp.
- Slejko D., Peruzza L. and Rebez A.; 1998: Seismic hazard maps of Italy. Annali di Geofisica, 41, 183 - 214.
- Utsu T.; 1966: A statistical significance test of the difference in b -value between two earthquake groups. J. Phys. Earth, 14, 37-40.
- Valensise G. and Pantosti D. (eds.); 2001: Database of Potential Sources for Earthquakes larger than $M 5.5$ in Italy. Version 2.0, INGV, Roma
- Weichert D.H.; 1980: Estimation of the earthquake recurrence parameters for unequal observation periods for different magnitudes. Bull. Seismol. Soc. Am., 70, 1337-1346.

2.3.4 Scenario di scuotimento a scala regionale (E. Priolo)

L'obiettivo per il primo anno era la costruzione di uno scenario deterministico di scuotimento sismico nell'area circostante la città di Vittorio Veneto. Come terremoto di riferimento è stato scelto l'evento $M=5.8$ del "Cansiglio" del 18 ottobre 1936.

Le modellazioni sono effettuate con il *Wavenumber Integration Method (WIM)* (Herrmann and Wang, 1985; Herrmann, 1996a,b), un metodo che risolve l'equazione completa delle onde 3-D in un mezzo a strati piani paralleli, cioè privo di eterogeneità laterali. Lo studio si divide in due parti. Nella prima parte, il moto del suolo è stimato per diversi modelli crostali e per diverse profondità ipocentrali. Ciò al fine di vincolare in modo più robusto i risultati e di valutare l'effetto di differenti ipotesi di partenza. Per questa parte, è utilizzata una sorgente puntuale. Nella seconda parte, invece, lo scenario simula la propagazione della rottura lungo una faglia estesa.

ANALISI CON SORGENTE PUNTUALE

Parametrizzazione della sorgente - La sorgente del terremoto di riferimento presenta meccanismo obliquo con una forte componente inversa ($f = 212^\circ$, $d = 52^\circ$, $I = 41^\circ$) e profondità compresa tra gli 8 e i 13 km. Il momento sismico assegnato all'evento risulta pari a $M_0 = 3.7 \times 10^{24}$ erg (Kanamori e Anderson (1975), Marcellini (1995)).

Il modello di sorgente utilizzato nella modellazione simula la rottura della asperità più grande (Priolo e Laurenzano, 2001), di area pari a circa 8 km^2 , e di durata pari a $T \approx 0.7 \text{ s}$ (Sommerville, 1999). Per scalare il campo d'onde, è stato applicato un momento sismico relativo all'asperità pari a circa un terzo del momento sismico totale M_0 .

Parametrizzazione del modello strutturale - L'area d'indagine è un quadrato di 50 km di lato centrato sull'epicentro del terremoto di riferimento. I ricevitori sono 441 e coprono quest'area con un passo spaziale di 2.5 km . Sono stati preparati due gruppi indipendenti di modelli strutturali (a strati piani paralleli), in collaborazione rispettivamente con Gianni Bressan (OGS - CRS, Udine), ed Adriano Zanferrari ed Eliana Poli (DGT - Università di Udine). La disponibilità di ipotesi differenti ed indipendenti tra loro è un fatto molto importante, in quanto permette di valutare da un lato la *sensibilità* dei risultati rispetto alle ipotesi iniziali, e dall'altro di vincolare meglio i risultati finali.

La struttura dell'area circostante Vittorio Veneto ed il Cansiglio è molto complessa. Il maggiore elemento di anomalia strutturale è rappresentato dalla zona di sovrascorrimento, che si trova in corrispondenza dell'altipiano dell'Alpago-Cansiglio. Il sovrascorrimento separa a NW e SE due aree caratterizzate da strutture crostali differenti. Siccome l'area corrispondente al sovrascorrimento, cui è associato l'evento di riferimento, si trova proprio al centro dell'area di indagine, e siccome si ipotizza che l'ipocentro sia piuttosto profondo, è plausibile che nell'area indagata il campo d'onda sismico sia composto per la maggior parte da onde di corpo con direzione pseudo-verticale. Si è ritenuto quindi di poter affrontare il problema della modellazione anche con un approccio non standard per il metodo utilizzato, e cioè differenziando il modello nelle aree di pertinenza dei maggiori elementi strutturali. Inoltre, per riprodurre almeno in parte l'effetto del suolo superficiale, è stata operata una differenziazione più fine a livello di coperture quaternarie, distinguendo nell'area tre zone: una zona di pianura, una zona corrispondente alla fascia pedemontana o ad alcune vallate interne e l'area montagnosa. La tabella sottostante riassume le modellazioni effettuate. Le sigle CRS e DGT indicano rispettivamente i due diversi gruppi di modelli strutturali.

Tabella riassuntiva delle modellazioni effettuate con il *Wavenumber Integration Method (WIM)*.

Nome modello	CRS1	CRS2	CRS1mp	DGT	DGTmp
Descrizione modello strutturale	Struttura 1 comune a tutta l'area	Struttura 2 comune a tutta l'area.	Come CRS1, ma con differenziazione per suolo superficiale e quota topografica (mp = montagna/pianura).	Struttura crostale differenziata in tre tipi e per quota topografica.	Come DGT, ma in più differenziazione per suolo superficiale.
Descrizione simulazioni	Sorgente puntuale. Tutte le profondità: $Z_S = 8, 10, 12, 15, 18 \text{ km}$.			Sorgente puntuale. Solo profondità $Z_S = 12 \text{ km}$	
	Sorgente estesa. $Z_S = 12 \text{ km}$.				

MODELLAZIONI. Per i diversi modelli strutturali e per le diverse profondità ipocentrali in ogni ricevitore i sismogrammi sono stati calcolati nelle tre componenti EW, NS e verticale, utilizzando un passo temporale $\Delta t = 0.075 \text{ s}$. La durata complessiva dei sismogrammi è $T = 38.4 \text{ s}$. I risultati sono stati filtrati passa-basso alla frequenza $f_{max} = 4.5 \text{ Hz}$. Dai sismogrammi sono stati poi estratti i parametri più significativi del moto del suolo, quali il picco di accelerazione, l'intensità di Arias e l'intensità spettrale di Housner.

Si è voluto inizialmente analizzare l'effetto della variazione di profondità ipocentrale sul moto del suolo. Utilizzando il modello strutturale CRS1 le modellazioni sono state ripetute per profondità della sorgente $z=8, 10, 12, 15, 18$ km. Le mappe di PGA mostrano due lobi asimmetrici di massimo scuotimento, uno localizzato a Nord dell'epicentro sull'altipiano dell'Alpago e l'altro localizzato a Sud intorno a Budoia e Polcenigo. Avendo modellato una sorgente puntuale i due lobi di massimo riflettono direttamente il profilo di radiazione dettato dal meccanismo focale usato. Per profondità ipocentrali crescenti i due lobi si allontanano. È stato poi analizzato l'effetto della variazione del modello strutturale sul PGA. Le simulazioni per tutti i modelli CRS (CRS1, CRS2 e CRS1mp) sono state ripetute anche questa volta per tutto il range di profondità ipocentrali e le mappe del PGA ottenute per sola profondità $z=12$ km sono rappresentate in figura 1. L'andamento e le ampiezze del PGA per i modelli cristalli CRS1 e CRS2 sono molto simili, mentre per il modello differenziato in superficie CRS1mp i lobi di scuotimento risultano spostati verso le zone caratterizzate dalle coperture quaternarie con ampiezze maggiori di circa 2 m/s^2 . In particolare, per il modello differenziato, il confronto con il campo macrosismico osservato (catalogo DOM4.1 (Monachesi, G., and Stucchi, M., 1998)) è qualitativamente ottimo proprio per la profondità ipocentrale di 12 km, che, come detto, è anche la profondità più realistica per il terremoto di riferimento.

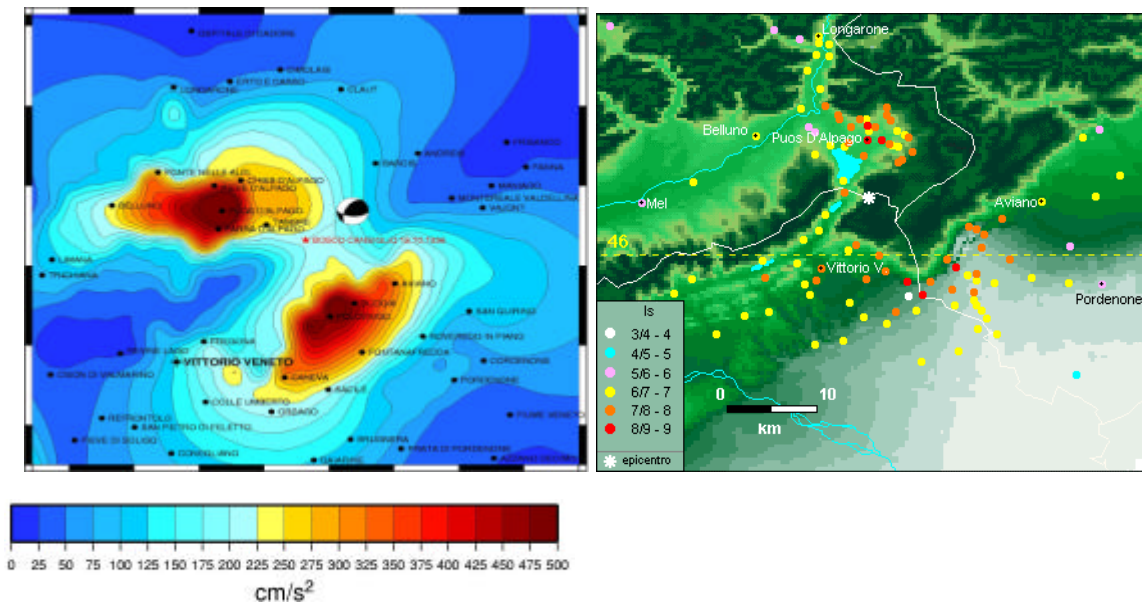


Fig.1 A sin: mappa del PGA (comp. orizzontale) calcolato nei 441 ricevitori, per il modello strutturale CRS1mp e per la profondità della sorgente $z=12$ km. A destra: campo macrosismico osservato per l'evento del Bosco Cansiglio del 18/10/1936 (catalogo DOM4.1)

I valori massimi all'interno dei due lobi di massimo scuotimento a Nord e Sud sono rispettivamente di circa 5.7 m/s^2 e 5.3 m/s^2 . Per la medesima profondità ipocentrale, l'accelerazione orizzontale di picco presso Vittorio Veneto è stimata in circa 1.5 m/s^2 . Per i modelli DGT e DGTmp le simulazioni sono state eseguite per la sola profondità ipocentrale di 12 km. La comparazione tra i risultati ottenuti con diversi modelli cristalli (CRS1, CRS2 e DGT) e modelli differenziati in superficie (CRS1mp e DGTmp) mostra che il moto del suolo risulta molto più sensibile alla presenza di strati superficiali che alla variazione, anche consistente, sul dettaglio della struttura crostale.

ANALISI CON SORGENTE ESTESA. Parametrizzazione del modello strutturale e della sorgente - Le simulazioni con la sorgente estesa sono risultate più costose di circa un

ordine di grandezza rispetto a quelle con sorgente puntuale, in termini sia di spazio disco sia di tempi di calcolo. Per questo motivo si è deciso di limitare le modellazioni ad un solo modello strutturale, cioè al modello CRS1 e di restringere l'area di indagine ad un rettangolo di 35x28 km. I ricevitori sono diradati ad una spaziatura di 3.5 km, per un totale di 99. La figura 2 mostra l'ubicazione dei siti e la posizione del segmento di faglia soggetto a rottura (la superficie immerge a NW da una profondità di quasi 10 km a circa 14 km). I sismogrammi sono calcolati per una durata di circa 19 s.

Con questo tipo di simulazioni, si è cercato di stimare gli effetti legati alla dimensione finita della sorgente, ed alla propagazione della rottura sul segmento di faglia. In questa prima fase si è deciso di parametrizzare la sorgente applicando una distribuzione omogenea del momento sismico sulla superficie di faglia.

Per le frequenze e le velocità in gioco, il segmento di faglia (la cui estensione è 9 km × 5.4 km) è stato discretizzato in 5005 (91x55) sorgenti elementari (la spaziatura tra le singole sorgenti elementari è di 100 metri). I sismogrammi calcolati per ogni coppia sorgente-ricevitore sono stati poi sommati simulando 28 diversi tipi di nucleazione della rottura sulla faglia (sono state escluse a priori le nucleazioni più superficiali che sono meno realistiche dal punto di vista fisico). In figura 2 sono indicate dai cerchietti arancioni 6 centri di nucleazione più rappresentativi.

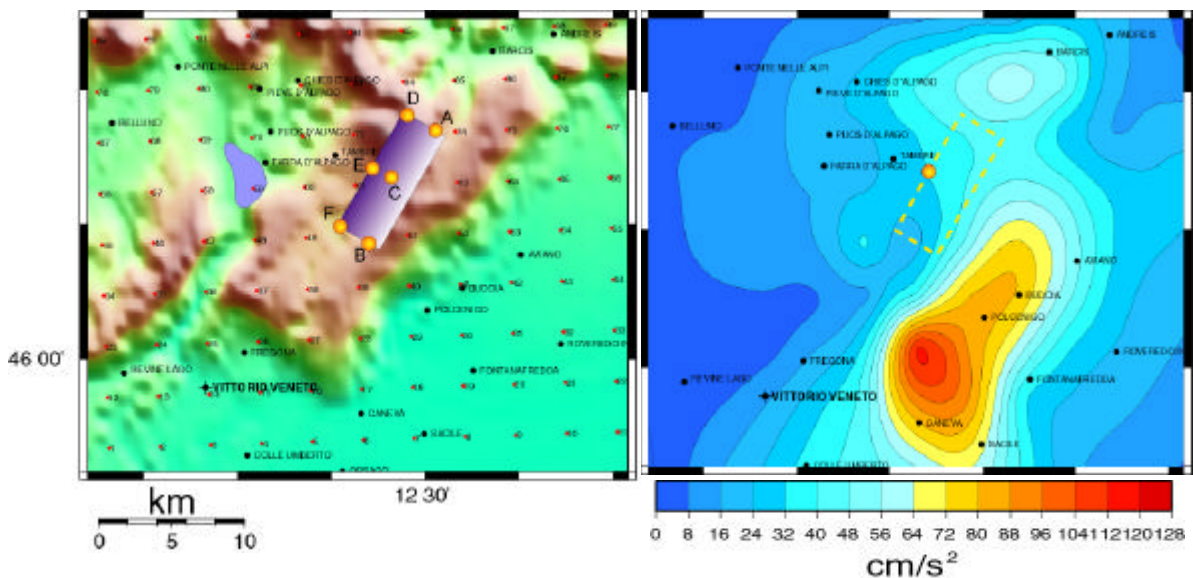


Fig. 2 - Mappa che rappresenta l'area di indagine, l'ubicazione dei ricevitori e la geometria della sorgente. I cerchietti arancioni indicano i sei punti di nucleazione più rappresentativi. La faglia immerge verso NW.

L'ampiezza dei picchi risulta inferiore rispetto a quella trovata per la sorgente puntuale per lo stesso modello (CRS1) e per profondità paragonabili. È molto evidente l'effetto della direttività, cioè della direzione di propagazione della rottura sul piano di faglia, che produce una forte variabilità della distribuzione spaziale del moto del suolo e dell'ampiezza massima. Viene annullato il lobo di radiazione che si trovava nella direzione di immersione della faglia (verso NW), mentre il lobo di massimo a Sud è caratterizzato da forti variazioni nelle ampiezze tra le posizioni antidirettive (ad ex A e B) e quelle direttive (D e E). Un altro aspetto importante dettato dalla modalità di propagazione della rottura sulla superficie di faglia è rappresentato dalla diversa durata dei sismogrammi a seconda del tipo di nucleazione. Per il sito di Vittorio Veneto nella situazione antidirettiva (F, fig. 2) la durata è circa il doppio rispetto a quella direttiva (D): da notare anche la forte variazione dell'ampiezza dei sismogrammi e del PGA al variare del punto di nucleazione.

SCENARIO DETTAGLIATO DI SCUOTIMENTO. L'attività di questo tema per il primo anno è estremamente ridotta e mira essenzialmente a definire una localizzazione adeguata di uno o più transetti 2-D lungo cui saranno effettuate le modellazioni di dettaglio ad elementi spettrali. L'assetto geologico-tettonico generale dell'area circostante Vittorio Veneto delineato dai ricercatori del DGT dell'Università di Udine ha permesso di individuare nell'abitato di Serravalle l'area maggiormente adatta a svolgere questo tipo di modellazioni. L'abitato si trova in una valle circondata da ripidi pendii rocciosi, larga circa 1-2 km e lunga circa 5 km. I dati utilizzabili per la definizione dei suoli superficiali sono piuttosto scarsi, ma almeno il profilo del basamento del bacino dovrebbe essere abbastanza ben delineabile. La fase di modellazione sarà effettuata durante il secondo anno.

Bibliografia

- Kanamori, H. and Anderson, L., 1975. Theoretical basis of some empirical relations in seismology. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 65, 1073-1095
- Herrmann, R. B., and Wang, C. Y., 1985. A comparison of synthetic seismograms. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 75, 41-56.
- Herrmann, R. B., 1996a. *Computers program in seismology. An overview of synthetic seismogram computation.* Dep. of Earth and Atmospheric Sciences; Saint Louis University. Version 3.0 edition.
- Herrmann, R. B., 1996b. *Computers program in seismology. Volume VI: wavenumber integration.* Dep. of Earth and Atmospheric Sciences; Saint Louis University. Version 3.0 edition.
- Marcellini, A., 1995. Arrhenius behavior of aftershock sequences. *Journ. Geophys. Res.*, 100, B4, 6463-6468
- Monachesi, G., and Stucchi, M., 1998. Dom4.1, un database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno. *Consiglio Nazionale delle Ricerche - Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti.* Sito web: <http://emidius.itim.mi.cnr.it/DOM/home.html>.
- Sommerville, P., Irikura, K., Graves, R., Sawada, S., Wald, D., Abrahamson, N., Iwasaki, Y., Kagawa, T., Smith, N., Kowada, A., 1999. Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion. *Seism. Res. Lett.*, 70, 59-80

Pubblicazioni

- Priolo, E., Laurenzano, G., 2001. Scenario deterministico di scuotimento sismico nell'area di Vittorio Veneto: il terremoto M=5.8 del Cansiglio del 18/10/1936. RAPPORTO N. 1. Rel. OGS-27/01/GDL-28 dd. 4 settembre 2001.

Sottotema 2.4 (L. Sirovich)

Sono stati acquisiti dall'Ufficio cartografico della Regione Veneto i primi elementi della Carta tecnica regionale in scala 1:5.000. Dai files elettronici (formati .dxf, compressi) abbiamo prodotto in ambiente CorelDraw 9.0 files corrispondenti in formati EPS e Adobe Illustrator per le elaborazioni successive. I files sono strutturati in layers piuttosto complessi e vengono forniti privi di legenda ("codifiche Carta tecnica regionale"), che dovrebbe venire inviata gratuitamente dall'Ufficio Cartografico (sogt@mail.regione.veneto.it).

L'attività del I anno è stata poi dedicata alla verifica e rimodulazione del sottotema, e in parte ad attività di messa a punto della metodologia da usare. Si sono tenute varie riunioni di coordinamento a Trieste (22/9/00), Padova (29/9/00), Trieste (21/10/00), Padova (24/11/00), Udine (7/12/00), Vittorio Veneto (15/12/00). Inoltre sono stati eseguiti sopralluoghi per la delimitazione e definizione dell'area d'intervento di dettaglio a Vittorio Veneto e per la raccolta di materiale documentario soprattutto nel sito di Serravalle. È stato tuttavia possibile acquisire solo poche stratigrafie abbastanza dettagliate, con

georeferenziazione ancora approssimativa e con poche informazioni geotecniche quantitative.

È stata altresì sondata la bibliografia disponibile per verificare possibilità e limiti degli studi di risposta locale da agganciare a studi di pericolosità *regionale su base probabilistica*, tema alquanto dibattuto anche in sede internazionale. In particolare, ci si riferisce al manuale TC4-ISSMFE (1993) e al recente numero speciale del Bollettino della Società Sismologica Americana (B.S.S.A.) Vol. 90, 6B (anno 2000). Per alcuni aspetti, il tema affrontato in questo numero speciale è simile a quello oggetto del Progetto Vittorio Veneto.

Per quanto riguarda le equazioni empiriche di cosiddetta "attenuazione", Lee e Anderson (2000) ritengono che sia «molto difficile» differenziarle ulteriormente per categorie di suoli.

Quanto alle amplificazioni locali in senso più stretto, Field e il gruppo SCEC affermano di non aver trovato utili, a fini di valutazione delle amplificazioni locali, le carte dettagliate della geologia del Quaternario ad essi accessibili (Field e Gruppo di Lavoro SCEC, 2000; l'osservazione è condivisa in particolare da Lee e Anderson (2000). Viceversa, Field e il gruppo SCEC affermano che è stata utile la mappatura della velocità media delle onde S, Vs, nei primi 30 m dal piano di campagna (v. anche: Wald e Mori, 2000; Steidl, 2000; Wills et al., 2000). Per inciso, ciò è coerente con quanto elaborato fin dagli studi raccolti da Ziony J. I. (Ed.) nel 1985 (U.S.G.S., 1985). La conclusione di questi autori sulla possibilità di calcolare, o "prevedere", le risposte di sito alla scala di studi regionali, è pessimistica: a parte questa tendenza dei siti soffici ad amplificare - essi scrivono - «stante l'attuale livello delle informazioni, la risposta di sito "prevista" in ciascuna particolare località può non essere rappresentativa dello scuotimento che effettivamente si verificherà durante un terremoto» [le virgolette di "prevista" sono nell'originale]. La colpa di questa dichiarata impotenza sarebbe «la sovrasemplificazione che si è costretti ad introdurre nei metodi di stima delle amplificazioni, come l'uso di valori medi o stimati qualitativamente per le caratteristiche di sito in assenza di valori meccanici misurati». Si noti inoltre che nei casi in esame non si tratta 'semplicemente' di calcolare la risposta di sito per un terremoto (di scenario), bensì di cercare di valutare la risposta a qualunque terremoto 'possibile'. E comunque la situazione del Bacino di Los Angeles è notevolmente più complicata di quella del Centro storico di Vittorio Veneto, sia per le enormi dimensioni, sia per le profondità delle alluvioni (che in quell'area della California superano i 6-7 km).

Il gruppo Wills et al. (2000), del California Division of Mines and Geology di Los Angeles si basa su correlazioni dirette e su «somiglianze geologiche fra unità per le quali abbiamo dati sulle Vs e la maggior parte delle unità per le quali non abbiamo dati» [sulle Vs] attribuendo caratteristiche meccaniche indicative a tutti i sedimenti presenti fino alle profondità investigate. Le verifiche condotte su questo tipo di dati indicano che il 74% dei dati stimati attraverso correlazioni semiquantitative corrisponde abbastanza bene a quelli misurati. Gli stessi Wills et al. aggiungono che sarebbe utile prendere in considerazione anche le Vs entro profondità superiori ai 30 m (es.: 100 m); e Field (2000) - che utilizza la classificazione in cinque tipi di siti prodotta da Wills et al. (2000) e Lee e Anderson (2000) - rileva che ogni categoria mostra un distinto fattore di amplificazione.

Risulta insomma chiaro che la materia è ancora controversa nei dettagli; e che la scelta di classificare i siti solo sulla base delle loro caratteristiche meccaniche superficiali è un compromesso che sarebbe utile cercare di superare, cercando di valutare l'effetto dell'intera stratificazione sovrastante il substrato rigido. Rispetto a un classico studio di scenario, tutto è reso più complicato dalla possibilità che la valle in istudio possa venire sollecitata da onde con - fra l'altro - azimuth e angoli di incidenza diversi per i terremoti "possibili" nelle diverse zone sismogenetiche che potrebbero interessare Vittorio Veneto.

Per il momento, abbiamo calcolato la risposta in campo elastico di modelli monodimensionali-tipo (parametrici), che considerano l'impedenza sismica fino al substrato; i risultati sarebbero trasferibili a stratigrafie realistiche, qualora disponibili.

Abbiamo considerato i seguenti intervalli di spessori delle coperture: 0-10m, 10-20m, 20-50m, 50-100m, 100-200m, >200m; e 5 intervalli di impedenza: $400.000 < i < 450.000$; $450.000 < i < 550.000$; $550.000 < i < 650.000$; $650.000 < i < 700.000$; $700.000 < i$ [in unità derivata nel Sistema Internazionale].

È stata utilizzata una versione modificata del ben noto codice Charsoil. Per le caratteristiche dell'algoritmo originale e della sua versione attuale si rimanda a Streeeter e altri (1974) e Priolo e Siro (1989). I modelli sono stati forzati sia con impulsi (ondine di Ricker: derivata prima di un'ondina gaussiana in spostamento particellare) che con serie temporali provenienti da registrazioni accelerometriche (per il momento, due registrazioni accelerometriche della scossa principale del terremoto del 6/5/1976, a Tolmezzo-Ambiesta e a Cortina).

L'esame delle risposte calcolate rivela una serie di fenomeni che caratterizzano l'interferenza fra le armoniche del modo proprio di vibrare dei modelli e i contenuti in frequenza della forzante. Tenuto presente che - data la parametrizzazione semplificata adottata - il primo modo di vibrare di un modello dipende dal suo spessore e dalla sua impedenza media pesata, le serie e gli spettri mostrano come si evolvano queste interferenze al variare degli spessori e delle impedenze. Quasi sempre, nella risposta di ogni modello, emerge la prima armonica del suo modo di vibrare fondamentale. In alcuni casi, le accelerazioni massime si generano invece in corrispondenza della seconda armonica, o addirittura della terza.

Caratteristico è l'aspetto di transienti stocastici che presentano le serie accelerometriche corrispondenti a siti il cui modo di vibrare è poco eccitato dalla forzante (tipiche le risposte dei siti con coperture molto sottili), e che quindi non l'hanno molto trasformata. All'opposto, alcuni modelli interagiscono fortemente con la forzante fino a trasformarla drasticamente, dandole un aspetto ciclico.

Esclusivamente ai fini dell'aggancio con lo studio di pericolosità probabilistica regionale, le amplificazioni massime calcolate in regime lineare potrebbero venire scalate per tener conto almeno in prima approssimazione dei fenomeni di smorzamento per frizione interna-anelasticità in accordo con i valori del cosiddetto quality factor, Q (per esempio sulla base dei valori indicati da Fäh et al. (1993; Table 1). Data la generale prevalenza della prima armonica sulla risposta dei modelli (e anche lo smorzamento interno elastico per radiazione nel bed-rock delle onde riflesse dalla superficie libera), si pensa ragionevole considerare l'effetto del Q per quattro percorsi entro ogni modello.

Bibliografia

- Fäh, D., P. Suhadolc e G. F. Panza; 1993: Variability of seismic ground motion in complex media: the case of a sedimentary basin in the Friuli (Italy) area. *J. Appl. Geophys.*, 30, 131-148.
- Field E. H., 2000. A modified ground-motion attenuation relationship for Southern California that accounts for detailed site classification and a basin-depth effect. *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 90, 6B, S209-S221.
- Field E. H. e M. Petersen, 2000. A test of various site-effect parametrizations in probabilistic seismic hazard analyses of Southern California. *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 90, 6B, S222-S244.
- Field E. H. e Gruppo di Lavoro SCEC, 2000. Accounting for site effects in probabilistic seismic hazard analyses of Southern California: overview of the SCEC phase III report. *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 90, 6B, S1-S31.
- Lee Y. e J. G. Anderson, 2000. Potential for improving ground-motion relations in Southern California by incorporating various site parameters. *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 90, 6B, S170-S186.
- Olsen K. B., 2000. Site amplification in the Los Angeles Basin from three-dimensional modeling of ground motion. *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 90, 6B, S77-S94.
- Priolo E., Siro L., 1989. Some improvements in computer program CHARSOIL, including an elastic half-space boundary condition. In: Cakmak A.S., Herrera I. (Editors); *Soil Dynamics and Liquefaction. Comp.Mech.Publ.*, London-New York, 181-195.
- Steidl J. H., 2000. Site response in Southern California for probabilistic seismic hazard analysis. *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 90, 6B, S149-S169.

- Streeter V L., Wylie E. B. e Richart F. E., 1974. CHARSOIL: Characteristics method applied to soils, a computer program distributed by NISEE, March 1974.
- TC4-ISSMFE, 1993. Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering, TC4, ISSMFE. Manual for zonation on seismic geotechnical hazards, Tokyo, pp. 149.
- Tokimatsu K. and Sekiguchi T., 2001. Site effects estimated from microtremor measurements at selected strong motion stations in Taiwan. Proc. 4th Int. Conf. on Rec. Adv. Geotech. Earthq. Engng. & Soil Dyn., (Shamsher Prakash Ed.), March 26-31, 2001, San Diego, CA. CD-ROM Univ. Missouri-Rolla ISBN-1-887009-05-1, paper N° 3.31.
- Wald L. A. e J. Mori, 2000. Evaluation of methods for estimating linear site-response amplification in the Los Angeles Region. Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 90, 6B, S32-S42.
- Wills C. J., Peterson M., Bryant W. A., Reichle M., Saucedo J. G., Tan S. Taylor G. e J. Treiman, 2000. A site-conditions map for California based on geology and shear-wave velocity. Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 90, 6B, S187-S208.

Sottotema 2.5 Vulnerabilità urbana (A. Bernardini)

Le ricerche relative alla vulnerabilità urbana sono finalizzate all'obiettivo del progetto di fornire scenari di danno dell'area di studio. Nel primo anno l'attività ha riguardato la verifica coordinata degli obiettivi delle diverse unità di ricerca, in relazione agli obiettivi triennali. In particolare questa verifica è avvenuta nel corso di un seminario svolto a Padova il 24 Novembre 2000 [1].

Poiché, ai fini della riuscita del progetto, sarà importante la collaborazione degli enti locali ed in particolare delle Regioni Veneto e Friuli - Venezia Giulia, sono iniziati i contatti preliminari, in particolare con il Comune di Vittorio Veneto nell'incontro di tutte le Unità di ricerca del progetto svoltosi a Vittorio Veneto il 15 Dicembre 2000 e con la regione Veneto.

Più specificatamente nel seguito sono riassunte le attività su tutti i contributi che, nell'ambito del programma triennale, hanno proposto obiettivi specifici durante il primo anno.

Riferimenti

- [1] A. Bernardini (a cura di), Verbale del Seminario " Vulnerabilità urbana", Dipartimento di Costruzioni e Trasporti, Padova, 24 Novembre 2000

2.5.1 Vulnerabilità territoriale

2.5.1.1 Vulnerabilità urbana in area veneta UR Padova (L. Briseghella)

Come inquadramento generale si è scelta la metodologia americana di Hazus (un inventario specifico per gli Stati Uniti), che permette in forma automatica valutazioni di perdite facendo uso di Mapinfo. Si è riscontrato che gli strumenti di lavoro possono essere trasferiti al Veneto, mantenendo operativi i moduli principali. Naturalmente i dati e le informazioni geografiche vanno modificati e localizzati.

In particolare per quanto riguarda la vulnerabilità urbana a scala regionale si sono individuati i principali parametri di perdita di funzionalità urbana. Tali parametri hanno origine dalle caratteristiche dei terreni, dall'importanza storico e artistica, dal contesto urbano e dalle tipologie edilizie, oltre ai tradizionali dati ISTAT.

Si è studiata una scheda nelle quale compaiono i seguenti elementi:

- planimetria comunale o del contesto urbano (1:5000);
- fotografia dall'alto del contesto;
- fotografie di dettaglio;
- indicatori.

2.5.1.2 Vulnerabilità della rete stradale a scala regionale veneta (C. Modena)

La vulnerabilità della rete stradale è funzione della vulnerabilità delle opere d'arte distribuite nella stessa. Nell'ambito della realizzazione di una banca dati per la raccolta e la catalogazione di informazioni relative alla rete stradale regionale si è sviluppata una parte dedicata ai manufatti stradali, rivolta in particolare alla catalogazione di ponti e viadotti. Nell'insieme degli attributi da associare al singolo manufatto sono pressoché definiti degli indici che consentano di definire la vulnerabilità delle opere in relazione alle caratteristiche del sito e alle caratteristiche intrinseche della struttura. L'attività è stata dapprima rivolta all'analisi del problema per l'identificazione di elementi di facile reperibilità che concorrono a definire la vulnerabilità dell'opera d'arte. Tali elementi verranno catalogati in formato di database già progettato per essere reso disponibile sulla rete Internet.

In questa fase le indagini sono state condotte sui ponti lungo le due direttrici del fiume Piave e del fiume Brenta.

2.5.2 Vulnerabilità dell'edilizia abitativa ordinaria (A. Bernardini)

2.5.2.1 Classificazione tipologica, EMS 98 e DPM

2.5.2.2 Edilizia in muratura : VULNUS.

Nel corso del primo semestre è stata completata la definizione della base di dati in Oracle, integrando in una struttura relazionale le informazioni relative agli edifici, facendo in particolare riferimento alle seguenti schede:

S1: Scheda VULNUS 1999 (edifici in muratura)

S2: Scheda GNDT di primo livello

S3: Scheda GNDT di 2° livello per edifici di muratura

S4: Scheda AeDES 2000

Per la Scheda S1 è stata completata la procedura di caricamento dei dati di input e creazione dell'output a VULNUS.

Per la Scheda S4 è iniziata la predisposizione della maschera di input dei dati, anche con accesso remoto.

È stata prodotta una prima ipotesi quantitativa sul campione di Comuni, Sezioni Censuarie ed edifici da rilevare con AeDES 2000 e con VULNUS (e per controllo con le schede GNDT di primo e secondo livello).

Nel corso del secondo semestre si è particolarmente curata la creazione di una interfaccia WEB che renderà possibile l'accesso per lettura e scrittura della base di dati in modo diffuso sul territorio, naturalmente con le protezioni necessarie per ragioni di sicurezza e di conservazione dei dati. È stato prodotto un rapporto preliminare [1].

Sono iniziati inoltre contatti con la Regione Veneto, Direzione Difesa del Suolo e Protezione Civile, per instaurare le necessarie collaborazioni con gli Enti Locali e procedere quindi al rilievo di un campione di sezioni censuarie e l'inserimento dei dati nella base di dati. L'individuazione del campione terrà conto dei dati di caratterizzazione geotecnica che sono stati elaborati dalla UR di Udine.

Riferimenti

[1] GNDT – UR Università di Padova (a cura di A. Bernardini ed E. Segato), Vulnus2Web (Vulnus to WEB), Rapporto Interno, versione 1, Luglio 2001

2.5.2.3 Applicazione del modello tarato sul danneggiamento di Friuli 1976 all'intera area di studio veneto-friulana. (A. Chiarandini)

Si sta perseguendo l'obiettivo di dare una valutazione della vulnerabilità dell'edificato sull'area di studio (area AS1), utilizzando dati semplici ma periodicamente aggiornati come i dati dei censimenti Istat; con questi dati è possibile classificare l'edificato in tipologie utilizzando dei parametri come numero dei piani, materiale costruttivo, numero dei fronti comuni, età di costruzione. Dopo aver classificato l'edificato in tipologie, verrà assegnato un indice di vulnerabilità ad ogni tipologia. Nel caso della regione FVG si sta utilizzando la banca dati FrED (Friuli Earthquake Damage) che contiene dati relativi a schede di rilevamento danni del terremoto Friuli 1976. I parametri tipologici contenuti in queste schede e utilizzati per descrivere gli edifici sono simili a quelli dei censimenti Istat (piani, fronti comuni, età di costruzione ...) ma in più riportano anche il livello di danneggiamento subito dall'edificio. È stato quindi possibile sulla base di questi dati regionali costruire delle tipologie edilizie e dare anche una valutazione della loro vulnerabilità relativa. La taratura di questo modello statistico è stata effettuata su un singolo comune del Friuli (Gemona) e validata su 13 diversi comuni della Regione Friuli-Venezia Giulia, anche al variare dell'azione sismica. La bontà dei risultati di tale validazione è anche dovuta alla sufficiente omogeneità delle tipologie costruttive del patrimonio esaminato; la trasposizione del modello 'friulano' sulla fascia di confine veneto-friulana non presenta particolari problematiche dal punto di vista dell'adattamento delle tipologie edilizie così descritte anche se l'omogeneità dovrà essere verificata. A partire dai soli dati ISTAT sarà possibile valutare la vulnerabilità sismica di tutti gli edifici in muratura censiti ed il danno atteso condizionato all'intensità macro-sismica.

2.5.2.4 Applicazione del modello nazionale da dati ISTAT, ritarato sulle tipologie locali dell'area. (F. Meroni)

La metodologia sviluppata nell'ambito del PE1996-98 del GNDT per l'elaborazione della mappa di vulnerabilità del patrimonio abitativo per l'intero territorio italiano e lo studio delle distribuzioni delle tipologie edilizie ricavabili dai dati ISTAT opportunamente tarate su rilievi di vulnerabilità effettuati sul campo possono dare utili indicazioni anche per lo studio di vulnerabilità dell'area Veneto-Friulana. La metodologia proposta (Meroni et al., 1999 e 2000), prevede l'utilizzo combinato di due insiemi di dati: i dati dei censimenti ISTAT ed i dati raccolti con le schede di vulnerabilità di 1° e 2° livello GNDT. Il primo passo comporta l'elaborazione dei dati di censimento, individuando il volume ed il numero degli edifici in un limitato insieme di classi di edificato, a scala comunale e/o di sezione di censimento ISTAT. Il passo seguente prevede la riorganizzazione del database delle schede di vulnerabilità secondo le classi definite sui dati di censimento. La fase successiva comporta un'analisi statistica della distribuzione degli indici di vulnerabilità all'interno delle classi definite sui dati di censimento e su aree omogenee dal punto di vista delle tecniche di costruzione. Infine viene calcolato un indice medio di vulnerabilità per ogni comune e/o sezione di censimento pesando i valori medi di vulnerabilità di ogni classe sul volume dell'edificato presente in tale classe.

In questa prima fase del progetto si è deciso di applicare la procedura di valutazione della vulnerabilità a diverse scale di dettaglio in relazione alle diverse aree di indagine considerate nel progetto. Nell'area regionale denominata AS1, identificata nelle Provincie di Vicenza, Treviso, Belluno, Pordenone la valutazione della vulnerabilità sarà compiuta a scala comunale. Un livello più accurato di indagine, sarà invece dedicato all'area di Vittorio Veneto. In particolare è stato individuato il settore circolare con vertice sulla gola di Serravalle e aperto sulla pianura fin circa al nucleo di Ceneda (area denominata AS2). Si tratta di un comune di grande estensione territoriale, per il quale si è deciso di verificare l'esistenza di un inventario abitativo generale più aggiornato e con un miglior livello di

dettaglio.

La mappa riportata nella fig. 1, mostra i valori di vulnerabilità calcolati comune per comune sulla zona di indagine del Veneto-Friulana; tali valori sono racchiusi in un intervallo abbastanza ristretto (compreso tra 20 e 42). Il risultato è legato alla natura "media" insita nel metodo, in cui sono utilizzati i soli valori medi delle distribuzioni degli indici di vulnerabilità nelle classi tipologiche ISTAT. Infatti tali valori, opportunamente pesati sui volumi dell'edificato, non sono necessariamente rappresentativi della vulnerabilità della classe (coefficienti di variazione dell'ordine di 0.2-0.3 per la muratura e di 0.4 per il cemento armato). La mappa evidenzia alcune zone ove i valori di vulnerabilità sono relativamente più elevati, in particolare nelle aree montane e pedemontane della province di Trento, Verona, Vicenza e del Bellunese. È pure rilevabile un livello di vulnerabilità relativamente più significativo in alcuni comuni dell'area epicentrale del terremoto del Friuli del 1976, zone con elevata presenza di edificato in cemento armato. Si riconoscono inoltre in modo distinto i centri urbani ad elevata densità abitativa del nord-est (Venezia, Trieste). I risultati sono legati in maniera significativa alla valutazione della vulnerabilità degli edifici in cemento armato. Tuttavia è sembrato opportuno osservare che a differenza delle analisi statistiche di dettaglio compiute sugli edifici in muratura sulla base di un ormai cospicuo database, le analisi sul cemento armato sono invece state condotte su di un limitato insieme di edifici. Si ricorda inoltre la scarsa efficienza della scheda di vulnerabilità GNDT per edifici in cemento armato, con cui tali dati sono stati raccolti. Pertanto, per confronto con la precedente, è sembrato opportuno elaborare una seconda mappa in cui il risultato riguarda esclusivamente gli edifici in muratura della zona in esame.

Il calcolo della mappa di vulnerabilità dei soli edifici in muratura presenti sul territorio è stato effettuato applicando l'algoritmo precedente, ma escludendo nel calcolo dell'indice medio di vulnerabilità di ogni comune, il contributo apportato dalle classi di edifici (pesate sul loro volume) riguardanti gli edifici in cemento armato. A tale scopo la mappa di fig. 1 è stata ricalcolata includendo nel valor medio pesato dell'indice di vulnerabilità solo le varie classi di edifici in muratura ed escludendo il contributo del cemento armato. Il risultato che si ottiene è generalmente più basso di quello ricavato considerando tutti gli edifici realmente presenti sul territorio; tale andamento è chiaramente riconducibile al mancato contributo apportato dagli edifici in cemento armato, il cui valore medio dell'indice di vulnerabilità ricavato da lavori precedenti, è generalmente più elevato di quello degli edifici in muratura. L'effetto sul risultato finale è infatti quello di produrre una sensibile riduzione dell'indice medio comunale, legato ad un più ristretto range di variabilità degli indici di vulnerabilità delle varie classi ISTAT considerate.

Dalla mappa di fig. 2, si può infatti riscontrare, una generalizzata riduzione dei comuni compresi nella classe di vulnerabilità 29-45, con il sostanziale assorbimento dei valori di picco presenti in corrispondenza delle aree ad elevata urbanizzazione e con forte presenza di edificato in cemento armato, specialmente per quanto riguarda l'area epicentrale del terremoto del Friuli. Rimane confermata la presenza di centri con valori di vulnerabilità relativamente più elevati in corrispondenza di centri urbani delle aree montane e pedemontane specialmente nella provincia di Trento. Un importante elemento, da porre a commento dei risultati ottenuti, è quello legato al sostanziale basso livello di vulnerabilità riscontrato sull'area di studio. Una caratteristica significativa dei dati di rilievo delle schede di vulnerabilità è la composizione del database GNDT. Infatti dei circa 28.000 edifici memorizzati nel database, solo poco più di 6.000 appartengono a normale edilizia residenziale privata. La gran parte della banca dati è quindi composta da edifici pubblici rilevati nel corso del progetto LSU o di analoghe precedenti campagne di raccolta dati. Si può ritenere, a livello generale, la qualità di tale edilizia migliore, o comunque sottoposta ad un migliore livello di manutenzione, rispetto all'edilizia ordinaria. Quindi,

l'estrapolazione dei valori di vulnerabilità di tali edifici sull'intero patrimonio edilizio, porta ad un inevitabile riduzione dei valori medi comunali elaborati.

Questa metodologia di utilizzo dei dati di censimento decennale ISTAT basata sull'analisi a vasta scala del patrimonio edilizio esistente, permette di compiere valutazioni di vulnerabilità e quindi successive stime di rischio sismico. La disponibilità dei rilievi effettuati dopo il terremoto del 6 maggio 1976 e contenuti nella banca dati Fr.E.D. (Friuli Earthquake Damage database) costruita sulla base dei verbali di accertamento danni di cui alla L.R. F.V.G. 17/76 da parte dell'U.R. operante presso il Dipartimento di Georisorse e Territorio dell'Università di Udine, permetterà una migliore calibrazione delle stime compiute. Questi dati permettono, edificio per edificio, una valutazione della vulnerabilità e del danno subito a seguito dell'evento sismico. In questo modo sarà possibile regionalizzare le valutazioni di vulnerabilità, così da coprire aree omogenee dal punto di vista delle tecniche costruttive.

Un ulteriore affinamento delle mappe di vulnerabilità, dovrà considerare gli indici di vulnerabilità medi territoriali non a livello comunale, ma a scala di sezione di censimento. Tale dettaglio permetterà di identificare con maggior precisione la composizione e la qualità dell'edificato dei vari nuclei abitativi, individuando con buona precisione la vulnerabilità delle zone definite dall'ISTAT come 'centro', 'nucleo' o 'case sparse'. Tale precisione sarà importante per la valutazione di scenari sismici di dettaglio. Inoltre, un utilizzo più accurato delle elaborazioni compiute a scopi di valutazione dei valori attesi di danno all'edificato dovrà prevedere di utilizzare l'intera distribuzione degli indici di vulnerabilità per le varie classi di edifici. L'utilizzo della catena di programmi, dati georeferenziati, database che descrivono l'edificato e la vulnerabilità, curve di fragilità dell'edificato, permetterà nel seguito del progetto GNDT di realizzare programmi di valutazione di scenari sismici sia in termini di stime di danni all'edilizia residenziale, sia di scenari che descrivono gli effetti dell'evento sulla popolazione residente in termini di feriti e vittime.

RIFERIMENTI

- Meroni, F., Petrini, V. & Zonno, G. (1999). Valutazione della vulnerabilità di edifici su aree estese tramite dati ISTAT , 9° *Convegno nazionale - L'ingegneria sismica in Italia*, 20-23 settembre 1999, Torino, CD-ROM.. pp.12.
- Meroni F., Petrini V. e Zonno G. (2000). Distribuzione nazionale della vulnerabilità media comunale. In: A. Bernardini, (A cura di), *La vulnerabilità degli edifici: valutazione a scala nazionale della Vulnerabilità sismica degli Edifici ordinari*, GNDT-CNR, Roma, Maggio 2000, pp. 105-131 + n. 4 mappe allegate e CD-ROM.
- Meroni, F., Grimaz, S., Petrini, V. & Zonno, G. (2001). Seismic vulnerability curves: the italian experience, *submitted to Earthquake Spectra - EERI*, Oakland, California.

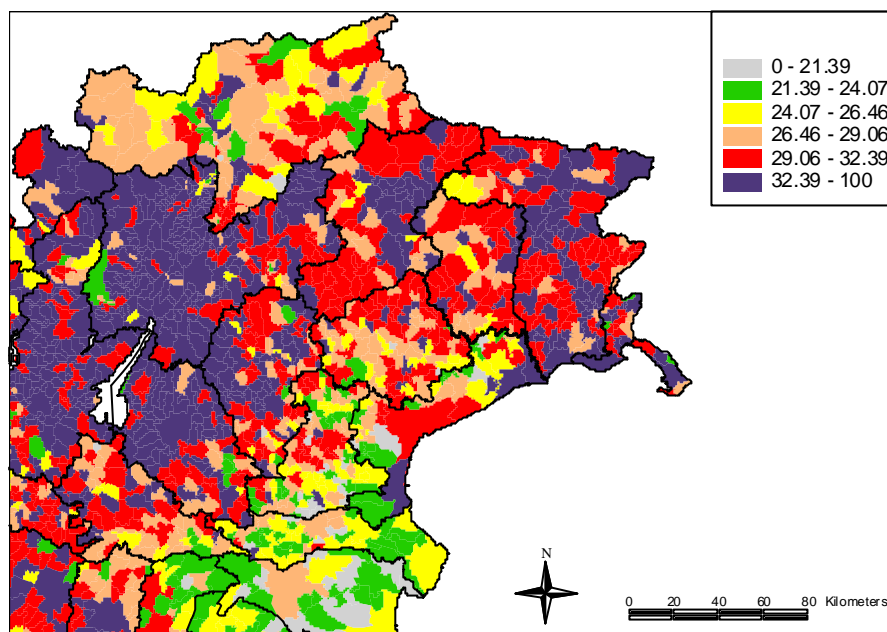


Figura 1. Vulnerabilità media rispetto al volume dell'edificato, calcolato a livello comunale, per tutti gli edifici in muratura e cemento armato dell'area Veneto-Friulana.

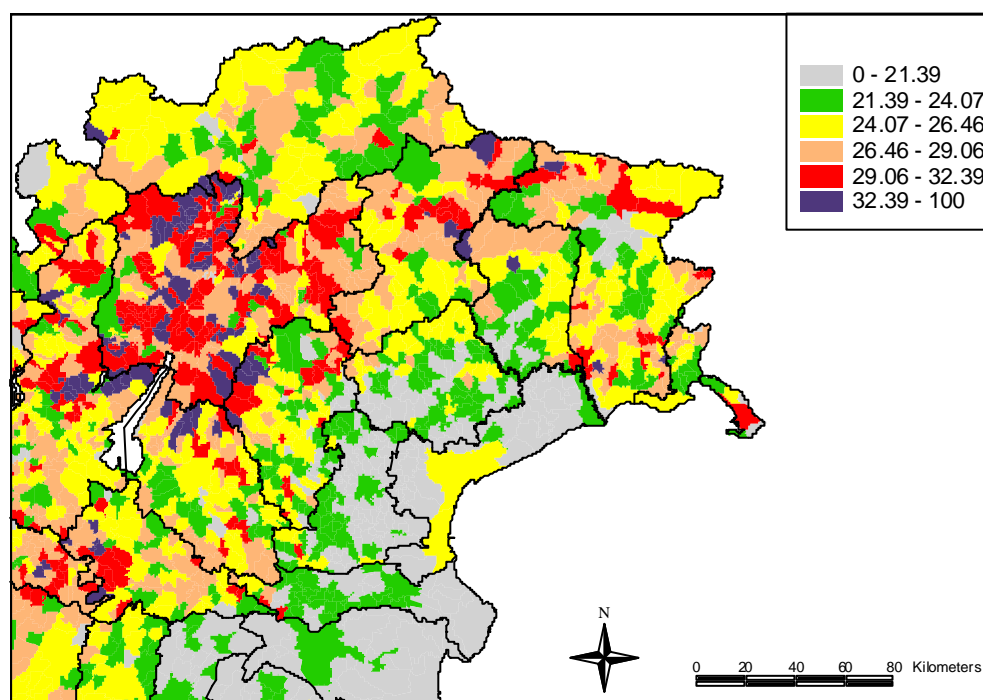


Figura 2. Vulnerabilità media rispetto al volume dell'edificato, calcolato a livello comunale, per i soli edifici in muratura dell'area Veneto-Friulana.

2.5.3 Vulnerabilità nel test-site di Serravalle (Vittorio-Veneto)

Rilievo fotogrammetrico (D.Visintini)

È iniziato il lavoro preliminare per l'acquisizione delle informazioni fondamentali per la caratterizzazione geometrica degli edifici ed aggregati, in particolare delle facciate, utili per l'applicazione dei modelli numerici.

Verranno utilizzate innovative tecniche di fotogrammetria da terra.

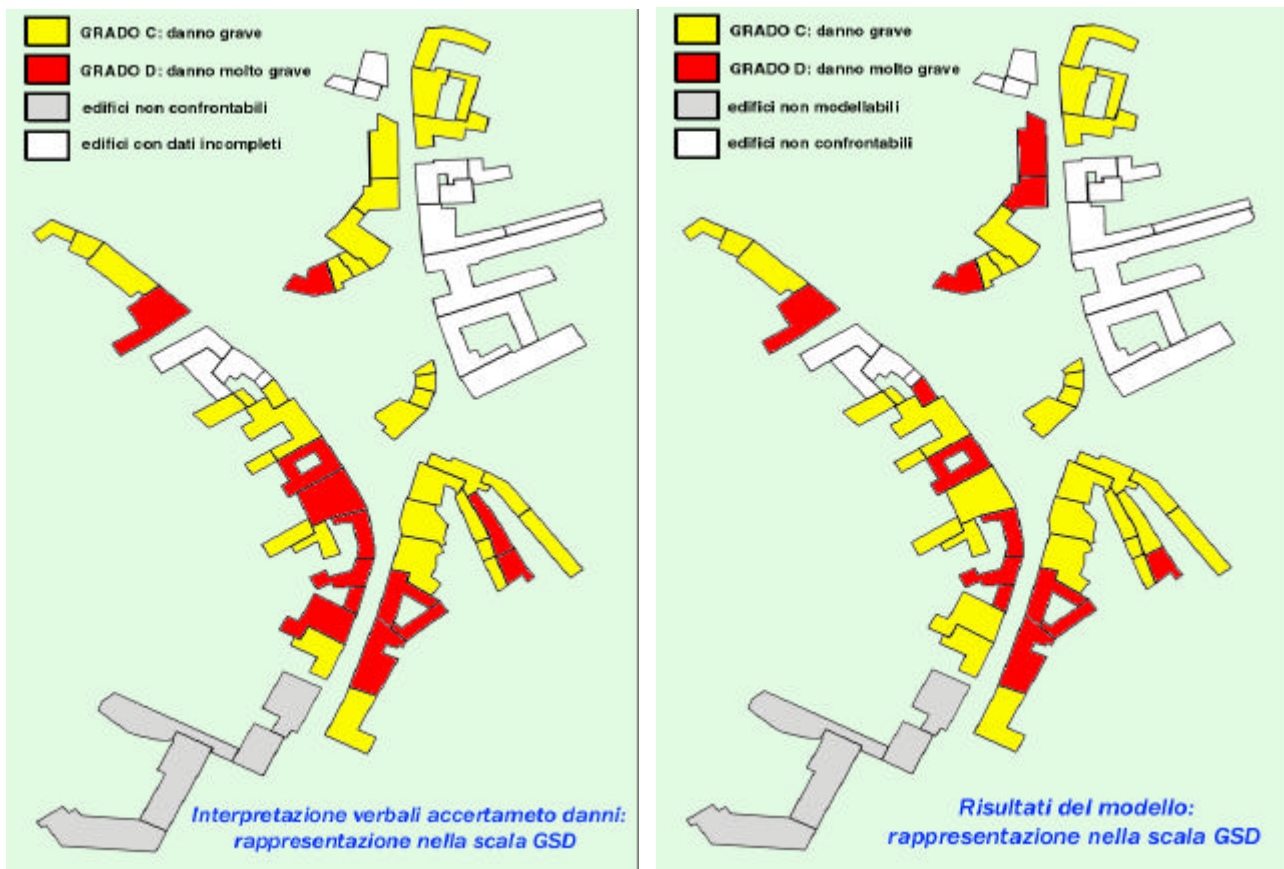
2.5.3.2 Analisi dinamica degli edifici (C. Cecotti)

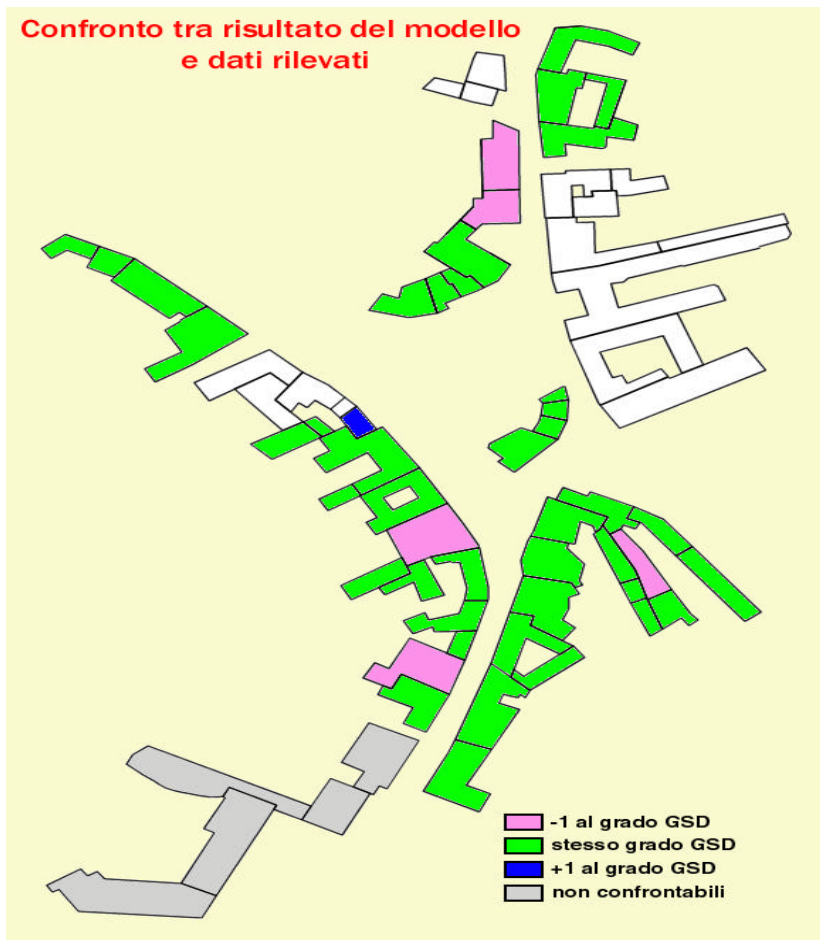
Scopo dello studio è quello di elaborare un metodo di previsione del danno atteso su scala urbana (piccoli centri storici) tramite un modello analitico in grado di approssimare il comportamento sismico degli edifici in muratura di pietrame. L'attenzione viene rivolta a due aspetti ritenuti fondamentali: l'influenza sul danneggiamento della forma dell'edificio analizzato ed il contesto strutturale nel quale questo è inserito.

Per una valutazione sulla rispondenza del modello sono necessarie sia prove per valutare la sensibilità ai vari parametri (geometrici e meccanici), che per valutare la capacità del modello di descrivere il comportamento sismico degli edifici studiati attraverso il confronto con modelli più sofisticati ad elementi finiti non lineari. Tale taratura viene effettuata attraverso due modalità. La prima consiste nel confronto dei risultati della simulazione con quelli acquisiti sperimentalmente attraverso una opportuna strumentazione di un edificio-test. La seconda consiste nella comparazione dei risultati con i dati relativi al danno, già disponibili nel data base Fr.E.D. (Friuli Earthquake Damage), delle schede di rilevamento del terremoto Friuli 1976.

Inizialmente si è proceduto alla scelta del sito dove effettuare l'acquisizione dei dati sperimentali necessari per il primo approccio. La scelta è caduta sull'abitato di Claut (PN), attualmente soggetto ad uno sciame sismico di piccola intensità e già sede di una rete di stazioni sismiche del Centro Sismologico dell'OGS. Qui è stata monitorata la risposta dinamica di un edificio rappresentante la tipologia costruttiva tipica di un edificio a due piani di civile abitazione, attraverso l'installazione di un opportuno sistema di acquisizione.

La seconda fase è stata dedicata alla taratura del modello numerico ed alla comprensione delle pontezialità dello stesso. Sono state, quindi, condotte numerose elaborazioni per verificarne l'effettiva adattabilità allo studio di aggregati strutturali ponendo in particolare l'attenzione sulla complessità geometrica delle strutture.





Dalla base di dati Fr.E.D. si è quindi proceduto alla selezione di una serie di edifici i cui verbali di accertamento danni (L.R. 17/76), fossero quanto più possibile completi nella descrizione degli elementi strutturali e del danno da questi subito durante la sollecitazione sismica del maggio '76. Su questi edifici campione, completati dalle planimetrie (catastini in scala 1:200), è stata condotta una approfondita serie di analisi per giungere alla taratura di una scala di danno qualitativa (in particolare è stata adottata la scala G.S.D. nella quale sono state accorpate le ultime due classi) ricavabile direttamente dall'elaborazione del modello numerico.

Scelto come sito campione il centro di Tarcento (UD) è stato possibile riprodurre, attraverso l'elaborazione numerica, lo scenario di danno avuto con il terremoto del maggio '76 (vedi figure seguenti).

Sottotema 2.6 Vulnerabilità dei centri storici e dei beni culturali (C. Modena)

L'U.R. di Padova ha svolto un'estesa indagine volta all'individuazione di edifici tipo sui quali concentrare le attività sperimentali di caratterizzazione meccanica e di monitoraggio previste dal progetto triennale. Nel corso del primo anno, per ciascuna delle categorie previste, si sono avviati e sviluppati gli studi preliminari per la valutazione dello stato di fatto mediante campagne d'indagini non invasive.

TORRE

Torre dell'Orologio (Padova). La Torre dell'Orologio, sita in una delle Piazze principali del centro storico di Padova, presenta numerosi aspetti significativi ai fini della ricerca.

Si è prevista l'applicazione di indagini debolmente distruttive, rivolte sia alle strutture lignee (prova resistografica) che alle murature d'ambito (prove con martinetti piatti).

Per la valutazione dello stato di degrado delle strutture lignee sono state eseguite delle prove mediante *resistografo* portatile fornito di punta sottile, regolazione elettronica della velocità di penetrazione e registrazione automatica dei dati tramite PC portatile. La prova consiste nell'infissione a velocità costante della punta sottile (diametro 1.0 mm) all'interno della trave, e nel rilevare il profilo resistografico mettendo in relazione la resistenza alla penetrazione (espressa in N) con la profondità raggiunta (espressa in mm). Il dendrogramma così ottenuto, consente di valutare il grado di ammaloramento della struttura lignea indagata (dovuto ad alterazioni subite nel corso del tempo quali sconnessioni o rotture meccaniche, degrado biologico, deformazioni, etc.).

Le *prove con i martinetti* piatti singoli hanno lo scopo di valutare le caratteristiche tensionali della muratura, mentre quelle con i martinetti piatti doppi consentono la determinazione delle caratteristiche elastiche e di resistenza della porzione indagata. I martinetti vengono inseriti in corrispondenza di giunti di malta entro tagli praticati nella muratura. Nel caso dei martinetti piatti singoli la tensione di esercizio viene ristabilita mediante la messa in pressione del martinetto, fino a far coincidere la deformazione in presenza del martinetto con quella iniziale, misurata mediante comparatori millesimali posti a cavallo della posizione del taglio. Il posizionamento di due martinetti paralleli consente, invece, di isolare un campione di muratura sul quale è possibile eseguire una prova di compressione monoassiale con direzione normale al piano dei due tagli.

Campanile della Cattedrale di San Marco di Pordenone. L'analisi strutturale del campanile del Duomo di San Marco della città di Pordenone costituisce parte integrante dei lavori di restauro conservativo. Si ipotizza di impiegare la tecnica degli elementi finiti al fine di studiare in dettaglio e con sufficiente precisione lo stato attuale della struttura e l'influenza di eventuali modifiche e varianti che si è ipotizzato di realizzare. Altri temi di analisi sono la necessità di aumentare il numero di campane e la lieve inclinazione del campanile. Avendo a disposizione dati relativi alle caratteristiche del sottosuolo e dei materiali (forniti dall'Eurosonda di Padova e dall'Ismes di Bergamo), si è proceduto ad alcune verifiche sperimentali in sito attraverso sonde accelerometriche. Una volta ultimata la preparazione del modello, si forniranno i risultati del calcolo sia della situazione statica che di quella dinamica dovute all'effetto e al moto delle campane ed infine l'effetto di tale moto sull'intera struttura.

Campanile della Chiesa di Santo Stefano a Venezia. Il campanile di Santo Stefano a Venezia, di circa 60 m di altezza, fu costruito in due fasi tra la fine del XV e la prima metà del XVI secolo. La struttura è stata sottoposta nel corso del tempo a numerosi deterioramenti strutturali causati dal continuo aumento dell'inclinazione generata dai cedimenti differenziali del terreno di fondazione. A poco sono valsi gli interventi di consolidamento eseguiti all'inizio del XX secolo. Ci si propone di utilizzare i risultati dell'estesa campagna teorica e sperimentale di indagine al fine di assicurare le adeguate condizioni di sicurezza e stabilità dell'edificio, proponendo, eventualmente, nuovi

interventi. Si è proceduto ad effettuare una sorveglianza nel tempo delle caratteristiche geometriche dell'opera e si è tracciato un accurato quadro del fenomeno deteriorativi e fessurativo. Si sono notati fenomeni di ossidazione di ogni tipo di componente metallico. La composizione della muratura è stata indagata facendo uso di carotaggi e sonde ottiche, mentre le proprietà meccaniche e lo stato di tensione sono stati misurati per mezzo di test con martinetti piatti. Si è attualmente impostato un modello ad elementi finiti calibrato sui risultati delle prove sperimentali statiche e dinamiche al fine di condurre analisi statiche e dinamiche in campo lineare e non lineare per indagare l'influenza dei contrafforti sulla distribuzione degli sforzi interni.

PARETE ISOLATA

Cinta muraria di Cittadella (Pd). Le mura di Cittadella sono interessate, per un vasto settore, da alcuni problemi strutturali (fuori piombo eccessivi, fessurazioni estese, degrado dei materiali). Oltre al monitoraggio della verticalità del paramento sono state eseguite una serie di indagini conoscitive mediante prove soniche e tomografiche.

Le *prove soniche* consistono nel misurare la velocità di propagazione delle onde elastiche longitudinali attraverso il mezzo murario. A tale scopo viene predisposta una griglia geometrica in grado di coprire la zona di interesse. L'onda viene emessa mediante battitura con un martello strumentato, e ricevuta da un accelerometro in un punto diverso della griglia. Entrambi i dispositivi sono collegati ad un amplificatore di segnale e successivo convertitore analogico-digitale per la registrazione dei dati attraverso un computer portatile. Come noto dalla Fisica, l'onda si propaga attraverso il mezzo murario prediligendo i canali a maggiore densità, deviandosi in corrispondenza di lacune o discontinuità. L'applicazione a strutture di muratura, mezzo sensibilmente eterogeneo e anisotropo, consente quindi d'individuare qualitativamente zone a diversa compattezza dovuta alla presenza di cavità o fessure, intercettate lungo il percorso di trasmissione dell'onda.

I risultati ottenuti consentono di stimare in modo approssimato le caratteristiche elastiche del materiale. Informazioni quantitative si ottengono in relazione ai rapporti di variazione di tali caratteristiche tra i punti diversi della struttura. Le misure soniche, infine, effettuate prima e dopo l'esecuzione di un intervento d'iniezione, forniscono un'indicazione della variazione di consistenza del muro per effetto della presenza della miscela consolidante (permeazione del prodotto, diffusione o localizzazione del consolidamento).

Vi sono varie modalità di trasmissione delle onde soniche (*diretta, indiretta, semidiretta*) e la scelta di un sistema rispetto ad un altro dipende da vari fattori, tra cui il tipo di muratura e l'accessibilità su vari lati della stessa. Maggiori informazioni sono disponibili localmente grazie all'*indagine tomografica* la quale, basandosi sulla combinazione di acquisizioni soniche su più direzioni di una stessa sezione, consente di migliorare il grado di conoscenza della stessa mediante una "mappatura" delle velocità acquisite.

Mura del castello di Este (Pd). Il Castello di Este costituisce un interessante esempio di programmazione degli interventi basato su una completa campagna d'indagine strutturale preliminare. Sono attualmente disponibili un'accurata ricerca storica ed il rilievo critico e geometrico, mentre sono state avviate una serie di indagini chimico-fisiche e meccaniche sui materiali delle fondazioni e delle murature, effettuate sia in sito che in laboratorio. Si prevede di monitorare il comportamento globale del sistema terreno-fondazione (evoluzione dei fuori piombo e degli spostamenti relativi tra diversi punti del corpo di fabbrica), di eseguire sondaggi sulle fondazioni, e prove con i martinetti piatti singoli e doppi sui torrioni e lungo le mura. In particolare, il sistema di monitoraggio consiste di tre strumenti multi base rimovibili (TRIVEC) inseriti in fori praticati nel terreno per la misura degli spostamenti relativi verticali e le variazioni d'inclinazione lungo l'asse dei fori, quattro pendoli rimovibili e sedici trasduttori di spostamento.

Cinte murarie di Marostica (Vi) e Montagnana (Pd). Le cinte di Marostica e Montagnana

sono esempi tipici di città murate in discreto stato di conservazione, con assenza di segni evidenti di possibili rischi strutturali. I maggiori problemi, tuttavia, sono annoverabili al degrado dei materiali (distacchi e cadute di elementi resistenti), che ha reso urgenti misure di pubblica sicurezza. Nel caso specifico di Montagnana, inoltre, la situazione di degrado ha reso pregiudizievole la stabilità delle volte di irrigidimento; al fine di programmare eventuali interventi sono stati quindi previsti un sistema di monitoraggio ed una serie di indagini conoscitive.

Teatro Romano di Verona. Si è prevista una campagna di sperimentazione basata sull'uso di prove dinamiche su alcune strutture del Teatro Romano di Verona. In seguito a sopralluoghi sono state identificate come significative, dal punto di vista del comportamento dinamico, e in relazione al loro apparente stato di stabilità, le seguenti zone: una coppia di setti murari liberi della zona Est, le strutture dell'edificio scenico ed una coppia di setti murari liberi della zona Ovest.

Gli obiettivi della sperimentazione sono la caratterizzazione dinamica sperimentale dei setti murari liberi più significativi e delle strutture dell'edificio scenico. Inoltre si intende procedere alla misurazione delle vibrazioni indotte dall'ambiente (ed in particolare dal traffico automobilistico) sulle strutture dell'edificio scenico.

La ricerca si propone, in funzione degli obiettivi descritti, di fornire un affidabile modello numerico del comportamento meccanico delle strutture murarie. Si vogliono evidenziare, inoltre, eventuali anomalie della risposta dinamica che possono essere messe in relazione con problemi di stabilità delle strutture indicate. E' inoltre in programma fornire informazioni per la scelta della sensoristica e per il suo posizionamento ai fini dell'installazione di un sistema di monitoraggio permanente.

CHIESA

Basilica di Santa Giustina e Chiesa di Santa Sofia (Padova). Entrambi i manufatti presentano problemi strutturali legati allo stato di degrado dei materiali, alla stabilità di alcuni elementi (pilastri, volte), ed al sovraccarico delle murature massive (campanile, pilastri), evidenziati dalla presenza di fessure sia concentrate che diffuse. Sistemi di monitoraggio discontinui o semi-permanenti sono previsti sulla facciata della Basilica di S. Giustina (controllo della verticalità, evoluzione della fessurazione) e sui pilastri della Chiesa di S.Sofia rispettivamente. Allo scopo di programmare opportunamente gli interventi nelle zone a maggior degrado, sono previste indagini soniche tomografiche e prove con i martinetti piatti sulla facciata e sul campanile della Basilica di S.Giustina.

SCENARI DI DANNO NELL'AREA VENETO-FRIULANA	1
Premessa	1
Sottotema 2.1. "Caratteristiche geometriche e meccaniche delle sorgenti sismiche in prossimità dell'area urbana selezionata" (L. Sirovich)	1
2.1.3. Faglie attive nelle Alpi nordorientali (F. Galadini).....	1
Sottotema 2. 2.: Modelli di velocità ed attenuazione elastica a scala regionale (D. Slejko) .	5
2.2.1. Modelli di attenuazione dell'accelerazione spettrale mono- e bi- dimensionali (Pierluigi Bragato e Dario Slejko).....	5
Sottotema 2.3.: Caratterizzazione del moto atteso (A. Rebez)	13
2.3.1. Zonazione sismogenetica per l'Italia nord-orientale	13
2.3.2. Calcolo delle accelerazioni attese a Vittorio Veneto	16
2.3.2.1. Disaggregazione dei risultati di pericolosità sismica probabilistica	16
2.3.2.2. Calcolo del terremoto massimo per la ZS10	20
2.3.3. Calcolo dello scenario di scuotimento per Vittorio Veneto	22
2.3.4 Scenario di scuotimento a scala regionale (E. Priolo e G. Laurenzano)	24
Sottotema 2.4 (L. Sirovich)	28
Sottotema 2.5 Vulnerabilità urbana (A. Bernardini)	31
2.5.1 Vulnerabilità territoriale	31
2.5.1.2 Vulnerabilità della rete stradale a scala regionale veneta (C. Modena)	32
2.5.2 Vulnerabilità dell'edilizia abitativa ordinaria (A. Bernardini)	32
2.5.2.1 Classificazione tipologica, EMS 98 e DPM.....	32
2.5.2.2 Edilizia in muratura : VULNUS.	32
2.5.3 Vulnerabilità nel test-site di Serravalle (Vittorio-Veneto)	36
2.5.3.2. Analisi dinamica degli edifici (C. Cecotti).....	37
Sottotema 2.6. Vulnerabilità dei centri storici e dei beni culturali (C. Modena)	39