

INDICE

INTRODUZIONE	3.
1. DATI DI INPUT	5.
1.1 CATALOGHI DI SISMICITA' STORICA	7.
1.2 ZONAZIONE SISMOGENETICA	8.
1.3 INQUADRAMENTO LOCALE	11.
2. MODELLI	12.
2.1 MODELLI E POLIGONI STRUTTURALI	13.
2.2 PRIMA MODELLAZIONE	16.
2.3 SECONDA MODELLAZIONE	25.
3. SENSIBILITA' DEL METODO	33.
3.1 SENSIBILITA' DELL'APPROCCIO NEI CONFRONTI DELLE DIRETTIVE EC8	33.
4. METODOLOGIA	35.
4.1 STIMA DETERMINISTICA DELLA PERICOLOSITA SISMICA	37.
4.2 ZONAZIONE DETERMINISTICA UTILIZZANDO SISMOGRAMMI SINTETICI	39.
4.3 VALIDAZIONE DEL MODELLO SINTETICO CONTRO OSSERVAZIONI INDIPENDENTI	41.
4.4 ZONAZIONE DI DETTAGLIO COMBINANDO OSSERVAZIONI E MODELLI DI SCUOTIMENTO DEL SUOLO	42.
5. CALCOLO DEI SISMOGRAMMI SINTETICI	44.
6. EUROCODICE E NORMATIVA ITALIANA	47.
6.1 CONFRONTO TRA LA NORMATIVA ITALIANA ED EUROCODICE 8	47.
6.2 LA NORMATIVA SISMICA EUROPEA: L' EUROCODICE 8 (EC8)	47.
6.3 NORMATIVA SISMICA NAZIONALE	53.
6.3.1 Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 20 marzo 2003	55.
6.3.2 Legge 64/1974	55.
6.3.3 Quadro Normativo Vigente	56.
6.3.4 La Normativa Sismica-Considerazioni	57.
7. CONFRONTI TRA LE STIME DI PERICOLOSITA' DEL TERRITORIO	59.
7.1 ANALISI PROBABILISTICHE	60.
7.2 CONFRONTO FRA LE STIME DI PGA E DGA	60.
7.2.1 Punti nei quali DGA è molto maggiore di PGA	66.
7.2.2 Punti nei quali PGA è molto maggiore di DGA	66.
7.2.3 Considerazioni	67.
8. RISULTATI	68.
8.1 MAPPE LIMITATE AD UNA FREQUENZA MASSIMA DI 1 Hz	69.
8.2 MAPPE OTTENUTE ESTENDENDO L'INDAGINE A FREQUENZE SUPERIORI AD 1Hz	74.
8.3 ANALISI DEGLI SPETTRI DI RISPOSTA	82.

8.3.1 Confronto tra spettri ottenuti sinteticamente e spettri di progetto -----	85.
8.4 MAPPA DI PERICOLOSITA' SISMICA PER LA REGIONE VENETO -----	90.
8.4.1 Pericolosità e Rischio -----	90.
8.4.2 Mappa di pericolosità sismica -----	91.
9. CONCLUSIONI -----	100.
BIBLIOGRAFIA -----	102.
APPENDICE A- Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni veneti -----	104.

INTRODUZIONE

Lo scopo di questo studio è la zonazione sismica della regione Veneto, delineando scenari di pericolosità tramite il calcolo di sismogrammi sintetici.

La tecnica innovativa di modellazione utilizza i principi fisici della generazione e propagazione delle onde nei mezzi e costituisce il filo conduttore dell'intero progetto. Tale tecnica si fonda su di un efficace metodo di calcolo di sismogrammi sintetici basato sulle caratteristiche di sismi storici e strumentali nonché sulla definizione di modelli realistici del sottosuolo.

La modellazione realistica dei movimenti tellurici è un punto conoscitivo fondamentale nella preparazione di scenari di scuotimento del suolo (groundshaking) che rappresentano un valido ed economico indirizzo per la zonazione sismica. Tale conoscenza è di sicura ed immediata fruibilità negli ambiti dell'ingegneria civile, per i progetti di nuove costruzioni antisismiche e per migliorare le strutture già esistenti, ed inoltre rappresenta un ottimo spunto nell'ambito della prevenzione dei servizi di protezione civile. Difatti solo con una prevenzione molto specifica dell'attività sismica è possibile evitare, o quantomeno limitare, la perdita di vite umane e gli ingenti danni che possono talvolta sconvolgere gli equilibri socioeconomici di vaste aree, imponendo memoria di sé per lunghi e dolorosi periodi.

Grazie all'accurata conoscenza delle strutture geologiche tridimensionali e dei complessi meccanismi focali, l'attività sismica in ogni sito può essere determinata al dettaglio, qualsiasi sia il sito d'interesse.

Violenti terremoti sono, fortunatamente, fenomeni molto rari e questo rende molto difficoltoso (praticamente impossibile in un prossimo futuro) preparare un database conoscitivo strumentale sufficientemente vasto ricavato dai segnali sismici, al fine di poter definire dei validi parametri di caratterizzazione del suolo, da utilizzare per lo studio della pericolosità e del rischio sismico.

Il punto di partenza della filosofia di approccio al problema circa la valutazione degli effetti sismici, oggetto di questa tesi, è la possibilità di disegnare una mappa dei movimenti tellurici poiché il metodo impiegato non prevede la necessità dell'avvento di un forte terremoto dal quale ottenere un grande numero di dati misurati attraverso una adeguata rete strumentale. Pertanto, in virtù delle conoscenze di cui sopra, si possono ricavare i sismogrammi sintetici da considerazioni teoriche che prendono in considerazione anche terremoti storici. In questo modo, si può costruire immediatamente un completo database per tutti i siti ed i vari meccanismi focali, con gli ovvi vantaggi di evitare quindi ogni ritardo dovuto all'attesa dell'evidenza del fenomeno e i problemi connessi alla sua registrazione. Naturalmente questo database può venire aggiornato continuamente dal confronto con nuovi dati acquisiti.

Le simulazioni numeriche giocano un ruolo fondamentale nel calcolo dei movimenti tellurici, perché possono costruire sismogrammi sintetici realistici anche nelle aree dalla geologia complessa

e soprattutto nelle zone in cui non vi è disponibilità di dati strumentali. Infatti in esse altre tecniche tradizionali sono generalmente pesantemente limitate. Una maggior precisione nell'effettuare le simulazioni, viene ottenuta se si ha la possibilità di disporre di parametri di natura non solo sismologica, storica e paleosismica, ma anche geologica in senso lato come i parametri geotecnici, litologici e geofisici, i dati topografici, tettonici, e i modelli sismotettonici. Questi sismogrammi possono poi essere confrontati laddove sono disponibili dati di natura sperimentale, al fine di verificare e migliorare, ove occorra, le risultanze teoriche.

Dunque la definizione di una mappa di scuotimento sismico del suolo, dato da terremoti in una determinata zona sismogenica, può essere ricavata dalle misure dei segnali sismici ottenute con fitte reti di geofoni quando si verifica un violento terremoto, o dal calcolo di segnali teorici, usando le informazioni disponibili riguardo alla tettonica e le caratteristiche geologiche e geotecniche del mezzo in cui si propagano le onde sismiche. L'approccio sperimentale, oggetto della presente tesi, si è rivelato molto utile per definire i principi di zonazione, utilizzando modelli basati, da una parte, sulla conoscenza teorica della fisica del segnale sismico, della sorgente sismica e la propagazione delle onde, dall'altra, gestendo una ricca banca di dati geotecnici, geologici, tettonici, sismotettonici e storici ecc. (vedi Field 2000, Panza et al. 2000).

Pertanto il primo passo contempla la raccolta di più dati disponibili concernenti la geologia, e la costruzione di sezioni al fine di modellizzare lo scuotimento sismico. Questo lavoro, rigoroso in sé, è per sua natura multidisciplinare dal momento che le informazioni derivano da diverse discipline, quali la sismologia, la storia, l'archeologia, la geologia e la geofisica. La tecnica in esame risulta particolarmente sensibile anche nei confronti di deboli variazioni dei modelli considerati, quali ad esempio le diverse sequenze ipotizzabili per le parti più superficiali del sottosuolo.

L'approccio deterministico utilizzato, ed il relativo metodo di calcolo, sono di seguito esposti. Si tratta della tecnica della somma modale elaborata da Panza (1985), Panza e Suhadolc (1987) e Florsch et al. (1987).

La tecnica della somma modale, per sintetizzare sismogrammi realistici, ha origine durante la metà del secolo scorso quando Thompson (1950) e Haskell (1953) proposero un metodo a matrici molto efficienti per calcolare la dispersione delle onde superficiali in mezzi multistrato. Durante la seconda metà del secolo (Schwab e Knopoff, 1972; Florsch et al. 1991) il metodo è stato modificato da molti ricercatori. Il problema principale, che è stato risolto da Schwab (1970) e Schwab et al. (1984), era, in pratica, la perdita di precisione quando si trattavano le alte frequenze. Introducendo la sorgente sismica, come proposto da Ben-Menahem e Harkrider (1964), Panza (1985) ottenne un esempio del calcolo delle onde di Rayleigh per le frequenze superiori a 1 Hz per modelli continentali e oceanici consistenti. Il calcolo efficiente delle onde di Rayleigh, per

frequenze superiori a 10 Hz, è stato redatto da Panza e Suhadolc (1987). Florsch et al. (1991) ha dato la soluzione per le onde SH e di Love.

Questo lavoro applica le conoscenze ed i metodi utilizzati dal gruppo di lavoro del Prof. Panza, sintetizzate nel IV capitolo, per definire una realistica designazione dello scuotimento del suolo per la Regione Veneto.

Il carattere innovativo di questo lavoro è il tentativo di applicare il metodo caratterizzando il territorio regionale secondo una classificazione dei suoli, semplice, ma efficace ai fini del calcolo, seguendo le linee guida dell'Eurocodice8 (2003), e utilizzando gli spettri di progetto previsti dalla nuova normativa italiana (Ordinanza 3274, 2003) per la definizione delle proprietà del moto sismico atteso, in un'ottica di valutazione e zonazione della pericolosità sismica per la regione considerata. Per il raggiungimento dei risultati conclusivi si sono rese necessarie due modellazioni del territorio considerato. Un primo tentativo di modellazione desunto dalla sola lettura della cartografia geologica si è rilevato, infatti, inefficace, conducendo a risultati sicuramente non affidabili. Una seconda e più ponderata scelta del modello, su cui applicare la metodologia di calcolo, ha fornito invece ben diversi risultati. I risultati di tale seconda elaborazione sono in ottima coerenza con quelli raggiunti da altri metodi di definizione dello scuotimento sismico. Ciò dimostra che una più accurata caratterizzazione del sottosuolo condotta da questo tipo di approccio è in grado di fornire ottimi risultati, potendo così rappresentare, se affinato e perfezionato in un prossimo futuro, un nuovo valido indirizzo per la conoscenza approfondita del moto sismico del suolo.

1 DATI DI INPUT

L'input sismico, impiegato al fine di elaborare i sismogrammi sintetici, è basato, come si è visto, su sismi reali.

In questo tipo di approccio non viene analizzata la distribuzione della sismicità in termini probabilistici, bensì si considerano gli eventi massimi riportati in catalogo. Il metodo si basa sulla discretizzazione della magnitudo di questi eventi massimi in celle di territorio di 0,2 gradi di lato. Al centro di ogni cella viene posta la sorgente sismica, istantanea e puntiforme, caratterizzata dalla massima magnitudo e da un meccanismo di rottura calcolato come media di tutti i meccanismi focali disponibili per la Zona Sismica (ZS, par 1.2) a cui appartiene la cella in esame; i vertici delle celle costituiscono i nodi della griglia di ricevitori. Il calcolo valuta gli effetti su un territorio pari ad un raggio di 3 celle, scegliendo per ognuna di esse l'effetto peggiore, secondo le curve di attenuazione di Gusev.

Del sisma di cui sopra si considera l'orientazione del piano di faglia ottenuta come valor medio dei piani definiti in un database di sorgenti, compilato a scala nazionale. Per ciascuna porzione di

territorio considerato (poligono strutturale, vedi par.2.1) è calcolato il meccanismo medio a partire da tutti i meccanismi che cadono in quella zona.

Per la definizione della sismicità è stato utilizzato il file di catalogo NT versione 4.1 sviluppato dal GNDT (Camassi e Stucchi, 1996). E' stata inoltre utilizzata la zonazione sismogenetica ZS4 definita nell'Aprile del 1996 dal GNDT (Corsanego et al. 1997). In **fig.1** è visibile la distribuzione smussata della sismicità per le celle appartenenti alle zone sismogenetiche per l'intera nazione.

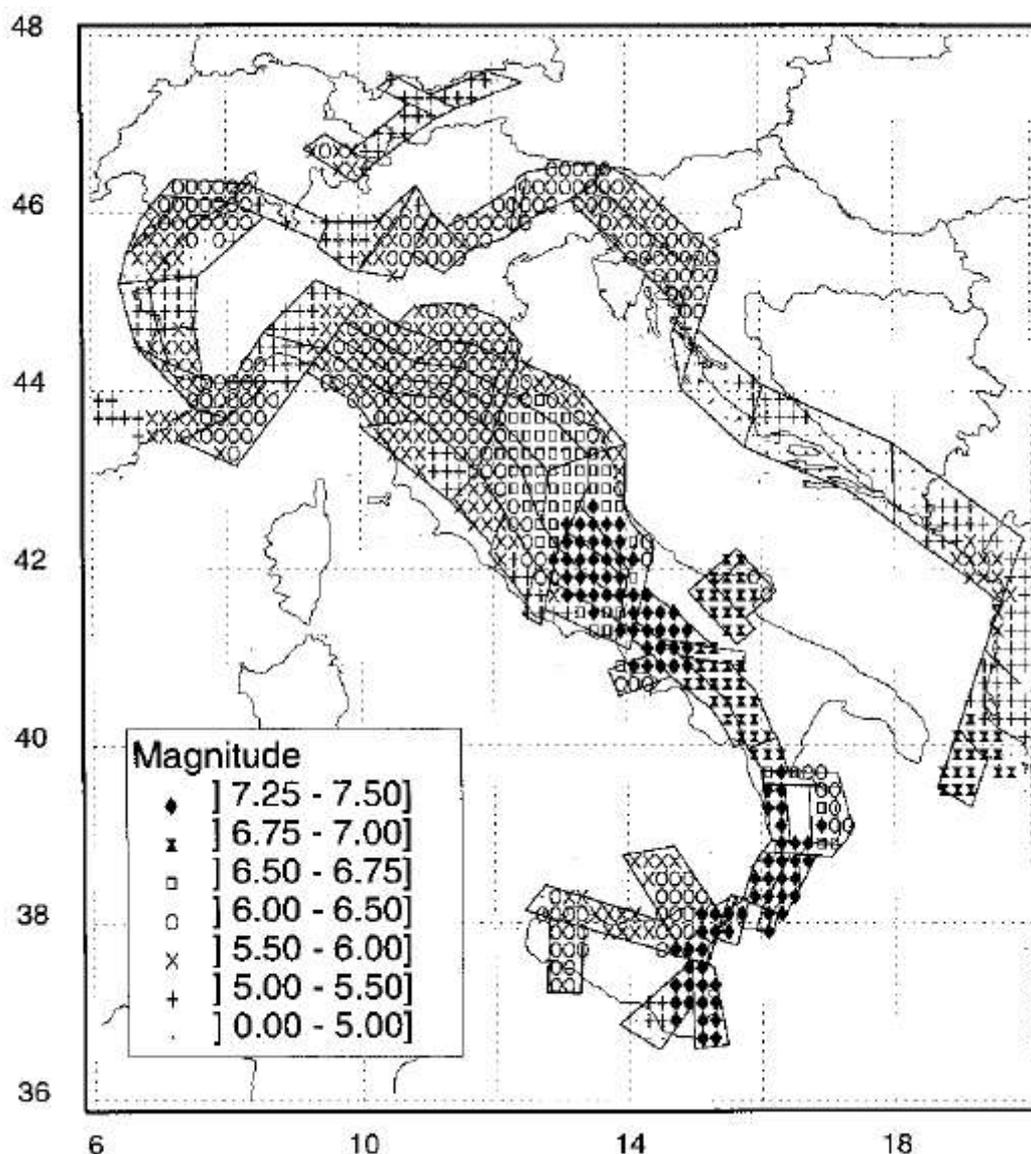


Fig.1 Distribuzione smussata della sismicità per le celle appartenenti alle zone sismogenetiche definite dal GNDT. Da Panza et al. *Deterministic Seismic Hazard Assessment* in F.Wenzel et al. (eds), "Vrancea Earthquakes: Tectonics, Hazard and Risk Mitigation" 1999

A titolo di confronto, in Figura 2 è riportata, per il territorio della Regione Veneto, la "Mappa delle Massime intensità macrosismiche osservate (IMAX) nei comuni italiani" dai dati elaborati per il Dipartimento della Protezione Civile da ING, SSN e GNDT (Molin, Stucchi e Valensise, 1996). Si rimanda all'appendice 1 per gli elenchi completi dei singoli comuni della Regione.

Veneto

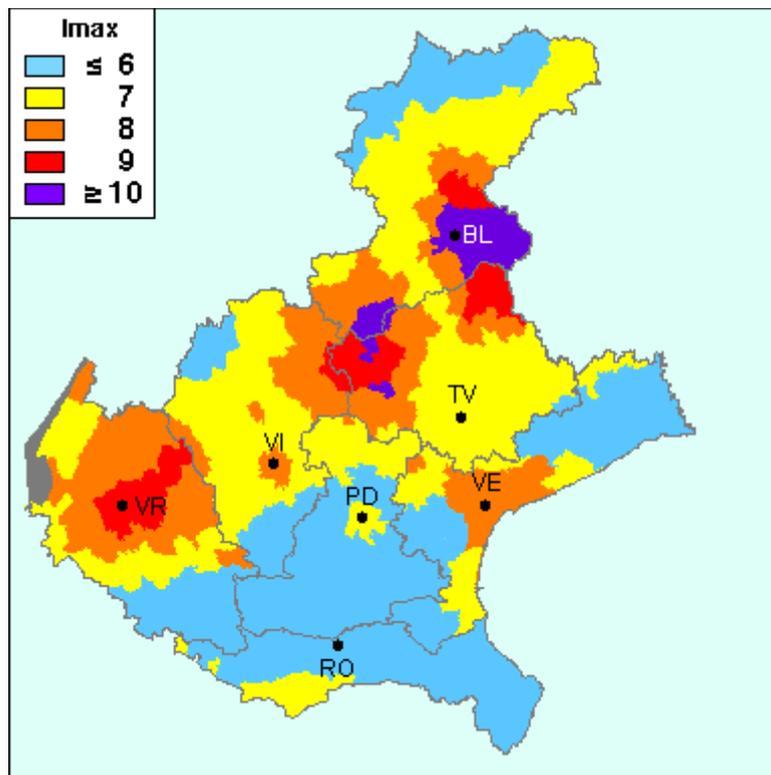


Fig.2 Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni veneti (Molin, Stucchi e Valensise-1996). Si rimanda all'appendice 1 per gli elenchi completi dei singoli comuni della Regione.

1.1 CATALOGHI DI SISMICITA' STORICA

Il catalogo di sismicità storica é costituito dall'elenco di tutti gli eventi sismici, di cui ovviamente si sia a conoscenza e che hanno interessato l'area in esame dai tempi più remoti possibili al presente.

Va precisato, che i parametri dei terremoti su di un catalogo possono derivare sia da dati macrosismici, ossia valutati sulla base degli effetti prodotti per mezzo delle scale di intensità (terremoti storici), oppure da dati strumentali, ossia sulla base di registrazioni ottenute per mezzo di sismometri ed accelerometri.

Uno dei lavori più recenti è il catalogo *NT4.1: 'Un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno'* (a cura di Camassi & Stucchi, 1997), che però ha considerato in modo completo solo eventi al di sopra di una determinata soglia \geq V-VI grado MCS. Il catalogo ha tenuto conto della notevolissima produzione di studi di sismologia storica promossi dall'ENEL per la qualificazione dei siti degli impianti nucleari e della disponibilità per gli ultimi decenni dei dati strumentali della rete sismica nazionale dell'ING e delle reti sismiche locali.

Il catalogo **NT4.1** comprende oltre 3000 eventi principali la cui intensità epicentrale è maggiore o uguale al V-VI grado MCS o la cui magnitudo M_s è maggiore o uguale a 4. Per garantire l'indipendenza degli eventi alla base dell'ipotesi di stazionarietà, implicita nel metodo di Cornell (metodologia di calcolo della pericolosità tra le più usate in Europa e nel mondo: vedesi paragrafo NN), sono stati rimossi gli 'aftershock' e i 'foreshock' all'interno di una finestra spazio-temporale di 30 Km e ± 90 giorni.

Il NT4. 1 è basato su un dataset macrosismico compilato in modo omogeneo consultabile all'indirizzo internet: <http://www.emidius.itim.mi.cnr.it/GNDT/home.html>.

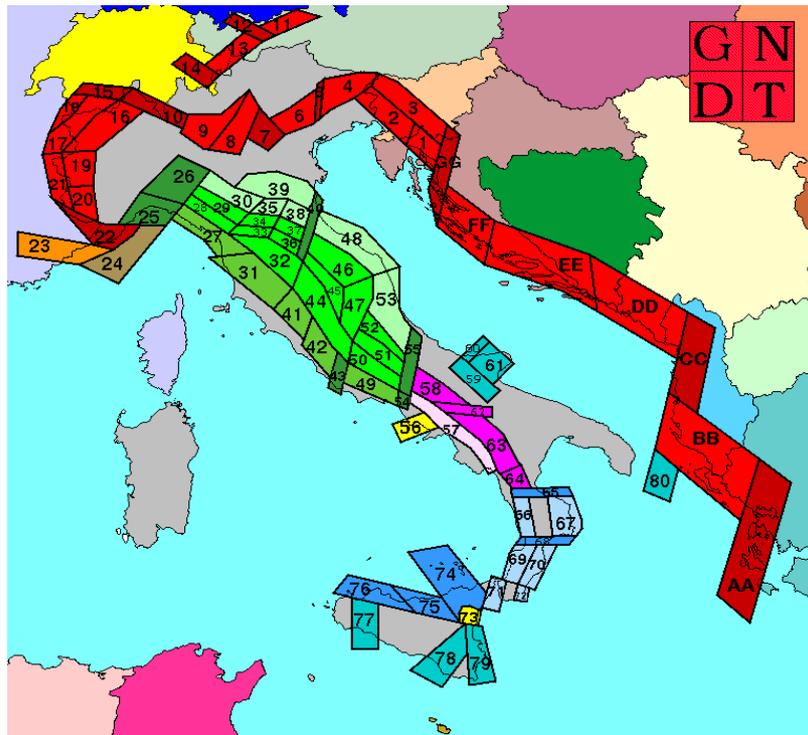
1.2 ZONAZIONE SISMOGENETICA

Il nostro lavoro si basa, come già indicato, sulla disponibilità di una corretta modellazione dell'input sismico, basata su criteri scientificamente accreditati.

Le faglie generatrici di terremoti si concentrano lungo direttrici tettoniche in cui sono presenti situazioni di maggiore debolezza strutturale: tali aree sono definite "*sismogenetiche*". Da anni è stata definita, sulla base di dati geologici e geofisici aggiornati, una carta di zonazione della principali zone sismogenetiche, la **ZS4** (fig.3). Essa si basa su un'analisi cinematica degli elementi geologici, cenozoici e quaternari ed assume un ruolo primario nella ricerca delle relazioni tra le strutture litosferiche profonde, quelle crostali e quelle attive in superficie. Il confronto tra il modello geodinamico prodotto e la sismicità osservata ha permesso di definire un modello cinematico evolutivo della penisola italiana e di suddividere il territorio nazionale in 80 zone omogenee dal punto di vista strutturale e sismogenetico.

Tra le zone sismogenetiche e il catalogo sismico vi è una relazione geografica, per cui ciascun evento, nella quasi totalità dei casi, ricade in una zona sismogenetica.

Fig.3 Zonazione sismogenetica ZS4 del territorio nazionale ed aree limitrofe



Il colore di ogni zona è indicativo del contesto cinematico e dei meccanismi di rottura attesi, secondo la seguente **Legenda della zonazione sismogenetica ZS.4** (aprile 1996, da <http://emidius.mi.ingv.it/gndt/zone/>).

A. Zone di interazione tra piastra adriatica e piastra europea (Alpi e Sudalpino) e zone di interazione tra piastra adriatica e sistema dinarico (Dinaridi ed Ellenidi fino allo svincolo di Cefalonia). L'asse di compressione massima, suborizzontale segue i vettori di spostamento dell'indenter insubrico.

- 1.1 Aree con meccanismi di rottura attesi di tipo thrust e transpressivi
- 2.2 Aree di svincolo, con meccanismi di rottura attesi di tipo transpressivo o strike-slip

B. Zone legate al margine interno della piastra padano-adriatico-ionica in subduzione sotto la catena appenninica.

- 2.1 Fascia padano-adriatica in compressione. Meccanismi di rottura attesi: thrust e strike-slip
- 2.2 Fascia intermedia. Meccanismi di rottura attesi: misti, con prevalenza di dip-slip
- 2.3 Fascia tirrenica in distensione. Meccanismi di rottura attesi: dip-slip
- 2.4 Zone di svincolo (transfer). Meccanismi di rottura attesi: misti, con prevalenza di strike-slip.

Non è ancora definitivamente chiarito se l'Arco Calabro appartiene a questo gruppo o al gruppo 3. Nella prima ipotesi:

- 2.5.a Fasce sismogenetiche longitudinali. Meccanismi di rottura attesi: misti, con prevalenza di dip-slip

2.5.b Zone di svincolo. Meccanismi di rottura attesi: strike-slip

C. Zone legate al recente sollevamento della catena appenninica, successivo ad una lunga storia di migrazione spazio-temporale del sistema catena-avampaese.

3.1 Fascia appenninica principale. Meccanismi di rottura attesi: dip-slip e subordinatamente strike-slip

3.2 Margine tirrenico. Meccanismi di rottura attesi: dip-slip

D. Zone legate ad un regime compressivo giovane impostato su un precedente regime distensivo.

4.1 Mar Ligure. Meccanismi di rottura attesi: thrust e strike-slip

4.2 Liguria occidentale. Meccanismi di rottura attesi: strike-slip e transpressione

E. Zone di rottura all'interno della piastra di avampaese e lungo i suoi margini in flessione

5 Belice, Iblei, Scarpata Ibleo-Maltese, Gargano-Tremi, Canale d'Otranto. Meccanismi di rottura attesi: misti, con prevalenza di dip-slip nelle aree di flessura e lungo la scarpata di Malta e di strike-slip nelle altre

F. Zone vulcaniche

6 Ischia-Flegrei, Vesuvio ed Etna, con terremoti molto superficiali. Meccanismi di rottura attesi per i terremoti meno superficiali: dip-slip per l'area campana e misti (dip-slip e strike-slip) per l'Etna

In Figura 4 è visibile, per il territorio del Veneto, la distribuzione delle magnitudo per gli eventi catalogati ricadenti nelle zone sismogenetiche definite e utilizzati per lo sviluppo dei segnali sintetici.

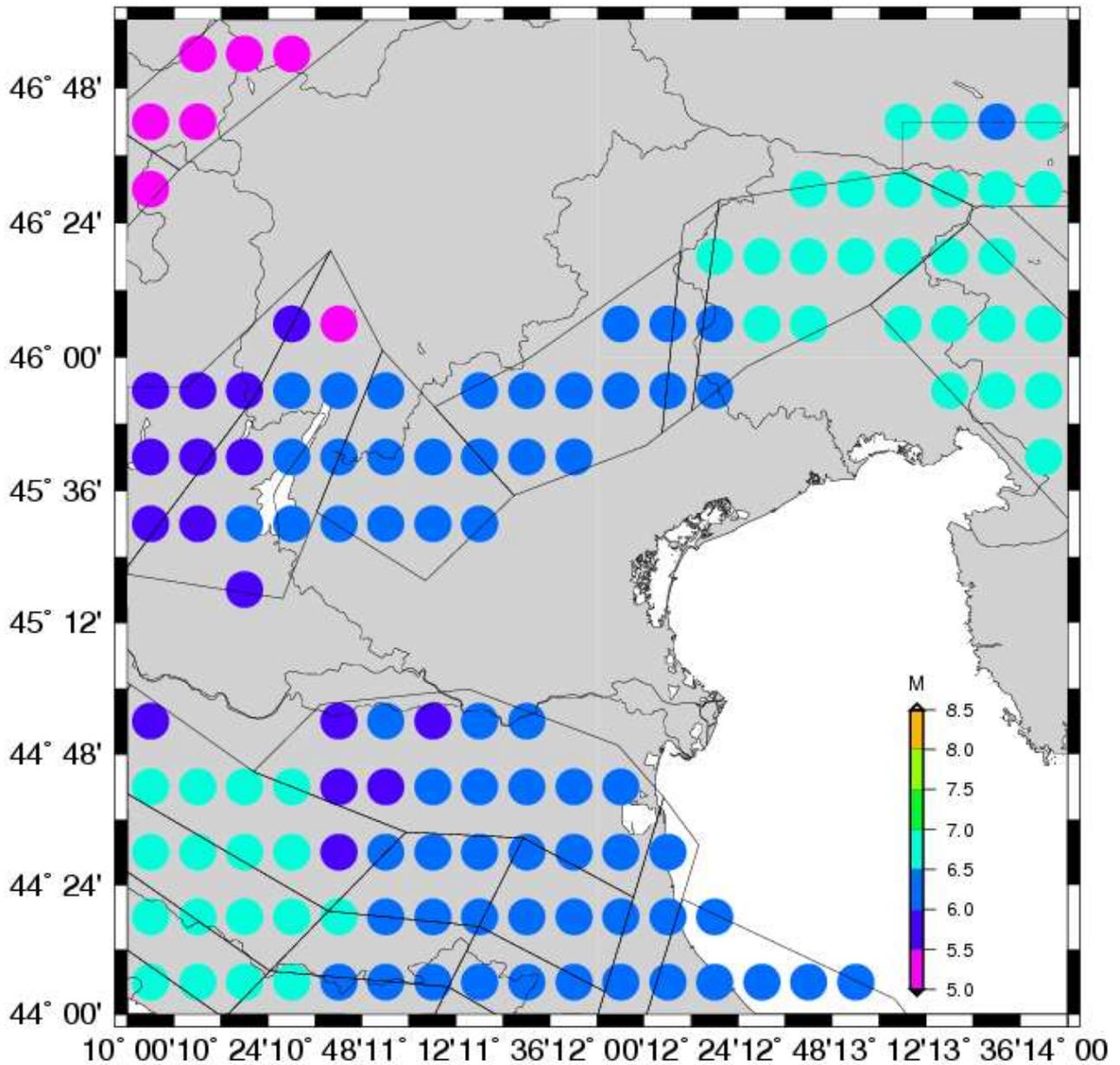


Fig.4 Distribuzione delle magnitudo per le celle appartenenti alle zone sismogenetiche definite. GNDT (1996)

1.3 INQUADRAMENTO LOCALE

Il NordEst italiano, dal punto di vista sismico, è contornato da molte aree sismogenetiche come si evince dalla Figura 3 nella quale viene riportato l'insieme delle aree sismogenetiche italiane (zonazione sismogenetica a cura del Gruppo Nazionale Difesa Terremoti).

Il territorio del NordEst è bordato ad Est dall'elevata sismicità dell'area istriano-slovena (aree n° 1, 2 e 3), a Nord dall'area friulano-carnica (area n° 4), a Nord-Ovest dall'area di Belluno-Alpago-Cansiglio, con una propaggine verso l'asolano – Montello (aree n° 5 e 6), da Ovest dall'area del veronese-lago di Garda (aree n° 7 ed 8) ed infine da Sud dell'Appennino emiliano-romagnolo

(area 39).

Questa caratterizzazione è chiaramente motivata dalla costante attività sismica che si riscontra soprattutto nell'area friulano-carnica ma che trova importanti riscontri anche nelle aree venete funestate, ad esempio, dai terremoti di Belluno del 1873, del Cansiglio 1936 e di Asolo del 1695. Negli ultimi secoli, le aree della pianura veneta sono state oggetto di forti risentimenti di sismicità indotta dalle sopramenzionate aree sismogenetiche ma non da episodi sismici direttamente originatisi nelle zone della pianura veneta o del golfo di Venezia.

Notizie storiche, che si riferiscono ai primi secoli del secondo millennio d.C., descrivono una situazione ben più inquietante dato che rovinosi cataclismi sono segnalati in tutte le città venete: Venezia ed il suo litorale compresi.

Se questo insieme di conoscenze sismologiche, storico–strumentali, è alla base della valutazione della massima Intensità Macrosismica osservata tuttavia poco dice sui più probabili periodi di ritorno di sismi la cui memoria si perde nei secoli e forse nei millenni.

Questo argomento è, come è noto, di attualità nel nostro Paese dato il verificarsi di terremoti, fortunatamente non dei più distruttivi, in aree non ufficialmente classificate come zone sismiche e che solo recenti studi attribuivano, per alcune di esse, una certa propensione al rischio sismico.

La questione della classificazione sismica, soprattutto delle aree tradizionalmente identificate come asismiche o a bassa sismicità, rimane dunque aperta e deve essere approfondita da studi specifici che coinvolgano tutti gli aspetti in gioco: dalla Sismologia alla Geologia strutturale, la Geodinamica ecc.

Relativamente a questo ultimo punto è da sottolineare che la sua importanza contingente riguarda l'enorme espansione urbanistica ed industriale sviluppatasi in totale assenza di normativa antisismica cui va aggiunto l'immenso secolare patrimonio edilizio e monumentale che spesso mal sopporta l'azione di sismi anche di modesta intensità.

2 MODELLI

Il metodo utilizzato richiede una modellizzazione del suolo che prevede modelli del terreno definiti come una somma di strati orizzontali, definiti dalla velocità delle onde longitudinali e trasversali nello strato, la densità, lo spessore e il fattore Q che controlla le attenuazioni anelastiche. Tali modelli sono normalmente assunti come rappresentativi di zone la cui dimensione è relazionata alla scala di indagine perseguita.

2.1 MODELLI E POLIGONI STRUTTURALI

Volendo ricondurre al Veneto il lavoro sviluppato dal Prof. Panza ed il suo gruppo di studio per l'intera nazione (e.g. "Deterministic Seismic Hazard Assessment" Panza et al. da F.Wenzel et al. (eds), "Vrancea Earthquakes: Tectonics, Hazard and Risk Mitigation" 1999), è stato dapprima necessario individuare dei modelli strutturali locali che descrivessero il territorio regionale.

Il territorio in esame viene suddiviso in "poligoni strutturali", che rappresentano porzioni della regione indagata caratterizzate da nature strutturali assimilabili. Ad ogni poligono infatti viene associato un modello strutturale di sottosuolo definito come già descritto.

Il lavoro, già svolto a scala nazionale, divideva difatti la Regione Veneto in due soli poligoni strutturali, denominati Est4a e Pad2a. A ciascuno dei poligoni era associato un modello di terreno, in questo caso per entrambi assimilabile a condizioni rigide (bedrock) con Vs superficiali di 2700m/s, e di 1700m/s rispettivamente (vedi fig. 5).

Il primo step del lavoro è stato dunque cercare di ricondurre il territorio regionali a semplici modelli assimilabili dai software di calcolo.

Come si esporrà in seguito, la classificazione del territorio regionale si è basata sulla cartografia geologica e geomorfologia con le necessarie semplificazioni dettate dallo scopo del progetto, dai limiti di software di calcolo, e dal tentativo di attenersi alle linee guide di classificazione proposte dall'Eurocodice 8 (vedi cap.6).

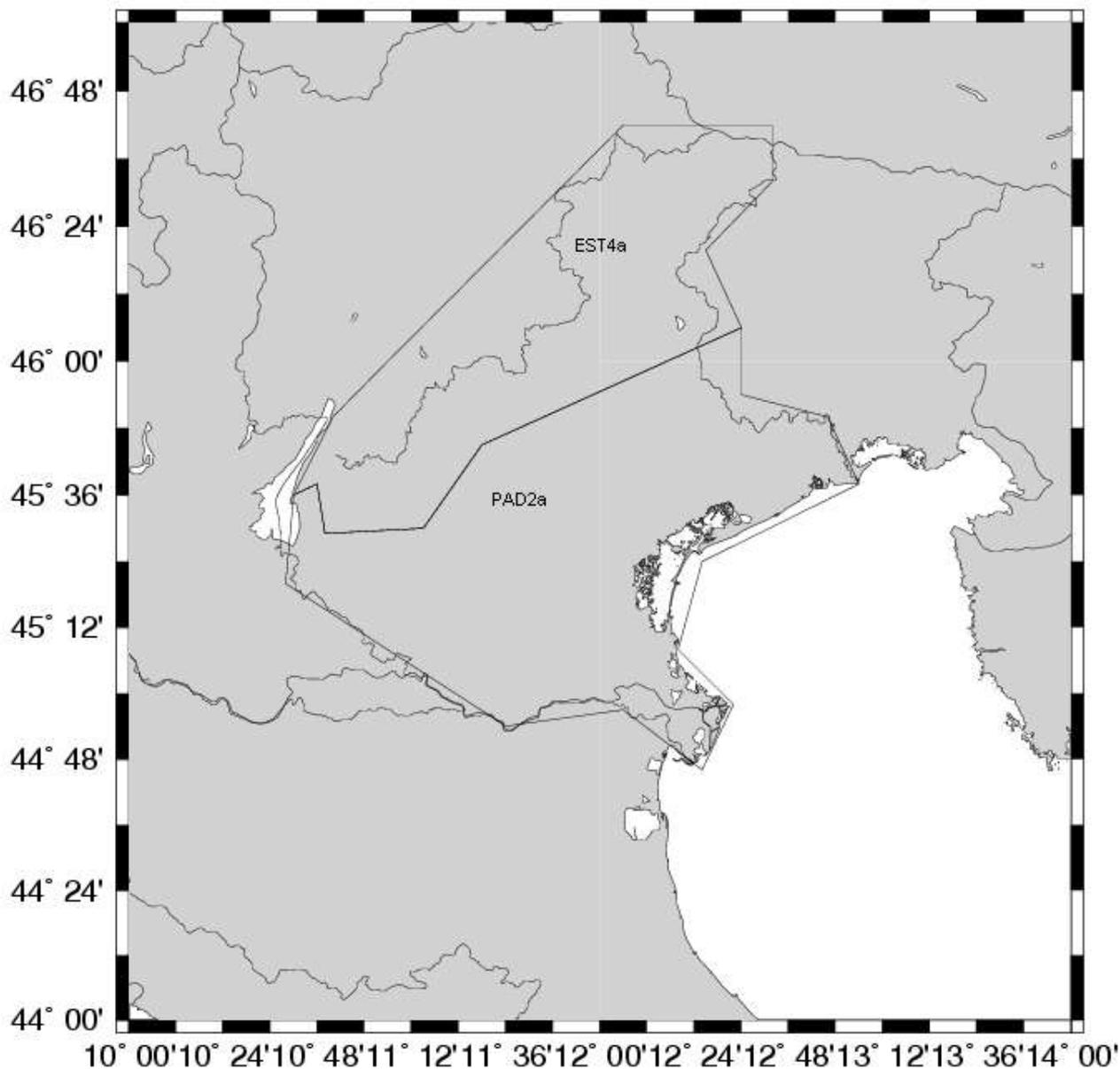


Fig.5 Poligoni Strutturali Est4a e Pad2a

Va precisato che i limiti del metodo e l'impostazione stessa del progetto imponevano un carattere generale alla modellazione, che doveva rappresentare degnamente la complessa realtà regionale ed essere al contempo gestibile per un'efficace costruzione dei segnali sintetici. In Tabella 1 è visibile la classificazione dei suoli suggerita dall'Eurocodice 8. Volendo attenersi a questa ultima abbiamo cercato di individuare per il territorio regionale delle classi di terreno, come le 5 descritte, con l'aggiunta di una sesta classe S1 non parametrizzata dalla normativa, che ne prevede una descrizione litologica: "Depositi consistenti, o che contengano uno strato di almeno 10m di spessore, di deboli argille/silts con alti indici di plasticità ($IP > 40$) ed elevato contenuto d'acqua". L'Eurocodice lascia ai singoli operatori la ricerca dei parametri locali più opportuni per descrivere

tale classe. L'introduzione della classe S1 si è resa ovviamente necessaria per tutta l'area costiera della regione, data la sua complessa natura di carattere lagunare e litoraneo, che impone la cautela di attribuirle velocità di propagazione ben inferiori alle altre zone.

<u>Subsoil class</u>	<u>Description of stratigraphic profile</u>	<u>Parameters</u>		
		<u>$V_{s,30}$ (m/s)</u>	<u>N_{SPT} (bl/30cm)</u>	<u>c_u (kPa)</u>
<u>A</u>	<u>Rock or other rock-like geological formation, including at most 5 m of weaker material at the surface</u>	<u>> 800</u>	<u>=</u>	<u>=</u>
<u>B</u>	<u>Deposits of very dense sand, gravel, or very stiff clay, at least several tens of m in thickness, characterised by a gradual increase of mechanical properties with depth</u>	<u>360 – 800</u>	<u>> 50</u>	<u>> 250</u>
<u>C</u>	<u>Deep deposits of dense or medium-dense sand, gravel or stiff clay with thickness from several tens to many hundreds of m</u>	<u>180 – 360</u>	<u>15 - 50</u>	<u>70 - 250</u>
<u>D</u>	<u>Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil</u>	<u>< 180</u>	<u>< 15</u>	<u>< 70</u>
<u>E</u>	<u>A soil profile consisting of a surface alluvium layer with $V_{s,30}$ values of class C or D and thickness varying between about 5 m and 20 m, underlain by stiffer material with $V_{s,30} > 800$ m/s</u>			
<u>S₁</u>	<u>Deposits consisting – or containing a layer at least 10 m thick – of soft clays/silts with high plasticity index (PI > 40) and high water content</u>	<u>< 100 (indicatively)</u>	<u>=</u>	<u>10 - 20</u>
<u>S₂</u>	<u>Deposits of liquefiable soils, of sensitive clays, or any other soil profile not included in classes A –E or S₁</u>			

Tab. 1 Classificazione delle classi di suolo secondo Eurocodice8 (2003).

$$v_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{v_i}}$$

Formula V_{s30} proposta da EC8; h e v rappresentano lo spessore e le velocità di shear degli N strati dei primi 30 metri di sottosuolo.

E' d'obbligo precisare che la caratterizzazione dei terreni, imposta dallo scopo dello studio, è basata essenzialmente sulle proprietà di propagazione delle onde sismiche, e più specificamente, come definito dall'EC8, sulle velocità delle onde S dei primi 30 metri di sottosuolo dei singoli terreni.

La classificazione delle diverse tipologie di suolo ha considerato naturalmente anche la descrizione litologica ed i parametri geotecnici forniti.

2.2 PRIMA MODELLAZIONE

I modelli utilizzati derivano dal modello crostale già definito per i precedenti progetti di studio, essendo stata modificata la natura dei soli strati superficiali. Come descritto, i modelli di sottosuolo sono definiti dagli spessori degli strati, le velocità delle onde compressionali e di taglio, i relativi fattori Q di attenuazione; sono inoltre indicati la profondità ed il numero di strati.

Una prima definizione delle strutture e dei poligoni è stata redatta a partire dalla carta geomorfologica e dalla carta geologica della Regione Veneto, individuando 6 poligoni strutturali, di sviluppo essenzialmente longitudinale, allo scopo di rappresentare le diverse condizioni che s'incontrano in estensione longitudinale dalle alpi alla bassa pianura. Questa prima caratterizzazione sommaria si è rilevata, come si vedrà in seguito, sicuramente troppo approssimativa, in particolar modo per quel che riguarda le velocità considerate nei modelli della fascia prealpina e di alta pianura e l'ubicazione stessa dei limiti dei poligoni, che in moto di prima approssimazione, non considerava i colli Berici ed Euganei, inglobandoli nell'esteso poligono della pianura.

I modelli di strutture associati ai poligoni utilizzati in questa prima parte del lavoro, di seguito esposti, sono così nominati e classificati:

- Vene1 (classificazione Eurocodice terreno A)
- Venp1 (classificazione Eurocodice terreno B)
- Venp2 (classificazione Eurocodice terreno C)
- Venp3 (classificazione Eurocodice terreno D)
- Venp4 (classificazione Eurocodice terreno E)
- Venp5 (classificazione Eurocodice terreno S1)

Nelle pagine seguenti in Tabella 2 è descritto il modello completo pertinente alla struttura Venet.

Tab. 2 Struttura completa Venet

thk(km)	rho	Vp(km/s)	Vs(km/s)	Qp	Qs	depth(km)	layer
.5000	2.45	4.800000	2.700000	1100.00	500.00	.50000	1
1.5000	2.60	5.600000	3.200000	1100.00	500.00	2.00000	2
2.0000	2.65	5.800000	3.300000	1100.00	500.00	4.00000	3
2.0000	2.70	6.200000	3.500000	1100.00	500.01	6.00000	4
8.0000	2.70	5.700000	3.300100	1100.00	499.99	14.00000	5
2.0000	2.70	6.200000	3.550000	1100.00	500.00	16.00000	6
21.0000	2.80	6.500000	3.700000	1100.00	500.00	37.00000	7
3.0000	2.90	7.000000	4.000000	1100.00	500.00	40.00000	8
3.0000	3.10	7.500000	4.300000	1100.00	500.00	43.00000	9
40.0000	3.35	8.100000	4.500000	1099.99	500.01	83.00000	10
27.0000	3.35	8.100000	4.250600	220.00	99.98	110.00000	11
90.0000	3.40	8.100000	4.250200	220.00	99.99	200.00000	12
15.0000	3.45	8.200000	4.400000	220.00	100.00	215.00000	13
15.0000	3.45	8.300000	4.500000	220.00	100.00	230.00000	14
20.0000	3.45	8.400000	4.600000	220.00	100.00	250.00000	15
60.0000	3.50	8.400000	4.600200	220.00	99.99	310.00000	16
9.0000	3.50	8.700000	4.750000	329.99	150.00	319.00000	17
10.0000	3.52	8.740000	4.750100	330.00	150.00	329.00000	18
20.0000	3.54	8.760000	4.750200	330.00	149.99	349.00000	19
24.0000	3.56	8.980000	4.880000	329.99	150.00	373.00000	20
20.0000	3.58	9.000000	4.900000	330.00	150.00	393.00000	21
20.0000	3.65	9.038000	5.000000	330.00	150.00	413.00000	22
32.0000	3.70	9.038000	5.000100	330.00	150.00	445.00000	23
20.0000	3.75	9.489000	5.250000	330.01	150.00	465.00000	24
25.0000	3.80	9.500000	5.253000	330.00	150.00	490.00000	25
25.0000	3.85	9.516000	5.257000	330.00	150.00	515.00000	26
25.0000	3.90	9.526000	5.260000	330.01	150.00	540.00000	27
25.0000	3.95	9.576000	5.285000	330.01	150.00	565.00000	28
25.0000	4.00	9.630000	5.313000	329.99	150.00	590.00000	29
25.0000	4.05	9.683000	5.340000	329.99	150.00	615.00000	30
25.0000	4.10	9.736000	5.367000	374.01	170.00	640.00000	31
25.0000	4.20	9.782000	5.390000	440.00	200.00	665.00000	32
25.0000	4.25	10.014000	5.518000	506.00	230.00	690.00000	33
25.0000	4.30	10.180000	5.630000	572.00	260.00	715.00000	34
25.0000	4.35	10.190000	5.746000	638.00	290.00	740.00000	35
25.0000	4.40	10.492000	5.850000	704.00	320.00	765.00000	36
25.0000	4.41	10.677000	5.950000	770.00	349.99	790.00000	37
25.0000	4.42	10.852000	6.044000	836.00	380.00	815.00000	38
25.0000	4.42	11.025000	6.140000	902.00	410.00	840.00000	39
25.0000	4.43	11.180000	6.230000	968.00	440.00	865.00000	40
25.0000	4.45	11.224000	6.250000	1045.00	475.00	890.00000	41

25.0000	4.47	11.267000	6.275000	1100.00	500.01	915.00000	42
25.0000	4.50	11.310000	6.297000	1165.99	529.99	940.00000	43
25.0000	4.53	11.350000	6.322000	1232.01	560.00	965.00000	44
25.0000	4.55	11.392000	6.340000	1320.01	600.00	990.00000	45
25.0000	4.58	11.434000	6.360000	1375.00	624.98	1015.00000	46
25.0000	4.60	11.476000	6.375000	1452.02	659.97	1040.00000	47
25.0000	4.63	11.518000	6.390000	1506.99	685.00	1065.00000	48
25.0000	4.66	11.560000	6.405000	1584.00	720.01	1090.00000	49
25.0000	4.68	11.600000	6.421000	1650.02	749.97	1115.00000	50

Nella seguente Tabella 3 sono riportati esclusivamente i modelli comprendenti gli strati più superficiali delle restanti strutture, essendo inalterata la modellazione degli strati profondi.

Tab. 3 Modelli degli strati superficiali delle strutture Venp1, Venp2, Venp3, Venp4, Venp5 (prima modellazione).

Struttura Venp1

thk (km)	rho	Vp (km/s)	Vs (km/s)	Qp	Qs	depth (km)	layer
.1000	2.00	.900000	.500000	200.00	100.00	.10000	1
.0500	2.00	2.400000	1.400000	2200.00	1000.01	.15000	2
.2000	2.10	2.400000	1.400100	2200.00	999.94	.35000	3
.6500	2.20	2.400000	1.400400	2200.00	999.72	1.00000	4
1.5000	2.30	2.400000	1.400700	2200.00	999.51	2.50000	5
1.0000	2.40	2.400000	1.400900	2200.00	999.37	3.50000	6
1.5000	2.50	3.800000	2.200000	2199.99	1000.01	5.00000	7
2.0000	2.60	4.500000	2.550000	2200.00	999.99	7.00000	8
5.0000	2.65	5.400000	3.100000	2199.98	1000.00	12.00000	9
13.0000	2.75	6.200000	3.500000	2199.99	999.98	25.00000	10
10.0000	2.90	7.500000	4.200000	2200.00	999.98	35.00000	11
65.0000	3.35	8.200000	4.600000	2200.01	999.96	100.00000	12
35.0000	3.40	8.200000	4.600600	220.00	99.98	135.00000	13
65.0000	3.40	8.100000	4.250200	220.00	99.99	200.00000	14

Struttura Venp2

thk (km)	rho	Vp (km/s)	Vs (km/s)	Qp	Qs	depth(km)	layer
.1000	2.00	.450000	.250000	200.00	100.00	.10000	1
.1000	2.00	.900000	.500000	200.00	100.00	.20000	2
.0500	2.00	2.400000	1.400000	2200.00	1000.01	.25000	3
.2000	2.10	2.400000	1.400100	2200.00	999.94	.45000	4
.5500	2.20	2.400000	1.400400	2200.00	999.72	1.00000	5
1.5000	2.30	2.400000	1.400700	2200.00	999.51	2.50000	6
1.0000	2.40	2.400000	1.400900	2200.00	999.37	3.50000	7
1.5000	2.50	3.800000	2.200000	2199.99	1000.01	5.00000	8
2.0000	2.60	4.500000	2.550000	2200.00	999.99	7.00000	8
5.0000	2.65	5.400000	3.100000	2199.98	1000.00	12.00000	10
13.0000	2.75	6.200000	3.500000	2199.99	999.98	25.00000	11
10.0000	2.90	7.500000	4.200000	2200.00	999.98	35.00000	12
65.0000	3.35	8.200000	4.600000	2200.01	999.96	100.00000	13
35.0000	3.40	8.200000	4.600600	220.00	99.98	135.00000	14
65.0000	3.40	8.100000	4.250200	220.00	99.99	200.00000	15

Struttura Venp3

thk (km)	rho	Vp (km/s)	Vs (km/s)	Qp	Qs	depth(km)	layer
.2000	2.00	.280000	.150000	100.00	50.00	.20000	1
.2000	2.00	.450000	.250000	100.00	50.00	.40000	2
.1000	2.00	.900000	.500000	200.00	100.00	.50000	3
.0500	2.00	2.400000	1.400000	2200.00	1000.01	.55000	4
.2000	2.10	2.400000	1.400100	2200.00	999.94	.75000	5
.5500	2.20	2.400000	1.400400	2200.00	999.72	1.30000	6
1.2000	2.30	2.400000	1.400700	2200.00	999.51	2.50000	7
1.0000	2.40	2.400000	1.400900	2200.00	999.37	3.50000	8
1.5000	2.50	3.800000	2.200000	2199.99	1000.01	5.00000	9
2.0000	2.60	4.500000	2.550000	2200.00	999.99	7.00000	10
5.0000	2.65	5.400000	3.100000	2199.98	1000.00	12.00000	11
13.0000	2.75	6.200000	3.500000	2199.99	999.98	25.00000	12
10.0000	2.90	7.500000	4.200000	2200.00	999.98	35.00000	13
65.0000	3.35	8.200000	4.600000	2200.01	999.96	100.00000	14
35.0000	3.40	8.200000	4.600600	220.00	99.98	135.00000	15
65.0000	3.40	8.100000	4.250200	220.00	99.99	200.00000	16

Struttura Venp4

thk(km)	rho	Vp(km/s)	Vs(km/s)	Qp	Qs	depth(km)	layer
.0200	2.00	.450000	.250000	200.00	100.00	.02000	1
.0500	2.00	2.400000	1.400000	2200.00	1000.01	.07000	2
.2800	2.10	2.400000	1.400100	2200.00	999.94	.35000	3
.6500	2.20	2.400000	1.400400	2200.00	999.72	1.00000	4
1.5000	2.30	2.400000	1.400700	2200.00	999.51	2.50000	5
1.0000	2.40	2.400000	1.400900	2200.00	999.37	3.50000	6
1.5000	2.50	3.800000	2.200000	2199.99	1000.01	5.00000	7
2.0000	2.60	4.500000	2.550000	2200.00	999.99	7.00000	8
5.0000	2.65	5.400000	3.100000	2199.98	1000.00	12.00000	9
13.0000	2.75	6.200000	3.500000	2199.99	999.98	25.00000	10
10.0000	2.90	7.500000	4.200000	2200.00	999.98	35.00000	11
65.0000	3.35	8.200000	4.600000	2200.01	999.96	100.00000	12
35.0000	3.40	8.200000	4.600600	220.00	99.98	135.00000	13
65.0000	3.40	8.100000	4.250200	220.00	99.99	200.00000	14

Struttura Venp5

thk(km)	rho	Vp(km/s)	Vs(km/s)	Qp	Qs	depth(km)	layer
.9000	2.00	.150000	.080000	100.00	50.00	.90000	1
.5000	2.00	.280000	.150000	100.00	50.00	1.40000	2
.4000	2.00	.450000	.250000	200.00	100.00	1.80000	3
.2000	2.00	.900000	.500000	200.00	100.00	2.00000	4
.0500	2.00	2.400000	1.400000	2200.00	1000.01	2.05000	5
.1000	2.10	2.400000	1.400100	2200.00	999.94	2.15000	6
.4500	2.20	2.400000	1.400400	2200.00	999.72	2.60000	7
1.1000	2.30	2.400000	1.400700	2200.00	999.51	3.70000	8
.9000	2.40	2.400000	1.400900	2200.00	999.37	4.60000	9
1.1000	2.50	3.800000	2.200000	2199.99	1000.01	5.70000	10
1.8000	2.60	4.500000	2.550000	2200.00	999.99	7.50000	11
4.8000	2.65	5.400000	3.100000	2199.98	1000.00	12.30000	12
12.7000	2.75	6.200000	3.500000	2199.99	999.98	25.00000	13
10.0000	2.90	7.500000	4.200000	2200.00	999.98	35.00000	14
65.0000	3.35	8.200000	4.600000	2200.01	999.96	100.00000	15
35.0000	3.40	8.200000	4.600600	220.00	99.98	135.00000	16
65.0000	3.40	8.100000	4.250200	220.00	99.99	200.00000	17

Tab. 3 Modelli degli strati superficiali delle strutture Venp1, Venp2, Venp3, Venp4, Venp5 (prima modellazione).

In figura 6 sono visibili i poligoni associati alle 6 strutture.

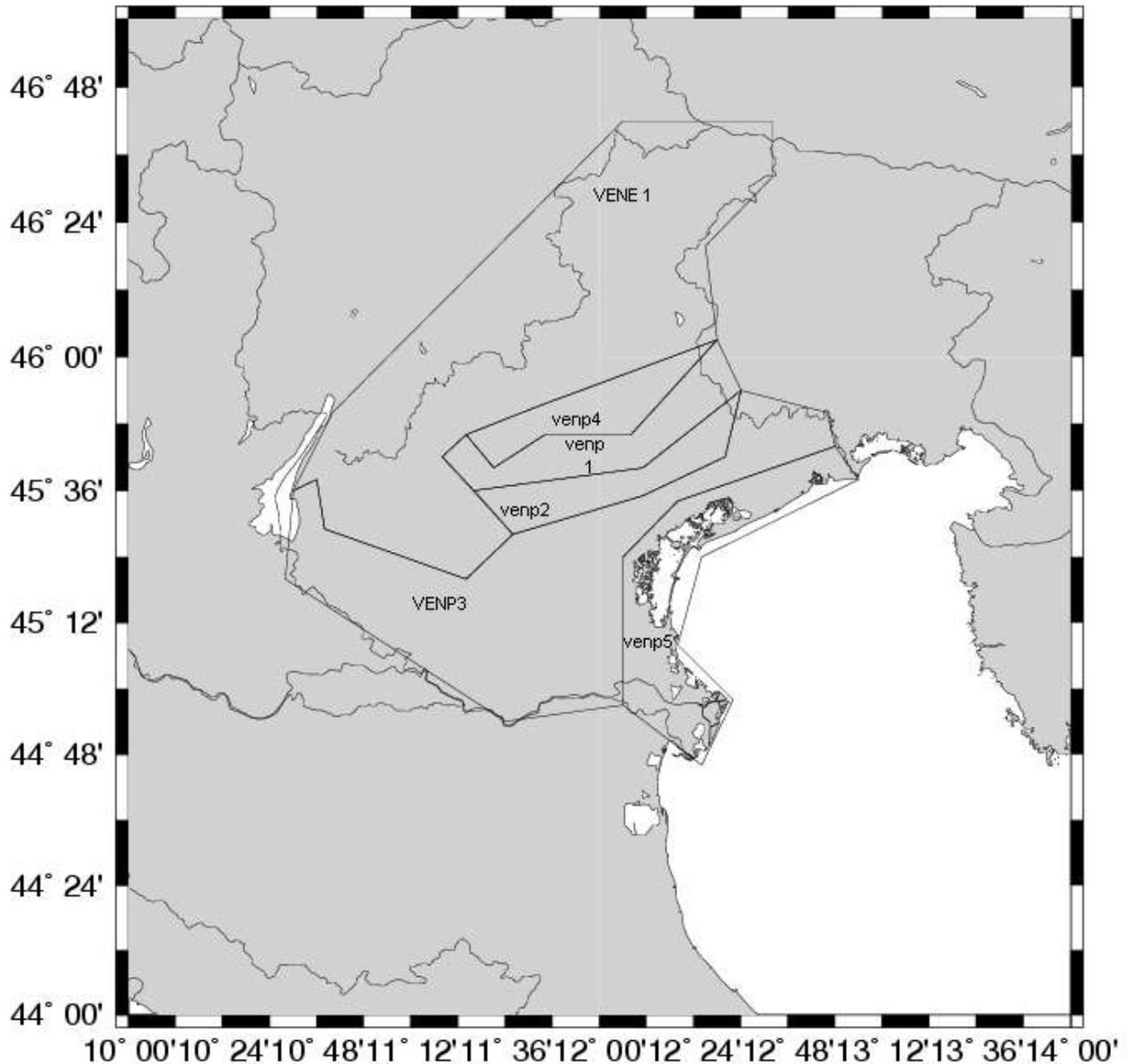


Fig.6 Poligoni strutturali individuati per la Regione Veneto (prima modellazione).

I risultati ottenuti con questo primo tentativo di elaborazione sono esposti nelle pagine seguenti. Le mappe coi valori attesi di spostamento (fig.7), velocità (fig.8) e accelerazione (fig. 9) si riferiscono al caso limitato ad 1 Hz.

Il metodo utilizzato permette di ottenere un valore per ogni nodo di una griglia quadrata di 0,2° di lato, il cui centro è considerato sorgente dell'evento. Per il territorio del Veneto, compreso circa tra i 44°48' e i 46°48' di longitudine Nord, e tra i 10°36' e i 13°00' di longitudine Est, si ottengono 62 nodi di griglia a cui corrispondono 62 valori attesi del parametro analizzato. Le mappe sono facilmente leggibili con i diversi cromatismi che indica la legenda esposta in ogni figura. I punti di misura coprono l'intero territorio regionale e le sue immediate vicinanze.

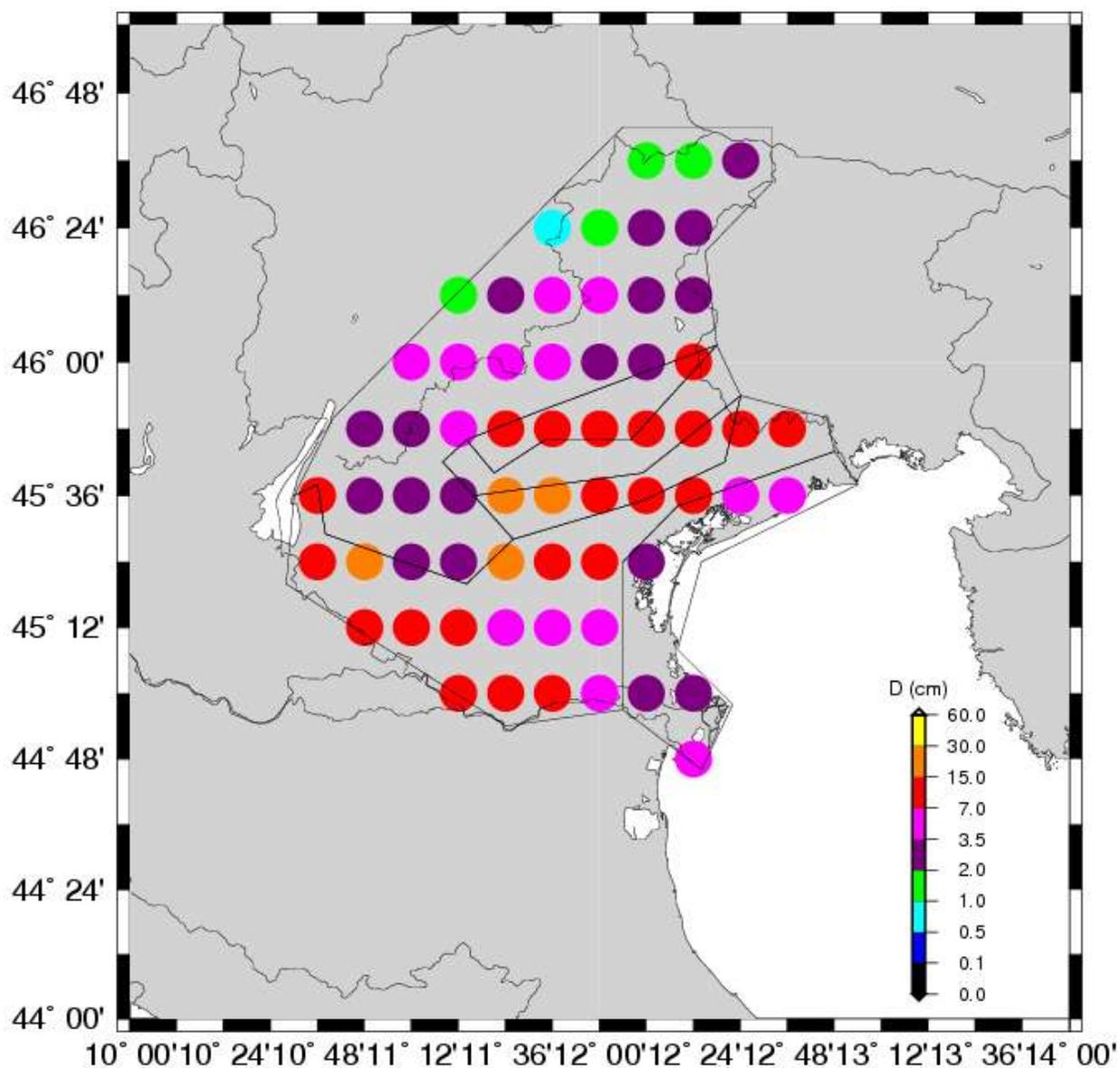


Fig. 7 Spostamento massimo (Displacement) atteso per la Regione Veneto. I risultati sono calcolati con frequenza limite di 1 Hz.

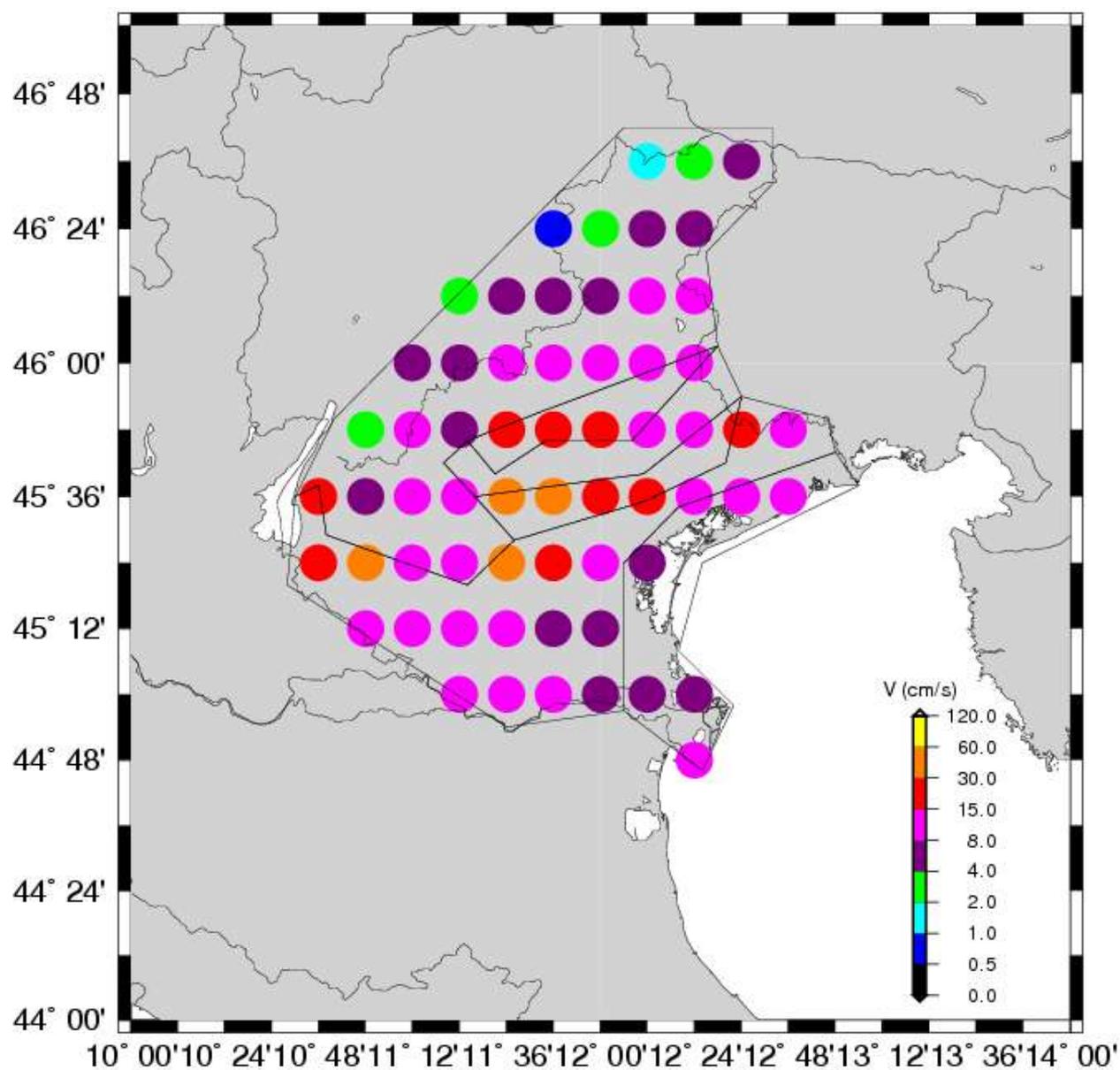


Fig 8 Velocità massima attesa per la Regione Veneto. I risultati sono calcolati con frequenza limite di 1 Hz.

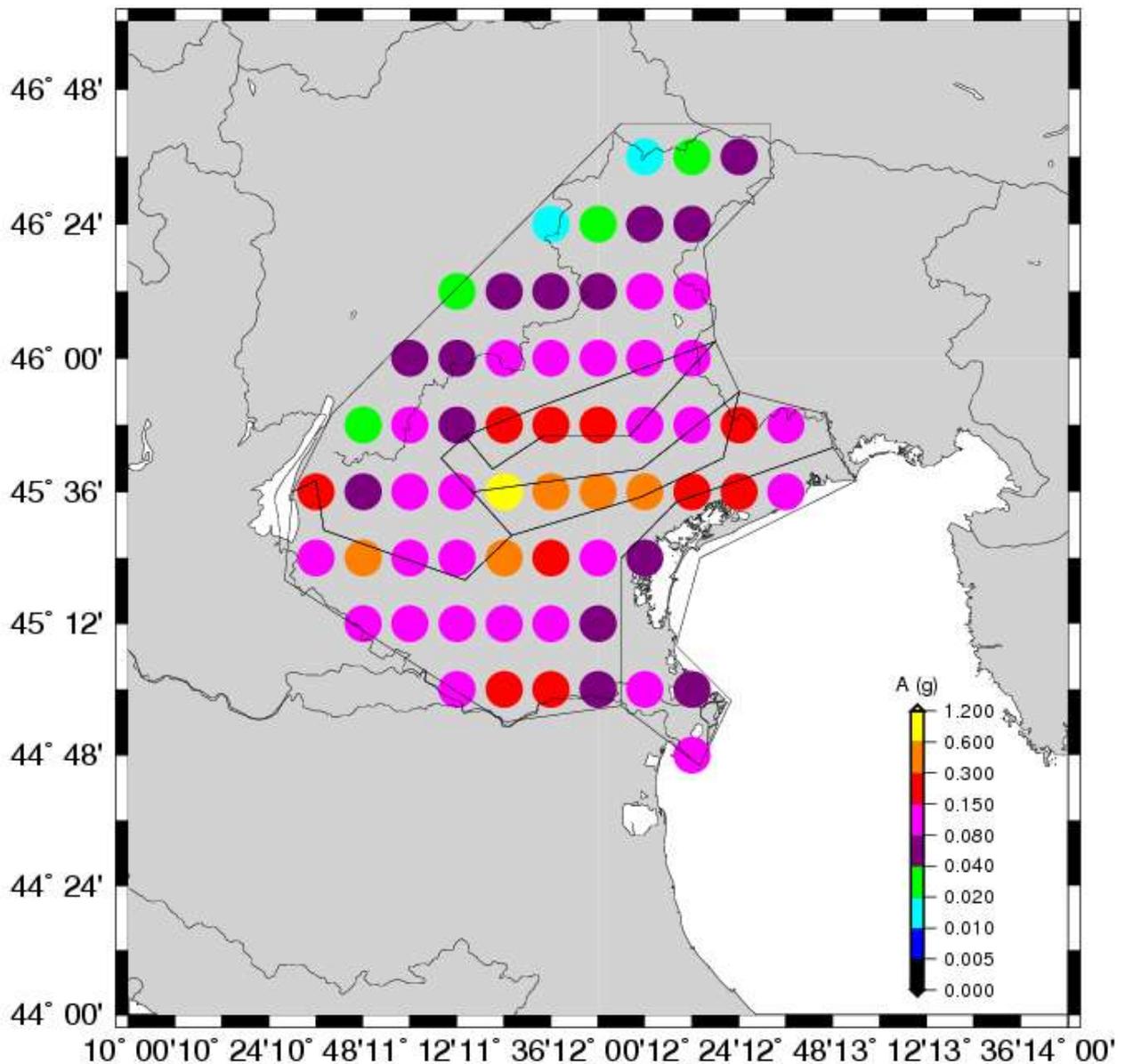


Fig. 9 Accelerazione massima attesa per la Regione Veneto. I risultati sono calcolati con frequenza limite di 1 Hz.

Come dimostrano le figure, i risultati del calcolo eseguito con frequenza limite di 1Hz, connessi a questa modellazione del Veneto, hanno fornito valori decisamente non accettabili, con valori di picco di accelerazione superiori a 1.0 g e valori di spostamento massimo che raggiungono i 30 cm, associabili a sismi molto rilevanti non riscontrati nella nostra regione.

2.3 SECONDA MODELLAZIONE

Tale primo errore di valutazione si è rilevato essenziale per dirigere più correttamente lo studio e delineare palesemente dei grossi limiti che spesso possono imporsi ad una superficiale considerazione del problema della modellazione:

- 1) In un progetto di zonazione sismica non ci si deve limitare ad un ottica di geologia superficiale, desunta dalla semplice lettura di una carta geologica. Questa deve rappresentare un fondamentale punto di partenza, ma occorre ricondursi alla tridimensionalità della geologia, implementando la conoscenza superficiale con la definizione della complessità del sottosuolo il più realisticamente possibile.
- 2) Occorre attribuire delle realistiche velocità sismiche caratterizzanti i terreni considerando le condizioni locali degli stessi. Purtroppo, anche nella nostra regione, disponiamo di scarsissimi dati reali riguardanti le V_s dei terreni, ottenuti strumentalmente. Bisogna quindi affidarsi alla letteratura ed all'esperienza ma senza omettere la contestualizzazione locale. Rammentiamo ad esempio che la saturazione ed il costipamento sono proprietà fondamentali per definire le velocità sismiche dei terreni, sabbia e ghiaia in profondità possono essere caratterizzate da velocità anche di molto superiori a terreni della stessa natura ma superficiali.

Ciò ha imposto una revisione dei modelli strutturali, secondo le linee guida sopraindicate, che ha portato alla modifica delle strutture della sensibile fascia prealpina e di alta pianura, ed alla revisione completa dei limiti dei poligoni associati con l'introduzione di un aggiuntivo poligono per l'area del basso Garda veronese.

La nuova suddivisione dei poligoni strutturali viene così ridefinita:

- Ven006 (classificazione Eurocodice terreno A)
- Ven001 (classificazione Eurocodice terreno B)
- Ven002 (classificazione Eurocodice terreno C)
- Ven003 (classificazione Eurocodice terreno D)
- Ven004 (classificazione Eurocodice terreno E)
- Ven005 (classificazione Eurocodice terreno S1)
- Ven007 (classificazione Eurocodice terreno B)

I modelli di sottosuolo associati ai poligoni sono consultabili in Tabella 4. Viene riportata solo la parte degli strati superficiali delle strutture riconsiderate, la struttura profonda resta inalterata

rispetto all'originaria struttura Ven01 visibile in Tab.2. La struttura che caratterizza il modello Ven007 è identica alla struttura Ven001, e viene perciò omessa.

La nuova disposizione dei poligoni è visibile in fig.7.

Tab. 4 Modelli degli strati superficiali delle strutture Ven001, Ven002, Ven003, Ven004, Ven005 Ven006 (seconda modellazione).

Struttura Ven006

thk (km)	rho	Vp (km/s)	Vs (km/s)	Qp	Qs	depth (km)	layer
.0500	2.00	2.600000	1.500000	2200.00	1000.01	.05000	1
.3000	2.10	2.000000	1.100100	2200.00	999.94	.35000	2
.6500	2.20	2.400000	1.400400	2200.00	999.72	1.00000	3
1.5000	2.30	2.400000	1.400700	2200.00	999.51	2.50000	4
1.0000	2.40	2.400000	1.400900	2200.00	999.37	3.50000	5
1.5000	2.50	3.800000	2.200000	2199.99	1000.01	5.00000	6
2.0000	2.60	4.500000	2.550000	2200.00	999.99	7.00000	7
5.0000	2.65	5.400000	3.100000	2199.98	1000.00	12.00000	8
13.0000	2.75	6.200000	3.500000	2199.99	999.98	25.00000	9
10.0000	2.90	7.500000	4.200000	2200.00	999.98	35.00000	10
65.0000	3.35	8.200000	4.600000	2200.01	999.96	100.00000	11
35.0000	3.40	8.200000	4.600600	220.00	99.98	135.00000	12
65.0000	3.40	8.100000	4.250200	220.00	99.99	200.00000	13

Struttura Ven001

Thk (km)	rho	Vp (km/s)	Vs (km/s)	Qp	Qs	depth (km)	layer
.1000	2.00	1.200000	.700000	200.00	100.00	.10000	1
.0500	2.00	2.400000	1.400000	2200.00	1000.01	.15000	2
.2000	2.10	2.400000	1.400100	2200.00	999.94	.35000	3
.6500	2.20	2.400000	1.400400	2200.00	999.72	1.00000	4
1.5000	2.30	2.400000	1.400700	2200.00	999.51	2.50000	5
1.0000	2.40	2.400000	1.400900	2200.00	999.37	3.50000	6
1.5000	2.50	3.800000	2.200000	2199.99	1000.01	5.00000	7
2.0000	2.60	4.500000	2.550000	2200.00	999.99	7.00000	8
5.0000	2.65	5.400000	3.100000	2199.98	1000.00	12.00000	9
13.0000	2.75	6.200000	3.500000	2199.99	999.98	25.00000	10
10.0000	2.90	7.500000	4.200000	2200.00	999.98	35.00000	11
65.0000	3.35	8.200000	4.600000	2200.01	999.96	100.00000	12
35.0000	3.40	8.200000	4.600600	220.00	99.98	135.00000	13
65.0000	3.40	8.100000	4.250200	220.00	99.99	200.00000	14

Struttura Ven002

Thk (km)	rho	Vp (km/s)	Vs (km/s)	Qp	Qs	depth (km)	layer
.1000	2.00	.600000	.360000	200.00	100.00	.10000	1
.2000	2.00	1.000000	.600000	200.00	100.00	.20000	2
.0500	2.00	2.400000	1.400000	2200.00	1000.01	.25000	3
.2000	2.10	2.400000	1.400100	2200.00	999.94	.45000	4
.5500	2.20	2.400000	1.400400	2200.00	999.72	1.00000	5
1.5000	2.30	2.400000	1.400700	2200.00	999.51	2.50000	6
1.0000	2.40	2.400000	1.400900	2200.00	999.37	3.50000	7
1.5000	2.50	3.800000	2.200000	2199.99	1000.01	5.00000	8
2.0000	2.60	4.500000	2.550000	2200.00	999.99	7.00000	9
5.0000	2.65	5.400000	3.100000	2199.98	1000.00	12.00000	10
13.0000	2.75	6.200000	3.500000	2199.99	999.98	25.00000	11
10.0000	2.90	7.500000	4.200000	2200.00	999.98	35.00000	12
65.0000	3.35	8.200000	4.600000	2200.01	999.96	100.00000	13
35.0000	3.40	8.200000	4.600600	220.00	99.98	135.00000	14
65.0000	3.40	8.100000	4.250200	220.00	99.99	200.00000	15

Struttura Ven003

thk (km)	rho	Vp (km/s)	Vs (km/s)	Qp	Qs	depth (km)	layer
.2000	2.00	.280000	.150000	100.00	50.00	.20000	1
.2000	2.00	.450000	.250000	100.00	50.00	.40000	2
.1000	2.00	.900000	.500000	200.00	100.00	.50000	3
.0500	2.00	2.400000	1.400000	2200.00	1000.01	.55000	4
.2000	2.10	2.400000	1.400100	2200.00	999.94	.75000	5
.5500	2.20	2.400000	1.400400	2200.00	999.72	1.30000	6
1.2000	2.30	2.400000	1.400700	2200.00	999.51	2.50000	7
1.0000	2.40	2.400000	1.400900	2200.00	999.37	3.50000	8
1.5000	2.50	3.800000	2.200000	2199.99	1000.01	5.00000	9
2.0000	2.60	4.500000	2.550000	2200.00	999.99	7.00000	10
5.0000	2.65	5.400000	3.100000	2199.98	1000.00	12.00000	11
13.0000	2.75	6.200000	3.500000	2199.99	999.98	25.00000	12
10.0000	2.90	7.500000	4.200000	2200.00	999.98	35.00000	13
65.0000	3.35	8.200000	4.600000	2200.01	999.96	100.00000	14
35.0000	3.40	8.200000	4.600600	220.00	99.98	135.00000	15
65.0000	3.40	8.100000	4.250200	220.00	99.99	200.00000	16

Tab. 4 Modelli degli strati superficiali delle strutture Ven002, Ven003, Ven004, Ven005 (seconda modellazione).

Struttura Ven004

thk (km)	rho	Vp (km/s)	Vs (km/s)	Qp	Qs	depth (km)	layer
.0200	2.00	.450000	.250000	200.00	100.00	.02000	1
.0500	2.00	2.400000	1.400000	2200.00	1000.01	.07000	2
.2800	2.10	2.400000	1.400100	2200.00	999.94	.35000	3
.6500	2.20	2.400000	1.400400	2200.00	999.72	1.00000	4
1.5000	2.30	2.400000	1.400700	2200.00	999.51	2.50000	5
1.0000	2.40	2.400000	1.400900	2200.00	999.37	3.50000	6
1.5000	2.50	3.800000	2.200000	2199.99	1000.01	5.00000	7
2.0000	2.60	4.500000	2.550000	2200.00	999.99	7.00000	8
5.0000	2.65	5.400000	3.100000	2199.98	1000.00	12.00000	9
13.0000	2.75	6.200000	3.500000	2199.99	999.98	25.00000	10
10.0000	2.90	7.500000	4.200000	2200.00	999.98	35.00000	11
65.0000	3.35	8.200000	4.600000	2200.01	999.96	100.00000	12
35.0000	3.40	8.200000	4.600600	220.00	99.98	135.00000	13
65.0000	3.40	8.100000	4.250200	220.00	99.99	200.00000	14

Struttura Ven005

Thk (km)	rho	Vp (km/s)	Vs (km/s)	Qp	Qs	depth (km)	layer
.0500	1.80	.150000	.080000	100.00	50.00	.05000	1
.0500	1.80	.190000	.100000	100.00	50.00	.10000	2
.1000	1.90	.220000	.120000	100.00	50.00	.20000	3
.2000	2.00	.280000	.150000	100.00	50.00	.40000	4
.1000	2.00	.380000	.200000	100.00	50.00	.50000	5
.2000	2.00	.450000	.250000	100.00	50.00	.70000	6
.1000	2.00	.650000	.350000	200.00	100.00	.80000	7
.2000	2.00	.900000	.500000	200.00	100.00	1.00000	8
.2000	2.00	1.300000	.700000	200.00	100.00	1.20000	9
.0500	2.00	2.400000	1.400000	2200.00	1000.01	1.25000	10
.2000	2.10	2.400000	1.400100	2200.00	999.94	1.45000	11
.5500	2.20	2.400000	1.400400	2200.00	999.72	2.00000	12
.9000	2.30	2.400000	1.400700	2200.00	999.51	2.90000	13
.9000	2.40	2.400000	1.400900	2200.00	999.37	3.80000	14
1.2000	2.50	3.800000	2.200000	2199.99	1000.01	5.00000	15
2.0000	2.60	4.500000	2.550000	2200.00	999.99	7.00000	16
5.0000	2.65	5.400000	3.100000	2199.98	1000.00	12.00000	17
13.0000	2.75	6.200000	3.500000	2199.99	999.98	25.00000	18
10.0000	2.90	7.500000	4.200000	2200.00	999.98	35.00000	19
65.0000	3.35	8.200000	4.600000	2200.01	999.96	100.00000	20
35.0000	3.40	8.200000	4.600600	220.00	99.98	135.00000	21
65.0000	3.40	8.100000	4.250200	220.00	99.99	200.00000	22

Tab. 4 Modelli degli strati superficiali delle strutture Ven002, Ven003, Ven004, Ven005 (seconda modellazione).

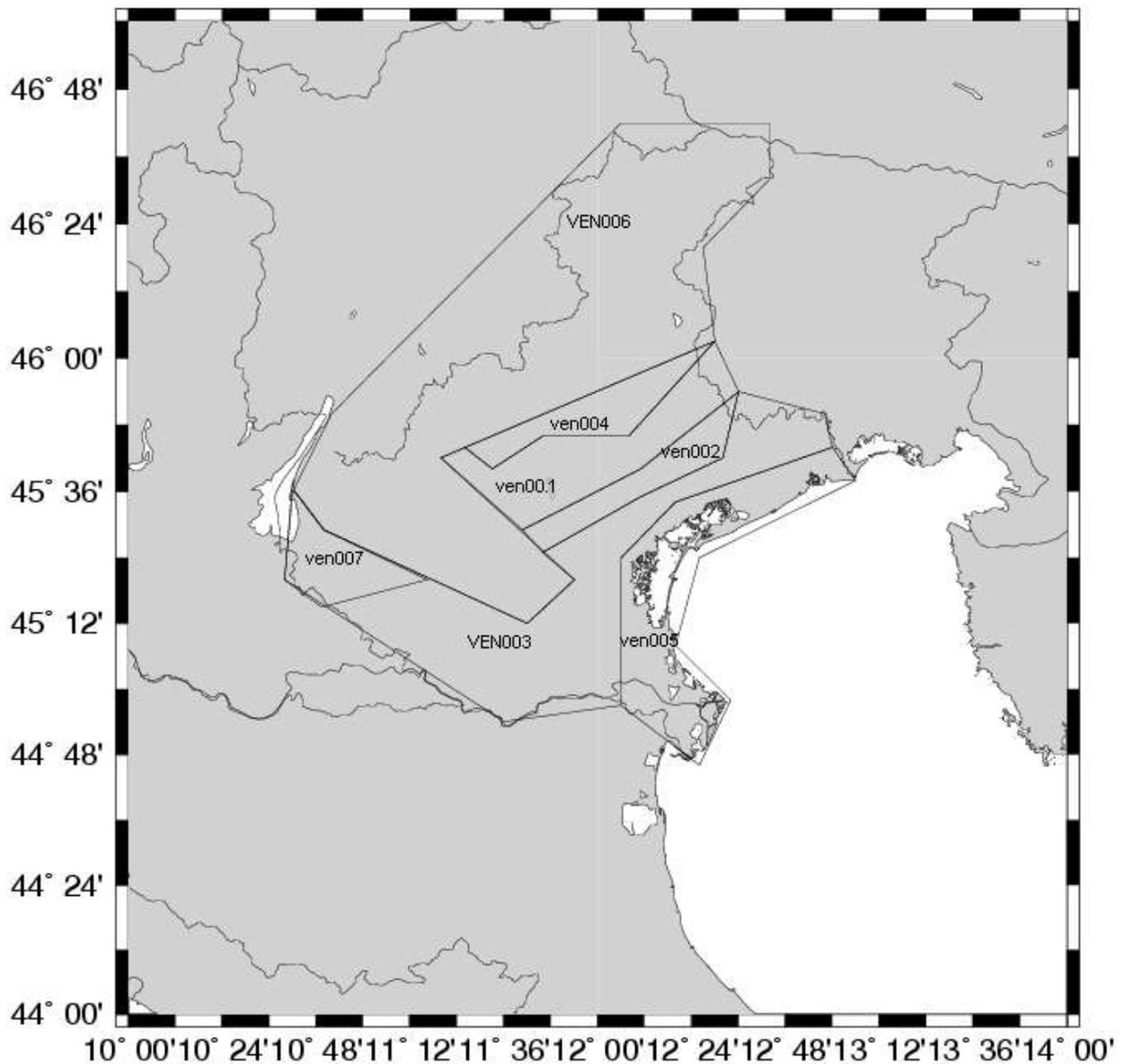


Fig.7 Poligoni strutturali individuati per la Regione Veneto (seconda modellazione)

Questa nuova modellazione perviene anche dall'analisi di indagini stratigrafiche e studi geologici, in particolar modo, per le profondità maggiori, molto utili si sono rivelate le indagini profonde dell'Agip, ed il "modello di coperture" che ne deriva. In particolar modo comunque, oltre alla nuova disposizione dei poligoni, si è resa necessario soprattutto una più mirata definizione delle velocità di propagazione delle onde sismiche. Il metodo utilizzato risente particolarmente delle strutture più superficiali e si è rilevato molto sensibile anche a leggere variazioni di spessore e velocità associati ad uno strato, in particolare nel caso di strati superficiali.

In fig.8. sono riportate, a titolo di esempio, le correlazioni tra diverse colonne stratigrafiche profonde ubicate in diversi poligoni strutturali (fig.7). I punti di indagine sono raffigurati in rosso nella carte delle coperture di fig.9.

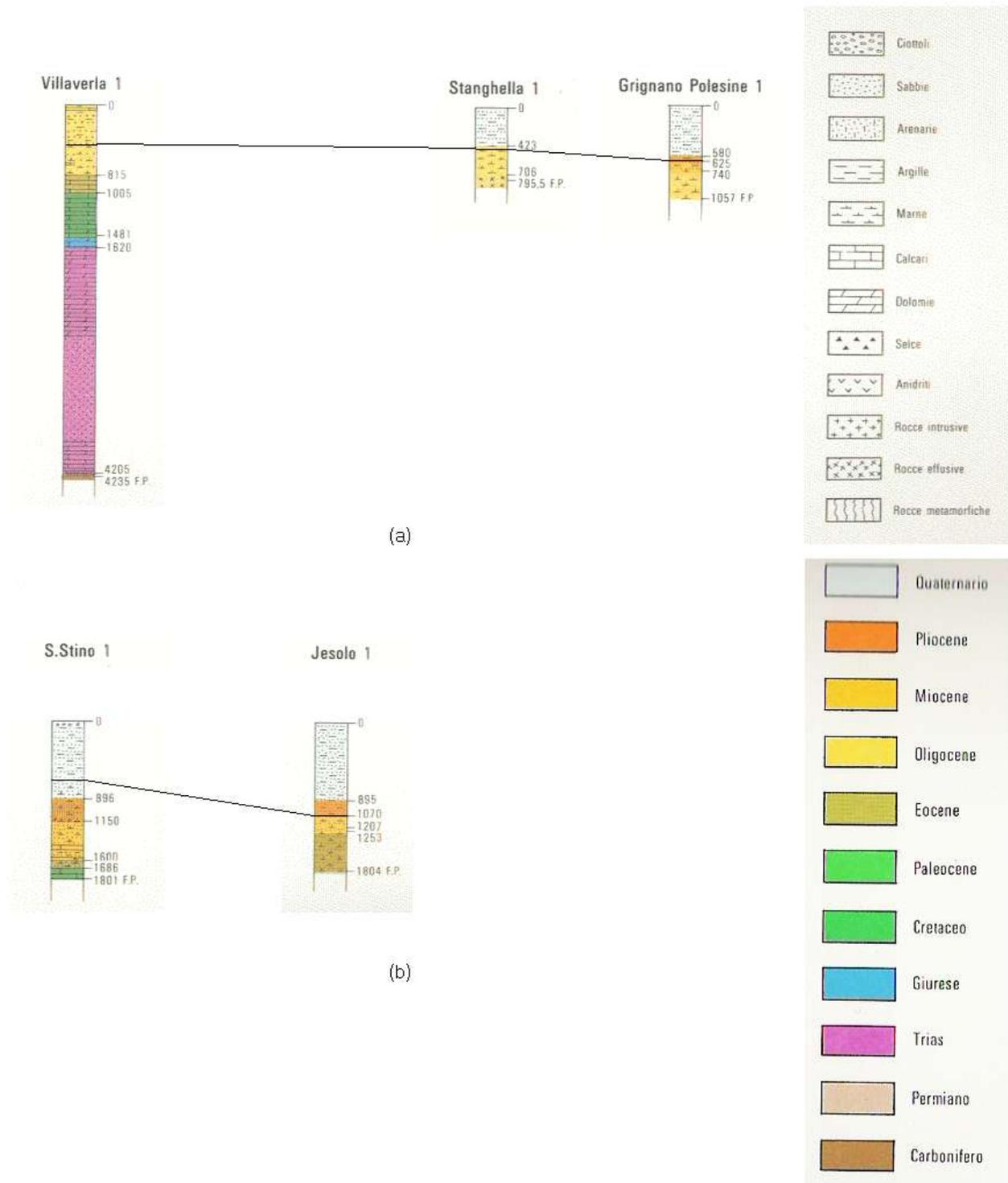


Fig.8 Correlazione limite coperture per i sondaggi profondi Agip per: (a) Villaverla (Vi) – Grignano Polesine (Ro); (b) S.Stino (Ve) – Jesolo (Ve)

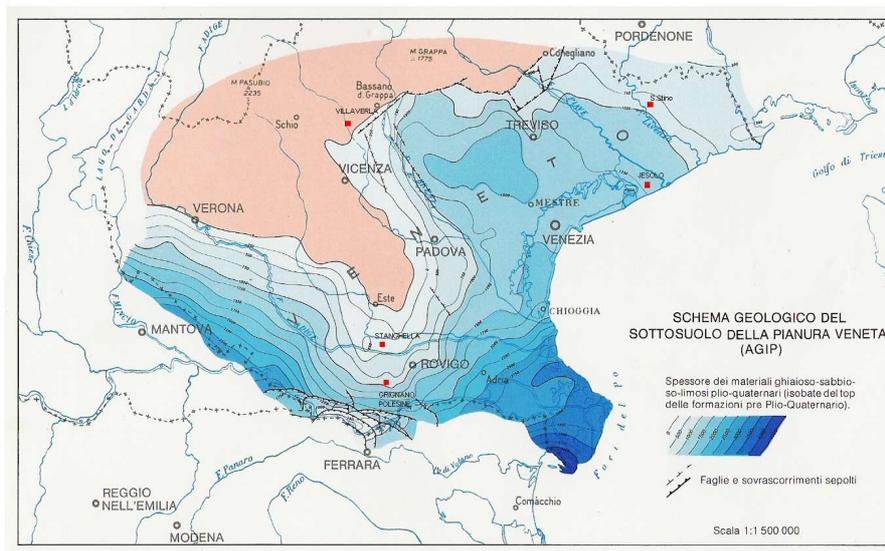


Fig.9 Schema geologico del sottosuolo della pianura veneta. Spessore dei materiali ghiaioso - sabbioso-limosi Plio-quadernari. In rosso i pozzi Agip di S.Stino, Jesolo, Villaverla, Stanghella e Grignano in Polesine. (Agip)

Entrambe le versioni dei mode lli considerati nel corso del progetto trovano comunque una buona correlazione con lavori che si sono occupati della stessa classificazione a scala nazionale. A titolo di esempio riportiamo la carta proposta da Amato e Selvaggi (2203) sviluppata utilizzando la carta geologica 1:500.000, le litologie affioranti sono state suddivise in tre delle classi previste dall'EC8: terreni di tipo A, B, e C, corrispondenti rispettivamente a roccia (colore verde in fig.nn), sedimento consolidato (colore giallo in fig.nn) e sedimento in consolidato (colore marrone in fig.nn). E' stata effettuata una zonazione geologica del territorio nazionale sulla base delle tre classi, usando un grigliato di 250 metri.

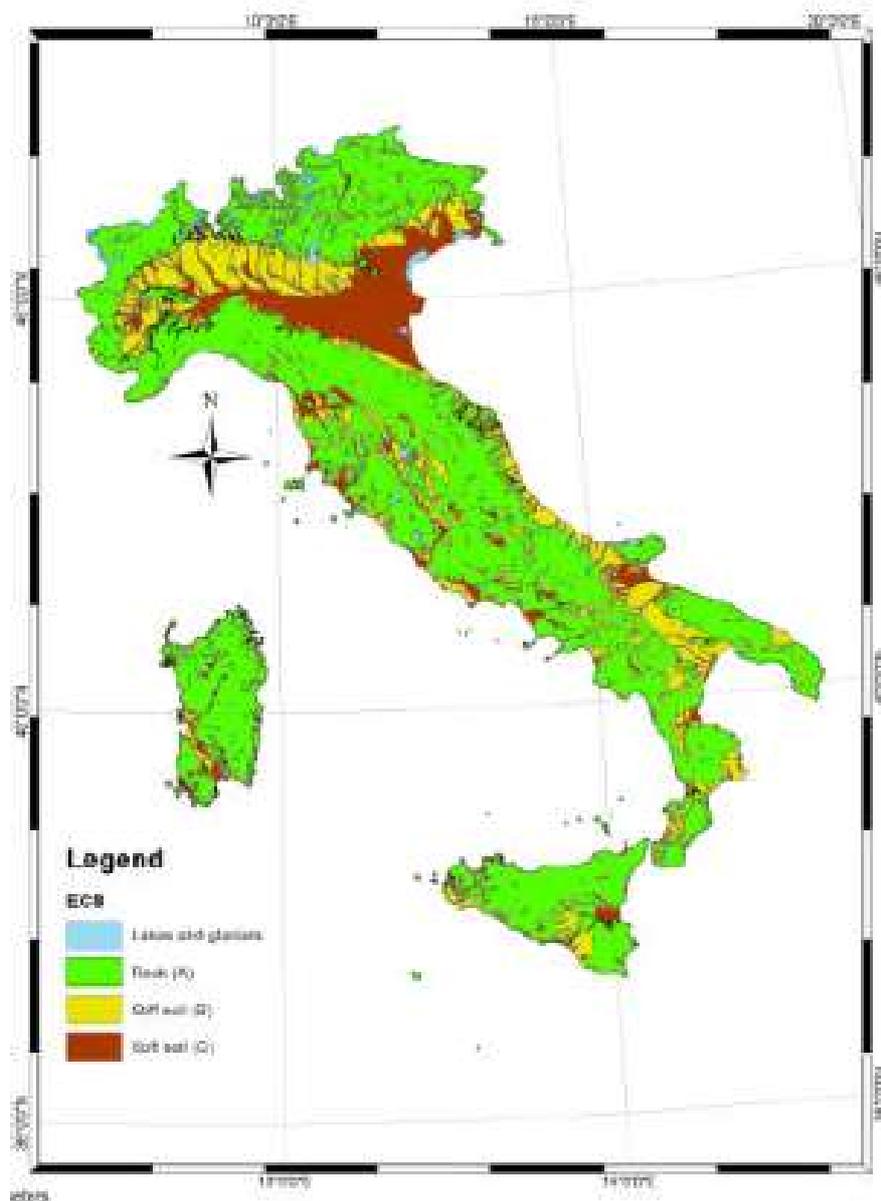


fig.10 .Carta dei suoli a scala nazionale in accordo con EC8 da “Terremoti probabili in Italia tra il 2000 e il 2030: elementi per la definizione di priorità degli interventi di riduzione del rischio sismico” Amato e Selvaggi - GNDT (2003)

Si sottolinea che gli autori della mappa in Fig.10 hanno utilizzato una prima versione dell’Euorocodice 8 che prevedeva solo 3 tipologie di suolo, mentre il tentativo di classificazione della regione Veneto da noi affrontato considera ben 6 tipologie diverse di suolo (che ovviamente in ogni caso forzano ad una drastica semplificazione). Inoltre la mappa in questione è desunta dalla sola lettura della carta geologica, come nel caso infruttuoso del nostro primo elaborato, procedura probabilmente imposta dalla vasta scala nazionale del progetto, a differenza della scala regionale considerata in questo lavoro.

I risultati della seconda e definitiva modellazione sono riportati nel capitolo 8.

3 SENSIBILITA' DEL METODO

Il capitolo precedente ha introdotto efficacemente che una corretta caratterizzazione delle proprietà dei terreni è fondamentale per condurre a delle conclusioni realistiche. Per un'efficace determinazione delle proprietà del moto sismico del suolo, nei limiti delle semplificazioni imposte dalla metodologia e dal fine del progetto, è necessario determinare il più realisticamente possibile il modello da sottoporre al metodo di calcolo. Il metodo utilizzato, infatti, si è rivelato essere molto sensibile anche a deboli variazioni delle caratteristiche imposte agli strati più superficiali del modello.

In particolar modo diviene fondamentale, nell'intraprendere una modellazione del moto sismico del suolo, osservare le direttive imposte dalle normative internazionali (Eurocodice 8) in modo attento e critico. I termini di classificazione dei suoli proposti non conducono ovviamente ad una caratterizzazione univoca, ma vanno interpretati in un'ottica realistica di condizione locale.

3.1 SENSIBILITA' DELL'APPROCCIO NEI CONFRONTI DELLE DIRETTIVE EC8

Il metodo di classificazione dei terreni proposto dall'eurocodice 8 associa ad ognuna delle 7 classi designate una sommaria descrizione litologica, dei valori di Vs30 intesa come la media pesata delle shear velocity dei primi 30 metri di spessore dal piano campagna (eccettuata la classe S2 dei suoli liquefabili) e dei valori di prove geotecniche: Standard Penetration Test e prove Scissometriche (Cu).

$$v_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{v_i}}$$

Formula Vs30 come proposta da Eurocodice 8. h e v rappresentano gli spessori e le shear wave velocity degli N strati esistenti nei primi 30 metri di sottosuolo.

In questo progetto, come già illustrato, i suoli sono stati differenziati secondo i valori assegnati di Vs, eccettuato sempre la classe S2 che non è stata presa in considerazione, per non entrare nel delicato campo della non linearità. Ricordiamo che i valori di velocità proposti dalla classificazione dell'EC8 si riferiscono alle Vs dei primi 30 metri di sottosuolo. L'eurocodice propone, per ogni classe di terreno, dei range di Vs30 piuttosto estesi, con degli estremi di shear velocity

significativamente differenti, ad esempio un suolo di tipo B è caratterizzato da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s, ed un suolo di tipo A è semplicemente caratterizzato da $V_{s30} > 800$ m/s (vedi Tab.1). Risulta evidente che ai fini di una modellazione per il calcolo dello scuotimento atteso quale quella da noi perseguita, non sia sufficiente stabilire una suddivisione del territorio secondo la sola descrizione litologica proposta dall'EC8, che prevede così ampi intervalli di velocità, ma occorra determinare i valori di V_s da assegnare ad ogni classe di terreno considerata. La tecnica di modellazione da noi utilizzata si è rilevata piuttosto sensibile anche a deboli variazioni dei valori di V_s e di spessore degli strati imposti al modello di suolo per il calcolo degli scenari di scuotimento, in particolar modo per gli strati più superficiali. Al fine di stabilire la sensibilità del metodo nei confronti dei range proposti dall'EC8 abbiamo provato a calcolare il Design Ground Acceleration (DGA) per due modelli diversi modelli strutturali per i 7 poligoni stabiliti per rappresentare il Veneto, uno associando alle classi di suolo i valori di V_s più bassi proposti dall'EC8 (fig.11), ed uno associando alle classi di suolo i valori di V_s più alti proposti dall'Eurocodice (fig.12). Il DGA si ottiene calcolando lo spettro di risposta sintetico cui viene raccordata, per periodi compresi tra 1 e 5 secondi e scelti in funzione della magnitudo della sorgente, la forma spettrale della Normativa italiana. I segnali sintetici di entrambi i modelli sono calcolati sino alla frequenza limite di 1Hz e per entrambi sono stati mantenuti costanti gli spessori degli strati. Il metodo utilizzato permette di ottenere un valore per ogni nodo della griglia quadrata di $0,2^\circ$ di lato, il cui centro è considerato sorgente dell'evento. Per il territorio del Veneto, compreso circa tra i $44^\circ 48'$ e i $46^\circ 48'$ di longitudine Nord, e tra i $10^\circ 36'$ e i $13^\circ 00'$ di longitudine Est, si ottengono 62 nodi di griglia a cui corrispondono 62 valori attesi del parametro analizzato. I risultati sono facilmente leggibili con i diversi cromatismi che indica la legenda esposta in ogni figura. Per facilitare una più rapida comprensione visiva ed un veloce confronto con le prossime mappe, il DGA è stato suddiviso cromaticamente in zone di isoaccelerazione.

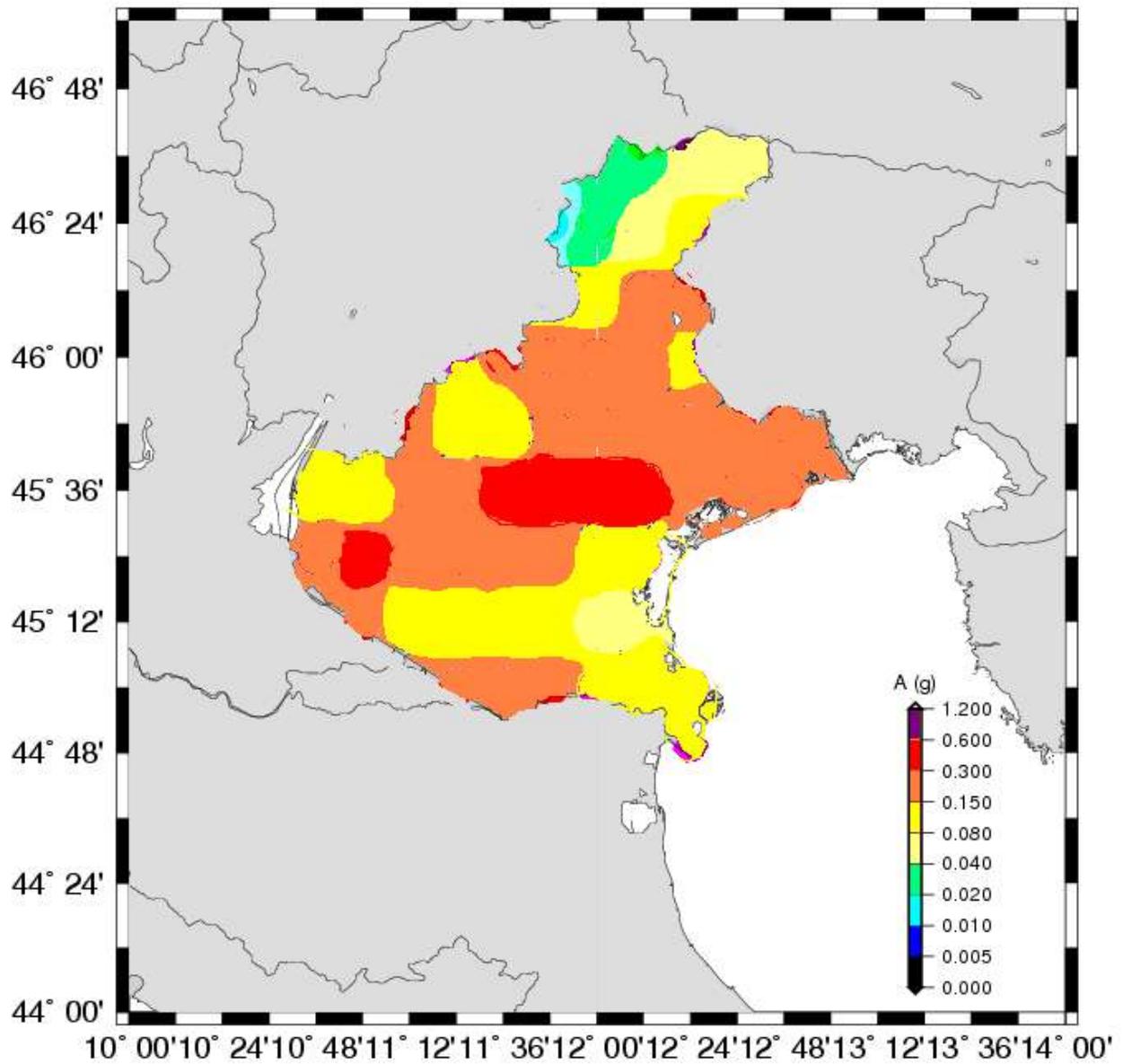


fig.11 Design Ground Acceleration ottenuti assegnando ai modelli i valori di Vs superficiali minimi previsti dalla classificazione EC8.

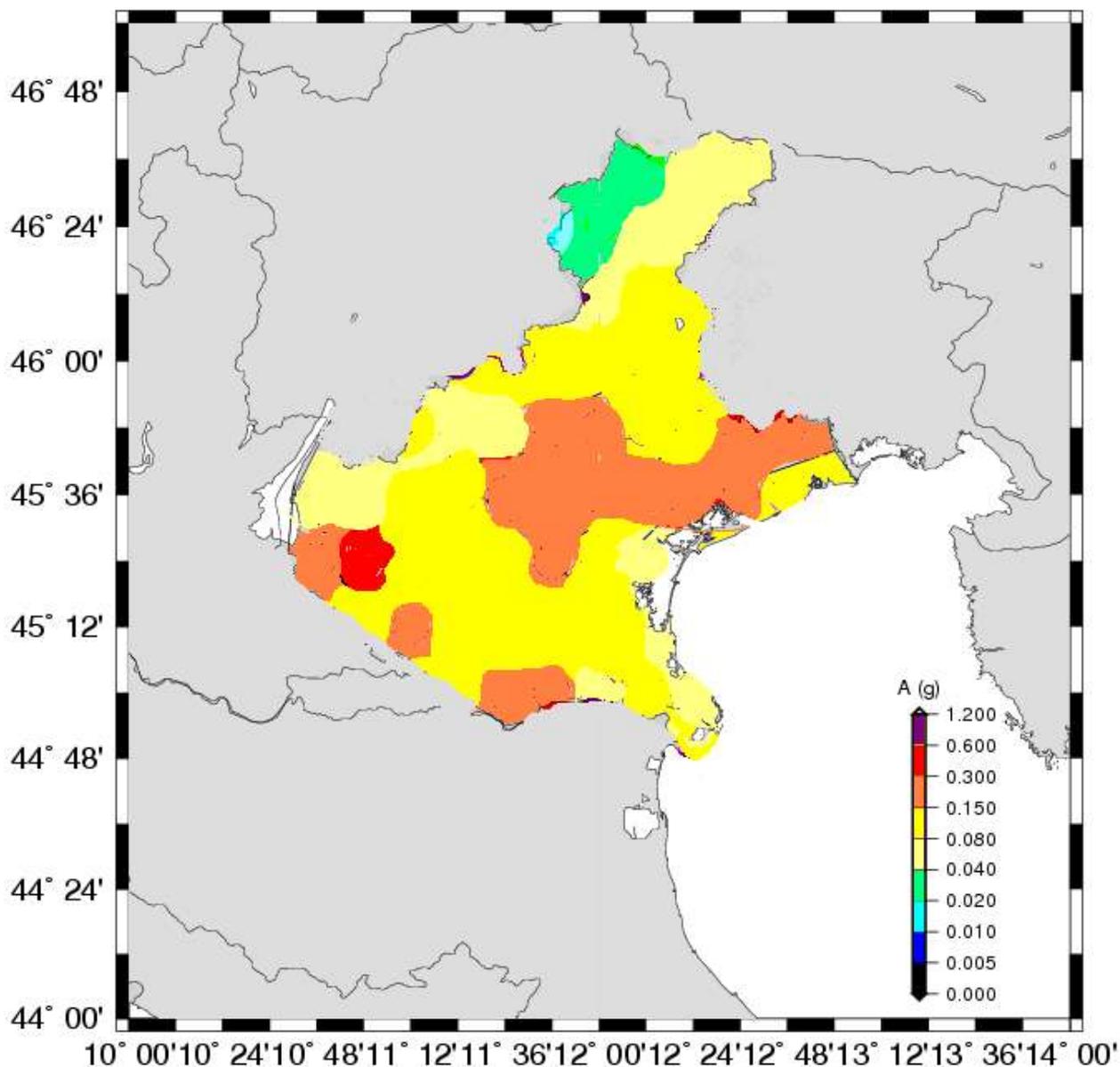


fig.12. Design Ground Acceleration ottenuti assegnando ai modelli i valori di Vs superficiali massimi previsti dalla classificazione EC8.

Come si nota dalle figure n.11 n.12 lo scenario di pericolosità varia pesantemente nel suo complesso, anche se entrambi i modelli rientrano nei range di classificazione dei suoli dell'Eurocodice8. Come atteso i valori di DGA ottenuti assegnando i valori minimi di Vs superficiali previsti dalla classificazione EC8 sono più elevati di quelli ottenuti utilizzando nei modelli di suolo i valori massimi proposti. Ciò può evidentemente indurre a delineare delle proposte di zonazione del territorio molto diverse tra loro, con relative significative differenze nell'orientamento di progetti di ingegneria sismica.

In conclusione si evince, da un lato l'elevata sensibilità del metodo utilizzato, dall'altro ancora una volta l'importanza di stabilire correttamente dei valori V_s il più possibile caratterizzanti le realtà locali, senza limitarsi superficialmente ad una definizione di solo carattere litologico desunta dalla sola lettura delle carte geologiche.

4 METODOLOGIA

Viene di seguito descritta la metodologia utilizzata per la stima deterministica di scenari di pericolosità sismica.

4.1 STIMA DETERMINISTICA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA

La procedura per la zonazione sismica di tipo deterministico sviluppata da Panza et al. rappresenta uno dei più innovativi ed avanzati approcci e potrebbe, al contempo, essere utilizzata come punto di partenza per lo sviluppo di una procedura integrata che combini i vantaggi dei metodi probabilistici e deterministici, minimizzandone gli svantaggi.

Sismogrammi sintetici sono sviluppati da modelli di scuotimento del suolo per i siti d'interesse, utilizzando le conoscenze disponibili dei processi fisici della generazione dei terremoti e della propagazione delle onde in reali mezzi anelastici. Il primo passo della zonazione prevede il calcolo di un database di sismogrammi che ricoprano l'area di interesse. I sismogrammi sintetici sono generati molto efficacemente con la tecnica della somma modale (Panza, 1985; Florsch et al., 1991), così da rendere possibile dettagliate analisi parametriche a costi ragionevoli. Per esempio possono essere presi in considerazione diverse sorgenti e modelli strutturali al fine di creare un ampio range di possibili scenari dai quali dedurre informazioni essenziali che guidino i processi decisionali.

Una volta sviluppate analisi parametriche e una valutazione di massima del rischio sismico, è possibile una più dettagliata modellazione dello scuotimento del suolo. Si possono prendere in considerazione le condizioni geologiche e geotecniche locali di uno specifico sito di interesse, per affinare i risultati ottenuti ed avvicinarsi alla complessa realtà locale. Esiste poi la possibilità, di considerare le eterogeneità laterali usando il metodo ibrido che combina, per la definizione della propagazione delle onde in mezzi eterogenei anelastici, la tecnica della somma modale e delle differenze finite (Fah et al. 1990; Fah, 1992), oppure il metodo completamente analitico della somma modale, esteso a mezzi lateralmente eterogenei (Vaccari et al. 1989; Romanelli et al. 1996, 1997). Queste modellazioni deterministiche vanno ben al di là dei convenzionali approcci deterministici considerati nell'analisi di rischio, nei quali è richiesta solo una semplice relazione d'attenuazione delle onde, includendo una modellazione completa della forma d'onda.

4.2 ZONAZIONE DETERMINISTICA UTILIZZANDO SISMOGRAMMI SINTETICI

Partendo dalle informazioni disponibili sulla struttura della Terra, le sorgenti sismiche e il livello di sismicità dell'area investigata, è possibile stimare: la massima velocità e spostamento del suolo in una data banda di frequenza (rispettivamente VMAX e DMAX), il Design Ground Acceleration (DGA) o qualsiasi altro parametro rilevante per l'ingegneria sismica, che può essere estratto dai segnali teorici calcolati. Questa procedura ci permette di ottenere una stima realistica del rischio sismico anche in quelle aree con scarse o nulle informazioni storiche e strumentali, e di sviluppare importanti analisi parametriche.

Per ridurre la mole di calcolo, le sorgenti sismiche possono essere raggruppate in aree sismogeneticamente omogenee, e per ogni gruppo si può definire un meccanismo focale rappresentativo. Il momento scalare sismico associato ad ogni struttura è determinato dall'analisi della massima magnitudo osservata nell'area epicentrale.

Come già riportato, la modellizzazione del suolo prevede modelli del terreno definiti come una somma di strati orizzontali, i quali sono definiti dalla velocità delle onde longitudinali e trasversali nello strato, la densità, lo spessore e il fattore Q che controlla le attenuazioni anelastiche. Tali modelli sono normalmente assunti come rappresentativi di zone la cui dimensione è relazionata alla scala di indagine perseguita.

Per derivare la distribuzione della massima magnitudo osservata sul territorio, la sismicità rappresentata dal catalogo di terremoti è smussata come segue:

- si divide il territorio in celle di 0.2° per 0.2°
- ad ogni cella si assegna un valore di magnitudo M dell'evento più energetico accorso nel territorio
- si utilizza una finestra centrata di smussamento di raggio di 0.6° per prendere in considerazione l'estensione spaziale della sorgente e l'incertezza dell'ubicazione
- sono considerate solo le celle che ricadono all'interno di aree sismogenetiche
- una sorgente doppia-coppia, corrispondente alla magnitudo M, è stata posta al centro di ciascuna cella, ad una profondità di 10 Km per $M < 7$, e di 15 Km per eventi maggiori.

Dettagliati esempi dei dati di input utilizzati nella procedura sono descritti da Costa et al. (1993) e Panza e Vaccari (1994).

Il metodo si basa, quindi, sulla discretizzazione della magnitudo di questi eventi massimi in celle di $0,2$ gradi di lato e su una successiva distribuzione degli effetti per un raggio di 3 celle. Al centro di ogni cella è posta una sorgente sismica caratterizzata dalla magnitudo appena valutata e da un meccanismo di rottura calcolato come media di tutti i meccanismi focali disponibili per la ZS a cui

appartiene la cella in esame; i vertici delle celle costituiscono i nodi della griglia di ricevitori. La propagazione delle onde viene calcolata in un modello crostale medio per poligoni strutturali. I sismogrammi sintetici vengono costruiti fino ad una distanza di 90 km dalla sorgente su una griglia avente, come detto, lato di 0,2 gradi. Per ciascun nodo della griglia di ricevitori viene preso in considerazione il massimo fra i valori di picco ottenuti a partire dalle diverse sorgenti. Si possono ottenere così mappe di spostamento, di velocità o di accelerazione di progetto (DGA), ottenuta calcolando lo spettro di risposta sintetico cui viene raccordata, per periodi compresi tra 1 e 5 secondi e scelti in funzione della magnitudo della sorgente, la forma spettrale della Normativa. Per le indagini estese a frequenze superiori si è calcolata invece l'Effective Peak Acceleration (EPA), ottenuta dallo spettro di risposta sintetico. Per ogni nodo della griglia si introduce difatti la media dei picchi dello spettro ottenuto per il campo di frequenze per le quali la Normativa designa una accelerazione costante (tra 0,2 s e 0,8s, vedi par.8.1), e la si normalizza per le costanti proposte dalla Normativa per le 3 tipologie di spettro (rispettivamente 2,5-suolo A, 3,125-suolo BCE, 3,175-suolo D). L'EPA è ovviamente calcolabile solo la frequenza di indagine si spinge a frequenze superiori ad 1Hz (periodi<1s), nel nostro caso è stato ottenuto ad un limite massimo di frequenza di 10Hz.

I risultati ottenuti con questo metodo non sono legati, si rammenta, ad un periodo di ritorno ma rappresentano i massimi valori attesi, partendo dal presupposto che la massima magnitudo del catalogo rappresenti i massimi terremoti possibili.

I segnali sintetici sono calcolati per frequenze inferiori ad 1Hz, e sono stati ripetuti in termini di confronto con un limite massimo di 10Hz (**vedi par 8.3**); gli stessi sono appropriatamente scalati in accordo alla magnitudo smussata (si è assunto che tutti i valori di magnitudo forniti dal file NT siano Ms) associata con la cella della sorgente, utilizzando la relazione momento-magnitudo fornita da Kanamori (1977) e la legge di scala spettrale proposta da Gusev (1983) come riportata in Aki (1987). Come già detto abbiamo ottenuto risultati deterministici anche a frequenze più alte (10 Hz) utilizzando spettri di risposta di progetto (Panza et al. 1996), come ad esempio i proposti dall'Ordinanza 3274 (**vedi par 8.1**), che definisce lo spettro di risposta dell'accelerazione del moto del suolo, per uno smorzamento critico del 5%.

Il lavoro svolto da Panza et al. 1999 assumeva per l'intera nazione un suolo di tipo A, come definito dall'Eurocodice, ottenendo una mappa di DGA esposta in fig.13.

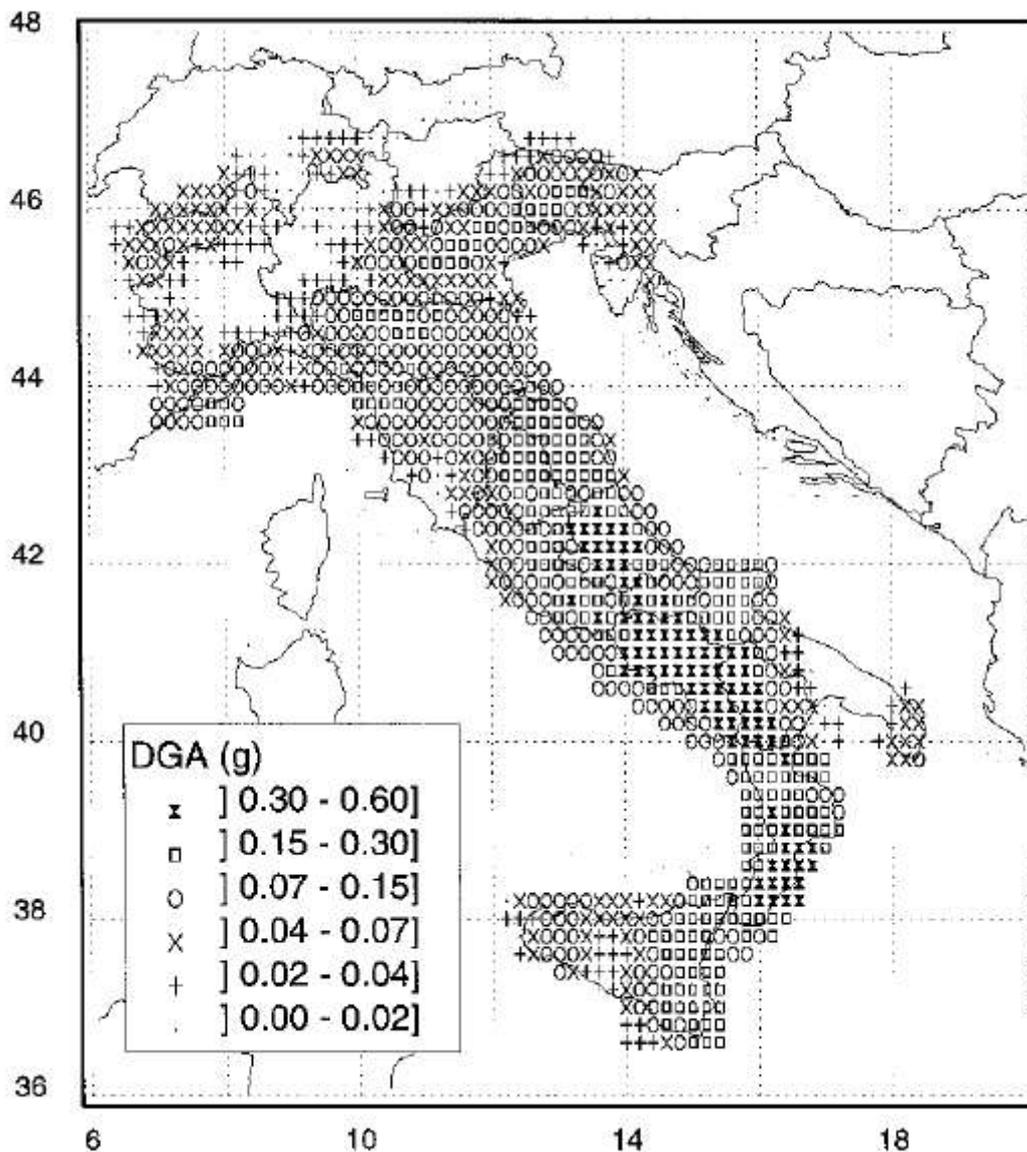


Fig.13 Distribuzione di DGA, ottenuta come risultato della zonazione sismica estesa alle alte frequenze utilizzando lo spettro di progetto del EC8 per un suolo di tipo A. Da Panza et al. *Deterministic Seismic Hazard Assessment* in F.Wenzel et al. (eds), "Vrancea Earthquakes: Tectonics, Hazard and Risk Mitigation" 1999

Dal momento che è associata ad ogni sito la registrazione di molte differenti sorgenti, si possono produrre differenti mappe. Ad esempio si possono considerare parametri come la massima velocità o il massimo spostamento, e naturalmente i periodi associati a tali massimi. A titolo di esempio si riporta in figura 14 la distribuzione della massima velocità orizzontale (VMAX) ottenuta dal lavoro di zonazione.

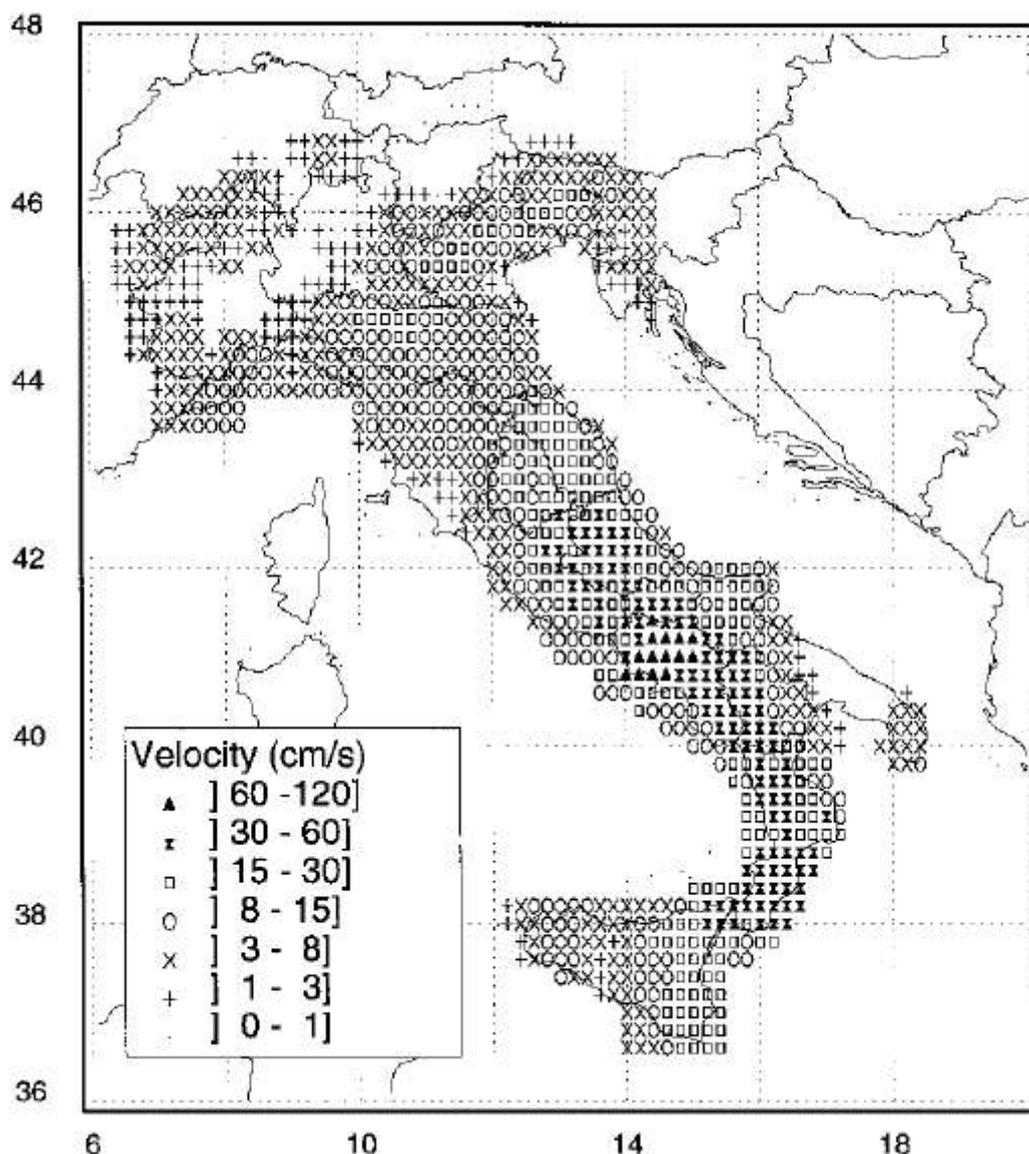


Fig.14 Distribuzione della massima velocità orizzontale (VMAX) ottenuta come risultato della zonazione. Da Panza et al. *Deterministic Seismic Hazard Assesment* in F.Wenzel et al. (eds), "Vrancea Earthquakes: Tectonics, Hazard and Risk Mitigation" 1999

4.3 VALIDAZIONE DEL MODELLO SINTETICO CONTRO OSSERVAZIONI INDIPENDENTI

Una validazione quantitativa del metodo è supportata dagli accelerogrammi osservati registrati. Ad esempio durante il terremoto dell'Irpinia (23 Novembre 1980). Il processo di rottura alla sorgente dell'evento dell'Irpinia è molto complesso (e.g. Bernard e Zollo, 1989) e le dimensioni della sorgente sono state stimate sull'ordine di diverse decine di Km. Ciononostante, sembra che il segnale registrato alla stazione di Sturno si dovuto principalmente ad un singolo sub-evento che accorse nelle strette vicinanze della stazione stessa, mentre il contributo energetico di altre parti della sorgente sembra trascurabile (Vaccari et al. 1990). Con un cut-off alla frequenza di 1 Hz, è stato posto un filtraggio passa-basso alla componente orizzontale dell'accelerogramma registrato a

Sturmo, per essere comparato con il segnale calcolato sinteticamente per la regione dell'Irpinia. L'esempio esposto in **fig.15** si riferisce alla componente N-S ma le stesse considerazioni possono essere applicate alla componente E-W del moto.

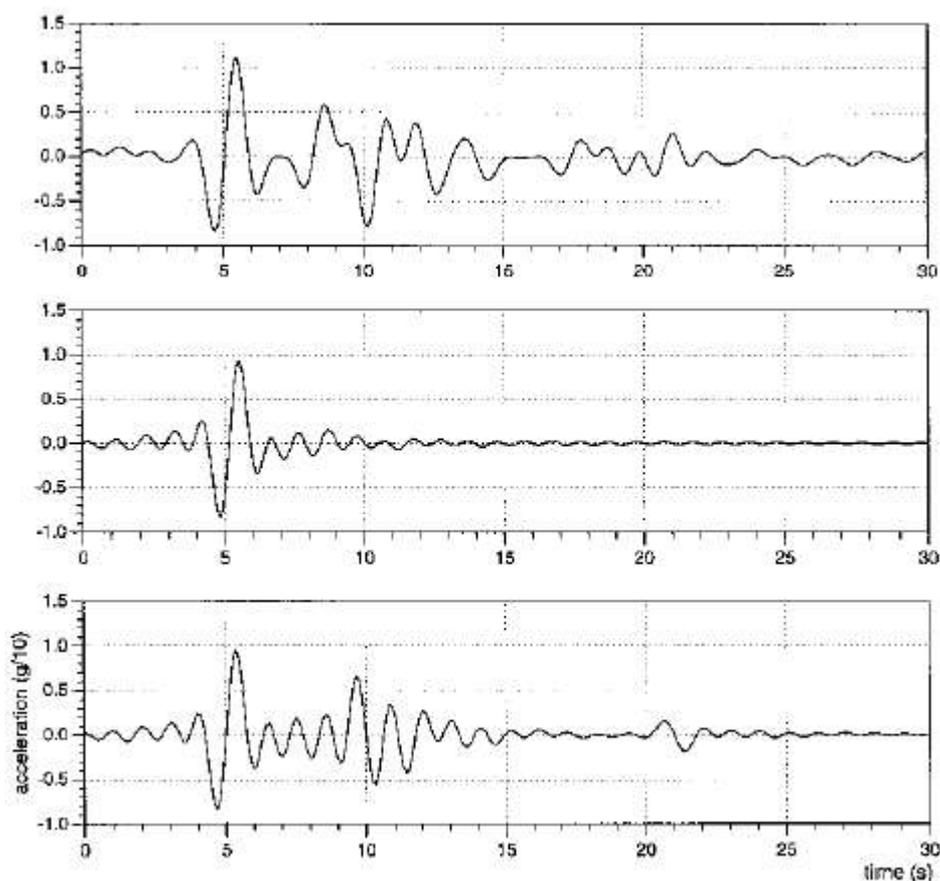


Fig.15 Componente N-S dell'accelerogramma registrato a Sturmo (traccia in alto), filtrato passa-basso per essere confrontato con il segnale sintetico calcolato per la regione dell'Irpinia (seconda traccia). La terza traccia è il risultato della sovrapposizione di 4 sub-eventi, appropriatamente pesato e shiftato nel tempo, in accordo con il modello di Vaccai et al. (1990). Da Panza et al. *Deterministic Seismic Hazard Assesment* in F.Wenzel et al. (eds), "Vrancea Earthquakes: Tectonics, Hazard and Risk Mitigation" 1999

La prima parte ed il massimo (AMAX) del segnale registrato (traccia in alto) e quello sintetico calcolato (traccia al centro) sono in ottimo accordo. L'ultima parte della registrazione osservata è più complicata ed è relazionabile alla complessità della sorgente, che non è considerata deliberatamente nel calcolo del segnale sintetico nell'ambito di una prima zonazione. La traccia bassa è mostrata come esempio di modellazione della complessità della sorgente.

Per una analisi più dettagliata della relazione tra i modelli di scuotimento del suolo e l'intensità osservata si rimanda a Panza et al. (1999).

4.4 ZONAZIONE DI DETTAGLIO COMBINANDO OSSERVAZIONI E MODELLI DI SCUOTIMENTO DEL SUOLO

Un più alto cut-off di frequenza ($> 1\text{HZ}$) non rappresenta da solo un affinare i risultati ottenuti in un calcolo di sismogrammi sintetici. Una zonazione più dettagliata deve considerare una conoscenza più approfondita dei processi sismogenetici dell'area, e deve tenere conto delle eterogeneità laterali per modellizzare in dettaglio la propagazione delle onde.

Una simulazione numerica di dettaglio è fondamentale in aree dalla geologia complessa. Possiamo creare segnali sintetici per zone prive di registrazioni, essenziali per l'ingegneria sismica ed i progetti di strutture anti-sismiche.

I calcoli deterministici si possono sviluppare ad alte frequenze usando gli spettri di progetto esistenti. Il matching della porzione a lungo periodo degli spettri normalizzati con quelli calcolati dagli accelerogrammi sintetici ci permettono di ottenere, per ogni porzione di territorio considerata, uno spettro assoluto, purché ci sia una classificazione dei suoli disponibile. L' EC8 (vedi cap.7) considera diversi tipi di terreni fornendo gli spettri di risposta attesi per ognuno di essi.

Una struttura locale può essere approssimata ad una struttura stratificata orizzontalmente, e la tecnica della somma modale di Panza è la più performante per calcolare sismogrammi sintetici.

Questo metodo è anche utilizzabile quando le variazioni laterali possono essere schematizzate con discontinuità verticali (Vaccari et al. 1989, Romanelli et al. 1996;1997).

I metodi deterministici tradizionali possono solo portare ad una sorta di zonazione "post-evento" la cui validità non è facilmente estrapolabile nel tempo e per differenti regioni, e, perciò, è da considerarsi obsoleta.

Al contrario il calcolo di sismogrammi sintetici realistici, utilizzando metodi che rendano possibile considerare effetti dovuti alla sorgente ed alla propagazione, e che utilizzino i dati geologici, geofisici e geotecnici disponibili, vanno oltre gli approcci convenzionali ed offrono una valida base, supportata scientificamente, per la zonazione e la microzonazione sismica.

Grazie alla sua flessibilità, il metodo si presta ad essere utilizzato in procedure integrate, in una sorta di compromesso tra approcci deterministici e probabilistici, che possono essere sviluppati al fine di ridurre gli svantaggi che ognuno dei due metodi inevitabilmente presenta.

La possibilità di stimare accuratamente il rischio sismico con una bassa probabilità di superamento è fondamentale in un'ottica di protezione da eventi calamitosi.

Con la modellazione deterministica è possibile derivare attendibili correlazioni, specifiche per regione, tra intensità, I , e $DMAX$, $VMAX$ e DGA , che facilita "l'uso ingegneristico" dei dati storici. La disponibilità di correlazioni, valide per una specifica regione, è molto importante dal momento che l'utilizzo di informazioni collezionate a scala globale può condurre a insoddisfacenti deviazioni (Trifunac,1992).

I risultati di test sviluppati nei confronti di accelerogrammi registrati strumentalmente dimostrano che, un'approssimata conoscenza delle geometrie e delle proprietà meccaniche degli strati più superficiali e l'utilizzo di dati comunemente disponibili sulla geometria delle sorgenti sismiche, sono sufficienti per produrre una realistica previsione dello scuotimento sismico.

La definizione di un realistico input sismico può essere ottenuta dal calcolo di informazioni spettrali e storiche di un ampio intervallo di tempo, corrispondenti ai possibili scenari sismotettonici per differenti sorgenti e modelli strutturali. Questo data set di risultati può essere largamente utilizzato dall'ingegneria civile per progetti di nuove costruzioni sismo-resistenti o per il rinforzo degli edifici esistenti, e allo stesso modo rappresenta una valida base per gli aspetti di prevenzione legati alla protezione civile.

Questa procedura si dimostra scientificamente ed economicamente valida per l'immediata zonazione sismica, senza la necessità di attendere il verificarsi di forti terremoti, anche per microzonazioni, sfruttando i dati geologici, geofisici e geotecnici dell'area di interesse.

5. CALCOLO DEI SISMOGRAMMI SINTETICI

Definiti i criteri di input sismologici, i modelli ed i poligoni strutturali, si calcolano per ognuno modello di struttura gli spettri di risposta per le onde di Rayleigh e di Love. E' anche ovviamente necessario definire le coordinate dei vertici dei poligoni strutturali che andranno associati alle singole strutture. Successivamente, mediante l'utilizzo di diversi programmi, si generano i sismogrammi sintetici grazie ai quali è possibile analizzare tutti gli aspetti dello scuotimento sismico del suolo, come già esposto nel capitolo precedente. Un esempio di sismogramma sintetico generato è riportato in fig 16.

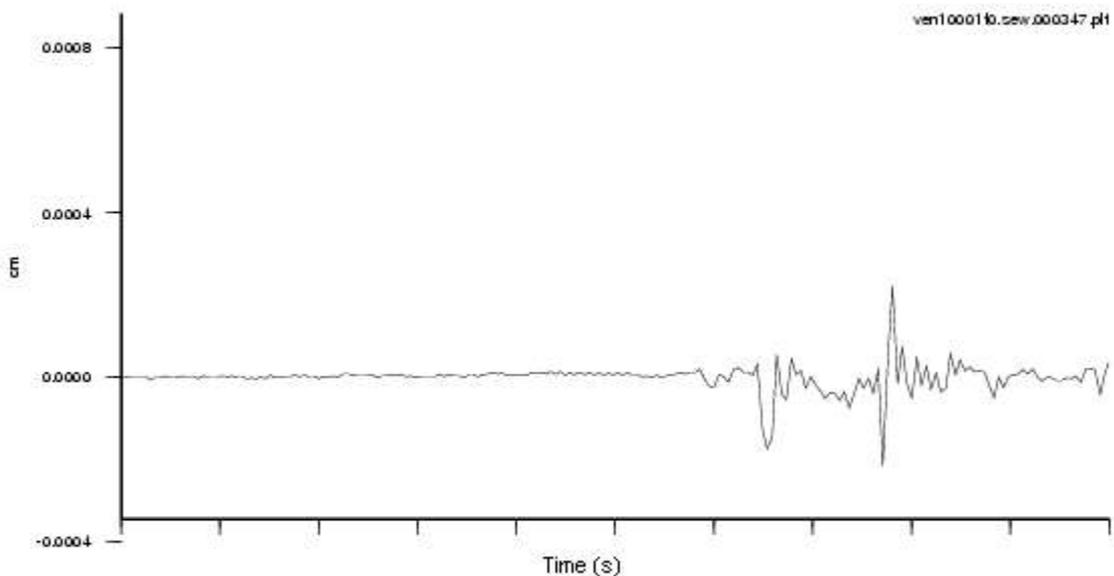


Fig.16 Sismogramma sintetico riferito alla componente E-W del moto.

Il processo si attesta nella sua validità anche per la velocità con cui si possono ottenere i risultati, ma richiede comunque abbastanza in termini prestazionali del calcolatore, ed ovviamente necessita di continue revisioni e verifiche per giungere a dei risultati definitivi.

Questo studio di carattere regionale, e considerante le varie tipologie del suolo del territorio, ha imposto revisioni e modificazioni di alcuni programmi già sviluppati in precedenza.

Per ottenere le mappe di accelerazione di progetto (DGA), come già spiegato, è necessario calcolare lo spettro di risposta sintetico cui viene riaccordata la forma spettrale della Normativa italiana. L'EPA si ottiene invece, come detto, con l'analisi degli spettri sintetici ottenuti con l'estensione dell'indagine a più alte frequenze (ex 10Hz- cap.4).

I lavori che si sono avvalsi dell'approccio considerato hanno sempre considerato condizioni di suolo rigido (bedrock), che in termini di Eurocodice, si possono definire suoli di tipo A (V_s superficiali $>800\text{m/s}$). Di conseguenza tutti gli spettri di risposta generati venivano riaccordati allo spettro di progetto parametrizzato per quel tipo di suolo.

Volendo applicare il metodo di modellazione del moto del suolo già esposto secondo i termini di classificazione del terreno dell'Eurocodice 8, si è reso necessario rielaborare i programmi precedentemente sviluppati per il solo caso del suolo A.

Difatti i valori di DGA, che rappresenta l'accelerazione di ancoraggio dello spettro di progetto EC8, desunta riaccordando lo spettro di risposta sintetico, per periodi compresi tra 1 e 5 secondi e scelti in funzione della magnitudo della sorgente, con la forma spettrale della Normativa, si riferivano esclusivamente allo spettro di risposta del suolo A calcolato secondo i parametri del EC8 (fig17).

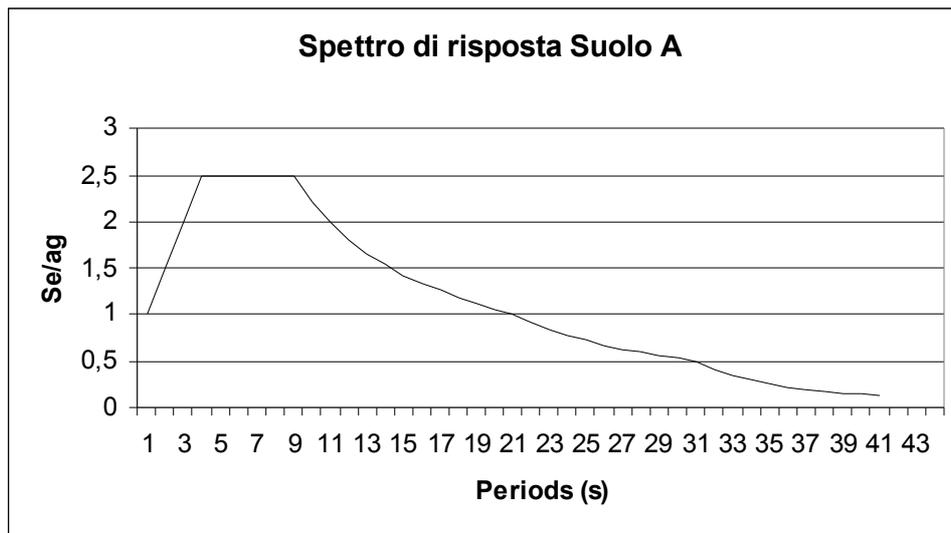


Fig.17 Spettro di risposta elastico per un suolo di tipo A ($V_s > 800\text{m/s}$) secondo EC8.

Dapprima si è quindi dovuto far sì che per ogni punto centrale delle celle venisse abbinato un tipo di suolo, e che gli spettri di risposta sintetici per tale punto si riferissero allo spettro di progetto, secondo Normativa, corrispondente. In questo modo ogni spettro di risposta, che come descritto conducono alla definizione del DGA, viene definito specificatamente per il suolo a cui si riferisce. Come ci si attendeva, tale operazione ha portato ad un notevole abbassamento dei risultati di DGA, se confrontati con quelli ottenuti rapportando gli spettri all'unica forma spettrale di tipo A, con uno shifting generalizzato verso il basso, eccettuato naturalmente il poligono che individua tutto l'alto veneto che si riferisce proprio al suolo rigido di tipo A, e sul quale quindi il nuovo programma elaborato non ha inficiato variazioni.

Più specificatamente il programma elaborato, ovviamente disponibile per un qualsiasi uso futuro che preveda la necessità di differenziare i vari tipi di spettro a seconda dei terreni, estrapola il poligono di appartenenza del punto di ricezione, abbina ad ogni poligono un tipo di suolo, ed in seguito rapporta gli spettri sintetici calcolati allo spettro di progetto che la Normativa prevede per quel tipo di suolo.

E' superfluo sottolineare che qualora venissero modificate le forme degli spettri di progetto, tra l'altro logicamente effetto di continue modifiche nel corso delle varie versioni dell'Eurocodice, tale programma sarebbe velocemente modificabile per essere aggiornato a tali migliori definizioni progettuali di risposta del suolo.

6. EUROCODICE E NORMATIVA ITALIANA

6.1 CONFRONTO TRA LA NORMATIVA ITALIANA ED EUROCODICE 8

Va ricordato che in letteratura che esistono diverse interpretazioni di spettri di risposta di progetto elastici ed anelastici per diversi tipi di suolo, e che le stesse indicazioni fornite dall'Eurocodice 8 e dalle varie normative nazionali europee differiscono anche sensibilmente.

Questo può condurre a disorientamento nella scelta di forma progettuale di spettro a cui riferirsi. Nel nostro caso, si è preferito, in un'ottica di interesse locale, relazionare l'operato alla recente nuova Normativa nazionale.

Abbiamo comunque ritenuto opportuno eseguire diverse prove, nello specifico con gli spettri di progetto designati dalla versione dell'Eurocodice del 1998, che prevedeva 3 diversi tipi di suolo come la Normativa nazionale italiana. Difatti 2 diversi programmi per il calcolo di tali spettri sono stati elaborati e poi sono stati confrontati i risultati in termini di DGA.

Il rapporto tra gli spettri di risposta ottenuti sinteticamente e gli spettri di progetto, per delineare l'accelerazione di ancoraggio DGA, non ha manifestato rilevanti differenze nel caso dell'Eurocodice 8 del 1998 e la Normativa italiana nonostante la diversa parametrizzazione delle curve attese. In questo confronto non è stata presa in considerazione l'ultima versione (2003) dell'Eurocodice poiché, come esplicitato, essa prevede ben 5 diverse curve per soddisfare i 5 tipi di terreno parametrizzati (A,B,C,D,E), inoltre la finalità del lavoro prevedeva di attenersi alla Normativa nazionale, introducendosi in uno studio in accordo alla nuova Ordinanza adottata.

6.2 LA NORMATIVA SISMICA EUROPEA: L' EUROCODICE 8 (EC8)

L'introduzione dello spettro di risposta, in termini di accelerazione, velocità e spostamento, rappresenta oggi il metodo più conveniente per valutare il ruolo esercitato dalla natura del sito sulla risposta sismica del terreno libero, in quanto la forma stessa dello spettro di risposta, tiene implicitamente conto sia dell'attenuazione delle onde sismiche in relazione alla distanza dall'epicentro, sia della risposta locale alle prove dinamiche del sito.

Queste considerazioni sono state negli anni recepite dai regolamenti sismici di diversi Paesi: il primo esempio storico è fornito dall' *Applied Technology Council* degli Stati Uniti (ATC, 1978) che individua tre forme spettrali associabili ad altrettante tipologie di sottosuolo: roccioso (S1), intermedio (S2) e soffice (S3).

L'esigenza di caratterizzare il moto sismico anche in relazione alle condizioni locali è stata comunque recentemente recepita dall' Eurocodice 8 [EC8 (CEN, 1994)], che stabilisce le regole:

- per il progetto e la costruzione di strutture (edifici, ponti, serbatoi, torri, fondazioni ed opere

geotecniche) in zona sismica;

- per la valutazione della sicurezza e l'adeguamento di strutture esistenti per i Paesi membri della Comunità Europea.

La *filosofia* che sta alla base di questo codice europeo lega la difesa dai terremoti non solo alla severità della minaccia sismica e alle caratteristiche sismoresistenti della costruzione, ma anche *al problema dell'influenza dei terreni sul comportamento sismico delle costruzioni*.

La stesura (effettuata dal CEN - Comitato Europeo di Normalizzazione -) è iniziata nel 1994 ed è ancora oggi in corso in seguito alle evoluzioni a cui è soggetta la materia sismica: molte parti sono pressoché finite, su altre stanno ancora lavorando: le prescrizioni riguardanti gli effetti locali sono trattate nella Parte 1-1 (*Azioni sismiche e Requisiti Generali delle Strutture*) e nella Parte 5 (*Fondazioni, Strutture di Sostegno e Aspetti Geotecnici*).

L'Eurocodice 8, i cui principi e metodi sono in completa armonia con quelli contenuti nelle norme dei Paesi a più alta attività sismica, quali USA, America del Sud, Cina, Giappone ed Asia del Sud-Est., fa parte di un gruppo di eurocodici "strutturali" che comprendono un insieme di standard per il progetto strutturale e geotecnico di costruzioni e per lavori d'ingegneria civile, allo scopo di indicare dei modelli di lavoro e dei livelli minimi di qualità dei prodotti di costruzione. In questo senso la Commissione delle Comunità Europee (CEC) iniziò il programma Eurocodice per stabilire un insieme di regole tecniche armoniche che potesse servire come alternativa comune alle varie metodologie in uso nei vari Stati Membri. L'EC8 si occupa di " CONDIZIONI DI DESIGN PER LA RESISTENZA DI STRUTTURE A TERREMOTI".

La differenza sostanziale tra le norme di nuova generazione, quali l'EC8, e quelle tradizionali (ormai non più in vigore in nessun Paese, in particolare europeo) consiste nell'abbandono del carattere convenzionale e puramente prescrittivo a favore di un'impostazione esplicitamente prestazionale, nella quale gli obiettivi della progettazione che la norma si prefigge vengono dichiarati, ed i metodi utilizzati allo scopo (procedure di analisi strutturale e di dimensionamento degli elementi) vengono singolarmente giustificati.

Il vantaggio di questa impostazione è duplice: fornisce al progettista la consapevolezza della finalità e del rilievo di ogni singola operazione e consente alla Committenza, comunque intesa, di graduare le prestazioni richieste all'opera in corso di progettazione in relazione ad esigenze specifiche di natura sociale ed economica.

Gli obiettivi dell'Eurocodice 8 sono sostanzialmente quelli di assicurare, in caso di terremoto, la protezione della vita umana, un danneggiamento limitato e la permanenza dell'operatività delle strutture importanti per la protezione civile: fondamentalmente sono due, consistenti nel conseguimento di una protezione "adeguata" (il termine è da intendere nel senso di "ritenuta accettabile dall'Autorità Normatrice") nei confronti di due condizioni limite: uno stato di danno

strutturale accentuato, che prelude al collasso, ed uno stato di danno agli elementi non strutturali, le cui conseguenze sono di natura essenzialmente economica.

L'elemento di importanza dominante nei riguardi della protezione che si intende conseguire per le due condizioni limite sta nel valore dell'azione sismica assunta a base del progetto. L'EC8 adotta, al riguardo, quale parametro preferenziale di scuotimento, il valore di picco dell'accelerazione orizzontale del suolo a_g (PGA), e raccomanda di utilizzare valori caratterizzati da periodi medi di ritorno pari rispettivamente a 475 e 95 anni per le due condizioni di collasso e di danno non strutturale. Tali periodi di ritorno corrispondono al 10% di probabilità di superamento rispettivamente in 50 e 10 anni. Al valore di PGA (475) è associato un sistema di forze (derivanti da criteri di carattere statico "equivalente", oppure dinamico e la struttura viene progettata per resistere ad esse.

L'EC8 prevede dunque che ogni zona sismica, individuata dalle autorità nazionali, sia caratterizzata da un determinato valore di accelerazione su terreno roccioso o comunque su terreno compatto, definendo così un valore di progetto dell'accelerazione al suolo a_g^1 .

Per definire uno spettro di risposta (spettro elastico), da utilizzare in fase di progetto, si deve fare riferimento a degli accelerogrammi relativi a terremoti verificatesi nella zona o in altre zone con caratteristiche geologiche simili. Si calcola quindi lo spettro di risposta di un numero ragionevole di accelerogrammi e lo spettro di risposta di progetto (spettro elastico di progetto) viene definito come la media opportunamente regolarizzata degli spettri relativi ad ogni accelerogramma considerato. A tale accelerazione al suolo di progetto (*design ground acceleration*) corrisponde una forma spettrale di riferimento, i cui parametri vanno associati alle condizioni geotecniche locali. Queste vengono espresse assegnando il sottosuolo ad una classe: nella versione aggiornata al 2003 si è arrivati a sette classi (A, B, C, D, E, S₁ e S₂ in luogo delle tre iniziali A, B, e C) corrispondenti a determinati profili stratigrafici e suscettibili di aggiunte e / o modificazioni per adattarsi a condizioni particolari. ***Ad ognuna di queste classi di sottosuolo viene corrisposto uno spettro di risposta elastico dell' accelerazione del terreno.*** Tale ripartizione in classi rispecchia l'influenza che le condizioni locali del terreno esercitano sull'azione sismica (eccettuate le classi S1 e S2 non parametrizzate).

Dopo aver definito lo spettro di risposta elastico, L'EC8 definisce uno spettro anelastico, denominato spettro di progetto. L'EC8 riporta, infatti, anche alcune considerazioni sulla capacità dei sistemi strutturali di esibire un comportamento non lineare in base al quale sono sollecitati a forze

¹¹ Viene definita dalle autorità nazionali; in Italia è chiamata accelerazione "di ancoraggio" dello spettro di risposta elastico - vedi Tab.6 a pg.92.

inferiori a quelle che si avrebbero nel caso in cui si ipotizzasse un comportamento lineare. Nelle strutture ordinarie si tiene conto degli effetti non lineari definendo spettri di risposta anelastici, che si ottengono dallo spettro elastico mediante l'introduzione del fattore di comportamento q .

Come abbiamo già detto, la stesura del codice è, in molte sue parti, ancora in atto: infatti gli spettri di progetto in termini di accelerazione richiedono un aggiornamento in relazione ai risultati forniti da vari ricercatori successivamente alla loro emanazione, *soprattutto per quanto riguarda l'amplificazione dovuta ai terreni soffici*. Inoltre, poiché per la progettazione antisismica delle strutture assume sempre maggiore importanza l'analisi degli spostamenti indotti dal sisma sulle strutture medesime, occorre che nella stesura ultimata siano definiti spettri di risposta e spettri di progetto in termini di spostamento e di velocità.

L'Eurocodice 8, nelle sue parti che riguardano le problematiche della microzonazione sismica, è stato specificato come pre-standard Europeo con una vita iniziale prevista di tre anni, aperto ai commenti e alle richieste di modificazioni.

Tenendo conto delle responsabilità delle autorità dei paesi membri in materia di salute e sicurezza, sono stati assegnati in questo pre-standard dei valori tecnici indicativi, soggetti a revisione dalle autorità nazionali. È inteso che questo pre-standard sia usato in congiunzione con dei documenti d'applicazione preparati dalle nazioni d'appartenenza.

Per il design di strutture in regioni sismiche i requisiti dell'Eurocodice 8 sono applicabili in aggiunta ai requisiti di altri eurocodici pertinenti in materia.

L'Eurocodice 8 è suddiviso in varie parti, in cui vengono delineate regole generali e descritti requisiti specifici per diverse tipologie (edifici, ponti, ecc.). La prima parte, di fondamentale interesse per le problematiche della zonazione sismica, si occupa dei requisiti base e dei criteri di conformità applicabili agli edifici e lavori di ingegneria civile in regioni sismiche; in aggiunta, questa parte fornisce le regole per la rappresentazione delle azioni sismiche. Date le larghe differenziazioni di rischio sismico e caratteristiche sismogenetiche nei vari paesi membri, l'azione sismica è qui definita con un numero sufficientemente largo di parametri i cui valori sono indicativi, in vista dell'aggiustamento ad ogni condizione specifica nazionale. Resta comunque l'importanza della definizione in questo pre-standard di un modello base comune, allo scopo dell'armonizzazione dei Codici.

Nello spettro dell'EC8 non sono apparentemente fornite indicazioni sull'eventualità che fenomeni di amplificazione locale modifichino sensibilmente l'accelerazione massima in superficie. In realtà, allo scopo, l'EC8 suggerisce di effettuare studi particolari nel caso di:

- a) strati superficiali di limitato spessore (5 m a 20 m) sovrastanti materiali di elevata rigidità appartenenti alla classe A, i quali sono suscettibili di elevate amplificazioni per periodi relativamente brevi di vibrazione;

b) depositi di terreno di elevato spessore costituiti da materiali di elevata plasticità ($I_p > 40$).

Per definizioni di microzonazione l'EC8 suggerisce anche di prendere in considerazione gli effetti di amplificazione del moto sismico dovuti alla topografia, da includere preferibilmente per irregolarità morfologiche quali rilievi allungati e falesie di altezza maggiore di 30 m. Per pendii con angolo di inclinazione minore di 15° , i fenomeni di amplificazione possono essere trascurati; per pendenze maggiori di 15° , il valore del parametro S (che governa il valore massimo della risposta spettrale) può aumentare fino a valori tra 1.2 e 1.6, in funzione dell'angolo di inclinazione del pendio e della presenza di strati di terreno sciolto con spessori maggiori di 5 m.

Infine, per tenere conto della variazione spaziale del fattore di amplificazione lungo i fianchi del pendio, l'EC8 suggerisce di assumere un valore di S decrescente in funzione lineare dell'altezza dell'irregolarità topografica, con valore unitario in corrispondenza della base del versante.

Emerge quindi un quadro di 'significativo controllo' delle caratteristiche dei terreni di fondazione, dei criteri di progettazione e conoscenza delle peculiarità geologico-sismologiche dell'area pur tuttavia dando maggior enfasi alla ricerca di una maggior sicurezza dell'edificio attraverso adempimenti costruttivi e non anche attraverso l'ubicazione degli stessi in aree a minor pericolosità sismica identificabili mediante la realizzazione di zonazione sismica a scala adeguata.

Esiste ampia evidenza che le strutture progettate seguendo le normative dell'EC8 posseggano margini di resistenza che consentono loro di resistere senza collasso ad azioni sismiche di livello ben superiore a quelle di progetto. Questi margini derivano da criteri e da regole supplementari di buona progettazione che le norme precedenti (comprese quelle nazionali in vigore) non contengono.

Il primo e fondamentale criterio è quello di assegnare, in fase di progetto, una resistenza differenziata ai diversi elementi strutturali, in modo che il cedimento di alcuni preceda e quindi prevenga quelli di altri. Questi ultimi, ossia quelli da proteggere, sono gli elementi il cui "cedimento" è critico nei confronti del collasso globale della struttura: esempio tipico i pilastri di un edificio. Il cedimento dei pilastri viene impedito fornendo ad essi una resistenza (di poco) superiore a quella delle travi che su di essi si innestano. Il criterio ora esemplificato con riferimento ai pilastri si estende a tutti gli altri elementi e meccanismi il cui cedimento è necessario evitare, e va sotto il nome di "gerarchia delle resistenze". Esso è adottato da più di due decenni dalle norme sismiche internazionali di USA, Nuova Zelanda, Messico, ed è oggi universalmente diffuso.

La seconda categoria di regole supplementari riguarda il progetto degli elementi strutturali il cui "cedimento" è accettato, anzi voluto, nei termini che ora si precisano.

Per "cedimento" si intende il raggiungimento ed il superamento, da parte di un elemento strutturale, della fase di comportamento elastico e quindi reversibile, per entrare in quello delle deformazioni cicliche ripetute e di grande ampiezza in campo plastico. L'obiettivo delle regole di dimensionamento è quello di consentire che tali deformazioni siano sopportate dagli elementi

strutturali senza che essi perdano la loro integrità e la loro funzione statica. La capacità di deformazione plastica si indica in campo tecnico con il termine di "duttilità".

Le "regole di duttilità" contenute nell'EC8 consentono di graduare con continuità questa caratteristica da conferire agli elementi strutturali, nella misura richiesta a ciascuno di essi dal suo ruolo nel meccanismo di deformazione globale della struttura. I procedimenti di "gerarchia delle resistenze" e le regole di duttilità sono i cardini principali che consentono, a parità del valore della azione sismica di progetto, di raggiungere senza extra costo apprezzabile livelli di protezione molto elevati, attraverso una visione globale ed una possibilità di controllo della risposta delle strutture sotto azione sismica di elevato livello.

In questo studio di zonazione regionale, come già esposto, abbiamo utilizzato la classificazione proposta dall'Eurocodice8 per caratterizzare i diversi suoli del Veneto. La classificazione è esposta in Tabella n. 1 del II capitolo. La classificazione è basata sulle velocità delle onde di taglio che caratterizza i primi 30 metri di terreno.

La velocità media di shear $V_{s,30}$ è calcolata con la seguente espressione:

$$v_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{v_i}}$$

dove h_i e v_i rappresentano rispettivamente lo spessore (in metri) e la shear-wave velocity dei singoli strati che si incontrano nei primi 30m di sottosuolo.

L' Eurocodice 8 è facilmente consultabile su internet ai siti:

<http://www.uniud.it/dic/tdc/normativa.html>. (qui è possibile consultare anche tutti gli altri Eurocodici)

<http://spaziowind.libero.it/sismica/>

<http://www.serviziosismico.protezionecivile.it/>.

6.3 NORMATIVA SISMICA NAZIONALE

Le norme² sismiche possono essere suddivise in *due* topologie:

- -la prima, *relativa all'edilizia antisismica*, raggruppa sia le “**norme tecniche di costruzione in zona sismica**”, che stabiliscono i criteri con cui gli edifici devono essere costruiti, sia le “**norme dette di classificazione, che delimitano cioè le zone sismiche**”, con i relativi gradi di rischio (prima categoria, seconda ecc.). Ad ogni zona sismica corrispondono determinate e cogenti regole tecniche statali: ogni comune (minima porzione sismica) è classificato sismico in base alla classificazione nazionale, alla zona a cui appartiene. Il progettista che deve dimensionare un edificio che si vuole costruire nel comune, per esempio, di Belluno, deve attenersi rigidamente ai cogenti criteri normativi tecnici propri della zona sismica 2;
- -la seconda tipologia invece, riguarda le “**norme emanate a seguito di un evento sismico**”, e si limita a comprendere solo quelle che dichiarano *lo stato di calamità*, quelle che definiscono *lo stato di danneggiamento dei Comuni*, e quelle che autorizzano *interventi urgenti a favore delle zone colpite da eventi sismici* (ne sono un tipico esempio quelle emanate in seguito allo sciame sismico che ha interessato le regioni Marche ed Umbria a partire dal 26 settembre 1997. Infatti oltre a *due Decreti Legge*, il n. 364 del 27/10/97 e il n. 6 del 30/01/98, convertiti in *leggi*, rispettivamente il 17/12/97 e il 30/03/98, al *Decreto*

² I tipi di norma, in ordine gerarchico decrescente, sono:

L = Legge dello Stato

D = Decreto, che può essere :

DPR = Decreto del Presidente della Repubblica

DPCM = Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri

DM = Decreto Ministeriale; le funzioni in materia sismica risultano attribuite al Ministero Dei Lavori Pubblici – LL. PP. – (oggi : delle Infrastrutture) per cui **DM LL. PP.**

DL = Decreto Legge; il Decreto legge viene poi convertito in Legge

RD = Regio Decreto oppure **RDL** = Regio Decreto Legge (fino al 02/06/1946);

Ordinanza; si tratta di uno strumento normativo nato dalla necessità di dare una risposta rapida ed integrata alle esigenze poste da una determinata questione. Ha carattere di transitorietà in attesa di un assetto definito stabile della suddetta questione.

C = Circolare ; essa può essere non cogente. Se viene richiamata da una norma Es. il DL n. x afferma che l'adeguamento sismico si fa secondo la Circolare y) allora la Circolare diventa cogente, “dice quello che si deve fare e si deve rispettare alla lettera”. Se ciò non accade allora si tratta di un Indirizzo Ufficiale che può essere o no seguito . Se, se ce ne discosta, bisogna dichiararlo e giustificarlo ed aspettare il giudizio di approvazione.

La legge ha un significato generale, il decreto più particolare mentre la circolare è ancora più particolareggiata.

L , D , e O sono tutte norme cogenti.

A livello regionale si ha : LR , DLR , OR , CR, dove **R** sta appunto per Regionale.

È importante ricordare altri tre strumenti;

Linea Guida : si tratta di una semplice direttiva; non è cogente, non è una norma

Testo Unico (TU) : raccolta normativa

Gazzetta Ufficiale (GU) : sulla quale si pubblica la norma dopo essere stata sottoposta al controllo di legittimità della Corte dei Conti che la vista e la registra. Il giorno successivo alla pubblicazione, la norma entra in vigore salvo ulteriori precisazioni.

Presidente Consiglio Dei Ministri 27/09/97 e al Decreto Ministeriale n. 499 del 28/09/98,

•

sono state emanate nel periodo compreso tra il 28/09/97 e il 19/07/2002 ben circa una trentina tra *Ordinanze Ministeriali* ed *Ordinanze Commissariali*).

Le tipologie di normativa spesso sono correlate tra loro: in Italia, infatti, fino al 1974, l'inserimento dei Comuni nelle liste nelle quali si rendeva obbligatoria l'osservanza delle norme tecniche, avveniva, il più delle volte, non sulla base di una valutazione della pericolosità sismica, ma piuttosto perché il Comune era stato interessato recentemente da un evento. Al binomio classificazione sismica e normativa tecnica, riassunto nella prima tipologia, è affidato inoltre il gravoso compito di contribuire alla riduzione del rischio sismico. Tale binomio ha agito con efficacia diversa nel tempo ma, soprattutto, ha potuto intervenire solo sulle costruzioni edificate nelle zone interessate dalla classificazione dopo l'entrata in vigore della stessa o sulle costruzioni soggette ad interventi di riparazione post-sisma³. Così oggi risulta essere imponente il patrimonio edilizio 'non protetto': secondo stime del Servizio Sismico Nazionale, in Italia, dove la classificazione interessava circa il 45% del territorio nazionale, solo il 14% delle abitazioni è protetto. Se prendiamo in considerazione solo le zone attualmente classificate sismiche, circa il 60% delle abitazioni non è stato realizzato tenendo conto delle norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche. Una parte notevole di questo patrimonio a rischio è proprio quella di maggiore interesse storico ed ambientale e ad essa si rivolge in misura crescente il recupero edilizio, il cui fatturato ha ormai superato quello delle nuove costruzioni.

Dopo più di vent'anni di quasi totale immobilità, la nuova normativa per le costruzioni in zona sismica e i criteri per la classificazione emanati dall'Ordinanza 3274/2003 hanno determinato un deciso passo avanti verso l'attuazione di una strategia di prevenzione e mitigazione del rischio sismico moderna, efficace e scientificamente corretta. Negli ultimi 20 anni infatti anche gli studi di ingegneria sismica hanno fatto enormi progressi. Essi sono stati sintetizzati nelle diverse parti del EC8 , come già esposto, e sull'EC8, che sarà la futura normativa sismica dei paesi membri dell'Unione Europea, è stata basata la redazione delle nuove norme italiane. Allineandosi con gli standard internazionali le nuove norme risultano decisamente innovative nei loro aspetti fondamentali rispetto alle vecchie norme. Ci si riferisce in particolar modo all'aspetto all'approccio progettuale prestazionale, alla definizione delle azioni di progetto, alle nuove procedure di progettazione, analisi e verifica, in un'ottica moderna di protezione sismica. In particolare poi, per le strutture isolate di edifici e ponti vengono fornite tutte le indicazioni e le prescrizioni per la progettazione, il calcolo, le verifiche.

³ *Anche le costruzioni interessate da interventi di 'adeguamento sismico' possono essere ritenute sicure quasi come quelle costruite ex novo; la gran parte di queste ultime, tuttavia, sono state interessate da interventi post sisma e solo in minor misura sono state adeguate nell'ambito di lavori 'ordinari'.*

6.3.1 Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 20 marzo 2003

Il 9 maggio 2003 è entrata in vigore l'ordinanza n. 3274 del Presidente del Consiglio dei Ministri 20/03/2003 - "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*" - con la quale il DPC adotta la nuova classificazione sismica nazionale e le nuove norme tecniche per gli edifici, i ponti e le opere di sostegno dei terreni.

L'aver predisposto in tempi brevissimi (la bozza è stata pubblicata il 15 gennaio) un provvedimento di portata molto vasta e con impatto immediato su molte Amministrazioni e cittadini ha portato alla necessità, come si vedrà più avanti, di predisporre una nota di primi chiarimenti su alcuni aspetti applicativi dell'Ordinanza 3274.

Così, la Nota Esplicativa del 4 giugno 2003 afferma che ***per altri 18 mesi resterà in vigore anche il vecchio e previgente assetto normativo*** (normativa + classificazione) rappresentato da "L. 02/02/74 n. 64 ; DM. 03/03/75" e successive modifiche ed integrazioni (l'ultima è il DM LL. PP. 16/01/1996) e dalla "serie di DM LL. PP. emanati tra il 1979 e il 1984"(l'ultimo è quello del 14/07/84).

Salvo i casi previsti in cui questo rimane obbligatorio, sarà data facoltà di scegliere se utilizzare il 'vecchio' o il nuovo assetto normativo. Ciò fino al 9 novembre 2004 quando il nuovo binomio normativa + classificazione diverrà unico e cogente. Riportiamo in seguito quindi la fondamentale Legge 64/1974.

6.3.2 Legge 64/1974

Il 2 febbraio 1974, con l'emanazione della legge n. 64 viene varata la legge quadro per la protezione dal rischio sismico e viene posta una pietra miliare nel percorso della normativa, non solo sismica. Essa stabilisce il quadro di riferimento per le modalità di classificazione sismica del territorio nazionale e il quadro di redazione delle normative tecniche; ma soprattutto affida ad appositi Decreti ministeriali il compito di disciplinare, sotto il profilo della sicurezza, i diversi settori delle costruzioni, garantendo inoltre un più agevole aggiornamento successivo delle norme stesse. Così, negli anni seguenti, sono state prodotte norme tecniche relative ad edifici, ponti, dighe e alle indagini sui terreni di fondazione, senza dover ricorrere allo strumento della Legge. E' stato inoltre previsto un sistema di controlli e di repressione delle violazioni particolarmente incisivo nelle zone sismiche, la cui efficacia tuttavia si è progressivamente ridotta a seguito della possibilità introdotta dalla Legge 741/81 di snellire le procedure di controllo attraverso metodi a campione.

Anche nel settore della classificazione, il cambiamento decisivo avvenne con la Legge del 2 febbraio 1974, la quale stabilì che la classificazione sismica del territorio italiano doveva procedere sulla base di *comprovate motivazioni tecnico scientifiche* e rimandò a "*decreti del Ministro per i*

Lavori Pubblici emanati di concerto con il Ministro per l'Interno, sentiti il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e le Regioni interessate” l'aggiornamento degli elenchi delle zone dichiarate sismiche.

Infatti la legge 64/1974 "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche" delega il Ministro dei Lavori Pubblici (oggi: delle Infrastrutture) :

- 1) all'aggiornamento degli elenchi delle zone dichiarate sismiche;
- 2) ad attribuire alle zone sismiche differenziati del grado di sismicità da prendere a base per la determinazione delle zone sismiche e di quant'altro specificato dalle norme tecniche;
- 3) all'emanazione per decreto, di concerto con il Ministro dell'Interno e sentito il parere del Consiglio Superiore dei lavori Pubblici ed il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), di norme tecniche per costruzioni sia pubbliche che private;
- 4) all'eventuale necessario aggiornamento successivo degli elenchi delle zone sismiche e dei valori attribuiti ai gradi di sismicità affidato ad appositi decreti ministeriali.

Il punto forte e vincente di questa legge è, dunque, la possibilità di aggiornare classificazione e norme ogni qualvolta ciò sia giustificato dal progredire delle conoscenze dei fenomeni sismici (è per questo che è rimasta in vigore tutti questi anni e continuerà a farlo fino al novembre 2004). La classificazione sismica prevede, quindi, l'inserimento dei comuni a rischio in una delle categorie sismiche individuate e, per i comuni classificati, valgono specifici criteri progettuali e costruttivi.

La legge 2 febbraio 1974 ha innovato fortemente il quadro normativo che attiene alla sicurezza delle costruzioni, sia in generale che per le zone sismiche.

La legge 64, come è già stato detto, non contiene più precise prescrizioni da seguire per le costruzioni in zone sismiche, ma rinvia alla disciplina di specifiche norme tecniche da emanarsi da parte del Ministero dei lavori pubblici, di concerto col Ministero dell'interno, e da aggiornarsi, eventualmente, ogni qual volta sia necessario, in relazione al progredire delle conoscenze dei fenomeni sismici. Vengono però stabiliti dalla legge stessa gli argomenti che dovranno essere disciplinati dalle norme tecniche e vengono fornite indicazioni di carattere generale.

6.3.3 Quadro Normativo Vigente

Un'efficiente normativa per l'adeguamento del patrimonio edilizio agli standard di sicurezza che si ritengono accettabili, è il punto di partenza indispensabile per qualunque politica di prevenzione e mitigazione dei danni dei terremoti. Pianificazione urbanistica e protezione civile sono ambedue momenti di intervento per limitare i danni provocati dai terremoti. Ciò che cambia è la scala dell'intervento che nel caso della protezione civile è di tipo nazionale mentre è locale nella pianificazione urbanistica. A livello più generale possono essere definiti tre livelli di intervento: quello nazionale interessa la classificazione sismica, quello regionale è relativo all'introduzione di

specificazioni nella classificazione sismica nazionale e all'individuazione delle aree prioritarie di intervento antisismico sulle vecchie costruzioni, e quello comunale provvede alla pianificazione urbanistica tramite lo strumento dei piani regolatori. Questi tre livelli, o almeno due dei tre qualora si voglia trattare il livello regionale e comunale come un tutt'uno, dovrebbero trovare specifico spazio nella legislazione e tematiche e competenze dovrebbero essere chiaramente separate. La presente situazione in Italia non è quella auspicata e talvolta la struttura locale surroga le competenze dell'autorità nazionale o viceversa.

Il corpo legislativo che regola le necessità dello sviluppo e dell'utilizzo del territorio, specificatamente ancor più in zona sismica, si sviluppa, sia a livello nazionale che regionale e comunale, secondo tre direttrici, non sempre convergenti ed interdipendenti, relative alla *pianificazione territoriale*, alla *normativa sismica* ed alla *protezione civile*.

Ciò è in buona parte derivato da una visione delle problematiche del territorio e del tessuto sociale che ha privilegiato scelte di settore tecniche o politico-amministrative; la tendenza attuale è auspicabilmente quella di una convergenza culturale, verso concetti universali quali la prevenzione e previsione non solo delle calamità, ma anche della pianificazione e gestione di ogni risorsa.

In via di principio, la conoscenza dei rischi incombenti sul territorio comporterebbe necessariamente la predisposizione o la revisione automatica dei piani urbanistici esistenti e redatti in epoche in cui le tematiche e ambientali e di protezione civile non emergevano così chiaramente dal contesto degli interessi, a volte opposti o contrastanti, che generalmente hanno determinato la conformazione degli strumenti urbanistici. La realtà, purtroppo, è talvolta molto distante dalle linee di principio.

Il quadro normativo di riferimento che riguarda, direttamente o indirettamente, le zone sismiche afferisce a due filoni principali, *uno relativo alla protezione civile*, e *l'altro relativo alla normativa sismica*, integrata da ulteriori leggi relative agli strumenti urbanistici. In questo contesto, i punti di convergenza fra protezione civile e pianificazione territoriale sono stati per lo più portati avanti da leggi e regolamenti regionali che si sono dimostrati più vicini alle realtà ed ai problemi specifici del loro territorio.

6.3.4 La Normativa Sismica-Considerazioni

Come abbiamo già visto precedentemente la normativa sismica si suddivide in due tipologie: quella relativa all'edilizia antisismica, che comprende sia le "norme tecniche di costruzione in zona sismica" sia le "norme di classificazione"; e quella che riguarda le "norme emanate a seguito di un evento sismico".

Queste ultime hanno uno scarsissimo interesse procedurale e tecnico: dichiarano lo stato di calamità, definiscono lo stato di danneggiamento dei Comuni, autorizzano interventi urgenti a

favore delle zone colpite da terremoti; per cui d'ora in poi quando si parlerà di normativa sismica ci si riferirà a quella relativa all'edilizia antisismica e dunque al **binomio – normativa tecnica + classificazione** - .

Obiettivo generale della normativa sismica è quello di garantire un livello di protezione uniforme ed accettabile in tutto il territorio nazionale rispetto agli effetti dei terremoti. Anche se il problema della definizione in assoluto dei livelli di sicurezza che la comunità ritiene di dover assumere nei confronti delle azioni sismiche non è stato fatto oggetto di riflessioni esplicite, di fatto il livello di protezione è stato implicitamente assunto dalle norme. Per il territorio classificato sismico sono quindi implicitamente considerati danni relativi alle strutture materiali conseguenti ai terremoti, allo scopo di dimensionare entro " soglie accettabili" le spese di consolidamento strutturale degli edifici e delle infrastrutture a rischio.

In altri termini la normativa punta, in linea di principio, ad uniformare e abbattere a livelli accettabili il rischio sismico, quantificando l'influenza dei fattori di rischio (la pericolosità, la vulnerabilità o l'esposizione) e riducendone l'impatto. I diversi strumenti normativi utilizzati per tale scopo, riguardano l'individuazione delle zone sismiche (*classificazione/normativa classificativa*), delle relative azioni (*normativa tecnica*), dei criteri di progetto e di verifica a fronte di tali azioni (*normativa tecnica*), dei criteri di programmazione e regolamentazione dell'uso del territorio (*norme urbanistiche*) e dei criteri di controllo dell'applicazione delle norme.

In tale contesto, *l'obiettivo specifico dell'individuazione delle zone sismiche* è di suddividere il territorio in zone appartenenti a categorie nelle quali siano relativamente omogenee le condizioni di pericolosità sismica di base; *l'obiettivo dei criteri generali* è di fornire le indicazioni per effettuare tale operazione, tenendo conto dei risultati degli studi di pericolosità e delle scelte operate per la mitigazione del rischio sismico. Nei criteri per l'individuazione delle zone sismiche stabiliti dall'Ordinanza PCM n. 3274 20/03/03, in accordo con quanto previsto dall'EC8, la pericolosità di riferimento è definita convenzionalmente come quella corrispondente alla probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

La classificazione sismica del territorio e le norme tecniche, contribuendo sinergicamente alla garanzia dei livelli minimi di rischio, dovrebbero essere sempre aggiornate in modo coordinato fra loro. In quest'ottica le norme stesse potrebbero essere differenziate, per quanto riguarda la specificità delle prescrizioni, in funzione della pericolosità sismica. Nelle zone a bassa sismicità, ad esempio, la garanzia della tutela della vita può essere efficacemente perseguita attraverso regole di buona pratica, attenuando alcuni obblighi riguardanti le limitazioni dimensionali o le verifiche. È opportuno notare che anche nei comuni con sismicità trascurabile si possono generalmente verificare moderati eventi sismici, capaci di produrre danni non gravi ma significativi a livello economico. In tali comuni l'adozione di requisiti minimi, tendenti a ridurre la vulnerabilità sismica,

sarebbe sostanzialmente ininfluenza sul costo iniziale, ma efficace per ridurre il rischio economico. Ad esempio si potrebbero introdurre limitazioni che riguardano: regolarità, dettagli costruttivi, caratteristiche dei materiali, larghezze stradali ed azioni orizzontali minime da considerare nel progetto delle nuove costruzioni e relative prestazioni attese.

In alcuni casi gli obiettivi da raggiungere con l'individuazione delle zone sismiche e con la normativa tecnica sono diversi dai precedenti. Ad esempio nel caso di edifici per i quali è richiesta una continuità funzionale al verificarsi di eventi catastrofici. In tali casi occorre fare riferimento a probabilità di superamento coerenti con gli obiettivi richiesti per tali opere (Circ. Min. 5 febbraio 1985. n. 25882; Ministero LLPP - Presidenza del consiglio superiore - Servizio tecnico centrale, Linee guida per la progettazione, esecuzione e collaudo di strutture isolate dal sisma, dicembre 1998). Il risultato può essere raggiunto lasciando inalterata la classificazione e modificando le azioni sismiche di progetto mediante appositi coefficienti di protezione sismica coerenti con le caratteristiche di pericolosità del sito.

Occorre rilevare che in generale le graduatorie di pericolosità derivanti dall'utilizzo della probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni possono variare se si sceglie una diversa probabilità o un diverso periodo di osservazione: probabilità più alte possono far emergere maggiormente le zone caratterizzate da sismicità frequente ma non distruttiva, mentre l'opposto può accadere se si sceglie una probabilità più bassa o un periodo più elevato.

L'assetto normativo sismico *attualmente in vigore* è costituito da un **doppio binomio** normativa tecnica + classificazione:

- quello *nuovo*, rappresentato dall'Ordinanza PCM n. 3274 del 20 marzo 2003 pubblicata sulla GU l'8 maggio;
- quello *'vecchio'*, previgente a questa data, rappresentato dalla Legge n. 64/1974 e dal corpo di leggi e decreti, sia dello Stato che Regionali, che ne sono derivati: in particolare rappresentato, per quanto concerne il settore *'tecnico'*, dalla dal Decreto Ministeriale del 3 marzo 1975 (e successive modifiche ed integrazioni) e, per quanto riguarda il settore *'classificazione'*, dalla serie di Decreti del ministro dei lavori pubblici emanati tra il 1979 e il 1984.

Ciò è infatti quello che il Governo ha stabilito e comunicato con la Nota Esplicativa del 4 giugno 2003.

7 CONFRONTI TRA LE STIME DI PERICOLOSITA' DEL TERRITORIO

La Normativa, come esposto in cap.6, delinea delle modalità di stima di pericolosità sismica del territorio, ma permette ovviamente qualsiasi metodo di indagine per il miglioramento della Mappa

del rischio sismico Nazionale. Questo lavoro adotta l'approccio deterministico, meno diffuso del metodo Probabilistico. Le differenze sono diverse e si rende quindi necessario chiarire se i risultati siano confrontabili per una efficace difesa del territorio. Tra le maggiori differenze va ricordato che i risultati ottenuti con questo metodo non sono legati ad un periodo di ritorno, ma rappresentano i massimi valori attesi, partendo dal presupposto che la massima magnitudo del catalogo rappresenti i massimi terremoti possibili. I metodi probabilistici considerano invece la completezza degli effetti legati a tutti i terremoti potenziali delle varie sorgenti ritenute in grado di influenzare il sito, con l'incertezza relativa e la valutazione di ipotesi alternative.

7.1 ANALISI PROBABILISTICHE

I metodi probabilistici rappresentano una integrazione degli effetti legati a tutti i terremoti potenziali delle varie sorgenti ritenute in grado di influenzare il sito, con l'incertezza relativa e la valutazione di ipotesi alternative. La formulazione di diverse ipotesi e la valutazione della loro attendibilità tendono ad oscurare gli elementi che guidano il risultato: ciò si traduce in una certa difficoltà di utilizzazione per progettisti e decision-makers. Inoltre la gestione matematica di incertezze crea una falsa impressione di accuratezza anche dove le conoscenze si rivelano inadeguate.

Le finalità per la quale viene effettuata una valutazione dello scuotimento, e il livello di conoscenze disponibili per una certa zona, determina solitamente l'approccio metodologico.

Tali analisi rappresentano lo scuotimento atteso a livello regionale riferito ad un certo livello di probabilità in un fissato periodo di tempo, e generalmente assumono un unico suolo di riferimento (roccia) per tutta l'area studiata.

Variazioni locali rispetto a questo scuotimento medio vengono considerate tramite procedure specifiche (es FIELD et al. 2000), non rientrano di norma nel problema della classificazione anche se si rivelano molto utili per esempio nei prodotti di ricaduta del settore assicurativo.

Il metodo probabilistico più usato (CORNELL 1968) utilizza un catalogo di terremoti, una zonazione sismogenetica e una relazione di attenuazione del parametro di scuotimento scelto (generalmente PGA o intensità macrosismica).

7.2 CONFRONTO FRA LE STIME DI PGA E DGA

In termini di efficacia del confronto tra metodi, risulta indispensabile definire se i valori di DGA (Design Ground Acceleration) e EPA (Effective Ground Acceleration) ottenuti con il metodo Deterministico sono confrontabili con i valori di PGA (Peak Ground Acceleration) ottenuti con il metodo Probabilistico.

Il confronto che viene proposto è quello fra i valori di PGA ottenuti con il metodo probabilistico e quelli di DGA calcolati con il metodo deterministico. Per prima cosa bisogna

puntualizzare come le due grandezze rappresentino accelerazioni diverse: PGA è, infatti, l'accelerazione orizzontale di picco con periodo di ritorno 475 anni calcolata trattando in termini probabilistici la sismicità delle varie ZS e tenendo conto della dispersione dei dati su cui è calibrata la relazione di attenuazione; DGA, invece, è l'accelerazione di ancoraggio dello spettro di progetto EC8, estrapolata dal valore a 1 Hz calcolato tramite modellazione dello scuotimento

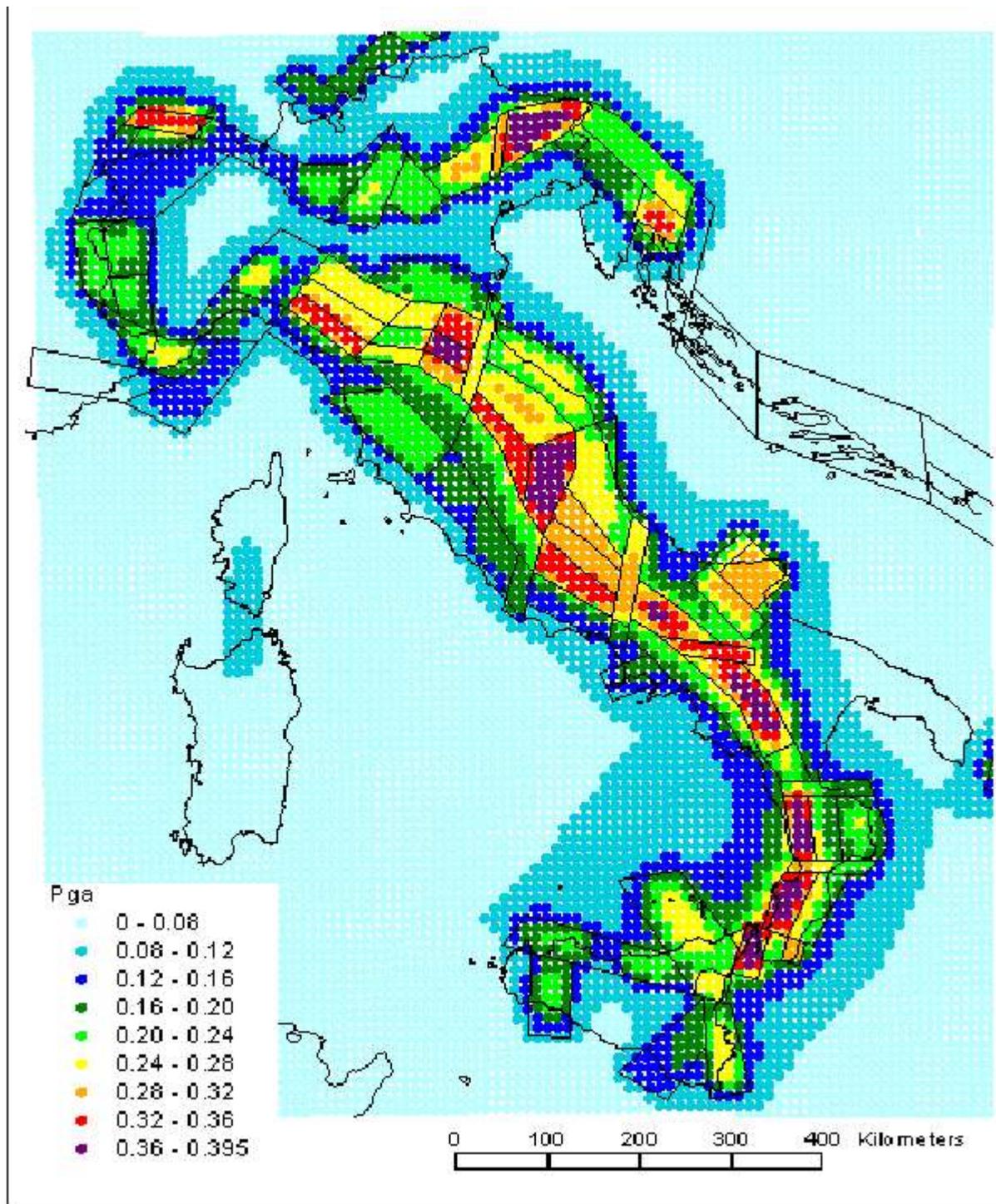


Fig. 18 - PGA con periodo di ritorno 475 anni (da Slejko et al., 1998) calcolata con il metodo di Cornell. Da Meletti C., Slejko D., Vaccari F. (1999) – *Confronti con le stime di pericolosità sismica del territorio nazionale realizzate in ambito GNDT*. CNR-GNDT

provocato dal terremoto massimo in ogni ZS. Questo comporta che nel calcolo di PGA tutti i terremoti che contribuiscono al risultato finale, mentre DGA è calcolato solo sulla base dell'evento massimo.

La Fig. 18 (da Slejko et al., 1998) mostra i valori di PGA ottenuti per l'intero territorio nazionale. E' la rappresentazione esatta del dato che esce dal codice di calcolo utilizzato per tale stima. La griglia di nodi ha un passo di campionamento di 0,1 gradi sia in latitudine sia in longitudine. I valori più alti di PGA, superiori a 0,36g, sono riscontrabili nell'Appennino meridionale, in quello centrale ed in Friuli.

Tutta la catena appenninica è, comunque, caratterizzata da accelerazioni superiori a 0,24 g. L'influenza della geometria delle ZS sui risultati di pericolosità è chiaramente visibile.

La Fig. 19, nella pagina successiva, rappresenta invece i valori di DGA, stimati con il metodo deterministico, nei nodi della griglia con passo di 0,2 gradi (da Panza et al., 1999). I valori più alti di DGA, superiori a 0,36 g, sono visibili nell'Appennino meridionale ed in Calabria, in corrispondenza delle localizzazioni dei più forti terremoti italiani.

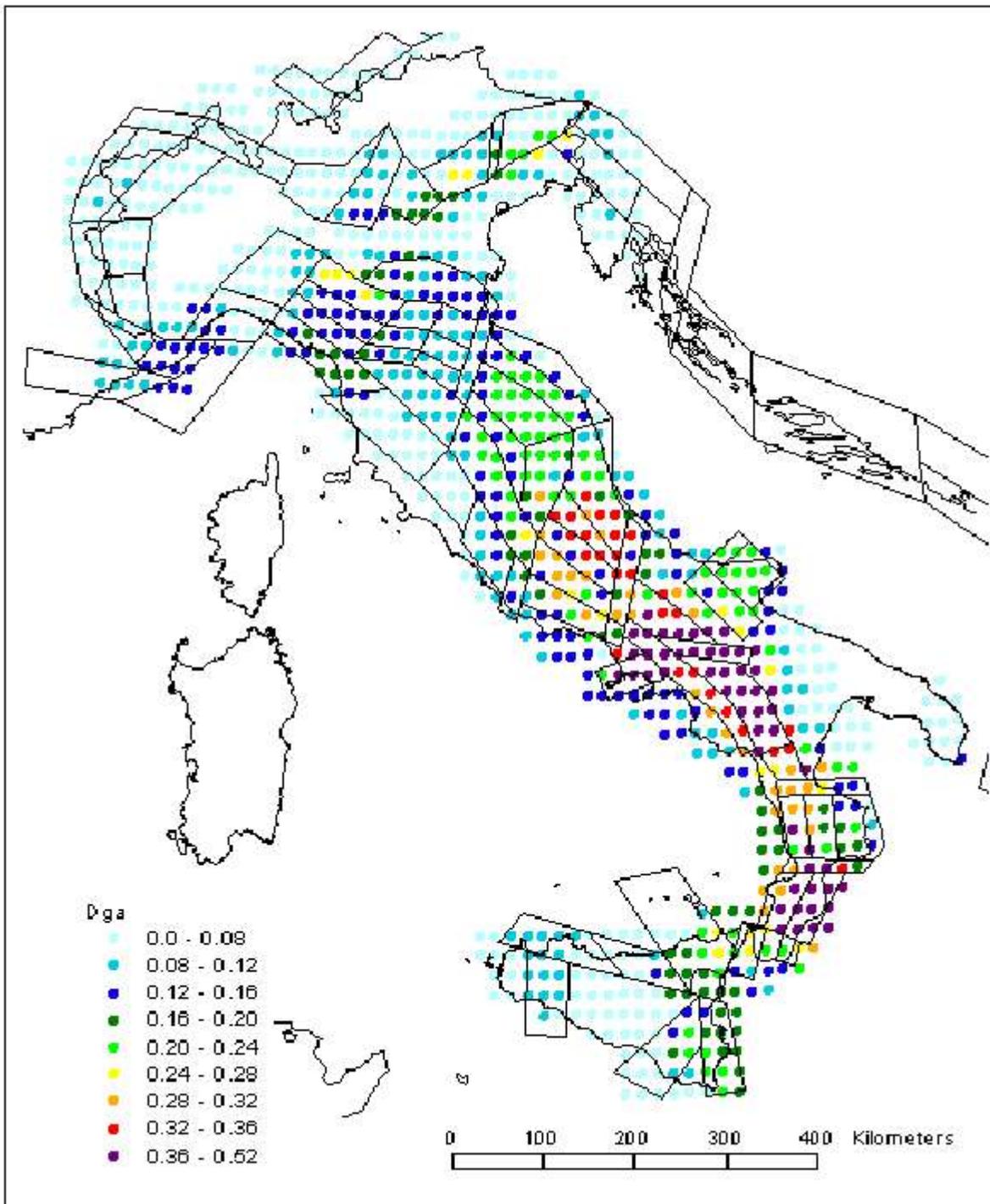


Fig. 19 - DGA calcolata col metodo deterministico (da Panza et al., 1999). Da Meletti C., Slejko D., Vaccari F. (1999) – *Confronti con le stime di pericolosità sismica del territorio nazionale realizzate in ambito GNDT. CNR-GNDT*

Si vede la differenza evidente fra la pericolosità medio bassa, inferiore a 0,24 g, dell'Italia centro-settentrionale, a nord dell'Umbria, da quella alta, superiore a 0,28 g, dell'Italia meridionale. In ambedue le carte, la Sicilia è caratterizzata da valori relativamente modesti, fatta eccezione per la zona dello stretto di Messina.

Nella Fig. 20 sono rappresentati i nodi della griglia con colori che indicano le differenze tra le due stime di accelerazione (DGA-PGA, espresse in g); tali differenze sono state raggruppate in 5 classi di colori.

Le differenze comprese tra -0,05 e +0,05 (nodi della griglia colorati in giallo) rappresentano i punti in cui le due stime possono essere considerate equivalenti e pertanto non sono stati oggetto di alcuna analisi dettagliata (statisticamente rappresentano un terzo dei nodi dell'intera griglia). Una parte estesa della Regione Veneto presa in esame in questo progetto ricade in questa zona.

Tutte le altre differenze sono state raggruppate in 2 classi per i valori negativi ed altre 2 classi, simmetriche, per quelli positivi, secondo la scansione riportata nella legenda della figura. Le due classi estreme di questa classificazione (vale a dire le differenze maggiori di 0,15 g, in valore assoluto) rappresentano differenze molto significative per qualunque valore assoluto di accelerazione e sono state oggetto di un'analisi dettagliata.

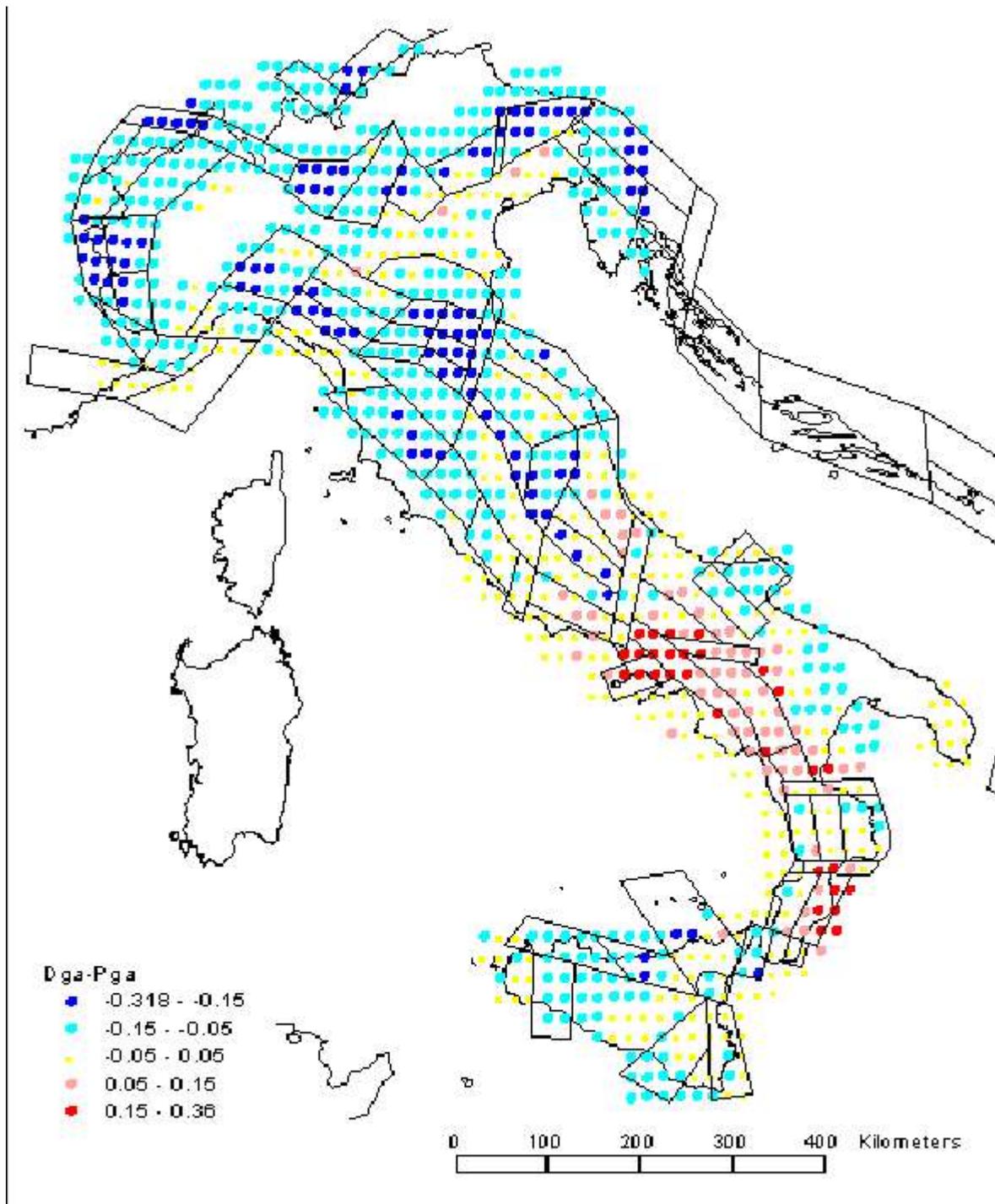


Fig.20 - Differenza dei valori di DGA e di PGA per il territorio nazionale. Da Meletti C., Slejko D., Vaccari F. (1999) – *Confronti con le stime di pericolosità sismica del territorio nazionale realizzate in ambito GNDT. CNR-GNDT*

7.2.1 Punti nei quali DGA è molto maggiore di PGA

Si tratta dei punti di colore rosso in Fig. 20: sono concentrati nell'Italia meridionale e in particolare in ZS a bassa pericolosità (ad esempio le ZS 56, 57 e 70) oppure sul bordo esterno di ZS ad elevata pericolosità (come nel caso della ZS 63).

E' interessante, inoltre, notare come nelle ZS 57, 63 e 64, la differenza tra le due stime sia maggiore subito al di fuori delle zone che non all'interno delle stesse. La spiegazione che ci sembra di poter proporre da queste osservazioni è che le forti differenze tra le due carte, localizzate poco al di fuori di ZS ad alta pericolosità, derivino dai diversi valori di sismicità che sono stati considerati nei due metodi. Infatti, nella carta di PGA la sismicità viene considerata zona per zona e il tasso di sismicità viene calcolato individualmente per ogni ZS e poi attribuito uniformemente ("spalmato") a tutta la ZS (tenendo conto opportunamente dello spessore dei bordi di zona, vedi Slejko et al., 1998). Nella carta DGA, invece, ad ogni sorgente viene assegnata la magnitudo massima che ricade nel raggio di 3 celle attorno al nodo in esame, vale a dire nel raggio di 0,6 gradi (si leggano maggiori dettagli in Costa et al., 1993; Panza et al., 1996, 1999). In questo modo può avvenire che una magnitudo elevata sia attribuita anche a celle al di fuori della ZS in cui ricade l'epicentro del relativo terremoto e, di conseguenza, si possono generare forti accelerazioni su nodi della griglia distanti, per i quali la carta di PGA, invece, stima valori molto più bassi in quanto esterni alla ZS ad alta sismicità.

7.2.2 Punti nei quali PGA è molto maggiore di DGA

I punti della griglia per i quali i valori di PGA sono molto più elevati di quelli di DGA (punti di colore blu in Fig. 20) sono riscontrabili nell'Italia centrosettentrionale e un settore limitato della Sicilia. L'alto Veneto ricade in questo settore. Le differenze sono da imputare al fatto che, mentre nella carta di PGA tutta la sismicità contribuisce alla stima di pericolosità, l'approccio deterministico non tiene conto né dei terremoti mediopiccoli né della frequenza del terremoto massimo. In alcuni casi le differenze sono riscontrabili in prossimità dei bordi delle ZS: questo è un chiaro indizio della 'spalmatura' dei tassi di sismicità sulla ZS nel probabilistico.

Un esempio canonico è dato dalla ZS 04 (Friuli). Essa è caratterizzata da una massima magnitudo osservata medio-alta (6,4) dalla quale è stata stimata una magnitudo massima possibile di 6,7. I tassi di sismicità di tutte le magnitudo considerate nel calcolo di PGA sono, inoltre, piuttosto elevati (vedi Slejko et al., 1998). La somma dei contributi di tutte le classi di magnitudo porta, pertanto, a superare il valore di DGA calcolato solo considerando la massima magnitudo riportata dal catalogo. Come conseguenza, all'interno di questa ZS si registra la differenza massima tra le due carte (DGA-PGA = -0,318 g).

Casi simili di tassi vivaci di sismicità, però con magnitudo massima osservata media, competono anche alle ZS 03 (in parte), 15, 19, 21, 28, 35, 40, 45 con conseguenti differenze piuttosto sensibili fra le due carte.

Patologie simili (tassi di sismicità vivaci senza elevate magnitudo massime) che però non portano a differenze molto forti fra i risultati di PGA e DGA sono rappresentate dalle ZS 39, 43, 44, 53, 67, 75, 76. In queste ZS le massime magnitudo attribuite dai due diversi metodi sono sensibilmente differenti e portano ad una compensazione delle differenze. A titolo di esempio si fa notare come nella ZS 53 la massima magnitudo usata per la costruzione della carta di PGA sia 5,8, mentre per la carta di DGA è stato usato un valore di 7,3 (terremoto del 1915), importato in questa ZS dalla vicina ZS 51 del Fucino. In alcune di queste zone, in particolare, si può osservare come le due diverse tendenze (alta DGA, provocata da una forte magnitudo in ZS limitrofa, ed alta PGA, causata da tassi di sismicità elevati) si mescolino in maniera tale che all'interno di una stessa ZS si passi da valori maggiori di DGA (laddove si è più vicini al forte terremoto) e valori più o meno simili, fino a valori decisamente maggiori di PGA. Questo fenomeno è molto evidente nella ZS 53 e in misura minore nella ZS 67.

Un'ultima situazione particolare, con conseguenti differenze sensibili fra le due carte, riguarda le ZS 36, 37 e 38. Sono queste 3 zone di dimensioni ridotte e confinanti tra loro. In questo caso gli alti valori presenti nella carta di PGA derivano da un effetto di 'cumulo' tra le 3 zone. Ciò significa in altre parole che la pericolosità di queste ZS risente contemporaneamente dei contributi di sismicità di tutte e tre le zone. Va a questo riguardo ricordato che nella carta di PGA (Fig. 2) questi stessi punti risultano tra quelli con i valori più elevati di tutta Italia.

7.2.3 Considerazioni

Le differenze tra le due stime di pericolosità sono ricondotte in gran parte alle diversità insite nei due metodi di calcolo, sia in termini di approccio, sia in termini di scelte di parametri di input che stanno alla base dei metodi. Le differenze sono, perciò, principalmente da imputare al fatto che, mentre nel probabilistico tutta la sismicità della ZS contribuisce alla stima della sua pericolosità, l'approccio deterministico non tiene conto della frequenza dei terremoti. Bisogna, ancora, ricordare che nell'approccio deterministico la magnitudo massima usata per calcolare lo scuotimento viene distribuita intorno al suo epicentro a prescindere dalle ZS e quindi anche al di fuori della ZS di pertinenza di un certo evento.

8. RISULTATI

I diversi processi di calcolo analisi e confronto degli elaborati, che non sono ovviamente riportati nella loro completezza in questo lavoro, hanno condotto alla delineazione dello scenario di scuotimento sismico per la regione Veneto. Tali elaborati, qui esposti come mappe, rappresentano un risultato importante, anche se solo preliminare, iniziando a colmare una lacuna conoscitiva del nostro territorio in termini specifici di moto sismico del suolo, in un'ottica finalizzata all'ingegneria civile nell'aggiornamento necessario dei criteri progettuali. Tali criteri sono sempre più indissolubilmente legati alla corretta e realistica definizione dei valori attesi del moto del suolo in seguito ad un evento sismico, che come già detto, non può prescindere dalla conoscenza della natura geologica, geotecnica, e geofisica locale. Questi risultati, grazie al formidabile metodo deterministico utilizzato, sono facilmente spendibili e, soprattutto, ottenibili in modo relativamente facile e veloce, senza dover attendere rari (fortunatamente) ed importanti terremoti naturali, anzi utilizzando eventuali sismi per validare ed affinare il metodo. E' ad esempio, nel caso del territorio analizzato, il sisma avvenuto 12 luglio nei pressi di Kobarid in Slovenia in una zona prossima al confine nazionale (vedi fig.21), può essere in un prossimo futuro sfruttato per confrontare i valori attesi da quelli sperimentali registrati della rete accelerometrica in Veneto.

Si rammenta che tutti i risultati, esposti sotto forma di mappe di distribuzione dei valori considerati, derivano dalla seconda modellazione del territorio esposta nel capitolo 2 e dalla definizione dei poligoni strutturali corrispondente.

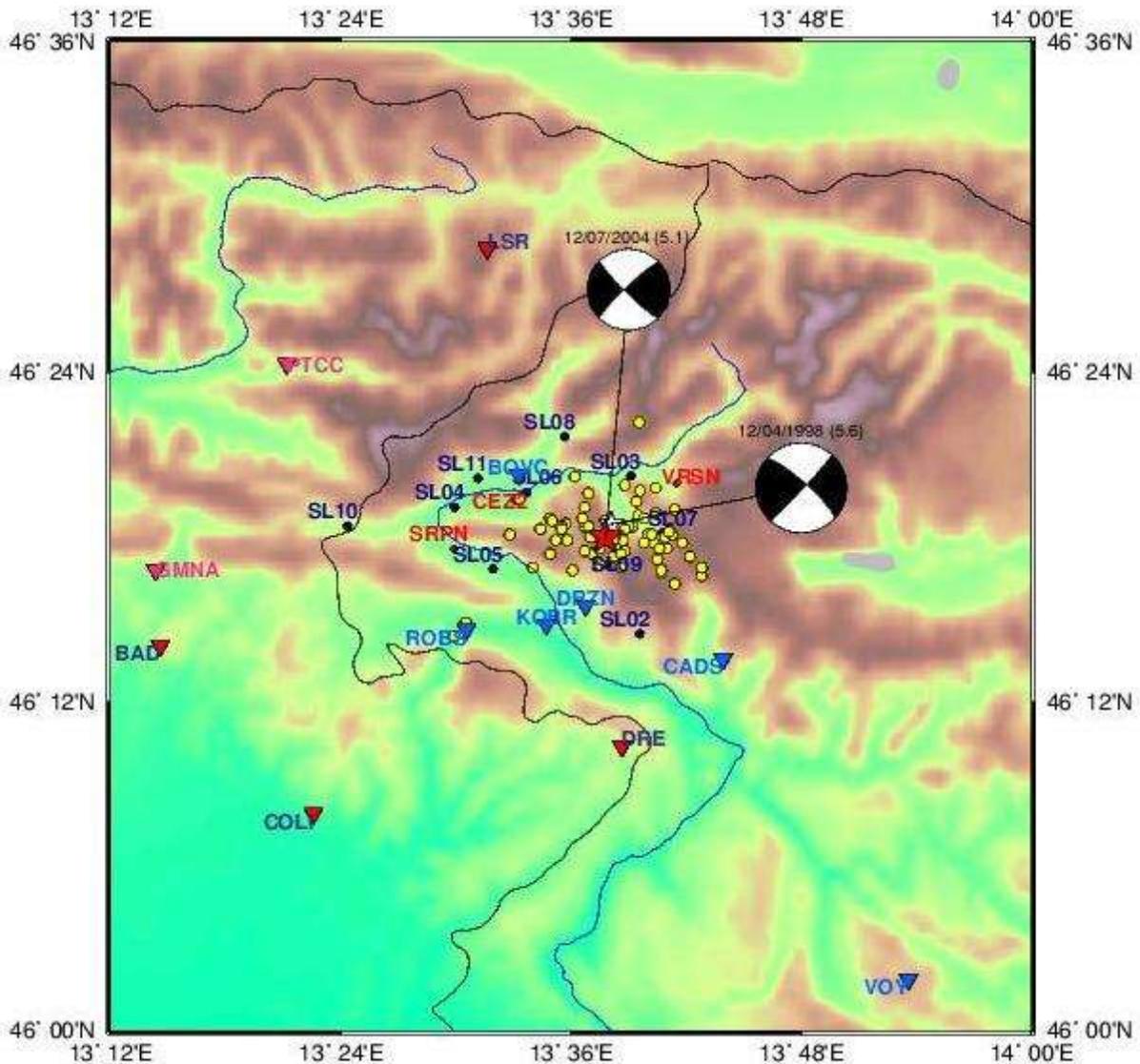


Fig. 21 Localizzazioni preliminari della sequenza di Kobarid del 12.07.2004: epicentri calcolati in base alle registrazioni ed elaborazioni automatiche della Rete Sismometrica del Friuli Venezia Giulia.

Circoli: blu: rete mobile INGV-OGS; rosso: rete mobile Slovenia

Triangoli: rosso: rete fissa RSFVG; viola: rete fissa INGV; azzurro: rete fissa Slovenia

Data UTC: 12 lug 2004 **ore UTC:** 13:04:00 **Latitudine:** 46.34 **Longitudine:** 13.63

Evento sismico di magnitudo M=5.2 (Intensità teorica all'epicentro: VIII)

Regione sismica: Alpi_Giulie

Fonte: OGS- Trieste, INGV- Roma

8.1 MAPPE LIMITATE AD UNA FREQUENZA MASSIMA DI 1 Hz

Vengono qui riportate le mappe, con indicati i valori attesi di spostamento (fig.22), velocità (fig.23) accelerazione (fig.24) nel caso limitato alla frequenza massima di 1 Hz.

Il metodo utilizzato permette di ottenere un valore per ogni nodo della griglia quadrata di 0,2° di lato, il cui centro è considerato sorgente dell'evento.

Per il territorio del Veneto, compreso circa tra i 44°48' e i 46°48' di longitudine Nord, e tra i 10° 36' e i 13°00' di longitudine Est, si ottengono 62 nodi di griglia a cui corrispondono 62 valori attesi

del parametro analizzato. I risultati sono facilmente leggibili con i diversi cromatismi che indica la legenda esposta in ogni figura.

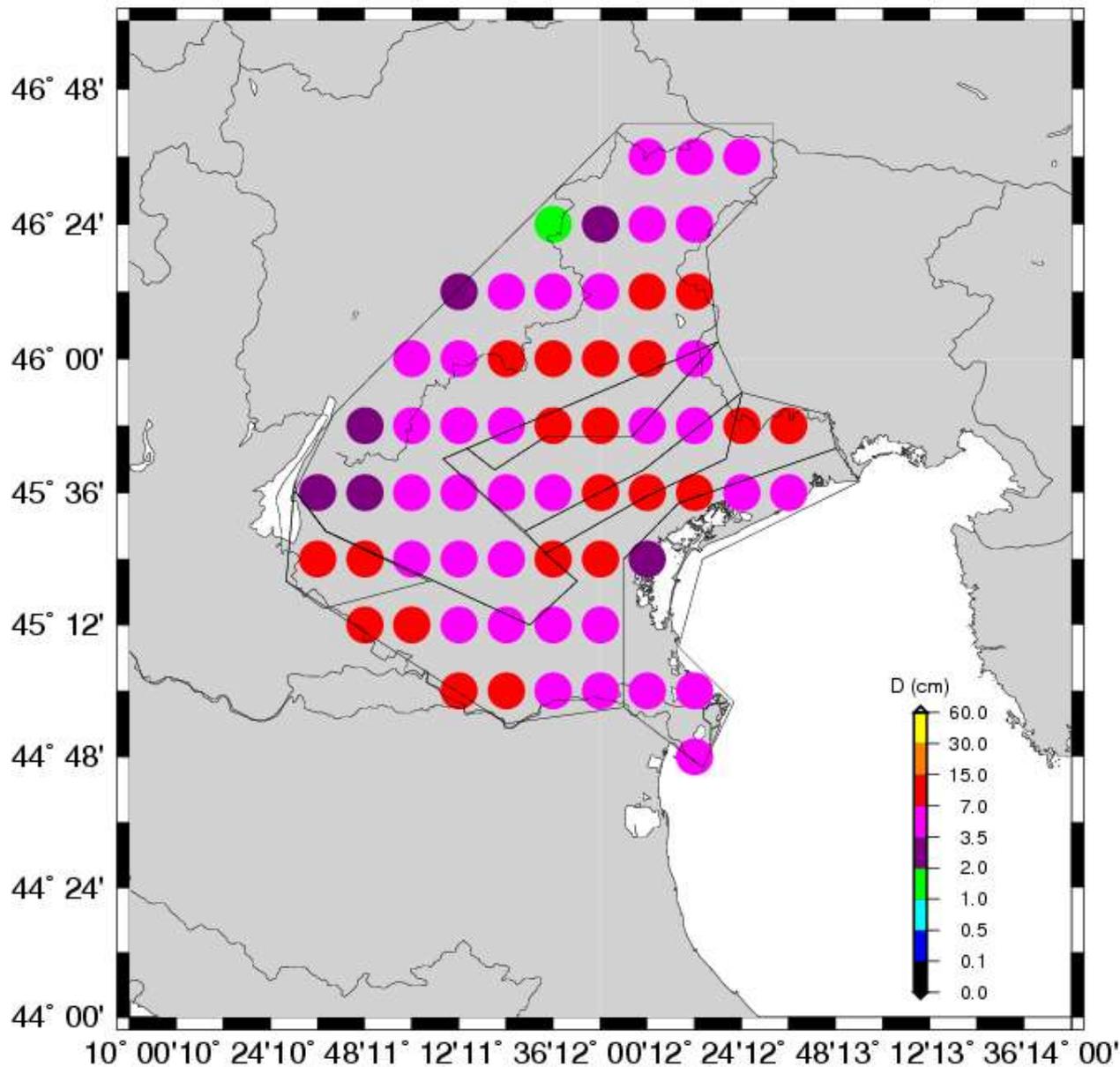


Fig 22. Mappa dei massimi spostamenti (Displacement) attesi nella Regione Veneto. Frequenza massima limitata ad 1Hz.

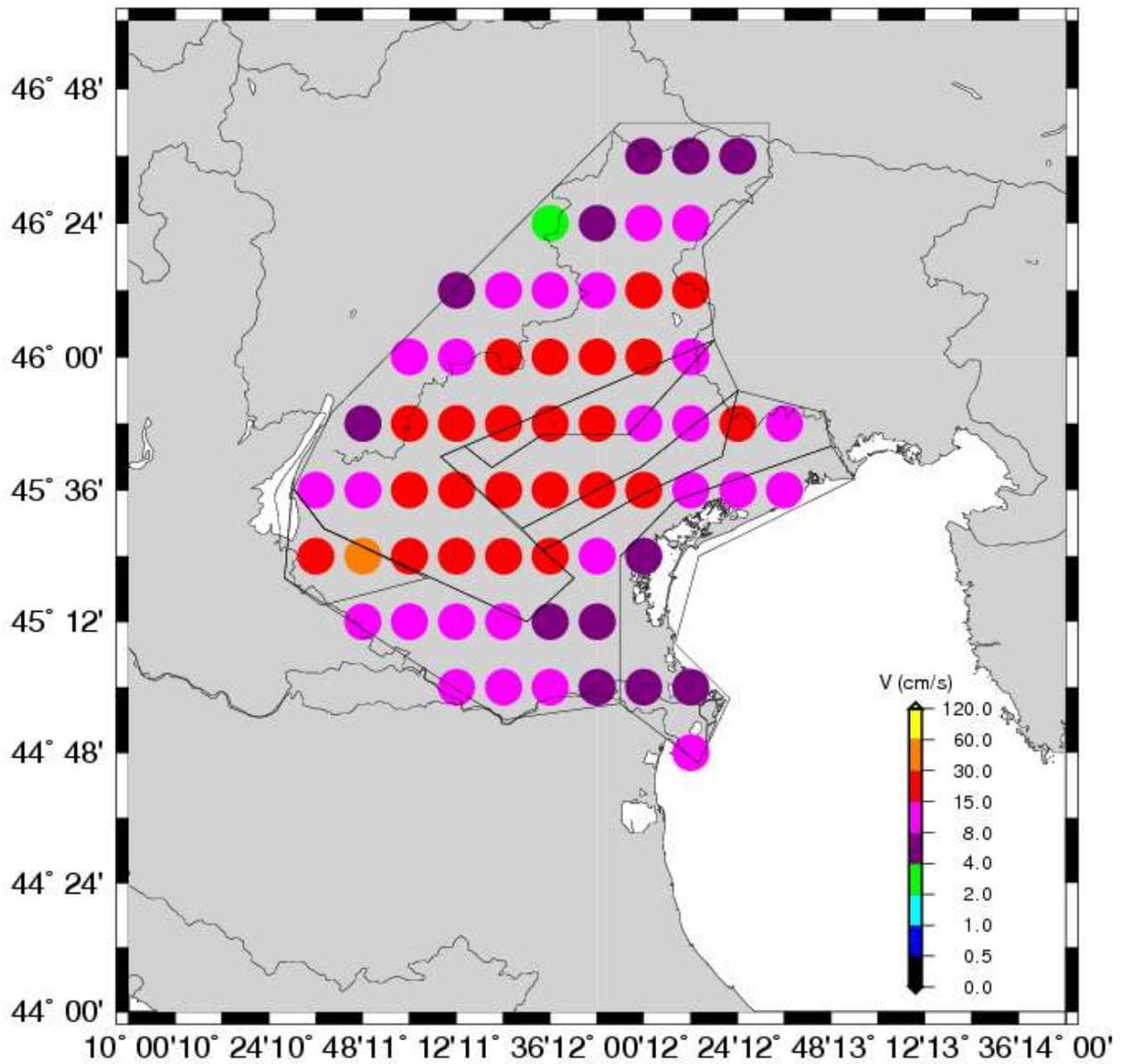


Fig.23. Mappa delle massime Velocità orizzontali (VMAX) attese nella regione Veneto. Frequenza massima limitata ad 1Hz.

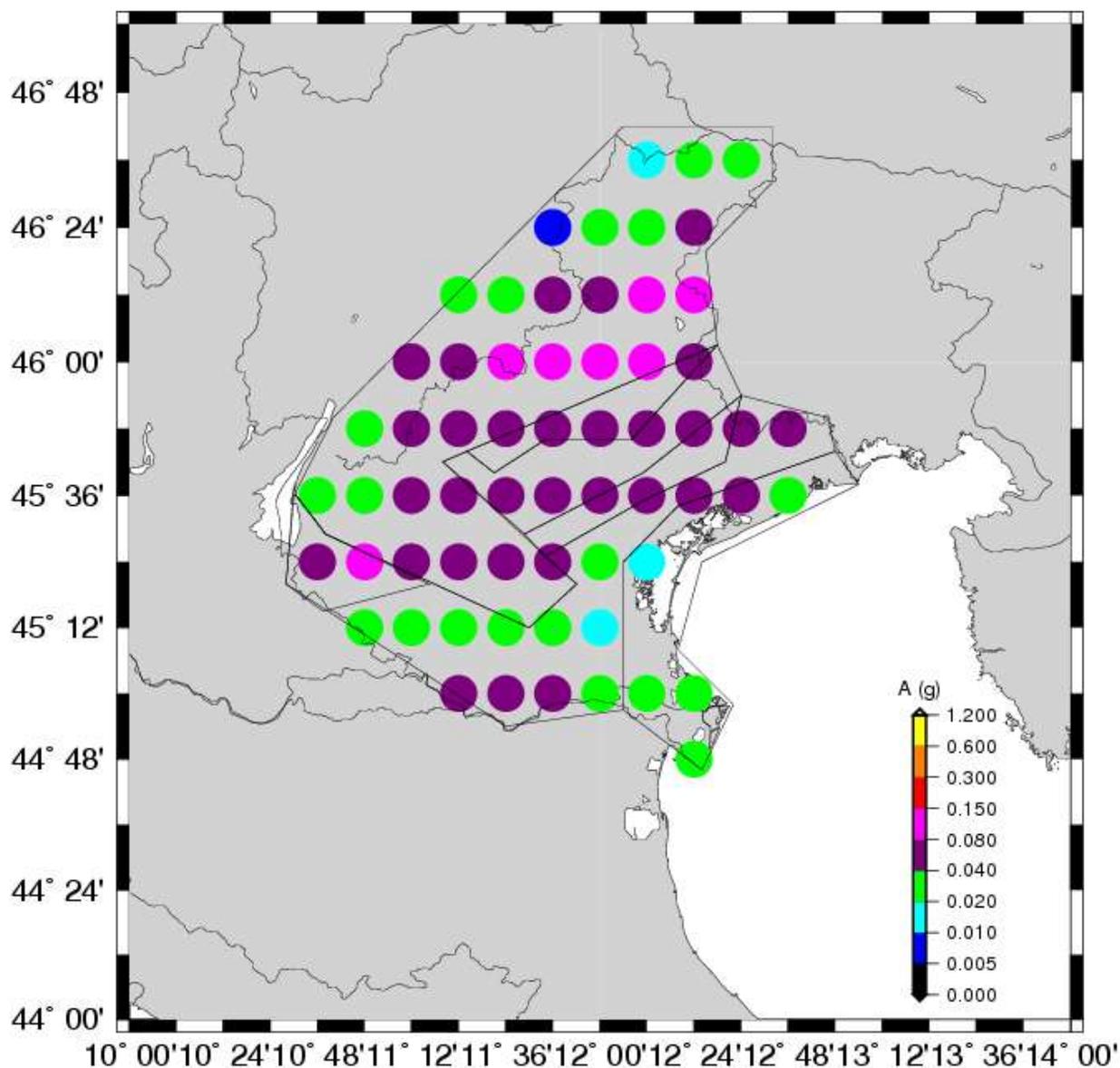


Fig.24. Mappa delle massime accelerazioni (AMAX) orizzontali attese nella Regione Veneto. Frequenza massima limitata ad 1Hz.

Come logico si può verificare che i valori massimi delle 3 proprietà del moto si riscontrano quasi nelle medesime zone. I risultati infatti tengono conto delle diverse tipologie di suolo e della distribuzione della sismicità.

La mappa raffigurante i valori di spostamento in cm presenta dei valori elevati anche nella fascia di media e bassa pianura, anche se questa parte di territorio non soffre di particolare sismicità e risulta anche significativamente distante dalle zone epicentrali. Tale risultato è comunque spiegabile ed atteso, di fatti le onde sismiche, quando passano nella crosta terrestre da un mezzo ad un altro con

minore rigidità subiscono un rallentamento, e per la legge di conservazione dell'energia, la loro ampiezza aumenta.

In fig.25 sono riportati i risultati ottenuti di Design Ground Acceleration. Si ricorda che il DGA, è l'accelerazione di ancoraggio dello spettro di progetto EC8, estrapolata dal valore a 1 Hz calcolato tramite modellazione dello scuotimento provocato raffrontando lo spettro di risposta sintetico a quello di progetto secondo Normativa. Per facilitare una più rapida comprensione visiva ed un veloce confronto con le prossime mappe, il DGA è stato suddiviso cromaticamente in zone di isoaccelerazione.

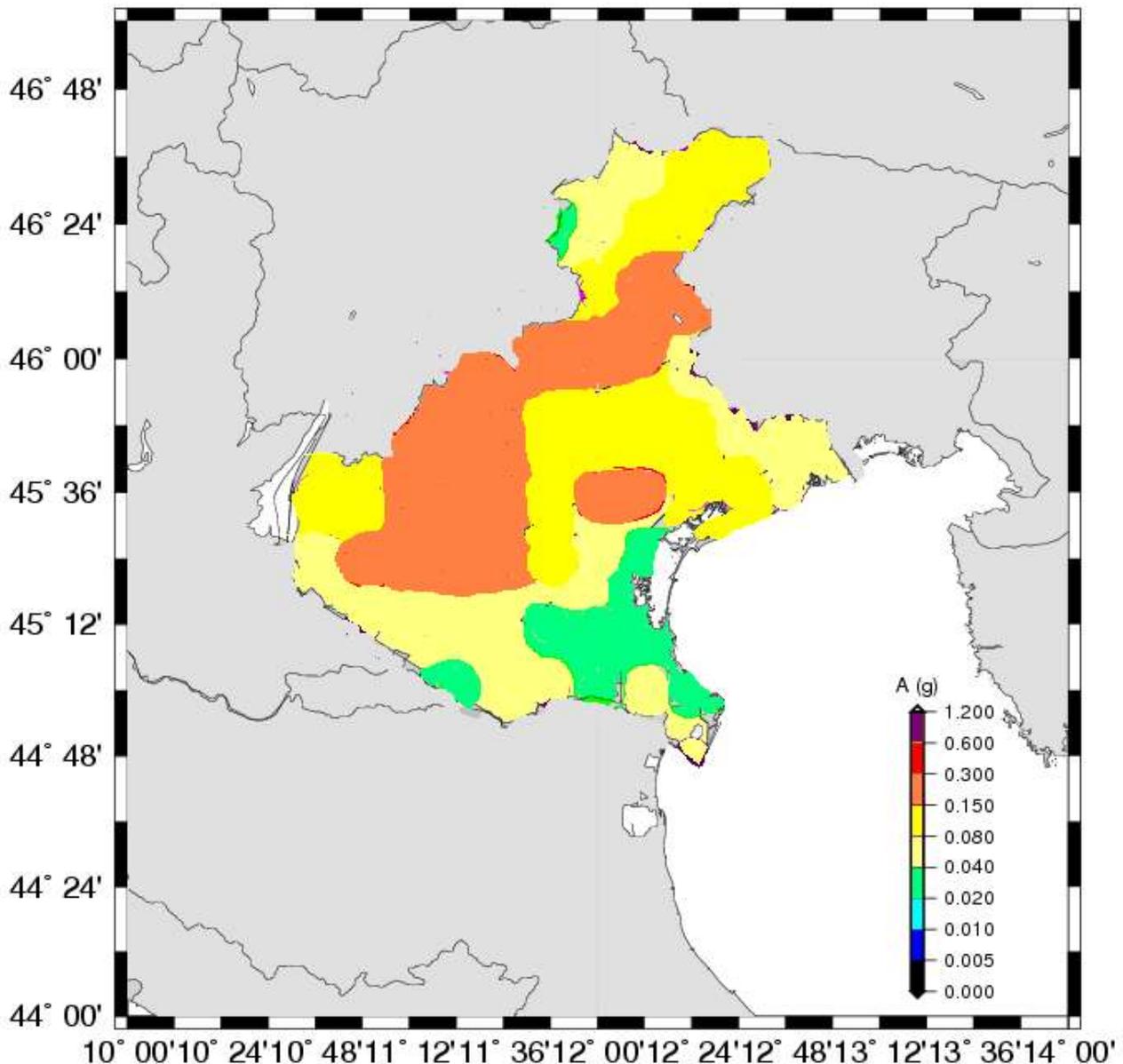


Fig.25 Distribuzione di Design Ground Acceleration nella regione Veneto.

8.2 MAPPE OTTENUTE ESTENDENDO L'INDAGINE A FREQUENZE SUPERIORI AD 1Hz

In questo lavoro è stato considerato lo scuotimento sismico del suolo anche per frequenze superiori ad 1Hz, limite già considerato dai precedenti lavori pubblicati. L'estensione dell'indagine relativa alle alte frequenze necessita ancora di molti approfondimenti, per tanto si premette di assumere questi risultati come un primo tentativo per la definizione delle proprietà dello scuotimento sismico in Veneto, con la cautela che ne deriva, nonostante l'ottima correlazione dei risultati ottenuti induca a riscontrare la sostanziale esattezza del metodo.

Le stesse mappe del caso limitato ad 1Hz sono state dunque rielaborate anche aumentando la frequenza dello studio a 10Hz, campo di frequenza ben più delicato e funzionale per la regione in questione, per via della tipologia di fabbricati predominanti di natura medio-bassa, e per questo, come visto, più sensibile a frequenze superiori ad 1 Hz. Sono esposte in seguito le mappe coi valori attesi di spostamento (fig.26), velocità (fig.27) accelerazione (fig.28) nel caso limitato ad 10 Hz. Anche in questo caso valgono i termini di calcolo della griglia già esplicitati che conducono ad ottenere 62 punti di misura che coprono l'intero territorio regionale e le sue immediate vicinanze. Da questi sono dedotte le Mappe facilmente leggibili come esplica la legenda in ogni figura.

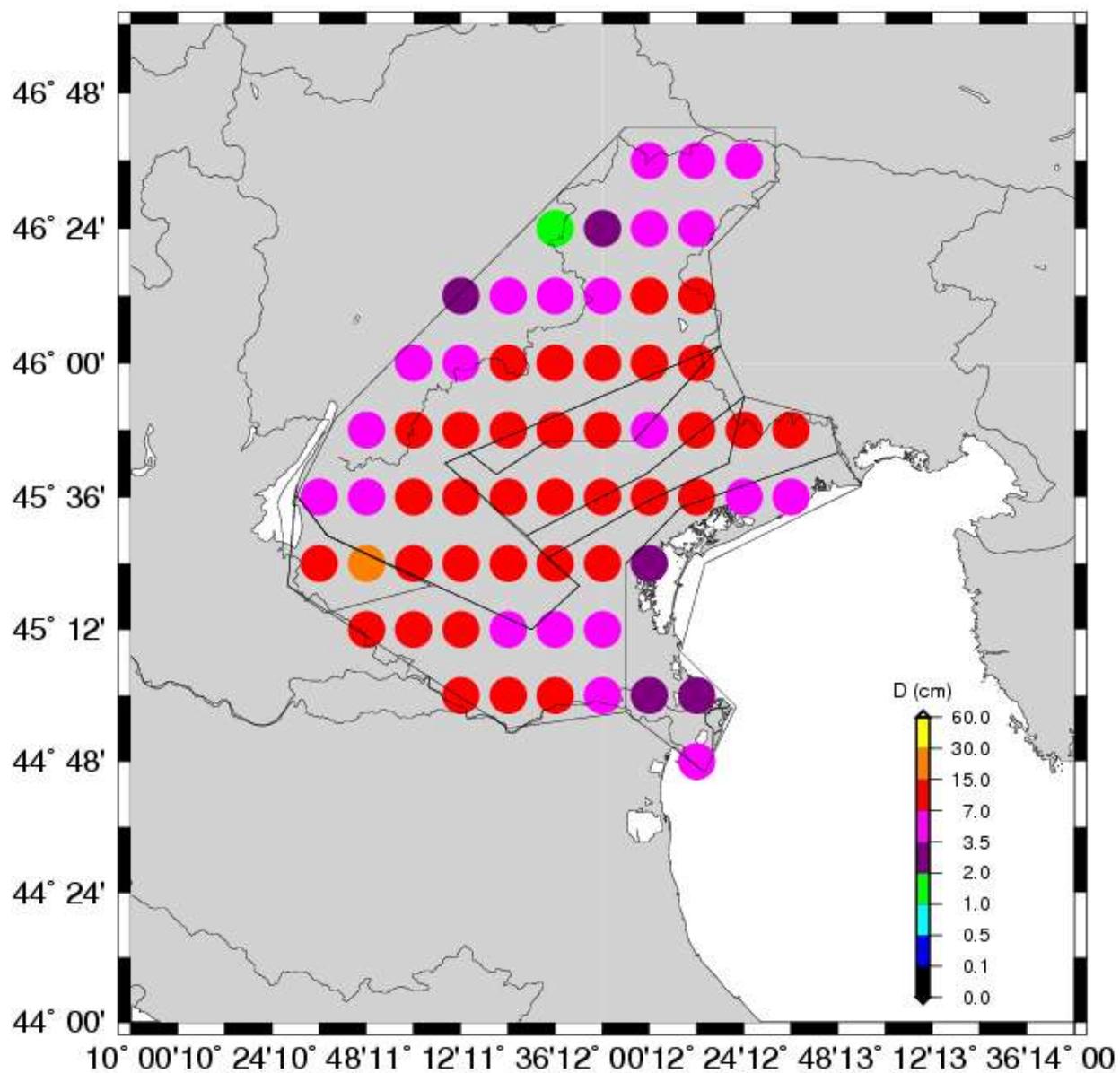


Fig. 26. Mappa degli spostamenti (displacement) massimi attesi per la Regione Veneto. Limite di frequenza massima di 10Hz.

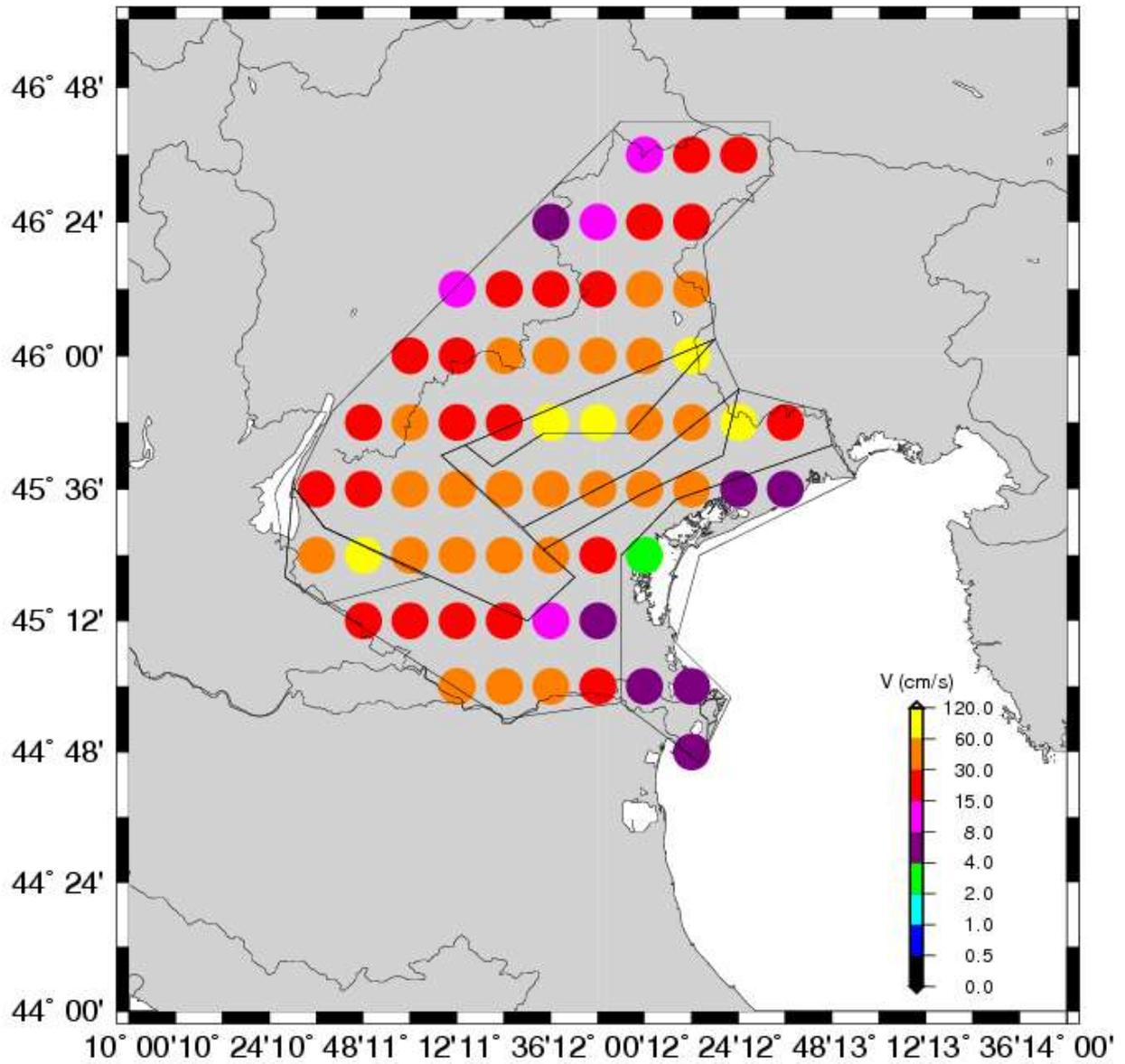


Fig. 27. Mappe delle massime velocità orizzontali (VMAX) attese per la Regione veneto. Limite di frequenza massima di 10Hz.

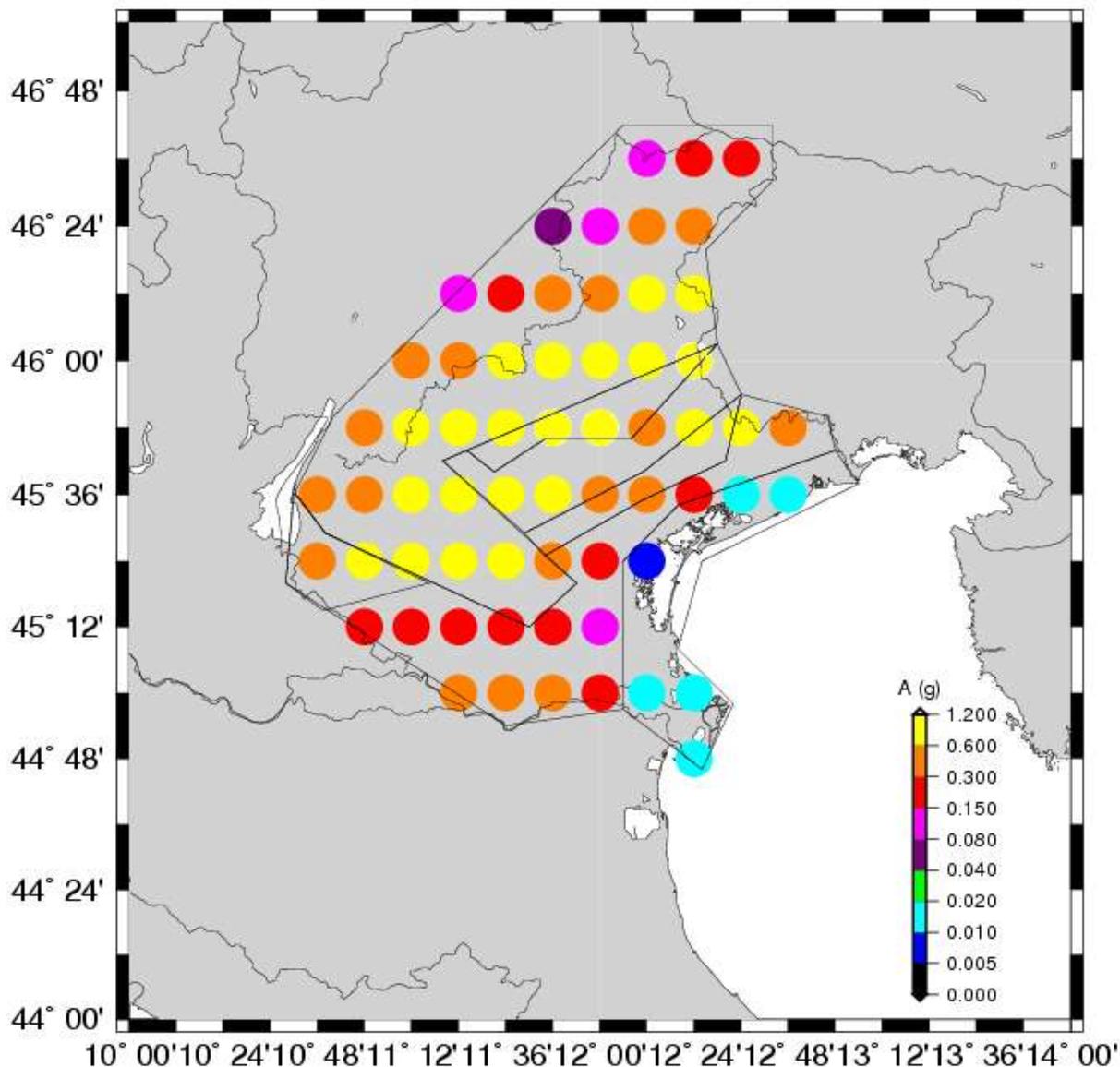


Fig. 28 Mappa delle massime accelerazioni (AMAX) orizzontali attese per la Regione Veneto. Limite di frequenza massima di 10Hz.

Come atteso i valori ottenuti con l'estensione dei calcoli alla frequenza di 10Hz sono ben superiori a quelle ottenute alla frequenza limite di 1Hz riportate paragrafo precedente.

Specie la mappa delle accelerazioni massime orizzontali presenta dei valori molto elevati.

Si è ritenuto dunque opportuno verificare quali siano effettivamente le frequenze che più incidono sull'amplificazione osservata dei valori di velocità, accelerazione e spostamento per i calcoli effettuati a 10 Hz. E' difatti fondamentale, in un'ottica di zonazione che corrisponda i problemi di materia tecnico-costruttiva, stabilire esattamente le frequenze per le quali si notano pericolosi incrementi delle quantità descrittive del moto sismico. Ancora una volta si dimostra la rapidità e la versatilità del metodo utilizzato, che permette di investigare celermente tutte le proprietà del moto

generato sinteticamente, elemento che risulta ancor più importante all'occhio dell'ingegnere. E' possibile infatti eseguire qualsiasi tipo di filtraggio sui segnali sintetici, per ottenere i risultati attesi delle proprietà del moto per qualsiasi frequenza d'interesse.

Nel caso specifico abbiamo calcolato i valori di velocità, spostamento per una frequenza limite di 5Hz e di 2Hz, al fine di confrontare tali risultati con quelli ottenuti per le frequenze di 1Hz e 10Hz precedentemente esposti.

In fig.29 e fig.30 sono rappresentati rispettivamente i valori di velocità e spostamento ottenuti filtrando i segnali sintetici a 5Hz. Nelle seguenti figure 31 e 32 sono riportate le medesime mappe per il caso limitato a 2Hz.

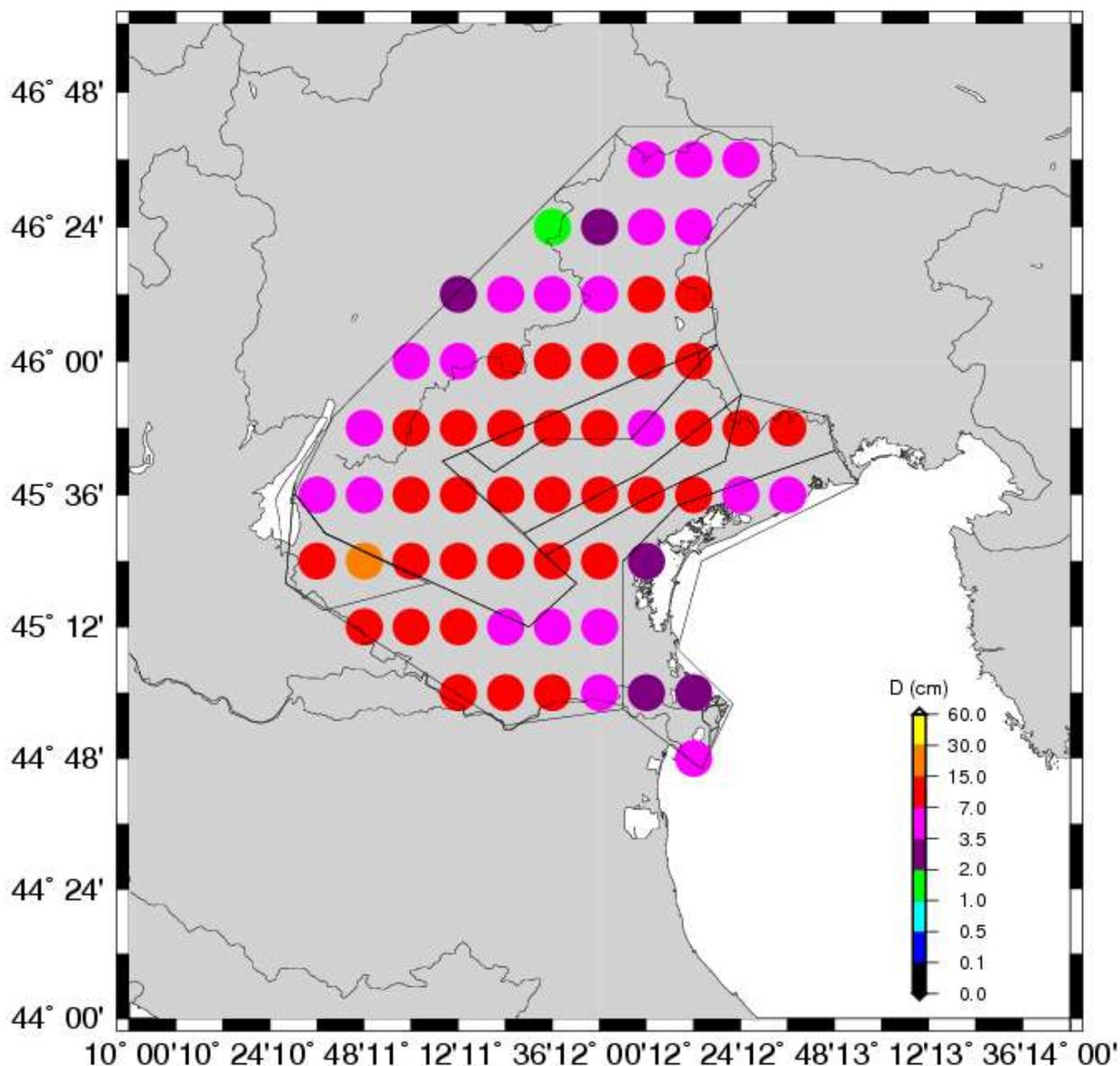


Fig. 29 Mappa dei massimi spostamenti (displacement) attesi per la Regione Veneto per il caso limitato ad una frequenza massima di 5Hz.

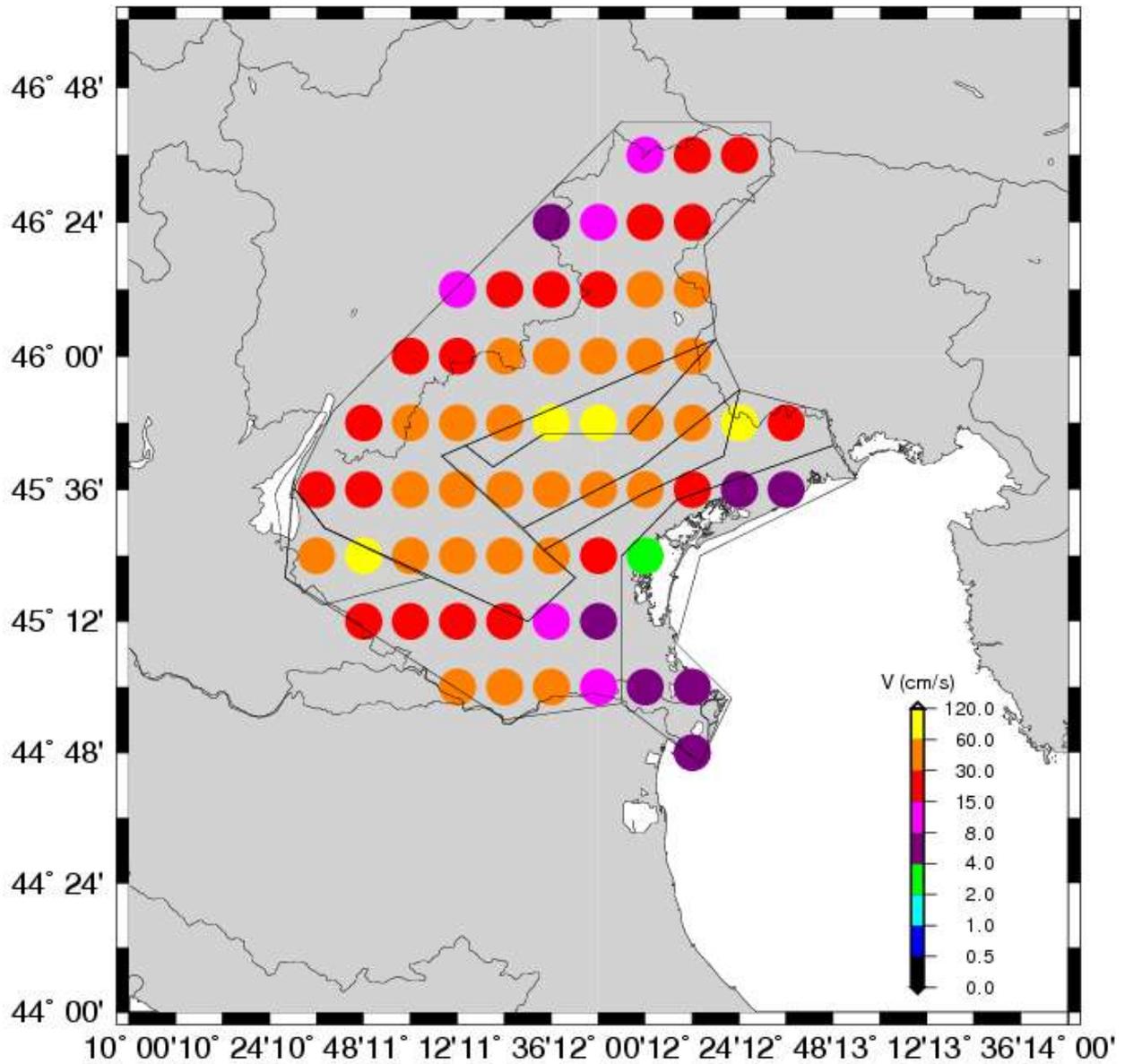


Fig. 30 Mappa delle massime velocità orizzontali (VMAX) attese per la Regione Veneto per il caso limitato ad una frequenza massima di 5Hz.

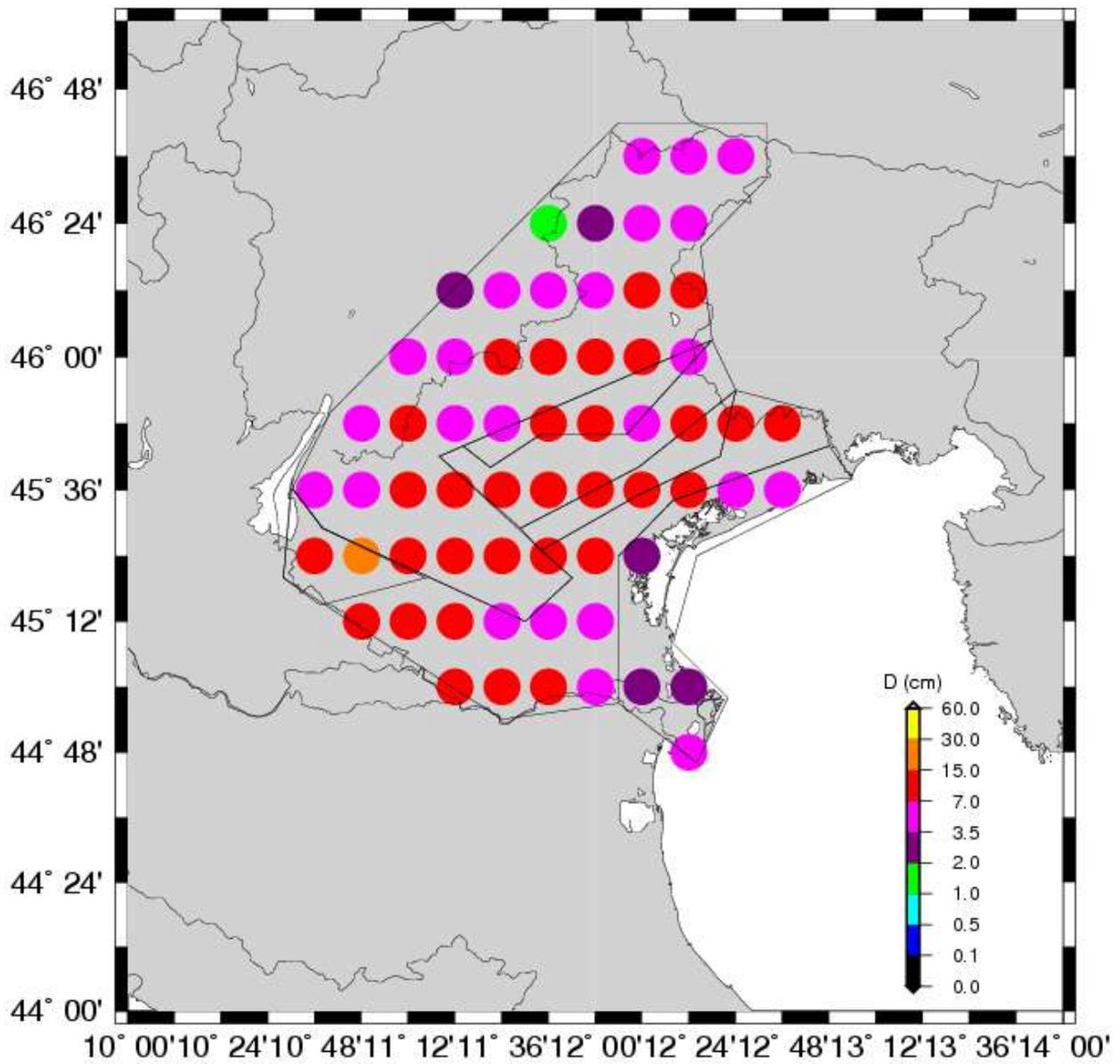


Fig. 31 Mappa dei massimi spostamenti (displacement) attesi per la Regione Veneto per il caso limitato ad una frequenza massima di 2Hz.

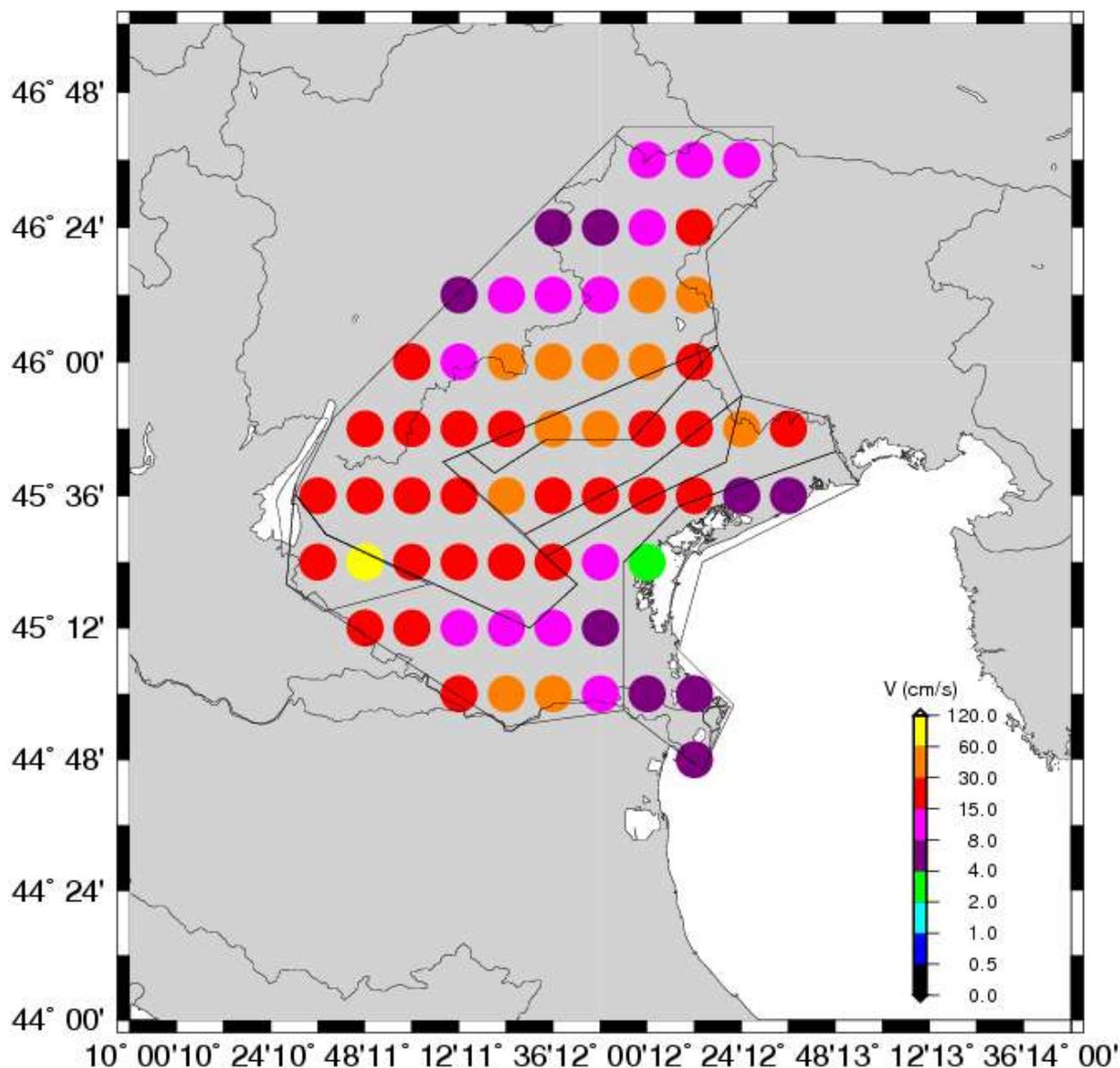


Fig. 32 Mappa delle massime velocità orizzontali (VMAX) attese per la Regione Veneto per il caso limitato ad una frequenza massima di 2Hz.

Come già segnalato in precedenza, si può affermare che l'edilizia veneta sia più influenzata da frequenze superiori ad 1Hz, e siano perciò da investigare maggiormente le proprietà del moto del suolo per periodi inferiori ad 1s. Nello specifico considerare i valori tra 0,2s e 0,5s dovrebbe essere rappresentativo per un'edilizia non sviluppata in altezza come quella del territorio in questione (edifici di 2-5 piani, par 8.3). Come si può notare dalle figure raffigurante le mappe dei valori attesi per le frequenze massime di 10Hz, 5Hz e 2Hz, i risultati di spostamento e velocità di picco non cambiano significativamente. Manifestano invece notevoli differenze con i valori ottenuti con il calcolo ad 1 Hz (par.8.1). Ciò indica che aumentando la frequenza limite di indagine, soprattutto per

il valore di spostamento, già a 2Hz si notano rilevanti incrementi dei valori, non molto minori di quelli ottenuti a 5Hz e 10Hz. Le velocità calcolate a 2Hz invece si rivelano modeste, se confrontate con quelle ottenute a 5Hz e 10Hz, e da ciò si deduce che i valori più elevati si attestano a partire da frequenze prossime ai 5Hz.

Da tale verifica si evince dunque che anche edifici relativamente bassi (2-5 piani vedi 8.3) possono risentire in maniera importante degli effetti di possibili grossi sismi in Veneto. Bisogna però sottolineare che i valori di picco ottenuti a 10Hz assumono un aspetto di pericolosità relativo, se si considera tale frequenza caratterizzante gli edifici monopiano, e che soprattutto i valori di velocità massima orizzontale attesa dimostra un notevole abbassamento dei valori di picco per frequenze ritenute rilevanti per edifici di pochi piani.

In conclusione va sottolineato che l'estensione dell'indagine a frequenze superiori ad 1Hz è molto importante, e utilizzando l'approccio considerato, anche rapida. Necessita però di studi ancora approfonditi, e i risultati qui esposti necessitano di diverse rivisitazioni.

Per quel che riguarda i valori attesi molto elevati bisogna comunque ricordare che l'approccio deterministico, su cui si basa questo studio, considera come sorgenti solo gli eventi sismici più forti che abbiano afflitto una determinata zona. La definizione dello scuotimento sismico del suolo conduce quindi risultati molto cautelativi che rappresentano praticamente la peggior situazione possibile.

8.3 ANALISI DEGLI SPETTRI DI RISPOSTA

L'affinare la conoscenza delle proprietà del moto sismico del suolo alle frequenze maggiori di 1Hz è necessario per l'importanza che rivestono tali frequenze per le conseguenze sugli edificati.

Le sollecitazioni di tipo sussultorio, legate alle onde P e limitate all'area epicentrale, vengono ordinariamente assorbite senza danni dalle costruzioni perché gli edifici, anche in assenza di accorgimenti particolari (antisismici), sono costruiti in modo da sostenere il proprio peso che rappresenta il naturale contrasto delle oscillazioni dall'alto verso il basso. Gli effetti, invece, legati alle onde S sono fra i peggiori perché le onde S sono onde di taglio che fanno vibrare l'edificio sul piano orizzontale. Diventa perciò fondamentale, per una accurata stima delle pericolosità, definire le tipologie di edificati che caratterizzano un territorio, e considerare le conseguenze che il moto sismico di uno specifico suolo arrecherà agli stessi.

La frequenza di vibrazione propria di un edificio va confrontata con la frequenza di vibrazione dei terremoti che si verificano nella regione. Se la frequenza propria dell'edificio è confrontabile con quella del terremoto, in altre parole se le dimensioni dei vani che lo costituiscono sono multipli dell'ampiezza delle vibrazioni sismiche, può capitare che si verifichi un fenomeno di risonanza e che l'edificio crolli. A titolo di esempio, in occasione del celebre terremoto del Friuli del 1976, si è

verificato il seguente fatto assai singolare: esistevano cinque villette costruite con la stessa pianta, nelle stesse condizioni geologiche, con lo stesso tipo di orientazione della pianta, dalla stessa impresa, nello stesso periodo, quindi in condizioni di assoluta omogeneità. Quando si è verificata la scossa principale, quattro di esse sono rimaste indenni, la quinta è letteralmente esplosa. Dopo approfondite indagini si è riusciti a stabilire che questo diverso comportamento era legato al fatto che in quella collassata era stata introdotta una leggera variante, cioè era stato spostato di poche decine di centimetri un tramezzo interno: ciò aveva creato all'interno un vano che faceva da cassa armonica alle vibrazioni del terremoto, fatto che ha provocato il collasso dell'edificio.

Per la scala regionale dello studio intrapreso, la definizione di scenari di moto per frequenze superiori ad 1Hz riveste un ruolo di primissima importanza. In fig.33 vengono riportati gli spettri di risposta elastici come assunti dalla Normativa Italiana. I tre spettri si riferiscono alle tre tipologie di suolo A, BCE e D, in rispettivo ordine decrescente di rigidità.

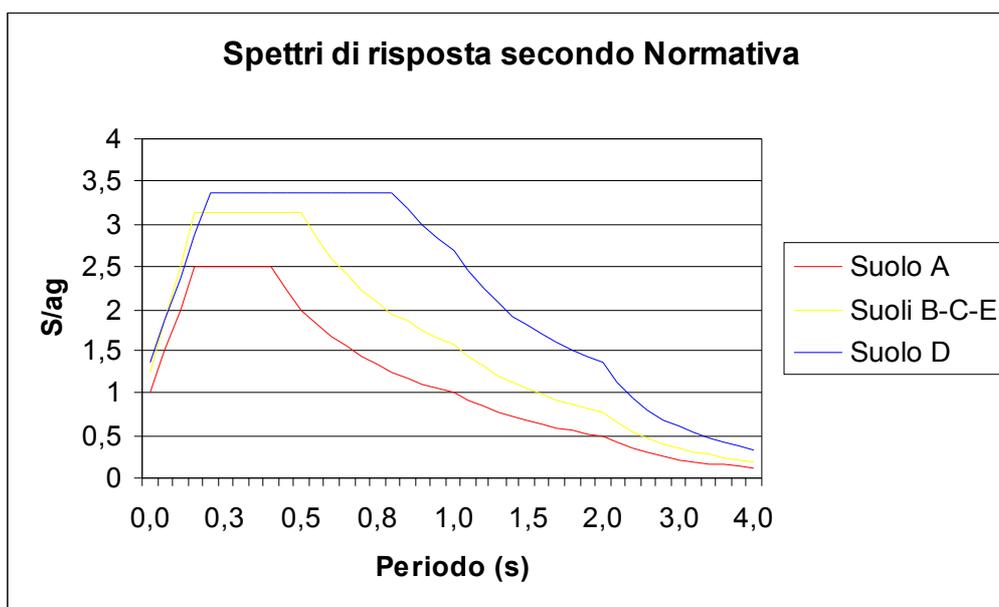


Fig.33 Spettri di risposta secondo Normativa Italiana

Come si può notare dalla figura i valori massimi di accelerazione attesa si attestano tra i periodi compresi tra 0,2s e 1s, dunque per frequenze superiori ad 1Hz.

Inoltre bisogna considerare che l'edilizia veneta è caratterizzata da edifici medio-bassi, essendo molto poco diffusi e limitati ai grandi centri urbani edifici di molti piani. Difatti, come spiega chiaramente la fig.34 la frequenza propria degli edifici viene solitamente associata al suo sviluppo in altezza.

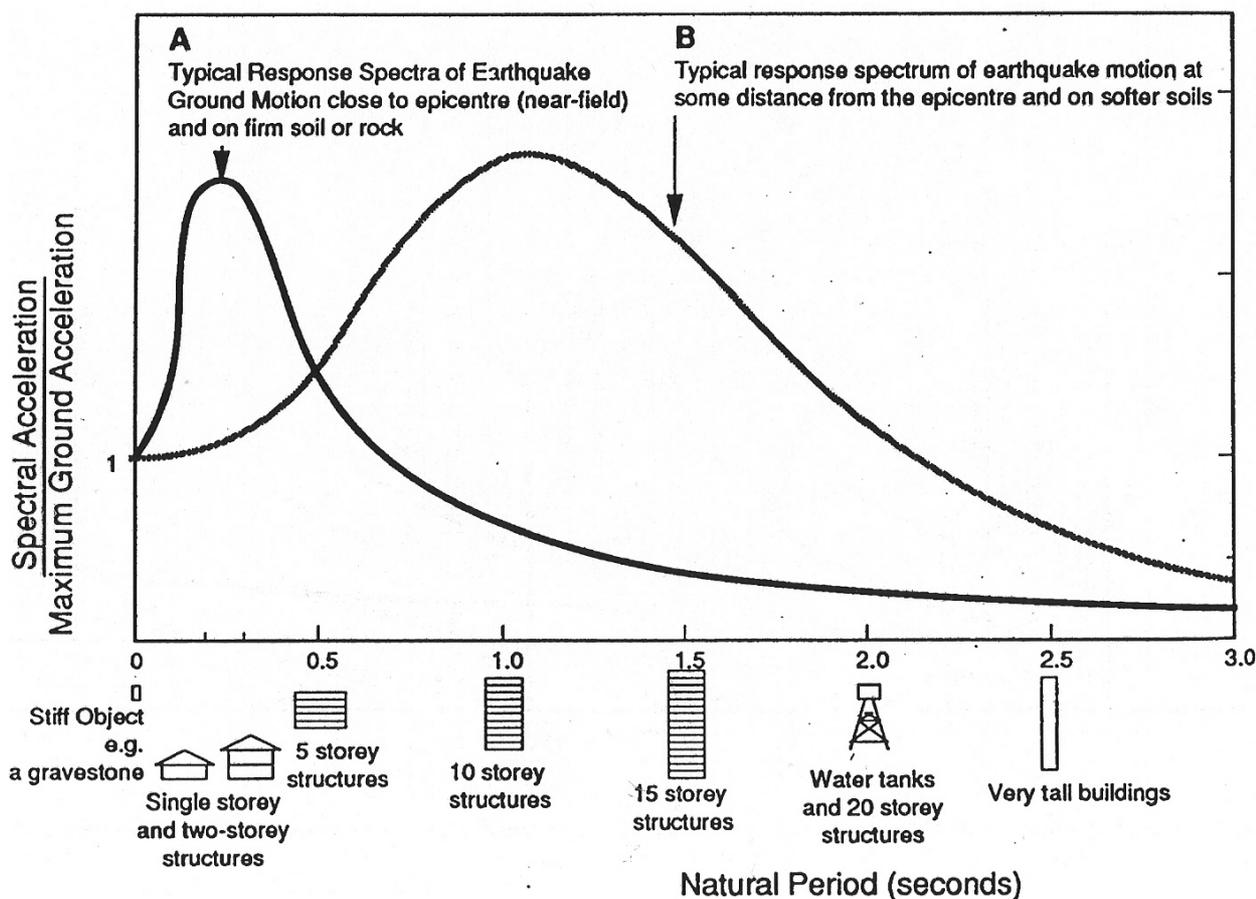


Fig.34 Tipici spettri di risposta e tipologie di edificati che risentono dei loro effetti. Da Coburn & Spence -Earthquake Protection (1992).

Come si può notare in figura, al periodo di 1s viene associata una struttura con frequenza propria di 10 piani, mentre la bassa edilizia di 2,3 piani viene associata a periodi di 0,2s-0,3s.

Ecco perché in un'ottica di mitigazione della pericolosità si rende necessario, specie per il Veneto, estendere l'indagine a frequenze più alte. Il programma utilizzato permette ovviamente di visualizzare gli spettri di risposta sintetici generati dai vari eventi che coinvolgono un punto ricevitore, sia per il moto verticale che orizzontale. Quest'ultimo è solitamente il più considerato per le responsabilità sulle più gravi conseguenze a danno dei fabbricati.

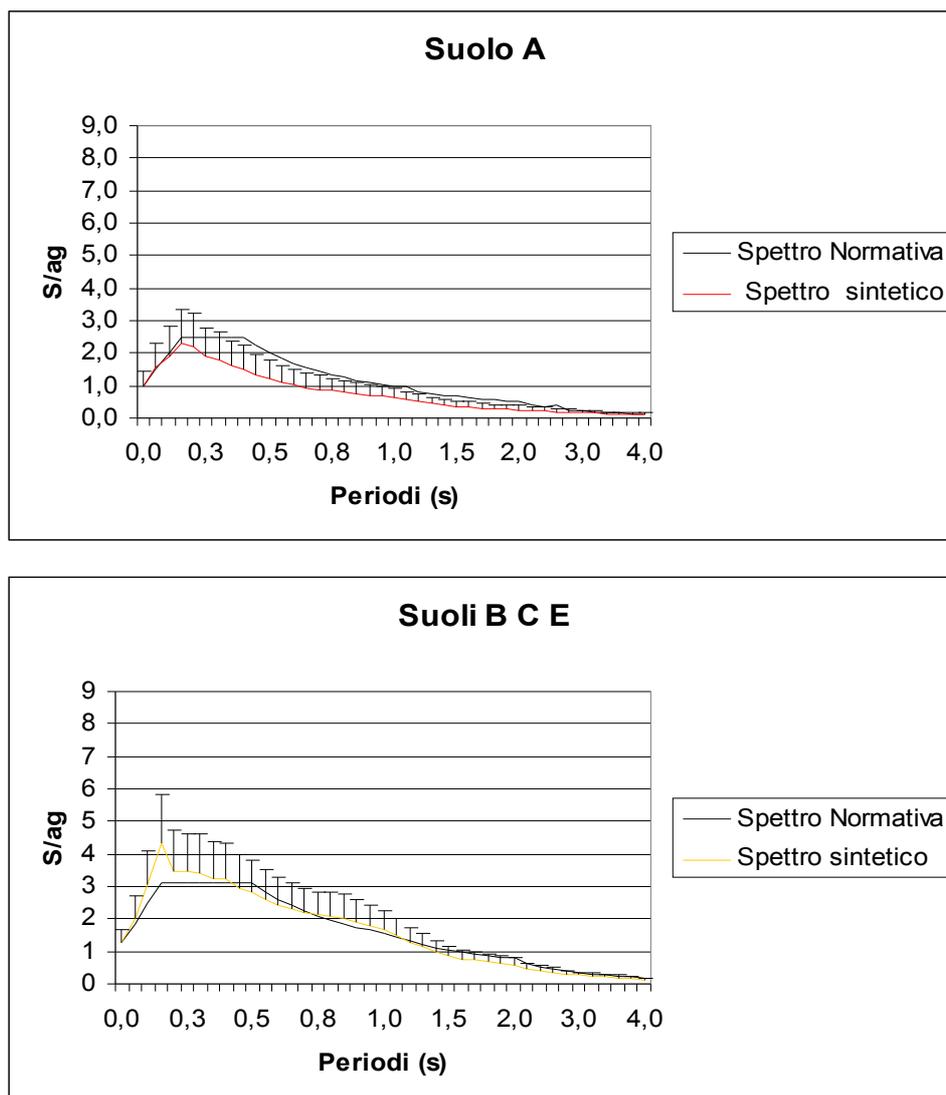
La definizione della forma e dei valori di uno spettro di risposta per ogni sito è fondamentale, ai fini di una corretta interpretazione dello scuotimento sismico basilare per la progettazione di edifici.

Al fine di verifica si è ritenuto necessario confrontare gli spettri di risposta ottenuti artificialmente con gli spettri di progetto proposti dalla normativa italiana, naturalmente differenziati per ogni tipo di suolo. E' stato dunque elaborato un nuovo programma per ottenere uno spettro di risposta medio

e uno spettro di risposta massimo per tutti gli eventi che caratterizzano un poligono strutturale, che come già ricordato, rappresenta uno specifico tipo di suolo. La normativa italiana, come già descritto, si differenzia dall'Eurocodice 2003 nella definizione degli spettri di progetto, individuando solo tre classi di suolo: A, B-C-E, e D. In questi termini la Normativa italiana si avvicina alla versione dell'Eurocodice 8 del 1998 che prevedeva la parametrizzazione degli spettri per 3 tipologie di suolo.

8.3.1 Confronto tra spettri ottenuti sinteticamente e spettri di progetto

In fig.35 sono riportati i confronti tra la media degli spettri di risposta ottenuti per ogni tipo di suolo (A, B-C-E, D) e gli spettri di progetto secondo la più recente Normativa italiana che segue i criteri dell'Ordinanza 3274/2003. Le barre di incertezza indicano la deviazione standard positiva per ciascun valor medio. L'incertezza negativa non è stata considerata, non inficiando su un teorico scenario di pericolosità.



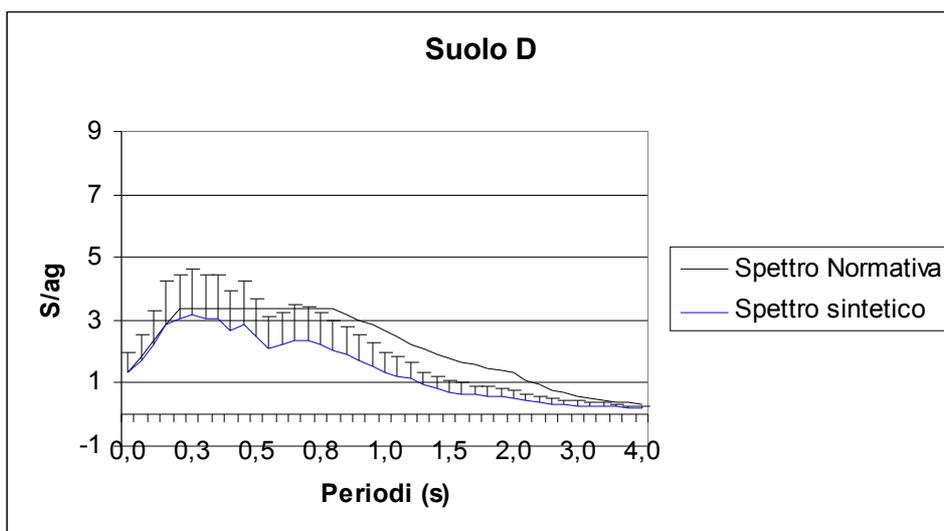


Fig. 35 Confronto tra la media degli spettri di risposta sintetici ottenuti e forma spettrale prevista dalla Normativa per le 3 tipologie di suolo. Le barre di incertezza indicano la deviazione standard positiva per ciascun valor medio.

Gli spettri sintetici sono, come quelli previsti dall'Ordinanza, normalizzati a 1 nel caso del suolo di tipo A, a 1,25 nel caso del suolo B-C-E, ed a 1,35 nel caso del suolo D. Spicca in particolar modo l'ottima correlazione ottenuta nel caso dei suoli B-C-E che come già descritto individuano essenzialmente la fascia di transizione tra la bassa pianura e la zona alpina. Considerando la deviazione standard positiva dal valore medio, risultano correlabili anche gli spettri medi del suolo A e D, soprattutto per i periodi di maggior interesse per gli edifici veneti (0,3s-0,5s).

Occorre trattare separatamente il suolo S, il cui spettro sintetico di risposta medio è visibile in fig.36, utilizzato per individuare la zona costiera e lagunare della regione, che come atteso evade dai canoni utilizzabili per i restanti terreni.

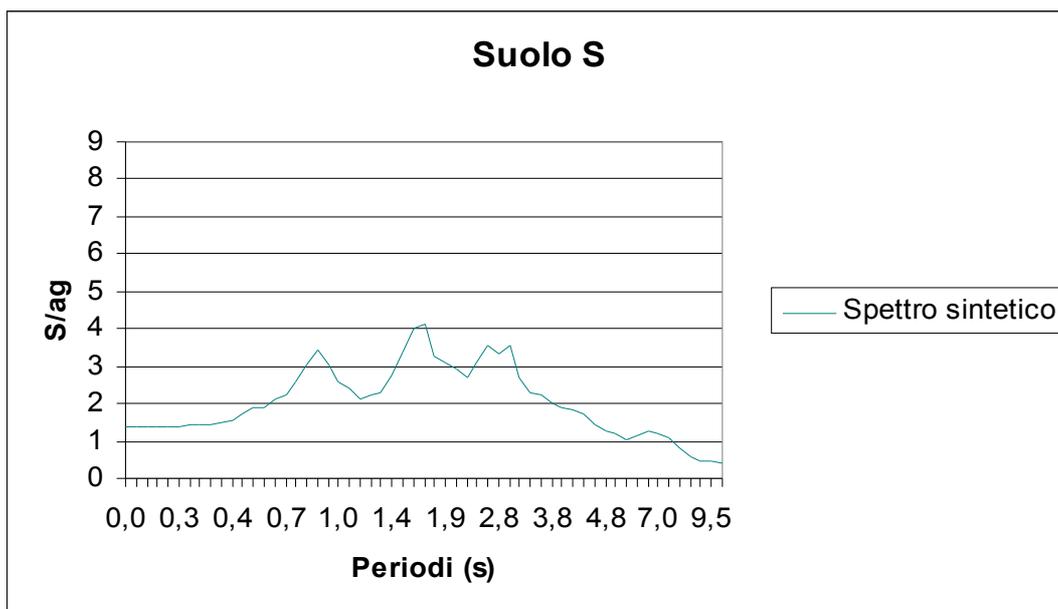


Fig.36 Spettro di risposta medio, ottenuto sinteticamente, per il suolo S.

L'Eurocodice 8, su cui si basa la Normativa italiana, non fornisce difatti parametri per definire lo spettro di risposta per tale terreno molto lento e di bassa coesione, lasciando ad un approfondimento locale gli operatori. Lo spettro di risposta medio ottenuto per questo tipo di terreno è in ogni modo conforme ad un teorico spettro di progetto per un suolo particolarmente inconsistente, caratterizzato nel presentare i picchi di accelerazione traslati verso i periodi maggiori rispetto ai terreni più veloci, e di rivelare tali accelerazioni elevate per una più ampia fascia di periodi (vedasi esempio in fig.37 da Coburn & Spence "Earthquake Protection" 1992). Questa tendenza è comunque ovviamente visibile nei 3 casi dei terreni considerati dalla Normativa, e risulta accentuata particolarmente per un suolo molto più lento dei citati tipi A,B,C,D ed E.

Rimane una considerazione importante definire la forma spettrale dei i suoli lenti caratterizzanti il territorio litoraneo e lagunare della Regione. Da tali spettri di risposta si evince che i picchi di accelerazione riguardano gli alti periodi, e che dunque si rivelerebbero critici per edifici molto sviluppati in altezza, non esistenti in queste zone e, soprattutto, nel patrimonio artistico di Venezia.

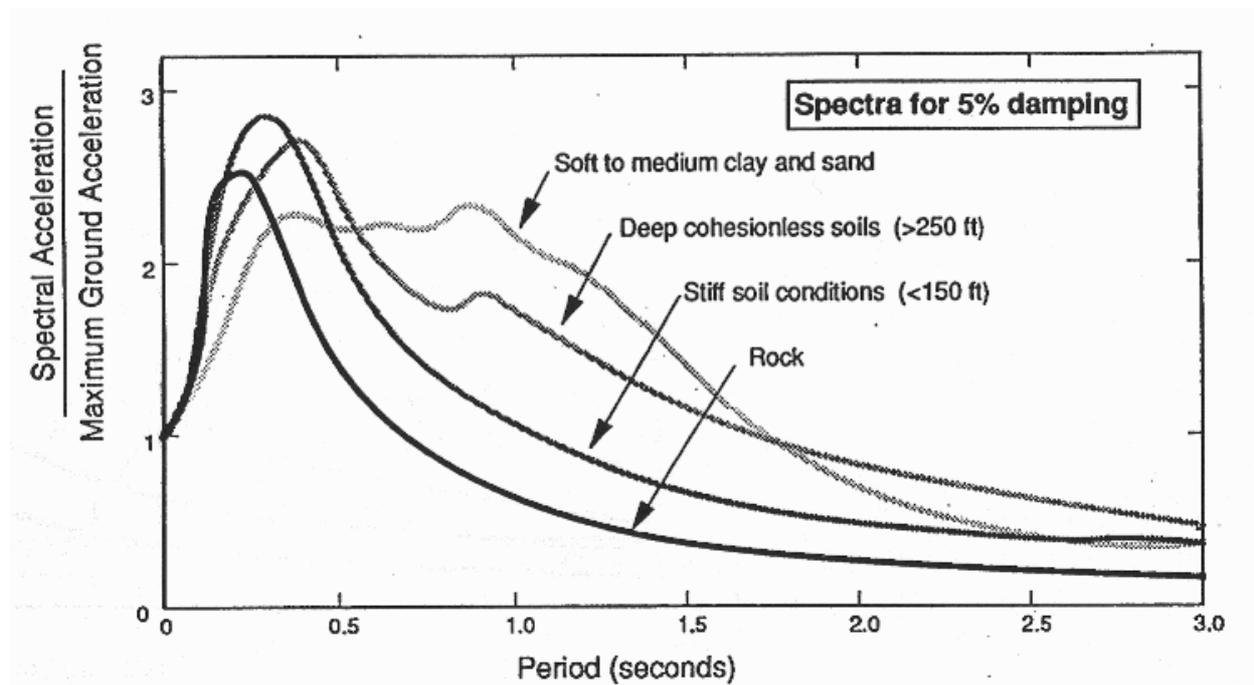
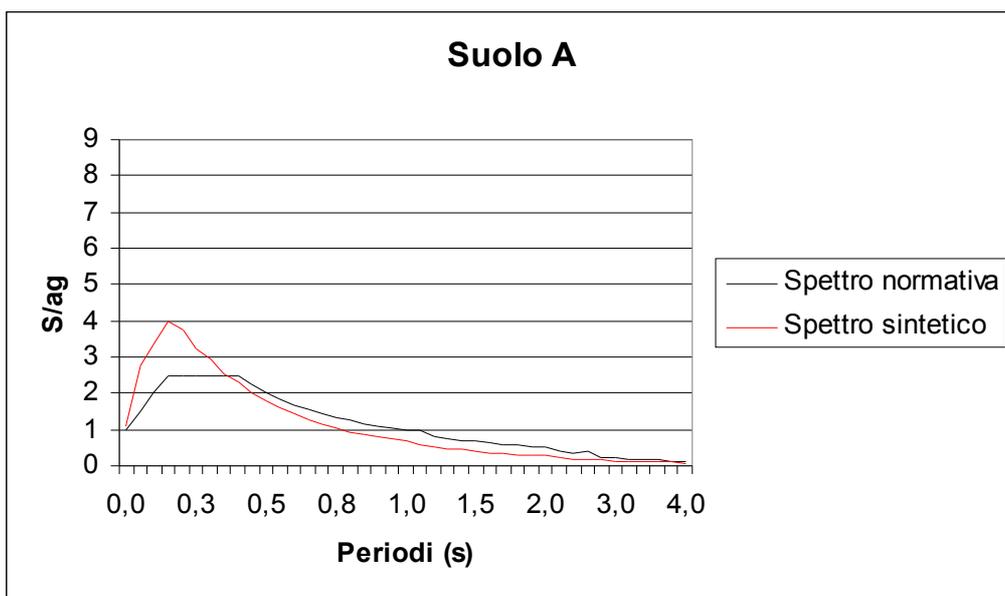


Fig.37 Influenza delle condizioni di suolo su medi spettri di risposta. Da Coburn & Spence "Earthquake protection" 1992.

In fig.38 sono invece riportati i confronti tra le medie dei massimi spettri di risposta ottenuti sinteticamente, per i vari suoli considerati, e le forme spettrali previste dalla Ordinanza. Anche in questo caso gli spettri sono normalizzati a 1 nel caso del suolo di tipo A, a 1,25 nel caso del suolo B-C-E, ed a 1,35 nel caso del suolo D, per poter essere immediatamente confrontati con gli spettri di progetto previsti dalla Normativa.



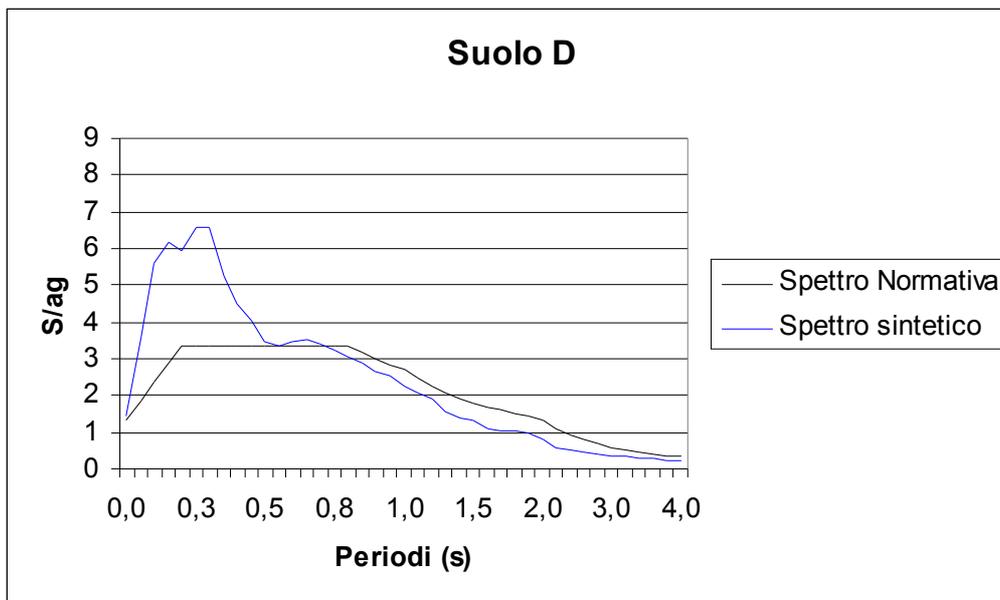
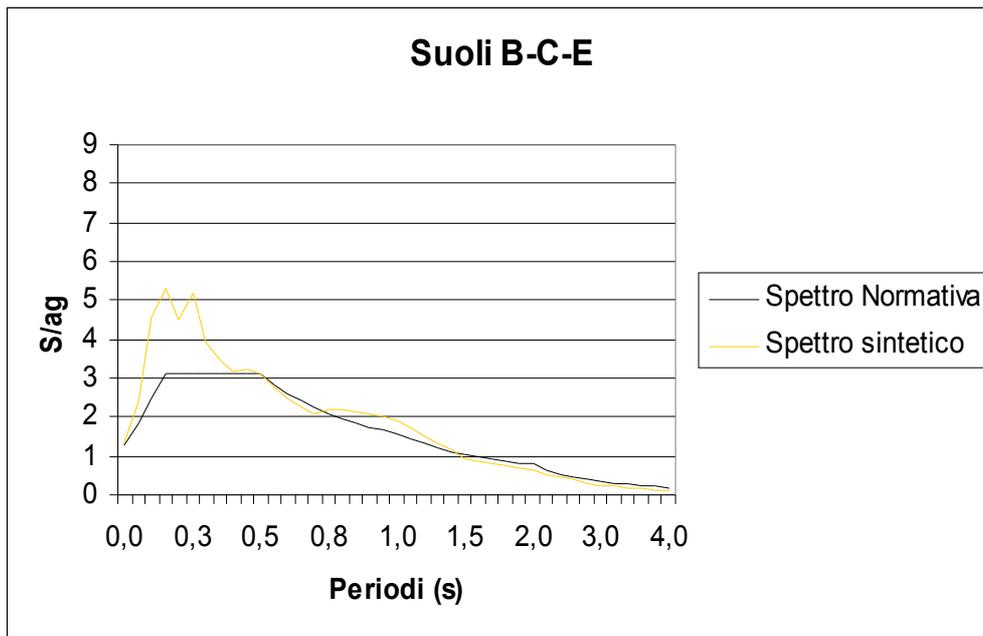


Fig. 38 Confronto tra la media degli spettri di risposta sintetici massimi normalizzati ottenuti e forma spettrale prevista dalla Normativa per le 3 tipologie di suolo

Anche gli spettri massimi dimostrano una correlazione accettabile con gli spettri di progetto, in particolar modo nei periodi superiori ad 0,5s-1 s. I valori ottenuti sinteticamente sono comunque in linea con quelli attesi dall'eurocodice 8 per periodi subito inferiori ad 1s, cioè nel campo più interessante per l'edilizia bassa della regione da noi considerata, come esposto nel caso nei paragrafi seguenti. Anche nel caso del confronto con gli spettri di risposta medi bisogna perciò evidenziare che una stima dell'accordo tra le due curve si può considerare per valori superiori a 0,2-0,3 s, cioè nel campo di periodi che si rivelano critici per edificati di 2-3 piani, considerati

rappresentativi della realtà veneta, e dunque assunti come limiti sufficientemente cautelativi. Si rimanda comunque al par. 8.1 per approfondimenti in merito.

In Fig.39 sono plottati invece i 4 spettri massimi calcolati col procedimento esposto per ciascuna delle 4 tipologie di terreno: suolo A, suoli B-C-E, suolo D e suolo S.

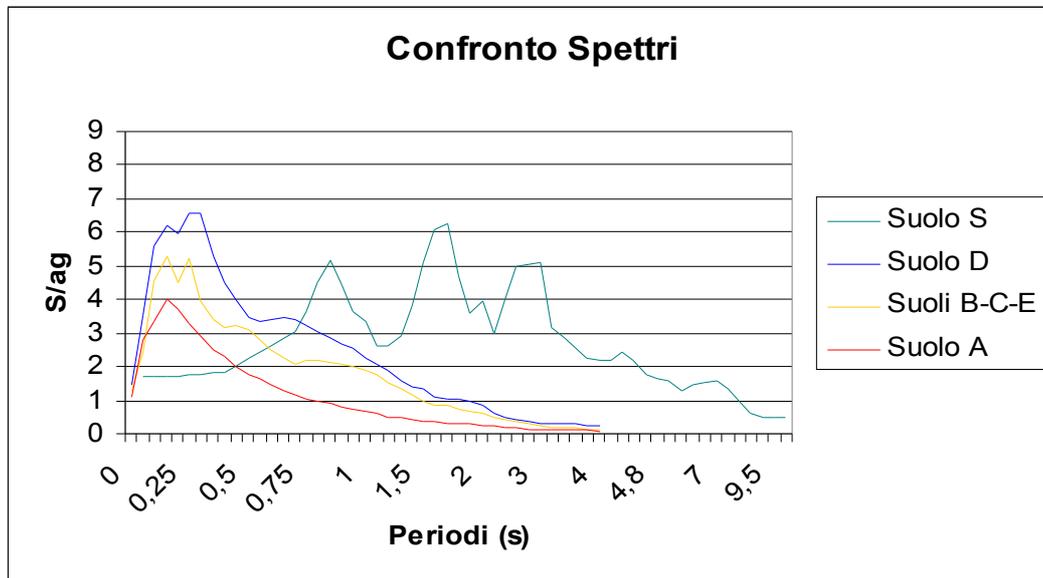


Fig.39 Confronto tra la media degli spettri di risposta massimi ottenuti sinteticamente per le diverse tipologie di suolo A, B-C-E, D e S.

Dal grafico si evince che, al di là del raffronto con gli spettri di progetto previsti dalla normativa, la forma spettrale ottenuta sinteticamente per tutti i terreni rispetta la teoria attesa. Di fatti si nota che passando da un suolo di tipo rigido (A) a suoli di natura più inconsistente sino agli estremi del suolo S (che ricordiamo è caratterizzato da V_s superficiali inferiori ad 80m/s), la zona caratterizzata da picchi di accelerazione, oltre ad essere più estesa, raggiunge valori maggiori ed è significativamente traslata verso periodi più lunghi.

8.4 MAPPA DI PERICOLOSITA' SISMICA PER LA REGIONE VENETO

8.4.1 Pericolosità e Rischio

Il rischio sismico differisce dalla pericolosità in termini sostanziali. La stima del rischio sismico, infatti, avviene quantificando l'influenza dei vari fattori di rischio (la pericolosità, la vulnerabilità o l'esposizione). La pericolosità sismica dunque non è che un fattore per giungere alla stima del rischio.

Talvolta lo stesso termine pericolosità sismica è mal compreso e mal utilizzato; non è quindi inutile alla descrizione tecnico-scientifica delle analisi effettuate in un inquadramento generale del problema.

La pericolosità sismica è la stima dello scuotimento del suolo previsto in un certo sito durante un dato periodo di tempo a causa di terremoti. I filoni metodologici che permettono una valutazione di pericolosità sismica sono essenzialmente riconducibili a 2 categorie, rispettivamente indicati con probabilismo e determinismo.

I metodi deterministici, quale quello perseguito per questo studio, calcolano i valori di scuotimento del suolo, a seguito di un terremoto di riferimento. Il termine scenario è usualmente utilizzato per determinare questo tipo di studi. Lo scenario è assunto come una rappresentazione più o meno realistica dell'effetto di un terremoto gemello all'evento di riferimento.

I metodi probabilistici rappresentano una integrazione degli effetti legati a tutti i terremoti potenziali delle varie sorgenti ritenute in grado di influenzare il sito, con l'incertezza relativa e la valutazione di ipotesi alternative. La formulazione di diverse ipotesi e la valutazione della loro attendibilità tendono ad oscurare gli elementi che guidano il risultato: ciò si traduce in una certa difficoltà di utilizzazione per progettisti e decision-makers. Inoltre la gestione matematica di incertezze crea una falsa impressione di accuratezza anche dove le conoscenze si rivelano inadeguate.

8.4.2 Mappa di pericolosità sismica

Per definire una mappa di pericolosità sismica per la Regione Veneto, è stata elaborata, con la metodologia introdotta, una mappa di distribuzione di Effective Peak Acceleration per il territorio regionale.

In Fig.40 è riportata la distribuzione dei valori attesi di accelerazione di picco effettiva (EPA), ottenuta calcolando lo spettro di risposta sintetico con frequenza limite di 10 Hz. Per ogni nodo della griglia si calcola difatti la media dei picchi dello spettro ottenuto per il campo di frequenze per le quali la Normativa designa una accelerazione costante (tra 0,2 s e 0,8s, vedi par.8.1), e la si normalizza per le costanti proposte dalla Normativa per le 3 tipologie di spettro (rispettivamente 2,5-suolo A, 3,125-suolo BCE, 3,175-suolo D). L'EPA è ovviamente calcolabile solo se la frequenza di indagine si spinge a frequenze superiori ad 1Hz (periodi < 1s), nel nostro caso è stato ottenuto ad un limite massimo di frequenza di 10Hz.

Si ricorda che i risultati ottenuti con questo metodo non sono legati ad un periodo di ritorno ma rappresentano i massimi valori attesi, partendo dal presupposto che la massima magnitudo del catalogo rappresenti i massimi terremoti possibili.

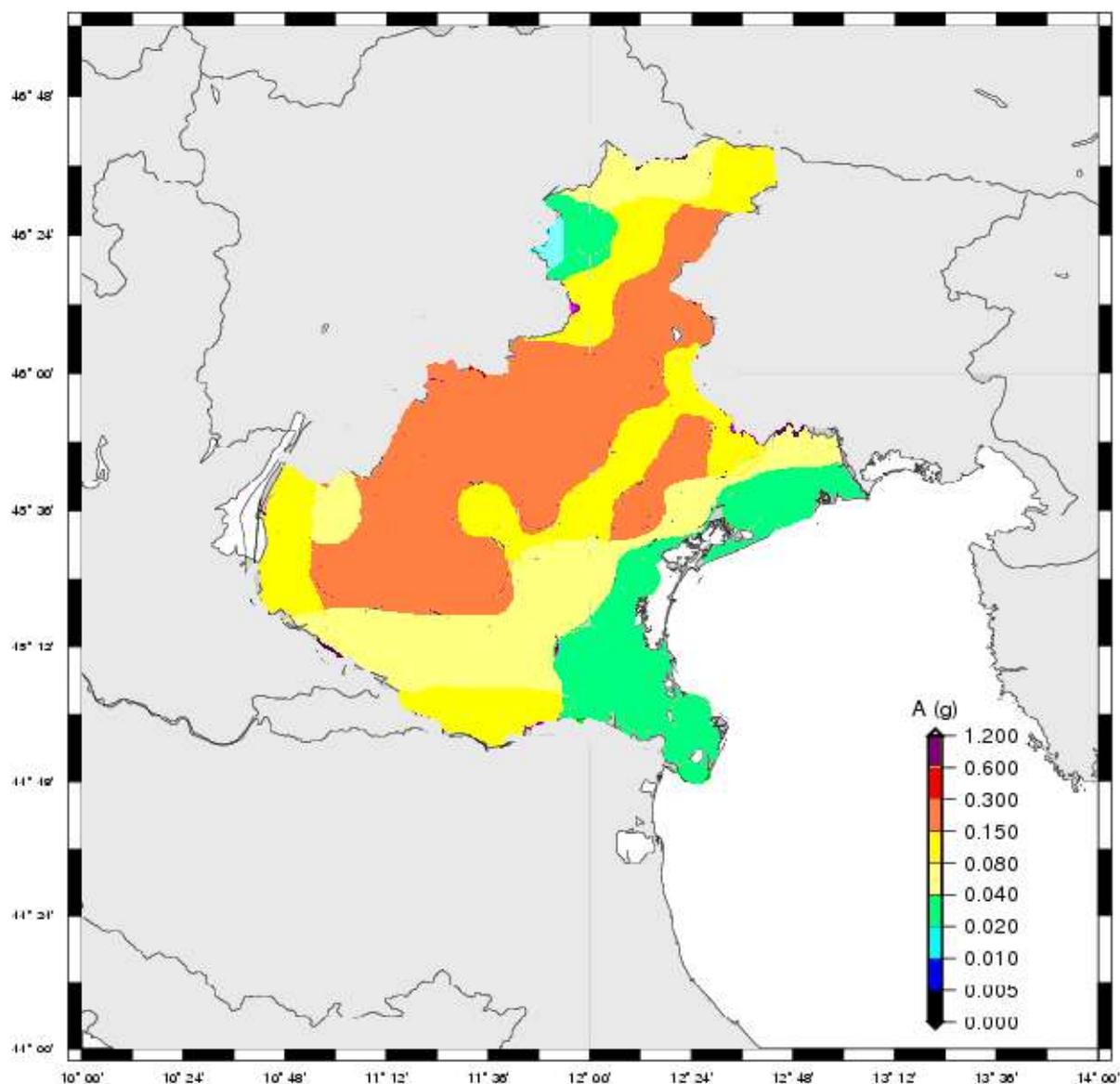


Fig. 40 Distribuzione di Effective Peak Acceleration (EPA) dipendente dalle caratteristiche del terreno per la Regione Veneto.

La stima deterministica di EPA condotta grazie all'estensione dello studio alle alte frequenze è in ottima correlazione con la stima di DGA (fig.23) ottenuta raffrontando gli spettri sintetici limitati ad 1 Hz con gli spettri di risposta previsti dalla Normativa. Questo rappresenta un'ottima validazione del metodo che giunge, con diversi modi, a risultati analoghi.

I risultati esposti sono stati confrontati con quelli ottenuti con altri metodi, anche fortemente dissimili da quello utilizzato. Abbiamo già affrontato la differenza sostanziale che limita il confronto tra i metodi deterministico e probabilistico ed i valori di DGA e PGA ottenuti rispettivamente (par 7.2), si ritiene comunque significativo il paragone con L'EPA ed il PGA,

essendo ora disponibile una stima deterministica di Effective Peak Acceleration per la Regione Veneto. In fig.41 viene riportato uno zoom dalla “Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale” espressa in accelerazione massima del suolo (a_{max}) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi ($V_s > 800\text{m/s}$ classe A), per un possibile confronto diretto tra i valori pertinenti al territorio di nostro interesse.

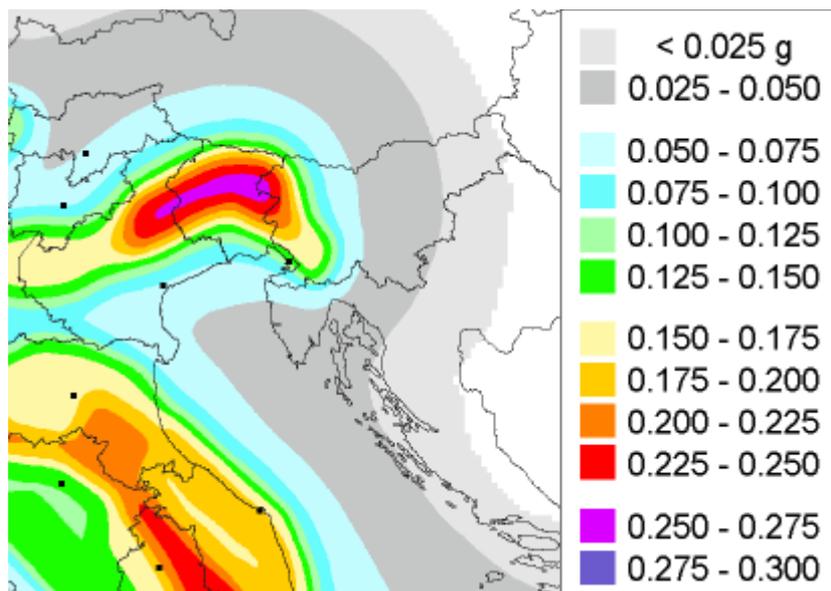


Fig. 41. Particolare da “Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale” espressa in accelerazione massima del suolo (a_{max}) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi ($V_s > 800\text{m/s}$ classe A) – INGV 2003

Si premette che il confronto è reso arduo dalla scala proposta dalla “Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale”. Difatti si ritiene poco sensato il dettaglio con cui si insiste a definire l’accelerazione di picco del suolo (PGA) nei metodi probabilistici, dato che un raddoppio dei valori di accelerazione corrisponde ad un incremento di una classe di Intensità (MCS), che rappresenta l’incertezza dei dati di partenza per qualsivoglia stima della pericolosità sismica (vedi Panza et al. (1997; 1999)).

La legenda in figura 41 è comunque già giustamente suddivisa nelle 4 categorie di classificazione previste dall’Ordinanza PCM del 20 marzo 2003 N.3274, già descritta nel capitolo6. Per comodità d’analisi riportiamo in sintesi la classificazione proposta dall’Ordinanza, che impone di suddividere il territorio nazionale in 4 Zone individuate secondo valori di accelerazione orizzontale del suolo (a_g) come esposto in Tab.6.

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% In 50 anni (ag/g)	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello Spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) (ag/g)
1	> 0,25	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-0,15	0,15
4	<0,05	0,05

Tab.6. Termini di classificazione delle Zone sismiche secondo Ordinanza PCM 3274 Marzo 2003

Come si può notare la suddivisione in zone dalla Normativa è più sensata rispetto al dettaglio di 0,025g paventato dalle stime di PGA.

Le due diverse scale in legenda di fig.40 e di fig.41 potrebbero indurre ad errate considerazioni, da un'analisi dettagliata dei dati riportati nella mappa di distribuzione di EPA si evince un sostanziale accordo con la mappa di distribuzione di accelerazioni massime del suolo. Rispetto ai confronti elaborati nel paragrafo 7.2, infatti, l'aver considerato l'influenza delle diverse tipologie di suolo ed i relativi spettri di risposta ha condotto a valori più elevati di EPA, nei confronti del DGA calcolato per suoli di tipo rigido, diminuendo quindi le differenze nei confronti del PGA, che offriva risultati ben superiori. Nello specifico restano comunque zone dove il EPA è sottostimato nei confronti dell'Amx (PGA): la bassa pianura veneta e una limitata zona del sud-bellunese (<0,04g e < 0,25g rispettivamente). I risultati ottenuti nelle zone considerate non sono molto lontani dai valori determinati dal INGV, ma conducono comunque a diverse zonazioni.

Applicando la zonazione proposta in Tab.6 alla delineazione di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni di fig.41, si otterrebbe una classificazione della nostra regione molto severa. L'Alpago ricadrebbe in Zona 1 (Massima pericolosità ag/g>0,25), una vasta fascia estesa tra le province di Verona Vicenza Belluno e Treviso in Zona 2 (Media pericolosità 0,15<ag/g<0,25) e il restante territorio della bassa pianura e dell'alto Bellunese in Zona 3 (Bassa pericolosità 0,05<ag/g<0,15). In questa mappa nessuna zona della regione e dell'intera nazione è considerata interessata da amax < 0,05, vale a dire classificabile in Zona 4 (Bassissima pericolosità ag/g<0,05).

I valori ottenuti nei risultati di questo lavoro propongono valori leggermente più bassi in termini assoluti, ma bisogna ricordare che tengono conto delle diverse tipologie di suolo che caratterizzano la regione Veneto, e che i valori di EPA rappresentano l'accelerazione effettiva di picco ottenuta dagli spettri di risposta sintetici normalizzati come prevedono i tre spettri previsti dalla Normativa per le 3 tipologie di suolo considerate. La "Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale" di

Fig.41 è invece riferita ad un unico suolo rigido per tutto il territorio nazionale e si riferisce a valori di accelerazione massima a_{max} con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Comunque, al di là dei valori assoluti che come esplicito assumono fondamenti diversi, si può notare la buona correlazione della distribuzione geografica dei vari valori di accelerazione, che in entrambe le mappe riscontra un fascia massima di accelerazione coincidente di sviluppo NE-SO e associa invece accelerazioni molto inferiori alla zona di media e bassa pianura a Sud ed all'estremo settentrione della regione.

Un'ulteriore correlazione efficace in termini di confronto è possibile con la recente "Mappa di PGA con periodo di ritorno 475 anni dipendente dalle caratteristiche di terreno per la regione Friuli-Venezia Giulia" (Rebez et al. 2001). Questo lavoro, riportato in fig. 42 è opera di uno studio multidisciplinare per la valutazione del rischio sismico regionale finanziato dalla Direzione Regionale per la Protezione Civile del Friuli-Venezia Giulia (Peruzza et al. 2001); il prodotto caratterizzante lo scuotimento è stato in questo caso una carta di pericolosità sismica differenziata per la tipologia di terreno, dunque anche per questo studio vi è l'innovazione dell'introduzione di caratteristiche geologico-geotecniche locali, sia pure molto semplificate. Per il lavoro in questione è stato seguito un approccio probabilistico standard, i tassi di sismicità sono calibrati sulle indicazioni sismologiche fornite dai cataloghi dei terremoti, le relazioni di attenuazione del parametro di scuotimento scelto derivano anch'esse da dati empirici (AMBRASEYS et al. 1996).

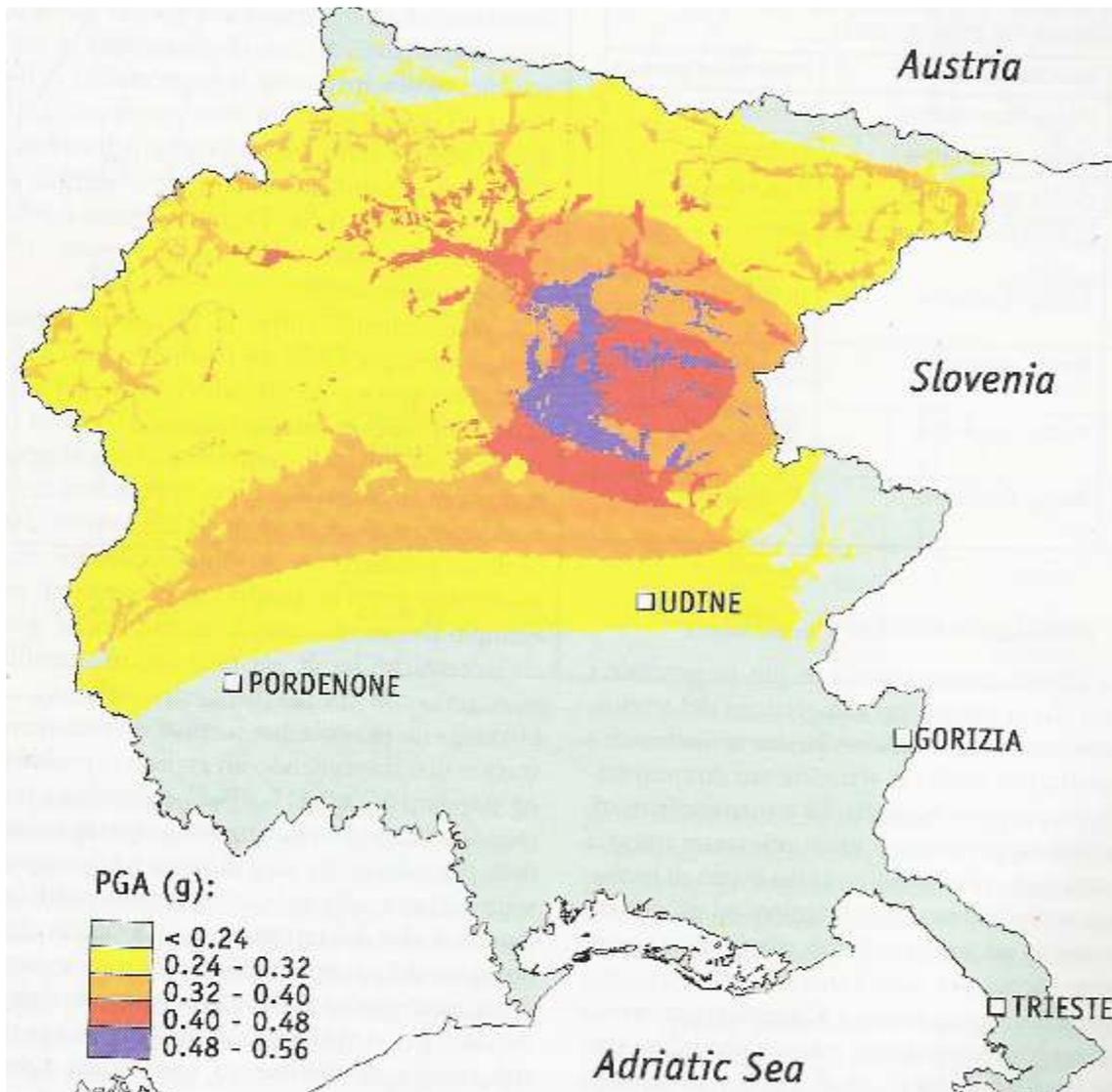


Fig.42 PGA con periodo di ritorno 475 anni dipendente dalle caratteristiche del terreno per la regione Friuli-Venezia Giulia. (Rebez et al. 2001)

Il confronto con la mappa di fig. 42 è considerato ovviamente in un'ottica di distribuzione interregionale della pericolosità sismica. La legenda proposta in fig.42 appare ancora una volta poco relazionabile con quella (più opportuna) utilizzata in fig.40 in questo studio, e poco sensata anche nei confronti della Normativa. Vi si riscontra infatti un eccessivo dettaglio per differenziare le alte accelerazioni mentre non si differenzia tutto il campo in cui ricadono accelerazioni minori di 0,24g. Rimane tuttavia importante un confronto per la peculiarità di prendere in considerazione le caratteristiche dei terreni che accomuna le 2 mappe, a differenza della “Mappa della Pericolosità sismica in Italia” di fig.41. I confini dell'area su cui è attesa una accelerazione di picco compresa tra 0,24g e 0,32g (gialla in fig.42) sono correlabili con le aree in arancio di fig.40 ($0,15 < a_g < 0,3$), delineando nel triveneto la fascia di alte accelerazioni di sviluppo NE-SW già prevista dal INGV in fig.40. Poco si può dire per correlare i confini della bassa pianura, essendo interamente classificata come $< 0,24g$ in fig.42.

Dai risultati della distribuzione di Effective Peak Acceleration del suolo ottenuti con questo progetto, è possibile ottenere una definizione della pericolosità sismica del territorio regionale del Veneto. Si è applicata una suddivisione del territorio regionale secondo le 4 zone imposte dall'Ordinanza (tab.6). Una rappresentazione della mappa di pericolosità ottenuta con queste elaborazioni è visibile in fig.43.

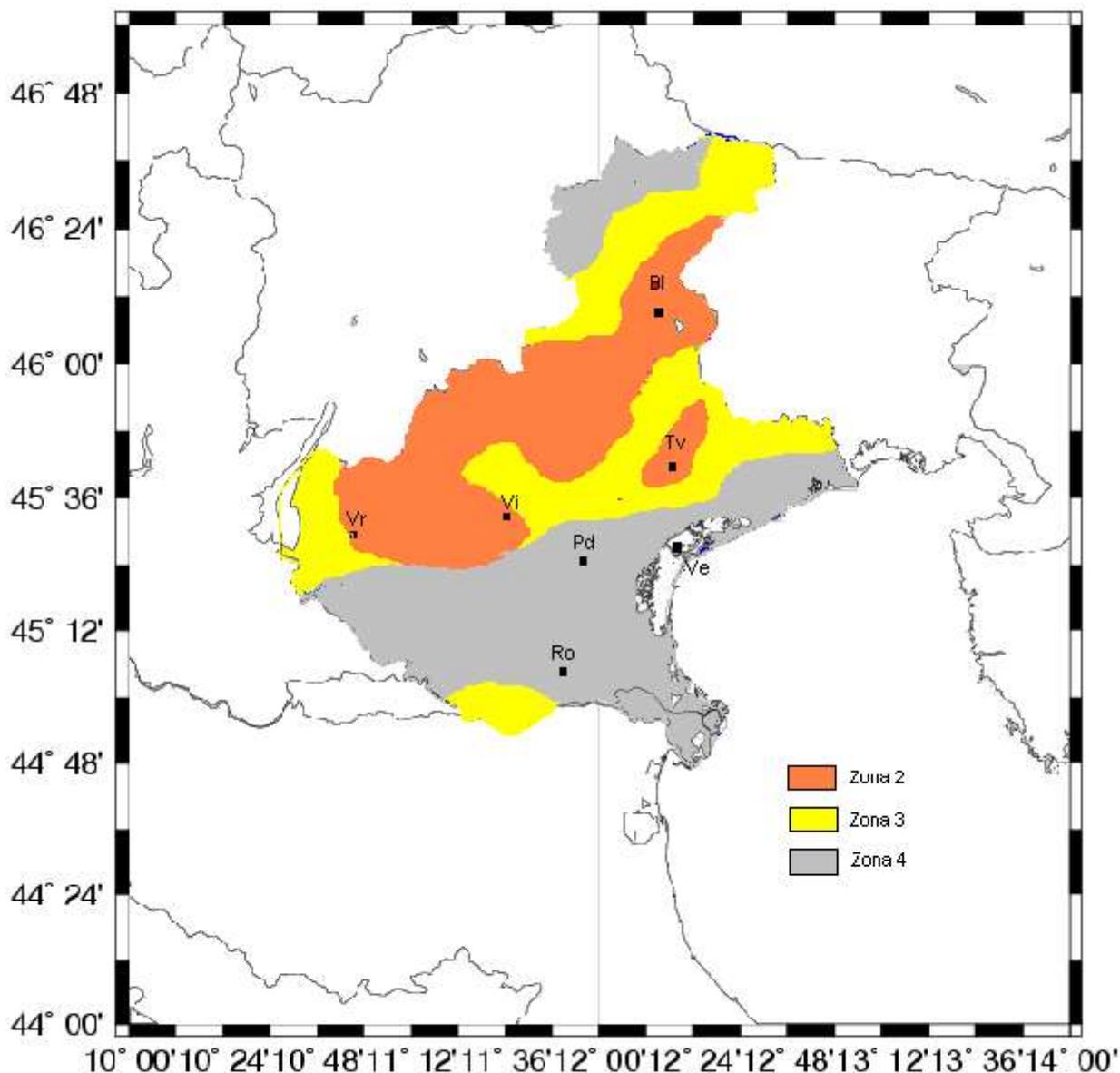


Fig. 43. Mappa della pericolosità sismica per la Regione Veneto secondo la zonazione prevista dall'Ordinanza 3274.

Com'è immediatamente visibile il Veneto si contraddistingue per non essere interessato dalla zona di massimo rischio (1) individuata dalla normativa (accelerazione $>0,25g$). Sono invece largamente estese la zona 3 di basso rischio e la zona 4 di bassissimo rischio (precedentemente non classificata

nelle passate normative vedi Cap.6). La zona 2 di medio rischio non è particolarmente estesa ma evidentemente rappresenta la più vulnerabile della regione. Si ritiene opportuna la più dettagliata analisi che segue:

- ZONA 1 ($A_g > 0,25g$) = Non interessa nessuna parte del territorio regionale
- ZONA 2 ($0,15g < A_g < 0,25g$) = Interessa parte delle province di Belluno, Treviso, Verona e Vicenza. Si estende da NE a SO ed interessa la zona di Belluno, dell'Alpago, dell'Altopiano dei sette comuni, di Val d'Agno e dei Lessini, compresa Verona, Treviso, il settentrione del vicentino e del trevigiano.
- ZONA 3 ($0,05g < A_g < 0,15g$) = Interessa la media ed alta Pianura Veneta comprendendo le zone non citate delle province della Zona 2, inoltre comprende la parte settentrionale della provincia di Padova e quella più settentrionale di Venezia. Interessa inoltre una ampia porzione del bellunese settentrionale ed occidentale dal Cadore al basso Agordino a Nord della Zona 2. In Zona 3 si inserisce anche una piccola porzione dell'estremo meridione del polesine.
- ZONA 4 ($A_g < 0,05g$) = Interessa tutta la bassa pianura veneta, la quasi interezza delle province di Padova, Rovigo, Venezia e le parti meridionali delle province di Verona e Vicenza. In questa Zona di bassissimo rischio rientra anche il NO della regione (Ampezzano ed Alto Cordevole).

Per una chiara validazione della mappa di pericolosità elaborata occorre considerare la realtà degli eventi sismici attesi per la Regione, che rappresentano poi i dati di input dei processi di calcolo. Per praticità di confronto si riporta la mappa di "Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani" valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo di Forti Terremoti dell'ING a cura di Molin, Stucchi e Valensise (1996), già esposta in fig.2 nel capitolo1.

Veneto

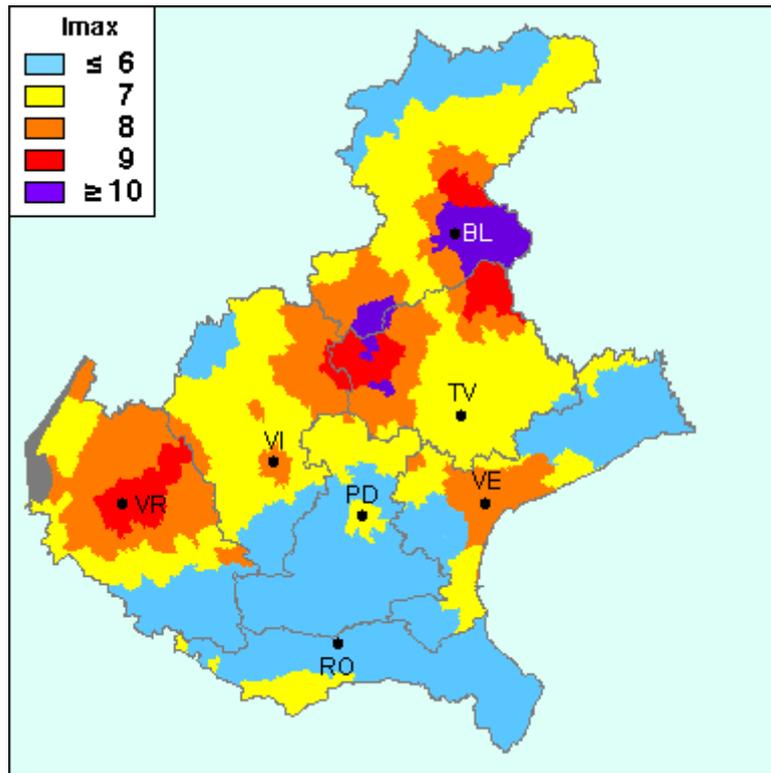


fig.2 “Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani” valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo di Forti Terremoti dell’ING a cura di Molin, Stucchi e Valensise (ANNO). Si rimanda all’appendice 1 per gli elenchi completi dei singoli comuni della Regione.

Come si può notare le zone che rientrano in Zona 2 nella nostra classificazione sono quelle dove sono attesi i sismi di più forte intensità. Fanno eccezione la zona di Venezia, dove è attesa un’intensità massima pari a 8, che ricade invece in Zona 4 nella nostra elaborazione, e la zona dell’alto vicentino e trevigiano che ricadono in Zona 2 nella nostra elaborazione, mentre si vede assegnata una Intensità massima osservata pari a 7 nella mappa elaborata dal GNDT. Bisogna però ricordare che i dati su cui si basa la nostra distribuzione di pericolosità sono gli Effective Peak Acceleration del suolo ottenuti, in modo sintetico, differenziando le varie tipologie di terreno, ottenendo dunque una specifico scenario di scuotimento del suolo che risente ovviamente delle massime intensità osservate localmente, ma anche dei tipi di suolo che caratterizzano le diverse parti della regione. Nel complesso quindi i valori attesi sono ben correlabili alle intensità osservate storicamente in Veneto.

Nel complesso quindi i valori attesi di scuotimento del suolo ottenuti, che hanno portato a tale classificazione del territorio veneto in termini di pericolosità, risultano molto correlabili con le stime ottenute in modo probabilistico in altri recenti lavori. Ciò induce a pensare che una stima ufficiale del rischio sismico basata su una definizione della pericolosità sismica di tipo

deterministico come quella sviluppata, condurrebbe a risultati assimilabili, confermando la validità del metodo.

9. CONCLUSIONI

L'iter scientifico del metodo deterministico, con il quale sono state affrontate le tematiche della presente tesi, si basa come si è visto sulla valutazione degli effetti di sismi reali. Pertanto la modellazione realistica dei movimenti tellurici è un punto conoscitivo fondamentale nella preparazione di scenari di scuotimento del suolo (groundshaking) che rappresentano un valido ed economico indirizzo per la zonazione sismica. Tale conoscenza si è rivelata di sicura ed immediata fruibilità per diversi campi: negli ambiti dell'ingegneria civile, per i progetti di nuove costruzioni antisismiche e per migliorare le strutture già esistenti, riveste inoltre una notevole importanza nella complessa gestione della protezione civile.

E' noto che solo con una prevenzione molto specifica dell'attività sismica è possibile evitare, o quantomeno limitare, la perdita di vite umane e gli ingenti danni che possono talvolta sconvolgere gli equilibri socioeconomici di vaste aree.

Lo scenario di pericolosità definito con questo progetto dimostra che una più accurata caratterizzazione del sottosuolo, condotta da questo tipo d'approccio, è in grado di fornire ottimi risultati, potendo così rappresentare un nuovo valido indirizzo per la conoscenza approfondita del moto sismico del suolo.

Lo studio sviluppato in questa tesi ha condotto, grazie alla metodologia descritta, ad una nuova mappa della pericolosità sismica per la Regione Veneto. Il lavoro svolto ha permesso di delineare, in modo completo, le diverse caratteristiche del moto sismico del suolo per il territorio considerato, fornendo importantissime informazioni per l'orientamento della difesa dagli eventi calamitosi. Di basilare rilevanza è l'estensione dell'indagine alle alte frequenze, indispensabile per una corretta prevenzione delle conseguenze di un evento sismico. Il carattere innovativo preponderante della tesi è però l'aver analizzato, per la prima volta, lo scuotimento sismico considerando le diverse tipologie di suolo che caratterizzano il territorio in esame.

Lo studio sviluppato deve tuttavia essere considerato come l'incipit di un complesso lavoro di approfondimento, in grado di poter generare una stima realistica e attendibile degli scenari di rischio, grazie alla fruibilità e l'efficienza della metodologia sviluppata da questo tipo di approccio deterministico. In particolare lo sviluppo futuro del progetto deve indirizzarsi sulle seguenti argomentazioni:

- aumentare il dettaglio dell'indagine riducendo il passo della griglia utilizzata

- affinare la definizione dei poligoni strutturali considerandone un numero più elevato e migliorandone la disposizione
- modellizzare il più realisticamente possibile il territorio, con le dovute semplificazioni ma con un numero maggiore di modelli del sottosuolo, più vicini alla complessa realtà geologica, ed in quest'ottica inoltrarsi in una possibile zonazione di dettaglio che tenga conto delle eterogeneità laterali (vedi par.4.4)
- sfruttare l'applicazione della geofisica d'esplorazione, necessaria per attribuire delle realistiche velocità di propagazione ai vari tipi di terreno
- come prevede l'Eurocodice, analizzare a fondo lo scuotimento sismico per i suoli più inconsistenti, quale il suolo S, che necessitano di particolari e approfondite analisi.
- servirsi di recenti dati strumentali per verificare i risultati ottenuti e futuri

Uno sviluppo integrato e pianificato dei suddetti approfondimenti può condurre ad un economico e validissimo ausilio per determinare scenari di rischio sismico di attualissima applicazione.

La multidisciplinarietà, che caratterizza lo scopo del lavoro, gode delle potenzialità per essere considerata un fondamento essenziale di una gestione responsabile del territorio, partendo dalla necessaria conoscenza scientifica dello stesso.

BIBLIOGRAFIA

- Amato, A. Selvaggi, G. et al. *Terremoti probabili in Italia tra il 2000 e il 2030: elementi per la definizione di priorità degli interventi di riduzione del rischio sismico* (2002). GNDT
- Bernardini, A., Dolce M., Zuccaro G. (2003) - *La vulnerabilità degli edifici: valutazione a scala nazionale della vulnerabilità sismica degli edifici ordinari*. Pubblicazione GNDT.
- Camassi, R e Stucchi, M (1996) *NT4.1: un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia di danno* . <http://emidius.itim.mi.cnr.it/NT/home.html>
- Coburn. A and Spence, R. (1992) *Earthquake Protection* John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, England 1992
- Corsanego , A. Faccioli, E. Gavarini, C. Scandone, P. Slejko, D e Stucchi, M (1997) *Gruppo nazionale per la difesa dei terremoti. L'Attività del triennio 1993-1995*, CNR, GNDT. Roma 1997
- Costa, G. Panza, G.F. Suhadolc, P. e Vaccari, F. (1992) *Zoning of the italian region with synthetic seismograms computed with known structural and source information*. Proc. 10th WCEE, Luglio 1992, Madrid, Balkema, pp 435-438
- Costa, G. Panza, G.F. Suhadolc, P. e Vaccari, F.(1993) *Zoning of the italian territory in terms of expected peak ground acceleration derived complete synthetic seismograms*, in R, Cassinis, K Helbig e G.F. Panza (eds), *Geophysical Exploration in Areas of Complex Geology*, II, J. Appl. Geophys, 30,149-160.
- Decanini, L. Mollaioli, F. Panza, G.F. Romanelli, F. e Vaccari, F. *Probabilistic vs Deterministic evaluation of seismic hazard and damage earthquake scenarios: a general problem, particularly relevant for seismic isolation* (2001). Da 7th International Seminary on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation and Active Control of Vibrations of Structures, Assisi, Italy, Oct. 2-5, 2001
- Decadini L., Panza G.F. (a cura di) (2000) - *Scenari di pericolosità sismica ad Augusta, Siracusa e Noto*. CNR-GNDT, Roma 2000, 200 pp . (http://gndt.ingv.it/Pubblicazioni/Decanini_Panza/Cop_Index.pdf).
- EC 8 (1993) Eurocode 8 draft 2003 <http://seriziosismico/protezionecivile.it>
- Fah D, Suhadolc, P e Panza, G.F. (1990) *Estimation of Strong ground motion in laterally heterogeneous media: modal summation-finite differences*. Proceedings of the 9th European Conference of Earthquake Engineering. Sept 11-16. 1990 Moscow, 4a, pp 100-109
- Florsch, N. Suhadolc, P e Panza, G.F. (1991). *Complete synthetic seismograms for high-frequency multimode Love waves*. Pure Appl. Geophys. 136, 529-560
- Gusev, A.A. (1983) *Descriptive statistical model of earthquake source radiation and its application to an estimation of short period strong motion*. Geophys. J.R Astron. Soc. 74 787-800
- Iliceto, V. Peruzza, L. Rovelli, A., Slejko D. *La difesa dai terremoti mediante zonazione sismica: sinergie fra Protezione Civile e Piani Regolatori* (2002). Geol. Tecn.e Amb. 3 -Luglio/Settembre 2002

- Kanamori, H (1977) *The energy release in great earthquakes*, J. Geophys. Res. 82 2981-2987
- Meletti C., Slejko D., Vaccari F. (1999) – *Confronti con le stime di pericolosità sismica del territorio nazionale realizzate in ambito GNDT*. In: Galadini F., C. Meletti, A. Rebez (A cura di) - *Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-1999)*. CNR-GNDT – Roma, 2000, 397 pp
- Metcalf, M. (1985). *Effective FORTRAN 77*. Oxford, England, UK: Oxford University Press 1985
- Molin, D, Stucchi, M e Valensise ,G. (1996) *Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani, elaborato per il Dipartimento di Protezione Civile*, GNDT, ING, SSN, Roma
- Ordinanza Presidente del Consiglio dei Ministri N. 3247 20 MARZO 2003: *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica* (G. U. 8.5.2003, n. 105, Suppl. Ordinario n. 72).
- Panza, G. F. (1985) *Synthetic seismograms: the Rayleigh waves modal summation*, J. Geophys. 58 125-145.
- Panza, G.F., Romanelli, F. Vaccai F. (2000a) *Realistic modelling of waveforms in laterally homogeneous anelastic media by modal summation*. Geophys. J. Int, 143, p 1-20
- Panza, G.F. Suhadolc, P. (1987), *Complete strong motion synthetics*. Computational techniques, Vol 4, Seismic strong motion synthetics, ed. By: B.A. Bolt, Academic Press, p. 153-204
- Panza, G. F. e Vaccari, F. (1994) *Advanced Criteria of seismic zoning and synthetic seismograms*, in G. Verri (ed.) Proc. Europrotech. CISM, Udine. Pp63-92
- Panza, G. F. Vaccari, F. Costa, G, Suhadolc P, e Fah, D. (1996) *Seismic input modelling for zoning and microzoning*, Earthquake Spectra 12 529-566
- Panza, G. F. Cazzaro, R. e Vaccari, F. (1997,a) *Correlation between macroseismic intensities and seismic ground motion*. Ann. Geofis. 40 1371-1382
- Panza, G. F. Cazzaro, R. e Vaccari, F. (1999) *Deterministic Seismic Hazard Assesment*, in F.Wenzel et al. (eds), *Vrancea Earthquakes: Tectonics, Hazard and Risk Mitigation*, 269-286
- Rebez, A. Carulli, G.B. Codermatz, R. Cucchi, F. Peruzza L. Slejko D.(2001) *Soil type dependent spectral seismic hazard in Friuli-Venezia Giulia (NE Italy)*. Boll Geof. Teor. Appl.
- Sartoretto, F., Putti, M. *Introduzione al Fortran per applicazioni numeriche*, Progetto, Padova, 1994
- Stucchi et al. “*Mappa della pericolosità sismica in Italia*”(2003). ING -Roma
- Vaccari F, Gregersen, F. Furlan, M. e Panza , G.F. (1989) *Synthetic seismo in laterally heterogeneous anelastic media by modal summation of P-SV waves*, Geophys. J.Int. 99 285-295
- Vaccari, F. e Panza, G. F. (1990) *Irpinia, Italy, 1980 earthquake: waveform modelling of strong motion data*. Geophys. J. Int. 101 631-647.

APPENDICE A

Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni veneti

Massime intensità macrosismiche osservate nella provincia di Venezia

Comune	Re	Pr	Com	Lat	Lon	Imax
ANNONE VENETO	5	27	1	45.79502	12.68415	7
CAMPAGNA LUPIA	5	27	2	45.35413	12.09579	<= 6
CAMPOLONGO MAGGIORE	5	27	3	45.33141	12.04947	<= 6
CAMPONOGARA	5	27	4	45.38346	12.07241	<= 6
CAORLE	5	27	5	45.59945	12.88720	<= 6
CAVARZERE	5	27	6	45.13639	12.08378	<= 6
CEGGIA	5	27	7	45.68511	12.63651	<= 6
CHIOGGIA	5	27	8	45.21906	12.27910	7
CINTO CAOMAGGIORE	5	27	9	45.82472	12.78619	7
CONA	5	27	10	45.19264	12.04087	<= 6
CONCORDIA SAGITTARIA	5	27	11	45.75588	12.84579	<= 6
DOLO	5	27	12	45.42588	12.07629	<= 6
ERACLEA	5	27	13	45.57730	12.67410	<= 6
FIESSO D`ARTICO	5	27	14	45.41745	12.03694	<= 6
FOSSALTA DI PIAVE	5	27	15	45.64339	12.51319	<= 6
FOSSALTA DI PORTOGRUARO	5	27	16	45.79075	12.90942	<= 6
FOSSO`	5	27	17	45.38584	12.04928	<= 6
GRUARO	5	27	18	45.83074	12.84348	7
IESOLO	5	27	19	45.53603	12.64016	7
MARCON	5	27	20	45.55936	12.29860	7
MARTELLAGO	5	27	21	45.54475	12.15921	7
MEOLO	5	27	22	45.61754	12.45403	<= 6
MIRA	5	27	23	45.43466	12.12919	<= 6
MIRANO	5	27	24	45.49154	12.10872	7
MUSILE DI PIAVE	5	27	25	45.61887	12.56350	<= 6
NOALE	5	27	26	45.54968	12.07229	8
NOVENTA DI PIAVE	5	27	27	45.65846	12.53226	<= 6
PIANIGA	5	27	28	45.45614	12.02977	7
PORTOGRUARO	5	27	29	45.77541	12.84321	<= 6
PRAMAGGIORE	5	27	30	45.81375	12.73751	7
QUARTO D`ALTINO	5	27	31	45.57690	12.37111	7
SALZANO	5	27	32	45.52128	12.10428	7
SAN DONA` DI PIAVE	5	27	33	45.63348	12.57232	<= 6
SAN MICHELE AL TAGLIAMENTO	5	27	34	45.75361	12.99795	<= 6
SANTA MARIA DI SALA	5	27	35	45.50585	12.03515	7
SANTO STINO DI LIVENZA	5	27	36	45.72934	12.68065	<= 6
SCORZE`	5	27	37	45.57188	12.11000	7
SPINEA	5	27	38	45.48997	12.16531	7
STRA	5	27	39	45.40653	12.01289	<= 6
TEGLIO VENETO	5	27	40	45.81494	12.88514	7
TORRE DI MOSTO	5	27	41	45.68858	12.70743	<= 6
VENEZIA	5	27	42	45.43757	12.33529	8
VIGONOVO	5	27	43	45.38742	12.00811	<= 6

Massime intensità macrosismiche osservate nella provincia di Rovigo

Comune	Re	Pr	Com	Lat	Lon	Imax
ADRIA	5	29	1	45.05476	12.05759	<= 6
ARIANO NEL POLESINE	5	29	2	44.94545	12.12669	<= 6
ARQUA` POLESINE	5	29	3	45.00915	11.74004	<= 6
BADIA POLESINE	5	29	4	45.09436	11.49186	<= 6
BAGNOLO DI PO	5	29	5	45.01473	11.50005	<= 6
BERGANTINO	5	29	6	45.06097	11.25287	<= 6
BOSARO	5	29	7	45.00125	11.76604	<= 6

CALTO	5	29	8	44.99083	11.35704	<= 6
CANARO	5	29	9	44.93444	11.67546	7
CANDA	5	29	10	45.03385	11.50701	<= 6
CASTELGUGLIELMO	5	29	11	45.02440	11.53762	<= 6
CASTELMASSA	5	29	12	45.01710	11.31092	7
CASTELNOVO BARIANO	5	29	13	45.02734	11.28714	<= 6
CENESELLI	5	29	14	45.01328	11.36996	<= 6
CEREGNANO	5	29	15	45.04937	11.87024	<= 6
CONTARINA	5	29	16	45.02474	12.22196	<= 6
CORBOLA	5	29	17	45.00483	12.08175	<= 6
COSTA DI ROVIGO	5	29	18	45.04959	11.69688	<= 6
CRESPINO	5	29	19	44.98212	11.88540	<= 6
DONADA	5	29	20	45.04149	12.21878	<= 6
FICAROLO	5	29	21	44.95389	11.43499	7
FIESSO UMBERTIANO	5	29	22	44.96176	11.60483	7
FRASSINELLE POLESINE	5	29	23	44.99504	11.69913	7
FRATTA POLESINE	5	29	24	45.02977	11.64232	<= 6
GAIBA	5	29	25	44.94523	11.48133	7
GAVELLO	5	29	26	45.02048	11.91482	<= 6
GIACCIANO CON BARUCHELLA	5	29	27	45.06443	11.45104	<= 6
GUARDA VENETA	5	29	28	44.98077	11.80191	7
LENDINARA	5	29	29	45.08373	11.59775	<= 6
LOREO	5	29	30	45.06173	12.18975	<= 6
LUSIA	5	29	31	45.09998	11.66338	<= 6
MELARA	5	29	32	45.06174	11.19995	7
OCCHIOBELLO	5	29	33	44.91981	11.57938	7
PAPOZZE	5	29	34	44.98516	12.02941	<= 6
PETTORAZZA GRIMANI	5	29	35	45.13472	11.99103	<= 6
PINCARA	5	29	36	44.99213	11.61100	7
POLESELLA	5	29	37	44.96290	11.75360	7
PONTECCHIO POLESINE	5	29	38	45.01911	11.81170	<= 6
PORTO TOLLE	5	29	39	44.95084	12.33774	<= 6
ROSOLINA	5	29	40	45.07466	12.24636	<= 6
ROVIGO	5	29	41	45.07029	11.78985	<= 6
SALARA	5	29	42	44.98471	11.42550	<= 6
SAN BELLINO	5	29	43	45.02788	11.58966	<= 6
SAN MARTINO DI VENEZZE	5	29	44	45.12922	11.87398	<= 6
STIENTA	5	29	45	44.94007	11.54431	7
TAGLIO DI PO	5	29	46	45.00730	12.20850	<= 6
TRECENTA	5	29	47	45.02979	11.46070	<= 6
VILLADOSE	5	29	48	45.07276	11.88977	<= 6
VILLAMARZANA	5	29	49	45.01394	11.69336	<= 6
VILLANOVA DEL GHEBBO	5	29	50	45.05616	11.64422	<= 6
VILLANOVA MARCHESANA	5	29	51	44.99110	11.96699	<= 6

**Massime intensità macrosismiche
osservate nella provincia di Belluno**

Comune	Re	Pr	Com	Lat	Lon	Imax
AGORDO	5	25	1	46.28182	12.03692	7
ALANO DI PIAVE	5	25	2	45.90721	11.90858	>=10
ALLEGHE	5	25	3	46.40607	12.02309	7
ARSIE`	5	25	4	45.98234	11.75772	8
AURONZO DI CADORE	5	25	5	46.55203	12.43854	<= 6
BELLUNO	5	25	6	46.14573	12.22183	>=10
BORCA DI CADORE	5	25	7	46.43634	12.22067	7
CALALZO DI CADORE	5	25	8	46.44590	12.38143	7
CASTELLO LAVAZZO	5	25	9	46.28372	12.30718	8
CENCENIGHE AGORDINO	5	25	10	46.34603	11.96969	7
CESIOMAGGIORE	5	25	11	46.08784	11.98787	7
CHIES D`ALPAGO	5	25	12	46.17207	12.38702	>=10
CIBIANA DI CADORE	5	25	13	46.38786	12.28624	7
COLLE SANTA LUCIA	5	25	14	46.44747	12.01425	<= 6
COMELICO SUPERIORE	5	25	15	46.59053	12.51266	<= 6
CORTINA D`AMPEZZO	5	25	16	46.53958	12.13836	<= 6
DANTA DI CADORE	5	25	17	46.56706	12.52070	<= 6
DOMEGGE DI CADORE	5	25	18	46.46051	12.41624	7

FALCADE	5	25	19	46.35537	11.86838	<= 6
FARRA D`ALPAGO	5	25	20	46.12133	12.35784	>=10
FELTRE	5	25	21	46.01934	11.90590	8
FONZASO	5	25	22	46.01675	11.80011	8
CANALE D`AGORDO	5	25	23	46.35717	11.91416	7
FORNO DI ZOLDO	5	25	24	46.34817	12.18103	8
GOSALDO	5	25	25	46.22107	11.95631	7
LAMON	5	25	26	46.04678	11.74910	7
LA VALLE AGORDINA	5	25	27	46.28124	12.06789	7
LENTIAI	5	25	28	46.04453	12.02251	8
LIMANA	5	25	29	46.08941	12.14468	8
LIVINALLONGO DEL COL DI LANA	5	25	30	46.48153	11.95470	<= 6
LONGARONE	5	25	31	46.26889	12.30063	9
LORENZAGO DI CADORE	5	25	32	46.47820	12.45988	7
LOZZO DI CADORE	5	25	33	46.48488	12.44359	7
MEL	5	25	34	46.06206	12.08016	7
OSPITALE DI CADORE	5	25	35	46.32778	12.32361	8
PEDAvena	5	25	36	46.03913	11.88056	8
PERAROLO DI CADORE	5	25	37	46.39546	12.35563	7
PIEVE D`ALPAGO	5	25	38	46.16670	12.35284	>=10
PIEVE DI CADORE	5	25	39	46.42544	12.36470	7
PONTE NELLE ALPI	5	25	40	46.18050	12.28047	>=10
PUOS D`ALPAGO	5	25	41	46.14044	12.36251	>=10
QUERO	5	25	42	45.92094	11.93074	>=10
RIVAMONTE AGORDINO	5	25	43	46.25124	12.02282	7
ROCCA PIETORE	5	25	44	46.43376	11.97783	<= 6
SAN GREGORIO NELLE ALPI	5	25	45	46.10267	12.02648	7
SAN NICOLO` DI COMELICO	5	25	46	46.58164	12.52669	<= 6
SAN PIETRO DI CADORE	5	25	47	46.57233	12.58749	7
SANTA GIUSTINA	5	25	48	46.08141	12.04206	7
SAN TOMASO AGORDINO	5	25	49	46.38043	11.97469	7
SANTO STEFANO DI CADORE	5	25	50	46.55805	12.55085	7
SAN VITO DI CADORE	5	25	51	46.46028	12.20552	7
SAPPADA	5	25	52	46.56446	12.67749	7
SEDICO	5	25	53	46.10379	12.09297	8
SELVA DI CADORE	5	25	54	46.45073	12.03898	7
SEREN DEL GRAPPA	5	25	55	45.98762	11.84531	8
SOSPIROLO	5	25	56	46.14212	12.07421	7
SOVERZENE	5	25	57	46.20252	12.30363	>=10
SOVRAMONTE	5	25	58	46.05757	11.78738	7
TAIBON AGORDINO	5	25	59	46.30003	12.01097	7
TAMBRE	5	25	60	46.12571	12.41974	>=10
TRICHIANA	5	25	61	46.07330	12.13232	8
VALLADA AGORDINA	5	25	62	46.36391	11.93383	7
VALLE DI CADORE	5	25	63	46.41744	12.33350	7
VAS	5	25	64	45.93802	11.93672	>=10
VIGO DI CADORE	5	25	65	46.49875	12.47143	7
VODO CADORE	5	25	66	46.41839	12.24587	7
VOLTAGO AGORDINO	5	25	67	46.27192	12.00580	7

**Massime intensità macrosismiche
osservate nella provincia di Treviso**

ALTIVOLE	5	26	1	45.75347	11.95650	>=10
ARCADE	5	26	2	45.78373	12.22479	7
ASOLO	5	26	3	45.80139	11.91375	9
BORSO DEL GRAPPA	5	26	4	45.82005	11.79615	9
BREDA DI PIAVE	5	26	5	45.72197	12.33304	7
CAERANO DI SAN MARCO	5	26	6	45.78475	12.00066	8
CAPPELLA MAGGIORE	5	26	7	45.96883	12.36176	9

CARBONERA	5	26	8	45.68129	12.28956	7
CASALE SUL SILE	5	26	9	45.59647	12.32657	7
CASIER	5	26	10	45.63697	12.25291	7
CASTELCUCCO	5	26	11	45.83130	11.88386	>=10
CASTELFRANCO VENETO	5	26	12	45.67105	11.92611	8
CASTELLO DI GODEGO	5	26	13	45.69344	11.87944	8
CAVASO DEL TOMBA	5	26	14	45.86257	11.89922	>=10
CESSALTO	5	26	15	45.71214	12.61337	<= 6
CHIARANO	5	26	16	45.72910	12.58269	7
CIMADOLMO	5	26	17	45.78541	12.36247	7
CISON DI VALMARINO	5	26	18	45.96906	12.14305	7
CODOGNE`	5	26	19	45.86727	12.43300	7
COLLE UMBERTO	5	26	20	45.94038	12.34179	8
CONEGLIANO	5	26	21	45.88673	12.29803	8
CORDIGNANO	5	26	22	45.94782	12.41608	9
CORNUDA	5	26	23	45.83141	12.00659	9
CRESPANO DEL GRAPPA	5	26	24	45.82654	11.83753	9
CROCETTA DEL MONTELLO	5	26	25	45.83242	12.03506	8
FARRA DI SOLIGO	5	26	26	45.90494	12.12492	8
FOLLINA	5	26	27	45.95096	12.11918	7
FONTANELLE	5	26	28	45.83043	12.46798	7
FONTE	5	26	29	45.78430	11.86971	9
FREGONA	5	26	30	46.00382	12.33926	9
GAIARINE	5	26	31	45.87956	12.48045	7
GIAVERA DEL MONTELLO	5	26	32	45.79453	12.16695	7
GODEGA DI SANT`URBANO	5	26	33	45.92826	12.39868	8
GORGO AL MONTICANO	5	26	34	45.78464	12.55466	7
ISTRANA	5	26	35	45.67735	12.10378	7
LORIA	5	26	36	45.72818	11.86562	8
MANSUE`	5	26	37	45.82302	12.53923	7
MARENO DI PIAVE	5	26	38	45.84211	12.35144	7
MASER	5	26	39	45.80902	11.97541	9
MASERADA SUL PIAVE	5	26	40	45.74793	12.31882	7
MEDUNA DI LIVENZA	5	26	41	45.80548	12.61294	7
MIANE	5	26	42	45.94218	12.09083	8
MOGLIANO VENETO	5	26	43	45.56082	12.23443	7
MONASTIER DI TREVISO	5	26	44	45.64987	12.43479	7
MONFUMO	5	26	45	45.83006	11.92068	9
MONTEBELLUNA	5	26	46	45.77564	12.04532	8
MORGANO	5	26	47	45.63414	12.08367	7
MORIAGO DELLA BATTAGLIA	5	26	48	45.86684	12.10609	8
MOTTA DI LIVENZA	5	26	49	45.77564	12.60719	7
NERVESIA DELLA BATTAGLIA	5	26	50	45.82217	12.20691	7
ODERZO	5	26	51	45.78096	12.49421	7
ORMELLE	5	26	52	45.77946	12.41998	7
ORSAGO	5	26	53	45.93038	12.42621	8
PADERNO DEL GRAPPA	5	26	54	45.82747	11.85779	9
PAESE	5	26	55	45.67567	12.15911	7
PEDEROBBA	5	26	56	45.85830	11.98850	9
PIEVE DI SOLIGO	5	26	57	45.90033	12.17387	7
PONTE DI PIAVE	5	26	58	45.71674	12.46220	7
PONZANO VENETO	5	26	59	45.71668	12.20227	7
PORTOBUFFOLE`	5	26	60	45.85327	12.53789	7
POSSAGNO	5	26	61	45.85403	11.88073	9
POVEGLIANO	5	26	62	45.75898	12.20568	7
PREGANZIOL	5	26	63	45.60358	12.23449	7
QUINTO DI TREVISO	5	26	64	45.64462	12.16460	7
REFRONTOLO	5	26	65	45.92363	12.20860	7
RESANA	5	26	66	45.63089	11.95612	7
REVINE LAGO	5	26	67	45.99120	12.23241	8
RIESE PIO X	5	26	68	45.72806	11.91813	8
RONCADE	5	26	69	45.62740	12.37518	7
SALGAREDA	5	26	70	45.70348	12.49238	7

SAN BIAGIO DI CALLALTA	5	26	71	45.68477	12.38168	7
SAN FIOR	5	26	72	45.92139	12.36017	8
SAN PIETRO DI FELETTO	5	26	73	45.91416	12.25085	8
SAN POLO DI PIAVE	5	26	74	45.78969	12.39508	7
SANTA LUCIA DI PIAVE	5	26	75	45.84661	12.28273	7
SAN VENDEMIANO	5	26	76	45.88775	12.35623	7
SAN ZENONE DEGLI EZZELINI	5	26	77	45.77867	11.83934	9
SARMEDE	5	26	78	45.97805	12.38610	9
SEGUSINO	5	26	79	45.91789	11.95409	>=10
SERNAGLIA DELLA BATTAGLIA	5	26	80	45.87493	12.13362	7
SILEA	5	26	81	45.65731	12.29475	7
SPRESIANO	5	26	82	45.77912	12.25981	7
SUSEGANA	5	26	83	45.85077	12.24975	7
TARZO	5	26	84	45.97164	12.23371	8
TREVIGNANO	5	26	85	45.72524	12.11900	7
TREVISO	5	26	86	45.66915	12.24402	7
VALDOBBIADENE	5	26	87	45.90072	11.99596	8
VAZZOLA	5	26	88	45.83750	12.38087	7
VEDELAGO	5	26	89	45.68613	12.01823	8
VIDOR	5	26	90	45.86291	12.03904	8
VILLORBA	5	26	91	45.71411	12.27721	7
VITTORIO VENETO	5	26	92	45.98231	12.30482	9
VOLPAGO DEL MONTELLO	5	26	93	45.77755	12.11987	7
ZENSON DI PIAVE	5	26	94	45.67806	12.49063	7
ZERO BRANCO	5	26	95	45.59986	12.16506	7

**Massime intensità macrosismiche
osservate nella provincia di Vicenza**

AGUGLIARO	5	24	1	45.32444	11.58531	<= 6
ALBETTONE	5	24	2	45.35897	11.58958	<= 6
ALONTE	5	24	3	45.36415	11.42764	<= 6
ALTAVILLA VICENTINA	5	24	4	45.50787	11.46990	7
ALTISSIMO	5	24	5	45.61371	11.25324	8
ARCUGNANO	5	24	6	45.49575	11.55172	7
ARSIERO	5	24	7	45.80274	11.35428	<= 6
ARZIGNANO	5	24	8	45.52069	11.33754	7
ASIAGO	5	24	9	45.87428	11.50991	7
ASIGLIANO VENETO	5	24	10	45.30352	11.44599	<= 6
BARBARANO VICENTINO	5	24	11	45.40938	11.53959	<= 6
BASSANO DEL GRAPPA	5	24	12	45.76665	11.73444	8
BOLZANO VICENTINO	5	24	13	45.60144	11.62264	7
BREGANZE	5	24	14	45.70749	11.56496	7
BRENDOLA	5	24	15	45.47233	11.45001	7
BRESSANVIDO	5	24	16	45.64676	11.63530	7
BROGLIANO	5	24	17	45.58874	11.36831	7
CALDOGNO	5	24	18	45.61247	11.50485	7
CALTRANO	5	24	19	45.76978	11.46066	7
CALVENE	5	24	20	45.76541	11.51239	7
CAMISANO VICENTINO	5	24	21	45.52339	11.71733	7
CAMPIGLIA DEI BERICI	5	24	22	45.33727	11.53923	<= 6
CAMPOLONGO SUL BRENTA	5	24	23	45.82826	11.69949	8
CARRE`	5	24	24	45.74976	11.45915	7
CARTIGLIANO	5	24	25	45.71445	11.69573	8
CASSOLA	5	24	26	45.73188	11.79618	8
CASTEGNERO	5	24	27	45.43727	11.60064	<= 6
CASTELGOMBERTO	5	24	28	45.58413	11.39506	7
CHIAMPO	5	24	29	45.54376	11.28263	8
CHIUPPANO	5	24	30	45.76259	11.46275	7
CISMON DEL GRAPPA	5	24	31	45.91992	11.73068	8
COGOLLO DEL CENGIO	5	24	32	45.78599	11.42133	7
CONCO	5	24	33	45.79869	11.60700	8
CORNEDO VICENTINO	5	24	34	45.61381	11.34443	7
COSTABISSARA	5	24	35	45.58232	11.48378	7
CREAZZO	5	24	36	45.53071	11.48285	7
CRESPADORO	5	24	37	45.61932	11.22664	8
DUEVILLE	5	24	38	45.63439	11.54910	7
ENEGO	5	24	39	45.94094	11.70923	8
FARA VICENTINO	5	24	40	45.73831	11.54733	7
FOZA	5	24	41	45.89541	11.63121	8
GALLIO	5	24	42	45.89125	11.54855	7
GAMBELLARA	5	24	43	45.45771	11.34421	7
GAMBUGLIANO	5	24	44	45.58749	11.43991	7
GRANCONA	5	24	45	45.42048	11.46398	7
GRISIGNANO DI ZOCCO	5	24	46	45.47558	11.69954	<= 6
GRUMOLO DELLE ABBADESSE	5	24	47	45.51553	11.65857	7
ISOLA VICENTINA	5	24	48	45.62865	11.44284	7
LAGHI	5	24	49	45.82344	11.27268	<= 6
LASTEBASSE	5	24	50	45.91498	11.27200	<= 6
LONGARE	5	24	51	45.47844	11.60796	7
LONIGO	5	24	52	45.38675	11.38823	7
LUGO DI VICENZA	5	24	53	45.74843	11.52580	7
LUSIANA	5	24	54	45.78451	11.57621	8
MALO	5	24	55	45.65678	11.40501	7
MARANO VICENTINO	5	24	56	45.69220	11.42951	7
MASON VICENTINO	5	24	58	45.71761	11.60825	7
MOLVENA	5	24	59	45.73325	11.61258	8
MONTEBELLO VICENTINO	5	24	60	45.45685	11.38561	7

MONTECCHIO MAGGIORE	5	24	61	45.50326	11.41689	7
MONTECCHIO PRECALCINO	5	24	62	45.66520	11.56356	7
MONTE DI MALO	5	24	63	45.65937	11.36219	7
MONTEGALDA	5	24	64	45.44365	11.67425	<= 6
MONTEGALDELLA	5	24	65	45.43649	11.67284	<= 6
MONTEVIALE	5	24	66	45.55994	11.45899	7
MONTICELLO CONTE OTTO	5	24	67	45.59412	11.58420	7
MONTORSO VICENTINO	5	24	68	45.49022	11.36337	7
MOSSANO	5	24	69	45.41850	11.55470	<= 6
MUSSOLENTE	5	24	70	45.78066	11.80289	9
NANTO	5	24	71	45.42321	11.59395	<= 6
NOGAROLE VICENTINO	5	24	72	45.55872	11.28774	8
NOVE	5	24	73	45.72432	11.67948	8
NOVENTA VICENTINA	5	24	74	45.29004	11.54151	<= 6
ORGIANO	5	24	75	45.35076	11.46586	<= 6
PEDEMONTE	5	24	76	45.90767	11.31146	<= 6
PIANEZZE	5	24	77	45.73876	11.62623	8
PIOVENE ROCCHETTE	5	24	78	45.76034	11.43448	7
POIANA MAGGIORE	5	24	79	45.28902	11.50104	<= 6
POSINA	5	24	80	45.78982	11.26175	<= 6
POVE DEL GRAPPA	5	24	81	45.79993	11.73120	9
POZZOLEONE	5	24	82	45.64923	11.67911	7
QUINTO VICENTINO	5	24	83	45.57265	11.62735	7
RECOARO TERME	5	24	84	45.70322	11.22090	7
ROANA	5	24	85	45.86269	11.47240	7
ROMANO D`EZZELINO	5	24	86	45.77194	11.77124	9
ROSA`	5	24	87	45.72368	11.76311	8
ROSSANO VENETO	5	24	88	45.70501	11.80323	8
ROTZO	5	24	89	45.86348	11.40020	<= 6
SALCEDO	5	24	90	45.75730	11.56718	8
SANDRIGO	5	24	91	45.66025	11.60323	7
SAN GERMANO DEI BERICI	5	24	92	45.40028	11.47415	<= 6
SAN NAZARIO	5	24	93	45.83896	11.69073	8
SAN PIETRO MUSSOLINO	5	24	94	45.58683	11.25743	8
SANTORSO	5	24	95	45.73684	11.38922	7
SAN VITO DI LEGUZZANO	5	24	96	45.68253	11.37656	7
SARCEDO	5	24	97	45.70671	11.52756	7
SAREGO	5	24	98	45.40743	11.40559	7
SCHIAVON	5	24	99	45.69703	11.64533	7
SCHIO	5	24	100	45.71143	11.35584	7
SOLAGNA	5	24	101	45.81454	11.71993	8
SOSSANO	5	24	102	45.35842	11.51036	<= 6
SOVIZZO	5	24	103	45.52743	11.44681	7
TEZZE SUL BRENTA	5	24	104	45.68476	11.70648	8
THIENE	5	24	105	45.70693	11.47829	8
TONEZZA DEL CIMONE	5	24	106	45.85582	11.34628	<= 6
TORREBELVICINO	5	24	107	45.71682	11.31384	7
TORRI DI QUARTESOLO	5	24	108	45.51945	11.61633	7
TRISSINO	5	24	110	45.56389	11.37081	7
VALDAGNO	5	24	111	45.65138	11.30376	7
VALDASTICO	5	24	112	45.88529	11.36256	<= 6
VALLI DEL PASUBIO	5	24	113	45.73921	11.26071	7
VALSTAGNA	5	24	114	45.86033	11.65777	8
VELO D`ASTICO	5	24	115	45.78802	11.36650	7
VICENZA	5	24	116	45.54914	11.54926	8
VILLAGA	5	24	117	45.40203	11.53390	<= 6
VILLAVERLA	5	24	118	45.65194	11.49154	7
ZANE`	5	24	119	45.72368	11.44735	7
ZERMEGHEDO	5	24	120	45.47501	11.36989	7
ZOVENCEDO	5	24	121	45.42840	11.50152	7
ZUGLIANO	5	24	122	45.73404	11.52067	7

**Massime intensità macrosismiche
osservate nella provincia di Verona**

AFFI	5	23	1	45.55186	10.77159	7
ALBAREDO D`ADIGE	5	23	2	45.31671	11.27414	7
ANGIARI	5	23	3	45.21695	11.28453	<= 6
ARCOLE	5	23	4	45.35785	11.28588	7
BADIA CALAVENA	5	23	5	45.56478	11.15395	9
BARDOLINO	5	23	6	45.54173	10.72629	8
BELFIORE	5	23	7	45.38158	11.20834	8
BEVILACQUA	5	23	8	45.23169	11.39521	<= 6
BONAVIGO	5	23	9	45.25788	11.27874	<= 6
BOSCHI SANT`ANNA	5	23	10	45.21672	11.35319	<= 6
BOSCO CHIESANUOVA	5	23	11	45.62147	11.02922	8
BOVOLONE	5	23	12	45.25709	11.12095	7
BRENTINO BELLUNO	5	23	13	45.65521	10.89301	7
BRENZONE	5	23	14	45.70507	10.76555	7
BUSSOLENGO	5	23	15	45.47384	10.84710	8
BUTTAPIETRA	5	23	16	45.34144	10.99873	8
CALDIERO	5	23	17	45.41173	11.18391	8
CAPRINO VERONESE	5	23	18	45.60538	10.79524	7
CASALEONE	5	23	19	45.16992	11.19593	<= 6
CASTAGNARO	5	23	20	45.11866	11.40973	<= 6
CASTEL D`AZZANO	5	23	21	45.35650	10.95688	8
CASTELNUOVO DEL GARDA	5	23	22	45.43996	10.76414	7
CAVAION VERONESE	5	23	23	45.53949	10.77031	7
CAZZANO DI TRAMIGNA	5	23	24	45.47210	11.20386	8
CEREA	5	23	25	45.19350	11.21332	<= 6
CERRO VERONESE	5	23	26	45.57401	11.04161	8
COLOGNA VENETA	5	23	27	45.30894	11.38528	8
COLOGNOLA AI COLLI	5	23	28	45.43233	11.19313	8
CONCAMARISE	5	23	29	45.21425	11.14634	<= 6
COSTERMANO	5	23	30	45.58694	10.74380	7
DOLCE`	5	23	31	45.59964	10.85294	8
ERBE`	5	23	32	45.24192	10.96864	7
ERBEZZO	5	23	33	45.63924	11.00181	8
FERRARA DI MONTE BALDO	5	23	34	45.67612	10.85363	7
FUMANE	5	23	35	45.54275	10.88314	8
GARDA	5	23	36	45.57592	10.70865	7
GAZZO VERONESE	5	23	37	45.14138	11.10379	<= 6
GREZZANA	5	23	38	45.51969	11.01726	8
ILLASI	5	23	39	45.46582	11.18324	8
ISOLA DELLA SCALA	5	23	40	45.27228	11.00805	7
ISOLA RIZZA	5	23	41	45.29138	11.20157	7
LAVAGNO	5	23	42	45.44032	11.13178	9
LAZISE	5	23	43	45.50562	10.73352	8
LEGNAGO	5	23	44	45.19231	11.31109	<= 6
MALCESINE	5	23	45	45.76387	10.80935	8
MARANO DI VALPOLICELLA	5	23	46	45.55459	10.91575	8
MEZZANE DI SOTTO	5	23	47	45.48081	11.12763	9
MINERBE	5	23	48	45.24067	11.33838	<= 6
MONTECCHIA DI CROSARA	5	23	49	45.48427	11.25390	8
MONTEFORTE D`ALPONE	5	23	50	45.42049	11.28488	8
MOZZECANE	5	23	51	45.30838	10.81718	7
NEGRAR	5	23	52	45.53037	10.93883	8
NOGARA	5	23	53	45.17532	11.06619	<= 6
NOGAROLE ROCCA	5	23	54	45.29106	10.88465	7
OPPEANO	5	23	55	45.30411	11.17943	7
PALU`	5	23	56	45.32469	11.15538	8
PASTRENGO	5	23	57	45.49192	10.80059	8

PESCANTINA	5	23	58	45.48149	10.86772	8
PESCHIERA DEL GARDA	5	23	59	45.43751	10.69428	7
POVEGLIANO VERONESE	5	23	60	45.34662	10.88139	8
PRESSANA	5	23	61	45.28409	11.40233	<= 6
RIVOLI VERONESE	5	23	62	45.57075	10.81243	7
RONCA`	5	23	63	45.47931	11.29019	8
RONCO ALL`ADIGE	5	23	64	45.33762	11.24219	7
ROVERCHIARA	5	23	65	45.27182	11.24833	<= 6
ROVEREDO DI GUA`	5	23	66	45.27293	11.44372	<= 6
ROVERE` VERONESE	5	23	67	45.59244	11.06718	8
SALIZZOLE	5	23	68	45.24304	11.08933	<= 6
SAN BONIFACIO	5	23	69	45.39936	11.27266	8
SAN GIOVANNI ILARIONE	5	23	70	45.52272	11.23557	8
SAN GIOVANNI LUPATOTO	5	23	71	45.38429	11.04165	8
SANGUINETTO	5	23	72	45.18253	11.15157	<= 6
SAN MARTINO BUON ALBERGO	5	23	73	45.41982	11.09568	9
SAN MAURO DI SALINE	5	23	74	45.56456	11.11328	8
VESTENANOVA	5	23	93	45.57311	11.22803	9
VIGASIO	5	23	94	45.31681	10.94188	8
VILLA BARTOLOMEA	5	23	95	45.15801	11.35267	<= 6
VILLAFRANCA DI VERONA	5	23	96	45.35403	10.84517	8
ZEVIO	5	23	97	45.37305	11.13409	8
ZIMELLA	5	23	98	45.36458	11.33734	7