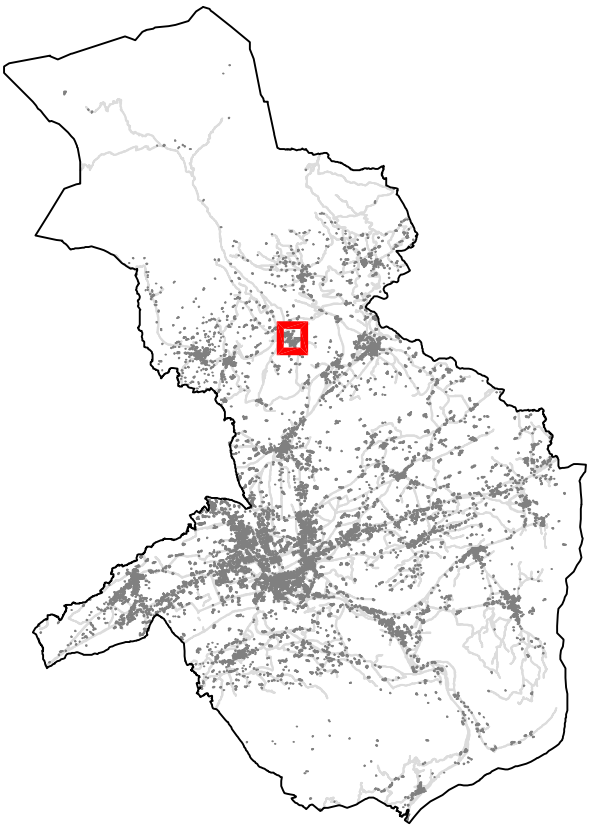
COMUNE DI FELTRE
Provincia di Belluno

P.I.
2009-D

elaborato	VCS	A.T.O. 02	ambiti APP|01, 02, 03	scala	

Studio di Compatibilità Sismica

APP|03 - Vignui



UNITA' DI PROGETTO
PIANIFICAZIONE DEL TERRITORIO
arch. Oliviero Dall'Asen

UFFICIO DI PIANO
arch. Michela Rossato
geom. Gianluca Da Rin De Monego

COLLABORATORI
arch. Roberto Ben

IL GEOLOGO

Livio dott. Sartor

ORDINE DEI GEOLOGI
Dr. Geol. LIVIO SARTOR N° 235
REGIONE DEL VENETO

CITTA' DI FELTRE
IL SINDACO
Gianvittore Vaccari

L'ASSESSORE ALL'URBANISTICA
Gianvittore Vaccari

IL SEGRETARIO
Daniela De Carli

ADOTTATO	APPROVATO
con deliberazione di **C.C.** n° **133** del **28/12/2009**	con deliberazione di **C.C.** n° **57** del **28/06/2010**
Il Presidente — Il Segretario	Il Presidente — Il Segretario

ORIGINALE

vigente dal
31/07/2010

1. Premessa

Il PAT di Feltre è stato approvato prima dell'allegato "A" della DGRV 3308/2008, per cui non è stata eseguita la compatibilità sismica dell'intero territorio comunale: i "PI" devono però adeguarsi alla normativa Regionale.

Con delibera della Giunta **n. 3308 del 04.11.2008** "*Applicazioni delle nuove norme tecniche sulle costruzioni in zona sismica. Indicazioni per la redazione e verifica della pianificazione urbanistica*", la Regione Veneto ha ritenuto di integrare la documentazione da allegare ai PAT e ai PI, con lo studio di "*compatibilità sismica*", da effettuare nelle zone sismiche 1 e 2, il quale dovrà fornire un supporto sulle modalità costruttive degli interventi, in modo da garantire un'adeguata sicurezza degli insediamenti e delle infrastrutture. Lo studio deve migliorare la conoscenza delle componenti che determinano la pericolosità sismica locale, e fornire i criteri di scelta finalizzati alla prevenzione dell'eventuale rischio, alla luce di quanto previsto anche dall'Eurocodice 8 e del DM 14.01.2008; in particolare si richiede che per la valutazione sismica siano adeguatamente considerate le condizioni geologiche e morfologiche attraverso dettagliati studi di microzonazione sismica locale, tenendo conto, sia della sismicità di base (distanza dalle sorgenti sismogenetiche, energia, frequenza e tipo di terremoti attesi), sia delle caratteristiche geologiche locali. La microzonazione sismica, con l'individuazione delle aree a diversa pericolosità sismica, consente, in particolare, di indirizzare le scelte di pianificazione verso gli ambiti a minore rischio.

L'allegato "A" della DGRV 3308/2008 prevede quanto segue:

- per i PAT "*lo studio di compatibilità sismica sarà costituito dalla verifica della conciliabilità della trasformazione urbanistica con le indicazioni derivanti dalla caratterizzazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica del territorio in esame, avendo preso in considerazione la zona sismica interessata dall'ambito comunale secondo le disposizioni regionali in vigore"*;
- per i PI, "*che localizzano puntualmente le trasformazioni urbanistiche, lo studio di compatibilità sismica* avrà *lo sviluppo necessario a definire gli interventi ammissibili e le modalità esecutive nelle aree urbanizzate ed urbanizzabili".*

L'elaborato finale cartografico sintetico della <u>compatibilità sismica per i PAT</u> prevede la mappatura dell'intero territorio comunale in:

a) aree “stabili” nelle quali non si ipotizzano effetti locali di rilievo di alcuna natura;
b) aree “stabili suscettibili di amplificazioni sismiche”, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto dell’assetto litostratigrafico e morfologico locale;
c) aree “suscettibili di instabilità”; le principali cause sono: instabilità dei versanti, liquefazione e cedimenti differenziali dei terreni, faglie attive.

L’allegato “A” della DGRV 3308/2008 prevede che “*all’interno del PI, per il territorio urbanizzato, urbanizzabile (suscettibile di trasformazioni per l’espansione degli abitati) e relativo ad ambiti riguardanti i sistemi, le reti infrastrutturali e i corridoi per il trasporto energetico di rilevanza strategica a livello statale o provinciale, va effettuata:*

- *con riferimento alle “aree stabili” (v. lettera “a” punto “3” dell’allegato A) la caratterizzazione del terreno tramite la misura delle V_{S30} (velocità di propagazione delle onde di taglio entro i 30 metri di profondità come definita dalle vigenti norme tecniche sulle costruzioni);*
- *con riferimento alle “aree suscettibili di amplificazioni sismiche” (v. lettera “b” punto “3” dell’allegato A) uno studio finalizzato alla determinazione della profondità del bedrock sismico in funzione della definizione del periodo proprio della vibrazione del sottosuolo e alla definizione dei profili di V_{S30}, unitamente alla valutazione degli effetti morfologici;*
- *con riferimento alle “aree suscettibili di instabilità” (v. lettera “c” punto “3” dell’allegato A), uno studio degli eventuali effetti di cui all’alinea precedente e uno studio specifico finalizzato all’individuazione degli ambiti potenzialmente soggetti a instabilità, utilizzando come parametri di riferimento quelli stabiliti dalla vigente normativa tecnica sulle costruzioni.”*

Inoltre sempre nell’allegato “A” si afferma che per le “*varianti agli strumenti urbanistici che non comportino una trasformazione territoriale di urbanizzazione o, che comunque non alterino la protezione sismica prevista, il tecnico progettista è tenuto a sottoscrivere una asseverazione inerente la mancata necessità della valutazione sismica.”*

2. Geologia strutturale del Feltrino

Le Vette Feltrine sono una parte delle Alpi Meridionali, la retrocatena dell'orogene alpino generatosi con la subduzione della placca Europea al di sotto di quella Adriatica. Le Alpi Meridionali hanno una caratteristica struttura di sovrascorrimenti, in una geometria a ventaglio embricato che indica una propagazione temporale dal più interno al più esterno. Da Nord a Sud, la struttura delle Vette Feltrine è compresa tra i sovrascorrimenti della Valsugana, di Belluno e di Tezze. Due grandi strutture, l'anticlinale delle Vette Feltrine e la sinclinale di Belluno, accompagnano i sovrascorrimenti principali.

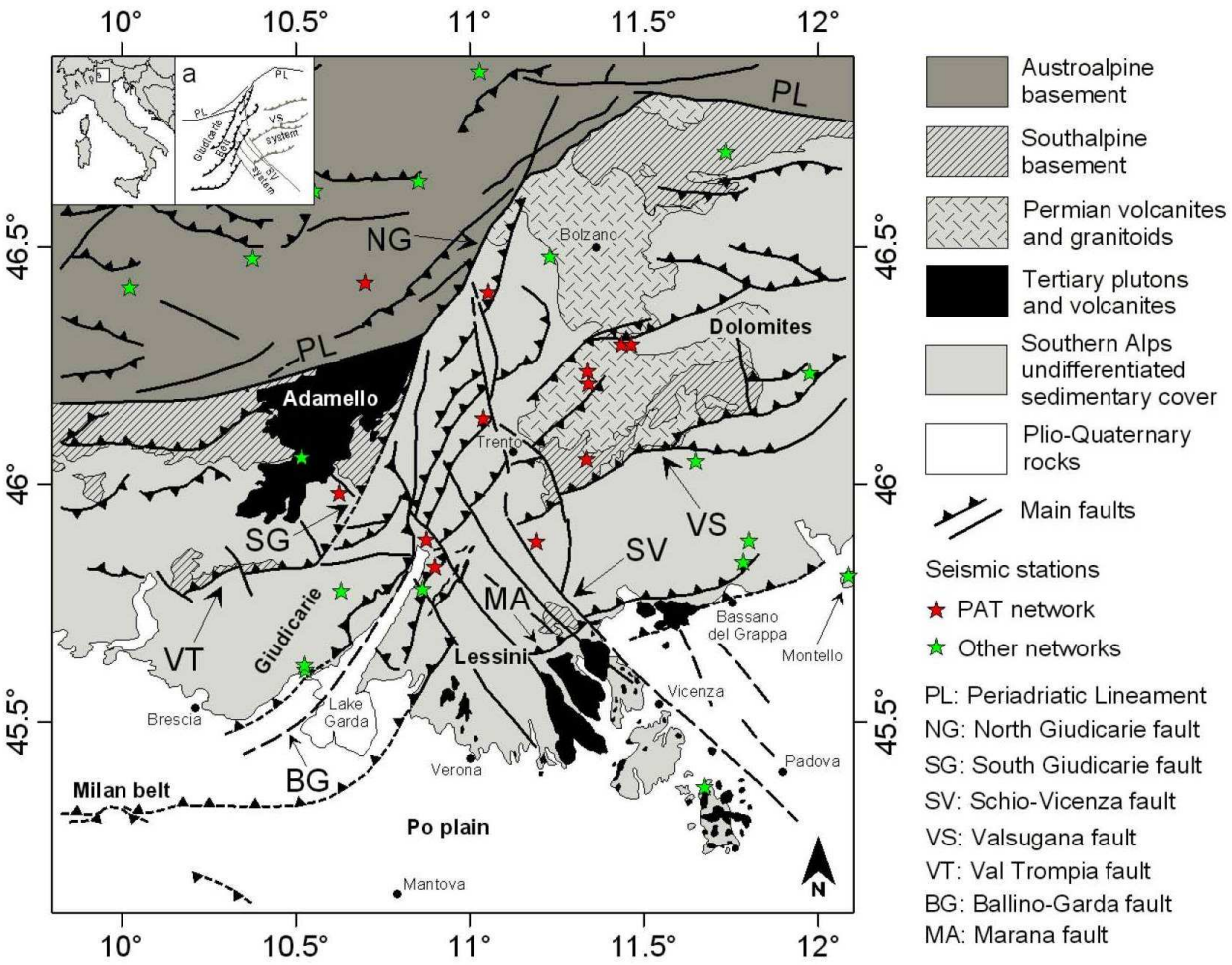


Fig. 1 - Schema strutturale semplificato del Sudalpino centro-orientale (da A. Viganò e altri - 2008)

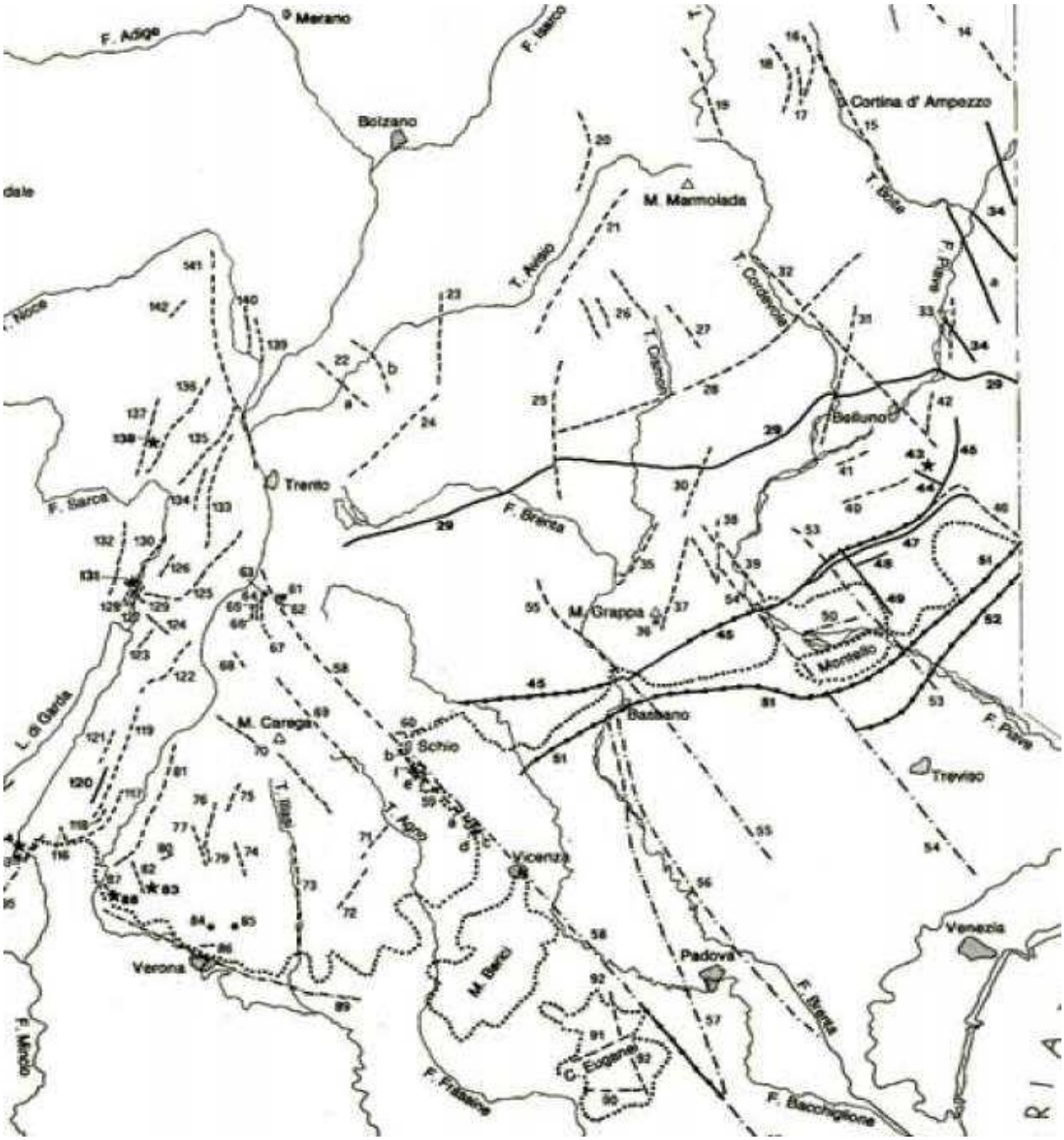


Fig. 2 - Carta generale delle faglie attive del Sudalpino centro-orientale (da Castaldini-Panizza - 1991)

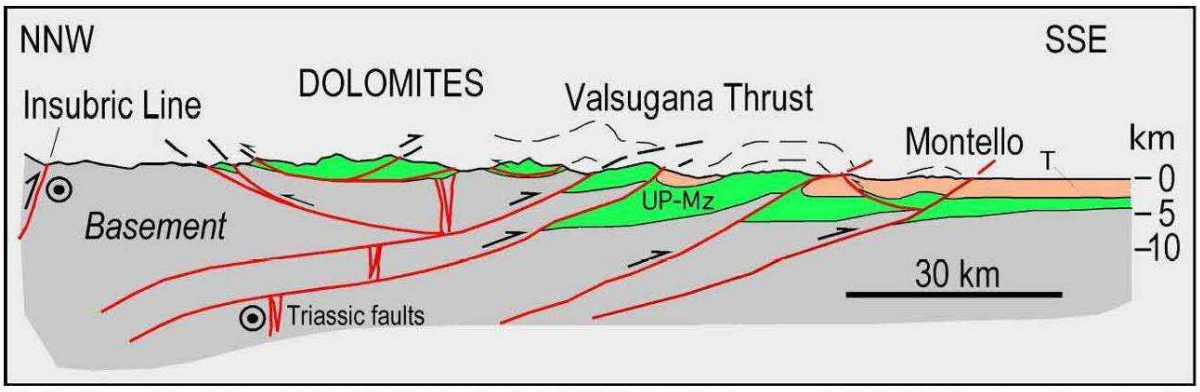


Fig.18 - Sezione del ventaglio embriciato delle Alpi Meridionali, dalla Val Pusteria alla pianura veneta. Le Vette Feltrine, immediatamente a sud del *pop-up* delle Dolomiti, sono a letto del sovrascorrimento della Valsugana. UP-Mz, Permiano superiore-Mesozoico; T, Cenozoico (da DOGLIONI & CARMINATI, 2008).

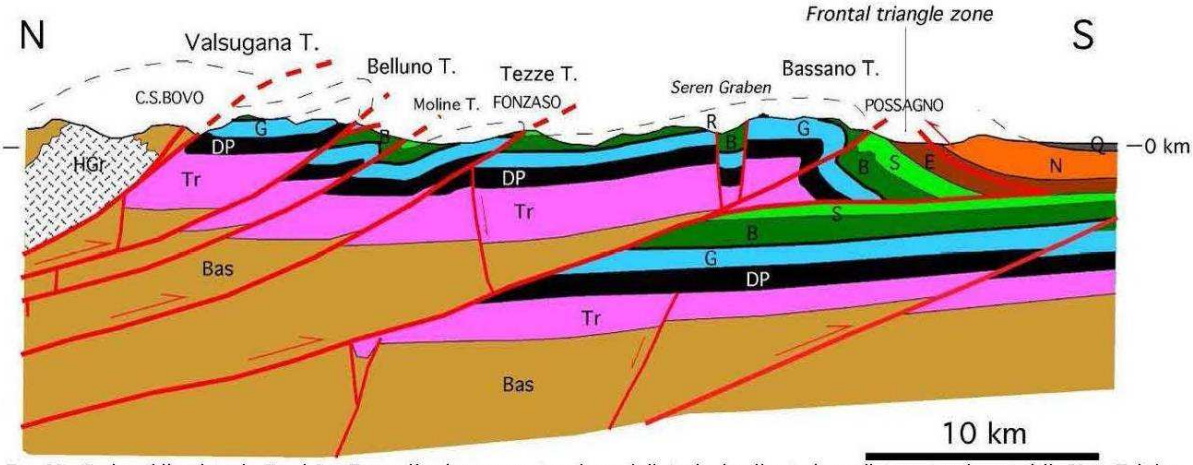


Fig. 19 - Sezione bilanciata da Canal San Bovo alla pianura veneta nei pressi di Asolo, localizzata immediatamente ad ovest delle Vette Feltrine. Bas, Basamento cristallino; HGr, Granito tardo ercinico; Tr, formazioni del Permiano superiore-Triassico inferiore e medio; DP, Dolomia Principale (Norico); G, Calcari Grigi [(Lias, facies di piattaforma passanti gradualmente verso sud a facies bacinali del Lias-Dogger (Fm di Soverzene, Fm di Igne, Calcare del Vajont)]; R, Ammonitico Rosso (sottile livello nero); B, Biancone, Cretaceo inferiore; S, Scaglia Rossa, Cretaceo superiore; E, Paleogene (Marna di Possagno, ecc.); N, Oligocene sup.-Neogene (Molassa); Q, Quaternario (tratto da DOGLIONI, 1992).

Fig. 3 - Sezioni rappresentative geologico strutturali

In base alla geometria a ventaglio embricato, è ipotizzabile un'età più antica per la Linea della Valsugana, a nord rispetto alle strutture più a sud. Attualmente il raccorciamento misurabile tramite GPS è dell'ordine di circa 2mm/anno, con una velocità di circa 2 km ogni milione di anni, compatibile con un raccorciamento di circa 20 km per gli ultimi 10 milioni di anni.

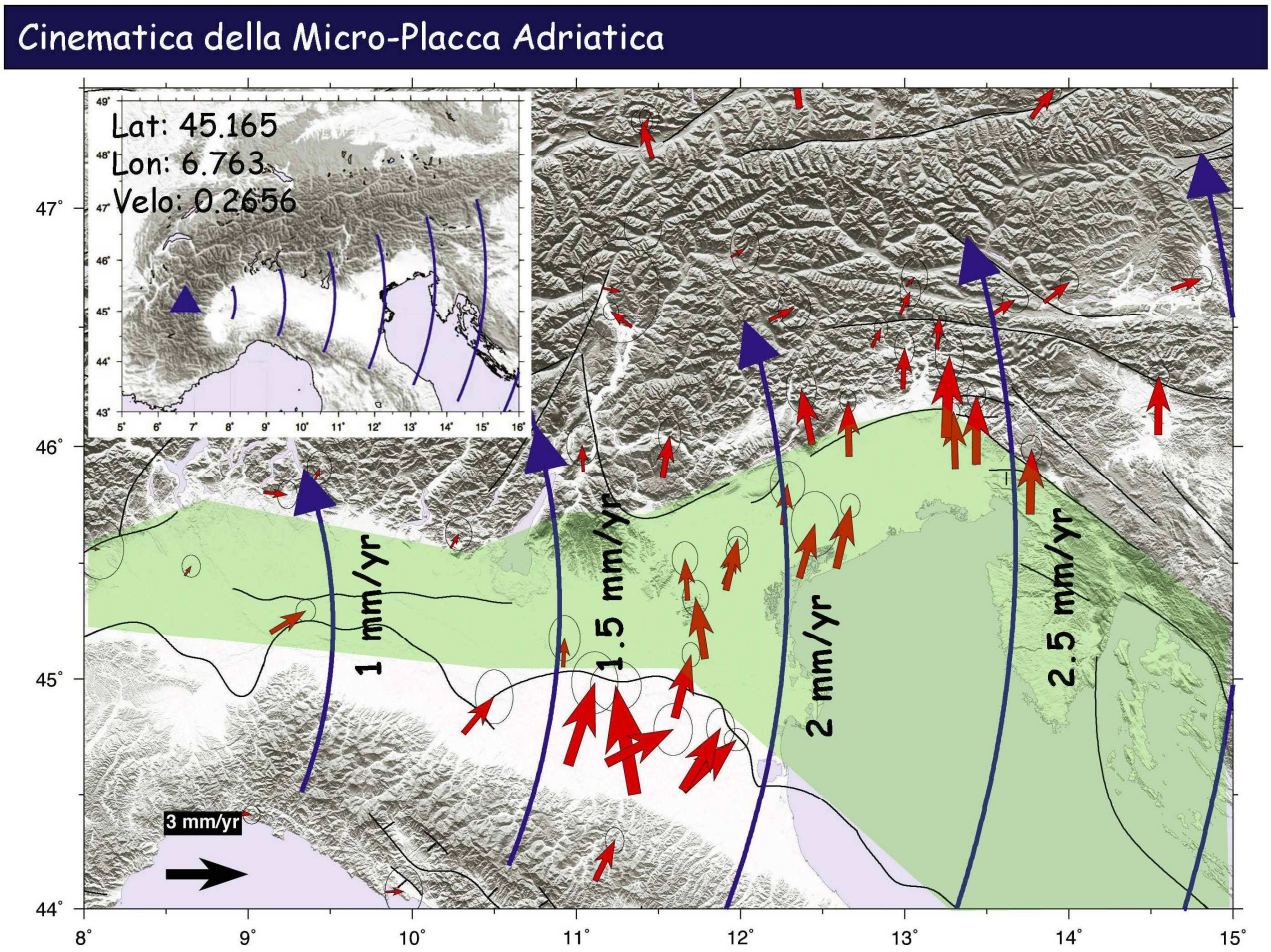


Fig. 4 - Cinematica (velocità di spostamento) della micro-placca Adriatica (E. Serpelloni –2008)

Accumulo di Deformazione Attraverso le Alpi Meridionali

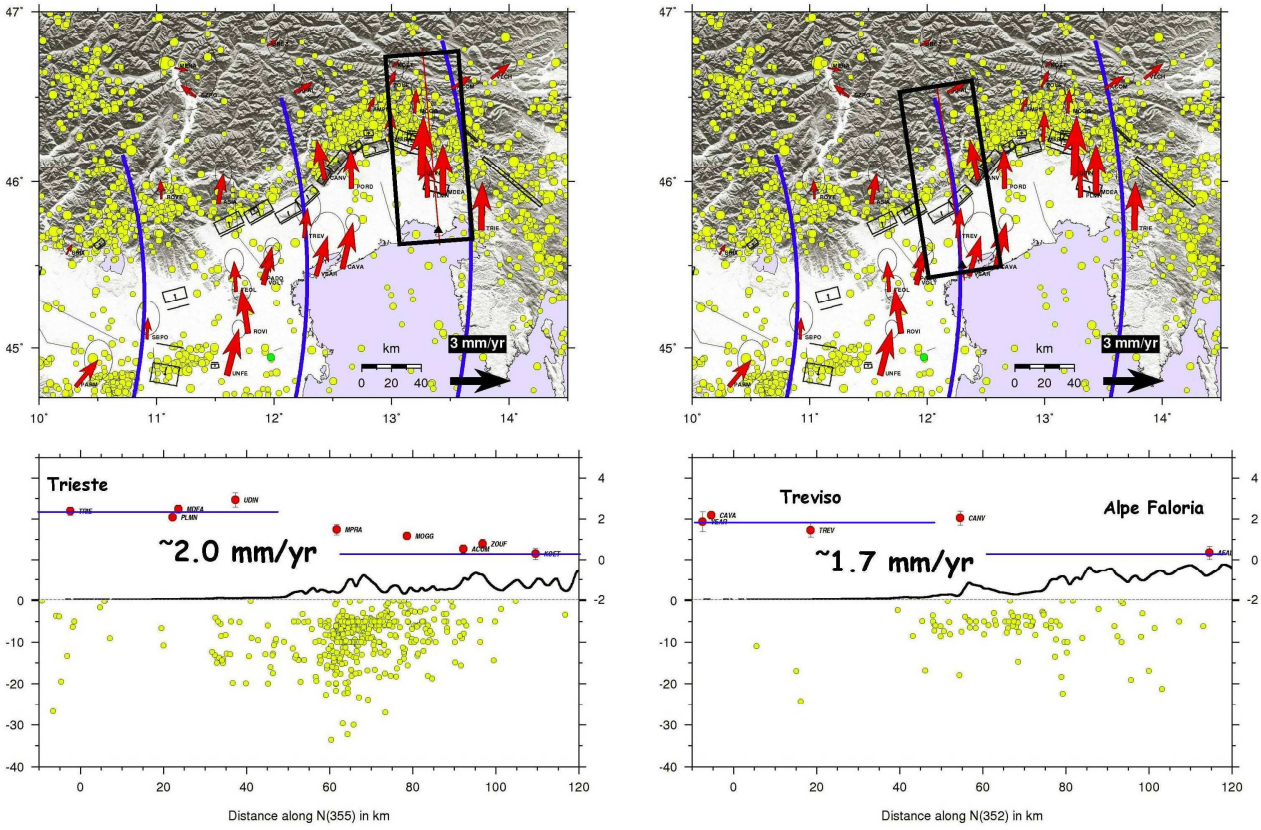


Fig. 5 - Accumulo di deformazione attraverso le Alpi Meridionali, con evidenziate l'area Trieste- Salzburg e Treviso-Belluno (E. Serpelloni –2008)

L'area feltrina è caratterizzata da due pieghe anticlinali (Coppolo-Pelf e Grappa-Visentin) e la sinclinale di Belluno, sviluppate in direzione ENE. Questi elememti sono l'espressione più superficiale dei movimenti compressivi avvenuti lungo la "Linea della Valsugana", "Linea di Belluno", e la "Linea Bassano-Vittorio Veneto". Si evidenzia che, muovendosi da ovest ad est a scala regionale, dalla valle del Cismon verso la valle Agordina, la distanza tra la "Linea della Valsugana" e quella di "Belluno" aumenta, come aumentano il rigetto lungo la "Linea di Belluno" e la lunghezza del fianco frontale dell'anticlinale al tetto.

Il grande elemento strutturale a scala regionale, presente a nord dell'area di studio, è rappresentato dalla "**Linea della Valsugana**" Si tratta di un sovrascorrimento il cui tetto è costituito dal basamento ercinico che si sovrappone a formazioni mesozoiche e terziarie. La Linea della Valsugana prende origine nei pressi di Trento (Caldonazzo) e procedendo verso est, con una direzione circa ENE, in corrispondenza della val di Zoldo si biforca in due rami principali: uno verso la valle del Vajont, l'altro verso il Cadore. Il sovrascorrimento SE-vergente della "Linea della Valsugana" ha direzione E e un'inclinazione media di 30-40 gradi, localmente possono raggiungere anche inclinazioni maggiori (50-70 gradi).

La "**Linea di Belluno**" è un sovrascorrimento che si diparte da una ramificazione della "Linea Valsugana" nei pressi di Castel Tesino, ed ha un'estensione regionale, sviluppandosi sino ad Osoppo, percorrendo longitudinalmente il versante Nord del vallone Bellunese e passando per il monte Cavallo. Si tratta di un sovrascorrimento S-vergente con bassi angoli d'inclinazione (20-30 gradi) nella copertura sedimentaria. Un affioramento interessante è sul monte Pafagai, dove la parte culminante è costituita da cataclasite di Calcari Grigi e Dolomia Princiapale a diretto contatto col Biancone. Verso est, in località Vignaghe, è presente, inoltre, una faglia che raggiunge forcella S. Mauro interpretata come una diramazione della Linea di Belluno, che viene invece ipotizzata passante a monte degli abitati di Lasen e Arson.

Associata alla Linea di Belluno c'è l'anticlinale del Coppolo – Pelf che dal M. Silana passando per il Coppolo, Vallazza, Vette Piccole raggiunge l'area a nord di Belluno e il Friuli.

Importanti dislocazioni trasversali all'asse della flessura si riconoscono sempre con orientazione NNW – SSE, sul versante occidentale del M. Pafagai in prosecuzione della faglia di Lamen – Stalle alla Fornace e sulla forcella del S. Mauro dove è evidenziata dalla presenza di una fascia di cataclasiti che separa un settore dolomitizzato ad occidente da uno orientale calcareo.

Tra il M. Pafagai ed il Dosso Perazze è riconoscibile un allineamento NNE – SSW, probabile prosecuzione della faglia di Facen, come sembrano indicare le cataclasiti di Stalle alla Fornace, importante zona di intersezione di più sistemi di faglie. In particolare la "**Linea di Facen**" (segmento NE-SW della Linea di Tezze), al tetto della linea di Belluno interessa la cresta a nord del M. Pafagai (val Fallonega) e la zona tra Ramezza e forcella Scarnia.

Altro elemento strutturale importante dell'area di studio è rappresentato dalla Sinclinale di Belluno. Si tratta di una sinclinale molto asimmetrica, con fianco nord raddrizzato, mentre quello meridionale si eleva con debole pendenze. Essa longitudinalmente presenta alcune culminazioni assiali che finiscono per isolare piccole sinclinali chiuse come ne caso di Vignai-Altin.

Il nucleo della sinclinale è costituito da sedimenti di età langhiana (Complesso arenaceo marnoso di Vignui) che rappresentano i terreni più recenti di tutta la Sinclinale di Belluno. Come riportato da Miglioranza (1981), il fatto che la "Glauconia di Altin" affiorante anche nella zona di S. Gregorio, più ad est, non sia correlabile con la Glauconia di Belluno, ma sia ad essa sovrastante di circa 200 metri, dimostra che l'asse della sinclinale risulta molto più spostato verso il suo fianco settentrionale di raccordo con l'anticlinale M. Coppolo – M. Pelf.

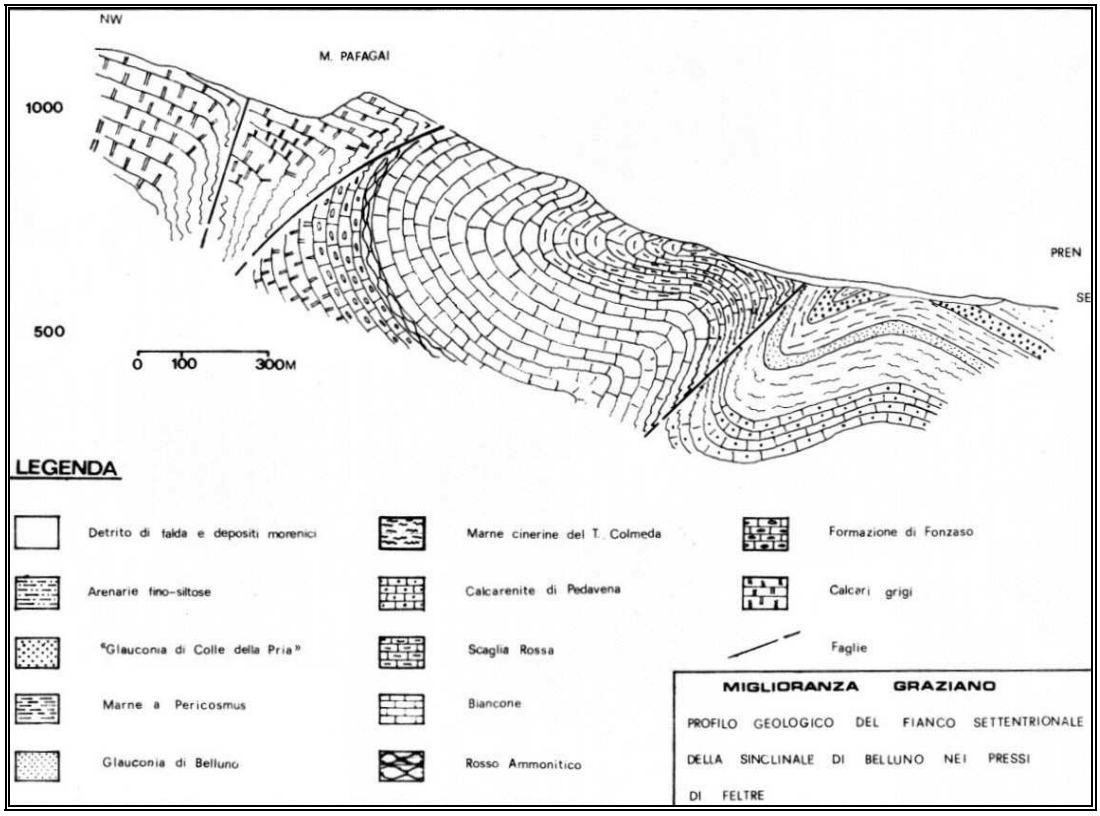


Fig. 6 - Traccia di profilo geologico M. Pafagai-Pren (da rel geol. PAT Feltre)

Vicariante a questa linea di disturbo tettonico è una faglia praticamente parallela che determina un ulteriore accavallamento di scaglie di Calcari Grigi sul Biancone (M. Pafagai e Solforino).

Più a sud il piede della flessura M. Coppolo – M. Pelf è attraversato da un'altra faglia (**faglia di Lamen – Lasen**), sempre ad andamento WSW - ENE con piano debolmente inclinato evidenziato da un rapido passaggio in un intervallo non affiorante da termini appartenenti alla Scaglia Rossa a Siltiti marnose di età burdigaliana.

La sinclinale di Belluno è attraversata da un altro sistema di faglie a prevalente rigetto orizzontale. Quelle più importanti sono la **faglia** che attraversa il versante occidentale del M. Pafagai **tra Lamen e Stalle alla Fornace** e quella di **Cart – Lasen** evidente sia lungo il Vallone che a nord di Lasen.

La "**Linea di Tezze**" è un sovrascorrimento del fascio Valsuganese che presenta delle caratteristiche evidenti nel tratto tra Tezze Valsugana e Fonzaso, ma poi si confonde tra Arten, Pedavena e Soranzen, dove confluisce nella linea di Belluno. Essa ha un andamento SO-NE. In mancanza di diretti affioramenti si presume che prenda una direzione NNE con assetto verticale alle pendici del monte Avena, aggirando il monte Aurin; ciò è suffragato anche dalla presenza di Scaglia Rossa intensamente fratturata presso S. Lucia, e del contatto tettonico su strati verticali nella direttrice tra Mugnai e la valle di Font. Nella zona di Pedavena, Lamen e Norcen, data la forte copertura, non si riesce a determinare l'andamento e la continuazione della stessa faglia, che viene ipoteticamente ad assumere l'andamento valsuganese.

Il **Graben di Seren**, struttura NNE-SSO che caratterizza la Val di Seren tra l'omonimo paese e Cima Grappa, è ritenuto influenzare l'andamento della "Linea di Tezze" tra Arten e Lamen, ed avere una sua espressione anche nella zona del M. Pafagai-m. San Mauro.

La "**Linea di Schievenin**" è una linea che con andamento SSO-NNE caratterizza la parte orientale del Massiccio del Grappa, ed ha una componente transpressiva con un rigetto verticale non inferiore agli 800 metri.

3. Considerazioni sulla sismicità del territorio

Con la nuova normativa sismica, per definire l'azione sismica di progetto, si deve valutare l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle

caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta sismica locale. In caso alternativa si può utilizzare la classificazione dei terreni presente nelle “Norme tecniche per le Costruzioni” (dm 14.01.2008), basata sulla stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio Vs entro 30 metri di profondità. Un modello di riferimento per la descrizione del moto sismico sul piano di fondazione è costituito dallo spettro di risposta elastico, altro modello consiste nel descrivere il moto del suolo mediante accelerogrammi.

Lo spettro di risposta elastico è costituito da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita allo smorzamento convenzionale del 5% e considerata indipendente dal livello di sismicità, moltiplicata per il valore della accelerazione massima convenzionale del terreno fondale "ag” che caratterizza il sito. Nella espressione dello spetto di risposta elastico, sia nella sua componente orizzontale che verticale, assume importanza non solo il parametro “ag” ma anche “S”, quest’ultimo è il fattore che tiene conto della categoria del suolo di fondazione in funzione alla velocità delle onde di taglio Vs nei primi trenta metri di profondità, e della componente di amplificazione topografica del sito.

Con l’Ordinanza PCM n. 3519 del 28.04.2006 e DGRV n.71/2008 si approva la *“Mappa di pericolosità sismica del territorio Nazionale”* espressa in termini di accelerazione massima al suolo (*ag max*) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni) riferita ai suoli molto rigidi (Vs > 800 m/sec). Il valore di "ag”, per il Comune di Feltre, in zona “2”, riferita a suoli molto rigidi (Vs>800m/s) varia da 0,225g a 0.150g.

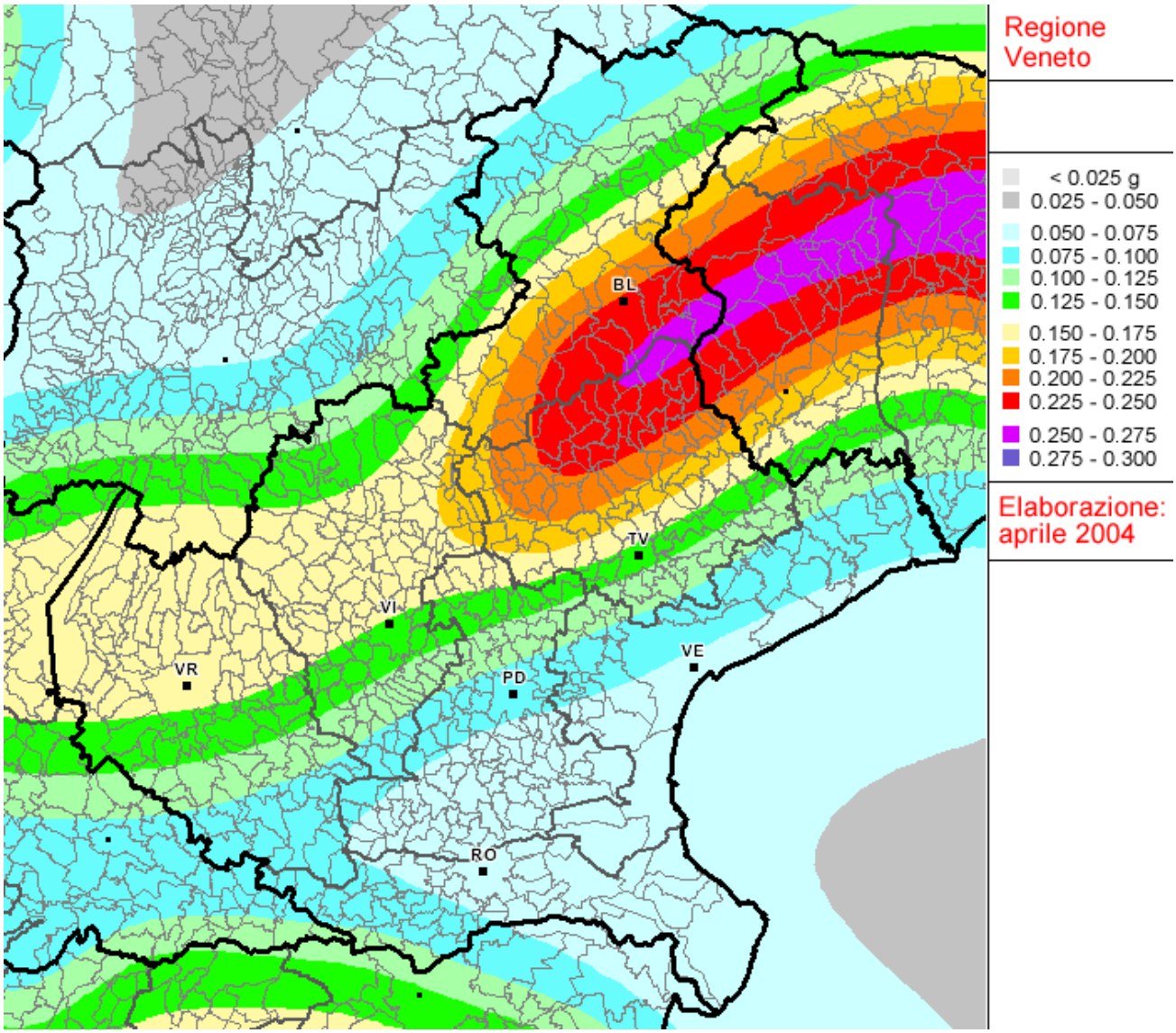


Fig. 7 - Mappa della pericolosità sismica della Regione del Veneto espressa in termini di accelerazione massima al suolo (ag max) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni) riferita ai suoli molto rigidi (Vs > 800 m/sec)

Nel 2004 è stato aggiornato il Catalogo Parametrico dei Terremoti (CPTI04) da parte di INGV; dall'analisi di questo catalogo possiamo rilevare che i terremoti aventi epicentro entro un raggio di circa 30 km dal centro abitato di Feltre e con magnitudo Maw ≥ 5 (v. fig. 10) sono i seguenti:

- anno 1404 nel Bellunese con Maw=5.17;
- anno 1695 nell'Asolano con Maw=6.61;
- anno 1836 nel Bassanese con Maw=5.48;
- anno 1860 nel Valdobbiadenese con Maw=5.17;
- anno 1873 nel Bellunese con Maw=5.03;
- anno 1887 nell'Asolano con Maw=5.17;
- anno 1894 nella zona di Fonzaso con Maw=5.03;
- anno 1895 nel Valdobbiadenese con Maw=5.06;
- anno 1900 nel Valdobbiadenese con Maw=5.22;
- anno 1943 nel Valdobbiadenese con Maw=5.18.

Quello con maggiore intensità negli ultimi 2000 anni, con epicentro entro i 30 km circa di raggio è avvenuto il 25.02.1695 nell'asolano (lat. 45°48', long. 11°57' poco a Est della Chiesa di Crespignaga di Maser) con intensità epicentrale di 9.5 e magnitudo Maw=6.61.

Nella fig. 8 allegata sono indicati tutti i terremoti, presenti nel catalogo CPTI 04, avente epicentro entro un raggio di circa 30 km dal centro abitato di Feltre, con magnitudo da 3.92 ≤ Maw ≥ 5. La legenda della figura n. 8 è la seguente:

- **N** numero progressivo dei terremoti presenti nel catalogo CPTI04;
- **Tr** tipi di informazione che è alla base dei parametri;
- **Tempo origine (Anno, Me, Gi, Or, Mi, Se)** data in cui è avvenuto il sisma;
- **AE** denominazione dell'area dei massimi effetti;
- **Rt** codice dell'elaborato di riferimento;
- **Np** numero dei punti di intensità;
- **Imax** intensità massima;
- **Io** intensità epicentrale
- **Lat, Long** coordinate in gradi sessadecimali del luogo dell'epicentro;
- **Magnitudo** sono state indicate tre alternative di magnitudo: *Maw* con errore *Daw* e tipologia di stima *TW*, *Mas* (calcolata sulle onde superficiali) con errore

Das e tipologia di stima *TS*, e infine *Msp* (da utilizzare nella relazione di attenuazione di Sabetta Pugliese) con errore *Msp* e tipologia di stima *Dsp*.

- **ZS9** è la zona sorgente cui l'evento è associato, secondo la zonazione sismogenetica ZS9, descritta nell'appendice 2 del rapporto conclusivo.

Interrogazione effettuata sui seguenti parametri:

Area circolare con centro C (46.018, 11.91) e raggio 30 km

N	Tr	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Rt	Np	Imx	Io	TI	Lat	Lon	TL	Maw	Daw	TW	Mas	Das	TS	Msp	Dsp	ZS9	TZ
118	CP	1392	1	28		30		BELLUNO	OGS87			60		46.133	12.217		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	905	G
124	CP	1401	6	29	9			SEDICO	POS85			60		46.133	12.2		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	905	G
127	CP	1404	2	1	21			BELLUNO	POS85			70		46.167	12.167		5.17	0.30		4.80	0.45		4.99	0.42	905	A
128	CP	1406	5	28	21	30		BELLUNO	OGS87			55		46.133	12.2		4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	905	G
133	CP	1411	7	1	6			BELLUNO	OGS87			55		46.133	12.217		4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	905	G
400	CP	1690	5	4				BELLUNO	OGS87			60		46.133	12.217		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	905	G
415	DI	1695	2	25	5	30		Asolano	CFTI	82	100	95	M	45.8	11.95	A	6.61	0.11		6.61	0.11		6.61	0.11	905	G
813	DI	1836	6	12	2	30		BASSANO	DOM	26	80	75		45.807	11.823	A	5.48	0.13		5.26	0.19		5.42	0.18	906	G
909	CP	1857	3	10	3			PIEVE DI SOLIGO	POS85			55		45.9	12.1		4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	905	G
918	DI	1859	1	20	7	55		COLLALTO	DOM	36	70	65		45.893	12.103	A	4.97	0.16		4.50	0.24		4.71	0.22	905	G
922	CP	1859	9	29	8	30		BELLUNO	POS85			55		46.133	12.217		4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	905	G
924	CP	1860	7	19	15	38		VALDOBBIADENE	POS85			70		45.9	12.05		5.17	0.30		4.80	0.45		4.99	0.42	905	G
928	CP	1861	5	19	19	45		CASTELFRANCO	POS85			65		45.75	11.917		5.03	0.33		4.60	0.49		4.80	0.45	905	G
989	CP	1873	11	6	8	30		BELLUNO	POS85			65		46.133	12.217		5.03	0.33		4.60	0.49		4.80	0.45	905	G
1002	CP	1875	10	24	20	13		BELLUNO	POS85			60		46.133	12.217		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	905	G
1115	CP	1885	12	29	22	6		COL VISENTIN	POS85			60		46.083	12.283		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	905	G
1130	CP	1887	4	14	1	11	6	ASOLO	POS85			70		45.8	11.917		5.17	0.30		4.80	0.45		4.99	0.42	905	G
1218	DI	1894	11	28				FONZASO	DOM	11	65	65		46.006	11.821	A	5.03	0.33		4.60	0.49		4.80	0.45	906	G
1231	DI	1895	6	10	1	47		VALDOBBIADENE	DOM	73	65	65		45.943	12.073	A	5.06	0.15		4.64	0.22		4.84	0.20	905	G
1273	CP	1897	6	11	11	40	52	MONTEBELLUNA	POS85			60		45.817	12.033		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	905	G
1325	DI	1900	3	4	16	55		VALDOBBIADENE	DOM	99	65	60		45.85	12.067	A	5.22	0.10		4.88	0.15		5.06	0.14	905	G
1685	CP	1919	7	12	12	6		ASOLO	POS85			55		45.8	11.917		4.98	0.09		4.52	0.13		4.73	0.12	905	G
1723	DI	1921	9	12		25		ASOLO	DOM	3	40	40		45.77	11.768	A	4.83	0.14		4.29	0.21		4.52	0.19	906	G
1733	CP	1922	11	8	10	28	28	FELTRE	POS85			60		46	12		4.78	0.15		4.23	0.22		4.46	0.20	905	G
1771	CP	1925	7	4	17	48	5	SEDICO	POS85			55		46.133	12.2		4.73	0.09		4.15	0.13		4.39	0.12	905	G
1925	CP	1937	2	18	5	30		BELLUNO	POS85			60		46.133	12.217		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	905	G
1951	CP	1940	1	3	19	15		FONZASO	POS85			60		46.033	11.8		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	906	A
1987	DI	1943	7	24	1	44		VALDOBBIADENE	DOM	29	70	65		45.986	11.884	A	5.18	0.09		4.82	0.13		5.01	0.12	906	G
1991	CP	1943	11	15	8	30		FONZASO	POS85			60		46.017	11.8		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	906	A

Numero di record estratti: 29

Fig. 8 - Terremoti avente epicentro entro un raggio di circa 30 km dal centro abitato di Feltre, con magnitudo da 3.92 ≤ Maw ≥ 5 (dal catalogo CPTI04

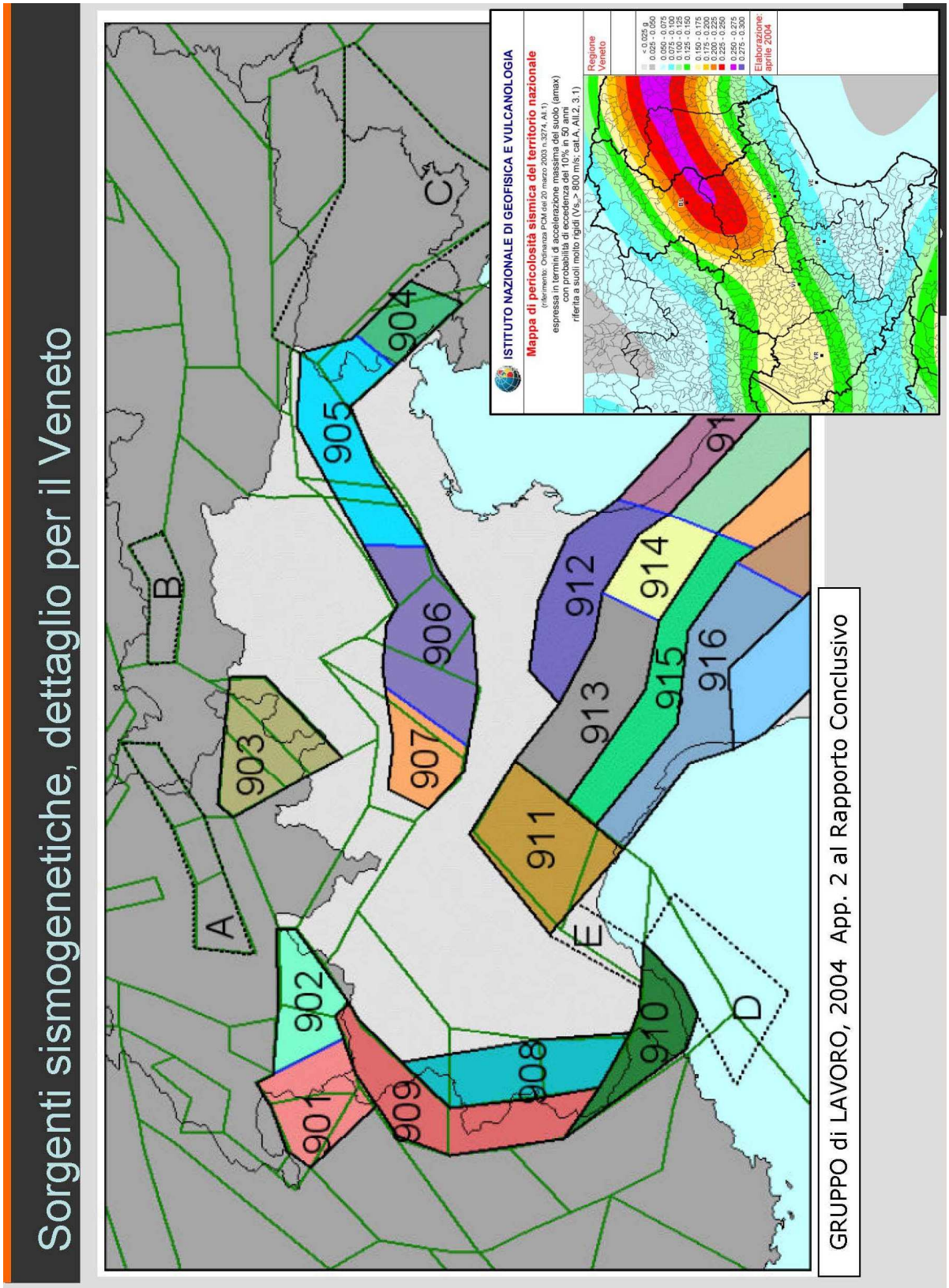


Fig. 9 - Zonazione sismogenetica ZS9 del Veneto

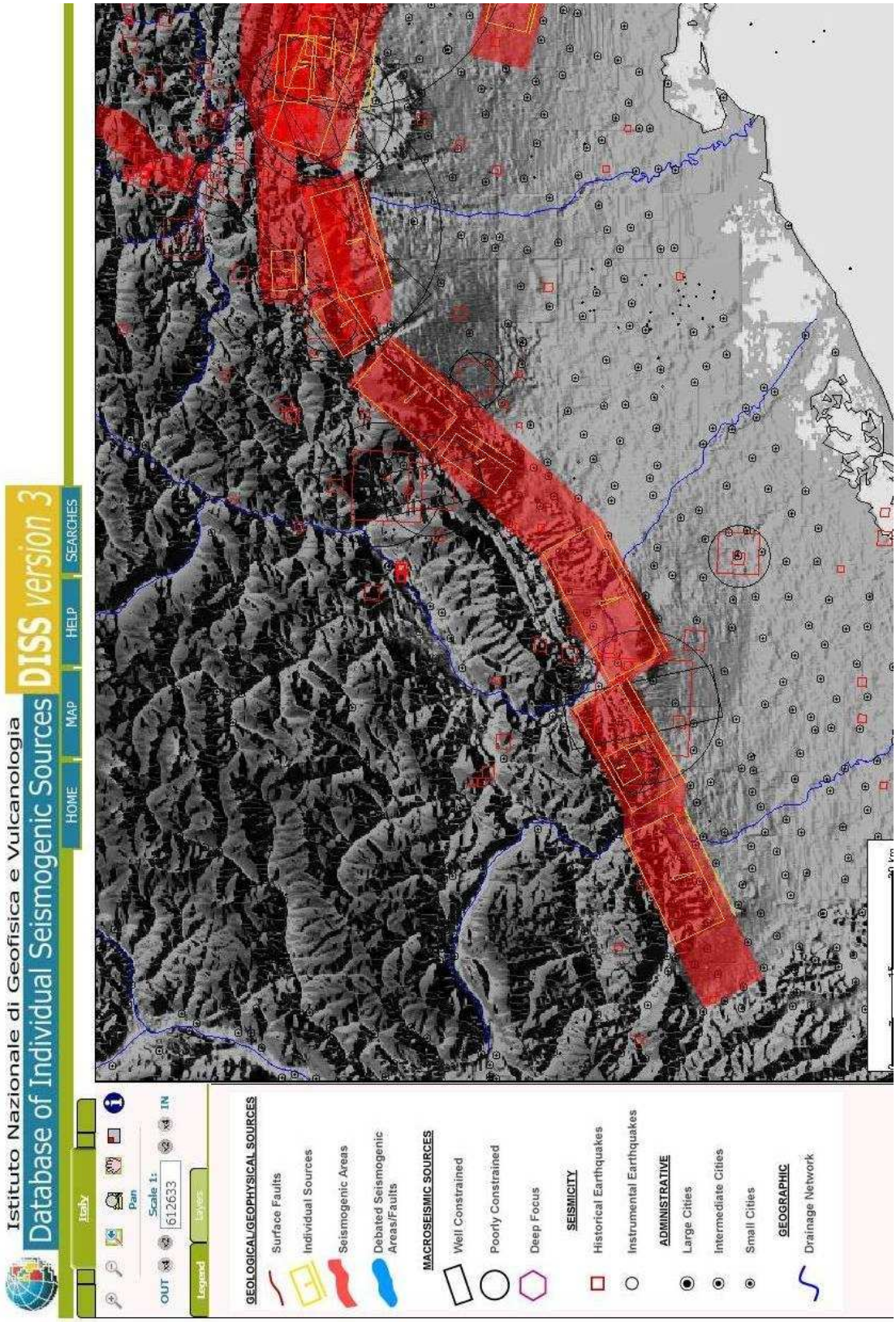


Fig. 10 - Sorgenti sismogenetiche dell'Italia Nord-Orientale inserite nel DISS v.3 (Buratto e altri 2008)

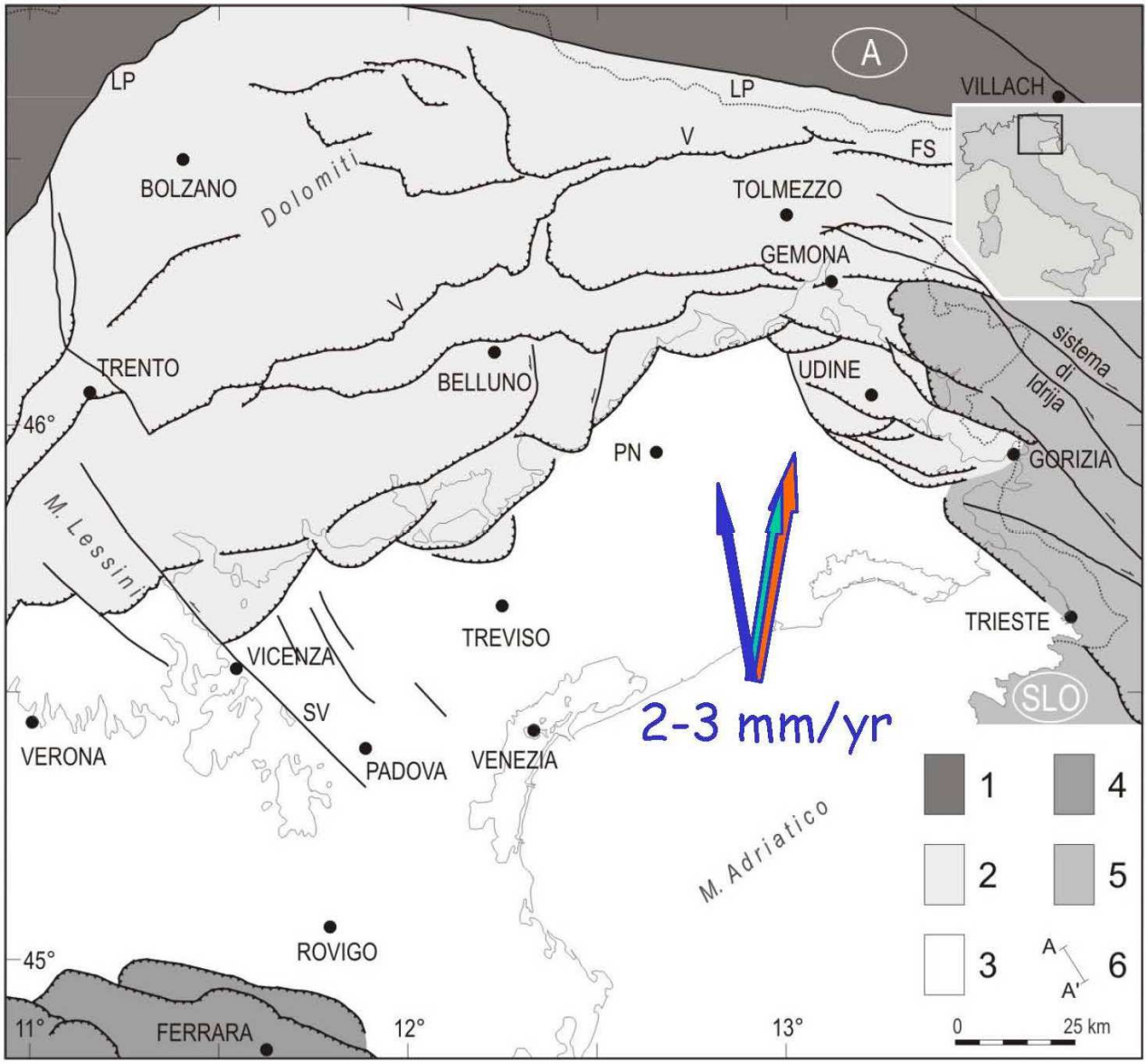


Fig. 11 - Schema strutturale delle Alpi meridionali (da M.E. Poli 2008)

Negli "*Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica – Rapporto finale" (2008 – Conferenza Stato e Regioni)*, al cap. 3.1.4 "Fagliazione di superficie" si afferma che per fagliazione di superficie si intende la dislocazione istantanea (cosismica) verticale e/o orizzontale dei terreni di fondazione lungo uno o più piani di taglio. Tale dislocazione deve essere conducibile ad un intervallo temporale relativo agli ultimi 40.000 anni, periodo per il quale una faglia può essere considerata verosimilmente attiva in Italia".

Verso la fine degli anni ’90 sono iniziate delle ricerche geologico-strutturali, sul fronte pliocenico (7-1.5 milioni di anni fa) - quaternario (1.5 milioni all’attuale) nell’Italia Nord Orientale e sul suo potenziale sismogenetico; con tale studio sono stati ridefiniti l’architettura del fronte sepolto della pianura friulano-veneta, lo schema dei rapporti fra i sovrasorrimenti paleocenici dinarici WSW-vergenti e quelli neoalpini SSE-vergenti e il quadro dell’evoluzione miocenica superiore-quaternaria dell’area. Lo schema strutturale aggiornato del fronte pliocenico-quaternario (v. fig. 11) evidenzia la segmentazione del fronte stesso in un sistema di “thrust” arcuati, in massima parte ciechi e spesso caratterizzati da rampe oblique, mediante le quali un “thrust” si accavalla lateralmente su un altro. Analisi morfotettoniche e neotettoniche applicate a tali strutture hanno permesso in vari casi di datarne l’attività e di definirne la cinematica quaternaria.

In figura n. 10 è rappresentato lo schema dei segmenti ritenuti attivi, accompagnati dalla proiezione in superficie del piano di rottura rettangolare. In particolare per l’area del trevigiano Nord-occidentale e il feltrino, evidenziamo tre sorgenti sismogenetiche:

- ITGG101 (Montello) alla quale non è associato alcun terremoto significativo (zona silente), ed è associata all’area sismogenetica ITSA060 Montebelluna - Montereale;
- ITGG113 (Monte Grappa) a cui è associato il sisma del 12.06.1836 con epicentro nel Bassanese; appartiene all’area sismogenetica ITSA007 Thiene-Cornuda;
- ITGG102 (Bassano-Cornuda) a cui è associato il sisma del 25.02.1695 con epicentro nell’Asolano; appartiene all’area sismogenetica ITSA007 Thiene-Cornuda.

Le zone sismogenetiche sono state definite in base a uniformità dello stile deformativo e della congruenza cinematica con il modello deformativo. In base alla cartografia ZS9 (v. fig. 9). Le aree del trevigiano settentrionale e del feltrino possono essere associate alle zone 905 e 906, caratterizzate da strutture a pieghe sud-vergenti del Sudalpino orientale e faglie inverse associate; la zona 905 include sorgenti sismogenetiche potenzialmente responsabili di terremoti con magnitudo M>6, e racchiude un’area in cui la frequenza di eventi sismici (anche di magnitudo medio-alte) è nettamente superiore a quella delle zone adiacenti. La zona 905 comprende anche la sorgente del Montello (potenzialmente responsabile di terremoti con M>6), che, in base ai dati attualmente disponibili, è definita come

“silente” (cioè mancano, nei cataloghi disponibili, terremoti storici con magnitudo prossima a quella massima attesa). La zona 906 interessa l’area che va da Bassano del Grappa fino a Verona.

Nella Fig. 12 sono indicate le faglie capaci, nell’area del Feltrino, dal progetto Ithaca (Italy Hazard from Capable Faults) aggiornato al Settembre 2008; sono state inserite le seguenti lineazioni principali: S. Gottardo-Mt. Agaro (faglia di Belluno), Facen, Monte Grappa- Col dell’Orso, Montebelluna, Schievenin, Vas e Nervesa.

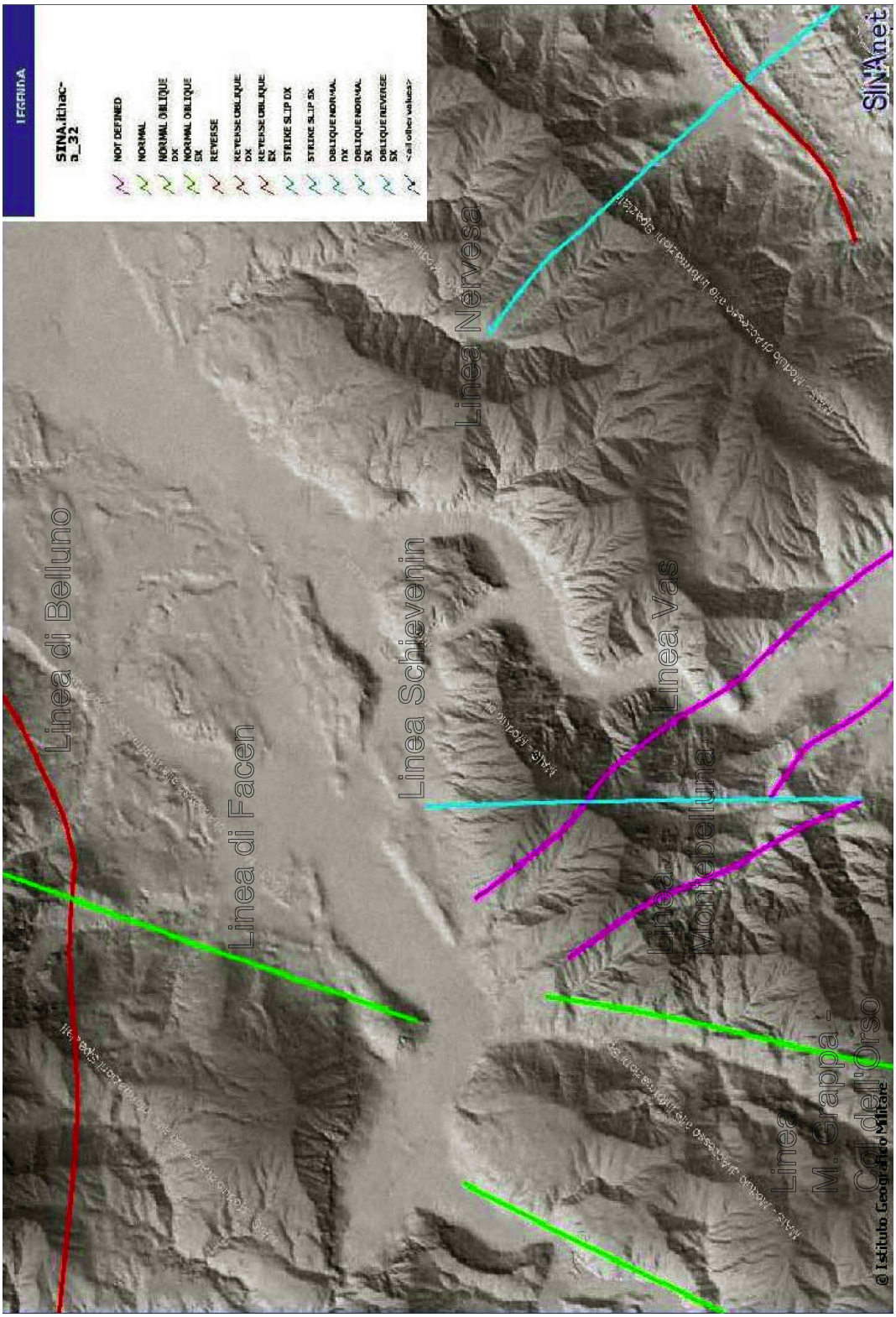


Fig. 12 - Faglie capaci nell'area Feltrina dal progetto Ithaca (Italy Hazard from Capable Faults)

DETAILS: S. Gottardo - Mt. Agaro

BACK

FAULT CODE	70102
FAULT NAME	S. Gottardo - Mt. Agaro
MACROZONE	Southern Alps
REGIONE NAME	Veneto
SYSTEM NAME	Belluno Line
RANK	PRIMARY
AVERAGE STRIKE	230
DIP	0
LENGTH (Km)	100
GEOMETRY	
SEGMENTATION	
DEPTH (Km)	0
LOCATION RELIABILITY	
SYNOPSIS	

TECTONIC ENVIRONMENT	
KINEMATICS	REVERSE
GEOMORPHIC EXPRESSION	
SURFACE EVIDENCE	
LITHO CUT	
MONITORING/PALEOSEISMOLOGY	
APPLIED TECHNIQUES (MAIN)	
EVIDENCES FOR CAPABILITY	QA
GEOLOGIC SETTING	

LAST ACTIVITY	Q41
ACTIVITY RELIABILITY	B
RECURRENCE INTERVAL (yr)	0
SLIP-RATE (mm/yr)	0
MAX CREDIBLE RUPTURE LENGHT	0
MAX CREDIBLE SLIP	0
KNOWN SEISMIC EVENTS	
TIME SINCE LAST EVENTS	
MAX CREDIBLE INTENSITY (INQUA scale)	
MAX CREDIBLE MAGNITUDE (Mw)	
STUDY QUALITY	FAIR
NOTES	

REFERENCE

AUTHORS	TITLE	REFERENCES	YEAR
CASTALDINI D. & PANIZZA M. (1991)	Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave ed il lago di Como (Italia settentrionale).	Il Quaternario, 4(2), 333-410.	1991

DETAILS: Facen

BACK

FAULT CODE	73900
FAULT NAME	Facen
MACROZONE	Southern Alps
REGIONE NAME	Veneto
SYSTEM NAME	Facen
RANK	
AVERAGE STRIKE	20
DIP	0
LENGTH (Km)	10
GEOMETRY	
SEGMENTATION	
DEPTH (Km)	0
LOCATION RELIABILITY	
SYNOPSIS	

TECTONIC ENVIRONMENT	
KINEMATICS	NORMAL
GEOMORPHIC EXPRESSION	
SURFACE EVIDENCE	
LITHO CUT	
MONITORING/PALEOSEISMOLOGY	
APPLIED TECHNIQUES (MAIN)	
EVIDENCES FOR CAPABILITY	
GEOLOGIC SETTING	

LAST ACTIVITY	
ACTIVITY RELIABILITY	C
RECURRENCE INTERVAL (yr)	0
SLIP-RATE (mm/yr)	0
MAX CREDIBLE RUPTURE LENGHT	0
MAX CREDIBLE SLIP	0
KNOWN SEISMIC EVENTS	
TIME SINCE LAST EVENTS	
MAX CREDIBLE INTENSITY (INQUA scale)	
MAX CREDIBLE MAGNITUDE (Mw)	
STUDY QUALITY	LOW
NOTES	

REFERENCE

AUTHORS	TITLE	REFERENCES	YEAR
CASTALDINI D. & PANIZZA M. (1991)	Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave ed il lago di Como (Italia settentrionale).	Il Quaternario, 4(2), 333-410.	1991

DETAILS: Cima Grappa - Col dell'Orso

BACK

FAULT CODE	75200
FAULT NAME	Cima Grappa - Col dell'Orso
MACROZONE	Southern Alps
REGIONE NAME	Veneto
SYSTEM NAME	Cima Grappa - Col dell'Orso System
RANK	
AVERAGE STRIKE	20
DIP	0
LENGTH (Km)	9
GEOMETRY	
SEGMENTATION	
DEPTH (Km)	0
LOCATION RELIABILITY	
SYNOPSIS	

TECTONIC ENVIRONMENT	
KINEMATICS	NORMAL
GEOMORPHIC EXPRESSION	
SURFACE EVIDENCE	
LITHO CUT	
MONITORING/PALEOSEISMOLOGY	
APPLIED TECHNIQUES (MAIN)	
EVIDENCES FOR CAPABILITY	
GEOLOGIC SETTING	

LAST ACTIVITY	
ACTIVITY RELIABILITY	C
RECURRENCE INTERVAL (yr)	0
SLIP-RATE (mm/yr)	0
MAX CREDIBLE RUPTURE LENGHT	0
MAX CREDIBLE SLIP	0
KNOWN SEISMIC EVENTS	
TIME SINCE LAST EVENTS	
MAX CREDIBLE INTENSITY (INQUA scale)	
MAX CREDIBLE MAGNITUDE (Mw)	
STUDY QUALITY	LOW
NOTES	

REFERENCE

AUTHORS	TITLE	REFERENCES	YEAR
CASTALDINI D. & PANIZZA M. (1991)	Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave ed il lago di Como (Italia settentrionale).	Il Quaternario, 4(2), 333-410.	1991

DETAILS: Schievenin

BACK

FAULT CODE	74400
FAULT NAME	Schievenin
MACROZONE	Southern Alps
REGIONE NAME	Veneto
SYSTEM NAME	Schievenin
RANK	
AVERAGE STRIKE	180
DIP	0
LENGTH (Km)	9
GEOMETRY	
SEGMENTATION	
DEPTH (Km)	0
LOCATION RELIABILITY	
SYNOPSIS	

TECTONIC ENVIRONMENT	
KINEMATICS	STRIKE SLIP SX
GEOMORPHIC EXPRESSION	
SURFACE EVIDENCE	
LITHO CUT	
MONITORING/PALEOSEISMOLOGY	
APPLIED TECHNIQUES (MAIN)	
EVIDENCES FOR CAPABILITY	
GEOLOGIC SETTING	

LAST ACTIVITY	Q3
ACTIVITY RELIABILITY	C
RECURRENCE INTERVAL (yr)	0
SLIP-RATE (mm/yr)	0
MAX CREDIBLE RUPTURE LENGHT	0
MAX CREDIBLE SLIP	0
KNOWN SEISMIC EVENTS	
TIME SINCE LAST EVENTS	
MAX CREDIBLE INTENSITY (INQUA scale)	
MAX CREDIBLE MAGNITUDE (Mw)	
STUDY QUALITY	LOW
NOTES	

REFERENCE

AUTHORS	TITLE	REFERENCES	YEAR
CASTALDINI D. & PANIZZA M. (1991)	Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave ed il lago di Como (Italia settentrionale).	Il Quaternario, 4(2), 333-410.	1991

DETAILS: Vas

BACK

FAULT CODE	74500
FAULT NAME	Vas
MACROZONE	Southern Alps
REGIONE NAME	Veneto
SYSTEM NAME	Vas
RANK	
AVERAGE STRIKE	150
DIP	0
LENGTH (Km)	13
GEOMETRY	
SEGMENTATION	
DEPTH (Km)	0
LOCATION RELIABILITY	
SYNOPSIS	

TECTONIC ENVIRONMENT	
KINEMATICS	
GEOMORPHIC EXPRESSION	
SURFACE EVIDENCE	
LITHO CUT	
MONITORING/PALEOSEISMOLOGY	
APPLIED TECHNIQUES (MAIN)	
EVIDENCES FOR CAPABILITY	
GEOLOGIC SETTING	

LAST ACTIVITY	
ACTIVITY RELIABILITY	C
RECURRENCE INTERVAL (yr)	0
SLIP-RATE (mm/yr)	0
MAX CREDIBLE RUPTURE LENGHT	0
MAX CREDIBLE SLIP	0
KNOWN SEISMIC EVENTS	
TIME SINCE LAST EVENTS	
MAX CREDIBLE INTENSITY (INQUA scale)	
MAX CREDIBLE MAGNITUDE (Mw)	
STUDY QUALITY	LOW
NOTES	

REFERENCE

AUTHORS	TITLE	REFERENCES	YEAR
CASTALDINI D. & PANIZZA M. (1991)	Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave ed il lago di Como (Italia settentrionale).	Il Quaternario, 4(2), 333-410.	1991

DETAILS: Montebelluna

BACK

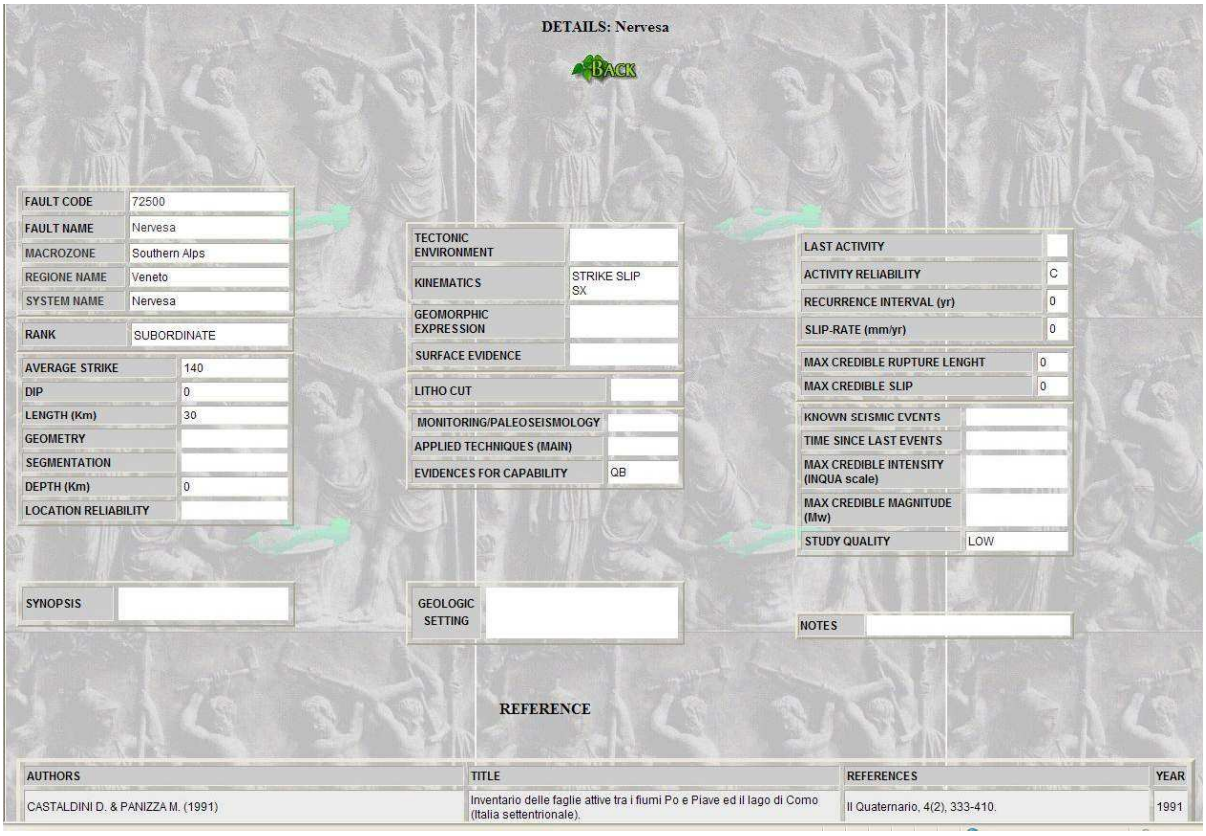
FAULT CODE	74200
FAULT NAME	Montebelluna
MACROZONE	Southern Alps
REGIONE NAME	Veneto
SYSTEM NAME	Montebelluna
RANK	
AVERAGE STRIKE	140
DIP	0
LENGTH (Km)	60
GEOMETRY	
SEGMENTATION	
DEPTH (Km)	0
LOCATION RELIABILITY	
SYNOPSIS	

TECTONIC ENVIRONMENT	
KINEMATICS	
GEOMORPHIC EXPRESSION	
SURFACE EVIDENCE	
LITHO CUT	
MONITORING/PALEOSEISMOLOGY	
APPLIED TECHNIQUES (MAIN)	
EVIDENCES FOR CAPABILITY	QA
GEOLOGIC SETTING	

LAST ACTIVITY	Q4
ACTIVITY RELIABILITY	C
RECURRENCE INTERVAL (yr)	0
SLIP-RATE (mm/yr)	0
MAX CREDIBLE RUPTURE LENGHT	0
MAX CREDIBLE SLIP	0
KNOWN SEISMIC EVENTS	
TIME SINCE LAST EVENTS	
MAX CREDIBLE INTENSITY (INQUA scale)	
MAX CREDIBLE MAGNITUDE (Mw)	
STUDY QUALITY	LOW
NOTES	

REFERENCE

AUTHORS	TITLE	REFERENCES	YEAR
CASTALDINI D. & PANIZZA M. (1991)	Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave ed il lago di Como (Italia settentrionale).	Il Quaternario, 4(2), 333-410.	1991



DETAILS: Nervesa

BACK

FAULT CODE	72500
FAULT NAME	Nervesa
MACROZONE	Southern Alps
REGIONE NAME	Veneto
SYSTEM NAME	Nervesa
RANK	SUBORDINATE
AVERAGE STRIKE	140
DIP	0
LENGTH (Km)	30
GEOMETRY	
SEGMENTATION	
DEPTH (Km)	0
LOCATION RELIABILITY	
SYNOPSIS	

TECTONIC ENVIRONMENT	
KINEMATICS	STRIKE SLIP SX
GEOMORPHIC EXPRESSION	
SURFACE EVIDENCE	
LITHO CUT	
MONITORING/PALEOSEISMOLOGY	
APPLIED TECHNIQUES (MAIN)	
EVIDENCES FOR CAPABILITY	QB
GEOLOGIC SETTING	

LAST ACTIVITY	
ACTIVITY RELIABILITY	C
RECURRENCE INTERVAL (yr)	0
SLIP-RATE (mm/yr)	0
MAX CREDIBLE RUPTURE LENGHT	0
MAX CREDIBLE SLIP	0
KNOWN SEISMIC EVENTS	
TIME SINCE LAST EVENTS	
MAX CREDIBLE INTENSITY (INQUA scale)	
MAX CREDIBLE MAGNITUDE (Mw)	
STUDY QUALITY	LOW
NOTES	

REFERENCE

AUTHORS	TITLE	REFERENCES	YEAR
CASTALDINI D. & PANIZZA M. (1991)	Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave ed il lago di Como (Italia settentrionale).	Il Quaternario, 4(2), 333-410.	1991

Una prima analisi sulla presenza di “faglie attive” nel territorio Feltrino, può essere effettuato da dati bibliografici, attraverso i tabulati sopra allegati, presenti nel progetto Ithaca (Italy Hazard from Capable Faults):

NOME DELLA FAGLIA	ULTIMA ATTIVITA’	POSSIBILITA’ CHE LA FAGLIA SI RIATTIVI IN FUTURO
San Gottardo –Mt. Agaro	Q41 – Ultima glaciazione (9-15.000 anni fa)	B
Facen	/	C
Cima Grappa – Col dell’Orso	/	C
Schievenin	Q3 -Tardo Pleistocene	C
Vas	/	C
Montebelluna	Q4 - Olocene	C
Nervesa	/	C

Si sottolinea che l’individuazione delle faglie attive e capaci è di fondamentale importanza. Per faglia attiva si intende una faglia che si è rotta almeno una volta negli ultimi 40.000 anni (limite inferiore certo dalle datazioni radiometriche). Una

faglia attiva è detta capace se raggiunge la superficie producendo una frattura del terreno; l'andamento di questa rottura in superficie è la superficie della faglia (v. cap. 3.1.4 "*Indirizzi e criteri di microzonazione sismica –2008 Conferenza Stato Regioni).*

4. Elementi geologici in prospettiva sismica

Per la redazione della carta degli "*Elementi geologici in chiave sismologica"* si è proceduto a un rilievo di dettaglio di campagna e inoltre si è fatto riferimento alla Carta Litologica, Geomorfologica e Idrogeologica allegata al PAT.

Sono stati individuati i seguenti elementi geologici:

- *"Rocce compatte prevalenti alternate a strati o interposizioni tenere"* sono costituite dal "Complesso arenaceo marnoso di Vignui" di età Langhiana.

  Il Complesso arenaceo marnoso di Vignui costituisce l'unità più recente all'interno del territorio del comune di Feltre e in genere dell'intera Sinclinale di Belluno.

  E' possibile distinguere due livelli:

  1. Arenaria micacea grigio giallastra in banchi con rare intercalazioni siltose (Sass Mort).
  2. Alternanze di marne siltose e calcareniti arenacee grigio giallastre

  Il membro inferiore è rappresentato alla base da calcareniti grigio – chiaro (Sass Mort nel Feltrino) che si alternano facilmente assumendo una patina giallo – ocra, sono molto micacee e talora manifestano alla base letti glauconitici; si presentano in banchi di circa 4 – 6 metri intercalati da 20 – 80 cm di siltiti cinerine sottilmente fogliettate.

  Verso l'alto la calcarenite diventa meno compatta e gradualmente lascia il posto a marne siltose finemente micacee, potenti qualche metro con le quali inizia la successione ad alternanze che caratterizza il membro superiore della formazione. Esso è costituito da marne siltose, subordinate, verso l'alto, a calcareniti finemente arenacee in strati con limite netto al letto e più sfumato al tetto. Questo complesso è potente circa 100 metri di cui 35 metri sono attribuiti al membro inferiore e i restanti al membro superiore. Il contenuto fossilifero non

è abbondante; nei banconi calcarenitici si riconoscono pochi echinidi, coralli e qualche Pecten, mentre nelle frazioni marnose sono presenti coralli e lamellibranchi. L'età è verosimilmente ancora langhiana come è stato verificato per i livelli inferiori delle alternanze.

- *"Rocce tenere a prevalente coesione"* sono costituite dalla "Marne siltose finemente arenacee " di età Langhiana. Queste siltiti marnose sono di colore variabile tra il grigio verde alla base e il grigio cenerino verso la sommità. Hanno un elevato contenuto di muscovite e di fossili, non presentano alcuna stratificazione eccetto che nella parte mediana, più argillosa, dove risultano particolarmente fogliettate. Si sono depositate sopra la Glauconia di Altin dalla quale fanno passaggio in modo rapido ma graduale. Verso l'alto il contenuto fossilifero diminuisce e parallelamente si passa a siltiti marnose finemente arenacee su cui poggiano le calcareniti micacee grigio giallastre del "Sass Mort".I fossili sono rappresentati da lamellibranchi e in minor misura da gasteropodi e coralli. L'età di questa formazione è langhiana.

- *"Materiali della copertura detritica eluviale e/o colluviale poco addensati e costituiti da elementi granulari sabbioso-ghiaiosi, in limitata matrice limoso-sabbiosa".* Sono alluvioni di corsi d'acqua, attuali e non, costituite prevalentemente da ghiaie e sabbie, spesso stratificate, con rari livelli limosi e con blocchi, poco arrotondati; la matrice è normalmente limoso sabbiosa. Talvolta sono presenti livelli limoso argillosi. La natura litologica dei componenti è estremamente variabile con maggioranza di calcari e dolomie, subordinatamente sono presenti termini arenaceo – marnosi.

- *"Orlo di scarpata d'erosione o di terrazzo: con altezza tra 5 e 10 metri, o con altezza superiore ai 10 metri".*
- *"Valli incise a V e a conca;*
- "*Traccia incerta di corso d'acqua e di scaricatore fluvioglaciale estinti"*

5. Indagini in sito

Per ottenere la caratterizzazione del sottosuolo di fondazione ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, la normativa prevede il calcolo del parametro Vs_{30}, indicando come metodologia di elezione la misura della velocità delle onde di taglio ed in subordine la prova SPT e, nei mezzi coesivi, il valore della *cu.* Detto parametro si calcola attraverso la relazione:

$$\mathbf{Vs_{30}=30/\Sigma_{i=1,N}\ h_1/V_1}$$

dove h_1 e V_1 indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma<10^{-6}$) dello strato *i* esimo per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori.

Si ricorda che la velocità delle onde di taglio (Vs) è quella che meglio di ogni altro parametro fisico caratterizza i materiali dal punto di vista del loro comportamento meccanico. Il profilo verticale delle Vs può essere ricavato per inversione monodimensionale o per modellazione diretta della velocità di fase delle onde di superficie Rayleigh e/o Love (Dorman e Ewing, 1962).

Nel sito in esame sono stati realizzati due profili ReMi, di 46m di lunghezza ciascuno, entrambi con orientamento circa Est-Ovest (vedi Tav. n. 3).

La caratterizzazione è stata completata con un test di Nakamura per la misura della curva di risposta elastica del terreno.

Ambedue le indagini sismiche sono state eseguite ed elaborate da una ditta specializzata.

5.1 Indagine sismica mediante la tecnica a microtremori "ReMi"

- **Premessa**

Le tecniche correntemente usate per la stima della velocità di taglio per caratterizzare un sito sotto il profilo della risposta sismica sono troppo costose per essere impiegate come indagine di routine negli studi di microzonazione. In particolare esse richiedono l'adozione di sorgenti di elevata energia per essere significative in ambienti rumorosi, come quelli urbani , o registratori indipendenti da disporre in estesi stendimenti.

La tecnica qui adottata (ReMi = Refraction Microtremor) si basa sulla constatazione che le registrazioni del rumore di fondo ambientale, fatte con uno stendimento sismico “tradizionale” per rifrazione, possono essere utilizzate, con un opportuno trattamento numerico, per stimare la velocità delle onde di taglio *Vs* fino a profondità che possono essere superiori a 100 metri con una precisione del 20%. Questa metodologia studiata e sperimentata da J.N. Louie del Seismological Laboratory and Dept. Of Geological Sciences dell’Università del Nevada, si basa su due idee cardine , la prima delle quali è quella che molti sistemi di acquisizione di sismica a rifrazione (con dinamica a 24 bit) sono in grado di registrare onde di superficie con frequenze fino a 2 Hz, la seconda è quella che una semplice trasformata bidimensionale (*p-f*) *slowness (1/Velocità) – frequenza* della registrazione di un rumore di fondo (*microtremor*) è in grado di separare le onde di Rayleigh da altri tipi di onde che compongono il sismogramma rendendo possibile il riconoscimento delle vere velocità di fase dalle velocità apparenti.

Le onde di Rayleigh (1885) costituiscono un particolare tipo di onde di superficie che si trasmettono sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo e sono il risultato dell’interferenza tra onde di pressione (P-waves) e di taglio verticali (Sv-waves).Tali onde sono presenti in natura e sono conosciute con il termine di microtremori. Possono venire accuratamente captate ed analizzate nei loro contenuti cromatici ed energetici con un “array” geometrico lineare simile a quelli utilizzati nella prospezione sismica classica.

In un mezzo stratificato queste onde sono di tipo guidato e dispersivo e vengono definite pseudo-Rayleigh. La dispersione è un fenomeno indotto dalla deformazione del treno d’onda che produce una variazione di propagazione di velocità con la frequenza. Le componenti a frequenza minore penetrano più in profondità rispetto a quelle a frequenza maggiore, per un dato modo, e presentano normalmente più elevate velocità di fase.

Un apposito grafico (spettro di potenza p-f) in cui è diagrammato in ascissa la frequenza f (Hz) ed in ordinata lo “slowness”, che altro non è che l’inverso della velocità di fase (m/s), consente agevolmente di individuare il trend dispersivo che contraddistingue il sito sottoposto ad indagine.

Dalla curva di dispersione si passa al profilo di velocità verticale mediante modellazione diretta. Viene cioè costruito il modello teorico la cui curva di dispersione calcolata, presenta il minor errore rispetto alla curva sperimentale.

Il processo di modellazione diretta soffre delle limitazioni prodotte dal principio dell'equivalenza secondo il quale possono esistere più modelli che soddisfano la medesima curva di dispersione. In questo caso quindi diventa importante avere dei punti di calibrazione per una ricostruzione "litologica" della struttura sismica del sottosuolo. Tuttavia questa limitazione non inficia la correttezza della determinazione dei valori di Vs_{30} che rappresentano una relazione tra spessori e velocità dei singoli strati.

- **Modalità operative**

La sequenza del processo elaborativo sono i seguenti:

- trasformazione del formato dei dati;
- preprocessing dei dati;
- calcolo della trasformata p-f per ogni record e loro combinazione;
- picking per la costruzione della curva di dispersione;
- calcolo del modello 1D del VSP mediante modellazione diretta della curva di dispersione.

Nello studio del sito in questione è stata adottata la tecnica sopra descritta e l'elaborazione dei dati è stata facilitata dall'uso di un software dedicato denominato *ReMi* , aggiornato alla sua ultima versione V.4, e prodotto dalla Optim LLC Reno, Nevada – USA). Operativamente è stato realizzato un stendimento da 46 metri; sono stati utilizzati geofoni a bassa frequenza (4,5 Hz) ed un acquisitore digitale RAS24 a 24 canali con dinamica a 24 bit.

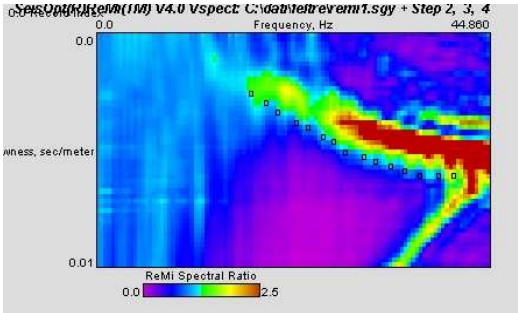
- **Analisi delle risultanze**

In questa frazione sono stati effettuati 2 profili entrambi orientati intorno a est-ovest e distanziati tra di loro di un centinaio di metri. Lo scopo era quello di caratterizzare il pacco di sedimenti grossolani che costituisce la parte sommitale del terrazzo morfologico sul quale insiste l'abitato.

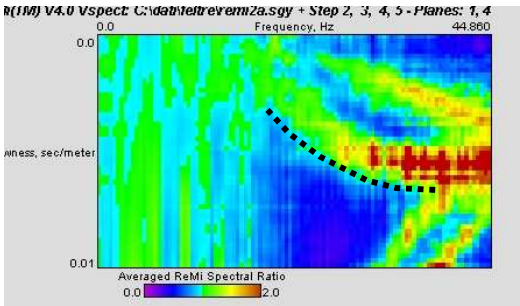
Immagini relative all'acquisizione dati

Entrambi i set di records temporali hanno fornito un dato spettrale di qualità da buona (profilo 1) ad accettabile (profilo 2) dove appare evidente la struttura del modo fondamentale.

Spettro profilo 1



Spettro profilo 2



In entrambi si può apprezzare come il campo modale occupi la porzione dello spettro con frequenze superiori a 15Hz e con il punto di flesso della curva di dispersione (puntinato nero) intorno a 30Hz. Ciò significa che il bedrock sismico è molto prossimo alla superficie e dalla velocità di fase dei terreni che lo ricoprono (>150m/s) si può prevedere che si tratta di materiali mediamente addensati.
Con la modellazione delle curve di dispersione sperimentali si sono ottenuti due profili verticali di velocità Vs sostanzialmente molto simili dove il bedrock si pone a circa 5m di profondità e dove i primi tre metri del terreno di copertura sono decisamente sciolti (Vs=180m/s) e i restanti due apprezzabilmente più addensati (Vs=320-350m/s).

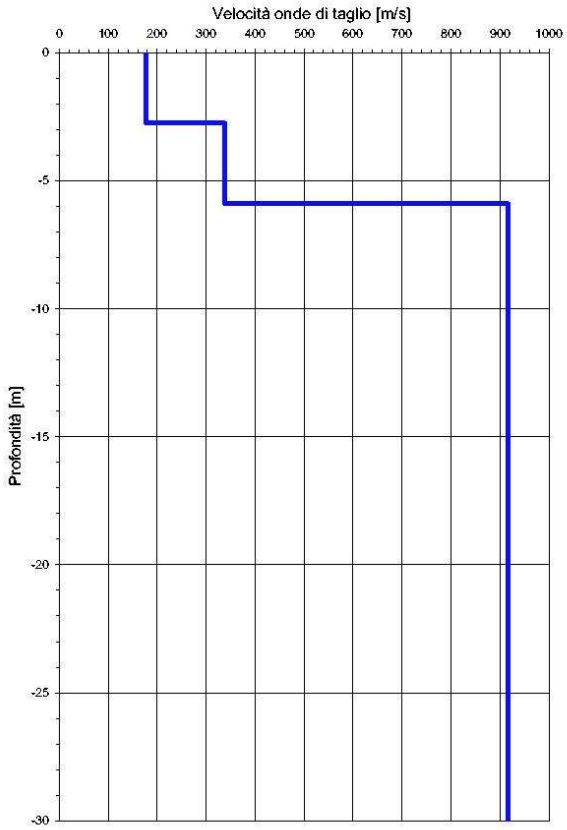
Sulla base di questi dati i valori del parametro Vs_{30} risultano inferiori a 360m/s. Pertanto per profondità di incastro fondazione inferiori a 2m la **categoria** del sottosuolo di fondazione è la **E**, mentre per quelle maggiori di 2m la **categoria** diventa la **A** per effetto della presenza del bedrock a meno di 3m.

- COMUNE DI FELTRE P.I. DI VIGNUI -
profilo 1

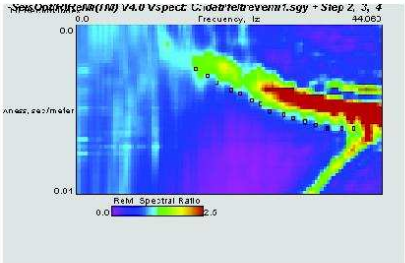
Vs Refraction Microtremor

Profondità piano di fondazione; Vs30; Categoria sottosuolo di fondazione		
0m	238	E
1m	255	E
2m	288	E
3m	337	A

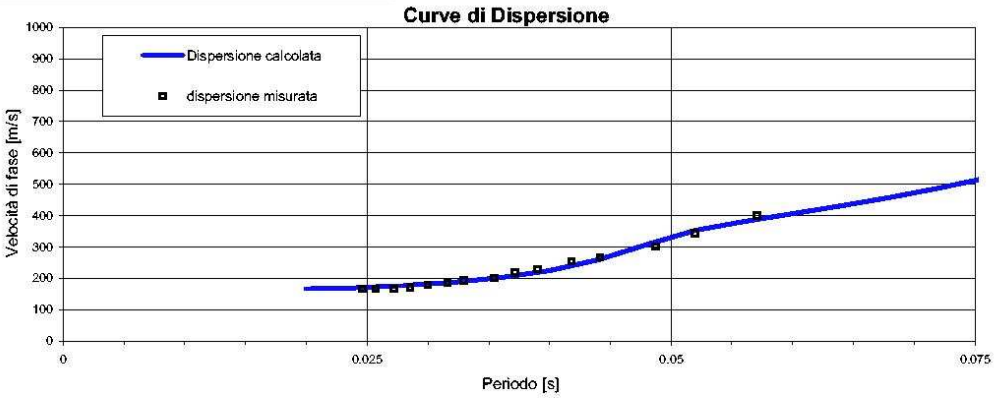
Profilo verticale (Vs)



Spettro di potenza p-f



Curve di Dispersione

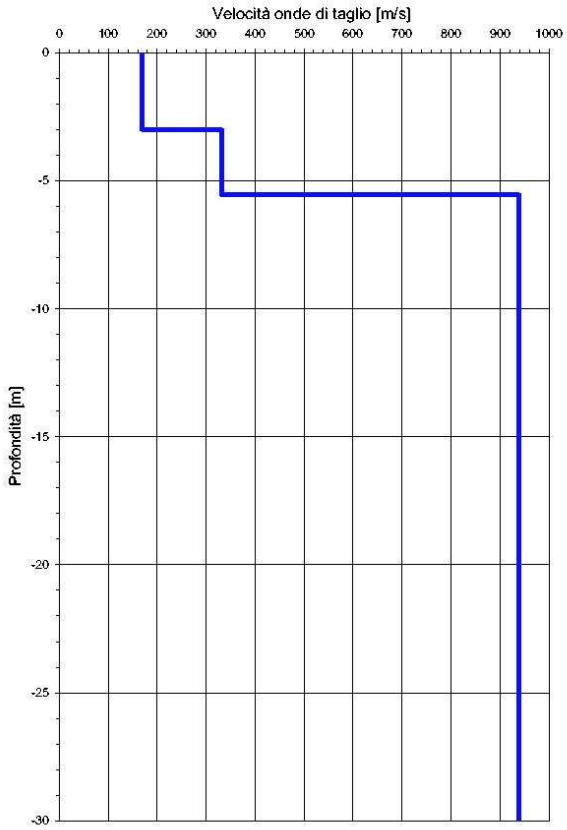


- COMUNE DI FELTRE P.I. DI VIGNUI -
profilo 2

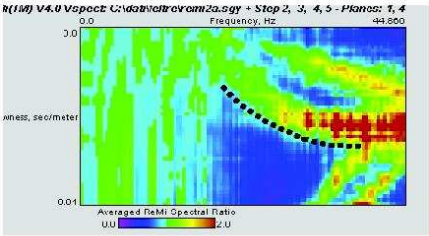
Vs Refraction Microtremor

Profondità piano di fondazione; Vs30; Categoria sottosuolo di fondazione		
0m	215	E
1m	229	E
2m	256	E
3m	332	A

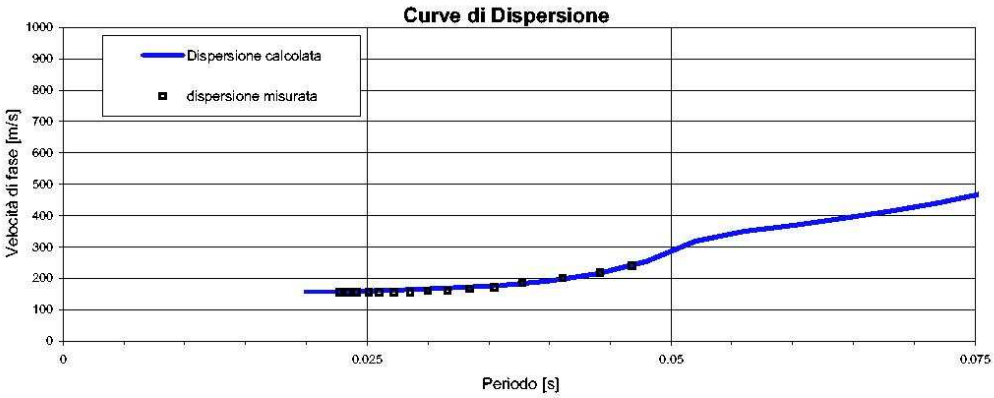
Profilo verticale (Vs)



Spettro di potenza p-f



Curve di Dispersione



5.2 Indagine sismica passiva con tecnica "HVSR" (Horizontal Vertical Spectra Ratio)

- **Premessa**

La tecnica di indagine adottata a supporto di questo studio e conosciuta come *metodo di Nakamura* (1989), dal nome dello scienziato giapponese che l'ha messa a punto, parte dal presupposto che:

1. Il rumore ambientale è generato da riflessioni e rifrazioni di onde di taglio con gli strati superficiali e dalle onde di superficie;
2. Le sorgenti di rumore superficiale non interessano il rumore ambientale alla base di una struttura non consolidata;
3. Gli strati soffici non amplificano la componente verticale del rumore ambientale: questo è composto da onde di superficie tipo Rayleigh generate dall'interazione del vento con le strutture, dal traffico e da altre attività urbane.

Le funzioni di trasferimento **S_E** e **A_S** che sono rispettivamente l'effetto intrinseco di sito e l'effetto della singola onda Rayleigh possono essere definite come

$$S_E = H_s/H_b \qquad A_s = V_s/V_b$$

dove **H** e **V** sono gli spettri per le componenti orizzontali e verticali delle registrazioni di rumore ambientale alla superficie (s) o al top del basamento rigido.

Gli effetti di sito, che non comprendono il contributo della sorgente, sono definiti da **S_M** come:

$$S_M = S_e/A_s \Leftrightarrow S_M = H_s V_b/V_s H_b$$

Nakamura e Theodulidis *et al.* (1996) hanno dimostrato che gli spettri delle componenti verticali (Vb) e orizzontali (Hb) sono equivalenti al top del basamento rigido:

Se **Hb/Vb** = 1 allora **$S_M = H_s/V_s$**

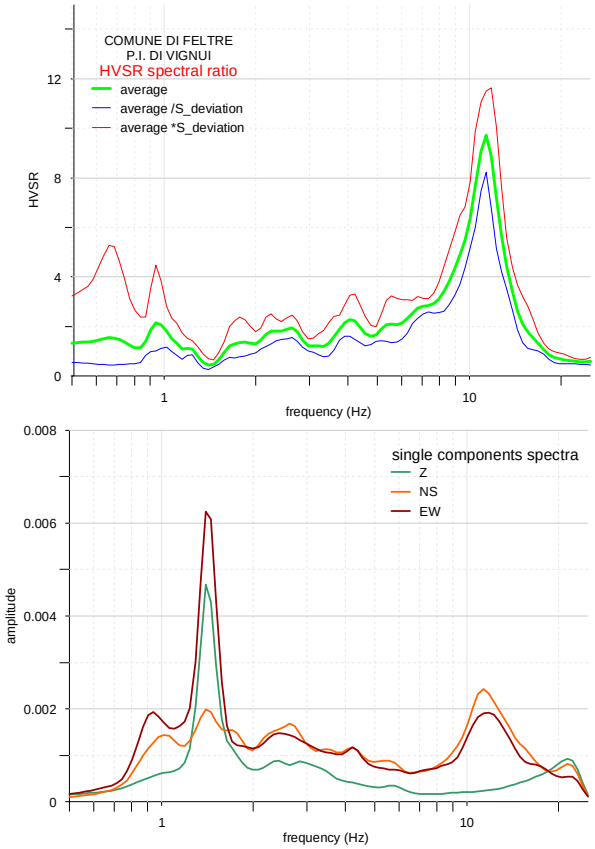
Alla fine quindi, gli effetti di sito **S_M** (ampiezza del rapporto spettrale) posso essere espressi come *rapporto spettrale delle componenti orizzontali e verticali del rumore ambientale alla superficie del suolo*.

In conclusione questa affermazione implica che una stima della risposta del terreno in un determinato sito può essere ottenuta con un singolo sismometro a tre

componenti. Esperienze di campagna hanno dimostrato che registrazioni di una quindicina di minuti per sito sono sufficienti per fornire risultati stabili nei differenti contesti urbani.

- **Sintesi dei risultati**

Il test di Nakamura ha prodotto una curva dei rapporti spettrali dove si nota un picco significativo a circa 12Hz con ampiezza prossima a 10. Dal confronto con il grafico degli spettri delle componenti singole si evince come in corrispondenza di questa frequenza quello della componente verticale sia praticamente piatto al contrario di quelle orizzontali che presentano un aumento di ampiezza importante consentendo di riconoscere la natura geologica della sorgente vibrazionale. Risolvendo in funzione della profondità la relazione che lega frequenza (12Hz) velocità (240m/s) e la profondità si ottiene un risultato pari a 5m che è identico a quello ottenuto con le prove ReMi . Da ciò si ricava che la frequenza di risonanza propria del sito è pari a 12Hz (T=0.08s).



6. Direttive per le "zone omogenee in prospettiva sismica"

La DGRV n. 3308 del 04.11.08 prevede che, per la redazione dei P.I., "il numero e la tipologia delle indagini da effettuarsi devono essere commisurate alle caratteristiche geologiche, all'importanza dell'opera, e alle dimensioni dell'area in esame"; si è ritenuto perciò di demandare l'esecuzione di indagini specifiche all'atto degli interventi edilizi puntuali.
Le analisi in sito hanno messo in evidenza la velocità Vs, il bedrock sismico e la frequenza di risonanza propria del sito, nelle aree rappresentate in cartografia.
Non si escludono nuove previsioni insediative, ma gli interventi devono essere giustificati mediante analisi di dettaglio sul rischio sismico.

L'ambito di progettazione puntuale del P.I. di Vignui, è stato suddiviso in due aree (v. Carta "Zone omogenee in prospettiva sismica"):

1. un'area "*stabile suscettibile di amplificazioni sismiche*" nelle quali sono attese amplificazioni sismiche per "effetto topografico" e "litostratigrafico".;
2. un'area "*suscettibile ad instabilità"* per potenziali smottamenti e/o frane sismoindotte in pendii naturali e per cedimenti differenziali dovuti al contatto stratigrafico tra terreni a diversa competenza.

Nell'area di cui al punto "1." ("*stabile suscettibile ad amplificazioni sismiche*"), in cui si ritiene di eseguire ristrutturazioni con modifiche strutturali, ampliamenti, nuove costruzioni e opere infrastrutturali, si dovrà procedere a :

- **caratterizzare il terreno tramite la misura delle Vs30**, come previsto dal DM 14.01.2008 "Norme tecniche per le costruzioni" : "la classificazione può essere basata sulla stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio "Vs" ovvero sul numero medio di colpi Nspt ottenuti in una prova penetrometrica dinamica ovvero sulla coesione non drenata media "cu"", per terreni granulari. Le misure dovranno essere eseguite almeno ogni metro lineare di profondità fino a quella prevista dal DM 14.01.2008.
  Le misure dirette delle onde di taglio "Vs" acquisite con metodi geofisici di superficie e riconosciuti dalla comunità scientifica (es. MASW, ReMi, ecc.), sono sempre preferibili ai metodi indiretti spraesposti.

- uno studio finalizzato alla determinazione della **profondità del bedrock sismico** in funzione della definizione del periodo proprio di vibrazione del sottosuolo;
- valutare le **amplificazioni locali** di carattere litostragrafico qualora il bedrock sia a profondità superiore ai 3 mt (v. dm 14.01.2008), e topografico. L'amplificazione topografica potrà essere determinata come previsto dall'Eurocodice 8 e/o da altra documentazione riconosciuta dalla comunità scientifica (es. *"Indirizzi e criteri di microzonazione sismica – rapporto finale del Febbraio 2008 – conferenza Stato e Regioni*).

Si potranno utilizzare valori provenienti da misure dirette puntuali delle onde di taglio "Vs" eseguite in un sito adiacente a quello investigato, purchè i litotipi, la morfologia superficiale e sepolta, l'idrogeologia, e le caratteristiche sismiche siano compatibili a quelle riscontrate nell'area in studio.
La relazione tecnica illustrativa e le modalità di presentazione dei dati dovranno essere in linea con gli *"Indirizzi e criteri di microzonazione sismica. Rapporto finale - 2008 (Conferenza Stato Regioni)";* in ogni caso dovranno essere allegate le tabelle e i diagrammi delle prove in sito.

Nell'area di cui al punto "2." ("*suscettibile ad instabilità*"), in cui si ritiene di eseguire ristrutturazioni con modifiche strutturali, ampliamenti, nuove costruzioni e opere infrastrutturali, si dovrà procedere a :
- **caratterizzare del terreno tramite la misura delle Vs30**, come previsto dal DM 14.01.2008 "Norme tecniche per le costruzioni" : "la classificazione può essere basata sulla stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio "Vs" ovvero sul numero medio di colpi Nspt ottenuti in una prova penetrometrica dinamica ovvero sulla coesione non drenata media "cu"", per terreni granulari. Le misure dovranno essere eseguite almeno ogni metro lineare di profondità fino a quella prevista dal DM 14.01.2008.
  Le misure dirette delle onde di taglio "Vs" acquisite con metodi geofisici di superficie e riconosciuti dalla comunità scientifica (es. MASW, ReMi, ecc.), sono sempre preferibili ai metodi indiretti spraesposti.
- uno studio finalizzato alla determinazione della **profondità del bedrock sismico** in funzione della definizione del periodo proprio di vibrazione del sottosuolo;

- valutare le **amplificazioni locali** di carattere litostragrafico qualora il bedrock sia a profondità superiore ai 3 mt (v. dm 14.01.2008), e topografico. L'amplificazione topografica potrà essere determinata come previsto dall'Eurocodice 8 e/o da altra documentazione riconosciuta dalla comunità scientifica (es. "Indirizzi e criteri di microzonazione sismica – rapporto finale del Febbraio 2008 – conferenza Stato e Regioni).
- eseguire il calcolo **stabilità del pendio a seguito dell'azione sismica**, attraverso una specifica analisi dinamica. In alternativa potranno essere utilizzati appositi abachi, purchè il sito d'intervento presenti caratteristiche conformi alle ipotesi di base utilizzate per l'elaborazione degli abachi stessi.
- Verificare attraverso prove in sito se i contatti tra formazioni con caratteristiche litologiche e meccaniche molto diverse possono causare **cedimenti differenziali**.

Si potranno utilizzare valori provenienti da misure dirette puntuali delle onde di taglio "Vs" eseguite in un sito adiacente a quello investigato, purchè i litotipi, la morfologia superficiale e sepolta, l'idrogeologia, e le caratteristiche sismiche siano compatibili a quelle riscontrate nell'area in studio.
La relazione tecnica illustrativa e le modalità di presentazione dei dati dovranno essere in linea con gli *"Indirizzi e criteri di microzonazione sismica - rapporto finale - 2008 (Conferenza Stato Regioni)";* in ogni caso dovranno essere allegate le tabelle e i diagrammi delle prove in sito.

Treviso, Agosto 2009 Il geologo

ORDINE DEI GEOLOGI
Dr. Geol.
LIVIO
SARTOR
N° 235
REGIONE DEL VENETO

ALLEGATI

- **TAV. 1 : INQUADRAMENTO DELL'AREA**

- **TAV 2 : ELEMENTI GEOLOGICI IN CHIAVE SISMOLOGICA**

- **TAV. 3 : CARTA DELLE "ZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA"**

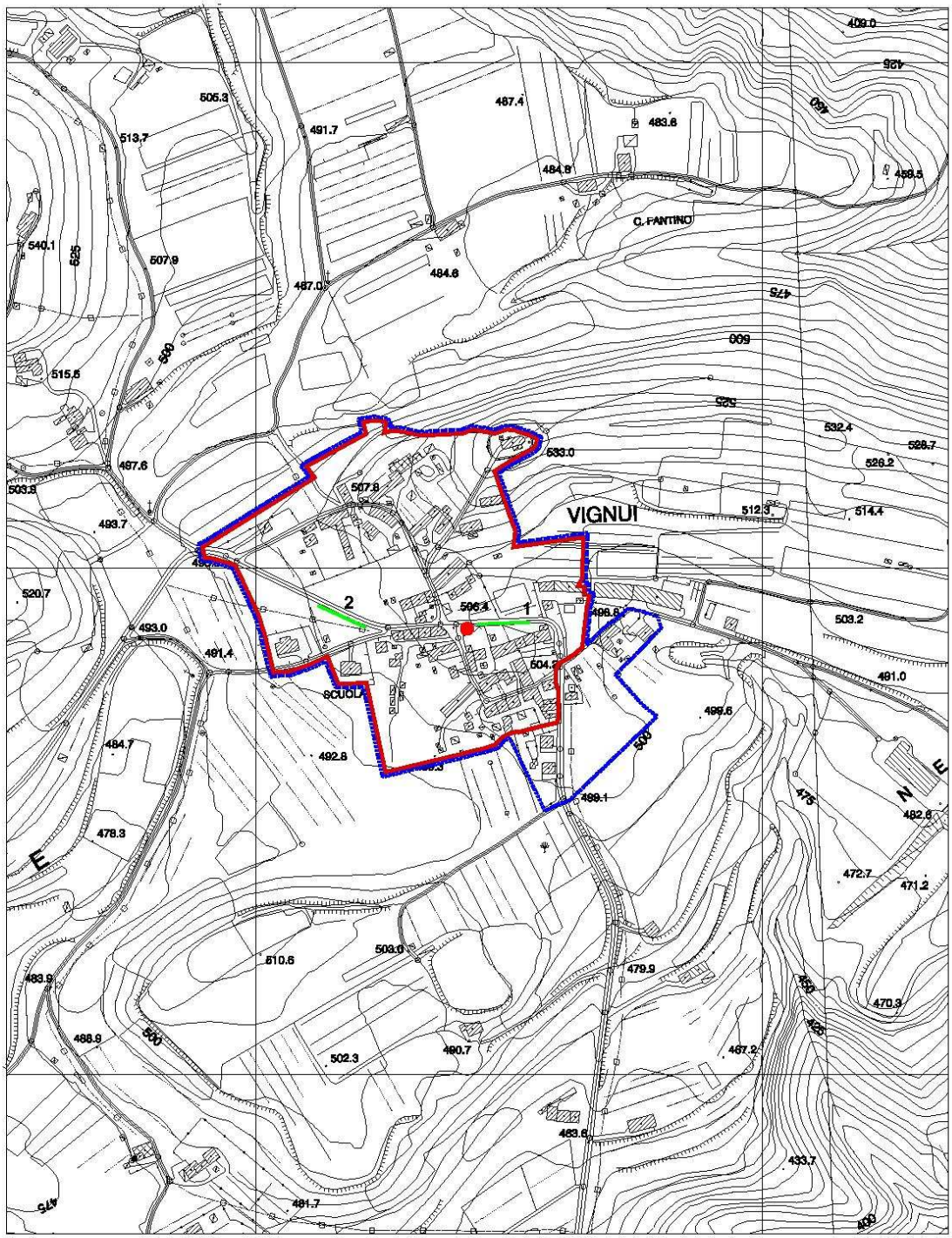


Tavola n.1 : Inquadramento dell'area e ubicazione sondaggi scala 1:5.000

- ambito di progettazione puntuale
- ambito del centro abitato di progetto
1 - Ubicazione profilo sismico ReMI
- Ubicazione test sismico di Nakamura

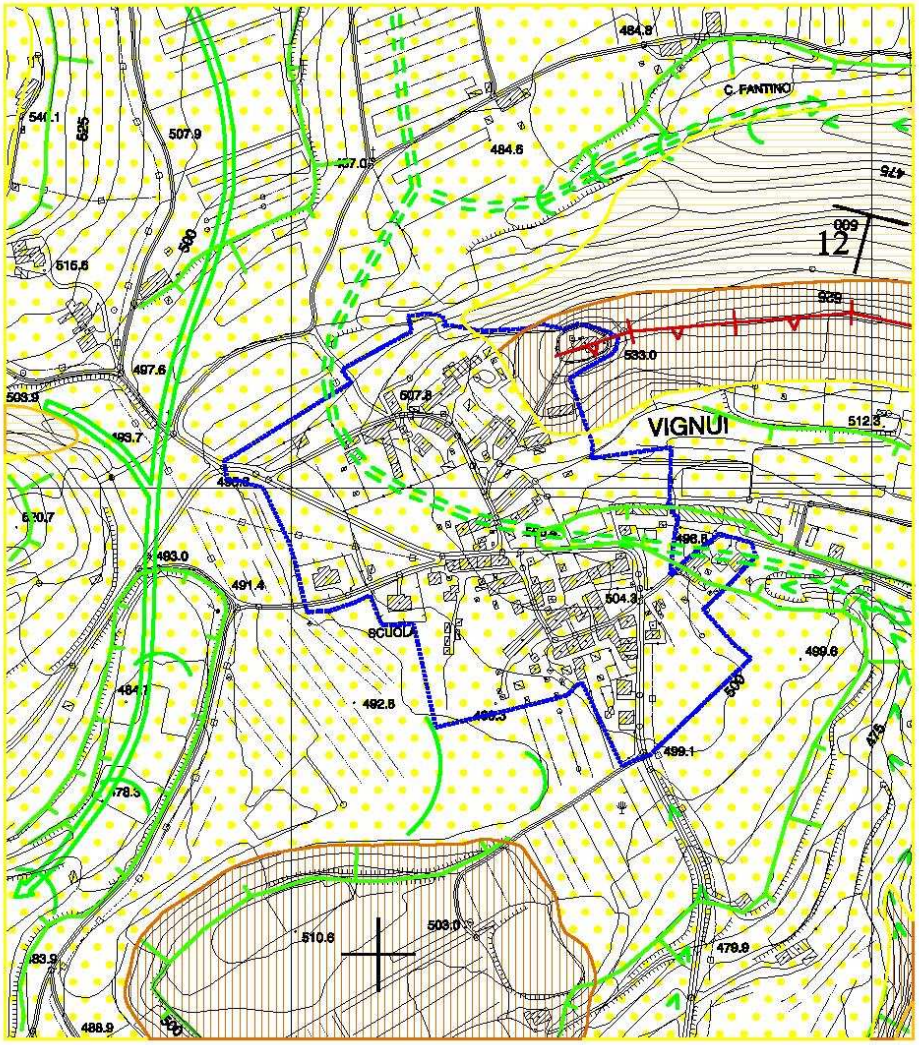


Tavola n.2 : Elementi geologici in chiave sismologica scala 1:5.000

- Rocce compatte prevalenti alternate a strati o interposizioni tenere
- Rocce tenere a prevalente coesione
- Materiali della copertura deteritica eluviale e/o colluviale poco addensati e costituiti da elementi granulari sabbioso-ghiaiosi in limitata matrice limoso-sabbiosa
- Giacitura degli strati
- Orlo di scarpata di erosione fluviale o di terrazzo: altezza fra 5 e 10 metri
- Orlo di scarpata di erosione fluviale o di terrazzo: altezza superiore a 10 metri
- Traccia incerta di corso d'acqua estinto
- Traccia di scaricatore fluvio glaciale estinto
- Valle a "V"
- Valle a conca
- Cresta di rilevo monoclinale: hogback

Tavola n.3 : Carta delle "zone omogenee in prospettiva sismica" scala 1:5.000

- aree "stabili suscettibili di amplificazioni sismiche"
- aree "suscettibili di instabilità"
1 - ubicazione profilo sismico ReMi
- ubicazione test sismico di Nakamura