

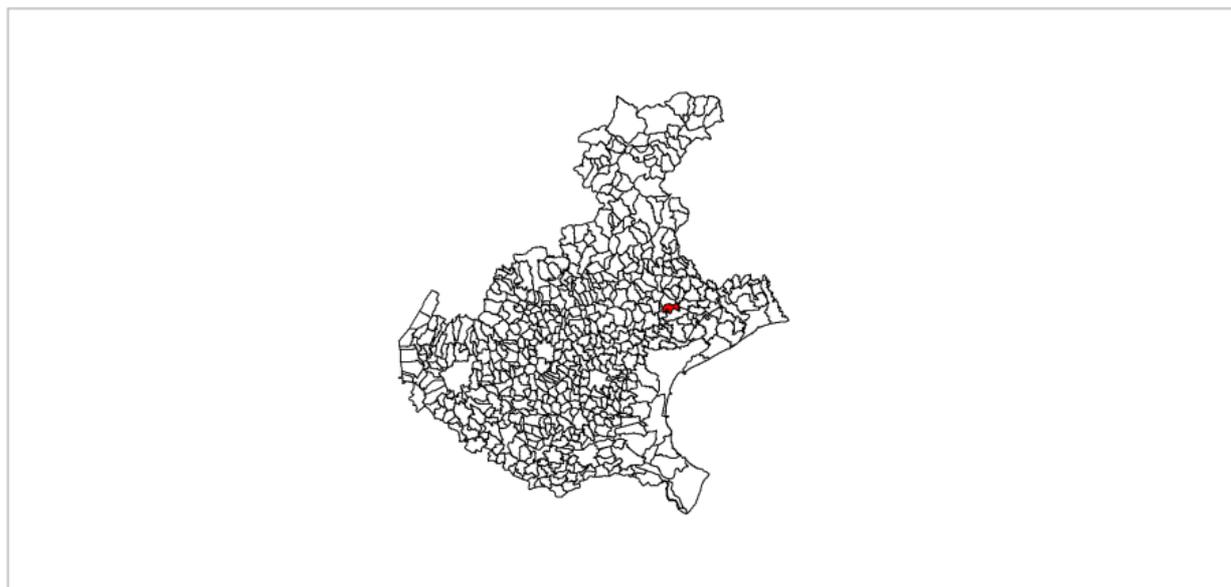
Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione Illustrativa

### Regione Veneto

#### Comune di Breda di Piave



Regione  
Veneto

Soggetto realizzatore  
Studio Mastella

Data  
25 Luglio 2017  
Rev.00 18/12/2017



## Sommario

1. INTRODUZIONE .....	4
1.1 Riferimenti normativi .....	4
1.2 Modalità d'indagine .....	4
1.3 Finalità degli studi: pericolosità sismica e microzonazione sismica.....	5
1.4 Generalità sulla microzonazione sismica .....	6
1.1 Foto aeree.....	8
1.2 Elenco degli archivi consultati.....	8
1.3 Descrizione generale dell'area .....	8
2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO .....	10
2.1 Caratteristiche sismogeniche del comune .....	10
2.2 Sismicità storica .....	15
2.2.1 La sismicità storica del Veneto .....	15
2.3 Faglie attive.....	21
3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....	22
3.1 Inquadramento topografico e geomorfologico.....	22
3.1.1 Elementi morfologici a valenza sismica .....	26
3.2 Inquadramento geologico .....	27
3.2.1 Depositi sciolti presenti nella Carta Geolitologica del PAT .....	27
3.2.2 Interpretazione delle litologie presenti nel PAT nello studio di Microzonazione Sismica .....	30
3.2.3 Caratterizzazione geomeccanica dei litotipi.....	32
3.3 Tettonica.....	33
3.4 Inquadramento idrogeologico.....	35
3.4.1 Idrologia di superficie .....	35
3.4.2 Aree di pericolosità e attenzione idraulica del Progetto 1° variante Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino del fiume Livenza.....	36
3.4.3 Aree soggette a inondazioni periodiche (I-SUP-16) .....	37
3.4.1 Acque sotterranee .....	37
4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI .....	39
4.1 Parametri geotecnici statici e dinamici ricavati da dati pregressi .....	39
4.2 Nuove indagini.....	39
4.2.1 Indagini di sismica passiva a stazione singola (HVSr) .....	39
4.2.2 Metodo MASW.....	44
4.2.3 Tecnica di indagine Re.Mi.....	50
5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO .....	52
6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE.....	54



6.1	Identificazione e rappresentatività dei dati raccolti .....	54
7.	METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI .....	58
8.	ELABORATI CARTOGRAFICI .....	59
8.1	La Carta delle Indagini.....	59
8.2	La Carta geologico-tecnica .....	61
8.2.1	Unità litologiche .....	61
8.2.2	Elementi geologici e idrogeologici .....	62
8.2.3	Forme di superficie e sepolte.....	62
8.2.4	Traccia di sezione geologica rappresentativa del modello del sottosuolo .....	63
8.3	Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica .....	63
8.3.1	Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.....	65
8.3.2	Zone suscettibili di instabilità .....	68
8.3.3	Altri elementi morfologici.....	69
8.3.4	Punti di misura di rumore ambientale .....	69
9.	STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI II LIVELLO .....	70
9.1	Stima dei fattori Fa e Fv per le aree stabili suscettibili di amplificazione.....	70
9.1.1	Modello del sottosuolo utilizzato per gli abachi .....	71
9.1.2	Input sismici di riferimento .....	74
9.1.3	Determinazione dei fattori FA e FV con input definito da spettro a probabilità uniforme.....	75
9.1.4	Abachi.....	76
9.2	Stima del potenziale di liquefazione IL .....	81
9.2.1	Calcolo dello sforzo di taglio indotto dal sisma (T) .....	81
9.2.2	Metodo di Andrus e Stokoe (1997).....	82
9.2.3	Calcolo dell'indice di liquefazione .....	82
9.2.4	Dati in entrata.....	83
9.2.5	Risultati .....	87
9.3	Carta di Microzonazione Sismica (Livello II) .....	92
10.	ANALISI DELLA FREQUENZA DI RISONANZA DI ALCUNI EDIFICI STRATEGICI E CENNI DI INGEGNERIA SISMICA.....	94
10.1	Procedura di acquisizione dei dati e sintesi dei risultati della campagna di misura effettuata sugli edifici.....	99
11.	PRESCRIZIONI URBANISTICHE A SEGUITO DELLO STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI I e II LIVELLO .....	101
11.1	Zone Suscettibili di Instabilità.....	101
12.	BIBLIOGRAFIA.....	102



## 1. INTRODUZIONE

La presente relazione è un documento tecnico-scientifico che accompagna gli elaborati cartografici richiesti per lo studio di Microzonazione Sismica di I e II livello del comune di Breda di Piave.

### 1.1 Riferimenti normativi

Lo studio viene redatto in conformità all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3907 in data 13 novembre 2010, istituito ai sensi dell'articolo 11 del D.L. n.39 in data 28.04.09 convertito, con modificazioni, dalla Legge 24.06.09, n.77 (L. 77/09, art. 11) e in conformità all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 4007 in data 29 febbraio 2012.

Si sono seguite le direttive prodotte dalla Commissione Tecnica per il supporto e monitoraggio degli studi di MS (articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 novembre 2010, n.3907) e alle modalità previste per il livello I e II, così come definiti dagli "Indirizzi e criteri per la micro zonazione sismica" approvati dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome il 13.11.2008, dall'allegato A della Deliberazione della Giunta Regionale n.3308 in data 04.11.2008 e dall'allegato A del Decreto del Dirigente della Direzione Regionale Geologia e Attività Estrattive n. 69 in data 27.05.2010.

### 1.2 Modalità d'indagine

Il lavoro è stato svolto con le seguenti fasi di lavoro:

- raccolta di dati bibliografici;
- esame della documentazione in materia elaborata negli ultimi anni a livello regionale;
- approfondimenti relativamente alle problematiche sismiche, alla sismicità di base ed alla valutazione della amplificazione sismica locale;
- sopralluoghi di controllo sul campo;
- elaborazione dei dati raccolti e stesura della presente relazione.

Nell'elaborare il presente studio si sono tenuti conto degli aspetti geomorfologici, geolitologici ed idrogeologici elaborati per la documentazione geologica del P.A.T.

La presente relazione risulta di corredo alle tavole qui di seguito indicate.

<b>Tavola</b>	<b>Scala</b>
Carta delle Indagini	1:10.000
Carta Geologico-tecnica	1:10.000
Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica	1:10.000
Carta di Microzonazione Sismica (livello II)	1:10.000



### 1.3 Finalità degli studi: pericolosità sismica e microzonazione sismica

E' fondamentale avvalersi degli studi di microzonazione sismica (MS) durante la fase di progettazione degli strumenti urbanistici al fine di determinare la riduzione del rischio sismico (RS), che può essere così definito:

$RS = \text{Pericolosità sismica} \times \text{Esposizione urbanistica} \times \text{Vulnerabilità dei centri urbani e delle opere.}$

Una MS completa deve quindi considerare anche la vulnerabilità dei centri urbani e delle opere. Non essendo ancora disponibile una procedura speditiva riconosciuta valida per la valutazione della vulnerabilità (le procedure finora attuate sono di dettaglio e quindi onerose sia in termini di costi e soprattutto di tempi) la MS in genere è limitata a valutazioni della pericolosità sismica locale nelle zone di esposizione urbanistica: centri abitati ove si realizza una concentrazione di popolazione, zone destinate ad attività produttive e commerciali, altre previsioni urbanistiche e lungo le reti infrastrutturali.

Devono essere forniti dei criteri per l'individuazione delle aree soggette ad effetti di amplificazione sismica locale ed instabilità in caso di terremoto in maniera da orientare le scelte, nella fase di progettazione urbanistica, verso aree a minore pericolosità sismica e supportare qualsiasi altro intervento finalizzato alla riduzione del rischio sismico (es.: interventi di riqualificazione urbanistica, messa in sicurezza, ...).

La **pericolosità sismica** dipende essenzialmente da due elementi:

- Dalle caratteristiche sismiche dell'area, ossia dalla presenza e/o distanza dalle sorgenti sismiche attive, dall'energia e dal tipo dei terremoti nonché dalla frequenza degli eventi. Questi aspetti afferiscono alla "pericolosità sismica di base";
- Dalle caratteristiche geologiche e morfologiche del territorio di riferimento; infatti queste caratteristiche possono influenzare notevolmente le caratteristiche dell'evento sismico in superficie e costituire appunto gli elementi predisponenti al verificarsi dei fenomeni di amplificazione o di instabilità del suolo (cedimenti, frane, liquefazione). Questi aspetti afferiscono alla "pericolosità sismica locale".

Lo studio della "pericolosità di base" e della "pericolosità locale" tendono sostanzialmente al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- individuare delle aree ove in occasione dei terremoti attesi possono verificarsi effetti locali;
- stima quantitativa della risposta sismica locale indotta dai depositi superficiali e della morfologia del territorio: "Analisi della Risposta Sismica Locale" (RSL);
- suddivisione del territorio comunale in sottozone omogenee a cui attribuire lo stesso valore di pericolosità sismica locale: "Microzonazione Sismica" (MS).

I risultati di questi studi afferiscono al quadro conoscitivo e vengono successivamente applicati nella redazione degli strumenti di pianificazione territoriale ed urbanistica; forniscono inoltre indicazioni per l'applicazione, in fase di progettazione, delle vigenti Norme Tecniche delle Costruzioni (DM 14/1/2008).



## 1.4 Generalità sulla microzonazione sismica

La microzonazione sismica, ovvero "la suddivisione dettagliata del territorio, in sottozone a diversa pericolosità sismica locale", tiene conto sia della sismicità di base (distanza dalle sorgenti sismogenetiche, energia, frequenza e tipo dei terremoti attesi), sia della amplificazione locale legata alle caratteristiche topografiche, geomorfologiche, geolitologiche ed idrogeologiche dell'area di studio. Ha come finalità fondamentale quella di indirizzare la pianificazione urbanistica verso l'utilizzo edificatorio degli ambiti a minor rischio sismico. Si articola in più livelli di approfondimento, sinteticamente sono così descrivibili:

- primo livello: è lo studio propedeutico ai livelli successivi; consente di delineare gli scenari della pericolosità sismica ed identifica, nella carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, le parti del territorio comunale suscettibili di effetti locali: amplificazione del moto sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rottura del terreno, ecc. Consiste nelle seguenti azioni:
  - raccolta dei dati esistenti e formulazione di una relazione che ricostruisce la sismicità storica dell'area, dei danni che i terremoti avvenuti hanno arrecato al territorio, delle possibili correlazioni con le principali strutture geologiche esistenti;
  - elaborazione di una cartografia che, attraverso la rivisitazione dei contenuti geologici, geolitologici ed idrogeologici dello Studio Geologico per il P.R.G.C., individui gli elementi, in chiave sismologica, in grado di amplificare localmente la sismicità di base e/o di aumentare la pericolosità locale;
  - elaborazione della cartografia di suddivisione del territorio in zone omogenee in prospettiva sismica;
- secondo livello: è lo studio di approfondimento locale; ha come obiettivo la redazione della Microzonazione Sismica e si applica a tutte le parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica individuati nella precedente fase e per la quale si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio od incremento dei carichi urbanistici e per il territorio compreso nel perimetro del "centro abitato" così come previsti dalla normativa vigente. Consiste nelle seguenti azioni:
  - caratterizzazione locale del terreno con la misura delle Vs30, per le aree "stabili";
  - determinazione della profondità del bedrock in funzione della definizione del periodo proprio di vibrazione del sottosuolo, alla definizione di profili di Vs30 e valutazione degli effetti morfologici, per le aree soggette ad amplificazione sismica; studio degli effetti di cui al punto precedente e degli ambiti di possibile instabilità;
- terzo livello: si applica in fase progettuale agli scenari suscettibili di instabilità, liquefazione, cedimenti. E' un approccio puntuale ai singoli fenomeni. Si applica:
  - per le scelte espansive di pianificazione urbanistica nelle aree con particolari criticità geologiche per previsioni ricadenti nelle aree classificate come:
    - P1b zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti,
    - P1c zona potenzialmente franosa o esposta a rischio frana,
    - P2a zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti quali depositi altamente compressibili, ecc...,
    - P2b zona con depositi granulari fini ,
    - P2c zona caratterizzata da coltri di terreno di riporto o che hanno subito riempimenti antropici,
    - P4a Zona di fondovalle ampie e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi che presentino le seguenti caratteristiche  $h/l > 0,65 / \sqrt{Cv-l}$  dove h è la profondità della valle (massimo spessore del deposito), l la sua semiampiezza, Cv il



- rapporto fra la velocità  $V_s$  nel basamento sismico e quella media nei terreni di riempimento,
- P4b Zona di fondovalle stretta ( $C > 0.25$ ) od in presenza di forme geometriche sepolte tali da non permettere di considerare il modello geologico monodimensionale,
  - P1a movimenti franosi attivi. Sebbene l'urbanizzazione in queste aree sia vincolata da altre norme è possibile che si renda necessario uno studio di MS, ad esempio per riparazione di un'opera esistente (strada, edifici, centro abitato, ...),
  - P5b zona ove sono presenti o potenzialmente presenti cavità sotterranee o sinkhole.
- Nelle aree in cui è prevista la realizzazione di opere con rilevante interesse pubblico. Per queste parti del territorio ove la pericolosità risulta elevata deve essere attentamente valutata la possibilità di non operare trasformazioni urbanistiche od incremento dei carichi urbanistici. I primi due livelli sono obbligatori in fase di pianificazione urbanistica, mentre il terzo livello di approfondimento diviene obbligatorio per gli scenari di pericolosità sismica locale caratterizzati da potenziali effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione e quando con le risultanze del 2° livello si dimostra l'inadeguatezza delle procedure semplificate per la stima dell'amplificazione previste dalle vigenti Norme Tecniche delle Costruzioni (DM 14/1/2008). Nel caso di opere con rilevante interesse pubblico si procederà sempre fino a raggiungere il 3° livello di approfondimento che potranno essere suddivise con il 1° e 2° livello di MS nell'ambito del progetto preliminare ed il 3° livello di approfondimento nell'ambito del progetto definitivo.

La procedura proposta fa riferimento ad una sismicità di base caratterizzata da un periodo di ritorno di 475 anni (probabilità di eccedenza del 10 % in 50 anni) e può essere implementata considerando altri periodi di ritorno.

**Il presente Studio di microzonazione sismica fa riferimento al I e II dei livelli di approfondimento sopra descritti.**



## 1.1 Foto aeree

Per effettuare il presente studio di micro zonazione sismica, sono stati consultati alcuni fotogrammi aeree appartenenti ai seguenti voli:

- 1943-45 RAF;
- 1954-55 GAI;
- 1960 IGM;
- 1983 reventon Venezia-Treviso;
- 1990 reventon;
- 1995 reventon BIM Piave;
- 1999 reventon Veneto centrale e Provincia Rovigo;
- 2003 reventon Provincia Treviso.

Tali fotogrammi aerei sono consultabili all'indirizzo web [http://mapserver.iuav.it/website/foto\\_aeree/](http://mapserver.iuav.it/website/foto_aeree/) che si riferisce al Laboratorio di Cartografia e GIS dell'Università IUAV di Venezia.

## 1.2 Elenco degli archivi consultati

Per reperire i dati geologici e cartografici necessari alla redazione del presente studio, sono stati consultati i seguenti archivi multimediali:

- <http://idt.regione.veneto.it/app/metacatalog/> (per dati cartografici e geologici regionali);
- [http://mapserver.iuav.it/website/foto\\_aeree/](http://mapserver.iuav.it/website/foto_aeree/) (per la consultazione delle foto aeree);
- <http://sgi.isprambiente.it/GMV2/index.html> (Catalogo Nazionale delle Faglie Capaci – Progetto ITHACA);
- <http://cnt.rm.ingv.it/> (Centro Nazionale Terremoti INGV per i terremoti recenti)
- <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/> (Database Macrosismico Italiano)
- [http://pai.adbve.it/PAI\\_4B\\_2012/idro\\_piave.htm](http://pai.adbve.it/PAI_4B_2012/idro_piave.htm) (PAI del fiume Piave)

È stato inoltre consultato il PAT del comune di Breda di Piave per i dati geologici e sismici più recenti.

## 1.3 Descrizione generale dell'area

Il comune di Breda di Piave si colloca nella porzione centro-orientale della provincia di Treviso. Di seguito si riportano i principali dati altimetrici e di superficie.

<b>Superficie</b>	25,6 km <sup>2</sup>
<b>Quota media</b>	23 m s.l.m.
<b>Quota minima</b>	9 m s.l.m.
<b>Quota massima</b>	27 m s.l.m.



*Posizione del comune di Breda di Piave all'interno della Provincia di Treviso*

Il territorio comunale si presenta piuttosto allungato in direzione W-E, si colloca nella nella media pianura trevigiana, lungo il corso del Fiume Piave, che vi scorre ad est e funge da confine con il comune di Ponte di Piave.

La morfologia del territorio comunale di Breda di Piave è legata essenzialmente all'azione deposizionale del Piave nel periodo in cui il fiume, uscendo dalla stretta di Nervesa, divagava sulla pianura. Sull'originario andamento del piano campagna, digradante in direzione sud-est si sono successivamente impostate modeste azioni erosive ad opera del Piave stesso e dei corsi d'acqua minori; quest'ultimi, per gran parte di risorgiva e caratterizzati quindi da bassa velocità di corrente e costanza della portata, avrebbero molto probabilmente rimodellato forme già determinate dal corso d'acqua principale.



*Morfologia del comune di Breda di Piave*



## 2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Caratteristiche sismogeniche del comune

Con delibera n° 67 del 3 dicembre 2003, pubblicata sul Bollettino Ufficiale Regionale del 13 gennaio 2004 n. 6, il Consiglio Regionale ha approvato il nuovo elenco dei comuni sismici del Veneto, allegato al predetto provvedimento.

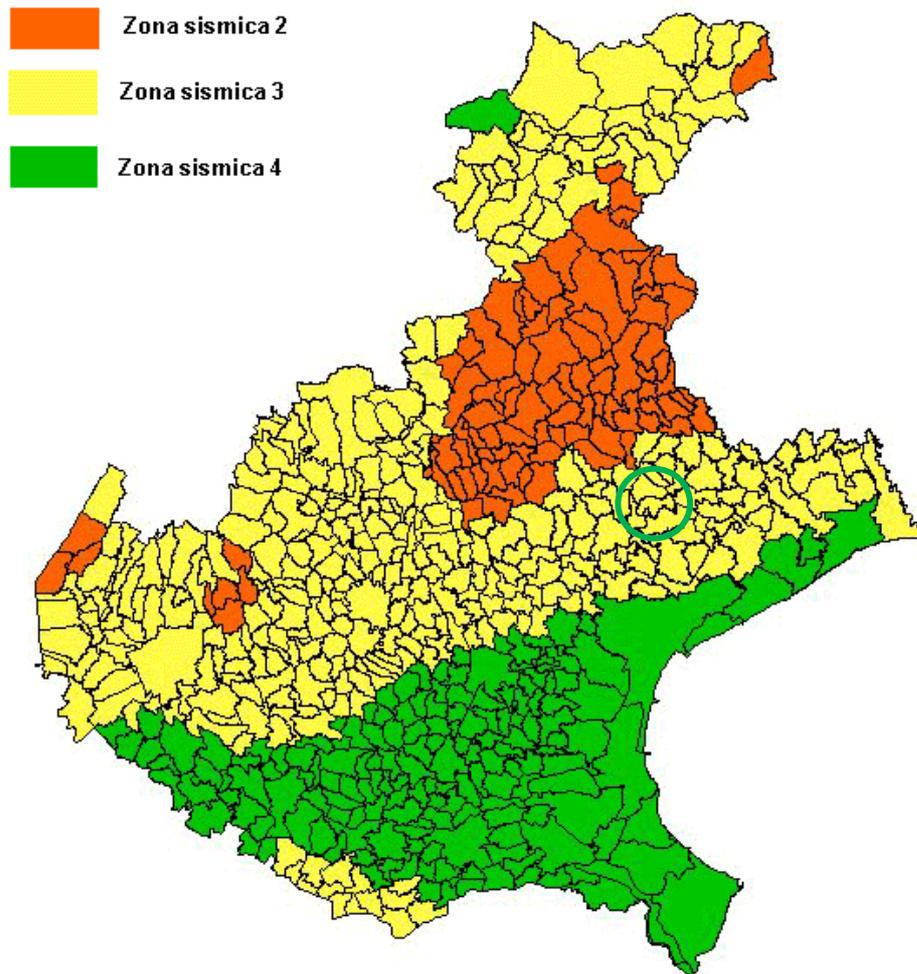
Con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003, n° 3274, pubblicata sul Suppl. Ord. n° 72 della Gazzetta Ufficiale dell'8 maggio 2003 n° 1053274/03, sono state approvate nuove regole tecniche per le costruzioni antisismiche riguardanti i ponti, le fondazioni e gli edifici in genere. Tali regole tecniche innovano le modalità di calcolo attualmente in vigore in quanto viene abbandonato il metodo delle "tensioni ammissibili" in favore del criterio degli "stati limite".

Con D.G.R. 28 novembre 2003, n. 3645 sono state approvate le modalità per procedere alle verifiche tecniche a cura dei proprietari degli edifici a carattere strategico ed opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile e degli edifici ed opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso, con priorità nella zona sismica 2.

Tale provvedimento regionale è stato adottato in ottemperanza al comma 4 dell'art. 2 della citata Ordinanza 3274/2003 che dispone siano le Regioni a provvedere, per quanto di competenza, ad elaborare, sulla base delle risorse finanziarie disponibili, il programma temporale delle verifiche, ad individuare le tipologie degli edifici e delle opere che presentano le caratteristiche di cui al comma 3 ed a fornire ai soggetti competenti le necessarie indicazioni per le relative verifiche tecniche, che dovranno stabilire il livello di adeguatezza di ciascuno di essi rispetto a quanto previsto dalle norme.

In ordine alla nuova classificazione ed alle nuove regole tecniche, sulla scorta di quanto dispone in merito l'Ordinanza e tenuto conto che la materia, già regolata nella Regione Veneto dalla legge 16.08.1984, n° 42, titolo VI, modificata dalla successiva L.R. 7 novembre 2003 n.27, nonché dalla legge 13 aprile 2001, n° 11, di recepimento delle disposizioni statali in materia di trasferimento di competenze alle regioni in attuazione al D.Lgs 31 marzo 1998 n. 112, si forniscono le disposizioni adottate che seguono cui sono invitati ad attenersi le Strutture regionali, gli enti dipendenti dalla Regione, le Province, i Comuni, le Comunità Montane, gli Enti pubblici.

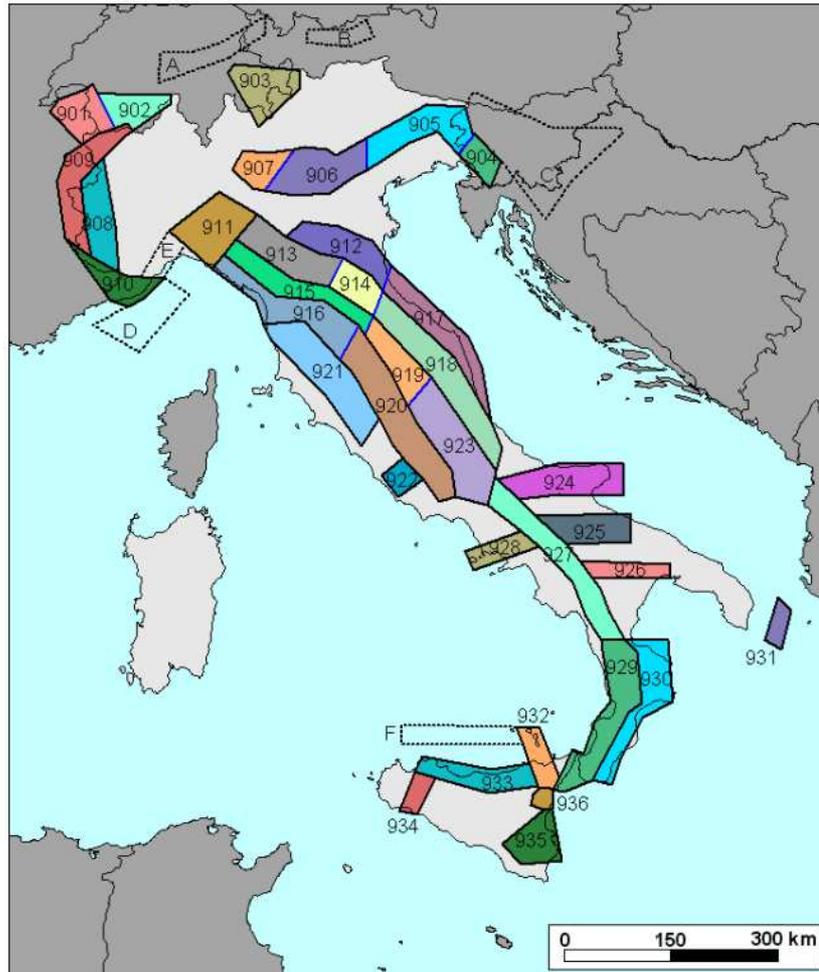
**Il comune di Breda di Piave è stato classificato dal punto di vista sismico in Zona 3 dalla DGR 245 del 2008 del Veneto, in applicazione del disposto dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20.03.2003** come si vede dall'immagine sottostante.



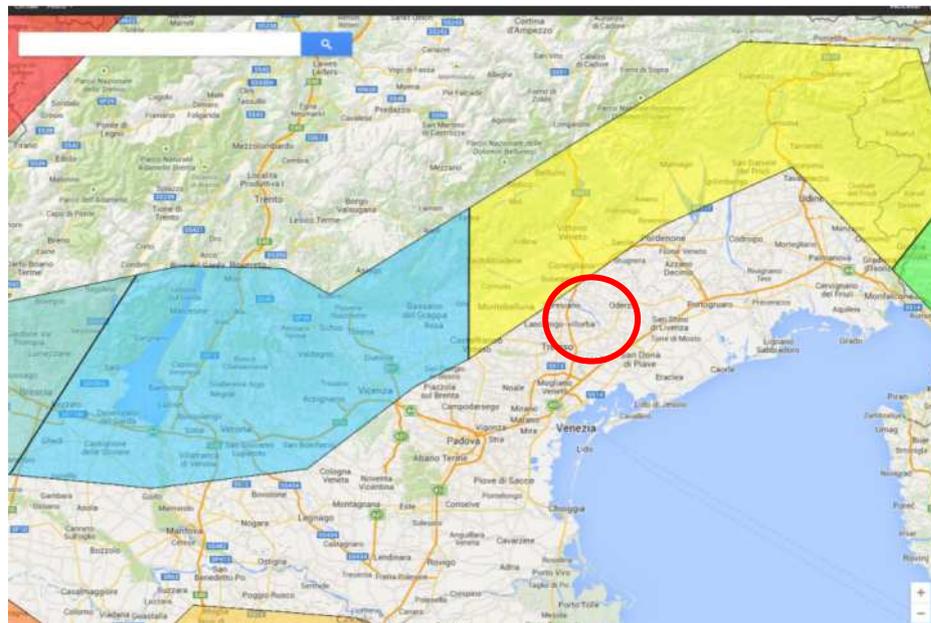
*Zone sismiche del Veneto. Nel cerchio verde vi è Breda di Piave*

Secondo la zonazione sismo genetica attualmente in vigore (ZS9), il Comune di Treviso non ricade in alcuna zona sismo genetica, pertanto la pericolosità sismica dell'area di progetto verrà valutata mediante:

- **l'utilizzo della mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale redatta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia** ([www.mi.ingv.it](http://www.mi.ingv.it));
- carta della sismicità in Italia (<http://zonesismiche.mi.ingv.it/>).



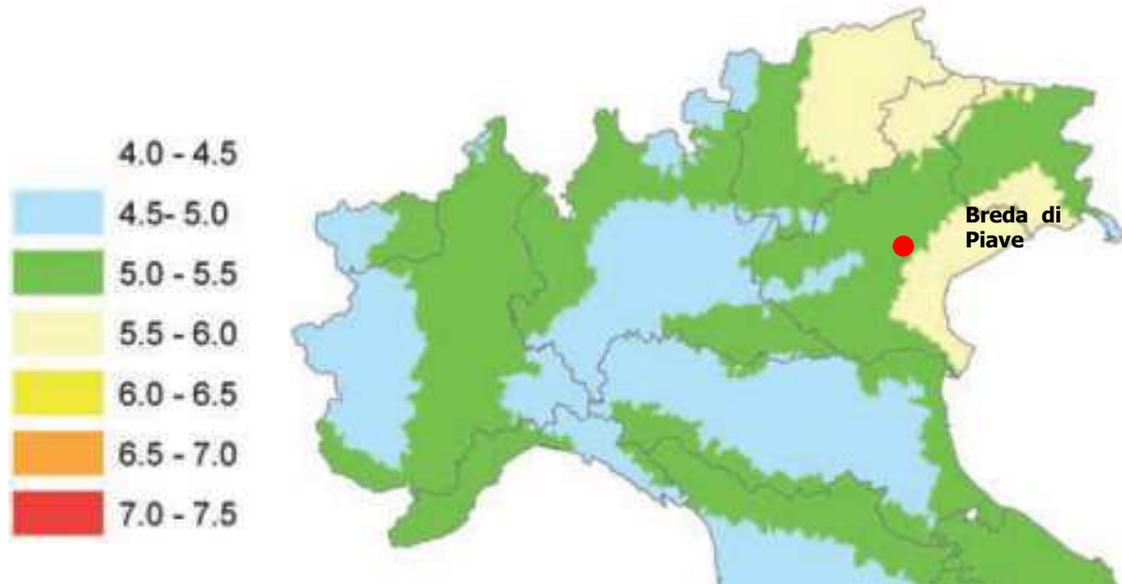
*Zonazione sismogenetica ZS9*



*Localizzazione della Zona sismogenetica 905 in giallo. Breda di Piave è cerchiato in rosso*

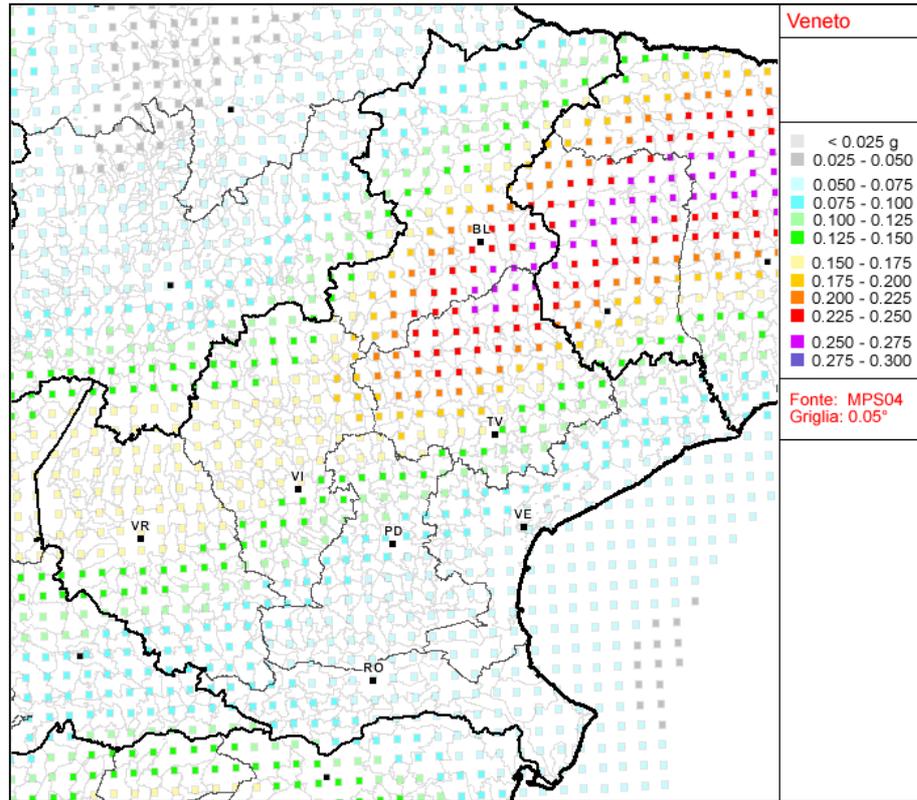


Dalle Linee guida per la Microzonazione sismica - Par. 2.8, vengono stabiliti i valori medi di magnitudo attesa per comune, con tempi di ritorno  $T_r = 475$  anni, che per il territorio di Breda di Piave, assumono il valore  $M = 5,0 \div 5,5$  (Spallarossa e Barani, 2007).

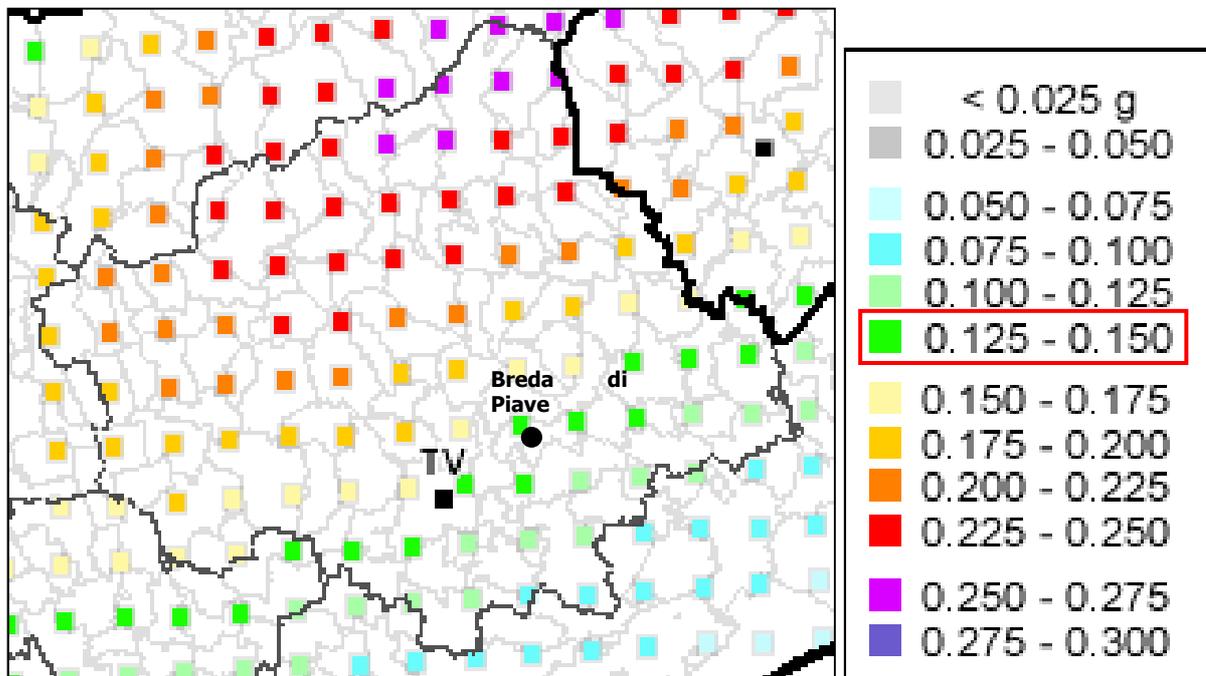


*Valori medi di magnitudo ottenuti a seguito della disaggregazione della pericolosità sismica con tempi di ritorno di 475 anni. Per il territorio di Breda di Piave si assume il valore  $M = 5,0 \div 5,5$  con  $T_r = 475$  anni*

Nella mappa della pericolosità sismica allegata alla OPCM 3519/2006 qui di seguito riportata, per la zona in esame, risulta una **accelerazione massima al suolo compresa tra 0.125g e 0,150g** con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.



Carta di pericolosità sismica della regione Veneto espressa in termini di accelerazione massima del suolo ( $ag$ ) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli di categoria A ( $V_s 30 > 800$  m/s).



Carta di pericolosità sismica della provincia di Treviso espressa in termini di accelerazione massima del suolo ( $ag$ ) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli di categoria A ( $V_s 30 > 800$  m/s). Nel riquadro i valori attesi di  $ag$  per il territorio di Breda di Piave. **Per il Comune di Breda di Piave l'accelerazione orizzontale massima per i suoli di categoria A è compresa tra 0,125 g e 0,150 g**



## 2.2 Sismicità storica

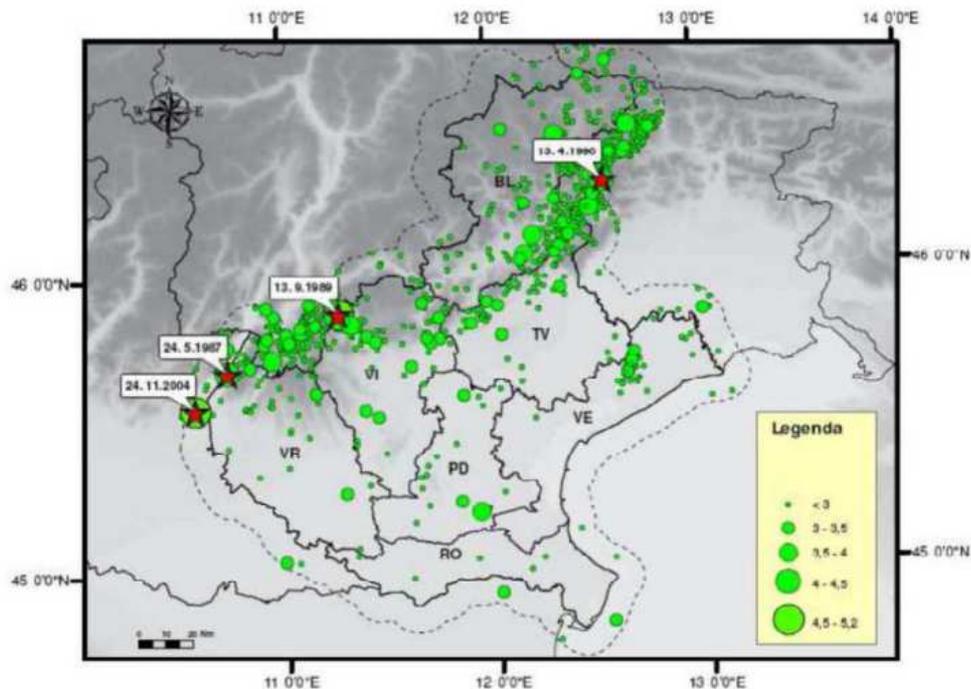
### 2.2.1 La sismicità storica del Veneto

La Regione Veneto è caratterizzata da una certa sismicità di magnitudo medio-bassa messa in luce negli ultimi decenni dal monitoraggio strumentale dell'attività sismica. A partire dal 1988 in Veneto è stata installata una rete di monitoraggio sismico che si è progressivamente arricchita arrivando a contare attualmente 11 stazioni di misura, di cui 8 a corto periodo e 3 a lungo periodo.

Nel periodo 1977-2006 la rete gestita in convenzione dall'OGS (Osservatorio Geofisico Sperimentale) di Trieste ha registrato in Veneto quasi 1200 eventi sismici con magnitudo compresa tra 2,0 e 3,0. La maggior parte di questi eventi è localizzata lungo la fascia prealpina che unisce l'Alpago al Monte Baldo. La profondità epicentrale più frequente è compresa tra 7 e 15 km di profondità. Solo l'11% degli eventi si colloca a profondità maggiore (fino a 22 km).

Nella figura seguente è riportata la distribuzione di tutti i terremoti registrati dall'OGS distinti per classi di magnitudo di durata MD\*. Gli eventi con MD>4 i cui epicentri ricadono nel territorio regionale o in prossimità di esso sono identificati con una stella rossa. Si tratta dei seguenti:

- 24/05/1987 Garda MD = 4,2
- 13/09/1989 Pasubio MD = 4,8
- 13/04/1996 Claut MD = 4,2
- 24/11/2004 Salò MD = 5,2



*Distribuzione di tutti i terremoti recenti registrati dalla rete sismometrica gestita dalla rete sismometrica gestita da OGS in Veneto nel periodo 1977-2006 (Priolo, 2008)*



Sulla base del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 (Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. *CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15*) e sulla base del DataBase Macrosismico Italiano DBMI15 (Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). *DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15*) vengono individuati ed indicati i principali eventi sismici della zona.

Nella seguente tabella vengono riportati i terremoti storici e strumentali riferiti al comune di Breda di Piave o ad aree limitrofe.

#### 2.2.1.1 Storia sismica di Breda di Piave

Numero di eventi: 2

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw
NF	1908 07 10 02 13 35.00	Carnia	119	7-8	5,31
NF	1952 01 18 01 36	Pordenonese	108	5	4,44

Nelle immagini successive vengono mostrate le intensità degli eventi sismici della tabella e la loro localizzazione.



10 July 1908 02:13:35.00, Carnia

MDP set by CFTI4med  
NMDP 119 Imax 7-8

CPTI15

macroseismic  
instrumental

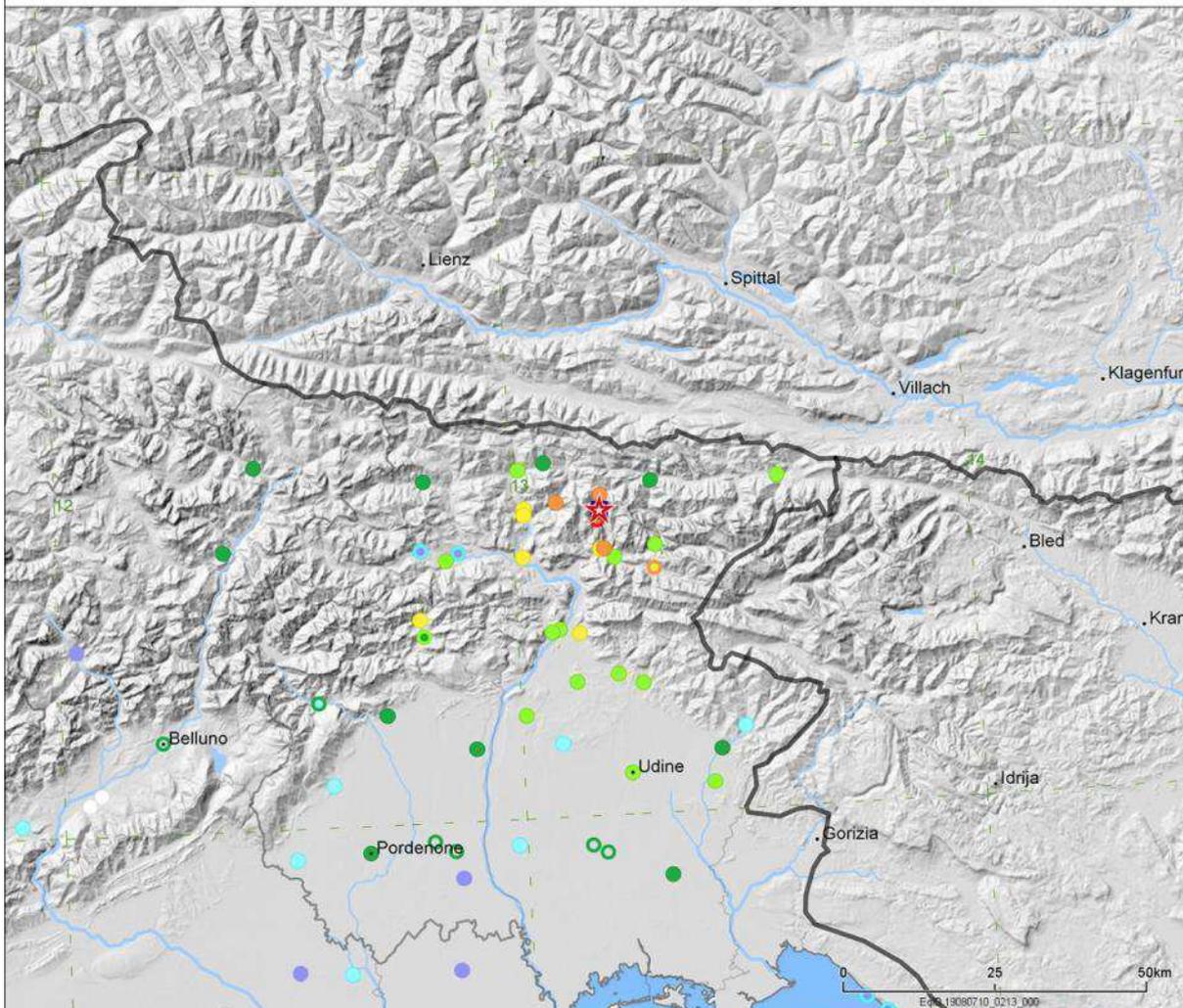
★ 46.465, 13.191

□ 46.465, 13.191

Mw 5.31 ±0.08

Mw 5.35 ±0.10

Mw 5.25 ±0.15



Istituto Nazionale di  
Geofisica e Vulcanologia

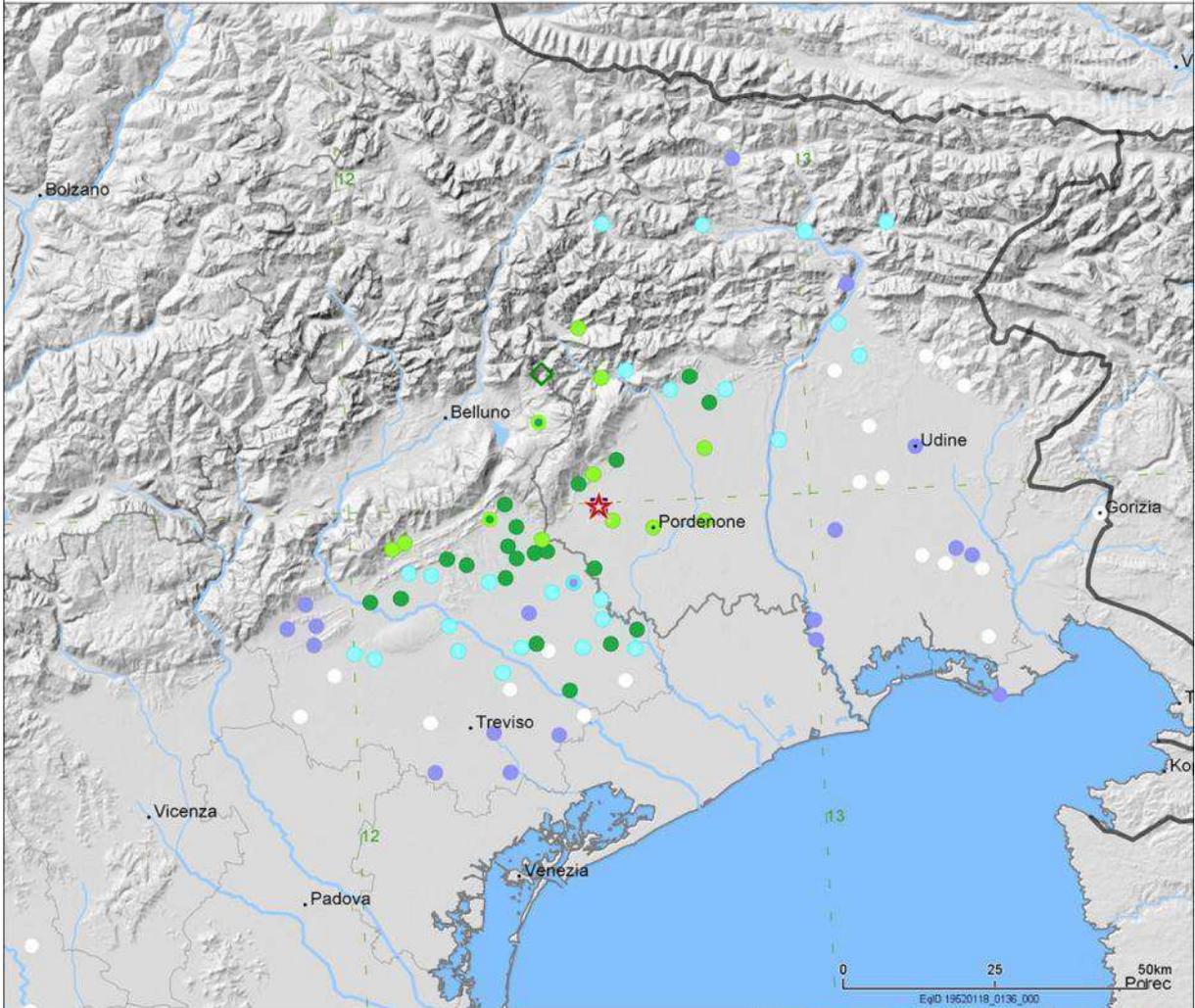
CPTI15-DBMI15





18 January 1952 01:36:-- , Pordenonese  
MDP set by Iaccarino and Molin, 1978  
NMDP 108 Imax 5

CPTI15      ★ 45.995, 12.542      Mw 4.44 ±0.12  
macroseismic      □ 45.995, 12.542      Mw 4.34 ±0.14  
instrumental      ◇ 46.200, 12.430      Mw 4.75 ±0.23



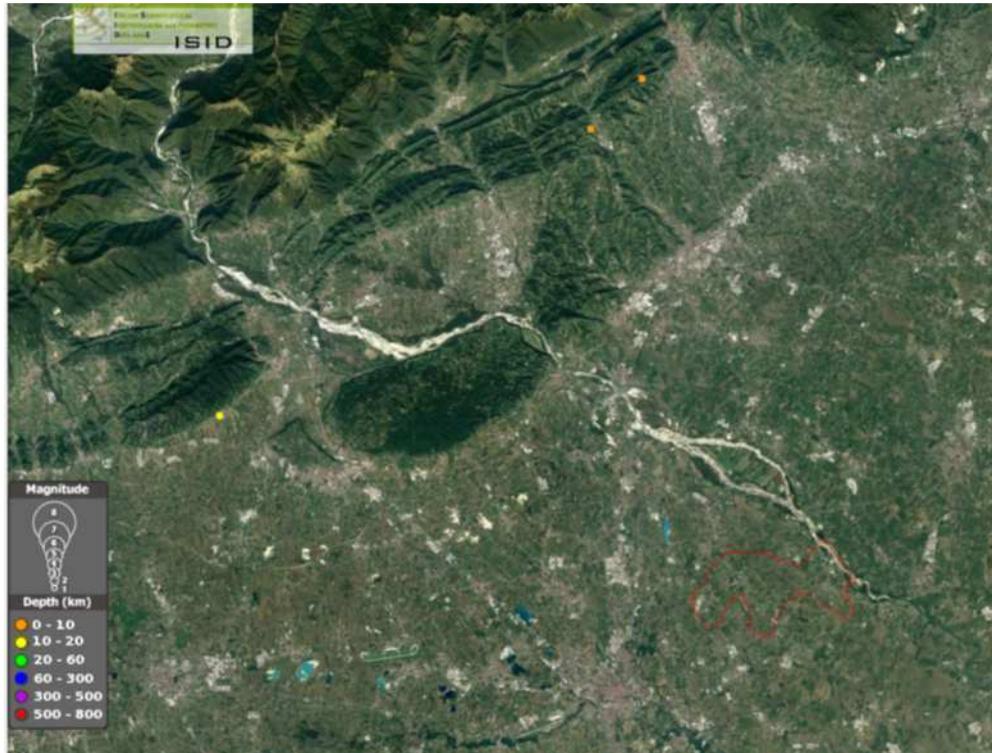
Istituto Nazionale di  
Geofisica e Vulcanologia

CPTI15-DBMI15

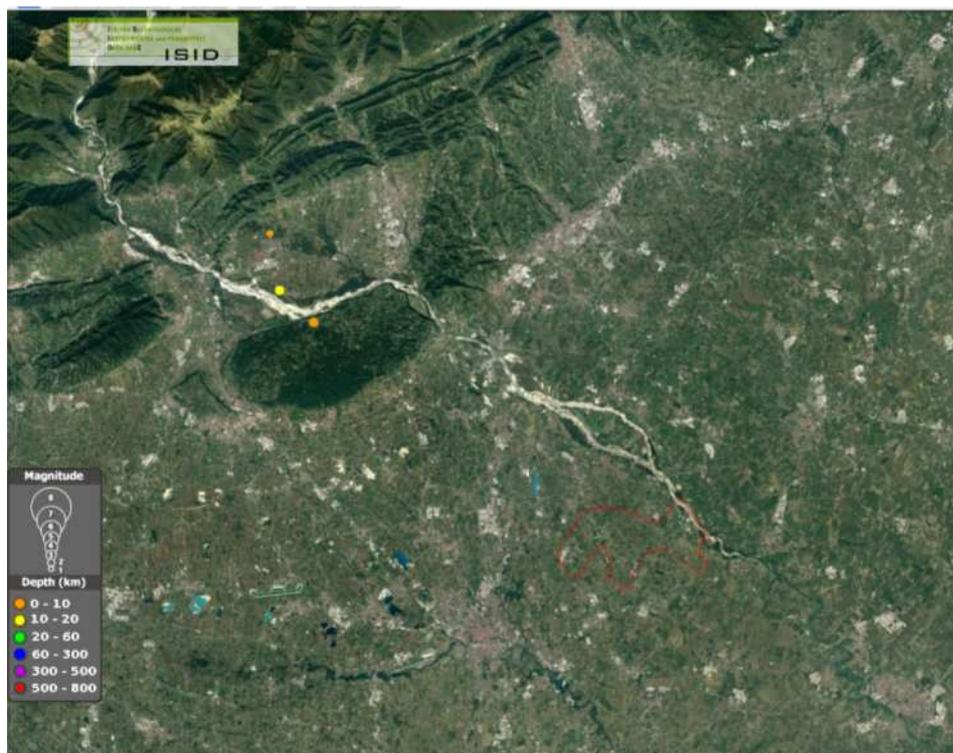




Dal catalogo ISIDe è stato inoltre possibile effettuare la ricerca degli eventi sismici con una Magnitudo compresa tra 0 e 10 che hanno interessato l'area limitrofa al comune di Breda di Piave dal 01/01/2014 al 04/07/2017. Le figure seguenti illustrano gli eventi anno per anno.



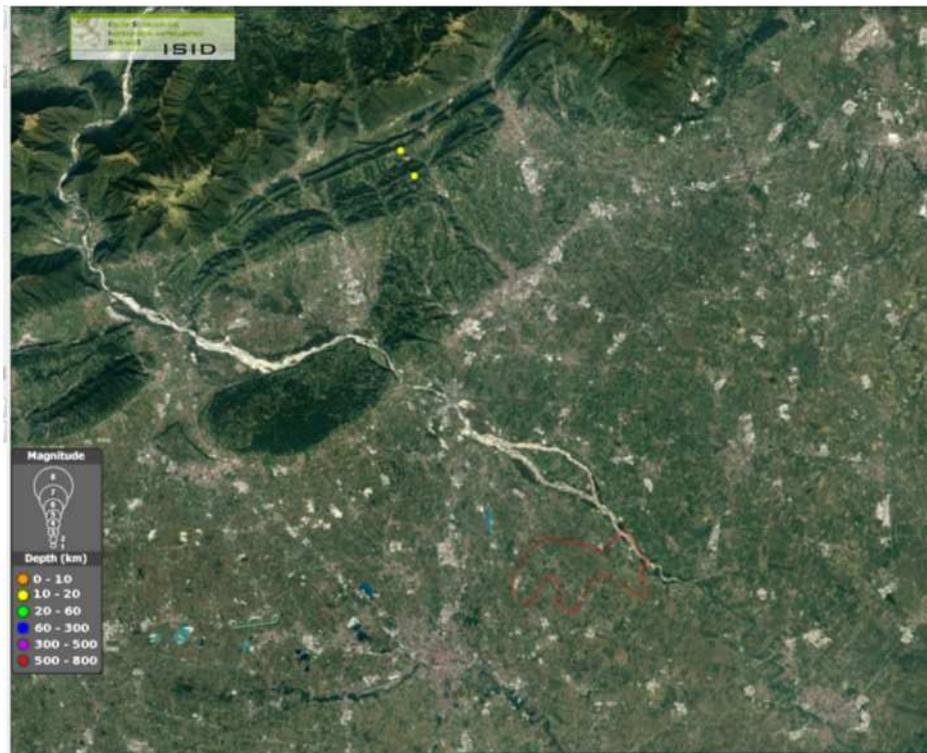
*Eventi sismici prossimi all'area di Breda di Piave nel 2014*



*Eventi sismici prossimi all'area di Breda di Piave nel 2015*



*Eventi sismici prossimi all'area di Breda di Piave nel 2016*

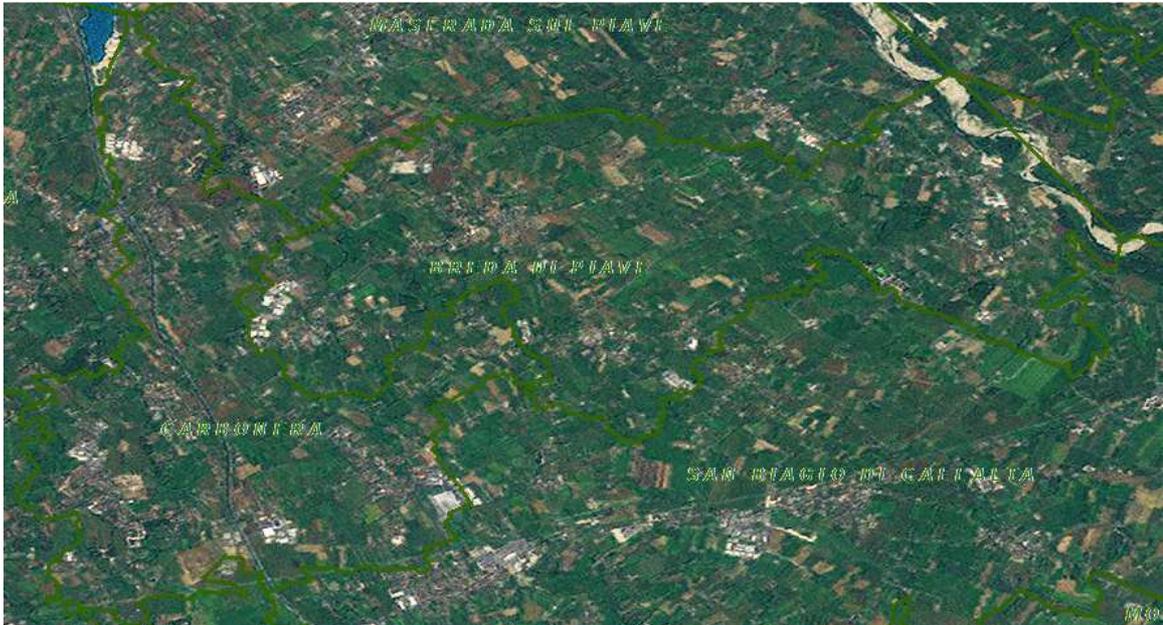


*Eventi sismici prossimi all'area di Breda di Piave dal 01/01/2017 ad oggi*



## 2.3 Faglie attive

È stato consultato l'archivio del progetto ITHACA (ITaly HAZard from CApable faults) per verificare la presenza di faglie capaci all'interno del territorio comunale. Dall'analisi del database ITHACA si è rilevato che **non è presente nessuna faglia attiva e capace all'interno del Comune di Breda di Piave.**



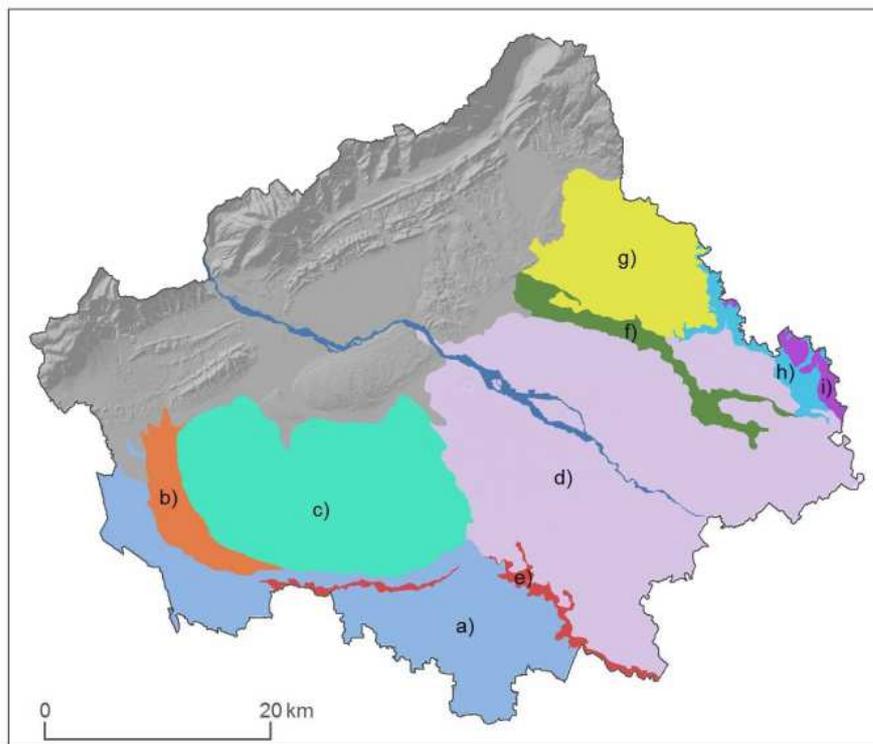
*Nel territorio comunale di Breda di Piave non sono presenti faglie attive e capaci*



### 3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

#### 3.1 Inquadramento topografico e geomorfologico

Il territorio del Comune di Breda di Piave è collocato nella pianura veneta si è formata in tempi geologicamente recenti per accumulo di materiali di origine glaciale e fluvio-glaciale da parte delle acque correnti. I vari fiumi veneti, in uscita dalle valli montane, hanno depositato i detriti trasportati creando grandi conoidi, detti megafan, interdigitati gli uni agli altri; non esistono nette linee di separazione tra di essi, anzi, durante la formazione, si sono più volte incrociati, sovrapposti ed anastomizzati, a causa del mutare frequente dei regimi idrici, del corso delle acque e del livello di base. In particolare il territorio comunale di Breda di Piave è compreso nel megafan di Nervesa. I materiali depositi vanno da grossolani a fini e sono costituiti prevalentemente da ghiaie con frazione sabbiosa variabile; solo localmente ed in superficie compaiono limitati spessori di termini più fini.



*Da ovest a est la pianura trevigiana è suddivisa in: a) megafan di Bassano; b) Muson dei Sassi; c) megafan del Piave di Montebelluna; d) megafan di Nervesa; e) depositi del Sile; f) depositi del Monticano che separano l'alta pianura del (g) megafan di Nervesa dai conoidi del Cervada-Meschio; h) depositi del Livenza che fanno da limite ad alcuni ridotti lembi del (i) megafan del Tagliamento*

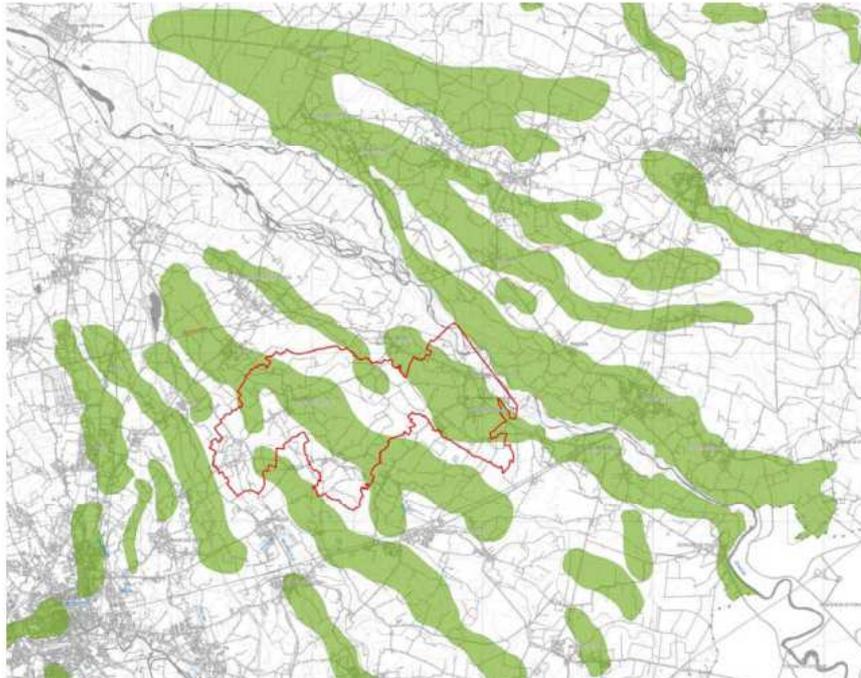
Il megafan del Piave di Nervesa costituisce un vasto settore di pianura che dal Montello giunge fino alla linea di costa. Esso ha iniziato a formarsi nel Pleistocene superiore, subito dopo l'abbandono del ramo che scendeva da Montebelluna; mostra pendenze dell'ordine del 3-4% a nord e 1.5-2% a monte dell'allineamento Treviso-Ponte di Piave (corrispondente alla fascia delle risorgive), estendendosi fin oltre Oderzo e giungendo a ridosso del Fiume Livenza.

**Alta pianura** - Il megafan si origina allo sbocco del Piave presso la stretta di Nervesa e si allarga a ventaglio. Il settore superiore, dal piede dei rilievi sino alla fascia delle risorgive costituisce l'alta pianura. In corrispondenza della linea dei fontanili si realizza la transizione con la bassa pianura (talora questa fascia viene definita media pianura) attraverso digitazioni coincidenti planimetricamente con le principali paleodirettrici fluviali. In alta pianura la tessitura prevalente dei sedimenti superficiali è ghiaioso-sabbiosa. Il Piave, caratterizzato da un tipico letto largo a canali intrecciati, attraversa l'apice



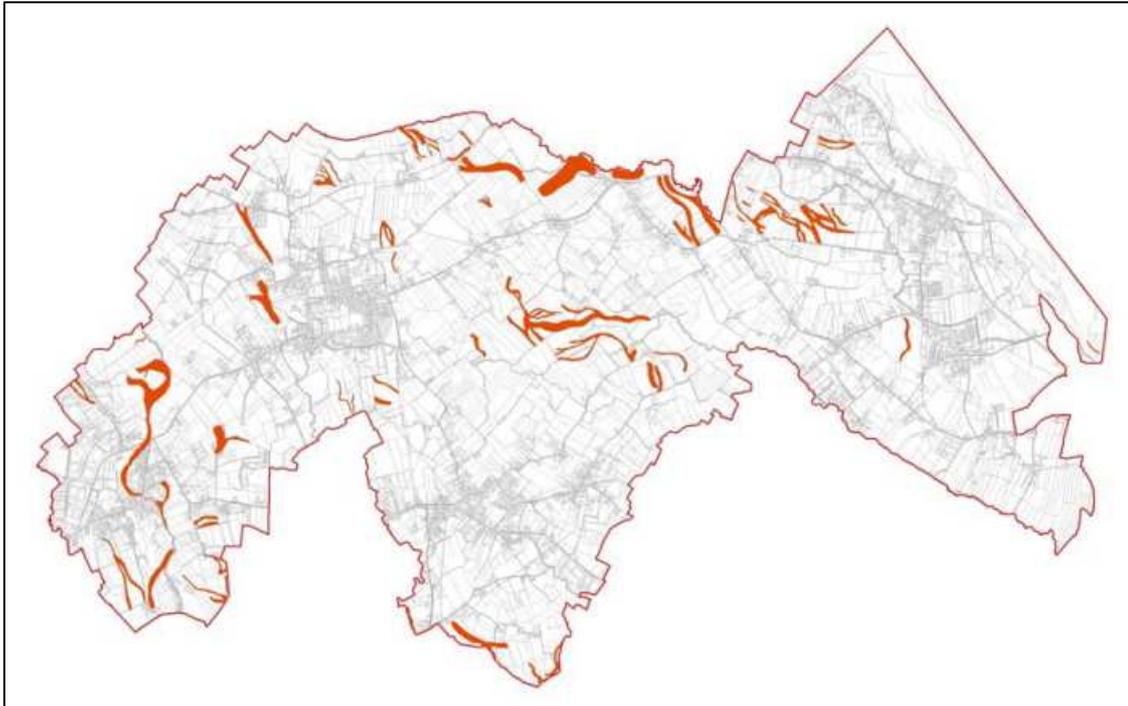
del megafan in senso mediano, in direzione sud-est. La rete idrografica è limitata prevalentemente ai percorsi artificiali e a pochi elementi naturali minori (tra i quali il Piavon). Sono numerose le tracce di paleoalvei braided, fitte e minute, addensate (ma in maniera non troppo regolare) secondo le principali direttrici di antico scorrimento del Piave. Le paleodirettrici fluviali sono rappresentate inoltre dai dossi, poco espressi, che si dispongono a ventaglio sulla superficie dell'alta pianura. Alcune datazioni eseguite su paleocanali consentono di attribuire il settore apicale del megafan di Nervesa all'Olocene medio-superiore.

**Bassa pianura-** La porzione inferiore del megafan del Piave di Nervesa è attraversata dalle antiche direttrici fluviali del Piave che si dispongono in prosecuzione dei dossi, delle lingue ghiaiose e sabbiose e di alcuni dei paleoalvei più importanti provenienti dall'alta pianura. I dossi fluviali si dispongono a ventaglio e contribuiscono a creare un paesaggio morfologicamente articolato (relativamente ai modestissimi dislivelli che competono ad un territorio di bassa pianura).



*Il confine comunale di Breda di Piave, contraddistinto dal colore rosso, risulta attraversato da una serie di dossi fluviali che si sviluppano in direzione sud-est secondo lo scorrimento delle antiche direttrici fluviali*

L'unità si estende a nord-est fino al Livenza. Sono presenti numerosi paleoalvei, spesso ben evidenti, con tracciati a bassa sinuosità, a meandri e anche braided (sabbiosi). Fasce di sedimenti più grossolani, ghiaiosi o sabbiosi, allungate nel senso dello spaglio dei sedimenti affiorano tra i depositi fini che compongono la bassa pianura (tra queste, il dosso sabbioso del Piavon). Talora i corsi di risorgiva che percorrono la bassa pianura si impostano all'interno delle depressioni di interdosso. L'età dei sedimenti è variabile con una prevalenza della sedimentazione pleistocenica ai margini più distali del conoide e sedimentazione medio olocenica in vicinanza del limite provinciale.



*Mapa dei paleoalvei cartografati all'interno del territorio comunale di Breda di Piave*

La storia della formazione recente di questo settore di territorio è dunque legata a quanto verificatosi dall'Ultimo Massimo Glaciale ad oggi; il tutto può essere così riassunto:

- deposizione di una spessa coltre di detriti grossolani distribuiti a ventaglio sulla pianura e conseguente formazione di un grande conoide con vertice presso la soglia di Nervesa-Colfosco nel corso dell'espansione e della fase di massima intensità dell'ultima glaciazione;
- avulsioni fluviali in posizione apicale con crescita lungo direttrici di deflusso principali durante l'Olocene. Sono testimoniati percorsi che arrivano fino a circa 4000 BP;
- attivazione del reticolo di risorgiva che ha determinato deboli incisioni o limitati fenomeni di deposizione, spesso lungo fasce di interdosso;
- divagazione dell'alveo attuale del Piave con recente tendenza all'erosione spondale e all'incisione verticale.

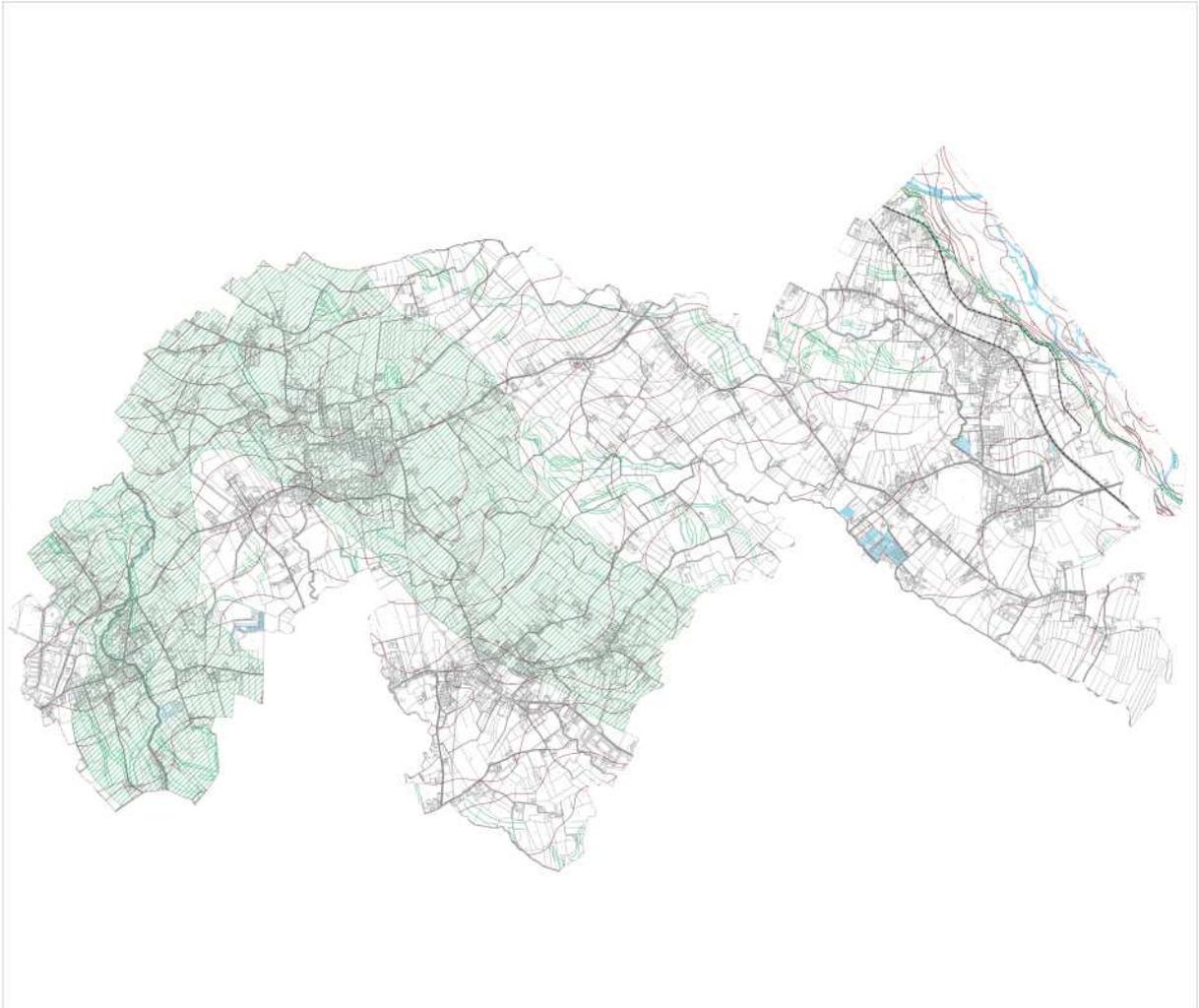
Questa storia geologica e geomorfologica è testimoniata dai seguenti elementi geomorfologici presenti nel territorio comunale e riportati nella Carta Geomorfologica del PAT:

- **Terrazzi fluviali:** forme di erosione dovute all'attività del fiume Piave. Nel territorio comunale sono caratterizzati da altezze variabili tra 1 e 5 m. Piccole scarpate sono presenti anche presso la delimitazione di alcune delle incisioni dei corsi di risorgiva o del reticolo locale. Si tratta spesso di dislivelli inferiori al metro difficilmente cartografabili e particolarmente "smussati" dalle sistemazioni agrarie moderne e recenti.
- **Paleoalvei:** Tacce di antica idrografia estinta. Quando possibile le tracce dei paleoalvei appartenenti ad una medesima direttrice fluviale sono state fra loro unite ricostruendo l'originaria continuità dell'elemento idrografico. Questo ha consentito d'individuare meglio le unità morfologiche e di correlarle più efficacemente alle divisioni litologiche superficiali. Generalmente, in carta non sono rappresentati paleoalvei di corsi di risorgiva in quanto gli attuali alvei di questi fiumi minori sono coincidenti con le direzioni da essi seguite anche nel passato.
- **Dossi fluviali:** morfologie dovute alla sedimentazione fluviale che caratterizza le aree esistenti lungo alcuni paleoalvei e alvei attualmente attivi. In carta viene rappresentata un'ampia area dossiva che presenta due ramificazioni: la più occidentale si sviluppa in direzione nord-sud in corrispondenza di Vacil, mentre la seconda, poco più ad est, si sviluppa



in direzione nordovest-sudest attraversando prima il centro abitato di Breda di Piave e successivamente la località denominata Le Marche.

- **Alveo con recente tendenza all'erosione laterale:** il tematismo è riconoscibile nell'alveo del Fiume Piave, a ridosso delle isole fluviali.



*Carta Geomorfologica redatta per il PAT di Breda di Piave (2014)*



### Forme strutturali

15 Isoipse del microrilievo con indicazione della quota (M-STR-18)

### Forme fluviali, fluvioglaciali e di versante dovute al dilavamento

Traccia di corso fluviale estinto, a livello di pianura o leggermente incassato (M-FLU-06)

Traccia di corso fluviale estinto, a livello di pianura o leggermente incassato, incerto (M-FLU-07)

Orlo di scarpata di erosione fluviale o di terrazzo: altezza inferiore ai 5 metri (M-FLU-17)

Alveo con recente tendenza all'erosione laterale (M-FLU-21)

Dosso fluviale (M-FLU-35)

### Forme artificiali

Argini principali (M-ART-25)

*Legenda della Carta Geomorfologica redatta per il PAT di Breda di Piave (2014)*

#### 3.1.1 Elementi morfologici a valenza sismica

**All'interno del territorio comunale di Breda di Piave non sono presenti elementi morfologici che possono avere valenza sismica.**

Neppure gli orli di scarpata di erosione del fiume Piave presenti nel settore orientale del territorio comunale (5 m di altezza massima), hanno un'altezza tale da permettere amplificazioni di tipo topografico.

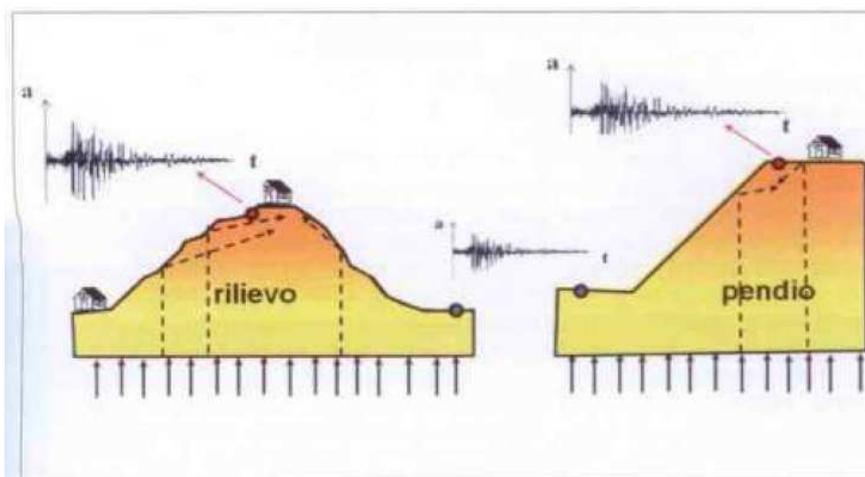


Figura 1.4 – Effetti topografici 2D o 3D: sono legati alla interazione tra onde sismiche e morfologia sup erficiale con effetti di focalizzazione delle onde sismiche (da Lanzo, 2005).

2D or 3D topographic effects: they are related to the interaction between seismic waves and surface morphology producing effects of focusing of seismic waves (from Lanzo, 2005).

*Effetti topografici*



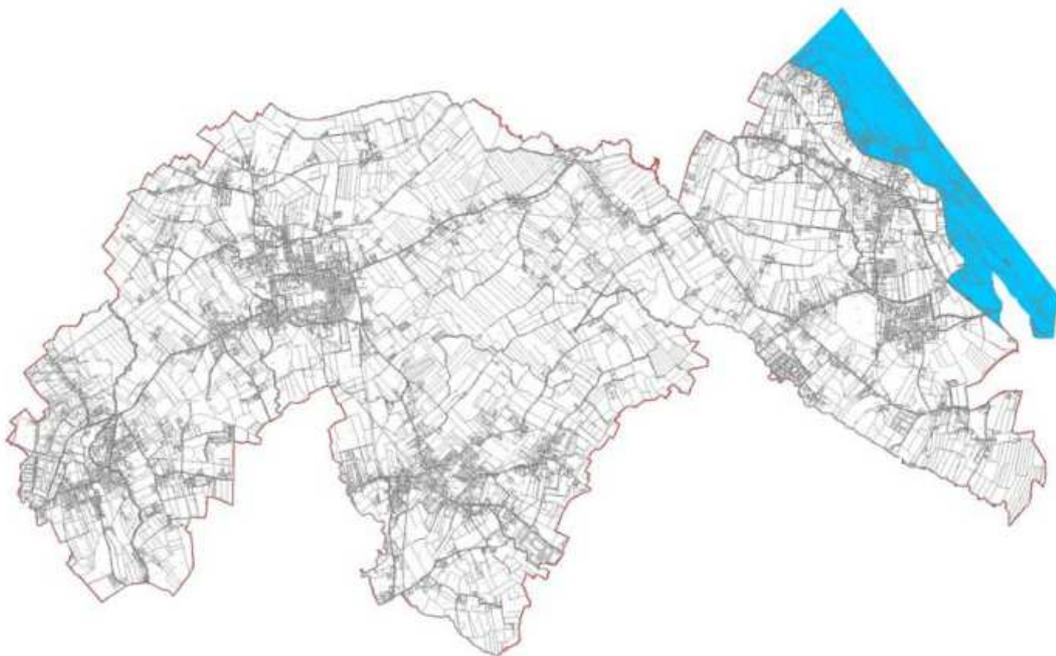
## 3.2 Inquadramento geologico

Dal punto di vista litologico stratigrafico, il territorio di Breda di Piave è composto da una grande piana occupata da depositi di origine alluvionale, suddivisa in tre parti:

- piana di divagazione recente e alveo attuale del Piave, a canali intrecciati e sub-pianeggiante, costituito da ghiaie e sabbie estremamente calcaree con isole fluviali vegetate;
- aree morfologicamente più elevate della pianura alluvionale del Piave contraddistinte da ghiaie e sabbie estremamente calcaree;
- aree pianeggianti della pianura alluvionale del Piave contraddistinte da argille e limi estremamente calcarei.

### 3.2.1 Depositi sciolti presenti nella Carta Geolitologica del PAT

#### 3.2.1.1 Piana di divagazione recente e alveo attuale del Piave



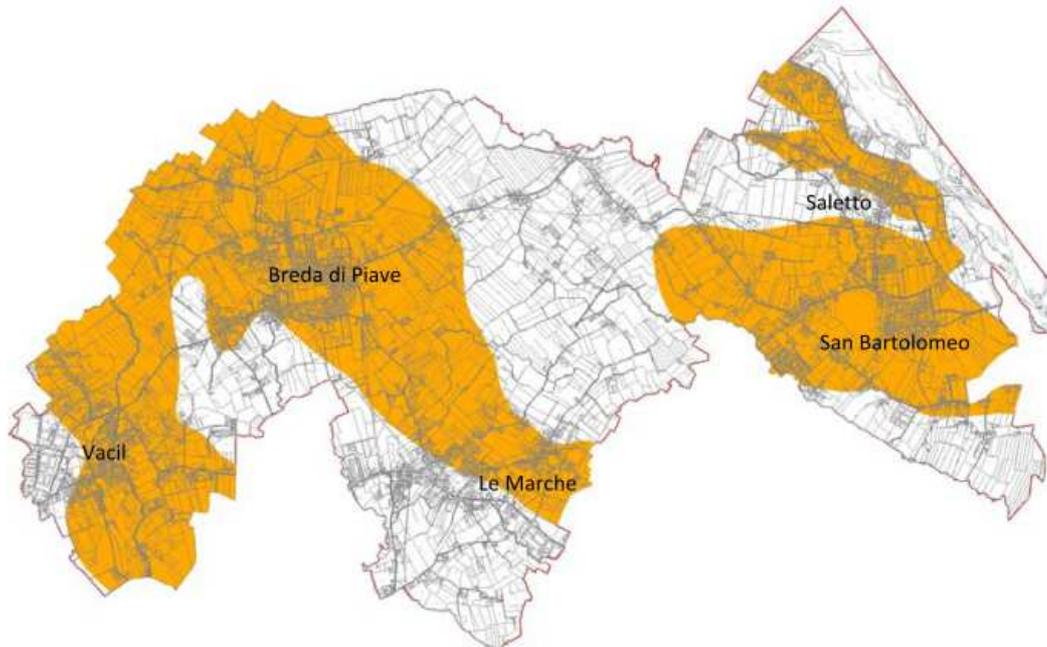
La piana di divagazione del Fiume Piave occupa la porzione più orientale del territorio comunale. In questo settore sono stati distinti i materiali sciolti stabilizzati dalla vegetazione (isole fluviali), i materiali di deposito dell'alveo mobile del Piave e le aree di esondazione recente (zone delimitate dall'argine principale e più interno).

In questa porzione di territorio ricadono due classi tessiturali:

Tipo/Codice	Descrizione
L-ALL-03	materiali sciolti di alveo fluviale recente stabilizzati dalla vegetazione
L-ALL-04	materiali sciolti di deposito recente ed attuale dell'alveo mobile e delle aree di esondazione recente



### 3.2.1.2 Pianura alluvionale del Piave contraddistinta da ghiaie e sabbie



I sedimenti ghiaioso-sabbiosi occupano una superficie considerevole del territorio comunale.

Essi sono presenti essenzialmente lungo alcune delle direttrici fluviali formate dal Piave nel passato, durante l'Olocene.

In particolare le ghiaie formano l'ampio dosso che da nord di Breda di Piave prosegue, in direzione nordovest-sudest fino alla località Le Marche e, con una seconda ramificazione, con direzione nord-sud, attraversa la frazione di Vacil. Quest'ultima direttrice è inoltre caratterizzata da una serie di paleovalvei ben definiti che si sviluppano in corrispondenza del Fiume Mignagola.

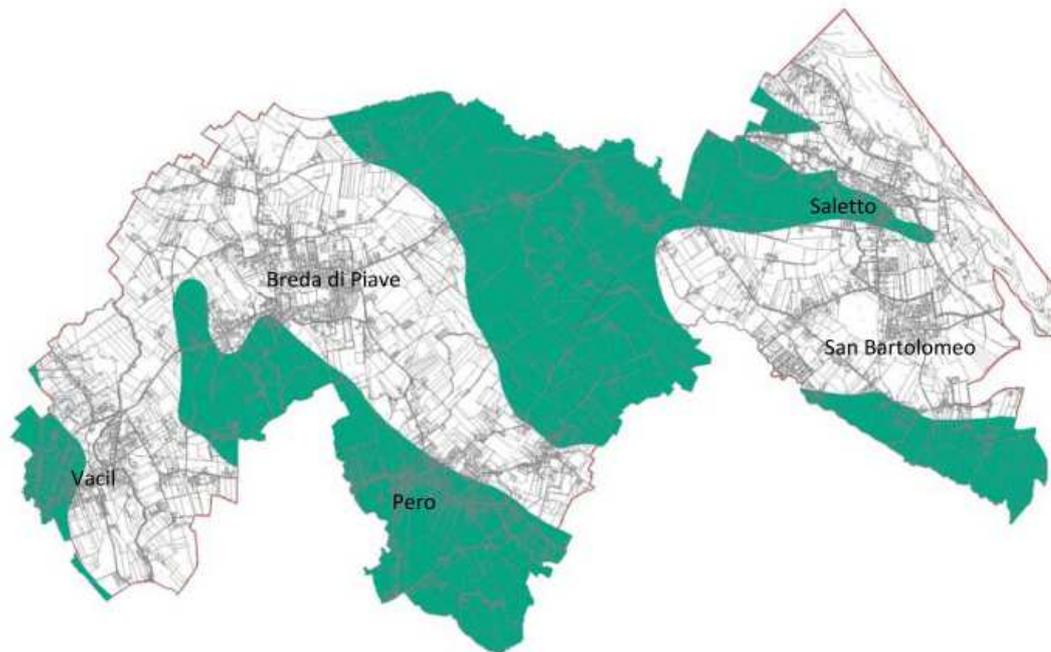
Altre zone ghiaiose e sabbiose si individuano in un settore più orientale del Comune di Breda di Piave, a ridosso della piana di divagazione del Piave, in corrispondenza delle frazioni di Saletto e San Bartolomeo.

In questa porzione di territorio ricadono due classi tessiturali:

Tipo/Codice	Descrizione
L-ALL-01	materiali granulari fluviali e/o fluvioglaciali antichi a tessitura prevalentemente ghiaiosa e sabbiosa più o meno addensati
L-ALL-06	materiali alluvionali, fluvioglaciali, morenici o lacustri a tessitura prevalentemente sabbiosa



### 3.2.1.3 Pianura alluvionale del Piave contraddistinte da argille e limi



Ampie porzioni del territorio comunale si caratterizzano per la presenza in superficie di litologie essenzialmente limose e limoso-argillose.

I terreni limosi sono presenti nel settore centrale del comune, tra gli abitati di Breda di Piave e Saletto (area contraddistinta dalla presenza di numerosi paleoalvei), in un'estesa area che si estende da sud di Breda di Piave alla frazione di Pero con direzione nordovest-sudest e in una porzione di territorio a ovest di Vacil.

Le argille si estendono essenzialmente a sud dell'abitato di San Bartolomeo.

In questa porzione di territorio ricade un'unica classe tessiturale:

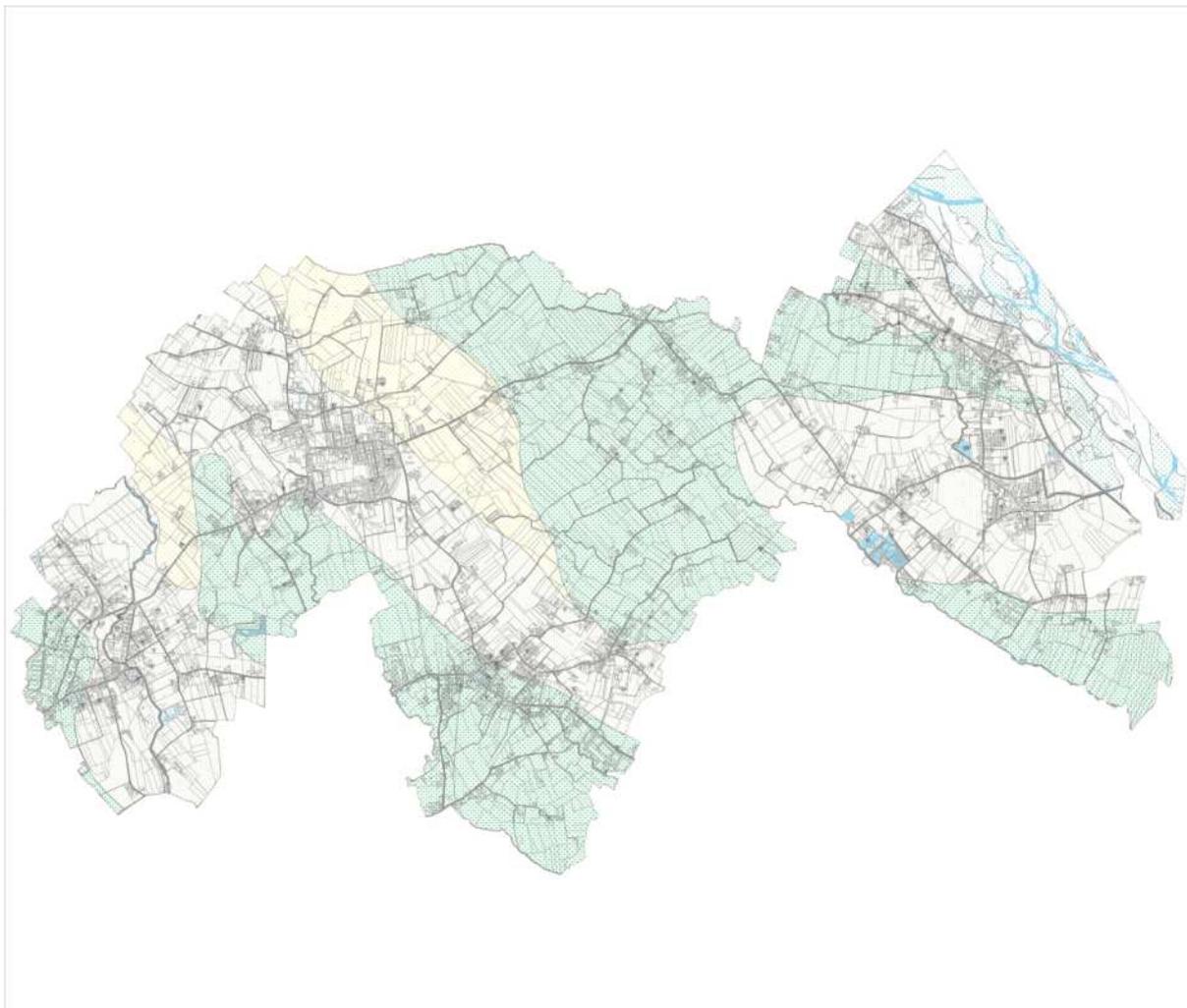
Tipo/Codice	Descrizione
L-ALL-05	materiali alluvionali, fluvioglaciali, morenici o lacustri a tessitura prevalentemente limo-argillosa



### 3.2.2 Interpretazione delle litologie presenti nel PAT nello studio di Microzonazione Sismica

Qui di seguito vengono elencate le singole litologie cartografate nella carta geolitologica del PAT con il relativo codice e la riclassificazione con i codici della Carta Geologico Tecnica redatta per il presente studio di Microzonazione Sismica:

<b>CODIFICA PAT</b>	<b>DESCRIZIONE PAT</b>	<b>CODICE MS</b>	<b>DESCRIZIONE MS</b>	<b>CODICE AMBIENTE GENETICO/ DEPOSITIO NALE</b>
L-ALL-01	materiali granulari fluviali e/o fluvioglaciali antichi a tessitura prevalentemente ghiaiosa e sabbiosa più o meno addensati	GP	Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia	tf (terrazzo fluviale)
L-ALL-03	materiali sciolti di alveo fluviale recente stabilizzati dalla vegetazione	GW	Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia	es (Argine/Barra /canali)
L-ALL-04	Materiali sciolti di deposito recente ed attuale dell'alveo mobile e delle aree di esondazione recente	GW	Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia	es (Argine/Barra /canali)
L-ALL-05 (ala)	Materiali alluvionali, fluvioglaciali, morenici o lacustri a tessitura prevalentemente limo-argillosa	ML	Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità	es (Argine/Barra /canali)
L-ALL-06 (als)	Materiali alluvionali, fluvioglaciali, morenici o lacustri a tessitura prevalentemente sabbiosa	SM	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo	es (Argine/Barra /canali)



*Carta Litologica redatta per il PAT di Breda di Piave (2014)*

**Materiali alluvionali, morenici, fluvioglaciali, lacustri, palustri e litorali**

-  Materiali granulari più o meno addensati dei terrazzi fluviali e/o fluvioglaciali antichi a tessitura prevalentemente ghiaiosa e sabbiosa (L-ALL-01)
-  Materiali sciolti di alveo fluviale recente stabilizzati dalla vegetazione e litorali (L-ALL-03)
-  Materiali sciolti di deposito recente ed attuale dell'alveo mobile e delle aree di esondazione recente (L-ALL-04)
-  Materiali alluvionali, fluvioglaciali, morenici o lacustri a tessitura prevalentemente limo-argillosa (L-ALL-05)
-  Materiali alluvionali, fluvioglaciali, morenici o lacustri a tessitura prevalentemente sabbiosa (L-ALL-06)

*Legenda della Carta Geolitologica redatta per il PAT di Breda di Piave (2014)*



### 3.2.3 Caratterizzazione geomeccanica dei litotipi

Nel territorio comunale si è potuta verificare la presenza di differenti substrati con le caratteristiche geotecniche riportate nella tabella sottostante desunte da letteratura. E' importante ricordare poi come le litologie siano variabili in profondità, sia in senso verticale che orizzontale, e che i valori della tabella sono puramente indicativi.

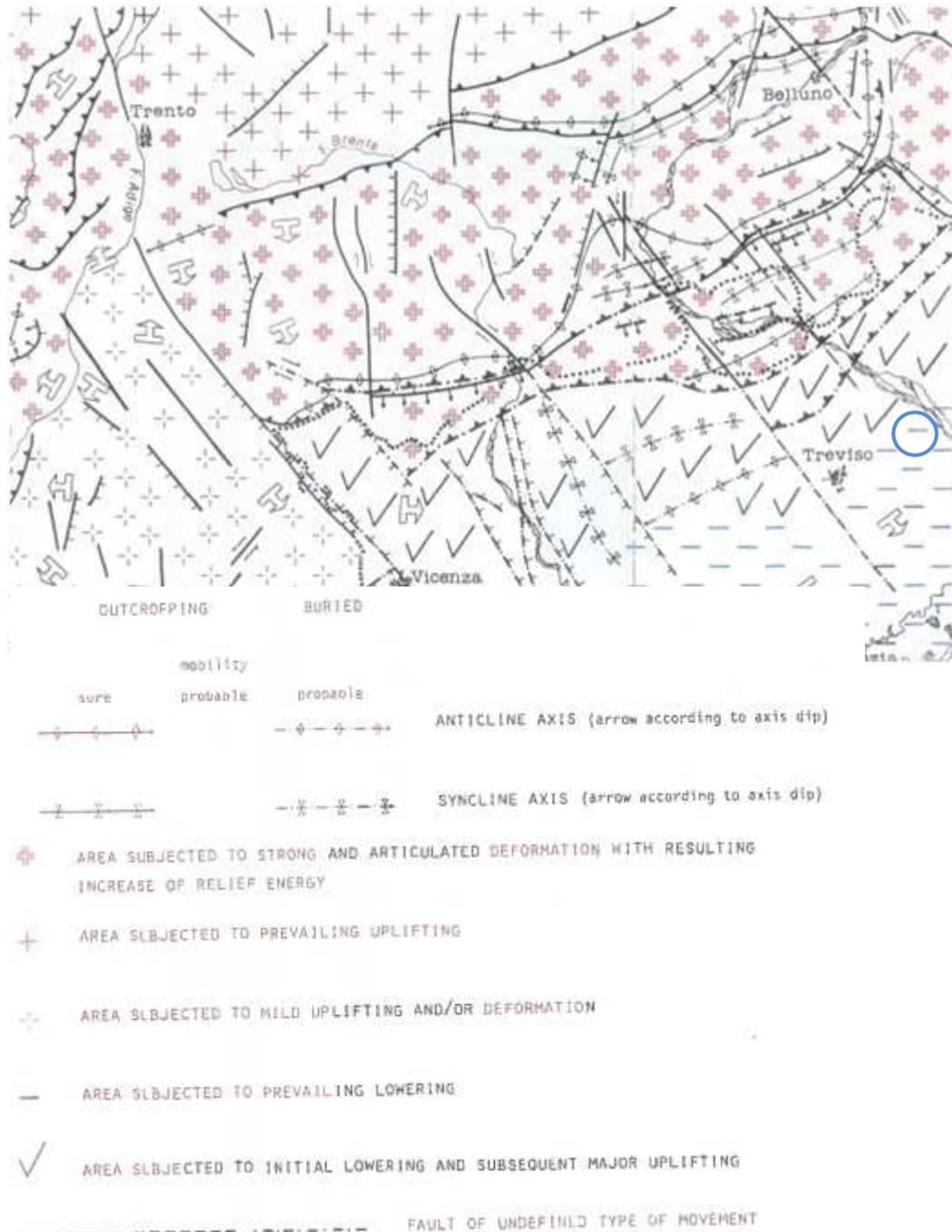
LITOLOGIA	VALORI ORIENTATIVI		
	Angolo d'attrito interno/coesione	Peso specifico kg/cm <sup>3</sup>	Resistenza alla punta (Rp) kg/cm <sup>2</sup>
Materiali granulari più o meno addensati dei terrazzi fluviali e/o fluvioglaciali antichi a tessitura prevalentemente ghiaiosa e sabbiosa	Angolo di attrito interno = 30° - 45°	1,9÷2,2	40 kg/cm <sup>2</sup> < Rp < 250 kg/cm <sup>2</sup>
Materiali alluvionali a tessitura prevalentemente limo-argillosa	Coesione = 0,25÷1,0 kg/cm <sup>2</sup>	1,7÷1,9	6 kg/cm <sup>2</sup> < Rp < 20 kg/cm <sup>2</sup>
Materiali alluvionali a tessitura prevalentemente sabbiosa	Angolo di attrito interno = 26°÷32°	1,8÷1,9	20 kg/cm <sup>2</sup> < Rp < 60 kg/cm <sup>2</sup>



### 3.3 Tettonica

Al di sotto del potente materasso alluvionale spesso varie centinaia di metri che costituisce il territorio comunale, si incontra il substrato pre-quaternario costituito da materiali con varia composizione.

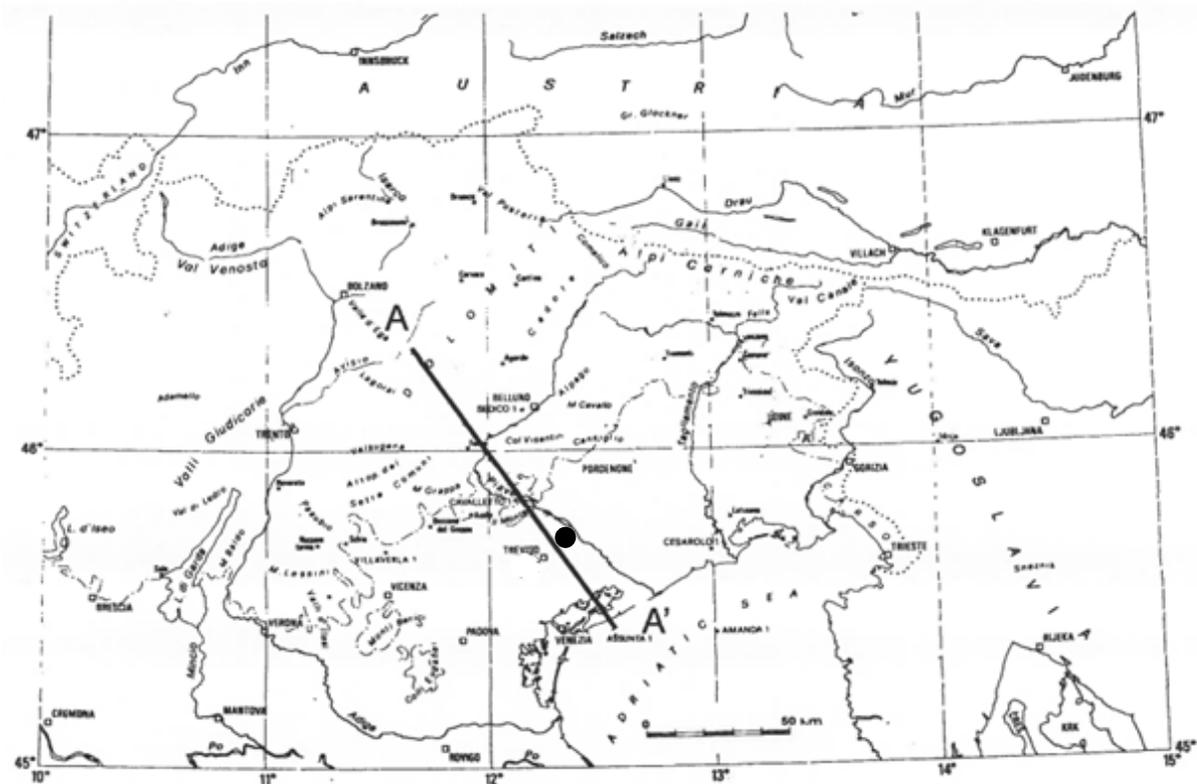
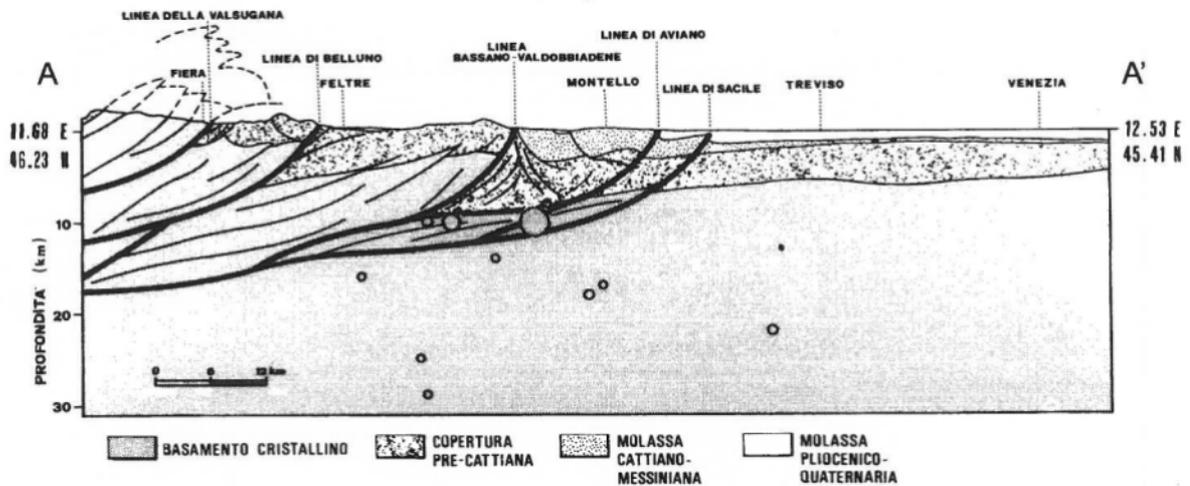
Dal punto di vista strutturale nell'area sono presenti alcune strutture attive, sia di tipo areale, sia lineare. Queste interessano fundamentalmente il basamento cristallino.



*Stralcio della Carta Neotettonica dell'Italia Nord-Orientale (da AA.VV. "Modello sismotettonico dell'Italia Nord orientale", CNR-GNDT, Rendiconto 1, Trieste 1987); nel cerchio azzurro è indicata la localizzazione di Breda di Piave*



A N si riscontra l'anticlinale del Montello, a S di questo sono collocate due faglie inverse ad alto angolo: le linee di Sacile ed Aviano. Ad W è collocata la linea di Montebelluna, faglia trascorrente sinistrorsa, in parte anche con movimento verticale.



Sezione geologica e geofisica della zona in esame e sua localizzazione; nel cerchio è indicata la localizzazione di Breda di Piave da AA.VV. "Modello sismotettonico dell'Italia Nord orientale", CNR-GNDT, Rendiconto 1, Trieste 1987)

In particolare in termini areali la zona ove sorge il Comune è caratterizzata da una fase di abbassamento relativo.



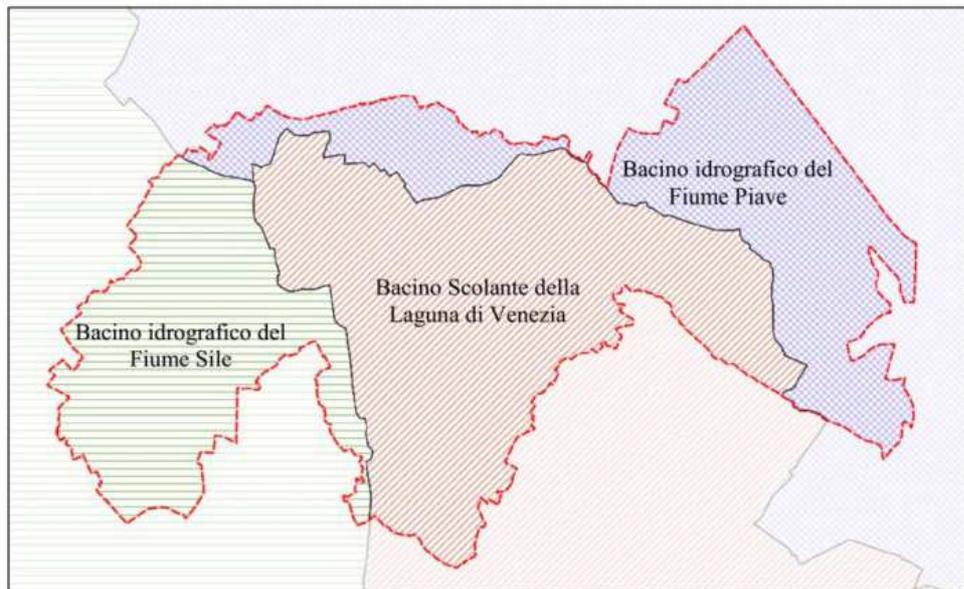
Su ampia scala il movimento in atto è caratterizzato dall'accavallamento del fronte sudalpino sull'avampaese padano-adriatico, in pratica da un forte movimento di compressione tra quanto a S dei primi rilievi e l'area che li comprende.

Risultato dei movimenti sopra descritti in atto è la sismicità del Veneto Orientale e dell'area in esame in particolare.

### 3.4 Inquadramento idrogeologico

#### 3.4.1 Idrologia di superficie

Il territorio comunale di Breda di Piave comprende parte dei bacini idrografici del fiume Piave, del fiume Sile e di quello scolante della Laguna di Venezia.



*I bacini idrografici nel comune di Breda di Piave*

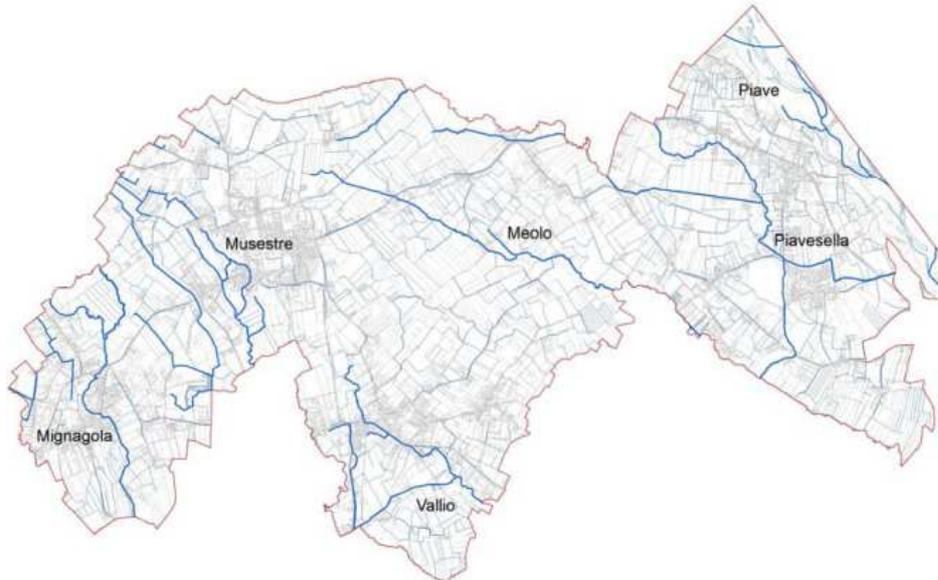
I bacini idrografici sono a loro volta articolati in sub-bacini. In particolare, il bacino del fiume Sile è costituito dai bacini del Mignagola e del Musestre; quello del bacino scolante della Laguna di Venezia è composto dai bacini del Vallio e del Meolo; quello del fiume Piave è formato dal Piave e dalla Piavesella. Alla luce di quanto emerso, gli elementi costituenti il reticolo idrografico superficiale sono:

- fiume Piave, che bagna il confine orientale del territorio comunale;
- Canale Piavesella, che scorre tra le frazioni di Saletto e San Bartolomeo;
- Fiume Musestre, fiume Vallio, rio Pero, fiume Meolo e fosso Meoletto, che sorgono all'interno del territorio comunale;
- Fiume Mignagola, rio Fossalon, rio Bagnon e fosso della Vacca, che scorrono nel territorio occidentale.



Confine Comunale

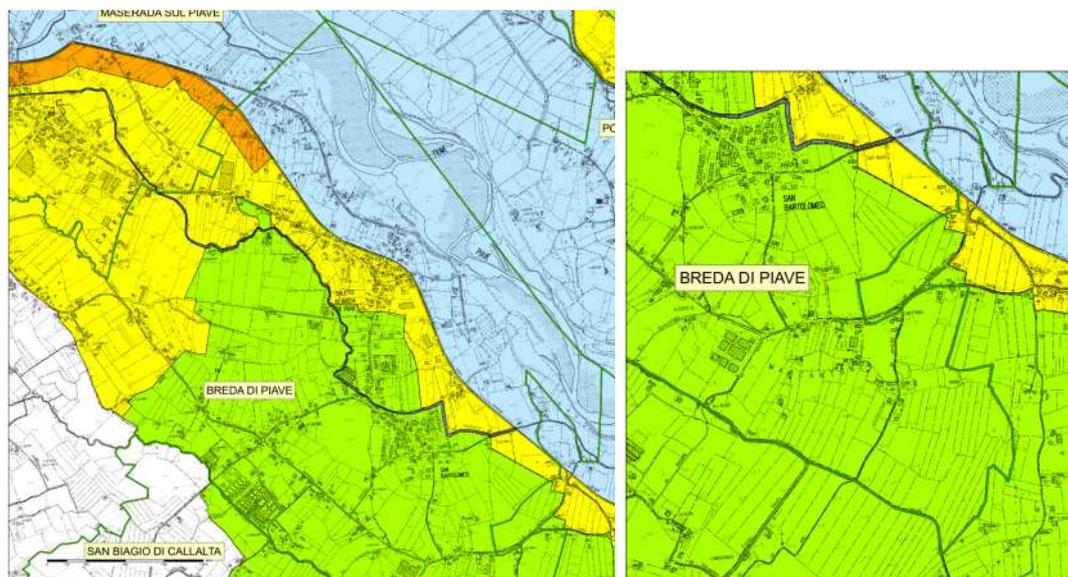
Mastella  
tica Idraulica Ambiente



*I principali corsi d'acqua in comune di Breda di Piave.*

### **3.4.2 Aree di pericolosità e attenzione idraulica del Progetto 1° variante Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino del fiume Livenza**

Nel territorio del comune di Breda di Piave è presente un'area a pericolosità idraulica P1, un'area P2, un'area P3 e un'area fluviale nel settore sudorientale del comune derivante dalle tavole 73 e 74 del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del fiume Piave.



*Stralcio delle tav. 73 (a sinistra) e 74 (a destra) della Pericolosità Idraulica del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del fiume Piave con le Aree P1, P2, P3 e Fluviale.*



### **3.4.3 Aree soggette a inondazioni periodiche (I-SUP-16)**

Sono state segnalate nel territorio di Breda di Piave numerose *aree soggette a inondazioni periodiche (I-SUP-16)*, che in alcuni casi coinvolgono zone abitate: tali aree sono soggette ad essere allagate.



Area soggetta a inondazioni periodiche (I-SUP-16)

### **3.4.1 Acque sotterranee**

Il Comune di Breda di Piave si colloca nell'unità del Piave di Nervesa, in corrispondenza del passaggio tra alta e bassa pianura, lungo la fascia delle risorgive.

La fascia delle risorgive si colloca lungo una linea ideale che si estende dal Piemonte al Friuli. Essa ha una larghezza variabile fra i 2 ed i 30 km e corrisponde, in generale, al punto di contatto fra le alluvioni permeabili (ghiaiose) dell'alta pianura e quelle più fini e meno permeabili della media pianura. Da tale fascia traggono origine alcuni dei principali corsi d'acqua della Pianura trevigiana. La transizione tra il Piave di Nervesa di alta pianura e quello di bassa pianura si realizza attraverso digitazioni coincidenti planimetricamente con le principali paleo-direttrici fluviali.

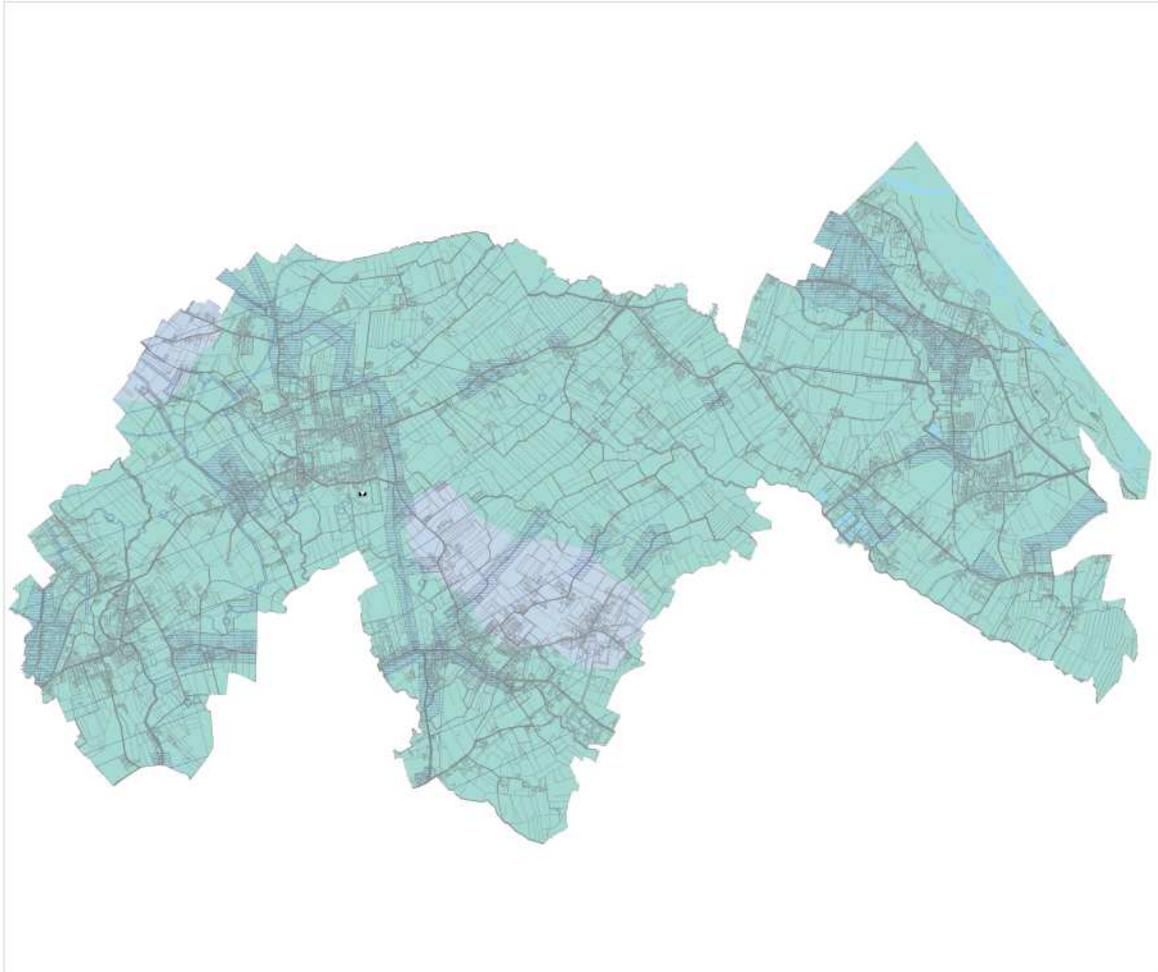
Nel territorio comunale sono state cartografate nella carta Idrogeologica del PAT 22 punti di risorgiva che creano affluenti del fiume Sile (il più grande fiume di risorgiva d'Europa), e del fiume Piave. Le risorgive, a Breda e dintorni toccano profondità massime di 1,50 - 1,80 m.



*Polla di risorgiva all'interno del Bosco degli Ontani nel comune di Breda di Piave*



La falda risulta intercettata da numerosi pozzi data la modesta profondità e la facilità di sfruttamento. Questi pozzi, il cui censimento è attualmente in fase di revisione da parte del Genio Civile di Treviso e quindi non inseriti nella Carta Idrogeologica, risultano quasi esclusivamente ad uso domestico. La soggiacenza della falda in tutto il territorio comunale è compresa fra 0 e -4 m dal piano campagna.



#### Idrologia di superficie

-  Corso d'acqua permanente (I-SUP-02)
-  Canale artificiale (I-SUP-04)
-  Sorgente (I-SUP-06)
-  Stazione meteorologica (I-SUP-12)
-  Area soggetta a inondazioni periodiche (I-SUP-16)
-  Perimetro di area interessata da risorgive (I-SUP-18)

#### Acque sotterranee

-  Area con profondità falda freatica compresa tra 0 e 2 m dal p.c. (I-SOT-01a)
-  Area con profondità falda freatica compresa tra 2 e 5 m dal p.c. (I-SOT-01b)
-  21  
Linea isofreatica e sua quota assoluta (I-SOT-03)
-  Direzione di flusso della falda freatica (I-SOT-04)
-  Limite superiore della linea delle risorgive (I-SOT-05)

*Carta Idrogeologica delle acque superficiali redatta per il PAT di Breda di Piave (2014)*



## 4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

### 4.1 Parametri geotecnici statici e dinamici ricavati da dati pregressi

Da quasi tutte le prove penetrometriche riportate nelle carte allegare al presente studio si può osservare il parametro geotecnico Rpd30; per brevità i diagrammi di queste prove sono riportati nella cartella Indagini/Documenti.

### 4.2 Nuove indagini

Per poter approfondire il livello di conoscenza del sottosuolo del comune di Breda di Piave è stata eseguita nel mese di maggio 2017 una campagna di indagine sismica durante i quali sono state effettuate 34 indagini di sismica passiva a stazione singola (HVSR), 12 indagini di sismica passiva in array (Re.Mi.) e 22 indagini MASW.

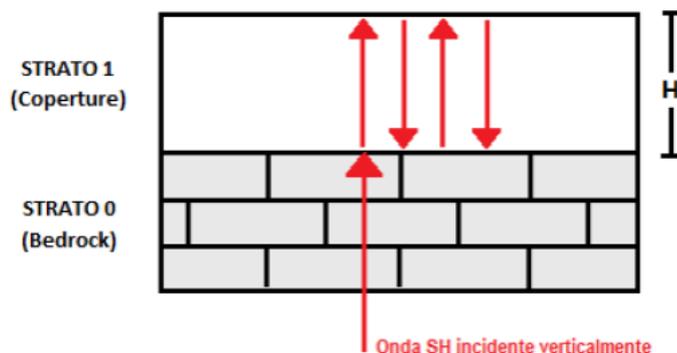
#### 4.2.1 Indagini di sismica passiva a stazione singola (HVSR)

In un sistema costituito da uno strato tenero (copertura) adagiato da un substrato rigido (bedrock) un'onda di volume SH incidente verticalmente dal basso tenderà a rimanere intrappolata nello strato tenero per riflessioni multiple (alla superficie libera, nuovamente al bedrock e così via) e darà luogo a fenomeni di risonanza per lunghezze d'onda incidenti  $\lambda = n \cdot 4H$ . Le frequenze a cui si manifesta la risonanza di detta onda sono descritte dalla legge:

$$f = n \frac{V_s}{4H}$$

$n = 1, 3, 5, \dots$

dove  $n$  indica l'ordine del modo di vibrare (fondamentale, primo superiore ecc.),  $V_s$  è la velocità delle onde di taglio nello strato che risona e  $H$  è lo spessore di detto strato (strato 1 in figura seguente). Nella maggior parte dei casi, a causa dell'attenuazione, il solo modo visibile è il fondamentale.

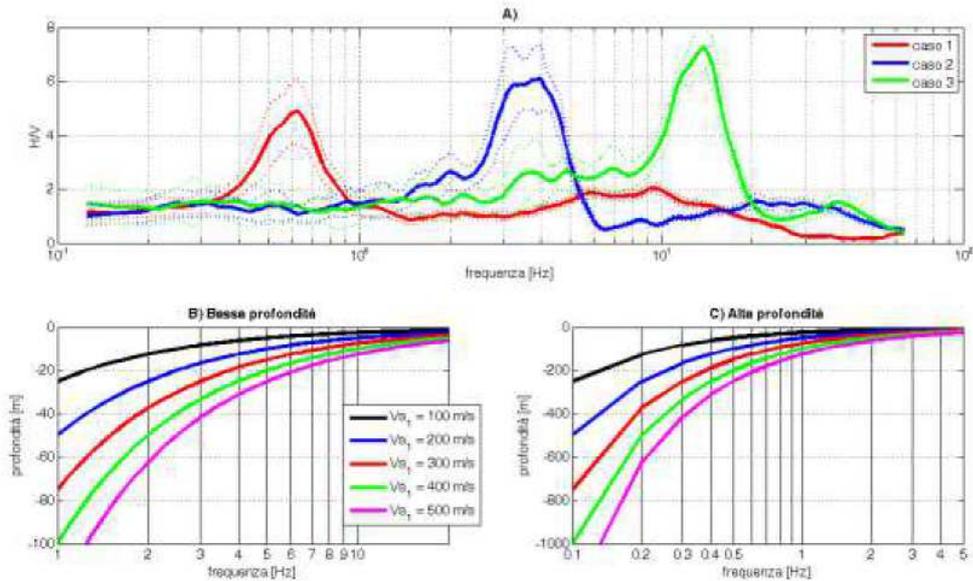


*Intrappolamento e successive riflessioni di un'onda sismica SH incidente verticalmente dal basso in uno strato di coperture di spessore  $H$  sovrastanti un substrato rigido*

La prova sismica a stazione singola viene di solita utilizzata per stimare queste frequenze di risonanza, ossia le frequenze alle quali viene amplificato il moto del terreno. La prova viene chiamata H/V (rapporto tra la componente spettrale orizzontale  $H$  e quella verticale  $V$ ) fu



applicata per la prima volta da Nogoshi e Igarashi (1970) e resa popolare da Nakamura (1989). Essa si fonda su un segnale composto per la maggior parte da onde di superficie (Rayleigh e Love) e sfrutta la proprietà per cui la componente spettrale verticale (Rayleigh) si 'annulla' in corrispondenza delle frequenze di risonanza dell'onda SH. Questo è il motivo per cui si osserva un massimo nella curva H/V in corrispondenza di queste frequenze. La tecnica H/V non ha bisogno però di un evento sismico per poter essere effettuata, in quanto il terreno è normalmente investito da un tremore ambientale continuo. Si può inoltre notare dall'equazione riportata sopra, che la tecnica H/V può fornire dati stratigrafici, in quanto conoscendo la  $V_s$  delle coperture, attraverso la  $f$  misurata si può risalire alla profondità dei riflettori sismici principali, oppure, noto lo spessore degli strati, se ne può stimare la  $V_s$ .



A) Esempio di bedrock sismico a diverse profondità che genera risonanze a diverse frequenze. Caso 1: bedrock a 300 m di profondità, caso 2: bedrock a 20 m di profondità, caso 3: bedrock a 4 m di profondità; B) relazione  $V-f$   $0-H$  alle medio-alte frequenze; C) relazione  $V-f$   $0-H$  alle medio-basse frequenze.

La relazione tra frequenza di risonanza e spessore della copertura che risuona, per diversi tipi di sottosuolo, ossia per diverse  $V_s$  delle coperture, è data nella figura precedente (B e C). In A sono presentati invece tre esempi di curve H/V misurate rispettivamente su coperture con spessori dell'ordine di diverse centinaia di metri (caso 1,  $f_0 = 0.6$  Hz), di qualche decina di metri (caso 2,  $f_0 = 3.5$  Hz) e di pochi metri (caso 3,  $f_0 = 14$  Hz).

Misure H/V effettuate su roccia sana che non amplifica daranno invece curve piatte con ampiezza circa 1 in tutto il dominio di interesse ingegneristico.

Poiché la tecnica H/V indica la frequenza di risonanza verticale locale, essa è sensibile alle variazioni stratigrafiche laterali, permettendo di discriminare geometrie 1D da geometrie 2D, entro i limiti di visibilità imposti dalla legge fisica  $f = V$  (lunghezza d'onda x frequenza = velocità).

#### 4.2.1.1 Strumentazione

Le misure di microtremore a stazione singola a scopo di *microzonazione* sismica si effettuano per mezzo di sismometri o tromometri (del tipo *ECHO TROMO HVSR3* nel presente studio) tricomponenti sufficientemente sensibili nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico (0.1-20 Hz, corrispondenti alle frequenze dei modi di vibrare della maggior parte delle



strutture). Per definirsi sufficientemente sensibile, lo strumento deve essere in grado di rilevare segnale anche nei punti più silenziosi della superficie terrestre. Di fatto non esistono modelli statisticamente affidabili che descrivono il minimo del rumore di fondo su roccia in questa banda di frequenze poiché si tratta un intervallo di modesto interesse sismologico, che tradizionalmente si concentra su frequenze inferiori.

#### 4.2.1.2 *Acquisizione*

La misura di microtremore a stazione singola deve avere una durata commisurata alla frequenza di indagine di interesse. Nella già citata ipotesi che una misura di interesse ingegneristico ricada nell'intervallo 0.1-20 Hz, segue che un campionamento adeguato deve durare 12-15 min, in modo da poter analizzare il segnale su finestre di almeno 30 s di lunghezza e da avere almeno 20-30 finestre su cui effettuare una media, considerando anche che qualcuna potrà dover essere rimossa per la presenza di disturbi che alterano lo spettro medio.

La frequenza di campionamento adeguata per questo tipo di prove non deve essere inferiore a 50 Hz, in modo da permettere una ricostruzione spettrale sino ad almeno 20 Hz. Lo strumento di misura va posto a diretto contatto col terreno e reso solidale con questo senza interfacce intermedie. La misura sismica passiva va effettuata direttamente su terreno naturale e quando questo non fosse possibile è necessario tener conto degli effetti indotti dai terreni artificiali rigidi in questo tipo di misure. L'orientamento strumentale secondo il Nord geografico, sebbene si tratti di una convenzione, è stato mantenuto in tutte le prove eseguite in questa campagna di acquisizione.

#### 4.2.1.3 *Analisi dei dati*

Nel presente studio di Microzonazione Sismica è stato utilizzato il software Grilla (2015) Rel. 7.0 per l'elaborazione e l'analisi dei dati acquisiti attraverso il tromometro.

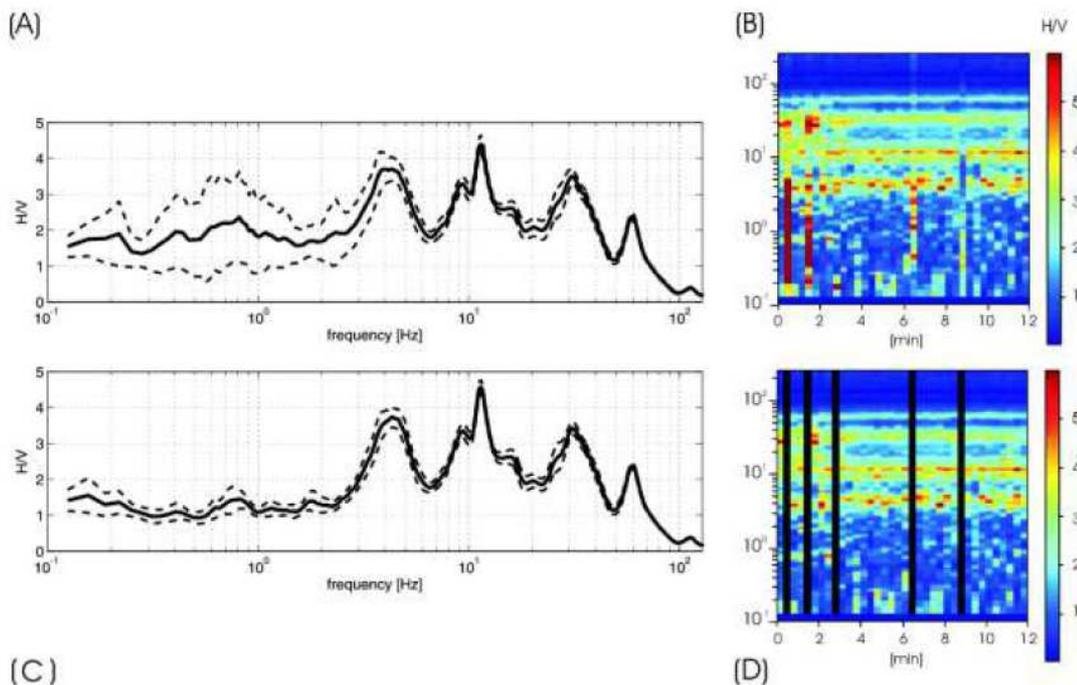
Le serie temporali registrate nelle tre componenti del moto vengono analizzate secondo procedure spettrali di vario tipo (FFT, wavelet, ecc.) fino alla produzione delle curve H/V, dove H è la media di due componenti spettrali orizzontali ortogonali. Si rimanda a SESAME (Site EffectS Assessment using Ambient Excitations, 2005) per uno dei possibili esempi di protocollo di analisi. Prima di qualsiasi interpretazione delle curve H/V sono indispensabili due accorgimenti:

1. la curva H/V deve essere statisticamente significativa, ossia essere caratterizzata da una deviazione in ampiezza e in frequenza ridotta. Quando questa caratteristica non sia presente sin dall'inizio, essa va ricercata tramite una pulizia del tracciato. Esistono diversi metodi per "pulire" una curva H/V. SESAME (2005) propone la rimozione nella serie temporale di quelle finestre caratterizzate da una deviazione del segnale (STA, media a breve termine) maggiore della media a lungo termine (LTA). Tuttavia le procedure che propongono la rimozione dei disturbi sulla base della serie temporale non appaiono le più indicate quando l'obiettivo è pulire una curva che è funzione della frequenza. La pulizia deve infatti essere rivolta alla ricerca di un rapporto H/V stabile e quindi alla rimozione delle sole finestre in cui questo rapporto risulti alterato, a parità di frequenza, tra i canali H e i canali V. Questo tipicamente avviene in presenza di segnali di natura impulsiva, che presentano cioè spettri bianchi. Un esempio di pulizia del segnale nel dominio delle frequenze è dato nella figura seguente;

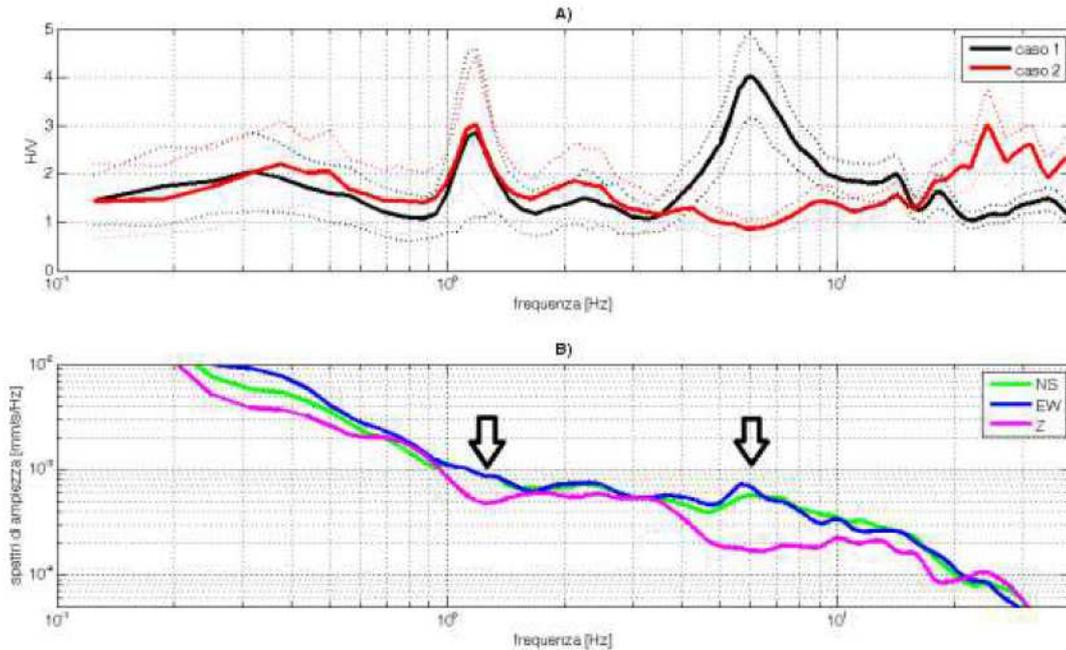


- le curve H/V non vanno mai osservate da sole ma sempre congiuntamente agli spettri delle singole componenti da cui derivano. Questo permette di discernere agevolmente i picchi di natura stratigrafica da quelli di natura antropica. In condizioni normali le componenti spettrali NS, EW e Z (verticale) hanno ampiezze simili. Alla frequenza di risonanza si genera un picco H/V legato ad un minimo locale della componente spettrale verticale che determina una forma "a occhio" o "a ogiva". Questa forma è indicativa di picchi H/V di origine stratigrafiche.

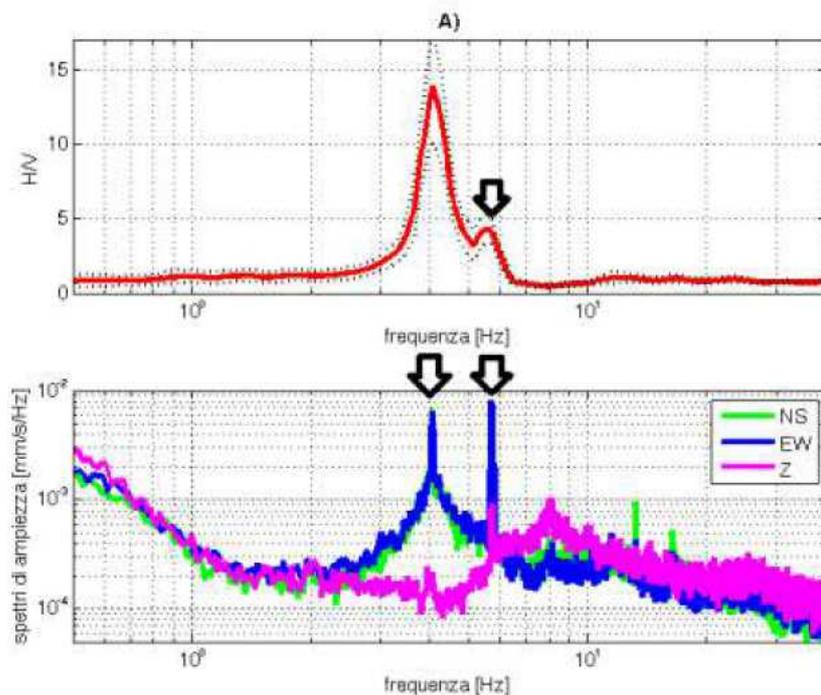
E' evidente però che in una misura di tremore entrano anche vibrazioni monofrequenziali (artefatti) indotte da macchinari o simili. Queste si traducono in picchi stretti (delta) ben definiti su tutte e tre le componenti spettrali e quando l'ampiezza sulle tre componenti non è simile, danno luogo a picchi o gole artefattuali nelle curve H/V. La differenza nei pattern spettrali tra il caso naturale e quello artefattuale rende agevole la distinzione dei picchi H/V stratigrafici da quelli antropici, in modo particolare lavorando su spettri poco lisciati.



*Pulizia della curva H/V nel dominio delle frequenze. (A) curva H/V media e deviazione standard non pulita; (B) serie temporale degli H/V per ciascuna finestra di analisi della durata di 20 s (ordinata: frequenze, ascissa: tempi, colore: H/V); (C) curva H/V e deviazione standard dopo la rimozione dei disturbi; (D) serie temporale degli H/V per ciascuna finestra di analisi della durata di 20 s (ordinata: frequenze, ascissa: tempi, colore: H/V). Le bande nere verticali indicano le finestre rimosse perché caratterizzate da disturbi che alterano l'H/V medio*



A) Esempi di curve H/V registrate a 40 m di distanza. Nella curva 1 emerge un picco a 6 Hz legato alla presenza di un livello di ghiaie a 12 m di profondità che è assente nella curva relativa al sito 2. Nel dominio delle medio-basse frequenze le curve sono statisticamente uguali. B) Spettri delle singole componenti del moto (NS, EW e Z) registrati nel sito 1. Le frecce evidenziano le forme "a ogiva" caratterizzate da un minimo locale della componente verticale che caratterizzano i picchi H/V di natura stratigrafica



Esempio di picco H/V stratigrafico (4 Hz) cui sono sovrapposti due artefatti (a 4 e 6 Hz) di origine antropica. La curva H/V è lisciata al 10% della frequenza centrale, gli spettri delle singole componenti non sono lisciati

Nel 2005 il progetto SESAME stabilì una serie di criteri per la valutazione della significati



statistica dei picchi H/V.

La prima parte di questi criteri, individuata la frequenza del picco H/V, verifica se la registrazione è stata effettuata per un periodo statisticamente significativo e se l'analisi è stata condotta secondo i principi base della statistica.

La seconda parte di questi analizza la geometria del picco e dice semplicemente se il picco ha una forma ben definita. Questa parte dei test SESAME va interpretata con cognizione di causa perché solo un contatto netto tra litotipi diversi dal punto di vista meccanico genera picchi netti. Al contrario, le transizioni gradualmente (per es. roccia fratturata su roccia sana, passaggi da limo-argilloso a sabbia-limosa, alternanze di lave con vario grado di alterazione ecc.) generano più spesso amplificazione in una banda larga di frequenze. In questo caso eventuali non superamenti dei criteri SESAME non significano che non ci siano risonanze importanti ma solo che non ci sono picchi singoli ben definiti. La seconda parte dei criteri SESAME (2005) risulta chiaramente non soddisfatta nei siti che non presentano amplificazione.

**I criteri SESAME (2005) considerano significativi solo picchi con ampiezza H/V superiore a 2.**

#### **4.2.2 Metodo MASW**

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica geofisica di indagine non invasiva del sottosuolo basata sulla dispersione geometrica delle onde superficiali, in particolare delle onde Rayleigh. La dispersione delle onde Rayleigh è un fenomeno per cui differenti lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità (velocità di fase), campionando diversi strati in profondità; in un terreno eterogeneo verticalmente quindi, la velocità di propagazione delle onde Rayleigh risulta essere strettamente dipendente dalla frequenza. Le onde con frequenze elevate (basse lunghezze d'onda) si propagano nelle porzioni meno profonde, vicino al piano campagna, e danno informazioni relative alle proprietà meccaniche di quelle zone, mentre le componenti di bassa frequenza coinvolgono gli strati più profondi.

L'acquisizione dei dati inerenti alla dispersione delle onde superficiali viene effettuata per mezzo di diversi ricevitori (accelerometri o geofoni) posizionati in maniera adeguata sul piano campagna; una volta registrati i dati relativi alla propagazione delle onde nel sottosuolo, questi vengono analizzati ed elaborati attraverso complesse tecniche computazionali che permettono di ottenere l'informazione desiderata; le applicazioni principali del metodo MASW sono la ricostruzione del profilo di velocità delle onde di taglio, la classificazione dei terreni di fondazione e la determinazione della profondità del substrato.

La procedura standard per la realizzazione di un'indagine basata sulla dispersione delle onde superficiali consiste in tre fasi; la prima è l'acquisizione dei dati di campagna, la seconda è l'elaborazione del segnale registrato per ricavare la curva di dispersione sperimentale ed infine la terza fase riguarda il processo d'inversione mirato a stimare le proprietà del sito investigato.

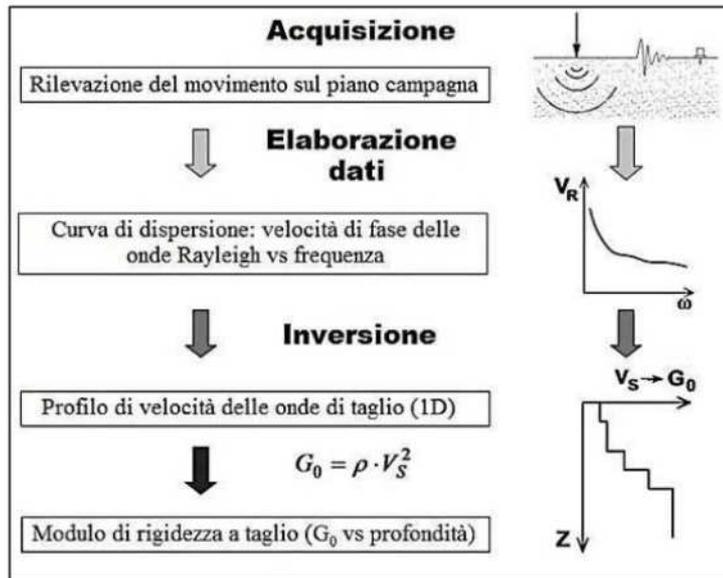


Diagramma di flusso relativo alle indagini basate sulla dispersione delle onde superficiali (da Foti, 2005).

La scelta dell'attrezzatura e della configurazione dei ricevitori, è strettamente connessa all'obiettivo dell'indagine che si vuole eseguire e alla tecnica che si utilizzerà per eseguire l'interpretazione dei dati elaborati; esistono infatti alcune indicazioni pratiche che risultano essere utili nella scelta dei parametri di acquisizione sia nel tempo che nello spazio: tra le principali si consiglia che la lunghezza dello stendimento debba essere almeno il doppio della profondità di investigazione desiderata, l'utilizzo di geofoni a bassa frequenza (4,5 Hz per indagini geotecniche) spaziali di una distanza compresa tra 1 e 5 metri e che la durata della registrazione sia sufficiente per acquisire l'intero treno d'onde.

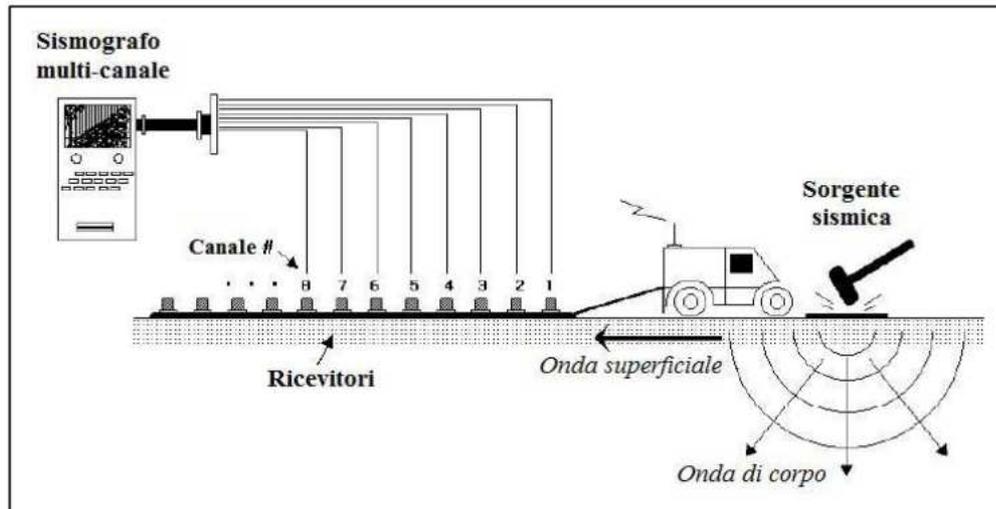
È importante ricordare che le onde Rayleigh viaggiano in una zona spessa circa una lunghezza d'onda dal piano campagna e sono informative delle caratteristiche di questa porzione di terreno; inoltre la relazione tra frequenza, lunghezza d'onda e velocità di fase comporta che l'intervallo di frequenza di interesse sia strettamente connesso ai materiali che devono essere investigati (es. in terreni soffici, una penetrazione profonda richiede componenti di bassa frequenza).

Generalmente i segnali vengono acquisiti nel dominio spazio-tempo in modo tale da poter essere reinterpretati con differenti tecniche d'elaborazione; l'informazione relativa alla propagazione delle onde superficiali è contenuta nei segnali e, come detto precedentemente, può essere estratta attraverso differenti tecniche computazionali.

#### 4.2.2.1 Strumentazione

Nell'esecuzione di un'indagine sismica basata sulla dispersione delle onde superficiali, sono indispensabili i seguenti strumenti:

- ricevitori singoli o multipli;
- un dispositivo di acquisizione dei segnali sismici (sismografo);
- una sorgente di onde sismiche (nel caso di metodi attivi).



*Configurazione schematica della strumentazione utilizzata per eseguire un'indagine MASW (da Park et al., 2001).*

Il metodo MASW utilizza un numero multiplo di ricevitori disposti generalmente in maniera lineare e spazati di una stessa distanza; ciascun ricevitore è collegato inoltre ad un unico dispositivo di registrazione. Il tipo di ricevitori e la loro interdistanza sono scelti solitamente in relazione con la profondità d'investigazione che si vuole raggiungere; ad esempio se si vogliono avere informazioni su strati profondi, è necessario utilizzare geofoni a bassa frequenza. Nella pratica comune si usano geofoni a 4,5 Hz che possono essere maneggiati con più facilità e che sono meno costosi rispetto ai geofoni a minor frequenza.

Il dispositivo di acquisizione può essere di diversi tipi; la sua funzione principale è digitalizzare e registrare i segnali elettrici analogici generati dai ricevitori.

Nei metodi attivi l'onda viene generata da una sorgente di onde sismiche; diversi tipi di sorgenti sismiche possono essere utilizzate a seconda del range di frequenza di interesse per l'applicazione: ad esempio facendo uso di semplici mazze si ottengono segnali ad alta frequenza (7-200 Hz) mentre aumentando la massa che genera le onde si possono avere segnali a bassa frequenza (2-40 Hz). Le sorgenti pesanti sono quindi necessarie per investigare gli strati più profondi mentre quelle più leggere sono utili per caratterizzare le porzioni più superficiali del sottosuolo.

Lo stendimento dei ricevitori utilizzato nel metodo MASW è composto da geofoni multipli collocati lungo una linea rettilinea e la sorgente è posta ad uno dei due capi dell'array.

Un'operazione molto importante da eseguire è la scelta dei parametri di campionamento sia nel tempo che nello spazio; i parametri di campionamento nel tempo vengono impostati direttamente sul dispositivo di acquisizione, mentre quelli nello spazio sono determinati dalla geometria dello stendimento e sono soggetti ad alcune restrizioni dovute ad esempio al numero di ricevitori disponibili e all'estensione del sito. Nella pratica comune si utilizza un'interdistanza costante tra i geofoni, questo perché i processi successivi di elaborazione dei dati risultano essere più semplici. È importante ricordare che una spaziatura elevata tra i ricevitori permette di rilevare ampie lunghezze d'onda e di caratterizzare quindi gli strati più profondi; allo stesso tempo però, l'attenuazione delle componenti ad alta frequenza, provoca la perdita delle informazioni contenute in queste frequenze e la conseguente diminuzione della risoluzione nella parti superficiali del terreno. Per quanto riguarda invece la scelta dei parametri di acquisizione nel tempo, essa è in relazione con il range di frequenza di interesse dell'operatore (es. 5-100 Hz per applicazioni ingegneristiche); un passo di campionamento di

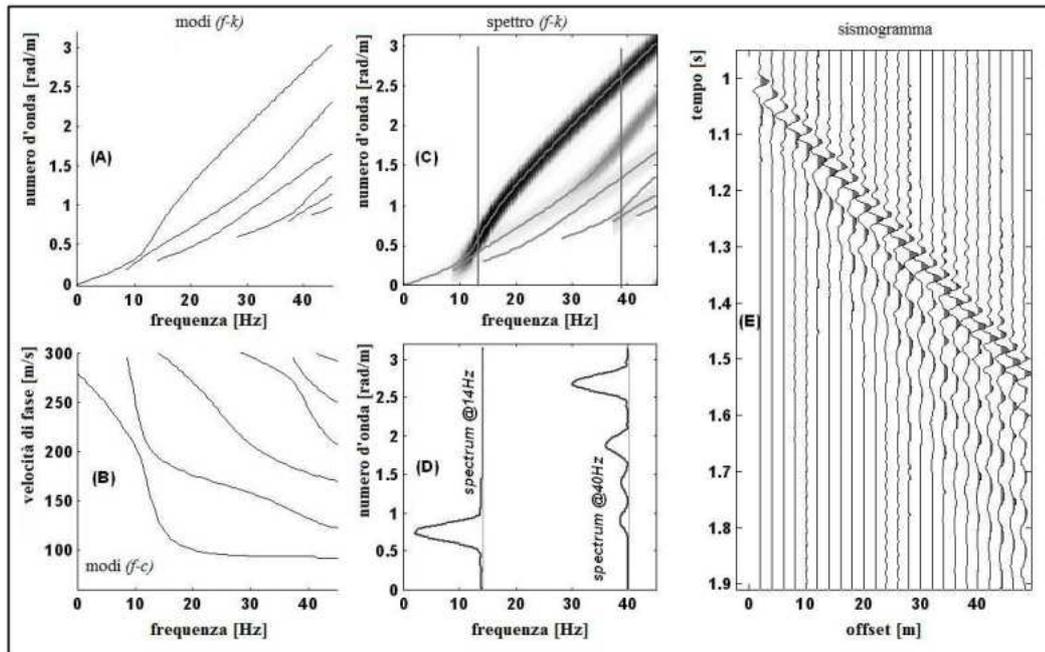


2 ms (corrispondente ad una frequenza di Nyquist di 250 Hz) è solitamente sufficiente per le analisi basate sulla dispersione delle onde superficiali poiché la risoluzione nel dominio del tempo non è molto rilevante. La lunghezza totale del segnale nel tempo è in relazione all'intervallo di frequenza del segnale trasformato nel dominio della frequenza, quindi è importante avere una finestra di acquisizione di almeno 1 s (frequenza di risoluzione di 1 Hz); in ogni caso è necessario che l'intero evento venga registrato.

#### 4.2.2.2 *Elaborazione dati*

La fase successiva all'acquisizione dei dati di campagna riguarda tutti processi relativi alla loro elaborazione. I dati vengono dunque trattati attraverso diverse procedure che permettono di stimare la cosiddetta curva di dispersione sperimentale, ovvero la relazione tra la velocità di fase e la frequenza. Tali procedure ricorrono ad una varietà di strumenti per l'analisi del segnale basati principalmente sulla trasformata di Fourier. Facendo uso dell'analisi di Fourier infatti, è possibile separare le differenti componenti della frequenza di un segnale, le quali vengono successivamente utilizzate per stimare la velocità di fase attraverso diversi approcci in relazione alle caratteristiche dell'indagine svolta e al numero di ricevitori.

I metodi di elaborazione dei dati basati sulla trasformata di Fourier sono i più utilizzati e consistono nella trasformazione dei dati sperimentali dal dominio spazio-tempo a domini differenti, nei quali la curva di dispersione viene agevolmente ricavata dai massimi spettrali. Ad esempio applicando una doppia trasformata di Fourier ai dati di campo, la curva di dispersione può essere identificata come i massimi nel grafico frequenza-velocità di fase (f-c). L'equazione che sta alla base del metodo MASW è l'equazione del movimento relativa ad un mezzo lateralmente omogeneo, assumendo un campo di deformazione piano e imponendo le condizioni al contorno relative alle onde in un semispazio con una superficie libera; dopo aver imposto la condizione di continuità dello sforzo e della deformazione alle interfacce degli strati, il risultato che si ottiene è un problema lineare differenziale di autovalori. Tale problema presenta una soluzione non nulla solamente per determinati valori del numero d'onda; questa soluzione, relativa ad un sistema stratificato, si trova stabilendo una relazione particolare tra la frequenza e il numero d'onda: l'equazione che ne risulta è conosciuta come la funzione secolare di Rayleigh. Per una determinata frequenza, può esistere una soluzione solamente per specifici valori del numero d'onda: nei sistemi verticalmente eterogenei questo fatto si traduce in una funzione polidroma della frequenza che rappresenta le curve modali. Sebbene ad una singola frequenza, gli autovalori implicano una serie di soluzioni discrete possibili, ciascuna con un massimo di energia concentrato in corrispondenza di uno specifico numero d'onda, la dispersione produce comunque dei lobi nel grafico f-k. Una volta stimati i numeri d'onda per ciascuna frequenza, questi valori vengono utilizzati per costruire la curva di dispersione sapendo che la velocità di fase è pari al rapporto tra la frequenza e il numero d'onda.



*Schema della procedura comunemente adottata per ricostruire una curva di dispersione. I grafici (A) e (B) rappresentano le curve modali rispettivamente in  $f-k$  e in  $f-c$  mentre il grafico (C) mostra lo spettro  $f-k$  nel quale il primo modo di propagazione è dominante. Il riquadro (D) evidenzia i lobi prodotti dalla dispersione nel dominio  $f-k$  mentre il grafico (E) è il sismogramma di partenza (da Strobbia et al., 2004).*

Nella pratica comune, per procedere con l'elaborazione dei dati, si assume che la maggior parte dell'energia sia associata al modo fondamentale di propagazione delle onde di Rayleigh.

Nel presente studio di Microzonazione Sismica l'acquisizione dei dati di campagna per quanto riguarda le indagini MASW è stata eseguita tramite un array lineare totalmente digitale (modello ECHO 24/2002 Seismic Unit), costituito da 12 geofoni da 4,5 Hz. Ogni geofono è collegato, tramite un cavo sismico a 12 take-outs ciascuno spaziato a 5 metri con connettore "cannon" NK27, al sismografo, presso il quale la curva di dispersione frequenza-velocità di fase ( $f-c$ ) viene ricostruita mediante il software "Easy MASW"; la sorgente sismica utilizzata è una mazza di 6 kg (sorgente impulsiva) posta ad una distanza di 2 metri dal primo ricevitore mentre i parametri di campionamento del segnale sono un tempo di campionamento di 0.000131 s e una finestra di acquisizione di 1 secondo. Dopo aver ricostruito la curva di dispersione sperimentale si è proceduto all'individuazione dei massimi della velocità di fase ad intervalli di frequenza regolari (picking); in queste indagini si è deciso di eseguire l'operazione di picking solamente per le frequenze superiori ai 5-6 Hz per il semplice motivo che una mazzata non riesce a generare frequenze al di sotto dei 5-6 Hz. Eliminando i dati relativi alle frequenze inferiori a 5 Hz, si diminuisce il margine di errore del modello finale aumentandone l'affidabilità. I valori individuati durante la fase di picking, sono delle coppie frequenza-velocità di fase che verranno utilizzate nel processo d'inversione finale.

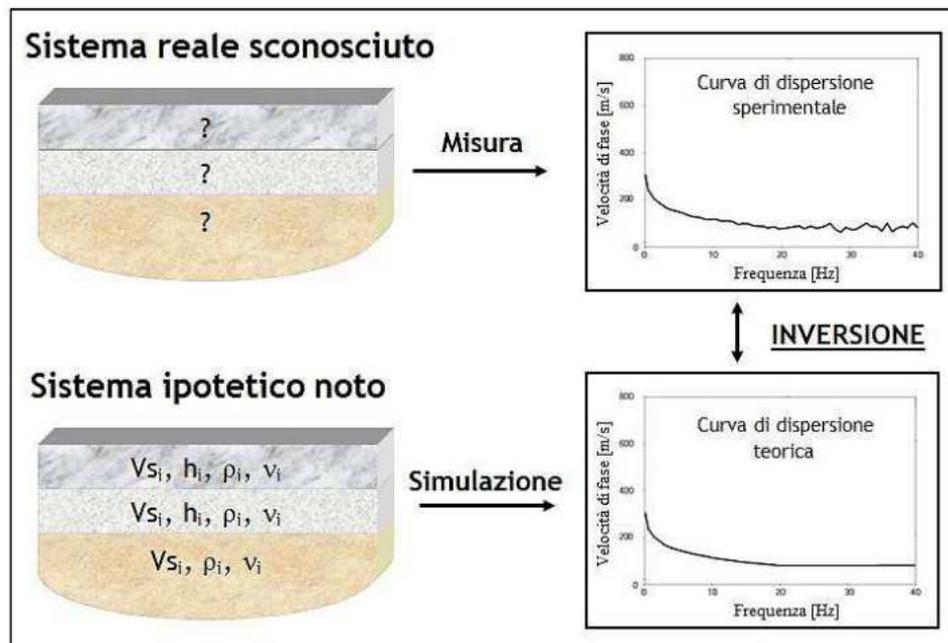


#### 4.2.2.3 Inversione

Il processo d'inversione dei dati sperimentali è l'ultimo dei passaggi da svolgere e fornisce il profilo della velocità delle onde di taglio derivante dalle caratteristiche di dispersione osservate dai dati sperimentali.

Il processo d'inversione per il trattamento dei dati MASW condotto in questo studio è stato realizzato mediante l'utilizzo del programma "Easy MASW".

Durante l'inversione il primo passaggio è correlare i parametri che derivano dalle analisi con ECHO TROMO HVSR3 e quindi fittare i dati M.A.S.W. con le curve H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio). Successivamente il programma risolve il sistema di equazioni di tutti gli strati inseriti nel modello ipotetico e restituisce per ciascuno strato, la velocità delle onde di taglio calcolata, in modo tale da ricostruire il profilo della velocità delle onde di taglio del sito investigato.



Schema riassuntivo del metodo MASW eseguito nel presente lavoro.

Le indagini MASW eseguite nel presente lavoro hanno permesso di caratterizzare con un buon grado di dettaglio i primi 10 metri di sottosuolo dal punto di vista sismico, fornendo inoltre informazioni utili nell'elaborazione e nell'interpretazione di alcune misure HVSR effettuate in siti che richiedevano ulteriori approfondimenti geologici.



### 4.2.3 Tecnica di indagine Re.Mi.

La tecnica Re.Mi. (Refraction Microtremors) (Louie, 2001) è un metodo d'indagine geofisica, sviluppato e diffuso negli ultimi dieci anni, che sfrutta anch'essa le modalità di propagazione delle onde di Rayleigh generate da sorgenti ambientali.

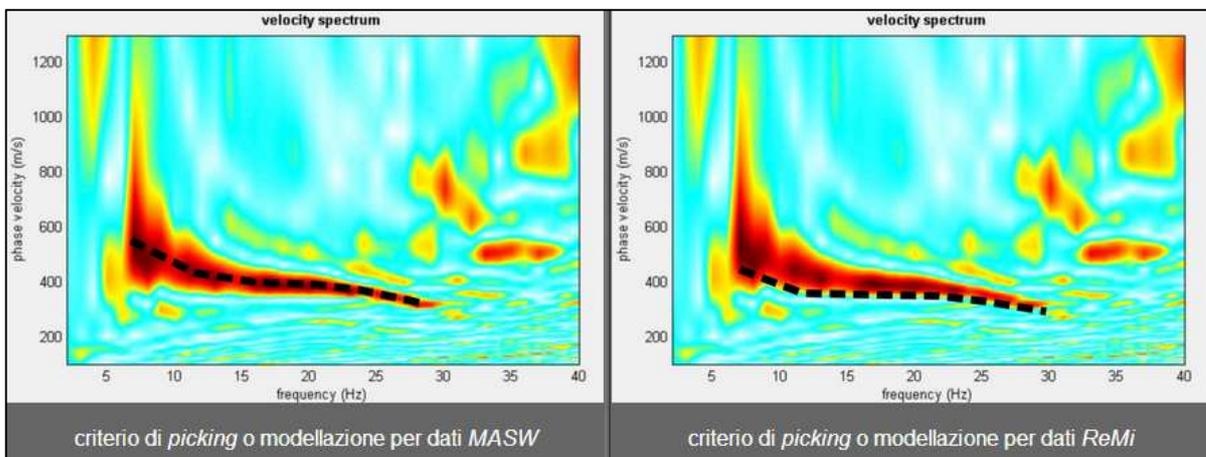
La procedura Re.Mi. è stata sviluppata presso l'Università di Reno in Nevada (Louie, 2001) come metodologia di prospezione sismica passiva in quanto utilizza il rumore ambientale come sorgente del segnale. Più di altre metodologie di prospezione geofisica presenta dei vantaggi che sono rappresentati dalla rapidità di acquisizione, dall'elevata profondità di indagine e dall'ottima versatilità in ambienti particolarmente urbanizzati; tuttavia, richiede come condizione fondamentale, la "mono-dimensionalità" degli strati e la "omni-direzionalità" delle sorgenti, ovvero che il rumore ambientale provenga sostanzialmente da tutte le direzioni.

Nell'ambito dello studio di Microzonazione Sismica tali indagini sono servite per la misura delle  $V_{s,30}$  che permettono di stabilire sia la categoria di sottosuolo sia la caratterizzazione stratigrafica.

A differenza della tecnica MASW illustrata nei sottocapitoli precedenti, nel caso delle tecniche Re.Mi. il rumore incoerente, cioè di tipo casuale, rappresenta la fonte del segnale utile; infatti i microtremori ambientali sono caratterizzati da basse frequenze e portano con sé informazioni riguardanti le porzioni più profonde del sottosuolo.

Per questo motivo nelle indagini Re.Mi. è necessario registrare per almeno una decina di minuti in modo tale da raccogliere quanta più informazione possibile riguardo gli strati più profondi del sito che si sta investigando.

La procedura di elaborazione dei dati di campagna è praticamente la medesima di quella descritta per le tecniche MASW infatti l'obiettivo è ricostruire la curva di dispersione che permette di ottenere il profilo di velocità delle onde di taglio finale. L'unica differenza fra le due tecniche risiede nell'operazione di *picking* della curva di dispersione sperimentale; nelle indagini Re.Mi. infatti bisogna per così dire "*stare bassi*" perché taluni segnali possono venire da sorgenti non in asse con il nostro stendimento (cioè con un certo angolo rispetto ad esso): questo si riflette sul fatto che tipicamente in una prova Re.Mi. le  $V_s$  rischiano di essere sovrastimate. Inoltre trattandosi di acquisizioni di microtremori, è possibile considerare anche le frequenze inferiori a 5-6 Hz.



Differenza fra il criterio di picking nelle indagini MASW (a dx) e Re.Mi. (a sx).



La spaziatura utilizzata tra gli 12 geofoni da 4,5 Hz è stata pari a 2 m per una lunghezza complessiva dello stendimento pari a 24 m disposto su superfici pianeggianti; i parametri di campionamento del segnale sono una frequenza di campionamento di 256 Hz e un tempo di registrazione di 10 minuti. La strumentazione adottata per i rilievi di campagna è la stessa delle indagini MASW; in questo caso il grafico della curva di dispersione sperimentale e il profilo di velocità finale sono stati ricostruiti esclusivamente mediante il software "Grilla v.6.4".

Le indagini Re.Mi. eseguite nel presente lavoro hanno permesso di ottenere un profilo di velocità delle onde di taglio che va a caratterizzare con maggior precisione le porzioni più profonde del sottosuolo; con questo nuovo risultato è stato possibile classificare il sottosuolo nelle diverse categorie secondo le NTC (D.M. del 14 gennaio 2008) calcolando la  $V_{S,30}$ . Il valore  $V_{S,30}$  individuato è rappresentativo del terreno sottostante all'ubicazione delle indagini Re.Mi. nella Carta delle indagini. La formula che consente di calcolare tale parametro è la seguente:

$$V_{S,30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

Dove:

$V_S$  = valore di velocità delle onde di taglio [m/s];

30 = profondità alla quale si desidera stimare  $V_S$  [m] (30 m in caso di  $V_{S,30}$ );

$h_i$  = spessore dello strato  $i$  – esimo [m];

$V_{S_i}$  = velocità delle onde  $V_S$  all'interno dello strato  $i$  – esimo [m/s].



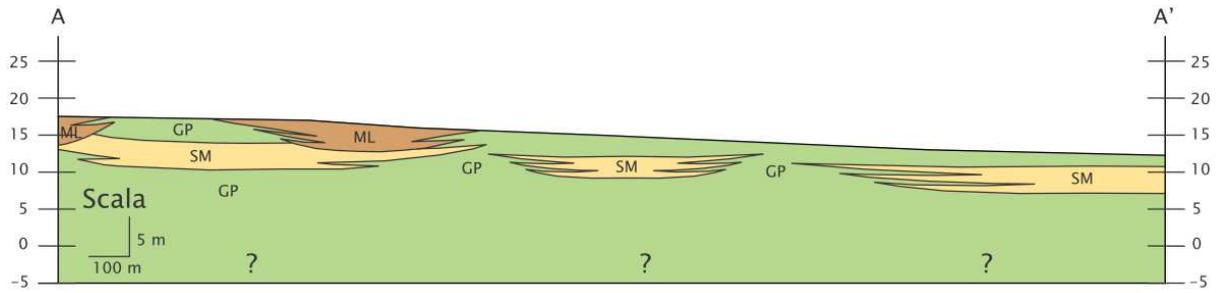
## 5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Grazie ai dati raccolti attraverso i sopralluoghi, alle indagini geotecniche puntuali e alle indagini effettuate ex novo si è potuto ricostruire un primo modello geologico del sottosuolo.

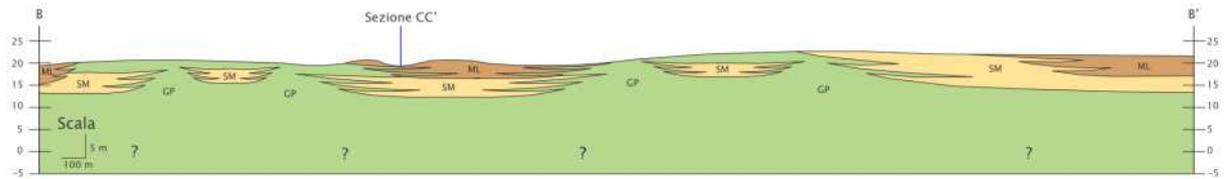
Tale modello è rappresentato da tre sezioni che raggiungono una profondità di 20 metri dal piano campagna e che sono contenute nella Carta Geologico-Tecnica. Le forme dei depositi sono state ipotizzate in base ai dati geofisici e geotecnici acquisiti e in base all'origine alluvionale del territorio di Breda di Piave. Per aumentare il dettaglio delle sezioni e mostrare la forma dei depositi si è scelto di esagerare la dimensione verticale, aumentandola di circa 20 volte rispetto l'orizzontale.

Riguardo il sottosuolo di Breda di Piave si possono fare le seguenti considerazioni:

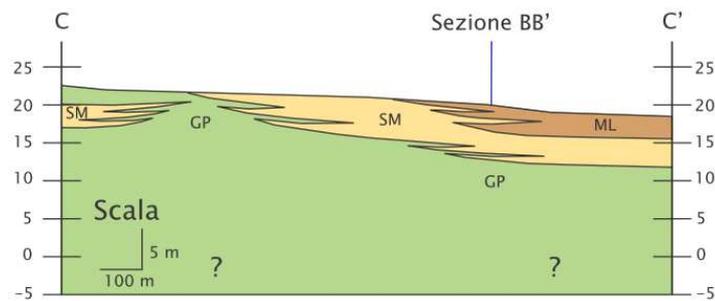
- La piana alluvionale orientale è costituita prevalentemente da depositi ghiaiosi con modesta frazione sabbiosa dallo spessore superiore ai 10 m; localmente, come nelle zone di Saletto e San Bartolomeo, queste ghiaie sono ricoperte da depositi limo-argillosi o intercalati da depositi sabbiosi (sez. A-A');
- La piana alluvionale su cui giace Breda e le fazioni di Vacil e Le Marche presenta caratteristiche diverse rispetto la piana orientale. Questa porzione di territorio presenta uno spesso deposito di ghiaie poco sabbiose, localmente ricoperte da sabbie limose, di spessore variabile tra 3 e 6 m, che compongono antichi dossi fluviali. Tra il dosso attuale della piana orientale e il dosso occidentale dell'abitato di Breda, sono presenti depositi limo-argillosi che ricoprono sedimenti più sabbiosi (sez. B-B' e sez. C-C').



Sezione A-A'



Sezione B-B'



Sezione C-C'



## 6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

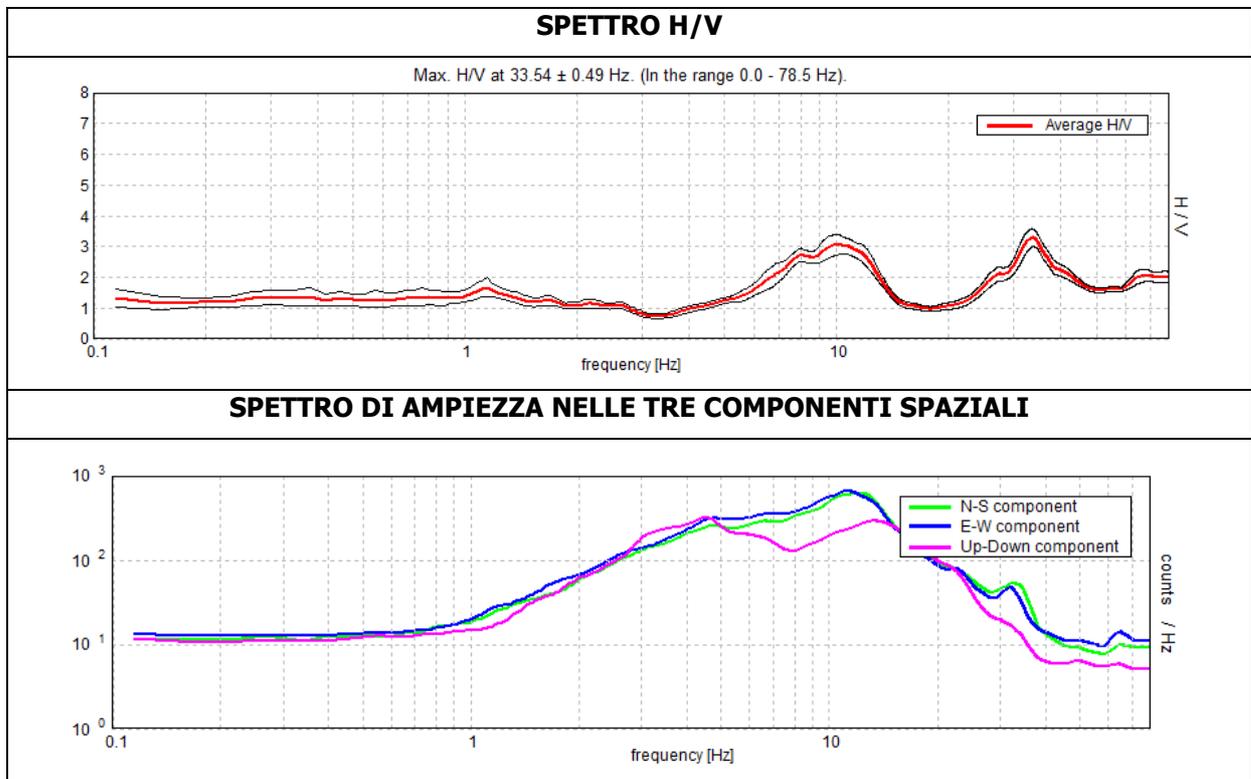
### 6.1 Identificazione e rappresentatività dei dati raccolti

I dati geologici, idrogeologici e geomorfologici emergono da rilevamenti di dettaglio effettuati nel territorio comunale e da indagini precedenti fornite dagli archivi comunali. Tali dati rappresentano la componente geologica più superficiale del territorio che deve essere sviluppata in maniera più dettagliata nei livelli di microzonazione successivi.

Per quanto riguarda le indagini di sismica passiva a stazione singola, si sono riscontrati alcuni problemi, legati a particolari situazioni geologiche o a disturbi ambientali che hanno perturbato la buona riuscita dell'indagine o ne hanno resa difficoltosa l'analisi.

Per quanto riguarda le indagini HVSR si sono riscontrati i seguenti dubbi:

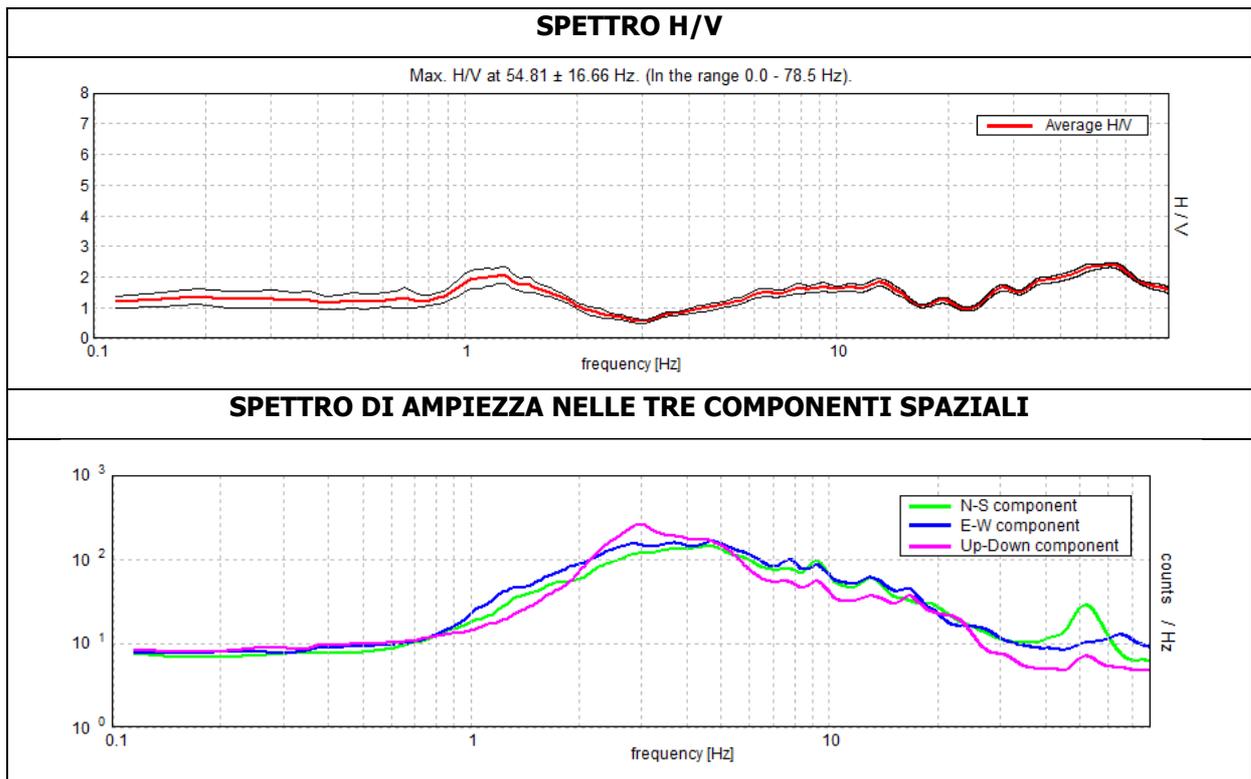
#### BDP12:



Come si può notare dallo spettro di ampiezza nelle tre componenti spaziali il picco a 33.54 Hz è presumibilmente di origine antropica in quanto tutte e tre le componenti sono in fase. Osservando lo spettro si possono notare due picchi di origine stratigrafica a 1.14 Hz e a 9.87 Hz.



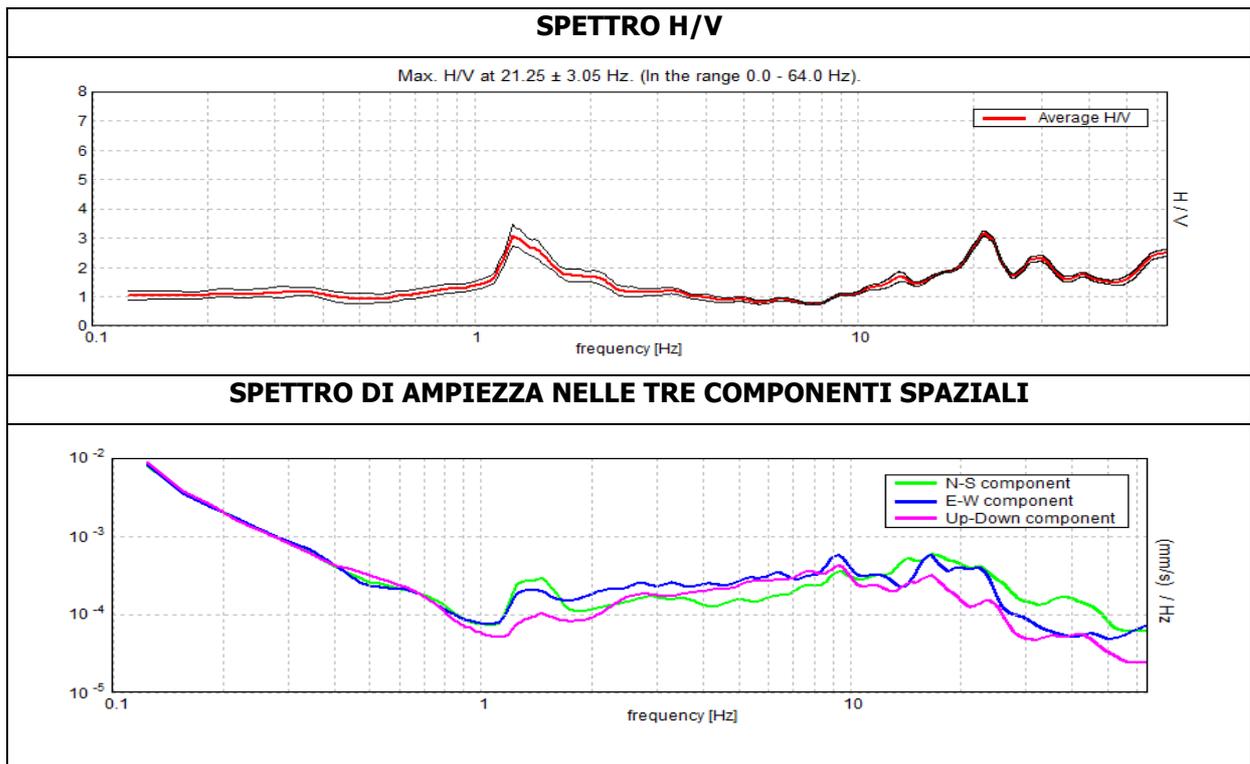
**BDP13:**



Come si può notare dallo spettro di ampiezza nelle tre componenti spaziali il picco a 54.81 Hz è presumibilmente di origine antropica in quanto tutte e tre le componenti sono in fase. Osservando lo spettro si può notare un picco di origine stratigrafica a 1.31 Hz.



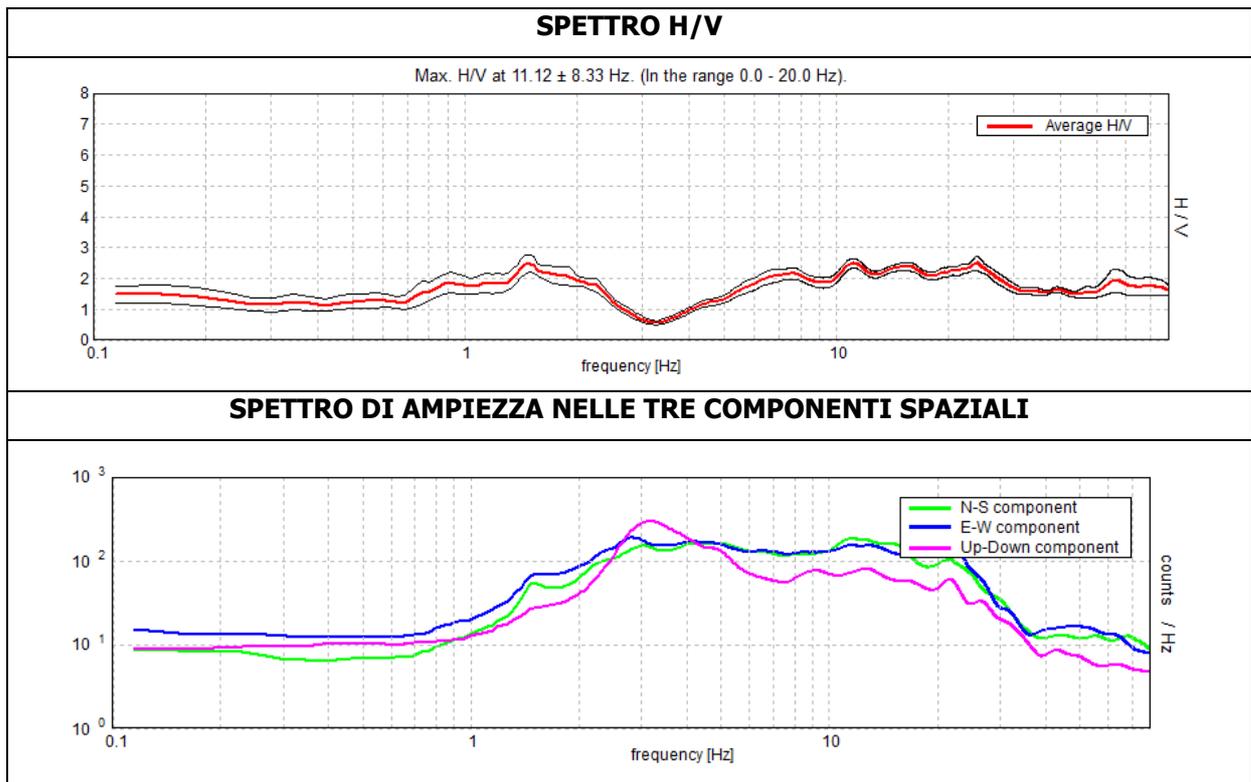
**SF005\_026072P5HVSR5:**



Come si può notare dallo spettro di ampiezza nelle tre componenti spaziali non esiste alcun picco di origine stratigrafica nel range tra 0.1-15 Hz (salvo un artefatto artificiale tra 1 e 2 Hz) ma solo a frequenze più elevate, corrispondenti agli strati più superficiali.



**BDP29:**



Dallo spettro di ampiezza nelle tre componenti spaziali si può notare la presenza di diversi disturbi antropici tra 20 e 30 Hz, testimoniati da una successione di picchi in fase delle tre componenti.



## 7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Di seguito verranno illustrate la modalità di elaborazione dei dati geologici, idrogeologici e geomorfologici utilizzati per effettuare la zonazione di primo livello del Comune di Breda di Piave:

**Zone suscettibili di amplificazione locale**, cioè una riclassificazione delle litologie presenti in chiave sismica e in generale:

- *Zona 1:* si tratta di ghiaie alluvionali con modesta frazione sabbiosa che caratterizzano l'alveo recente ed attuale del fiume Piave, lungo il confine orientale del territorio comunale. Al di sotto di questi depositi si trovano depositi alluvionali ghiaiosi più antichi con una maggior frazione sabbiosa. In questi depositi si possono produrre effetti di amplificazione sismica di tipo stratigrafico;
- *Zona 2:* si tratta di ghiaie alluvionali con frazione sabbiosa che caratterizza i depositi fluviali olocenici del fiume Piave presenti nella zona sud-orientale del territorio comunale. In questi depositi si possono produrre effetti di amplificazione sismica di tipo stratigrafico;
- *Zona 3:* si tratta di ghiaie alluvionali con frazione sabbiosa, intercalate localmente da strati sabbiosi di origine alluvionale. Questo tipo di depositi sono caratteristici dei paleoalvei olocenici del fiume Piave e dei suoi affluenti minori e si localizzano in prossimità degli abitati di Breda, Le Marche e Vacil. In essi si possono produrre effetti di amplificazione sismica di tipo stratigrafico.;
- *Zona 5:* si tratta di depositi alluvionali limo-argillosi poggiano su depositi prevalentemente sabbiosi, a loro volta sovrapposti a depositi ghiaiosi di origine alluvionale. Questa successione di depositi caratterizza gli abitati di Pero e Saletto e l'area ad est dell'abitato di Breda. In essi si possono produrre effetti di amplificazione sismica di tipo stratigrafico.

**Zone suscettibili di instabilità:**

- *Zona 4 - Liquefazioni per depositi sciolti sabbiosi con profondità della falda poco profonda (inferiore ai 15 metri dal p.c.).* Tali depositi possono liquefarsi con una sollecitazione sismica: essi sono composti da depositi alluvionali a tessitura prevalentemente sabbiosa con una subordinata frazione limosa. Essi poggiano su depositi prevalentemente ghiaiosi di origine alluvionale e sono localizzati a nord est dell'abitato di Breda e a nord di Vacil



## 8. ELABORATI CARTOGRAFICI

Per la produzione delle seguenti cartografie sono stati selezionati ed analizzati i dati geologici, geomorfologici e idrogeologici derivanti dalle cartografie del PAT e studi posteriori ad esso, oltre che ulteriori informazioni prodotte tratte in seguito. Sono state inoltre effettuate alcune indagini HVSR, ReMi e MASW.

### 8.1 La Carta delle Indagini

Il primo elaborato della microzonazione sismica di I livello ha lo scopo di raccogliere le indagini (sia pregresse che realizzate ex novo), in modo da avere alcuni dati di partenza da cui elaborare e delimitare le diverse zone stabili, suscettibili di amplificazioni locali o suscettibili di instabilità.

Nella Carta delle Indagini sono state segnalate alcune prove penetrometriche dinamiche e statiche (dati pregressi) e le indagini HVSR, ReMi e MASW effettuate ex novo all'interno del Comune di Breda di Piave.

Queste indagini sono state inoltre codificate come dettato dagli Standard di Rappresentazione Informatica ver.4.0.1 all'interno di sei tipologie di tabelle (estratte dai relativi DB):

- Sito\_puntuale: per ogni punto sulla carta esiste una tabella con la sua localizzazione geografica e la data in cui è stata eseguita la prova;
- Indagini\_puntuali: Per ogni indagine puntuale vengono descritte la tipologia delle indagini e la profondità totale indagata;
- Parametri\_puntuali: per ogni singolo strato geotecnico di ogni singola indagine vengono descritte le caratteristiche litologiche, il parametro geotecnico o il parametro geofisico acquisito e lo spessore di tale strato;
- Sito\_lineare: per ogni sito lineare sulla carta esiste una tabella con la localizzazione geografica dei suoi vertici e la data in cui è stata eseguita la prova;
- Indagini\_lineari: Per ogni indagine lineare vengono descritte la tipologia dell'indagine;
- Parametri\_lineari: per ogni singolo strato geotecnico di ogni singola indagine vengono descritte le caratteristiche litologiche, il parametro geotecnico o il parametro geofisico acquisito e lo spessore di tale strato.

Nella carta sono presenti:

- Prova penetrometrica dinamica media (indagini pregresse);
- Prova penetrometrica statica con punta meccanica CPT (indagini pregresse);
- Indagini di microtremori a stazione singola HVSR (indagini ex novo)
- Prove Refraction Microtremors ReMi (indagini ex novo);
- MASW (indagini ex novo).

*Da nota n. 507000 della Direzione di Difesa del Suolo della Regione Veneto, è stato chiesto di modificare la visibilità delle indagini MASW e ReMi in carta. **Utilizzando le grafie e le dimensioni della tavola indicate negli Standard di Rappresentazione Informatica ver.4.0.1, nella Carta delle Indagini di Breda di Piave le indagini MASW e ReMi hanno una lunghezza inferiore al cm, in quanto nella realtà lo stendimento misura soltanto 20 m. Pertanto non è stato possibile effettuare tale modifica.***



## Legenda

-  Prova penetrometrica dinamica media
-  Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
-  Stazione microtremore a stazione singola
-  Prova REfractionMicrotremors
-  MASW

*Carta delle Indagini (2017)*



## 8.2 La Carta geologico-tecnica

Il secondo elaborato di questo studio di microzonazione contiene i dati geologici e geomorfologici utilizzati per produrre la Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica. Tutti gli elementi presenti in questa carta sono stati codificati in base agli Standard di Rappresentazione Informatica ver.4.0.1.

### 8.2.1 Unità litologiche

Le unità litologiche presenti in carta sono state create riclassificando le unità litologiche presenti nel PAT previa approfondita verifica e si suddividono in:

#### Terreni di copertura:

#### Terreni di copertura



GW – Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaie e sabbie



GP – Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaie e sabbie

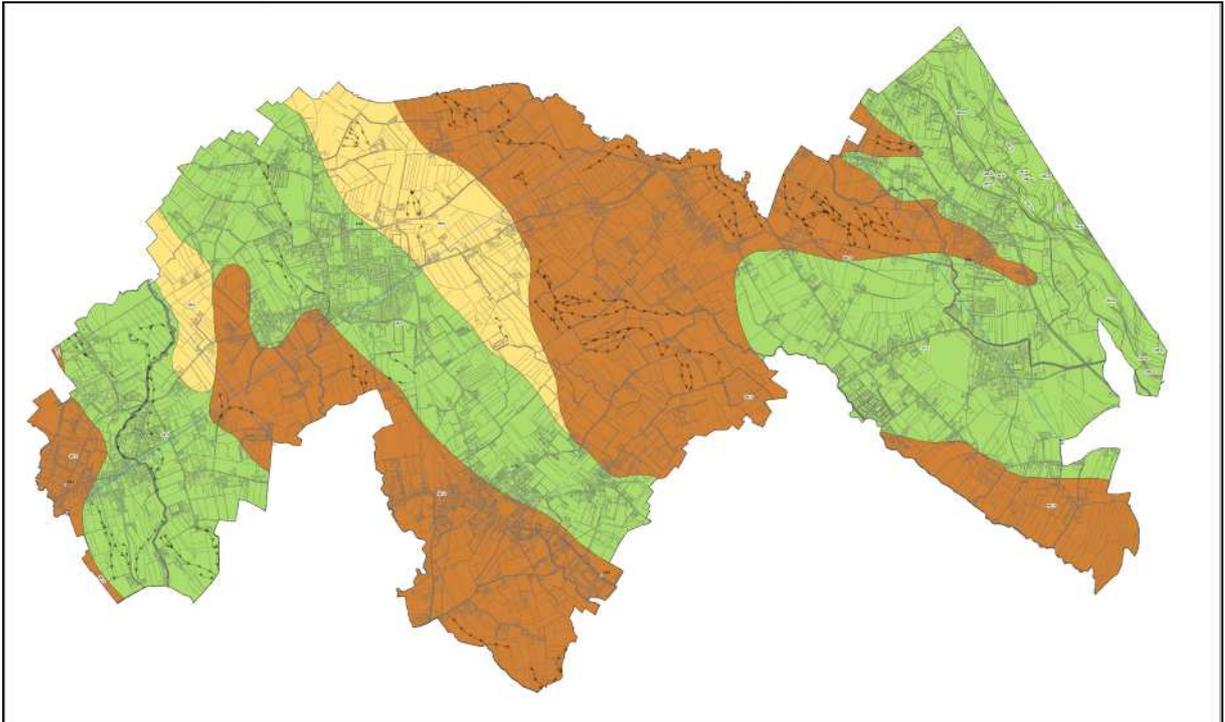


SM – Sabbie limose, miscela di sabbia e limo



ML – Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità

Litologia	Genesi
<b>GW - Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaie e sabbie:</b> si tratta di materiali granulari alluvionali prevalentemente ghiaiosi	<b>es:</b> Argine/barre/canali
<b>GP, Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia:</b> si tratta di materiali granulari alluvionali a tessitura prevalentemente ghiaiosa e subordinata frazione sabbiosa	<b>tf:</b> Terrazzo fluviale
<b>SM, Sabbie limose, miscela di sabbia e limo:</b> si tratta di sedimenti alluvionali fini, costituiti in prevalenza da sabbie limose	<b>es:</b> Argine/barre/canali
<b>ML, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità:</b> si tratta di sedimenti alluvionali limo-argillosi	<b>es:</b> Argine/barre/canali



*Carta geologico-tecnica (2017)*

### **8.2.2 Elementi geologici e idrogeologici**

## **Elementi geologici ed idrogeologici**

- Profondità (m) della falda in aree con sabbie e/o ghiaie

Nella carta geologico-tecnica sono presenti i seguenti elementi, estrapolati dalle indagini pregresse aventi le caratteristiche dettate da standard:

- **Profondità (m) della falda in aree con sabbie e/o ghiaie:** equivalgono ai punti delle indagini penetrometriche prese in considerazione nei quali è stato possibile rilevare la profondità della falda in litologie ghiaiose o sabbiose.

### **8.2.3 Forme di superficie e sepolte**

- ➤ ➤ Asse di paleoalveo

Sono stati presi in considerazione gli elementi geomorfologici che possono avere in qualche modo una lettura in chiave sismica, in particolare quelli lineari che possono dare origine a amplificazione sismica di tipo topografico:

- **Asse di paleoalveo:** sono presenti in buona parte del territorio e testimoniano la divagazione di del Piave e di alcuni corsi d'acqua minori.

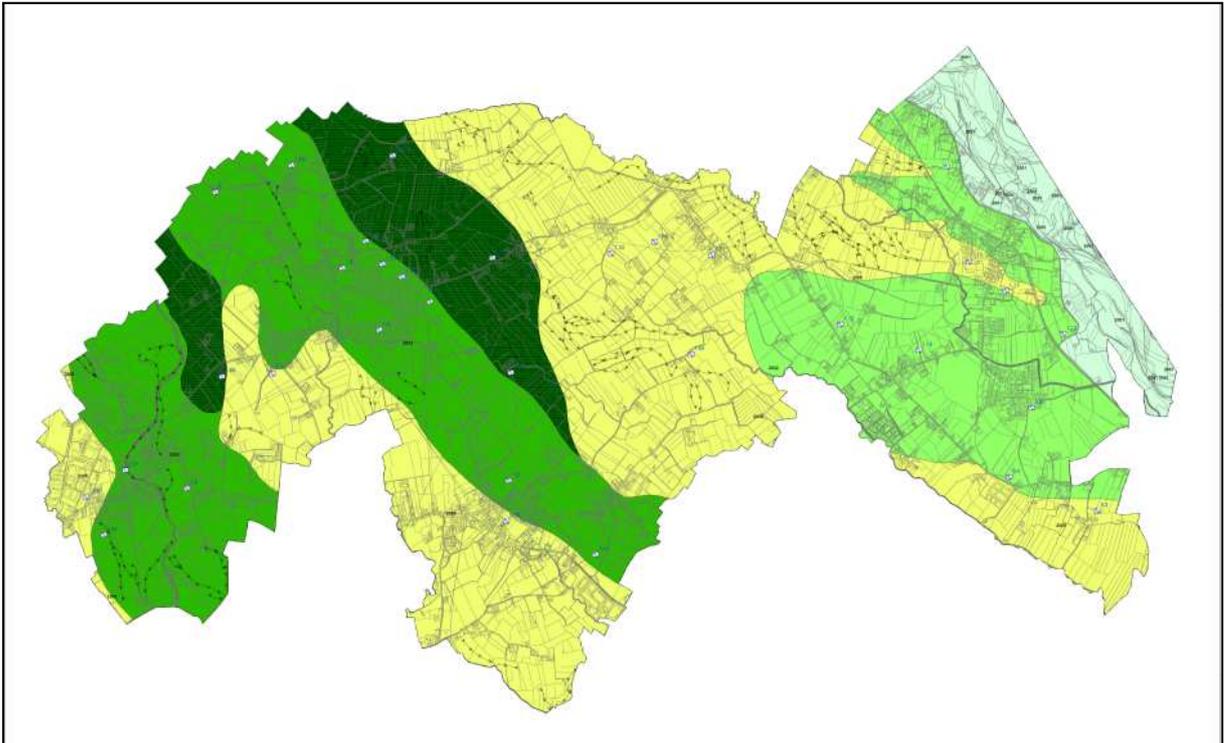


### **8.2.4 Traccia di sezione geologica rappresentativa del modello del sottosuolo**

———— Traccia della sezione geologica rappresentativa del modello del sottosuolo

All'interno della Carta Geologica Tecnica sono tracciate 3 sezioni (A-A'; B-B'; C-C') che permettono di ricostruire il modello di sottosuolo di Breda di Piave. Le sezioni sono riportate nella Carta Geologico Tecnica.

### **8.3 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica**



*Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (2017)*



Il terzo elaborato previsto per il primo livello è la Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS). La carta individua le microzone ove, sulla base di osservazioni geologiche, geomorfologiche e della valutazione dei dati litostratigrafici (si sottolinea che si tratta di dati pregressi, già disponibili per l'area) e sismici (analisi dei picchi delle prove HVSR) è prevedibile l'occorrenza di diversi tipi di effetti prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, liquefazioni...).

Le informazioni utilizzabili, oltre alla cartografia di base disponibile, sono state:

- Carta delle Indagini redatta per questo studio;
- Carta geologico-tecnica prodotta per questo studio;
- Carte geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche del PAT.

Questa carta identifica le geometrie di microzone potenzialmente caratterizzate da specifici effetti sismici. Non è previsto l'utilizzo di un input sismico, né la quantificazione numerica dei diversi effetti. Vista la presenza di numerose abitazioni isolate in tutto il territorio di Breda di Piave, si è scelto di suddividere in microzone l'intero territorio comunale.

Le microzone della carta sono classificate in due categorie:

- **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**, nelle quali sono attese amplificazioni del moto, come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale (le zone 1, 2, 3 e 5 sono state definite in base alle diverse componenti litologiche in quanto come suddetto queste variazioni possono creare effetti di amplificazioni);
- **zone suscettibili di instabilità**, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio (non sono necessariamente esclusi per queste zone anche fenomeni di amplificazione del moto). I tipi di instabilità individuate sono **zone di attenzione per liquefazioni (zona 4)**.

Nella Carta delle MOPS sono inoltre contenuti alcuni elementi morfologici ritenuti significativi e i punti di misura di rumore ambientale (già contenuti nella Carta delle Indagini come Stazione microtremore a stazione singola).

Tutti gli elementi presenti in questa carta sono stati codificati in base agli Standard di Rappresentazione Informatica ver.4.0.1.

Con la cartografia prodotta sarà possibile:

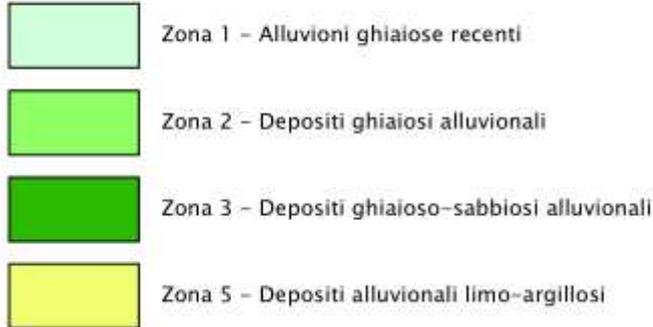
- la programmazione di indagini di approfondimento, sulla base delle diverse tipologie di effetti attesi;
- l'individuazione delle aree per le quali sono necessari ulteriori livelli di approfondimento.



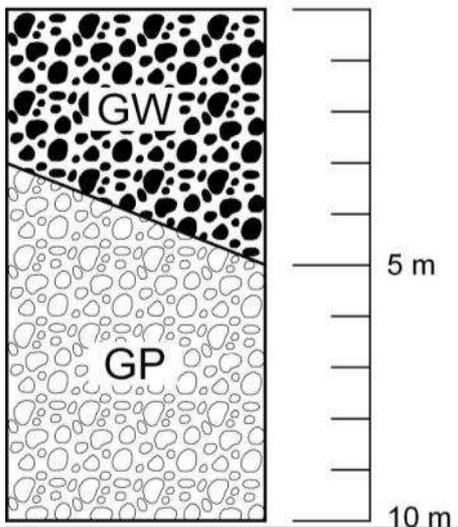
### 8.3.1 Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

In tali aree sono attese amplificazioni locali del moto sismico a causa dell'assetto litostratigrafico e morfologico delle aree stesse. Valutando tali criteri di amplificazione è stato possibile suddividere le aree suscettibili ad amplificazioni locali in 4 zone differenti, qui di seguito descritte.

#### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



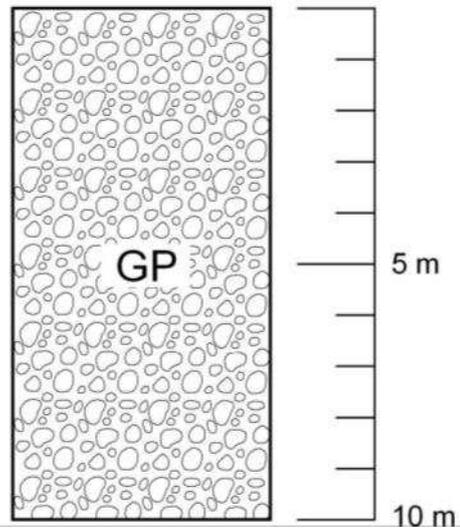
#### 8.3.1.1 Zona 1 - Alluvioni ghiaiose recenti



Tale zona è composta da ghiaie alluvionali con modesta frazione sabbiosa che caratterizzano l'alveo recente ed attuale del fiume Piave, lungo il confine orientale del territorio comunale. Questi depositi ghiaiosi hanno spessori variabili tra i 3 e 5 m; al di sotto di essi si trovano depositi alluvionali ghiaiosi più antichi con una maggior frazione sabbiosa. In questi depositi si possono produrre effetti di amplificazione sismica di tipo stratigrafico.

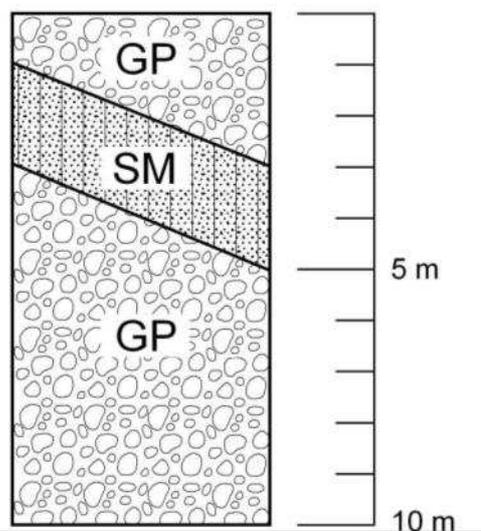


### 8.3.1.2 Zona 2 – Depositi ghiaiosi alluvionali



Tale zona è composta da ghiaie alluvionali con frazione sabbiosa che caratterizza i depositi fluviali olocenici del fiume Piave presenti nella zona sud-orientale del territorio comunale. Questi depositi hanno spessori superiori ai 10 m e in essi si possono produrre effetti di amplificazione sismica di tipo stratigrafico.

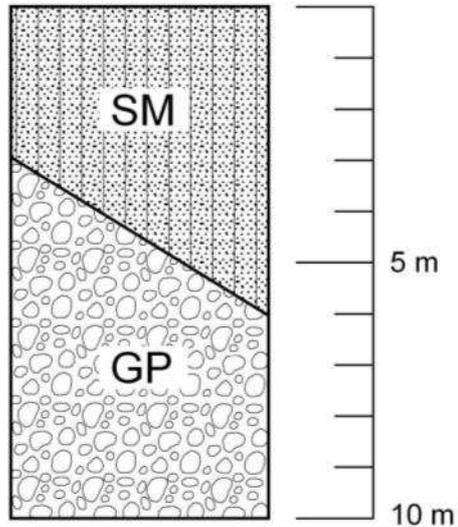
### 8.3.1.3 Zona 3 – Depositi ghiaioso-sabbiosi alluvionali



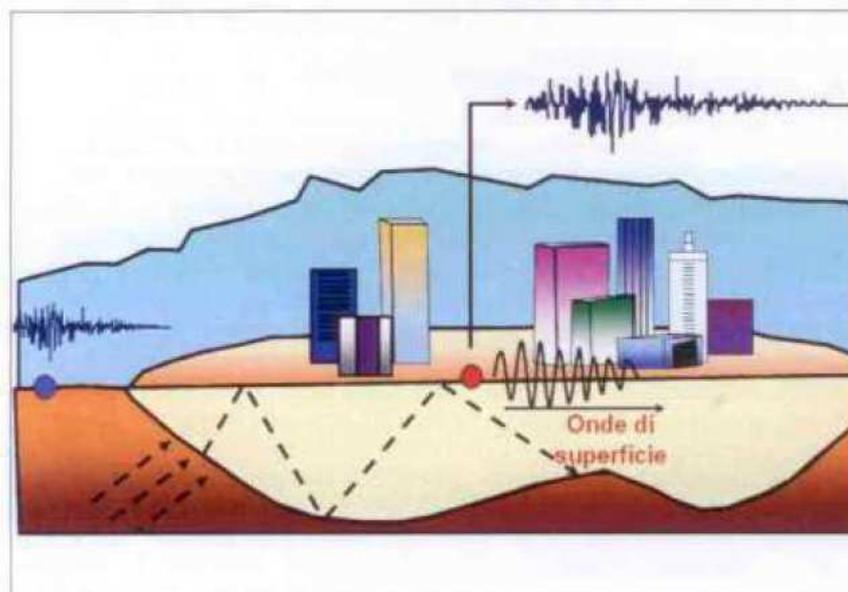
Tale zona è composta da ghiaie alluvionali con frazione sabbiosa, intercalate localmente da strati sabbiosi spessi circa 2 m di origine alluvionale. Questo tipo di depositi sono caratteristici dei paleovalvei olocenici del fiume Piave e dei suoi affluenti minori e si localizzano in prossimità degli abitati di Breda, Le Marche e Vacil. In essi si possono produrre effetti di amplificazione sismica di tipo stratigrafico.



#### 8.3.1.4 Zona 5 – Depositi alluvionali limo-argillosi



Tale zona è costituita da depositi alluvionali limo-argillosi di spessore compreso tra i 2 e 4 m che poggiano su depositi prevalentemente sabbiosi di spessore tra 1 e 2 m, a loro volta sovrapposti a depositi ghiaiosi di origine alluvionale. Questa successione di depositi caratterizza gli abitati di Pero e Saletto e l'area ad est dell'abitato di Breda. In essi si possono produrre effetti di amplificazione sismica di tipo stratigrafico.



*Effetti di amplificazione sismica di tipo stratigrafico*



### 8.3.2 Zone suscettibili di instabilità

#### 8.3.2.1 ZA lq-Zona di attenzione per liquefazioni



ZA lq - Zona di attenzione per Liquefazione Zona 4 - Depositi alluvionali sabbiosi

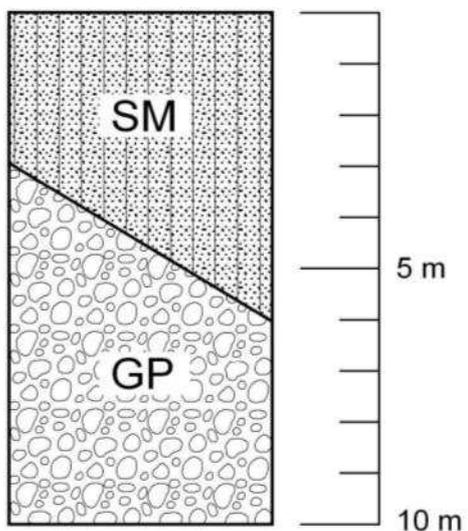
La liquefazione è un fenomeno che interessa i depositi sabbiosi e limo-sabbiosi saturi per effetto di un rapido e significativo aumento della pressione interstiziale. In tali condizioni i terreni prevalentemente sabbiosi non cementati attingono valori nulli o estremamente modesti della resistenza al taglio trasformandosi di fatto in un liquido pesante. L'aumento della pressione interstiziale può essere indotto da fenomeni di filtrazione o da un forte evento sismico. Per condurre a liquefazione un terreno suscettibile alla liquefazione è necessaria l'occorrenza di un forte sisma (Magnitudo superiore a 5). In termini di accelerazione di picco su roccia, i fenomeni di liquefazione completa si hanno solitamente per terremoti con  $a > 0,15$ .

L'occorrenza della liquefazione ha effetti in superficie solamente in particolari condizioni. Nel caso di terreno pianeggiante, gli effetti in superficie sono trascurabili se lo spessore dello strato più superficiale non liquefacibile è maggiore dello spessore dello strato sottostante liquefacibile.

Un aspetto rilevante del fenomeno della liquefazione è la modifica del moto sismico. In generale il verificarsi della liquefazione comporta un decremento delle ampiezze di vibrazioni ed un taglio delle frequenze più elevate. Registrazioni accelerometriche in siti liquefatti mostrano (a seguito del fenomeno) ampiezze ridotte e periodo predominante di alcuni secondi. I due aspetti associati (accelerazioni modeste e periodi lunghi) possono comportare spostamenti comunque rilevanti e quindi un potenziale di danno non necessariamente ridotto.

In base a queste considerazioni, nel comune di Breda di Piave la situazione riscontrata in cui è possibile la liquefazione è:

- **terreni sabbiosi;**
- **falda a profondità inferiore a 15 m;**
- **Mw attesa al sito >5.**



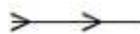
I depositi sabbiosi liquefacibili sono di origine alluvionale e si trovano nella parte centro occidentale del territorio comunale; in quest'area la falda acquifera ha una soggiacenza inferiore ai 15 metri dal p.c. La granulometria sabbiosa dei depositi spessi tra i 3 e i 6 m e la presenza acqua nel sottosuolo rende tali potenzialmente liquefacibili questi terreni in caso di sisma.



### **8.3.3 Altri elementi morfologici**

All'interno della Carta delle MOPS sono presenti alcuni elementi geomorfologici che possono dare origine a locali applicazioni di tipo stratigrafico. Tali elementi sono gli **assi di paleoalveo** che sono presenti in buona parte del territorio e testimoniano la divagazione di del Piave e di alcuni corsi d'acqua minori.

## Forme di superficie e sepolte

 Asse di paleoalveo

### **8.3.4 Punti di misura di rumore ambientale**

## Punti di misura di rumore ambientale



Punto di misura di rumore ambientale con indicazione del valore di f0

Nella Carta delle MOPS sono stati inseriti anche i punti di misura ambientale, ovvero i punti delle indagini HVSR effettuate per questo Studio. In carta sono presenti anche le frequenze di picco misurate in ciascun punto.



## 9. STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI II LIVELLO

Lo Studio di Microzonazione sismica di II livello ha come obiettivo la quantificazione degli effetti di un sisma sulle zone stabili suscettibili di amplificazione e sulle zone suscettibili di instabilità già individuate nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica già redatta per il livello I.

Per quanto riguarda le zone stabili suscettibili di amplificazione, si precisa che l'amplificazione è soltanto di tipo stratigrafico; come già detto nel par. 3.1.1 non si hanno creste rocciose o rilievi capaci di dare amplificazione di tipo topografico. I parametri richiesti dagli standard per caratterizzare queste zone suscettibili di amplificazione sismica sono **il fattore di amplificazione orizzontale (Fa)** e **il fattore di amplificazione verticale (Fv)**: essi sono stati calcolati attraverso il metodo esposto nel par. 9.1.

Le aree suscettibili di instabilità analizzate nel II livello le aree soggette a liquefazioni per le quali è stato calcolato **l'indice di liquefazione LI** utilizzando il software Liquef sviluppato da ProgramGeo attraverso la procedura esposta nel par. 9.3.

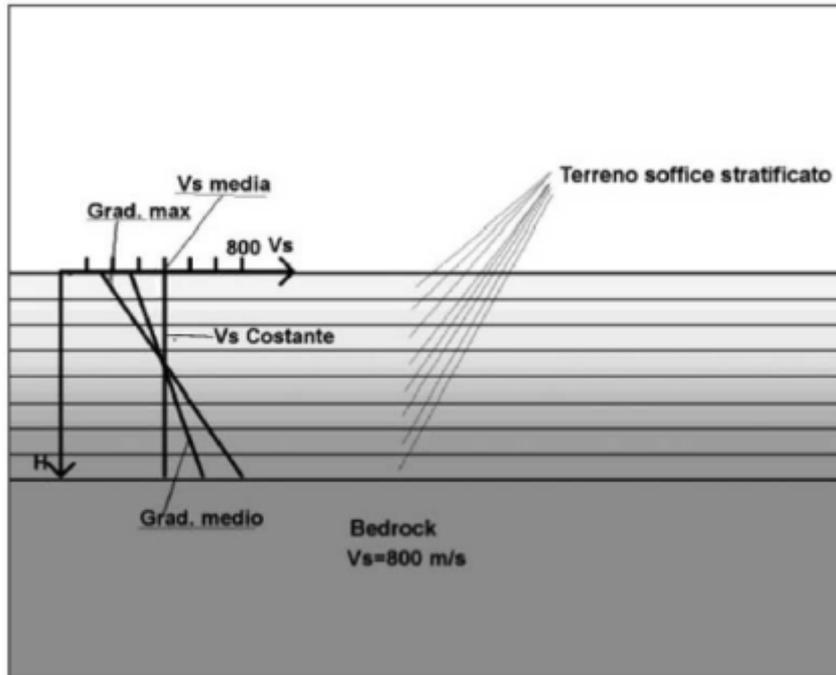
### 9.1 Stima dei fattori Fa e Fv per le aree stabili suscettibili di amplificazione

Per il calcolo dei fattori di amplificazione orizzontale e verticale sono stati utilizzati gli abachi presenti nel capitolo 3.2 di "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione sismica" - Volume 2 - parte III.

Per utilizzare tali abachi si è approssimato un assetto geologico e geotecnico assimilabile a un modello fisico monodimensionale, cioè a  $n$  strati piani, orizzontali, paralleli, continui, di estensione infinita, omogenei a comportamento viscoelastico. ogni strato è caratterizzato dallo spessore  $h$ , dalla densità  $\rho$ , dal modulo di taglio iniziale  $G_0$  e da curve di decadimento del rapporto di smorzamento ( $D$ ). Questi strati giacciono sul basamento sismico (bedrock).

**E' stato scelto di utilizzare questo metodo semplificato degli abachi dopo l'analisi degli elementi presenti nella Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica prevista nel livello 1, che non presenta elementi in grado di dare amplificazioni topografiche.**

Gli abachi allegati al volume 2 di "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione sismica" sono realizzati sintetizzando i risultati di analisi numeriche mono-dimensionali di propagazione delle onde sismiche di taglio effettuate con il programma SHAKE91 (Idriss e Sun, 1992). tali analisi sono di tipo non lineare equivalente e sono condotte su un modello di sottosuolo costituito da terreni stratificati orizzontalmente, poggianti su un semispazio.



*Modello del sottosuolo e profili di velocità considerati*

### **9.1.1 Modello del sottosuolo utilizzato per gli abachi**

Il modello di sottosuolo si riferisce a un deposito stratificato di terreni omogenei deformabili, sovrastante un terreno più rigido avente  $V_s = 800$  m/s (bedrock sismico).

Il deposito, qualunque sia lo spessore complessivo, è stato diviso in 50 sublayer di spessore costante (es. se lo spessore totale del deposito è 25 m, lo spessore di ciascun sublayer è di 0.50 m; se lo spessore del deposito è di 100 m, lo spessore dei sublayer è di 2 m).

Questa suddivisione consente di descrivere con sufficiente dettaglio la variazione del profilo di rigidità dei terreni soffici lungo la verticale nel campo di profondità indagato per la redazione degli abachi.

#### **SPESSORE DEL DEPOSITO**

lo spessore totale del deposito di terreni soffici ( $H$ ) varia nei calcoli da 5 a 150 m, per un totale di 19 valori:

$H = 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150$  m.

#### **VELOCITÀ MEDIA DEL DEPOSITO E PROFILI DI VELOCITÀ**

la velocità equivalente del deposito di terreni soffici ( $V_{SH}$ ) copre l'intervallo tra 100 e 700 m/s per un totale di 10 valori:

$V_{SH} = 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700$  m/s.

per ognuno dei suddetti valori di velocità equivalente  $V_{SH}$ , sono stati considerati 3 diversi profili di velocità per lo spessore del deposito:

- profilo 1 - velocità costante ( $V_{SH}$ ) lungo tutto lo spessore del deposito;



- profilo 2 - velocità crescente con la profondità con il gradiente massimo compatibile con i seguenti limiti:
  - la  $V_s$  alla base del deposito non deve superare gli 800 m/s;
  - la  $V_s$  in superficie non deve essere inferiore a 50 m/s.

Al fine di verificare che il gradiente determinato porti effettivamente alla velocità equivalente scelta, è stata utilizzata la seguente espressione che mette in relazione la  $V^i$  (velocità dell' $i$ -esimo strato) con la  $V_{sH}$  (velocità equivalente del deposito):

$$V_{sH} = \frac{H}{\sum_{i=1.50} \frac{h_i}{v_i}}$$

dove:

$H$  è lo spessore totale del deposito

$h_i$  indica lo spessore (in metri) dello strato  $i$ -esimo, variabile come già scritto.

Un procedimento iterativo permette di risolvere l'equazione e di determinare quindi i valori di  $V_i$ .

- profilo 3 - profilo di velocità crescente con la profondità con gradiente intermedio tra i 2 precedenti.

Per costruire il profilo 3 si determina la velocità del primo strato ( $V_{s1,3}$ ) come media fra la velocità equivalente  $V_{sH}$  e la velocità nel primo strato corrispondente al gradiente massimo, come desunta dal profilo 2 ( $V_{s1,2}$ ).

$$V_{s1,3} = \frac{V_{sH} + V_{s1,2}}{2}$$

Si procede analogamente per l'ultimo punto del deposito determinando la velocità alla base  $V_{s50,3}$  si verifica quindi quale sia il valore della velocità equivalente  $V_{sH}$  corrispondente al profilo ottenuto congiungendo il punto  $V_{s1,3}$  con il punto  $V_{s50,3}$ .

Si ottiene in genere uno scarto che consente di stabilire se il valore di  $V_{s50,3}$  debba essere aumentato o diminuito.

Si innesca quindi un ciclo iterativo che viene arrestato quando lo scarto fra due valori successivi di velocità equivalente è inferiore alla tolleranza assunta (0.25 m/s).

**Nel caso in esame si è utilizzato come  $V_{sH}$  la  $V_{s30}$  calcolata attraverso le indagini MASW e ReMi effettuate durante la redazione della Microzonazione Sismica di I livello (si vedano gli allegati alla Relazione Illustrativa).**

## VELOCITÀ DEL BEDROCK SISMICO

La velocità del bedrock sismico è fissata sempre uguale a 800 m/s.



## PESO PER UNITÀ DI VOLUME

Il peso per unità di volume è stato considerato costante per il deposito e per tutto lo spessore è pari a  $18.00 \text{ kN/m}^3$ , mentre è pari a  $20 \text{ kN/m}^3$  per il bedrock sismico.

## LITOTIPI E CURVE DI DECADIMENTO

Per il deposito sono stati considerati, 3 litotipi diversi (argille, sabbie e ghiaie), a ciascuno dei quali sono state associate curve di decremento del modulo di rigidezza a taglio ( $G/G_0$ ) con la deformazione ( $\gamma$ ) e curve di incremento dello smorzamento ( $D$ ) con la deformazione ( $\gamma$ ) tratte dalla letteratura.

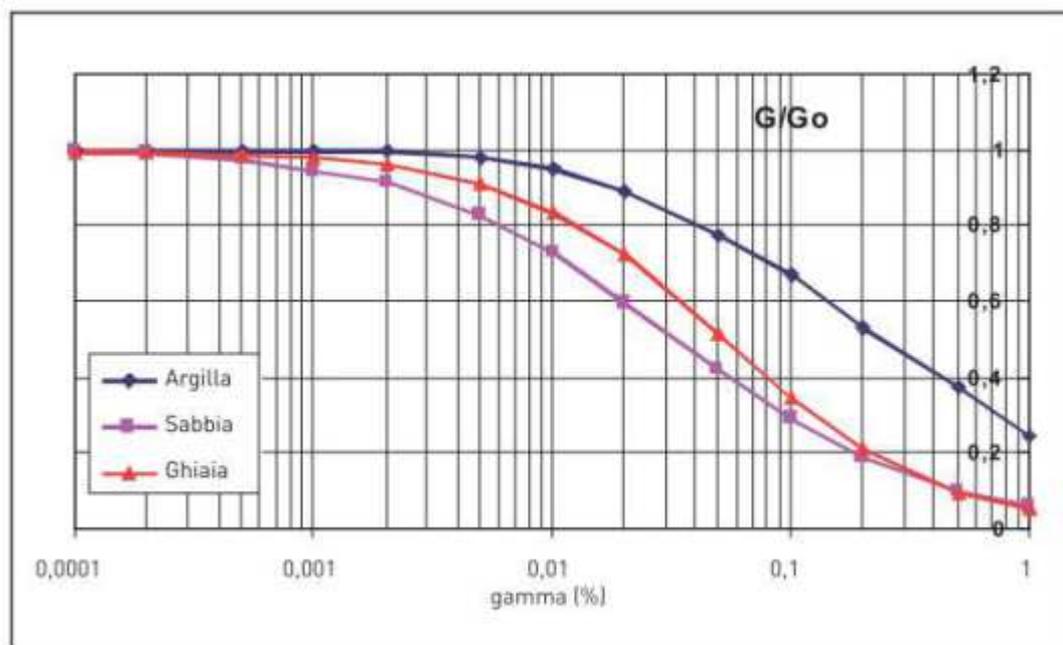
In particolare, per le argille sono utilizzate le curve di Vucetic e Dobry (1991), relative ad argille con indice di plasticità del 50%; per le sabbie si utilizzano le curve "medie" di Seed et al. (1986); per le ghiaie le curve di Rollins et al. (1998).

Le litologie presenti (Vedi Carta Geologico tecnica redatta per il I livello) nel territorio comunale di Breda di Piave sono state così raggruppate in base alla litologia:

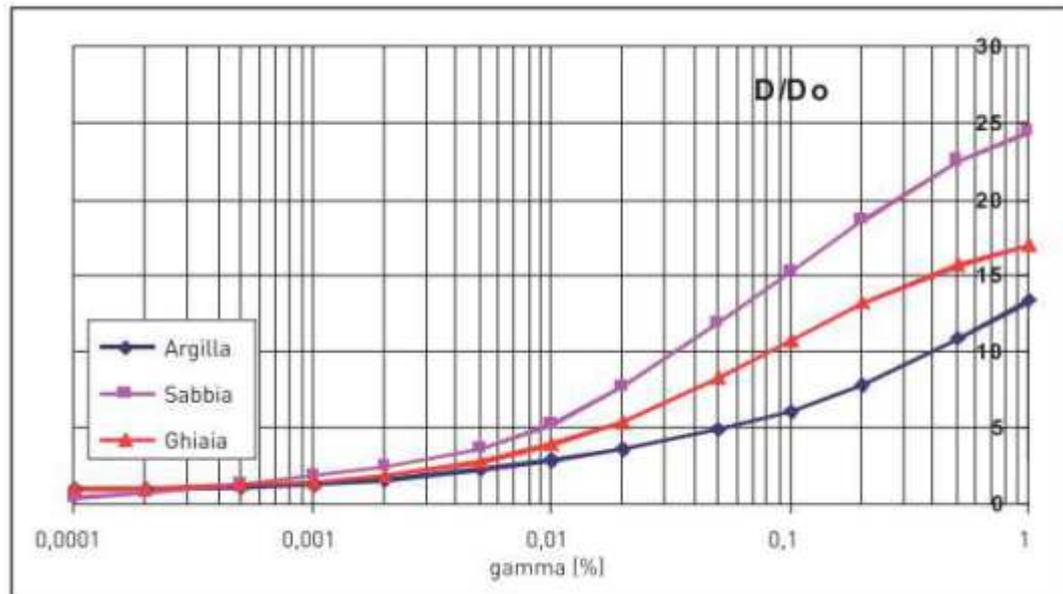
- **GP e GW: ghiaie;**
- **ML: argille.**

## VALORE EFFICACE DELLA DEFORMAZIONE DI TAGLIO $\Gamma$

Ai fini dell'utilizzo delle curve di decadimento, è stata assunta una deformazione efficace pari al 60% del valore di picco.



*Curve normalizzate di decadimento del modulo di taglio con la deformazione*

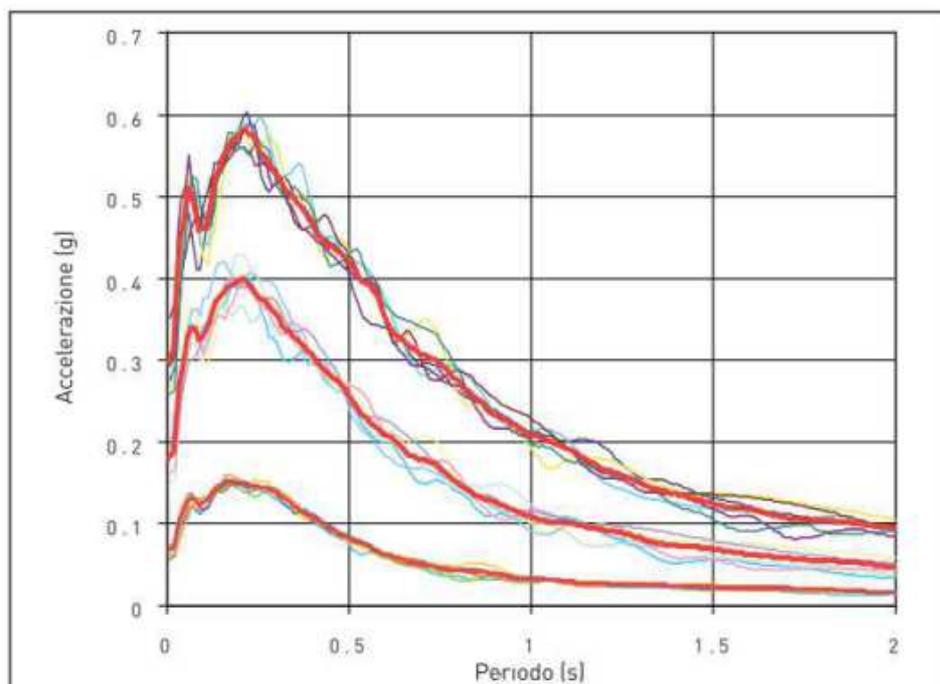


Curve di variazione dello smorzamento relativo al critico

### 9.1.2 Input sismici di riferimento

Come input per le simulazioni si sono utilizzati 7 accelerogrammi artificiali spettro-compatibili con spettri medi derivati da studi di pericolosità e riferiti a 3 livelli di sismicità con accelerazioni di picco al suolo di 0.06g (bassa sismicità), 0.18g (media sismicità) e 0.26g (alta sismicità).

**Per Breda di Piave è stata utilizzata un'accelerazione di picco di 0.18g. Si tratta dunque di un'approssimazione in quanto l'accelerazione di picco del sito in esame è di 0.15g.**



Spettri di risposta del moto di input, utilizzati per le simulazioni numeriche



### 9.1.3 **Determinazione dei fattori FA e FV con input definito da spettro a probabilità uniforme**

Per il calcolo degli abachi di seguito riportati si è applicata la seguente procedura:

- si determina il periodo di massimo valore dello spettro di input ( $TA_i$ ) e di quello di output ( $TA_o$ );
- si calcolano i valori medi degli spettri di input ( $SA_{m,i}$ ) e di output ( $SA_{m,o}$ ) nell'intorno di  $TA_i$  e  $TA_o$

$$SA_m = \frac{1}{TA} \int_{0.5*TA}^{1.5*TA} SA(T) dT$$

dove:

$SA_m$  è il valore medio dello spettro e può essere  $SA_{m,i}$  o  $SA_{m,o}$

$SA(T)$  è lo spettro di risposta elastico in accelerazione pari a  $SA_i$  per l'input,  $SA_o$  per l'output

$TA$  vale  $TA_i$  per l'input  $TA_o$  per l'output;

- si determinano i periodi ( $TV_i$ ) e ( $TV_o$ ) di massimo valore degli spettri di pseudo velocità così definiti:

$$SV(T) = SA(T) * \frac{T}{2\pi}$$

- si calcolano i valori medi degli spettri ( $SV_{m,i}$ ) e ( $SV_{m,o}$ ) nell'intorno di  $TV_i$  e  $TV_o$ :

$$SV_m = \frac{1}{0.4 * TV} \int_{0.8*TV}^{1.2*TV} SV(T) dT$$

dove:

$SV_m$  è il valore medio dello spettro e può essere  $SV_{m,i}$  o  $SV_{m,o}$

$TV$  può essere  $TV_i$  e  $TV_o$  rispettivamente per l'input e l'output.

L'intervallo di integrazione è ridotto rispetto a quello dell'accelerazione perché lo spettro di velocità ha, generalmente, un andamento più regolare.

- Il valore di FA è pari al rapporto  $SA_{m,o} / SA_{m,i}$**
- Il valore di FV è pari al rapporto  $SV_{m,o} / SV_{m,i}$**



#### **9.1.4 Abachi**

I valori riportati nei seguenti abachi derivano dalla metodologia esposta nel par. 0: essi sono la media dei risultati ottenuti da 7 simulazioni condotte con 7 accelerogrammi diversi per ciascun livello energetico (0.06g, 0.18g o 0.26g), su ciascun litotipo, spessore H e per ciascuno dei tre profili di Vs.

Non sono stati riportati (nessun valore nelle tabelle) i valori ottenuti dalle analisi che abbiano mostrato un livello di deformazione massima a taglio del terreno maggiore di 0.1%. Infatti, per tali casi, non è ritenuto affidabile il risultato ottenuto con l'analisi non lineare equivalente ed è necessario ricorrere a metodi di analisi non lineari al passo.

Si ricorda che tutte le elaborazioni effettuate prevedono la presenza di un bedrock sismico avente  $V_s = 800$  m/s al di sotto della profondità H.

Nel volume 2 di "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione sismica" le tabelle sono ordinate per litotipo (argille, sabbie e ghiaie) e all'interno di ciascun litotipo, per tipo di profilo di velocità assunto (costante, variabile linearmente con la massima pendenza compatibile con il valore di  $V_{sH}$ , e variabile linearmente con pendenza intermedia fra costante e massima).

Nel caso di Breda di Piave, si è scelto il tipo di profilo di velocità variabile linearmente con pendenza intermedia fra costante e massima, in quanto lo spessore di sottosuolo è considerevole (diverse decine di metri) e quindi la velocità è poco probabile che rimanga costante.

Nelle figure seguenti sono riportati i valori considerati.

Si ricorda che:

- **l'accelerazione di picco considerata è 0.18g**
- **la  $V_{sH}$  considerata è la Vs30 estrapolata da alcune significative indagini MASW e ReMi del I livello;**
- **qualora la  $V_{sH}$  fosse intermedia tra due valori in tabella si è scelto di utilizzare il valore più alto, in modo da avere una situazione più cautelativa;**
- **qualora un deposito non presenti una misura diretta di Vs30, ad esso è stata associata una Vs30 del deposito più vicino avente la medesima litologia superficiale e la medesima situazione morfologica.**



Fattore di amplificazione  
FA

Tipo di terreno  
Argilla

$a_g$  (g)  
0.18g

Profilo di velocità  
Lineare pendenza intermedia

H	$V_s$ (m/s)									
	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.37	1.86	1.72	1.48	1.28	1.15	1.09	1.05	1.02	1.01
10	2.62	2.40	2.07	1.75	1.52	1.36	1.25	1.17	1.07	1.02
15	2.25	2.35	2.21	1.96	1.75	1.55	1.40	1.28	1.13	1.04
20	1.86	2.12	2.15	1.98	1.80	1.62	1.48	1.36	1.18	1.06
25	1.86	1.88	1.98	1.94	1.80	1.63	1.51	1.39	1.21	1.08
30	-	1.86	1.87	1.80	1.75	1.62	1.50	1.39	1.22	1.08
35	-	1.83	1.83	1.71	1.63	1.58	1.48	1.39	1.21	1.08
40	-	1.79	1.80	1.71	1.56	1.52	1.45	1.36	1.21	1.08
50	-	1.61	1.74	1.67	1.56	1.45	1.36	1.30	1.18	1.06
60	-	1.53	1.66	1.62	1.54	1.43	1.34	1.27	1.15	1.05
70	-	1.43	1.56	1.59	1.49	1.41	1.32	1.25	1.13	1.03
80	-	1.41	1.53	1.49	1.47	1.37	1.31	1.23	1.12	1.02
90	-	1.33	1.46	1.47	1.42	1.36	1.28	1.22	1.10	1.01
100	-	1.22	1.40	1.42	1.39	1.33	1.27	1.20	1.09	1.00
110	-	1.16	1.36	1.38	1.34	1.29	1.24	1.19	1.08	0.99
120	-	1.17	1.27	1.34	1.32	1.27	1.21	1.17	1.07	0.98
130	-	1.11	1.21	1.31	1.28	1.26	1.19	1.15	1.06	0.98
140	-	1.04	1.19	1.27	1.25	1.22	1.18	1.13	1.05	0.96
150	-	1.00	1.17	1.21	1.22	1.19	1.16	1.11	1.03	0.96

Fattore di amplificazione  
FV

Tipo di terreno  
Argilla

$a_g$  (g)  
0.18g

Profilo di velocità  
Lineare pendenza intermedia

H	$V_s$ (m/s)									
	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.18	1.09	1.04	1.03	1.02	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00
10	2.32	1.54	1.18	1.11	1.08	1.05	1.03	1.02	1.01	1.00
15	2.99	2.13	1.61	1.29	1.16	1.11	1.07	1.05	1.02	1.01
20	3.15	2.56	1.93	1.56	1.32	1.18	1.13	1.09	1.04	1.01
25	2.05	2.74	2.21	1.78	1.49	1.38	1.19	1.13	1.04	1.02
30	-	2.75	2.38	1.97	1.64	1.42	1.28	1.18	1.08	1.03
35	-	2.70	2.49	2.06	1.74	1.52	1.35	1.23	1.10	1.03
40	-	2.65	2.45	2.15	1.82	1.59	1.41	1.27	1.12	1.04
50	-	2.45	2.39	2.17	1.94	1.71	1.52	1.37	1.17	1.05
60	-	2.41	2.29	2.12	1.91	1.74	1.58	1.43	1.20	1.06
70	-	2.20	2.16	2.06	1.89	1.72	1.56	1.43	1.21	1.08
80	-	2.07	2.14	1.97	1.85	1.69	1.56	1.44	1.22	1.09
90	-	2.06	2.01	1.92	1.77	1.66	1.54	1.43	1.23	1.09
100	-	2.03	1.93	1.89	1.73	1.61	1.51	1.41	1.23	1.09
110	-	1.98	1.92	1.82	1.70	1.58	1.48	1.38	1.22	1.09
120	-	1.97	1.91	1.75	1.67	1.55	1.45	1.37	1.21	1.08
130	-	1.94	1.87	1.73	1.63	1.53	1.43	1.34	1.19	1.06
140	-	1.88	1.83	1.74	1.59	1.50	1.40	1.32	1.18	1.05
150	-	1.83	1.80	1.72	1.54	1.46	1.39	1.30	1.17	1.04



Fattore di amplificazione  
FA

Tipo di terreno  
Sabbia

$a_g$  (g)  
0.18g

Profilo di velocità  
Lineare pendenza intermedia

H	$V_{ps}$ (m/s)									
	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	-	1.97	1.67	1.53	1.32	1.18	1.10	1.06	1.02	1.01
10	-	2.24	2.13	1.85	1.59	1.40	1.28	1.19	1.08	1.03
15	-	1.93	2.09	1.97	1.78	1.61	1.45	1.32	1.16	1.06
20	-	1.64	1.88	1.92	1.80	1.65	1.52	1.40	1.21	1.08
25	-	1.47	1.69	1.75	1.73	1.63	1.52	1.41	1.24	1.11
30	-	-	1.48	1.64	1.60	1.58	1.49	1.40	1.24	1.11
35	-	-	1.43	1.46	1.51	1.47	1.45	1.36	1.23	1.10
40	-	-	1.37	1.41	1.38	1.38	1.35	1.32	1.20	1.09
50	-	-	1.23	1.34	1.33	1.29	1.25	1.20	1.14	1.06
60	-	-	1.10	1.23	1.27	1.25	1.20	1.16	1.09	1.02
70	-	-	0.97	1.13	1.18	1.20	1.17	1.13	1.05	0.98
80	-	-	0.89	1.04	1.11	1.14	1.14	1.11	1.03	0.97
90	-	-	0.82	0.95	1.04	1.08	1.10	1.08	1.02	0.95
100	-	-	0.76	0.91	0.98	1.02	1.04	1.06	1.00	0.94
110	-	-	0.71	0.84	0.91	0.97	1.00	1.01	0.98	0.92
120	-	-	0.67	0.80	0.89	0.92	0.96	0.98	0.96	0.91
130	-	-	0.62	0.76	0.85	0.90	0.92	0.95	0.94	0.90
140	-	-	0.58	0.72	0.81	0.87	0.90	0.91	0.91	0.88
150	-	-	0.54	0.69	0.76	0.84	0.87	0.89	0.89	0.86

Fattore di amplificazione  
FV

Tipo di terreno  
Sabbia

$a_g$  (g)  
0.18g

Profilo di velocità  
Lineare pendenza intermedia

H	$V_{ps}$ (m/s)									
	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	-	1.11	1.06	1.03	1.02	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00
10	-	1.80	1.31	1.14	1.09	1.06	1.04	1.03	1.01	1.00
15	-	2.34	1.83	1.45	1.22	1.14	1.09	1.06	1.03	1.01
20	-	2.55	2.18	1.76	1.46	1.27	1.17	1.12	1.05	1.02
25	-	2.46	2.37	2.00	1.68	1.44	1.28	1.18	1.08	1.03
30	-	-	2.39	2.11	1.79	1.57	1.39	1.26	1.11	1.05
35	-	-	2.32	2.20	1.91	1.64	1.47	1.33	1.15	1.06
40	-	-	2.29	2.17	1.97	1.74	1.53	1.37	1.18	1.08
50	-	-	2.10	2.10	1.95	1.78	1.63	1.48	1.23	1.10
60	-	-	2.05	1.99	1.89	1.77	1.62	1.49	1.27	1.11
70	-	-	1.89	1.90	1.81	1.71	1.61	1.49	1.28	1.13
80	-	-	1.75	1.82	1.73	1.63	1.55	1.47	1.28	1.13
90	-	-	1.71	1.74	1.69	1.58	1.50	1.43	1.27	1.13
100	-	-	1.69	1.62	1.64	1.55	1.46	1.39	1.25	1.12
110	-	-	1.67	1.59	1.58	1.52	1.43	1.35	1.22	1.11
120	-	-	1.63	1.58	1.49	1.48	1.41	1.32	1.20	1.07
130	-	-	1.60	1.57	1.46	1.42	1.38	1.31	1.17	1.06
140	-	-	1.55	1.53	1.44	1.37	1.35	1.28	1.15	1.05
150	-	-	1.45	1.50	1.45	1.35	1.31	1.26	1.13	1.04



Fattore di amplificazione **FA**      Tipo di terreno **Ghiaia**       $a_g$  (g) **0.18g**      Profilo di velocità **Lineare pendenza intermedia**

H	$V_{vs}$ (m/s)									
	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.47	1.91	1.70	1.51	1.30	1.16	1.09	1.05	1.02	1.01
10	-	2.39	2.14	1.79	1.56	1.38	1.26	1.18	1.08	1.03
15	-	2.22	2.19	1.99	1.78	1.58	1.43	1.30	1.14	1.05
20	-	1.90	2.08	1.99	1.80	1.65	1.50	1.38	1.19	1.07
25	-	1.63	1.87	1.90	1.77	1.65	1.51	1.41	1.23	1.09
30	-	1.57	1.68	1.73	1.71	1.61	1.51	1.40	1.22	1.10
35	-	-	1.62	1.65	1.59	1.57	1.47	1.38	1.22	1.09
40	-	-	1.60	1.59	1.53	1.47	1.43	1.35	1.21	1.09
50	-	-	1.47	1.52	1.46	1.38	1.33	1.27	1.17	1.07
60	-	-	1.37	1.47	1.42	1.35	1.29	1.23	1.13	1.04
70	-	-	1.25	1.34	1.30	1.32	1.27	1.21	1.10	1.01
80	-	-	1.13	1.26	1.29	1.29	1.23	1.19	1.08	1.00
90	-	-	1.11	1.20	1.24	1.25	1.22	1.17	1.07	0.99
100	-	-	1.02	1.13	1.19	1.19	1.19	1.15	1.06	0.98
110	-	-	0.98	1.11	1.15	1.17	1.14	1.13	1.04	0.97
120	-	-	0.92	1.06	1.11	1.11	1.12	1.09	1.03	0.96
130	-	-	0.87	1.00	1.08	1.09	1.09	1.06	1.02	0.95
140	-	-	0.85	0.96	1.04	1.06	1.07	1.05	0.99	0.94
150	-	-	0.80	0.92	1.00	1.02	1.04	1.02	0.97	0.93

Fattore di amplificazione **FV**      Tipo di terreno **Ghiaia**       $a_g$  (g) **0.18g**      Profilo di velocità **Lineare pendenza intermedia**

H	$V_{vs}$ (m/s)									
	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.25	1.10	1.06	1.03	1.02	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00
10	-	1.73	1.22	1.12	1.08	1.05	1.04	1.03	1.01	1.00
15	-	2.36	1.73	1.36	1.18	1.12	1.08	1.06	1.03	1.01
20	-	2.70	2.15	1.66	1.38	1.21	1.14	1.10	1.05	1.02
25	-	2.22	2.26	1.94	1.58	1.37	1.27	1.15	1.07	1.03
30	-	2.67	2.51	2.07	1.74	1.50	1.33	1.21	1.10	1.04
35	-	-	2.50	2.21	1.83	1.59	1.41	1.28	1.12	1.04
40	-	-	2.44	2.25	1.93	1.66	1.47	1.33	1.15	1.05
50	-	-	2.34	2.19	1.98	1.78	1.59	1.42	1.20	1.08
60	-	-	2.19	2.11	1.95	1.76	1.61	1.47	1.23	1.09
70	-	-	2.14	2.00	1.89	1.75	1.60	1.46	1.24	1.10
80	-	-	1.99	1.96	1.81	1.69	1.58	1.46	1.26	1.11
90	-	-	1.87	1.89	1.75	1.63	1.54	1.45	1.25	1.11
100	-	-	1.85	1.81	1.72	1.59	1.50	1.41	1.25	1.11
110	-	-	1.83	1.72	1.66	1.56	1.47	1.38	1.24	1.10
120	-	-	1.81	1.69	1.63	1.53	1.43	1.36	1.21	1.08
130	-	-	1.76	1.67	1.55	1.50	1.41	1.33	1.20	1.06
140	-	-	1.73	1.67	1.55	1.45	1.40	1.30	1.18	1.06
150	-	-	1.71	1.65	1.53	1.41	1.36	1.28	1.16	1.05

Nella seguente tabella sono indicate le indagini MASW e ReMi utilizzate, la Vs30 calcolata con esse, la litologia in cui ricadono e i valori di FA e FV.



Microzona MS I	CODICE INDAGINE MASW/ReMi	Vs 30 (m/s)	LITOLOGIA	FA	FV
2	BDP20 BDP21 BDP22 BDP31	276	GP tf	1,73	2,51
3	BDP1 BDP2 BDP3 BDP7 BDP29	325	GP tf	1,73	2,07
3	BDP10 BDP27 BDP28	302	GP tf	1,73	2,51
4	BDP8 BDP13 BDP34	313	SM tf	1,64	2,11
4	BDP11	284	SM tf	1,64	2,39
5	BDP9	350	ML tf	1,75	1,64
5	BDP14	255	ML tf	1,87	2,38
5	BDP19 BDP24 BDP25 BDP32	278	ML tf	1,87	2,38
5	BDP30	271	ML tf	1,87	2,38

**Come da Standard di rappresentazione e Archiviazione Informatica Versione 4.0.b per quanto riguarda per la zona di liquefazione, Fa e Fv sono uguali a quelli della zona 4 della tabella sopra riportata.**



## 9.2 Stima del potenziale di liquefazione IL

La stima del potenziale di liquefazione per le aree instabili soggette a tale fenomeno individuate nel I livello, è stato effettuato attraverso l'utilizzo del programma *Liquef* distribuito da ProgramGeo. Esso permette la stima dell'indice (o potenziale) di liquefazione attraverso diversi metodi empirici o attraverso metodi semplificati.

Tutti i metodi semplificati permettono di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto fra la resistenza al taglio mobilabile nello strato (  $R$  ) e lo sforzo tagliante indotto dal sisma (  $T$  ). Cioè in pratica si avrà:

$$F_s = \frac{R}{T}$$

Un deposito dovrà essere considerato suscettibile di liquefazione, se il coefficiente di sicurezza sarà minore di 1.

La grandezza  $T$  dipende dai parametri del sisma di progetto (accelerazione sismica e magnitudo di progetto).  $R$  è funzione delle caratteristiche meccaniche dello strato, principalmente del suo stato di addensamento, e può essere ricavato direttamente attraverso correlazioni con i risultati di prove penetrometriche dinamiche, statiche o con i valori delle velocità delle onde  $S$  ricavati da stendimenti di sismica a rifrazione (o HVSR).

Tra i metodi semplificati o il metodo di Andrus e Stokoe (1997) che permette di calcolare  $R$  attraverso dati sismici.

### 9.2.1 Calcolo dello sforzo di taglio indotto dal sisma ( $T$ )

La grandezza  $T$  viene ricavata attraverso la relazione:

$$T = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma_{v0}'} r_d \frac{1}{MSF}$$

dove:

$a_{max}$  = accelerazione sismica massima;

$g$  = accelerazione di gravità = 980.7 cm/s<sup>2</sup> ;

$\sigma_{v0}$  = pressione verticale totale alla profondità  $z$  dal p.c.;

$\sigma_{v0}'$  = pressione verticale efficace alla profondità  $z$  dal p.c.;

$r_d$  = coefficiente funzione della profondità dal p.c., valutabile secondo il seguente schema:

$$r_d = 1 - 0.00765z \text{ per } z \leq 9.15 \text{ m}$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267z \text{ per } 9.15 < z \leq 23 \text{ m}$$

$$r_d = 0.774 - 0.008z \text{ per } 23 < z \leq 30 \text{ m}$$

$$r_d = 0.5 \text{ per } z > 30 \text{ m}$$



MSF = coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma, ricavabile con la relazione  $MSF = \left(\frac{M}{7.5}\right)^{-3.3}$  se  $M \leq 7.5$  o con la formula  $MSF = \frac{10^{2.24}}{M^{2.56}}$  se  $M \geq 7.5$ .

### 9.2.2 Metodo di Andrus e Stokoe (1997)

La resistenza alla liquefazione di un deposito sabbioso può essere valutata anche attraverso la stima delle velocità delle onde S. La relazione è la seguente:

$$R = 0.03 \left( \frac{V_{s1}}{100} \right)^2 + \frac{0.9}{V_{s1c} - V_{s1}} - \frac{0.9}{V_{s1}}$$

dove:

$V_{s1}$  (m/s) = velocità delle onde S nello strato corretta =  $V_s \left( \frac{1}{\sigma_{v0}} \right)^{0.25}$ , dove  $V_s$  è la velocità misurata e  $\sigma_{v0}$  (kg/cmq) è la pressione verticale efficace a metà strato;

$V_{s1c}$  (m/s) = valore critico delle onde S nel deposito, ricavabile attraverso il seguente schema:

$V_{s1c}$  (m/s) = 220 se la percentuale di fine (FC) < 5%;

$V_{s1c}$  (m/s) = 210 se FC = 20%;

$V_{s1c}$  (m/s) = 200 se FC > 35%;

interpolando per valori intermedi di FC.

**Viene considerato non liquefacibile un deposito in cui sia  $F_s > 1$ .**

Questa procedura è raccomandata dal National Center for Earthquake Research (NCEER).

### 9.2.3 Calcolo dell'indice di liquefazione

Una stima del rischio di liquefazione complessivo lungo una verticale di calcolo viene fornita dal parametro indice di liquefazione (IL). Tale indice viene definito dalla seguente relazione:

$$IL = \sum_{i=1}^n FW(z) \Delta z$$

dove:

n = numero degli intervalli di calcolo di  $F_s$  lungo la verticale;

F = 1 -  $F_s$  per  $F_s \leq 1$  e F = 0 per  $F_s > 1$ ;

$\Delta z$  = spessore dell'intervallo di calcolo;

W(z) = 10 - 0,5z, con z = profondità di calcolo (massimo 20 m).

In base al valore di IL ottenuto è possibile fornire un'indicazione del rischio di liquefazione attraverso la seguente tabella:



IL	Rischio di liquefazione
IL=0	Molto basso
0<IL≤5	Basso
5<IL≤15	Alto
IL>15	Molto alto

#### 9.2.4 Dati in entrata

I dati in entrata utilizzati nel calcolo dell'Indice di liquefazione sono:

- 1) **Accelerazione sismica di progetto: 0.18g;**
- 2) **Magnitudo di riferimento: 5,5** come stabilito dalle Linee guida per la Microzonazione sismica - Par. 2.8;
- 3) **Profili di velocità:** sono stati scelti quattro profili di velocità significativi derivanti dalle indagini MASW effettuate per il I livello. Si tratta delle indagini BDP8, BDP11, BDP13 e BDP34 qui di seguito riportate:

BDP8		
Profondità dal p.c. (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)
3,27	3,27	125,58
7,22	3,95	181,76
8,22	1	365,40
16,12	7,9	422,03
22,88	6,76	424,03
26,22	3,34	542,76
35,05	8,83	606,52

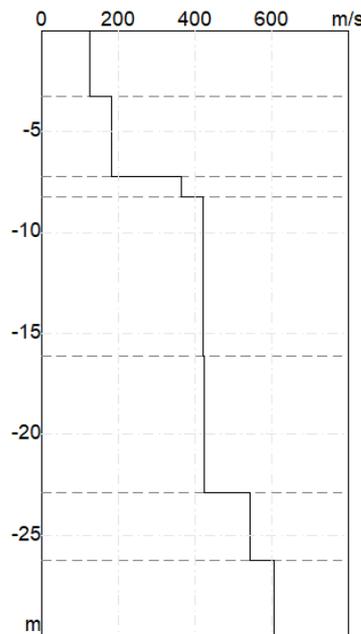


Grafico e tabella delle velocità Vs di ciascuno strato relative all'indagine MASW BDP8



BDP11		
Profondità dal p.c. (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)
1,15	1,15	68,59
2,28	1,13	96,10
3,29	1,01	138,04
10,61	7,32	342,73
15,15	4,54	338,49
17,17	2,02	341,95
20,7	3,53	395,81
31,2	10,5	459,10

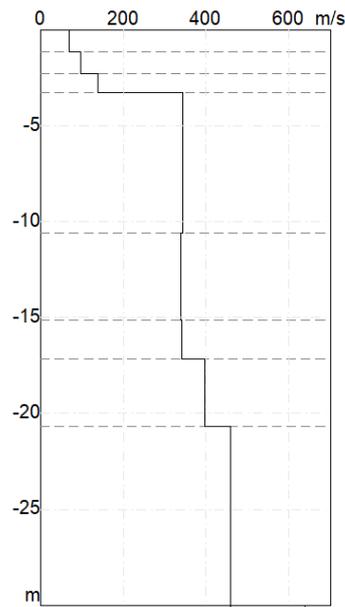


Grafico e tabella delle velocità Vs di ciascuno strato relative all'indagine MASW BDP11

BDP13		
Profondità dal p.c. (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)
1,62	1,62	77,89
4,62	3	200,54
8,55	3,93	215,23
12,03	3,48	461,36
14,39	2,36	527,65
16,77	2,38	595,68
28,35	11,58	663,25
35,89	19,12	725,52

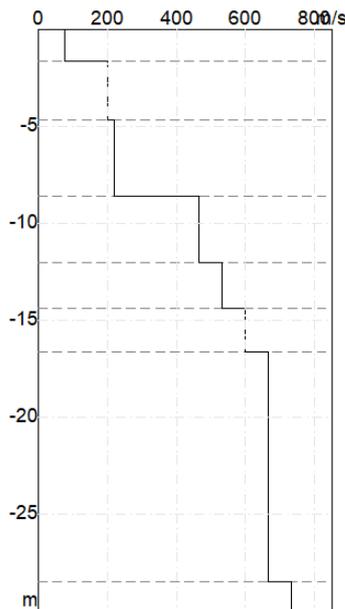
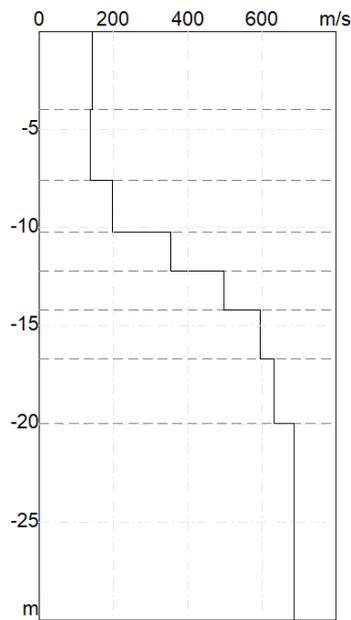


Grafico e tabella delle velocità Vs di ciascuno strato relative all'indagine MASW BDP13



BDP34		
Profondità dal p.c. (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)
2,96	2,96	85,46
5,76	2,8	148,23
8,35	2,59	350,27
11,03	2,68	439,36
17,79	6,76	439,17
25,17	7,38	513,91
36,42	11,25	533,95



*Grafico e tabella delle velocità Vs di ciascuno strato relative all'indagine MASW BDP34*

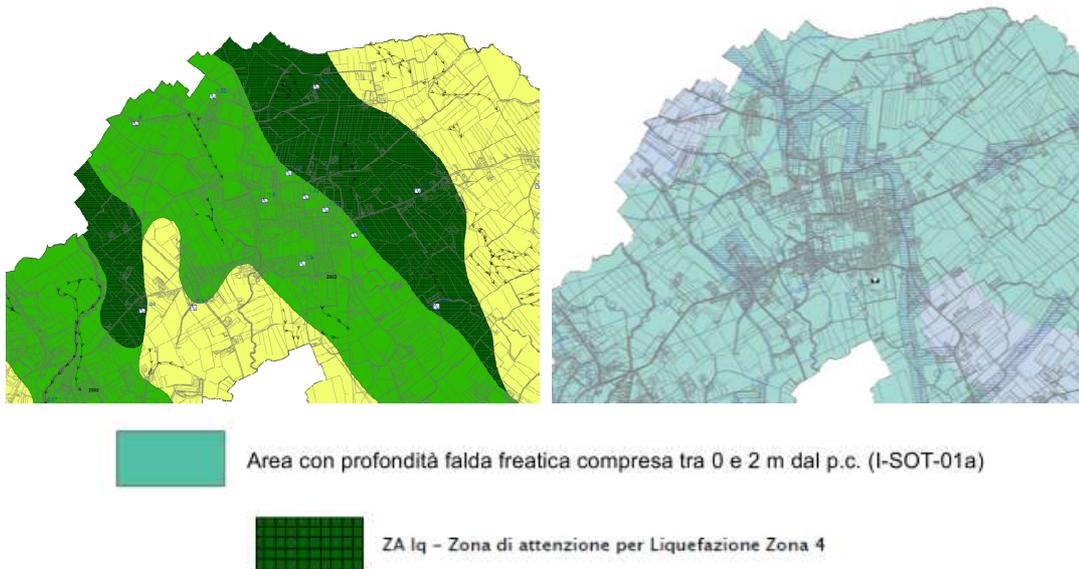
**Tutte le indagini utilizzate sono state effettuate sulla litologia SM, ovvero su sabbie limose che potrebbero dare luogo a liquefazioni.**



- 4) **Profilo litologico:** per poter assegnare ad ogni strato sismico un valore di Gamma ( $t/mc$ ; Peso specifico) e una percentuale di sedimento fine, è stato scelto per le indagini sopra riportate **un profilo litologico di riferimento**, che è riportato nella seguente tabella:

Codice litologico	Litologia	Profondità base strato (m)	Spessore (m)
SM	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo	6	6
GP	Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia	30	24

- 5) **Soggiacenza:** per avere la profondità della falda è stata utilizzata la soggiacenza indicata nella Carta Idrogeologica delle acque sotterranee del PAT pari, per entrambe le aree, a **0-2 m dal p.c.**



*La soggiacenza (a destra) di entrambe le aree liquefabili (a sinistra) è di 0-2 m dal p.c.*



### 9.2.5 Risultati

La seguente tabella riassume i calcoli dell'indice di liquefazione in base alla soggiacenza e alle indagini BDP8, BDP11, BDP13, BDP34 di riferimento:

<b>Stima del rischio di liquefazione con il metodo di Andrus e Stokoe (1997)</b>						
Profondità base(m)	Vs (m/s)	Gamma (t/mc)	% di fine	Sforzo indotto dal sisma T(kg/cmq)	Resistenza alla liquefazione R(kg/cmq)	Coefficiente di sicurezza alla liquefazione Fs
3.27	126	1.85	24	0.177	0.106	1.67
7.22	182	1.95	22	0.161	0.13	2.25
8.22	365	2	15	0.148	0.317	5.95
16.12	422	2.1	11	0.125	0.333	7.41
22.88	424	2.2	9	0.094	0.255	7.59
26.22	543	2.2	10	0.079	0.382	13.39
35.05	607	2.4	8	0.07	0.423	16.83

Profondità tetto falda(m): 0                      Profondità base falda(m): 50

Accelerazione sismica di progetto(g)= 0.18                      Magnitudo di riferimento= 5.5

**Indice di liquefazione=0.0 rischio molto basso**

Fattore di correzione della magnitudo MSF: 2.78                      **Fs = MSF x R / T**



Tabella del calcolo dell'Indice di Liquefazione per l'indagine MASW BDP8



**Stima del rischio di liquefazione con il metodo di Andrus e Stokoe (1997)**

Profondità base(m)	Vs (m/s)	Gamma (t/mc)	% di fine	Sforzo indotto dal sisma T(kg/cmq)	Resistenza alla liquefazione R(kg/cmq)	Coefficiente di sicurezza alla liquefazione Fs
1.15	69	1.8	27	0.182	0.051	0.78
2.28	96	1.85	24	0.178	0.057	0.89
3.29	138	1.85	24	0.173	0.096	1.55
10.61	343	2	21	0.152	0.293	5.37
15.15	338	2.2	15	0.121	0.193	4.42
17.17	342	2.1	11	0.106	0.166	4.35
20.7	396	2.4	11	0.095	0.22	6.43
31.2	459	2.4	9	0.076	0.252	9.27

Profondità tetto falda(m): 0

Profondità base falda(m): 50

Accelerazione sismica di progetto(g)= 0.18

Magnitudo di riferimento= 5.5

**Indice di liquefazione=3.7 rischio basso**

Fattore di correzione della magnitudo MSF: 2.78

**Fs = MSF x R / T**

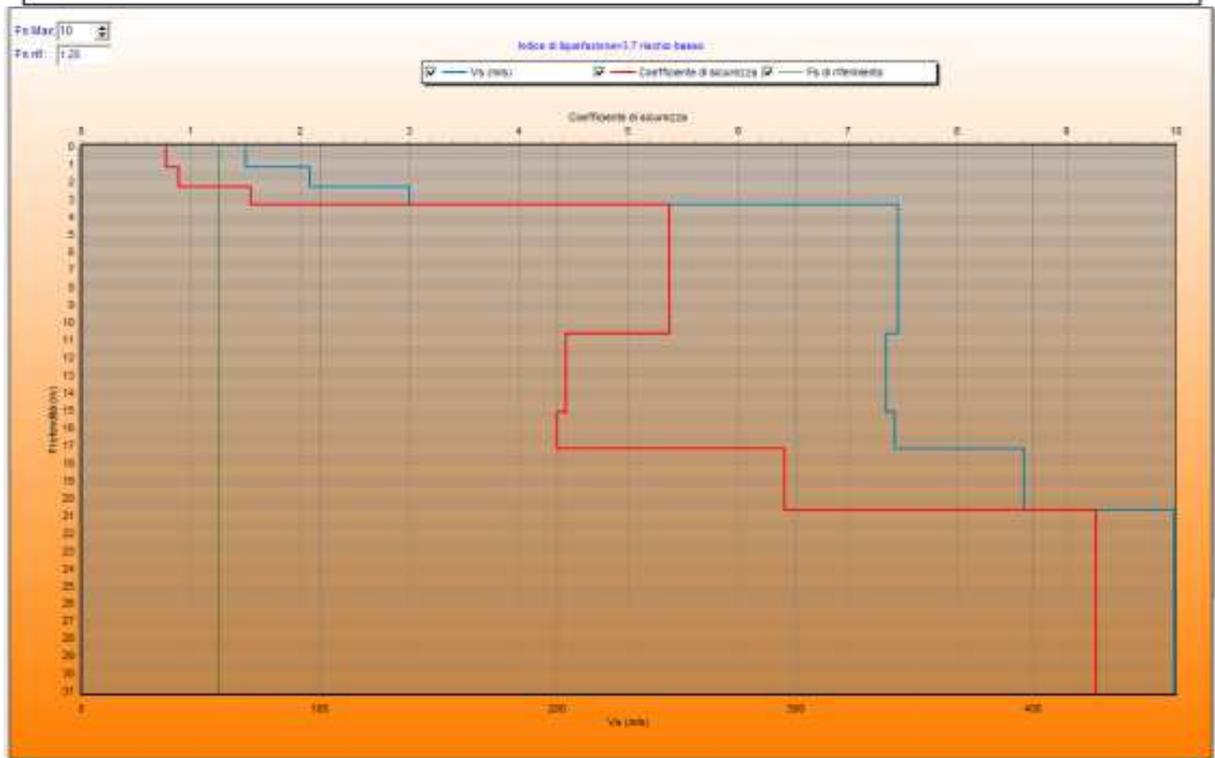


Tabella del calcolo dell'Indice di Liquefazione per l'indagine MASW BDP11



### Stima del rischio di liquefazione con il metodo di Andrus e Stokoe (1997)

Profondità base(m)	Vs (m/s)	Gamma (t/mc)	% di fine	Sforzo indotto dal sisma T(kg/cmq)	Resistenza alla liquefazione R(kg/cmq)	Coefficiente di sicurezza alla liquefazione Fs
1.62	78	1.8	27	0.181	0.055	0.84
4.62	201	1.85	24	0.172	0.119	1.93
8.55	215	1.95	22	0.155	0.321	5.76
12.03	461	2.1	16	0.135	0.444	9.12
14.39	528	1.9	12	0.121	0.513	11.82
16.77	596	2	11	0.11	0.604	15.25
28.35	663	2.3	10	0.085	0.607	19.98
35.89	726	2.4	8	0.069	0.597	24.03

Profondità tetto falda(m): 0

Profondità base falda(m): 50

Accelerazione sismica di progetto(g)= 0.18

Magnitudo di riferimento= 5.5

**Indice di liquefazione=2.5 rischio basso**

Fattore di correzione della magnitudo MSF: 2.78

**Fs = MSF x R / T**

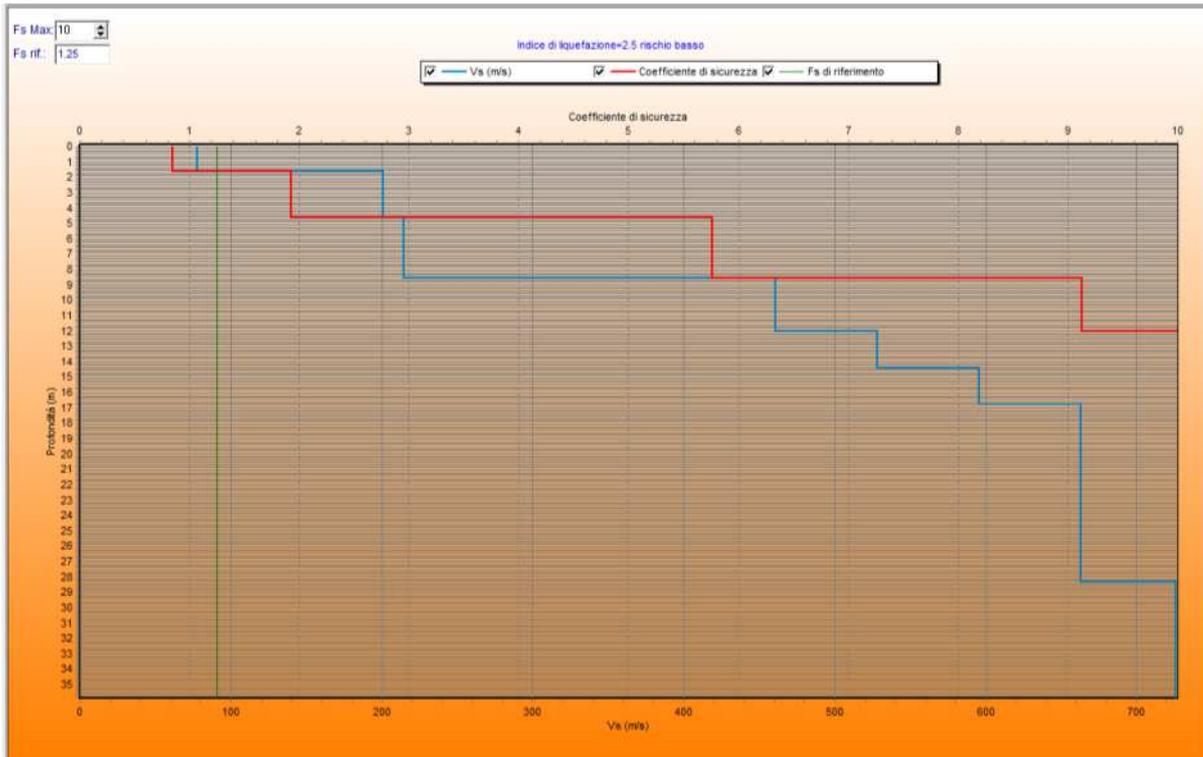


Tabella del calcolo dell'Indice di Liquefazione per l'indagine MASW BDP13



**Stima del rischio di liquefazione con il metodo di Andrus e Stokoe (1997)**

Profondità base(m)	Vs (m/s)	Gamma (t/mc)	% di fine	Sforzo indotto dal sisma T(kg/cmq)	Resistenza alla liquefazione R(kg/cmq)	Coefficiente di sicurezza alla liquefazione Fs
2.96	85	1.8	27	0.179	0.048	0.75
5.76	148	1.85	24	0.167	0.087	1.46
8.35	350	2	15	0.153	0.309	5.62
11.03	439	2.2	11	0.138	0.414	8.32
17.79	439	2.2	16	0.114	0.328	8
25.17	514	2	10	0.087	0.368	11.7
36.42	534	2.4	8	0.07	0.324	12.87

Profondità tetto falda(m): 0

Profondità base falda(m): 50

Accelerazione sismica di progetto(g)= 0.18

Magnitudo di riferimento= 5.5

**Indice di liquefazione=7.0 rischio alto**

Fattore di correzione della magnitudo MSF: 2.78

**Fs = MSF x R / T**

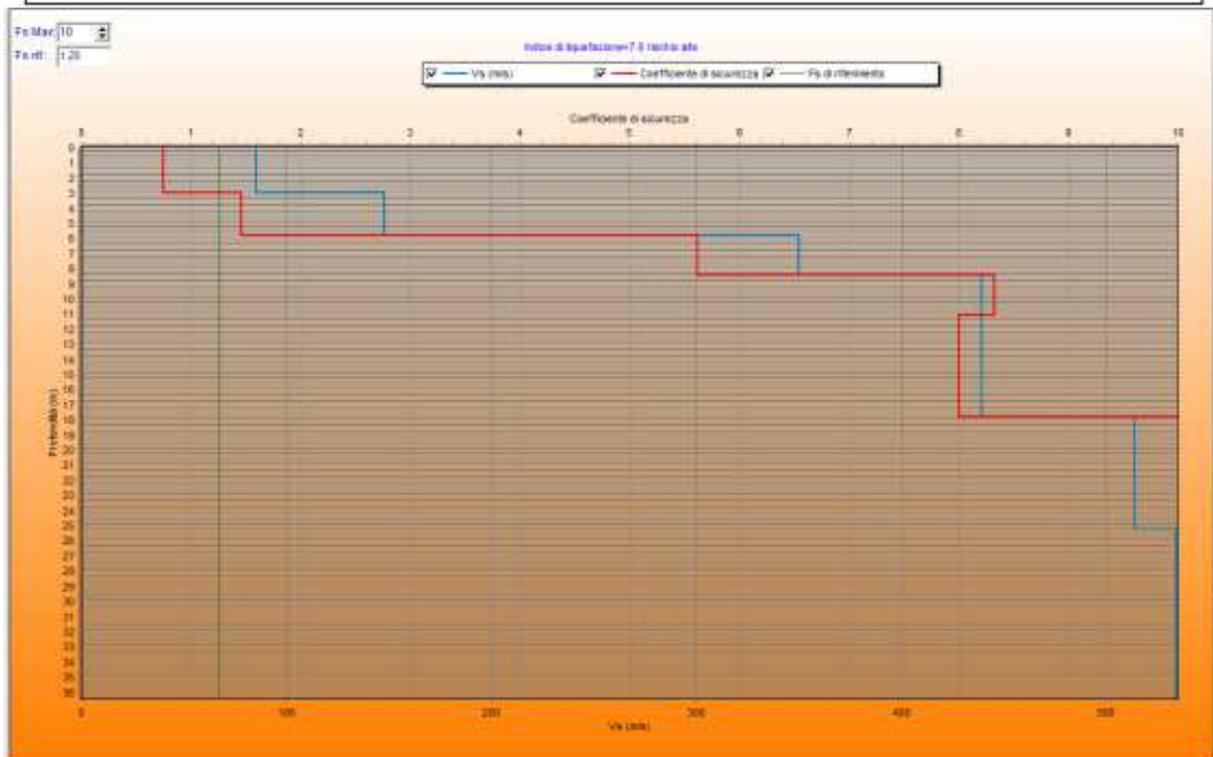


Tabella del calcolo dell'Indice di Liquefazione per l'indagine MASW BDP34



- **L'indagine MASW BDP8 presenta un Indice di Liquefazione pari a 0**, ovvero un rischio di liquefazione molto basso. Ciò è probabilmente dovuto al fatto che l'indagine sia stata effettuata in un'area dove il primo strato del terreno potrebbe essere di riporto antropico e non naturale. Pertanto **il calcolo risulta non attendibile**;
- **Le indagini MASW BDP11 e BDP13 presentano un Indice di Liquefazione pari rispettivamente a 3.7 e a 2.5, ovvero un rischio di liquefazione basso.** In entrambe le indagini si nota che lo strato liquefacibile si trova tra 3 e 4 m dal p.c. Queste due indagini presentano un risultato simile in quanto le condizioni del terreno sono le medesime;
- **L'indagine MASW BDP34 presenta un Indice di Liquefazione pari a 7.0 ovvero un rischio di liquefazione alto**; si nota che lo strato liquefacibile si trova tra 4 e 7 m dal p.c.
- Si è scelto come **indice di Liquefazione** per l'area liquefacibile più ad ovest **il valore di 3.7**, pari a quello calcolato attraverso l'indagine BDP11;
- Si è scelto come **indice di Liquefazione** per l'area liquefacibile più ad est **il valore di 7.0**, pari a quello calcolato attraverso l'indagine BDP34, **in quanto risulta essere il più cautelativo.**



### 9.3 Carta di Microzonazione Sismica (Livello II)

Per la produzione della Carta di Microzonazione sismica (II livello; ) si è partiti dall'analisi della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica redatta per il I livello.

In essa erano già presenti:

- **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**, nelle quali sono attese amplificazioni del moto, come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale (le zone da 1, 2, 3 e 5 sono state definite in base alle diverse componenti litologiche);
- **zone suscettibili di instabilità**, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio (non sono necessariamente esclusi per queste zone anche fenomeni di amplificazione del moto). I tipi di instabilità individuate sono **zone di attenzione per liquefazioni**.

Partendo da questa microzonazione si è proceduto assegnando a ciascuna microzona suscettibile di amplificazione locale il valore di  $F_a$  (e  $F_v$ ) calcolato secondo quanto descritto nel par. 9.1; sono stati poi individuati 2 intervalli di  $F_a$  a cui è stato assegnato un colore secondo gli standard (si ricorda che "nella classe 1.1-1.2 sono compresi valori del parametro di amplificazione da 1.05 a 1.24, nella classe 1.3-1.4 sono compresi valori da 1.25 a 1.44 e così via. ").

#### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

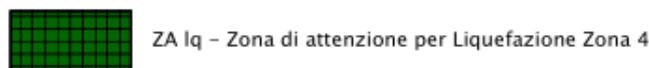


*Legenda della Carta di Microzonazione Sismica per le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali*

**Come già detto, i valori di  $F_a$  (e  $F_v$ ) derivano dalle indagini MASW e ReMi effettuate nel livello I.**

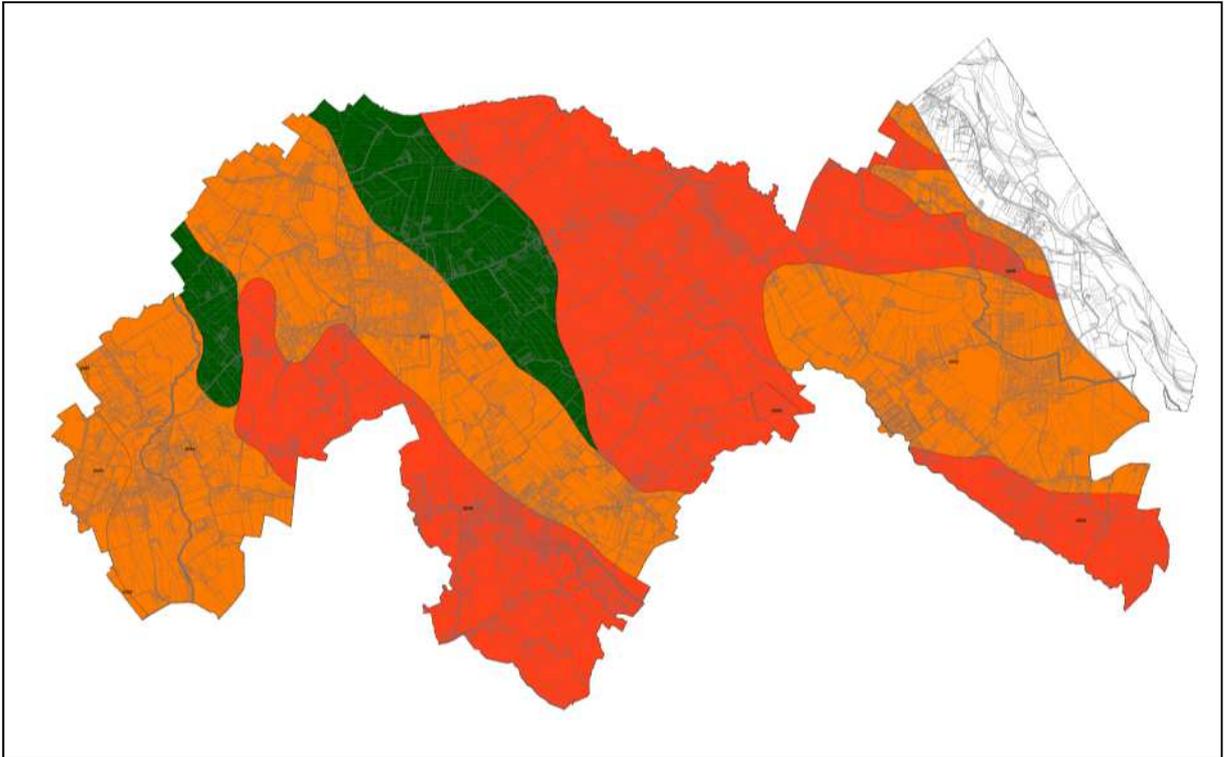
In carta sono state riproposte le **zone suscettibili di instabilità** presenti nella Carta delle Zone Omogenee in Prospettiva Sismica; **alle zone soggette a liquefazione è stato assegnato un valore di IL non visibile in carta ma incluso nello shape file "Instab" secondo gli standard.**

#### Zone di attenzione per instabilità



*Legenda della Carta di Microzonazione Sismica per le zone suscettibili di instabilità*

**Si ricorda inoltre che dallo Studio di II livello sono state escluse le aree fluviali individuate nel PAI del fiume Piave in base ai commi 4 e 5 dell'art. 5 dell'OPCM 3907 del 13 Novembre 2010.**



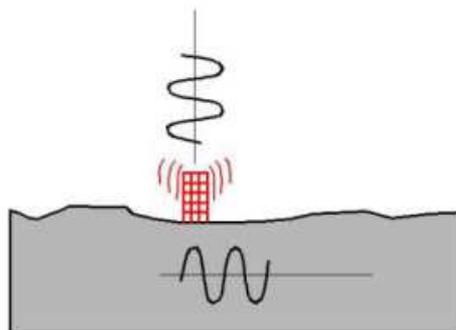
*Carta di Microzonazione Sismica (II livello) (2017)*



## 10. ANALISI DELLA FREQUENZA DI RISONANZA DI ALCUNI EDIFICI STRATEGICI E CENNI DI INGEGNERIA SISMICA

La storia della classificazione sismica Italiana comincia dopo il terribile terremoto di Reggio Calabria e Messina del 1908 (XI grado MCS) che provocò la morte di circa 80.000 persone. In seguito a questo evento ci fu un deciso impegno dello Stato a tradurre in legge le conoscenze scientifiche e tecniche sulle costruzioni sino ad allora maturate. Fu così emanato il Regio decreto n. 193 (anno 1909) nel quale è contenuta la prima classificazione sismica del territorio Italiano. Negli anni a seguire si continuò ad aggiornare la normativa tecnica ampliando la classificazione in base alle zone colpite da eventi sismici. Nel 1962 fu pubblicata la Legge n. 1684, in seguito ai terremoti avvenuti in Carnia (1956), Valle del Velino (1961) e Irpinia (1962) dove, per la prima volta, si prescrisse l'applicazione delle norme sismiche ai comuni "soggetti a intensi movimenti sismici" e non solo a quelli colpiti dal terremoto. In seguito ai terremoti dei Monti Nebrodi (1967), della Valle del Belice (1968) e di Toscana (1971), fu emanata la Legge n. 64 (1974), che costituisce una pietra miliare nel panorama della normativa sismica poiché stabilisce che la classificazione sismica sia effettuata sulla base di comprovate motivazioni tecniche e scientifiche.

La promulgazione dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20/3/2003 e successive modifiche ed integrazioni ha determinato sul panorama nazionale un grande rinnovamento sul fronte della normativa tecnica in zona sismica, rappresentata fino ad allora dai contenuti del D.M. 16 gennaio 1996. La principale novità introdotta dall'O.P.C.M. n. 3274 è l'abbandono del carattere puramente prescrittivo e convenzionale che caratterizzava le norme tecniche di vecchia concezione, come il D.M. 16/01/1996, per abbracciare un'impostazione puramente prestazionale, in cui gli obiettivi della progettazione e quindi il livello di sicurezza sono esplicitamente dichiarati, a seconda della risposta sismica attesa per la struttura e per il sito di costruzione, in relazione ad un prefissato livello di severità dell'azione sismica. Le attuali norme tecniche per le costruzioni (NTC/08) ereditano gran parte dei contenuti dell'O.P.C.M. n. 3274 in merito alla progettazione in zone sismiche; tuttavia rispetto a quest'ultimo documento sono anche stati apportati importanti cambiamenti, tra cui la definizione dell'azione sismica.



*Tra gli effetti di sito rientrano anche le frequenze di risonanza dei terreni che caratterizzano la vulnerabilità del territorio. Quando la frequenza di risonanza del suolo coincide con quella propria degli edifici, si produce un'amplificazione molto grande delle onde sismiche e vengono indotte sollecitazioni con un possibile forte potere distruttivo (fenomeno della doppia risonanza).*



Lo studio della risonanza suolo-edificato costituisce una delle più importanti indagini per far fronte ai danni causati dagli eventi sismici ed è collegato al concetto di risposta sismica locale. Dal punto di vista strettamente fisico, per effetto di sito (= risposta sismica locale) s'intende l'insieme delle modifiche in accelerazione, ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo ad una formazione rocciosa di base (R), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie (S). Secondo la teoria di Nakamura (1989), che relaziona lo spettro di risposta del substrato roccioso (rapporto spettrale  $H/V = 1$ ) con quello effettivamente misurato in superficie, il moto sismico è amplificato in corrispondenza di determinate frequenze che corrispondono alle frequenze naturali  $f_n$  di vibrazione del deposito, mentre è attenuato alle frequenze elevate a causa dello smorzamento del terreno:

$$f_n = 1 / T_n = (V_s * (2n - 1)) / (4 * H) \text{ con } n = 1, 2$$

Di particolare importanza è la prima frequenza naturale di vibrazione del deposito denominata frequenza fondamentale di risonanza, così definita:

$$f_1 = 1 / T_1 = V_s / 4H$$

E' quindi necessario porre estrema attenzione ai fenomeni di doppia risonanza suolo-edificato, cioè alla coincidenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle proprie dei manufatti sopra edificati ( $f_1$ ) in quanto le azioni sismiche sulle strutture edili potrebbero essere gravose.

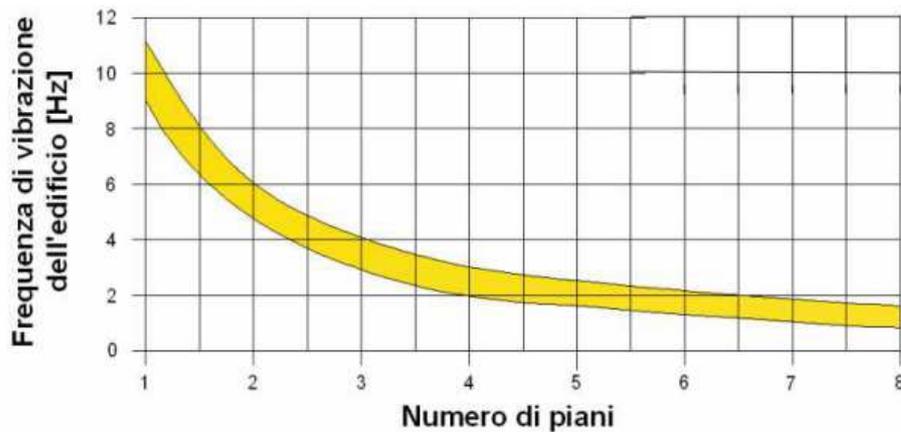
Il periodo fondamentale di vibrazione del fabbricato ( $T_1$ ) e quindi la frequenza fondamentale dell'edificio, può in prima approssimazione essere valutato con formule semplificate, tra cui quella proposta dalle N.T.C./08 (Cap. 7.3.3.2):

$$T_1 = C_1 \times H^{3/4} \text{ da cui } f_1 = 1 / C_1 \times H^{3/4}$$

In cui  $C_1$  è un fattore che dipende dalla tipologia costruttiva:

Tipologia	$C_1$
Costruzioni con struttura a telaio in acciaio	0,085
Costruzioni con struttura a telaio in calcestruzzo armato	0,075
Costruzioni con qualsiasi altro tipo di struttura	0,050

La relazione sopra indicata proposta dalle N.T.C./08 può essere considerata valida per costruzioni civili e industriali che non superino i 40 m di altezza ( $H$  = altezza calcolata dal piano di fondazione) e la cui massa sia approssimativamente uniformemente distribuita lungo lo sviluppo verticale.



*Frequenza di vibrazione degli edifici rapportata al numero di piani*

La frequenza di vibrazione sismica di un edificio è pertanto governata principalmente dalla sua altezza e, in assenza di calcoli più dettagliati, può essere stimata anche con altre relazioni:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani}$$

La condizione di doppia risonanza sismica si verifica quando:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx \text{freq. fondamentale di risonanza del sito}$$

da cui si evidenzia che se la frequenza di risonanza del suolo coincide con quella propria degli edifici, si produce un'amplificazione molto grande delle onde sismiche e vengono indotte sollecitazioni con un possibile forte potere deformativo o distruttivo.

Se si considera gli edifici localizzati su di un fondovalle alluvionale, come ad esempio quelli presenti nel territorio di Breda di Piave, per essi è possibile considerare un campo di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) tipiche dei terreni alluvionali con tessiture medio-fini (argille limose e sabbiose, sabbie limose) i cui valori variano da 200 a 300 m/s.

In tal caso il fenomeno della doppia risonanza si verifica secondo la seguente relazione:

$$10 \text{ Hz} / \text{numero piani} \approx 200 - 300 \text{ m/s} / (4H)$$

con H che indica lo spessore della copertura.

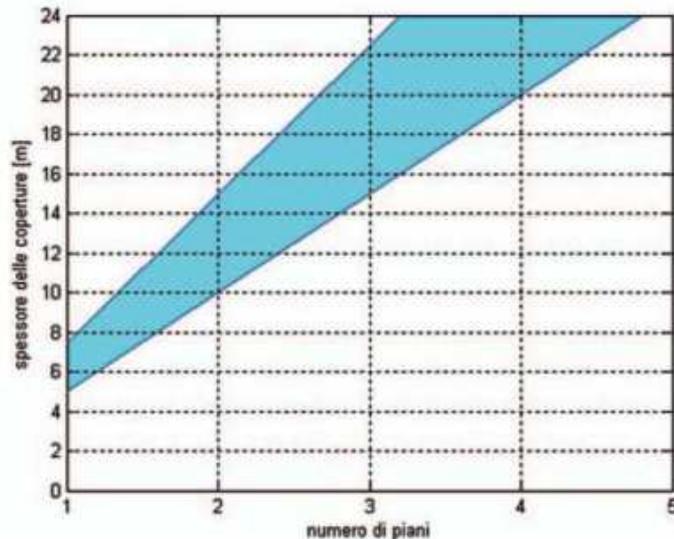
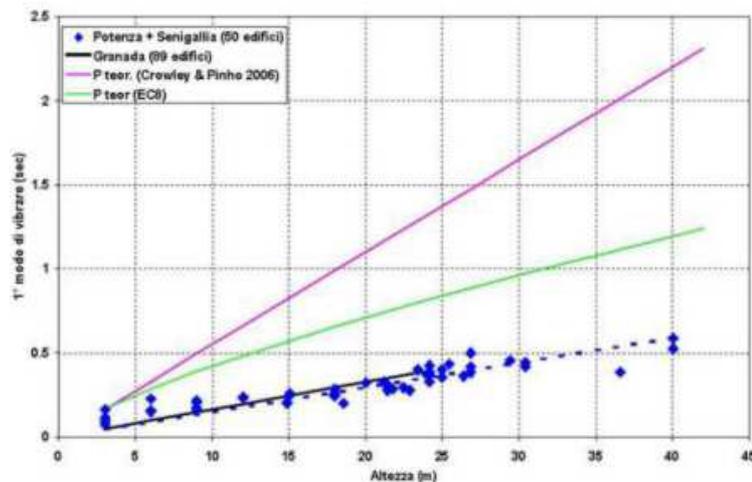


Grafico che mostra le condizioni di doppia risonanza (fascia azzurra) in base al numero dei piani e lo spessore delle coperture aventi Vs di circa 200/300 m/s (terreni alluvionali)

Dalle norme di ingegneria si evince che nella fase di progettazione la condizione di doppia risonanza deve essere valutata con molta attenzione poiché ad essa corrisponde la massima amplificazione delle sollecitazioni sismiche. A tal riguardo esistono numerosi studi che propongono relazioni tra l'altezza degli edifici e i periodi di vibrazione delle strutture:



Relazioni empiriche e teoriche tra altezza e periodo fondamentale di vibrazione degli edifici (I.N.G.V., 2007)

Il presente studio di microzonazione sismica ha previsto di misurare la frequenza fondamentale di vibrazione di alcuni edifici di importanza particolare nelle due direzioni principali di sviluppo mediante la tecnica a sismica passiva HVSR ampiamente dimostrata in bibliografia. Essa viene eseguita all'interno dell'edificio, utilizzando le componenti del microtremore ambientale registrate nel piano più profondo e presso le strutture situate più in elevazione.



Nella pratica, il picco positivo massimo dello spettro  $H_i / H_o$  indica direttamente la frequenza fondamentale della struttura, in cui  $H_o$  è lo spettro della componente orizzontale lungo x o y riferita al piano terra e  $H_i$  è la stessa componente misurata al piano i-esimo.

È possibile quindi confrontare la frequenza fondamentale degli edifici indagati con quella caratteristica del sito (in condizioni di free field) e capire se in caso di sisma il fabbricato possa essere soggetto a sollecitazioni particolarmente intense e/o gravose. Nel caso specifico, la frequenza fondamentale della struttura è stata misurata mediante apposita strumentazione sebbene, in prima approssimazione, essa possa essere valutata anche con formule semplificate, tra cui quelle indicate dalle NTC/08 (Cap. 7.3.3.2).

Dalla campagna di misure si evince che le frequenze principali di vibrazione degli edifici indagati sono comprese tra 1 Hz e 15 Hz (range molto variabile). Sulla base dei dati acquisiti, che trovano accordo con quanto rilevato in numerose altre città italiane, esiste una certa dipendenza tra le frequenze degli edifici e l'età di costruzione degli stessi; si può notare come le frequenze fondamentali degli edifici diminuiscano all'aumentare dell'altezza (e dei piani) e si può ritenere che gli edifici in muratura, a parità di altezza e di forma, vibrino a frequenze più alte rispetto a quelli in cemento armato.



## 10.1 Procedura di acquisizione dei dati e sintesi dei risultati della campagna di misura effettuata sugli edifici

All'interno del territorio comunale di Breda di Piave sono stati acquisiti dati su 4 edifici di particolare interesse.

La procedura di acquisizione per ciascun edificio prevedeva una misurazione HVSR della durata di 6 minuti con frequenza di campionamento di 128 Hz per ciascun piano dell'edificio e una misura HVSR in campo libero della durata di 16 minuti sul terreno prossimo all'edificio.

Il tromometro per la misurazione HVSR veniva posto con il nord dello strumento perpendicolare ad un muro portante; la misura ai piani superiori avveniva lungo una verticale, in modo che le misure fossero il più possibile allineate una sopra l'altra.

Per elaborare i dati si è posto come piano di riferimento il meglio accoppiato col terreno (quindi un piano interrato o il piano terra) e si è studiato come i piani superiori si muovessero in rapporto ad esso.

I risultati dell'analisi sono:

- un grafico con la frequenza fondamentale del sottosuolo in prossimità dell'edificio indagato;
- Un grafico con il rapporto  $H_i/H_0$ .

### Quest'ultimo rappresenta la frequenza fondamentale di vibrazione dell'edificio.

Confrontando la frequenza di picco del grafico  $H_i/H_0$  con la frequenza fondamentale del terreno su cui poggia l'edificio si è poi valutato il fenomeno della doppia risonanza.

Di seguito si espone brevemente quanto è emerso da questa analisi. Per maggiori dettagli si rimanda all'allegato "Analisi della frequenza di risonanza di alcuni edifici strategici".

**Municipio:** La frequenza fondamentale del terreno è compresa tra 1.74 e 1.86 Hz. Sulla base dello spettro H/V sopra riportato si evidenzia che in corrispondenza delle frequenze fondamentali del terreno (freccia nera) non vi è corrispondenza delle frequenze fondamentali dei vari piani. La frequenza di risonanza dell'edificio risulta essere posizionata a 7.93 Hz (freccia rossa). **Vista la distanza tra la frequenza del terreno e la frequenza di risonanza dell'edificio si possono escludere possibili effetti di doppia risonanza;**

### Scuola Primaria Giacomo Puccini:

- **Verticale 1:** la frequenza fondamentale del terreno è compresa tra 1.71 e 1.75 Hz. Sulla base dello spettro H/V sopra riportato si evidenzia che in corrispondenza della frequenza fondamentale del terreno (freccia nera) vi è corrispondenza delle frequenze fondamentali del piano terra (linea rossa-tra 1.24 e 1.82 Hz). **Sono quindi possibili effetti di doppia risonanza.** Quest'analisi è comunque da considerarsi parziale in quanto misura i modi di vibrare orizzontali e verticali della struttura, ma non riesce a stimare le vibrazioni legate alle torsioni dell'edificio, per misurare queste ultime sarebbe necessario effettuare un'analisi sul tetto dell'edificio.
- **Verticale 2:** La frequenza fondamentale del terreno è compresa tra 1.71 e 1.75 Hz. Sulla base dello spettro H/V sopra riportato si evidenzia che in corrispondenza della frequenza fondamentale del terreno (freccia nera) vi è corrispondenza delle frequenze fondamentali del piano terra (linea rossa-tra 1.35 e 1.71 Hz). **Sono quindi possibili effetti di doppia risonanza.** Quest'analisi è comunque da considerarsi parziale in quanto misura i modi di vibrare orizzontali e verticali della struttura, ma



non riesce a stimare le vibrazioni legate alle torsioni dell'edificio, per misurare queste ultime sarebbe necessario effettuare un'analisi sul tetto dell'edificio.

#### **Scuola Secondaria Galileo Galilei:**

- **Verticale 1:** le frequenze fondamentali del terreno sono comprese tra 1.60 e 1.78 Hz e tra 13.35 e 14.25 Hz. Sulla base dello spettro H/V sopra riportato si evidenzia che in corrispondenza delle frequenze fondamentali del terreno (frecce nere) non vi è corrispondenza delle frequenze fondamentali dell'edificio che sono localizzate a 4.89 e 5.84 Hz (frecce rosse). **Si possono quindi effetti di doppia risonanza.**
- **Verticale 2:** le frequenze fondamentali del terreno sono comprese tra 1.60 e 1.78 Hz e tra 13.35 e 14.25 Hz. Sulla base dello spettro H/V sopra riportato si evidenzia che in corrispondenza delle frequenze fondamentali del terreno (frecce nere) vi è corrispondenza delle frequenze di vibrazione dell'edificio (frecce rosse-tra 1.03 e 1.65 Hz). **In questa porzione dell'edificio sono quindi possibili effetti di doppia risonanza.**

**Scuola dell'infanzia Vacil:** le frequenze fondamentali del terreno sono pari a  $2.07 \pm 10.45$  Hz e comprese tra 14.19 e 15.71 Hz. Sulla base dello spettro H/V sopra riportato si evidenzia che in corrispondenza della frequenza fondamentale del terreno più bassa (freccia nera) vi è corrispondenza della frequenza di vibrazione dell'edificio (freccia rossa-tra 1.83 e 2.53 Hz). **Sono quindi possibili effetti di doppia risonanza.** Quest'analisi è comunque da considerarsi parziale in quanto misura i modi di vibrare orizzontali e verticali della struttura, ma non riesce a stimare le vibrazioni legate alle torsioni dell'edificio, per misurare queste ultime sarebbe necessario effettuare un'analisi sul tetto dell'edificio.



## **11. PRESCRIZIONI URBANISTICHE A SEGUITO DELLO STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI I E II LIVELLO**

A seguito dei risultati illustrati in tale studio e nelle Carte ad esso allegate emergono alcune problematiche di tipo sismico che necessitano di un approfondimento, in modo da poter diminuire la vulnerabilità sismica delle future edificazioni prevenendo tali problematiche.

Di seguito vengono date alcune prescrizioni sulle Zone suscettibili instabilità presenti nella Carta di Microzonazione Sismica di II livello:

### **11.1 Zone Suscettibili di Instabilità**

Tali zone sono caratterizzate da cedimento per possibili liquefazioni.

Nelle zone di attenzione per instabilità dovuta a fenomeni di liquefazione è necessario un **approfondimento di III livello in sede di PI/PUA**, nel quale verranno effettuate:

1. indagini geotecniche in situ e prove di laboratorio necessarie a valutare la granulometria e la profondità dei terreni, la loro reale estensione e le loro condizioni litostratigrafiche e idrogeologiche;
2. analisi di risposta sismica locale.

Per tutte le zone suscettibili di instabilità, nel III livello di Microzonazione Sismica deve essere indicato se si tratta di Zone di Suscettibilità (ZS) o Zone di Rispetto (ZR) come indicato negli ICMS (2008) e negli Standard di rappresentazione e Archiviazione Informatica.



## 12. BIBLIOGRAFIA

- AGIP (1959): AGIP MINERARIA, *Microfacies Italiane*, S.Donato Milanese, Milan, 1959.
- AMBRASEYS N. N. (1976): *The Gemona di Friuli Earthquake of 6 May 1976*. UNESCO Technical Report, RP/1975-76/2.222.3, Paris.
- ANDERSON H., JACKSON J. (1987): *Active tectonics of Adriatic region*, Geophys. J. R. Astr. Soc., 91, 937-983.
- AOUDIA A. (1998): *Active faulting and seismological studies for earthquake hazard assessment*. Ph.D. thesis, 153 pp., Univ. of Trieste, October 1998.
- AOUDIA A., SARAO' A., BUKCHIN B., SUHADOLC, P. (2000): *The Friuli 1976 event: a reappraisal 23 years later*. Geophys. Res. Letters, 27, 573-576.
- BOSI C., CAMPONESCHI B., GIGLIO G. (1976): *Indizi di possibili movimenti lungo faglie in occasione del terremoto del Friuli del 6 maggio 1976*. Boll. Soc. Geol. It., 94, 187-206.
- CIPAR J. (1980): *Teleseismic observations of the 1976 Friuli, Italy, earthquake sequence*. Bull. Seism. Soc. Am., 70, 963-983.
- DE METS C. R., GORDON G., ARGUS D. F., STEIN, S. (1990): *Current plate motions*, Geophys. J. Int., 101, 425-478.
- DEWEY J. W. (1971): *Seismicity studies with the method of joint hypocenter determination*, Ph.D. thesis, 163 pp., Univ. Calif., Berkeley.
- EKSTRÖM G., NETTLES M. (1997): *Calibration of HGLP seismograph network and centroid-moment tensor analysis of significant earthquakes of 1976*. Phys. Earth Planet. Int., 101, 219-243.
- FINETTI I., GIORGETTI F., HAESSLER H., HOANG H. T. P., SLEJKO D., WITTLINGER G. (1976): *Time-space epicenter and hypocenter distribution and focal mechanism of 1976 Friuli earthquakes*. Boll. Geofis. Teor. Appl., 19, 637-655.
- GIORGETTI F. (1976): *Isoseismal map of the May 6, 1976 Friuli earthquake*. Boll. Geofis. Teor. Appl., 19, 707-714.
- GRANET M., HOANG T. P. (1980): *Some medium properties at Friuli (Italy) from amplitude spectrum analysis: a possible change in time or in space*. Tectonophysics, 68, 167-182.
- LYON-CAEN H. (1980): *Seismes du Frioul (1976): modeles de source a l'aide des sismogrammes synthetiques d'onde de volume*. Ph.D. thesis, Univ. Paris VII., 1980.
- MARTINIS B., CAVALLIN A. (1976): *The Friuli earthquake May 6, 1976: Ground cracks and sand mounds*. Boll. Geofis. Teor. Appl., 19, 792-808.
- ZANFERRARI A., AVIGLIANO R., GRANDESSO P., MONEGATO G., PAIERO G., POLI M.E., STEFANI C.: *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000: foglio 065 Maniago* – 2008.
- <http://idt.regione.veneto.it/app/metacatalog/> (per dati cartografici e geologici regionali).
- <http://sgi.isprambiente.it/geoportal/catalog/content/project/ithaca.page> (catalogo nazionale delle faglie capaci – Progetto ITHACA);
- Indirizzi e Criteri per la microzonazione sismica approvati dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome (13.11.2008).



**Studio Mastella**  
Geologia Geotecnica Idraulica Ambiente

Standard di rappresentazione e Archiviazione Informatica – Specifiche tecniche per la redazione degli elaborati cartografici della microzonazione sismica – Versione 4.0.1; Commissione tecnica per la microzonazione sismica.