

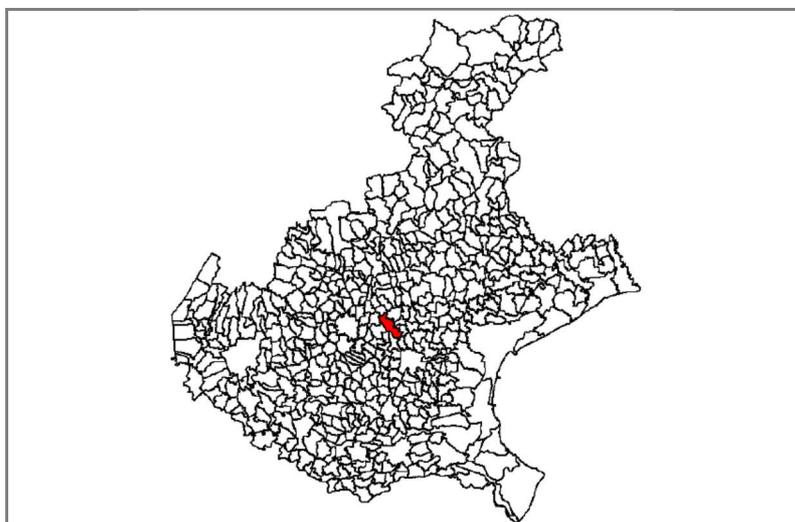
Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009,
n. 77

MICROZONAZIONE SISMICA DI I LIVELLO

Relazione Illustrativa

Regione Veneto

Comune di Piazzola sul Brenta



Regione

Veneto

Soggetto realizzatore

Studio Mastella

Data

30/06/2022



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.....	9
2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	11
2.1 Caratteristiche sismogeniche del comune.....	11
2.2 Sismicità storica	16
2.2.1 La sismicità storica del Veneto	16
2.3 Faglie attive	26
3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	28
3.1 Inquadramento topografico e geomorfologico	28
3.1.1 Elementi morfologici a valenza sismica.....	32
3.2 Inquadramento geologico.....	33
3.2.1 Depositi sciolti presenti nella Carta Geolitologica del PAT	36
3.2.2 Interpretazione delle litologie presenti nel PAT nello studio di Microzonazione Sismica	38
3.2.3 Caratterizzazione geomeccanica dei litotipi	39
3.3 Tettonica	40
3.4 Inquadramento idrogeologico	41
3.4.1 Idrologia di superficie.....	43
3.4.2 Aree di pericolosità e rischio idraulici del Piano di Gestione Rischio Alluvioni del bacino idrografico del fiume Brenta-Bacchiglione	45
3.4.1 Acque sotterranee.....	47
4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	49
4.1 Parametri geotecnici statici e dinamici ricavati da dati pregressi.....	49
4.2 Nuove indagini	49
4.2.1 Indagini di sismica passiva a stazione singola (HVSR).....	49
4.2.2 Metodo MASW	54
5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO	59
6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE	60
6.1 Identificazione e rappresentatività dei dati raccolti.....	60
7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI	64



8. ELABORATI CARTOGRAFICI.....	65
8.1 La Carta delle Indagini	65
8.2 La Carta geologico-tecnica	67
8.2.1 Unità litologiche	67
8.2.2 Elementi geologici e idrogeologici	68
8.2.3 Forme di superficie e sepolte	68
8.2.4 Traccia di sezione geologica rappresentativa del modello del sottosuolo.....	69
8.3 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica	69
8.3.1 Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali	70
8.3.2 Zone suscettibili di instabilità.....	72
8.3.3 Altri elementi morfologici	73
8.3.4 Punti di misura di rumore ambientale.....	73
9. PRESCRIZIONI URBANISTICHE A SEGUITO DELLO STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI I LIVELLO.....	74
9.1 Zone Suscettibili di Amplificazioni Locali.....	74
9.2 Zone Suscettibili di Instabilità	74
10. BIBLIOGRAFIA.....	75



1. INTRODUZIONE

La presente relazione è un documento tecnico-scientifico che accompagna gli elaborati cartografici richiesti per lo studio di Microzonazione Sismica di I livello del comune di Piazzola sul Brenta.

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.

Tavola	Scala
Carta delle Indagini (N e S)	1:10.000
Carta Geologico-tecnica (N e S)	1:10.000
Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (N e S)	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 17/01/2018).



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 Vs 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 dei livelli di approfondimento sopra descritti.



1.1 Foto aeree

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

- 1943-45 RAF;
- 1954-55 GAI;
- 1981 reven;
- 1987 reven;
- 1987-88 CENTRI STORICI;
- 1990 reven;
- 1994 Alta Servizi Padova;
- 1997 Prov. Padova;
- 1999 reven Veneto Centrale e Provincia Rovigo;
- 2000 reven Prov. Vicenza Sud;
- 2008 reven-ETRA Padova;
- 2010 reven Vicenza Sud.

Tali fotogrammi aerei sono consultabili all'indirizzo <https://idt2.regione.veneto.it/idt/webgis/viewer?webgisId=47> che si riferisce al Geoportale dei dati Territoriali della Regione Veneto.

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:

- <https://idt2.regione.veneto.it/> (per dati cartografici e geologici regionali);
- <https://idt2.regione.veneto.it/idt/webgis/viewer?webgisId=47> (per la consultazione delle foto aeree);
- <https://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/cartella-progetti-in-corso/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci/default> (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> (Piano Stralcio per l'Assetto idrogeologico dei bacini dei fiumi Brenta e Bacchiglione)

È stato inoltre consultato il PAT del comune di Piazzola sul Brenta per i dati geologici e sismici più recenti.

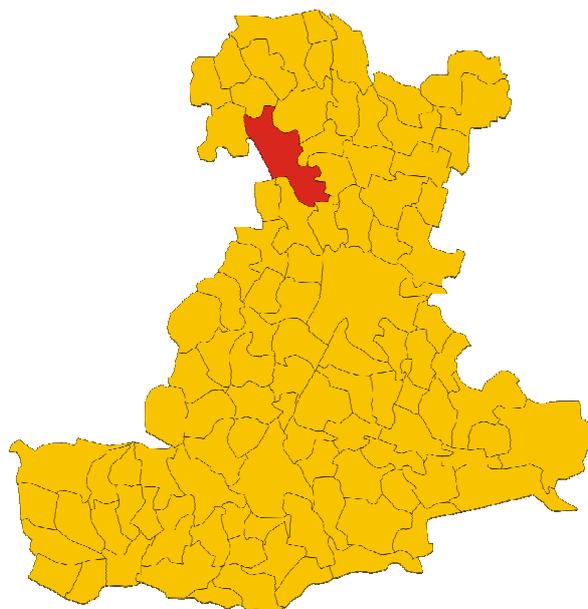


1.3 Descrizione generale dell'area

Il territorio comunale di Piazzola sul Brenta presenta forma allungata da nord-ovest verso sud-est; esso si estende dal punto più a nord a quello più a sud per dodici chilometri.

Esso appartiene alla cosiddetta "Bassa Pianura Veneta" in quanto interamente compreso al di sotto del limite inferiore della zona di persistenza dei fontanili con l'eccezione dell'estremo lembo nord-orientale (abitato di Carturo) che lambisce la fascia delle risorgive.. Di seguito si riportano i principali dati altimetrici e di superficie.

Superficie	14.1 km ²
Quota media	34 m s.l.m.
Quota minima	26 m s.l.m.
Quota massima	41 m s.l.m.



Posizione del comune di Piazzola sul Brenta all'interno della Provincia di Padova

Il territorio comunale risulta generalmente pianeggiante con quote altimetriche decrescenti da nord-ovest verso sud-est, comprese quindi tra 37 e 17 metri s.l.m.m. e con una pendenza media del 5-6 ‰.

Tale asseto generale risulta sensibilmente modificato verso le zone interessate dal corso del Fiume Brenta, le quali verificano la presenza di diversi terrazzamenti di erosione fluviale, due dei quali (i principali) riconosciuti già a scala regionale nella Carta delle unità geomorfologiche della Regione Veneto.



Morfologia del comune di Piazzola sul Brenta



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.

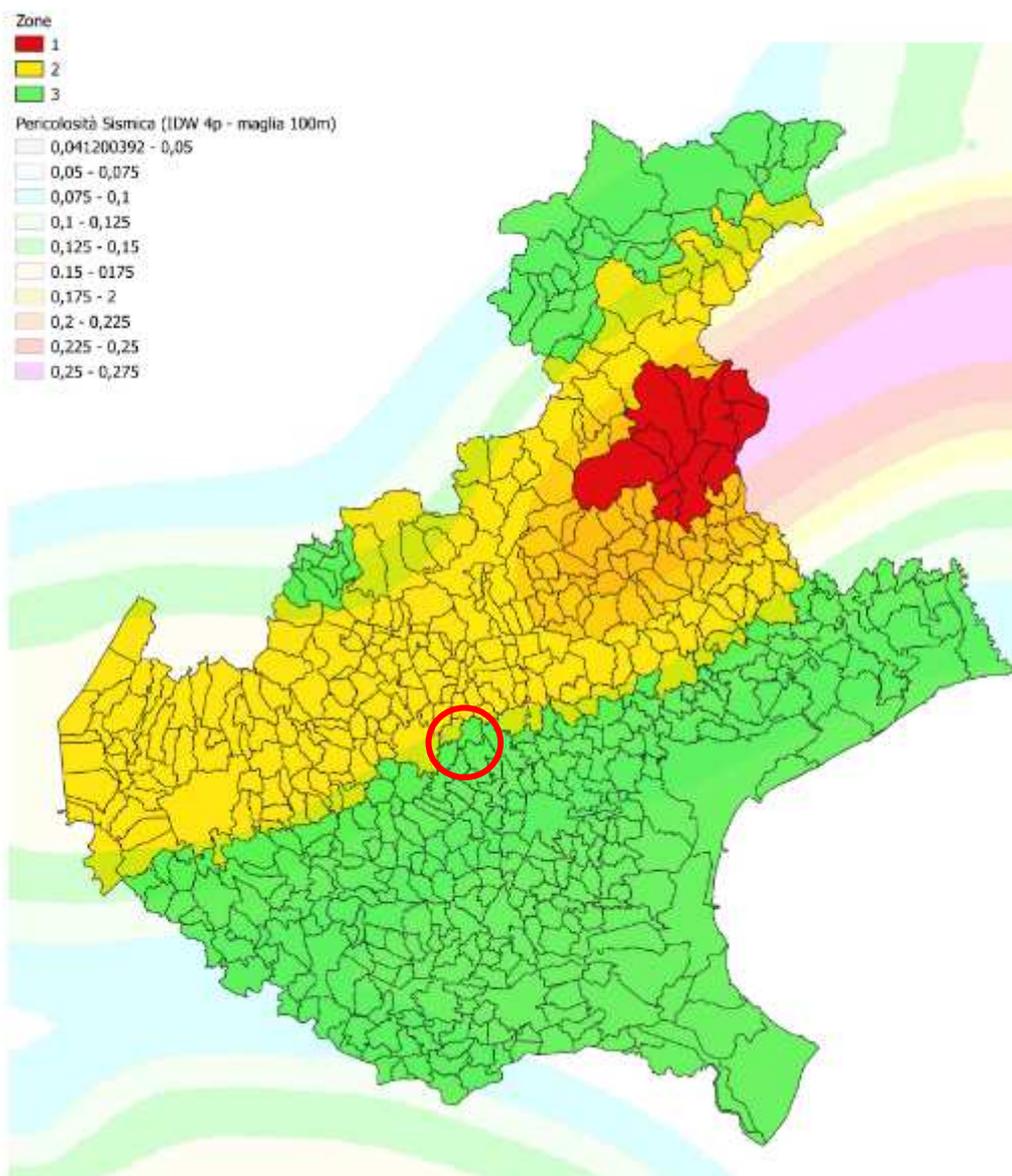
Con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003, n° 3274, pubblicata sul Suppl. Ord. n° 72 della Gazzetta Ufficiale dell'8 maggio 2003 n° 1053274/03, sono state approvate nuove regole tecniche per le costruzioni antisismiche riguardanti i ponti, le fondazioni e gli edifici 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.

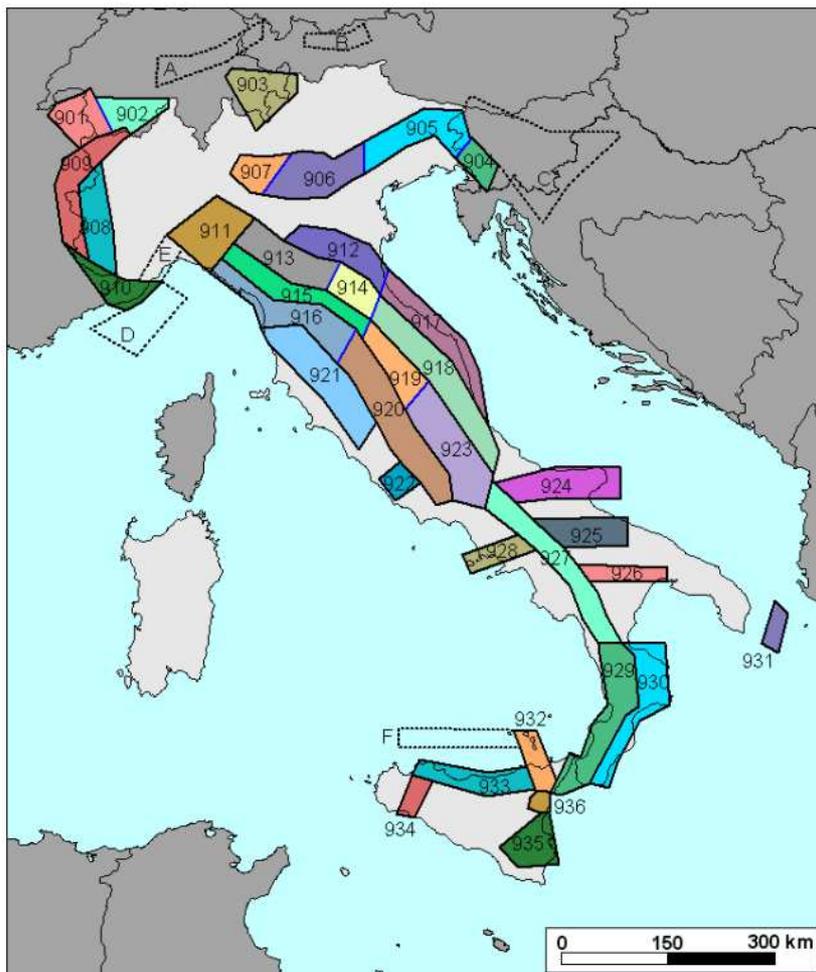
In ordine alla nuova classificazione ed alle nuove regole tecniche, sulla scorta di quanto dispone in merito l'Ordinanza e tenuto conto che la materia, già regolata nella Regione Veneto dalla legge 16.08.1984, n° 42, titolo VI, modificata dalla successiva L.R. 7 novembre 2003 n.27, nonché dalla legge 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 Piazzola sul Brenta è stato classificato dal punto di vista sismico in Zona 3 dall'Allegato A della Dgr. 244/2021 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.

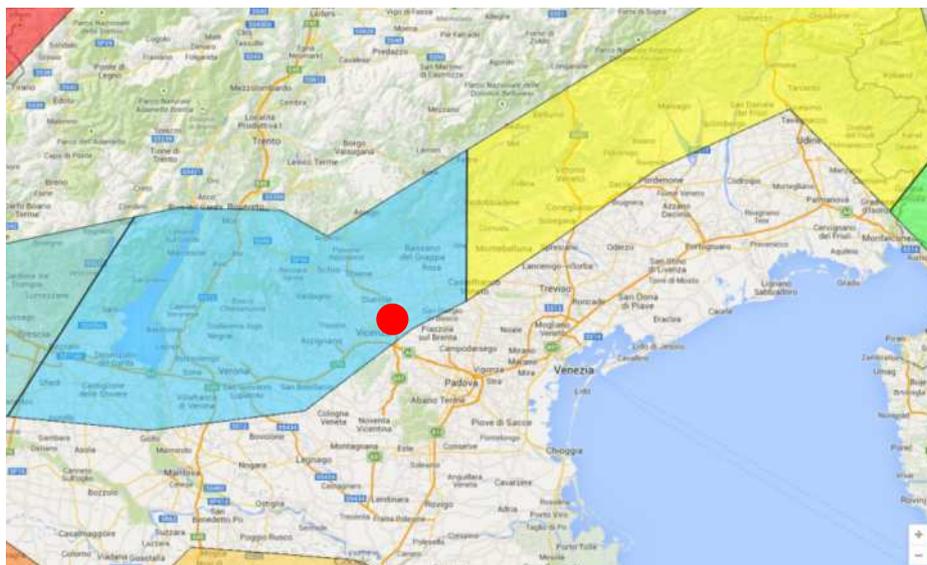


Zone sismiche del Veneto. Nel cerchio rosso vi è Piazzola sul Brenta

Secondo la zonazione sismogenetica attualmente in vigore (ZS9), il Veneto centro-occidentale ricade all'interno della zona sismogenetica 906 che comprende la fascia pedemontana del Lago di Garda proseguendo fino a Bassano del Grappa e in cui la fagliazione responsabile dei terremoti è di tipo faglia inversa con una profondità media stimata tra 5 e 8 km.



Zonazione sismogenetica ZS9



*Localizzazione della Zona sismogenetica 906 in azzurro. Il comune di Piazzola sul Brenta è individuato dal punto rosso; **soltanto la parte più settentrionale del territorio comunale ricade nella zona sismogenetica 906***



Zona	Numero di eventi Md>2.0	Numero di eventi Md>2.5	Numero di eventi Md>3.0	Magnitudo massima (Md)	Classe di profondità (km)	Profondità efficace (km)
901	18	15	2	4.0	8-12	8
902	34	25	2	3.8	8-12	10
903	23	19	2	4.5	8-12	9
904	13	9	1	3.4	5-8	7 *
905	181	110	32	4.8	5-8	8 *
906	41	34	13	4.7	5-8	8 *
907	33	19	7	4.2	5-8	8 *

Tabella riassuntiva sul numero di eventi sismici e relative magnitudo massima della ZS9 n. 906 pari a 4,7

Secondo le Linee guida per la Microzonazione sismica - Par. 2.8 - (Bramerini et al., 2008), si assume come valore di magnitudo attesa quella massima della zona sismogenetica di appartenenza che per il territorio di Piazzola sul Brenta (zona n. 906) vale $M_{max} = 6,60$ con tempo di ritorno $T_r = 1000$ anni riferito al terremoto veronese di Belfiore-Zevio ($I_0 = 9-10$ MCS) avvenuto il giorno 3 gennaio dell'anno 1117.

Tale terremoto è segnalato come tra i più forti eventi riportati nei cataloghi della sismicità storica italiana che ha colpito il Nord d'Italia. Secondo i cataloghi oggi disponibili (CPTI11 A. Rovida, R. Camassi, P. Gasperini e M. Stucchi / a cura di. 2011. CPTI11, la versione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, Milano, Bologna) la sua magnitudo è addirittura compresa tra 6,49 e 6,89.

Tabella 2.8-1 - Valori di M_{wmax} per le zone sismogenetiche di ZS9 (estratto da Gruppo di lavoro, 2004)

Nome ZS	Numero ZS	M_{wmax}
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio - Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

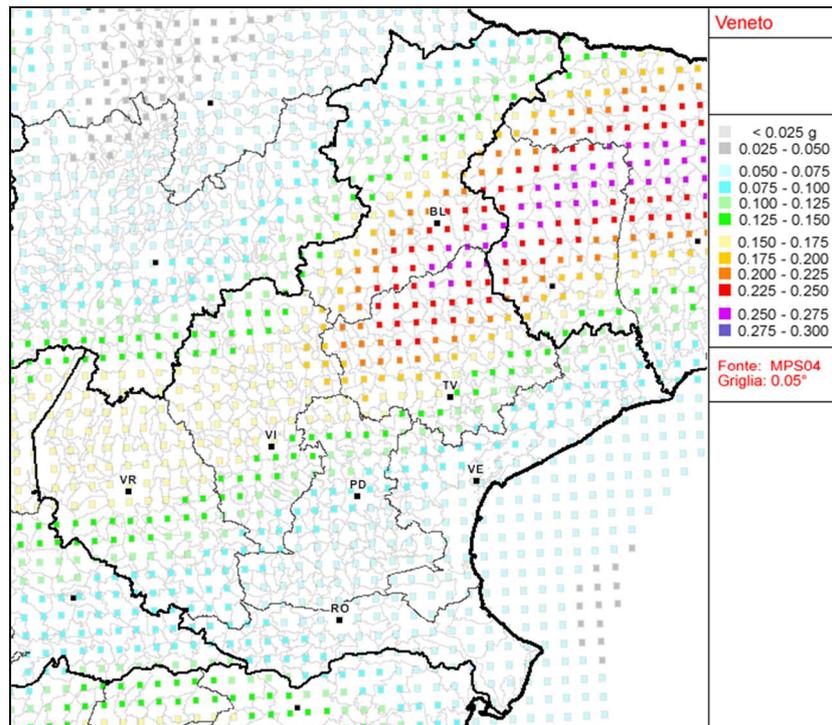
Valori di M_{wmax} per le zone sismogenetiche di ZS9

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 Piazzola sul Brenta, assumono il valore $M = 5,0 \div 5,5$ (Spallarossa e Barani, 2007).

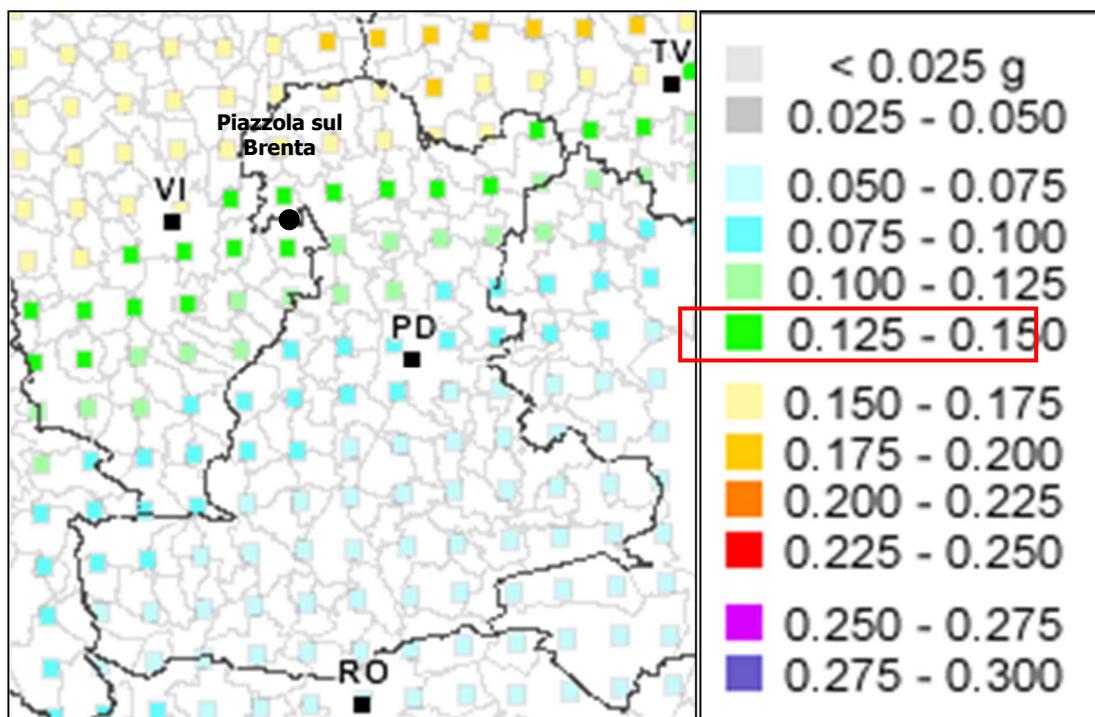


Valori medi di magnitudo ottenuti a seguito della disaggregazione della pericolosità sismica con tempi di ritorno di 475 anni. Per il territorio di Piazzola sul Brenta si assume il valore $M = 5,0 \div 5,5$ con $Tr = 475$ anni

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 (a_g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli di categoria A ($V_{s30} > 800$ m/s).



Carta di pericolosità sismica della provincia di Verona espressa in termini di accelerazione massima del suolo (a_g) 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 a_g per il territorio di Piazzola sul Brenta. **Per il Comune di Piazzola sul Brenta l'accelerazione orizzontale massima per i suoli di categoria A è compresa tra 0,125 g e 0,150 g**

2.2 Sismicità storica

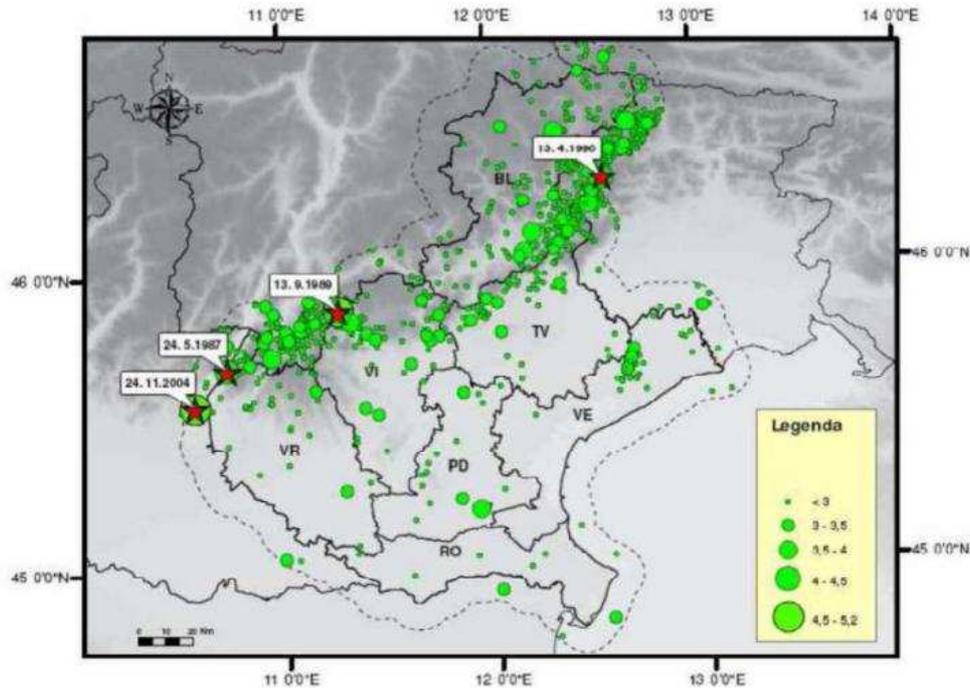
2.2.1 La sismicità storica del Veneto

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 Piazzola sul Brenta o ad aree limitrofe.



2.2.1.1 Storia sismica di Piazzola sul Brenta

Numero di eventi: 4

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw
NF	1894 02 09 12.48	Valle d'Illasi	1617	6	4,74
2	1956 02 20 01.29	Padovano	2745	5-6	4,49
NF	1987 05 02 20.43	Reggiano	3520	6	4,71
2	1989 09 13 21.54	Prealpi Vicentine	3594	6-7	4,85

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



9 February 1894 12:48:5.00, Valle d'Illasi

EqID 18940209_1248_000

NMDP 116 I_{max} 6 from CFT14med

CPTI15

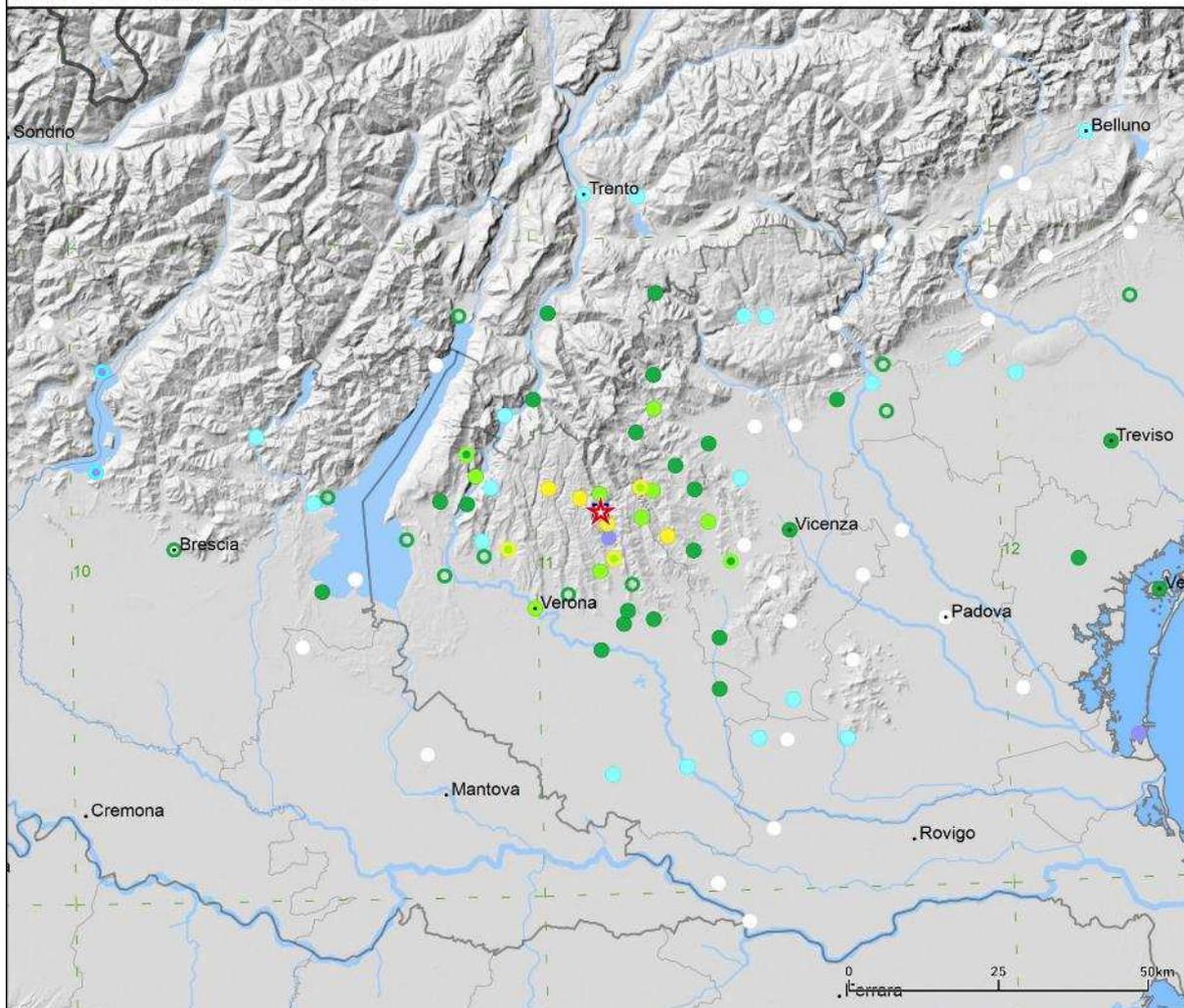
macroseismic

★ 45.584, 11.140

□ 45.584, 11.140

Mw 4.74 ±0.13

Mw 4.74 ±0.13



Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia

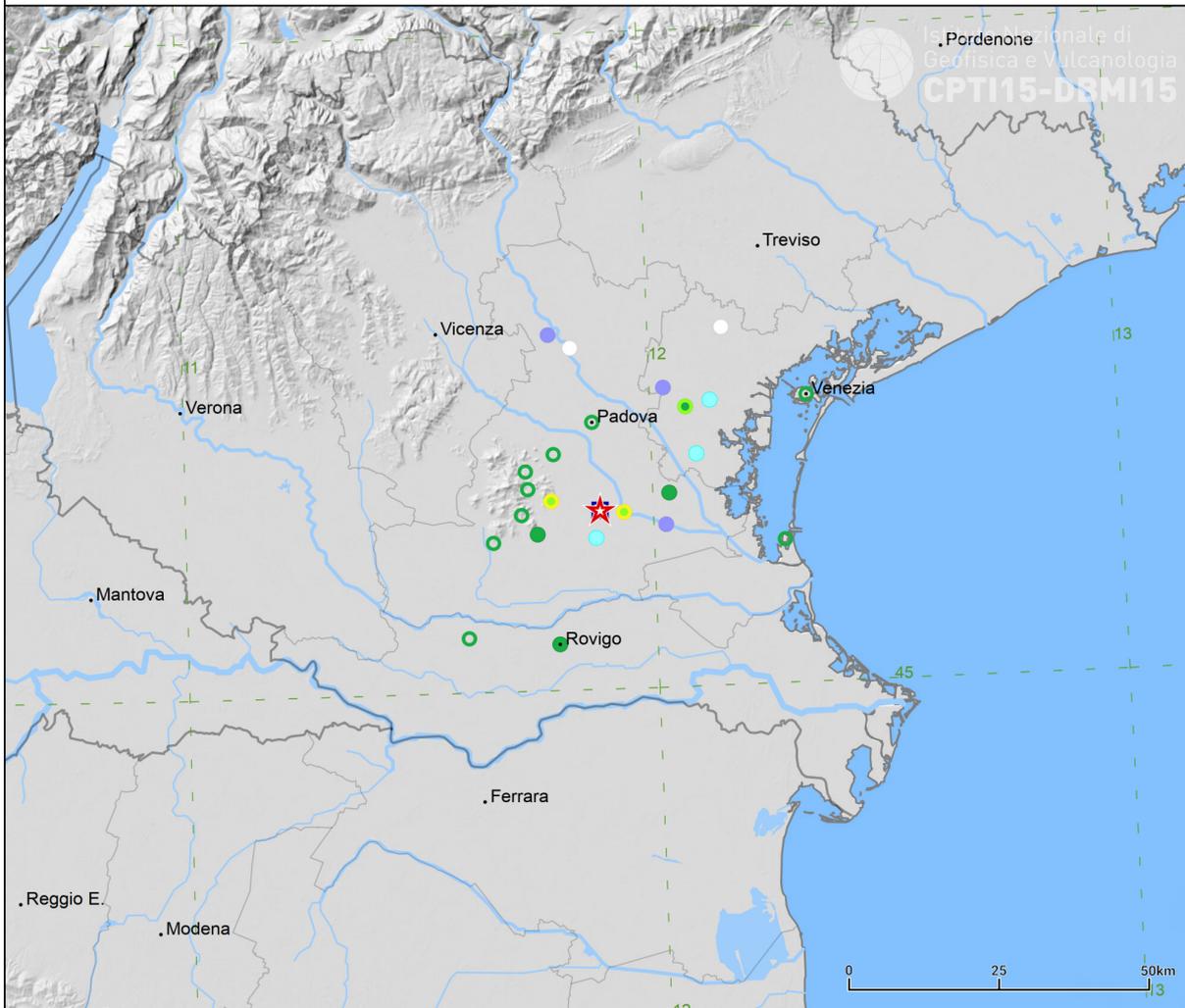
CPTI15-DBMI15





20 February 1956 1:29:26.00, Padovano
EqID 19560220_0129_001
NMDP 23 Imax 5-6 from Caracciolo et al., 2009

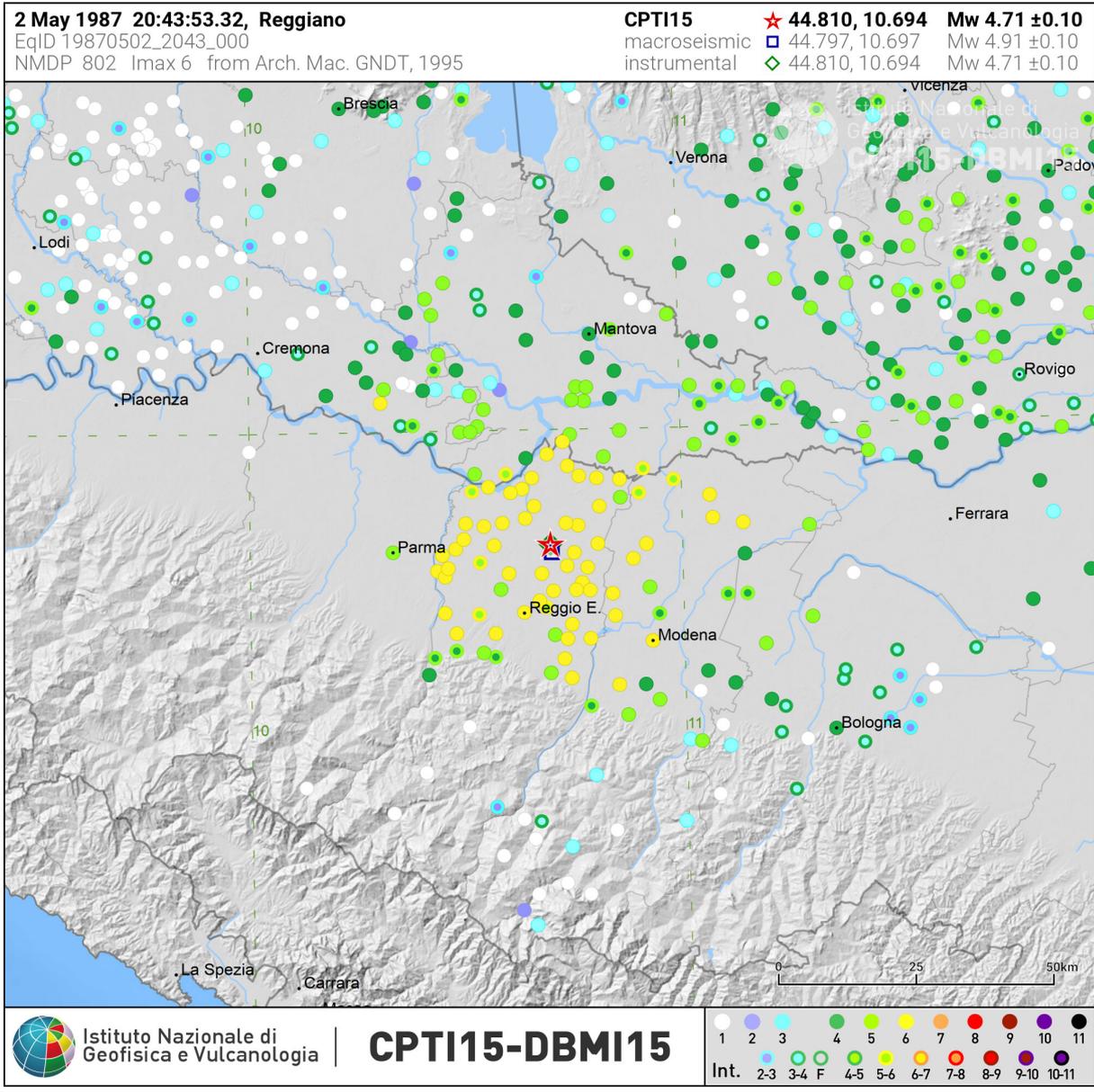
CPTI15 ★ 45.273, 11.886 Mw 4.49 ±0.21
macroseismic □ 45.273, 11.886 Mw 4.49 ±0.21



Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia

CPTI15-DBMI15







13 September 1989 21:54:1.50, Prealpi Vicentine

EqID 19890913_2153_000

NMDP 779 Imax 6-7 from Bollettino Macrosismico ING, 1991a

CPTI15

macroseismic

instrumental

★ 45.882, 11.264

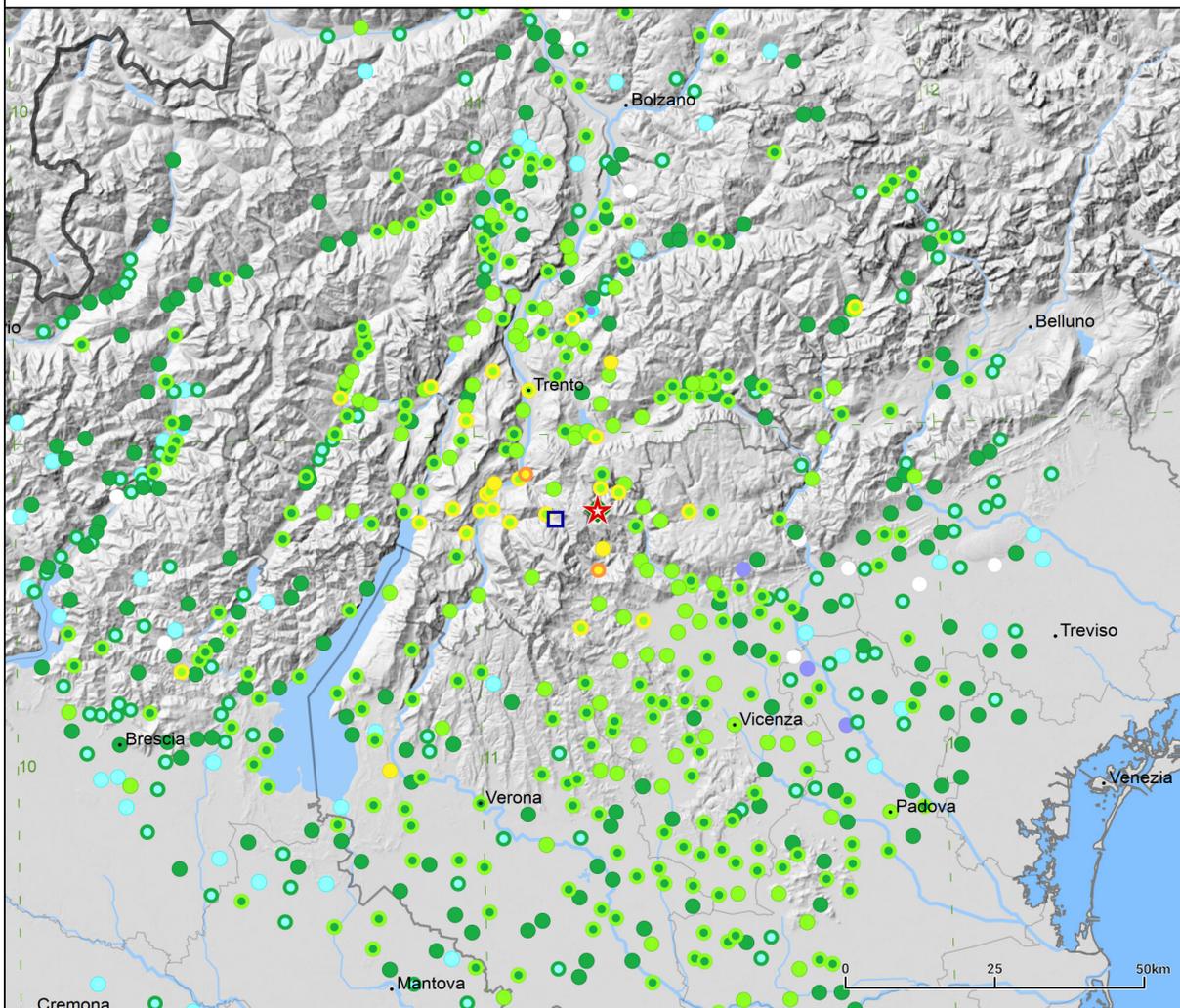
□ 45.870, 11.172

◇ 45.882, 11.264

Mw 4.85 ±0.10

Mw 4.99 ±0.10

Mw 4.85 ±0.10



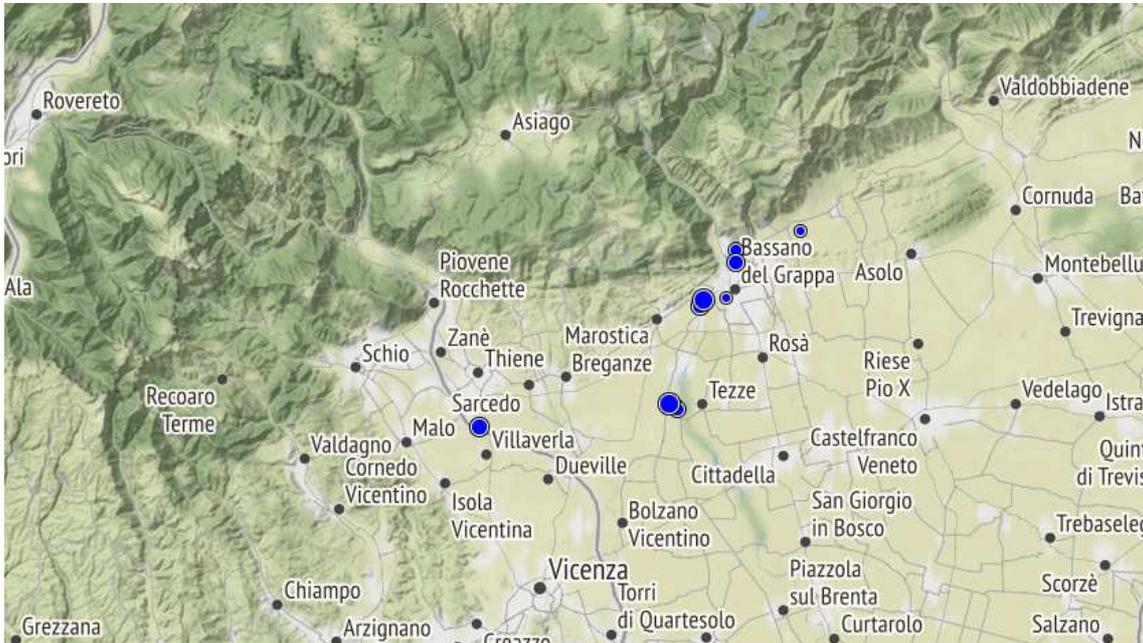
Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia

CPTI15-DBMI15

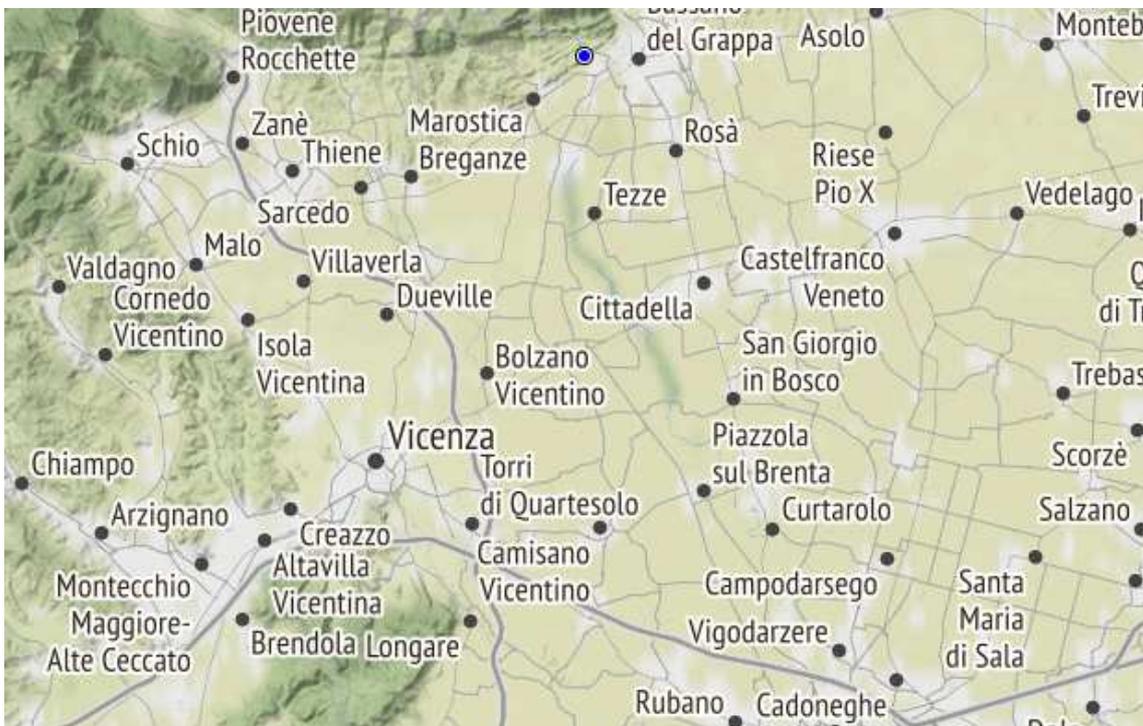




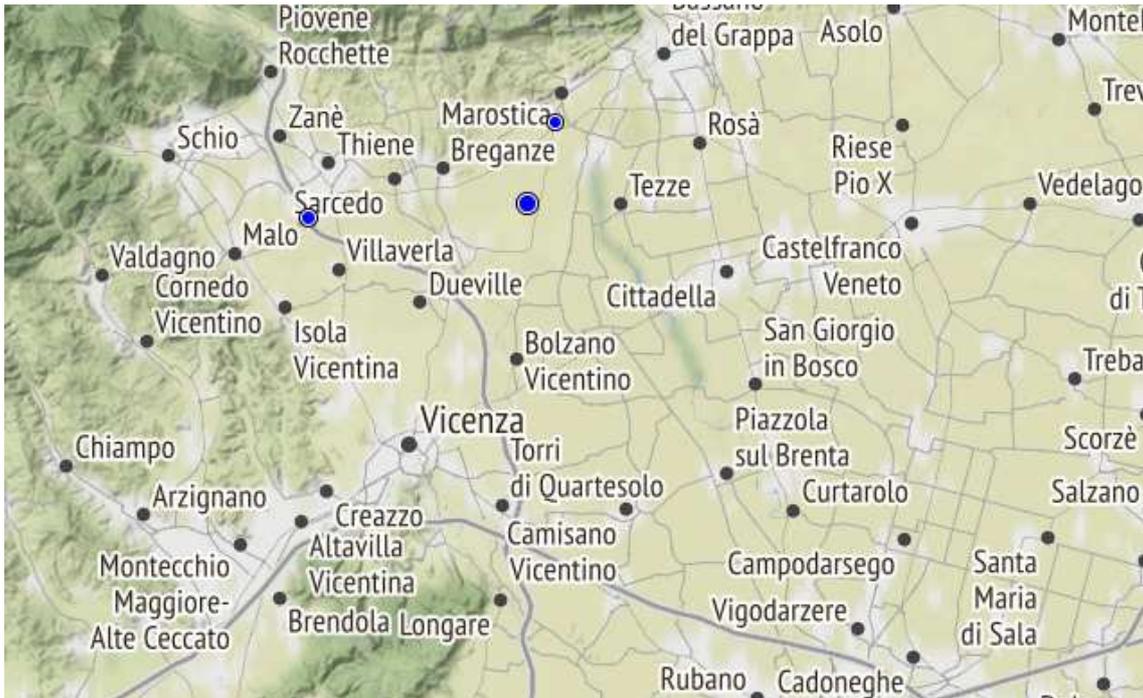
Dal catalogo ISIDe è stato inoltre possibile effettuare la ricerca degli eventi sismici con una Magnitudo compresa tra 0 e 10 che hanno interessato l'area limitrofa al comune di Piazzola sul Brenta dal 01/01/2018 al 17/06/2022. Le figure seguenti illustrano gli eventi anno per anno.



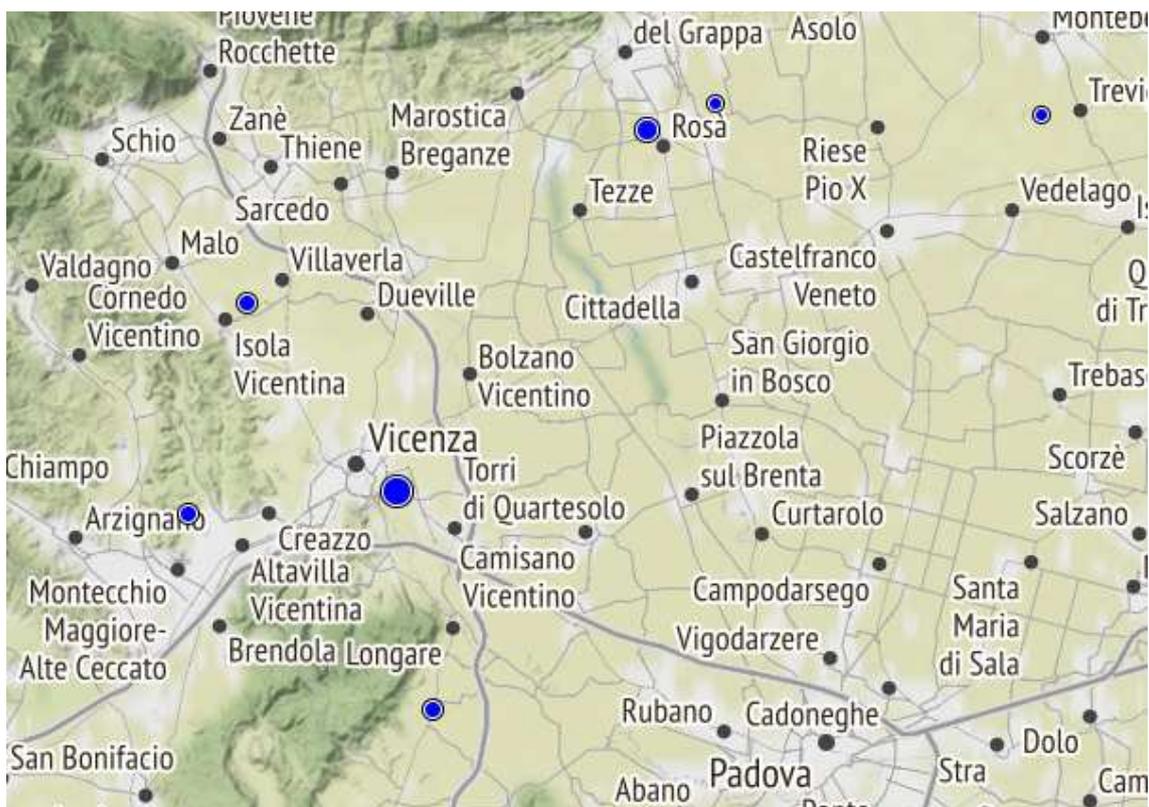
Eventi sismici prossimi all'area di Piazzola sul Brenta nel 2018



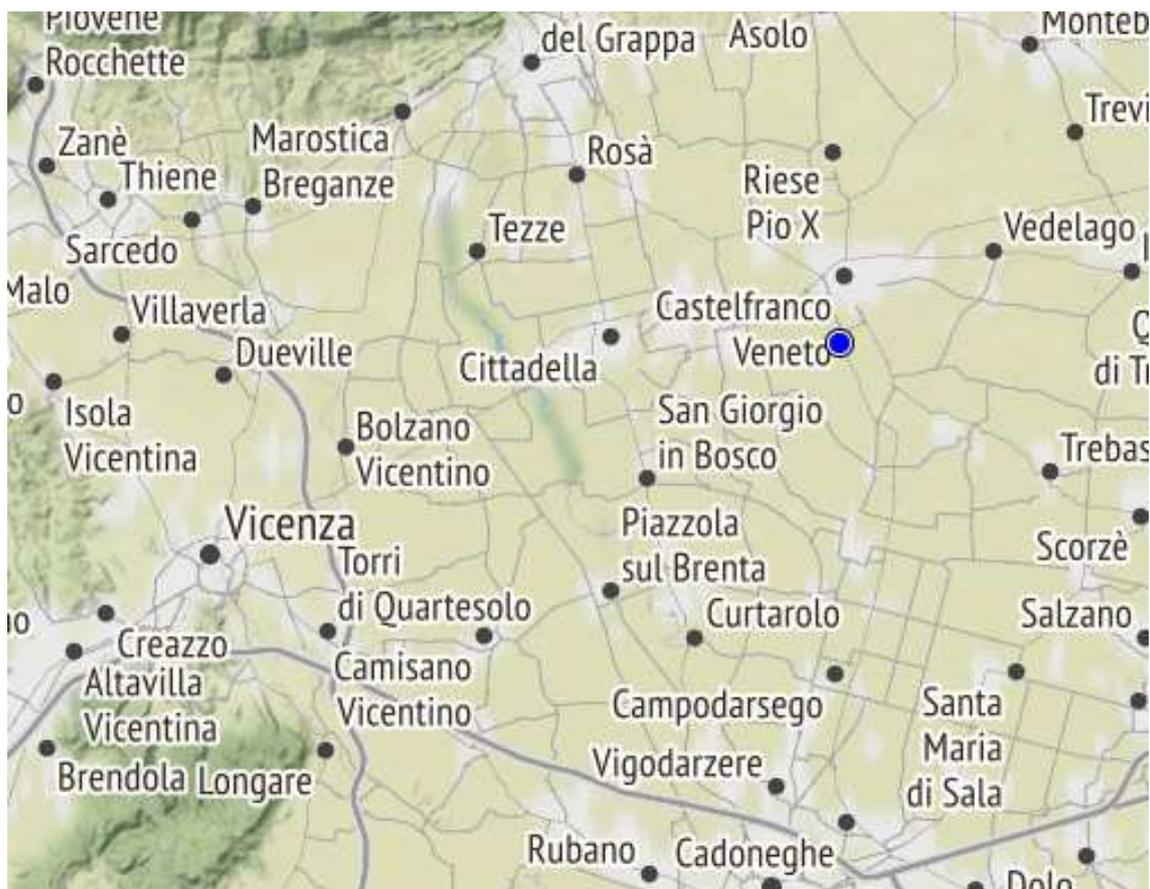
Eventi sismici prossimi all'area di Piazzola sul Brenta nel 2019



Eventi sismici prossimi all'area di Piazzola sul Brenta nel 2020



Eventi sismici prossimi all'area di Piazzola sul Brenta nel 2021



Eventi sismici prossimi all'area di Piazzola sul Brenta dal 01/01/2022 ad oggi



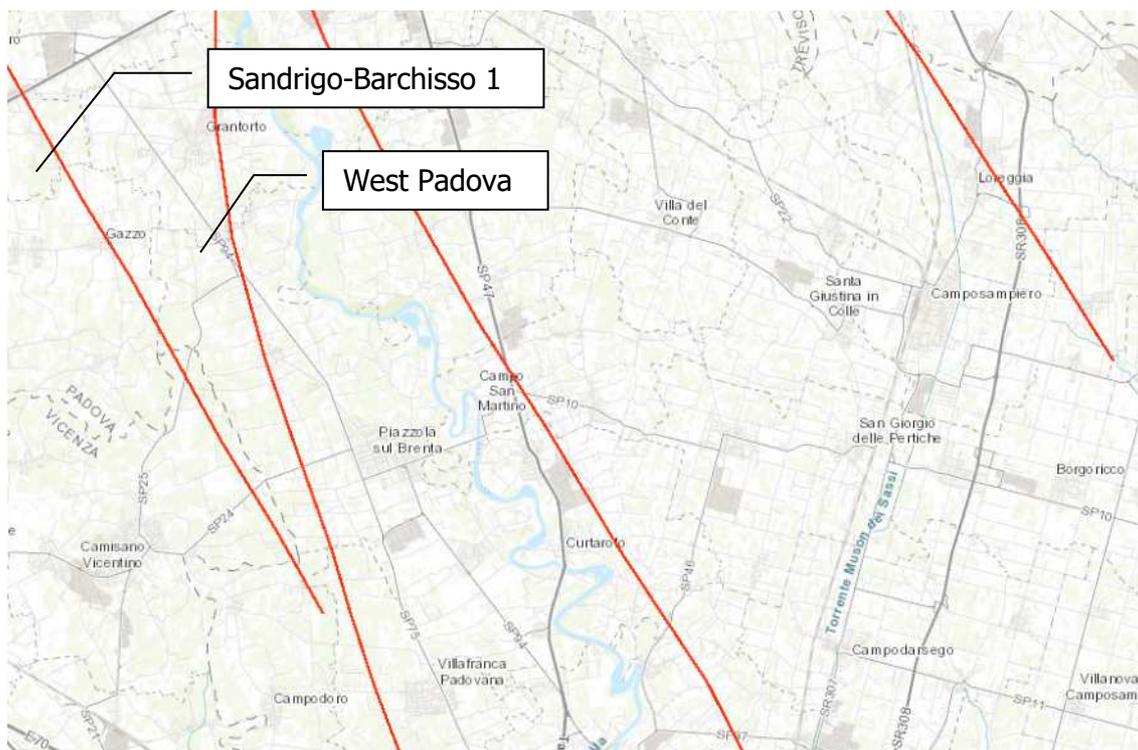
2.3 Faglie attive

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. E' stata così rilevata la presenza di due faglie capaci le cui caratteristiche sono riassunte nella seguente tabella:

FAULT CODE	72200	77522
FAULT NAME	West Padova	Sandrigo-Barchisso 1
REGION NAME	Veneto	Veneto
TECTONIC ENVIRONMENT	ND	ND
SYSTEM NAME	West Padova	Schio-Vicenza
RANK	Primary	Secondary
SEGMENTATION	Single segment	Single segment
AVERAGE STRIKE (°)	150	145
DIP (°)	Undefined	Undefined
DIP DIRECTION	E	NE
FAULT LENGTH (Km)	57.2	24.1
MAPPING SCALE	1:0	1:500000
KINEMATICS	Normal	Normal
SURFACE EVIDENCE	ND	ND
LAST ACTIVITY	Early Pleistocene	Pleistocene generic
APPLIED TECHNIQUE		Field studies
EVIDENCE FOR CAPABILITY	Displacement of quaternary deposits and/or land forms	
CAPABILITY CONSENSUS	Medium reliability	
STUDY QUALITY	LOW	LOW
REFERENCE	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	1



1. CASTALDINI D. & PANIZZA M. (1991) *Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave ed il lago di Como (Italia settentrionale)*. Il Quaternario, 4(2), 333-410. 1991
2. AA.VV. CNR (1983) - *Neotectonic map of Italy, scale 1:500.000*. P.F. Geodinamica, Quad. Ric. Scient., 114 CNR (1983) - *Neotectonic map of Italy, scale 1:500.000*. P.F. Geodinamica, Quad. Ric. Scient., 114. 1983
3. AA.VV. ENEL (1981) - *Elementi di neotettonica del territorio italiano*. 3, 1-94. Milano; ENEL (1981) - *Elementi di neotettonica del territorio italiano*. 3, 1-94. Milano. 1981
4. OGNIBEN L. (1987) - *Modello geodinamico della regione trentina ed aree circostanti*. St. Trent. Sc. Nat., 63, 1-165. 1987
5. PIANETTI E. & ZANFERRARI A. (1980) - *Dati preliminari sulla neotettonica dei fogli 51 - Venezia e 52 - San Donà di Piave (p.p.) ed evoluzione pliocenico - quaternaria della pianura e dell'area prealpina del Veneto orientale* CNR (1980). Contributi conclusivi alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia, pubbl. 513 P.F. Geodinamica, 239 – 28. 1980
6. SLEJKO D., CARRARO F., CARULLI G.B., CASTALDINI D., CAVALLIN A., DOGLIONI C., ILCETO V., NICOLICH R., REBEZ A., SEMENZA E., ZANFERRARI A. & ZANOLLA C. (1987) - *Modello sismotettonico dell'Italia nord-orientale*. CNR, GNDT, Rend. 1, 82 pp.. 1987
7. ZANFERRARI A., BOLLETTINARI G., CAROBENE L., CARTON A., CARULLI G.B., CASTALDINI D., CAVALLIN A., PANIZZA M., PELLEGRINI G.B., PIANETTI F. & SAURO U. (1982) - *Evoluzione neotettonica dell'Italia Nord-Orientale*. Mem. Soc. Geol., 35, 355-376, Padova. 1982
8. ZANFERRARI A., GIRARDI A., PIANETTI F. & SEDEA R. (1980) - *Dati preliminari sulla neotettonica dei fogli 50 - Padova (p.p.) e 64 - Rovigo (p.p.)*. CNR (1980) - Contributi alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia. P.F. Geodinamica, Pubbl. 356 (1), 437-461. 1980



Localizzazione delle faglie capaci nel comune di Piazzola sul Brenta

Sebbene queste faglie siano segnalate da ITHACA si può notare che la qualità degli studi è scarsa e gli studi si riferiscono ad aree molto ampie, pertanto la scala di rappresentazione è molto piccola. Le faglie hanno dunque una collocazione e un indice di attività non del tutto certi pertanto **non sono state inserite nella Carta geologico-tecnica né nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica**.



3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

3.1 Inquadramento topografico e geomorfologico

Il territorio comunale di Piazzola sul Brenta presenta forma allungata da nord-ovest verso sud-est; esso si estende dal punto più a nord a quello più a sud per dodici chilometri.

Esso appartiene alla cosiddetta "Bassa Pianura Veneta" in quanto interamente compreso al di sotto del limite inferiore della zona di persistenza dei fontanili con l'eccezione dell'estremo lembo nord-orientale (abitato di Carturo) che lambisce la fascia delle risorgive. Il territorio comunale risulta generalmente pianeggiante con quote altimetriche decrescenti da nord-ovest verso sud-est, comprese quindi tra 37 e 17 metri s.l.m.m. e con una pendenza media del 5-6 ‰.

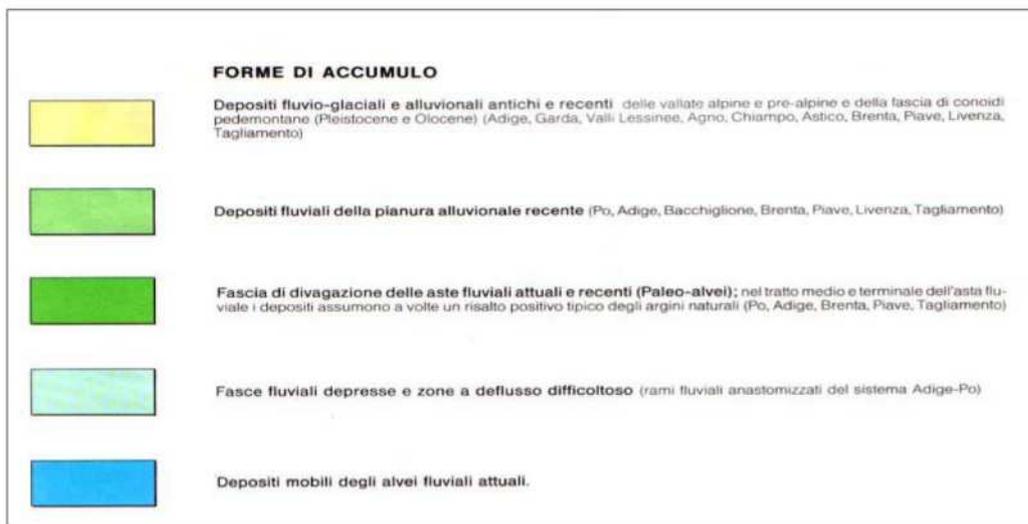
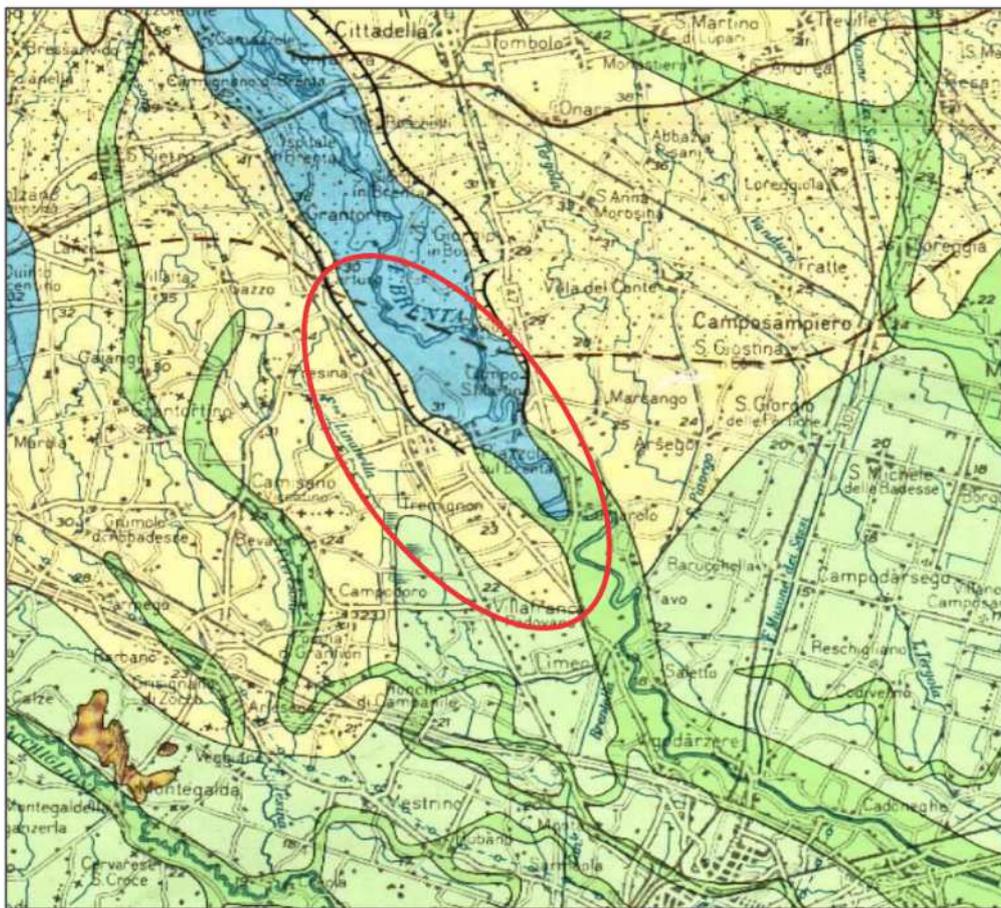
Tale assetto generale risulta sensibilmente modificato verso le zone interessate dal corso del Fiume Brenta, le quali verificano la presenza di diversi terrazzamenti di erosione fluviale.

A scala regionale, il territorio comunale viene ascritto a diverse unità geomorfologiche derivanti dalla diversa situazione riguardo al loro rapporto con il fiume Brenta. La zona di pianura più antica non interessata dall'azione modellatrice dell'alveo recente ed attuale del Brenta viene definita come appartenente ai "Depositi fluvio-glaciali e alluvionali antichi e recenti"; la fascia di territorio grossomodo compresa entro i terrazzamenti principali viene attribuita all'unità dei "Depositi mobili degli alvei fluviali attuali"; quest'ultima, verso sud si modifica nell'unità detta "fascia di divagazione delle aste fluviali attuali e recenti (paleoalvei) del fiume Brenta".

È presente inoltre una fascia di diretta pertinenza dell'alveo attuale, nella quale si è verificato un recente approfondimento causato dalla estrazione in alveo di inerti e dal minor contributo di deposito ad opera del fiume.

In subordine rispetto all'azione morfogenetica del fiume Brenta, risulta evidente la modificazione del territorio indotta da forme antropiche; esse sono in parte collegate alla presenza del Brenta (arginature fluviali, rete di rogge e canali), in parte connesse con il sistema dei trasporti rilevati ferroviari e stradali e con la presenza di fosse di cava.

Nella Carta geomorfologica del PAT, sono individuate le principali forme morfologiche riconoscibili che interessano il territorio comunale, esse sono rappresentate da forme fluviali e forme artificiali.



*Carta delle Unità Geomorfologiche
Estratto da: Regione del Veneto- Carta delle Unità Geomorfologiche alla scala 1:250.000*



Forme fluviali

Gli elementi geomorfologici naturali predominanti rappresentati nella cartografia sono costituiti dalle scarpate di erosione fluviale che determinano rilievi morfologici di quota talora piuttosto rilevanti (con salti di quota anche superiori a 3-4 metri).

Ad essi si associa la presenza di diversi paleoalvei talora ben riconoscibili. Tali forme si localizzano principalmente in tutta l'area orientale del territorio comunale, alcuni paleoalvei sono comunque riconoscibili anche nella zona occidentale. Come più volte accennato il principale aspetto geomorfologico di Piazzola Sul Brenta è costituito dalla presenza dei terrazzi fluviali (scarpate di erosione fluviale) presenti lungo buona parte del territorio comunale orientale verso l'alveo del fiume Brenta.

Oltre al terrazzamento principale, già riconosciuto a scala regionale, sono presenti tratti di terrazzamenti più antichi posti ad ovest del territorio comunale ed altri recenti derivanti dall'approfondimento dell'alveo.

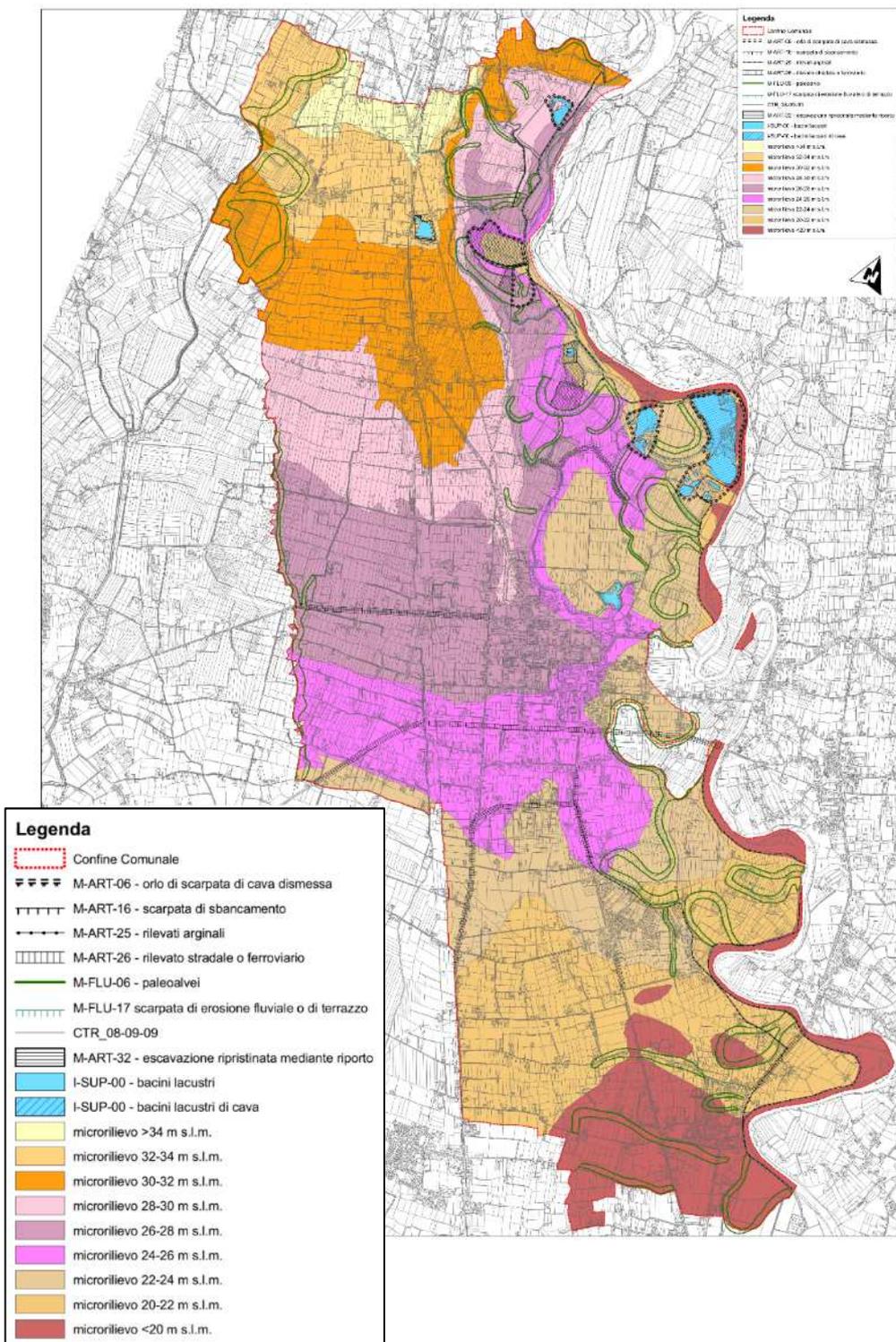
In alcuni casi le scarpate di erosione si chiudono a creare una sorta di "promontori" o "isole", come nel caso di un'area a est di via Pastorizia e come in zona Carturo a sud-est del cimitero, area alla quale per la sua evidente e singolare forma geomorfologica è stato attribuito lo status di "Geosito".

Forme artificiali

Per quanto concerne le forme morfologiche cartografabili secondo le grafie della Regione del Veneto, le forme di origine antropica degne di rilievo sono costituite dagli argini principali del Brenta, dai bacini lacustri derivanti da attività estrattiva, e dalle cave ripristinate ad uso agricolo.

Altre forme antropiche di rilievo sono costituite da rilevati connessi alle vie di comunicazione: in particolare il rilevato stradale presente nella SP 35 per Villafranca, alcuni tratti di Via Marconi (già ferrovia Padova-Piazzola-Carmignano), un tratto della SP 10 "Via Dante", un tratto della S.S. 47 "Valsugana" e il tratto stradale che costeggia il confine nord dell'area di Villa Contarini.

E' inoltre presente il vecchio rilevato ferroviario della dismessa ferrovia "Ostiglia".



Carta Geomorfologica del PAT del Comune di Piazzola sul Brenta (2010)



3.1.1 Elementi morfologici a valenza sismica

All'interno del territorio comunale di Piazzola sul Brenta non sono presenti elementi morfologici che possono avere valenza sismica.

Neppure gli orli di scarpata di erosione del fiume Brenta presenti nel settore orientale del territorio comunale (3-4 m di altezza massima), hanno un'altezza tale da permettere amplificazioni di tipo topografico.

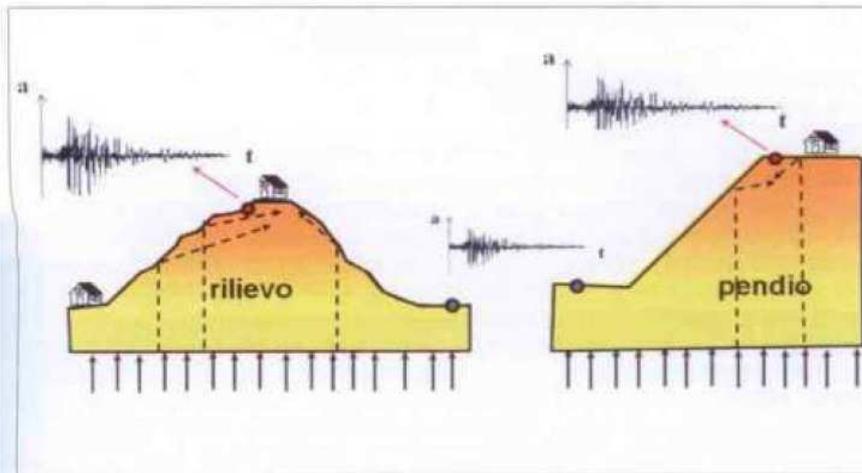


Figura 1.4 – Effetti topografici 2D o 3D: sono legati alla interazione tra onde sismiche e morfologia superficiale con effetti di focalizzazione delle onde sismiche (da Lanzo, 2005).

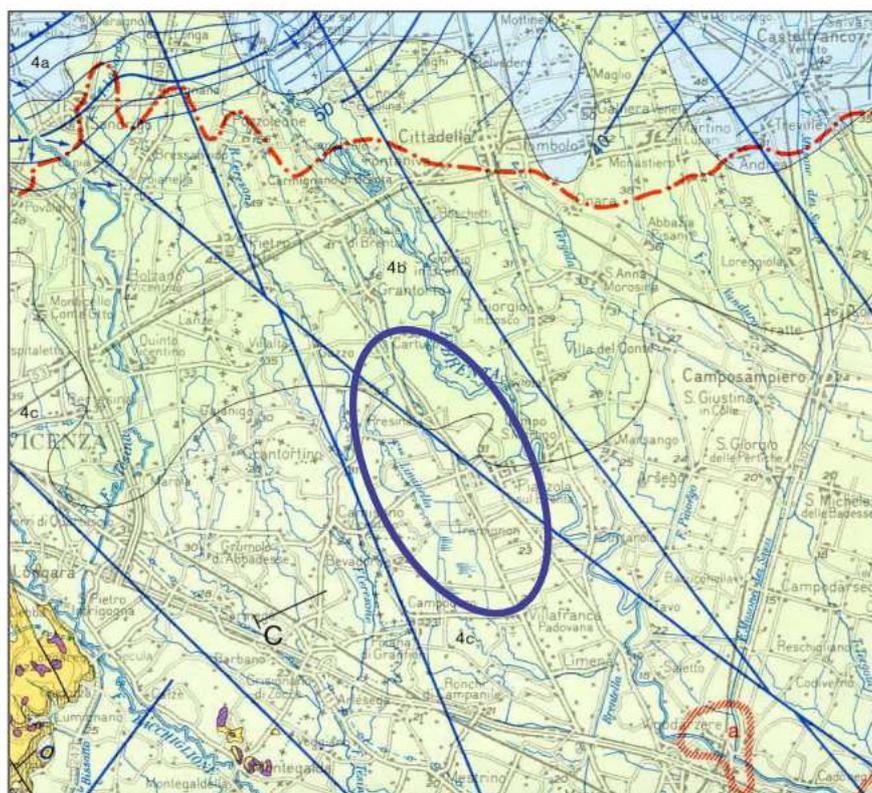
2D or 3D topographic effects: they are related to the interaction between seismic waves and surface morphology producing effects of focusing of seismic waves (from Lanzo, 2005).

Effetti topografici



3.2 Inquadramento geologico

Il territorio comunale appartiene all'unità geologica della medio-bassa Pianura Veneta. La costituzione geologico-stratigrafica della Pianura Padano-Veneta, al di là del suo aspetto morfologico uniforme ed apparentemente monotono, non è certamente omogenea; nel dettaglio essa risulta molto varia e spesso assai complessa. Ciò deriva da diverse cause: il numero elevato di vallate che sfociavano nell'antica depressione tettonica adriatica attraverso le quali si depositarono fino a colmarla con enormi accumuli di depositi fluvio-glaciali e fluviali; le frequenti variazioni spaziali del corso di questi fiumi che divagarono per la pianura depositando le loro alluvioni su aree diverse, le frequenti ingressioni e regressioni del mare Adriatico che hanno interessato ripetutamente la Bassa e la Media Pianura; tutti questi fattori hanno generato un assetto stratigrafico assai articolato anche se schematizzabile come già detto nella classica suddivisione nelle tre fasce di Alta, Media e Bassa Pianura.



Depositi alluvionali e fluvioglaciali distinti sino a 30 m di profondità sulla base di stratigrafie di pozzi: ghiaie e sabbie prevalenti (a); alternanze di ghiaie e sabbie con limi e argille (b); limi e argille prevalenti (c). *Quaternario*

Inquadramento geologico dell'area tratto dalla Carta Geologica della Regione Veneto scala 1:250.000

Ovviamente la differenziazione nelle tre zone deriva da una drastica semplificazione e schematizzazione essendo le stesse geneticamente e strutturalmente collegate.

L'elemento strutturale principale dell'Alta e Media Pianura è rappresentato dalle grandi conoidi alluvionali ghiaiose, depositate dai corsi d'acqua (Piave, Brenta, Astico, Leogra) quando il loro regime era nettamente diverso da quello attuale e caratterizzato soprattutto da portate molto elevate (per lo scioglimento dei ghiacciai) e da un trasporto solido imponente (per lo smantellamento degli apparati morenici che intasavano le valli prealpine).

Lungo la fascia pedemontana si riconoscono varie conoidi sovrapposte dello stesso fiume, compenstrate sui fianchi con le conoidi dei fiumi vicini; si riconoscono anche conoidi dello stesso



fiume depositate su aree diverse. Ne risulta così un sottosuolo interamente ghiaioso per tutto lo spessore del materasso alluvionale (zona di Alta Pianura).

Le conoidi ghiaiose dei vari corsi d'acqua si spinsero a valle per distanze differenti, in funzione dei diversi caratteri idraulici di ciascun corso d'acqua nelle diverse fasi climatiche:

le conoidi più antiche, e quindi più profonde, si sono spinte quasi sempre in aree più lontane rispetto a quelle più recenti.

Scendendo verso valle, o meglio verso l'attuale fascia costiera, lo spessore complessivo delle ghiaie diminuisce progressivamente: al semplice ed omogeneo accumulo di materiali grossolani dell'Alta Pianura si sostituisce un sistema multistrato in cui i singoli letti ghiaiosi si assottigliano sempre più fino ad esaurirsi penetrando entro depositi sempre più potenti di materiali fini limoso-argillosi (zona di Media Pianura).

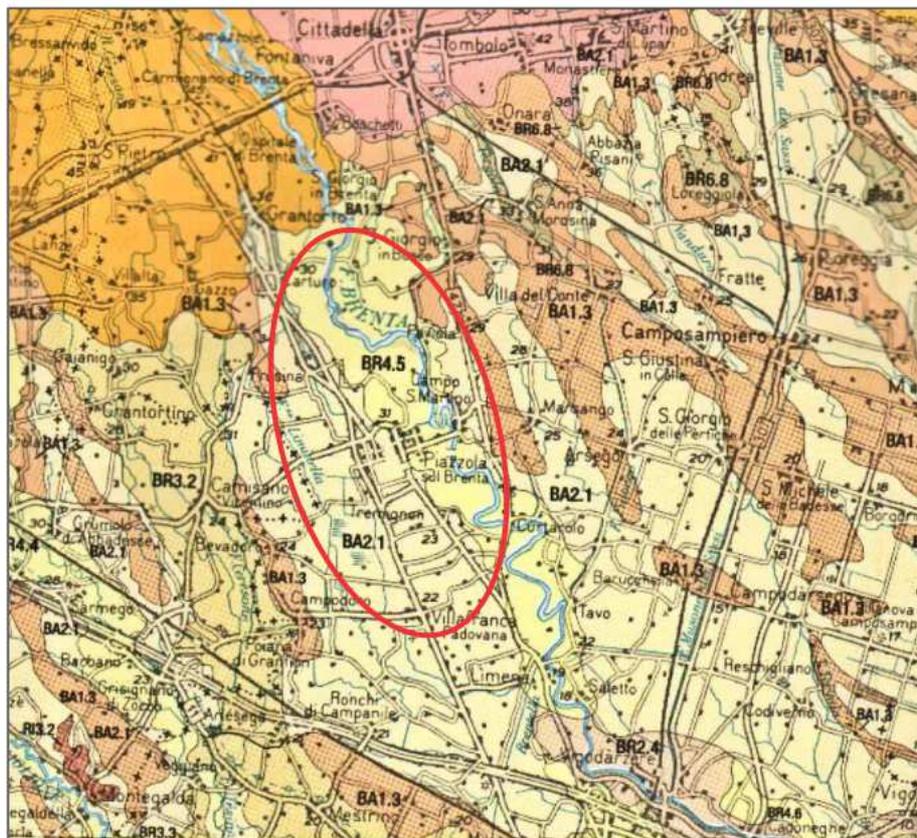
Allontanandosi ulteriormente dallo sbocco delle vallate prealpine, i sedimenti che costituiscono il sottosuolo sono rappresentati principalmente da orizzonti limoso-argillosi alternati a più o meno spessi ed estesi livelli sabbiosi in quanto le ultime propaggini delle grandi conoidi alluvionali ghiaiose prealpine sono molto rare e comunque presenti esclusivamente a grandi profondità.

Il territorio comunale appartiene alla zona di transizione tra media e bassa pianura, ne deriva una struttura litostratigrafica che presenta i caratteri dell'una o dell'altra a seconda delle diverse aree.

Il territorio comunale viene identificato, a scala geologica regionale, come appartenente alla zona dei "Depositi alluvionali e fluvioglaciali distinti sino a 30 metri di profondità con alternanze di ghiaie e sabbie con limi e argille" nella fascia centro settentrionale del comune, mentre il territorio centro-meridionale appartiene alla zona dei "Depositi alluvionali e fluvioglaciali distinti sino a 30 metri di profondità con limi e argille prevalenti". La suddetta situazione geologica condiziona evidentemente la geologia locale già a partire dal livello superficiale del deposito alluvionale (suolo). Tutti i suoli presenti nel territorio di Piazzola sul Brenta appartengono al sistema deposizionale della pianura alluvionale del Brenta.

La "Carta dei suoli della Regione Veneto" identifica i suoli nell'area di Piazzola sul Brenta come appartenenti ai "Suoli della bassa pianura antica, calcarea, a valle della linea delle risorgive, con modello deposizionale a dossi sabbiosi e piane e depressioni a depositi fini" di età Pleistocenica (sigla BA) ed età Olocenica (BR).

Si tratta in generale di suoli costituiti da superfici pleistoceniche di origine fluvioglaciale formate in zona dalle alluvioni del Brenta, con diverse morfologie: suoli della pianura indifferenziata di origine fluvioglaciale formati da limi fortemente calcarei (sigla BA2.1) e suoli formati da limi da molto ad estremamente calcarei (sigla BR4.5).



BA - Bassa pianura antica, calcarea, a valle della linea delle risorgive, con modello deposizionale a dossi sabbiosi e piane alluvionali a depositi fini (Pleistocene).

Quote: 0-40 m. Le precipitazioni medie annue sono comprese tra 650 e 1.400 mm con prevalente distribuzione in primavera e autunno; le temperature medie annue oscillano tra 12 e 13 °C. Uso del suolo prevalente: seminativi (mais e soia).

Località caratteristiche: Bovolone, Noale e Pramaggiore.

BA2

Suoli della pianura alluvionale indifferenziata di origine fluvio-glaciale, formati da limi, da fortemente a estremamente calcarei.

Suoli profondi, ad alta differenziazione del profilo, decarbonatati e con accumulo di carbonati in profondità (*Gleyic Calcisols*).

BR - Bassa pianura recente, calcarea, a valle della linea delle risorgive, con modello deposizionale a dossi sabbiosi e piane e depressioni a depositi fini (Olocene).

Quote: 0-50 m. Le precipitazioni medie annue sono comprese tra 600 e 1.300 mm con prevalente distribuzione in primavera e autunno; le temperature medie annue oscillano tra 12 e 13 °C. Uso del suolo prevalente: seminativi (mais e soia).

Località caratteristiche: Rovigo, Padova e San Donà di Piave.

BR4

Suoli della pianura alluvionale indifferenziata, formati da limi, da molto a estremamente calcarei.

Suoli profondi, a moderata differenziazione del profilo, a decarbonatazione iniziale o nulla (*Calcari-Fluvic Cambisols*).

Carta dei suoli del Veneto (2005)



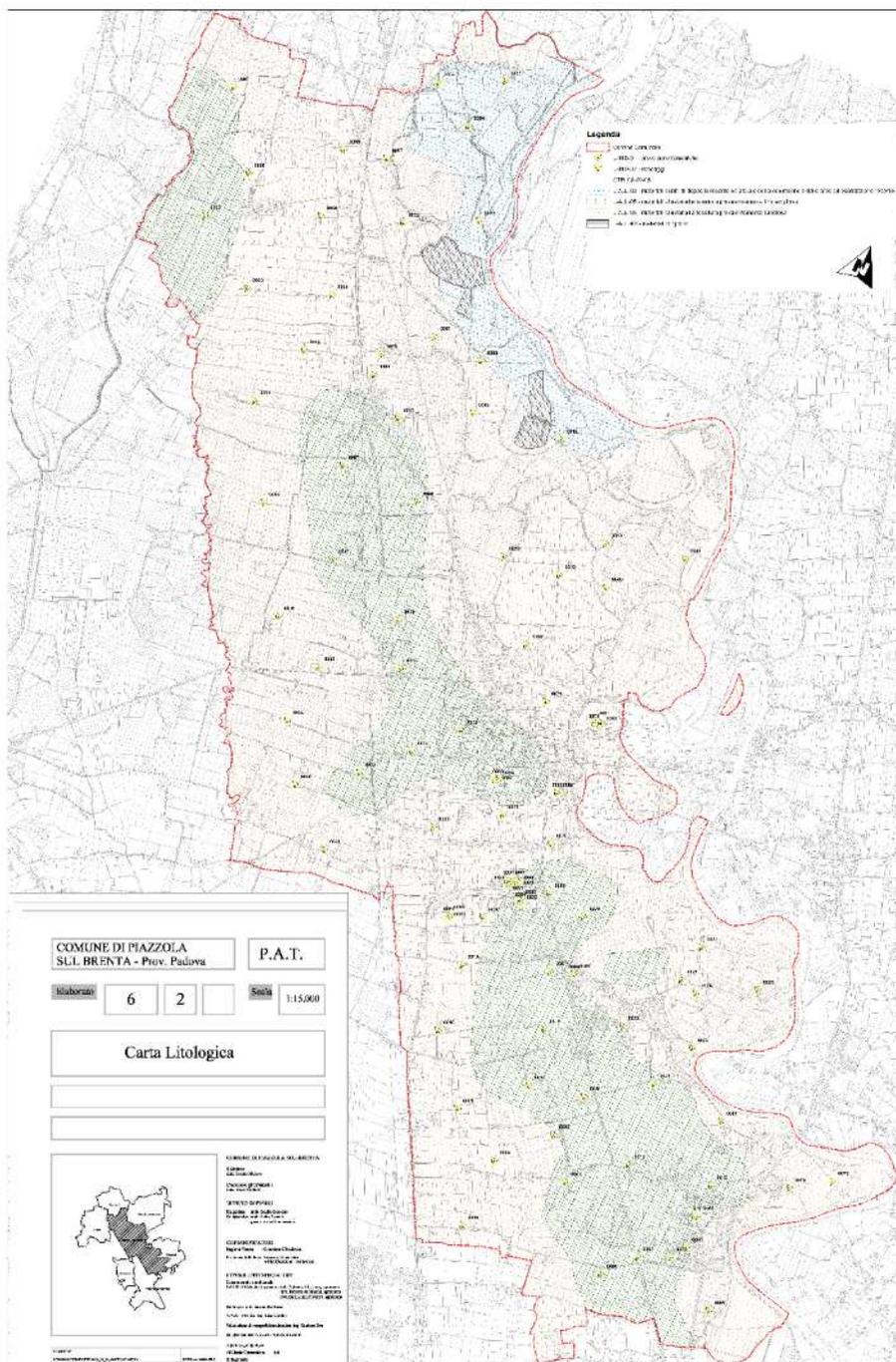
3.2.1 Depositi sciolti presenti nella Carta Geolitologica del PAT

Le aree a diversa costituzione litostratigrafia del primo sottosuolo sono state desunte in prima battuta dallo studio relativo al PRG dell'anno 1989, verificate ed aggiornate dal confronto con i nuovi dati stratigrafici raccolti e confrontate con le analoghe zonazioni dei comuni confinanti.

Il territorio comunale è interessato nell'estremo settore nord-orientale, a ridosso dell'alveo del Brenta, dalla presenza nel sottosuolo di una fascia di sedimenti a granulometria grossolana (ghiaie e sabbie). La restante gran parte del territorio comunale risulta suddivisa in due aree interessate rispettivamente da depositi di sedimenti a granulometria medio-fine (sabbie e sabbie limose), corrispondenti in gran parte alle aree di paleo alveo, e aree a granulometria fine (argille e limi) nelle restanti zone.

In base a tali osservazioni è stato possibile riconoscere i diversi depositi sciolti che costituiscono il sottosuolo del territorio di Piazzola sul Brenta:

- **L-ALL-04 - Materiali sciolti di deposito recente e attuale dell'alveo mobile e delle aree di esondazione recente:** tali sedimenti costituiscono i depositi recenti ghiaiosi presenti nell'alveo attuale e recente del fiume Brenta;
- **L-ALL-05 - Materiali alluvionali, fluvioglaciali morenici o lacustri a tessitura prevalentemente limo- argillosa:** sono depositi alluvionali limo argillosi presenti in tre aree del territorio comunale: a nord-ovest, in zona centrale e a sud-est;
- **L-ALL-06 - Materiali alluvionali, fluvioglaciali morenici o lacustri a tessitura prevalentemente sabbiosa:** si tratta di depositi sabbiosi di origine alluvionale; che costituiscono la maggior parte del territorio;
- **L-ART-01 – Materiale di riporto:** costituiscono i limitati riporti presenti all'interno di cave attive e non attive. Dal punto di vista geotecnico non sono classificabili se non a seguito di specifiche indagini.



Legenda

-  Confine Comunale
-  L-IND-01 - prove penetrometriche
-  L-IND-02 - sondaggi
-  CTR_08-09-09
-  L-ALL-04 - materiali sciolti di deposito recente ed attuale dell'alveo mobile e delle aree ad esondazione recente
-  L-ALL-05 - materiali alluvionali a tessitura prevalentemente limo-argillosa
-  L-ALL-06 - materiali alluvionali a tessitura prevalentemente sabbiosa
-  L-ART-01 - materiali di riporto

Carta Litologica del PAT del Comune di Piazzola sul Brenta (2010)



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:

CODIFICA PAT	DESCRIZIONE PAT	CODICE MS	DESCRIZIONE MS	CODICE AMBIENTE GENETICO/DEPOSIZIONALE
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	Materiali alluvionali, fluvioglaciali morenici o lacustri a tessitura prevalentemente limo-argillosa	CL	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre	tf (terrazzo fluviale)
L-ALL-06	Materiali alluvionali, fluvioglaciali morenici o lacustri a tessitura prevalentemente sabbiosa	SM	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo	tf (terrazzo fluviale)
L-ART-01	Materiale di riporto	RI	Terreni contenenti resti di attività antropica	zz (altro)



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.

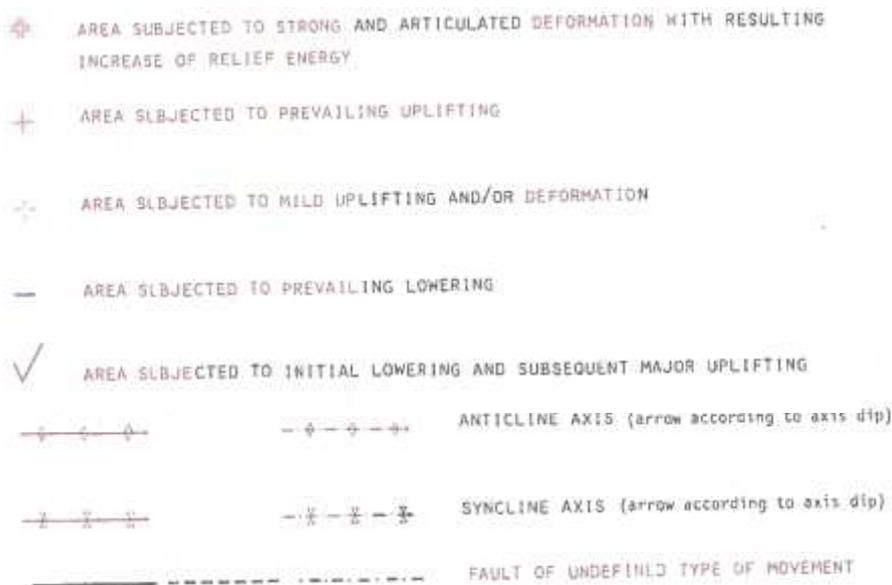
LITOLOGIA	VALORI ORIENTATIVI		
	Angolo d'attrito interno/coesione	Peso specifico kg/cm ³	Resistenza alla punta (Rp) kg/cm ²
Materiali granulari più o meno addensati dei terrazzi fluviali e/o fluvioglaciali antichi a tessitura prevalentemente ghiaiosa e sabbiosa	Angolo di attrito interno = 30° - 45°	1,9÷2,2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



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-quadernario 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 fondamentalmente 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 Piazzola sul Brenta



In particolare in termini areali la zona ove sorge il Comune è caratterizzata da una fase di deformazione di iniziale abbassamento e conseguente maggior sollevamento.

Questo movimento è probabilmente dovuto ad un fascio di faglie con direzione NNW-SSE che hanno avuto in passato un movimento normale ma durante l'accavallamento del fronte sudalpino sull'avampaese padano-adriatico il movimento è cambiato diventando di tipo inverso, a causa della compressione verso N.

3.4 Inquadramento idrogeologico

In termini generali, il materasso ghiaioso dell'Alta Pianura contiene il cosiddetto acquifero freatico indifferenziato, mentre la successione in profondità tra livelli limoso-argillosi e ghiaioso-sabbiosi sovrapposti, tipica della Media Pianura, ospita il sistema delle falde artesiane, sistema che si riduce via via per estensione ed importanza passando verso la zona di bassa pianura.

Il materasso alluvionale ghiaioso di alta pianura ospita un'unica falda a superficie libera (freatica), che alimenta e regola dal punto di vista idraulico tutto il sistema multifalde in pressione presente più a sud essendo ad esso idraulicamente, anche se in modo indiretto, collegato.

I fattori di alimentazione del sistema idrogeologico complessivo sono essenzialmente tre: la dispersione in alveo dei corsi d'acqua nei tratti disperdenti; l'infiltrazione degli afflussi meteorici diretti e l'infiltrazione delle acque irrigue nelle zone di alta pianura ad elevata permeabilità dei suoli. Allo stato attuale delle conoscenze risultano di grandezza assai meno significativa le immissioni profonde derivanti da sorgenti in roccia sepolte sotto i sedimenti delle conoidi alluvionali.

Le direzioni del deflusso sotterraneo a valle della zona di persistenza della falda freatica di Alta Pianura (e quindi a valle del limite superiore della fascia delle risorgive) possono essere definite in modo meno dettagliato di quella dell'alta pianura a causa della maggiore complessità dei sistemi, a meno di non eseguire rilievi di dettaglio.

A grandi linee viene comunque riconosciuto un andamento del deflusso coerente con quello del deflusso sotterraneo nelle zone di alta pianura laddove, a valle della fascia delle risorgive, la denominazione di "falda freatica" meglio viene definita dal termine falda acquifera superficiale. A valle della fascia di transizione tra acquifero freatico e sistema delle falde in pressione, infatti, a partire dalla fascia delle risorgive e più a valle passando alla bassa pianura, risulta improprio riferirsi al termine falda freatica in quanto tale termine implica una buona omogeneità dei materiali costituenti l'acquifero con conseguente unitarietà in senso idraulico della falda stessa.

Al contrario nelle zone di Media e soprattutto Bassa Pianura risulta presente una falda acquifera superficiale che in realtà è costituita da diverse falde acquifere locali ospitate in livelli a permeabilità variabile (ma comunque generalmente piuttosto bassa) variamente interconnesse tra loro e spesso in rapporto idraulico con i corpi idrici superficiali. Tale rapporto di connessione con gli alvei di fiumi e canali di scolo (che risulta peraltro agente anche con maggiore importanza nella zona di Alta Pianura per quanto riguarda la ricarica della falda freatica operata dalle dispersioni in alveo dei fiumi) condiziona fortemente le direzioni di deflusso, le profondità di livello ed i gradienti del sistema della falda acquifera superficiale.

Per quanto riguarda la profondità del livello di falda rispetto al p.c., la stessa risulta assai variabile nelle zone di Alta Pianura anche a causa delle sensibili ondulazioni del piano campagna, decrescendo tuttavia con regolarità, ed abbastanza velocemente nelle zone di conoide, dal piede dei rilievi montuosi (dove si riscontrano i valori maggiori, pari a varie decine di metri) verso la fascia delle risorgive dove la falda affiora a giorno nei punti più depressi.



Nelle zone di Media e Bassa Pianura la profondità della falda acquifera superficiale risulta sempre assai limitata (generalmente inferiori ai 2 metri) eccezion fatta per le zone adiacenti agli alvei fluviali che drenando l'acquifero deprimono il livello di falda. Le oscillazioni del livello di falda risultano peraltro assai maggiori nella falda freatica unitaria di Alta Pianura che nelle falde libere superficiali presenti in Media e Bassa Pianura: mentre le prime possono raggiungere oscillazioni di diversi metri durante l'anno, le seconde generalmente limitano la loro variabilità di livello a qualche decimetro.

Secondo la suddetta schematizzazione idrogeologica il territorio comunale appartiene al settore idrogeologico di transizione tra bassa e media pianura, anche se in buona parte appartenente a pieno titolo a quello della Bassa Pianura. Particolare rilievo deriva dalla presenza del fiume Brenta per il diretto rapporto di interconnessione tra acqua in alveo e falda.

Per quanto riguarda la permeabilità dei terreni, la Provincia di Padova nel 2001 ha elaborato una carta di permeabilità dei suoli per rispondere alle esigenze di pianificazione territoriale. Secondo tale fonte il territorio provinciale risulta suddiviso in tre classi a differenti intervalli di permeabilità:

- Classe 1 – terreni molto permeabili ($k > 10E-05$ m/s)
- Classe 2 – terreni di media permeabilità ($k = 10E-08 - 10E-05$ m/s)
- Classe 3 – terreni poco permeabili ($k < 10E-08$ m/s)

Il territorio del comune di Piazzola sul Brenta rientra essenzialmente nei terreni a permeabilità medio-bassa legati alla presenza nel sottosuolo sia di sabbia sia di alternanze limoso - argillose talvolta sabbiose (anche se la parte nord è definita a permeabilità più elevata causa della presenza di sedimenti più grossolani in profondità).



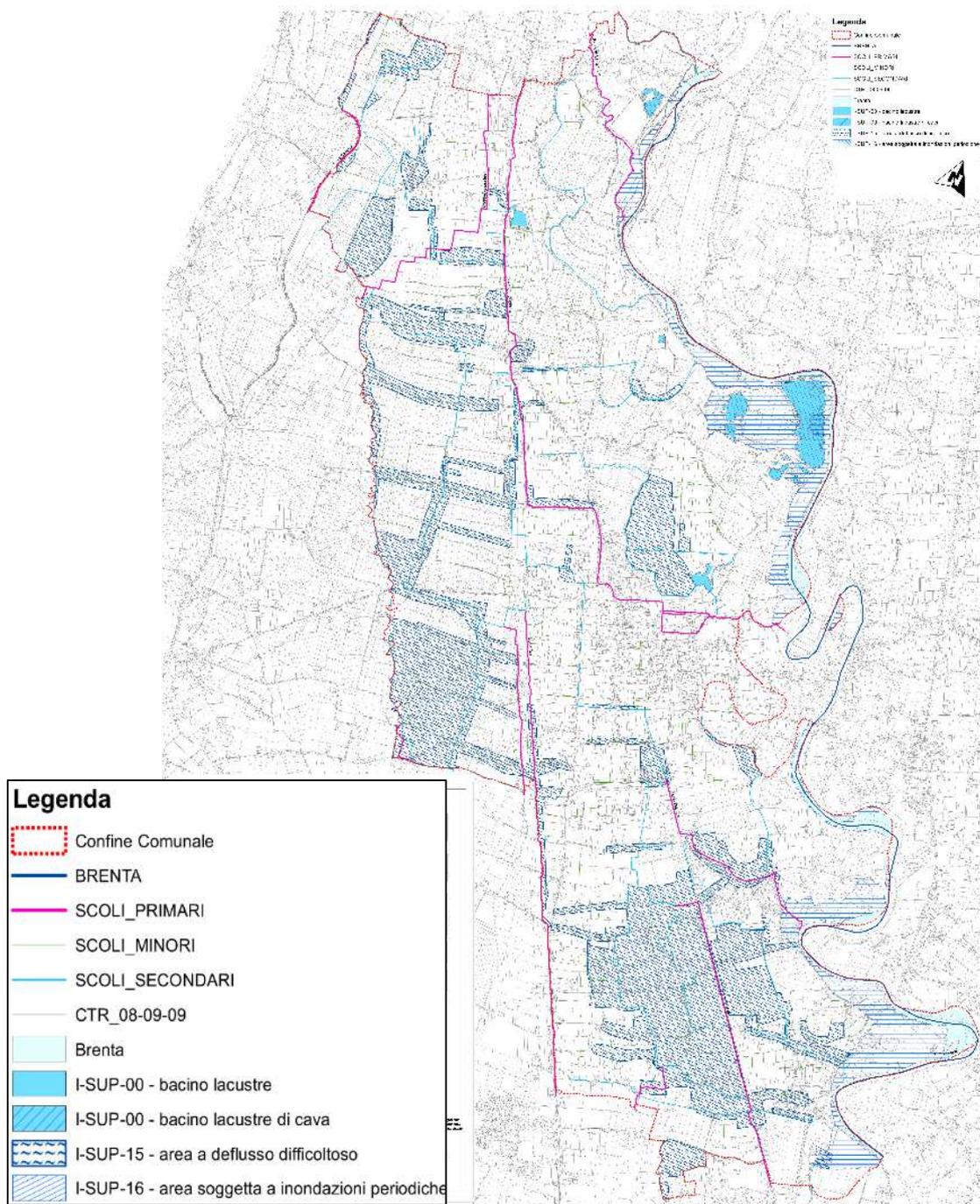
3.4.1 Idrologia di superficie

Dal punto di vista idrografico il territorio del comune di Piazzola sul Brenta appartiene al bacino regionale del Brenta-Bacchiglione. Lungo quasi tutto il confine orientale di Piazzola scorre il fiume Brenta; al confine nord-occidentale scorre il Fiume Ceresone. E' presente una rete di canali irrigui (indicati in carta) distribuiti grossomodo omogeneamente in tutta l'area comunale e gestiti dal Consorzio Pedemontano Brenta:

- Roggia Rezzonico
- Roggia Contarina
- Rio delle Castegnere
- Scolo Rio
- Scolo Piazzola
- Scolo Porretta

Molte delle cave dismesse e non ripristinate presentano al loro interno dei bacini lacustri più o meno vasti; inoltre altri due bacini lacustri sono presenti rispettivamente all'interno del parco della Villa Contarini e nell'area caratterizzata dalla scarpata di sbancamento tra via Grantorto e Via Mantegna, saltuariamente allagata.

Per quanto concerne le aree definite a "dissesto idrogeologico" secondo la definizione della normativa regionale, esistono aree a deflusso difficoltoso in molte zone del territorio legate alla difficoltà di scolo della rete idraulica comunale o per la presenza di zone in cui il drenaggio risulta difficoltoso a causa della bassa permeabilità dei terreni comportando periodico ristagno in occasione di forti eventi piovosi. Inoltre le aree golenali del Brenta sono ovviamente soggette ad inondazioni periodiche del fiume.

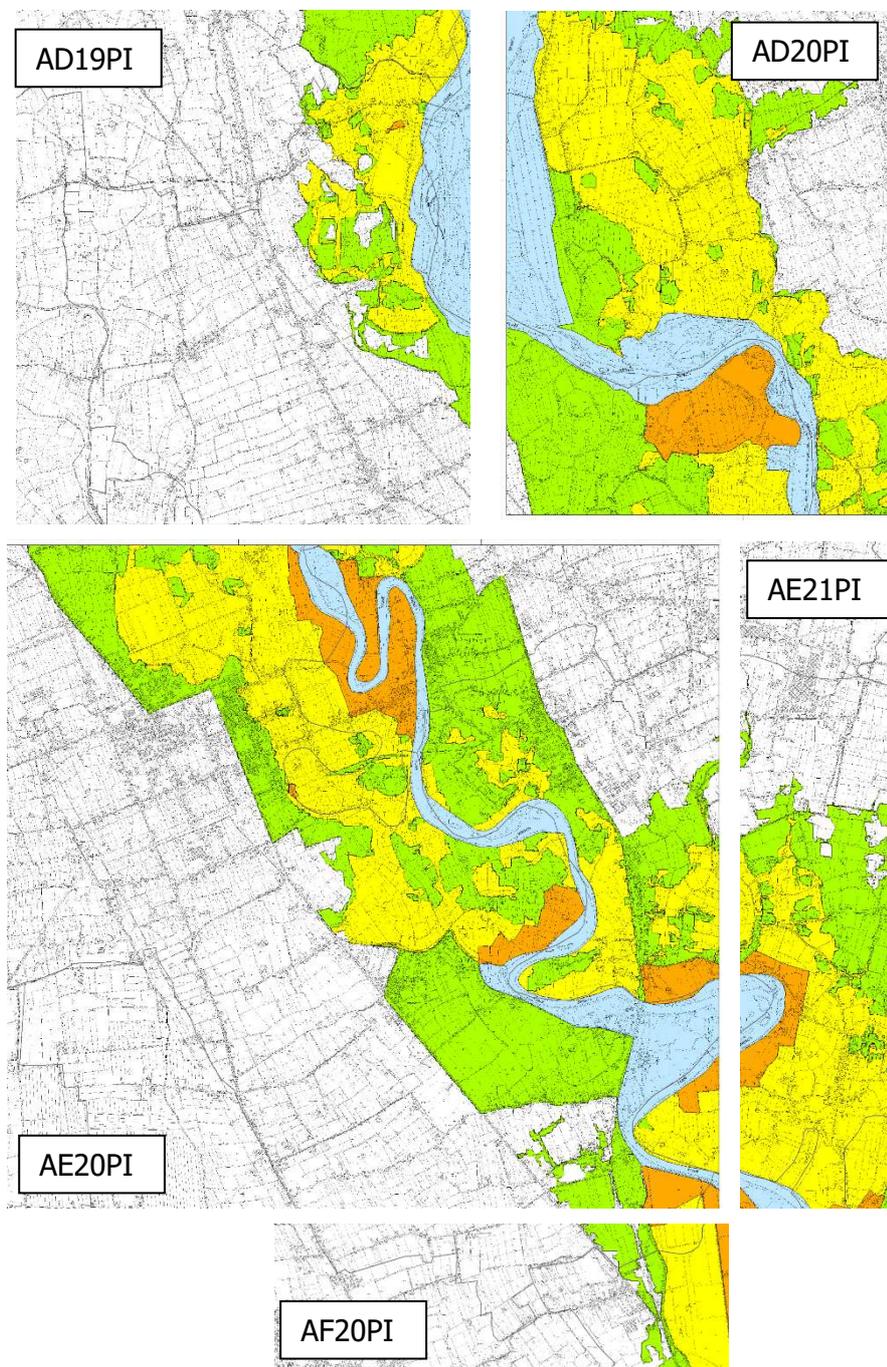


Carta idrogeologica delle acque superficiali redatta per il PAT di Piazzola sul Brenta (2010)



3.4.2 Aree di pericolosità e rischio idraulici del Piano di Gestione Rischio Alluvioni del bacino idrografico del fiume Brenta-Bacchiglione

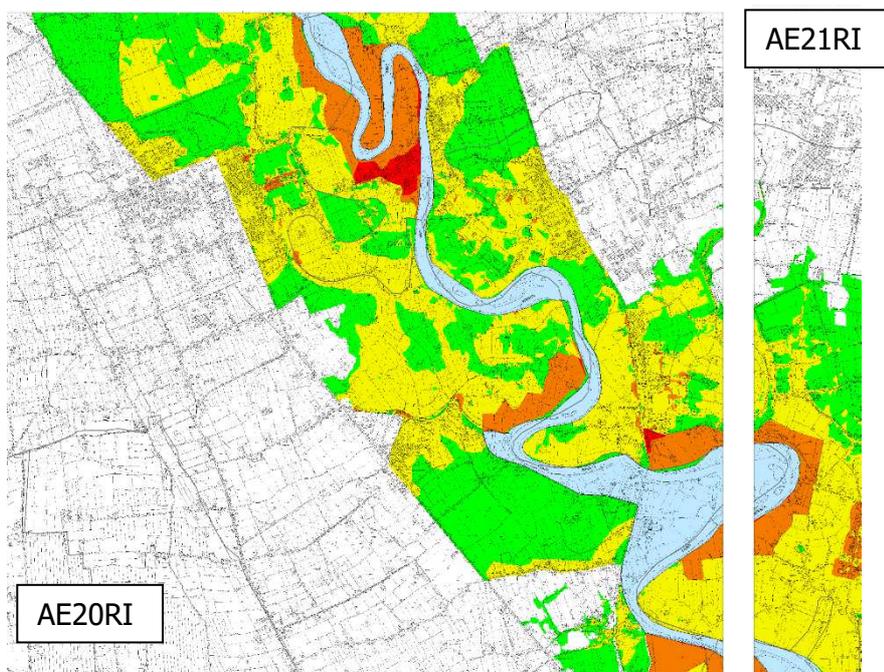
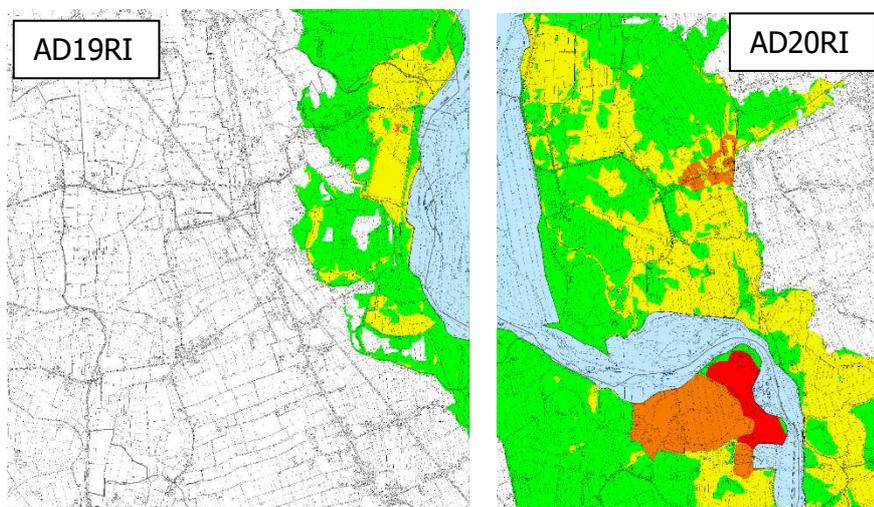
Nel territorio del comune di Piazzola sul Brenta sono presenti aree fluviali, aree a pericolosità idraulica P1, aree P2 e aree P3a nel settore orientale del comune, derivanti dalle tavole AD19PI, AD20PI, AE20PI, AE21PI e AF20PI della Pericolosità Idraulica del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del bacino idrografico del fiume Brenta-Bacchiglione.



Stralcio delle tavole AD19PI, AD20PI, AE20PI, AE21PI e AF20PI della Pericolosità Idraulica del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del bacino idrografico del fiume Brenta-Bacchiglione con le Aree fluviali, P1, P2 e P3.



Dallo stesso Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del bacino idrografico del fiume Brenta-Bacchiglione si nota come nel comune di Piazzola del Brenta sono presenti aree fluviali e aree a rischio idraulico R1, R2, R3 e R4 nel settore orientale del territorio.



Stralcio delle tavole AD19RI, AD20RI, AE20RI, AE21RI e AF20RI del Rischio Idraulico del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del bacino idrografico del fiume Brenta-Bacchiglione con le Aree fluviali, R1, R2, R3 e R4.



3.4.1 Acque sotterranee

Il territorio comunale si pone principalmente in zona di bassa pianura al di sotto del limite inferiore della linea delle risorgive, con l'eccezione della zona di Carturo che lambisce la fascia delle risorgive.

La direzione del deflusso sotterraneo segue grossomodo una direzione da NNO verso SSE e quindi in linea con la direzione generale del deflusso a scala regionale. Essa devia in prossimità dell'alveo del Brenta a causa dell'azione di richiamo della falda verso il fiume stesso (drenaggio in alveo).

Tabella 1: misure del livello di falda

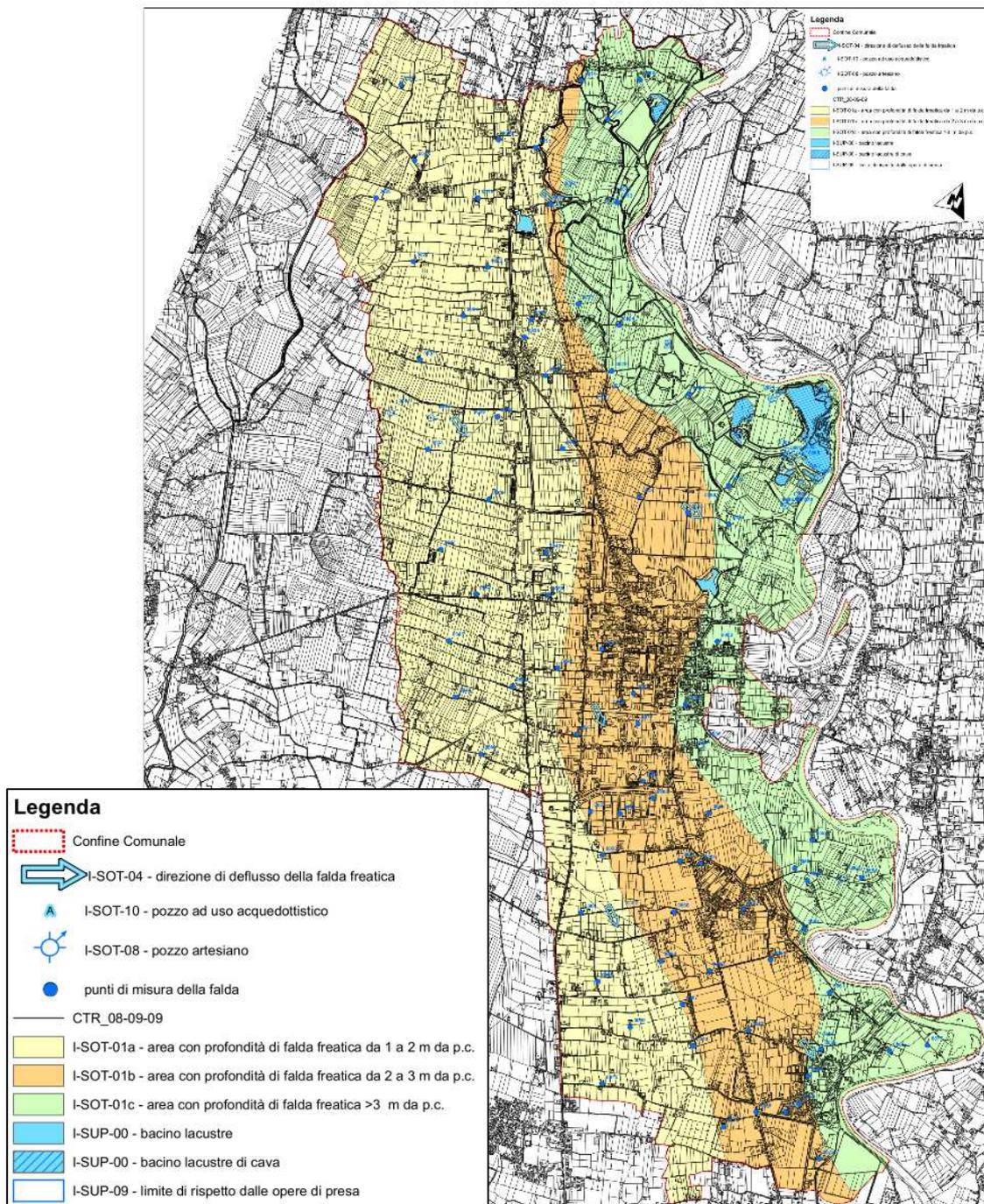
numero rilievo freatimetrico	profondità di falda (m sotto p.c.)	numero rilievo freatimetrico	profondità di falda (m sotto p.c.)
0010	>3	0051	>3
0011	>3	0052	2,14
0012	>3	0053	>3
0013	>3	0054	>3
0014	1,17	0055	>3
0015	>3	0056	>3
0016	1,50	0057	>3
0017	1,10	0058	2,40
0018	0,71	0059	1,16
0019	1,10	0060	1,83
0020	0,88	0061	>3
0021	1,28	0062	1,70
0022	1,68	0063	0,98
0023	>3	0064	0,60
0024	>3	0065	>3
0025	1,92	0066	>3
0026	0,60	0067	1,64
0027	1,89	0067	0,87
0028	>3	0068	0,20
0029	>3	0069	0,63
0030	>3	0070	0,89
0031	>3	0071	2,50
0032	>3	0072	0,97
0033	2,10	0073	2,05
0034	1,28	0074	0,49
0035	1,50	0075	0,57
0036	0,84	0076	4,10
0037	0,57	0077	1,80
0038	0,78	0078	2,60
0039	0,90	0079	2,00
0040	0,44	0080	1,30
0041	1,03	0081	1,60
0042	0,65	0082	3,52
0043	0,53	0083	4,60
0044	1,68	0084	6,10
0045	1,80	0085	2,05
0046	0,88	0086	0,55
0047	0,70	0087	0,60
0048	0,81	0088	2,40
0049	1,38	0089	4,50
0050	1,47		

Le profondità di falda (tabella 1) desunte dai dati riportati nelle prove geognostiche reperite e dalle misure dei livelli di falda ricavati dai 68 sondaggi a rotazione spinti a profondità comprese tra 2 e 3 m eseguiti per il PRG, hanno consentito di indicare fasce di territorio caratterizzate da una diversa profondità di livello di falda in quanto lo stesso mostra una diminuzione da est verso ovest, passando da più di 3 m rispetto il piano campagna verso l'alveo del fiume Brenta a profondità che oscillano tra 1 e 2 m dal p.c. presso la fascia più occidentale del comune. Come già detto tale comportamento deriva dall'azione drenante operata dall'alveo fluviale.



Nella carta idrogeologica del PAT relativa alle acque sotterranee vengono indicati inoltre i pozzi presenti nel territorio comunale, intendendo con ciò i pozzi denunciati e/o autorizzati presso il Genio Civile Regionale di Padova e quelli già indicati nella tavola del vecchio PRG.

Sono presenti sia pozzi superficiali (alimentati dalla falda acquifera superficiale), sia pozzi profondi (da 100 a 300 metri circa alimentati da falda artesianiana in pressione); alcuni dei pozzi artesiani presenti risultano essere utilizzati anche uso privato idropotabile. Sono stati infine distinti in carta i pozzi utilizzati ad uso acquedottistico, identificati con la lettera "A" all'interno del simbolo del pozzo; essi sono costituiti da cinque pozzi artesiani ubicati a nord e a sud della ex "cava Telatin".



Carta Idrogeologica delle acque sotterranee redatta per il PAT di Piazzola sul Brenta (2010)



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 allegate 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 Piazzola sul Brenta è stata eseguita nel mese di febbraio 2022 una campagna di indagine sismica durante i quali sono state effettuate 30 indagini di sismica passiva a stazione singola (HVSR) e 20 indagini MASW.

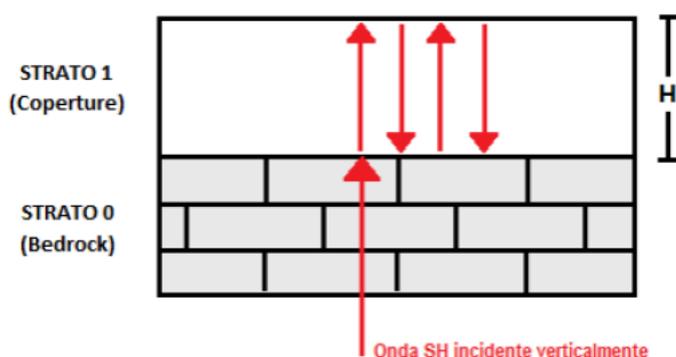
4.2.1 Indagini di sismica passiva a stazione singola (HVSR)

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 $\lambda = n 4 H$. 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 risuona 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.

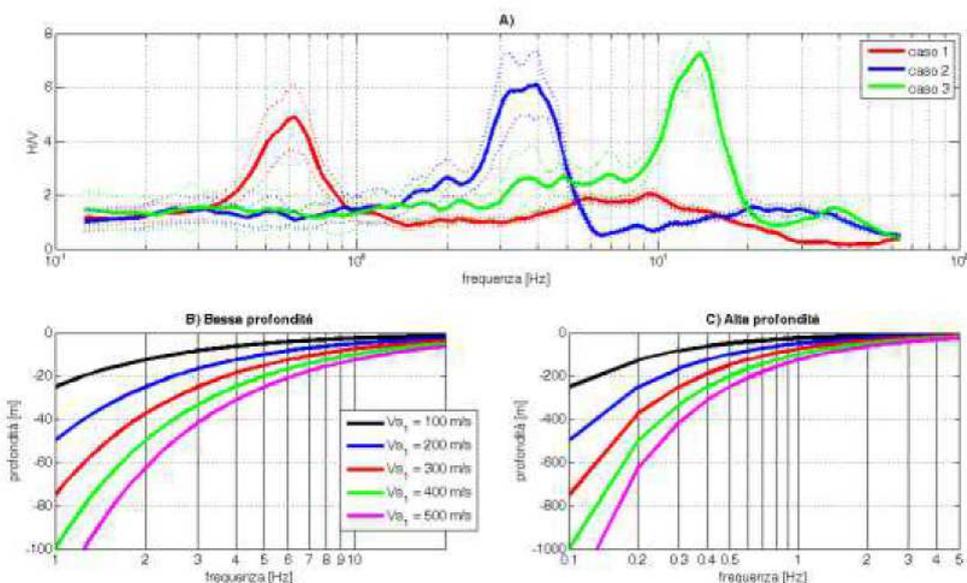


Intrappolamento e successive riflessioni di un'onda sismica SH incidente verticalmente dal basso in uno strato di coperture di spessore H sovrastanti un substrato rigido

La prova sismica a stazione singola viene di solito 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*

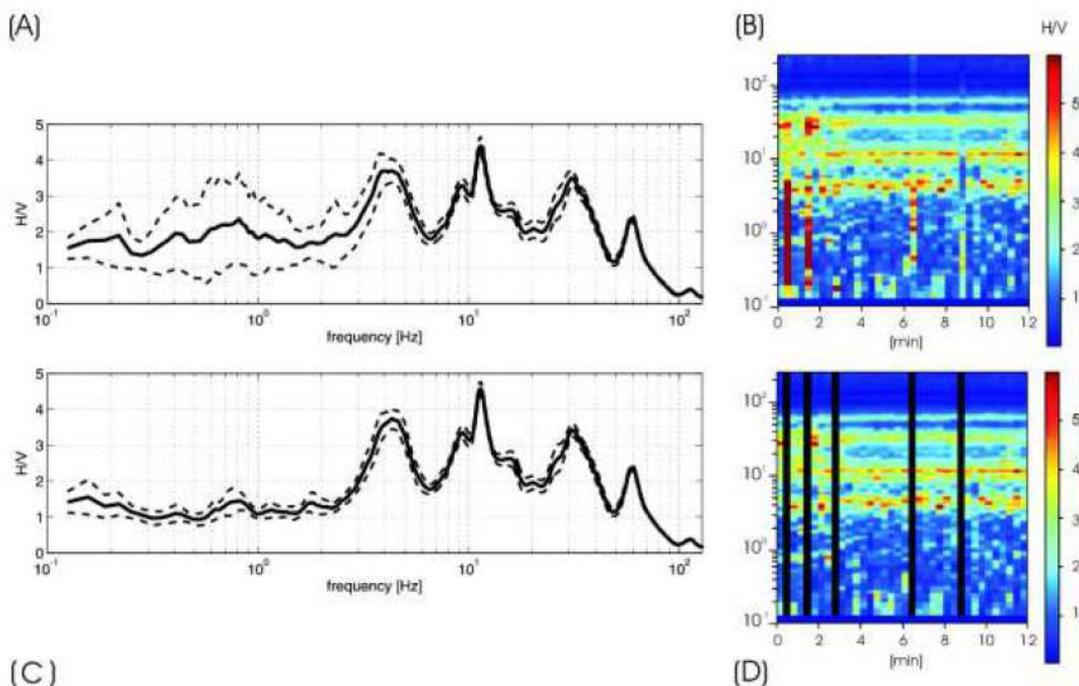
Nel presente studio di Microzonazione Sismica è stato utilizzato il software Grilla (2015) Rel. 7.0 per l'elaborazione e l'analisi dei dati acquisiti attraverso il tromometro.

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:

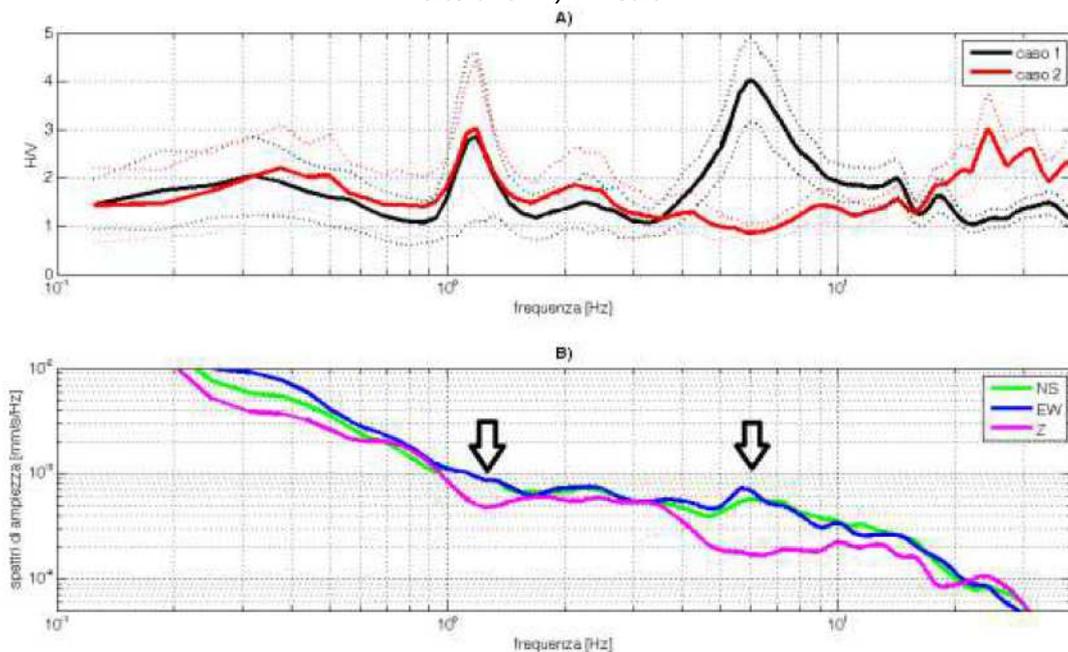
1. la curva H/V deve essere statisticamente significativa, ossia essere caratterizzata da una deviazione in ampiezza e in frequenza ridotta. Quando questa caratteristica non sia presente sin dall'inizio, essa va ricercata tramite una pulizia del tracciato. Esistono diversi metodi per "pulire" una curva 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;
2. 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.

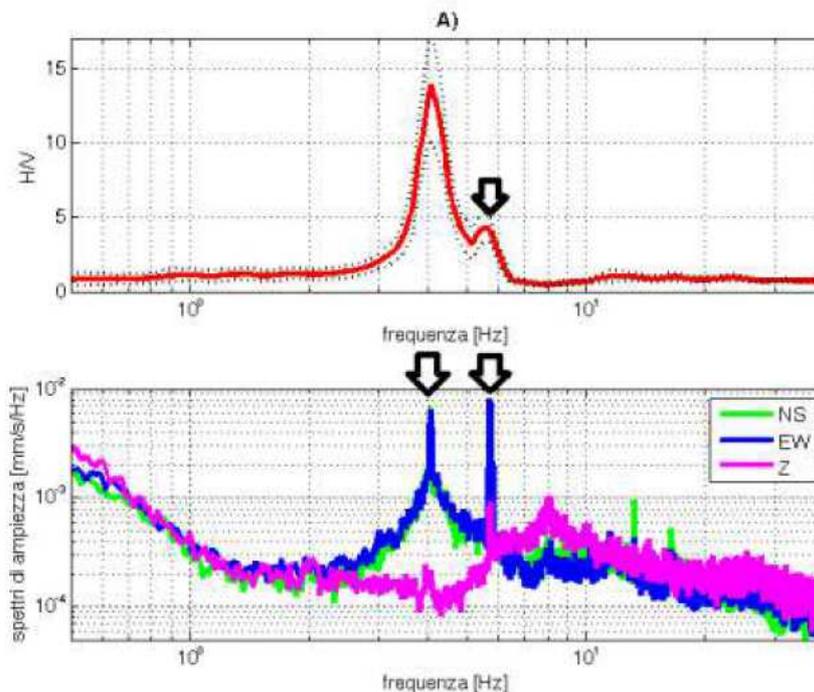


Pulizia della curva H/V nel dominio delle frequenze. (A) curva H/V media e deviazione standard non pulita; (B) serie temporale degli H/V per ciascuna finestra di analisi della durata di 20 s (ordinata: frequenze, ascissa: tempi, colore: H/V); (C) curva H/V e deviazione standard dopo la rimozione dei 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 gradual (per es. roccia fratturata su roccia sana, passaggi da limo-argilloso a sabbia-limoso, 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.

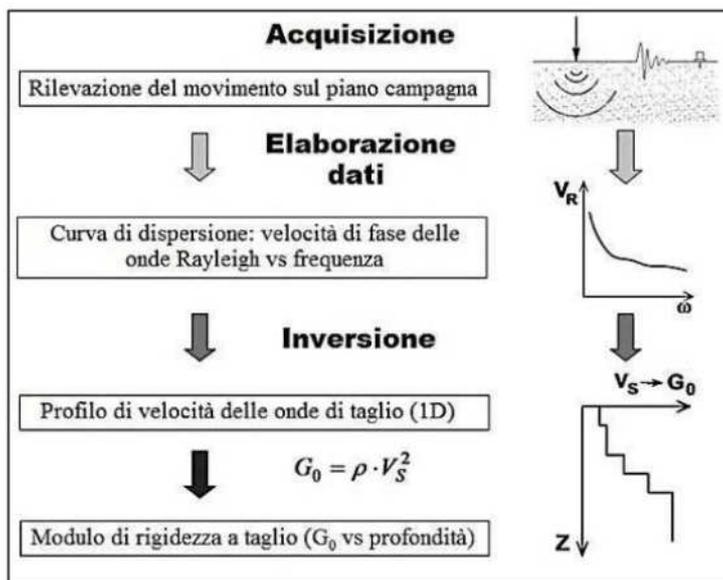


Diagramma di flusso relativo alle indagini basate sulla dispersione delle onde superficiali (da Foti, 2005).

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) spazati di una distanza compresa tra 1 e 5 metri e che la durata della registrazione sia sufficiente per acquisire l'intero treno d'onde.



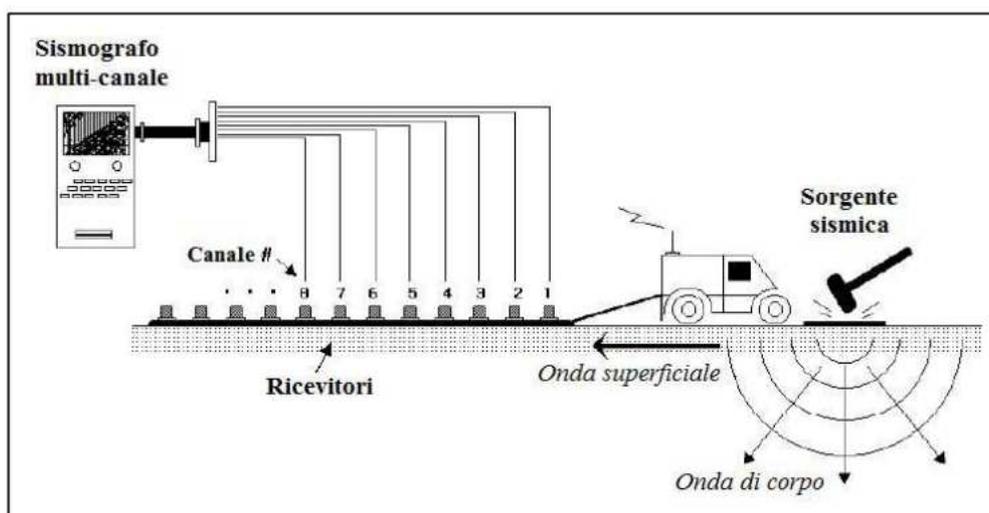
È importante ricordare che le onde Rayleigh viaggiano in una zona spessa circa una lunghezza d'onda dal piano campagna e sono informative delle caratteristiche di questa porzione di terreno; inoltre la relazione tra frequenza, lunghezza d'onda e velocità di fase comporta che l'intervallo di frequenza 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.

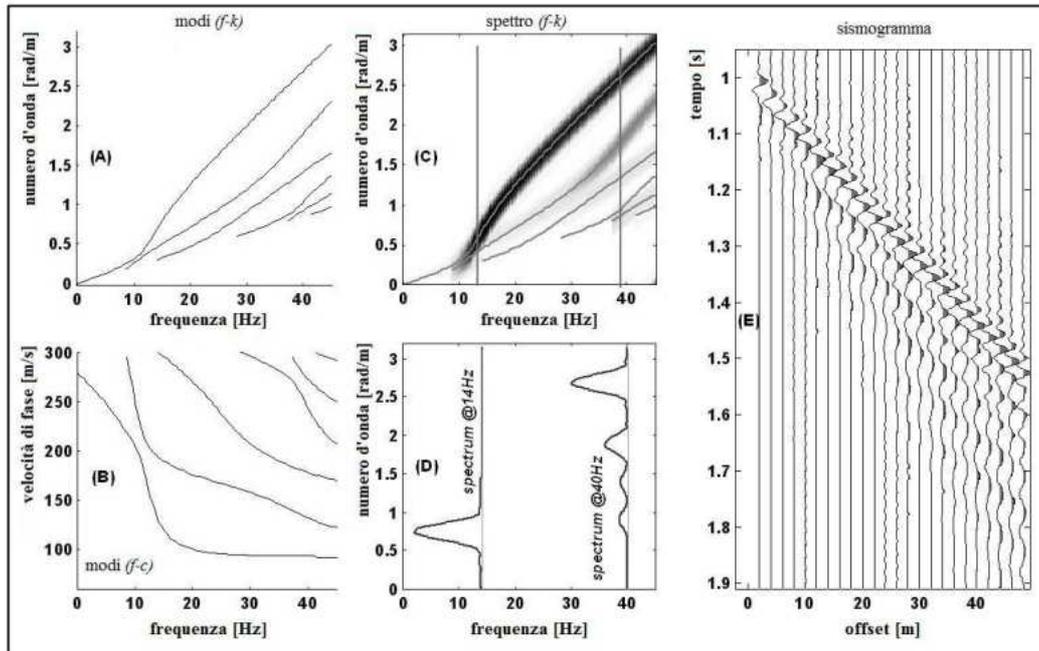
4.2.2.2 *Elaborazione dati*

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 implicino 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.

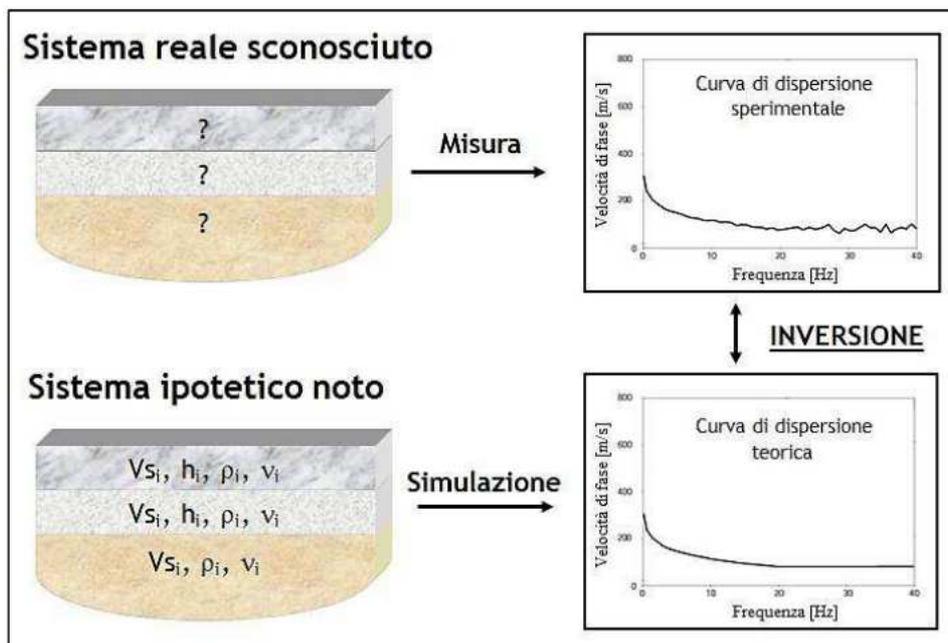


4.2.2.3 Inversione

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.



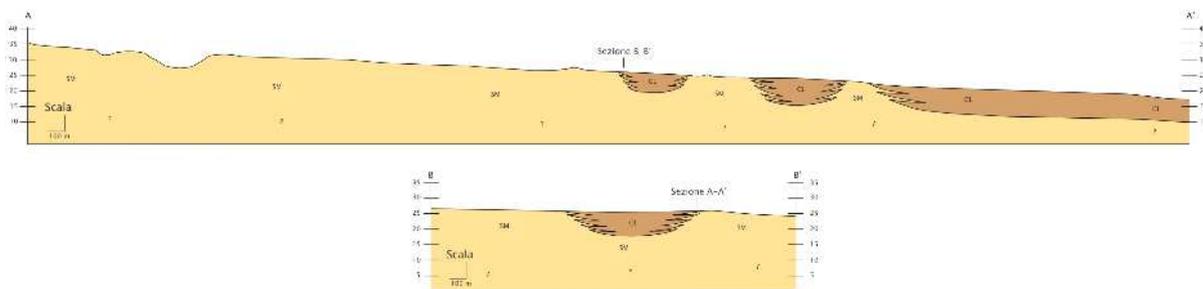
5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

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 due 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 Piazzola sul Brenta. Per aumentare il dettaglio delle sezioni e mostrare la forma dei depositi si è scelto di esagerare la dimensione verticale, aumentandola di circa 2000 volte rispetto l'orizzontale.

Riguardo il sottosuolo di Piazzola sul Brenta si possono fare le seguenti considerazioni:

- Il territorio è prevalentemente pianeggiante con una lieve pendenza verso sud. Il sottosuolo del territorio comunale è dominato da depositi prevalentemente sabbiosi, salvo una fascia centrale orientata NNW-SSE in cui affiorano depositi prevalentemente limo-argillosi. Tutti i depositi presenti nel territorio sono di origine alluvionale (sezione A-A');
- procedendo da W verso E, si conferma che il territorio è dominato da sabbie e la fascia limo-argillosa presenta unno spessore massimo di circa 10 m (sezione B-B').



Sezioni A-A' (sopra) e B-B' (sotto).



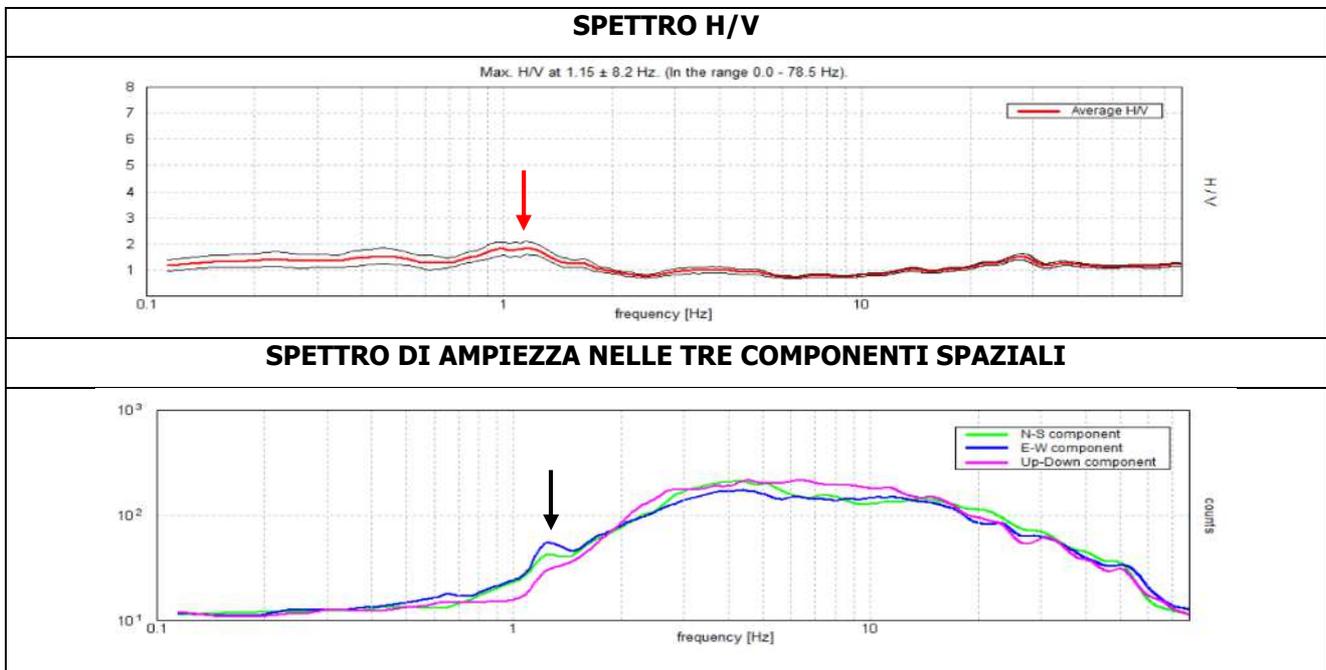
6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

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 (HVSr), 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. Tali problemi sono riportati di seguito:

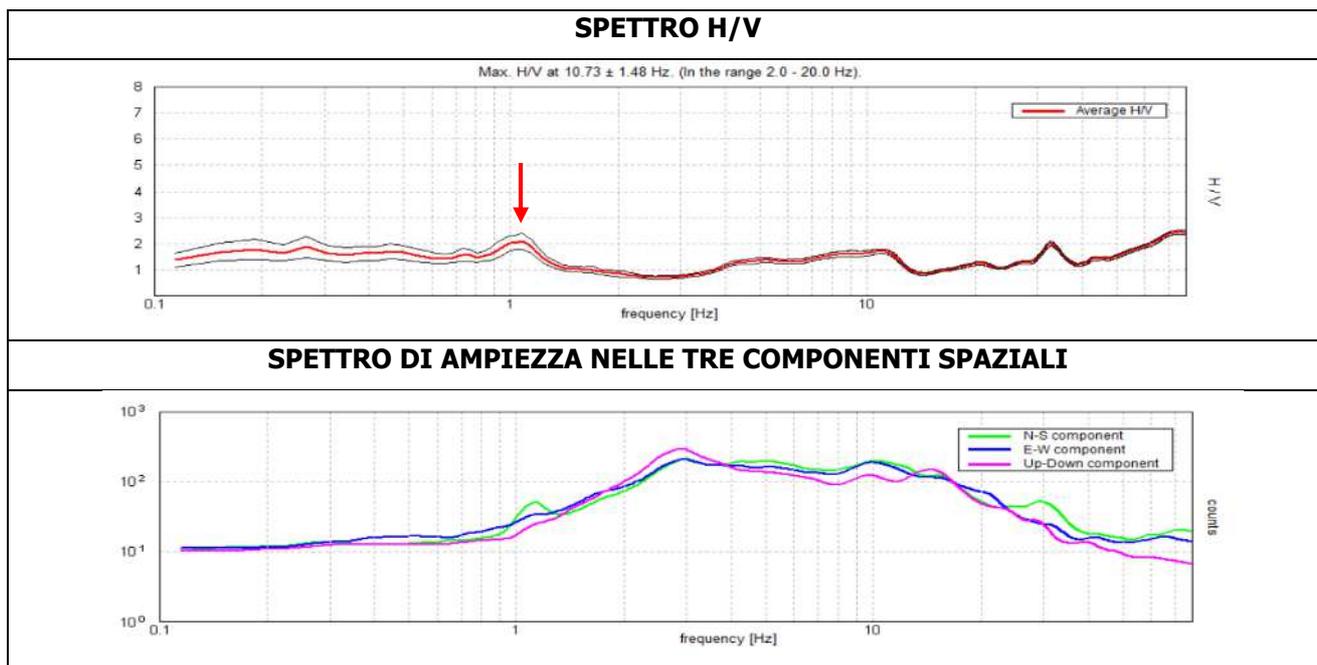
HVSr02:



Per questa indagine non si è rilevato nessun picco di origine stratigrafica, in quanto lo spettro H/V non ha mai valori superiori a 2. Si nota però un picco a 1.15 Hz (freccia rossa) probabilmente schermato in parte da un disturbo antropico, in quanto le tre componenti spaziali sono in fase (freccia nera).

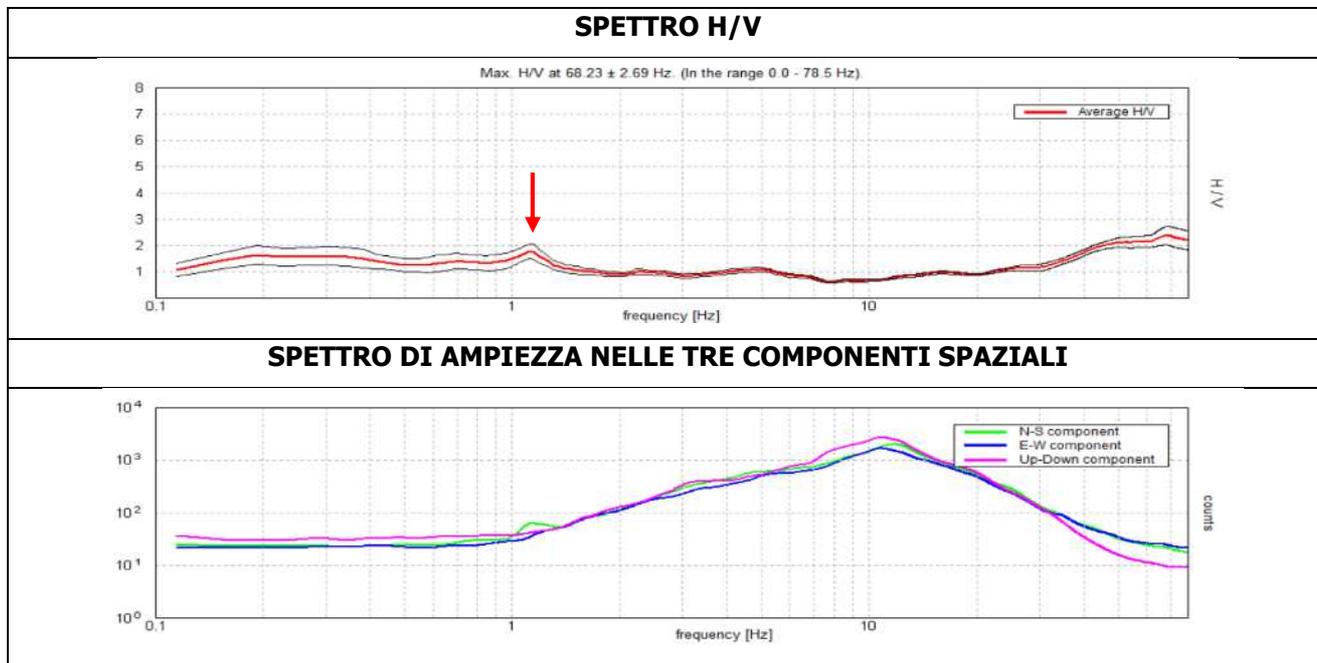


HVSR07:



Per questa indagine non si è rilevato nessun picco di origine stratigrafica, il segnale si presenta molto disturbato forse a causa di un cattivo accoppiamento con il terreno. Si nota però un picco a 1.1-1.2 Hz (freccia rossa) con un valore H/V di poco inferiore a 2.

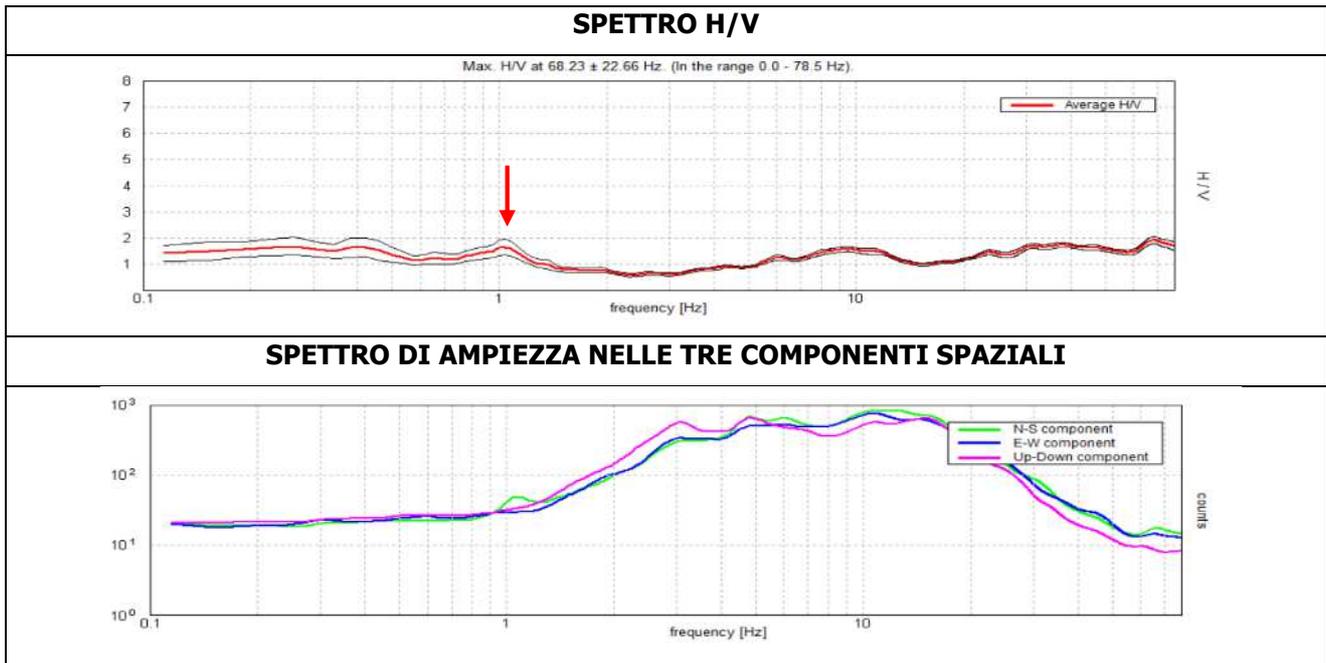
HVSR09:



Per questa indagine non si è rilevato nessun picco di origine stratigrafica, in quanto lo spettro H/V non ha mai valori superiori a 2. Si nota però un picco a 1.1-1.2 Hz (freccia rossa).

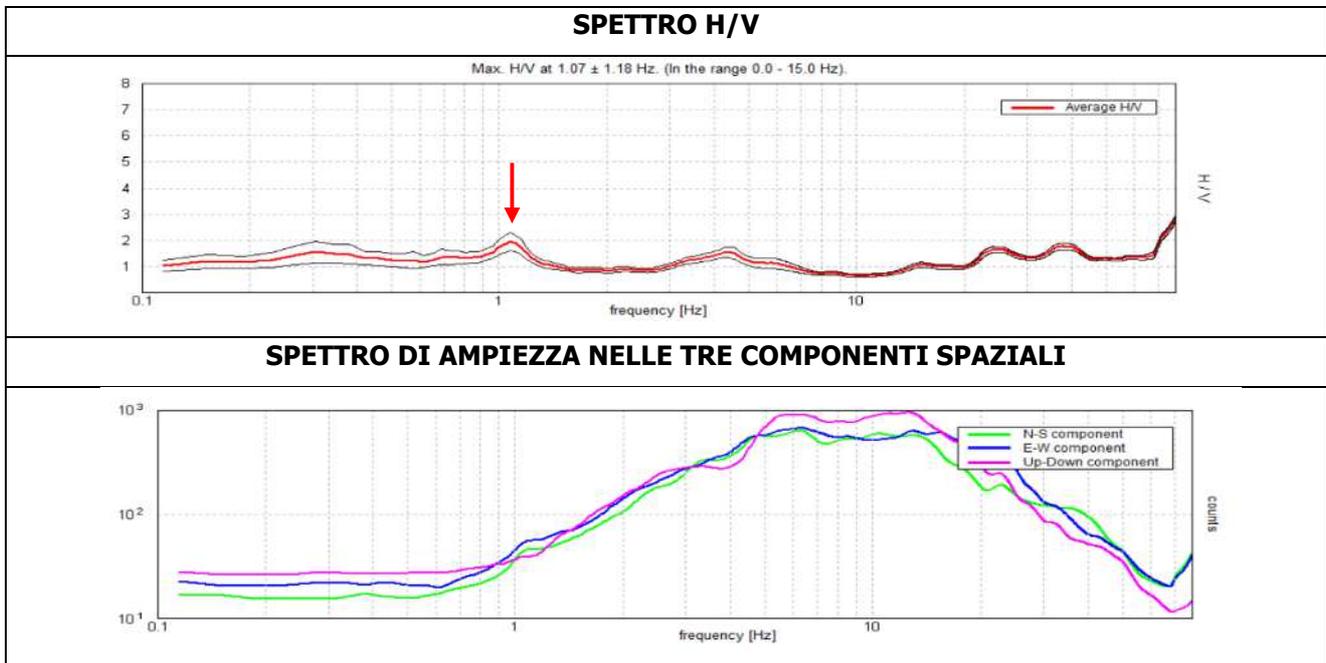


HVSR10:



Per questa indagine non si è rilevato nessun picco di origine stratigrafica, in quanto lo spettro H/V non ha mai valori superiori a 2. Si nota però un picco a 1.1-1.2 Hz (freccia rossa)

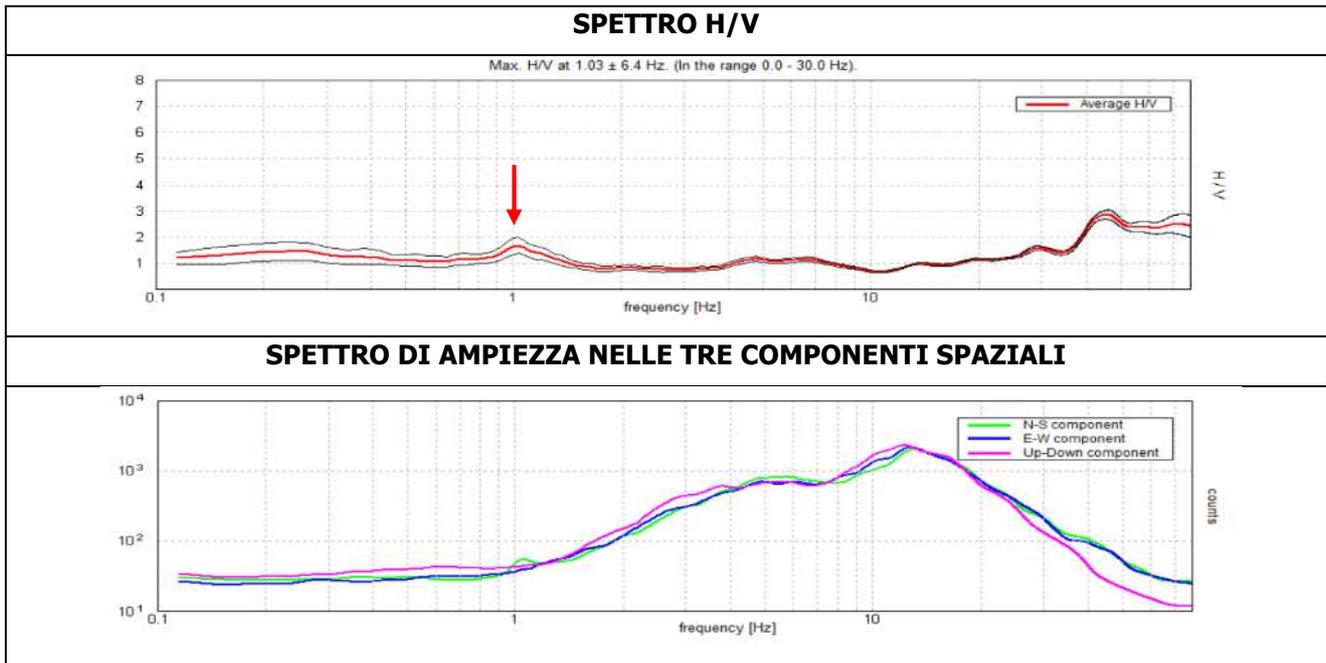
HVSR18:



Per questa indagine non si è rilevato nessun picco di origine stratigrafica, il segnale si presenta molto disturbato forse a causa di un cattivo accoppiamento con il terreno. Si nota però un picco a 1.1-1.2 Hz (freccia rossa) con un valore H/V di poco inferiore a 2.

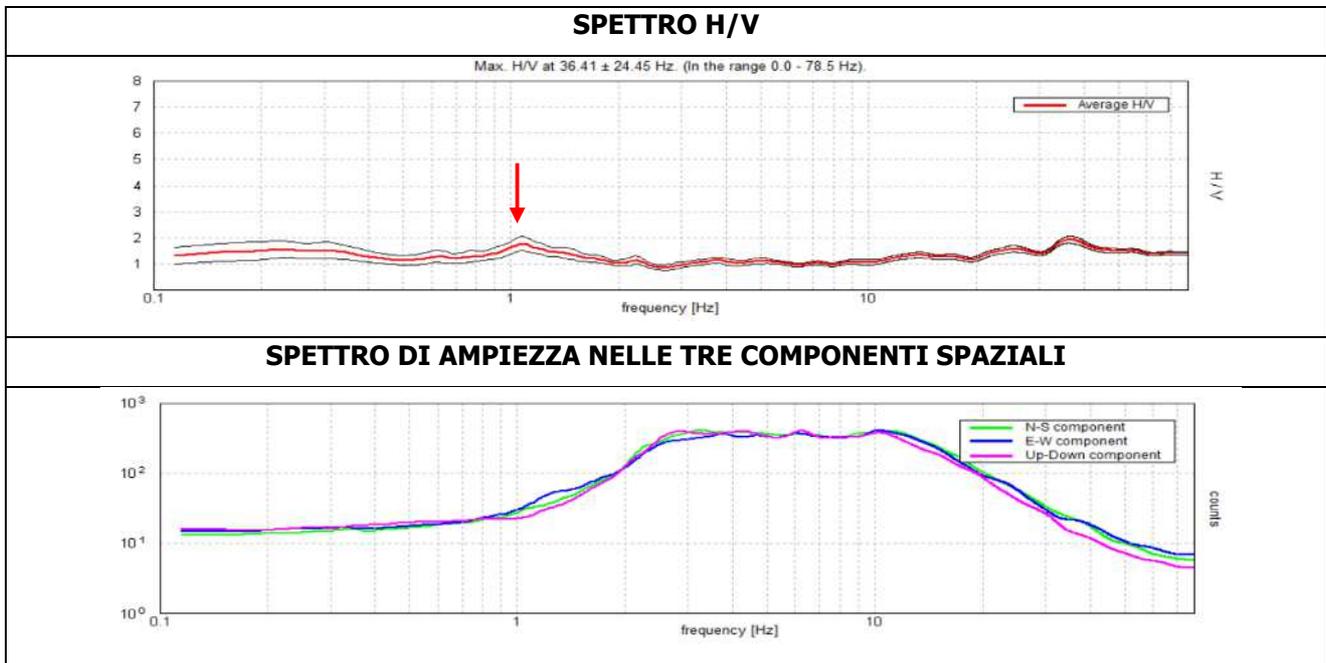


HVSR26:



Per questa indagine non si è rilevato nessun picco di origine stratigrafica, in quanto lo spettro H/V non ha mai valori superiori a 2. Si nota però un picco a 1.1-1.2 Hz (freccia rossa)

HVSR29:



Per questa indagine non si è rilevato nessun picco di origine stratigrafica, in quanto lo spettro H/V non ha mai valori superiori a 2. Si nota però un picco a 1.1-1.2 Hz (freccia rossa)



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 Piazzola sul Brenta:

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 frazione sabbiosa aventi spessori superiori ai 30 m caratteristiche dell'alveo attuale del fiume Brenta; localmente in profondità si incontrano strati di spessore esiguo con maggiore frazione sabbiosa. Questi depositi caratterizzano l'area nord-orientale del territorio comunale e in essi si possono produrre effetti di amplificazione sismica di tipo stratigrafico;
- *Zona 3*: si tratta di depositi alluvionali a tessitura prevalentemente limo-argillosa. Lo spessore di tali depositi si aggira tra 2 e 6 m; essi poggiano su depositi prevalentemente sabbiosi di origine alluvionale. Questi depositi sono localizzati in tre aree non contigue nella parte centrale del territorio comunale; in essi si possono produrre effetti di amplificazione sismica di tipo stratigrafico;
- *Zona 4*: si tratta di depositi di origine antropica a granulometria eterogenea con spessori maggiori di 10 metri, ma dei quali non si conosce il loro spessore massimo. Questi depositi antropici possono dare luogo ad amplificazione sismica di tipo stratigrafico.

Zone suscettibili di instabilità:

- *Zona 2 - 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. Questi depositi caratterizzano la quasi totalità del territorio comunale.



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 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.

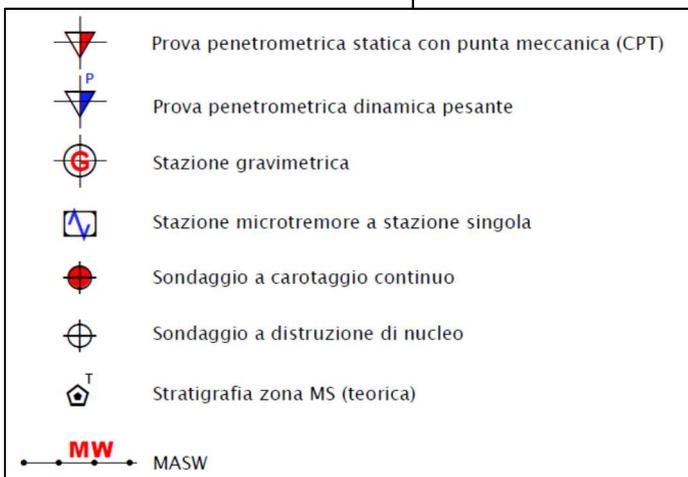
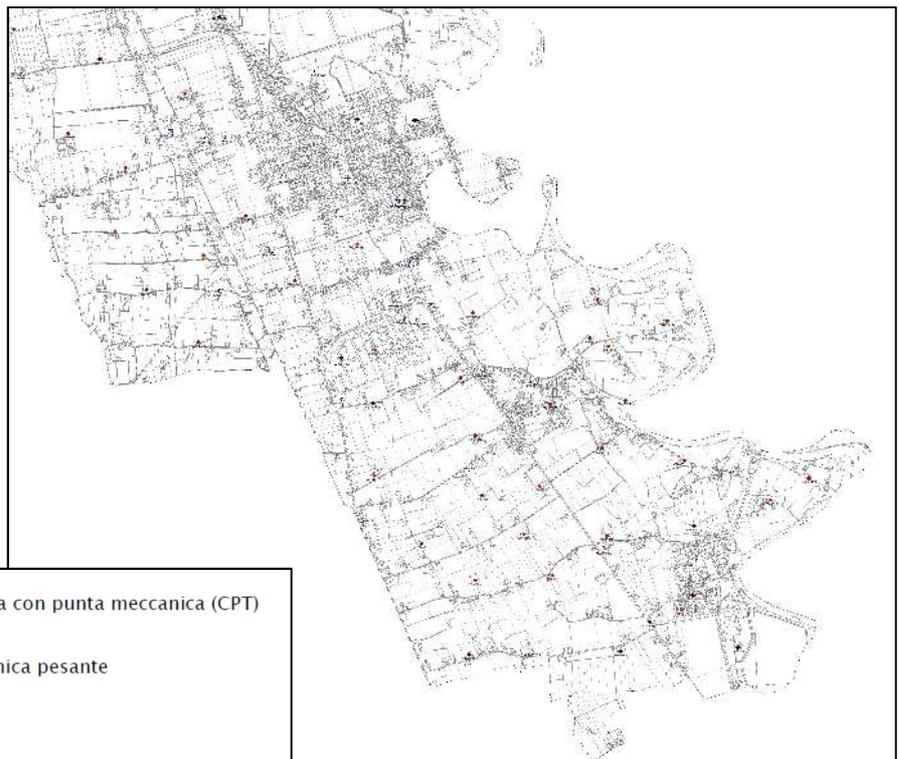
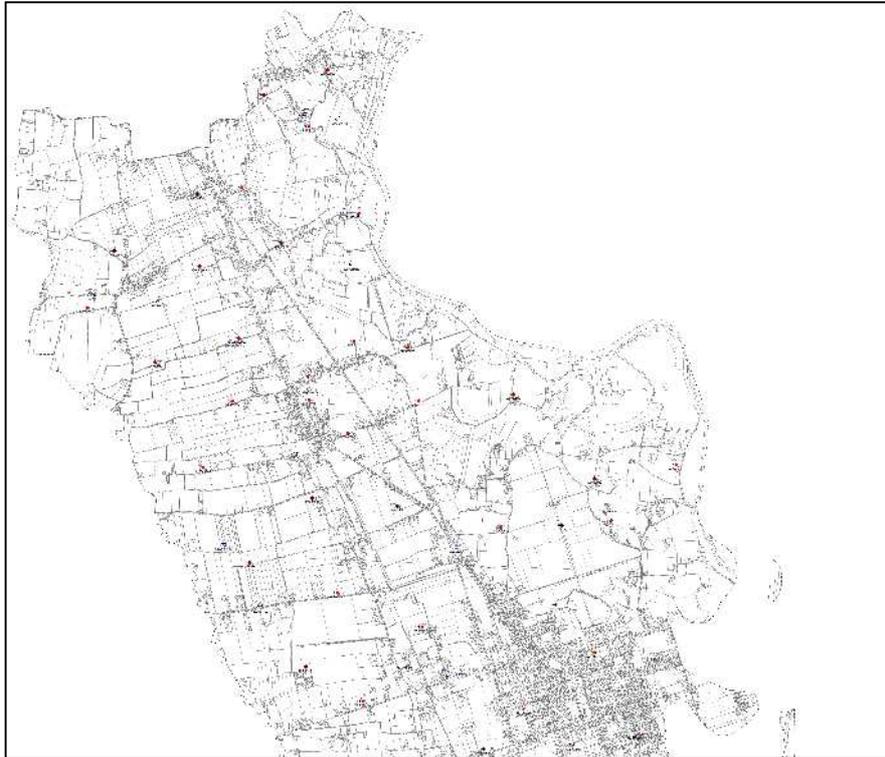
Nella Carta delle Indagini sono state segnalate alcune prove penetrometriche dinamiche e statiche, alcune trincee (dati pregressi) e le indagini HVSR e MASW effettuate ex novo all'interno del Comune di Piazzola sul Brenta.

Queste indagini sono state inoltre codificate come dettato dagli Standard di Rappresentazione Informatica ver.4.2 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 statica con punta meccanica CPT (indagini pregresse);
- Prova penetrometrica dinamica pesante (indagini pregresse);
- Stazione gravimetrica;
- Indagine di microtremori a stazione singola HVSR (indagini ex novo)
- Sondaggio a carotaggio continuo (indagini pregresse);
- Sondaggio a distruzione di nucleo (indagini pregresse);
- Stratigrafia zona MS (teorica);
- MASW (indagini ex novo).



Carta delle Indagini N (in alto) e S (in basso)(2022)



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.4.2.

8.2.1 Unità litologiche

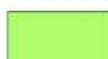
Le unità litologiche presenti in carta sono state create riclassificando le unità litologiche presenti nel PAT previa approfondita verifica e si suddividono in:

Terreni di copertura:

Terreni di copertura



RLzz - Terreni contenenti resti di attività antropica



GWes - Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia di Argine/Barra/canali

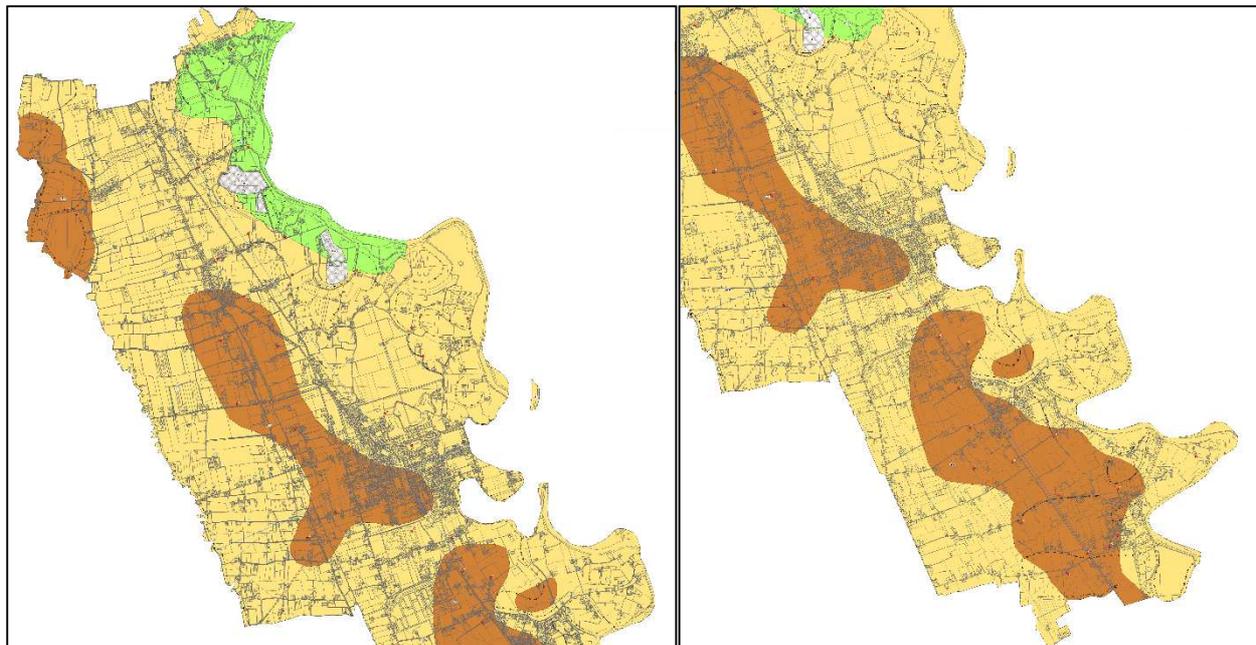


SMTf - Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di terrazzo fluviale



CLtf - Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre di terrazzo fluviale

Litologia	Genesi
GW - Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaie e sabbie: si tratta di materiali granulari alluvionali recenti prevalentemente ghiaiosi	es: Argine/barre/canali
SM, Sabbie limose, miscela di sabbia e limo: si tratta di sedimenti alluvionali fini, costituiti in prevalenza da sabbie limose	tf: Terrazzo fluviale
CL, Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre: si tratta di sedimenti alluvionali limo-argillosi	tf: Terrazzo fluviale
RI, Terreni contenenti resti di attività antropica: si tratta di materiali di riporto a granulometria eterogenea	zz: (altro)



Carta geologico-tecnica N (a sinistra) e S (a destra) (2022)

8.2.2 Elementi geologici e idrogeologici

- Pozzo o sondaggio che non ha raggiunto il substrato geologico (profondità in m)
- 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:

- **Pozzo o sondaggio che non ha raggiunto il substrato geologico (profondità in m):** si tratta di tutti quei sondaggi e/o prove penetrometriche la cui profondità non raggiunge il substrato;
- **Profondità (m) della falda in aree con sabbie e/o ghiaie:** equivalgono ai punti delle indagini penetrometriche e/o piezometriche 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 nel settore orientale e nord occidentale del comune e testimoniano la divagazione del fiume Brenta.

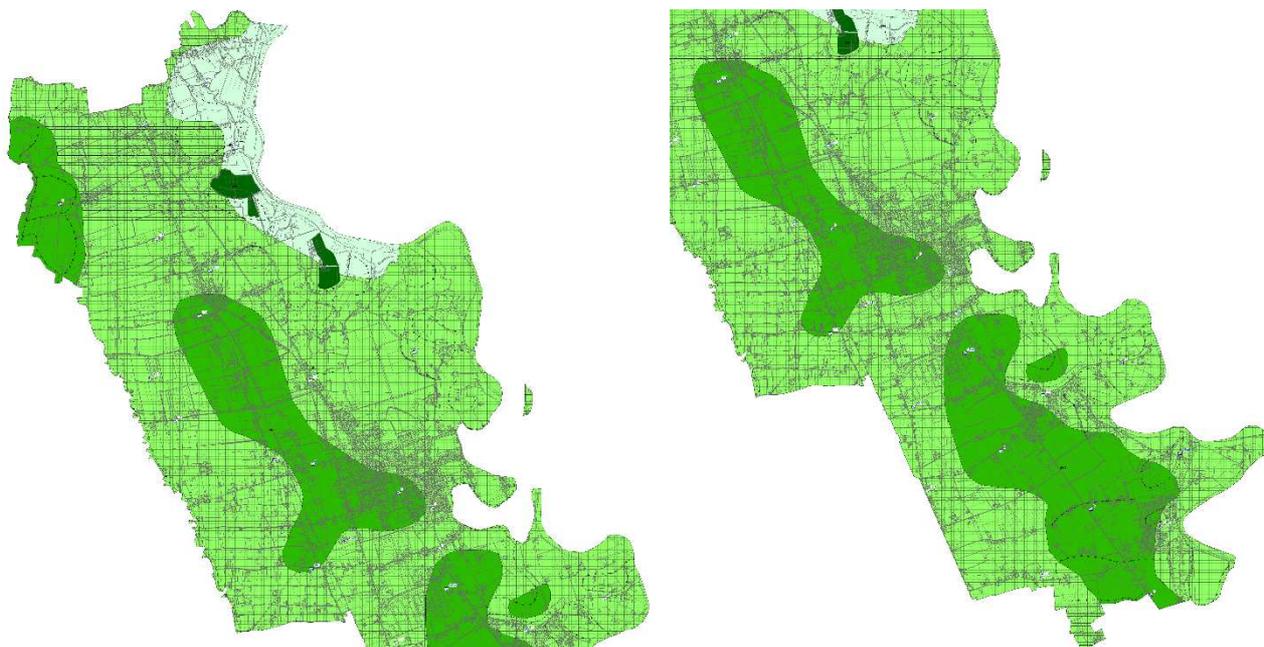


8.2.4 *Traccia di sezione geologica rappresentativa del modello del sottosuolo*

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

All'interno della Carta Geologica Tecnica sono tracciate 2 sezioni (A-A'; B-B') che permettono di ricostruire il modello di sottosuolo di Piazzola sul Brenta. Le sezioni sono riportate nella Carta Geologico Tecnica.

8.3 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica



Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica N (a sinistra) e S (a destra) (2022)

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 Piazzola sul Brenta, si è scelto di suddividere in microzone l'intero territorio comunale, salvo l'alveo del fiume Brenta in quanto zona SIC/ZPS.

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, 3 e 4 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 2)**.

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.4.2.

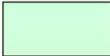
Con la cartografia prodotta sarà possibile:

- 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

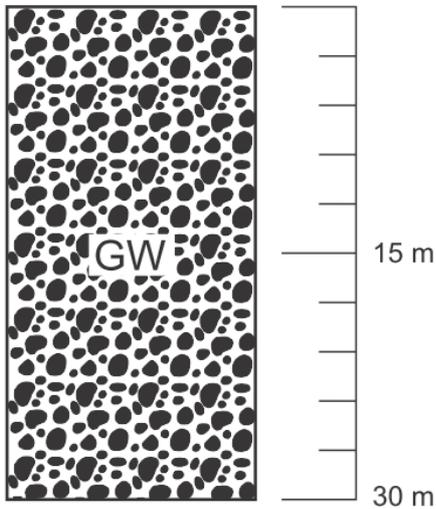
In tali aree sono attese amplificazioni locali del moto sismico a causa dell'assetto litostratigrafico e morfologico delle aree stesse. Valutando tali criteri di amplificazione è stato possibile suddividere le aree suscettibili ad amplificazioni locali in 3 zone differenti, qui di seguito descritte.

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

	Zona 1 - Depositi alluvionali ghiaiosi recenti
	Zona 3 - Depositi alluvionali limo-argillosi
	Zona 4 - Depositi antropici a granulometria eterogenea

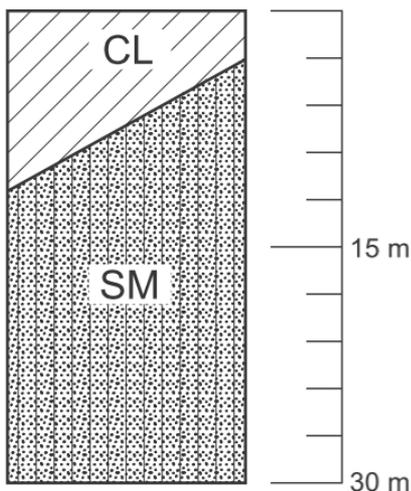


8.3.1.1 Zona 1 - Depositi alluvionali ghiaiosi recenti



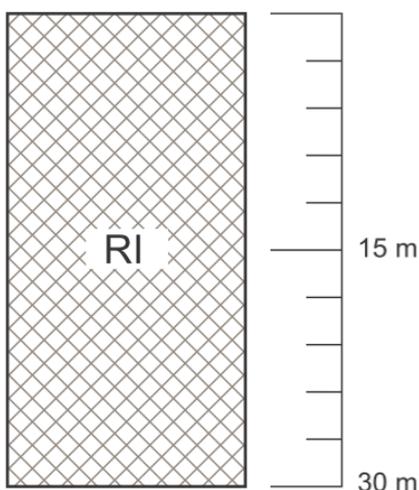
Tale zona è composta da ghiaie alluvionali con frazione sabbiosa aventi spessori superiori ai 30 m caratteristiche dell'alveo attuale del fiume Brenta; localmente in profondità si incontrano strati di spessore esiguo con maggiore frazione sabbiosa. Questi depositi caratterizzano l'area nord-orientale del territorio comunale e in essi si possono produrre effetti di amplificazione sismica di tipo stratigrafico.

8.3.1.2 Zona 3- Depositi alluvionali limo-argillosi

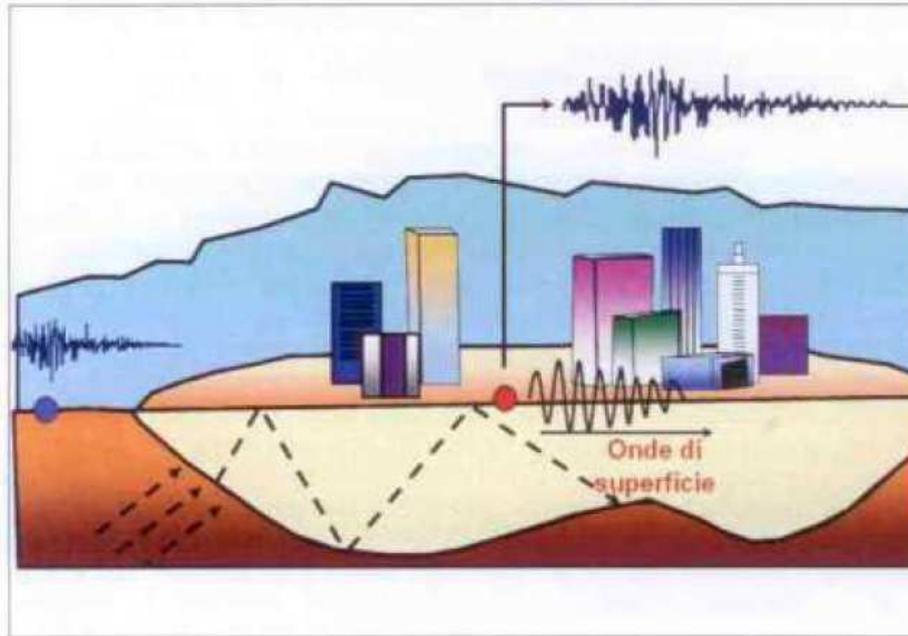


Tale zona è costituita da depositi alluvionali a tessitura prevalentemente limo-argillosa. Lo spessore di tali depositi si aggira tra 2 e 6 m; essi poggiano su depositi prevalentemente sabbiosi di origine alluvionale. Questi depositi sono localizzati in tre aree non contigue nella parte centrale del territorio comunale; in essi si possono produrre effetti di amplificazione sismica di tipo stratigrafico.

8.3.1.3 Zona 4 - Depositi antropici a granulometria eterogenea



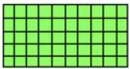
Tale zona è costituita da depositi di origine antropica a granulometria eterogenea con spessori superiori ai 10 metri. Questi depositi possono dare luogo ad amplificazione sismica di tipo stratigrafico.



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



ZALQ - Zona di attenzione per Liquefazione - Zona 2 - 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.

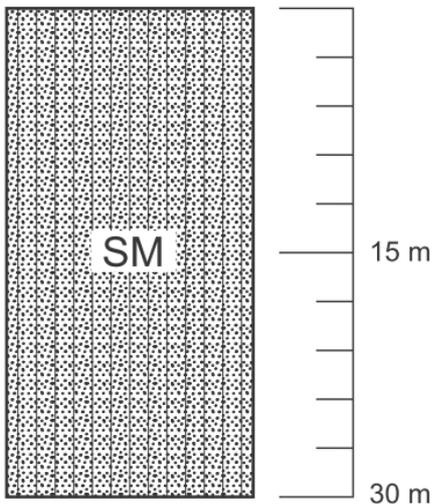
Un aspetto rilevante del fenomeno della liquefazione è la modifica del moto sismico. In generale il verificarsi della liquefazione comporta un decremento delle ampiezze di vibrazioni ed un taglio delle frequenze più elevate. Registrazioni accelerometriche in siti liquefatti mostrano (a seguito del fenomeno) 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 Piazzola sul Brenta 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 costituiscono la quasi totalità 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 più di 10 m e la presenza acqua nel sottosuolo rende 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 amplificazioni di tipo stratigrafico. Tali elementi sono gli **assi di paleoalveo** che sono presenti nel settore orientale e nord occidentale del comune e testimoniano la divagazione del fiume Brenta.

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. PRESCRIZIONI URBANISTICHE A SEGUITO DELLO STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI I 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 sugli Zone suscettibili di amplificazioni locali e sulle Zone suscettibili instabilità presenti nella Carta della Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica:

9.1 Zone Suscettibili di Amplificazioni Locali

In tali Zone interessate da probabili effetti di amplificazione di tipo morfologico e/o topografico sono necessari **approfondimenti di II livello di Microzonazione Sismica in sede di PI e/o PUA** per stimare i valori di amplificazione attraverso la quantificazione dei fattori FA (fattore di amplificazione a bassi periodi) e FV (fattore di amplificazione a alti periodi) come indicato negli ICMS (2008).

In tutte le microzone (1÷4) evidenziate nella carta delle MOPS è necessario valutare, per mezzo di metodi semplificati (abachi e leggi empiriche), l'entità delle amplificazioni di tipo topografico e di tipo litostratigrafico. Gli approfondimenti dovranno derivare da opportune indagini geofisiche attive/passive da ubicare preferibilmente negli ambiti interessati da previsioni urbanistiche.

9.2 Zone Suscettibili di Instabilità

Tali zone sono caratterizzate da possibile cedimento per possibili liquefazioni.

Per tali zone 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;
3. analisi del potenziale di liquefazione I_L come indicato negli ICMS (2008).

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.



10. BIBLIOGRAFIA

- AGIP (1959): AGIP MINERARIA, *Microfacies Italiane*, S.Donato Milanese, Milan, 1959.
- 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.
- 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.
- <https://idt2.regione.veneto.it/idt/downloader/download> (per dati cartografici e geologici regionali)
- <https://idt2.regione.veneto.it/idt/webgis/viewer?webgisId=47> (per la consultazione delle foto aeree)
- <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/> catalogo nazionale delle faglie capaci – Progetto ITHACA)
- <http://cnt.rm.ingv.it> (Catalogo ISIDe per i terremoti recenti)
- <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/> (Database Macrosismico Italiano)
- <http://www.adbve.it> (PAI del fiume Brenta Bacchiglione)
- Indagini geologiche per il PATI del comune di Piazzola sul Brenta
- Indirizzi e Criteri per la microzonazione sismica approvati dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome (13.11.2008).
- Standard di rappresentazione e Archiviazione Informatica – Specifiche tecniche per la redazione degli elaborati cartografici della microzonazione sismica – Versione 4.2; Commissione tecnica per la microzonazione sismica.