

Comune di Verona

Provincia di Verona

TITOLO

PIANO URBANISTICO ATTUATIVO

DENOMINAZIONE (LOCALITÀ SACRA FAMIGLIA - VERONA)

TIPOLOGIA (Scheda Norma n° 379, Tessuto Perimetrato n°,
Accordo di Programma n. 0185349/2023 del 16/05/2023 fascicolo 6.2 n.387/2023 ...)

UBICAZIONE (Via Saturno, Via Vigasio, Via Ca' Brusà, Via Apollo - Quartiere/Località SACRA
FAMIGLIA, Verona - ATO 10, Circoscrizione 5)

FASCICOLO

ANALISI

3

TAVOLE

3.1 ANALISI GEOLOGICA, GEOTECNICA,
IDROGEOLOGICA

GRUPPO DI LAVORO

committenti

SITTA S.R.L.

ulteriori figure professionali
o integrazione committenti



STUDIO BENINCA'

Associazione tra Professionisti

Dott. Geol. Gionata Andreis

progettista



AGGIORNAMENTI

data 07/11/2025

num.rev.

REGIONE VENETO – PROVINCIA DI VERONA

COMUNE DI VERONA

PIANO URBANISTICO ATTUATIVO ATO 10
SCHEDA NORMA "379"
LOCALITÀ SACRA FAMIGLIA - VERONA

RELAZIONE DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMITTENTE SITTA S.R.L.



STUDIO DI GEOLOGIA
DOTT. GIONATA ANDREIS

~
Via Riccarda Castellani, 20
37057 - San Giovanni Lupatoto (Verona)

~
Via Gardesana, 384
37018 - Malcesine (Verona)

~
Cell. 333 6794246
P.IVA 03405830237
gionata.andreis@gmail.com

Dott. Geol. Gionata Andreis



IL TECNICO

				novembre 2025
REV	descrizione			data
CODICE	AG23122	NUM. ELABORATO 3.1	File: AG23122 – Relazione fattibilità geologica.doc	

INDICE

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO PROGETTUALE	5
4	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	7
5	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	8
6	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E IDROGRAFICO	14
7	ANALISI DEL PIANO DI ASSETTO TERRITORIALE (P.A.T.).....	18
8	CAMPAGNA INDAGINI.....	21
8.1	SCAVI ESPLORATIVI	22
8.2	PROVA DI PERMEABILITÀ IN POZZETTO	23
8.3	INDAGINE SISMICA DI TIPO MASW.....	24
9	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI	26
10	INQUADRAMENTO SISMICO	27
10.1	INQUADRAMENTO TETTONICO - STRUTTURALE	27
10.2	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO PROGETTUALE.....	31
10.3	STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE	33
11	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	34
	BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO	36

ALLEGATI AL TESTO

ALLEGATO 1:	COROGRAFIA IN SCALA 1:5000
ALLEGATO 2:	PLANIMETRIA CON UBICAZIONE INDAGINI
ALLEGATO 3:	SCAVI ESPLORATIVI
ALLEGATO 4:	PROVA DI PERMEABILITÀ IN POZZETTO
ALLEGATO 5:	INDAGINE SISMICA

Codice di Rif.: AG23122

San Giovanni Lupatoto, novembre 2025

1 PREMESSA

Nell'ambito del Piano Urbanistico Attuativo relativo alla Scheda Norma "379" in località Sacra Famiglia nel Comune di Verona è stata eseguita una verifica di compatibilità geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica come previsto dall'art. 19 della L.R. n. 11 del 23/04/2004. È stata pertanto condotta la presente relazione geologica e geotecnica in ottemperanza al D.M. 17/01/2018 (NTC 2018) e finalizzata:

- I. alla ricostruzione dell'assetto geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico dell'area di interesse;
- II. alla ricostruzione dell'assetto stratigrafico ed alla caratterizzazione geotecnica dei terreni costituenti il primo sottosuolo;
- III. alla verifica delle caratteristiche idrogeologiche e, in particolare, di permeabilità dei terreni coinvolti;
- IV. all'individuazione delle possibili problematiche di carattere geologico, idrogeologico e geotecnico connesse con l'intervento in oggetto.

Lo studio è stato condotto avvalendosi delle informazioni provenienti dalla cartografia geologica esistente, dell'esperienza professionale maturata dallo scrivente in studi svolti in passato a breve distanza dal lotto in esame e nel medesimo contesto nonché alla luce di una mirata campagna geognostica condotta *in situ* e concretizzatasi attraverso l'esecuzione di:

- **n. 4 saggi esplorativi** con escavatore meccanico per la ricostruzione dell'assetto litostratigrafico locale e per la parametrizzazione geotecnica preliminare dei terreni che costituiscono il primo sottosuolo dell'area di futuro intervento;
- **n. 1 prova di permeabilità in pozzetto** per il calcolo del coefficiente di permeabilità dei terreni e la stima della loro capacità di drenaggio e idoneità alla dispersione nel suolo;
- **n. 1 indagine geofisica con tecnica MASW** per la definizione del profilo verticale delle onde di taglio (Vs) nel terreno e la corretta attribuzione della categoria di sottosuolo di fondazione richiesta dalle NTC 2018.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente relazione è stata redatta in ottemperanza alla seguente Normativa di riferimento e alle successive raccomandazioni:

CIRC. REGIONE VENETO 30.01.1990 N°2

Osservanza della normativa vigente sull'uso del sottosuolo ai fini edificatori e, in particolare, dell'obbligo, nei casi previsti, della Relazione geologica e della Relazione geotecnica.

ORDINANZA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO 20.03.2003 N°3274 (G.U. 08.05.2003 N°105)

Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica.

DELIBERA DI GIUNTA REGIONALE 21/07/2003 N°1435

Prime disposizioni di attuazione dell'ordinanza del O.P.C.M. n°3274/2003 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".

DELIBERA DEL CONSIGLIO REGIONALE DEL VENETO 03.12.2003 N°67

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20.03.2003 n°3274 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" – Approvazione della classificazione sismica e direttive per l'applicazione.

ORDINANZA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO 28.04.2006 N°3519

Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone.

DELIBERA DELLA GIUNTA REGIONALE DEL VENETO 22.01.2008 N°71

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 28 aprile 2006, n. 3519 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" – Direttive per l'applicazione. Adozione del provvedimento n°96/CR del 7 agosto 2006.

D.M. 14.01.2008

Nuove norme tecniche per le costruzioni.

PIANO DI TUTELA DELLE ACQUE DELLA REGIONE VENETO (P.T.A.) D.G.R.V. 05.11.2009 N°107

Norme per il governo del territorio.

D.M. 17.01.2018

Aggiornamento alle norme tecniche per le costruzioni (NTC 2018).

CIRC. MIN. 21.01.2019 N°7

Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni» di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 (Circolare applicativa NTC 2018).

DELIBERA DELLA GIUNTA REGIONALE DEL VENETO 09.03.2021 N°244

Aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche del Veneto. D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380, articolo 83, comma 3; D.Lgs. 31 marzo 1998, n. 112, articoli 93 e 94. D.G.R./CR n. 1 del 19/01/2021.

3 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO PROGETTUALE

Il progetto in esame prevede la realizzazione di un Piano Urbanistico Attuativo di espansione residenziale nella porzione meridionale del territorio comunale di Verona, tra Via Vigasio e Strada della Genovesa, definito dalla Scheda Norma n°379 del Piano degli Interventi. Nello specifico, l'ambito del P.U.A. si estende su una superficie complessiva (derivante dal rilievo topografico) di 114.380 m² con ST 116.528 m². Il piano urbanistico si distribuisce su due aree, rispettivamente ad Est e ad Ovest di Via Apollo, e prevede la suddivisione dell'intero comparto in un'ampia area da sottoporre a forestazione e cessione (84.000 m²) e i rimanenti 32.528 m² da suddividere in n°28 lotti edificabili a destinazione residenziale con contestuale realizzazione delle opere di urbanizzazione primaria (ingressi ai lotti, parcheggi, marciapiedi, aree verdi, sottoservizi, reti impiantistiche di servizio e raccordi alla viabilità esistente).

Fig. 1. Scheda norma "379" relativa al Piano Urbanistico Attuativo di espansione residenziale in loc. Sacra Famiglia a Verona.

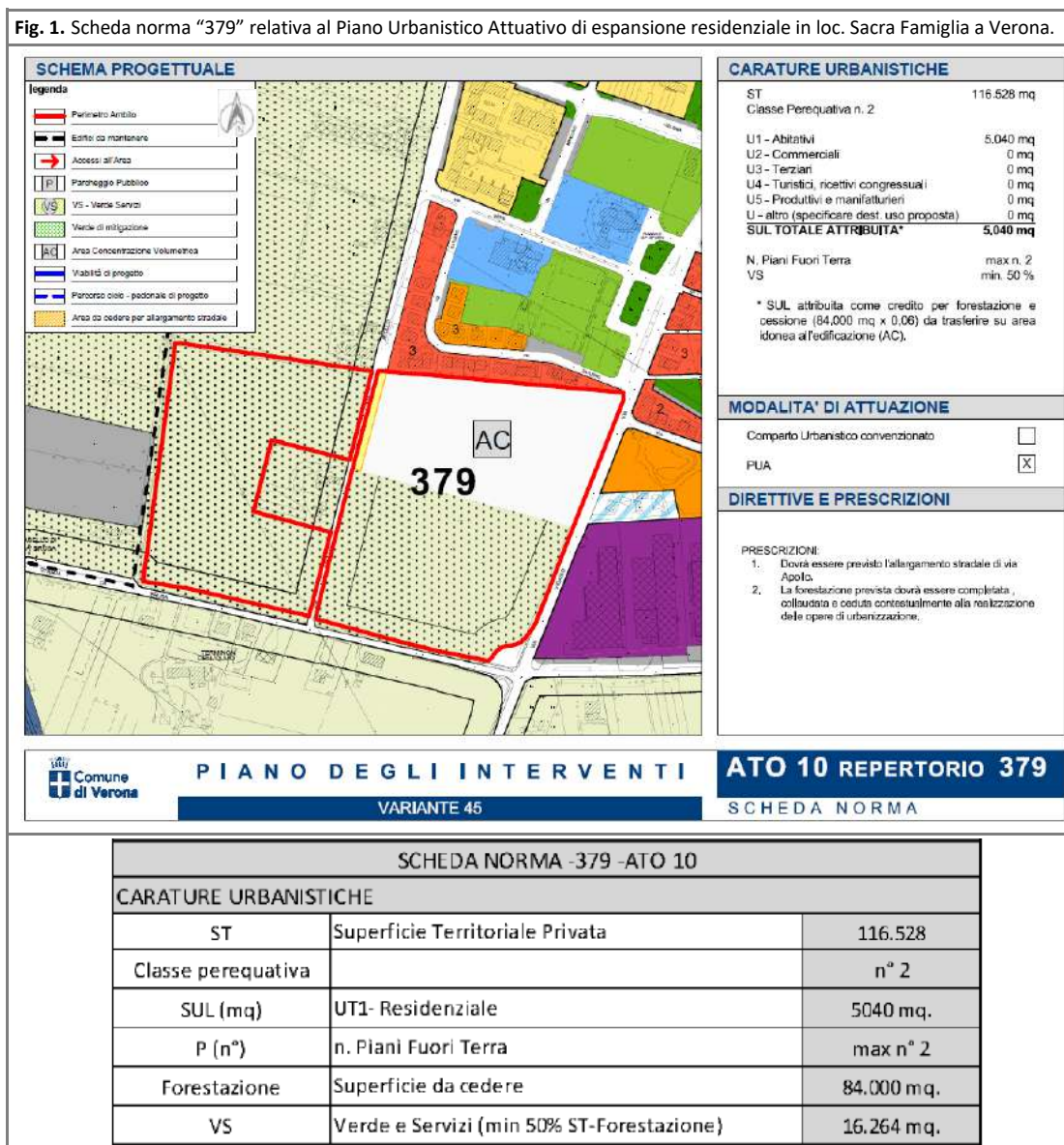


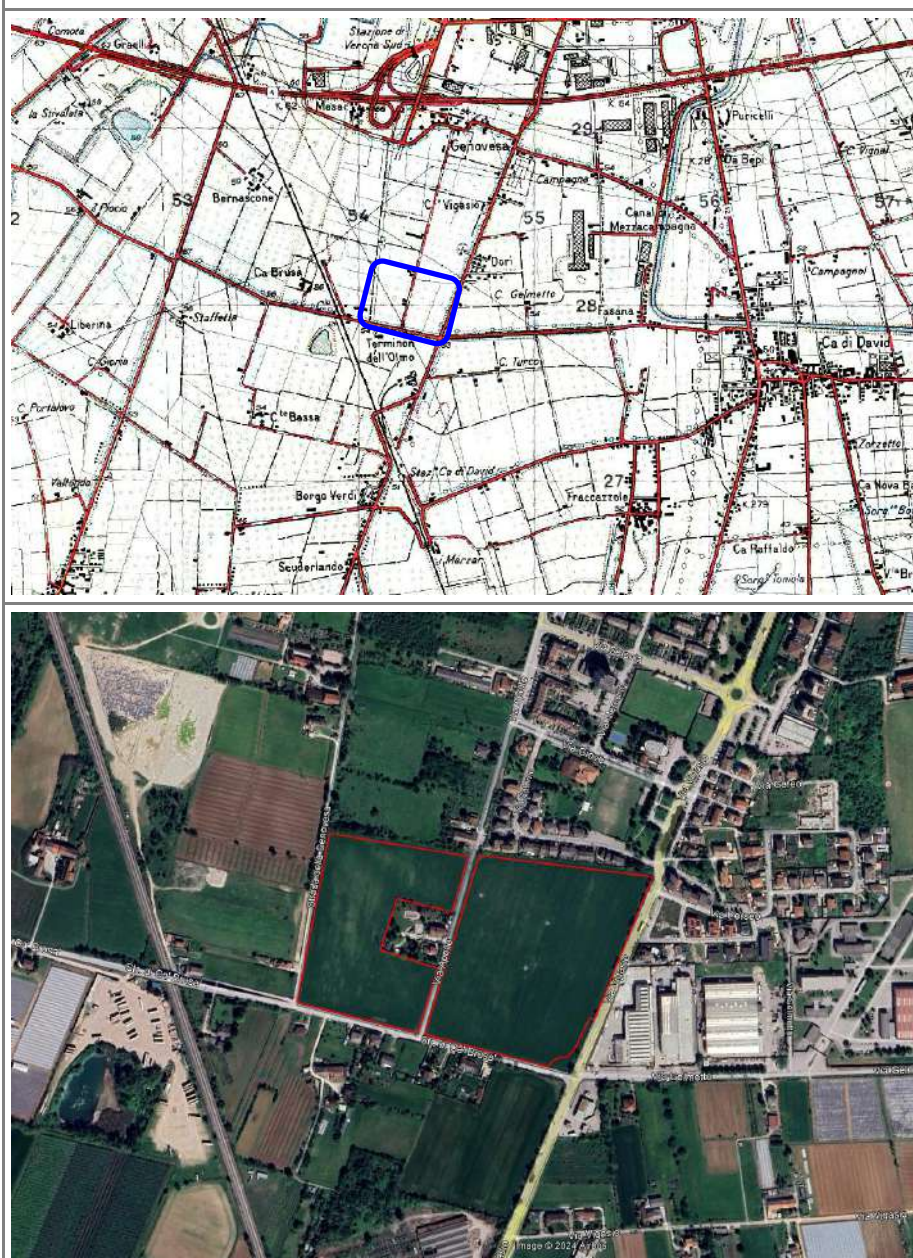
Fig. 2. Planimetria generale e di dettaglio dell'area Est del Piano Urbanistico Attuativo di espansione residenziale in località Sacra Famiglia a Verona definito dalla Scheda Norma "379" del Piano degli Interventi.



4 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il sito interessato dal Piano Urbanistico Attuativo ricade nella porzione meridionale del territorio comunale di Verona e si sviluppa su due aree non edificate separate da Via Apollo. Inserito in una zona circostante a destinazione mista, da agricola a residenziale e subordinatamente artigianale, il lotto di intervento confina a Nord con un'area verde e un complesso residenziale, a Sud con Via Cà Brusà, ad Est con Via Vigasio e ad Ovest con Strada della Genovesa (Fig. 3). La porzione di territorio in cui si colloca il sito d'interesse progettuale ricade all'interno dell'elemento n. 144041 ("Ca' di David") della Carta Tecnica Regionale del Veneto in scala 1:5.000 di cui si allega un estratto in calce al presente elaborato (v. All. 1).

Fig. 3. Inquadramento geografico (sotto) e foto aerea del lotto oggetto di studio (in basso).

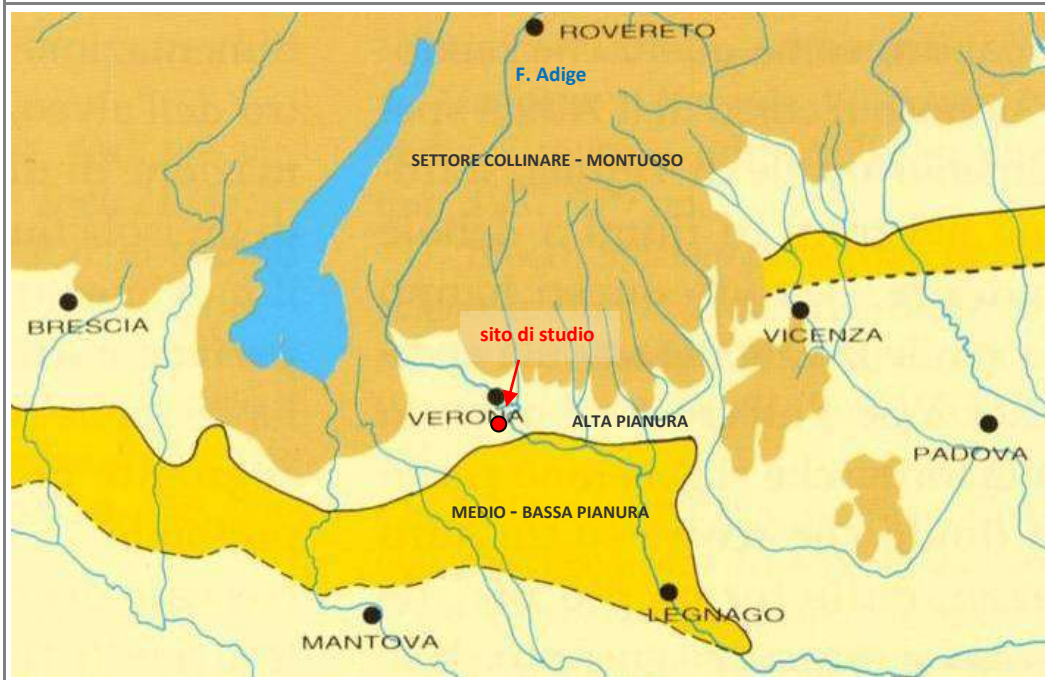


5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Dal punto di vista **geologico - geomorfologico** generale, l'intero territorio della Provincia di Verona è schematizzabile nei tre differenti contesti di seguito elencati (Fig. 4):

- a) settore collinare - montuoso;
- b) alta pianura (fra il settore montuoso e la linea delle risorgive);
- c) media e bassa pianura.

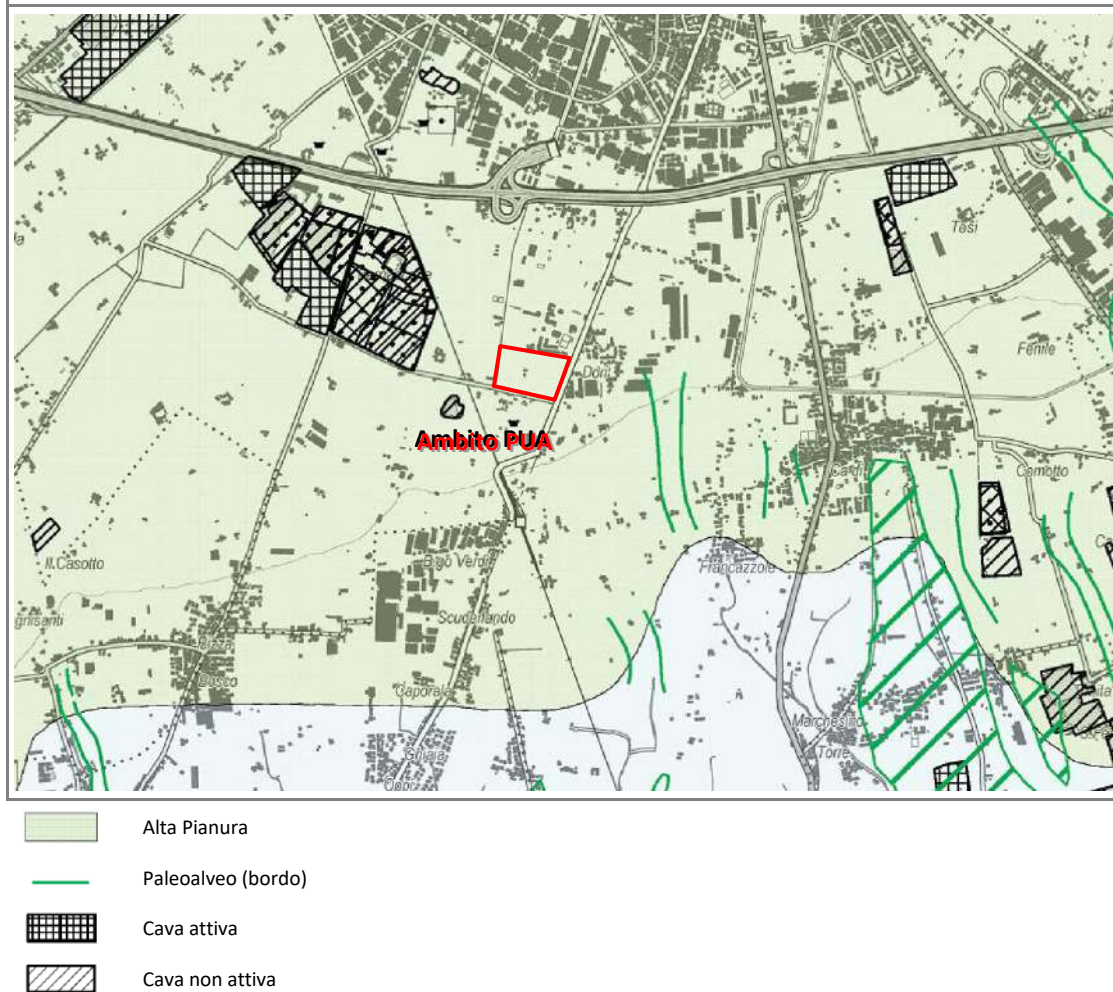
Fig. 4. Posizione dei tre contesti geomorfologici e geolitologici principali: I) Settore collinare – montuoso, II) **Alta Pianura Veronese**, III) Medio – Bassa Pianura (da Etsch, Adige – Il fiume gli uomini la storia, 1997).



Il sito progettuale si inserisce nell'Alta Pianura Veronese, caratterizzata dalla presenza delle alluvioni dell'antico conoide del Fiume Adige che si estende, con forma a ventaglio, dallo sbocco della Val d'Adige fino a Legnago. L'evoluzione geomorfologica e geologica della pianura veronese è legata principalmente all'interferenza fra le variazioni climatiche che si sono succedute durante il Quaternario e le conseguenti variazioni di portata del fiume Adige, corso d'acqua a carattere fluvio-glaciale, secondo un'alternanza di fasi di espansione e di ritiro glaciale con le conseguenti variazioni del flusso idrico e del trasporto solido. In ragione della natura del trasporto di tipo fluviale, si determina una progressiva diminuzione granulometrica dei depositi procedendo dalla parte apicale del conoide (Alta Pianura), caratterizzata da granulometrie prevalentemente grossolane (ghiaie ciottolose in matrice sabbiosa), verso la parte più distale del conoide stesso (Media e Bassa Pianura), caratterizzata da terreni più fini (da sabbiosi a limosi e argillosi).

Da un punto di vista **morfologico**, con riferimento al rilievo effettuato e a quanto riportato nella “Carta della Geomorfologia” del P.T.C.P. - Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Verona (Fig. 5), nella porzione di territorio entro cui ricade il sito di studio si rileva una morfologia pianeggiante in cui gran parte delle evidenze morfologiche sono riconducibili all’evoluzione dell’idrografia attuale e pregressa quali terrazzi, orli di scarpata e paleoalvei, i cui segni tuttavia risultano oggi celati dalle pratiche agricole e dall’urbanizzazione del territorio. A poca distanza dall’area di lottizzazione sono presenti aree di cava, alcune ancora attive altre dismesse, molte delle quali oggi riempite da laghetti per affioramento della falda.

Fig. 5. Estratto dalla “Carta della Geomorfologia” del P.T.C.P. - Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Verona. In rosso l’ubicazione del lotto di studio.



Nello specifico, l’area di intervento si colloca tra le quote altimetriche di 52,0 e 54,0 m s.l.m. in una porzione di territorio nel complesso pianeggiante (solo lievemente degradante verso Est e Sud Est) dove le evidenze morfologiche delle passate dinamiche fluviali, come già accennato, sono oggi per lo più celate dalle pratiche antropiche diffuse nel territorio. Nei dintorni del lotto di proprietà sono comunque riconoscibili tracce di paleoalvei e alcuni orli di terrazzo fluviale di altezza prossima al metro con andamento allungato in direzione Nord - Sud, alcuni ancora parzialmente visibili.

All'interno delle aree di intervento si segnalano, a livello topografico, locali differenze di quota nell'ordine di alcune decine di centimetri legate alle pregresse attività agricole.

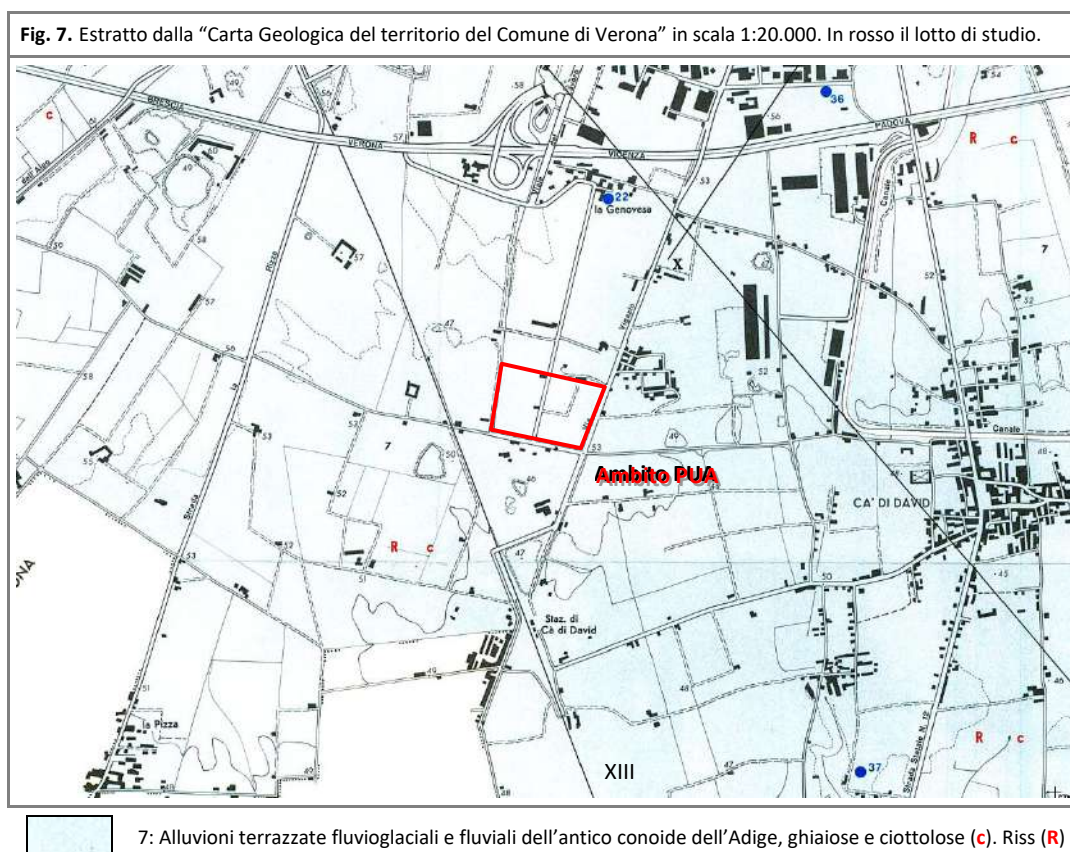
Fig. 6. Panoramiche del lotto oggetto di intervento (area ad Est di Via Apollo).



→ *In corrispondenza della porzione di territorio dove ricade il lotto di studio non si rilevano significative evidenze morfologiche che indichino situazioni di particolare criticità, né segnalano fenomeni di dissesto in atto, quiescenti o in evoluzione, né manifestazioni di erosione diffusa o concentrata.*

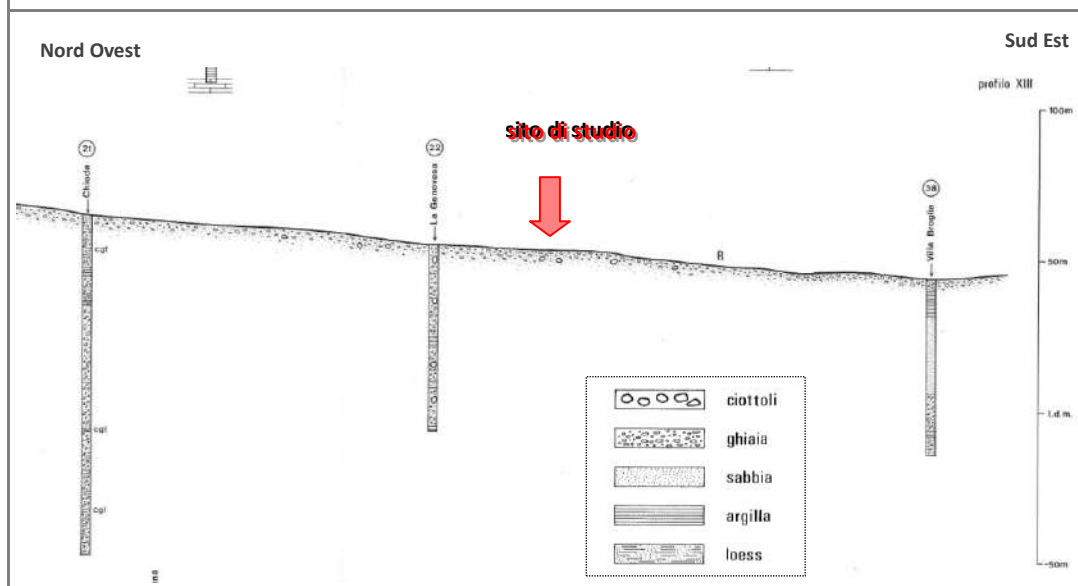
Dal punto di vista **geolitologico** generale, l'alternanza di fasi di espansione e di ritiro glaciale, con le conseguenti variazioni di flusso idrico e di trasporto solido del Fiume Adige, ha determinato l'accumulo in più riprese di enormi quantità di materiale allo sbocco in pianura del fiume. Si possono distinguere la parte apicale del conoide, caratterizzata da granulometrie prevalentemente grossolane (Alta Pianura) e la parte più distale del conoide stesso (Media e Bassa Pianura) caratterizzata invece dalla progressiva diminuzione granulometrica dei depositi.

Da un punto di vista **litologico – stratigrafico** per un inquadramento di dettaglio dell'area indagata si rimanda alla "Carta Geologica del territorio del Comune di Verona" (Fig. 7), la quale conferma come il primo sottosuolo locale sia costituito dalle alluvioni terrazzate fluvioglaciali e fluviali dell'antico conoide dell'Adige, ghiaiose e ciottolose.



L'analisi delle stratigrafie di alcuni pozzi posti nelle vicinanze del sito di studio e della sezione geologica riportata di seguito (Fig. 8) conferma la presenza nel sottosuolo di un materasso alluvionale di natura granulare (ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa) e spessore considerevole. Pur caratterizzato da una sostanziale omogeneità compositiva, tale corpo sedimentario presenta un certo grado di stratificazione indotto dalla diversa granulometria dei terreni e soprattutto dalla presenza di livelli fini che interrompono la continuità dei depositi ghiaiosi; si tratta di orizzonti di natura prevalentemente argillosa di alcuni metri di spessore, rinvenibili a partire da profondità di circa 25 / 30 metri dal piano campagna.

Fig. 8. Estratto della sezione geologica "XIII" estratta dalla "Carta Geologica del territorio del Comune di Verona". Per la traccia del profilo si rimanda alla Fig. 7.



Di seguito si riporta la stratigrafia di un pozzo per acqua (pozzo n°22) ubicato in Strada della Genovese a breve distanza dal lotto di studio (per l'ubicazione v. Fig. 7) e rappresentativo dell'assetto litostratigrafico che caratterizza anche il sito in oggetto; la stratigrafia conferma un sottosuolo costituito in prevalenza da depositi grossolani (ghiaia ciottolosa e sabbia) con locali livelli argillosi di spessore multimetrico presenti in profondità oltre i 30 m da p.c.

STRATIGRAFIA N. 22	
PROFONDITÀ (m da p.c.)	LITOLOGIA
0,0 ÷ 30,0	ghiaia e ciottoli
30,0 ÷ 34,0	argilla
34,0 ÷ 45,0	ghiaia e ciottoli
45,0 ÷ 47,0	sabbia
47,0 ÷ 60,0	ghiaia e ciottoli
60,0 ÷ 42,0	argilla

Nello specifico, con riferimento a quanto osservato grazie all'esecuzione di alcuni scavi esplorativi nell'area di studio (v. All. 3), il primo sottosuolo del sito di intervento è costituito da un orizzonte vegetale superficiale di spessore inferiore al metro e natura mista (sabbia limosa con ghiaia e radici) che sottende depositi grossolani in giacitura naturale costituiti da ghiaia ciottolosa in matrice da limosa a sabbiosa, quest'ultima in sensibile aumento con la profondità.

Fig. 9. Particolare di uno degli scavi eseguiti nell'area oggetto di studio.



L'assetto litostratigrafico dell'area di interesse progettuale può essere così schematizzato:

PROFONDITÀ MEDIA (m da p.c.)	STRATIGRAFIA	UNITÀ
0,0 ÷ 0,5	Terreno vegetale: sabbia limosa con ghiaia centimetrica, di colore bruno con radici e materia organica; poco addensato.	Tv
0,5 ÷ 1,0	Ghiaia in matrice limosa debolmente sabbiosa di colore bruno. I ciottoli, di natura calcarea, hanno grado di sfericità medio - alto e forme da allungate a sub arrotondate con spigoli smussati, sono eterogranulari con dimensioni centimetriche ($\Phi = 2 \div 5$ cm).	GL
> 1,0	Ghiaia in matrice sabbiosa prevalente, di colore nocciola. I ciottoli, di natura calcarea, hanno grado di sfericità medio - alto e forme da allungate a sub arrotondate con spigoli smussati, sono eterogranulari con dimensioni centimetriche ($\Phi = 2 \div 5$ cm) e locali trovanti decimetrici ($\Phi_{\max} = 15$ cm).	Gs

→ Per quanto concerne l'aspetto geologico e geomorfologico locale, in corrispondenza dell'area di studio non si segnalano criticità potenziali o in atto; contestualmente il modello litologico locale conferisce ai luoghi un assetto nel complesso stabile. In tal senso l'intervento si ritiene compatibile con l'assetto geologico e geomorfologico locale.

6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E IDROGRAFICO

Il reticolo **idrografico** del territorio esaminato è costituito da un diversificato sistema di corsi d'acqua, naturali e artificiali, fortemente condizionato da interventi antropici a scopi prevalentemente irrigui, di bonifica e di controllo del rischio idraulico. Il più significativo corso d'acqua naturale che scorre nelle vicinanze è rappresentato dal Fiume Adige, la cui sponda destra dista oltre 4 km ad Est dall'area di intervento. Sul territorio è inoltre presente una rete idrografica minore (in giallo in Fig. 10) costituita da canali e fossi di scolo gestita dal Consorzio di Bonifica Veronese e adibita prevalentemente all'irrigazione dei terreni coltivati, molti dei quali risultano oggi intubati.

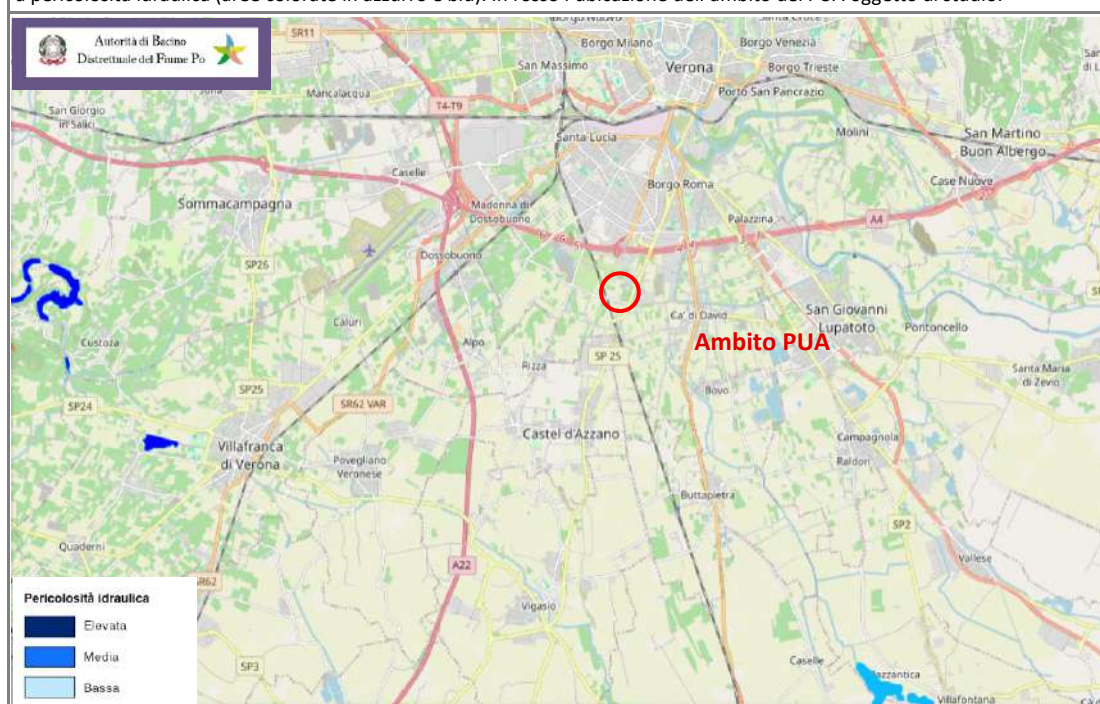
Fig. 10. Estratto da Google Earth con evidenziata la rete idrografica principale (in azzurro) e secondaria (in giallo) presente in corrispondenza dell'area di intervento (in rosso).



→ *L'area di studio si pone al di fuori di aree potenzialmente inondabili e caratterizzate da concentrazione privilegiata delle acque di corrivazione superficiale: nel corso del sopralluogo effettuato non sono emerse situazioni caratterizzate da difficoltà di drenaggio superficiale tantomeno soggette a ristagno idrico.*

Dal punto di vista **idrografico - amministrativo** l'area rientra nell'ambito del Distretto del Fiume Po e dall'analisi del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) non rientra in zone soggette a pericolosità idraulica, né in zone di attenzione idraulica, né in aree allagabili per le inondazioni causate dai corsi d'acqua (Fig. 11). Il sito oggetto di studio, inoltre, non ricade fra le aree soggette a dissesto idrogeologico individuate dal Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.).

Fig. 11. Estratto cartografico dal Piano di Gestione Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) del Distretto del Fiume Po) con le aree soggette a pericolosità idraulica (aree colorate in azzurro e blu). In rosso l'ubicazione dell'ambito del PUA oggetto di studio.



Per quanto riguarda l'aspetto **idrogeologico**, la Pianura Veronese può essere suddivisa fra Alta e Medio - Bassa Pianura, due ambiti geologici ed idrogeologici distinti e collegati tra loro.

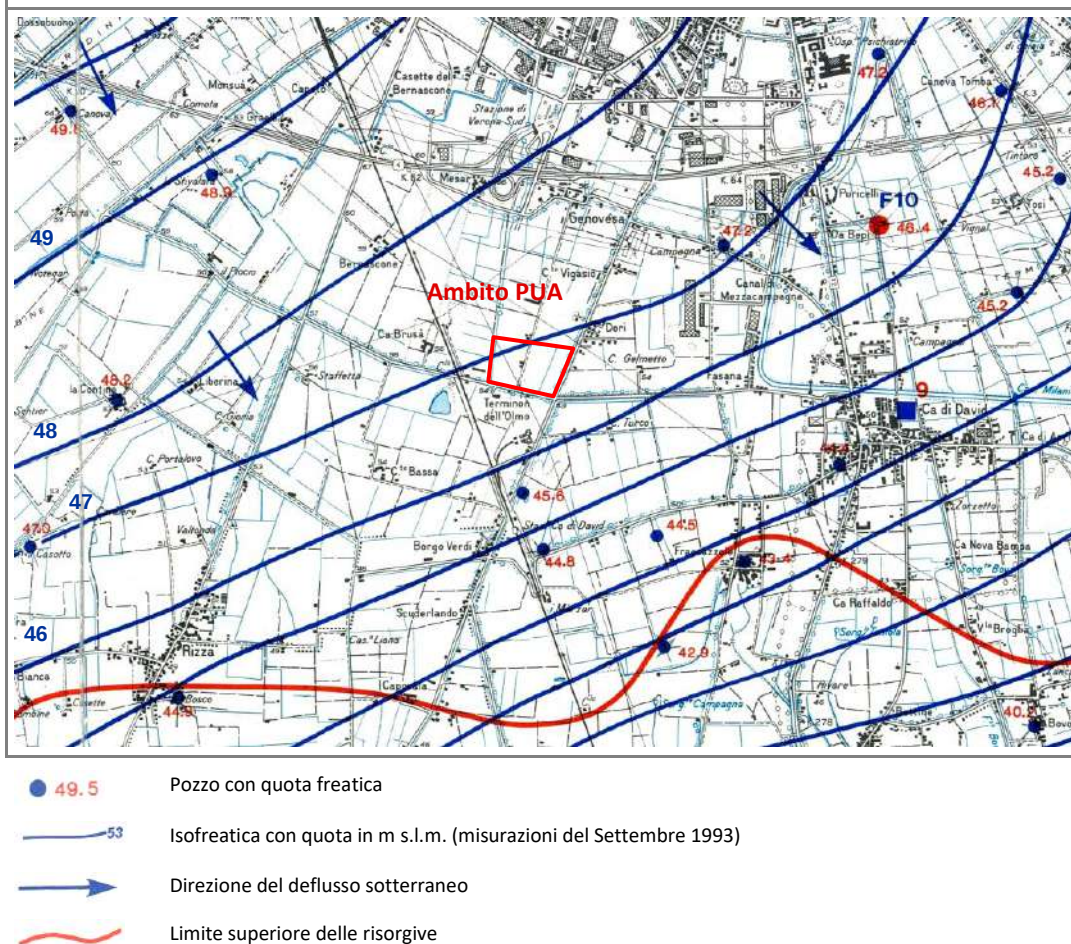
- SISTEMA DELLA PIANURA ALLUVIONALE - ALTA PIANURA:** tale unità, compresa fra i Monti Lessini a Nord, le colline moreniche dell'anfiteatro gardesano ad Ovest e la fascia delle risorgive a Sud, rappresenta una delle più cospicue riserve idriche sotterranee del Veneto. L'Alta Pianura è infatti sede di un acquifero freatico indifferenziato con direzione di deflusso approssimativamente Nord Ovest – Sud Est. L'elevata permeabilità e l'omogeneità del sottosuolo permettono l'infiltrazione delle acque superficiali e fanno di questo territorio "area di ricarica" degli acquiferi;
- SISTEMA DELLA PIANURA ALLUVIONALE – MEDIA E BASSA PIANURA:** a partire dal limite inferiore della fascia delle risorgive prende inizio il tipico ambiente di Medio – Bassa Pianura caratterizzato dall'affioramento di terreni da fini a molto fini. Il sottosuolo, costituito da alternanze di orizzonti continui limo - argillosi e strati permeabili, è caratterizzato dalla sovrapposizione di *acquiclude* e di falde idriche in pressione. In questa porzione di territorio prevalgono pertanto depositi a permeabilità medio bassa, utili come protezione delle acque di qualità profonde.

Il limite fra l'Alta e la Medio – Bassa Pianura è segnato dal limite superiore della fascia delle risorgive, cioè la zona entro cui la superficie piezometrica intercetta quella topografica con conseguente venuta a giorno della falda freatica. In corrispondenza di tale fascia si origina un fitto sistema idrografico costituito dai fiumi di risorgiva che, nel corso del Quaternario, hanno contribuito alla formazione della struttura sedimentaria della Media e Bassa Pianura.

Nello specifico, il sito di studio ricade nell'ambito dell'Alta Pianura alcune centinaia di metri più a monte della fascia di transizione verso la Media Pianura. I depositi ghiaioso - sabbiosi che costituiscono il sottosuolo dell'Alta Pianura e quindi del sito di intervento, rappresentano un importante acquifero freatico, che ospita una falda di elevata potenzialità la cui tavola d'acqua si trova a profondità variabile dal piano campagna in ragione della topografia dei luoghi e del gradiente della falda stessa. In linea generale la direzione di deflusso sotterraneo avviene in direzione NO – SE, con profondità della falda in diminuzione da Nord verso la porzione Sud - orientale del territorio provinciale.

Dall'analisi delle isofreatiche tratte dalla “Carta idrogeologica dell'Alta Pianura dell'Adige” (Fig. 12) si evince come in corrispondenza del sito in esame la superficie della falda in periodo di morbida si trovi ad un'altezza massima di 47,0 m s.l.m. Dal momento che il sito oggetto di studio si trova ad una quota altimetrica minima di circa 52,0 m s.l.m., la profondità della falda risulta essere in periodo di massima altezza a - 5,0 m dal piano campagna.

Fig. 12. Estratto dalla “Carta idrogeologica dell'Alta Pianura dell'Adige” (Dal Prà e De Rossi, 1989). Le quote della falda si riferiscono alle misurazioni del 1986. In rosso l'ubicazione del sito di progetto.

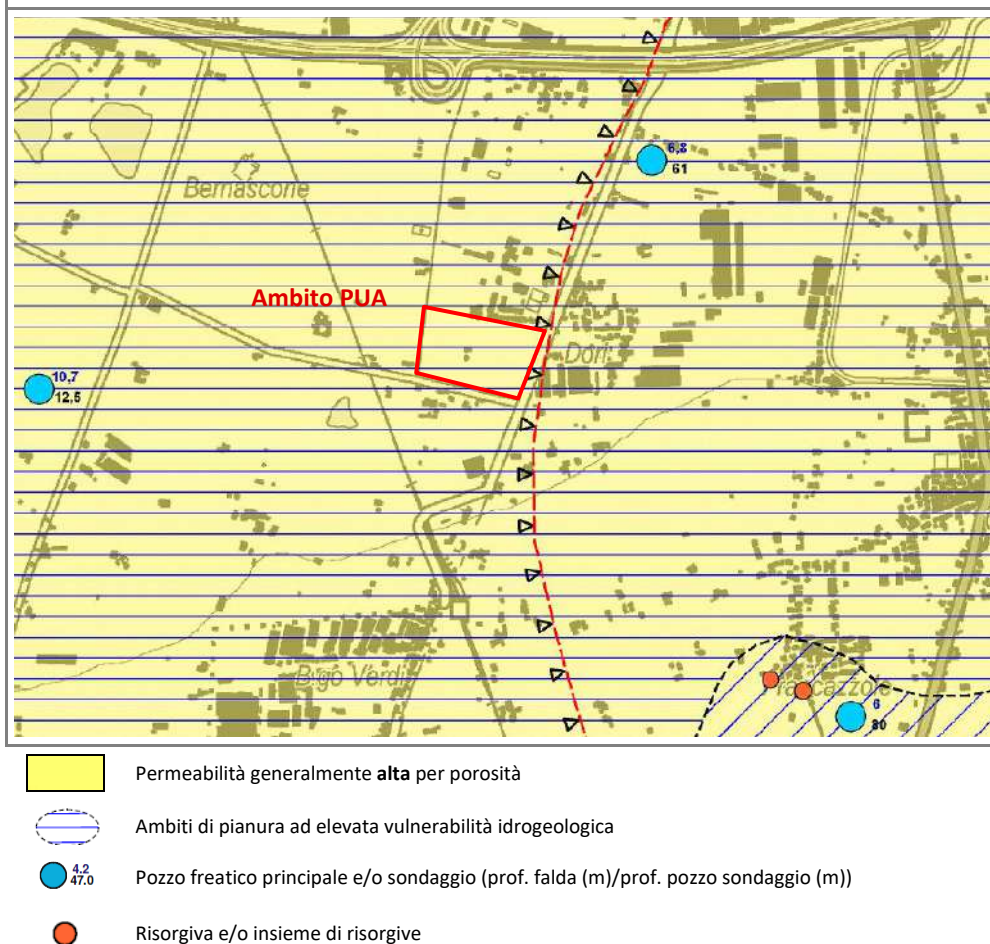


A supporto di tale dato, è opportuno evidenziare come durante l'apertura degli scavi geognostici eseguiti nell'area di studio non sia stata intercettata alcuna venuta d'acqua né dalle pareti né da fondo scavo fino alla massima profondità indagata (-2,80 m da p.c.).

Alla luce delle indagini geognostiche eseguite nell'area d'intervento, tra cui una prova di permeabilità in pozzetto (v. Allegato 4), è possibile evidenziare come i terreni costituenti il primo sottosuolo locale siano caratterizzati da una permeabilità elevata (con valori di k prossimi a 10^{-3} m/s) dovuta alla natura marcatamente ghiaiosa dei sedimenti presenti e al medio - basso grado di addensamento che li contraddistingue.

A conferma di quanto appena descritto la "Carta delle Particolarità Idrogeologiche" del P.T.P. della Provincia di Verona (Fig. 13) identifica infatti, nell'area di studio, la presenza di terreni molto permeabili per porosità. L'area, inoltre, rientra nella fascia di ricarica degli acquiferi e, per tale motivo, presenta un livello di vulnerabilità idrogeologica elevata.

Fig. 13. Estratto dalla "Carta delle Particolarità Idrogeologiche" del P.T.P. della Provincia di Verona (Tav. 144 NE). In rosso l'ubicazione del sito di studio.



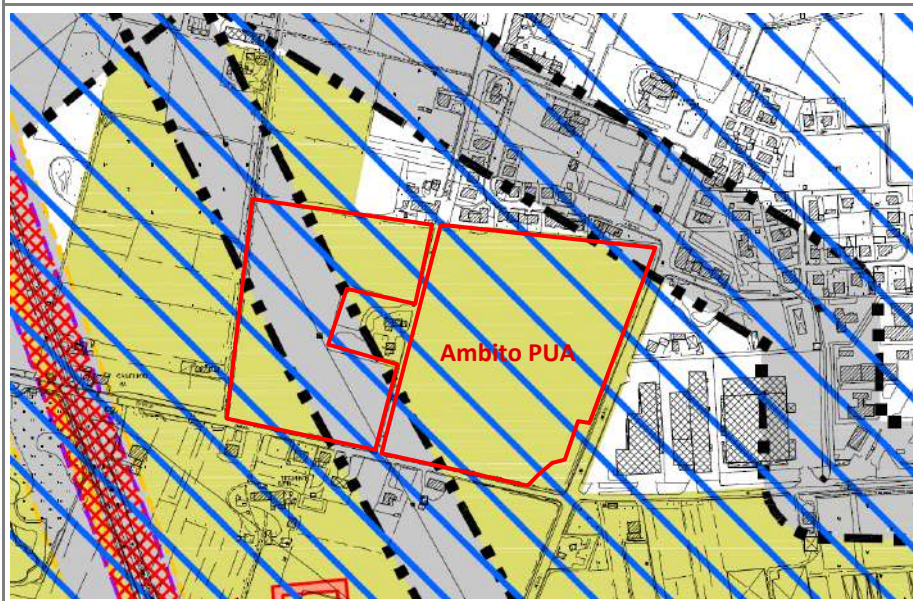
→ Per quanto concerne l'aspetto idrografico, idrogeologico e idraulico locale, in corrispondenza del lotto di studio non si segnalano criticità potenziali o in atto. Alla luce del massimo livello di falda stimato su base cartografica (- 5 m da p.c.), si ritiene che la falda si collochi a profondità tali da non interferire direttamente con un eventuale piano interrato in progetto.

7 ANALISI DEL PIANO DI ASSETTO TERRITORIALE (P.A.T.)

Con riferimento alle tematiche di natura geologica, geomorfologica e idrogeologica connesse con la realizzazione dell'intervento in esame, l'analisi del P.A.T., ha evidenziato quanto segue.

1) "Carta dei Vincoli e della Pianificazione Territoriale" (Tav. 1 del P.A.T.)

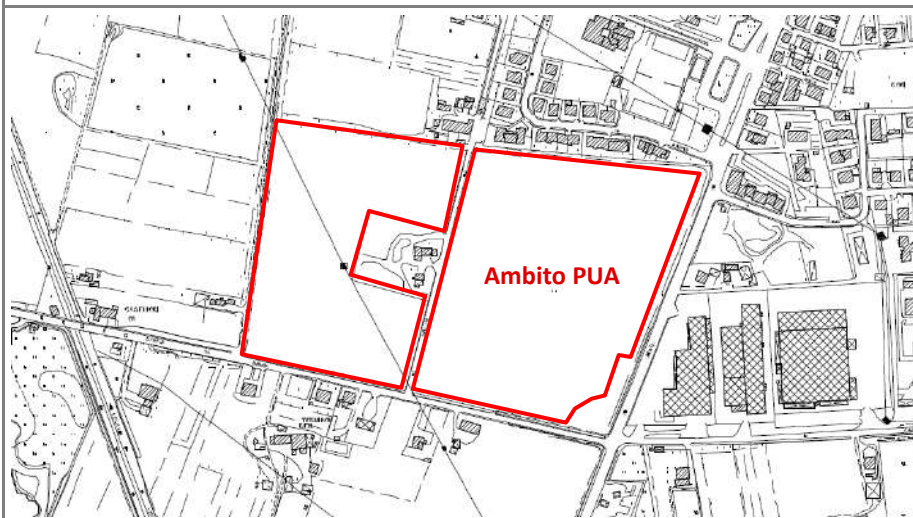
Fig. 14. Estratto dalla "Carta dei Vincoli e della Pianificazione Territoriale" del P.A.T. (TAV. 1).



-  aree di ricarica degli acquiferi (art. 32)
-  ambiti di ricomposizione paesaggistica - PAQUE (art. 10)
-  Elettrodotti - fasce di rispetto (art. 28)

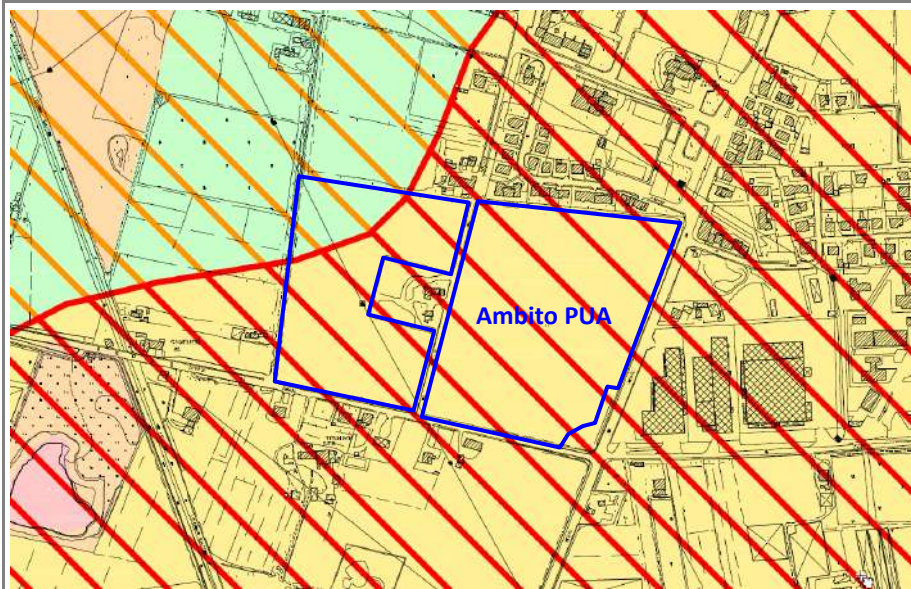
2) "Carta delle Invarianti" (P.A.T. – Tav. 2)

Fig. 15. Estratto dalla "Carta delle Invarianti" del P.A.T. (TAV. 2).



3) "Carta delle Fragilità" (P.A.T. – Tav. 3)

Fig. 16. Estratto dalla "Carta delle Fragilità" del P.A.T. (TAV. 3).



- penalità ai fini edificatori (art. 37): terreno buono
- penalità ai fini edificatori (art. 37): terreno mediocre
- vulnerabilità intrinseca degli acquiferi elevata (art. 38): unità "E"
- vulnerabilità intrinseca degli acquiferi alta (art. 38): unità "A"

TAV.	NORMA / ANALISI
1	Carta dei Vincoli e della Pianificazione Territoriale ~ <u>Vincolo sismico</u> (art. 8): con riferimento al presente vincolo si sottolinea come l'intero territorio comunale sia classificato in zona sismica 2 (D.G.R.V. n. 244/2021). Nell'ottica di un'analisi "sito specifica" si ritiene in prima analisi che l'area non presenti potenziali criticità di carattere geologico o tettonico - strutturale la cui presenza potrebbe, in caso di terremoto, focalizzare gli effetti di un'onda sismica. Della possibile amplificazione sismica di tipo stratigrafico (vista la presenza nel primo sottosuolo di terreni diversi da categoria "A") si tratterà nel Par. 5.4. ~ <u>Area di ricarica degli acquiferi</u> (art. 32): l'appartenenza del sito a tali ambiti comporta la prevenzione nei riguardi della falda freatica e il rispetto di quanto previsto dal Piano regionale di Tutela delle Acque (P.T.A.). Oltre a non rientrare tra gli interventi espressamente vietati, alla luce della profondità della falda rispetto al piano campagna si ritiene, fino alla realizzazione di un solo piano interrato, di poter escludere interferenze dirette con il quadro idrogeologico locale. I vincoli in esame non precludono pertanto la realizzazione della lottizzazione abitativa in esame.

2	Carta delle Invarianti ~ Nell'area di studio non sono presenti invarianti di tipo geologico, morfologico e/o idrogeologico, né ambiti caratterizzati da particolari evidenze e unicità geologiche.
3	Carta delle Fragilità ~ <u>Compatibilità geologica - idoneità ai fini edificatori: terreno buono e terreno mediocre</u> (art. 37): nel caso di terreno classificato "mediocre", l'edificabilità è possibile ma richiede indagini geognostiche specifiche, verifiche di stabilità ed eventuali interventi di stabilizzazione preventivi. In tal senso la presente relazione, redatta ai sensi del D.M. 17/01/2018, ha ricostruito mediante l'esecuzione di una mirata campagna indagini il modello geologico, idrogeologico e geotecnico locale analizzandone interferenze e compatibilità con l'intervento in esame. ~ <u>Vulnerabilità intrinseca degli acquiferi: unità "A" vulnerabilità alta e unità "E" vulnerabilità elevata</u> (art. 38): in merito all'appartenenza del sito a tali ambiti si precisa che in base alle Norme Tecniche di Attuazione è necessario verificare la compatibilità di qualsiasi intervento urbanistico ed edilizio con il grado di vulnerabilità; tutti gli interventi, inoltre, devono rispettare le previsioni del Piano regionale di Tutela delle Acque (P.T.A.) adottato con D.G.R.V. n. 4453 del 29/12/2004 e successivamente approvato con D.G.R.V. n. 107 del 05/11/2009. A tal proposito si precisa che vista la natura dell'intervento in progetto (lottizzazione residenziale) si ritiene siano rispettate le suddette previsioni. Alla luce inoltre delle massime profondità di scavo previste da progetto e di una soggiacenza minima della falda stimata su base cartografica ad una profondità di circa 5 m da p.c. in periodo di morbida, si può ragionevolmente escludere l'interferenza delle opere in progetto (con la possibilità di realizzazione di un solo livello interrato) con il quadro idrogeologico locale. Per quanto fin qui convenuto, si ritiene quindi che gli interventi previsti non andranno ad incidere sulla vulnerabilità degli acquiferi in quanto non modificheranno le condizioni idrografiche, idrogeologiche e idrochimiche locali e globali dell'area entro cui ricade il sito di intervento.

Premesso quanto sopra, attraverso il rilievo geologico dei luoghi, l'esecuzione di una mirata campagna indagini sito specifica, il presente studio ha ricostruito il modello geologico, idrogeologico, geotecnico e sismico locale, analizzandone interferenze e compatibilità con l'intervento previsto. In tal senso **il progetto appare compatibile con il quadro geologico e idrogeologico delineato.**

→ *Alla luce delle caratteristiche dell'intervento in esame, dell'assetto dei luoghi ricostruito e delle indicazioni fornite dal P.A.T. si ritiene che non esistano vincoli o limitazioni di carattere geologico, idrogeologico e geotecnico in relazione alla fattibilità del progetto.*

8 CAMPAGNA INDAGINI

Il presente studio si basa sull'esecuzione di una mirata campagna indagini finalizzata alla ricostruzione del modello geologico, geotecnico e idrogeologico dell'area di studio e alla definizione del profilo verticale delle onde di taglio (Vs) e l'identificazione della corretta Categoria di Sottosuolo di fondazione. A tale scopo nel lotto di intervento sono state effettuate le seguenti indagini, posizionate come illustrato nella figura seguente e in All. 2 a fine testo:

- n. 4 scavi esplorativi ("T1 ÷ T4") con escavatore meccanico;
- n. 1 prova di permeabilità in pozzetto ("PP1");
- n. 1 indagine sismica di tipo MASW.

Le indagini sono state realizzate nella porzione Est dell'area oggetto di lottizzazione, dal momento che secondo la Scheda Norma n°379 del P.I. solo in questa zona saranno realizzate le opere di urbanizzazione e i lotti edificabili.

Fig. 17. Ubicazione delle indagini realizzate nell'area oggetto di intervento (in rosso): scavi esplorativi (in verde), prova di permeabilità in pozzetto (in magenta) e prospezione sismica con tecnica MASW (in giallo).



8.1 SCAVI ESPLORATIVI

Gli scavi esplorativi, eseguiti con escavatore meccanico e spinti fino alla profondità massima di 2,8 m da piano campagna, hanno permesso di:

- ✓ prendere visione diretta della stratigrafia superficiale dell'area;
- ✓ verificare l'assenza di materiale di riporto superficiale;
- ✓ fornire una parametrizzazione geotecnica dei materiali rinvenuti;
- ✓ valutare il comportamento dei terreni in funzione della stabilità degli scavi;
- ✓ verificare l'assenza di venute d'acqua e di circolazione idrica sotterranea.

Pur rimandando all'All. 3 per una dettagliata descrizione con documentazione fotografica ed indicazione dei caratteri peculiari dei quattro scavi esplorativi effettuati, di seguito si riporta una tabella riepilogativa con la descrizione litologica delle unità individuate.

UNITÀ	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA
Tv	Terreno vegetale: sabbia limosa con ghiaia centimetrica, di colore bruno con apparati radicali e materia organica; poco addensato.
GL	Ghiaia in matrice limosa debolmente sabbiosa di colore bruno. I ciottoli, di natura calcarea, hanno grado di sfericità medio - alto e forme da allungate a sub arrotondate con spigoli smussati, sono eterogranulari con dimensioni centimetriche ($\Phi = 2 \div 5$ cm). Mediamente addensato.
Gs	Ghiaia in matrice sabbiosa debolmente limosa di colore nocciola. I ciottoli, di natura calcarea, hanno grado di sfericità medio - alto e forme da allungate a sub arrotondate con spigoli smussati, sono eterogranulari con dimensioni centimetriche ($\Phi = 2 \div 5$ cm) e locali trovanti decimetrici ($\Phi_{\max} = 15$ cm). Deposito asciutto, da poco a mediamente addensato.

Per ciascuna delle trincee eseguite, si riassumono nella tabella seguente la profondità massima raggiunta in fase di scavo e, per le unità litologiche individuate, i limiti superiore e inferiore, indicati come profondità in metri rispetto al piano campagna di indagine.

TRINCEA	PROF. MAX	UNITÀ "Tv"	UNITÀ "GL"	UNITÀ "Gs"
T1	2,8	0,0 ÷ 0,3	0,3 ÷ 0,8	0,8 ÷ 2,8
T2	2,8	0,0 ÷ 0,4	0,4 ÷ 1,0	1,0 ÷ 2,8
T4	2,7	0,0 ÷ 0,5	0,5 ÷ 1,0	1,0 ÷ 2,7
T5	2,0	0,0 ÷ 0,5	0,5 ÷ 1,0	1,0 ÷ 2,0

Alla luce di quanto emerso in fase di scavo è inoltre possibile evidenziare quanto segue:

- ✓ al di sotto di una coltre superficiale di natura limosa e sabbiosa con ghiaia e terreno vegetale di spessore prossimo al metro, si rinviene un deposito in giacitura naturale costituito da ghiaia ciottolosa in matrice da limosa a sabbiosa, quest'ultima in sensibile aumento con la profondità a scapito della componente limosa;
- ✓ le pareti di scavo hanno mantenuto la verticalità per tutta la durata delle indagini a dimostrazione di un discreto grado di addensamento del terreno in posto;
- ✓ in fase di scavo non è stata rilevata alcuna presenza di acqua né dalle pareti laterali né dal fondo delle trincee effettuate fino alla massima profondità raggiunta (2,8 m da p.c.).

8.2 PROVA DI PERMEABILITÀ IN POZZETTO

Con la finalità di verificare le caratteristiche di permeabilità dei terreni costituenti il primo sottosuolo è stata effettuata una prova di permeabilità del tipo "a carico variabile" in pozzetto secondo quanto indicato dalle Norme A.G.I. (*"Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche"*). Tale tipologia di prova fornisce una valutazione della permeabilità dei terreni superficiali al di sopra del livello di falda.

Nello specifico, dopo aver realizzato uno scavo esplorativo, predisposto un pozzetto ("PP1") con base regolare e pareti sub verticali e aver saturato i terreni, si è provveduto a riempire lo scavo d'acqua misurandone successivamente la velocità di svuotamento (All. 4). Nella tabella seguente vengono schematicamente riportati i dati stratigrafici e geometrici del pozzetto:

PROVA	PROFONDITÀ (m da p.c.)	UNITÀ	LITOLOGIA	MISURE POZZETTO (L x A x H) m
PP1	2,00	Gs	ghiaia in matrice sabbiosa	1,90 x 0,90 x 0,50

Il coefficiente k (m/s) di permeabilità è stato calcolato applicando la formula suggerita dall'A.G.I. relativamente a pozzetti a base quadrata, utilizzando come valore "b" il lato della sezione quadrata equivalente a quella di scavo:

$$k = \frac{h_1 - h_2}{t_2 - t_1} \cdot \frac{1 + \left(\frac{2h_m}{b}\right)}{\frac{27h_m}{b} + 3}$$

dove:

$h_m = (L + A)/2$, altezza media dell'acqua nella trincea ($h_m > \frac{1}{4} b$) (m)

$b = (L \times A)^{1/2}$, lato della sezione quadrata equivalente di scavo (m)

$t_2 - t_1$ = intervallo di tempo (s)

$h_2 - h_1$ = variazione di livello dell'acqua nell'intervallo $t_2 - t_1$

Pur rimandando all'All. 4 per una più esaustiva trattazione del tema discusso, va debitamente sottolineato come i terreni granulari costituenti l'unità "Gs" siano dotati di alta trasmissività e buona capacità drenante, alla luce di un valore di permeabilità (k) nell'ordine di 10^{-3} m/s.

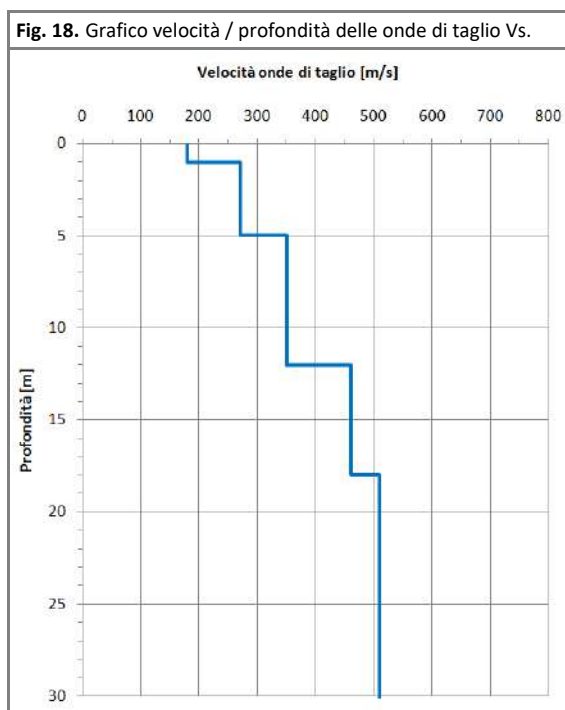
PROVA	UNITÀ	k	PERMEABILITÀ	DRENAGGIO
PP1	Gs	$1,2 \times 10^{-3}$ m/s	alta	buono

n.b. - il valore di "k" dipende prevalentemente dalle caratteristiche del terreno (composizione granulometrica, forma dei grani, addensamento).

8.3 INDAGINE SISMICA DI TIPO MASW

Per la caratterizzazione sismica dell'area di progetto è stata eseguita una campagna geofisica con realizzazione di n. 1 stendimento di tipo MASW. Pur rimandando all'All. 5 per una dettagliata descrizione della prova eseguita, di seguito si riporta una sintesi di quanto rilevato.

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine geofisica che consente la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali in funzione della profondità, basandosi sulla registrazione multicanale delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) disposti sulla superficie del suolo e a seguito di un'energizzazione sismica artificiale del terreno. Le acquisizioni MASW vengono infatti eseguite con stendimenti in cui i geofoni sono collocati su una linea retta ad una distanza reciproca costante determinata dalle condizioni geologiche locali e logistiche. L'indagine ha permesso di ricostruire il seguente profilo di velocità delle onde di taglio.



Il modello mostra la presenza di depositi da mediamente a ben addensati fin dal primo sottosuolo. Al di sotto di un orizzonte soffice superficiale ($V_s = 180$ m/s) di spessore metrico, sono presenti sedimenti progressivamente più rigidi con velocità in crescita da 270 m/s (depositi mediamente addensati) fino a raggiungere 510 m/s (terreno ben addensato) a partire da 18 m da piano campagna.

Dall'analisi del profilo verticale ottenuto è possibile calcolare la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ($V_{s,eq}$) da cui ricavare la Categoria di Sottosuolo come indicato dal D.M. 17/01/2018 (NTC 2018). Il parametro $V_{s,eq}$ si calcola attraverso la relazione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove:

- h_i è lo spessore (in m) dell' i_{esimo} strato;
- $V_{s,i}$ è la velocità (in m/s) delle onde di taglio nell' i_{esimo} strato;
- N è il numero di strati;
- H è la profondità del bedrock sismico rispetto al piano di imposta delle fondazioni (il bedrock sismico è definito come quell'orizzonte costituito da roccia o terreno molto rigido caratterizzato da $V_s \geq 800$ m/s).

Nel caso in esame, per depositi con profondità H del substrato sismico superiore a 30 m la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$. A seguire si riportano i valori di $V_{s,30}$ riferibili ai primi metri di sottosuolo.

Profondità piano di posa delle fondazioni	$V_{s,eq}$	Categoria di Sottosuolo
0 m dal p.c.	$V_{s(0-30)} \approx 390$ m/s	B
1 m dal p.c.	$V_{s(1-31)} \approx 409$ m/s	B
2 m dal p.c.	$V_{s(2-32)} \approx 419$ m/s	B
3 m dal p.c.	$V_{s(3-33)} \approx 429$ m/s	B

Dalla ricostruzione del quadro geofisico emerso dall'indagine e dal calcolo del parametro $V_{s,eq}$, il sito in esame si colloca nella **categoria di sottosuolo "B"** così definita dal D.M. 17/01/2018 "rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 e 800 m/s".

9 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

Alla luce dei dati raccolti nella campagna geognostica effettuata, sulla base dell'esperienza maturata in lavori e indagini svolte in passato nel medesimo contesto geolitologico e a breve distanza dal sito oggetto di studio, si fornisce di seguito una **parametrizzazione geotecnica**, caratteristica e cautelativa, delle unità che costituiscono il primo sottosuolo locale.

UNITÀ	LITOLOGIA	PROFONDITÀ MEDIA (m da p.c.)	NATURA	γ_{nat} (kN/m ³)	φ' (°)	c' (kPa)	E (MPa)
Tv	terreno vegetale	0,0 ÷ 0,5	granulare	18,0	-	-	-
GL	ghiaia in matrice limosa	0,5 ÷ 1,0	granulare	19,0	30 ÷ 34	0 ÷ 10	20 ÷ 40
Gs	ghiaia in matrice sabbiosa	> 1,2	granulare	19,0	32 ÷ 36	0 ÷ 10	30 ÷ 50

dove: γ_{nat} peso di volume naturale, φ' angolo d'attrito, c' coesione, E = modulo di deformazione

In merito a detta parametrizzazione, si evidenzia che:

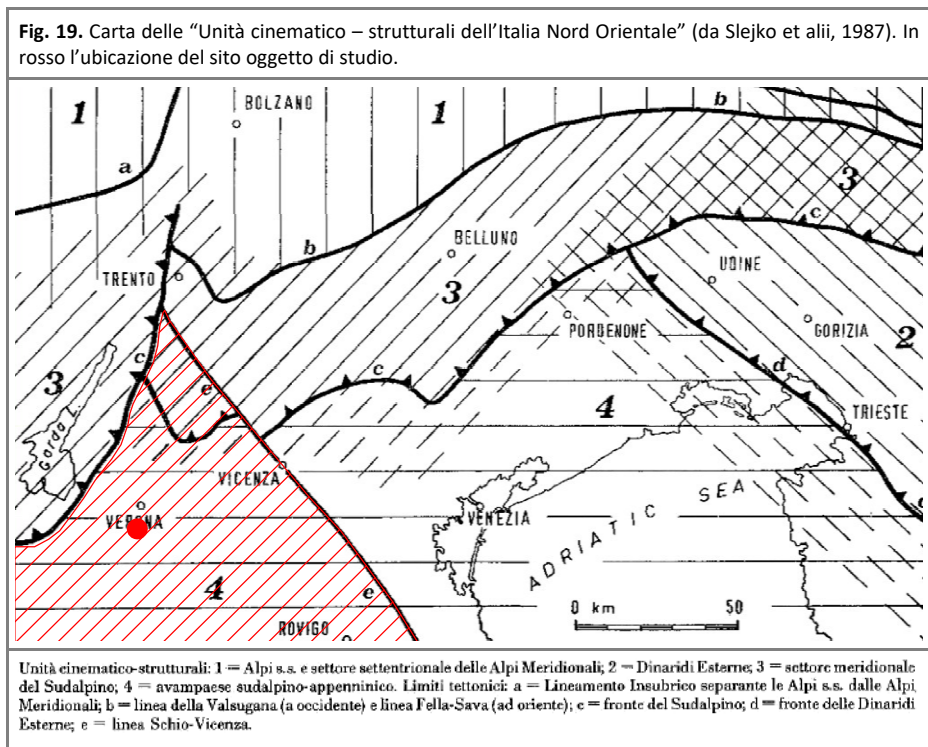
- lo strato di terreno vegetale superficiale (**unità "Tv"**) è caratterizzato da proprietà geotecniche alquanto scadenti e variabili a causa dell'eterogeneità composizionale, della presenza di radici e materia organica nonché di un certo grado di rimaneggiamento ed è pertanto da ritenersi non idoneo a costituire sedime di fondazione (per tali motivi non è stato parametrizzato);
 - in considerazione del modello geologico ricostruito, si ritiene che il sedime di fondazione sia costituito da depositi di natura ghiaiosa ascrivibili all'**unità "Gs"** a comportamento granulare e dotati di un discreto grado di addensamento che ne conferisce buone caratteristiche geotecniche in termini di resistenza al taglio e bassa deformabilità (un tale materiale è certamente idoneo a costituire sedime di fondazione per le opere in progetto);
 - il livello di falda in corrispondenza dell'area si colloca a profondità tali rispetto al piano campagna (-5 m ca. in periodo di massimo innalzamento) da non interferire con le opere previste e compatibile con la possibile realizzazione di un piano interrato.
- *Nelle successive fasi del progetto, all'interno di ciascun lotto edificabile sarà necessario verificare puntualmente la situazione locale e confermare la sequenza stratigrafica ricostruita nel presente studio, ponendo attenzione all'effettiva profondità delle unità individuate e, quindi, del deposito che andrà a costituire sedime di fondazione.*

10 INQUADRAMENTO SISMICO

10.1 INQUADRAMENTO TETTONICO - STRUTTURALE

Sulla base della cinematica, della geodinamica e dell'evoluzione tettonica verificatesi nel Pleistocene medio - Olocene, l'Italia nord – orientale è suddivisibile in quattro unità cinematico – strutturali (Slejko et. alii. 1987 - v. fig. seguente):

- I. Alpi e settore settentrionale delle Alpi Meridionali (Unità 1);
- II. Dinaridi Esterne (Unità 2);
- III. Settore meridionale del Sudalpino (Unità 3);
- IV. **Avampaese sudalpino – appenninico (Unità 4).**

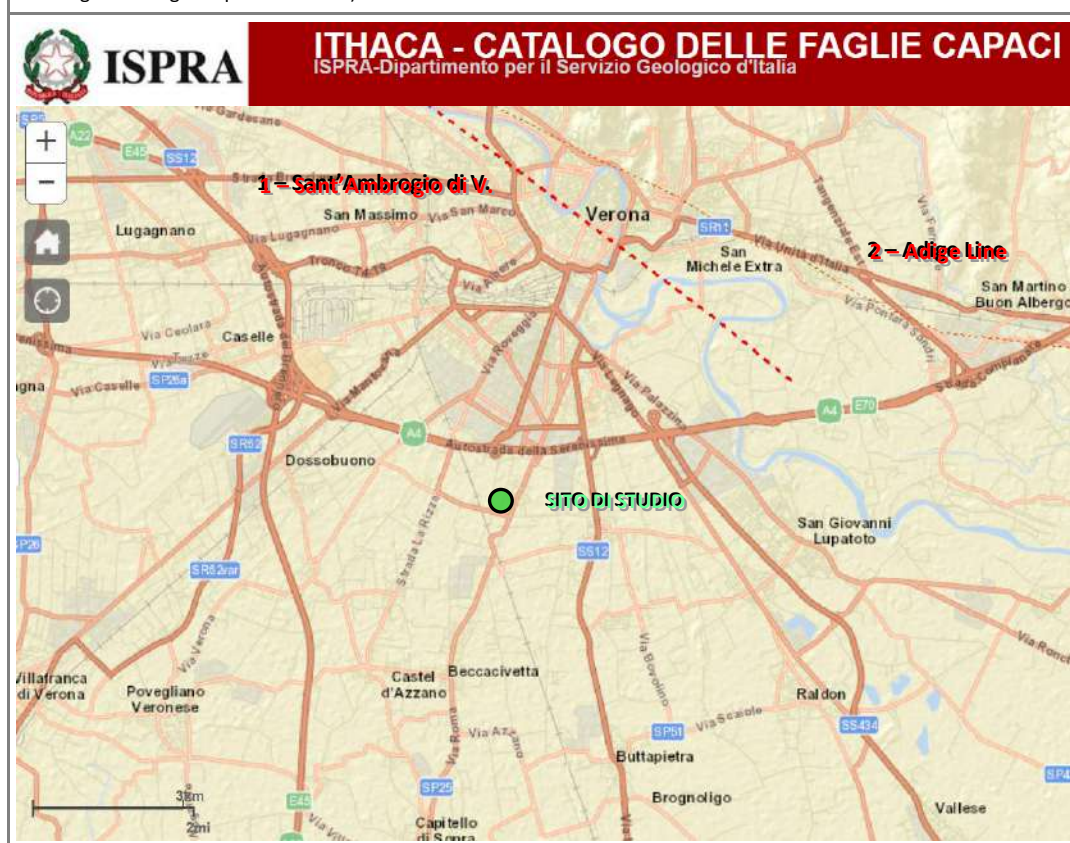


Il sito in esame ricade nell'*Avampaese sudalpino - appenninico*, più precisamente nel *settore lessineo meridionale*, una sorta di apofisi padana interposta nel Sudalpino e sovrascorsa ad occidente dai sistemi di embricazione dell'area Garda – Trento. L'area è delimitata ad Est dalla linea Schio – Vicenza che funge da svincolo trascorrente rispetto alle unità alloctone orientali; in corrispondenza di tale unità si raggiungono profondità ipocentrali superiori ai 20 km. Strutturalmente tale area è la prosecuzione meridionale verso l'Appennino della monoclinale lessinea. L'attività sismica è bassissima e collegabile probabilmente con strutture sepolte. La componente tettonica è infatti poco rilevante in quanto le principali strutture sono sepolte in profondità sotto la potente coltre di depositi alluvionali che caratterizzano la pianura, senza evidenze morfologiche in superficie. L'area denuncia sollevamenti e deformazioni non accentuate con blando basculamento verso Sud.

In termini di **neotettonica**, con riferimento al “Catalogo delle faglie capaci - ITHACA” redatto dall’ISPRA (Fig. 20), nella porzione di territorio in cui ricade il sito oggetto di studio si riconoscono le seguenti strutture tettoniche (“faglie capaci”) che hanno generato fagliazione superficiale negli ultimi 20.000 anni e ritenute pertanto, potenzialmente in grado di creare nuove deformazioni in superficie (Castaldini & Panizza, 1991):

1. “Sant’Ambrogio di Valpolicella”: di lunghezza prossima a 40 km e posta ad una distanza di oltre 5 km dall’area d’intervento, è una faglia trascorrente destra orientata in senso NO – SE ed è caratterizzata media probabilità di riattivazione;
2. “Adige Line”: lineamento tettonico di lunghezza pari a circa 35 km, orientato in senso NNO – SSE e collocato indicativamente lungo il margine settentrionale della fascia pedemontana veronese ad una distanza di circa 7 km a Nord - Est rispetto al sito oggetto di studio. Secondo recenti studi di sismicità locale, risulta caratterizzato da bassa probabilità di riattivazione sebbene abbia dato evidenze di attività in epoca storica (< 3.000 anni fa).

Fig. 20. Mappa delle “faglie capaci” presenti nelle vicinanze del territorio entro cui ricade l’area di intervento (estratto dal “Catalogo delle faglie capaci - ITHACA”). In verde l’ubicazione del sito di studio.



→ Sebbene in corrispondenza della porzione di territorio in esame si riconosca la presenza di alcuni lineamenti tettonici significativi (“faglie capaci”), si ritiene che questi non interferiscano in modo diretto con l’area d’interesse progettuale in corrispondenza della quale non si rilevano peraltro criticità di carattere tettonico - strutturale.

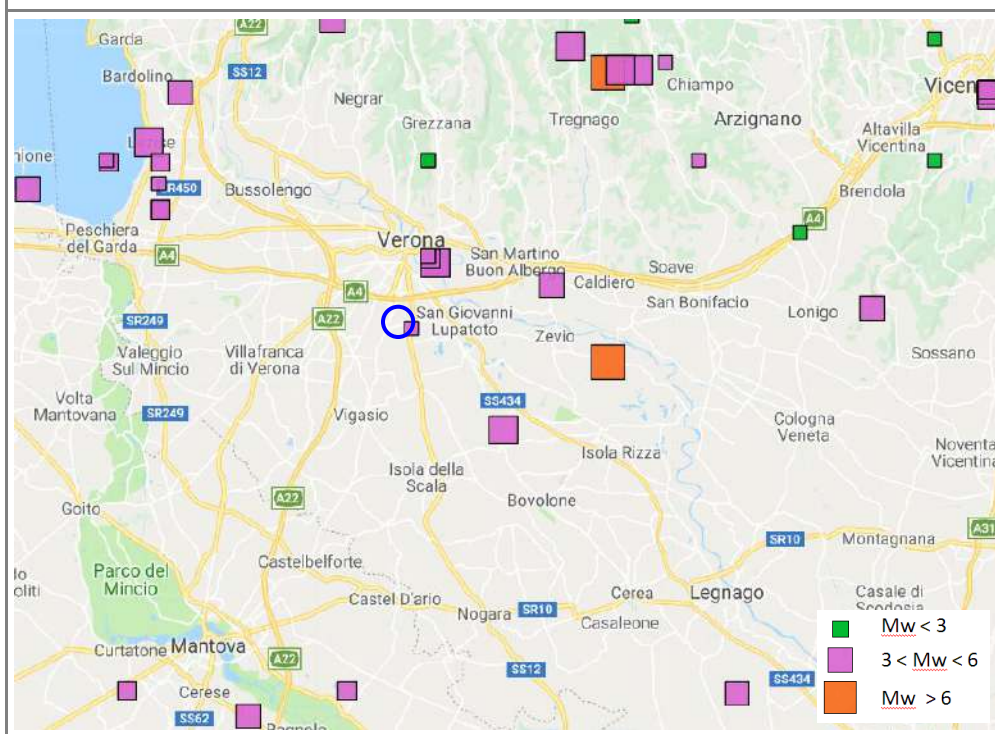
Per delineare la **sismicità storica** della porzione di territorio in cui ricade il sito oggetto di studio si è fatto riferimento alle seguenti pubblicazioni:

1. “Catalogo dei Forti Terremoti d'Italia” precedenti all’anno 1997 (I.N.G.V.);
2. portale dati del “Centro Nazionale Terremoti” (da <http://cnt.rm.ingv.it>) contenente il database dei terremoti registrati dal 1985 ad oggi (I.N.G.V.).

Nel dettaglio:

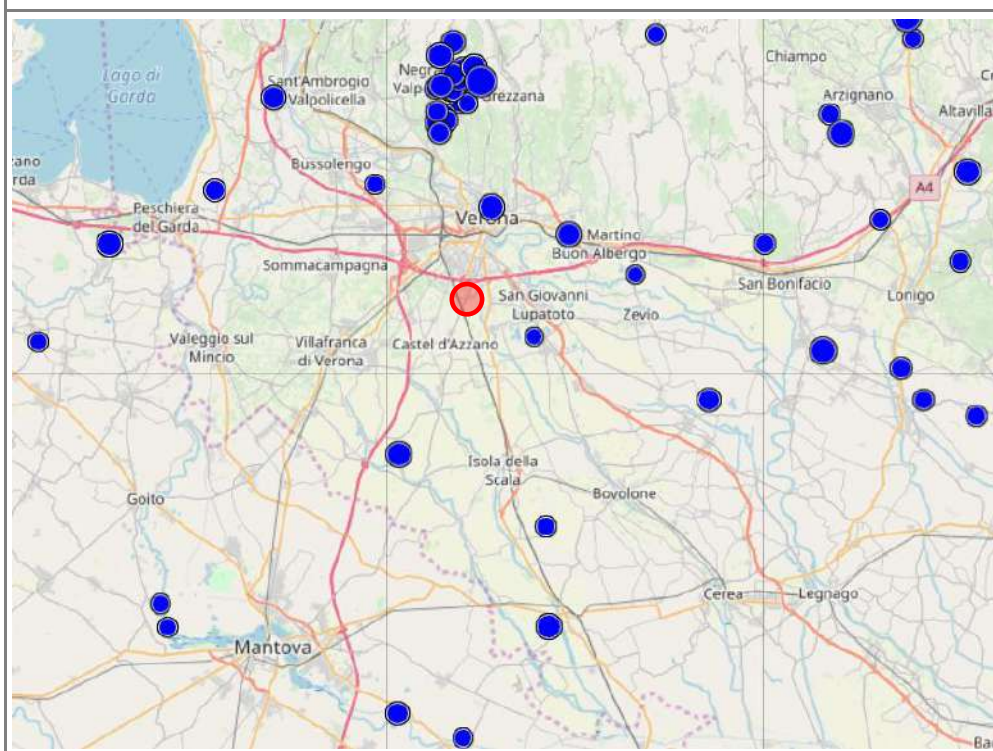
1. “Catalogo dei forti terremoti d'Italia” (I.N.G.V.): fino all’anno 1997 nella porzione di territorio circostante l’area di studio si sono registrati eventi con magnitudo per lo più compresa tra 3 e 6, con isolati eventi di magnitudo anche superiore a 6 come lo sono stati i terremoti storici di Tregnago e Zevio (Fig. 21);

Fig. 21. Estratto dal “Catalogo dei forti terremoti d'Italia” che riporta ubicazione e magnitudo dei maggiori sismi registrati nella regione esaminata (I.N.G.V.). In blu l’ubicazione del sito di studio.



2. “Centro Nazionale Terremoti” (I.N.G.V.): dal 1985 ad oggi in corrispondenza della regione esaminata è stato registrato un numero molto limitato di terremoti, peraltro di magnitudo M_w inferiore a 4,0 (Fig. 22). La maggior attività sismica è avvenuta per lo più fra i territori comunali di Negrar e Grezzana a Nord rispetto alla città di Verona, ad una distanza di oltre 10 km dall’area di studio.

Fig. 22. Ubicazione dei maggiori sismi registrati dal 1985 nella porzione di territorio esaminata (fonte: Centro Nazionale Terremoti – I.N.G.V.). In rosso l'ubicazione del sito di studio.



Alla luce delle informazioni raccolte si ritiene che la magnitudo registrata strumentalmente nella porzione di territorio in cui ricade anche il sito di studio sia in prima analisi $M_w \leq 6,0$.

In caso di evento sismico gli elementi morfologici e geologici che possono produrre un'amplificazione dell'onda sismica sono essenzialmente legati a:

- presenza di faglie o fratture maggiori collegate alle faglie principali;
- instabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica;
- marcate linee di cresta o bruschi cambiamenti di pendenza;
- contatti geologici che mettono a contatto terreni a differente impedenza acustica;
- presenza sui versanti di coltri detritiche o di accumuli franosi (sia attivi che quiescenti);
- vicinanza a scarpate di grande altezza soggette a fenomeni di crollo e/o rotolamento;
- presenza di falda freatica a bassa profondità con sottosuolo costituito da terreni granulari soggetti a liquefazione (sabbie fini o limi sabbiosi poco addensati).

→ Con riferimento all'elenco puntato di cui sopra, si ritiene che il sito di studio non presenti, complessivamente e in prima analisi, potenziali criticità sito specifiche di carattere geologico, morfologico e sismotettonico la cui presenza potrebbe, in caso di terremoto, focalizzare gli effetti di un'onda sismica. L'area risulta potenzialmente soggetta a fenomeni di amplificazione sismica di tipo stratigrafico legata alla presenza di terreni diversi da cat. "A", elemento di cui tenere conto nella progettazione antisismica.

10.2 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO PROGETTUALE

In riferimento alla classificazione sismica della Regione Veneto definita dalla D.G.R.V. n. 244/2021, il Comune di Verona rientra in **zona sismica "2"**. La normativa definisce la **pericolosità sismica di base** del sito di costruzione in termini di accelerazione massima orizzontale attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido ($V_s > 800$ m/s) con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di superamento (Pv_R), in funzione del periodo di riferimento V_R . Con l'entrata in vigore delle NTC la stima di tale parametro viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". Infatti, secondo quanto riportato nell'allegato A del D.M. 14/01/2008, definite le coordinate del sito interessato dal progetto, questo sarà sempre compreso tra quattro punti della griglia di accelerazioni ("reticolo di riferimento") tramite media pesata, utilizzando la formula:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

p	valore del parametro di interesse nel punto in esame;
p_i	valore del parametro di interesse nell' i_{esimo} punto della maglia elementare contenente il punto in esame;
d_i	distanza del punto in esame dall' i_{esimo} punto della maglia suddetta.

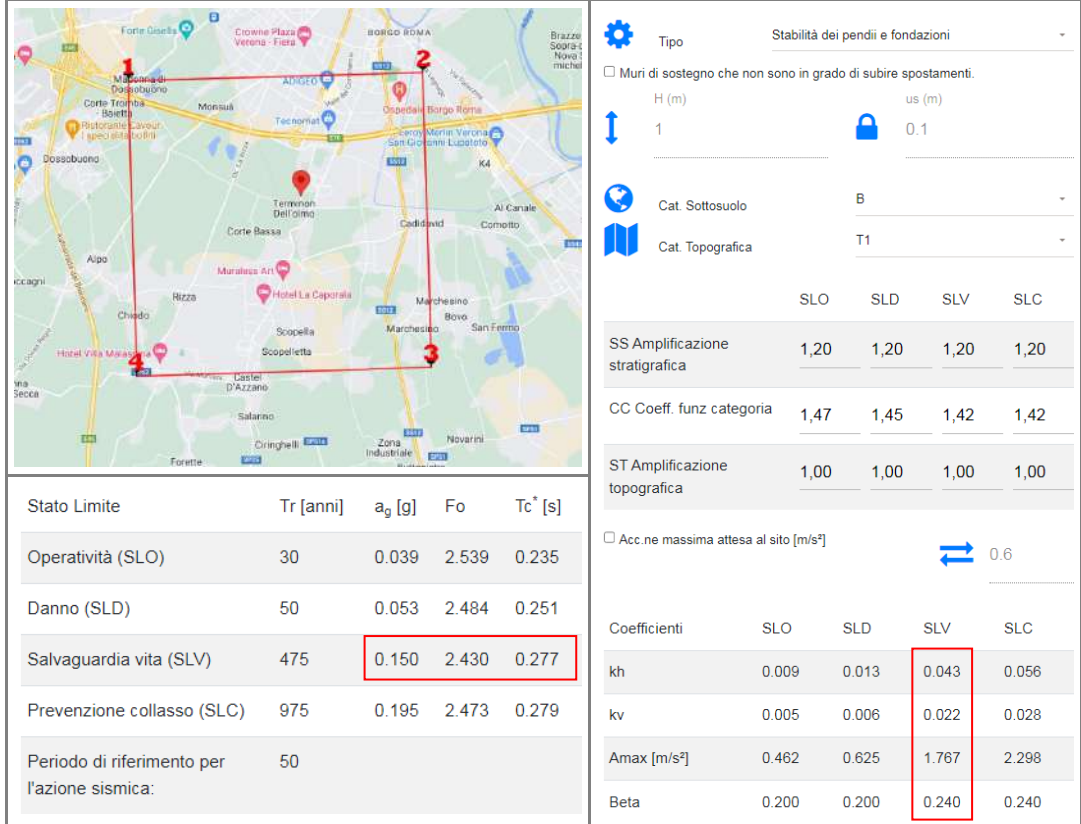
Si otterranno così i seguenti **parametri spettrali**:

- a_g accelerazione orizzontale massima;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Sulla base della morfologia generale del territorio entro cui ricade il sito oggetto di intervento e considerato l'effetto topografico sulla risposta sismica locale, si ritiene che il sito di studio ricada in **categoria topografica "T1"** (superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15$) da cui un **coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1,00$** .

Alla luce dell'indagine MASW eseguita nell'area (Par. 8.3), è possibile inserire l'area di lottizzazione in **categoria di sottosuolo di fondazione "B"**: "rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 e 800 m/s", da cui un **coefficiente di amplificazione stratigrafica $S_s = 1,20$** .

In relazione alla tipologia d'intervento, nel presente caso di studio i parametri spettrali caratteristici sono stati valutati considerando una **classe d'uso "II"** ("costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali") ed una vita nominale $V_N \geq 50$ anni. In tali ipotesi il **coefficiente d'uso $C_u = 1,00$** da cui deriva un periodo di riferimento **$V_R = 50$ anni**.



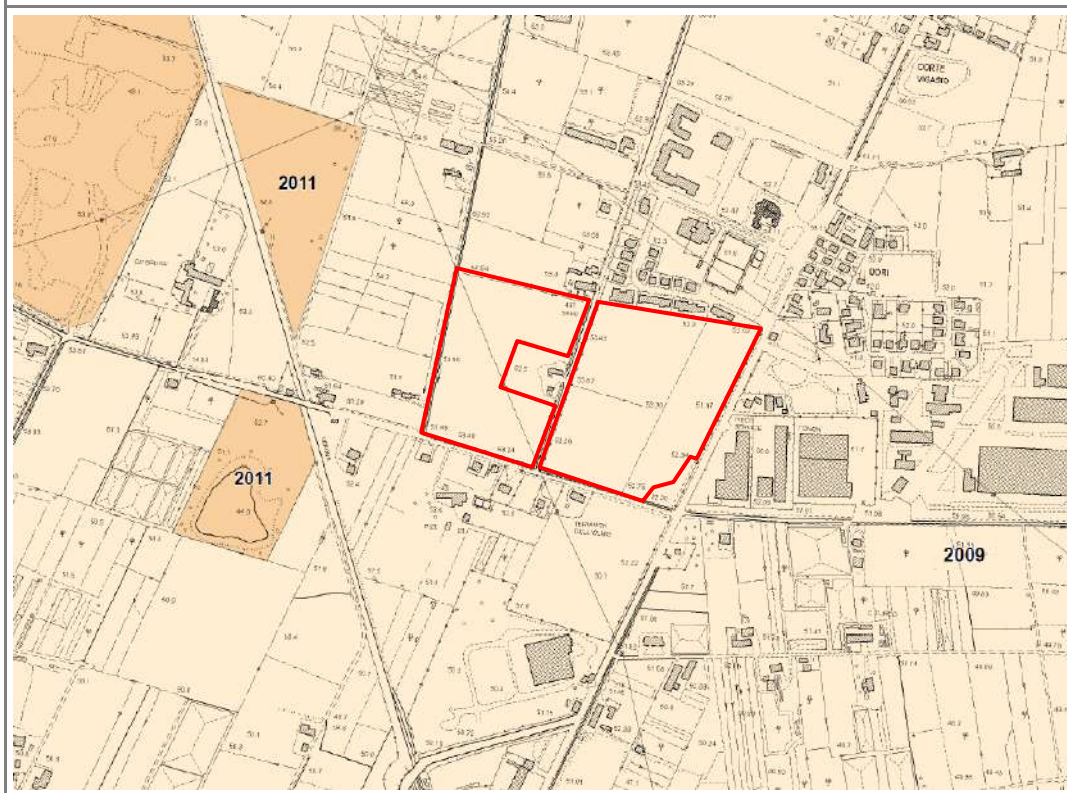
PARAMETRO SISMICO	VALORE
Classe d'uso	II
Vita nominale dell'opera V_N	50 anni
Coefficiente d'uso C_U	1,00
Periodo di riferimento V_R	50 anni
Categoria di sottosuolo di fondazione	B
Coeff. di amplificazione stratigrafica S_s	1,20
Categoria topografica	T1
Coeff. di amplificazione topografica S_T	1,00

PARAMETRO SISMICO	VALORE
Zona sismica (D.G.R.V. n. 244/2021)	2
Accelerazione orizzontale massima a_g [g]	0,150
Valore max. fatt. di amplificazione F_0	2,430
Periodo inizio tratto vel. cost. spettro T_c^* [s]	0,277
Accelerazione massima al suolo $a_{g\max}$ [m/s ²]	1,767
Coeff. azione sismica orizzontale k_h	0,043
Coeff. azione sismica verticale k_v	0,022
Coefficiente β	0,240

10.3 STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

Per completezza di esposizione si riporta di seguito un estratto dalla “Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica” dello studio di Microzonazione Sismica del Comune di Verona, dove emerge che l’area di intervento ricade in “Zona 9 – GWfg: formazione dei depositi fluvioglaciali, dell’antico conoide depositato dall’Adige, che costituiscono la maggior parte della pianura veronese, costituito da materiali ghiaiosi e sabbiosi alternati a livelli sabbiosi e limosi con spessori anche superiori a 100 m. Sono presenti diverse cave in ghiaia con fronti (orli di scarpata) piuttosto alti e con pendenze elevate. Non si esclude l’ipotesi di possibili fenomeni di amplificazione litostratigrafica, per contrasti di impedenza, e morfologica, per la presenza di orli di scarpata di cave e di terrazzi fluviali”.

Fig. 24. Estratto dalla “Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica” dello studio di Microzonazione Sismica del Comune di Verona. In rosso l’ambito del PUA.



2009 - Zona 9 (GWfg): formazione dei depositi fluvioglaciali, dell’antico conoide depositato dall’Adige, che costituiscono la maggior parte della pianura veronese, costituito da materiali ghiaiosi e sabbiosi alternati a livelli sabbiosi e limosi con spessori anche superiori a 100 m. Sono presenti diverse cave in ghiaia con fronti (orli di scarpata) piuttosto alti e con pendenze elevate. Non si esclude l’ipotesi di possibili fenomeni di amplificazione litostratigrafica, per contrasti di impedenza, e morfologica, per la presenza di orli di scarpata di cave e di terrazzi fluviali

2009

→ L’area di studio non ricade in zone di attenzione per possibili fenomeni di liquefazione.

11 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Alla luce di quanto fin qui descritto, si possono esporre le seguenti considerazioni riassuntive:

- L'area di intervento si colloca tra le quote altimetriche di 52,0 e 54,0 m s.l.m. in una porzione di territorio nel complesso pianeggiante dove le evidenze morfologiche legate alle passate dinamiche fluviali sono celate dalle pratiche agricole ed edificatorie diffuse nel territorio. Nell'area di intervento si segnalano, a livello topografico, locali differenze di quota nell'ordine di alcune decine di centimetri legate per lo più all'attività antropica.
- Nel corso del sopralluogo effettuato nell'area di intervento non sono state riscontrate significative evidenze geologiche, morfologiche e idrogeologiche che indichino situazioni di particolare criticità, né sussistono fenomeni di dissesto in atto o quiescenti.
- Il modello stratigrafico locale ricostruito grazie all'esecuzione di una mirata campagna indagini, è costituito da terreno vegetale superficiale (unità "Tv") di natura limosa e sabbiosa con ghiaia di spessore prossimo a 50 cm che sottende depositi alluvionali a composizione ghiaiosa in matrice da limosa (unità "Gl") a sabbiosa (unità "Gs") in giacitura naturale dotati di medio grado di addensamento.
- L'area di intervento si pone al di fuori di aree potenzialmente inondabili e caratterizzate da concentrazione privilegiata delle acque di corrivazione: alla luce del rilievo effettuato si ritiene che allo stato attuale il deflusso superficiale delle acque meteoriche avvenga nel complesso in maniera diffusa senza generare ristagni, situazioni di criticità localizzate, tantomeno fenomeni erosivi significativi.
- Il sito di studio non ricade fra le aree a pericolosità idraulica individuate dal Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) né fra quelle soggette a dissesto idrogeologico individuate dal Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.).
- Il sito di studio ricade nell'ambito dell'Alta Pianura; alla luce del contesto idrogeologico locale, delle informazioni bibliografiche e cartografiche raccolte e di quanto riscontrato direttamente in sito nel corso della campagna indagini eseguita si ritiene che la falda acquifera si attesti ad una profondità non inferiore a 5,0 m da p.c. in periodo di massimo innalzamento, tali da non interferire con le opere in progetto e permettere la realizzazione di un possibile piano interrato.
- Con riferimento alla prova di permeabilità in pozzetto eseguita, i depositi che costituiscono il primo sottosuolo dell'area sono caratterizzati da una permeabilità elevata (con valori di $k \approx 10^{-3}$ m/s) dovuta alla natura prevalentemente grossolana dei sedimenti presenti.
- Sebbene sulla base del rilievo e delle informazioni sismiche raccolte l'area di studio non presenti in prima analisi potenziali criticità di carattere geologico, strutturale e tettonico, il lotto di progetto risulta potenzialmente soggetto a fenomeni di amplificazione sismica di tipo litologico legata alla presenza nel primo sottosuolo di terreni diversi da categoria "A".
- Con riferimento al P.A.T. comunale di Verona non si ravvisano vincoli o limitazioni di carattere geologico, idrogeologico e geotecnico alla fattibilità dell'intervento in progetto.

- Alla luce dei risultati dell'indagine MASW eseguita nell'area di intervento è possibile inserire il sito di progetto nella categoria di sottosuolo di fondazione "B". Coefficiente stratigrafico: $S_s = 1,20$. Categoria topografica: "T1". Coefficiente topografico: $S_T = 1,00$. Classe d'uso "II" ($C_U = 1,00$) e periodo di riferimento $V_R = 50$ anni.
- In considerazione del modello litostratigrafico ricostruito si ritiene che il sedime fondale sia costituito dai depositi di natura prevalentemente ghiaiosa ascrivibili all'unità "Gs", a comportamento granulare e dotati di buone caratteristiche geotecniche in termini di resistenza al taglio e bassa deformabilità.
- Vista l'estensione del comparto del Piano Urbanistico Attuativo in oggetto, nel corso della progettazione nei singoli lotti sarà necessario verificare puntualmente la rispondenza di quanto scritto con la situazione reale mediante specifiche indagini geognostiche, le quali permetteranno di affinare il modello geologico - geotecnico locale e di verificare l'effettiva profondità delle unità individuate e la loro continuità nell'area.
- Dall'analisi dello studio di Microzonazione Sismica del Comune di Verona, è possibile escludere il rischio di liquefazione dei terreni in presenza di sisma per la porzione di territorio entro cui ricade l'area oggetto di studio.

Fatto salvo quanto considerato non si ravvisano in prima analisi impedimenti o limitazioni di carattere geologico, idrogeologico e geotecnico alla fattibilità degli interventi in progetto.

San Giovanni Lupatoto, novembre 2025

Dott. Geol. Gionata Andreis



The image shows a handwritten signature in blue ink over a circular professional stamp. The stamp is from the 'ORDINE DEI GEOLOGI REGIONE DEL VENETO' and contains the text 'Dott. Geol. Gionata ANDREIS N° 789'.

BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

La stesura del presente documento è stata eseguita facendo riferimento ai seguenti testi e documenti:

Associazione Geotecnica Italiana (2005)

Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica

Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po

- Piano per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)
 - Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.)
-

Bowles J.E. (1991)

Fondazioni. Progetto e analisi – Mc Graw Hill

Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000

Foglio n°49 "Verona"

Castaldini D. – Panizza M. (1991)

Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave ed il lago di Como

Comune di Verona

- Piano degli Interventi (P.I.) e Piano di Assetto del Territorio (P.A.T.)
 - "Carta Geologica del territorio del Comune di Verona" in scala 1:20.000
-

Curzi P.V., Castellarin A., Ciabatti M., Badalini G. (1992)

Caratteri morfostrutturali, sedimentologici e genetici del Lago di Garda

Dal Prà A. e De Rossi P. (1989)

Carta idrogeologica dell'Alta Pianura dell'Adige

I.N.G.V. - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

- Catalogo dei Forti Terremoti d'Italia
 - Italian Seismological Instrumental and Parametric Database (ISIDE)
-

I.S.P.R.A. - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Catalogo delle Faglie capaci (ITHACA)

Panizza M. et alii (1987)

Modello sismotettonico dell'area fra il Lago di Garda e il Monte Grappa

Provincia di Verona

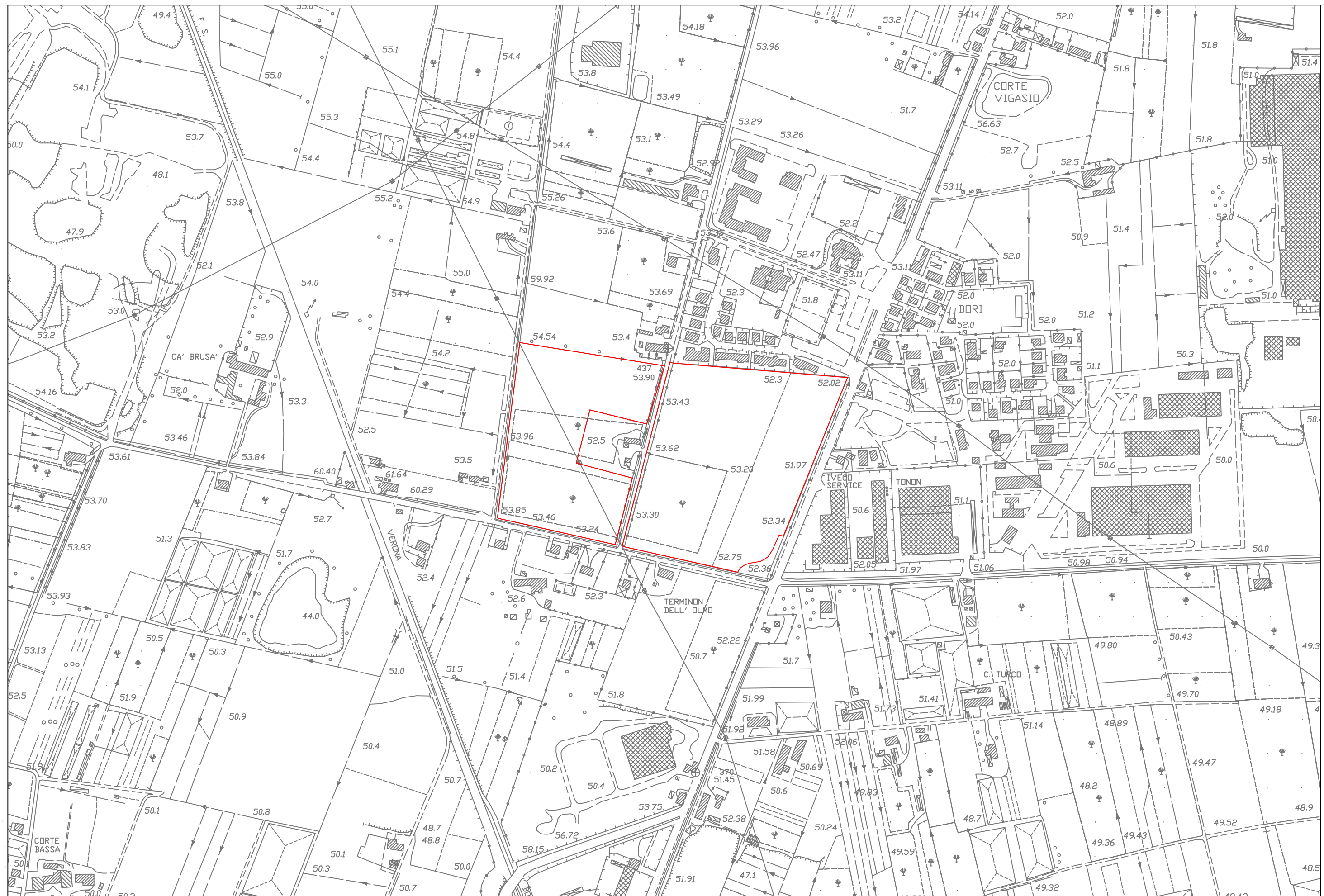
- Piano Territoriale Provinciale (P.T.P.)
 - Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (P.T.C.P.)
-

Slejko D. et alii (1987)

Modello sismotettonico dell'Italia Nord Orientale – Trieste

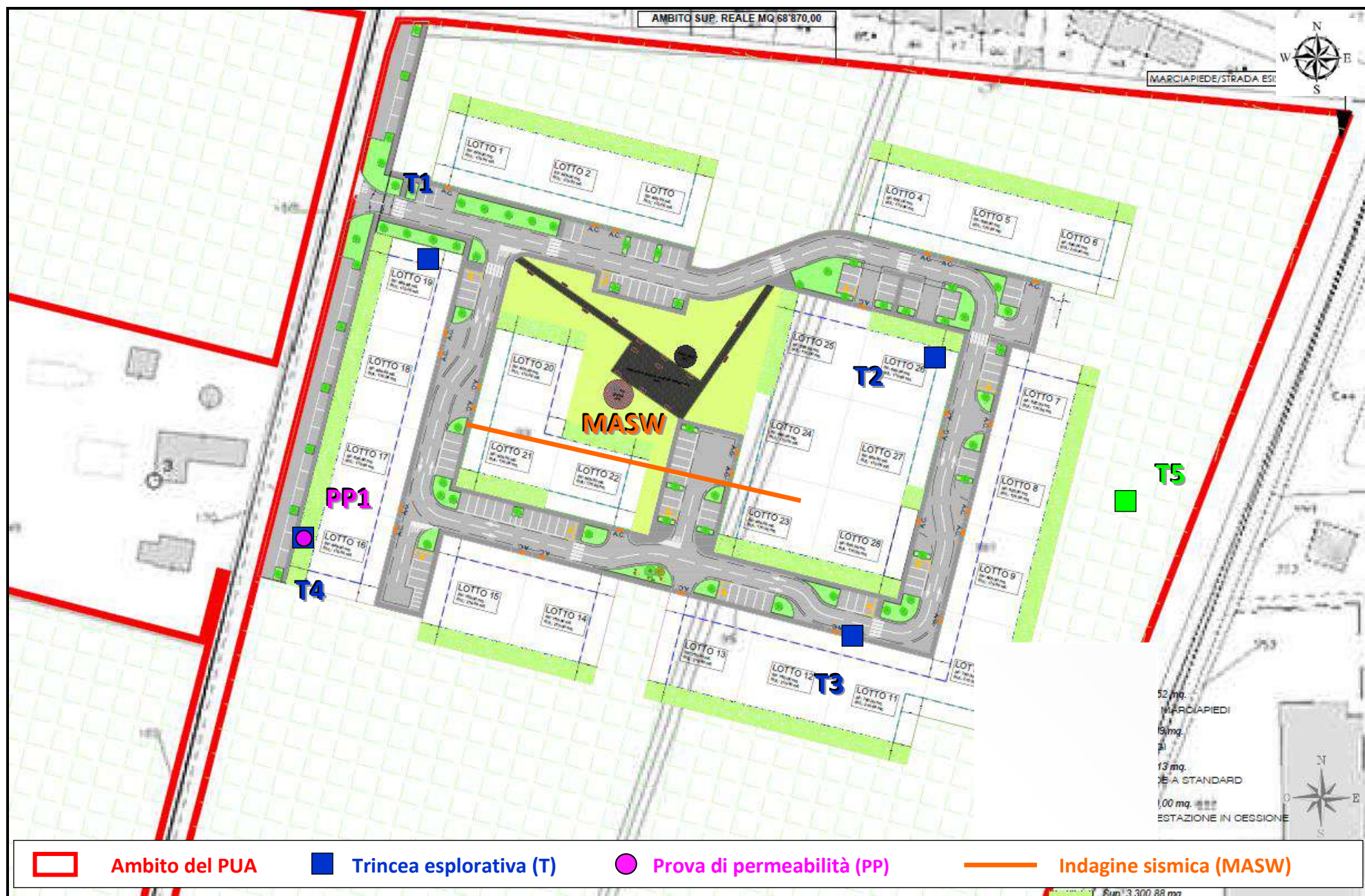
ALLEGATO 1

COROGRAFIA IN SCALA 1:5000



ALLEGATO 2

PLANIMETRIA CON UBICAZIONE INDAGINI



ALLEGATO 3

SCAVI ESPLORATIVI

Trincea **T1**
Data 27 Febbraio 2024
Luogo Via Apollo – loc. Sacra Famiglia (Verona)
Profondità: 2,8 m da p.c.

UBICAZIONE



POSTAZIONE



ALLEGATO 3 – Scavi esplorativi

PROF. DA P.C. (m)	STRATIGRAFIA	UNITÀ
0,0 ÷ 0,3	Terreno vegetale: sabbia limosa con ghiaia centimetrica, di colore bruno con apparati radicali e materia organica; poco addensato.	TV
0,3 ÷ 0,8	Ghiaia in matrice limosa debolmente sabbiosa di colore bruno. I ciottoli, di natura calcarea, hanno grado di sfericità medio - alto e forme da allungate a sub arrotondate con spigoli smussati, sono eterogranulari con dimensioni centimetriche ($\Phi = 2 \div 5$ cm). Mediamente addensato.	GL
0,8 ÷ 2,8	Ghiaia in matrice sabbiosa debolmente limosa di colore nocciola. I ciottoli, di natura calcarea, hanno grado di sfericità medio - alto e forme da allungate a sub arrotondate con spigoli smussati, sono eterogranulari con dimensioni centimetriche ($\Phi = 2 \div 5$ cm) e locali trovanti decimetrici ($\Phi_{\max} = 15$ cm). Deposito asciutto, da poco a mediamente addensato.	Gs

Falda

Nessuna venuta d'acqua né dalle pareti né da fondo scavo.

Stabilità pareti scavo

Le pareti sono risultate stabili e verticali per tutta la durata dello scavo.



MATERIALE RIFERIBILE ALL'UNITÀ "GL": ghiaia in matrice limosa



MATERIALE RIFERIBILE ALL'UNITÀ "GS": ghiaia in matrice sabbiosa



Trincea **T2**
Data 27 Febbraio 2024
Luogo Via Apollo – loc. Sacra Famiglia (Verona)
Profondità: 2,8 m da p.c.

UBICAZIONE



POSTAZIONE



ALLEGATO 3 – Scavi esplorativi

PROF. DA P.C. (m)	STRATIGRAFIA	UNITÀ
0,0 ÷ 0,4	Terreno vegetale: sabbia limosa con ghiaia centimetrica, di colore bruno con apparati radicali e materia organica; poco addensato.	TV
0,4 ÷ 1,0	Ghiaia in matrice limosa debolmente sabbiosa di colore bruno. I ciottoli, di natura calcarea, hanno grado di sfericità medio - alto e forme da allungate a sub arrotondate con spigoli smussati, sono eterogranulari con dimensioni centimetriche ($\Phi = 2 \div 5$ cm). Mediamente addensato.	GL
1,0 ÷ 2,8	Ghiaia in matrice sabbiosa debolmente limosa di colore nocciola. I ciottoli, di natura calcarea, hanno grado di sfericità medio - alto e forme da allungate a sub arrotondate con spigoli smussati, sono eterogranulari con dimensioni centimetriche ($\Phi = 2 \div 5$ cm) e locali trovanti decimetrici ($\Phi_{\max} = 15$ cm). Deposito asciutto, da poco a mediamente addensato.	Gs

Falda

Nessuna venuta d'acqua né dalle pareti né da fondo scavo.

Stabilità pareti scavo

Le pareti sono risultate stabili e verticali per tutta la durata dello scavo.



MATERIALE RIFERIBILE ALL'UNITÀ "TV": terreno vegetale



MATERIALE RIFERIBILE ALL'UNITÀ "GS": ghiaia in matrice sabbiosa



Trincea **T3**
Data 27 Febbraio 2024
Luogo Via Apollo – loc. Sacra Famiglia (Verona)
Profondità: 2,7 m da p.c.



PROF. DA P.C. (m)	STRATIGRAFIA	UNITÀ
0,0 ÷ 0,5	Terreno vegetale: sabbia limosa con ghiaia centimetrica, di colore bruno con apparati radicali e materia organica; poco addensato.	TV
0,5 ÷ 1,0	Ghiaia in matrice limosa debolmente sabbiosa di colore bruno. I ciottoli, di natura calcarea, hanno grado di sfericità medio - alto e forme da allungate a sub arrotondate con spigoli smussati, sono eterogranulari con dimensioni centimetriche ($\Phi = 2 \div 5$ cm). Mediamente addensato.	GL
1,0 ÷ 2,7	Ghiaia in matrice sabbiosa debolmente limosa di colore nocciola. I ciottoli, di natura calcarea, hanno grado di sfericità medio - alto e forme da allungate a sub arrotondate con spigoli smussati, sono eterogranulari con dimensioni centimetriche ($\Phi = 2 \div 5$ cm) e locali trovanti decimetrici ($\Phi_{\max} = 15$ cm). Deposito asciutto, da poco a mediamente addensato.	Gs

Falda

Nessuna venuta d'acqua né dalle pareti né da fondo scavo.

Stabilità pareti scavo

Le pareti sono risultate stabili e verticali per tutta la durata dello scavo.



MATERIALE RIFERIBILE ALL'UNITÀ "GL": ghiaia in matrice limosa



MATERIALE RIFERIBILE ALL'UNITÀ "GS": ghiaia in matrice sabbiosa



Trincea **T4**
Data 27 Febbraio 2024
Luogo Via Apollo – loc. Sacra Famiglia (Verona)
Profondità: 2,0 m da p.c.

UBICAZIONE



POSTAZIONE



PROF. DA P.C. (m)	STRATIGRAFIA	UNITÀ
0,0 ÷ 0,5	Terreno vegetale: sabbia limosa con ghiaia centimetrica, di colore bruno con apparati radicali e materia organica; poco addensato.	TV
0,5 ÷ 1,0	Ghiaia in matrice limosa debolmente sabbiosa di colore bruno. I ciottoli, di natura calcarea, hanno grado di sfericità medio - alto e forme da allungate a sub arrotondate con spigoli smussati, sono eterogranulari con dimensioni centimetriche ($\Phi = 2 \div 5$ cm). Mediamente addensato.	GL
1,0 ÷ 2,0	Ghiaia in matrice sabbiosa debolmente limosa di colore nocciola. I ciottoli, di natura calcarea, hanno grado di sfericità medio - alto e forme da allungate a sub arrotondate con spigoli smussati, sono eterogranulari con dimensioni centimetriche ($\Phi = 2 \div 5$ cm) e locali trovanti decimetrici ($\Phi_{\max} = 15$ cm). Deposito asciutto, da poco a mediamente addensato.	Gs

Falda

Nessuna venuta d'acqua né dalle pareti né da fondo scavo.

Stabilità pareti scavo

Le pareti sono risultate stabili e verticali per tutta la durata dello scavo.



MATERIALE RIFERIBILE ALL'UNITÀ "TV": terreno vegetale



MATERIALE RIFERIBILE ALL'UNITÀ "Gs": ghiaia in matrice sabbiosa



ALLEGATO 4

PROVA DI PERMEABILITÀ IN POZZETTO

Trincea	PP1 (scavo esplorativo T4)
Data e luogo	27 Febbraio 2024 – Via Apollo, loc. Sacra Famiglia (Verona)
Profondità	2,0 m da p.c.
Litologia	Unità "Gs" – Ghiaia in matrice sabbiosa
Pozzetto	(L x A x H): 1,50 x 0,90 x 0,50 m

UBICAZIONE



POSTAZIONE



ALLEGATO 4 – Prova di permeabilità in pozzetto

PROF. DA P.C. (m)	STRATIGRAFIA	UNITÀ
0,0 ÷ 0,5	Terreno vegetale: sabbia limosa con ghiaia centimetrica, di colore bruno con apparati radicali e materia organica; poco addensato.	TV
0,5 ÷ 1,0	Ghiaia in matrice limosa debolmente sabbiosa di colore bruno. I ciottoli, di natura calcarea, hanno grado di sfericità medio - alto e forme da allungate a sub arrotondate con spigoli smussati, sono eterogranulari con dimensioni centimetriche ($\Phi = 2 \div 5$ cm). Mediamente addensato.	GL
1,0 ÷ 2,0	Ghiaia in matrice sabbiosa debolmente limosa di colore nocciola. I ciottoli, di natura calcarea, hanno grado di sfericità medio - alto e forme da allungate a sub arrotondate con spigoli smussati, sono eterogranulari con dimensioni centimetriche ($\Phi = 2 \div 5$ cm) e locali trovanti decimetrici ($\Phi_{\max} = 15$ cm). Deposito asciutto, da poco a mediamente addensato.	Gs

Falda

Nessuna venuta d'acqua né dalle pareti né da fondo scavo.

Stabilità pareti scavo

Le pareti sono risultate stabili e verticali per tutta la durata dello scavo.



PARTICOLARE DI PARETE E DI FONDO SCAVO



MATERIALE RIFERIBILE ALL'UNITÀ "Gs": ghiaia in matrice sabbiosa



FASE DI RIEMPIMENTO DEL POZZETTO DI PROVA



TERMINE DELLA PROVA DI PERMEABILITÀ



Prova di permeabilità in pozzetto superficiale

Metodo con carico variabile

CANTIERE:	PUA scheda 359 -Sacra Famiglia (Verona)
DATA:	27/02/2024

Altezza pozzetto H (cm)	50
Lato maggiore L (cm)	150
Lato minore A (cm)	90

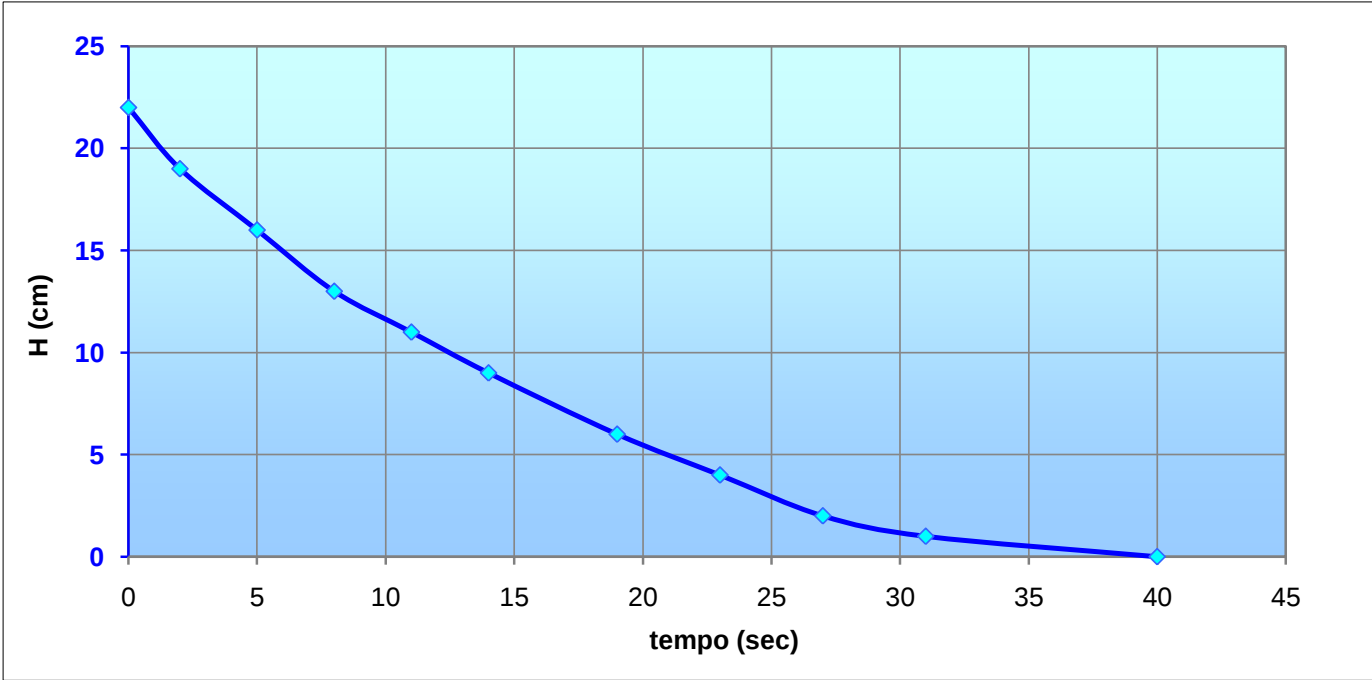
POZZETTO PP1

Natura del terreno :	unità "Gs" – Ghiaia ciottolosa in matrice sabbiosa
Profondità scavo :	2,00 m da p.c.

H _m (cm) =	11	h ₁ (cm) =	22	Δt (sec) =	40
b (cm) =	116	h ₂ (cm) =	0		

Calcolo coefficiente di permeabilità				
K (m/sec)=	$\frac{\Delta H}{(t_2 - t_1)}$	$\cdot \frac{1+(2H_m/b)}{(27H_m/b)+3}$	=	1,18E-03

H (cm)	t (sec)	H/H _m	ΔH (cm)
22,0	0	2,00	0,0
19,0	2	1,73	3,0
16,0	5	1,45	3,0
13,0	8	1,18	3,0
11,0	11	1,00	2,0
9,0	14	0,82	2,0
6,0	19	0,55	3,0
4,0	23	0,36	2,0
2,0	27	0,18	2,0
1,0	31	0,09	1,0
0,0	40	0,00	1,0



ALLEGATO 5

INDAGINE SISMICA

REPORT INDAGINE GEOFISICA

San Giovanni Lupatoto, 27 febbraio 2024

1 PREMESSA

Obiettivo dello studio è la caratterizzazione dal punto di vista sismico del sottosuolo di fondazione dell'area di futuro intervento per la ricostruzione dell'assetto sismo - stratigrafico locale e l'assegnazione della Categoria del Sottosuolo attraverso il calcolo della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ($V_{s,eq}$) per la definizione dell'azione sismica di progetto richiesta dalla normativa (D.M. 17/01/2018).

In particolare, all'interno del lotto di studio è stata effettuata:

- **n. 1 prospezione sismica con tecnica MASW**, metodologia che permette la ricostruzione dell'assetto sismo - stratigrafico del sottosuolo a partire dalle modalità di propagazione delle onde superficiali di Rayleigh. Una volta definito il profilo verticale di velocità delle onde S dal piano di fondazione fino alla profondità del bedrock sismico o almeno fino alla quota di 30 m da p.c. ($V_{s,eq}$) è possibile determinare la Categoria del sottosuolo.

Nella figura seguente viene evidenziata l'ubicazione geografica dell'area oggetto di studio ed una foto aerea con il posizionamento della prova sismica di tipo MASW effettuata.

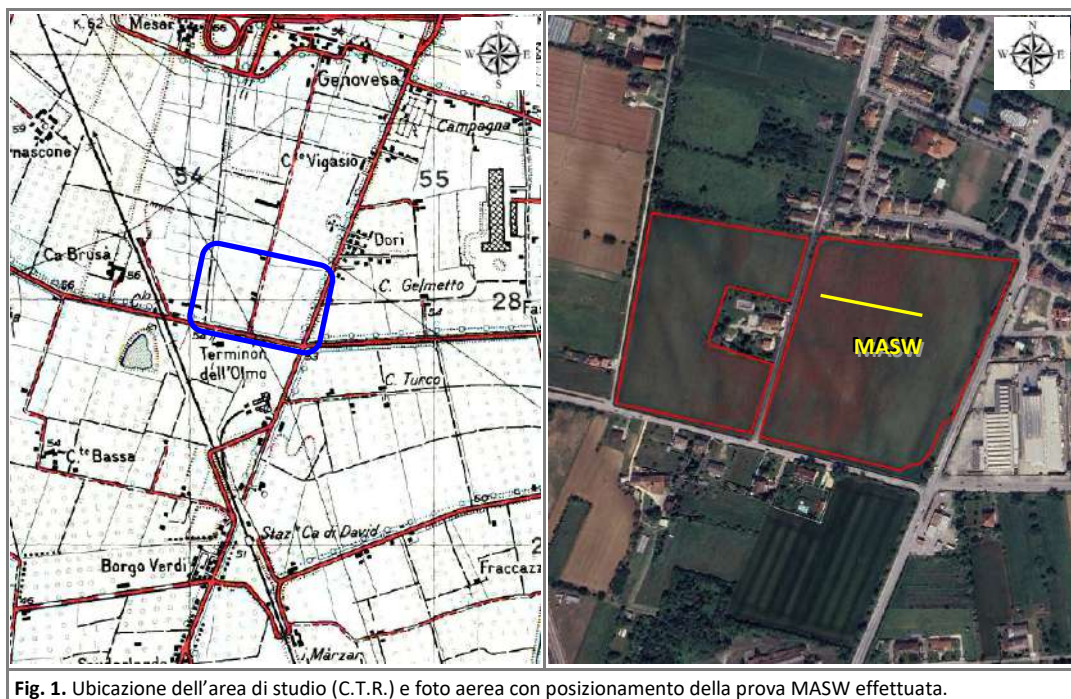


Fig. 1. Ubicazione dell'area di studio (C.T.R.) e foto aerea con posizionamento della prova MASW effettuata.

2 INDAGINE SISMICA MASW

2.1 Cenni metodologici

Il **metodo MASW** (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è una tecnica di indagine geofisica che consente la definizione del profilo di velocità delle onde superficiali di taglio (V_s) in funzione della profondità, basandosi sulla registrazione multicanale fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) disposti sulla superficie del suolo e collegati ad un sismografo, a seguito di un'energizzazione sismica artificiale del terreno. Si tratta di una metodologia di indagine sismica attiva, ossia registra le onde di superficie generate da una specifica sorgente (mazza battente) posizionata esternamente allo stendimento di geofoni ad una distanza variabile (*offset*) e sempre in asse con questo (Fig. 2).

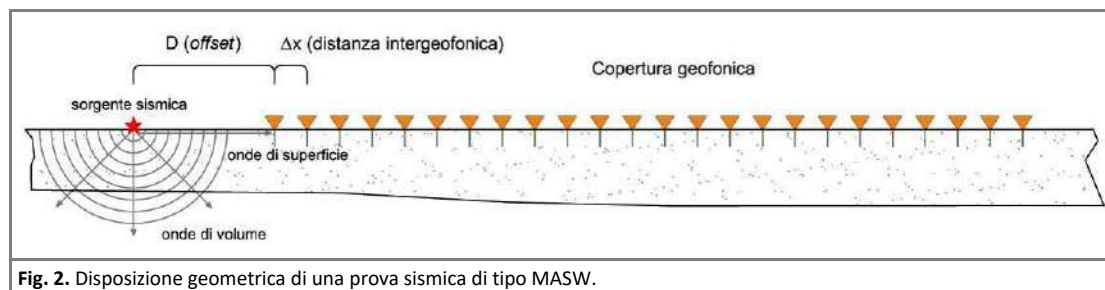


Fig. 2. Disposizione geometrica di una prova sismica di tipo MASW.

Le acquisizioni vengono eseguite con stendimenti in cui i geofoni sono collocati su una linea retta ad una distanza reciproca costante determinata dalle condizioni geologiche locali e logistiche; risulta infatti fondamentale che non vi siano variazioni stratigrafiche laterali lungo lo stendimento e che lo stesso non subisca brusche differenze di quota.

Attraverso l'analisi spettrale delle onde superficiali presenti nel segnale, la tecnica MASW consente di ricostruire il modello sismo-stratigrafico del sottosuolo attraverso la stima delle V_s . Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che si trasmettono con velocità direttamente correlate alla rigidità della porzione di terreno interessata. È sperimentalmente provata la relazione che lega le leggi del moto delle onde di Rayleigh e quelle delle onde di taglio S; la velocità delle prime è infatti influenzata direttamente da alcuni parametri quali la velocità delle onde P, la densità del mezzo ed, in particolare, proprio dalla velocità delle onde S. La propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati, avviene in maniera diversa rispetto ai mezzi omogenei; non esiste più un'unica velocità ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda che interessano il terreno a diverse profondità e che risultano condizionate dalle caratteristiche elastiche e di rigidità del sottosuolo. Lunghezza d'onda " λ ", frequenza " f " e velocità di propagazione " V " sono legate dalla relazione:

$$V = \lambda \cdot f$$

In generale, lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario lunghezze d'onda minori, poiché associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie.

Assumendo quindi che ci sia una variazione verticale della velocità, ogni componente di frequenza di un'onda di superficie ha una diversa velocità di propagazione per una ed una sola componente di frequenza. Questa caratteristica di unicità si riflette in una differente lunghezza d'onda per ciascuna frequenza: un tale comportamento è definito *dispersione*. Per osservare la dispersione di un segnale si usa un'analisi chiamata *overtone* che consente la costruzione di un grafico dove i trend delle massime ampiezze locali rappresentano l'energia dispersiva (modo fondamentale e modi superiori di propagazione).

Dall'analisi del sismogramma si costruisce un grafico denominato *spettro delle velocità* che rappresenta tutte le possibili velocità di fase per il range di frequenza di interesse. Lo studio dello spettro consente poi di definire la *curva di dispersione* che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda a cui corrispondono i massimi spettrali d'energia. Questa è estraibile con un processo di *picking* direttamente dal grafico poiché essa approssimativamente posa sui massimi del valore assoluto dello spettro stesso.

Il passo finale è il processo di *inversione* o modellazione diretta della curva di dispersione per arrivare alla definizione del profilo delle velocità delle onde S. Una volta definito un modello iniziale, dedotto dalla curva di dispersione osservata e/o ricostruito a partire da dati geologici noti del sito, il programma ricerca un profilo delle Vs la cui curva teorica di dispersione meglio si approssima a quella sperimentale corrispondente al sottosuolo del sito di indagine usando, come guida e condizioni al limite, l'errore RMS (*misfit*).

Tanto più è corretto il modello iniziale tanto più piccolo è il numero di iterazioni necessarie per raggiungere il *best fit*. A questo punto è possibile definire il modello finale le cui caratteristiche (spessori e velocità delle onde S) meglio approssimano quelle reali e si ottiene il profilo verticale delle Vs.

Sintetizzando quanto sin qui esposto, la procedura è articolata nei seguenti passi:

- acquisizione, registrazione e analisi dei dati sismici contenenti le onde di Rayleigh per un intervallo sufficientemente ampio di frequenze;
- determinazione dello spettro del segnale con velocità di fase in funzione della frequenza (dominio "f - V") o numero d'onda – frequenza (dominio "f - k");
- identificazione e picking della curva di dispersione, cioè determinazione dei punti che sullo spettro di velocità appartengono ad un certo modo di propagazione dell'onda superficiale;
- inversione della curva di dispersione e/o modellazione diretta della velocità delle onde di superficie, attraverso iterazioni successive per la definizione di un modello finale le cui caratteristiche (spessori e velocità delle onde S) meglio approssimano quelle reali.

Quest'ultimo processo può essere facilitato e perfezionato attraverso la conoscenza della stratigrafia locale, in funzione della quale vengono definiti modulo di Poisson, spessore degli strati e velocità delle onde S; analizzando e confrontando i vari parametri è possibile trovare la soluzione che meglio rappresenta la realtà geologica del sito indagato.

2.2 Acquisizione dati MASW

Per l'esecuzione dell'indagine sismica MASW si è utilizzata la seguente strumentazione:

- sismografo a 24 canali "*Pasi - Gea 24*";
- cavi sismici da 12 tracce con connettori per geofoni e spaziatura max 5 m;
- geofoni verticali da 4,5 Hz;
- geofono starter (*trigger*);
- mazza battente da 8 kg;
- piattello di battuta in alluminio (dim. 20 x 20 x 5 cm);
- pc portatile.

L'indagine è stata realizzata al centro dell'area verde ad Est rispetto a Via Apollo, dove saranno concentrati i volumi edilizi della lottizzazione e sviluppata in un *array* lineare con n°12 geofoni posti ad una distanza reciproca costante di 3 m per una lunghezza complessiva di 33 m.



Fig. 3. Panoramica dell'area dove sono stati posizionati i sensori per lo stendimento sismico con tecnica MASW.

L'energizzazione per la generazione delle onde di superficie è fornita dalla mazza battente su una piastra metallica posizionata esternamente allo stendimento ad una distanza di 4 m dal 1° geofono (*offset*). L'istante di tempo zero, ovvero il segnale d'inizio registrazione, è inviato allo strumento da un geofono *trigger* posizionato sul terreno accanto al piattello di battuta. Per attenuare il possibile rumore incoerente derivante dall'esterno e migliorare la qualità del dato sono state effettuate n. 5 acquisizioni e si è poi proceduto a farne una media (*stacking*).

Di seguito si riportano le geometrie e i parametri di acquisizione dell'indagine effettuata:

ID. INDAGINE	NUMERO GEOFONI	SPAZIATURA GEOFONI (Δx)	LUNGHEZZA STENDIMENTO (L)	OFFSET ENERGIZZAZIONE (D)	PASSO DI CAMPIONAMENTO	DURATA REGISTRAZIONE
MASW	12	3,0 m	33,0 m	4,0 m	0,5 ms (2000 Hz)	2,0 s

2.3 Elaborazione e interpretazione dei risultati

Per l'interpretazione dei dati è stato impiegato il software *Surface Plus* prodotto da *Geogiga* (Canada), il quale consente la determinazione di profili verticali della velocità delle onde di taglio con il metodo diretto attraverso gli algoritmi genetici a partire dal calcolo dello spettro delle velocità e dal *picking* della curva di dispersione, individuata direttamente sullo spettro del segnale identificando i massimi spettrali di energia.

Nella figura seguente si riportano i dati acquisiti per lo stendimento MASW sotto forma di sismogramma (Fig. 4). I dati sono stati sottoposti ad una fase iniziale di pulitura digitale (*dc remove, cuttings, resize*) al fine di ridurre i rumori di fondo e aumentare ove possibile il rapporto segnale/rumore, esaltando le onde di superficie. Il segnale appare nel complesso pulito con alto rapporto segnale / rumore e basso *noise* ad elevata frequenza, il che permette una buona interpretazione del dato.

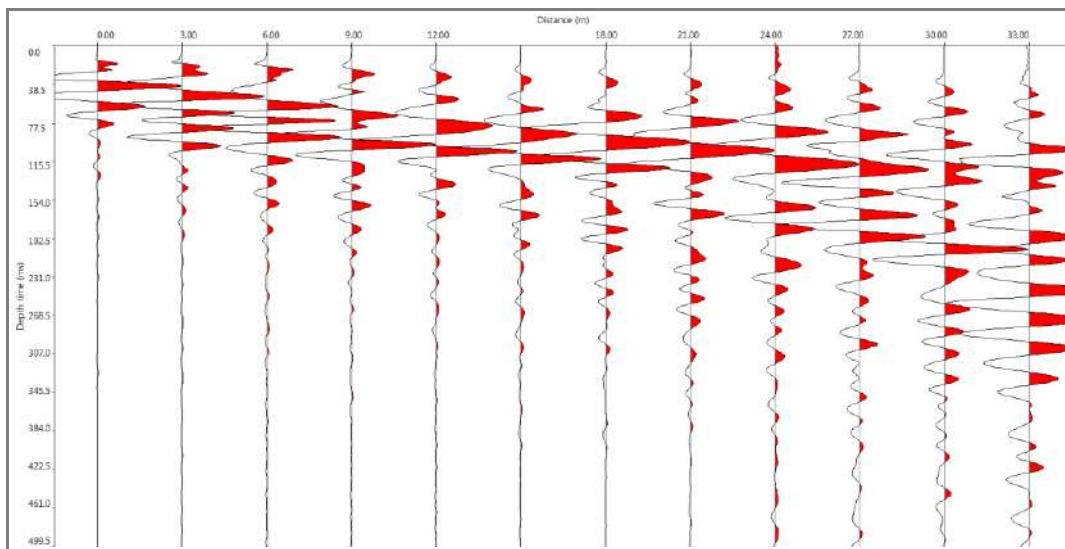


Fig. 4. Sismogramma acquisito relativo all'indagine MASW.

Nella figura alla pagina seguente si riporta lo **spettro delle velocità** ottenuto esaminando tutte le possibili velocità di fase per il range di frequenza più significativo, all'interno del quale è stata individuata la **curva di dispersione** sperimentale.

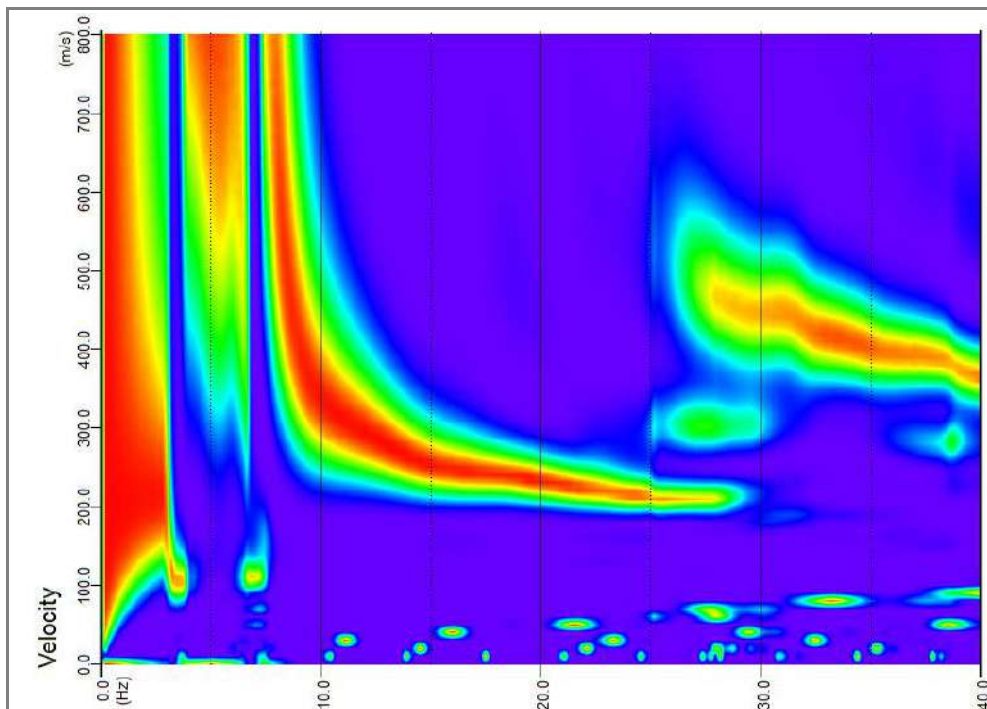


Fig. 5. Spettro delle velocità ottenuto rappresentando per ogni velocità di fase la relativa frequenza di propagazione.

La fase di *processing* digitale del segnale ha permesso di ottimizzare l'identificazione dello spettro relativo alle onde di superficie; pur comparendo alle medio - alte frequenze alcuni modi superiori di propagazione dell'onda, il modo fondamentale risulta nel complesso ben visibile ed è possibile estrapolare un dato preciso per le frequenze di interesse.

Di seguito si riporta la curva di dispersione sperimentale osservata e quella derivante dal modello elaborato mediante il *software* di interpretazione; come si osserva dal grafico la sovrapposizione tra le due curve è buona con un errore di *misfit* molto basso.

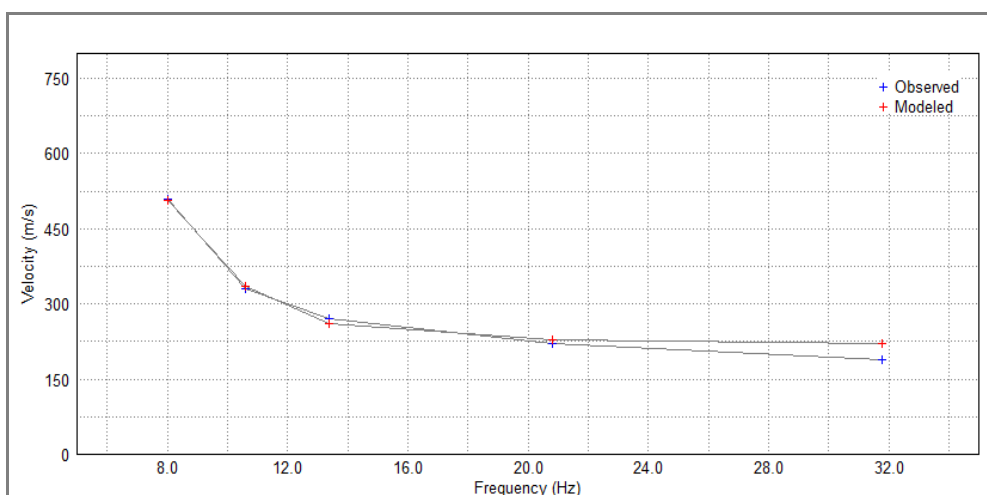


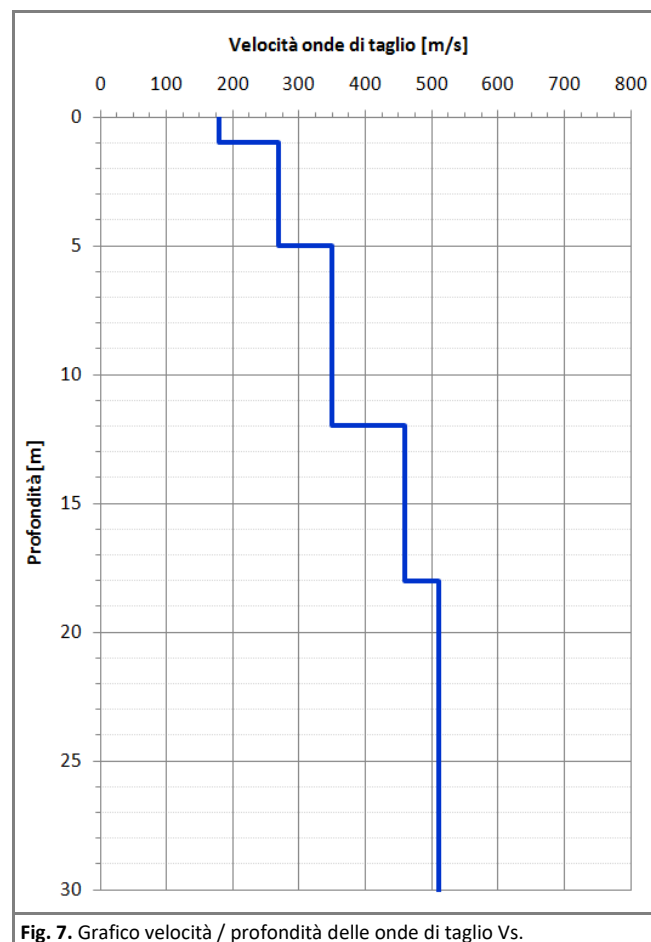
Fig. 6. Curva di dispersione sperimentale osservata e derivante dal modello.

2.4 Modello sismo-stratigrafico del sottosuolo

Il profilo sismo - stratigrafico verticale ricavato dalla modellazione diretta della curva di dispersione sperimentale è riportato nella tabella seguente.

Sismostrato	Profondità (m da p.c.)	Spessore (m)	Velocità onde di taglio (m/s)
I	0,0 ÷ 1,0	1,0	180
II	1,0 ÷ 5,0	4,0	270
III	5,0 ÷ 12,0	7,0	350
IV	12,0 ÷ 18,0	6,0	460
V	> 18,0	semispazio	510

Il modello mostra la presenza di depositi da mediamente a ben addensati fin dal primo sottosuolo. Al di sotto di un orizzonte soffice superficiale ($V_s = 180$ m/s) di spessore metrico, sono presenti sedimenti progressivamente più rigidi con velocità in crescita da 270 m/s (depositi mediamente addensati) fino a raggiungere 510 m/s (terreno ben addensato) a partire da 18 m da piano campagna. La prova non ha evidenziato inversioni di velocità. Il profilo verticale delle onde S è il seguente:



3 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE

Dall'analisi del profilo verticale ottenuto è possibile calcolare la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ($V_{s,eq}$) da cui ricavare la Categoria di Sottosuolo come espressamente richiesto dalla normativa vigente (D.M. 17/01/2018). Il parametro $V_{s,eq}$ si calcola attraverso la relazione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove:

- h_i è lo spessore (in m) dell' i_{esimo} strato;
- $V_{s,i}$ è la velocità (in m/s) delle onde di taglio nell' i_{esimo} strato;
- N è il numero di strati;
- H è la profondità del bedrock sismico rispetto al piano di imposta delle fondazioni (il bedrock sismico è definito come quell'orizzonte costituito da roccia o terreno molto rigido caratterizzato da $V_s \geq 800$ m/s).

Per depositi con profondità H del substrato sismico superiore a 30 m, come per il caso in esame, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$. A seguire si riportano i valori di $V_{s,30}$ riferibili ai primi metri di sottosuolo.

Profondità piano di posa delle fondazioni	$V_{s,eq}$	Categoria di Sottosuolo
0 m dal p.c.	$V_{s(0-30)} = 390$ m/s	B
1 m dal p.c.	$V_{s(1-31)} = 409$ m/s	B
2 m dal p.c.	$V_{s(2-32)} = 419$ m/s	B
3 m dal p.c.	$V_{s(3-33)} = 429$ m/s	B

Dalla ricostruzione del quadro geofisico emerso dall'indagine e dal calcolo del parametro $V_{s,eq}$, il sito in esame si colloca nella **categoria di sottosuolo "B"** così definita: rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 e 800 m/s.

San Giovanni Lupatoto, 27 febbraio 2024

Dott. Geol. Gionata Andreis