

CITTÀ METROPOLITANA DI VENEZIA

Settore Viabilità di Quartiere e Locale Terraferma, Energia e Impianti
Servizio Manutenzione e Gestione Viabilità di Quartiere e Locale Terraferma



MANUTENZIONE VIABILITÀ DI QUARTIERE TERRAFERMA

- PROGETTO ESECUTIVO C.I. 15189 -

COMMITTENTE

CITTÀ DI VENEZIA

Viale Ancona, 59
30172 Mestre (VE)
tel +39 041 274811

RESPONSABILE UNICO DEL PROGETTO

dott. Alberto Cesaro

PROGETTISTI



Studio associato ingegneria dei trasporti
[REDACTED]

COLLABORATORI



Studio di ingegneria
[REDACTED]

COLLABORATORI



GIOVANE PROFESSIONISTA



REV	DATA	DESCRIZIONE
00	05.09.2025	

ELABORATO

N.

RELAZIONE GEOLOGICA
VIA PADANA

704

DATA

SCALA

CODICE COMMESSA

05.09.2025

CVEPS25 533

CODICE ELABORATO

25.533.704.X.RE.PE.00.GEO_PAD

COSTRUZIONI SEMENZATO S.r.l.
Via Torino, 65/A
30172 VENEZIA

COMUNE DI VENEZIA
VIA PADANA, LOC. CA' SABBIONI – ORIAGO (VE)

INDAGINI DI CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

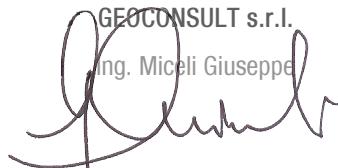
RELAZIONE GEOLOGICA

DOTT. GEOL. MATTEO VIAN



DOTT. GEOL. BASILIO ZANNINELLO



GEOCONSULT s.r.l.
Ing. Miceli Giuseppe


L7R1.5553

Quinto di Treviso, settembre 2025

1. PREMESSA

Per incarico della committente è stata eseguita un'indagine per la caratterizzazione geologica e geotecnica di un'area ubicata in via Padana, località Ca' Sabbioni ad Oriago nella Città Metropolitana di Venezia (Figura 1 – Figura 2).

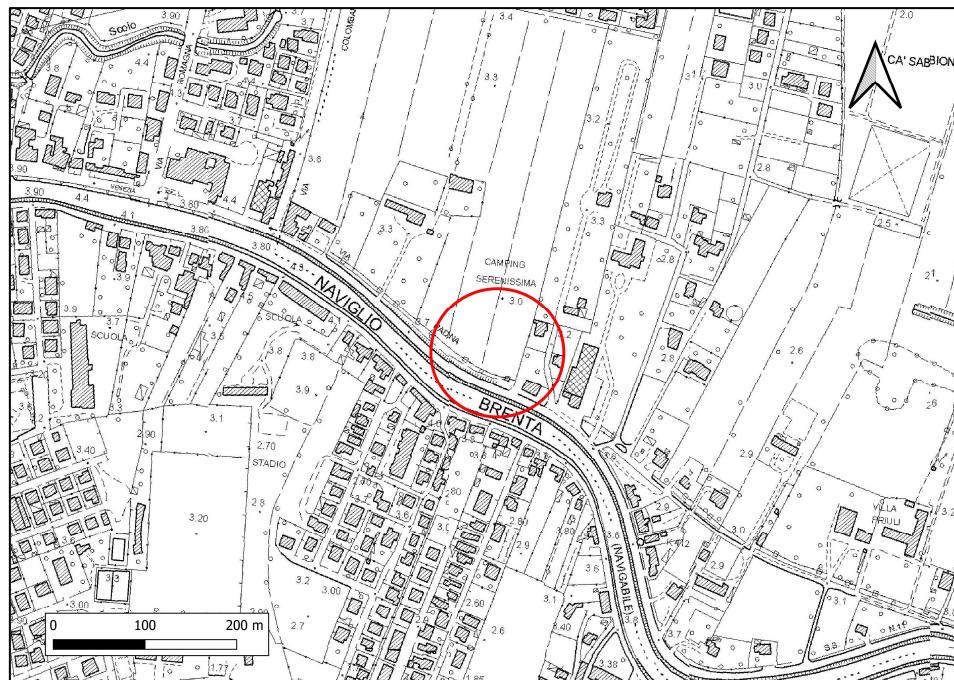


Figura 1 – Estratto di CTR con ubicazione dell'area oggetto di intervento.



Figura 2 – Immagine satellitare con ubicazione dell'area oggetto di intervento.

Per la caratterizzazione del sottosuolo sono state eseguite le seguenti indagini:

- n°1 prova penetrometrica statica (CPT) spinta fino alla profondità di -20,0 m dal p.c.. Per l'esecuzione della prova è stato utilizzato un penetrometro statico (PAGANI modello TG 63-200 cingolato) e al termine della prova è stato rilevato il livello dell'acqua in foro;
- n°1 indagine geofisica di sismica passiva a stazione singola HVSR, utilizzando Tromino® prodotto da Moho S.r.l.

Le modalità di esecuzione delle indagini sono descritte in seguito, mentre la loro ubicazione è riportata nella planimetria di Figura 14.

In allegato alla presente relazione si riportano i seguenti elaborati:

- Allegato 1: Tabelle, dati e diagrammi della prova penetrometrica statica;
- Allegato 2: Report misura di microtremori;
- Allegato 3: Documentazione fotografica.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La normativa di interesse specifico per la presente relazione è la seguente:

- D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento Norme Tecniche per le Costruzioni" (NTC 2018);
- Circ. Min. 21/01/2019 "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni";
- D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" (NTC 2008);
- Circ. Min. 02/02/2009 "Istruzioni per l'applicazione delle norme tecniche";
- O.P.C.M. 3274/2003 e succ. modd.;
- O.P.C.M. 3519/2006;
- "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" – D.M. 11/03/1988;
- Istruzioni applicative al D.M. 11.03.88 – Circ. Min. LL.PP. 24.09.88 n° 30483;
- "Raccomandazioni A.G.I. riguardanti l'esecuzione e programmazione delle indagini geotecniche" – A.G.I. 1977.

3. DEFINIZIONE TERRITORIALE

3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Il territorio di Oriago ricade nell'ambito della Bassa Pianura Veneta. La Pianura, di cui fa parte il sito in esame, è costituita da una coltre di depositi alluvionali del Quaternario, senza soluzione di continuità, di origine essenzialmente fluviale-fluvioglaciale. La deposizione di tali materiali sciolti si deve principalmente all'attività dei fiumi che hanno interessato questa porzione di territorio. Essi hanno infatti cambiato ripetutamente percorso a valle del loro sbocco montano interessando aree molto ampie fino a coprire migliaia di km², costituendo strutture a ventaglio denominate conoidi o megafan. In particolare, l'area in esame appartiene al sistema morfo-sedimentario del Fiume Brenta (Figura 3).

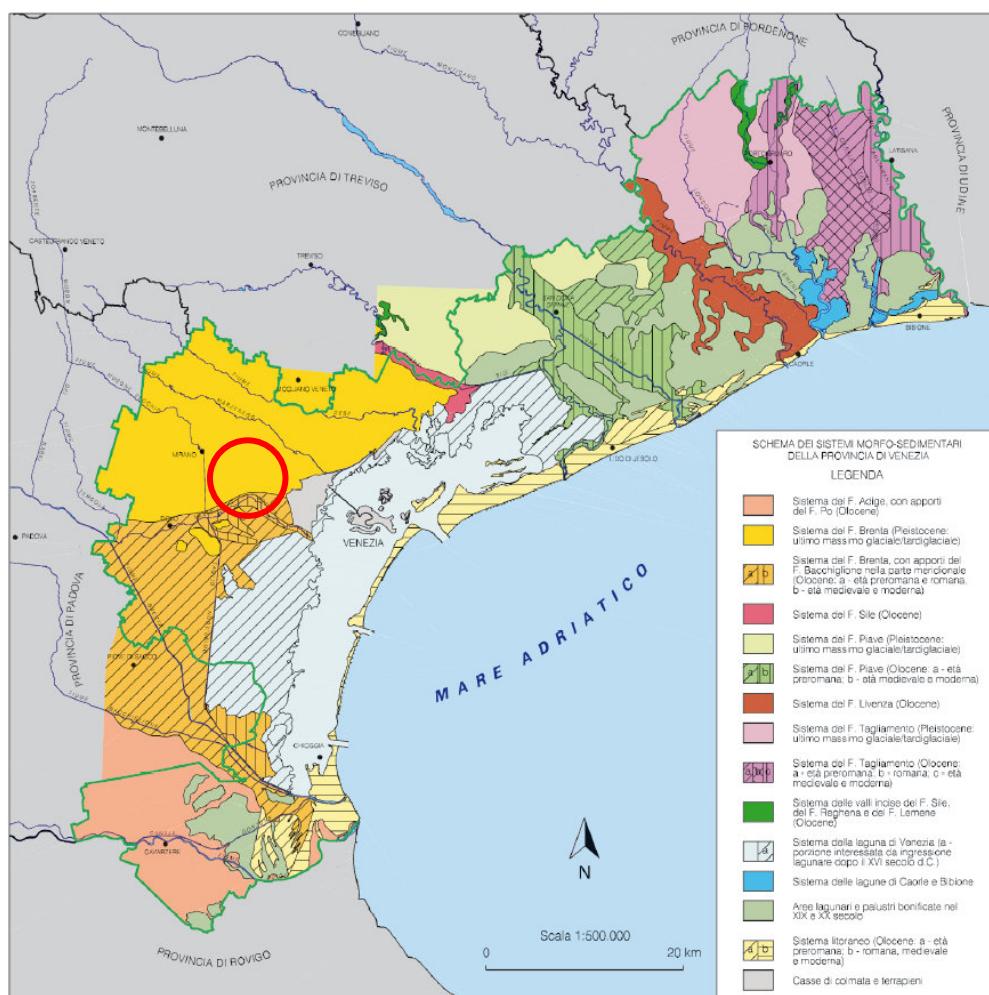


Figura 3 – Carta dei sistemi morfo-sedimentari della Provincia di Venezia.

Le principali strutture geomorfologiche che caratterizzano questa parte di pianura sono i numerosi dossi fluviali che convergono verso il margine interno della laguna (Figura 4). Queste strutture hanno estensione da poche centinaia di metri ad 1 km, mentre presentano un rilievo rispetto al piano campagna di 2-3 metri. I dossi fluviali corrispondono ad antichi decorsi fluviali, pensili rispetto alla pianura e che sono riconducibili alle principali direttrici di deflusso del Brenta. Strutturalmente un dosso fluviale evidenzia nella maggior parte dei casi, una parte centrale caratterizzata da depositi sabbiosi propri di alveo attivo e, lateralmente, da depositi di tipo argilloso-limoso. Spesso le ultime fasi di attività dei dossi hanno comportato la deposizione di sedimenti limosi, che quindi ricoprono completamente le sabbie. In contrapposizione ai dossi vi sono le aree depresse che rappresentano porzioni di territorio altimetricamente più basse di forma concava e denominate aree di interdosso.

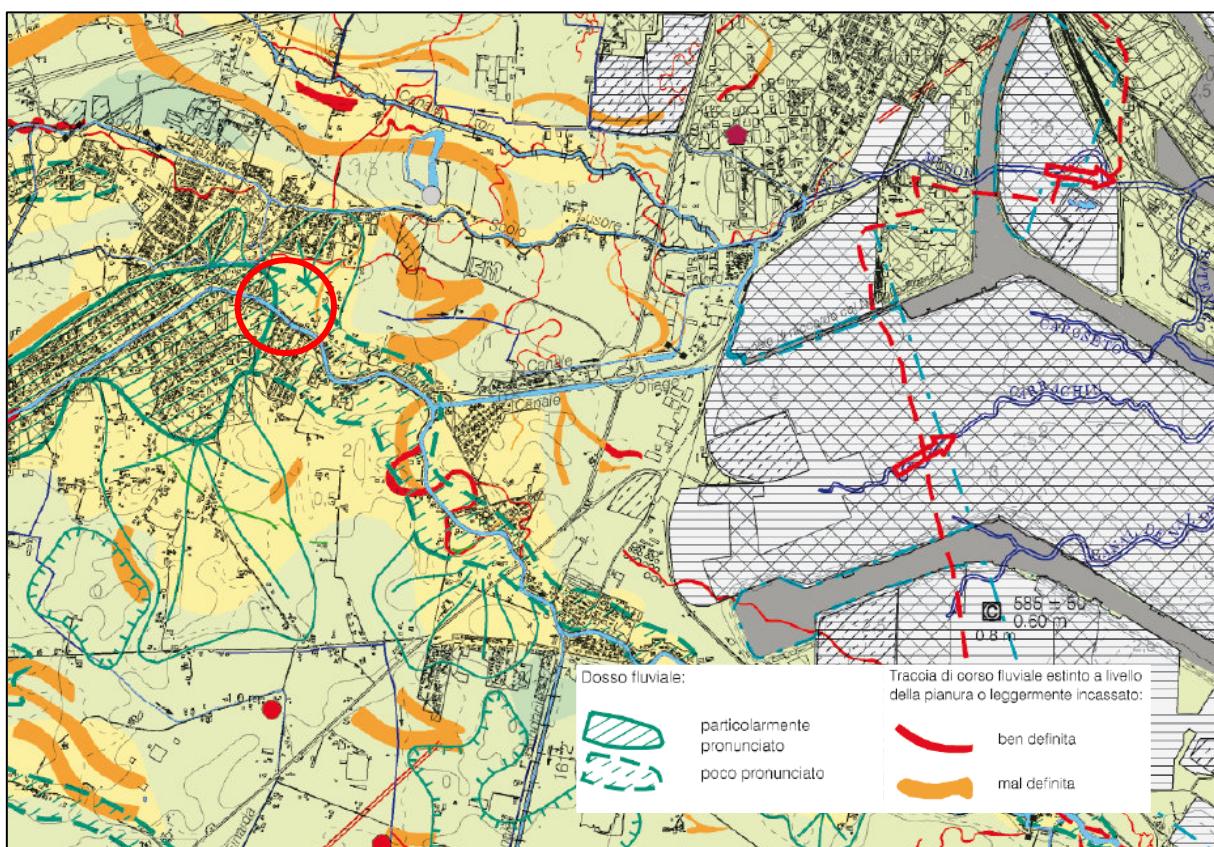


Figura 4 – Estratto della Carta Geomorfologica della Provincia di Venezia.

Dalla Carta Geomorfologica del PAT di Venezia (Figura 5), il sito in esame sorge in prossimità di un dosso fluviale che segue grosso modo il corso del Naviglio Brenta.

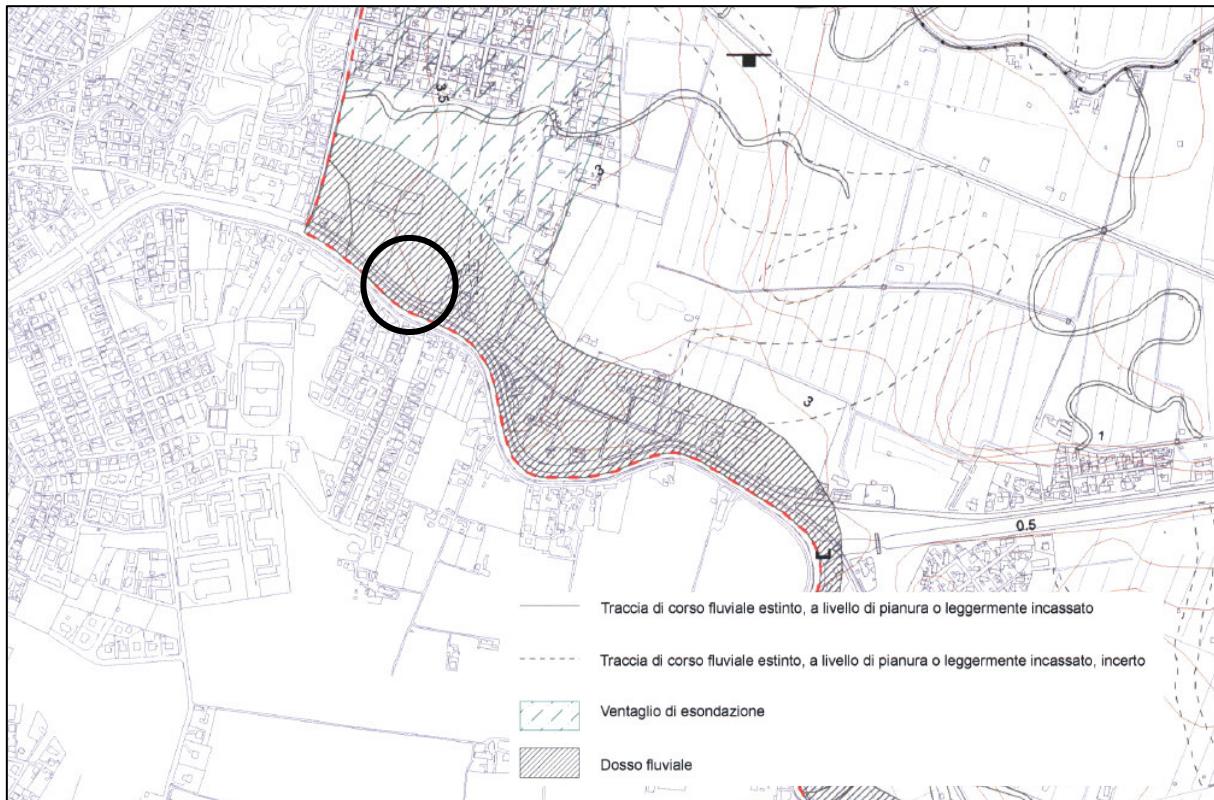


Figura 5 – Estratto della Carta Geomorfologica del PAT di Venezia.

Il territorio comunale, ricadendo nella Bassa Pianura, è caratterizzato da una complessa successione deposizionale, in cui orizzonti limoso-argilosi si trovano alternati a livelli sabbiosi fini. La granulometria dei depositi può variare rapidamente in senso laterale ed in profondità in conseguenza dell'interdigitazione dei depositi a prevalente componente sabbiosa od argillosa, derivanti dall'interazione fra ambienti tipicamente fluviali con ambienti palustri dove avveniva la lenta deposizione di depositi fini.

Dalla Carta Litologica del PAT di Venezia (**Figura 6**), l'area in esame è caratterizzata da “*Materiali alluvionali, fluvioglaciali, morenici o lacustri a tessitura prevalentemente limo argillosa*”.

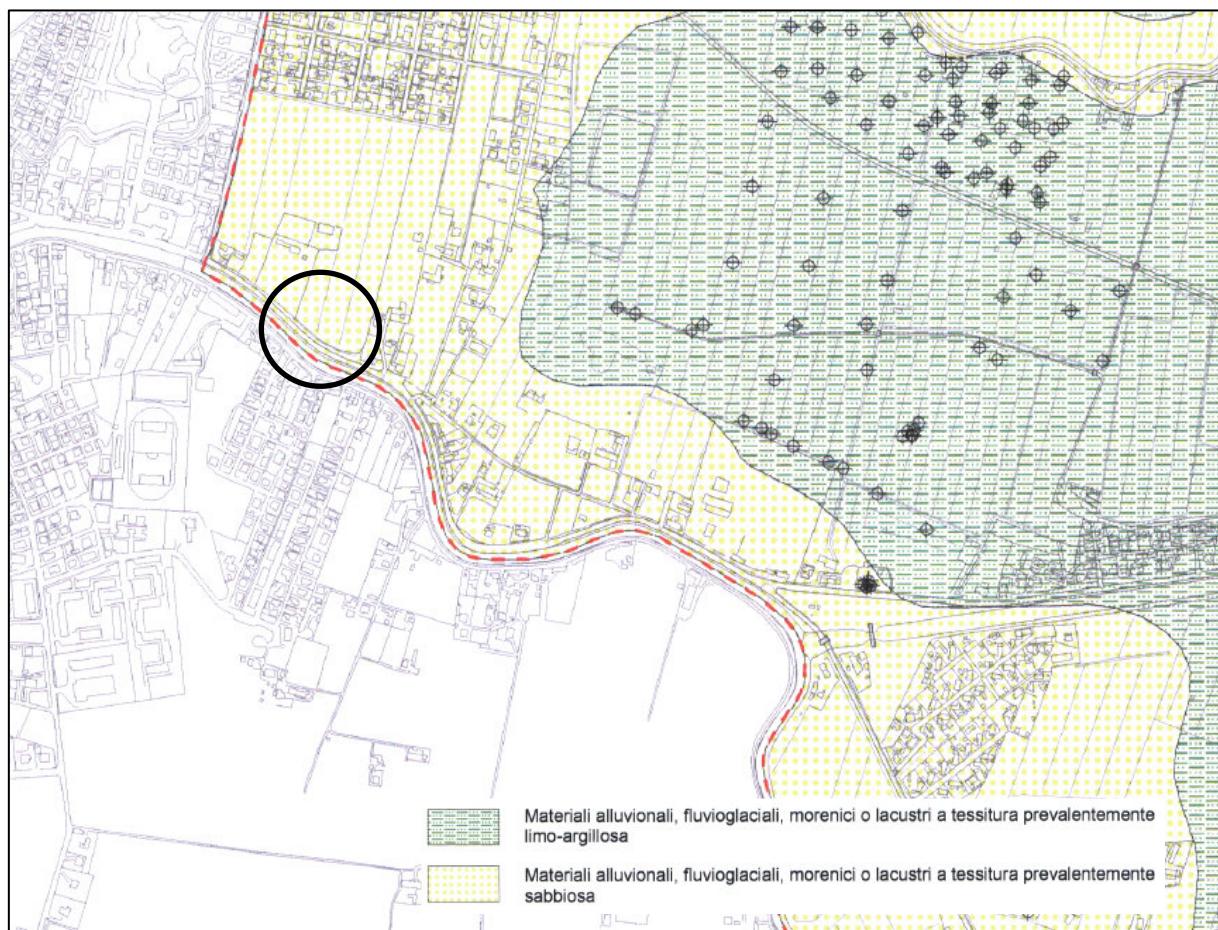


Figura 6 – Estratto della Carta Litologica del PAT di Venezia.

3.2 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Il territorio di Oriago ricade nell'ambito della Bassa Pianura dove le alluvioni fluviali si intercalano spesso con sedimenti di origine marina, lacustre e palustre. I processi di sedimentazione fluviale in ambito di pianura hanno portato alla deposizione di materiali a granulometria fine con una notevole variabilità laterale di facies legata alla presenza di macroforme sedimentarie che risultano dalla sedimentazione cumulativa che spazia in tempi anche lunghi.

Da ciò risulta che i depositi appartenenti ad ogni singolo sistema fluviale non sono sufficientemente delineabili e distinguibili da permettere di creare delle unità di pertinenza relative ad ogni singolo corso d'acqua o riconducibili a formazioni geologiche differenziate o di facies specifiche. Nella loro complessa eterogeneità, tali depositi si possono definire come un ripetersi omogeneo dell'alternanza di limi, sabbie ed argille compenetrate o alternate in strati differenziati, a seconda delle particolari condizioni paleoambientali di deposizione.

Dal punto di vista idrogeologico il sottosuolo della Bassa Pianura è caratterizzato da un sistema multifalda costituito da una falda freatica superficiale e una serie di acquiferi confinati sovrapposti, alloggiati all'interno degli strati sabbiosi e separati da orizzonti limosi e argillosi impermeabili. Dalla Carta delle Isofreatiche del Veneto (Figura 7) la profondità della falda freatica risulta compresa tra 0 e 1 m s.l.m.m.

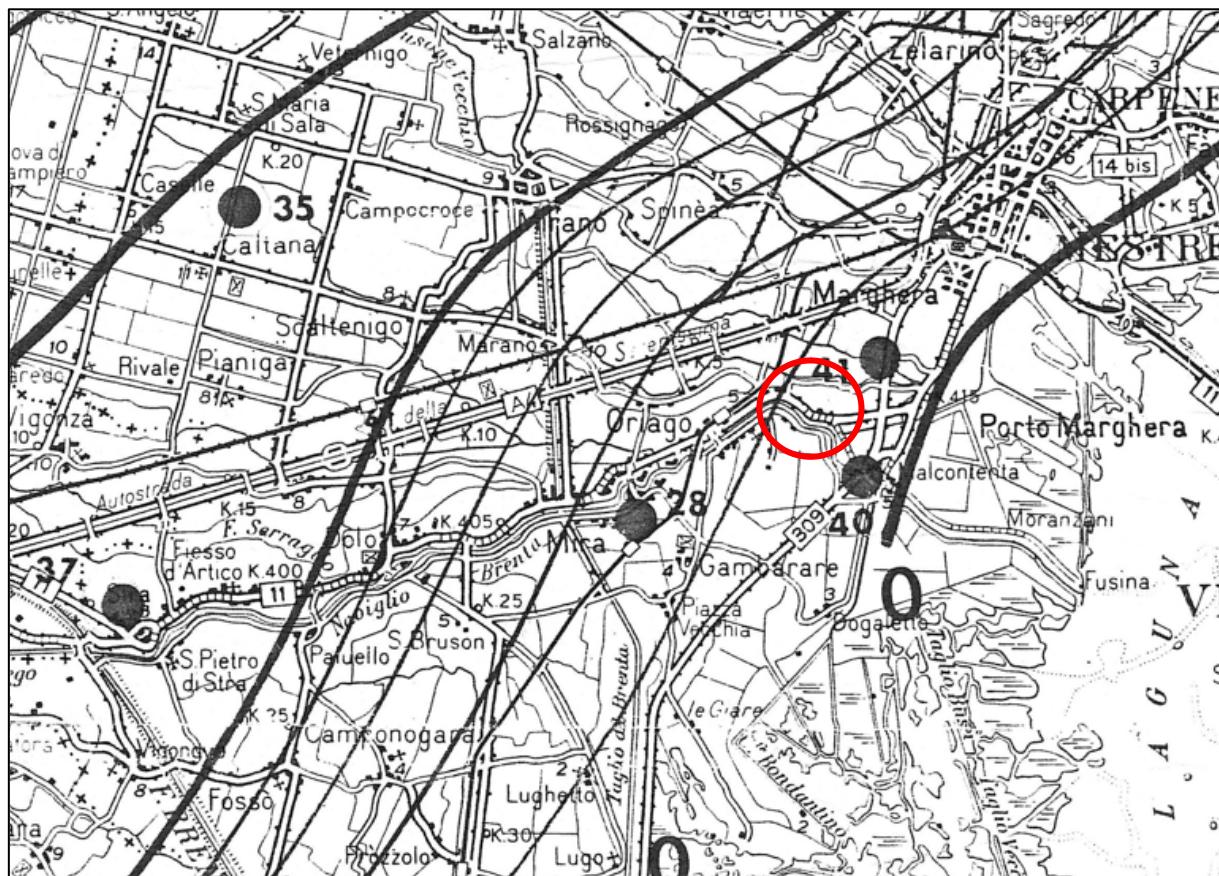


Figura 7 – Estratto dalla Carta delle Isofreatiche del Veneto.

3.3 COMPATIBILITÀ GEOLOGICA E IDRAULICA

Dalla Carta delle Fragilità del PAT di Venezia (Figura 8) emerge che l'area in esame è “Aree idonee a condizione G (Aree con corpi idrici ricettori in trasformazione – Progetto Moranzani)” ai fini edificatori. Per tale area valgono le seguenti prescrizioni:

“Aree idonee a condizione G

Aree con corpi idrici ricettori in trasformazione – Progetto Moranzani

Rientrano in questa condizione le zone di terraferma comprese tra località Catene e Marghera e le aree e con corpi idrici ricettori in trasformazione, ovvero tali zone del territorio risulteranno caratterizzate dalle trasformazioni conseguenti la realizzazione del cosiddetto “Progetto vallone Moranzani”.

Rientrano in questa condizione le zone di terraferma comprese tra località Catene e Marghera.

Tali aree sono costituite in prevalenza da depositi naturali limoso-argillosi e sabbiosi aventi medio-buone risposte geotecniche, seppur variabili nello spazio, caratterizzate da buone condizioni di drenaggio naturale e con corpi idrici ricettori in trasformazione. ovvero tali zone del territorio risulteranno caratterizzate dalle trasformazioni conseguenti la realizzazione del cosiddetto “Progetto vallone Moranzani”.

Come già riportato nella Carta Litologica, sebbene rappresentativa del solo primo metro di profondità, l'area di pianura veneziana è articolata in una serie di dossi fluviali sabbiosi connessi ad aree di interdrosso limoso-argillose e disposti alternativamente in successione verticale. Per tale motivo, pur essendo rappresentati alcuni corpi sabbiosi superficiali nella cartografia geologica del PAT, si hanno a profondità maggiori di 1 metro, e quindi di rilevanza fondamentale per eventuali interventi urbanistici, cospicui corpi sabbiosi spessi anche più di 10-20 metri ed ospitanti una falda freatica la cui superficie si trova a circa 1-2 metri dal piano campagna.

SPECIFICHE TECNICHE:

Per tali aree, data la loro idoneità geologica, non vengono date particolari specifiche tecniche, ma si ricorda che qualsiasi progetto, la cui realizzazione preveda una interazione con i terreni e con l'assetto idraulico presente, è sottoposto alle disposizioni presenti e nelle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" DM Infrastrutture 14 gennaio 2008 pubblicato su S.O. n. 30 alla G.U. 4 febbraio 2008, n. 29, Cap. 6 "Progettazione geotecnica" (vd. Paragrafo 8.8.1)e successive modifiche e aggiornamenti.

Queste zone, definite con corpi idrici recettori in trasformazione nella Valutazione di Compatibilità Idraulica elaborata per il PAT da Ingegneria 2P, risultano caratterizzate dalle trasformazioni in essere dovute alla realizzazione del cosiddetto "Progetto Vallone Moranzani" che prevede la riqualifica del sistema Idrografico principale (acque pubbliche e di bonifica) in modo da poter sopportare eventi con tempo di ritorno di 100 anni. Attualmente però la condizione di rischio idraulico è paragonabile a quella della zona centrale e in tale area nelle condizioni attuali non si ritiene possibile ricevere contributi idrici da trasformazioni urbane che superano il valore di 11/s/ha."

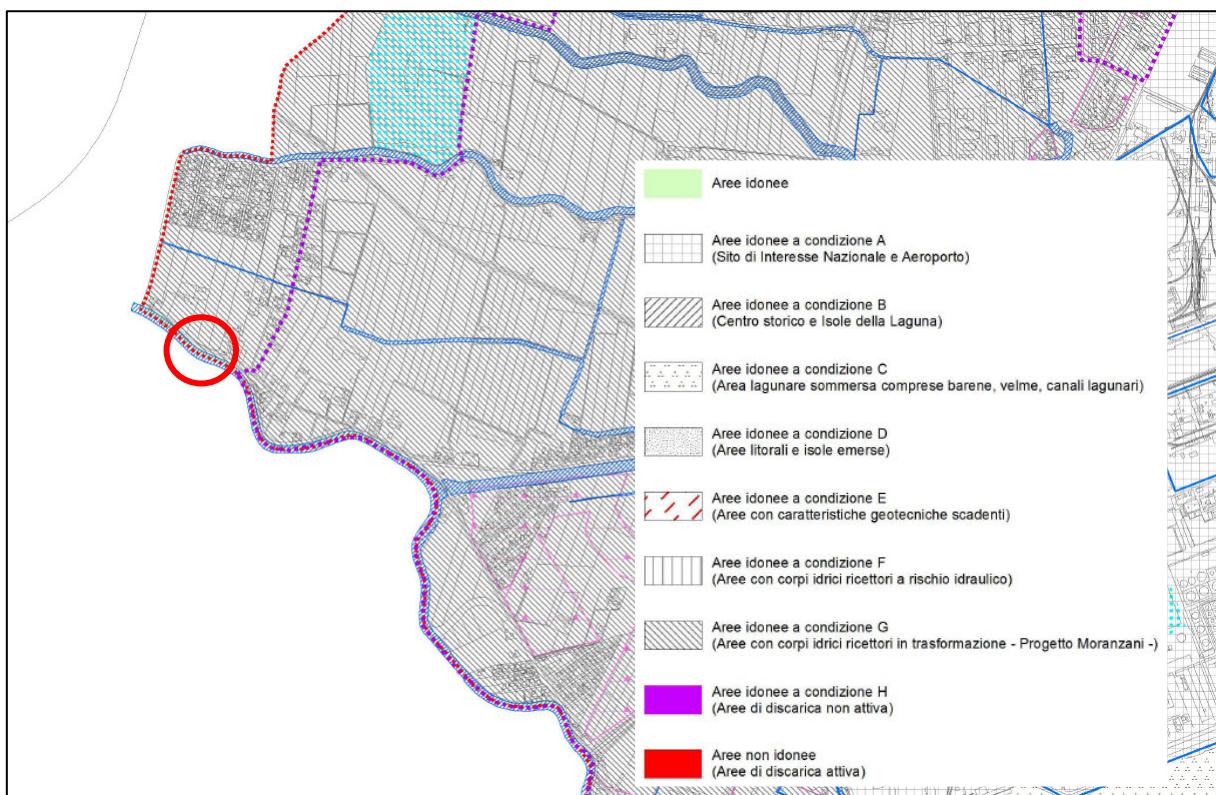


Figura 8 – Estratto della Carta delle Fragilità del PAT di Venezia.

Per quanto riguarda la pericolosità idraulica si fa riferimento al Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni. In data 21 dicembre 2021 la Conferenza Istituzionale Permanente dell'Autorità di bacino distrettuale delle Alpi Orientali ha adottato il primo aggiornamento del Piano di gestione del rischio alluvioni ai sensi degli articoli 65 e 66 del D.lgs. n. 152/2006. Il Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) è lo strumento operativo previsto dalla legge italiana, per individuare e programmare le azioni necessarie a ridurre le conseguenze negative delle alluvioni per la salute umana, il territorio, i beni, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche e sociali (D.lgs. n. 49 del 2010, in attuazione della Direttiva Europea 2007/60/CE, "Direttiva Alluvioni"). Il PGRA viene predisposto a livello di distretto idrografico e aggiornato ogni 6 anni. Nel P.G.R.A sono individuate le aree allagabili

in diversi ambiti di rischio (fluviale, lacuale, marino, afferente la rete idraulica secondaria di pianura e la rete idraulica secondaria collinare e montana) per tre scenari di differente frequenza/gravità (alluvioni rare di estrema intensità (L), alluvioni poco frequenti (M), alluvioni frequenti (H)) e le caratteristiche dinamiche delle acque di esondazione. Per le alluvioni di origine fluviale i tempi di ritorno utilizzati nelle modellazioni per i bacini nazionali sono rispettivamente 30 anni per lo scenario di alta probabilità (HP), 100 anni per lo scenario di media probabilità (MP) e 300 anni per lo scenario di bassa probabilità (LP); pertanto, gli intervalli di riferimento per la valutazione della probabilità di accadimento dei fenomeni alluvionali sono: probabilità elevata ($Tr < 30$ anni), media ($30 < Tr < 100$ anni) e probabilità bassa ($100 < Tr < 300$ anni).

La classificazione della pericolosità idraulica nei territori di pianura viene relazionata alla probabilità di accadimento di un evento alluvionale e alla sua intensità attraverso la matrice di BUWAL (Heinimann, 1998).

Le probabilità di accadimento sono quelle menzionate in precedenza, mentre l'intensità dei fenomeni è al tirante idrico, assumendo il valore di 1 m per distinguere tra l'intensità bassa e quella media, e la velocità ($v \geq 1$ m/s) per individuare tutte quelle situazioni per le quali la velocità è sicuramente di intensità elevata, superiore o uguale a tale valore, come ad esempio nelle immediate prossimità dei rilevati arginali a seguito della formazione di brecce.

Sono pertanto individuate tre classi di intensità sulla base dei seguenti criteri idraulici:

intensità bassa: $h < 1$ m;

intensità media: $h \geq 1$ m;

intensità elevata: $v \geq 1$ m/s.

Sono individuate tre classi di pericolosità, moderata (P1), media (P2) ed elevata (P3) tramite la matrice BUWAL riportata in seguito. È prevista inoltre una campitura specifica per indicare le aree con pericolosità elevata che derivano da zone originariamente classificate come P4 nei PAI e PAIR. In particolare, la classe P3 è ulteriormente suddivisa in due sottoclassi identificate come P3a e P3b che sono utilizzate per rappresentare, rispettivamente, le aree precedentemente classificate come P3 e P4.

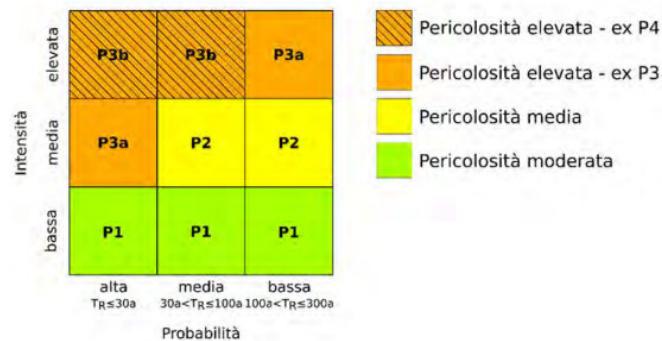


Figura 9 – Matrice di interazione

L'area oggetto di intervento ricade all'interno del distretto delle Alpi Orientali, nel bacino scolante nella laguna di Venezia. Nella cartografia del P.G.R.A. adottato il 12 dicembre 2021, l'area oggetto di intervento ricade in una zona a pericolosità idraulica moderata P1 (Figura 10). Di seguito si riportano gli estratti della carta di pericolosità idraulica e delle carte che raffigurano i tirati idrici massimi attesi nel caso di eventi di piena con tempi di ritorno di 30 (nessun allagamento), 100 ($0.0 < h < 0.5$ m) e 300 anni ($0.0 < h < 0.5$ m).

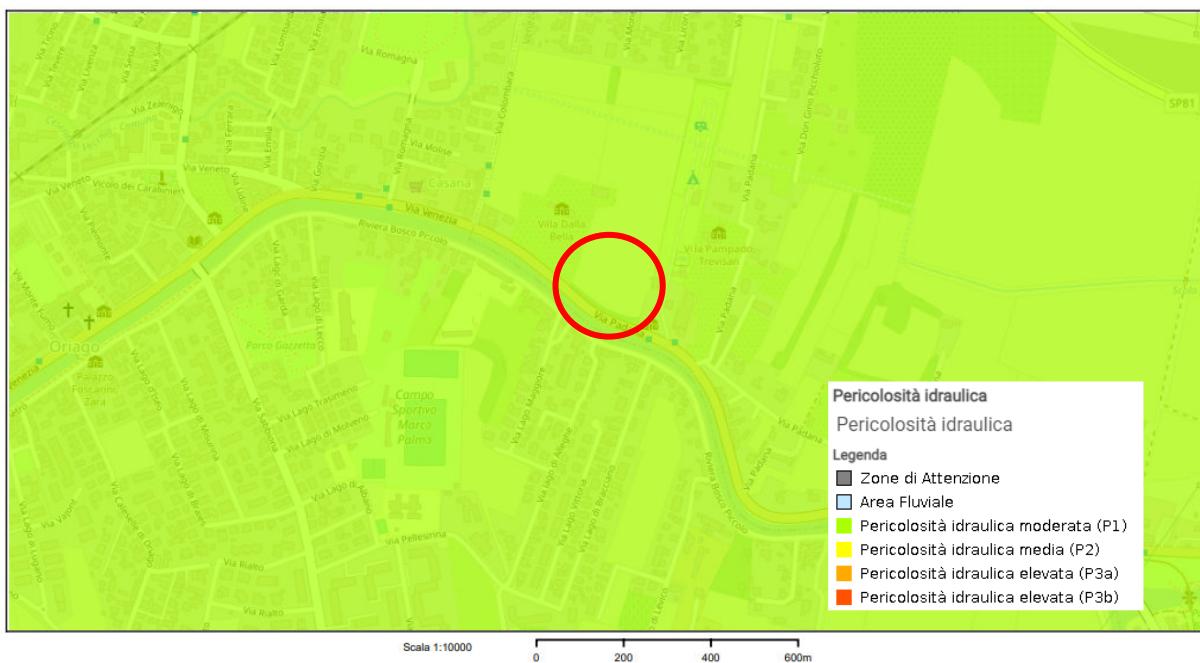


Figura 10 – Estratto della carta di pericolosità idraulica

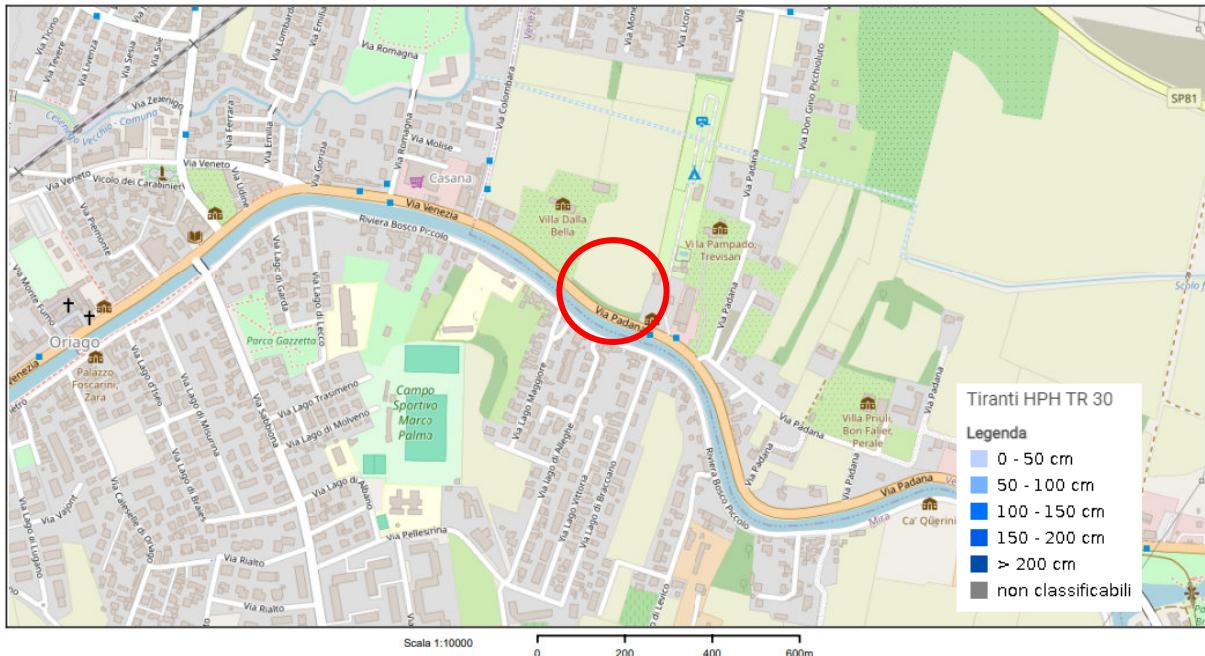


Figura 11 – Massimo tirante idrico che si realizza in seguito al verificarsi di un evento di piena con Tr=30 anni: nessun allagamento.

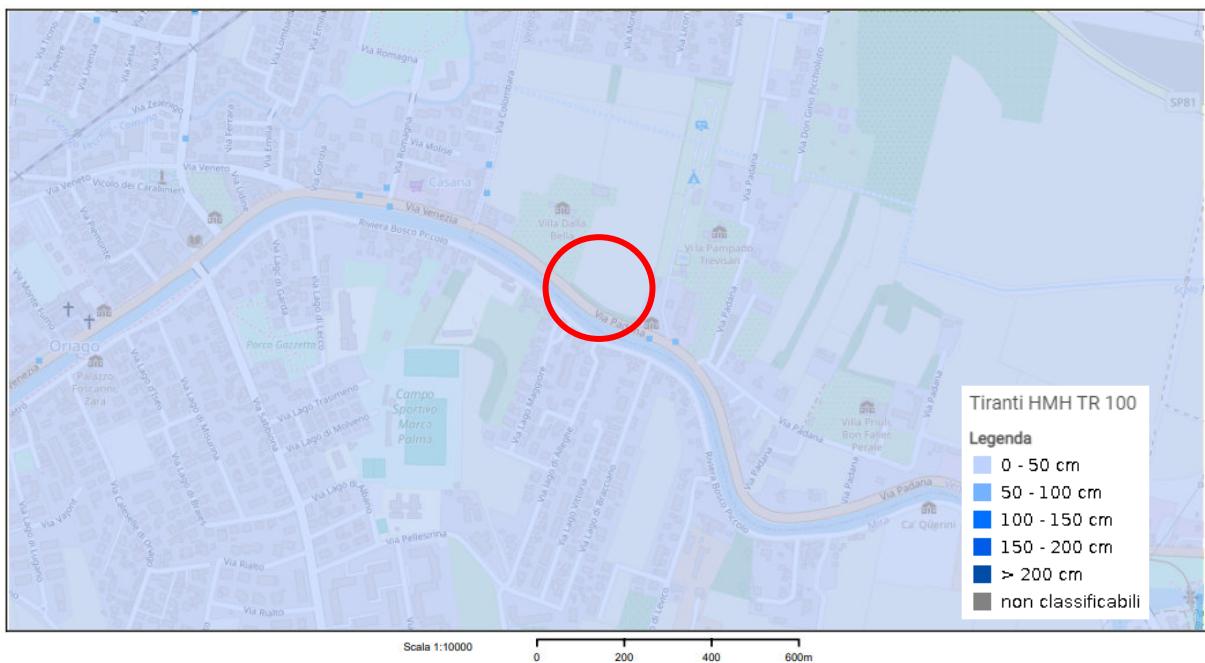
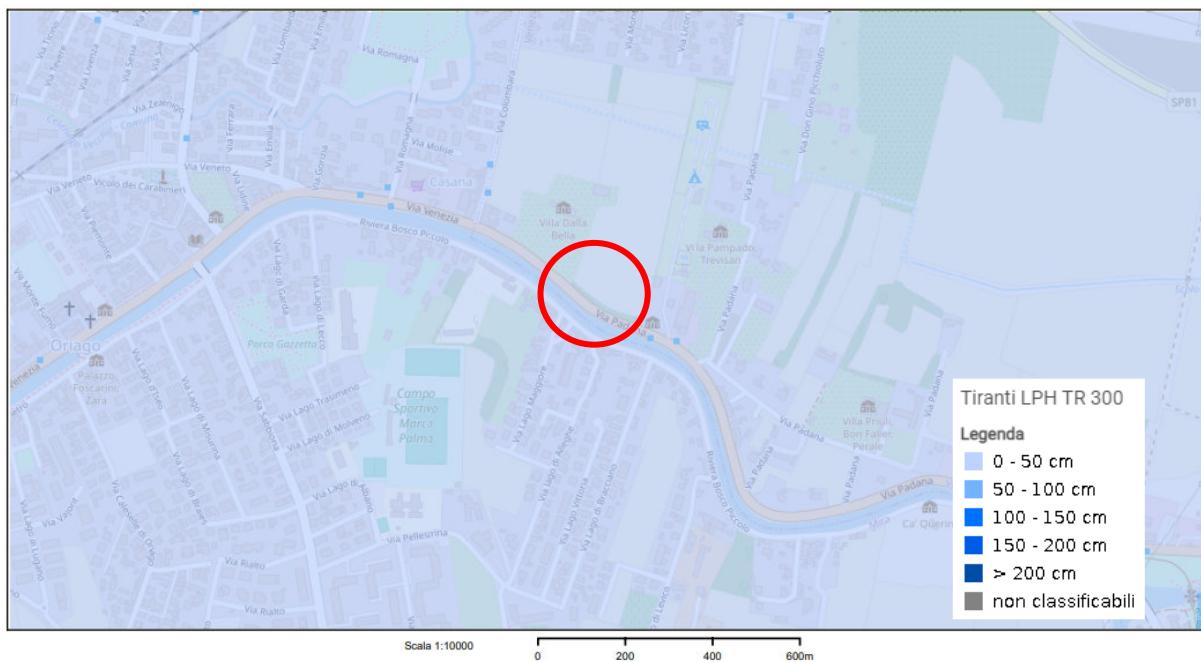


Figura 12 – Massimo tirante idrico che si realizza in seguito al verificarsi di un evento di piena con 30<Tr<100 anni: 0.0 < h < 0.5 m



**Figura 13 – Massimo tirante idrico che si realizza in seguito al verificarsi di un evento di piena con Tr=30 anni con
100<Tr<300 anni: 0.0<h<0.5 m**

4. INDAGINI IN SITO

4.1 PLANIMETRIA DELL'INTERVENTO

In Figura 14 si riporta l'ubicazione delle indagini su un'immagine satellitare.



Figura 14 – Ubicazione delle indagini eseguite su un'immagine satellitare.

4.2 PROVA PENETROMETRICA STATICÀ (CPT)

La prova penetrometrica è stata eseguita in conformità alle “Raccomandazioni A.G.I. riguardanti l'esecuzione e programmazione delle indagini geotecniche” (A.G.I. 1977).

La prova CPT consiste nell'infiggere nel terreno, ad una velocità costante pari a 2 cm/sec, una punta conica standard (Tipo Begemann) sormontata da un manicotto che misura l'attrito laterale. La spinta necessaria viene trasmessa alla punta mediante una batteria di tubi ed aste da un gruppo a pistoni idraulici che sviluppa, in questo caso, una spinta massima di 20 t. Ogni 20 cm di avanzamento vengono misurati, mediante cella di carico, i seguenti valori:

- R_p = resistenza di punta espressa in kg/cm^2
- R_t = resistenza totale (resistenza di punta + resistenza laterale) espressa in kg/cm^2

I dati rilevati in campagna vengono restituiti graficamente rappresentando l'andamento in funzione della profondità delle seguenti grandezze:

- resistenza di punta (R_p in kg/cm^2)
- resistenza laterale (R_l in kg/cm^2)
- rapporto di Begemann (R_p/R_l)

Al termine dell'esecuzione della prova è stato misurato il livello della falda freatica all'interno del foro di indagine (indicato nelle tabelle dati CPT).

4.2.1 Interpretazione dei dati

Con la prova CPT, attraverso opportune correlazioni tra i valori di q_c (resistenza alla punta) e f_s (resistenza di attrito laterale) è possibile ottenere una classificazione dei terreni attraversati e determinare la resistenza al taglio non drenata (c_u) dei terreni coesivi (argille) e l'angolo di attrito (ϕ) dei terreni granulari (sabbie).

4.3 INDAGINE SISMICA CON TECNICA HVSR

La caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica di indagine sismica passiva HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura) è finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito. Esse sono correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura che nell'eventuale ammasso roccioso.

Il metodo si basa sulla misura del rumore sismico ambientale, che risulta prodotto sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) che dall'attività antropica. Viene chiamato generalmente microtremore perché riguarda oscillazioni molto piccole, inferiori di diversi ordini di grandezza rispetto a quelle indotte dai terremoti.

I metodi che si basano sull'acquisizione dei microtremori si dicono passivi in quanto il "rumore" non viene appositamente generato, come avviene invece nel caso della sismica attiva, ma si utilizza appunto il rumore sismico ambientale, sempre presente naturalmente ovunque. Lo spettro in frequenza del rumore di fondo in un terreno roccioso pianeggiante presenta dei picchi a 0,14 e 0,07 Hz, comunemente interpretati come originati dalle onde oceaniche (

Figura 15).

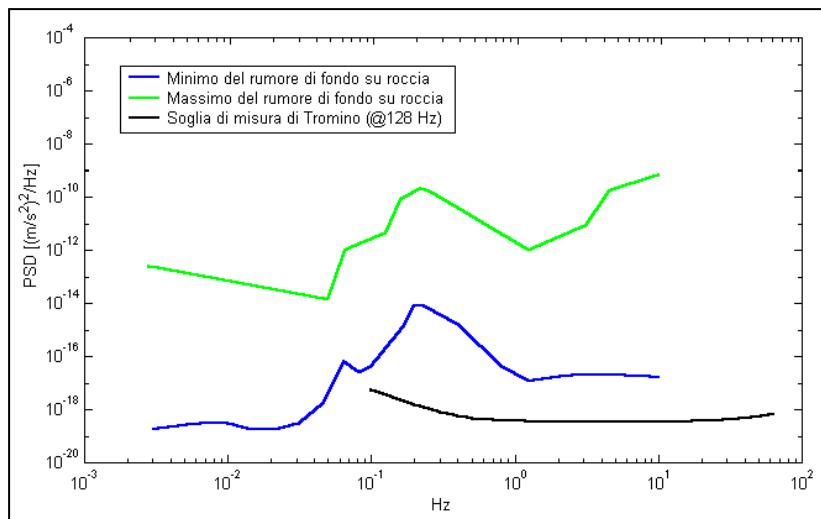


Figura 15 – Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra. La linea nera indica la sensibilità strumentale. Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.

Tali componenti spettrali vengono attenuate molto poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda. A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ma anche il semplice passeggiare di una persona) e

naturali che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.

Il rumore di fondo agisce da funzione di eccitazione per le risonanze specifiche sia degli edifici che del sottosuolo. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazione. Questa informazione è però sepolta all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. L'utilizzo di algoritmi di calcolo finalizzati ad una modellizzazione sintetica dello spettro H/V, permette di correlare ogni picco spettrale con le discontinuità presenti nel sottosuolo (per esempio i cambi litologici). I dati che si possono ricavare sono spessori e velocità di propagazione delle onde di taglio all'interno del sismostrato individuato. Tramite l'elaborazione e l'analisi dell'andamento delle tre componenti del moto, è possibile distinguere i picchi di origine naturale da quelli di altra natura.

La tecnica dei microtremori permette di ottenere informazioni sulla velocità media delle onde Vs calcolata tramite la creazione di un modello, che simuli il più possibile quello effettivamente ottenuto, partendo dalla profondità nota di almeno un riflettore (di norma quello più superficiale), inoltre è possibile ottenere una stratigrafia sismica del sottosuolo basata sul contrasto d'impedenza (rapporto tra velocità delle onde sismiche e densità del mezzo attraversato) che un'unità geologica ha rispetto quella soprastante e quella sottostante. La stratigrafia diviene litologica qualora si possieda un'indagine geognostica diretta di taratura (carotaggio, prova penetrometrica, ecc.). Le principali caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata sono riportate in Tabella 1.

PRINCIPALI CARATTERISTICHE TECNICHE DELLA STRUMENTAZIONE

Numero di canali	3+1 analogici	Orologio	interno, permanente con datario e allarme, può essere visualizzato anche durante l'acquisizione
Amplificatori	tutti canali con input differenziali	Livella	a bolla d'aria, elevata precisione orizzontale, sensibilità 5' d'arco (0,083°)
Rumore	< 0,5 µV r.m.s. @128 Hz sampling	Connessioni	porta USB, tipo B
Impedenza dell'input	10^6 Ohm	Registrazione dati	memoria interna, standard 512 Mb, opzionale fino a 2 Gb
Range di frequenze	DC - 360 Hz	Dimensione e peso	10 x 14 x 7,7 (altezza) cm, 1,1 kg, contenitore di alluminio
Frequenza di campionamento	16384 Hz per canale	Accoppiamento col terreno	su punte e cuscinetto reologico
Frequenze di sovraccampionamento	32x, 64x, 128x	Display grafico	grafico, 128 x 64 pixel, retroilluminato

Tabella 1 – Caratteristiche tecniche strumentazione HVSR

5. RICOSTRUZIONE STRATIGRAFICA E GEOTECNICA

5.1 MODELLO GEOTECNICO DA PROVA PENETROMETRICA

Dai dati della prova penetrometrica è stato ricostruito il modello geologico e geotecnico (Tabella 2). I parametri geotecnici rappresentano valori medi, ricavati da una stima ragionata e cautelativa all'interno di ciascuno strato considerato.

Va sottolineato che, come richiesto dalle NTC 2018, i parametri geotecnici riportati nella presente relazione ed in allegato ad essa non sono parametri caratteristici. In fase progettuale, dovranno essere scelti in ragione delle specifiche verifiche e degli approcci metodologici adottati i corrispondenti parametri geotecnici caratteristici e di progetto.

Profondità da p.c. [m]	Litologia	Angolo d'attrito (\varnothing') [°]	Coesione non drenata (C_u) [kPa]	Modulo di Young (E) [kPa]	Modulo edometrico (M) [kPa]
0,0 – 0,6	Prescavo	-	-	-	-
0,6 – 4,0	Argilla limosa e limo argilloso	-	78	-	5345
4,0 – 5,8	Sabbia limosa e limo sabbioso	31	-	14553	-
5,8 – 7,4	Limo argilloso e argilla limosa	-	89	-	5518
7,4 – 9,4	Sabbia e sabbia limosa	32	-	21292	-
9,4 – 10,8	Limo argilloso e argilla limosa	-	92	-	5675
10,8 – 11,4	Sabbia e sabbia limosa	32	-	23500	-
11,4 – 11,8	Limo argilloso e limo sabbioso	-	113	-	7239
11,8 – 13,2	Sabbia limosa e limo sabbioso	32	-	16230	-
13,2 – 13,8	Limo argilloso e argilla limosa	-	89	-	5176
13,8 – 15,2	Sabbia e sabbia limosa	35	-	39217	-
15,2 – 17,4	Sabbia e sabbia densa	36	-	44903	-
17,4 – 20,0	Sabbia e sabbia densa	37	-	49736	-

Tabella 2 – Parametri geotecnici medi.

Al termine dell'esecuzione delle prove penetrometriche si è misurato, per mezzo di una sonda freatimetrica, il livello dell'acqua nel foro di indagine, indicato nella Tabella 3.

Prova penetrometrica	Profondità acqua in foro [m dal p.c.]
CPT01	-1,85

Tabella 3 – Rilievo del livello di acqua in foro.

5.2 MODELLO STRATIGRAFICO DA INDAGINE SISMICA

Nel caso specifico del sito in esame si è cercato di correlare il valore di picco dello spettro di risposta HVSR con la profondità dell'unità litologica più rigida (bedrock geofisico) e di individuare una corrispondenza tra i valori di frequenza relativi alle discontinuità sismiche e i cambi litologici presenti nel sottosuolo, sulla base del confronto con la stratigrafia ottenuta dall'indagine CPT. Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh, e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, sono stati ottenuti i picchi di H/V a varie frequenze. Sapendo che ad ogni picco in frequenza corrisponde una discontinuità litologica, che genera il contrasto d'impedenza, si è estrapolato una stratigrafia geofisica del sottosuolo.

La Figura 16 riporta l'interpretazione della misura, in allegato si riporta il report di dettaglio.

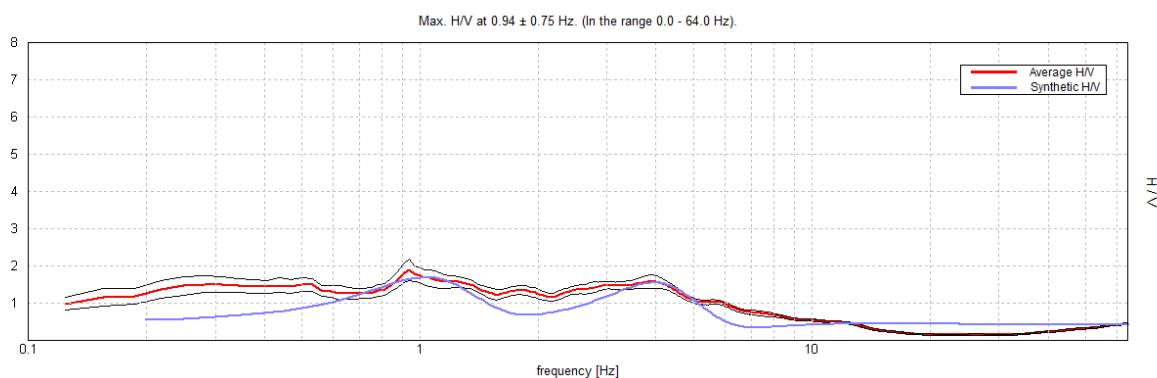


Figura 16 – Curva H/V registrata in situ (linea rossa) e curva sintetica generata dal modello (linea viola)

La verifica della presenza di frequenze di risonanza e dell'amplificazione del sottosuolo oggetto di intervento risulta molto importante.

Infatti, nel caso la risonanza del suolo di fondazione coincida o sia prossima a quella della struttura si ha una situazione cui porre attenzione dal punto di vista della vulnerabilità sismica, ovvero sostanzialmente un'amplificazione delle sollecitazioni per “doppia risonanza”.

La condizione ideale corrisponde ad un edificio dotato di frequenza di risonanza minore di quella del sottosuolo.

Dall'esame delle misure eseguite si può affermare che il sito presenta le seguenti frequenze di amplificazione (Tabella 4).

Frequenza [Hz]	Amplificazione [H/V]
1,07	1,68
3,91	1,59

Tabella 4 – Frequenze principali di risonanza

Per quanto riguarda la ricostruzione stratigrafica, a partire dalle indicazioni dell'indagine penetrometrica è stato possibile ottenere il modello d'inversione, la cui curva di sintesi è riportata in Figura 16.

In Tabella 5 si riportano gli spessori dei principali sismostrati riconosciuti con le relative velocità delle onde S e le litologie ad essi associabili.

Profondità da p.c. [m]	Spessore [m]	Litologia	Vs [m/s]
0,0 – 8,0	8,0	Lim e sabbie	154
8,0 – 72,0	64,0	Sabbie e sabbie limose	251
72,0 – Inf.	Inf.	Sabbie e sabbie dense	479

Tabella 5 – Stratigrafia desunta dall'inversione della curva sperimentale

7. ANALISI SISMICA

6.1 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Sulla base dell’O.P.C.M. del 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*) e del DGR n. 244 del 09/03/2021, il comune di Venezia ricade in zona sismica 3 (a_g compresa tra 0,050 e 0,150) (Figura 17).

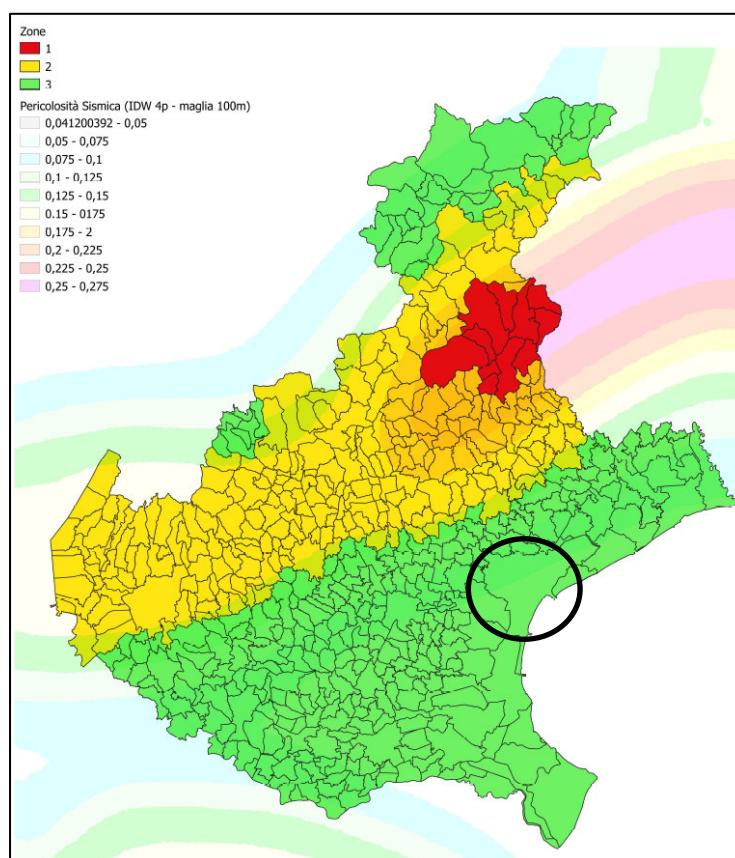


Figura 17 – Estratto della Classificazione sismica del territorio del Veneto (D.G.R. n. 244 del 09/03/2021).

L’azione sismica viene valutata a partire dalla cosiddetta “pericolosità sismica di base” riferita a un sito con suolo rigido (categoria A) e superficie topografica orizzontale. Allo stato attuale la pericolosità sismica di base sul territorio Italiano è fornita dai dati pubblicati sul sito dell’Istituto Nazionale di Geofisica; in particolare, per il sito in oggetto, la mappa Interattiva di Pericolosità Sismica dell’INGV indica un’accelerazione di picco al suolo di tipo A con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni pari a $PGA=0.075-0.100\text{ g}$ (Figura 18). Il grafico di disaggregazione mostra come la pericolosità di base sia imputabile soprattutto a terremoti con magnitudo comprese

tra 4,5 e 6,0 con distanze epicentrali tra 30 e 40 km (Figura 19): il contributo percentuale maggiore è dato dalla coppia M-D 5,0-5,5/30-40 km.

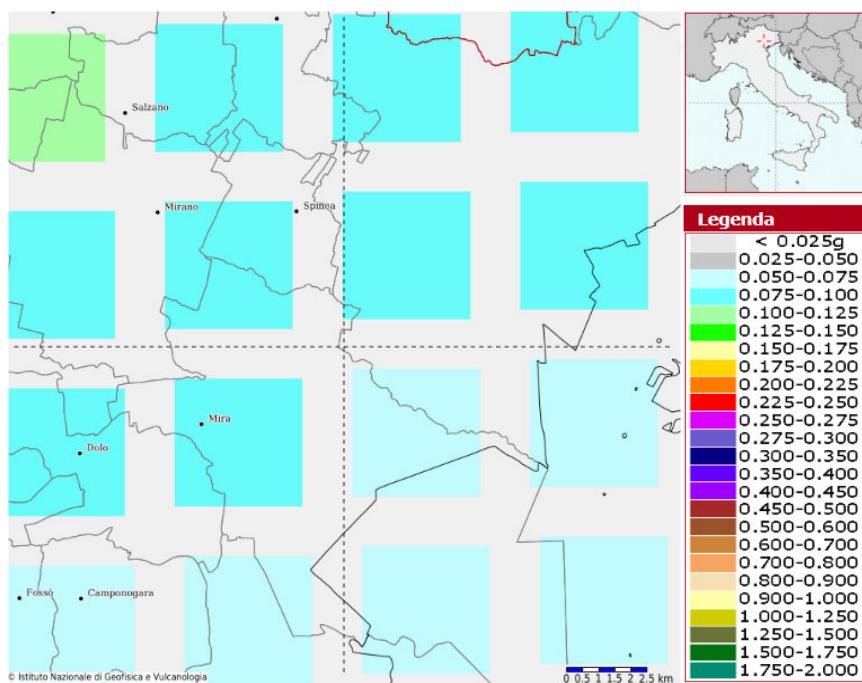
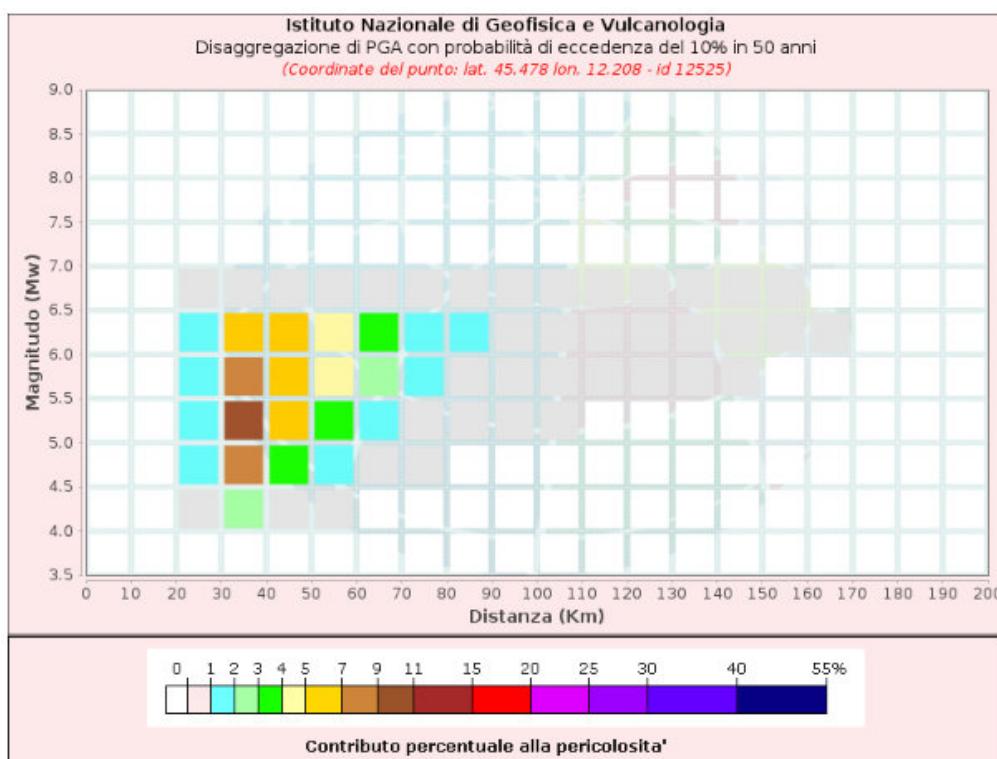


Figura 18 – Mappa di pericolosità sismica per l'area in esame (da mappe interattive di pericolosità sismica:

<http://esse1-gis.mi.ingv.it>.



Come riportato nelle NTC2018, la pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R ; si ritiene pertanto necessario determinare il periodo di riferimento della struttura così come segue:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Con V_N , vita nominale di un'opera, intesa come numero di anni nel quale deve poter essere utilizzata per lo scopo al quale è destinata, definita secondo la seguente tabella:

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

E C_U , coefficiente d'uso, che dipende dalla classe d'uso:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza.

Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente

dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

A seconda della classe d'uso vengono definiti i seguenti valori di coefficiente d'uso:

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Per l'intervento in oggetto è stato assunto $V_N=50$ anni e classe d'uso II, da cui deriva una vita di riferimento pari a 50 anni:

$$V_R = V_N \cdot C_U = 50 \text{ anni} \cdot 1,0 = 50 \text{ anni}$$

L'azione sismica va valutata con riferimento alle seguenti probabilità di eccedenza P_{VR}

nel periodo di riferimento V_R :

Stati Limite	P_{V_R} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R si ricava il periodo di ritorno T_R del sisma utilizzando la relazione:

$$T_R = - V_R / \ln(1 - P_{VR}) = - C_U V_N / \ln(1 - P_{VR})$$

In seguito, si riportano i valori di a_g (accelerazione massima al sito), F_0 (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e T_c^* (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale), per i periodi di ritorno T_R di riferimento sul sito in oggetto in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale di categoria A:

STATO LIMITE	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_c^* (s)
SLO	30	0,029	2,509	0,207
SLD	50	0,035	2,540	0,241
SLV	475	0,080	2,643	0,351
SLC	975	0,103	2,640	0,373

Tabella 6 – Valori dei parametri a_g , F_0 , T_c^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno stato limite.

L'accelerazione orizzontale massima a_g attesa su sito di riferimento rigido risulta, con riferimento allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) è pari a $a_g = 0,080$ g.

6.2 AZIONE SISMICA DI PROGETTO

Per la definizione dell'azione sismica di progetto è necessario valutare l'amplificazione dell'azione sismica indotta dalle condizioni stratigrafiche e topografiche del sito. Entrambi questi fattori infatti, concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su suolo rigido con superficie orizzontale, sia dal punto di vista dell'ampiezza del segnale, sia nel contenuto in frequenza.

6.2.1 Effetti stratigrafici

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel par. 7.11.3 delle NTC18. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento. Secondo il punto 3.2.2 delle NTC 2018, l'identificazione della categoria di sottosuolo si effettua calcolando il valore della velocità equivalente $V_{s,eq}$ di propagazione delle onde di taglio a partire dal piano di imposta delle fondazioni superficiali o della testa dei pali nel caso di fondazioni profonde fino alla profondità del substrato sismico (H = substrato caratterizzato da velocità V_s maggiori di 800 m/s); per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$ ottenuto ponendo $H=30$.

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

con:

h_i → spessore dell'i-esimo strato;

$V_{s,i}$ → velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N → numero di strati;

H → profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite dalla seguente tabella:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>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 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Tabella 7 – Categorie di sottosuolo Categorie di sottosuolo. Tratta da Tab 3.2.II delle NTC 2018.

Il modello sismo-stratigrafico del sito è stato ricostruito tramite l'elaborazione delle curve sperimentali della misura di microtremori. La Figura 20 riassume graficamente il risultato della ricostruzione dei sismostrati elaborati dall'indagine, che evidenzia l'andamento delle velocità delle onde di taglio in profondità.

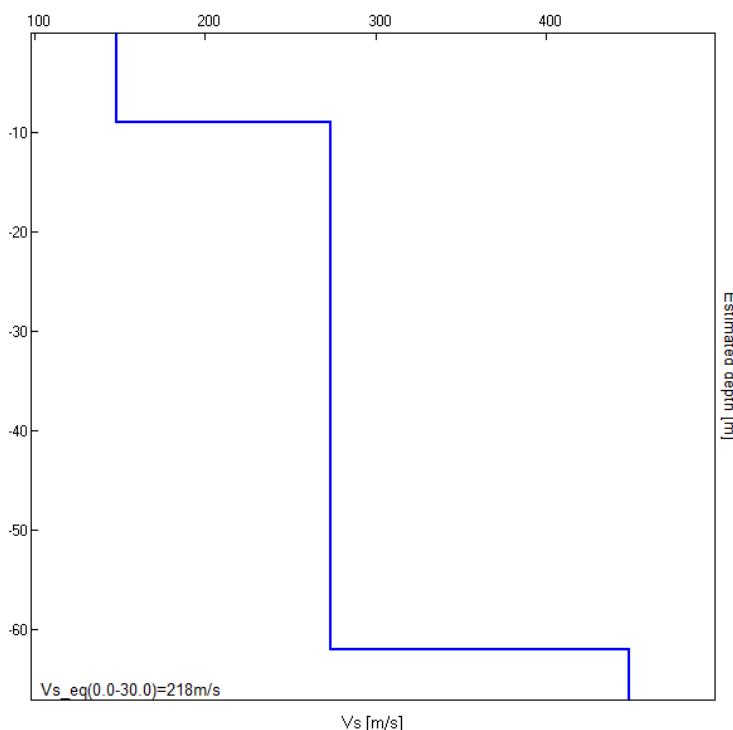


Figura 20 – Profilo di velocità delle onde S per il sito in oggetto.

Dall'elaborazione dell'indagine HVSR risulta che il valore di $V_{seq}=218$ m/s; si assume perciò la **CATEGORIA C** secondo la Tabella 7, che comprende "*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*".

6.2.2 Effetti topografici

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

Per il sito in esame è possibile assumere una categoria topografica T1: "*Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i < 15^\circ$* "

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 8 – Tabella 3.2.III delle NTC 2018 – Categorie topografiche.

6.2.3 Coefficiente sismici di progetto

In seguito, si riportano i coefficienti sismici di progetto ottenuti attribuendo i seguenti parametri:

Vita nominale	$V_N = 50$
Coefficiente d'uso	$C_U = 1$
Categoria topografica	T1
Categoria stratigrafica	C

STATO LIMITE	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss	1,500	1,500	1,500	1,500
Cc	1,770	1,680	1,480	1,450
St	1,000	1,000	1,000	1,000
Kh	0,009	0,011	0,024	0,037
Kv	0,004	0,005	0,012	0,019
A max [m/s ²]	0,429	0,521	1,175	1,515
β	0,200	0,200	0,200	0,240

Tabella 9 – Valori $S_s, C_c, S_t, K_h, K_v, A_{max}, \beta$, per i diversi stati limite.

6.3 VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

Nel caso in esame è stata verificata la suscettibilità a liquefazione mediante metodi semplificati basati su correlazioni tra le misure in situ derivanti da prove penetrometriche di tipo statico (CPT).

Sono stati considerati i livelli sabbiosi situati entro i 15 m di profondità.

Si è fatto riferimento all'analisi semplificata proposta da Seed e Idriss (1971), in base alla quale è richiesta la stima o il calcolo di due variabili:

- il carico sismico, espresso attraverso il rapporto tensionale ciclico CSR;
- la capacità del terreno di resistere alla liquefazione, espressa attraverso il rapporto di resistenza ciclica CRR.

6.3.1 Rapporto tensionale ciclico CSR

Il carico sismico, ad una determinata profondità, può essere valutato attraverso la seguente espressione:

$$CSR = 0.65 \frac{a_{\max,s}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} r_d \frac{1}{MSF}$$

dove:

$a_{\max,s}$: accelerazione sismica di picco al piano campagna;

g : accelerazione di gravità;

σ_{v0} : tensione verticale totale alla profondità z dal p.c.;

σ'_{v0} : tensione verticale efficace alla profondità z dal p.c.;

r_d : coefficiente funzione della profondità z dal p.c. che tiene conto della deformabilità del sottosuolo;

MSF: coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma poiché la procedura è stata elaborata sulla base di eventi sismici con magnitudo di momento $M=7,5$, Per gli altri casi occorre ricondurre il carico sismico a quello equivalente ad un terremoto di magnitudo $M=7,5$ attraverso il coefficiente MSF.

Il valore di $a_{\max,s}$ è stato ricavato per il sito in esame secondo la:

$$a_{\max,s} = a_g \cdot S$$

dove:

a_g : accelerazione orizzontale massima al sito pari a 0,080 g

S : coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente: $S = S_s S_t$, essendo:

S_s : coefficiente di amplificazione stratigrafica pari a 1,5 per suoli di tipo C e per il sito considerato (punto 3.2.3.2.1 - NTC 2018 – tab. 3.2.V);

S_t : coefficiente di amplificazione topografica (pari a 1,0 avendo considerato una categoria topografica T1 “superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ”).

In tal modo si ottiene $a_{\max,s} = 0,120$ g.

Il coefficiente di riduzione sismica r_d si può ricavare, per profondità dal piano campagna minore di 20 m, dalla seguente espressione:

$$r_d = \exp \left[\left(-1,012 - 1,126 \operatorname{sen} \left(\frac{z}{11,73} + 5,133 \right) \right) + \left(0,106 + 0,118 \operatorname{sen} \left(\frac{z}{11,28} + 5,142 \right) \right) M \right]$$

con:

z (in metri): profondità dal p.c.;

M: magnitudo di riferimento dell'evento sismico (assunta, a favore della sicurezza, pari a $M=6,6$ –cfr. Rapporto conclusivo “Redazione della mappa di pericolosità sismica” redatto dall’ Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Zona Sismogenetica 906”).

Secondo la seguente relazione, il valore di MSF è pari a:

$$MSF = \min [6,9 \exp(-M/4 - 0,058), 1,8] \quad (\text{Idriss, 1999})$$

6.3.2 Rapporto di resistenza ciclica CRR

Il rapporto di resistenza ciclica CRR è tipicamente ottenuto attraverso un abaco nel quale:

- in ordinata è riportato il carico sismico (rapporto tensionale ciclico, CSR);
- in ascissa la resistenza del terreno, stimata attraverso prove penetrometriche CPT. Si è fatto riferimento, in particolare, ai valori di resistenza penetrometrica alla punta normalizzata $(q_{c1N})_{CS}$ relativa a sabbie pulite (Boulanger e Idriss, 2004 – Robertson e Wride, 1998).

Le curve limite per eventi sismici di magnitudo di momento $M=7,5$ sono date da:

$$CRR = \exp \left[\frac{q_{c1N}}{540} + \left(\frac{q_{c1N}}{67} \right)^2 - \left(\frac{q_{c1N}}{80} \right)^3 + \left(\frac{q_{c1N}}{114} \right)^4 - 3 \right].$$

Ogni curva separa i punti rappresentativi di case-histories per le quali si è osservato il fenomeno della liquefazione (sopra la curva limite) da quelli dove la liquefazione non è avvenuta (sotto alla curva limite). La curva limite rappresenta il luogo dei minimi rapporti tensionali ciclici CSR, necessari

affinché uno strato di terreno sia soggetto a liquefazione, e quindi rappresenta il luogo dei valori corrispondenti alla resistenza ciclica, CRR.

6.4 RISULTATI OTTENUTI

A partire dai valori di resistenza penetrometrica normalizzata (

Tabella 10 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) i punti, corrispondenti ai livelli di terreno suscettibili di liquefazione, sono stati plottati nel grafico di Figura 21.

Indagine	Prof. Da	Prof. A	Prof. Media	σ_v	σ'_v	q_c media	f_s media	CSR (7.5)	$(q_{c1N})_c s$
	(m)	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)		
CPT1	4,00	5,80	4,90	93,10	62,60	49,47	1,26	0,06	129,03
	7,40	9,40	8,40	159,60	94,10	72,37	1,26	0,07	119,39
	10,80	11,40	11,10	210,90	118,40	79,88	1,84	0,08	137,41
	11,80	13,20	12,50	237,50	131,00	55,17	1,63	0,08	129,17
	13,80	15,20	14,50	275,50	149,00	133,30	1,76	0,08	148,63
	15,20	17,40	16,30	309,70	165,20	152,63	2,14	0,08	166,30
	17,40	20,00	18,70	355,30	186,80	169,06	3,50	0,08	203,22

Tabella 10 – Valori di resistenza ricavati dalle indagini CPT.

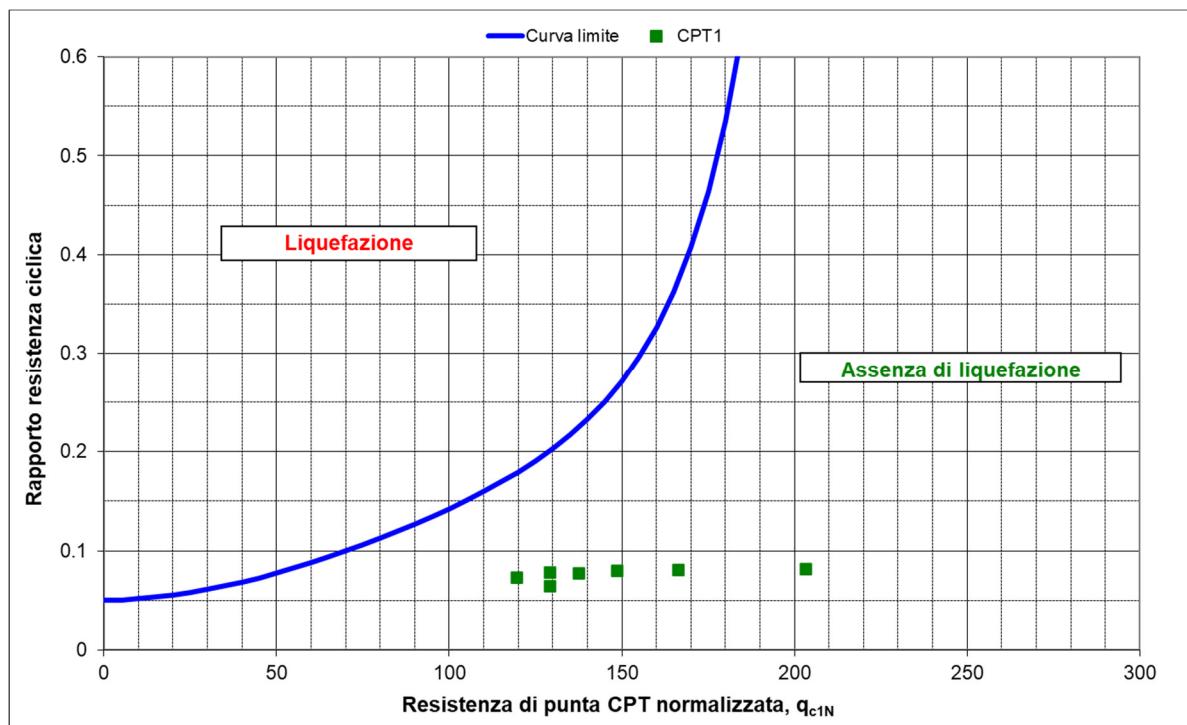
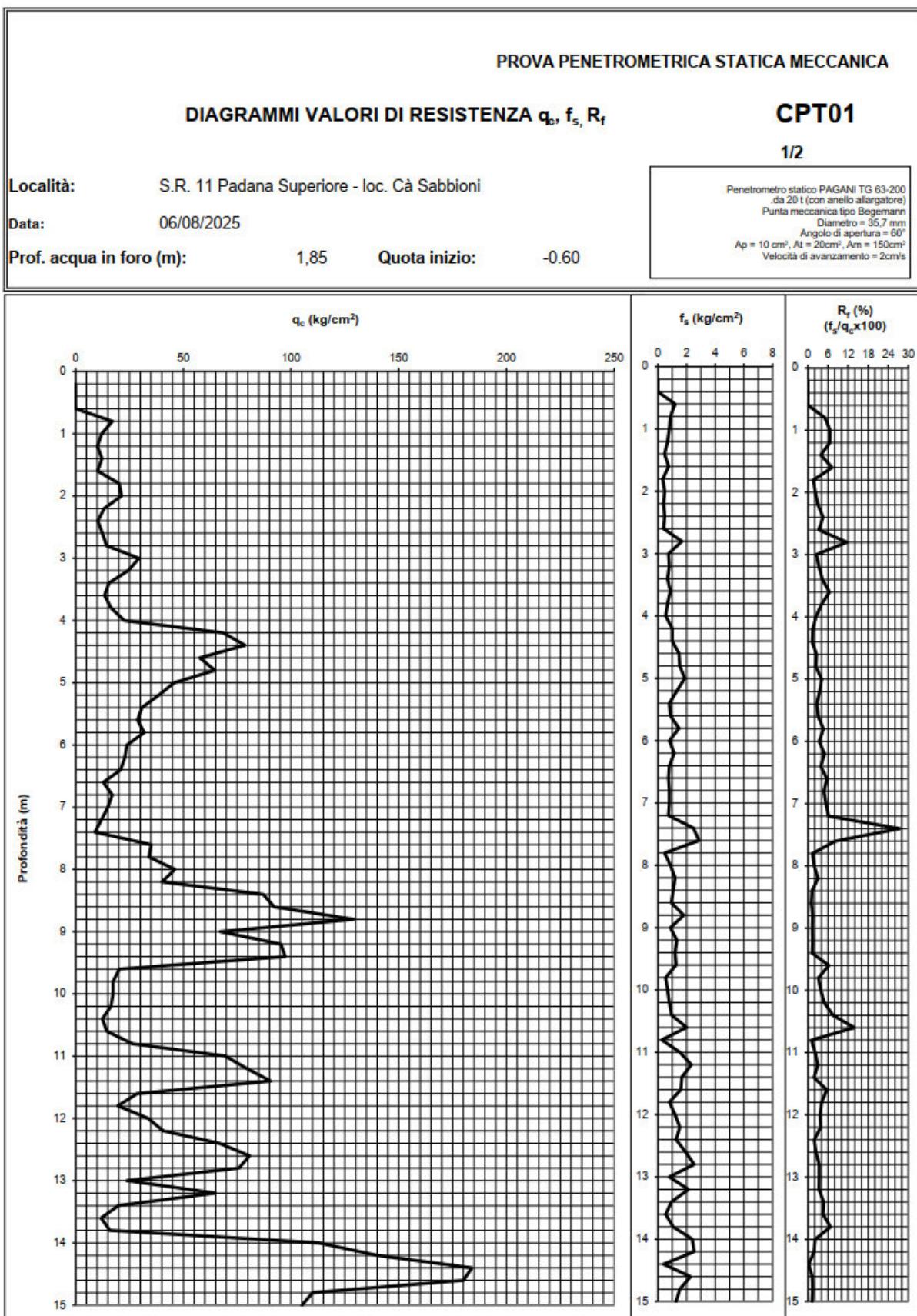


Figura 21 – Verifica a liquefazione.

ALLEGATO 1

TABELLE, DATI E DIAGRAMMI DELLA PROVA PENETROMETRICA STATICÀ



PROVA PENETROMETRICA STATICÀ MECCANICA

DIAGRAMMI VALORI DI RESISTENZA q_c , f_s , R_f

CPT01

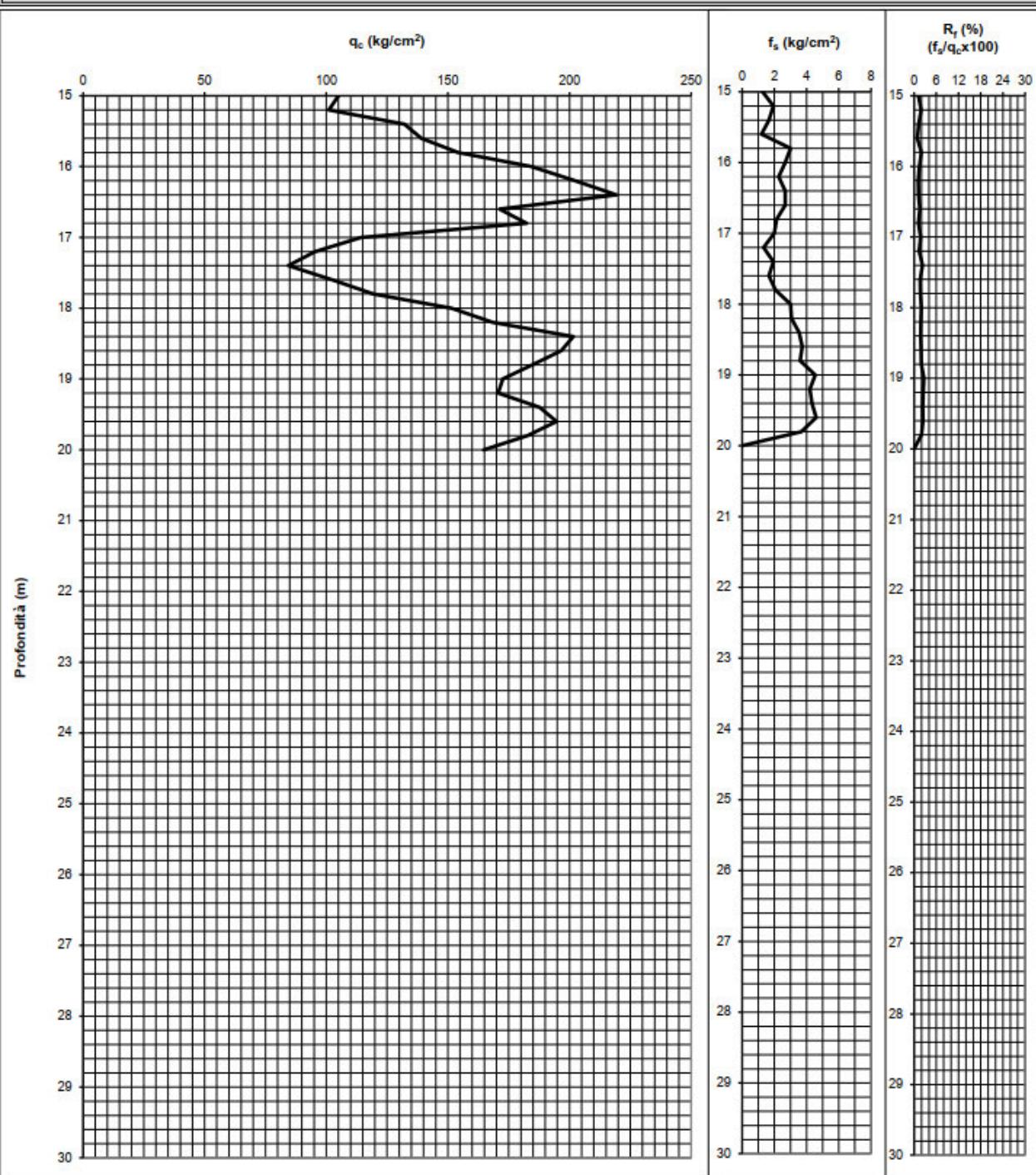
2/2

Località: S.R. 11 Padana Superiore - loc. Cà Sabbioni

Data: 06/08/2025

Prof. acqua in foro (m): 1,85 Quota inizio: -0,60

Penetrometro statico PAGANI TG 63-200
da 20 l (con anello allargatore)
Punta meccanica tipo Begemann
Diametro = 35,7 mm
Angolo di apertura = 60°
 $A_p = 10 \text{ cm}^2$, $A_t = 20 \text{ cm}^2$, $A_m = 150 \text{ cm}^2$
Velocità di avanzamento = 2cm/s



PROVA PENETROMETRICA STATICHE MECCANICA

DATI VALORI DI RESISTENZA - LITOLOGIA (Begemann)

CPT01

1/2

Località: S.R. 11 Padana Superiore - loc. Cà Sabbioni

Data: 06/08/2025

Prof. acqua in foro (m): 1,85 Quota inizio: -0.60

Penetrometro statico PAGANI TG 63-200
da 20 l (con anello allargatore)
Punta meccanica tipo Begemann
Diametro = 35,7 mm
Angolo di apertura = 60°
 $A_p = 10 \text{ cm}^2$, $A_t = 20\text{cm}^2$, $A_m = 150\text{cm}^2$
Velocità di avanzamento = 2cm/s

Prof (m)	Lettura di punta	Lettura tot.	q_c (kg/cm ²)	f_s (kg/cm ²)	q_c/f_s	Rf (%)	Litologia (Begemann) Raccomandazioni AGI, 1977	Interpretazione stratigrafica
0.20	0	0	-	-	-	-		
0.40	0	0	-	-	-	-		
0.60	0	0	-	1.20	-	-		
0.80	17	35	17.11	0.87	19.74	5.07	Argilla limosa	
1.00	12	25	12.14	0.80	15.17	6.59	Argilla limosa	
1.20	10	22	10.17	0.67	15.25	6.56	Argilla limosa	
1.40	12	22	12.19	0.47	26.13	3.83	Limo sabbioso	
1.60	10	17	10.22	0.73	13.94	7.17	Argilla organica e torba	
1.80	20	31	20.25	0.33	60.75	1.65	Sabbia limosa	
2.00	21	26	21.28	0.47	45.59	2.19	Sabbia limosa	
2.20	13	20	13.30	0.40	33.26	3.01	Limo sabbioso	
2.40	10	16	10.33	0.47	22.14	4.52	Argilla limosa	
2.60	12	19	12.38	0.40	30.90	3.24	Limo sabbioso	
2.80	14	20	14.39	1.67	8.63	11.59	Argilla organica e torba	
3.00	29	54	29.41	0.73	40.11	2.49	Limo sabbioso	
3.20	24	35	24.44	0.80	30.55	3.27	Limo sabbioso	
3.40	15	27	15.47	0.67	23.20	4.31	Argilla limosa	
3.60	13	23	13.50	0.87	15.57	6.42	Argilla limosa	
3.80	16	29	16.52	0.67	24.79	4.03	Argilla limosa	
4.00	22	32	22.55	0.53	42.29	2.36	Limo sabbioso	
4.20	68	78	68.58	1.00	68.58	1.46	Sabbia e sabbia densa	
4.40	78	93	78.61	1.00	78.61	1.27	Sabbia e sabbia densa	
4.60	57	72	57.63	1.47	39.30	2.54	Limo sabbioso	
4.80	64	86	64.66	1.53	42.17	2.37	Limo sabbioso	
5.00	45	68	45.69	1.87	24.48	4.09	Argilla limosa	
5.20	38	66	38.72	1.33	29.04	3.44	Limo sabbioso	
5.40	30	50	30.75	0.80	38.43	2.60	Limo sabbioso	
5.60	28	40	28.77	0.87	33.20	3.01	Limo sabbioso	
5.80	31	44	31.80	1.47	21.88	4.61	Argilla limosa	
6.00	23	45	23.83	0.80	29.79	3.36	Limo sabbioso	
6.20	22	34	22.86	1.13	20.17	4.96	Argilla limosa	
6.40	20	37	20.88	0.80	26.10	3.83	Limo sabbioso	
6.60	12	24	12.91	0.73	17.61	5.68	Argilla limosa	
6.80	16	27	16.94	0.80	21.17	4.72	Argilla limosa	
7.00	14	26	14.97	0.80	18.71	5.35	Argilla limosa	
7.20	11	23	11.99	0.73	16.35	6.11	Argilla limosa	
7.40	8	19	9.02	2.47	3.66	27.34	Argilla organica e torba	
7.60	34	71	35.05	2.87	12.23	8.18	Argilla organica e torba	
7.80	33	76	34.08	0.47	73.02	1.37	Sabbia e sabbia densa	
8.00	45	52	46.10	0.87	53.20	1.88	Sabbia limosa	
8.20	39	52	40.13	1.20	33.44	2.99	Limo sabbioso	
8.40	86	104	87.18	1.07	81.71	1.22	Sabbia e sabbia densa	
8.60	91	107	92.19	0.93	98.77	1.01	Sabbia e sabbia densa	
8.80	128	142	129.21	1.80	71.79	1.39	Sabbia e sabbia densa	
9.00	66	93	67.24	0.87	77.59	1.29	Sabbia e sabbia densa	
9.20	94	107	95.27	1.33	71.45	1.40	Sabbia e sabbia densa	
9.40	96	116	97.30	1.20	81.08	1.23	Sabbia e sabbia densa	
9.60	19	37	20.32	1.27	16.05	6.23	Argilla limosa	
9.80	16	35	17.35	0.53	32.54	3.07	Limo sabbioso	
10.00	16	24	17.38	0.67	26.07	3.84	Limo sabbioso	

PROVA PENETROMETRICA STATICÀ MECCANICA

DATI VALORI DI RESISTENZA - LITOLOGIA (Begemann)

CPT01

2/2

Località: S.R. 11 Padana Superiore - loc. Cà Sabbioni

Data: 06/08/2025

Prof. acqua in foro (m): 1,85 Quota inizio: -0.60

Penetrometro statico PAGANI TG 63-200
da 20 l (con anello allargatore)
Punta meccanica tipo Begemann
Diametro = 35,7 mm
Angolo di apertura = 60°
 $A_p = 10 \text{ cm}^2$, $A_l = 20\text{cm}^2$, $A_m = 150\text{cm}^2$
Velocità di avanzamento = 2cm/s

Prof (m)	Lettura di punta	Lettura tot.	q_c (kg/cm ²)	f_s (kg/cm ²)	q_c/f_s	Rf (%)	Litologia (Begemann) Raccomandazioni AGI, 1977	Interpretazione stratigrafica
10.20	15	25	16.41	0.80	20.51	4.88	Argilla limosa	
10.40	11	23	12.44	0.93	13.32	7.51	Argilla organica e torba	
10.60	13	27	14.46	2.00	7.23	13.83	Argilla organica e torba	
10.80	25	55	26.49	0.27	99.34	1.01	Sabbia e sabbia densa	
11.00	68	72	69.52	1.53	45.34	2.21	Sabbia limosa	
11.20	78	101	79.55	2.33	34.09	2.93	Limo sabbioso	
11.40	89	124	90.57	1.87	54.34	1.84	Sabbia limosa	
11.60	27	52	28.60	1.60	17.88	5.59	Argilla limosa	
11.80	18	42	19.63	0.80	24.54	4.08	Argilla limosa	
12.00	32	44	33.66	1.20	28.05	3.57	Limo sabbioso	
12.20	39	57	40.68	1.53	26.53	3.77	Limo sabbioso	
12.40	65	88	66.71	1.27	52.67	1.90	Sabbia limosa	
12.60	79	98	80.74	1.93	41.76	2.39	Limo sabbioso	
12.80	74	103	75.77	2.53	29.91	3.34	Limo sabbioso	
13.00	22	60	23.79	0.80	29.74	3.38	Limo sabbioso	
13.20	63	75	64.82	2.13	30.39	3.29	Limo sabbioso	
13.40	18	50	19.85	0.93	21.27	4.70	Argilla limosa	
13.60	10	24	11.88	0.53	22.27	4.49	Argilla limosa	
13.80	14	22	15.90	1.07	14.91	6.71	Argilla limosa	
14.00	111	127	112.93	2.40	47.06	2.13	Sabbia limosa	
14.20	138	174	139.96	2.53	55.25	1.81	Sabbia limosa	
14.40	182	220	183.99	0.40	450.97	0.22	Sabbia e sabbia densa	
14.60	178	184	180.01	2.27	79.42	1.28	Sabbia e sabbia densa	
14.80	108	142	110.04	1.53	71.77	1.39	Sabbia e sabbia densa	
15.00	103	126	105.07	1.27	82.95	1.21	Sabbia e sabbia densa	
15.20	99	118	101.10	1.93	52.29	1.91	Sabbia limosa	
15.40	130	159	132.13	1.67	79.28	1.26	Sabbia e sabbia densa	
15.60	137	162	139.15	1.20	115.98	0.86	Sabbia e sabbia densa	
15.80	152	170	154.18	3.00	51.39	1.95	Sabbia limosa	
16.00	182	227	184.21	2.87	69.08	1.45	Sabbia e sabbia densa	
16.20	200	240	202.24	2.27	89.22	1.12	Sabbia e sabbia densa	
16.40	217	251	219.26	2.87	82.22	1.22	Sabbia e sabbia densa	
16.60	169	209	171.29	2.87	64.23	1.56	Sabbia e sabbia densa	
16.80	180	220	182.32	2.13	85.46	1.17	Sabbia e sabbia densa	
17.00	112	144	114.35	2.00	57.17	1.75	Sabbia limosa	
17.20	93	123	95.37	1.33	71.53	1.40	Sabbia e sabbia densa	
17.40	82	102	84.40	1.93	43.66	2.29	Limo sabbioso	
17.60	100	129	102.43	1.67	61.46	1.63	Sabbia limosa	
17.80	117	142	119.46	2.07	57.80	1.73	Sabbia limosa	
18.00	149	180	151.48	3.00	50.49	1.98	Sabbia limosa	
18.20	166	211	168.51	3.07	54.95	1.82	Sabbia limosa	
18.40	199	245	201.54	3.53	57.04	1.75	Sabbia limosa	
18.60	194	247	196.57	3.73	52.65	1.90	Sabbia limosa	
18.80	182	238	184.59	3.60	51.28	1.95	Sabbia limosa	
19.00	170	224	172.62	4.53	38.08	2.63	Limo sabbioso	
19.20	168	236	170.65	4.20	40.63	2.46	Limo sabbioso	
19.40	185	248	187.68	4.33	43.31	2.31	Limo sabbioso	
19.60	192	257	194.70	4.80	42.33	2.38	Limo sabbioso	
19.80	180	249	182.73	3.67	49.84	2.01	Sabbia limosa	
20.00	162	217	164.76	-	-	-	-	

PROVA PENETROMETRICA STATICHE MECCANICA

PARAMETRI GEOTECNICI - LITOLOGIA (Schmertmann)

CPT01

1/2

Località: S.R. 11 Padana Superiore - loc. Cà Sabbioni

Data: 06/08/2025

Prof. acqua in foro (m): 1,85 Quota inizio: -0.60

Penetrometro statico PAGANI TG 63-200
da 20 t (con anello allungatore).
Punta meccanica tipo Bergemann
Diametro = 35,7 mm
Angolo di apertura = 60°
 $A_p = 10 \text{ cm}^2$, $A_t = 20\text{cm}^2$, $A_m = 150\text{cm}^2$
Velocità di avanzamento = 2cm/s

Prof (m)	q_c (kg/cm ²)	f_s (kg/cm ²)	Natura	C_u (kg/cm ²)	ϕ (°)	E_{ed} (kg/cm ²)	Litologia (Schmertmann)	Interpretazione stratigrafica
0.20	-	-	-	-	-	-	-	
0.40	-	-	-	-	-	-	-	
0.60	-	1.20	-	-	-	-	-	
0.80	17.11	0.87	Coesiva	0.97	-	54	Argilla inorganica media	
1.00	12.14	0.80	Coesiva	0.72	-	47	Argille organiche e terreni misti	
1.20	10.17	0.67	Coesiva	0.62	-	39	Argille organiche e terreni misti	
1.40	12.19	0.47	Coesiva	0.72	-	47	Argille sabbiose e limose	
1.60	10.22	0.73	Coesiva	0.62	-	39	Argille organiche e terreni misti	
1.80	20.25	0.33	Granulare	-	28	61	Sabbia	
2.00	21.28	0.47	Granulare	-	28	64	Sabbia argillosa e limi	
2.20	13.30	0.40	Coesiva	0.78	-	51	Argille sabbiose e limose	
2.40	10.33	0.47	Coesiva	0.62	-	40	Argilla inorganica media	
2.60	12.36	0.40	Coesiva	0.73	-	48	Argille sabbiose e limose	
2.80	14.39	1.67	Coesiva	0.84	-	55	Argille organiche e terreni misti	
3.00	29.41	0.73	Granulare	-	29	88	Sabbia argillosa e limi	
3.20	24.44	0.80	Coesiva	1.13	-	73	Argille sabbiose e limose	
3.40	15.47	0.67	Coesiva	0.89	-	49	Argilla inorganica media	
3.60	13.50	0.87	Coesiva	0.79	-	52	Argille organiche e terreni misti	
3.80	16.52	0.67	Coesiva	0.95	-	52	Argille sabbiose e limose	
4.00	22.55	0.53	Granulare	-	28	68	Sabbia argillosa e limi	
4.20	68.58	1.00	Granulare	-	32	206	Sabbia	
4.40	78.61	1.00	Granulare	-	32	236	Sabbia	
4.60	57.63	1.47	Granulare	-	31	173	Sabbia argillosa e limi	
4.80	64.66	1.53	Granulare	-	32	194	Sabbia argillosa e limi	
5.00	45.69	1.87	Coesiva	1.90	-	137	Argille sabbiose e limose	
5.20	38.72	1.33	Coesiva	1.61	-	116	Argille sabbiose e limose	
5.40	30.75	0.80	Granulare	-	29	92	Sabbia argillosa e limi	
5.60	28.77	0.87	Granulare	-	28	86	Sabbia argillosa e limi	
5.80	31.80	1.47	Coesiva	1.33	-	95	Argille sabbiose e limose	
6.00	23.83	0.80	Coesiva	1.13	-	71	Argille sabbiose e limose	
6.20	22.86	1.13	Coesiva	1.13	-	69	Argilla inorganica molto compatta	
6.40	20.88	0.80	Coesiva	1.12	-	63	Argille sabbiose e limose	
6.60	12.91	0.73	Coesiva	0.76	-	50	Argilla inorganica compatta	
6.80	16.94	0.80	Coesiva	0.97	-	53	Argilla inorganica media	
7.00	14.87	0.80	Coesiva	0.87	-	58	Argilla inorganica compatta	
7.20	11.99	0.73	Coesiva	0.71	-	46	Argilla inorganica compatta	
7.40	9.02	2.47	Coesiva	0.55	-	41	Argille organiche e terreni misti	
7.60	35.05	2.87	Coesiva	1.46	-	105	Argille organiche e terreni misti	
7.80	34.08	0.47	Granulare	-	29	102	Sabbia	
8.00	46.10	0.87	Granulare	-	31	138	Sabbia	
8.20	40.13	1.20	Granulare	-	30	120	Sabbia argillosa e limi	
8.40	87.16	1.07	Granulare	-	33	261	Sabbia	
8.60	92.19	0.93	Granulare	-	33	277	Sabbia	
8.80	129.21	1.80	Granulare	-	35	388	Sabbia densa o cementata	
9.00	67.24	0.87	Granulare	-	32	202	Sabbia	
9.20	95.27	1.33	Granulare	-	34	286	Sabbia	
9.40	97.30	1.20	Granulare	-	34	292	Sabbia	
9.60	20.32	1.27	Coesiva	1.11	-	61	Argilla inorganica molto compatta	
9.80	17.35	0.53	Coesiva	0.99	-	55	Argille sabbiose e limose	
10.00	17.38	0.67	Coesiva	0.99	-	55	Argille sabbiose e limose	

PROVA PENETROMETRICA STATICHE MECCANICA

PARAMETRI GEOTECNICI - LITOLOGIA (Schmertmann)

CPT01

2/2

Località: S.R. 11 Padana Superiore - loc. Cà Sabbioni

Data: 06/08/2025

Prof. acqua in foro (m): 1,85 Quota inizio: -0.60

Penetrometro statico PAGANI TG 63-200
 da 20 t (con anello allungatore)
 Punta meccanica tipo Begemann
 Diametro = 35,7 mm
 Angolo di apertura = 60°
 Ap = 10 cm², At = 20cm², Am = 150cm²
 Velocità di avanzamento = 2cm/s

Prof (m)	q _c (kg/cm ²)	f _s (kg/cm ²)	Natura	C _u (kg/cm ²)	ϕ (°)	E _{ad} (kg/cm ²)	Litologia (Schmertmann)	Interpretazione stratigrafica
10.20	16.41	0.80	Coesiva	0.94	-	52	Argilla inorganica media	
10.40	12.44	0.93	Coesiva	0.74	-	48	Argille organiche e terreni misti	
10.60	14.46	2.00	Coesiva	0.84	-	56	Argille organiche e terreni misti	
10.80	26.49	0.27	Granulare	-	28	79	Sabbia	
11.00	69.52	1.53	Granulare	-	32	209	Sabbia argillosa e limi	
11.20	79.55	2.33	Granulare	-	32	239	Sabbia argillosa e limi	
11.40	90.57	1.67	Granulare	-	33	272	Sabbia	
11.60	28.60	1.60	Coesiva	1.22	-	86	Argilla inorganica molto compatta	
11.80	19.63	0.80	Coesiva	1.09	-	62	Argille sabbiose e limose	
12.00	33.66	1.20	Coesiva	1.40	-	101	Argille sabbiose e limose	
12.20	40.68	1.53	Coesiva	1.70	-	122	Argille sabbiose e limose	
12.40	66.71	1.27	Granulare	-	32	200	Sabbia	
12.60	80.74	1.93	Granulare	-	32	242	Sabbia argillosa e limi	
12.80	75.77	2.53	Granulare	-	32	227	Sabbia argillosa e limi	
13.00	23.79	0.80	Coesiva	1.13	-	71	Argille sabbiose e limose	
13.20	64.82	2.13	Granulare	-	32	194	Sabbia argillosa e limi	
13.40	19.85	0.93	Coesiva	1.10	-	63	Argilla inorganica molto compatta	
13.60	11.88	0.53	Coesiva	0.71	-	46	Argilla inorganica media	
13.80	15.90	1.07	Coesiva	0.91	-	50	Argilla inorganica molto compatta	
14.00	112.93	2.40	Granulare	-	35	339	Sabbia argillosa e limi	
14.20	139.96	2.53	Granulare	-	36	420	Sabbia densa o cementata	
14.40	183.99	0.40	Granulare	-	37	552	Sabbia	
14.60	180.01	2.27	Granulare	-	37	540	Sabbia densa o cementata	
14.80	110.04	1.53	Granulare	-	34	330	Sabbia densa o cementata	
15.00	105.07	1.27	Granulare	-	34	315	Sabbia densa o cementata	
15.20	101.10	1.93	Granulare	-	34	303	Sabbia densa o cementata	
15.40	132.13	1.67	Granulare	-	35	396	Sabbia densa o cementata	
15.60	139.15	1.20	Granulare	-	36	417	Sabbia densa o cementata	
15.80	154.18	3.00	Granulare	-	36	463	Sabbia densa o cementata	
16.00	184.21	2.67	Granulare	-	37	553	Sabbia densa o cementata	
16.20	202.24	2.27	Granulare	-	38	607	Sabbia densa o cementata	
16.40	219.26	2.67	Granulare	-	38	658	Sabbia densa o cementata	
16.60	171.29	2.67	Granulare	-	37	514	Sabbia densa o cementata	
16.80	182.32	2.13	Granulare	-	37	547	Sabbia densa o cementata	
17.00	114.35	2.00	Granulare	-	35	343	Sabbia densa o cementata	
17.20	95.37	1.33	Granulare	-	34	286	Sabbia	
17.40	84.40	1.93	Granulare	-	33	253	Sabbia argillosa e limi	
17.60	102.43	1.67	Granulare	-	34	307	Sabbia densa o cementata	
17.80	119.46	2.07	Granulare	-	35	358	Sabbia densa o cementata	
18.00	151.48	3.00	Granulare	-	36	454	Sabbia densa o cementata	
18.20	168.51	3.07	Granulare	-	37	506	Sabbia densa o cementata	
18.40	201.54	3.53	Granulare	-	38	605	Sabbia densa o cementata	
18.60	196.57	3.73	Granulare	-	38	590	Sabbia densa o cementata	
18.80	184.59	3.60	Granulare	-	37	554	Sabbia densa o cementata	
19.00	172.62	4.53	Granulare	-	37	518	Sabbia argillosa e limi	
19.20	170.65	4.20	Granulare	-	37	512	Sabbia argillosa e limi	
19.40	187.68	4.33	Granulare	-	38	583	Sabbia argillosa e limi	
19.60	194.70	4.60	Granulare	-	38	584	Sabbia argillosa e limi	
19.80	182.73	3.67	Granulare	-	37	548	Sabbia densa o cementata	
20.00	164.76	-	Granulare	-	37	494	Sabbia	

ALLEGATO 2**REPORT MISURA DELLA MISURA DEI MICROTREMORI****ORIAGO, S.R. 11 PADANA SUPERIORE – LOC. CÀ SABBIONI**

Strumento: TRZ-0084/01-10

Formato dati: 16 bit

Fondo scala [mV]: 51

Inizio registrazione: 06/08/2025 10:54:06 Fine registrazione: 06/08/2025 11:18:05

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h24'00".

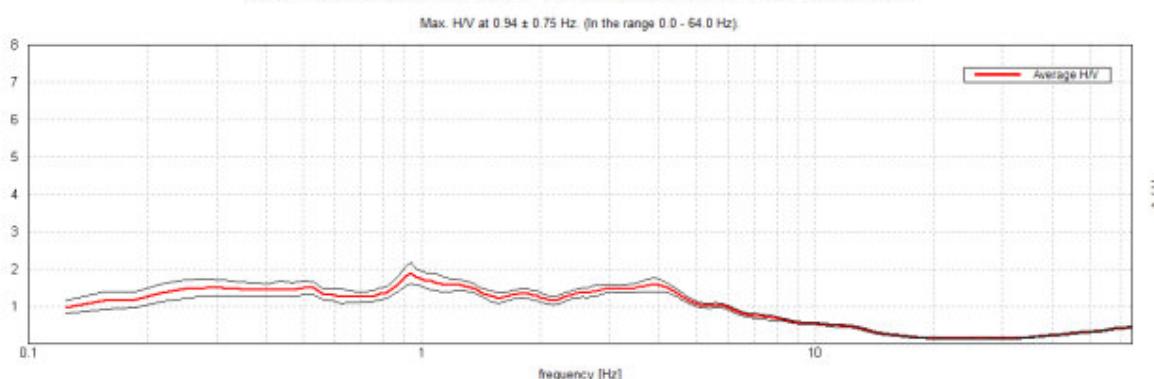
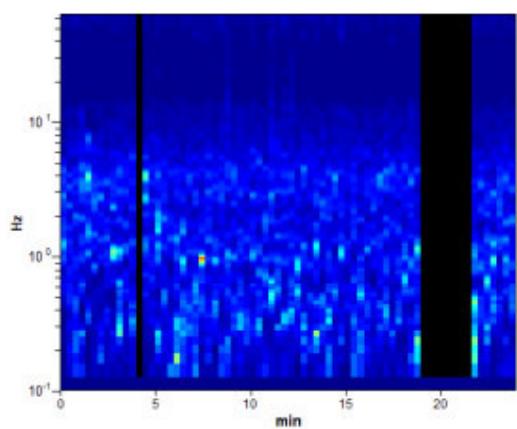
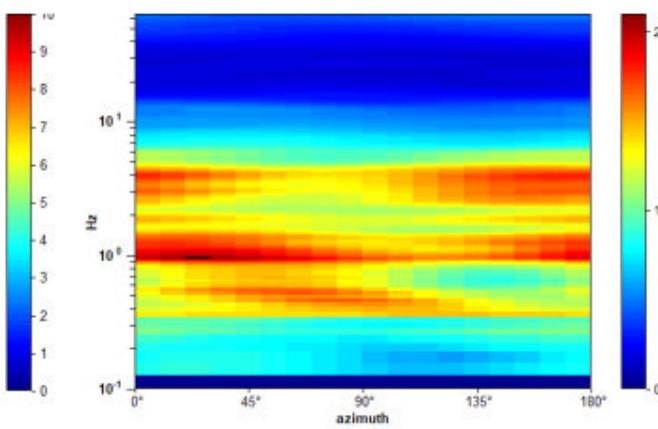
Analizzato 88% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

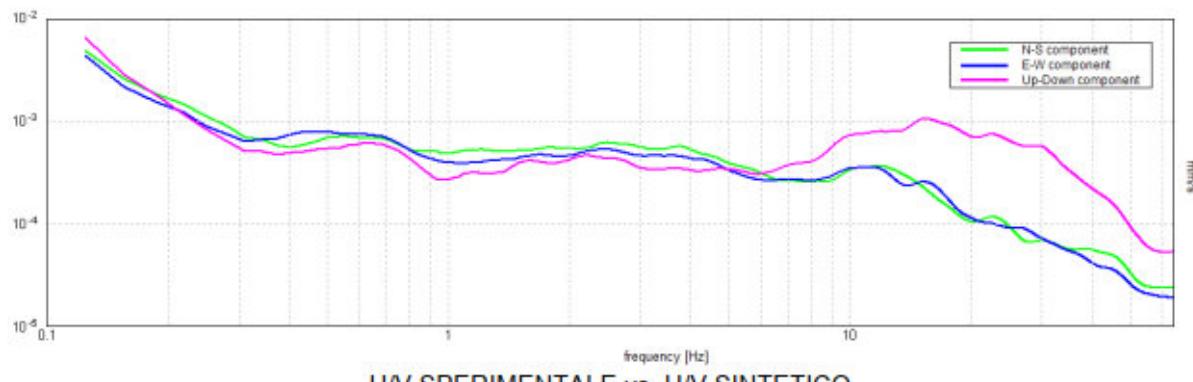
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

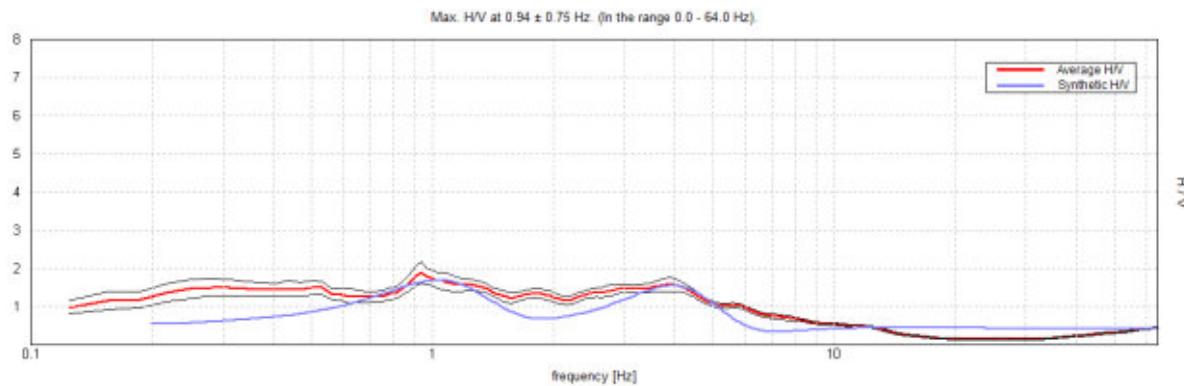
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE**SERIE TEMPORALE H/V****DIREZIONALITA' H/V**

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

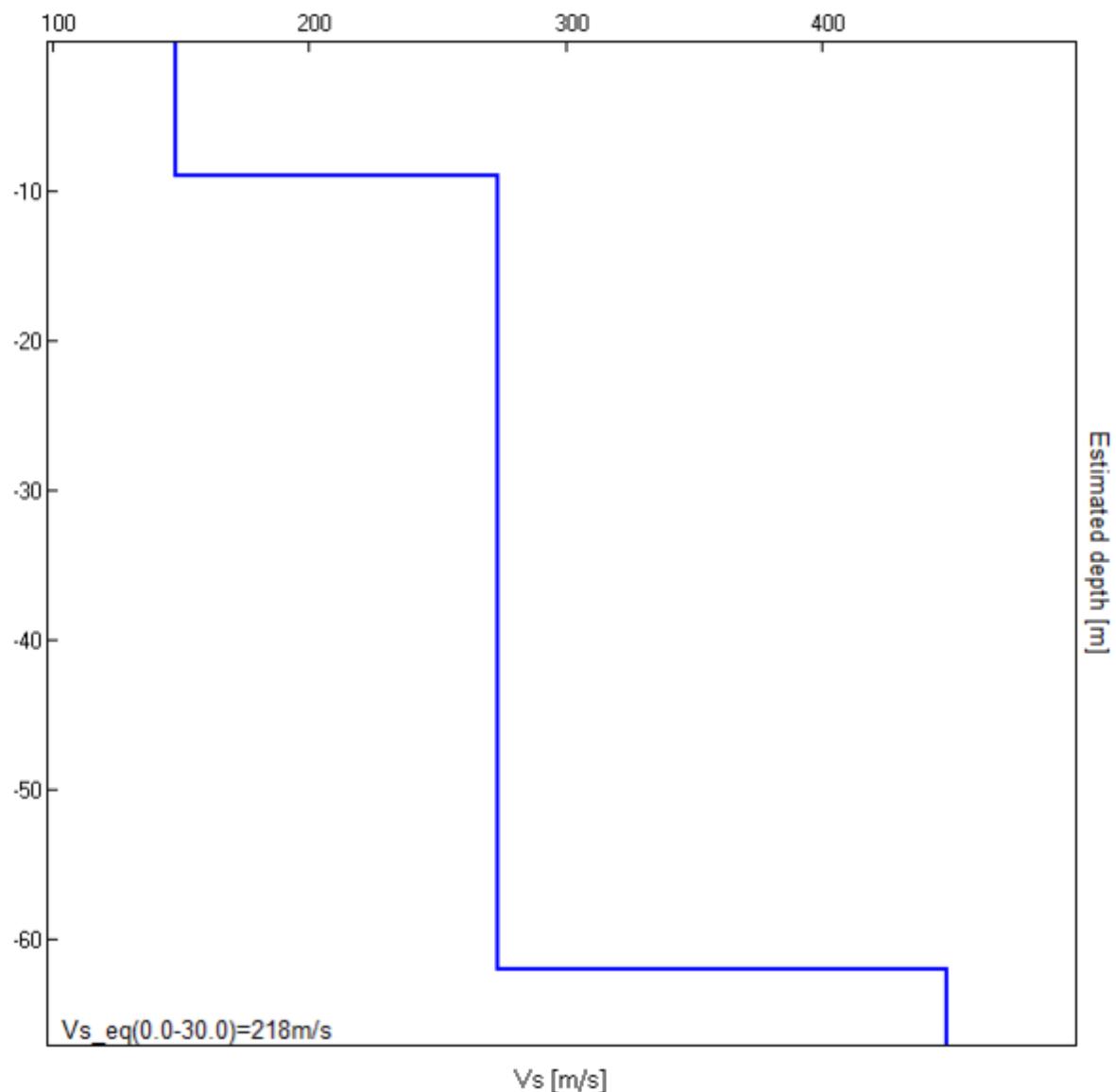


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
9.00	9.00	148	0.42
62.00	53.00	274	0.42
inf.	inf.	449	0.42

$$Vs_{-eq}(0.0-30.0)=218 \text{ m/s}$$



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di [Grilla](#) prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a 0.94 ± 0.75 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile
 [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.94 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1181.3 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 46	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro
 [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$1.90 > 2$		NO
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.80357 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \epsilon(f_0)$	$0.75335 < 0.14063$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2896 < 2.0$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\epsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \epsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{logH/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\epsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

ALLEGATO 3
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



FOTO 1: CPT01