

## ECOGIS

*studio geologico associato*

Gianluca Nascimbene  
Giuseppe Zuffada

*Sede legale e Uffici :*  
Via A. Moro, 5  
27028 S. Martino Siccomario (PV)  
Tel. 0382/1750334 - Fax 0382/1752557  
Email : ecogis@ecogis.it  
P.Iva/C.F. 02300900186



REGIONE: Lombardia

PROVINCIA: Pavia

COMUNE: Pavia

## PIANO ATTUATIVO VIA AMENDOLA



*A CURA DI:*

*Dott. Geol.*  
**GIANLUCA NASCIMBENE**

*Iscritto all'Ordine dei  
Geologi della Lombardia*

*N° 1076*

## RELAZIONE GEOLOGICA SISMICA

DATA:  
Marzo 2021

COMMITTENTE:  
Palladio Immobiliare



<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO.....</b>	<b>3</b>
2.1 – Aspetti geologici e geomorfologici .....	5
2.2 Aspetti idrografici e idrogeologici.....	6
<b>2.2.1 Movimenti dell’acqua nel terreno.....</b>	<b>8</b>
2.3 Fattibilità geologica e vincolistica.....	10
<b>3. DEFINIZIONE DELL’ AZIONE SISMICA LOCALE.....</b>	<b>14</b>
<b>4. CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E GEOTECNICA.....</b>	<b>39</b>
5. SCAVI .....	40
<b>6. TERRE E ROCCE DA SCAVO.....</b>	<b>41</b>
<b>7. CONCLUSIONI .....</b>	<b>43</b>



## 1. PREMESSA

La presente relazione, redatta ai sensi delle NTC 2018, è stata realizzata a supporto del piano attuativo in via Amendola, nel comune di Pavia ed illustra i risultati delle indagini geologico – tecniche e sismiche che hanno permesso di valutare il comportamento geomeccanico dei terreni di fondazione.

Le indagini sono state finalizzate a:

- illustrare i principali lineamenti geomorfologici della zona, gli eventuali processi morfologici ed i dissesti in atto e/o potenziali;
- definire le locali condizioni litologiche, la presenza di acque sotterranee e valutare le proprietà fisico - meccaniche dei terreni indagati;
- suggerire eventuali opere di salvaguardia al fine di assicurare la stabilità del complesso costruzione – terreno, tali da evitare gli impatti esercitati dalla edificazione in progetto.

Lo studio ha comportato un rilievo geomorfologico di dettaglio della zona interessata dal progetto e di un suo significativo intorno, per la caratterizzazione geologica dell'area e ,al fine di definire la corretta categoria del sottosuolo da un punto di vista sismico, è stata realizzata un'indagine sismica (MASW).

Tale indagine è stata suffragata inoltre, da una ricerca bibliografica per la consultazione di studi pregressi e da un confronto con indagini geognostiche condotte in aree limitrofe.

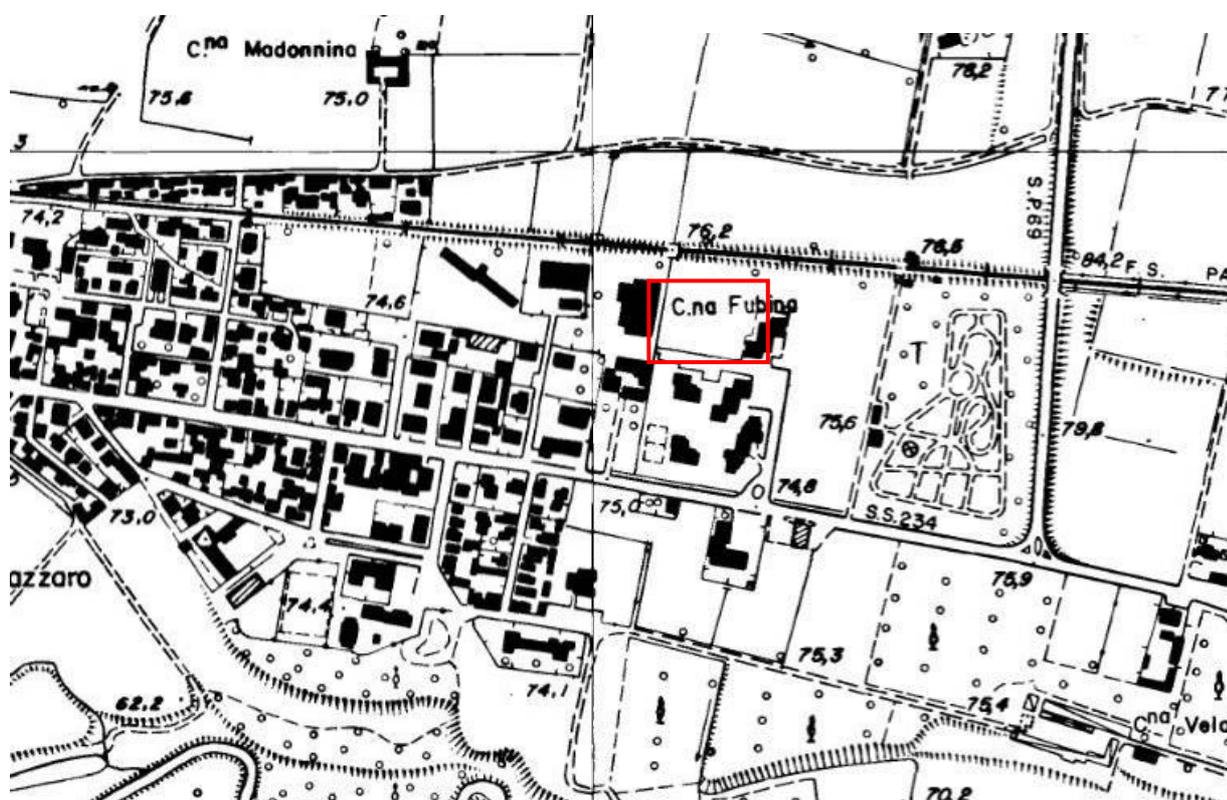
### NORMATIVA NAZIONALE DI RIFERIMENTO

- ✓ **D.M.LL.PP. 11/03/88** 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 e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- ✓ **D.M. 9 Gennaio 1996** Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi
- ✓ **D.M.16 Gennaio 1996** Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- ✓ **Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 marzo 2003** Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" (G.U. n. 105 del 8.05.2003)
- ✓ **Ordinanza n. 3316 del 2 ottobre 2003** Modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003
- ✓ **OPCM 3 maggio 2005** Ulteriori modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003, recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zone sismiche" (Ordinanza n. 3431) – (G.U.n.107del10 maggio2005–Suppl.Ord.n. 85)
- ✓ **D.M. 17 gennaio 2018** "Norme tecniche per le costruzioni 2018
- ✓ **Eurocodice 7** Progettazione geotecnica
- ✓ **Eurocodice 8** Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici

- ✓ **D.g.r. 30 marzo 2016 - n. X/5001** Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia (artt. 3, comma 1, e 13, comma 1, della l.r. 33/2015)

## 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

L'area oggetto d'indagine, è ubicata a est dell'abitato di Pavia, ad una quota topografia di circa 77 m s.l.m. Il territorio analizzato è compreso nelle sezioni B7b4 e B7c4 della C.T.R a scala 1:10.000 e nella Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100000 nel Foglio n° 59 "Pavia".



**Fig.1** –Stralcio carta CTR 1:10000

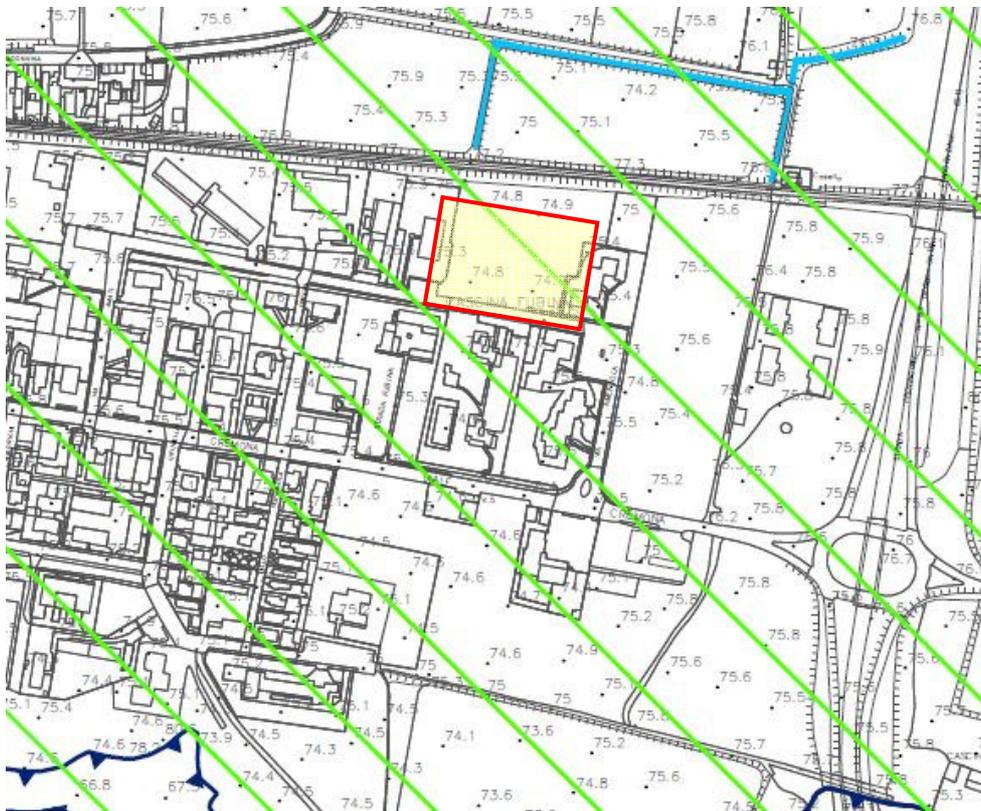


**Fig.2** - Immagine satellitare (Google Earth)



## 2.1 – Aspetti geologici e geomorfologici

Dal dettaglio della carta geologica-geomorfologica comunale, l'area di intervento ricade all'interno dei sedimenti riconducibili a depositi alluvionali recenti noti come "Fluviale Recente".



2 Ripiani impostati su depositi alluvionali antichi (A = ripiano inferiore o delle "Alluvioni Antiche", sopraelevato di 8 - 16 m rispetto all'alveo attivo del F. Ticino (ivi comprese le zone attualmente con quote confrontabili a tale ripiano in quanto interessate da riporti antropici effettuati su ex ripiani delle alluvioni recenti); B = ripiano superiore o del "Fluviale Recente", sopraelevato da 2 a 8 m rispetto al ripiano A). Litologia prevalente: sabbie, con sporadiche intercalazioni di ghiaietto e con orizzonti limoso - argillosi. La successione risulta parzialmente alterata (ferrettizzata) nella porzione superiore. Sono ricoperti da suoli alluvionali limosi e limoso - sabbiosi, localmente dotati di abbondante scheletro sabbioso e talora ghiaioso, generalmente superiori ai 50 cm.

 Reticolo idrico superficiale.

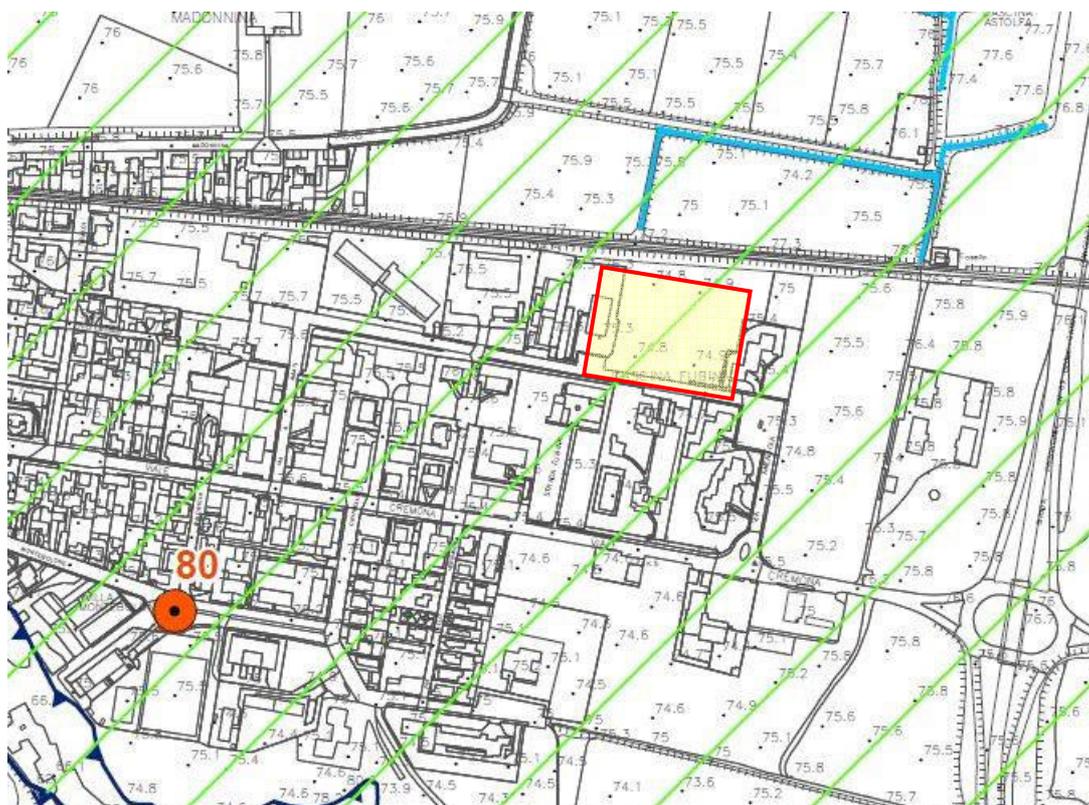
**Fig.3** - Carta geologica d'Italia foglio 59 "Pavia"

Litologicamente questi terreni sono costituiti principalmente da sabbie e ghiaie, ricoperti superficialmente da suoli alluvionali limosi e limoso-sabbiosi. Tali terreni si raccordano con evidenti terrazzi di origine fluviale, talvolta mascherati dall'intervento antropico per urbanizzazioni o pratiche agricole, con le *Alluvioni antiche*, deposte in epoca olocenica e con le *Alluvioni attuali* deposte dal Fiume Ticino.



## 2.2 Aspetti idrografici e idrogeologici

Dal punto di vista idrografico, l'elemento più prossimo all'area in oggetto è rappresentato dal F. Ticino che scorre direzione NO-SE a circa 1-2 km e rappresenta l'asse idrogeologico principale del territorio in esame; la morfologia pianeggiante della pianura pavese è movimentata in alcuni tratti da evidenti scarpate di terrazzo di origine fluviale che delimitano il "livello principale della pianura Lombarda" o "Piano generale terrazzato" (P.G.T.) dal ripiano inferiore.



2 Unità delle "Alluvioni antiche" (ivi comprese le zone interessate da riporti antropici con quote confrontabili a tale ripiano) e del "Fluviale recente". Rispetto alla precedente, questa unità è generalmente caratterizzata dalla presenza di una ulteriore falda libera, sospesa rispetto alla falda libera principale, con superficie (vedi TAV. 3) localizzata a pochi metri dal piano campagna e, comunque, con profondità variabile in funzione dell'andamento morfologico (sia topografico, sia dell'orizzonte semipermeabile che la sostiene), della stagione e dei "richiami" esercitati dalle scarpate di terrazzo (vedi TAVV. 3 e 9). L'alimentazione della falda sospesa avviene sostanzialmente per infiltrazione diretta di acque irrigue e/o di precipitazione meteorica. La sottostante falda libera principale, la cui superficie si trova a parecchi metri dal piano campagna (vedi TAV. 3 e 9), corrisponde a quella caratterizzante l'unità precedentemente descritta. In profondità, come nel caso precedente, per la presenza di orizzonti semi-permeabili ed impermeabili, si ha la presenza di più falde sovrapposte confinate e talora anche artesiane.



Pozzo profondo pubblico allacciato alla rete acquedottistica e relativo n. d'ordine della stratigrafia (vedi l'ALL. 1). A = attivo; B = dismesso (dati forniti dall'ente gestore, ASM Pavia, aggiornati all'aprile 2010).



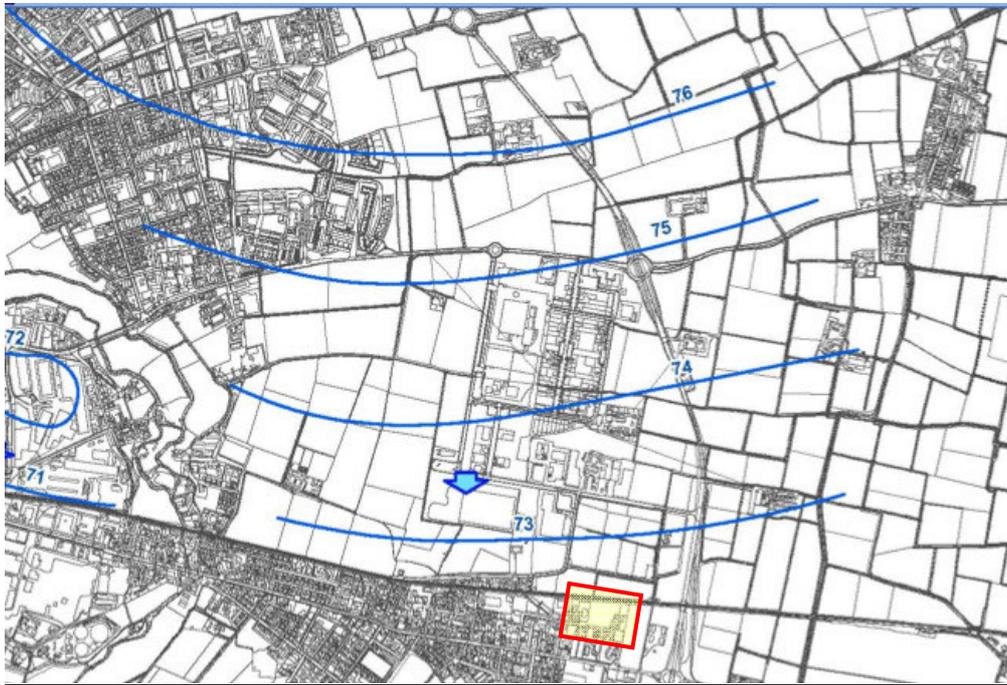
Pozzo profondo privato e relativo n. d'ordine (per la stratigrafia si veda l'ALL. 1).



Senso di flusso prevalente della falda libera (vedi TAV. 3).

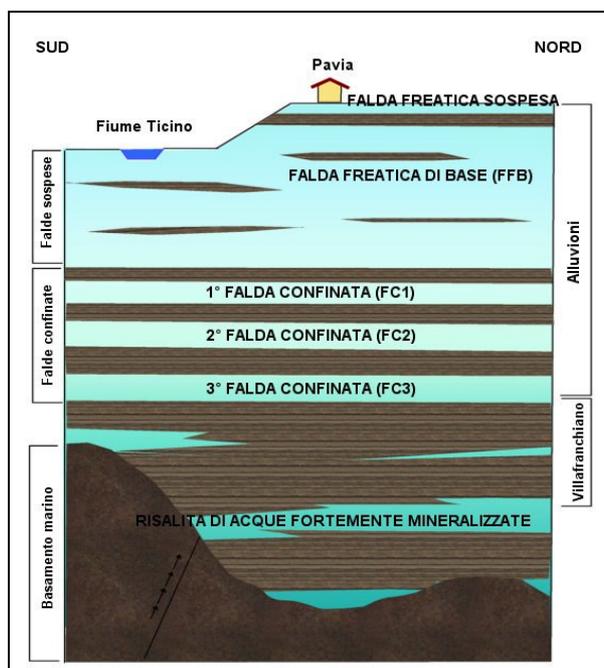
**Fig.4** – Stralcio della carta idrogeologica tratta dal PGT

L'andamento generale della falda freatica presenta un andamento Nord-Sud, dall'analisi della carta della isofreatiche il livello della prima falda risulta ad una *quota di circa -70,00÷72,00 m s.l.m.*



**Fig.5 - Stralcio di "Carta della isofreatiche" - studio geologico redatto dal dott. Geol. Fabrizio Finotelli**

La particolare situazione litologica del sottosuolo, costituito da terreni mediamente permeabili, l'intensa attività irrigua e le dispersioni di acque nel sottosuolo a seguito di perdite rilevanti dei vari canali di adduzione, di irrigazione e di scorrimento superficiale, concorrono a creare una situazione idrogeologica instabile, tale situazione provoca nei mesi estivi (mag- set) una escursione della superficie freatica di circa  $1,00 \div 1,50$  m.



**Fig. 6 - Schema delle unità idrogeologiche presenti nel sottosuolo di Pavia (tratto da Pilla - Atti Ticinensi di Scienze della Terra – Vol. XL - Università idrogeologico delle falde – 1988).**

### 2.2.1 Movimenti dell'acqua nel terreno

La definizione esatta nello spazio della circolazione sotterranea delle acque di infiltrazione efficace è molto complessa e può essere sintetizzata secondo due tipologie di movimento principali:

- ✓ *sub-orizzontali*: sono legati al moto di deflusso delle acque della falda, hanno direzione di flusso prevalentemente orizzontale dalle zone di alimentazione alle zone di recapito o emergenza
- ✓ *sub-verticali*: assumono una direzione essenzialmente verticale ed un verso che può essere di tipo discendente durante il moto di percolazione verso la falda, ascendente nelle fasi di risalita capillare o misto durante le oscillazioni del livello piezometrico, con alternanze di movimenti ascendenti e discendenti.

La percolazione verso la falda è quel processo attraverso il quale le acque di infiltrazione efficace sotto l'azione della forza di gravità si muovono verso il basso attraverso i meati intercomunicanti del terreno (roccia, substrato roccioso, sedimenti di copertura) lungo percorsi più o meno lunghi e articolati.



La velocità del movimento verso la falda è in funzione del diametro dei meati e del tipo di comunicazione esistente tra loro, infatti si può osservare come a parità di quantità di acqua defluente attraverso una data sezione di terreno (acquifero) nell'unità di tempo e a parità di altri fattori condizionanti, le resistenze dovute all'attrito tra le particelle e l'acqua sono inversamente proporzionali alla dimensione dei meati, con un progressivo aumento della velocità con l'aumentare delle dimensioni dei vuoti intergranulari.

Al contrario l'ascensione capillare anch'essa funzione del diametro dei vuoti, è massima nei terreni con meati di piccolo diametro (limi e argille), nei quali le forze di adesione che si generano tra ogni singola molecola d'acqua e quelle adiacenti poste entro un dato raggio d'influenza sono più elevate rispetto a quanto succede nei vuoti di grosso diametro (sabbie e ghiaie).

La seguente tabella fornisce indicazione di carattere qualitativo sulle altezze di risalita capillare per diversi tipi di terreni omogenei (Silin Beckurin, 1958).

**Tabella – Altezze di risalita capillare per diversi tipi di terreno**

Litologia	Risalita capillare (cm)
Sabbia grossolana	2 ÷ 5
Sabbia	12 ÷ 35
Sabbia fine	35 ÷ 70
Limo	70 ÷ 150
Argilla	150 ÷ 400

Dall'analisi della tabella precedente risulta che il terreno individuato al piano di posa delle fondazioni in esame (sabbia), permette una risalita capillare dell'acqua dell'ordine di circa 12 ÷ 35 cm dal livello superficiale della falda freatica.

Le oscillazioni del livello piezometrico nel tempo sono continue, anche se a volte possono risultare impercettibili e sono regolate sia da cause naturali, sia da cause artificiali.

Le condizioni climatiche padane sono sostanzialmente di tipo continentale, con inverni rigidi ed estati calde, elevata umidità specie nelle zone con più ricca idrografia, nebbie frequenti specie in inverno, piogge piuttosto limitate e relativamente ben distribuite durante tutto l'anno; la ventosità è ridotta e frequenti sono gli episodi temporaleschi estivi. In generale si rileva che la quantità di pioggia che cade in questa stagione è superiore a quella invernale anche se più irregolarmente distribuita.

In autunno il clima è caratterizzato dall'ingresso sull'area padana di intense perturbazioni e le piogge che ne derivano sono in genere di rilevante entità.

In complesso la distribuzione annuale delle precipitazioni nell'area a clima padano presenta due massimi, uno principale in autunno (intorno ad ottobre-novembre) ed uno secondario in primavera (intorno a maggio - giugno).

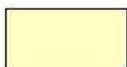
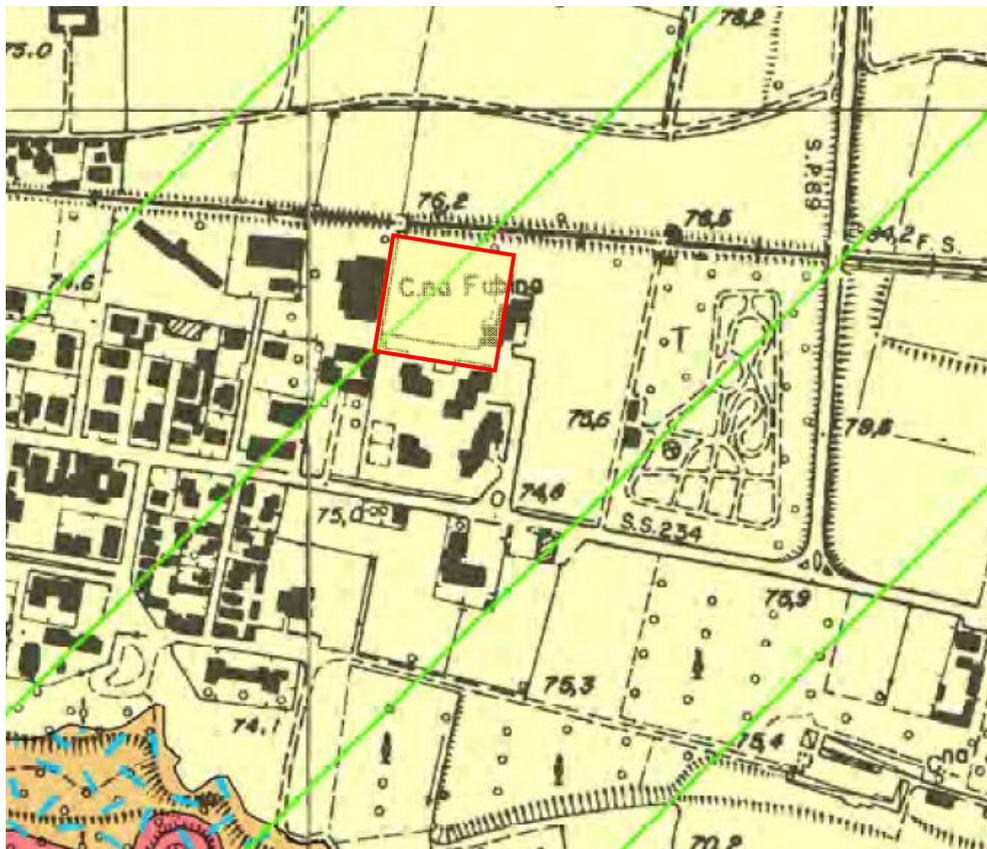


Le principali cause naturali dell'innalzamento del livello freatico sono da ricercare negli apporti idrici dovuti alle precipitazioni atmosferiche e nei rapporti idrogeologici con i livelli dei fiumi e dei laghi.

Le più importanti variazioni dovute a cause artificiali sono attribuibili all'utilizzazione e/o ricarica delle falde da parte dell'uomo (per uso umano, agricolo, industriale).

### 2.3 Fattibilità geologica e vincolistica

Dall'analisi del P.G.T. del Comune di Pavia risulta come l'area in esame ricade all'interno della classe di fattibilità 2 ovvero "Fattibilità con modeste limitazioni".



**Classe 2 (gialla) - Fattibilità con modeste limitazioni.** La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso, che possono essere superate mediante approfondimenti di indagine e accorgimenti tecnico-costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa. Sono state inserite in questa classe: le unità idro-geo-morfologiche, geotecniche e idrauliche A e B di cui alla TAV. 9.



**Z4a.** Zona di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi, ove gli effetti da sisma possono originare amplificazioni litologiche e geometriche (tutto il territorio comunale ricade in questa zona).

**Fig.7 - Stralcio di "Carta della fattibilità geologica"**



*La classe di fattibilità 2 comprende le zone nelle quali sono state riscontrate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso, che possono essere superate mediante approfondimenti di indagine e accorgimenti tecnico-costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa. Sono state inserite in questa classe: le unità idro-geo-morfologiche, geotecniche e idrauliche **A** e **B** di cui alla TAV. 9 ove non gravate da altri vincoli o limitazioni.*

*In questa classe ricadono le aree nelle quali gli studi non hanno individuato specifiche controindicazioni di carattere geologico all'urbanizzazione e alla edificabilità. L'edificazione risulta pertanto in genere attuabile senza particolari problemi di ordine geologico-tecnico. Solo localmente sono presenti vincoli non severi, essenzialmente dovuti ad eterogeneità latero-verticali delle caratteristiche geomeccaniche del substrato di fondazione con locale presenza nell'immediato sottosuolo di orizzonti dotati di scadenti caratteristiche geotecniche; tali vincoli possono comunque essere individuati con precisione attraverso l'esecuzione di puntuali ed opportune indagini geognostiche e superabili generalmente con l'adozione di normali accorgimenti costruttivi. In queste sotto-unità, le indagini sito-specifiche di progetto da effettuare ai fini della definizione del modello geologico e geotecnico di cui alle Norme Tecniche per le costruzioni dovranno essere in particolare finalizzati alla definizione della profondità, morfologia e consistenza del substrato, previa esecuzione di idonee indagini geognostiche (per la buona parte dei casi di interventi di mole non rilevante potrà essere anche sufficiente una caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica speditiva mediante l'apertura di trincee esplorative con escavatore meccanico, eventualmente da integrare successivamente con indagini più profonde e/o specifiche, quali sondaggi, prove penetrometriche e prove geotecniche di laboratorio, nel caso in cui le trincee fornissero esiti sfavorevoli o insufficienti). Le indagini geologiche e geotecniche dovranno in ogni caso consentire la definizione della locale situazione idrogeologica (in particolare: posizione e fascia di oscillazione della falda) e dei parametri geomeccanici caratteristici di resistenza e deformazione (anche mediante l'ausilio di prove geotecniche di laboratorio), da utilizzare per il corretto dimensionamento delle strutture fondazionali, con verifiche geotecniche finalizzate al calcolo della capacità portante e dei cedimenti in relazione ai carichi di progetto.*

*Localmente le informazioni a disposizione indicano la probabile presenza, singola o associata, di un immediato sottosuolo contraddistinto da caratteristiche geotecniche non ottimali (**A<sup>1(a)</sup>**, **A<sup>2(a)</sup>**, **B<sup>1(a)</sup>**, **B<sup>1(b)</sup>**) e/o interferenze tra falda e primo sottosuolo (**A(a)**, **A<sup>1(a)</sup>**, **B(a)** e **B<sup>1(a)</sup>**). In queste sotto-unità possono essere comprese anche aree che ricadono nelle sotto-unità precedenti, ove l'assenza di una fitta maglia di dati geognostici puntuali non ha consentito la perimetrazione di dettaglio di zone ove possono essere presenti le stesse limitazioni. Per le aree ricadenti in queste sotto-unità, l'edificabilità può comunque essere generalmente attuata con l'adozione di normali accorgimenti costruttivi e/o di preventiva salvaguardia idrogeologica o geotecnica, opportunamente dimensionati sulla base delle risultanze di indagini idrogeologiche e geotecniche puntuali che, oltre quanto già espresso in merito per le sotto-unità precedenti, dovranno considerare le condizioni limitative geotecniche e/o idrogeologiche caratteristiche appena descritte.*

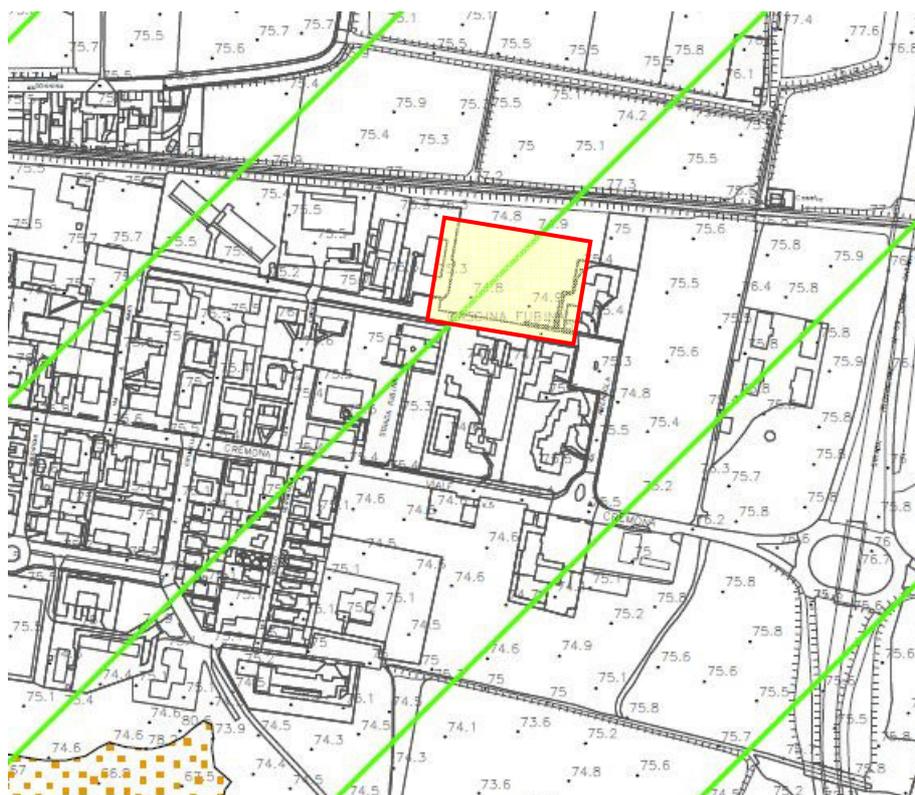
*Nelle fasce prospicienti gli orli di scarpata che delimitano i ripiani, le verifiche geotecniche, oltre a quanto già specificato in precedenza, dovranno dimostrare che gli interventi previsti non muteranno in senso peggiorativo la situazione geostatica esistente.*

Come riportato dalla Carta dei Vincoli estratta dal P.G.T. del Comune di Pavia (Fig. 8), non sono presenti di vincoli di natura geologica e idrogeologica.



**Fig.8** - Stralcio di "Carta dei vincoli"

Per quanto riguarda la carta di pericolosità sismica locale l'area in esame ricade in uno scenario di pericolosità sismica "Z4a" ovvero – "zona di pianura con presenza di depositi alluvionale e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi, ove gli effetti da sisma possono originare amplificazioni litologiche e geometriche.



**ANALISI SISMICA DI 1° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO, ESTESA A TUTTO IL TERRITORIO COMUNALE (RICADENTE IN ZONA SISMICA 4)**

Il territorio comunale di Pavia ricade in Zona Sismica 4 (a bassa sismicità, quella a minor pericolosità sismica del territorio nazionale in una scala da 1 a 4 dove l'accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni è inferiore a 0,05, rispetto a 0,05÷0,15, 0,15÷0,25 e >0,25 rispettivamente per le Zone 3, 2 e 1, e l'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico è fissato pari a 0,05, rispetto a 0,15, 0,25 e 0,35 rispettivamente per le Zone 3, 2 e 1; OPCM 20 marzo 2003, n. 3274 e D.G.R. 7 novembre 2003, n. 14964), ove la Massima Intensità Macrosismica risentita è pari al 7° grado della scala MCS (Banca dati macrosismici del GNDDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA, elaborato per il Dipartimento della Protezione Civile a cura di D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise, con la collaborazione di C. Meletti, S. Mirena, G. Monachesi, G. Morelli, L. Peruzza, A. Zerga; aprile 1996) e dove gli effetti massimi attesi possono consistere in danni, anche gravi, di tipo non strutturale e possibilità di crolli di edifici in muratura particolarmente vulnerabili (Massimi effetti sismici attesi nei comuni italiani, elaborato per il Dipartimento della Protezione Civile a cura di D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise, Sicurezza – 96, Milano Fiera, novembre 1996).



Z4a. Zona di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi, ove gli effetti da sisma possono originare amplificazioni litologiche e geometriche (tutto il territorio comunale ricade in questa zona).

**Fig.9 -** Stralcio di "Carta della pericolosità sismica"

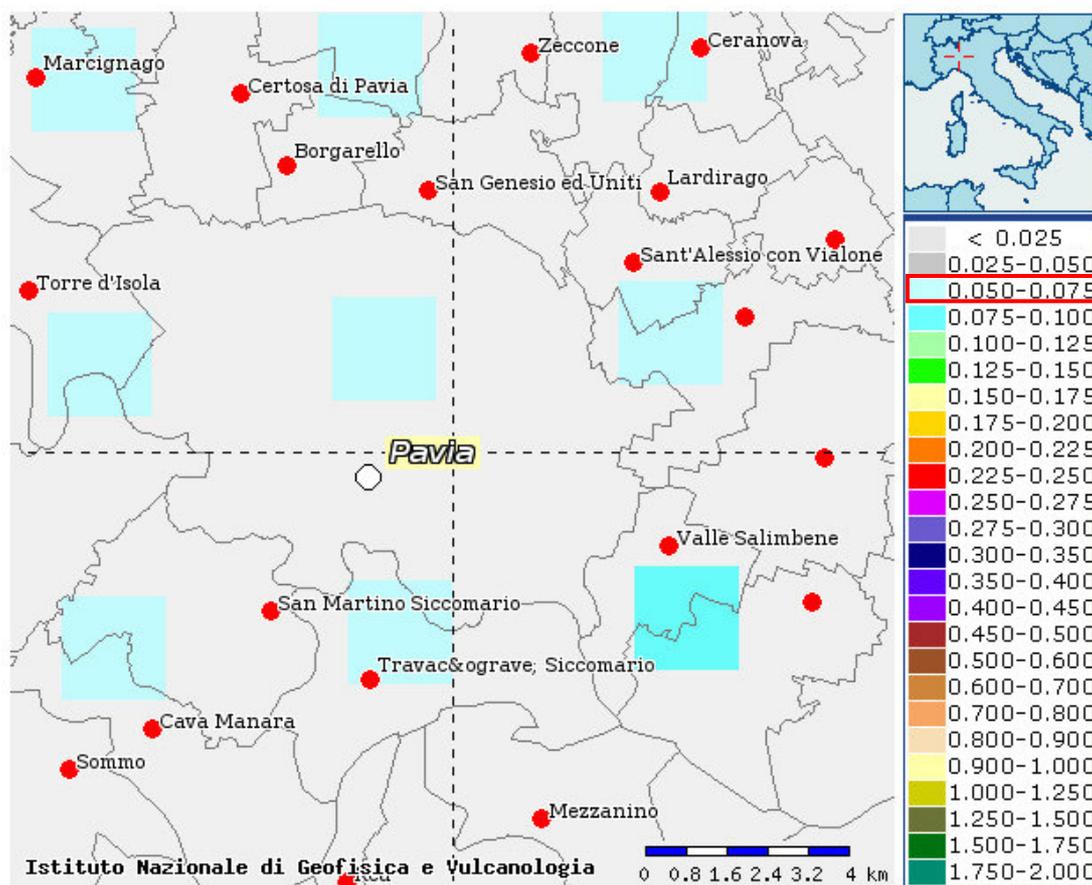


### 3. DEFINIZIONE DELL' AZIONE SISMICA LOCALE

*Si specifica che a seguito della D.G.R 11 Luglio 2014 – n. X/2129 – "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia", il Comune di Pavia è passato alla "classe sismica 3".*

In ogni caso la normativa sismica ed i parametri relativi a ciascun territorio risultano in veloce e continua revisione, soprattutto nell'ambito della convenzione tra INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) e DPC (Dipartimento Protezione Civile) che prevede l'assistenza per il completamento e la gestione della "mappa di pericolosità sismica" prevista dall'OPCM 3274.

Già l'Ordinanza PCM 3519 del 27/04/06 fornisce una revisione dei valori di ag sul territorio nazionale ed inserisce il territorio di **PAVIA** nella sottozona caratterizzata da valori di ag compresi tra 0.050 e 0.075 (accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni).



**Fig. 10 - Valori di pericolosità sismica del territorio nazionale**

Più recentemente nell'ambito della revisione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008) sono state adottate le stime di pericolosità sismica del progetto S1, concludendo il percorso iniziato nel 2003. Tali stime superano il concetto di classificazione a scala comunale e sulla base di 4 zone



sismiche. Tuttavia le 4 zone sismiche mantengono una funzione prevalentemente amministrativa. La Regione Lombardia ha stabilito nella D.G.R. n°8/7374 del 28/05/2008 (punto 1.4.3) che *“la suddivisione del territorio in zone sismiche (ai sensi dell’OPCM 3274/03) individua unicamente l’ambito di applicazione dei vari livelli di approfondimento in fase pianificatoria”* e specifica altresì che *“ai sensi del D.M. 14/01/2008, la determinazione delle azioni sismiche in fase di progettazione non è più valutata riferendosi ad una zona sismica territorialmente definita, bensì sito per sito, secondo i valori riportati nell’All. B al citato D.M.”*. I dati riportati nell’All.B del D.M. 14/01/2008 coincidono per lo più con quelli riportati nell’Ord. 3519/2006, e sono in ogni caso determinabili mediante le coordinate geografiche e l’utilizzo di programmi applicativi.

Per quanto riguarda le categorie di sottosuolo, secondo le NTC 2018, vengono eliminate le categorie S1 ed S2, mentre con l’utilizzo della VSeq, le categorie di sottosuolo B, C e D vengono ampliate inglobando alcune configurazioni che rientravano in S2, quando il bedrock sismico si posizionava tra i 3 ed i 25 metri dal piano di riferimento. Inoltre la Categoria di sottosuolo D (che nelle NTC08 erano definite con  $V_{s,30} < 180$  m/sec) viene classificata con valori di  $V_{s,eq}$  compresi tra 100 e 180 m/sec. Inoltre, come è possibile osservare dalla seguente tabella, non si ricava più la categoria di sottosuolo usando o  $NSPT_{30}$  o  $CU_{30}$ .

<b>Categorie</b>	<b>Caratteristiche della superficie topografica</b>
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio ( $V_{S,eq}$ ) superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m
<b>B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente ( $V_{S,eq}$ ) compresi tra 360 m/s e 800 m/s
<b>C</b>	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine 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 ( $V_{S,eq}$ ) compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
<b>D</b>	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine 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 ( $V_{S,eq}$ ) compresi tra 100 e 180 m/s.
<b>E</b>	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.

**Tabella 1** - Categorie di sottosuolo



Nelle definizioni precedenti  $V_{s,eq}$  è la velocità media di propagazione delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

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

$h_i$  = spessore dello stato  $i$ -esimo;

$V_{s,i}$  = 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/sec. Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m (come nel caso in esame), la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

In base a quanto prescritto nelle NTC 2018, la velocità delle onde di taglio,  $V_{seq}$ , va "determinata mediante apposite misure dirette, derivanti da indagini geofisiche di tipo sismico".

Per la definizione dell'azione sismica locale, si è provveduto alla consultazione dei dati ottenuti da un'indagine sismica (MASW) eseguita in corrispondenza dall'area oggetto di studio.

### 3.1 Misura della $V_{s30}$ tramite la tecnica "MASW"

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde.

In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi. Il metodo di indagine MASW si distingue in metodo attivo e metodo passivo (Zywicki, D.J.1999) o in una combinazione di entrambi. Nel metodo attivo le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori.

Nel metodo passivo lo stendimento dei sensori può essere sia lineare, sia circolare e si misura il rumore ambientale di fondo esistente. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30m-50m, in funzione della rigidità del suolo. Il metodo passivo in genere consente di tracciare una velocità di fase apparente sperimentale compresa tra 0 Hz e 10Hz, quindi dà informazioni sugli strati più profondi del suolo, generalmente al di sotto dei 50m, in funzione della rigidità del suolo.



**Fig. 11** – Ubicazione stendimento sismico



**Fig. 12** – Stendimento sismico

### **3.1.1 Analisi dei risultati – MASW**

La definizione del tipo di suolo ai sensi delle Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC 2018), è stata possibile mediante la realizzazione di un'indagine indiretta basata sulle tecniche della sismica a rifrazione (misura diretta delle  $V_{seq}$  con metodologia MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves).

A tale scopo è stato predisposto uno stendimento sismico lineare con le seguenti caratteristiche:

**S 1** - lunghezza pari a **33 m** con 12 geofoni a distanza intergeofonica di 3,0 m, punto di energizzazione dal primo ed ultimo geofono pari a 3 m;

Il profilo M.A.S.W., sulla base dei modelli medi, indicava una  $V_{seq} = V_{s30}$  pari a **268.65 m/s**.



Ai fini della definizione delle azioni sismiche secondo le nuove "Norme Tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni" il profilo stratigrafico dei terreni coinvolti nel progetto permette di classificare il sito come:

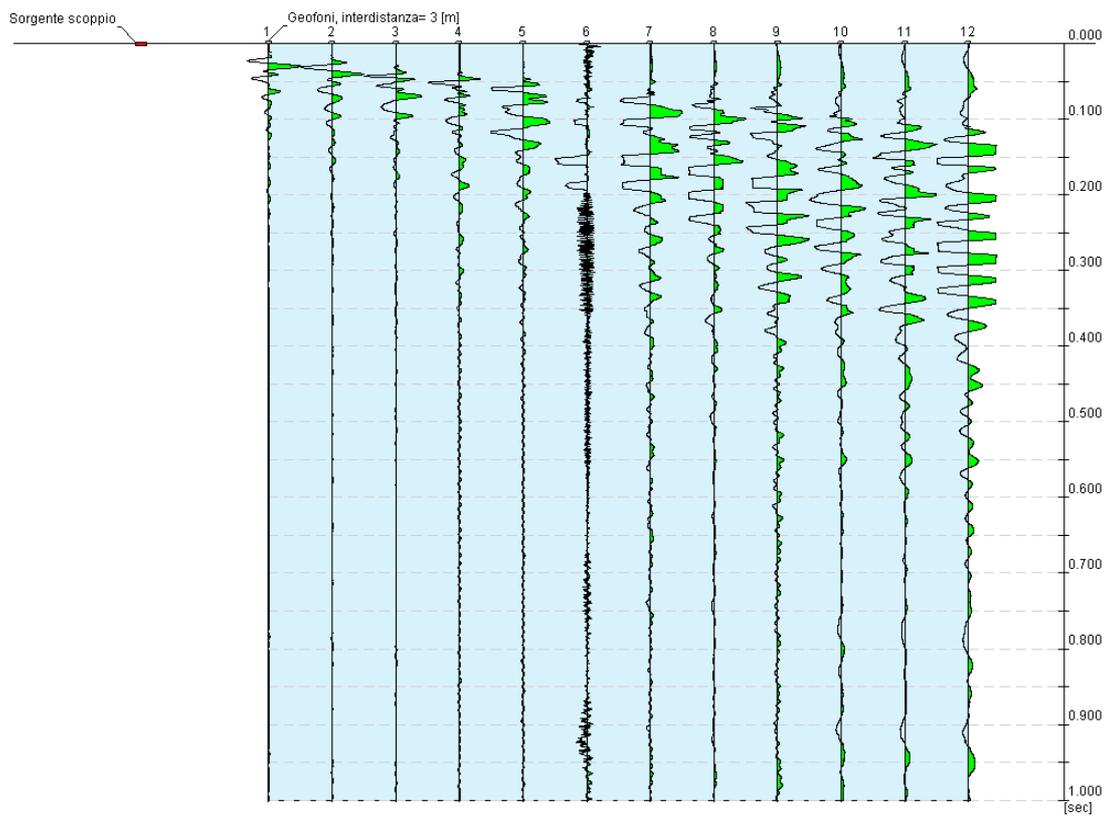
**suolo tipo "C"** – "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente ( $V_{S,eq}$ ) compresi tra 180 m/s e 360 m/s"

Si riporta di seguito, il profilo con le velocità  $V_{S30}$  relative allo stendimento:

### **STENDIMENTO 1**

#### **Tracce**

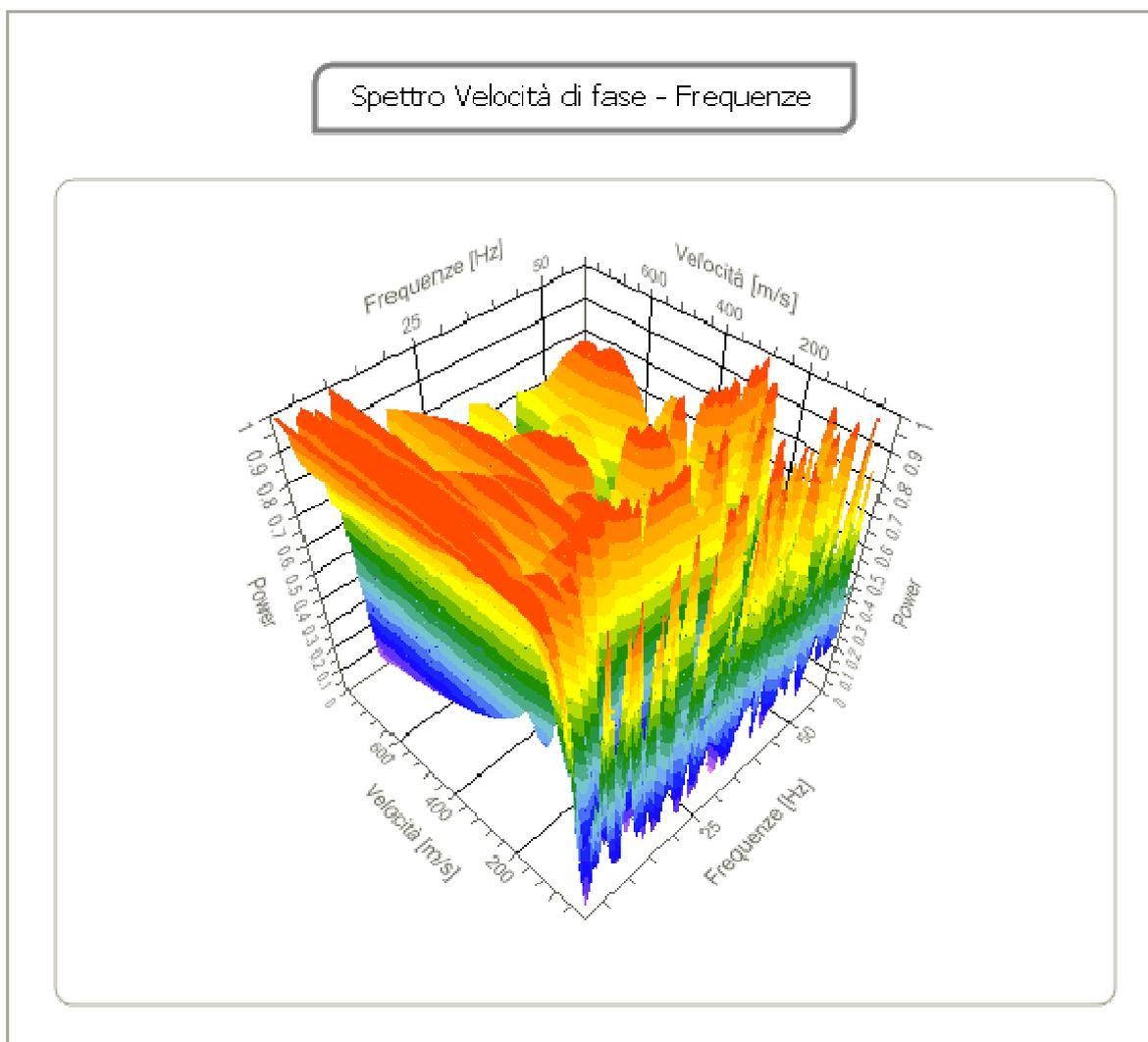
<b>N. tracce</b>	12
<b>Durata acquisizione [msec]</b>	1002.3
<b>Interdistanza geofoni [m]</b>	3.0
<b>Periodo di campionamento [msec]</b>	0.131



**Fig. 13 - Sismogramma standimento MASW 1**

### Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1



**Fig. 14 - Analisi spettrale**

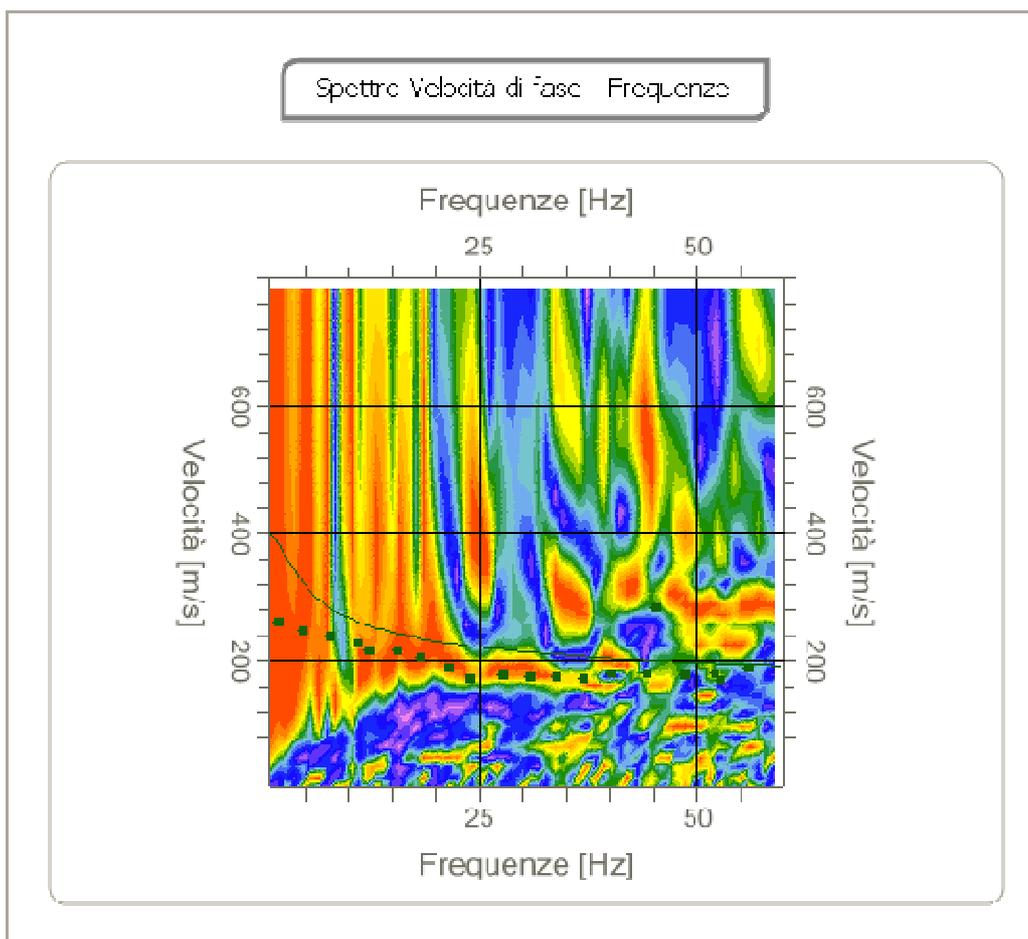
**Curva di dispersione**

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	2.0	258.8	0
2	4.9	245.2	0
3	8.0	236.5	0
4	11.3	227.6	0
5	12.6	215.7	0



6	15.8	215.7	0
7	18.5	203.7	0
8	21.7	188.8	0
9	24.1	170.9	0
10	27.8	176.9	0
11	30.9	173.9	0
12	34.0	173.9	0
13	37.0	170.9	0
14	40.3	179.9	0
15	44.4	179.9	0
16	45.3	283.5	0
17	48.6	176.9	0
18	52.1	179.9	0
19	56.0	188.8	0
20	52.7	168.0	0

**Tabella 3** - Parametri della curva di dispersione



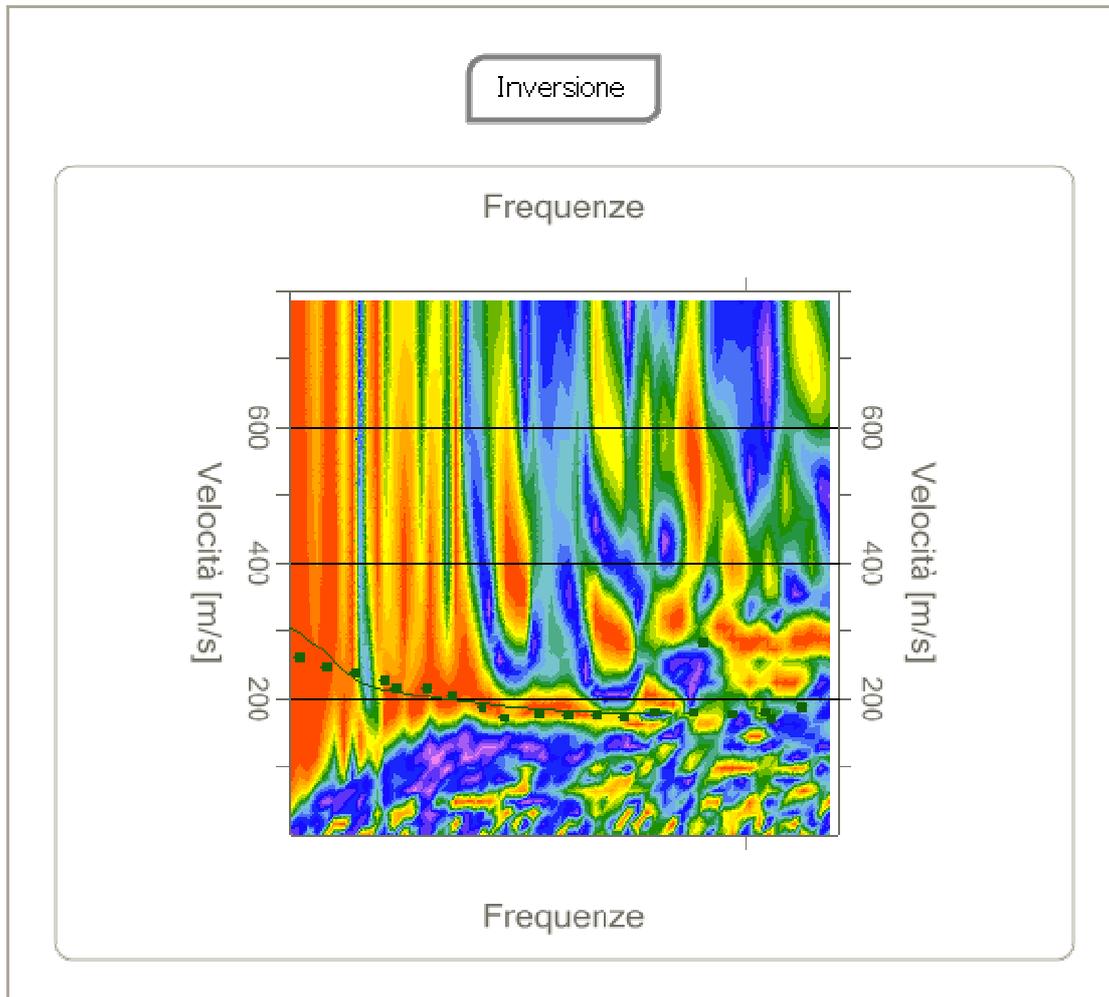
**Fig. 15** -Curva di dispersione stendimento masw 1

**Inversione**

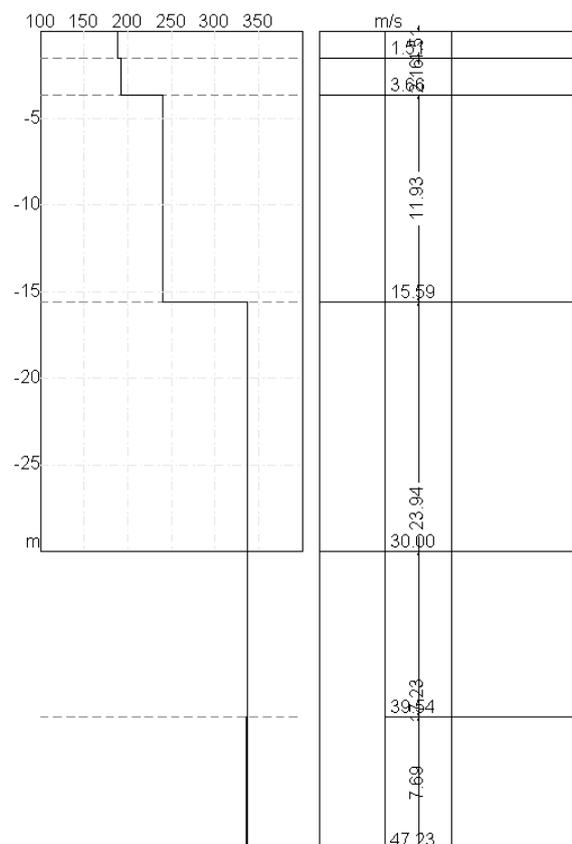
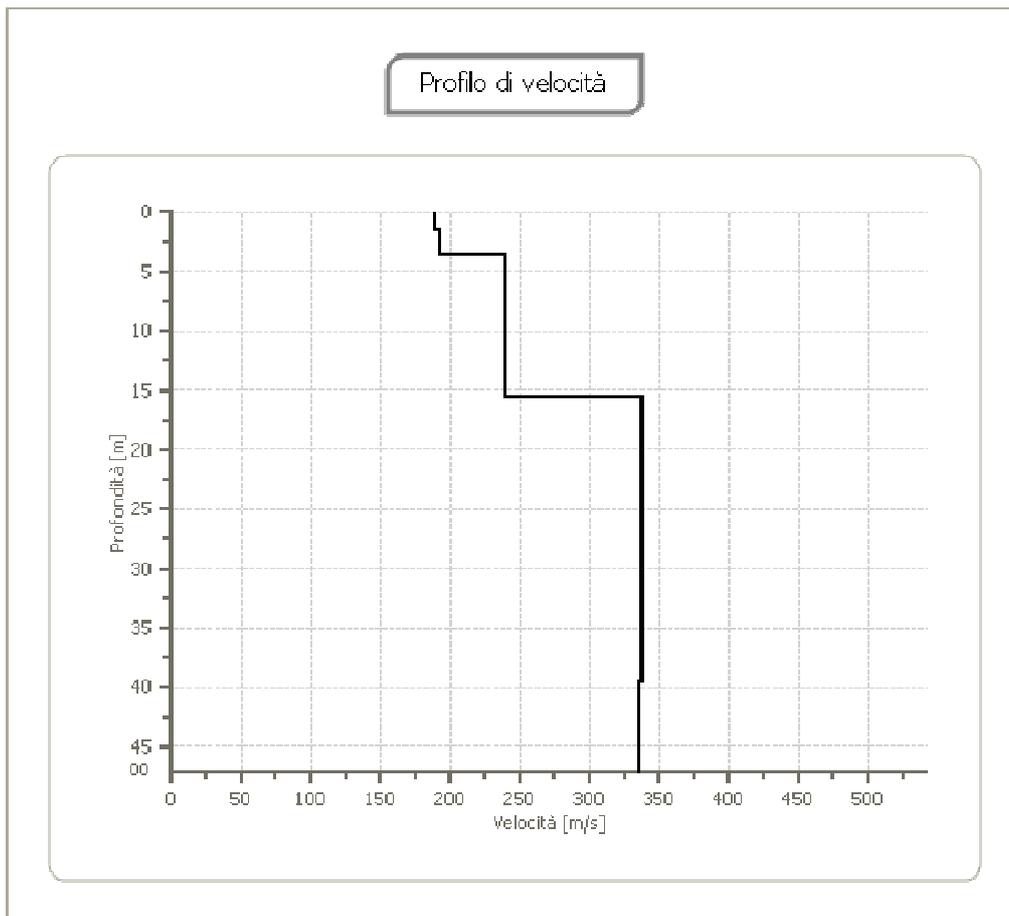
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.51	1.51	1800.0	0.3	No	351.9	188.1
2	3.66	2.16	1800.0	0.3	No	359.8	192.3
3	15.59	11.93	1800.0	0.3	Si	448.9	240.0
4	39.54	23.94	1800.0	0.3	Si	630.8	337.2
5	47.23	7.69	1800.0	0.3	Si	628.7	336.0
6	oo	oo	1800.0	0.3	Si	630.9	337.2

Percentuale di errore 0.495%  
 Fattore di disadattamento della soluzione 0.068

**Tabella 4** - Valori dell'inversione



**Fig. 16 - Inversione**



**Fig. 17-18** - Modello risultante dall'inversione dei dati - Sismostratigrafia



### 3.1.2 Altri parametri

I valori delle Vs sono stati ricavati dall'indagine sismica di tipo MASW, consentendo, tramite formule empiriche, di eseguire una prima stima dei principali parametri elastici dei terreni investigati, con:

G0: Modulo di deformazione al taglio;  
 Ed: Modulo edometrico;  
 M0: Modulo di compressibilità volumetrica;  
 Ey: Modulo di Young;

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]
1	1.51	1.51	188.08	351.86	1800.00	0.30	63.67	222.85	137.96	165.55
2	3.66	2.16	192.32	359.80	1800.00	0.30	66.58	233.02	144.25	173.10
3	15.59	11.93	239.97	448.94	1800.00	0.30	103.65	362.79	224.58	269.50
4	39.54	23.94	337.16	630.77	1800.00	0.30	204.62	716.17	443.34	532.01
5	47.23	7.69	336.04	628.67	1800.00	0.30	203.26	711.42	440.40	528.48
6	oo	oo	337.23	630.90	1800.00	0.30	204.71	716.47	443.53	532.24

**Tabella 5** - Schema riassuntivo parametri geotecnici estrapolati dalla MASW

### 3.1.3. Valutazione della suscettibilità sismica dell'area (Verifica di II livello)

#### Effetti litologici

Al fine di determinare i valori di  $F_a$  dal punto di vista degli effetti litologici, sono stati utilizzati i risultati emersi dall'esecuzione dello stendimento geofisico con metodo MASW.

Mediante tale elaborazione e con l'utilizzo di apposite schede messe a disposizione dalla Regione Lombardia, contenute nella D.G.R. 8/7374 del 28/05/2008, si è calcolato il valore di  $F_a$  (fattore di amplificazione) da confrontare con i limiti di riferimento indicati dalla Regione Lombardia.

Per ottenere il suddetto  $F_a$  è necessario ricavare il valore di  $V_{s30}$  (onde sismiche di taglio o trasversali) utilizzando le velocità  $V_s$  degli strati intercettati mediante la formula precedentemente riportata. In questo modo si risale al tipo di suolo, che come precedentemente indicato si tratta di **tipo C**.

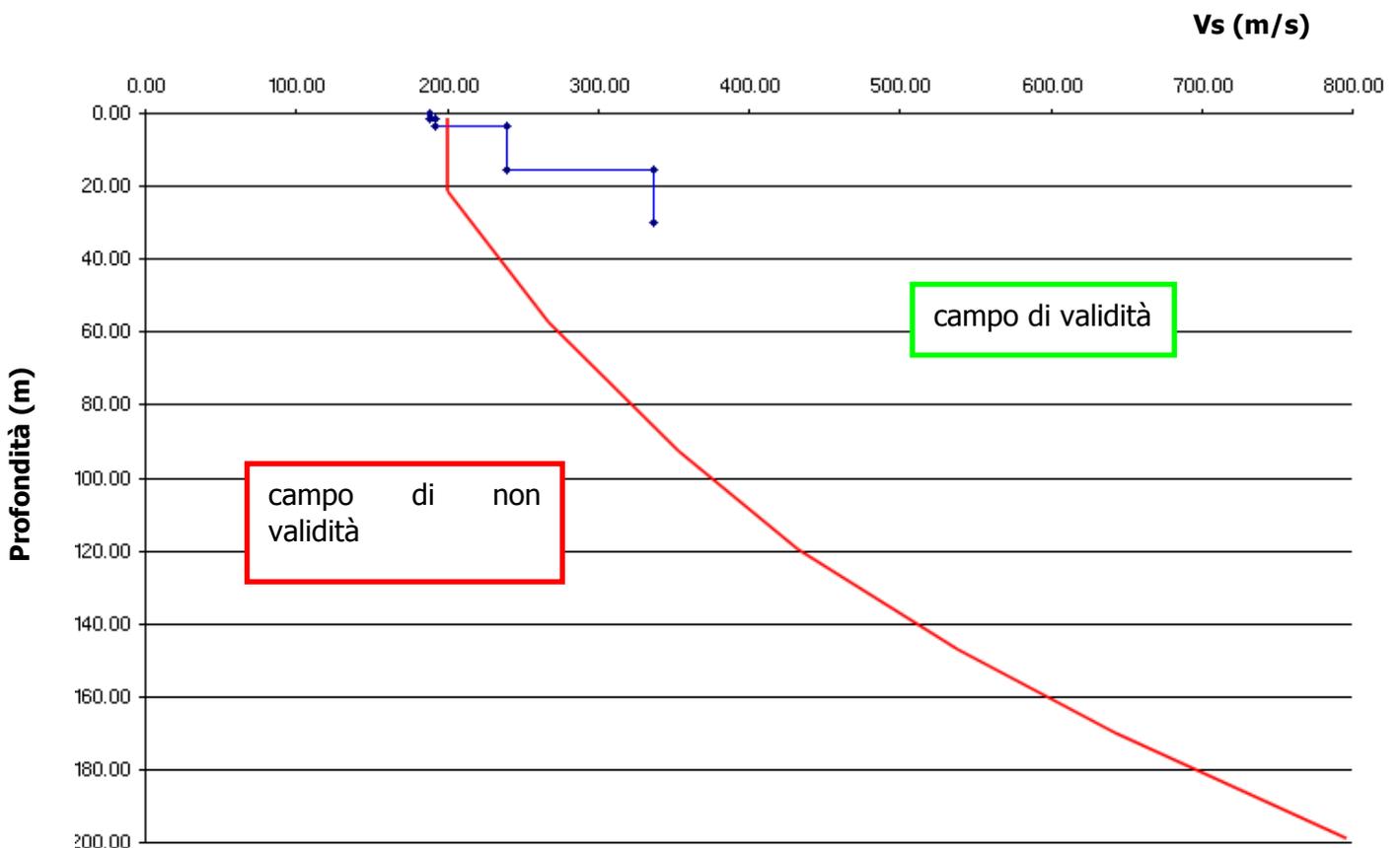


Sulla base di parametri geotecnici e litologici, si individua la litologia prevalente del sito e da questo dato si sceglie la relativa scheda di riferimento riportata nella D.G.R. 8/7374 del 28 Maggio 2008 e successivamente nella D.G.R. IX/2616 del 30 Novembre 2011. Nello specifico la normativa regionale riporta 6 tipi di schede litologiche:

- scheda per le litologie prevalentemente ghiaiose;
- scheda per le litologie prevalentemente limoso-argillose (tipo 1 e tipo 2);
- scheda per le litologie prevalentemente limoso-sabbiose (tipo 1 e tipo 2);
- scheda per le litologie sabbiose.

Si riportano, in un apposito diagramma all'interno di queste schede, i valori delle Vs relative ad ogni strato. Tale confronto permette di verificare se si rientra o meno nel campo di validità della scheda di riferimento.

I dati ottenuti in campagna e riportati in Tabella 5 vengono inseriti all'interno della scheda relativa al grafico per la litologia "sabbiosa".



**Fig. 19** - Grafico relativo al campo di validità della scheda litologica sabbiosa

Ottenuti la velocità del primo strato ed il relativo spessore si riportano questi valori all'interno dell'abaco al fine di ricavare il colore della curva da utilizzare (Fig. 19) per ottenere il valore di Fa. Tale parametro (Fa)



verrà confrontato con quello riportato in bibliografia in funzione della struttura da realizzare: intervallo 0,1-0,5 s - riferito a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide e intervallo 0,5-1,5 s - riferito a strutture più alte e flessibili.

Il "primo strato", riconducibile ai primi 4 m di terreno, è caratterizzato da una velocità delle onde assimilabile a 200 m/s.

Profondità primo strato (m)

	1-3	4	5-12	13	14	15	16	17	18	20	25	30	40	50	60	70	90	110	130	140	160	180	
200		2	1-2	2	3	3	3	3	3	3													
250		2	1-2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA									
300		2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA	NA							
350		2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	NA	NA	NA						
400		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA					
450		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA				
500		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA			
600		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	NA		
700		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Velocità primo strato (m/s)

**Fig. 20** - Abaco che permette di individuare, in base al colore, la curva di riferimento per l'individuazione di Fa, grazie all'intersezione della profondità raggiunta dal primo strato e la sua velocità

Intersecando il valore di velocità riscontrata con la profondità sopra indicata, si ricade nel campo 2, che corrisponde alla curva verde di figura 21.

Con i valori sopra ottenuti si calcola il periodo "T" relativo al sito, utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left( \frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

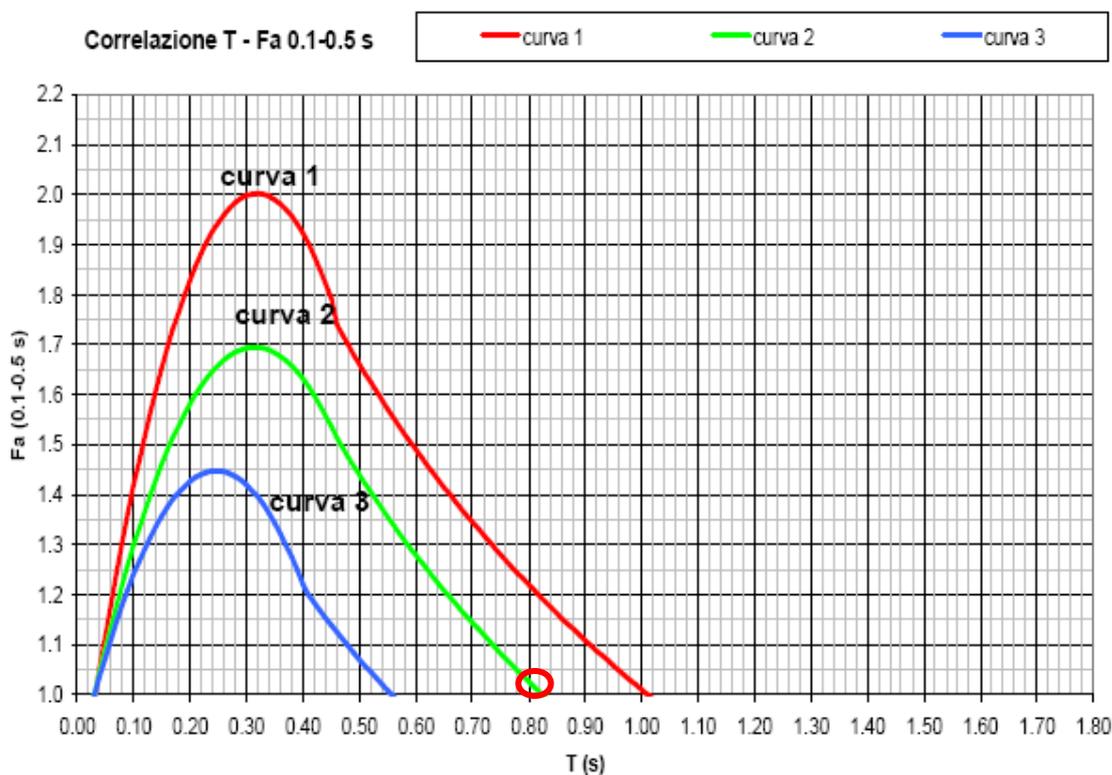
$h_i$  = Spessore in metri dello strato i-esimo  
 $V_{s_i}$  = Velocità dell'onda di taglio i-esima



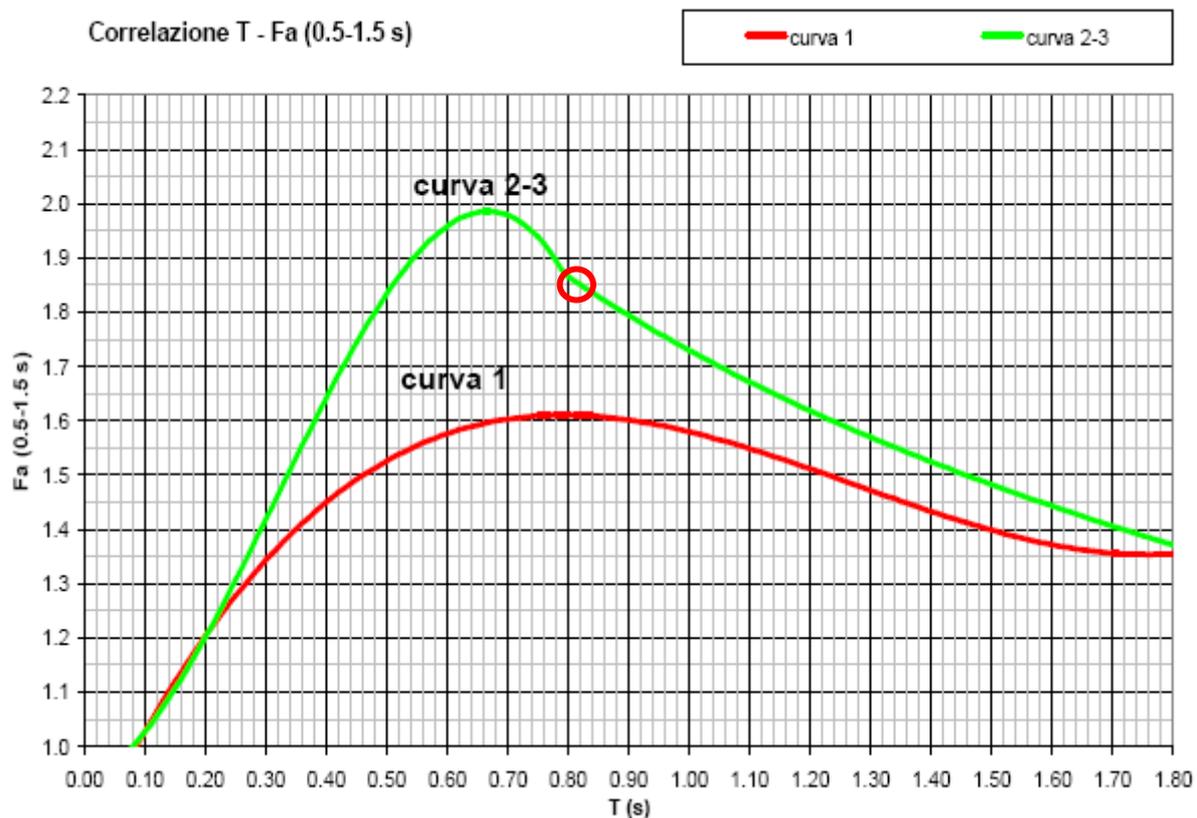
<b>Valore del periodo T</b>
<b>calcolato</b>
<b>0,81 s</b>

**Tabella 6** - recante il valore del periodo T calcolato

Conoscendo la velocità del primo strato, la curva di riferimento ed il valore del periodo T calcolato, si può risalire al valore di Fa utilizzando gli abachi di riferimento di Fig. 21 e Fig. 22 per la litologia sabbiosa e riferiti rispettivamente ad edifici bassi ed ad edifici alti.



**Fig. 21**– Abaco di riferimento per la litologia sabbiosa per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento (Fa 0,1÷0,5s)



**Fig. 22** – Abaco di riferimento per la litologia sabbiosa per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento (Fa 0,5÷1,5s)

Dagli abachi emerge come il valore attribuito al periodo ( $T=0,81$ ), identifichi sulla curva verde un valore di **Fa = 1,05 per edifici bassi (Fa di riferimento per i terreni di tipo C = 1,90) e Fa = 1,85 per edifici alti (Fa di riferimento per i terreni di tipo C = 2,40).**

Nel nostro caso il valore di Fa calcolato, come indicato dalla normativa, risulta essere conforme al valore di Fa di riferimento per la categoria del suolo C nel caso sia di edifici bassi che alti.

Le tabelle sottostanti riportano i valori di Fa relativi, nel primo caso ad edifici bassi (0.1-0.5s), nel secondo caso ad edifici alti e flessibili (0.5-1.5s) per ogni tipo di suolo individuato dalla Regione Lombardia per il comune di Pavia.



VALORI DI SOGLIA PER PERIODO COMPRESO TRA 0.1-0.5 s					
COMUNE	Attuale classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
PAVIA	3	Suolo tipo B 1.4	Suolo tipo C 1.9	Suolo tipo D 2.2	Suolo tipo E 2.0

**Tabella 7** - Valori di soglia di Fa relativi ad edifici bassi

VALORI DI SOGLIA PER PERIODO COMPRESO TRA 0.5-1.5 s					
COMUNE	Attuale classificazione sismica del sito	Valori di soglia			
PAVIA	3	Suolo tipo B 1.7	Suolo tipo C 2.4	Suolo tipo D 4.2	Suolo tipo E 3.1

**Tabella 8** - Valori di soglia di Fa relativi ad edifici alti

### 3.1.4 Parametri sismici – Suolo C

Da un punto di vista topografico, l'area ricade nella classe T1 (Tab. 3.2.III - NTC 2018).

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 9:** Tab 3.2.III NTC 2018 - caratteristiche della superficie topografica

La vita nominale di progetto VN di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali. Nel nostro caso la vita nominale Vn è posta pari a 50 anni (costruzioni con livelli di prestazioni ordinari).



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

**Tabella 10:** Tab. 2.4.I NTC 2018 - *Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni*

Alla luce di quanto esposto in precedenza, gli elementi fondamentali dell'area di interesse ed i parametri sismici del sito in esame, trattandosi dell'ampliamento di un edificio civile (Classe d'Uso II - punto 2.4.2. NTC 2018), sono:

SITO IN ESAME	VALORE
latitudine:	45,179544
longitudine:	9,205684
Vita nominale:	50
Classe d'uso dell'edificio:	II
PARAMETRI SISMICI	VALORE
Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1
Coefficiente $c_u$ :	1,0

**Tabella 11:** dati del sito di riferimento

Le azioni sismiche di ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale ( $V_N$ ) per il coefficiente d'uso ( $C_U$ ):

Tipo di costruzione	Classe d'uso	Coefficiente d'uso ( $C_U$ )	$V_N$	$V_R$
2	II	1.0	50 anni	50 anni

**Tabella 12** – Determinazione del periodo di riferimento



A partire dai parametri di input sopra riportati, in funzione della probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  e del periodo di ritorno  $T_R$ , sono calcolati, per i diversi stati limite richiesti dalla norma, i valori  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_{C^*}$  e gli ulteriori parametri necessari per la caratterizzazione sismica locale:

		$P_{VR}$	$T_R$	Valori interpolati			Valori ricavati da $a_g$ , $F_o$ , e $T_{C^*}$						
		[adm]	[anni]	$a_g$	$F_o$	$T_{C^*}$	$S_s$	$C_c$	$S_t$	$T_b$	$T_c$	$T_d$	$F_v$
				[g]	[adm]	[s]	[adm]	[adm]	[adm]	[s]	[s]	[s]	[adm]
SLE	SLO	81%	30	0,023	2,53	0,18	1,50	1,84	1,00	0.11	0.33	1.69	0.52
	SLD	63%	50	0,030	2,52	0,20	1,50	1,76	1,00	0.12	0.37	1.72	0.59
SLU	SLV	10%	475	0,074	2,50	0,28	1,50	1,60	1,00	0.15	0.45	1.89	0.92
	SLC	5%	975	0,098	2,48	0,28	1,50	1,59	1,00	0.15	0.45	1.99	1.05

**Tabella 13** – Parametri e coefficienti sismici del sito

Si riportano di seguito i principali parametri e riferimenti che entrano in gioco:

$P_{VR}$  = probabilità di superamento nel periodo di riferimento in riferimento ai vari stati limite;

$T_R$  = periodo di ritorno;

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito (valore nominale);

$F_o$  = 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.

$S_s$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica

$C_c$  = coefficiente di categoria di sottosuolo

$S_t$  = coefficiente di amplificazione topografica

$T_b$  = tratto ad accelerazione costante

$T_c$  = periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro

$T_d$  = periodo inizio tratto a spostamento costante

$F_v$  = fattore di amplificazione spettrale

**SLE** = stati limite di esercizio:

- **(SLO) Stato Limite di Operatività:** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **(SLD) Stato Limite di Danno:** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.



**SLU**= stati limite ultimi:

- **(SLV) Stato Limite di salvaguardia della Vita:** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **(SLC) Stato Limite di prevenzione del Collasso:** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

I tre valori ottenuti di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  definiscono le varie forme spettrali. Per calcolare il valore di  $A_{max}$  (accelerazione massima) occorre moltiplicare il valore di  $a_g$  per i coefficienti di amplificazione sismica ( $S$ ) secondo la seguente relazione:

$$A_{max} = a_g \text{ (m/s}^2\text{)} * S$$

Poiché l'accelerazione massima deve essere fornita in  $m/s^2$ , dai valori nominali di  $a_g$  trovati in precedenza si determina il valore di accelerazione massima attesa al sito moltiplicando prima i valori di  $a_g$  per  $9,81 m/s^2$  e successivamente, per ottenere il valore finale di  $A_{max}$  relativo ad ogni stato limite, occorre moltiplicare  $a_g$  ( $m/s^2$ ) per i coefficienti di amplificazione sismica  $S$ , con  $S = S_s * S_t$  (in questo caso  $S = 1,5$  poiché  $S_s=1,50$  e  $S_t=1,00$ ).

		<b><math>a_g</math></b> (accelerazione orizzontale massima)	<b><math>a_g * g</math></b> ( $m/s^2$ )	<b>S</b> (coefficiente di amplificazione sismica)	<b>(<math>a_g * S</math>) g</b>	<b><math>a_g * g * S = A_{max}</math></b> (accelerazione massima)
		[g]	$m/s^2$			$m/s^2$
<b>SLE</b>	<b>SLO</b>	0,023	0,22	1,5	<b>0,033 g</b>	<b>0,33</b>
	<b>SLD</b>	0,030	0,29	1,5	<b>0,043 g</b>	<b>0,43</b>
<b>SLU</b>	<b>SLV</b>	0,074	0,72	1,5	<b>0,110 g</b>	<b>1,08</b>
	<b>SLC</b>	0,098	0,96	1,5	<b>0,145 g</b>	<b>1,43</b>

**Tabella 14** – Determinazione dell'accelerazione massima per i diversi stati limite



I coefficienti  $K_h$  (coefficiente sismico orizzontale riferito al sito) e  $K_v$  (coefficiente sismico verticale riferito al sito) hanno i seguenti valori:

		<b><math>K_h</math></b>	<b><math>K_v</math></b>
<b>SLE</b>	<b>SLO</b>	0,007	0,003
	<b>SLD</b>	0,009	0,004
<b>SLU</b>	<b>SLV</b>	0,022	0,011
	<b>SLC</b>	0,029	0,015

**Tabella 15**–Valori del coefficiente sismico orizzontale ( $K_h$ ) e verticale ( $K_v$ ), riferiti al sito

### 3.2 Fenomeno della liquefazione

Un sito, presso il quale si intende ubicare o insiste un manufatto, deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Se il terreno risulta suscettibile alla liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità dei pendii o del manufatto, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

In assenza di interventi di miglioramento del terreno, è necessario ricorrere all'impiego di fondazioni profonde che richiedono comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

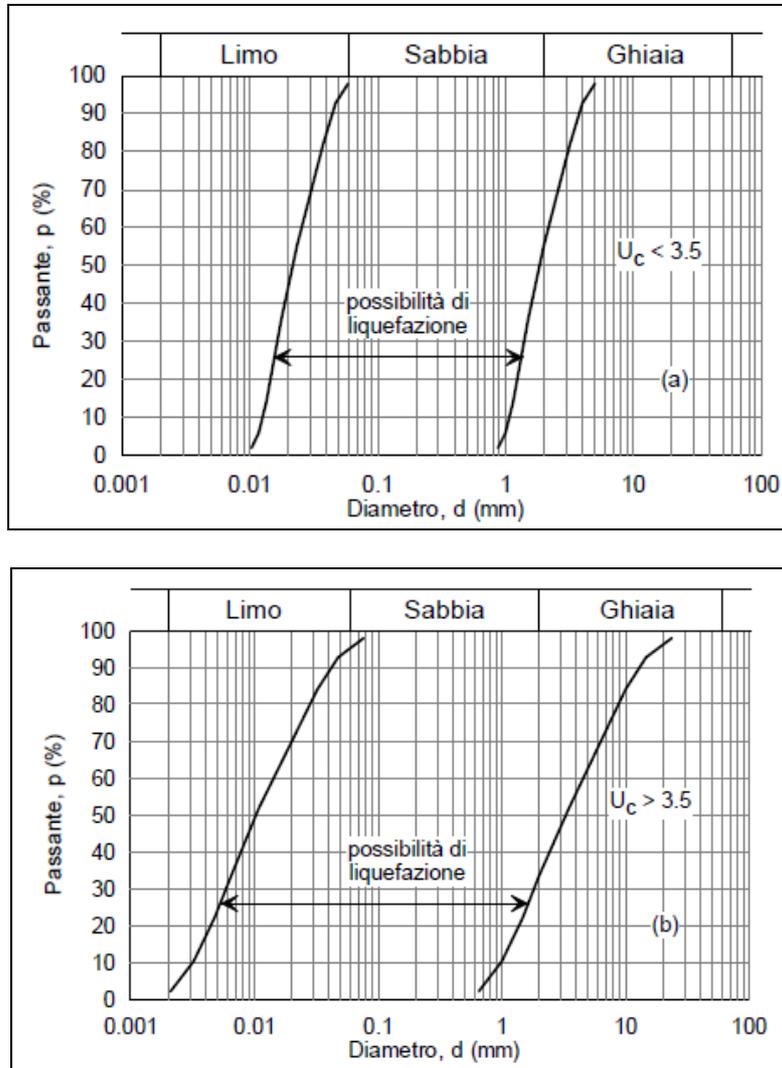
Il D.M. 17/01/18 e riporta le linee guida per valutare la suscettibilità alla liquefazione, in particolare la verifica è da omettere quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- 1) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di  $0,1g$ ;
- 2) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- 3) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  è il



valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

- 4) distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle figure sottostanti, nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .



**Fig. 23** – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

Quando la condizione 1 non risulti soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2, 3 e 4, con riferimento al D.M. 17/01/18 (punto 7.11.3.4.2).

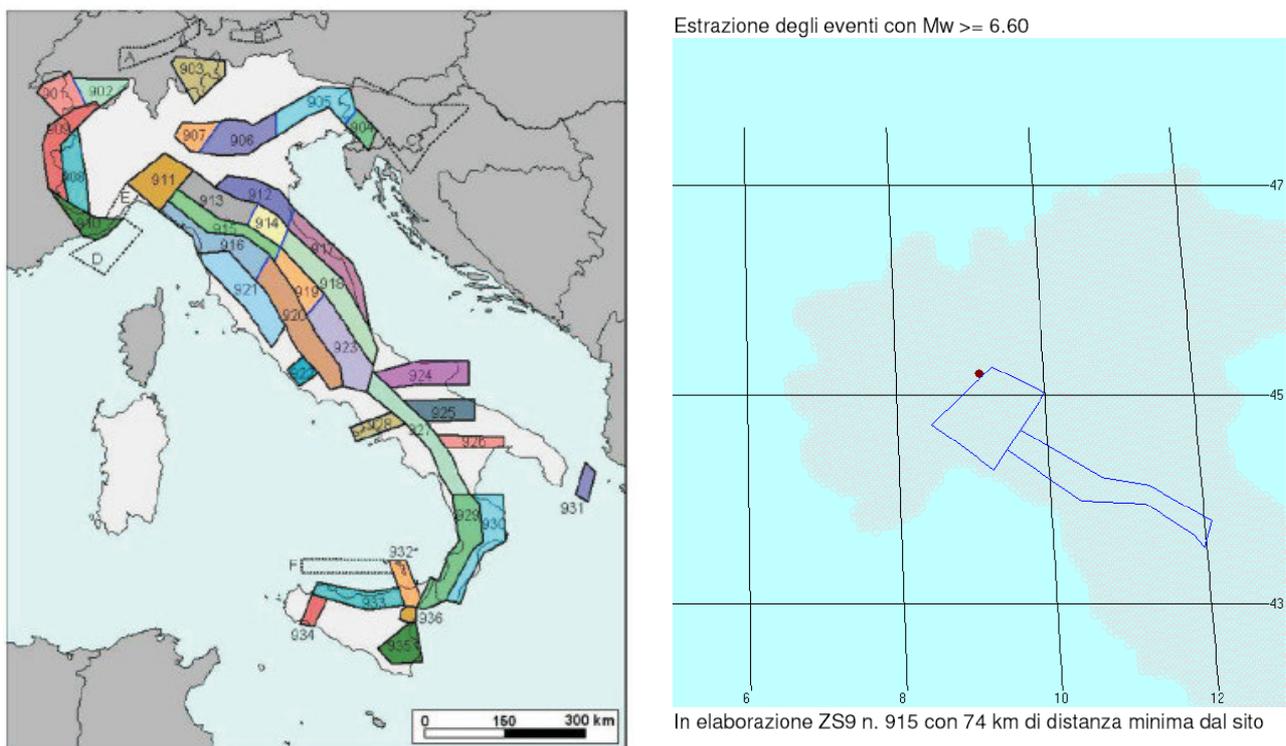
### 3.2.1. Analisi del rischio alla liquefazione

Il calcolo è stato eseguito sulla base dei risultati ottenuti dalla prova MASW, eseguita nell'ambito della presente indagine, che ha fornito i valori della velocità delle onde sismiche secondarie nella parte più superficiale ( $V_{s30}$ ) del terreno nel sito in esame. E' stato utilizzato il metodo di Andrus & Stokoe.



Per la stima della magnitudo si è utilizzato il metodo delle zone sismogenetiche con le modalità suggerite in "Indirizzi e criteri per la zonazione microsismica" della Protezione Civile.

Il sito è ubicato al limite nord-occidentale della ZS9 911 (Tortona-Bobbio) con  $M = M_{wMax2} = 6.14$ ; tuttavia la zona sismogenetica di maggior interesse per il sito è la ZS9 915 (Garfagnana-Mugello), con  $M = M_{wMax2} = 6.60$  (cfr. le figure); poiché la distanza minima tra il sito e quest'ultima zona risulta di circa  $R = 71$  km, applicando la  $M_s = 1 + 3 \cdot \log(R)$  suggerita dalla citata Protezione Civile, la magnitudo apparente al sito risulta  $M_s = 6.55$ , anche se di pochissimo inferiore alla  $M$  di detta zona. Per il calcolo si è perciò assunta la magnitudo  $M_{wMax2}$  della zona ZS9-915, pari a 6.6.



**Fig. 24-25** – Zone sismogenetiche d'Italia ed ubicazione del sito nella zona sismogenetica

Per quanto attiene l'accelerazione attesa, secondo la normativa NTC, per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) per una struttura di progetto di Tipo II con vita nominale di 50 anni, sul sito in esame (categoria di suolo C, categoria topografica T1, coefficiente  $c_u = 1$ ) l'accelerazione massima al suolo in free-field (PGA) raggiunge il valore  $0.110$  g (cfr tabella 13 dove  $SLV = 0.110 \cdot 9.81 = 1.08$  m/s<sup>2</sup>).

Dalla consultazione del PGT Comunale emerge come la falda idrica dovrebbe attestarsi intorno a  $-5.0$  m dal p.c.

I risultati del calcolo indicano che, per quanto attiene la suscettibilità alla liquefazione il terreno in esame è da classificare "NON LIQUEFACIBILE" con rischio di liquefazione "Da Nullo a Molto Basso"

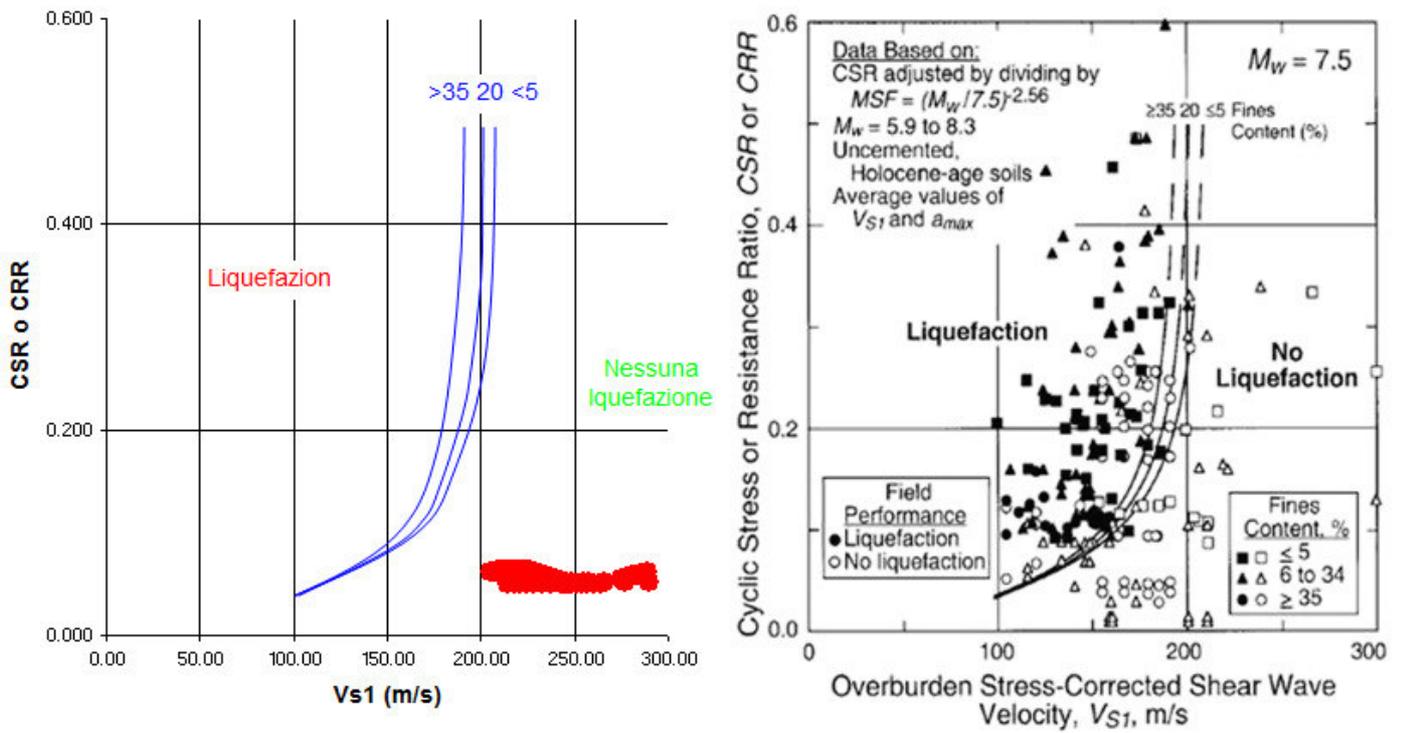


Fig. 26 – Relazione CSR-Vs



#### 4. CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E GEOTECNICA

Per la caratterizzazione litostratigrafica sono state consultate alcune prove penetrometriche pregresse, in fase di progettazione esecutiva sarà programmata una successiva campagna di indagini puntuali mediante la realizzazione di prove penetrometriche statiche/dinamiche al fine di valutare da un punto di vista geotecnico e litostratigrafico/idrogeologico i futuri terreni di imposta.

##### *Prove penetrometriche Viale Cremona*

Sommariamente nell'area in oggetto si possono riconoscere quattro orizzonti principali distinti per natura granulometrica e grado di addensamento.

- Lo strato superficiale (strato A) è caratterizzato dal terreno di riporto eterogeneo (da 0,00 fino alla profondità di - 0,90 -1,00 m)
- Lo strato B (da - 0,90 -1,00 m alla profondità di circa - 3,60 -3,90 m) è invece costituito da sabbia loc. limosa da sciolta a mediamente addensata ( $N_{spt}/30 = 1 \div 4$ )
- Lo strato C (da - 3,60 ÷3,90 m fino alla profondità di - 6,30 m) è caratterizzato da sabbia da mediamente addensata ad addensata con locali livelli ghiaiosi ( $N_{spt}/30 = 7 \div 10$ )
- Lo strato D (da - 6,30 m fino alla max profondità di investigazione - 10,80 m) è caratterizzato da sabbia limosa da mediamente addensata ad addensata ( $N_{spt}/30 = 12 \div 22$ )

##### *Prove penetrometriche Via Bellingera*

PROFONDITA' (m da p.c.)	MODELLO LITOSTRATIGRAFICO	MODELLO GEOMECCANICO	Nspt
0.00-0.90/1.20	Terreno vegetale/ riporto		-
da 0.90/1.20 ÷ 5.10	Sabbia con locali livelli limosi	<b>orizzonte A</b>	4 ÷ 12
da 5.10 a 6.00	Sabbia	<b>orizzonte B</b>	12



## 5. SCAVI

In considerazione del fatto che il progetto possa prevedere sbancamenti di terreno si rende necessaria (oltreché obbligatoria per Norma) la protezione degli sbancamenti aventi altezza del fronte di scavo superiore a 1,50 m; tale accorgimento impedirà che possano verificarsi cedimenti nei terreni sul fronte di scavo e permetterà di poter lavorare all'interno dello scavo in assoluta sicurezza, come previsto dal *Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81 Attuazione dell'Art. 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro e del Decreto Ministeriale 14 gennaio 08 "Norme tecniche sulle costruzioni"*.

Si riportano di seguito gli articoli più significativi.

- *D.Lgs 81/2008, art. 118: Nei lavori di splateamento o sbancamento eseguiti senza l'impiego di escavatori meccanici, le pareti delle fronti di attacco devono avere una inclinazione o un tracciato tali, in relazione alla natura del terreno, da impedire franamenti. Quando la parete del fronte di attacco supera l'altezza di m 1,50, e' vietato il sistema di scavo manuale per scalzamento alla base e conseguente franamento della parete. Quando per la particolare natura del terreno o per causa di piogge, di infiltrazione, di gelo o disgelo, o per altri motivi, siano da temere frane o scoscendimenti, deve essere provveduto all'armatura o al consolidamento del terreno.*
- *D.Lgs 81/2008, art. 118: Nello scavo di pozzi e di trincee profondi più di m 1,50, quando la consistenza del terreno non dia sufficiente garanzia di stabilità, anche in relazione alla pendenza delle pareti, si deve provvedere, man mano che procede lo scavo, all'applicazione delle necessarie armature di sostegno.*
- *D.Lgs 81/2008, art. 120: E' vietato costituire depositi di materiali presso il ciglio degli scavi. Qualora tali depositi siano necessari per le condizioni del lavoro, si deve provvedere alle necessarie puntellature.*

*DM 14 01 08 "Norme tecniche sulle costruzioni", 6.8.6. (fronti di scavo): Per scavi trincea a fronte verticale di altezza superiore ai 2 m, nei quali sia prevista la permanenza di operai, e per scavi che ricadano in prossimità di manufatti esistenti, deve essere prevista una armatura di sostegno delle pareti di scavo.*



## 6. TERRE E ROCCE DA SCAVO

Il 22 agosto 2017 è entrato in vigore il DPR 13 giugno 2017, n. 120, ovvero il nuovo regolamento sulla "Disciplina semplificata delle terre e rocce da scavo", il quale abroga sia il DM n. 161/2012, che l'art. 184-bis, comma 2bis del TUA, nonché gli artt. 41, c.2 e 41-bis del DL n. 69/2013.

La nuova disciplina riguarda la gestione delle terre e rocce da scavo sia come sottoprodotti sia come rifiuti con un ampliamento dei limiti quantitativi per il deposito temporaneo. Il D.P.R. n. 120/2017 secondo quanto sancito nell'art. 1 disciplina:

- La gestione delle terre e rocce da scavo escluse dalla normativa sui rifiuti, limitatamente ad alcuni cantieri.
- La gestione delle terre e rocce da scavo riutilizzate come sottoprodotti in relazione a qualunque cantiere.
- La gestione delle terre e rocce da scavo per il deposito temporaneo delle stesse come rifiuti.

Assunto che per terre e rocce da scavo si intende il suolo escavato derivante da attività finalizzate alla realizzazione di un'opera, e che la qualifica di sottoprodotti non viene meno se le terre sono frammiste a materiali il cui utilizzo è fisiologico in talune attività di scavo, vale a dire il calcestruzzo, la bentonite, il PVC, la vetroresina, le miscele cementizie e gli additivi per scavo meccanizzato.

L'art. 2 continua con altre definizioni fondamentali quali quella di sito: un'area o porzione di territorio geograficamente definita e perimetrata; di sito di produzione: il sito in cui le terre sono generate; e quella di opera: il risultato di un insieme di lavori che di per sé esplica una funzione economica o tecnica.

Restano espressamente estranei alla normativa i rifiuti da demolizione e il refluito in mare di cui all'art. 109, D.Lgs 152/2006 (art. 3).

All'art. 4 sono definiti i criteri per qualificare le terre e rocce da scavo come sottoprodotti. Il comma 3 dedicato ai materiali di riporto stabilisce che la presenza di quest'ultimi, non farà perdere la qualifica di sottoprodotti alle terre in cui la quantità massima di materiali di origine antropica corrisponda al 20% in peso. Le terre e rocce da scavo dovranno inoltre rispettare le concentrazioni soglia di contaminazione (CSC) e superare il test di cessione da condurre con il metodo di cui al D.M. 5/02/1998 da confrontare con le CSC per le acque sotterranee.

L'articolo 5 è dedicato al deposito intermedio. Esso potrà avvenire nel sito di produzione, in quello di destinazione o in altro sito a condizione che siano rispettati 5 requisiti:

- 1 Compatibilità di destinazione urbanistica tra sito di produzione e sito di deposito.
- 2 Preventiva indicazione di luogo e durata.
- 3 Durata non superiore al termine di validità del piano o della dichiarazione di utilizzo.
- 4 Separazione fisica e autonoma gestione rispetto ad altre terre, siano esse sottoprodotti considerati in altri piani o dichiarazioni, siano esse rifiuti.
- 5 Conformità al piano o alla dichiarazione e presenza di apposita segnaletica con tutte le informazioni del caso.



È possibile variare il sito di deposito intermedio purché vi sia un tempestivo aggiornamento del piano o della dichiarazione. In caso di sfioramento dei tempi, le terre temporaneamente depositate diverranno rifiuti.

Gli articoli da 8 a 19 normano le terre e rocce da scavo prodotti in cantieri oltre i 6.000 m<sup>3</sup> per opere sottoposte a VIA/AIA. In tali cantieri è necessario redigere il piano di utilizzo che deve essere conforme alle disposizioni previste nell'allegato 5 del decreto.

Gli art. 20-22 riguardano i cantieri fino ai 6.000 m<sup>3</sup> e in quelli oltre i 6.000 m<sup>3</sup> non sottoposti a VIA/AIA, dove la dichiarazione sostitutiva di atto di notorietà assolve la funzione del piano di utilizzo. Essa va inviata almeno 15 giorni prima l'inizio dello scavo, utilizzando il modulo presente all'allegato 6 del decreto, al comune del luogo di produzione e all'ARPA, indicando quantità, siti di deposito intermedio e di destinazione, estremi delle autorizzazioni e tempi per l'utilizzo.

L'art. 23 riguarda la disciplina del deposito temporaneo di terre e rocce da scavo qualificate come rifiuti.

L'art. 24 riguarda invece la possibilità di riutilizzare nel sito di produzione di terre e rocce da scavo escluse disciplina dei rifiuti.

Per potersi considerare escluse dall'ambito di applicazione della normativa sui rifiuti le terre e rocce da scavo devono essere prive di contaminazione (art. 185 comma 1 lett. C del D.Lgs. 152/06).

Gli art. 25 e 26 riguardano rispettivamente le modalità e le cautele da attuare per condurre l'attività di scavo nei siti di bonifica già caratterizzati e il riutilizzo delle terre provenienti da un sito in bonifica all'interno dello stesso sito.

Gli ultimi cinque articoli (27-31) si riferiscono alle disposizioni intertemporali, transitorie e finali. In particolare il regime transitorio considera diverse situazioni:

- I piani e i progetti già approvati prima dell'entrata in vigore del D.P.R. 120/2017 restano disciplinati dalla normativa previgente che dovrà essere applicata anche alle modifiche e agli aggiornamenti che possono intervenire dopo il 22 Agosto 2017.

- I progetti con procedura in corso alla data di entrata in vigore del D.P.R. 120/2017 restano disciplinati dalla normativa previgente, tuttavia, entro 180 giorni dall'entrata in vigore del D.P.R., è fatta salva la volontà di passare al nuovo regime presentando il piano di utilizzo di cui all'articolo 9 o la dichiarazione di cui all'articolo 21.

- In caso di riutilizzo nello stesso sito previsto in procedure di VIA già avviate nelle quali non sia intervenuto il provvedimento finale si applica, su richiesta del proponente, l'art. 24.

- In caso di riutilizzo nei siti di bonifica restano valide le autorizzazioni rilasciate in approvazione dei progetti di bonifica.

L'articolo 28 rimarca la necessità che gli enti di controllo competenti effettuino controlli, ispezioni e prelievi per verificare il rispetto di quanto previsto nei piani di utilizzo e di quanto espresso nelle dichiarazioni di utilizzo e di avvenuto utilizzo. Il D.P.R. si chiude con l'art. 31 che sancisce le norme espressamente abrogate:

- D.M. n. 161/2012;

- L'art. 184/bis, comma 2bis, D.Lgs. 152/06;

- Gli artt. 41, comma 2 e 41bis, D.L. 69/13 convertito, con modificazioni, dalla legge n. 98/2013.



## 7. CONCLUSIONI

La presente relazione è stata richiesta a supporto del piano attuativo in via Amendola in Comune di Pavia.

Lo studio ha comportato un rilievo della zona interessata dal progetto e per la caratterizzazione geologica, geotecnica e sismica dell'area sono state consultate alcune prove penetrometriche pregresse, inoltre è stato eseguito uno stendimento sismico (MASW) eseguito all'interno dell'area di studio.

Dagli studi effettuati e dall'indagine eseguita sul terreno, ai sensi delle leggi vigenti, emerge una situazione geologica - idrogeologica idonea all'esecuzione dell'opera in progetto.

In particolare, i risultati delle analisi eseguite, consentono di indicare i seguenti dati geologici e geotecnici di sintesi:

- ◆ Dall'analisi dello studio geologico redatto dal dott. Geol. Fabrizio Finotelli, allegato al P.R.G. del Comune di Pavia, risulta che l'area in esame ricada per la maggior parte all'interno della **classe 2** –“ Fattibilità con modeste limitazioni”.

- ◆ Durante l'indagine pregressa eseguita in data 28/10/2020, era stata intercettata la falda **alla profondità massima di circa – 6,00 m;**

Una previsione riguardo la futura evoluzione dell'andamento della superficie piezometrica sarebbe azzardata, a breve termine, perché la dinamica della superficie freatica ha un equilibrio precario essendo influenzata da una serie di fenomeni instabili e imprevedibili che concorrono a costituire il bilancio apporti – perdite. Al fine di individuare il reale comportamento della falda superficiale occorrerebbe predisporre un monitoraggio della durata minima di 1 anno; possiamo comunque ipotizzare che l'escursione annua della superficie freatica in tali terreni sia normalmente di circa 1,00-1,50 m con il massimo innalzamento in corrispondenza del periodo estivo e la massima depressione in inverno.

Secondo quanto riportato nella D.G.R 11 Luglio 2014 – n. X/2129 – “Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia”, il Comune di Pavia è passato alla “classe sismica 3”.

I parametri sismici identificativi del sito sono:

- ✓ il territorio comunale di **Pavia** ricade in Zona 3 nella classificazione sismica nazionale.
- ✓ il sottosuolo, a seguito della verifica di II livello effettuata, è da assumere in categoria **C** (Tab. 3.2.II delle NTC);
- ✓ le condizioni morfologiche sono da inserire nella categoria **T1**.
- ✓ Il terreno non è suscettibile alla liquefazione



## Modello litostratigrafico

PROFONDITA' (m da p.c.)	MODELLO LITOSTRATIGRAFICO	MODELLO GEOMECCANICO
0.00-0.90/1.20	Terreno vegetale/ riporto	
da 0.90/1.20÷ 5.10	Sabbia con locali livelli limosi	<b>orizzonte A</b>
da 5.10 a 6.00	Sabbia	<b>orizzonte B</b>

*Il quadro geologico-geomorfologico-idrogeologico definito dall'indagine non evidenzia particolari controindicazioni per l'attuazione dell'intervento in progetto; ma occorrerà prestare particolare attenzione alle seguenti criticità emerse nello studio geologico :*

- ⇒ scelta delle più idonee tipologie fondazionali  
*impostare il piano fondazione ad una profondità di 0,90-1,20 m dal p.c. al fine di superare lo strato di terreno interessato dalla presenza di terreno rimaneggiato, si consiglia di approfondire il piano di posa delle fondazioni in corrispondenza dell'orizzonte naturale (orizzonte B) \**
- ⇒ *prevedere una regimazione delle acque superficiali e realizzare adeguati sistemi di raccolta e di convogliamento ai punti di scarico delle acque pluviali al fine di evitare qualsiasi dispersione nel terreno di fondazione delle opere previste, ricordiamo che le cause dei cedimenti differenziali sono da attribuire, in maggior parte, all'infiltrazione di acque meteoriche e/o reflue che provocano nel tempo un graduale decadimento delle proprietà geomeccaniche del terreno e la conseguente riduzione della resistenza al taglio, che è la principale forza resistente.*

\*In fase di progettazione esecutiva saranno realizzati adeguate indagini puntuali (prove penetrometriche, trincee geognostiche per una verifica delle caratteristiche litostratigrafiche ed idrogeologiche dei terreni di fondazione.



*L'apertura degli scavi di sbancamento consentirà la verifica in continuo delle caratteristiche geotecniche del terreno sul piano di posa delle fondazioni adeguando, se del caso, i criteri tecnici sopra esposti, si raccomanda al D.L. di verificare l'omogeneità litologica e geotecnica dei terreni su tutta l'area interessata dalla fondazione prevedendo l'asportazione di eventuali strati sciolti e la loro successiva sostituzione con cls magro e/o inerte compattato.*

Per l'adempimento di quanto prescritto dalle **Nuove Norme Tecniche per le costruzioni D.M. 17/01/2018**, il presente studio sarà integrato con una relazione geotecnica che motivi la scelta del sistema di fondazione adottato, ne verifichi gli aspetti di collasso per capacità portante agli **SLU** e le condizioni di equilibrio agli **SLE**.

Marzo 2021

dott. geol. Gianluca Nascimbene

*Iscritto all'Ordine dei  
Geologi della Lombardia*

*N° 1076*

