

---

**COMUNE DI STRADELLA**  
**PROVINCIA DI PAVIA**

---

Committente

**GIOVANNI MARIA GABETTA**

frazione Boschetti, 10  
27040 - Cigognola (PV)

---

Progettisti



**E PLUS STUDIO S.R.L.**

via Silvio Cappella, 14  
27100, Pavia (PV)

Progettisti:  
Paolo Bacci  
Massimiliano Koch  
Valerio Lozio  
Diego Torriani

---

**PIANO DI LOTTIZZAZIONE**

art.28 Legge 17 Agosto 1942, n.1150

---

Progetto

**APR3-VIALE RESISTENZA**  
**SUBAMBITO OVEST**

Viale Resistenza, snc  
27049 - Stradella (PV)

---

Oggetto

**RELAZIONE GEOLOGICA**

---

Tavola

**REL-02**

---

Scala

Nord

Data

10 marzo 2023

---

Revisioni

---

Comune di Stradella (PV)

OGGETTO: Piano di lottizzazione residenziale in Viale Resistenza  
snc in Comune di Stradella (PV)

COMMITTENTE: Sig. Giovanni Maria Gabetta

Relazione geologica e sismica  
ai sensi del D.M. 17 gennaio 2018 e  
D.G.R. IX/2616 del 30 novembre 2011

Luca Camorali  
Geologo



Pavia, li 02.03.2023

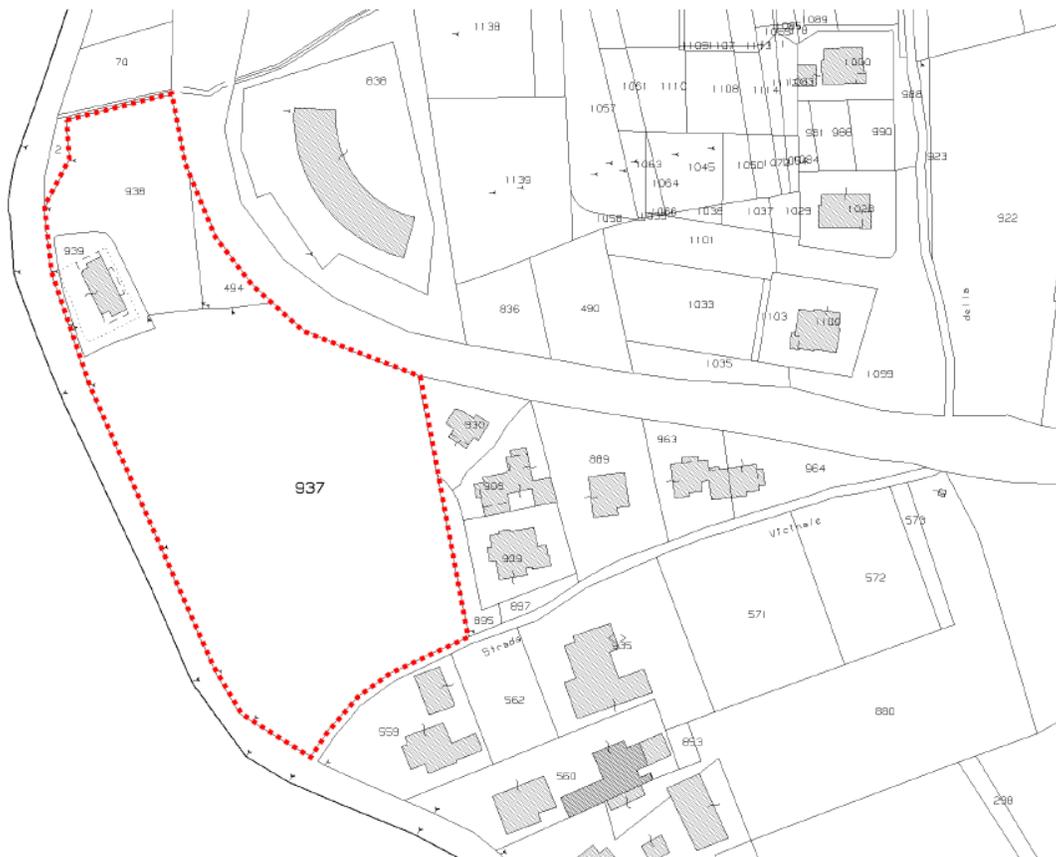
## INDICE

1.0	PREMESSA .....	3
2.0	NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....	5
3.0	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	6
4.0	SISMICITA' .....	6
5.0	PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE .....	8
6.0	CALCOLO DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO .....	9
7.0	ANALISI DELLE ONDE DI SUPERFICIE MEDIANTE IL METODO MASW .....	16
8.0	VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIVITA' SISMICA DELL'AREA .....	22
9.0	ANALISI DELLA LIQUEFAZIONE.....	28
10.0	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO.....	30
11.0	FATTIBILITA' GEOLOGICA.....	37
12.0	INDAGINI ESEGUITE .....	38
13.0	STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI .....	40
14.0	CONCLUSIONI .....	41
	ALLEGATO 1.....	42

## 1.0 PREMESSA

La presente relazione è stata redatta per la progettazione di un piano di lottizzazione residenziale da realizzarsi in Viale della Resistenza snc in Comune di Stradella (PV).

L'intervento è individuato al Foglio 21 mappali 937-938-939-494.



Stralcio catastale con indicazione lotto di intervento

Per la definizione delle litologie presenti in sito sono state eseguite le seguenti indagini:

- n° 3 prove penetrometriche statiche tipo CPT

Per la definizione del tipo di suolo e delle Vs è stata eseguita la seguente indagine:

- n° 1 prova sismica tipo MASW

Regione Lombardia, con **D.G.R. 11 luglio 2014, n. X/2129**:Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d), ha provveduto alla riclassificazione sismica dei comuni ed il Comune di Stradella (PV) è passato dalla **zona sismica 4 alla zona sismica 3**.

Tale classificazione è entrata in vigore il **10 aprile 2016** a seguito dell’emanazione della **D.G.R. 8 Ottobre 2015, n. X/4144**:Ulteriore differimento del termine di entrata in vigore della nuova classificazione sismica del territorio approvata con d.g.r. 11 luglio 2014, n. 2129 “Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)”.



Vista area di intervento

## 2.0 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

- **D.M. 17.01.2018:** Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”
- **D.G.R. 8 ottobre 2015, n. X/4144:** Ulteriore differimento del termine di entrata in vigore della nuova classificazione sismica del territorio approvata con d.g.r. 11 luglio 2014, n. 2129 “Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)”
- **D.G.R. 10 ottobre 2014, n. X/2489:** Differimento del termine di entrata in vigore della nuova classificazione sismica del territorio approvata con d.g.r. 11 luglio 2014, n. 2129 “Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)”
- **D.G.R. 11 luglio 2014, n. X/2129:** Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)
- **D.G.R. 30 novembre 2011, n. IX/2616:** “Aggiornamento dei ‘Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell’art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12’, approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n. 8/7374”
- **D.M. 14.01.2008:** Testo unitario – Norme Tecniche per le Costruzioni
- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici:** Istruzioni per l’applicazione delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009.
- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici:** Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione del territorio nazionale.
- **O.P.C.M. 3274 del 20/03/2003** (Supplemento ordinario alla G.U. 8.5.2003 n.105).  
Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.
- **Eurocodice 8:** Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- **Eurocodice 7.1 ( 1997):** Progettazione geotecnica – parte I : Regole Generali. – UNI
- **Eurocodice 7.2 (2002):** Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI
- **Eurocodice 7.3 (2002):** Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita con prove in sito (2002). UNI

### 3.0 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- Carta Geologica d'Italia I.G.M. in scala 1:100.000 – Foglio n° 59 Pavia
- PGT Comune di Stradella (PV)

### 4.0 SISMICITA'

La classificazione sismica attribuisce all'intero territorio nazionale valori differenti del grado di sismicità da prendere in considerazione nella progettazione delle opere.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto deve essere valutata anche l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta sismica locale.

La classificazione è basata sulla stima dei valori della velocità delle onde sismiche di taglio  $V_S$ .

Di seguito si riportano le categorie di sottosuolo individuabili.

- A *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.
- B *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
- C *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 e 360 m/s.
- D *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o 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.

E *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.

Il suolo di fondazione appartiene alla **categoria C**.

La categoria topografica è la **T2**.

### **Zone sismiche**

Ai fini dell'applicazione di queste norme, il territorio italiano è suddiviso in zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore del parametro  $a_g$  = accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A. I valori convenzionali di  $a_g$ , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità  $g$ , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ed assumono i valori riportati nella Tabella.

Zona	Valore di $a_g$
1	0.35g
2	0.25g
3	0.15g
4	0.05g

Le zone 1, 2 e 3 possono essere suddivise in sottozone caratterizzate da valori di  $a_g$  intermedi rispetto a quelli riportati nella tabella e intervallati da valori non minori di 0,025.

L'area in studio si sviluppa interamente nell'ambito del territorio del Comune di Stradella (Provincia di Pavia) che secondo la **D.G.R. 11 luglio 2014, n. X/2129**: Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d), è classificato in **zona 3**.



## 6.0 CALCOLO DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO

Nel presente capitolo si riportano i valori dei coefficienti  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T^*C$  in funzione della Classe d'uso e della Vita nominale delle opere in progetto.

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento 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  $V_R$ . In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purchè correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

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

Per il calcolo dei parametri sopra citati sono stati considerati i seguenti parametri:

- **Classe d'uso:** classe nella quale sono suddivise le opere, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso;
- **Vita nominale dell'opera  $V_N$ :** intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purchè soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata (da questo valore viene calcolato il Periodo di riferimento per l'azione sismica  $V_R$  come:

$$V_R = V_N * C_U$$

dove  $C_U$  è il coefficiente d'uso);

- **Probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ :** in funzione dello stato limite di riferimento.

Nel caso dell'opera in oggetto sono considerati i seguenti valori:

- **Classe d'uso 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.
- **Vita nominale  $V_N$ :**  $\geq 50$  anni: costruzioni con livelli prestazionali ordinari
- **Coefficiente d'uso  $C_U$ :** 1.0 relativo alla classe d'uso II.
- **Periodo di riferimento per l'azione sismica:**  $V_R = V_N * C_U = 50 * 1.0 = 50$  anni

In funzione della probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  vengono calcolati i valori  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T^*_C$  e del periodo di ritorno

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Stati limite		$P_{VR}$	Periodo di ritorno (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$	$T^*_C$ (sec)
SLE	SLO	81%	30	0.027	2.505	0.195
	SLD	63%	50	0.034	2.532	0.216
SLU	SLV	10%	475	0.090	2.443	0.276
	SLC	5%	975	0.121	2.452	0.280

Considerando inoltre la categoria topografica dell'area di intervento (T2) e la categoria di suolo (C) si ottengono, per ogni stato limite, i seguenti parametri:

Parametro	SLE		SLU	
	SLO	SLD	SLV	SLC
$A_{\max}$ (m/s <sup>2</sup> )	0.470	0.598	1.598	2.128
$k_h$	0.010	0.012	0.033	0.052
$k_v$	0.005	0.006	0.016	0.026

Dove:

**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;

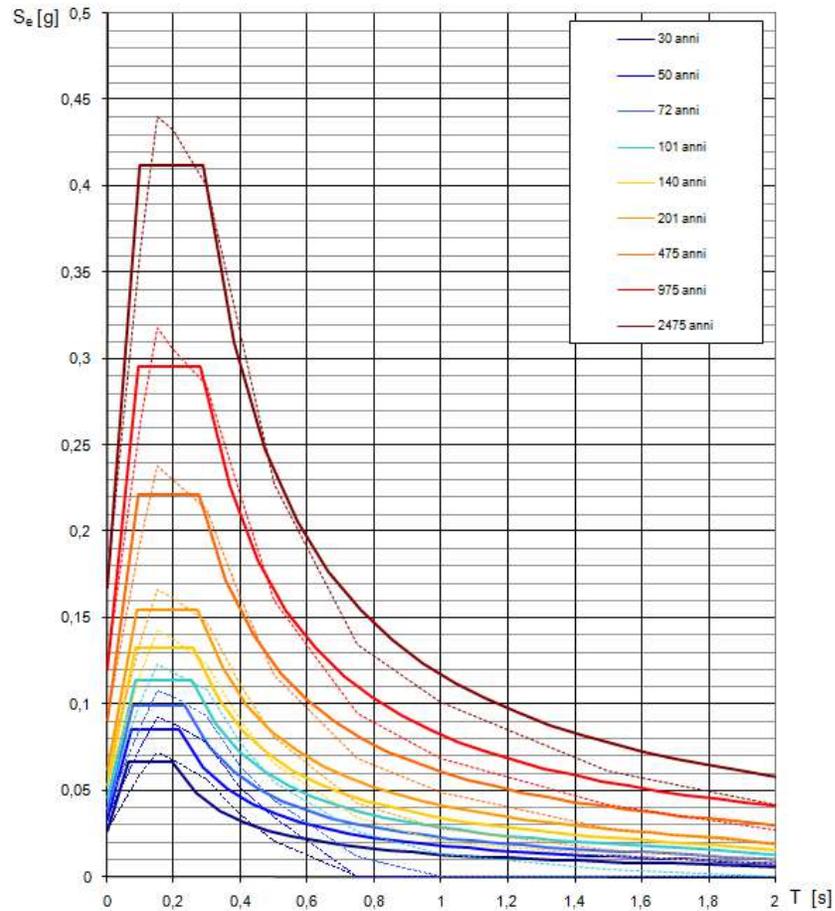
*SLD* = stato limite di danno: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza 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 rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte di resistenza e rigidezza 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 nei 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.

**Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento**



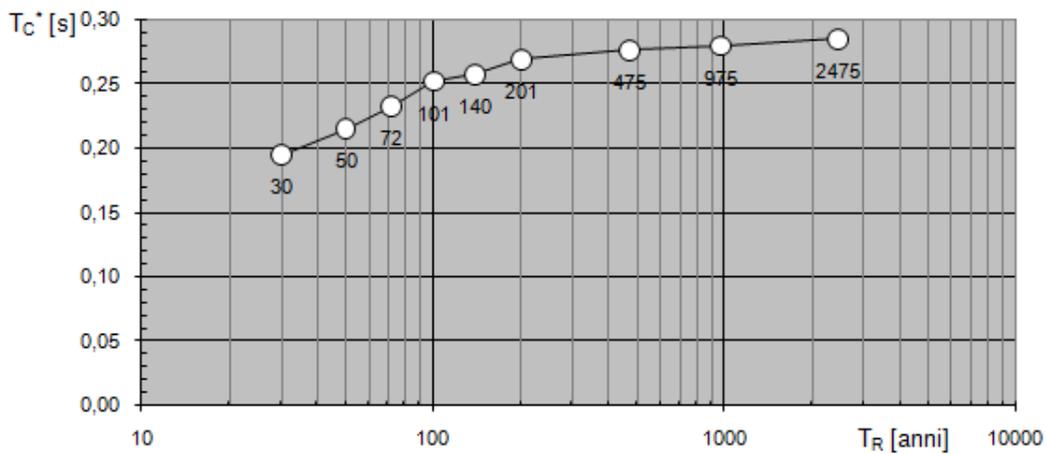
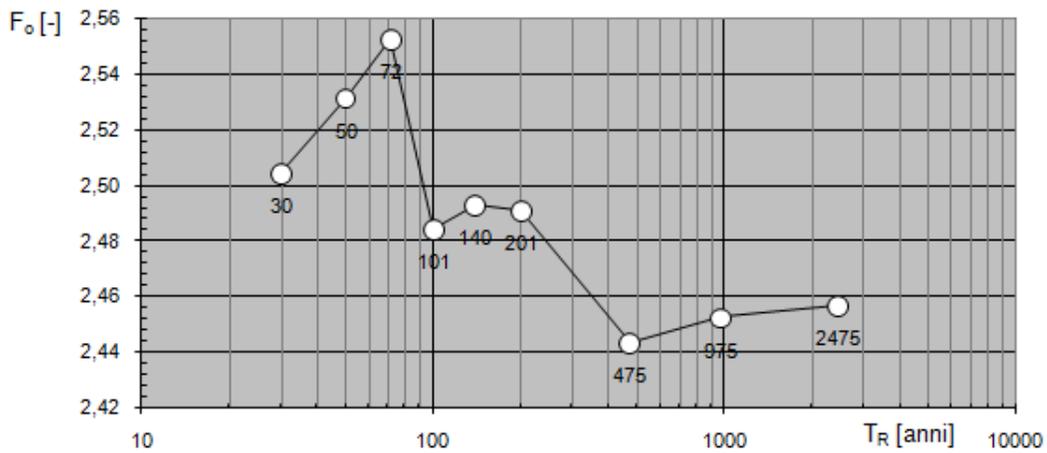
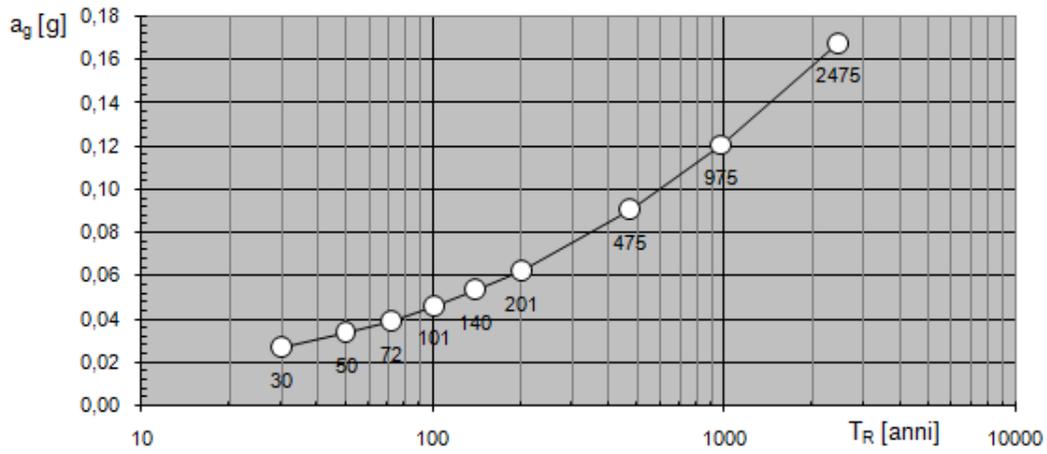
NOTA:  
 Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Valori dei parametri  $a_g$   $F_0$   $T^*_C$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento

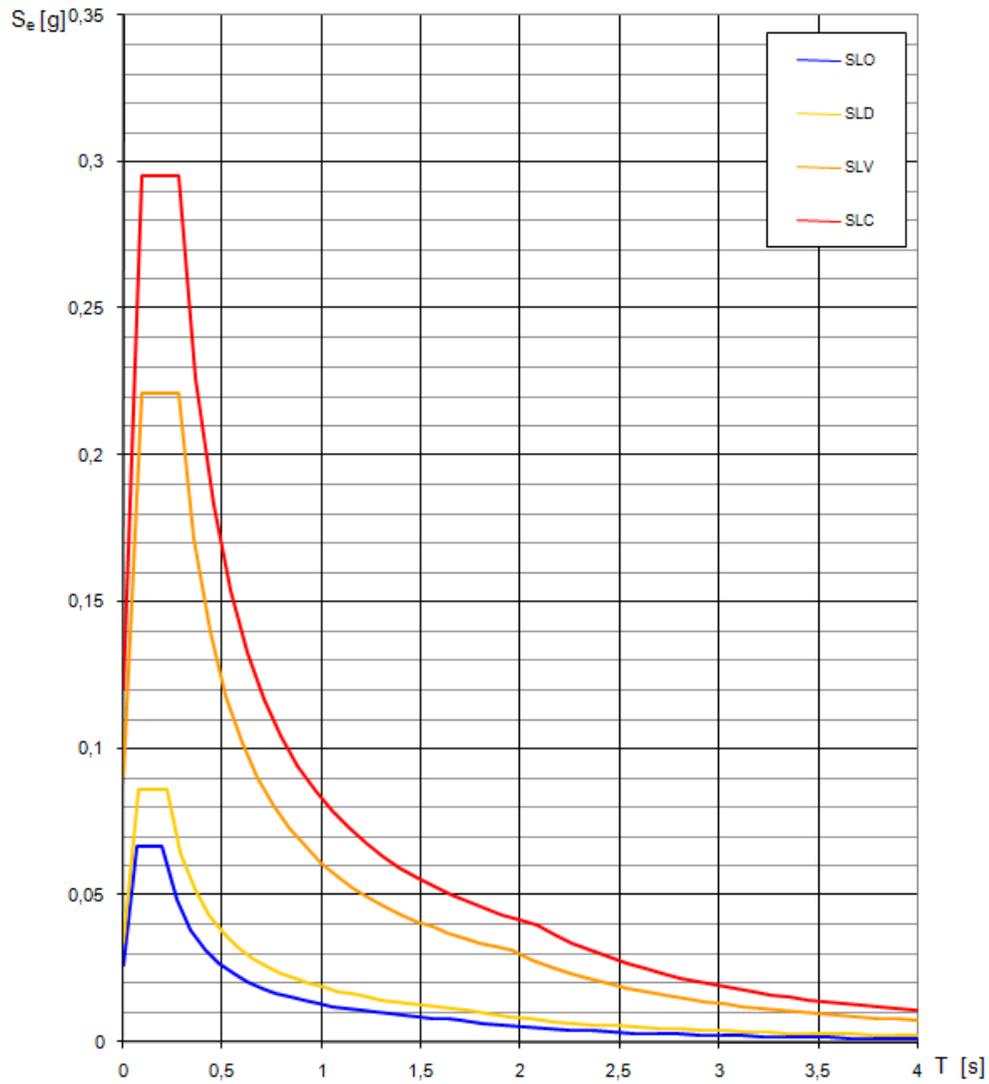
$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$ (-)	$T^*_C$ (sec)
30	0.027	2.504	0.195
50	0.034	2.531	0.216
72	0.039	2.552	0.233
101	0.046	2.484	0.252
140	0.053	2.493	0.258
201	0.062	2.491	0.269
475	0.091	2.443	0.276
975	0.121	2.452	0.280
2475	0.168	2.457	0.285

(Coordinate ED50 Latitudine: 45,070741 – Longitudine: 9,293554)  
 (Coordinate WGS84 Latitudine: 45,069798 – Longitudine: 9,292504)

**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C^*$ : variabilità col periodo di ritorno  $T_R$**

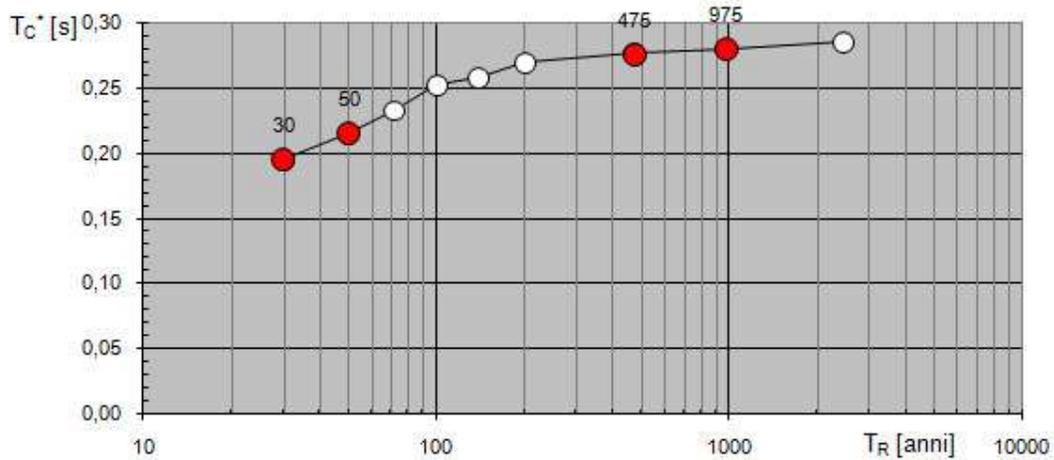
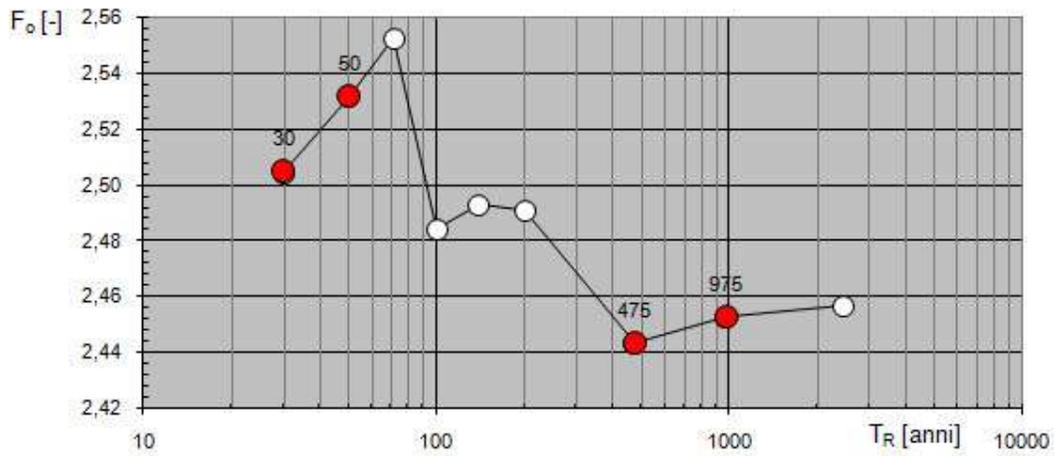
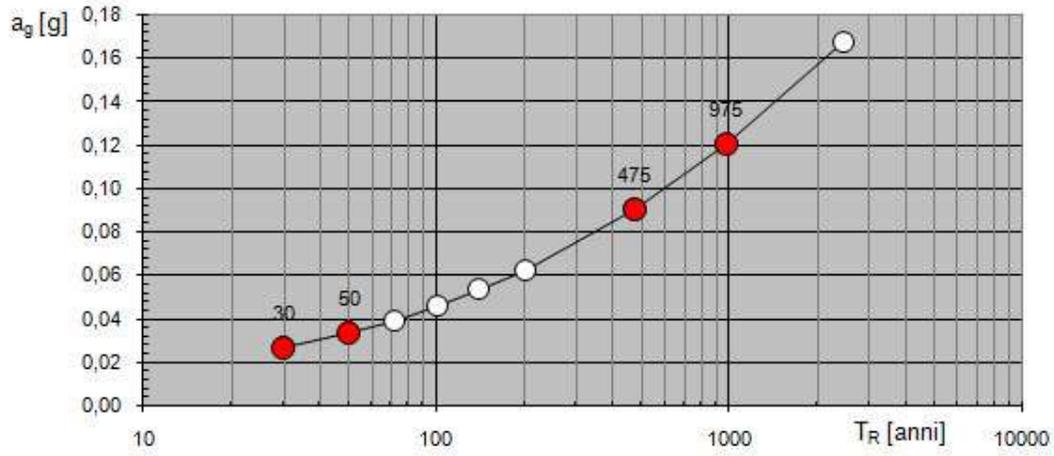


**Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite**



Stati limite		$P_{VR}$	Periodo di ritorno (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$	$T^*_C$ (sec)
SLE	SLO	81%	30	0.027	2.505	0.195
	SLD	63%	50	0.034	2.532	0.216
SLU	SLV	10%	475	0.090	2.443	0.276
	SLC	5%	975	0.121	2.452	0.280

**Valori di progetto dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C^*$  in funzione del periodo di ritorno  $T_R$**



## 7.0 ANALISI DELLE ONDE DI SUPERFICIE MEDIANTE IL METODO MASW

La definizione del tipo di suolo ai sensi delle Norme Tecniche sulle Costruzioni, è stata possibile mediante un'indagine sismica tipo MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves che ha permesso di individuare il valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  (in m/s), mediante la seguente relazione:

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

dove:

$h_i$  = 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 velocità non inferiori a 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  $V_{s30}$  ottenuto ponendo  $H = 30$  m.

L'acquisizione di campagna è stata effettuata mediante sismografo Pasi GEA24 (24 canali con scheda di acquisizione a 24 bit), geofoni verticali da 4,5 Hz e mazza energizzante da 8 Kg.

A tale scopo, è stato predisposto uno stendimento sismico lineare di lunghezza pari a **44 m** con 12 geofoni posti a distanza intergeofonica di 4,0 m e punto di energizzazione posto ad una distanza di 4,0 m dal primo geofono.



Ubicazione stendimento MASW



Vista stendimento MASW

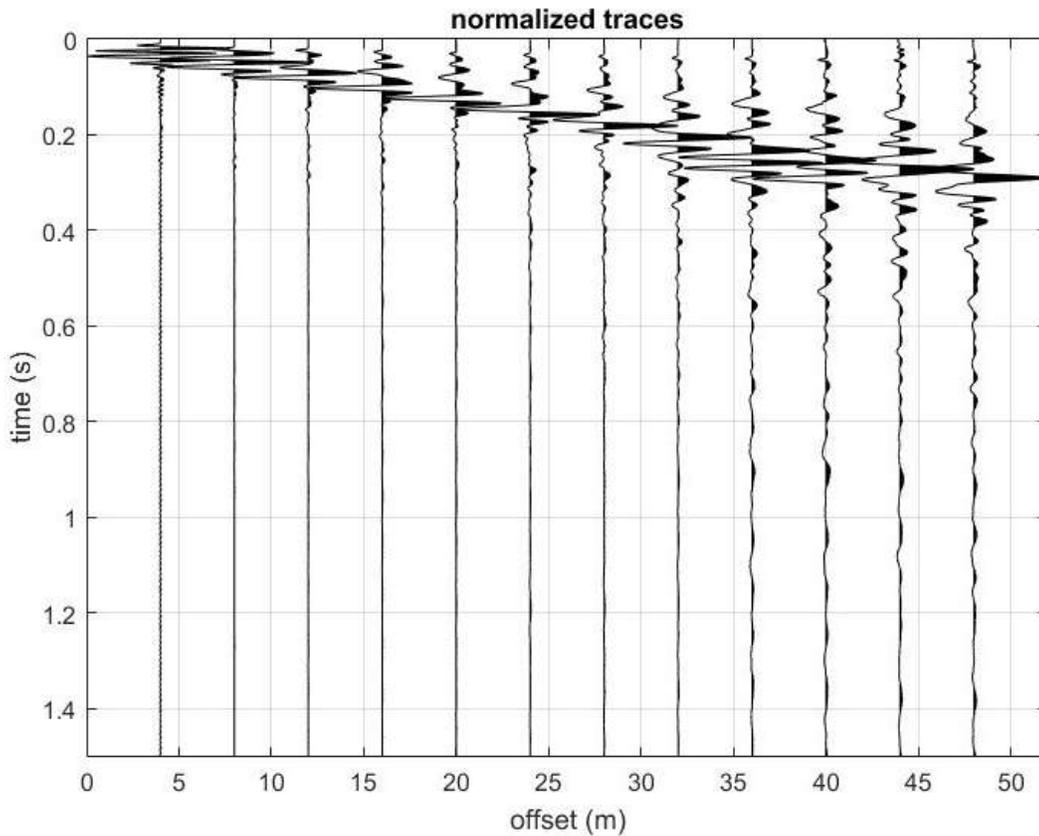
Una volta acquisito il dato di campagna, si è proceduto all'elaborazione dello stesso mediante il software winMASW® 3C 7.2 (ELIOSOFT geophysical software & services) con cui si è determinato lo spettro di velocità e la curva di dispersione.

Successivamente, mediante l'inversione di quest'ultima, si è ricostruito il profilo verticale delle velocità delle onde di taglio ottenendo così il valore di  $V_{S30}$ .

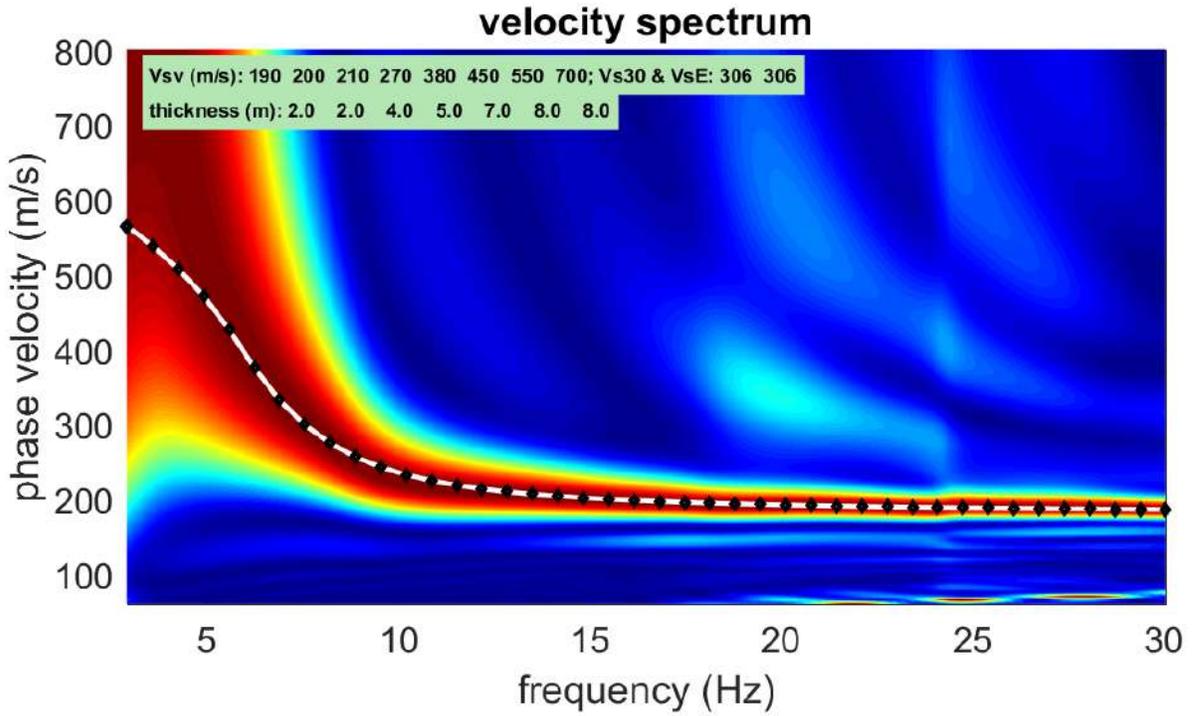
Di seguito si riporta quanto ottenuto.



dataset: 2022-03-24\_12-05.dat  
sampling: 1 ms  
minimum offset: 4 m  
geophone spacing: 4 m



Dato di campagna (sismogramma)



Spettro di velocità e curva di dispersione

Spessore [m]	Vs [m/sec]	Moduli di taglio stimati (MPa)
2	190	67
2	200	74
4	210	82
5	270	140
7	380	288
8	450	413
8	550	631
semi-spazio	700	1051

Modello medio individuato

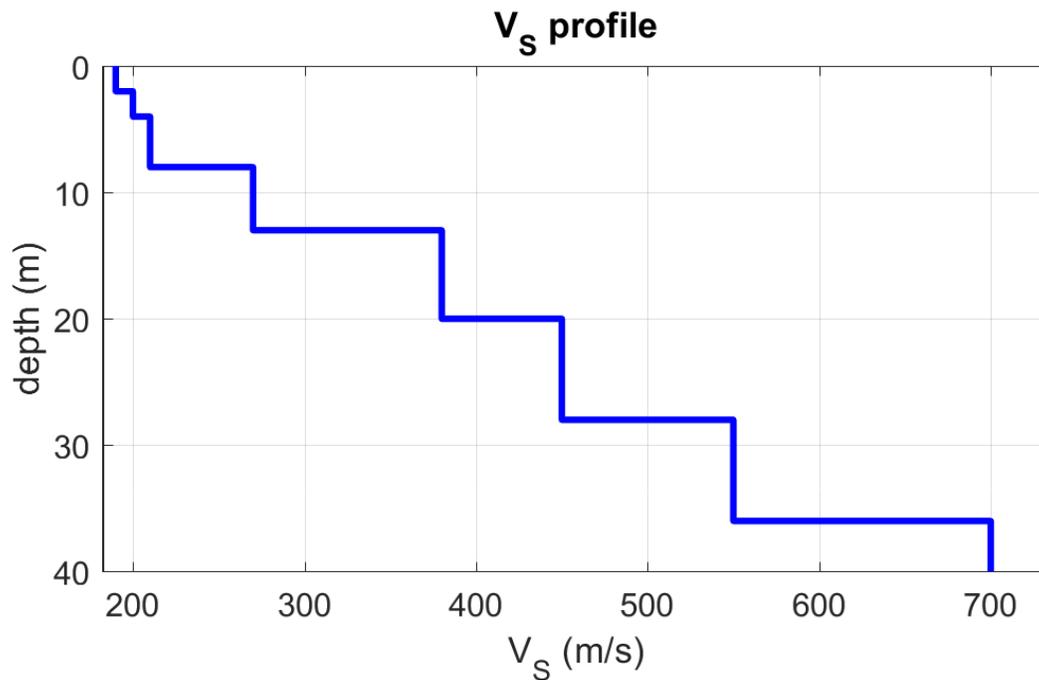
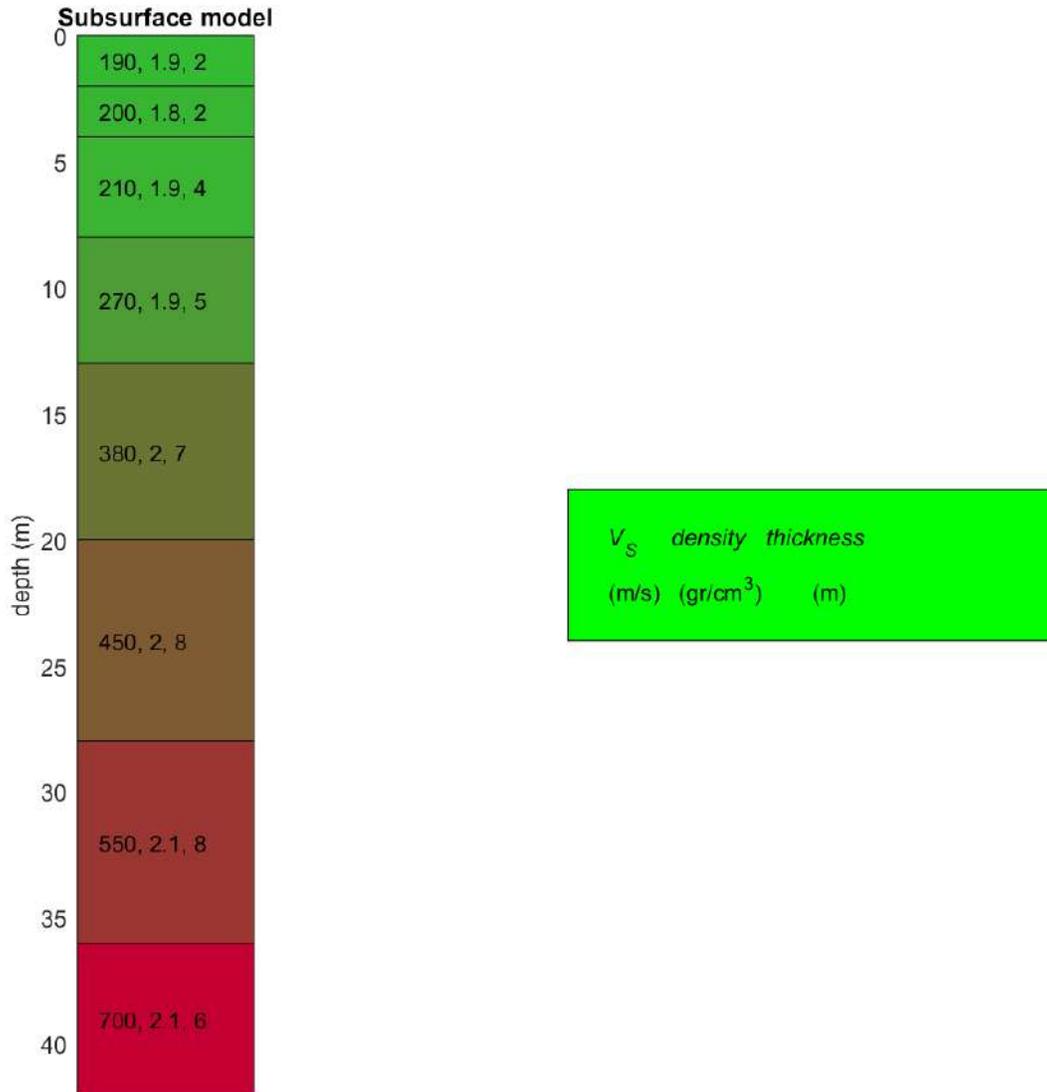


Diagramma Vs / profondità



### Sismostratigrafia

L'elaborazione del dato di campagna ha fornito una  $V_{s30}$  pari a **306 m/s** che, così come riportato dalle NTC 2018, permette di classificare il suolo di fondazione come “**tipo C**”

- *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 e 360 m/s.*

## 8.0 VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIVITA' SISMICA DELL'AREA

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 (da utilizzarsi in zone di pianura).

Si riportano, in un apposito diagramma all'interno di queste schede, i valori delle  $V_s$  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 vengono inseriti all'interno della scheda relativa al grafico per la litologia "limoso argillosa Tipo 2".

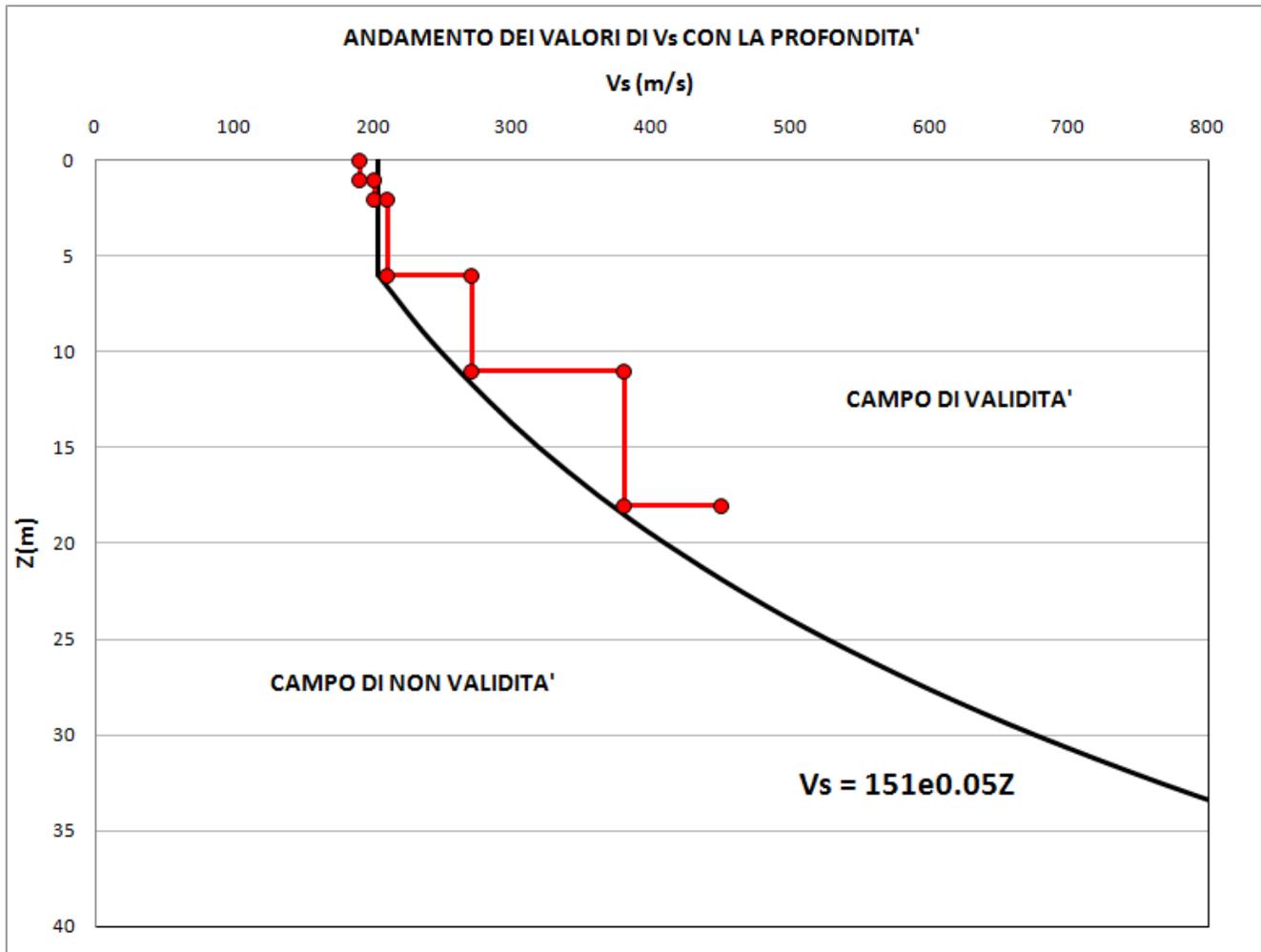


Grafico relativo al campo di validità della scheda litologica “Limoso argilloso Tipo 2”

Come è possibile osservare l’andamento delle  $V_s$  è posizionato al di “sopra” della linea che divide il campo di non validità dal campo di validità. Come specificato dalla normativa, si deve procedere a correlare i dati all’interno delle schede di riferimento finché non si individua quella idonea.

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 (figura seguente) per ottenere il valore di  $F_a$ . Tale parametro ( $F_a$ ) 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.

Per utilizzare correttamente l’abaco sotto riportato, come vincolo viene posto che il primo strato abbia almeno 4 m di spessore. Se tale condizione non fosse soddisfatta è necessario calcolare la media pesata

delle Vs di almeno i primi 4 metri di terreno tenendo in dovute considerazioni gli spessori parziali con le rispettive velocità delle onde di taglio.

Nel nostro caso la velocità dei primi 4.0 metri di profondità risulta pari a 195 m/s, assimilabile a 200 m/s così come indicato dalla normativa (DGR IX/2616 § 2.2.2).

		Profondità primo strato (m)																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	
Velocità primo strato (m/s)	200				2	1	1															
	250				2	2	2	2	1	1	1											
	300				3	3	3	3	2	2	2	2	1									
	350				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3								
	400				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3						
	450				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3					
	500				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3				
	600				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
700				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	

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 2 (vedi abachi seguenti).

Con i valori sopra ottenuti si calcola il periodo "T" relativo al sito. Nel caso la velocità ottenuta dall'indagine non raggiungesse gli 800 m/s, occorre incrementare la velocità e la profondità delle onde utilizzando un passo adeguato, fino all'intercettazione degli 800 m/s (bedrock sismico).

Per la determinazione del periodo si utilizza la seguente equazione:

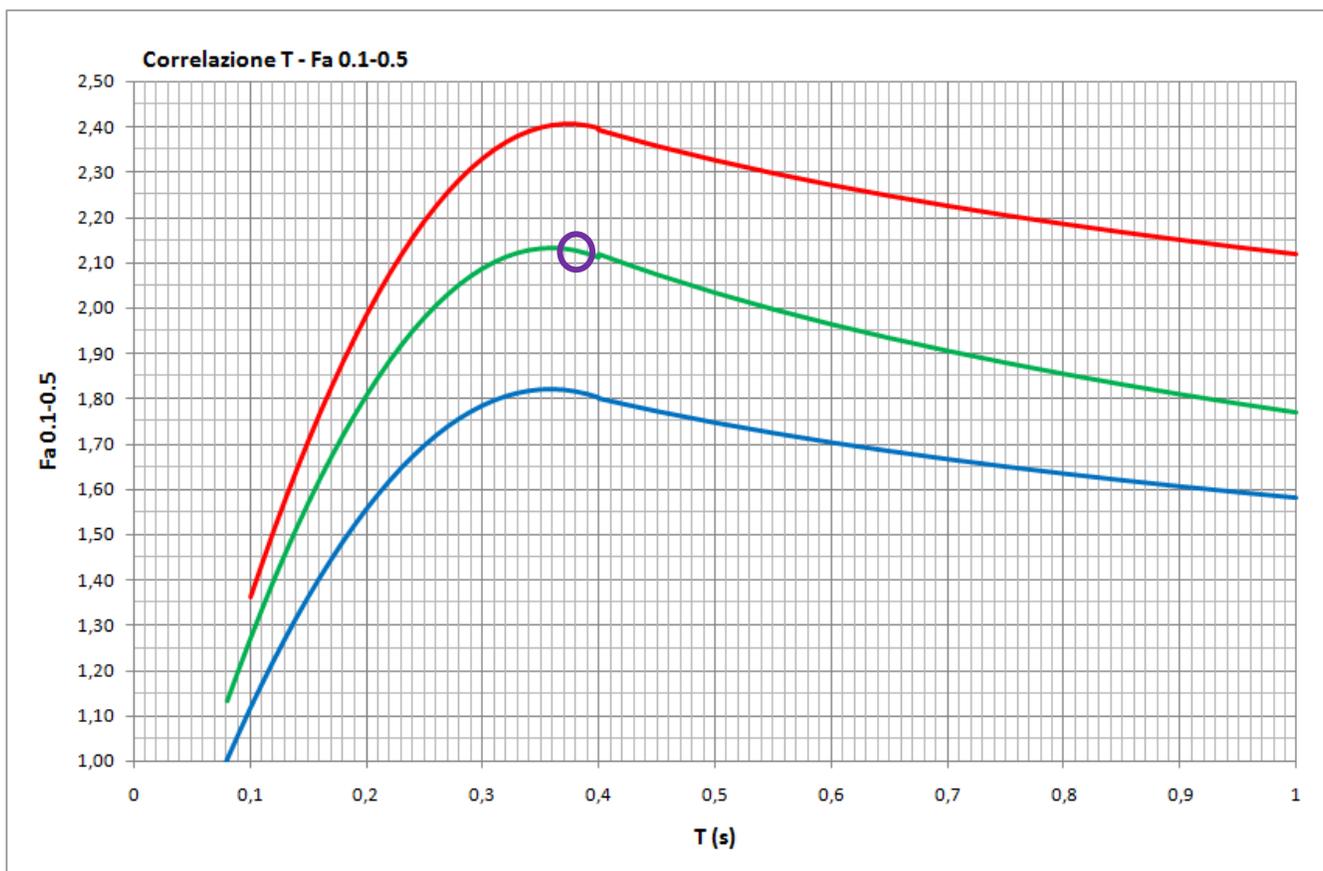
$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left( \frac{\sum_{i=1}^n V_{si} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

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

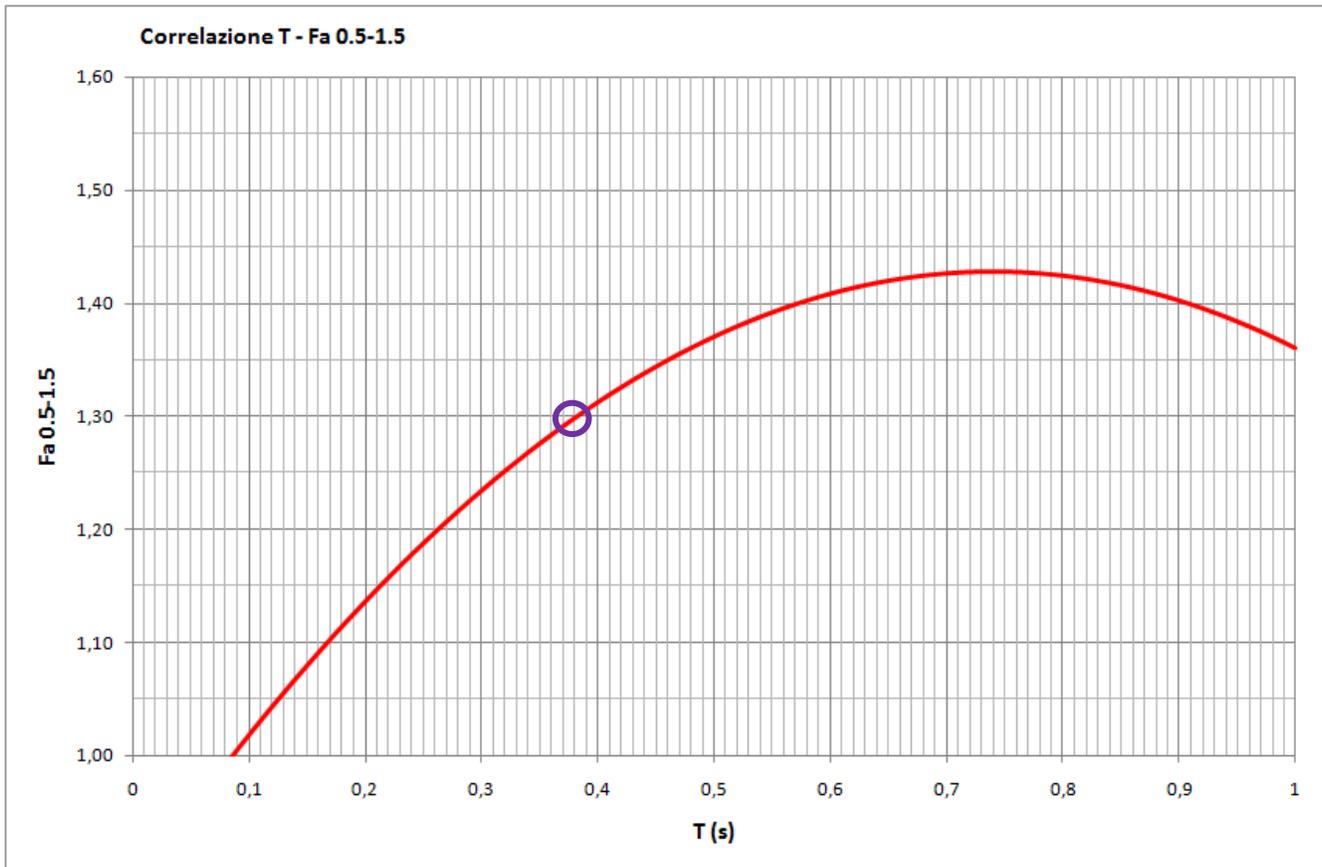
<b>Valore del periodo Tcalcolato</b>
--------------------------------------

<b>0,38 s</b>
---------------

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 per la litologia sabbiosa e riferiti rispettivamente ad edifici bassi ed ad edifici alti.



Abaco di riferimento per la litologia sabbiosa per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento (riferito ad edifici bassi)



Abaco di riferimento per la litologia sabbiosa per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento (riferito ad edifici alti)

Dagli abachi emerge come il valore attribuito al periodo ( $T=0,38$ ), identifichi sulla curva verde un valore di **Fa = 2,13 per edifici bassi (Fa di riferimento per i terreni di tipo C = 1,90)** e **Fa = 1,30 per edifici alti (Fa di riferimento per i terreni di tipo C = 2,40)**.

Nel nostro caso il valore di Fa calcolato risulta essere SUPERIORE al valore di soglia comunale per edifici bassi quindi in fase progettuale si dovrà procedere all'analisi di 3° livello o in alternativa applicare lo spettro previsto dalla normativa per la categoria di sottosuolo superiore.

In questo caso potrà essere utilizzato lo spettro di norma caratteristico della categoria **D** che presenta un valore di soglia del fattore di amplificazione maggiore di quello calcolato.

Camorali Luca  
Geologo  
Viale Campari 83/b  
27100 Pavia (PV)

cod.fisc. CMR LCU 74T26 G388X  
partita IVA 01971640188

Il valore di Fa calcolato risulta essere invece INFERIORE al valore di soglia comunale per edifici alti.  
In questo caso potrà essere utilizzato lo spettro di norma caratteristico della categoria C

Di seguito vengono riportati i valori Fa di soglia per il comune di Stradella (PV).

<b>CATERGORIA DI SUOLO</b>	<b>FATTORE DI AMPLIFICAZIONE Intervallo di periodo 0.1-0.5 s</b>	<b>FATTORE DI AMPLIFICAZIONE Intervallo di periodo 0.5-1.5 s</b>
B	1.4	1.7
C	1.9	2.4
D	2.2	4.2
E	2.0	3.1

## 9.0 ANALISI DELLA LIQUEFAZIONE

La nuova normativa introduce, nell'ambito dello studio della risposta sismica del sito, il problema della stabilità nei confronti del fenomeno della liquefazione dei terreni 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.

La stessa normativa prevede tuttavia che la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze: (*par. 7.11.3.4.2 del DM 17/01/2018*):

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  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (CPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$

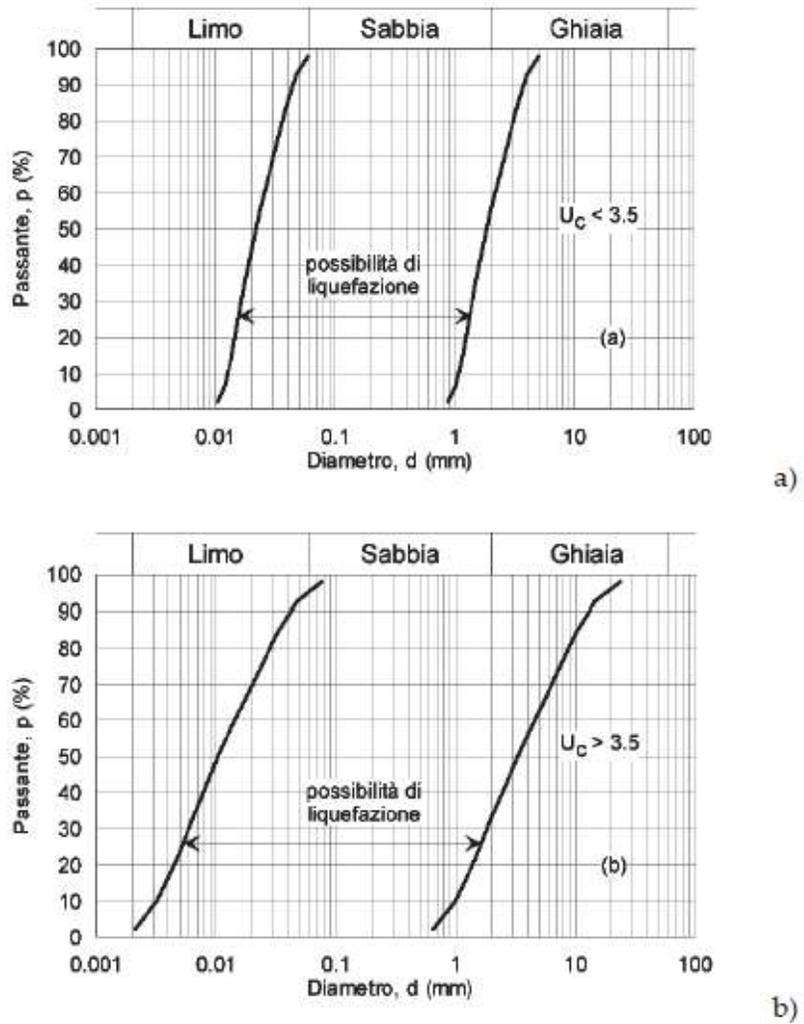


Fig. 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

Per l'area in studio è stata calcolata l'azione sismica di progetto (Capitolo 5) in funzione della Vita Nominale, della Classe d'Uso, Categoria Topografica, Categoria di Suolo di Fondazione, da cui è stato ricavato il valore di  $A_{max}$  ( $m/s^2$ ) per ogni stato limite (tabella di seguito riportata).

SLO	SLD	SLV	SLC
0.470	0.598	1.598	2.128

E' possibile notare che i valori calcolati per SLV risultano superiori a 0.1g ( $0.98 m/s^2$ ).

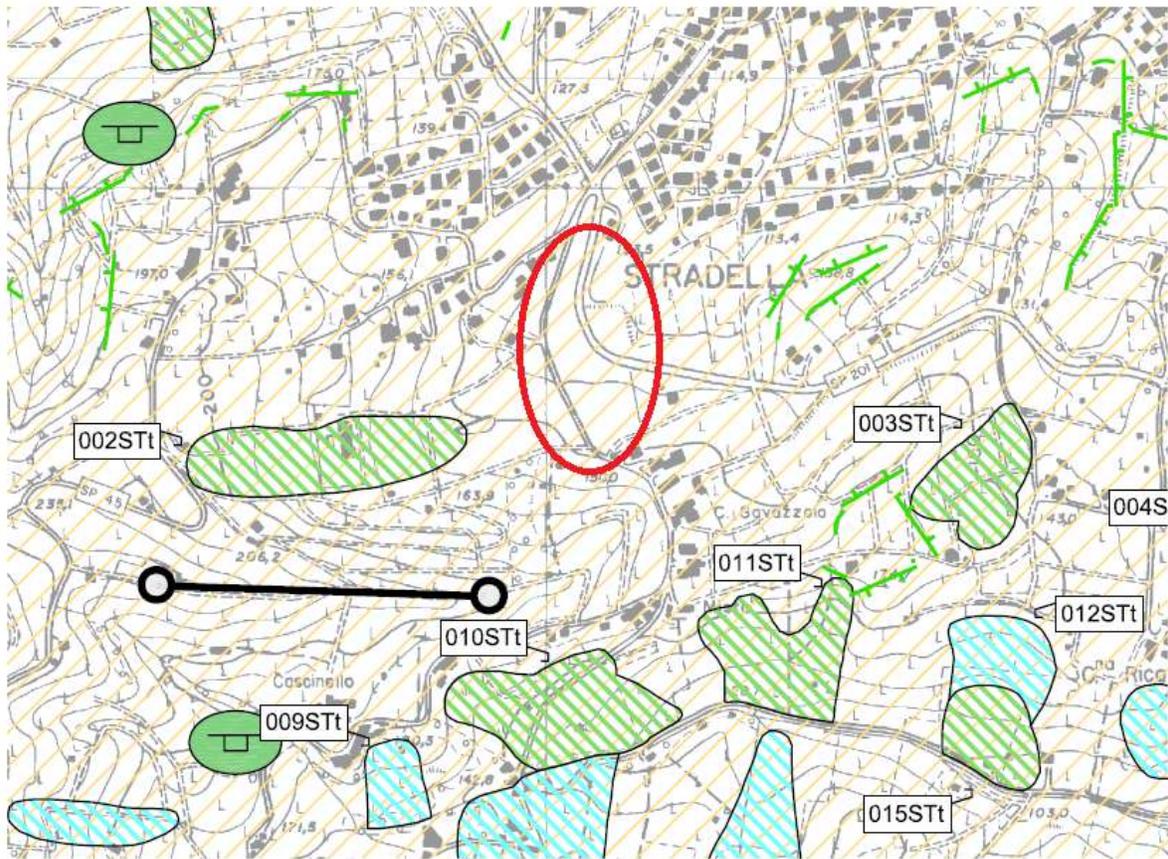
Trattandosi nel caso in esame di terreni prettamente argilloso limosi, la verifica viene omessa.

## 10.0 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Dal punto di vista geomorfologico, il territorio comunale di Stradella è caratterizzato da 2 zone:

- la pianura che si sviluppa a Nord del capoluogo ed è costituita da depositi alluvionali che costituiscono il ripiano fondamentale della pianura oltrapadana ai quali si sovrappongono i depositi del Torrente Versa che incide tale area
- la collina che occupa le zone centrali e meridionali dell'area comunale ed è costituita da terreni con caratteristiche di bassa erodibilità e terreni più facilmente erodibili che conferiscono quindi ai versanti collinari i seguenti aspetti:
  - versanti con modeste pendenze generalmente non superiori a 10-15° nella zona centrale del territorio comunale
  - versanti con pendenze medio-elevate intorno ai 25-30° nella zona meridionale del territorio comunale che sono sedi di numerosi fenomeni franosi

L'area in studio è impostata su un versante caratterizzato da modesta pendenza e privo di movimenti franosi.

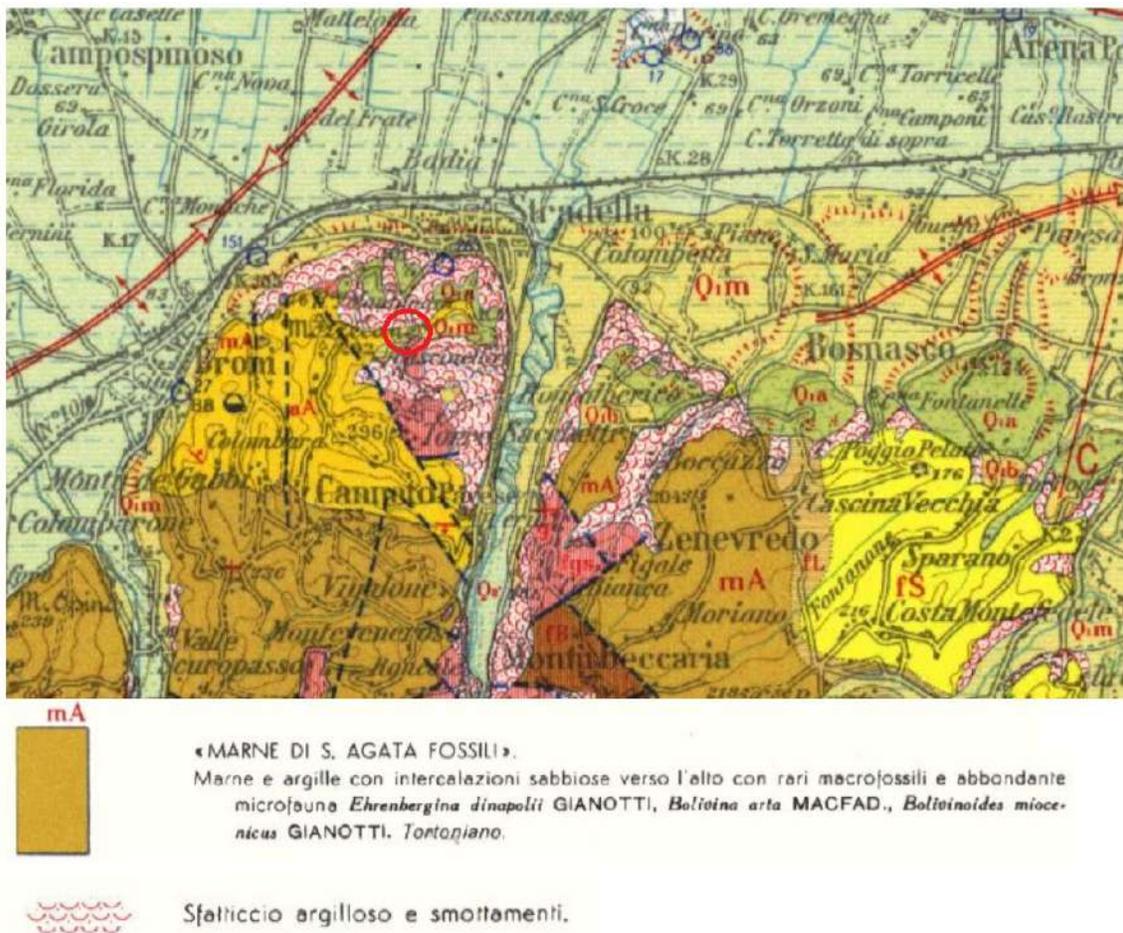


- |  |   |
|--|---|
| STATO DI ATTIVITA'<br>ATTIVO    QUIESCENTE    INATTIVO | CORPO DI FRANA  |
|  | Codice alfanumerico composto da: numero progressivo, tipologia del movimento, tipo di materiale |
- |  |   |
|--|---|
| STATO DI ATTIVITA'<br>ATTIVO    NON ATTIVO | ORLO DI SCARPATA DI EROSIONE FLUVIALE O TORRENTIZIA |
|  |   |
- |  |              |
|--|--------------|
|  | CAVE CESSATE |
|--|--------------|
- |  |                       |
|--|-----------------------|
|  | ALLINEAMENTO DI VETTE |
|--|-----------------------|
- |  |                     |
|--|---------------------|
|  | TERRITORIO COMUNALE |
|--|---------------------|

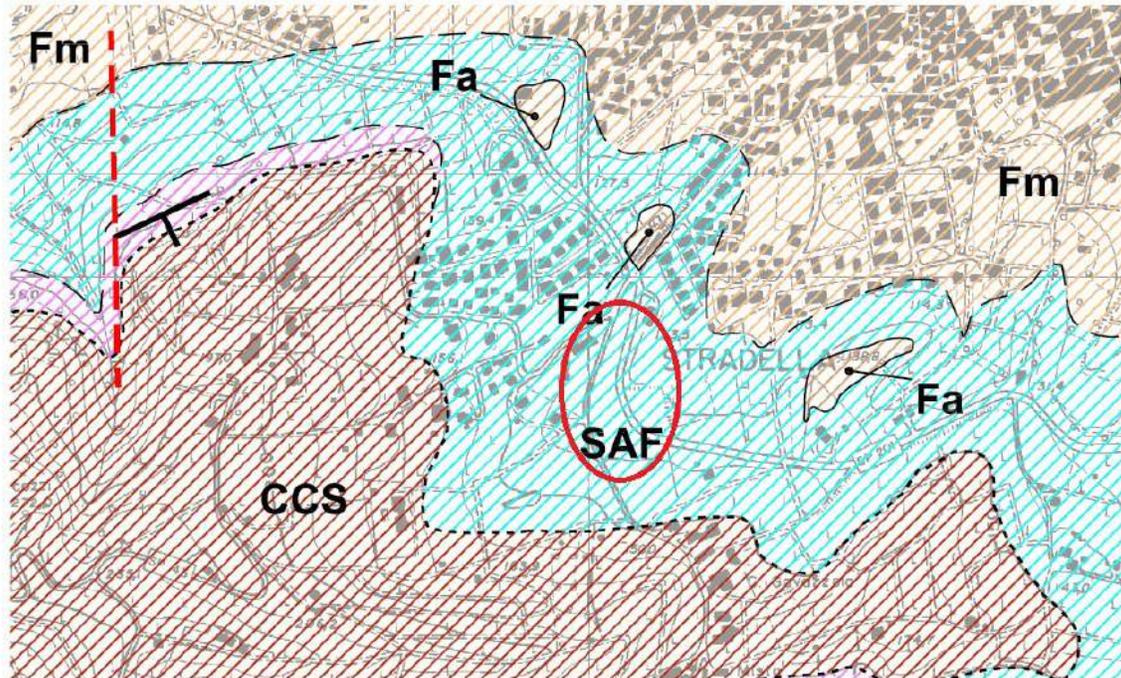
Stralcio Carta Geomorfológica allegata al PGT vigente

Dal punto di vista geologico la zona in oggetto è individuata e cartografata al Foglio n. 59 “Pavia” I.G.M. in scala 1:100.000 della Carta Geologica Italiana in un’area caratterizzata da una copertura argillosa di notevole spessore soprastante la formazione delle marne di Sant’Agata Fossili.

Di seguito si riportano uno stralcio della Carta Geologia d’Italia Foglio n° 59 Pavia ed uno della Carta di Inquadramento Geolitologico e Strutturale allegata al PGT vigente in cui si evidenzia tale condizione.



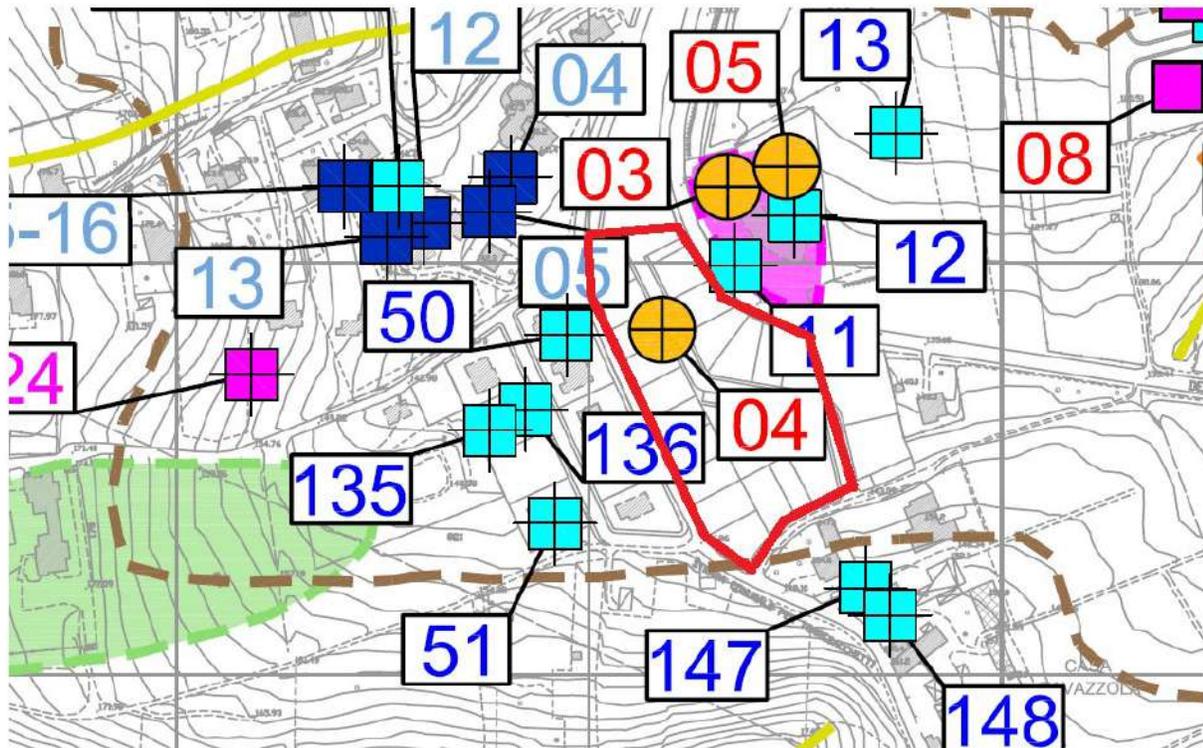
Stralcio Carta Geologia d’Italia Foglio n° 59 Pavia



**SAF** **MARNE DI SANT'AGATA FOSSILI** (*Tortoniano*)  
QUESTA FORMAZIONE RISULTA COMPOSTA DA MARNE E ARGILLE DI COLORE GRIGIO-AZZURRO O GIALLASTRO, LEGGERMENTE SABBIOSE, CON INTERCALAZIONI SABBIOSE E ARENACEE VERSO L'ALTO (DETTI LIVELLI RAGGIUNGO UNA POTENZA DI 10-20 CM), POCO CEMENTATE. LA STRATIFICAZIONE, NON MOLTO CHIARA NELLE ARGILLE E NELLE MARNE, DIVENTA EVIDENTE QUANDO SONO PRESENTI DETTE INTERCALAZIONI. I CONTATTI TRA LA FORMAZIONE DELLE "MARNE DI SANT'AGATA FOSSILI" E LA "FORMAZIONE GESSOSO - SOLFIFERA" SONO STRATIGRAFICI.

Stralcio Carta di Inquadramento Geolitologico e Strutturale allegata al PGT vigente

A conferma di quanto precedentemente indicato, si riporta anche uno stralcio della Carta di Pericolosità Sismica Locale, con ubicazione dei dati litostratigrafici, geognostici e geotecnici allegata al PGT in vigore, in quanto proprio nell'area in studio è stato eseguito un sondaggio a carotaggio continuo che ha raggiunto la profondità di 15 m da p.c. attuale da cui si può notare che i terreni in sito sono caratterizzati da una litologia argillosa, a tratti sabbiosa, passante ad argilla marnosa nella parte terminale della perforazione.



PROVE PENETROMETRICHE STATICHE  
"cone penetration test" (C.P.T. 01\_166)



SONDAGGI GEOGNOSTICI A CAMPIONAMENTO CONTINUO (S 01\_15)

Stralcio Carta di Pericolosità Sismica Locale,  
con ubicazione dei dati litostratigrafici, geognostici e geotecnici  
allegata al PGT in vigore

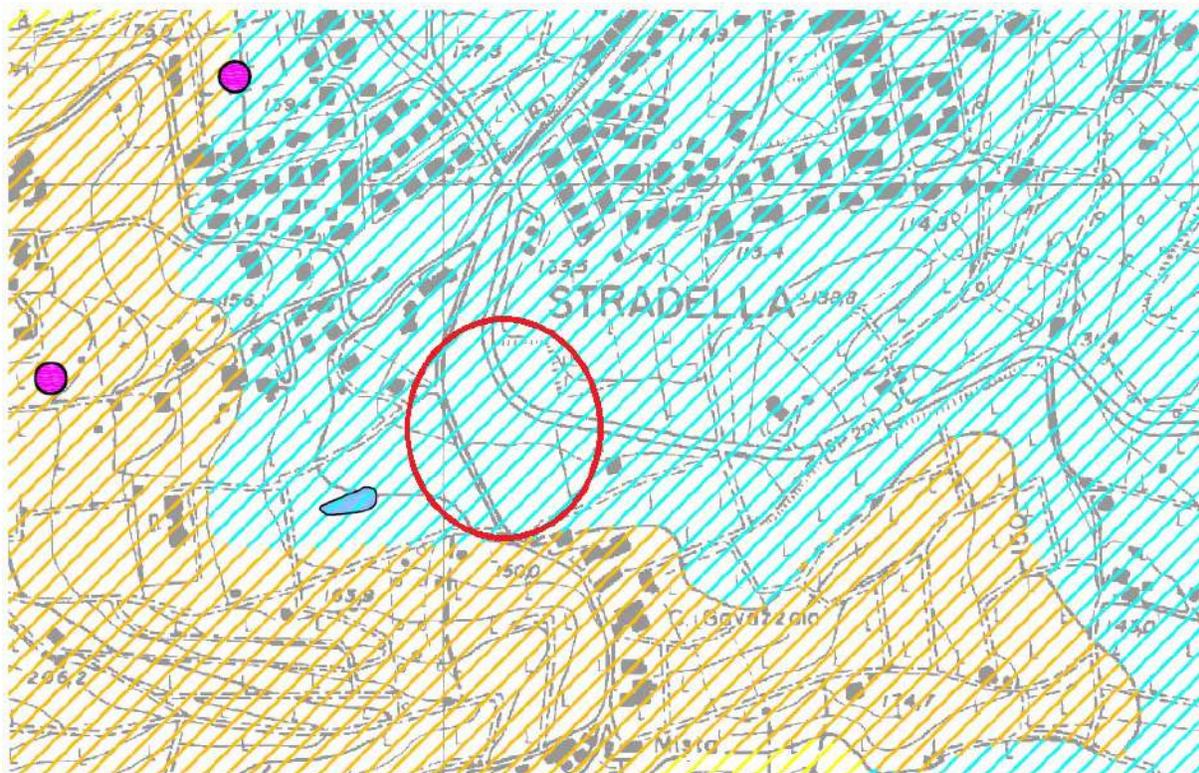
SONDAGGIO S4	Committente Immobiliare Montalino	Comune Stradella	Località Stradella	Quota Ass. P.C. m. s.l.m. 137	Quota di inizio
	Operatore	Profondità raggiunta 15.0 m	Note		Inizio/Fine Esecuzione 18/07/2001
	Responsabile	Sondaggio	Tipo Carotaggio	Tipo Sonda	Long. Lat.

Quota (m)	Litologia	Descrizione	Quota	%Carotaggio R.Q.D.	S.P.T. (N° Colpi)	Profilo Test. No./Org.	Campioni	Metodo Perforazione	Car. Catasto	Falda	Piezometro (P) Inclinometro (I)
1		Argilla di colore marrone chiaro con screziature ruggine	2.00								
2											
3											
4		Argilla di colore marrone con rare concrezioni calcaree millimetriche	6.70								
5											
6											
7		Argilla sabbiosa di colore marrone	7.80								
8											
9		Argilla compatta di colore nocciola-grigiastro passante a grigio	9.50								
10											
11											
12		Argilla molto compatta passante ad argilla marnosa di colore grigio	15.00								
13											
14											
15											

Stratigrafia sondaggio 04

Dal punto di vista idrogeologico l'area collinare interessata dagli interventi in progetto, risulta caratterizzata da una permeabilità bassa o nulla.

Si riscontra la presenza di una modesta falda freatica poco profonda nel primo sottosuolo. Tale falda risulta condizionata dal tetto del substrato sul quale appoggia, dallo spessore delle coperture (coltre di alterazione eluvio-colluviale) che possono provocare fenomeni di blanda artesianità.



**PERMEABILITA'**

**BASSA O NULLA**



Argille di Lugagnano; membro marnoso - argilloso basale delle Marne di Sant'Agata Fossili.

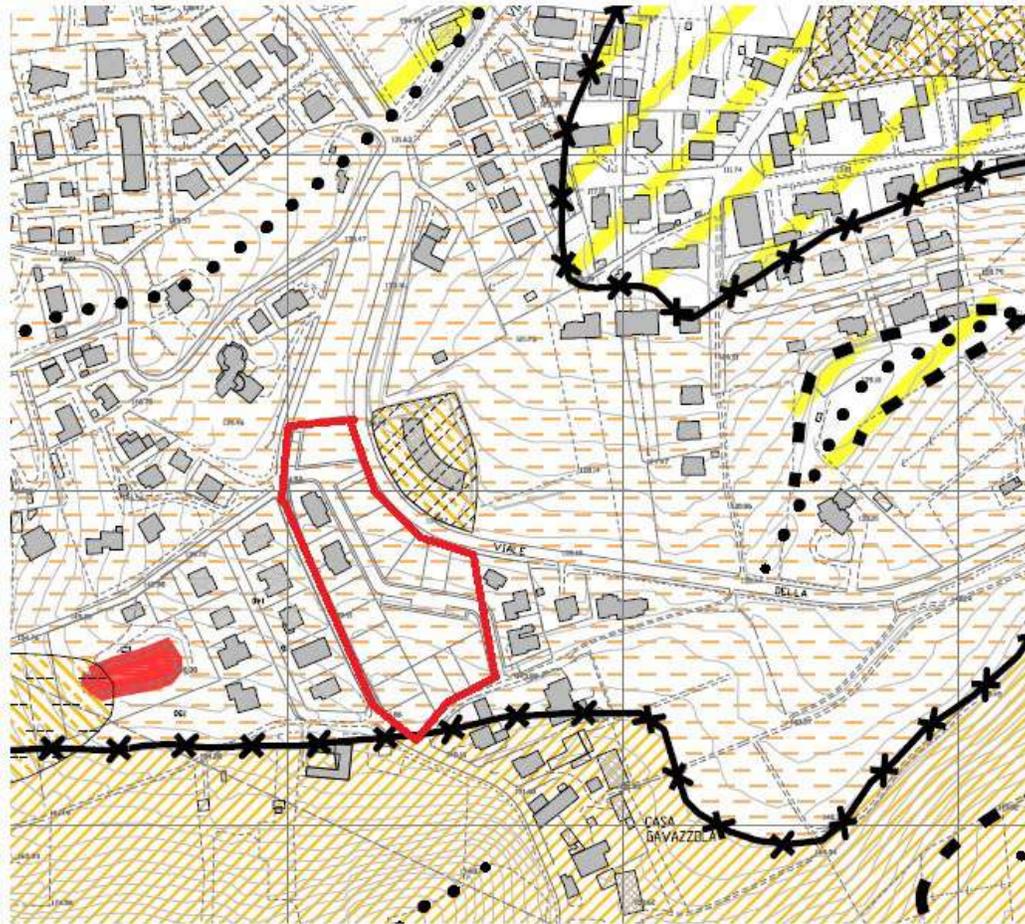
Presenza di un substrato a dominante argilloso - marnosa poco permeabile o praticamente impermeabile.

Depositi continentali del fluviale Medio e del fluviale Antico.

Stralcio carta idrogeologica allegata al PGT vigente

### 11.0 FATTIBILITA' GEOLOGICA

Con riferimento a quanto riportato nelle norme geologiche di piano allegate al PGT comunale, l'area di intervento ricade in **Classe di fattibilità 3C - Fattibilità con consistenti limitazioni.**



#### CLASSE 3C



VERSANTI COLLINARI DA POCO ACCLIVI A MEDIAMENTE ACCLIVI, CON INCLINAZIONE GENERALMENTE COMPRESA TRA 15° - 20° E CARATTERIZZATI DALLA PRESENZA DI TERRENI A GRANULOMETRIA FINE (LIMI E ARGILLE); LOCALMENTE A MORFOLOGIA IRREGOLARE, ATTUALMENTE STABILI E NON INTERESSATE DA FENOMENI DI DISSESTO IDROGEOLOGICO; SEDE DI ALCUNI NUCLEI ABITATI MINORI (TORRINO, CASA ROVATI) E DI INSEDIAMENTI SPARSI (RECANATA, CASA DEL RIO, CASA DELLA FONTANA).

POSSIBILI MODESTI FENOMENI DI SOLIFUSSO E/O EROSIONE SUPERFICIALE, BEN INDIVIDUABILI E CIRCOSCRIBIBILI. POSSIBILI LOCALI FENOMENI DI SCIVOLAMENTO E/O DEFORMAZIONE LENTA DEL PENDIO, RIFERITA ALLA COLTRE ELUVIO - COLLUVIALE, PREVALENTEMENTE A GRANA FINE E CON CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE DA MEDIOCRI A DISCRETE.

COPERTURA ELUVIO-COLLUVIALE DOTATA DI SPESSORI MEDIO - ELEVATI; POSSIBILE FORMAZIONE DI EFFIMERE FALDE IDRICHE AL PASSAGGIO CON LA PARTE SUPERIORE DEL SUBSTRATO, SUBSTRATO MARNOSO - ARGILLOSO DI CONSISTENZA E STRUTTURA VARIABILI, LOCALMENTE CON GIACITURA SFAVOREVOLE.

VULNERABILITÀ IDROGEOLOGICA DA MEDIA A BASSA O NULLA, CON GRADO DI PROTEZIONE IDROGEOLOGICA DELL'ACQUIFERO SUPERFICIALE DA MEDIO AD ELEVATO.

Stralcio carta di fattibilità geologica allegata al PGT in vigore

## 12.0 INDAGINI ESEGUITE

Per la definizione delle caratteristiche litologiche e geotecniche dei terreni interessati dalle opere in progetto, sono state eseguite le seguenti indagini:

- n° 3 prove penetrometriche statiche tipo CPT denominate CPT1 , CPT2, CPT3 che hanno raggiunto rispettivamente la profondità di 6.4, 6.2 e 7.0 m da p.c. attuale



Ubicazione indagini eseguite



**Prova penetrometrica statica CPT1**



**Prova penetrometrica statica CPT2**



**Prova penetrometrica statica CPT3**

### 13.0 STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI

La stratigrafia dell'area ed i parametri geotecnici dedotti dall'elaborazione delle prove penetrometriche eseguite in sito, da utilizzarsi per i calcoli di progetto sono riportati nella tabella seguente:

<b>Litologia</b>	<b>Profondità strato (m da p.c.)</b>	<b><math>\gamma</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b><math>\varphi'</math> (°)</b>	<b>Dr (%)</b>	<b>Cu (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>E (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ed (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
Argilla limosa	da 0.0 a 6.0	1800	/	/	1.3	/	60
Argilla sabbiosa	da 6.0	1900	/	/	4.6	/	360

dove:

$\gamma$  = peso di volume

$\varphi'$  = angolo d'attrito

Dr = densità relativa

Cu = coesione non drenata

E = modulo elastico

Ed = modulo edometrico

E' possibile la presenza di venute d'acqua a circa -6.0 m da p.c. attuale in corrispondenza del cambio di resistenza del terreno incontrato con le prove penetrometriche, corrispondente ad un livello argilloso sabbioso. Le acque potranno presentare carattere di lieve artesianità.

E' stato misurato un livello di acqua di risalita a circa 4.2 m da p.c attuale.

## 14.0 CONCLUSIONI

Alla luce di quanto sopra esposto si possono fare le seguenti considerazioni:

- Il progetto consiste in un piano di lottizzazione residenziale da realizzarsi in Viale della Resistenza snc in comune di Stradella (PV).
- Per la definizione delle litologie presenti in sito, i parametri geotecnici ed il tipo di suolo, sono state eseguite le seguenti indagini:
  - ✓ n° 3 prove penetrometriche statiche tipo CPT denominate CPT1 , CPT2, CPT3 che hanno raggiunto rispettivamente la profondità di 6.4, 6.2 e 7.0 m da p.c. attuale
  - ✓ n° 1 prova sismica tipo MASW da cui si è calcolato  $V_s = 306 \text{ m/s}$
- Il suolo di fondazione appartiene alla categoria C.
- La categoria topografica è la T2.
- il valore di Fa calcolato risulta essere **SUPERIORE** al valore di soglia comunale per **edifici bassi** quindi in fase progettuale si dovrà procedere all'analisi di 3° livello o in alternativa applicare lo spettro previsto dalla normativa per la categoria di sottosuolo superiore. In questo caso potrà essere utilizzato lo spettro di norma caratteristico della **categoria D** che presenta un valore di soglia del fattore di amplificazione maggiore di quello calcolato.  
Il valore di Fa calcolato risulta essere invece **INFERIORE** al valore di soglia comunale per **edifici alti**. In questo caso potrà essere utilizzato lo spettro di norma caratteristico della **categoria C**.
- E' possibile la presenza di venute d'acqua a circa -6.0 m da p.c. attuale in corrispondenza del cambio di resistenza del terreno incontrato con le prove penetrometriche, corrispondente ad un livello argilloso sabbioso. Le acque potranno presentare carattere di lieve artesianità. E' stato misurato un livello di acqua di risalita a circa 4.2 m da p.c attuale.
- Il Comune di Stradella (PV), secondo quanto previsto dalla **D.G.R. 11 luglio 2014, n. X/2129**: Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d) è classificato in **zona sismica 3**.

**Camorali Luca**  
**Geologo**  
**Viale Campari 83/b**  
**27100 Pavia (PV)**

**cod.fisc. CMR LCU 74T26 G388X**  
**partita IVA 01971640188**

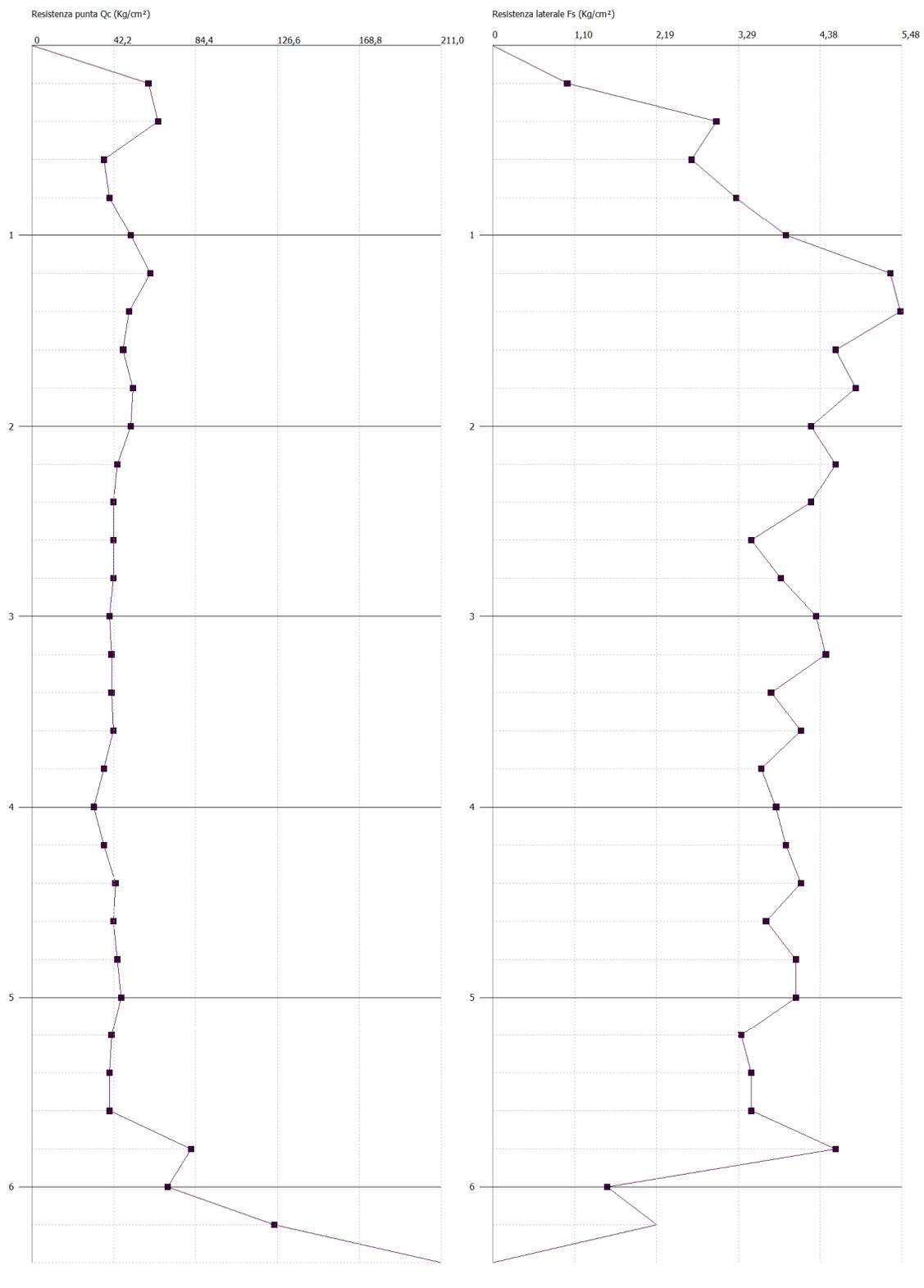
## **ALLEGATO 1**

Grafici prove penetrometriche

### Prova penetrometrica statica tipo CPT 1

Committente:  
Cantiere:  
Località:

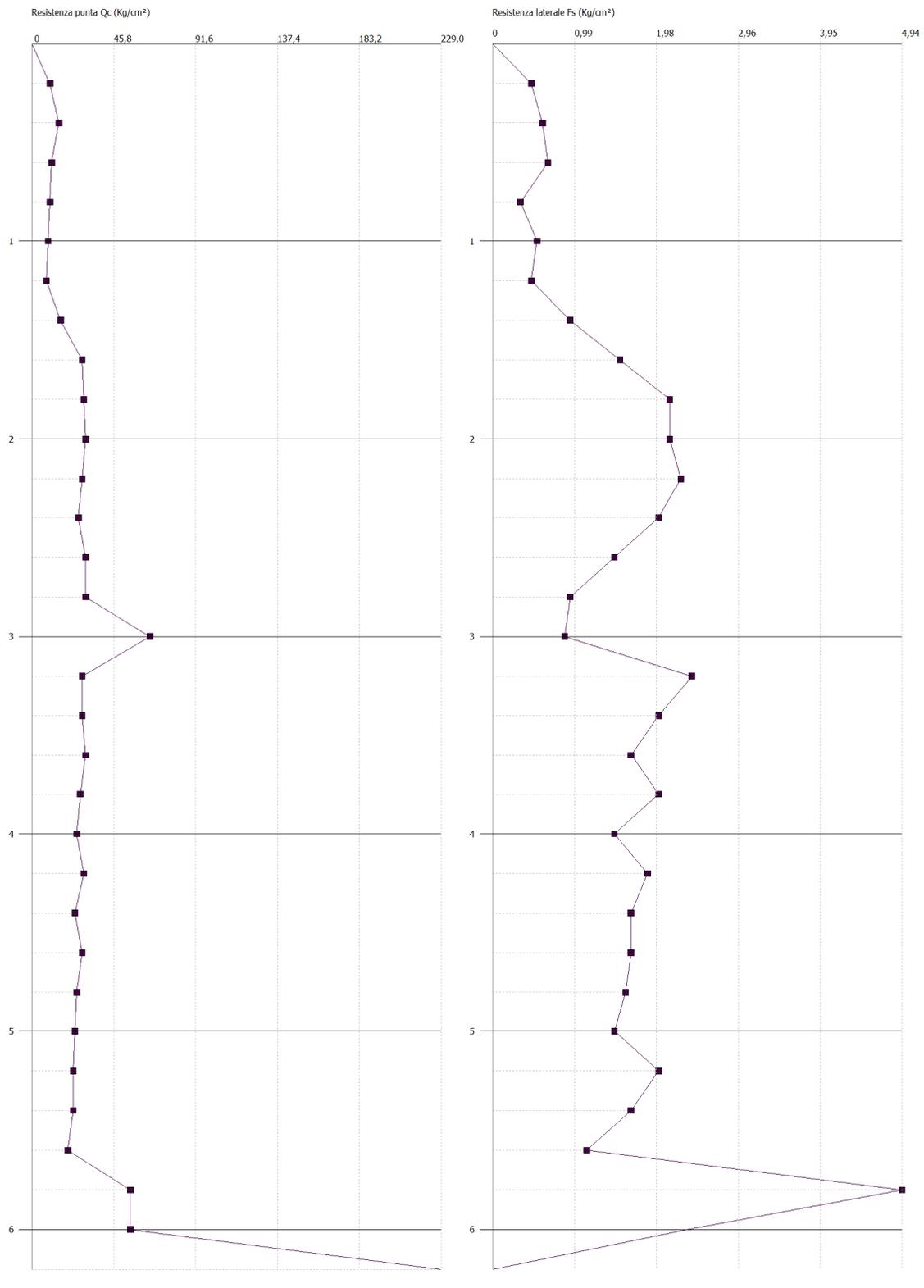
Data: 24/03/2022



### Prova penetrometrica statica tipo CPT 2

Committente:  
Cantiere:  
Località:

Data: 24/03/2022



### Prova penetrometrica statica tipo CPT 3

Committente:  
Cantiere:  
Località:

Data: 24/03/2022

