

Committente:

COSTRUZIONI ACQUA E TERRA
VIA G. OBERDAN, 1/A 25100 BRESCIA

Commessa:

Realizzazione di un'area commerciale Via IV Novembre
Palazzolo sull'Oglio (BS)

RELAZIONE GEOLOGICA SISMICA
(R1+R3) E GEOTECNICA R2

Rif: 72-2022

REDATTA DA: Dott. Stefano Fassini



A handwritten signature in black ink, appearing to read "Stefano Fassini".

APPROVATA DA:

Emissione del 17 settembre 2022

File.: Rel-geot. 72.22.doc

1. PREMESSA	
2.INQUADRAMENTO TERRITORIALE	5
2.1 Inquadramento catastale	7
2.2 Inquadramento urbanistico	8
3.INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO	9
3.1 Geomorfologia	9
3.2 Geologia	9
3.3 Idrogeologia	10
4. CARTOGRAFIA PAI - PGRA	11
5. FATTIBILITÀ GEOLOGICA	13
6. VINCOLISTICA	15
7. DESCRIZIONE DEI LUOGHI	16
8. COMPONENTE GEOTECNICA (R2)	18
9. INDAGINI GEOTECNICHE	18
9.1 Prove Penetrometriche dinamiche SCPT	26
9.2 Indagine geofisica MASW	32
9.2.1 Metodologia M.A.S.W.	32
9.2.2 Strumentazione	34
9.2.3 Risultati dell'Indagine	35
10. MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO	37
11. CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE	38
12. COMPONENTE GEOTECNICA DEL PROGETTO	39

12.1.Valutazione della portanza	39
12.2 Valutazione dei cedimenti	43
13. COMPONENTE SISMICA	44
14. ANALISI DEL RISCHIO SISMICO	44
14.1 Verifica liquefazione	45
14.2 Analisi sismica di primo livello	45
14.3 Analisi sismica di secondo livello	46
<i>14.3.1 Individuazione della scheda di valutazione</i>	47
<i>14.3.2 Calcolo del periodo proprio del sito</i>	49
<i>14.3.3 Calcolo del fattore di amplificazione</i>	51
<i>14.3.4 Confronto con i valori regionali</i>	51
15. CONCLUSIONI	52

1. PREMESSA

La presente relazione viene redatta su incarico della società COSTRUZIONI ACQUA E TERRA avente sede in Via G. Oberdan, 1/a 25100 Brescia ed è finalizzata alla valutazione delle caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche funzionali al progetto di realizzazione di un'area commerciale in Via IV Novembre Palazzolo sull'Oglio (BS).

Lo studio è stato condotto sulla scorta dei seguenti dati:

- Informazioni geologiche ed idrogeologiche di bibliografia;
- Indagini geologiche di tipo diretto (dati direttamente rilevati);

Per quanto concerne le indagini e i criteri progettuali si è fatto riferimento alle seguenti norme:

- Decreto Ministeriale 11.03.1988,
- OPCM 3274/03.
- D.M. 14.01.2008 Norme tecniche per le costruzioni
- DGR n. 2616/11

Nella presente relazione vengono riportati, suddivisi nelle varie sezioni, i seguenti documenti previsti dalla normativa vigente:

- Componente geologica, redatta ai sensi della DGR 2616/2011;
- Componente geotecnica, redatta ai sensi delle NTC 2008;
- Componente sismica.

2.INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area oggetto della presente relazione è ubicata nella zona nord ovest dell'abitato di Palazzolo sull'Oglio, in sponda destra del Fiume Oglio.

L'area è inserita in un contesto urbanistico a destinazione residenziale.

Coordinata X UTM 32 WGS	568217.90 m E
Coordinata Y UTM 32 WGS	5049877.31 m N
Quota m slm	181



Fig. 1 Ubicazione sito

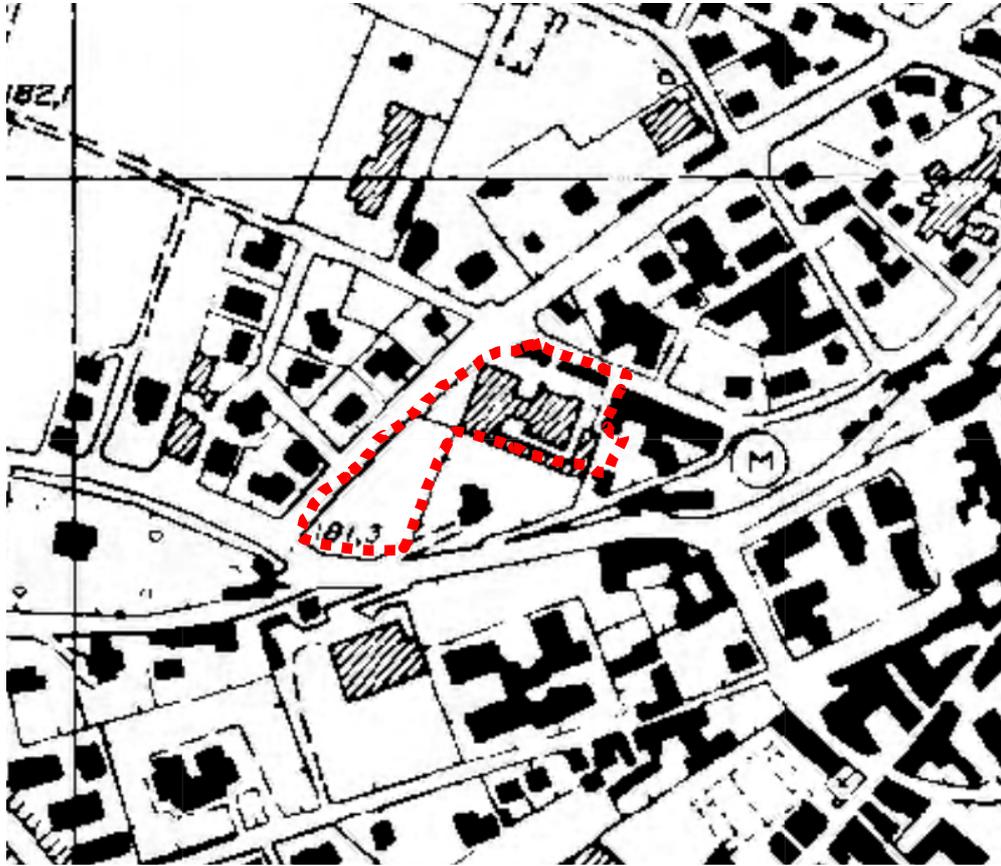


Fig. 2 Estratto CTR



Fig. 3 Ingresso al sito

2.1 Inquadramento catastale

Sotto il profilo catastale l'area è identificata al foglio 6 mappali 86 ed 88.

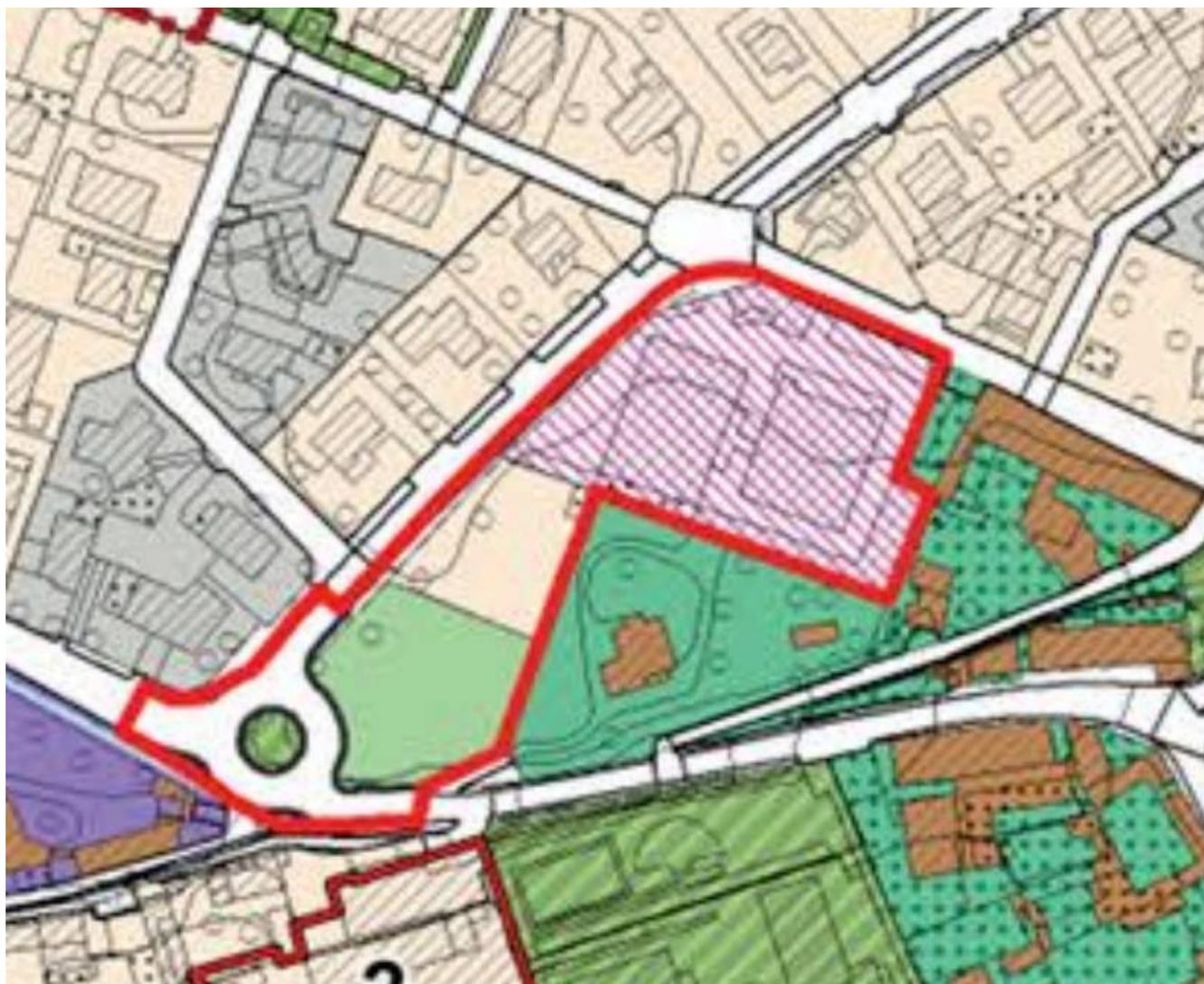


Fig. 4 Inquadramento catastale

2.2 Inquadramento urbanistico

Il sito in esame, utilizzato per attività produttiva, deve essere oggetto di riqualificazione.

Allo scopo è prevista la riconversione a commerciale.



CLASSE XI

Aree urbane consolidate caratterizzate da insediamenti produttivi (artigianali e industriali), incongrui con i tessuti circostanti, da destinare a riconversione e riqualificazione urbana

Fig. 5 Estratto PGT

3.INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

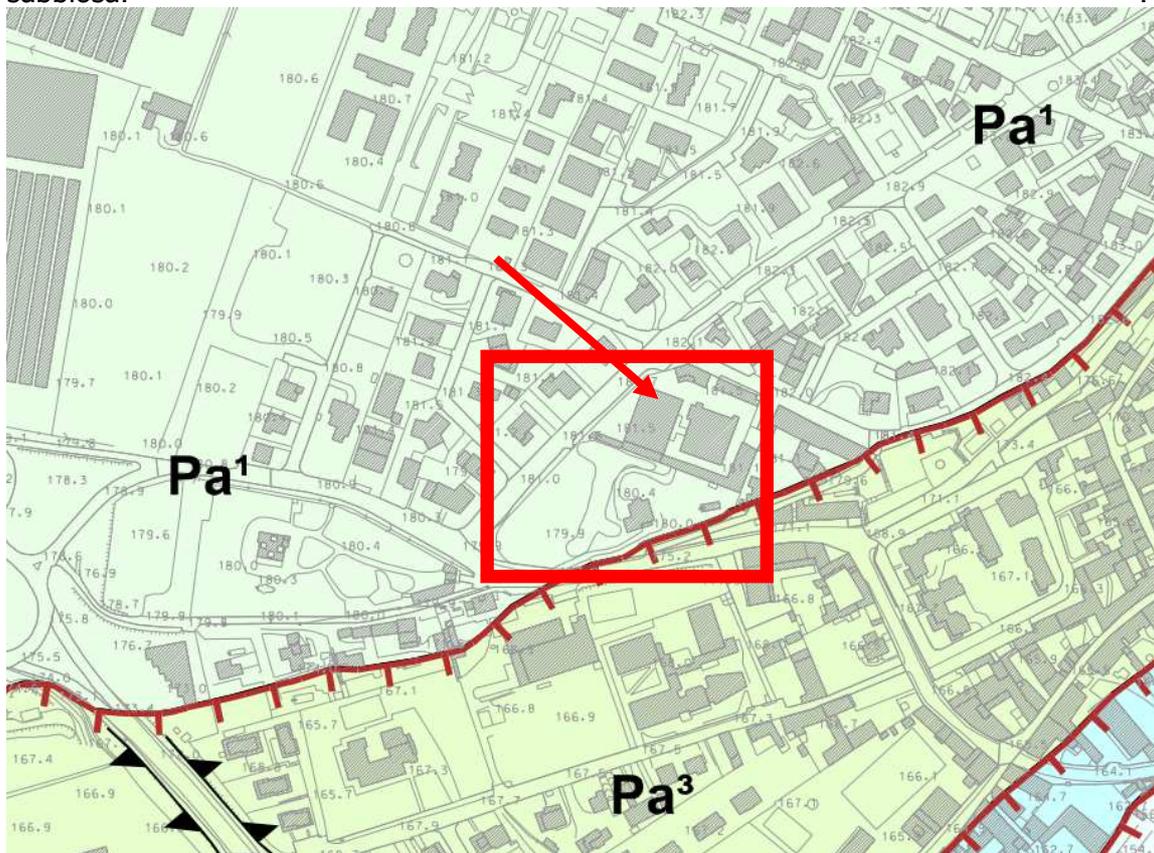
3.1 Geomorfologia

Le caratteristiche morfologiche e paesistiche del territorio di Palazzolo s/O sono strettamente legate all'azione delle acque correnti che hanno eroso, rimaneggiato e depositato i materiali. Il livello fondamentale della pianura è stato costruito dagli scaricatori fluvio-glaciali centro occidentali dell'apparato morenico sebino.

La morfologia della piana fluvio-glaciale è caratterizzata da un sistema di terrazzi che degradano verso la valle del F. Oglio e che si aprono a ventaglio verso sud. Le superfici dei terrazzi sono delimitate da scarpate d'erosione che quando presentano pendenza elevata risultano spesso boscate. Sono inoltre riconoscibili alcune aree allungate, leggermente ribassate, che corrispondono ad antichi percorsi di un "paleoOglio".

3.2 Geologia

L'area in esame risulta collocata in corrispondenza dell'Unità di Palazzolo (tardo Pleistocene superiore) ed interessa in parte il terrazzo superiore in parte quello intermedio. Si tratta di depositi di origine fluvio-glaciale, costituiti da ghiaie a matrice sabbiosa.



Pa ¹	Complesso di Palazzolo (tardo Pleistocene superiore) Depositi fluvio-glaciali costituiti da ghiaie a matrice sabbiosa con clottoli arrotondati e subarrotondati a diametro massimo osservato pari a 40 cm; presentano una grossolana stratificazione suborizzontale con strati e lenti sabbiosi; limi sommitali di esondazione.
Pa ²	Pa ¹ - Terrazzo superiore
Pa ³	Pa ² - Terrazzo intermedio Pa ³ - Terrazzo inferiore

Fig. 6 Carta Geologica

3.3 Idrogeologia

Sotto il profilo idrogeologico la falda risulta posta alla quota di 139 m slm con una soggiacenza di circa 40 m dal piano campagna.

La direzione di deflusso è WNW/ESE con un gradiente pari a 0.3%.

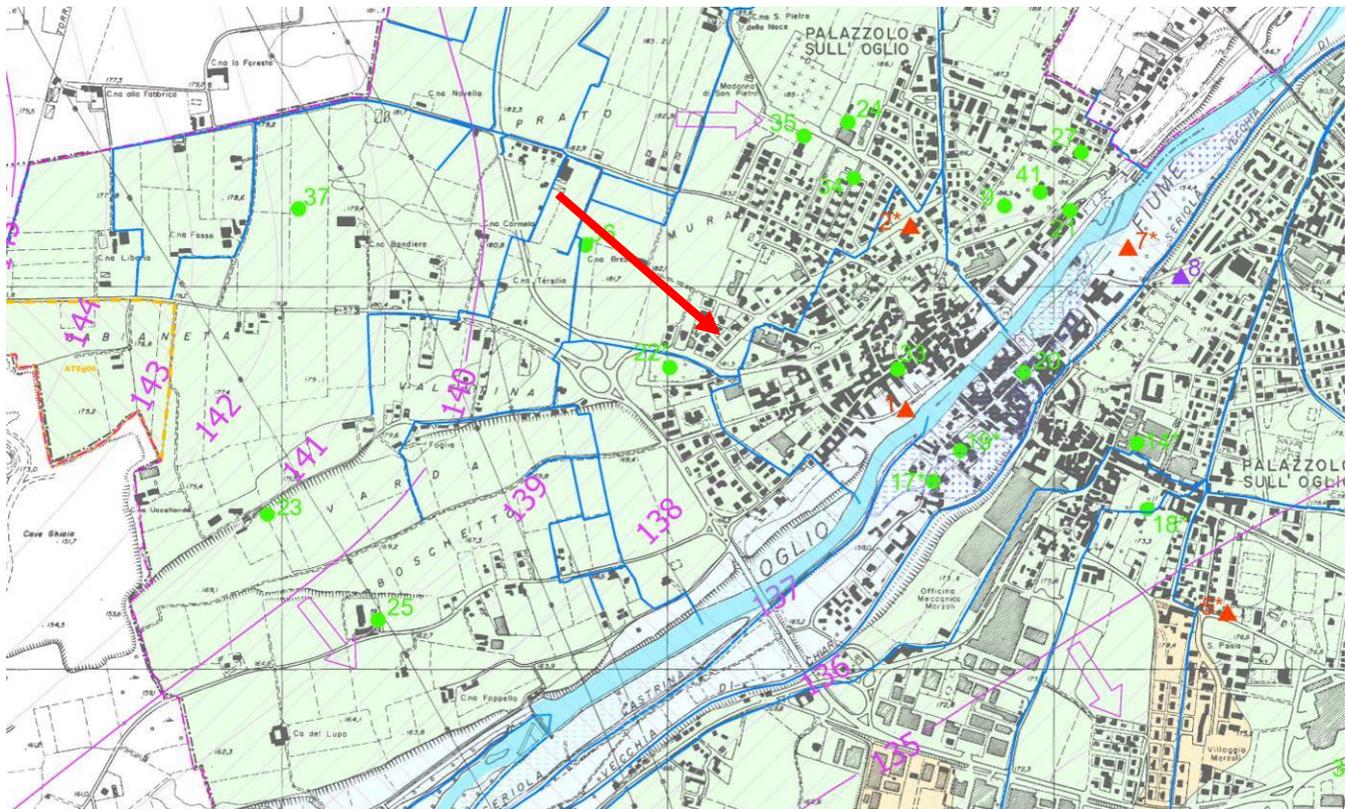
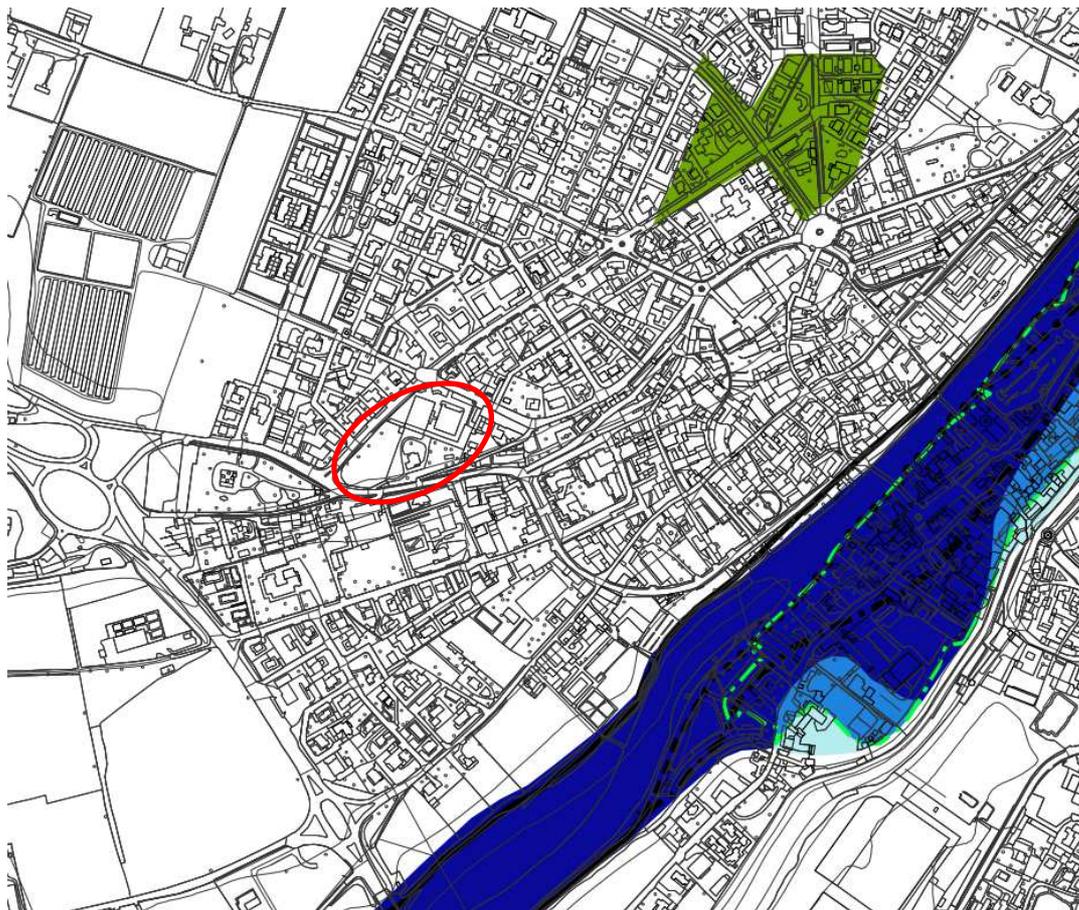


Fig. 7 Carta delle isopiezometriche

4. CARTOGRAFIA PAI - PGRA

L'area oggetto del presente studio non risulta interessata, nella cartografia comunale PAI – PGRA, da zone di criticità.

Le stesse sono collocate esternamente al sito.



Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)

AMBITO TERRITORIALE RETICOLO PRINCIPALE (RP)

-  Area P3/H - Area potenzialmente interessata da alluvioni frequenti
-  Area P2/M - Area potenzialmente interessata da alluvioni poco frequenti
-  Area P1/L - Area potenzialmente interessata da alluvioni rare

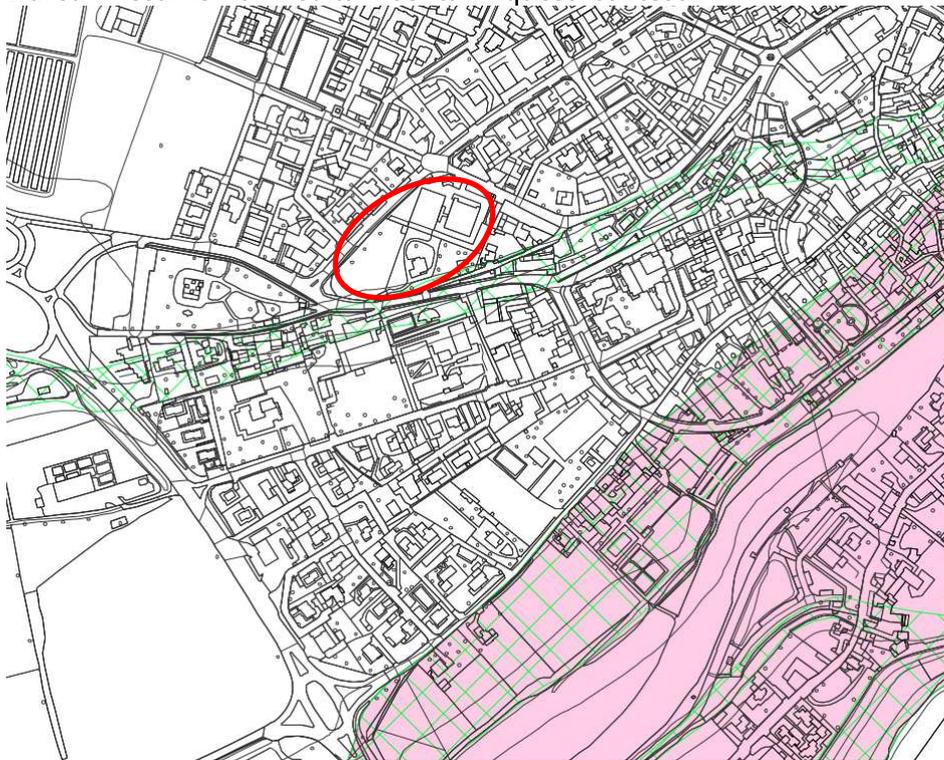
AMBITO TERRITORIALE RETICOLO SECONDARIO DI PIANURA (RSP)

-  Area P3/H - Area potenzialmente interessata da alluvioni frequenti
-  Area P2/M - Area potenzialmente interessata da alluvioni poco frequenti

Fig. 8 Estratto Carta dell'idrografia

Nella componente geologica del PGT sono inoltre evidenziate le aree poco o non adatte all'infiltrazione superficiale delle acque.

L'area in esame non risulta inserita in questi contesti.



AREE NON ADATTE ALL'INFILTRAZIONE DELLE ACQUE PLUVIALI NEL SUOLO E NEGLI STRATI SUPERFICIALI DEL SOTTOSUOLO



Scarpata acclive che delimita i principali terrazzi fluviali e fluvio-glaciali e aree adiacenti.

AREE POCO ADATTE ALL'INFILTRAZIONE DELLE ACQUE PLUVIALI NEL SUOLO E NEGLI STRATI SUPERFICIALI DEL SOTTOSUOLO



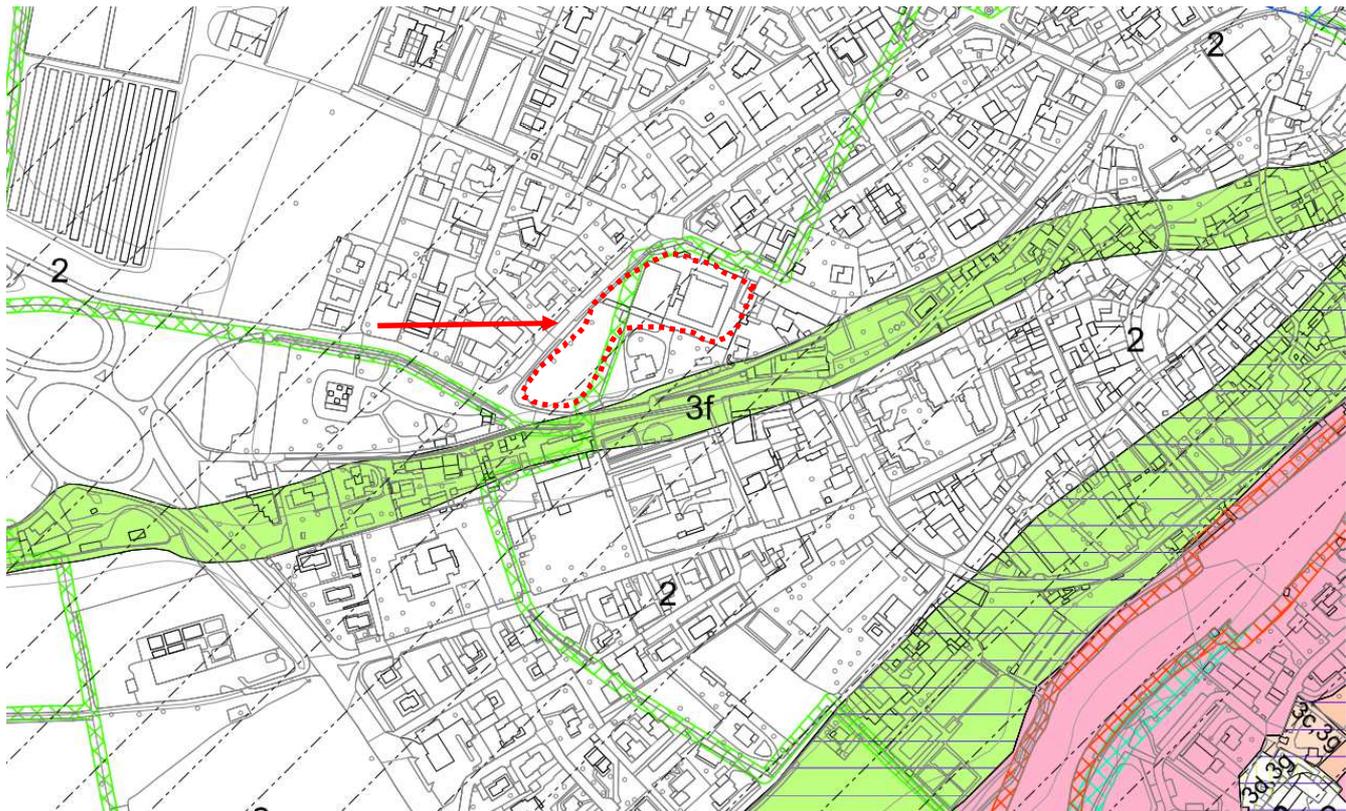
Grado di vulnerabilità delle acque sotterranee alto.

Fig. 9 Estratto Carta propensione all'infiltrazione superficiale

5. FATTIBILITÀ GEOLOGICA

Dallo studio della Componente Geologica e Idrogeologica del Piano di Governo del territorio comunale, redatto dallo Studio di Geologia Ambientale nel 2021, risulta che l'area in esame è collocata in classe 2 "Fattibilità con modeste limitazioni".

Una fascia, corrispondente al tracciato della roggia di pertinenza del Consorzio di bonifica della media pianura bergamasca, è interessata da vincolo di polizia idraulica.



CLASSE 2 - Fattibilità con modeste limitazioni

2 2 - Area pianeggiante nella quale le caratteristiche geotecniche dei terreni sono buone e la falda idrica non interferisce con il suolo ed il primo sottosuolo; il grado di vulnerabilità delle acque sotterranee è da mediamente alto a mediamente basso.

Vincoli di polizia idraulica

-  Fascia di rispetto dei corsi d'acqua di competenza regionale
-  Ambito di competenza del Consorzio di Bonifica "Sinistra Oglio"
-  Ambito di competenza del Consorzio di Bonifica "Media Pianura Bergamasca"

Fig. 10 Estratto dalla Carta di Fattibilità Geologica Comune di Palazzo sull'Oglio (BS)

Di seguito si riportano le norme tecniche previste per la classe di fattibilità 2.

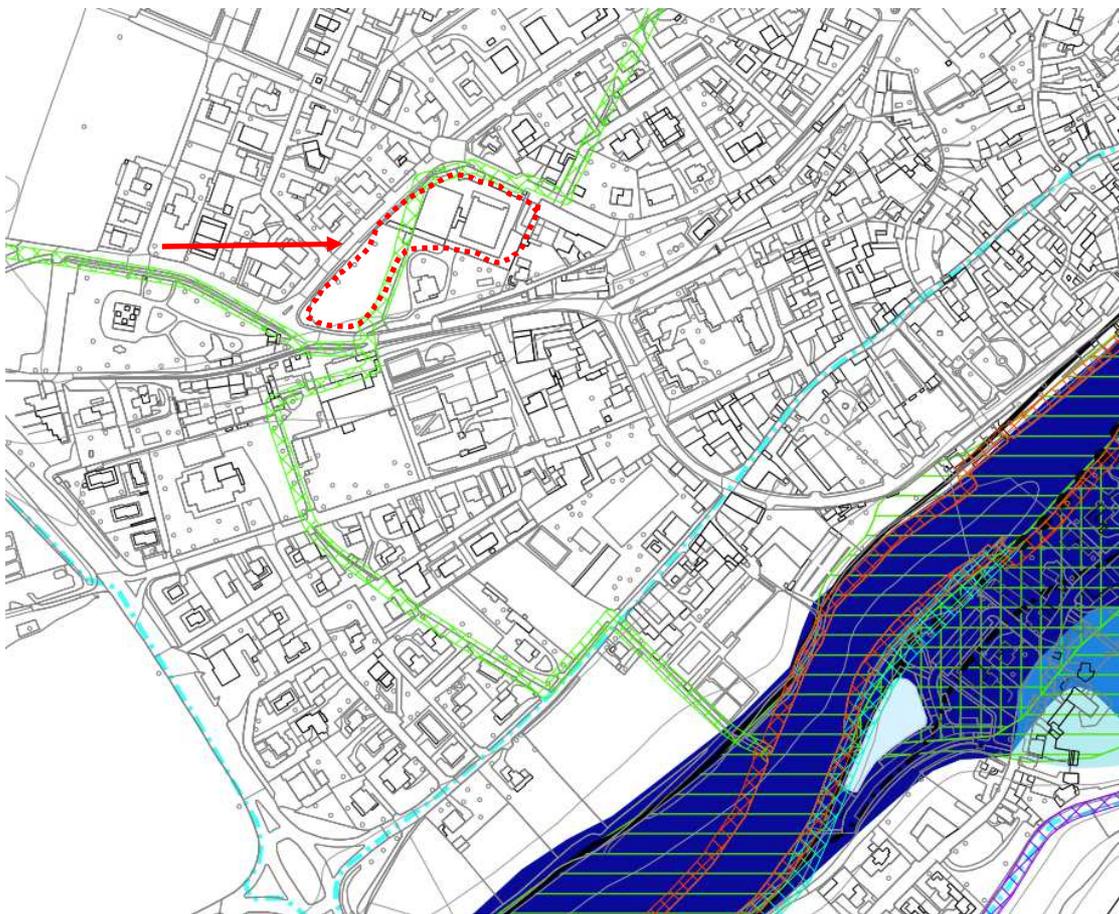
2 - Area pianeggiante nella quale le caratteristiche geotecniche dei terreni sono buone, e la falda idrica non interferisce con il suolo ed il primo sottosuolo; il grado di vulnerabilità delle acque sotterranee è da mediamente alto a mediamente basso.

Gli interventi eventualmente previsti sono subordinati ad un'indagine geologica e/o geotecnica che valuti la compatibilità dell'intervento stesso con le caratteristiche geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche del sito, verificando che non vengano alterati gli elementi geomorfologici che strutturano il paesaggio.

6. VINCOLISTICA

Sotto il profilo vincolistico, l'area in esame risulta interessata da vincolo di polizia idraulica per la roggia, appartenente al Consorzio di Bonifica della Media Pianura Bergamasca, che attraversa l'area in esame.

Lungo i corsi d'acqua e nelle relative fasce di competenza si applicano le norme dei relativi Consorzi di Bonifica, al quale dovranno essere rivolte le domande di concessione e di autorizzazione.



Ambito di competenza del Consorzio di Bonifica "Media Pianura Bergamasca"

Fig. 11 Estratto dalla Carta dei Vincoli

7. DESCRIZIONE DEI LUOGHI

L'area in esame risulta interessata, nella fascia a nord, dai fabbricati dell'attività precedentemente in essere, ora dismessa, e nella fascia sud da un'area verde. Il sito si estende su una superficie complessiva di circa 8300 m².



Fig. 12 Ubicazione sito

L'accesso all'area è posto sull'incrocio tra via IV Novembre e Via XXIV Maggio.

Lo stabile a lato dell'ingresso era adibito a palazzina uffici mentre il fabbricato di fronte all'accesso era utilizzato per le lavorazioni meccaniche dei bottoni. Lo stesso risulta strutturato su due livelli senza interrati.



Fig. 13 Palazzina uffici



Fig. 14 Fabbricato di produzione

Una superficie consistente afferente al sito in esame era adibita a verde privato. In progetto è prevista la demolizione delle strutture esistenti e la realizzazione di fabbricati da utilizzare per attività commerciali. In prima battuta si considera che nel progetto non verranno realizzati piani interrati. Le valutazioni vengono condotte considerando quindi fondazioni superficiali aventi posa entro il primo metro dal p.c..

8. COMPONENTE GEOTECNICA (R2)

9. INDAGINI GEOTECNICHE

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni sono state eseguite le seguenti indagini:

- n.5 prove SCPT
- n.1 stendimento Masw

In precedenza erano stati realizzati nello stesso sito n.6 sondaggi geognostici.



Fig. 15 Ubicazione indagini

I sondaggi sono stati eseguiti con sonda Atlas Coopco della società Geoprove srl di Treviolo (BG).



Fig. 16 Sonda geognostica Sondaggio inclinato S1

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva dei sondaggi eseguiti.

Identificativo	Profondità
S1	5 m inclinato 30°
S2	5 m
S3	3 m
S4	3 m inclinato 30°
S5	3 m
S6	3 m

Sotto il profilo stratigrafico è stata rilevata, al di sotto della soletta, la presenza di terreni ghiaioso ciottolosi.

A seguire vengono riportate le stratigrafie dei singoli sondaggi.

Sondaggio S1	
Ubicazione	Lato serbatoio interrato
Profondità	5 m inclinato 30°
Stratigrafia	0 – 0.2 m asfalto 0.2 - 2.0 m Ghiaia e sabbia con ciottoli in blanda matrice limosa 2.0 – 5.0 m Ghiaia e sabbia con ciottoli



Sondaggio S2	
Ubicazione	Lato serbatoio interrato
Profondità	5 m inclinato 10°
Stratigrafia	0 – 0.2 m asfalto 0.2 – 0.8 m Ghiaia e sabbia con ciottoli in matrice limosa 0.8 – 5.0 m Ghiaia e sabbia con ciottoli



Sondaggio S3	
Ubicazione	Magazzino
Profondità	3 m
Stratigrafia	0 – 0.2 m soletta 0.2 - 3.0 m Ghiaia e sabbia con ciottoli



Sondaggio S4	
Ubicazione	Pozzo perdente
Profondità	3 m
Stratigrafia	2.5 – 3.5 m Ghiaia e sabbia in abbondante matrice limosa 3.5 – 5.5 m Ghiaia e sabbia con ciottoli



Sondaggio S5	
Ubicazione	Locale lavorazioni termiche
Profondità	3 m inclinato 15°
Stratigrafia	0 - 0.2 asfalto 0.2 - 3 m Ghiaia e sabbia con ciottoli



Sondaggio S6	
Ubicazione	Locale lavorazioni termiche
Profondità	3 m
Stratigrafia	0 - 0.2 asfalto 0.2 - 0.6 m Limo con ghiaia 0.6 - 3 m Ghiaia e sabbia con ciottoli



9.1 Prove Penetrometriche dinamiche SCPT

Ubicazione delle prove

Le prove sono state ubicate in corrispondenza con distribuzione omogena nell'area di progetto .



Fig. 17 Prova penetrometrica SCPT

Modalità di esecuzione della prova

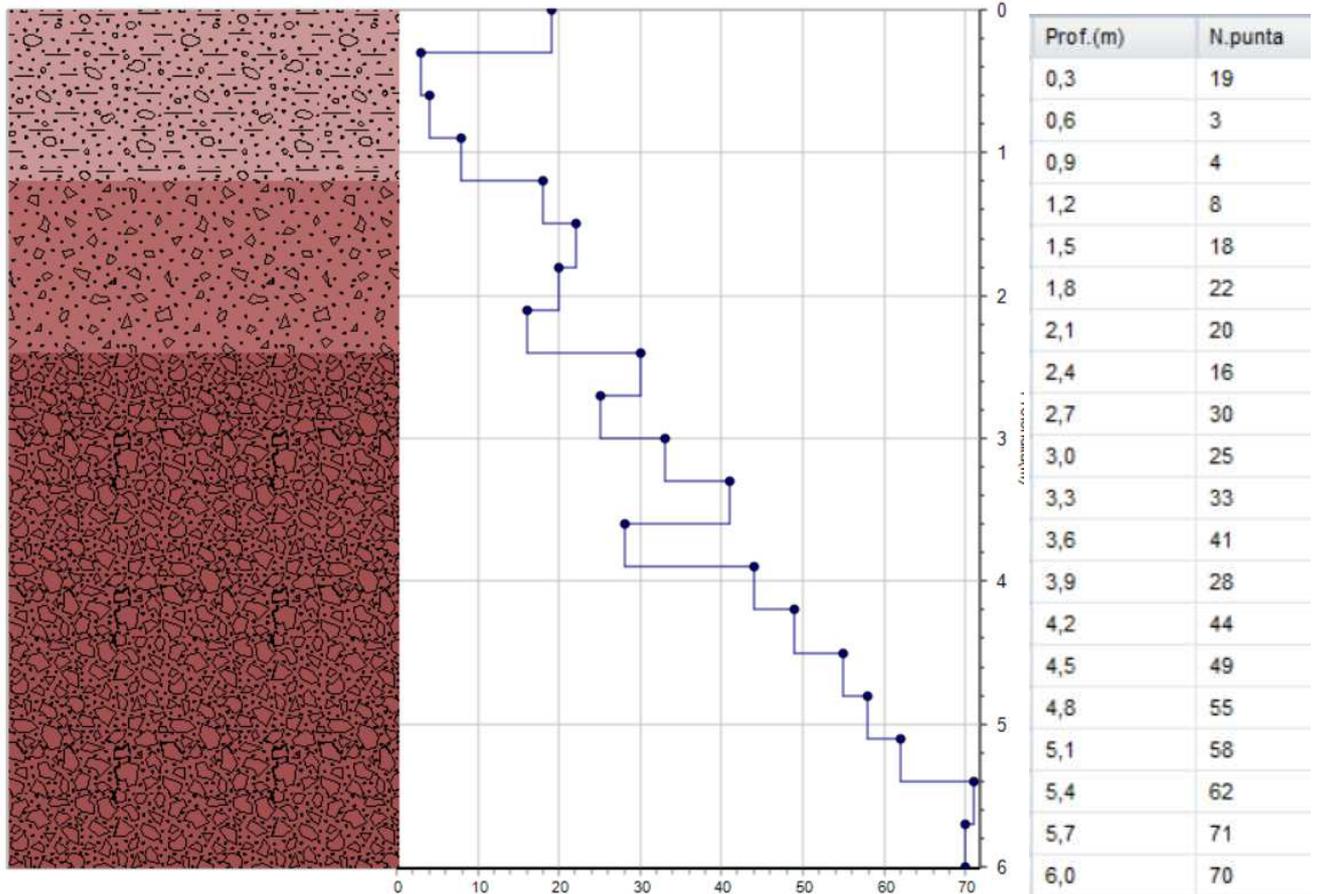
La prova consiste nell'infiggere un'asta, di dimensioni e geometria standard, nel terreno tramite battitura di un maglio (peso 73 kg) in caduta da un'altezza standard e contare il numero di colpi necessari per l'infissione di ogni trenta centimetri di asta. La prova viene considerata conclusa quando si superano i 50 colpi per arrivare al riferimento successivo (trenta cm). Questa situazione può essere ricondotta alla presenza di un livello di terreno ad elevata resistenza ma può anche essere imputabile alla presenza di un singolo ciottolo o blocco che impedisce l'avanzamento.

Interpretazione delle prove

I diagrammi delle prove eseguite indicano la presenza di terreni aventi buona uniformità e caratterizzati da buone caratteristiche geotecniche.

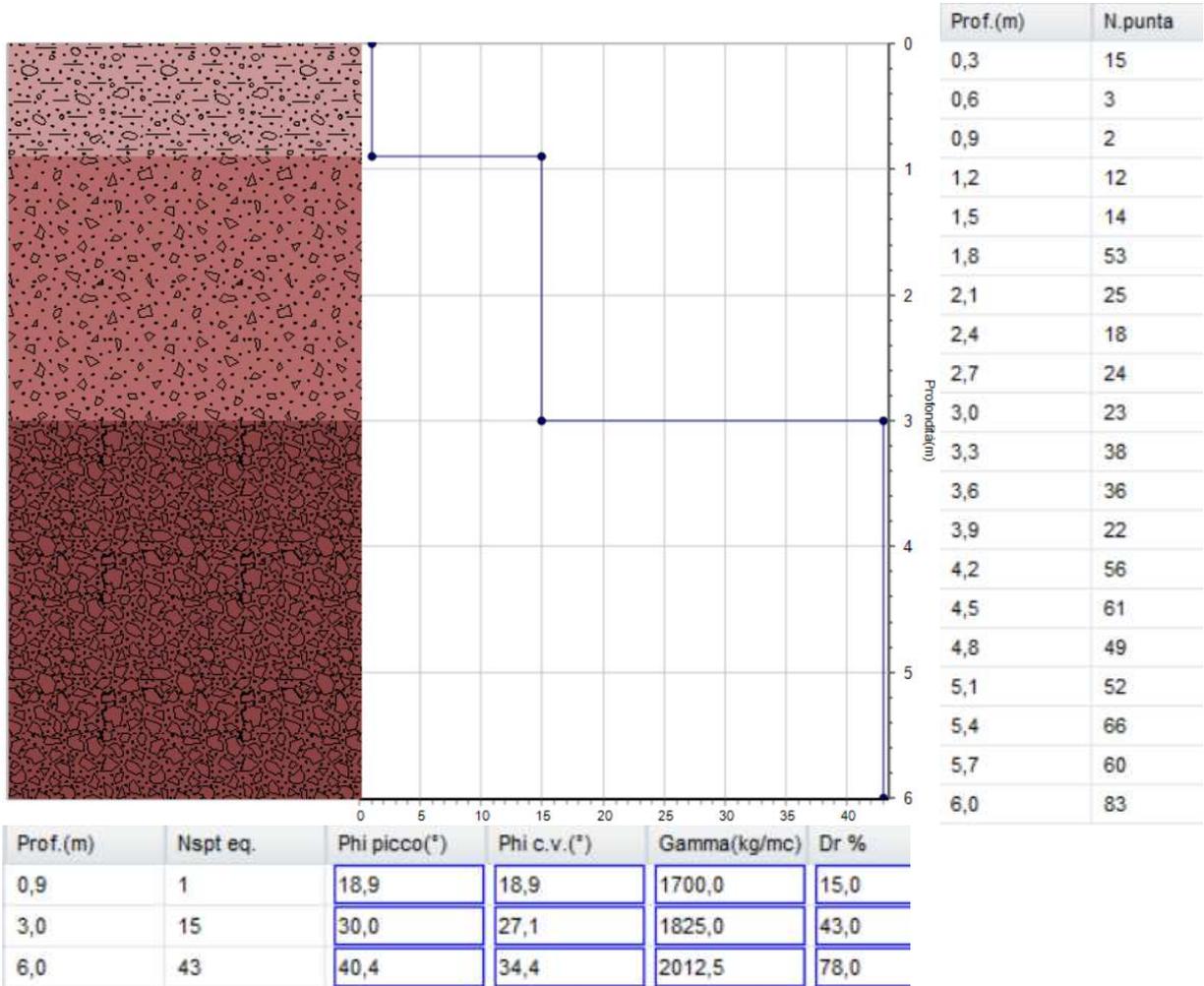
La prova SCPT3, realizzata nell'area verde, evidenzia basso grado di addensamento fino a 3,9 m dal p.c..

Prova SCPT 1

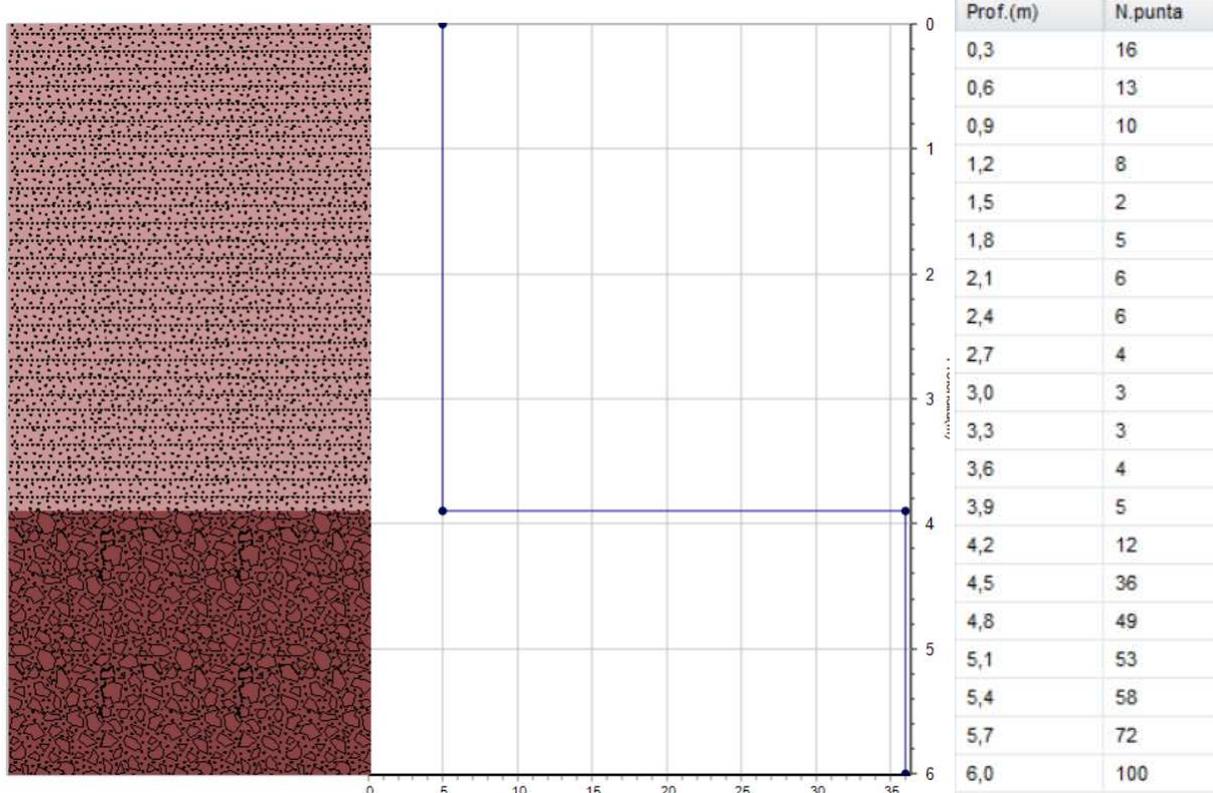


Prof. (m)	Nspt eq.	Phi picco(°)	Phi c.v.(°)	Gamma(kg/mc)	Dr %
1,2	2	20,5	20,5	1700,0	15,0
2,4	17	31,0	27,5	1835,0	46,0
6,0	39	39,2	33,5	1962,5	74,0

Prova SCPT 2

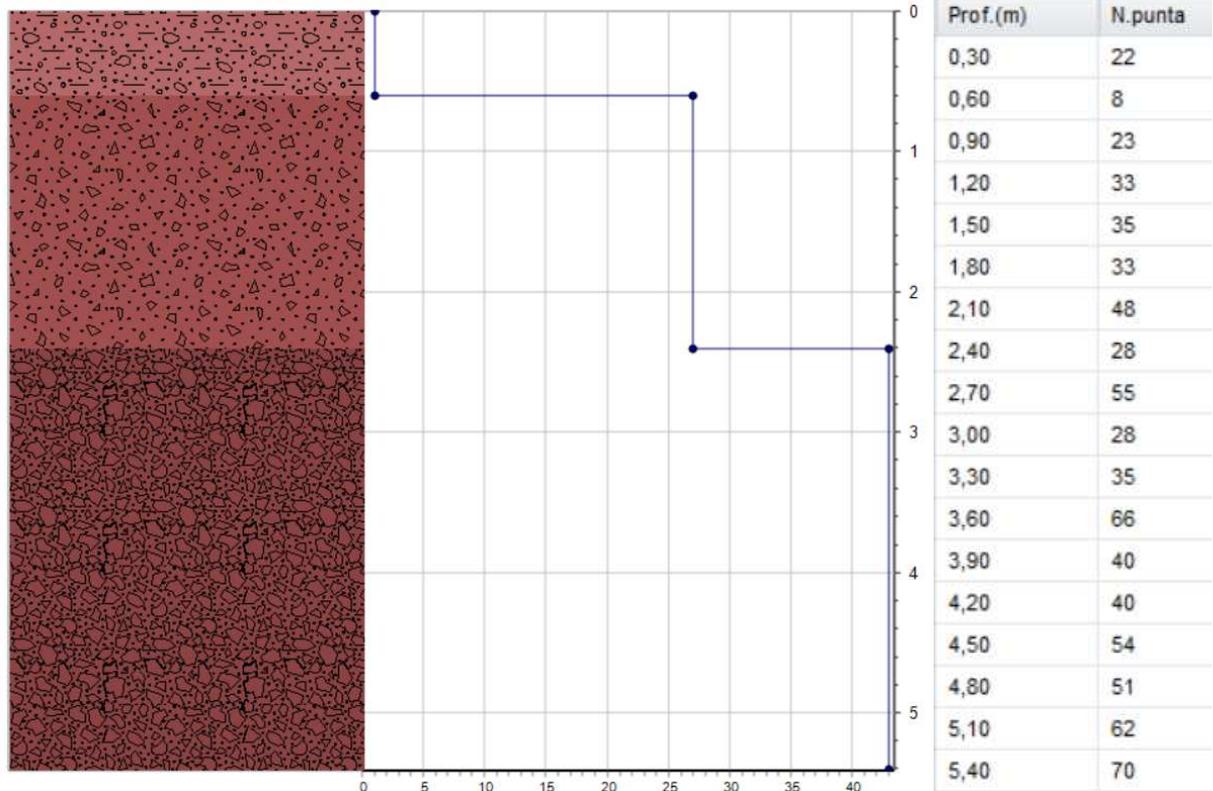


Prova SCPT3



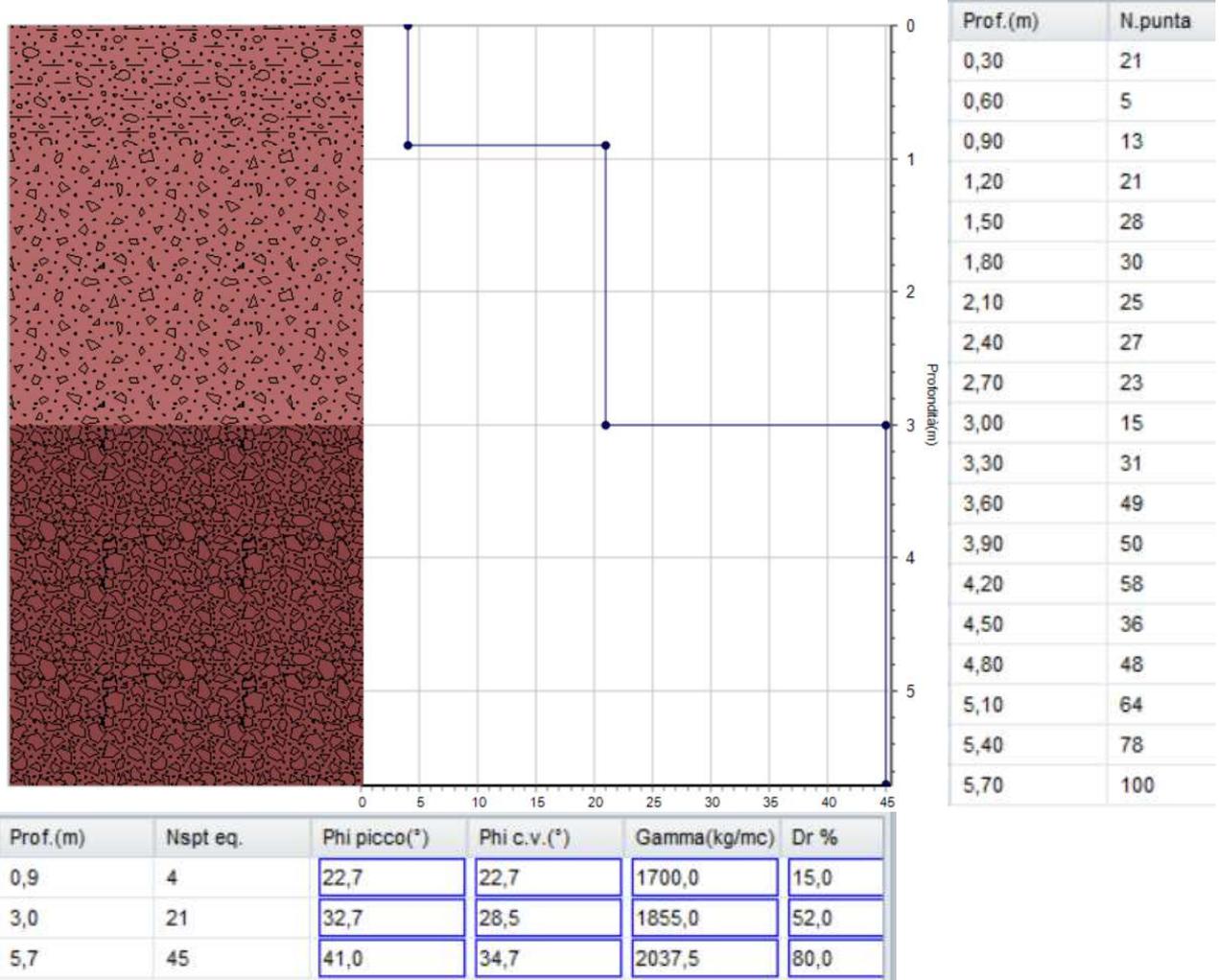
Prof. (m)	Nspt eq.	Phi picco(°)	Phi c.v.(°)	Gamma(kg/mc)	Dr %
3,9	5	23,7	23,7	1633,33	18,0
6,0	36	38,2	33,1	1825,0	71,0

Prova SCPT4



Prof.(m)	Nspt eq.	Phi picco(°)	Phi c.v.(°)	Gamma(kg/mc)	Dr %
0,6	1	18,9	18,9	1700,0	15,0
2,4	27	35,1	29,2	1885,0	61,0
5,4	43	40,4	34,1	2012,5	78,0

Prova SCPT5



9.2 Indagine geofisica MASW

Come previsto dalle NTC 2018, per la verifica della categoria del suolo di fondazione, è stato eseguito uno stendimento MASW.

Lo stesso è stato ubicato lungo la fascia nord dell'area.



Fig. 18 Stendimento Masw

9.2.1 Metodologia M.A.S.W.

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_s), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intero processo comprende tre passi successivi: l'acquisizione delle onde superficiali (ground roll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s .

Per ottenere un profilo V_s bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarli minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

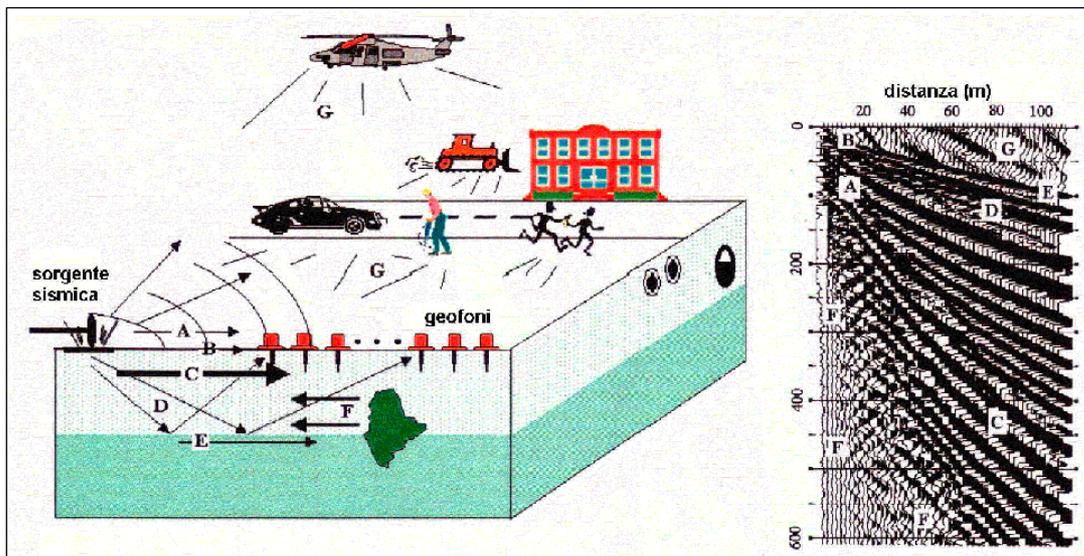
L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

Dei valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale V_s dalla curva di dispersione e vengono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali.

Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente. La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a riflessione (CMP). Però alcune regole operative per MASW sono incompatibili con l'ottimizzazione della riflessione. Questa similitudine permette di ottenere, con la procedura MASW, delle sezioni superficiali di velocità che possono essere utilizzate per accurate correzioni statiche dei profili a riflessione. MASW può essere efficace con anche solo dodici canali di registrazione, meglio a ventiquattro canali, collegati a geofoni singoli a bassa frequenza (<10Hz).

L'illustrazione di seguito riportata mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie.

Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (V_s) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.



- | | |
|-----------------------|----------------------|
| A: onde in aria | E: onde rifratte |
| B: onde dirette | F: onde riverberate |
| C: onde di superficie | G: rumore ambientale |
| D: onde riflesse | |

9.2.2 Strumentazione

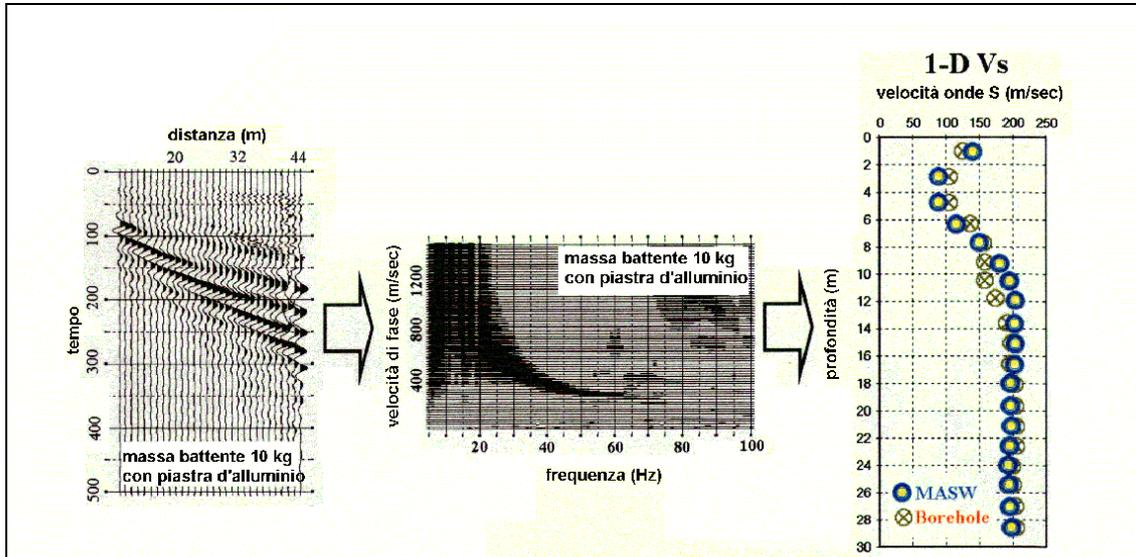
La strumentazione utilizzata è costituita da :

- Un sismografo Pasi 16SG 24 canali;
- 12 geofoni a 4.5 Hz;
- Una mazza da 8 Kg

Il principale vantaggio di un metodo di registrazione multicanale è la capacità di riconoscimento dei diversi comportamenti, che consente di identificare ed estrarre il segnale utile dall'insieme di varie e differenti tipi di onde sismiche. Quando un impatto è applicato sulla superficie del terreno tutte queste onde vengono simultaneamente generate con differenti proprietà di attenuazione, velocità e contenuti spettrali. Queste proprietà sono individualmente identificabili in una registrazione multicanale e lo stadio successivo del processo fornisce grande versatilità nell'estrazione delle informazioni utili.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

- acquisizione dei dati di campo;
- estrazione della curva di dispersione;
- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs (profilo 1-D) che descrive la variazione di Vs con la profondità



Nel caso specifico i geofoni sono stati ubicati con spaziatura di 2 m mentre l'energizzazione (con mazza battente) è stata ubicata a 4 metri dal primo geofono.

9.2.3 Risultati dell'Indagine

Di seguito si riporta il report riassuntivo dei risultati dell' indagine geosismica M.A.S.W. Lo stesso mostra la curva di dispersione, lo spettro f-k, il sismogramma ed il profilo delle velocità delle onde vs₃₀ il cui valore è stato calcolato utilizzando la formula

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

Dove h_i e v_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (m/s) dello strato i – esimo, per un totale di n strati presenti nei 30 m sottostanti le fondazioni dell'edificio in progetto, in questo caso da una quota di circa -1.0 m metri dall'attuale p.c.

L'interpretazione è quindi stata effettuata considerando l'intervallo da -1 m a -31 m dal piano campagna.

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva della prova Masw .

Interpretazione Prove MASW		
<i>id</i>	<i>Profondità m dal p.c.</i>	<i>V onde s (m/s)</i>
1	5,5	464,0
2	8,9	461,0
3	10,5	499,0
4	31,0	529,0

Gli esiti della prova evidenziano valori di Vs riconducibili alla categoria B del suolo di fondazione (Vs= 508 m/s).

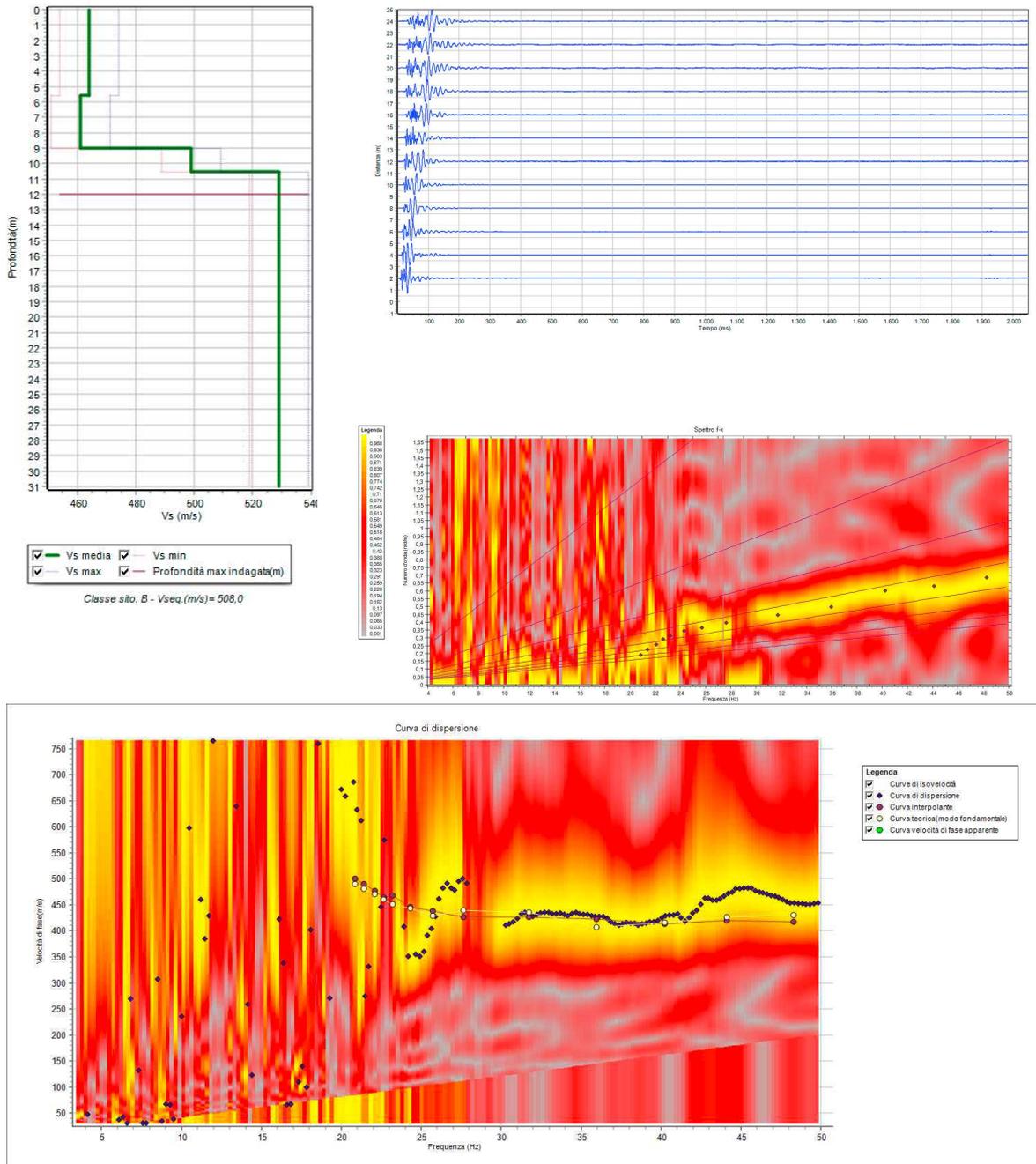


Fig. 19 Esiti stendimento Masw

10. MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

La prove effettuate evidenziano la presenza di terreni aventi buone caratteristiche geotecniche.

Complessivamente si rilevano n.3 unità:

1. Ghiaie e sabbie sottofondo
2. Ghiaie e sabbie
3. Ghiaie e sabbie con ciottoli

Tabella riassuntiva dei parametri caratteristici fisici e meccanici delle unità individuate			
	Unità 1	Unità 2	Unità 3
Unità litologiche	Ghiaie e sabbie di sottofondo	Ghiaie e sabbie	Ghiaie e sabbie con ciottoli
Profondità	Da 0.0 a 1 m	Da 1 a 3.0 m	Oltre 3.0 m
Peso di volume naturale (γ_n)	1.8 / 1.9 g/cm ³	1.8 / 1.9 g/cm ³	1.8 / 1.9 g/cm ³
Angolo di resistenza al taglio (ϕ)	22 (°)	32 (°)	37 (°)
Coesione (c_u) kg/cm ²	0	0	0
Densità relativa D_r (%)	30	65	70

*riferita al piano strada superiore

- **Peso di Volume naturale:** è stata utilizzata la correlazione di Mayerhof confrontata con i valori proposti in letteratura per i terreni di analoga natura stratigrafica e origine.
- **Densità relativa (D_r):** per la stima della Densità Relativa è stata utilizzata la correlazione fornita da Gibbs e Holtz, ottenuto mediante la relazione tra la resistenza alla penetrazione e la pressione verticale efficace.
- **Angolo di attrito (Φ):** i dati sono stati elaborati utilizzando il metodo Road Bridge Specification $\phi = \sqrt{15 \text{ NSPT}} + 15$

11. CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE

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

In assenza di specifiche analisi si può fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento, identificate sulla scorta dei dati della velocità media delle onde sismiche di taglio VS ovvero sul numero medio di colpi NSPT ottenuti delle prove penetrometriche dinamiche

CATEGORIE DEL SUOLO DI FONDAZIONE	
A	A - <i>Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi</i> caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.
B	B - <i>Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti</i> , con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica media NSPT > 50, o coesione non drenata media $c_u > 250$ kPa).
C	C - <i>Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza</i> , con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di Vs30 compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < NSPT < 50$, $70 < c_u < 250$ kPa).
D	D - <i>Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti</i> , caratterizzati da valori di Vs30 < 180 m/s ($NSPT < 15$, $c_u < 70$ kPa).
E	E - <i>Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali</i> , con valori di Vs30 simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con Vs30 > 800 m/s.

CATEGORIE AGGIUNTIVE DI SOTTOSUOLO	
A	S1 - Terreni che includono uno strato di almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ($PI > 40$) e contenuto di acqua, con $10 < c_u < 20$ kPa e caratterizzati da valori di Vs30 < 100 m/s.
B	S2 - Terreni soggetti a liquefazione, argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

Per la valutazione della categoria del suolo di fondazione è stata eseguita una MASW da cui emerge che il suolo di fondazione rientra nella categoria B.

.

12. COMPONENTE GEOTECNICA DEL PROGETTO

L'area in esame non risulta interessata da processi di dinamica geomorfologica e non presenta evidenze di dissesto.

Una roggia, appartenente al Consorzio di bonifica della media pianura bergamasca, scorre all'interno dell'area di proprietà. Il sedime e le relative fasce di rispetto, sono soggette al vincolo di polizia idraulica cui è necessario attenersi nell' sviluppo edilizio del progetto.

Il progetto prevede la realizzazione di una struttura commerciale da adibire a supermercato. La quota di imposta delle fondazioni è prevista a circa -1.0 m dal p.c..

Nell'area in esame il sottosuolo è composto da depositi fluvioglaciali aventi buone qualità geotecniche.

Si segnala tuttavia che la prova condotta nell'area verde ha evidenziato andamenti diversi, con terreni aventi scadenti qualità geotecniche fino a circa 3.9 m dal p.c..

Dalle informazioni disponibili risulta che quella zona sarà adibita a parcheggio, senza pertanto strutture. In caso differente si ritiene opportuno predisporre un approfondimento per meglio definire le condizioni locali.

La falda è posta a profondità tali da non interagire con le opere di fondazioni.

Le attività di movimento terra dovranno essere condotte in conformità dal DPR 120/2017.

Le verifiche della portanza dei terreni sono state condotte in condizioni statiche e dinamiche considerando gli stato limite come previsto nella NTC 2018.

12.1.Valutazione della portanza

Il calcolo è stato sviluppato utilizzando l'Approccio 2 (A1+M1+R3), dove A1+M1+R3 sono coefficienti parziali, i primi due pari all'unità l'ultimo, da applicare alle resistenze , pari a 2.3.

La valutazione degli stati limite è stata condotta in condizioni statiche e dinamiche.

Per la predisposizione completa sarebbe necessario acquisire i dati relativi ai carichi agenti sulle fondazioni.

In questa fase, non disponendo dei dati strutturali, si è fatto riferimento ad un carico di progetto di 1.5 kg/cm^2 .

Si resta a disposizione del progettista per eventuali ulteriori approfondimenti ritenuti necessari alla luce del completamento del quadro di riferimento dei carichi agenti sulle opere di fondazione.

Il calcolo viene eseguito in condizioni a breve termine, considerando (nelle condizioni statiche) il carico assiale e il momento agente sulla base d'appoggio nullo. Il Peso di volume del terreno è stato valutato pari a $\gamma = 1800 \text{ g/cm}^3$ con una profondità d'immorsamento pari a 0.3 m.

La verifica viene condotta sulle seguenti tipologie di fondazione:

- Nastriforme da 0.8 a 1.2 m

Si considera che l'edificazione interesserà la fascia nord ora sede dei fabbricati produttivi.

MODELLO GEOTECNICO



Fig. 20 Modello geotecnico del sottosuolo

Come modello di calcolo è stata utilizzata la formula di Brich Hansen modificato:

$$Q_{lim} = c \times N_c \times s_c \times d_c \times i_c \times b_c \times g_c + s_q \times \gamma_1 \times D \times N_q \times d_q \times i_q \times b_q \times g_q + 0.5 \times \gamma_2 \times B \times N_y \times s_y \times d_y \times i_y \times b_y \times g_y \text{ (per } \Phi > 0)$$

Q_{lim} = carico limite, espresso in Kg/cm²;

c = coesione del terreno di fondazione, espressa in Kg/cm²;

D = distanza minima tra il piano di fondazione e la superficie delle pavimentazioni oppure del giardino, espressa in cm;

γ = peso di volume del terreno, espresso in g/cm³ ;

B = larghezza della fondazione, espressa in cm;

N_c, N_q, N_γ = fattori di capacità portante calcolati in funzione dell'angolo di resistenza al taglio del terreno.

s_c,s_q,s_γ=fattori di forma,

d_c,d_q,d_γ=fattori correttivi per l'approfondimento,

i_c,i_q,i_γ=fattori correttivi per carichi inclinati,

b_c,b_q,b_γ=fattori correttivi per l'inclinazione della base della fondazione,

Di seguito si riportano i valori di portanza per le fondazioni considerando una dimensione variabile da 0,8 a 1,2 m.

FONDAZIONE NASTRIFORME STATICA (SLU)	
L= 0,8 m	1,45 kg/cm ²
L= 1.0 m	1,68 kg/cm ²
L= 1.2 m	1,88 kg/cm ²

Per la verifica in condizioni dinamiche sono stati utilizzati i dati di pericolosità sismica locale desunti con il software ACCA.

EdiLus-MS è il software ACCA per individuare la pericolosità sismica di tutte le località italiane direttamente dalla mappa. Scrivi l'indirizzo e/o sposta il segnalino sul sito che ti interessa e otterrai dinamicamente tutti i parametri di pericolosità sismica.

ad es. "Contrada Rosole, 13 BAGNOLI IRPINO"



45.59931984, 9.87396768

Latitudine (WGS84) 45.59876615	Longitudine (WGS84) 9.87491695	Accelerazione sismica orizzontale	0.172 g
Latitudine (ED50) 45.600544	Longitudine (ED50) 9.876017	Categoria topografica	T1
Altitudine (mt) 187		Categoria di suolo	B
Classe dell'edificio II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti		Fattore di amplificazione spettrale	2.487
Vita Nominale Struttura 50		Periodo di inizio Velocità costante Tc (s)*	0.280
Parametri di pericolosità Sismica			
Stato Limite	T_r [anni]	a_g/g [-]	F_o [-]
			T*_c [s]
Operatività	30	0.037	2.424
Danno	50	0.049	2.375
Salvaguardia Vita	475	0.134	2.446
Prevenzione Collasso	975	0.172	2.487

La valutazione degli effetti cinematici sulla fondazione è stata condotta utilizzando la formula di Paolucci e Pecker con l'introduzione del k_{hk} , coefficiente sismico orizzontale riferito al piano di posa delle fondazioni.

Di seguito si riporta lo spettro relativo all'area in esame

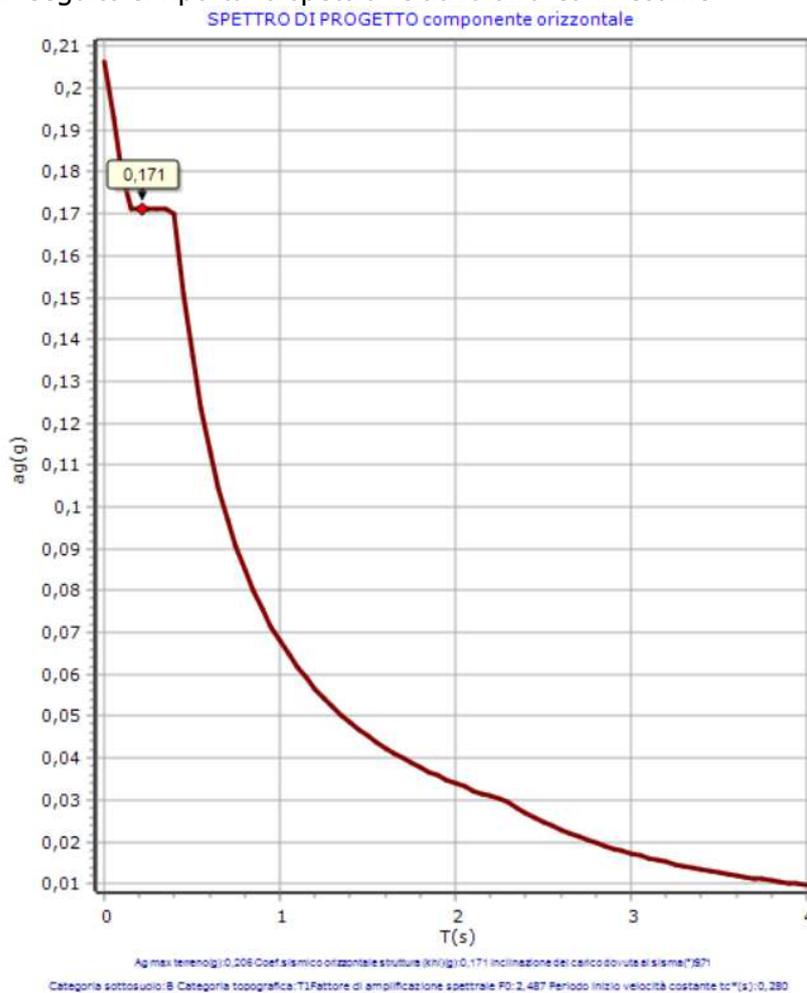


Fig. 21 Spettro area in esame

k_{hk}	0,05
Inclinazione del carico dovuto al sisma	9,7°

FONDAZIONE NASTRIFORME SISMICA (SLV)	
L= 0,8 m	0,9 kg/cm ²
L= 1.0 m	1,01 kg/cm ²
L= 1.2 m	1,13 kg/cm ²

12.2 Valutazione dei cedimenti

La valutazione dei cedimenti indotti dai carichi applicati è stata eseguita METODO DI Schmertmann (1970), basato sui risultati di prove penetrometriche dinamiche SPT.

$$Stot = C1 \times C2 \times Q \times DH \times \text{sommatoria}(Iz/E);$$

in cui:

Q=carico netto applicato sulla fondazione;

C1=fattore correttivo per tener conto dell'approfondimento della fondazione: (99)

$C1 = 1 - 0.5 \times (P/Q)$; dove P=Pressione efficace al piano di posa della fondazione;

C2=fattore correttivo per tener conto del cedimento secondario: (100) $C2 = 1 + 0.21 \times \text{Log} (T/0.1)$; dove: T=tempo di calcolo del cedimento in anni;

DH=spessore dello strato;

E= modulo di deformazione dello strato; i valori di E consigliati da Schmertmann sono i seguenti (101):

$E=2 \times Rp$ (sabbie fini e limo);

$E=3.5 \times Rp$ (sabbie medie);

$E=5 \times Rp$ (sabbia grossolana);

$E=6 \times Rp$ (sabbia e ghiaia); con Rp =resistenza alla punta media dello strato;

Iz = fattore d'influenza per tener conto della diffusione del carico netto applicato sulla fondazione nel terreno; ha una distribuzione di tipo triangolare che dipende dalla geometria della fondazione: fondazioni quadrate: $Iz=0.1$ per $z=0$ - $Iz=0.5$ per $z=B/2$ - $Iz=0$ per $z=2 \times B$;

<i>Cedimento fondazioni zona sud</i>		
Tipologie di fondazione	cedimento 50 anni complessivo (mm)	carico Kg/cm ²
L= 0,8 m	3,2	1,5
L= 1.0 m	3,7	1,5
L= 1.2 m	16,6	1,5

I cedimenti indotti dal carico ipotizzato risultano compatibili con l'opera in progetto.

13. COMPONENTE SISMICA

14. ANALISI DEL RISCHIO SISMICO

Le particolari condizioni geologiche e geomorfologiche di un'area possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base producendo effetti diversi da considerare nella valutazione generale.

Le caratteristiche della zona possono in sostanza generare due tipologie di effetti

- Amplificazione sismica locale: riguardano le modifiche di ampiezza, durata, e frequenza di un evento sismico durante l'attraversamento delle onde sismiche degli strati di terreno sovrastanti il substrato. Tali amplificazioni possono essere legate alla topografia della zona, morfologie articolate ed irregolari, ed alle caratteristiche litologiche del sito, morfologie sepolte, corpi lenticolari etc.
- Effetti di instabilità: interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento instabile o potenzialmente instabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese per esempio versanti instabili, pareti con caduta massi etc.

Con l'OPCM 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" è stata formulata una nuova classificazione sismica del territorio nazionale articolata in n.4 zone di pericolosità decrescente.

Il territorio di Palazzolo sull'Oglio è stato inserito in **ZONA 3** di cui si forniscono le caratteristiche:

zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni [a_g/g]	accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche)[a_g/g]
1	> 0,25	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-0,15	0,15
4	< 0,05	0,05

Di seguito si riportano i valori dello spettro di risposta elastico delle componenti orizzontali e verticale in funzione della categoria del suolo di fondazione.

COMPONENTE ORIZZONTALE				
Categoria di suolo	S	T_B	T_C	T_D
A	1.00	0.15	0.40	2.00
B-C-E-	1.25	0.15	0.50	2.00
D	1.35	0.20	0.80	2.00

COMPONENTE VERTICALE				
Categoria di suolo	S	T_B	T_C	T_D
A-B-C-E	1.00	0.05	0.15	1.00

14.1 Verifica liquefazione

L'area in esame non è caratterizzata da morfologie particolari o irregolarità topografiche tali da indurre amplificazioni sismiche, tuttavia particolare attenzione deve essere rivolta alla verifica del possibile innesco della liquefazione del terreno.

Tale fenomeno consiste nella diminuzione della resistenza del terreno a seguito del raggiungimento delle condizioni di fluidità, la perdita totale di resistenza viene raggiunta quando la pressione dell'acqua interstiziale eguaglia la pressione di confinamento.

Considerando che la soggiacenza della falda è posta ad una quota maggiore di 15 m dal p.c., come previsto della NTC 2018, è possibile escludere la verifica in quanto risulta improbabile l'innesco del fenomeno.

14.2 Analisi sismica di primo livello

Nella carta della Pericolosità sismica locale (PSL), di seguito riportata, la zona in esame è posta in corrispondenza dello scenario Z4a "zona di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi".

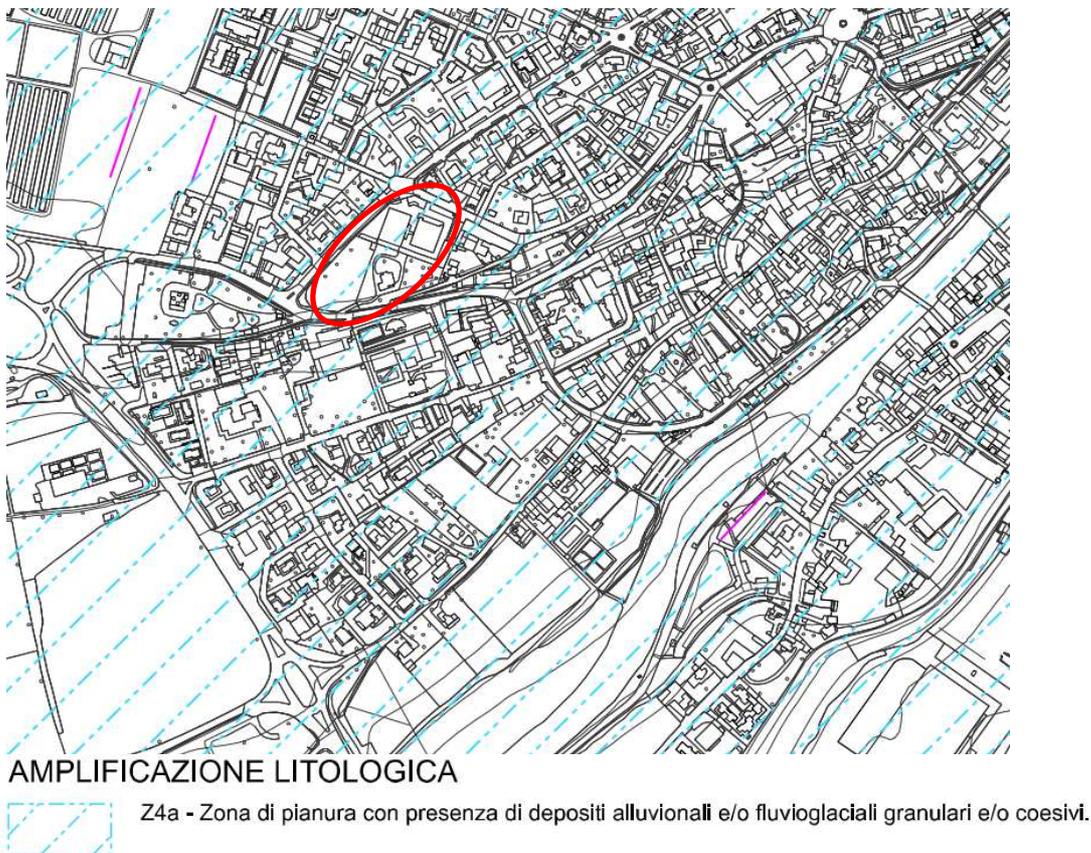


Fig. 22 Estratto Carta delle PSL

14.3 Analisi sismica di secondo livello

L'analisi sismica viene condotta secondo le specifiche fornite dall'All. 5 D.G.R. N. IX/2616/2011 della Regione Lombardia.

La procedura dell'analisi sismica di 2° livello consiste in un approccio di tipo semiquantitativo e fornisce la stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione (F_a).

Gli studi sono condotti con metodi quantitativi semplificati, validi per la valutazione delle amplificazioni litologiche e morfologiche e sono utilizzati per zonare l'area di studio in funzione del valore di F_a .

Il valore di F_a si riferisce agli intervalli di periodo tra 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s: i due intervalli di periodo nei quali viene calcolato il valore di F_a sono stati scelti in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più frequentemente nel territorio regionale; in particolare l'intervallo tra 0.1-0.5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0.5-1.5 s si riferisce a strutture più alte e più flessibili.

La procedura di 2° livello fornisce, per gli effetti litologici, valori di F_a per entrambi gli intervalli di periodo considerati.

La procedura richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;
- stratigrafia del sito;
- andamento delle V_s con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s; la conoscenza degli spessori e delle V_s può essere ottenuta utilizzando qualsiasi metodo di indagine diretto ed indiretto, in grado di fornire un modello geologico e geofisico del sottosuolo attendibile in relazione alla situazione geologica del sito e il più dettagliato possibile nella parte più superficiale per una corretta individuazione dello strato superficiale; in mancanza del raggiungimento del bedrock ($V_s \geq 800$ m/s) con le indagini è possibile ipotizzare un opportuno gradiente di V_s con la profondità sulla base dei dati ottenuti dall'indagine, tale da raggiungere il valore di 800 m/s;
- spessore e velocità di ciascun strato;
- sezioni geologiche, conseguente modello geofisico - geotecnico ed identificazione dei punti rappresentativi sui quali effettuare l'analisi.

Sulla base di intervalli indicativi di alcuni parametri geotecnici, quali curva granulometrica, parametri indice, numero di colpi della prova SPT, si individua la litologia prevalente presente nel sito e per questa si sceglie la relativa scheda di valutazione di riferimento.

All'interno della scheda di valutazione si sceglie, in funzione della profondità e della velocità V_s dello strato superficiale, utilizzando la matrice della scheda di valutazione, la curva più appropriata (indicata con il numero e il colore di riferimento) per la

valutazione del valore di Fa nell'intervallo 0.1-0.5 s e nell'intervallo 0.5-1.5 s, in base al valore del periodo proprio del sito T.

Il periodo proprio del sito T necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione è calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando la seguente equazione:

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

ove h_i e V_{s_i} sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo del modello.

Il valore di Fa determinato dovrà essere approssimato alla prima cifra decimale e dovrà essere utilizzato per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa sismica vigente.

La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di Fa ottenuto dalle schede di valutazione con un parametro di analogo significato calcolato per ciascun comune e per le diverse categorie di suolo (Norme Tecniche per le Costruzioni) soggette ad amplificazioni litologiche (B, C, D ed E) e per i due intervalli di periodo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s.

Per ciò che attiene ai dati di input si è fatto riferimento ai dati acquisiti nel corso dell'esecuzione dell'indagine geotecnica e di seguito riassunti.

14.3.1 Individuazione della scheda di valutazione

Come previsto dalle linee guida regionale si è proceduto a confrontare curve di propagazione delle onde di taglio con le curve di riferimento attualmente disponibili.

Di seguito si riporta la sovrapposizione tra le curve fornite dalla normativa e quanto ottenuto dalla Masw.

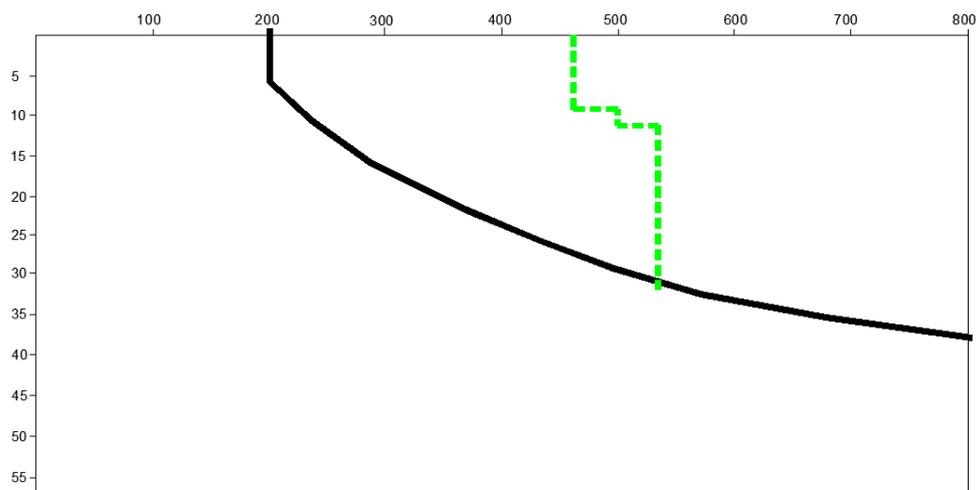


Fig. 23 Sovrapposizione curve di riferimento con Masw

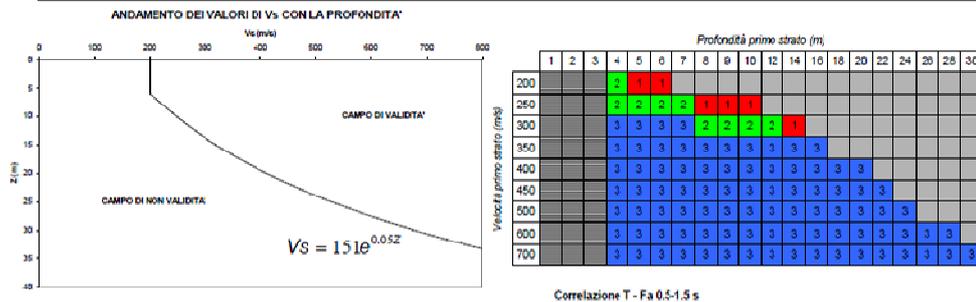
Dal confronto tra le curve regionali e l'andamento rilevato risulta che la scheda maggiormente rispondente sia: **SCHEDA LITOLOGICA LIMOSO ARGILLOSA TIPO 2.**

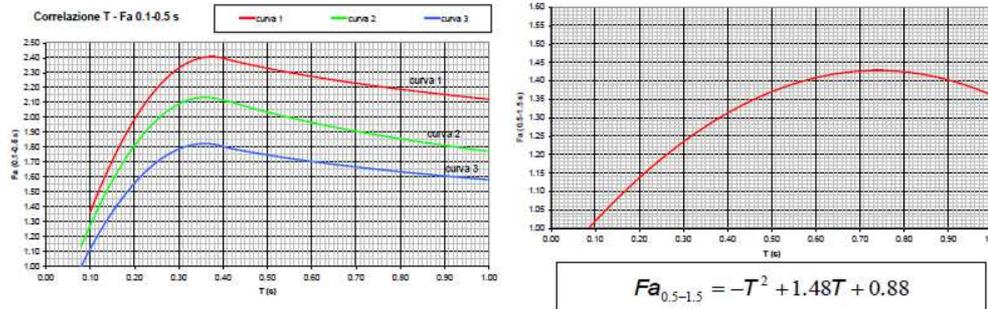
EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO – ARGILLOSA TIPO 2

PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA e NOTE: come per la litologia limoso - argillosa TIPO 1, a cui in aggiunta è possibile associare i seguenti range di valori per alcuni parametri geotecnici significativi validi per argille con limi ghiaiosi debolmente sabbiosi:

PARAMETRO		INTERVALLO
Peso di volume naturale	γ [kN/m ³]	19.5-20.0
Peso specifico particelle solide	γ_s [kN/m ³]	25.7-26.7
Contenuto d'acqua naturale	w [%]	20-25
Limite di liquidità	w _L [%]	30-50
Limite di plasticità	w _p [%]	15-20
Indice di plasticità	I _p [%]	15-30
Indice dei vuoti	e	0.5-0.7
Grado di saturazione	S _r [%]	90-100
Coefficiente di spinta a riposo	K ₀	0.5-0.6
Indice di compressione	C _c	0.15-0.30
Indice di rigonfiamento	C _s	0.02-0.06
Coefficiente di consolidazione secondaria	C _α	0.001-0.005
Grado di consolidazione	OCR	1-3
Numero colpi prova SPT (nei primi 10 m)	N _{spt}	15-30





Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.10 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46$	$0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 2.12 - 0.30LnT$
2	$0.08 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -12.8T^2 + 9.2T + 0.48$	$0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.77 - 0.38LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -10.6T^2 + 7.6T + 0.46$	$0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.58 - 0.24LnT$

Fig. 24 Scheda litologia limoso argillosa tipo 2

14.3.2 Calcolo del periodo proprio del sito

Per il calcolo del periodo proprio di sito T, necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione, occorre considerare la stratigrafia di velocità di propagazione delle onde di taglio VS fino alla profondità a cui si raggiunge un valore pari a o superiore a 800 m/s. Nel caso in esame, le indagini condotte non hanno consentito l'individuazione della profondità del bedrock sismico pertanto si è reso necessario eseguire una estrapolazione del dato.

La Masw realizzata rileva, alla quota di -31 m dal p.c., la velocità della Vs pari a 529 m/s.

Per l'individuazione del bedrock sismico si è fatto riferimento alla stratigrafia del pozzo Comunale individuando il livello nell'unità "conglomerati" presente alla quota di 37 m dal p.c..



Stratigrafia Pozzo

Fig. 25 Ubicazione pozzo considerato

COMUNE: PALAZZOLO SULL' OGLIO IDE: C5D486260155

QUOTA (m s.l.m.): 184,5 PROFONDITA'(m): 130 NUMERO STRATI: 35

Strato	Da	A	Spessore	descrizione	sigla
1	0	1	1	Terreno vegetale	ZS
2	1	5	4	Sabbia, ghiaia e ciottoli	S G GC
3	5	7	2	Ciottoli, trovanti e sabbia	GC GB S
4	7	9	2	Sabbia, ciottoli e argilla	S GC A
5	9	25	16	Sabbia e ciottoli compatti con lenti di conglomerato	S GC G
6	25	28	3	Sabbia e ghiaia	S G
7	28	32	4	Conglomerato	G
8	32	33,5	1,5	Trovanti grossi con materiale compatto	GB Z
9	33,5	37	3,5	Conglomerato compatto	G
10	37	40	3	Conglomerato compatto con ciottoli	G GC
11	40	44	4	Conglomerato compatto	G
12	44	46	2	Argilla	A
13	46	48	2	Argilla con ciottoli	A GC
14	48	50	2	Ciottoli con lenti di conglomerato	GC G
15	50	54	4	Conglomerato con tracce di argilla	G A
16	54	57	3	Conglomerato compatto	G
17	57	62	5	Sabbia, ghiaia e ghiaione	S G G1
18	62	65	3	Argilla plastica	A
19	65	68	3	Ghiaia in matrice argillosa poco compatta	G A
20	68	70	2	Conglomerato compatto	G
21	70	73	3	Sabbia e ghiaia	S G
22	73	78	5	Conglomerato ed argilla compatta	G A
23	78	79	1	Conglomerato argilloso compatto	G A
24	79	81	2	Argilla	A
25	81	83	2	Ghiaia in matrice argillosa	G A
26	83	88	5	Sabbia compatta	S
27	88	94	6	Conglomerato	G
28	94	94,5	0,5	Sabbia argillosa compatta	S A
29	94,5	99	4,5	Conglomerato compatto	G
30	99	102	3	Conglomerato poroso	G
31	102	106	4	Conglomerato compatto	G
32	106	107,5	1,5	Argilla compatta	A
33	107,5	115	7,5	Sabbia e ghiaia a lenti di conglomerato	S G G
34	115	117	2	Sabbia fine compatta	S4
35	117	130	13	Argilla sabbiosa compatta	A S

Fig. 26 Stratigrafia pozzo

Per il calcolo del periodo proprio si è fatto riferimento alla seguente relazione:

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

risulta che il periodo proprio del sito è pari a:

$$T = 0.27s.$$

14.3.3 Calcolo del fattore di amplificazione

Per il calcolo del fattore di amplificazione litologico locale è necessario dapprima individuare lo spessore e la velocità di propagazione delle onde di taglio dello strato superficiale, definito come il primo strato a partire dalla superficie avente spessore minimo di 4 m.

La velocità per i primi 4 m risulta pari a 464 m/s.

La curva da utilizzare per il calcolo della Fa è pertanto la curva 3.

Utilizzando le relazioni fornite risultano i seguenti valori di amplificazione:

fattore di amplificazione	T 0.1 – 0.5 s	T 0.5 – 1.5 s
Fa	1.7	1.2

Si specifica che i criteri regionali prevedono di considerare una variabilità di +0.1 per tenere conto della variabilità del valore di Fa calcolato.

14.3.4 Confronto con i valori regionali

Di seguito si riporta il raffronto tra i valori calcolati (ottenuti dai dati acquisiti in campo) ed i valori forniti dalla Regione Lombardia per il Comune di Palazzolo sull'Oglio (BS).

fattore di amplificazione	T 0.1 – 0.5 s	T 0.5 – 1.5 s
Fa calcolato	1.7	1.2
Fa Regione Lombardia per Palazzolo sull'Oglio – categoria B	1.5	1.7

Dalla verifica emerge che il dato regionale di amplificazione risulta adeguato per le strutture aventi periodo di oscillazione compreso tra 0,5 e 1,5 s mentre per le strutture aventi periodo di oscillazione compreso tra 0,1 e 0,5 s si dovrà fare riferimento allo spettro previsto per la categoria C del suolo (Fa= 1.9).

15. CONCLUSIONI

Di seguito si riporta la tabella finale di sintesi riportante i dati principali dello studio condotto.

Litologia	Ghiaia e sabbia
Peso di Volume	1.8 t/m ³
Angolo d'attrito	32°
Coesione	0 kg/cm ²
Modulo elastico (da letteratura per litologia)	300 kg/cm ²
Categoria suolo di fondazione	B (C per gli edifici T 0,1 – 0,5 s)
Tipologia di fondazione	Nastriforme continua da 0,8 a 1,2 m
Quota di imposta delle fondazioni	Fondazioni posate a -1,0 m dal p.c..
SLU in condizioni statiche (approccio 2)	Nastriforme da 1,45 a 1,88 kg/cm ²
SLU in condizioni dinamiche (approccio 2)	Nastriforme da 0.9 a 1,1 kg/cm ²
Cedimento complessivo	Nastriforme da 3.2 a 16 mm carico 1.5 kg/cm ²
Coefficiente di Winkler (metodo di Bowles)	Nastriforme da 7,12 a 9,8 kg/cm ³
Fattibilità geologica	Classe 2
Categoria topografica 3.2.2 NTC 2018	T1
Verifica liquefazione	Assente motivato in relazione
Vincoli geologico ambientali	Polizia idraulica, roggia taglia la proprietà
Pericolosità sismica locale	Z4a
Verifica sismica di secondo livello	Fa NON adeguato per T= 0.1 – 0.5 (cat. C suolo fondazione) Fa adeguato per T=0.5 – 1.5 s