

progettista:

Ing. Luca STUCCHI
via Ai Quadri, 18
20884 Sulbiate (MB)
Ord. Ing. Monza Brianza n. A. 1970

committente

PARCO REGIONALE DELLA
VALLE DEL LAMBRO
via Veneto 19 - Triuggio (MB)

firma _____

progetto

PROGETTO DEFINITIVO
Area di esondazione controllata
del Rio Brovada - LOTTO 1
Area di monte in Comune di
Besana in Brianza (MB)

oggetto

RELAZIONE
GEOLOGICA

scala

-

data

giugno 2023

A 04 02

Committente:

PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO

Progetto:

AREA DI ESONDAZIONE CONTROLLATA DEL RIO BROVADA
LOTTO 1: AREA DI MONTE
COMUNE DI BESANA BRIANZA (MB)

Oggetto:

RELAZIONE GEOLOGICA

Redattore:



DOTT. GEOL. SESANA STEFANO

| N.° | Data | Rev. | Riferimento |
|-----|------------|-----------------|-------------|
| 00 | 07/09/2021 | PRIMA EMISSIONE | R.Geo |
| 01 | 08/05/2023 | 01 | R.Geo |
| 02 | | | |
| 03 | | | |

INDICE

| | |
|---|----|
| 1. PREMESSA | 3 |
| 1.1. Premessa alla rev.01 | 3 |
| 1.2. Fattibilità geologica | 4 |
| 1.3. Carta di sintesi | 8 |
| 1.4. Carta dei vincoli di carattere geologico | 10 |
| 1.5. Pericolosità Sismica Locale | 12 |
| 1.6. Descrizione degli interventi | 14 |
| 2. MODELLO GEOLOGICO DEL SITO | 15 |
| 2.1. Inquadramento geografico geomorfologico | 15 |
| 2.2. Caratteri geologici dell'area | 16 |
| 2.3. Caratteri idrogeologici dell'area | 20 |
| 2.4. Inquadramento pedologico | 22 |
| 3. UNITÀ LITOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO | 23 |
| 3.1. Sondaggi geognostici | 24 |
| 3.1.1. Prove SPT | 24 |
| 3.1.2. Permeabilità del sottosuolo | 25 |
| 3.1.3. Prove di laboratorio | 28 |
| 3.2. Prove penetrometriche dinamiche | 30 |
| 3.3. Risultati dell'indagine – Unità litotecniche | 30 |
| 4. PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE – SECONDO LIVELLO | 32 |
| 4.1. Condizioni litologiche | 32 |
| 4.2. Condizioni topografiche | 38 |
| 4.3. Valutazione del coefficiente di sicurezza nei confronti della liquefazione | 40 |
| 5. SUSCETTIBILITÀ AL FENOMENO DEGLI OCCHI POLLINI | 41 |
| 6. MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO | 43 |
| 7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE | 45 |
| ALLEGATO 1 - PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE | 46 |
| ALLEGATO 2 – INDAGINE HVSR | 49 |
| ALLEGATO 3 – ANALISI DI LABORATORIO | 58 |
| ALLEGATO 4 – SONDAGGIO GEOGNOSTICO | 66 |

Allegato: Tavola 1

1. PREMESSA

Su incarico del PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO (DET. N.124/R.G del 02/07/2021) è stata redatta la presente relazione geologica a supporto del seguente progetto: "AREA DI ESONDAZIONE CONTROLLATA DEL RIO BROVADA – LOTTO 1: AREA DI MONTE, IN COMUNE DI BESANA IN BRIANZA (MB)". DETERMINAZIONE A CONTRARRE SEMPLIFICATA, SCELTA DEL CONTRAENTE ED IMPEGNO DI SPESA. CUP B77C19000310001 – CIG Z0D31F8556 vedi Figura 1.



Figura 1: fotopiano dell'area in esame

Il presente elaborato è stato redatto secondo i seguenti riferimenti normativi:

- D.M. 17 01 2018;
- D.G.R. 30 Novembre 2011 – n. IX/2016;
- D.G.R. 30 Marzo 2016 – n. X/5001.

1.1. Premessa alla rev.01

In seguito alla richiesta di aggiornamento della relazione geologica, è stata redatta la presente relazione geologica rev.1 revisionata. Di seguito si descrivono per punti le aggiunte presenti in questo documento:

- I titoli dei paragrafi revisionati sono stati evidenziati in giallo;
- All'interno di questo documento, i contenuti della relazione geologica di prima emissione non sono stati cancellati;
- I contenuti revisionati dei capitoli evidenziati in giallo sono stati aggiunti in calce al contenuto della relazione geologica di prima emissione; in particolare, tali contenuti revisionati sono stati scritti in corsivo

1.2. Fattibilità geologica

Sulla base delle informazioni desunte dallo Studio Geologico Comunale, l'ambito è stato inserito in CLASSE 3 Fattibilità con consistenti limitazioni (Figura 2).

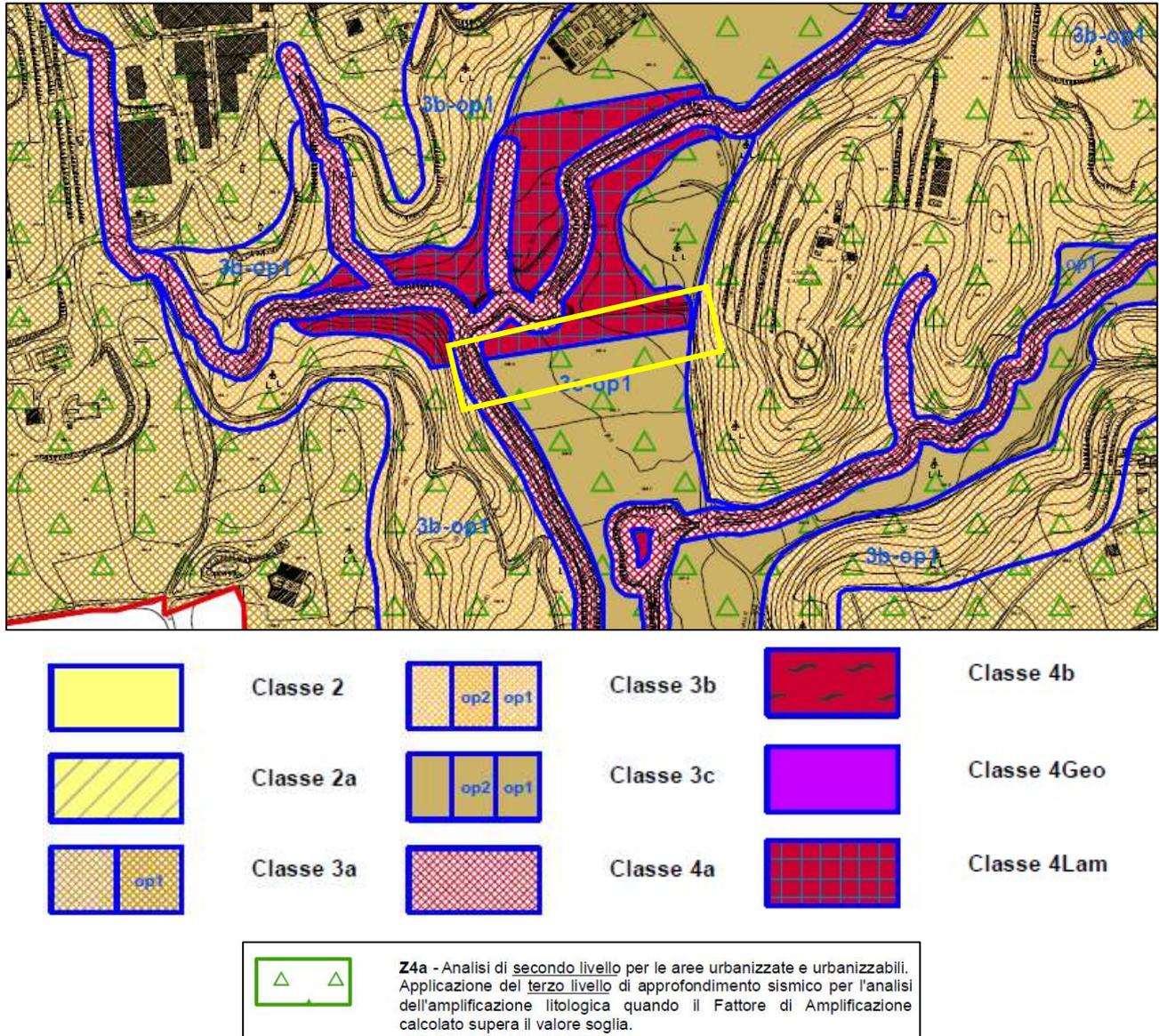


Figura 2 : stralcio della fattibilità geologica (da componente geologica del PGT)

3c Alla sottoclasse 3c appartengono ad elevata vulnerabilità degli acquiferi.

L'utilizzo di queste aree è subordinato alla realizzazione di approfondimenti geognostici ad hoc (D.M. 11 marzo 1988 e nelle N.T.C. del 17 gennaio 2018) necessari per la caratterizzazione puntuale dei parametri geotecnici del sottosuolo nonché della situazione idrogeologica locale al fine di progettare adeguatamente le opere per ridurre l'impatto sulla risorsa idrica sotterranea.

Nelle aree a suscettibilità Molto Alta e Alta, identificate con la sigla op1 nella Carta di Sintesi (Tav. 4N – 4S) e nella Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano (Tav. 5N – 5S), è da escludere il ricorso alle opere di infiltrazione per il calcolo dell'invarianza idraulica e idrologica.

Nelle zone a Moderata suscettibilità al fenomeno degli occhi pollini, identificate con la sigla op2 nella Carta di Sintesi (Tav. 4N – 4S) e nella Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano (Tav. 5N – 5S) è necessario svolgere indagini

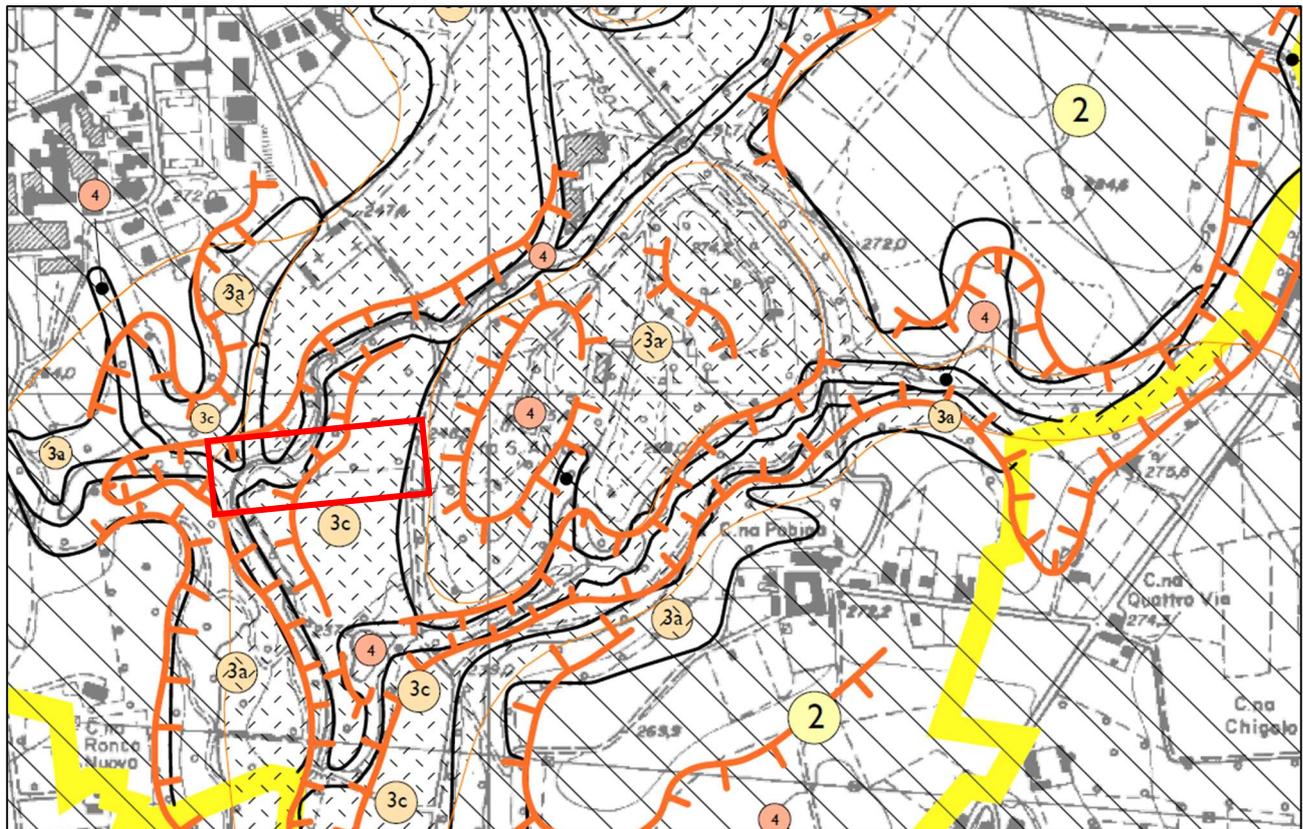
geognostiche di dettaglio al fine di individuare o escludere la presenza di occhi pollini nell'area di interesse per consentire un'adeguata progettazione delle opere di invarianza idraulica.

4 sottoclasse 4Lam

Area destinata alla realizzazione di una vasca di laminazione come previsto dal progetto "Aree di esondazione controllata del Rio Brovada in Comune di Besana in Brianza e Triuggio".

L'opera in progetto è di fatto il sistema arginale che separa le due aree, quella in classe 3 da quella in classe 4.

Sulla base delle informazioni desunte dallo Studio Geologico Comunale, l'ambito è stato inserito in **CLASSE 3c Fattibilità con consistenti limitazioni (Figura 3)**.



| | |
|--|---|
| | <p>Classe 3a - Fattibilità con consistenti limitazioni La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni connesse alla pendenza delle scarpate ($\geq 20^\circ$). L'utilizzo di queste aree, per scopi edificatori e/o per modifica della destinazione d'uso, è subordinato alla realizzazione di supplementi d'indagine finalizzati a ridurre il livello della vulnerabilità accertata.</p> |
| | <p>Classe 3b - Fattibilità con consistenti limitazioni La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni connesse alle scadenti caratteristiche geotecniche dei terreni. L'utilizzo di queste aree, per scopi edificatori e/o per modifica della destinazione d'uso, è subordinato alla realizzazione di supplementi d'indagine finalizzati a ridurre il livello della vulnerabilità accertata.</p> |
| | <p>Classe 3c - Fattibilità con consistenti limitazioni La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni connesse alla elevata vulnerabilità degli acquiferi. L'utilizzo di queste aree, per scopi edificatori e/o per modifica della destinazione d'uso, è subordinato alla realizzazione di supplementi d'indagine finalizzati a ridurre il livello della vulnerabilità accertata.</p> |
| | <p>Classe 4 - Fattibilità con gravi limitazioni L'alta pericolosità rilevata in queste zone comporta gravi limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso. Deve essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti.</p> |
| | <p>Z2 - Zone con terreni di fondazione scadenti Effetti: cedimenti e/o liquefazioni Classe di pericolosità sismica: H2 Livello di approfondimento: 3°</p> |
| | <p>Z4a - Zone di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali Effetti: amplificazioni litologiche e geometriche Classe di pericolosità sismica: H2 Livello di approfondimento: 2°</p> |
| | <p>Z4c - Zone moreniche con presenza di depositi granulari e/o coesivi Effetti: amplificazioni litologiche e geometriche Classe di pericolosità sismica: H2 Livello di approfondimento: 2°</p> |
| | <p>Z3a - Zone di scarpata con altezza superiore a 10 metri Effetti: amplificazioni topografiche Classe di pericolosità sismica: H2 Livello di approfondimento: 2°</p> |

Figura 3 : stralcio della fattibilità geologica (da componente geologica del PGT)

Classe 3c Fattibilità con consistenti limitazioni.

In questa classe rientrano quelle aree nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni connesse all'elevata vulnerabilità degli acquiferi. L'utilizzo di queste aree, per scopi edificatori e/o per modifica della destinazione d'uso, è subordinato alla realizzazione di supplementi d'indagine finalizzati a ridurre il livello della vulnerabilità accertata.

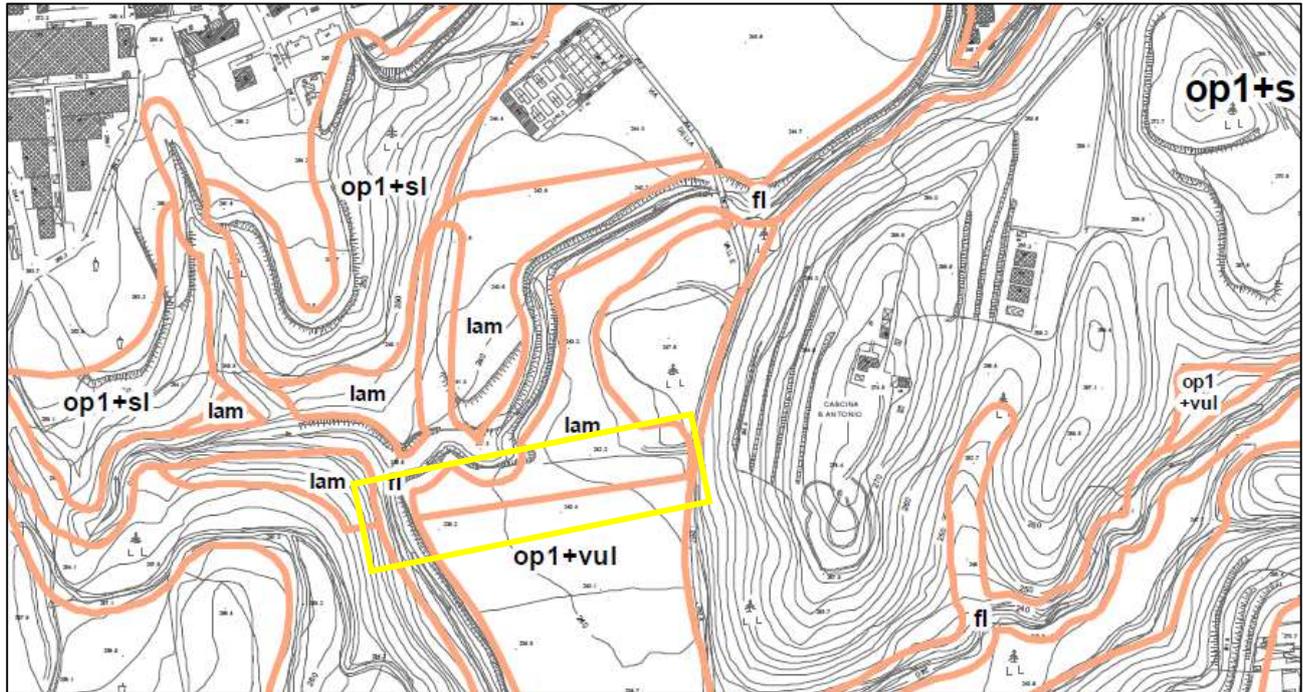
Classe 4

In questa classe rientrano quelle aree nelle quali sono state accertate gravi limitazioni connesse alla presenza di fenomeni geomorfologici attivi e di fenomeni legati alle acque superficiali quali le zone permanentemente allagate o interessate da flussi di esondazione. L'utilizzo di queste aree deve essere escluso da qualsiasi nuova edificazione, se non opere tese al consolidamento od alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti.

L'opera in progetto è di fatto il sistema arginale che separa le due aree, quella in classe 3 da quella in classe 4.

1.3. Carta di sintesi

Sulla base delle informazioni desunte dalla carta di sintesi, l'ambito in esame ricade tra le aree a suscettibilità alta o molto alta al fenomeno degli occhi pollini e a elevata vulnerabilità degli acquiferi (Figura 4).



| Aree vulnerabili dal punto di vista geotecnico | |
|--|--|
| op1 | Area a suscettibilità alta o molto alta al fenomeno degli occhi pollini, individuata dal PTCP della Provincia di Monza e Brianza |
| vul | Area a elevata vulnerabilità degli acquiferi, individuata tramite la metodologia DRASTIC nella prima stesura della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T. (2007) |
| lam | Area destinata alla realizzazione di una vasca di laminazione come previsto dal progetto "Aree di esondazione controllata del Rio Brovada in Comune di Besana in Brianza e Triuggio" |
| fl | Area adiacente ai corsi d'acqua da mantenere a disposizione per consentire l'accessibilità per interventi di manutenzione e la realizzazione di interventi di difesa |

Figura 4: stralcio della carta di sintesi (da componente geologica del PGT)

Sulla base delle informazioni desunte dalla carta di sintesi, l'ambito in esame ricade tra le aree a suscettibilità alta o molto alta al fenomeno degli occhi pollini (PTCP Monza Brianza) e a elevata vulnerabilità degli acquiferi (Figura 5).

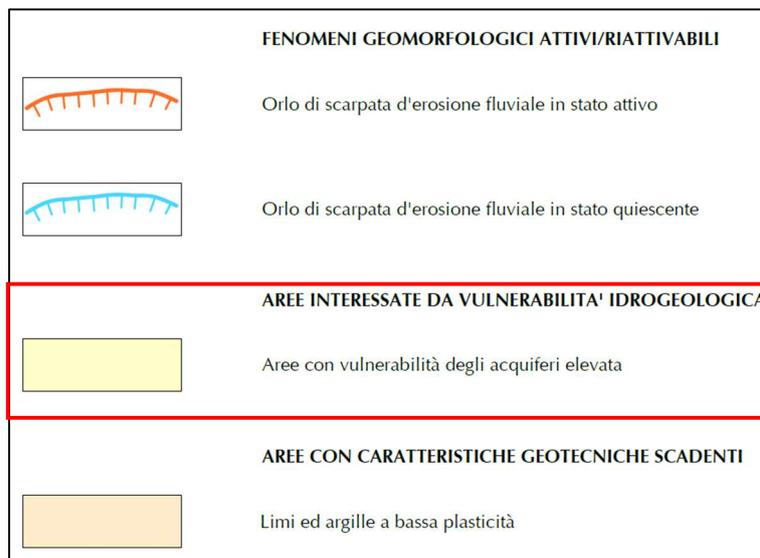
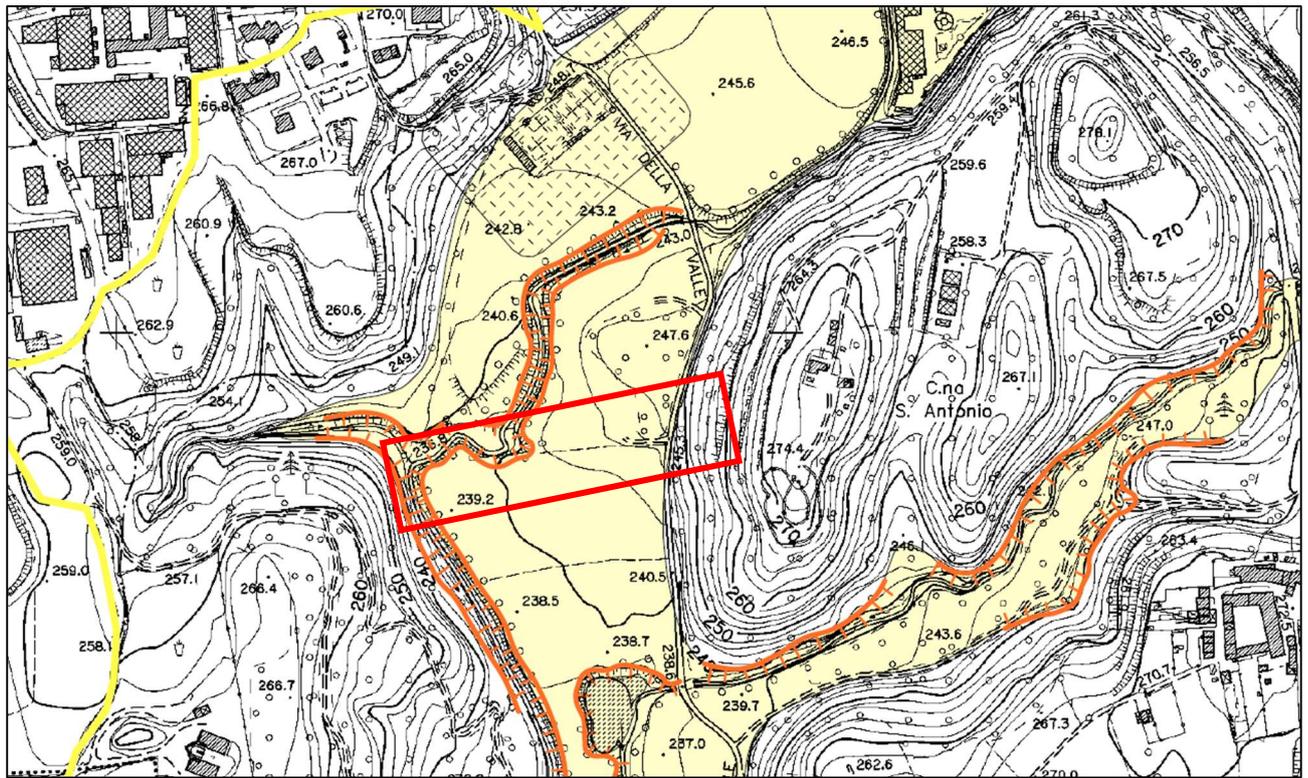
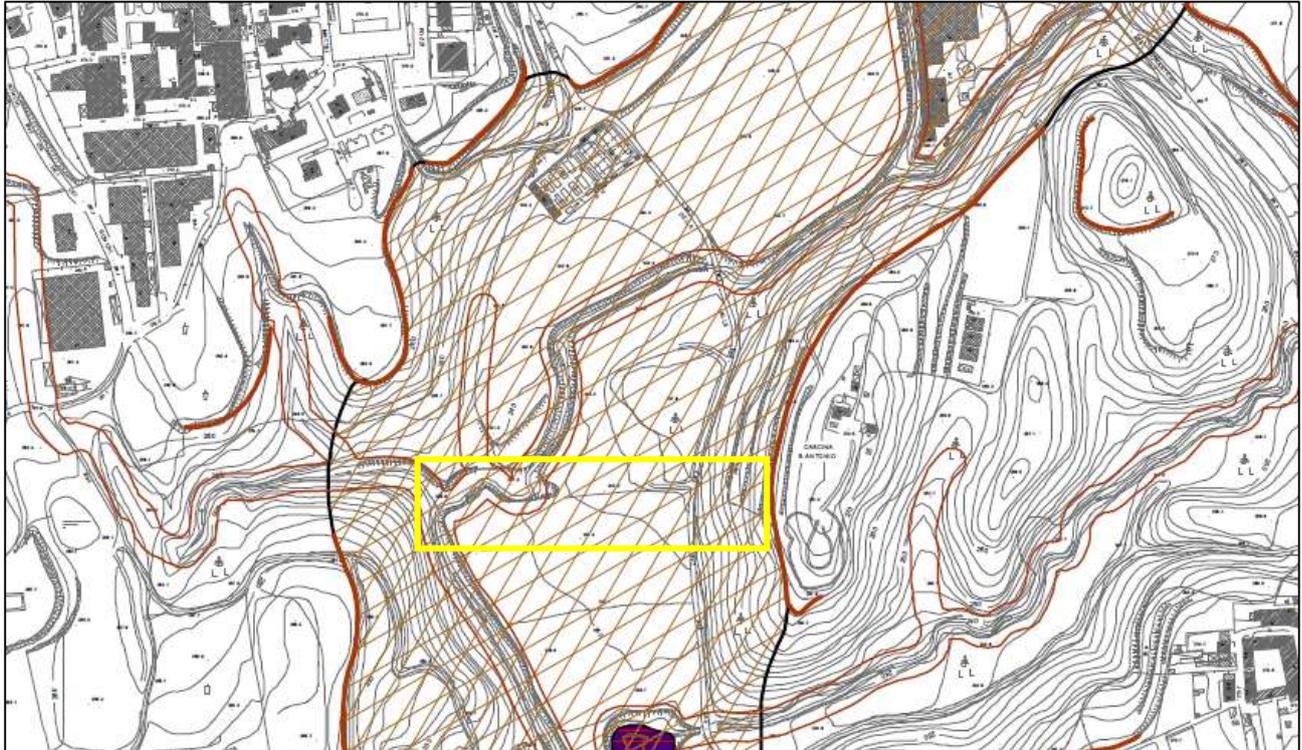


Figura 5: stralcio della carta di sintesi (da componente geologica del PGT)

1.4. Carta dei vincoli di carattere geologico

Di seguito viene riprodotto uno stralcio della carta dei vincoli di carattere geologico. L'area in oggetto è interessata dal vincolo del PTCP art. 11.



Vincoli derivanti dal PTCP della Provincia di Monza e Brianza (art. 11)



Figura 6: stralcio della carta dei vincoli (da Componente Geologica del PGT)

Di seguito viene riprodotto uno stralcio della carta dei vincoli di carattere geologico. L'area in oggetto è interessata dal vincolo idrogeologico ai sensi del R.D. 3267/1923.

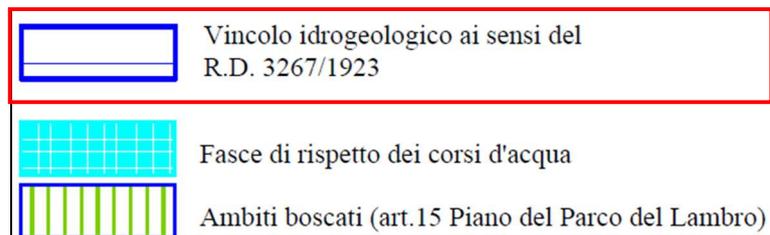
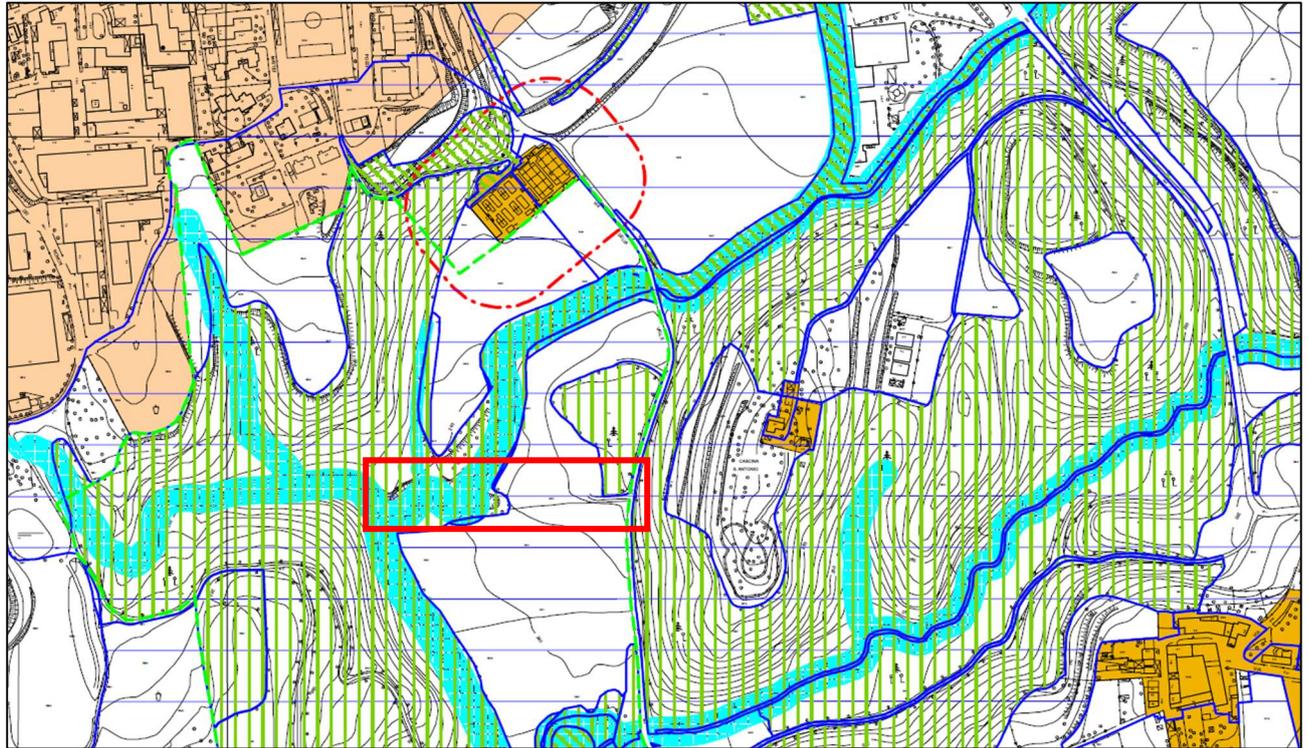


Figura 7: stralcio della carta dei vincoli (da Componente Geologica del PGT)

1.5. Pericolosità Sismica Locale

Il territorio comunale di Besana in Brianza è stato classificato in **Zona Sismica 3**; pertanto l'applicazione del secondo livello di approfondimento è previsto negli scenari Z3a, Z4a, Z4c, per le sole costruzioni il cui uso preveda: "affollamenti significativi, industrie con attività pericolose per l'ambiente, reti viarie e ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza, e costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti".

L'ambito ricade all'interno di uno scenario di tipo "**Z4a**": Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi.

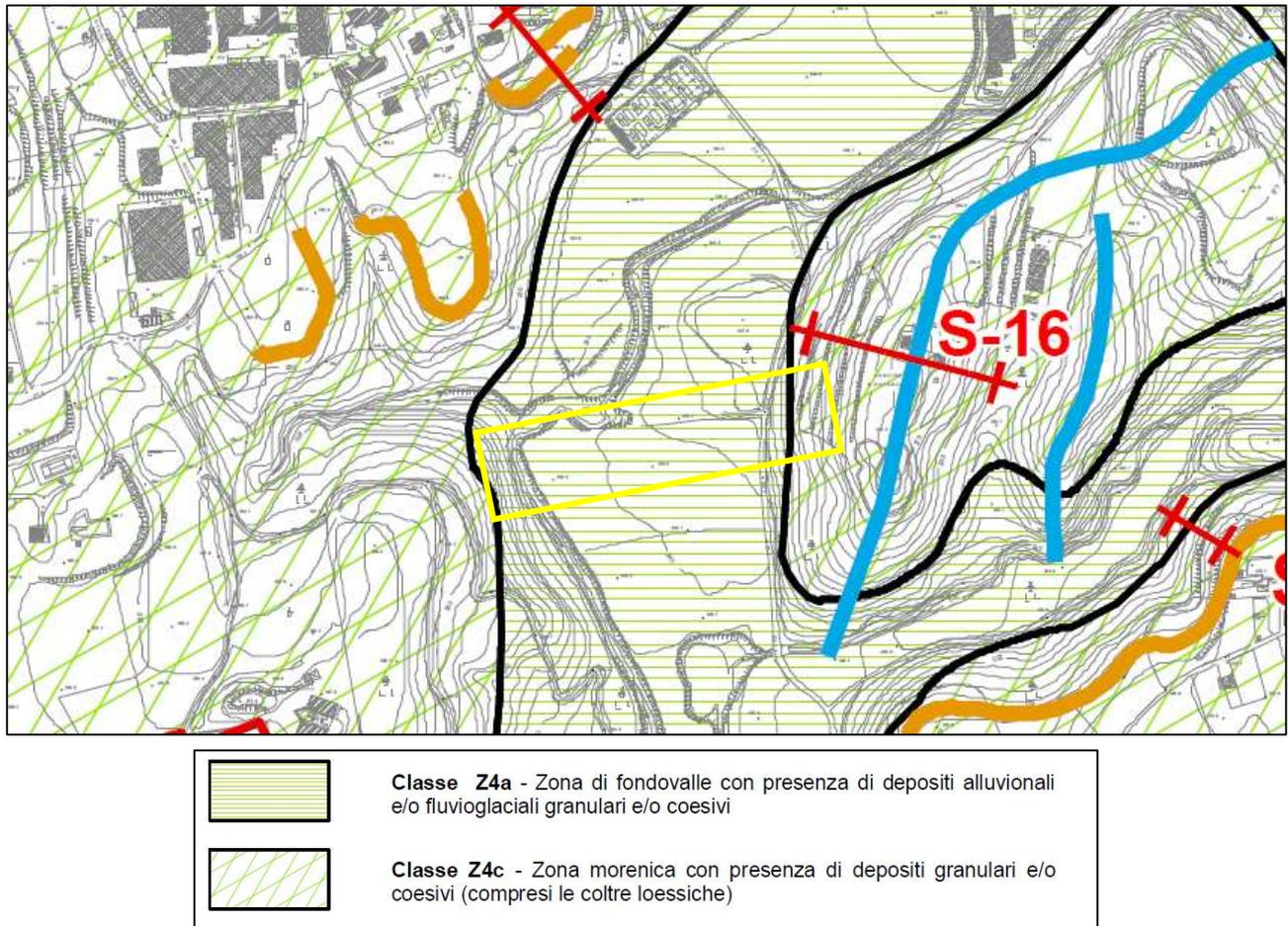


Figura 8 : stralcio della carta della pericolosità sismica (da Componente Geologica del PGT)

Il territorio comunale di Besana in Brianza è stato classificato in **Zona Sismica 3**; pertanto l'applicazione del secondo livello di approfondimento è previsto negli scenari Z3a, Z4a, Z4c, per le sole costruzioni il cui uso preveda: "affollamenti significativi, industrie con attività pericolose per l'ambiente, reti viarie e ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza, e costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti".

L'ambito ricade all'interno di uno scenario di tipo "Z4a": Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi.

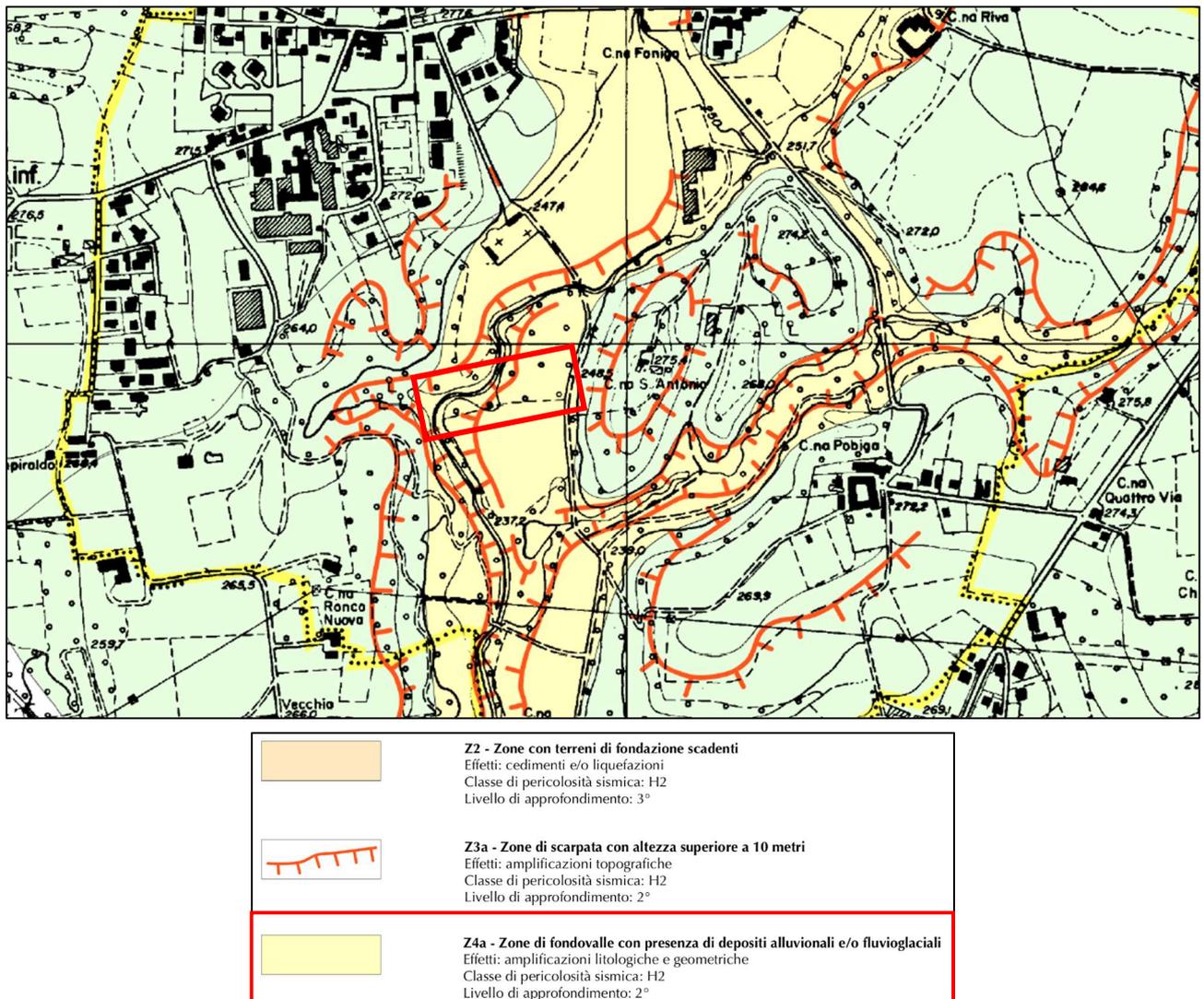


Figura 9 : stralcio della carta della pericolosità sismica (da Componente Geologica del PGT)

1.6. Descrizione degli interventi

Di seguito si riporta uno stralcio dell'intervento in esame: l'opera prevede la realizzazione di un argine in terra armata con funzione di sbarramento delle acque; in corrispondenza dell'attuale corso d'acqua è prevista la realizzazione dell'opera di regimazione della vasca di laminazione (Figura 10).

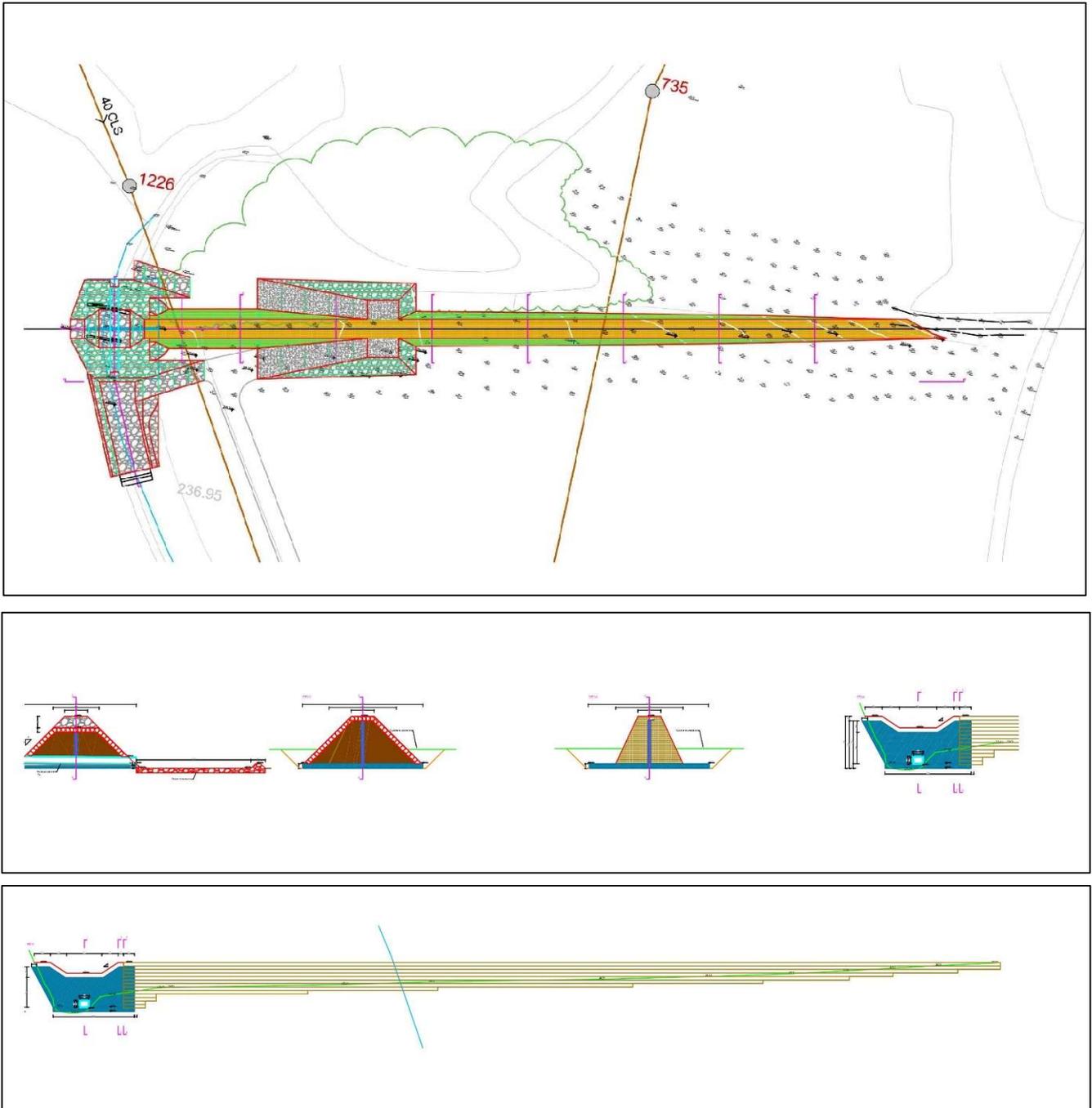


Figura 10: stralcio da un elaborato di progetto

2. MODELLO GEOLOGICO DEL SITO

2.1. Inquadramento geografico geomorfologico

L'ambito in esame si colloca nella porzione meridionale del comune di Besana in Brianza (MB), ad una quota di circa 240 m s.l.m. Dal punto di vista geomorfologico l'area ricade tra gli ambiti riferibili alle piane fluvioglaciali, caratterizzate da sabbie e ghiaie con scarsa matrice fine.

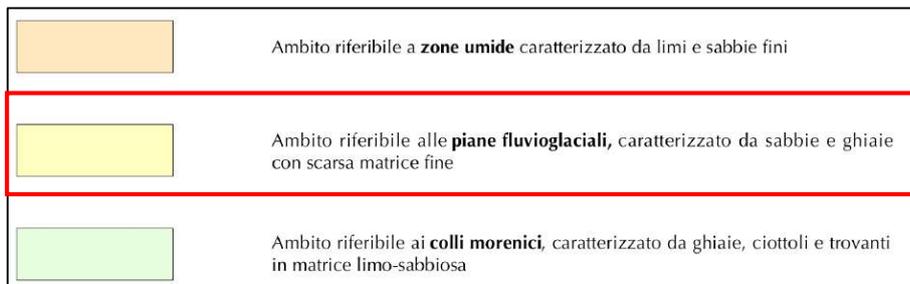
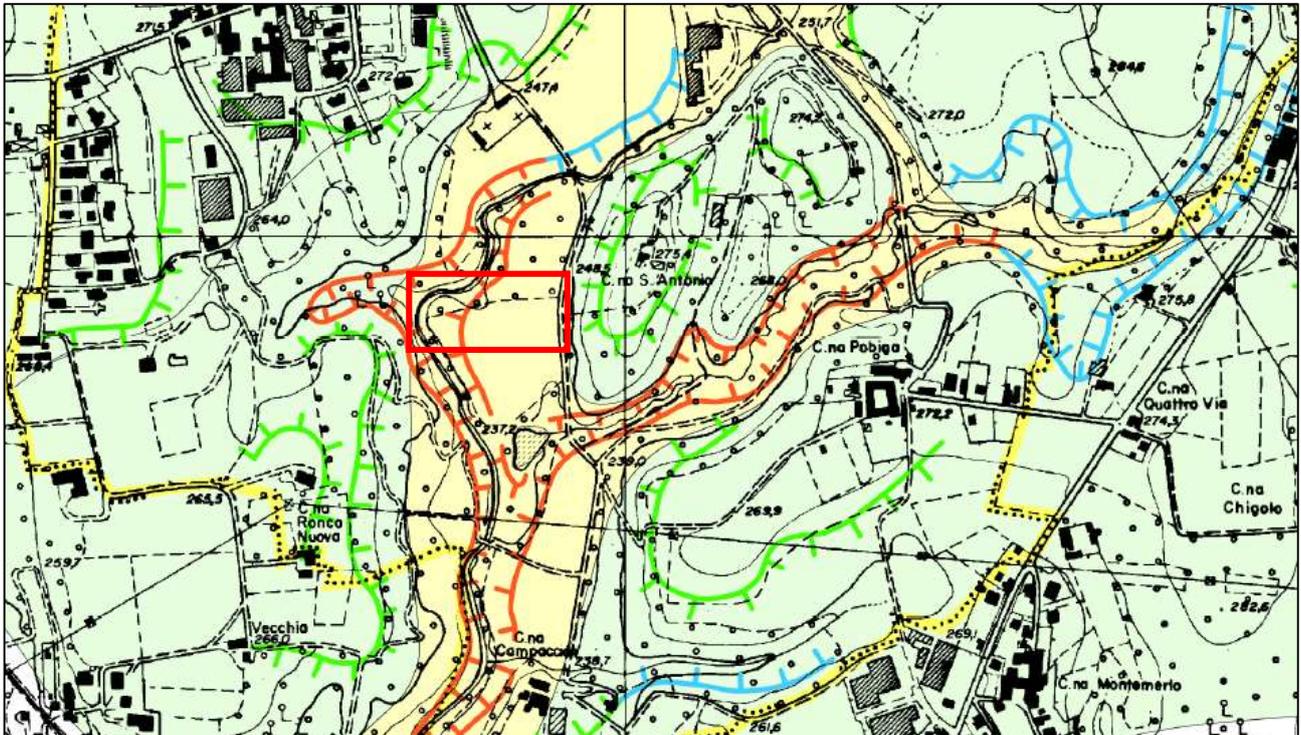


Figura 11 : stralcio della carta geomorfologica (da Componente Geologica del PGT)

2.2. Caratteri geologici dell'area

Nel Comune di Besana in Brianza affiorano quasi esclusivamente i depositi collegati alle glaciazioni pleistoceniche, essendo gli affioramenti del substrato roccioso prequaternario limitati unicamente in una incisione valliva posta ai piedi della frazione di Maresso superiore, al confine con il Comune di Briosco.

In particolare la successione stratigrafica locale è rappresentata dai seguenti litotipi:

Flysch di Bergamo (Cretaceo ed il Paleocene)

Le caratteristiche litologiche di questa formazione sono individuabili in un'alternanza di strati di arenaria e di argilla rappresentativi delle condizioni di deposizione tardo cretacea su fondali marini abissali. Gli strati di arenaria testimoniano i depositi di correnti di torbida capaci di trascinare granuli delle dimensioni della sabbia, mentre gli strati di argilla sono indicativi della normale sedimentazione marina resa possibile solo tra la fine e l'inizio di una corrente di torbida.

Il ciclico ripetersi dei fenomeni di torbida è attribuibile allo stadio evolutivo della regione nel periodo di passaggio tra il Cretaceo ed il Paleocene, caratterizzato da frequenti frane sottomarine connesse ai ripetuti terremoti che accompagnavano l'orogenesi alpina.

Conglomerato dell'Adda (Quaternario)

La formazione, rappresentata da un conglomerato poligenico a cemento calcareo e comunemente definita con il nome di "Ceppo". Il Ceppo rappresenta infatti una facies alluvionale che si è formata nel periodo interglaciale Mindel - Riss. Le sue peculiari caratteristiche sono facilmente osservabili in corrispondenza dei fianchi vallivi particolarmente incisi del Torrente Pegorino, nei pressi di Tregasio, e del Fosso Vergo, una breve asta torrentizia che confluisce nel Lambro in corrispondenza dell'abitato di Agliate.

Depositi morenici mendeliani (Mindel)

I prodotti dell'attività glaciale quaternaria sono suddivisibili in diverse unità sulla base delle caratteristiche morfologiche e litologiche. In particolare alla glaciazione mindeliana sono attribuibili i rilievi morenici disposti ad arco lungo la fascia collinare che si estende da Triuggio a Camparada, includendo così l'estremità meridionale del territorio comunale.

Si tratta di depositi che hanno subito un accentuato processo di trasformazione chimico - fisica, a seguito di un'intensa alterazione. Dal punto di vista litologico sono costituiti da clasti immersi in un'abbondante matrice argillosa rossastra e nota come "ferretto". Morfologicamente i terrazzi mindeliani si distinguono dagli altri terrazzi più recenti in quanto la loro superficie risulta ondulata da deboli rilievi, pendenze molto dolci e valli moderatamente incise.

Depositi morenici rissiani (Riss)

I depositi riferibili alla glaciazione rissiana si ritrovano in affioramento nel settore centro-meridionale del territorio comunale, in un'area compresa tra Calò a Brugora. Sotto il profilo litogranulometrico si distinguono ghiaie, ciottoli e blocchi di provenienza alpina, immersi caoticamente in una matrice argilloso sabbiosa e con un tipico orizzonte superficiale di alterazione, di colore bruno rossastro, che può arrivare fino a 5 metri di spessore.

Depositi morenici wurmiani (Wurm)

Costituiscono la cerchia morenica interna che da Alserio, Inverigo, Briosco giunge a Barzanò attraverso il territorio comunale di Besana. Il nucleo delle frazioni di Naresso, Zoccorino, Vergo, Villa Raverio, Cazzano, Valle Guidino, Montesiro, è costituito da questi depositi che sono facilmente riconoscibili per la presenza di ghiaie, ciottoli e limi con tessitura spesso caotica e sovente abbinata a massi erratici di notevoli dimensioni. In superficie è inoltre presente un debole strato di alterazione di colore bruno giallastro.

Depositi fluvioglaciali wurmiani (Wurm)

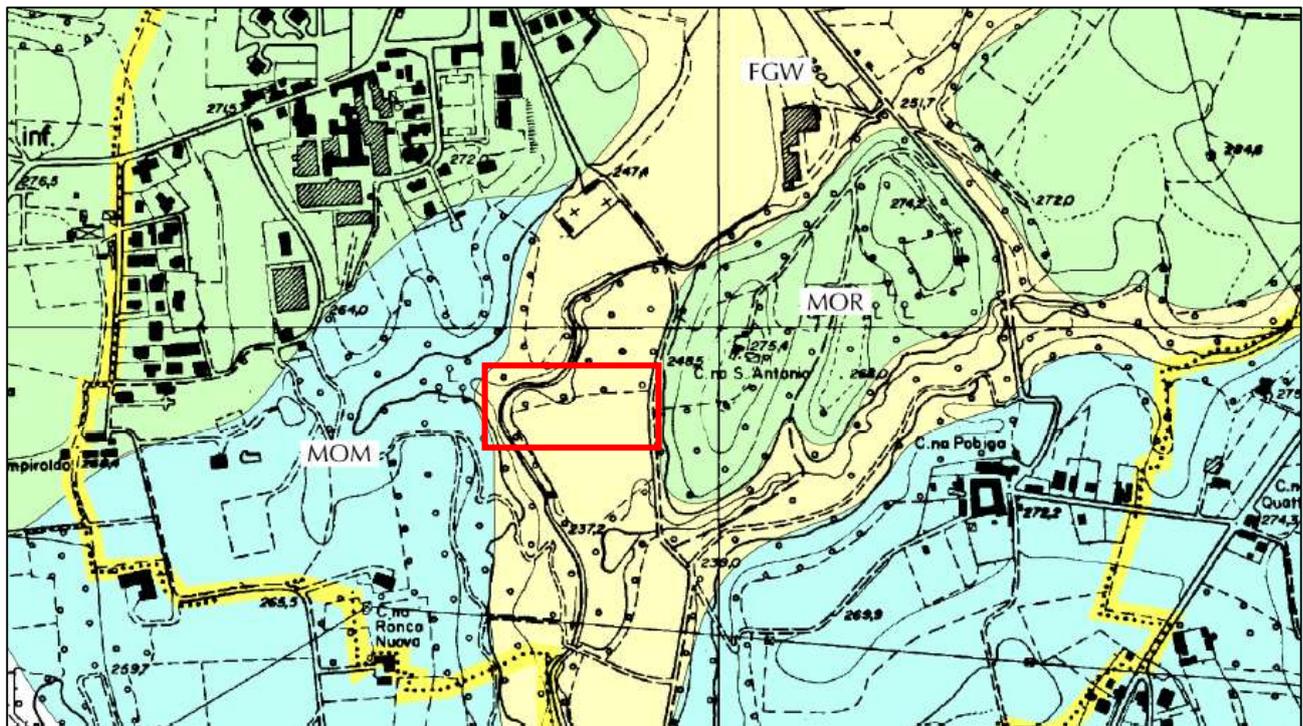
Costituiscono il livello principale della pianura e segnano la transizione dell'ambiente collinare brianzolo con quello della sottostante pianura lombarda.

La natura litologica è rappresentata da ghiaie e sabbie, con ciottoli in scarsa matrice argillosa, e da un sottile strato di alterazione inferiore al metro di spessore.

Depositi lacustri sin/post wurmiani (Wurm)

Questi depositi sono interpretabili come antichi bacini lacustri intermorenici coevi o immediatamente successivi alla glaciazione würmiana. Sono presenti nel quadrante settentrionale del territorio comunale e sono costituiti da limi e argille grigie varvate a stratificazione orizzontale.

Di seguito si riporta lo stralcio della Carta geologica (**Figura 12**) con l'individuazione dell'area in esame, nella quale affiorano i depositi fluvioglaciali Wurmiani (sigla FGW).



| | |
|-----|----------------------------------|
| FGW | Depositi fluvioglaciali würmiani |
| MOW | Depositi morenici würmiani |
| MOR | Depositi morenici rissiani |

Figura 12: stralcio della carta geologica (dal PGT)

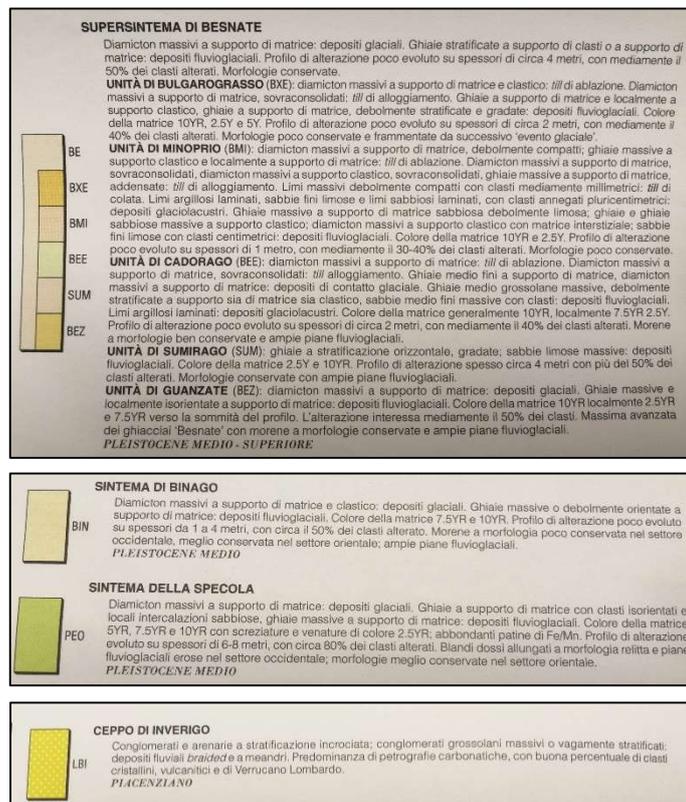
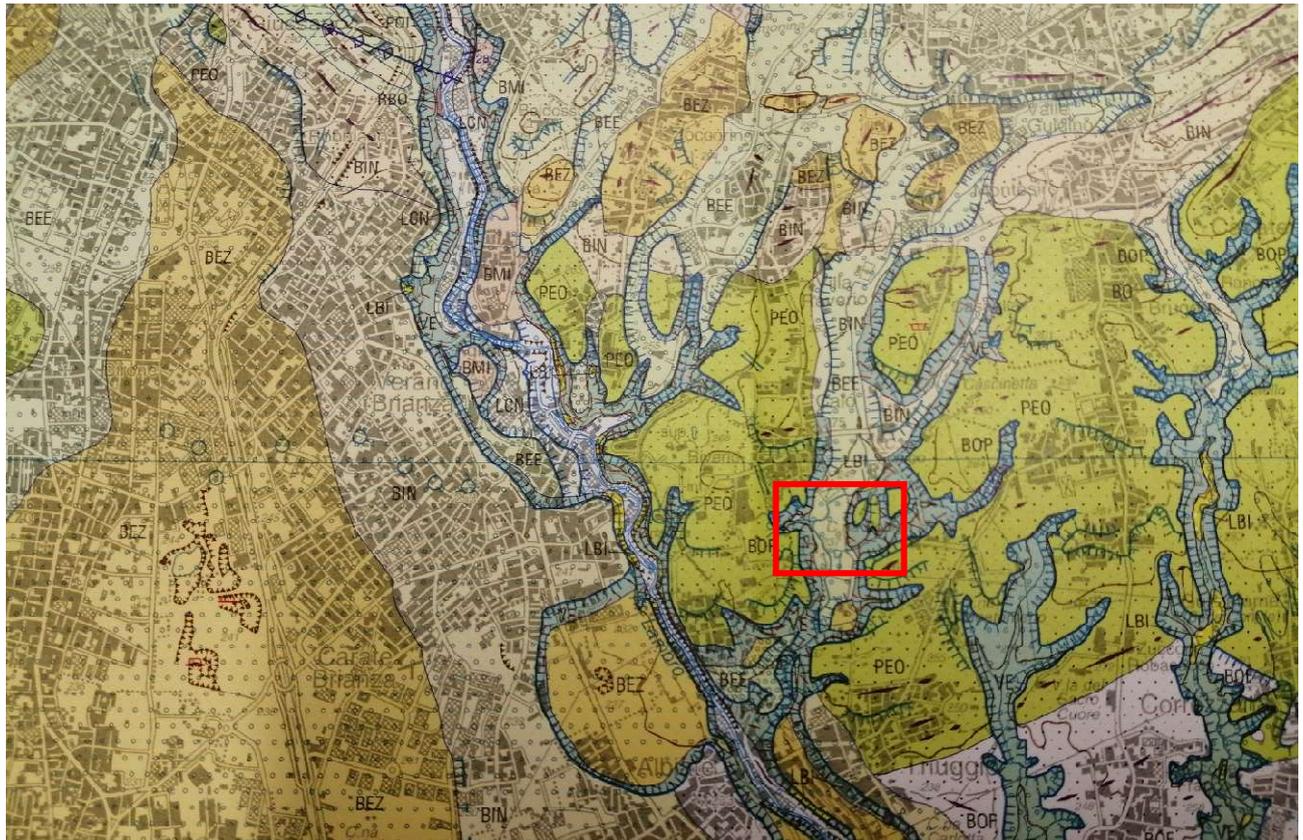


Figura 13: stralcio della carta geologica d'Italia – Foglio Seregno

In corrispondenza dell'area di intervento, nell'alveo del Rio Brovada sulla destra idrografica, affiora il conglomerato.



Foto 1 (vista da valle verso monte)



Foto 2 (vista da monte verso valle)

2.3. Caratteri idrogeologici dell'area

Nel territorio comunale di Besana in Brianza sono stati individuati tre acquiferi principali.

Il più superficiale è contenuto nei depositi alluvionali e fluvioglaciali recenti che permettono una buona resa per via della loro elevata permeabilità, anche se talvolta il loro spessore si riduce notevolmente determinando una modesta trasmissività.

L'acquifero intermedio s'individua sia nei livelli più fratturati del Ceppo dell'Adda, presente diffusamente nel sottosuolo ed affiorante lungo le scarpate delle valli incise, sia nei livelli meno cementati dove è presente una falda limitata alla base dai depositi impermeabili dell'unità Argille sotto il Ceppo. L'acquifero più profondo è costituito dai litotipi argillo-sabbiosi appartenenti all'unità litostratigrafica denominata Argille del Villafranchiano.

L'andamento delle curve isopiezometriche è caratterizzato da linee di flusso disposte da NNO a SSE e con un gradiente medio di poco superiore al 2‰.

L'area in esame, come emerge dalla carta Idrogeologica sotto riportata, è compresa tra 210 m. s.l.m. e 220 m. s.l.m.

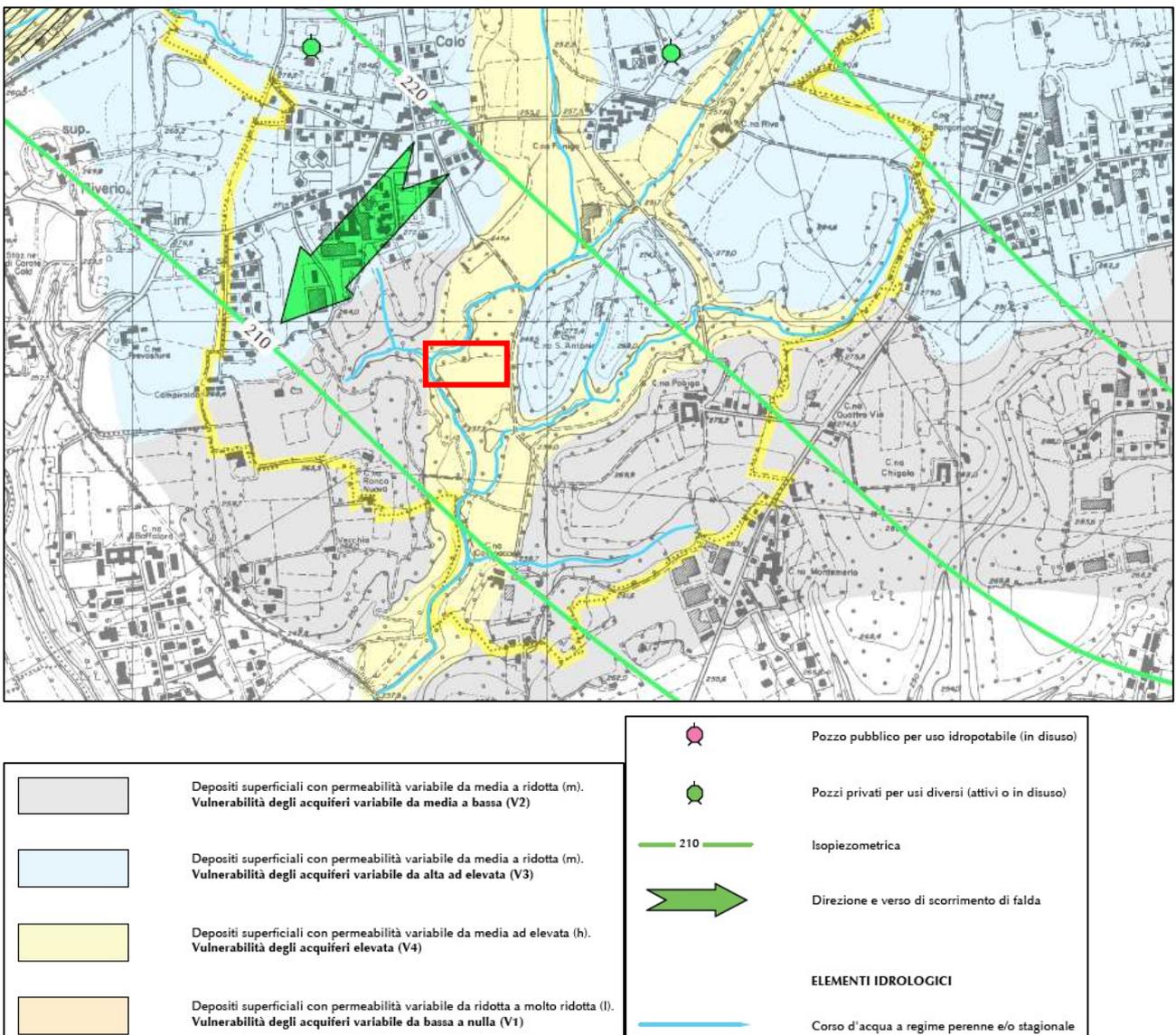


Figura 14: stralci della carta idrogeologica

L'area in esame è caratterizzata da depositi superficiali con permeabilità variabile da media ad elevata e presenta una vulnerabilità degli acquiferi elevata.

Il territorio comunale di Besana in Brianza è stato suddiviso in 4 classi di vulnerabilità; l'area in esame rientra nelle zone a vulnerabilità elevata (V4).

Le zone a vulnerabilità elevata (V4) si hanno in coincidenza dei depositi fluvioglaciali würmiani e degli affioramenti di conglomerato (Ceppo). Questi ultimi sono generalmente poco permeabili se compatti (il grado di vulnerabilità in questo caso è medio), ma in presenza di fessurazioni o di scarsa cementazione diventano vie preferenziali di infiltrazione di eventuali inquinanti innalzando di conseguenza il grado di vulnerabilità.

2.4. Inquadramento pedologico

In **Figura 15** si riporta l'estratto Carta "Uso e copertura del suolo 2021 (DUSAF 6.0)" estratta dal Geoportale della Regione Lombardia, con l'ubicazione dell'area in esame.

L'ambito in oggetto è classificato come 3111 "Boschi di latifoglie a densità media e alta gov. ceduo"; le aree limitrofe sono state classificate come:

- 2111 "Seminativi semplici";
- 2311 "Prati permanenti in assenza di specie arboree ed arbustive";
- 3221 "Cespuglieti".

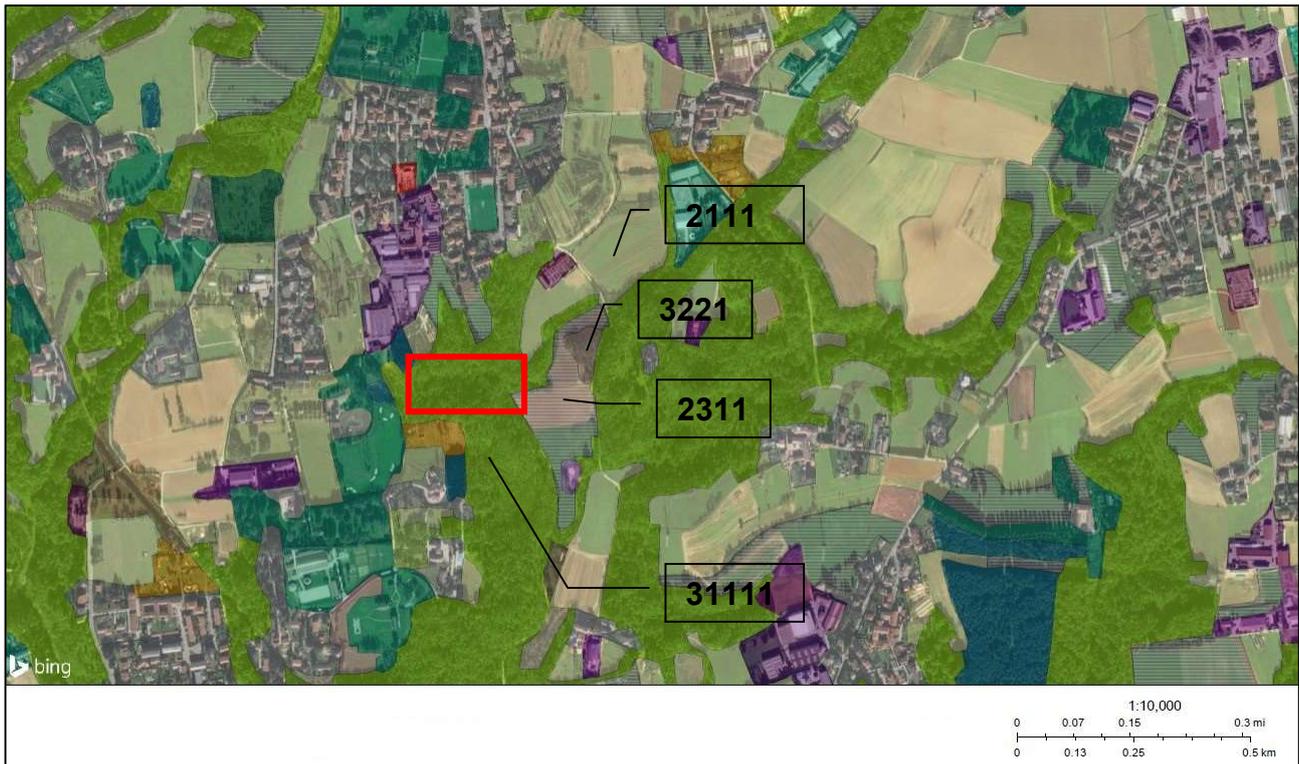


Figura 15: Stralcio della Carta uso e copertura del suolo 2021 (DUSAF 6.0 da Geoportale della Lombardia)

3. UNITÀ LITOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

Per la caratterizzazione sito specifica dell'area, l'identificazione delle unità litotecniche del sottosuolo e successivamente per la definizione della parametrizzazione geotecnica del terreno, in accordo con Committenza e Progettista, sono state eseguite:

- n° 2 prove penetrometriche dinamiche (DPSH) superpesanti effettuate con penetrometro tipo Meardi /AGI spinte fino a rifiuto;
- n° 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo arrestato alla profondità di 12m con:
 - prove SPT in foro;
 - prove le franc;
 - prove di laboratorio;
- n° 2 HVSR (vista la presenza di un orizzonte conglomeratico inclinato, al posto della MASW si è preferito fare una seconda HVSR);

L'ubicazione delle indagini è riportata nella figura sottostante.

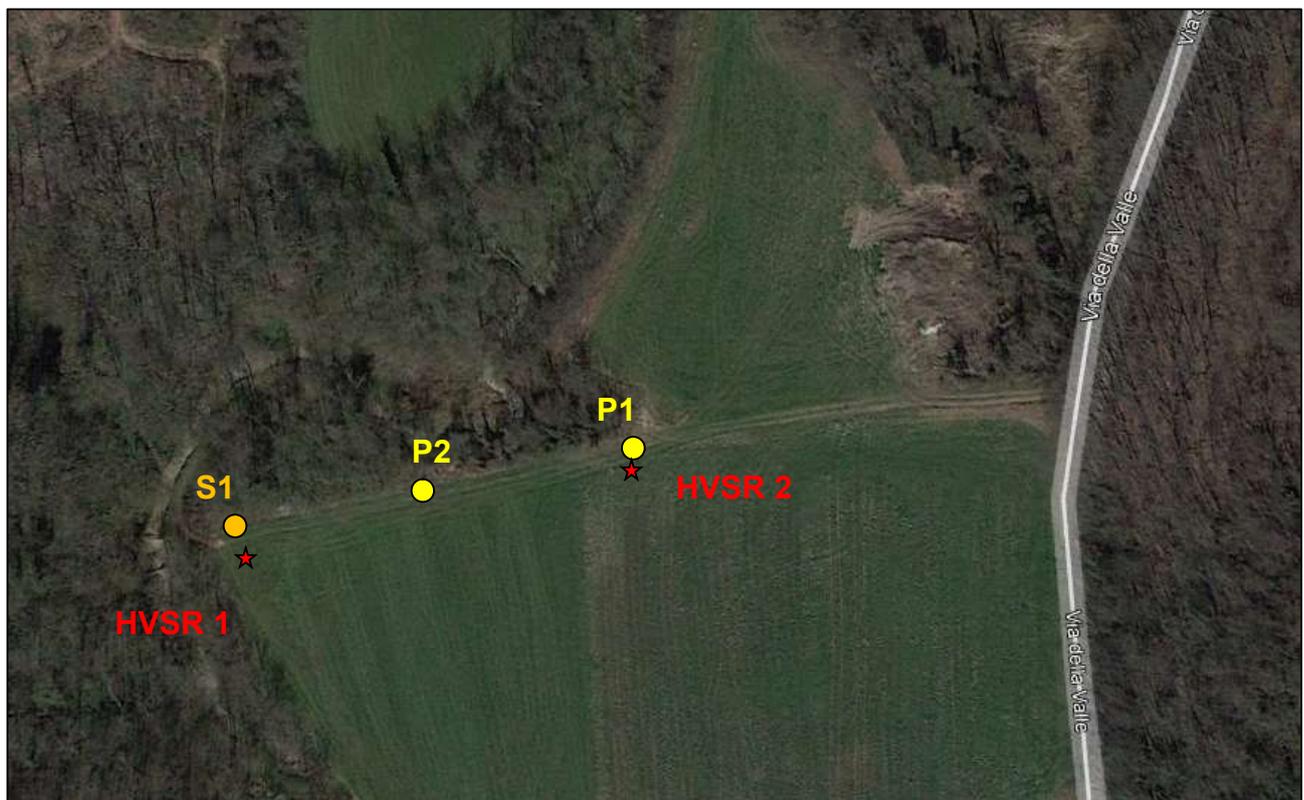


Figura 16: Ubicazione indagini

Le indagini sono state condotte in conformità a quanto disposto dalle seguenti norme:

- circolare LL.PP. del 24/09/88 del 24/09/88 n° 30483;
- AGI – Associazione Geotecnica Italiana: Raccomandazione sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche (1977);
- A.S.T.M. D 1586-67 – “Standard Method for penetration test and split barrel sampling ad soils (1974);

3.1. Sondaggi geognostici

Il sondaggio geognostico a carotaggio continuo è stato eseguito con una sonda idraulica COMACCHIO MC 12, mediante tecnica a rotazione utilizzando il rivestimento sulle pareti del foro.

Le operazioni di carotaggio sono state eseguite a secco, con recupero integrale del materiale carotato, mediante un carotiere semplice avente diametro di 131 mm; per il rivestimento del foro sono stati utilizzati tubi con diametro di 152 mm.

Le carote prelevate sono state alloggiare in apposite cassette catalogatrici da 5 m ciascuna. Durante l'esecuzione dei sondaggi non è stata rilevata la presenza di acqua.

Il sondaggio è stato spinto fino alla profondità di 12 m da p.c. e entro il foro di sondaggio, in fase di avanzamento, sono state eseguite:

- n. 5 prove SPT (Standard Penetration Test), per la determinazione indiretta dei parametri di resistenza e deformabilità. Le prove sono state condotte secondo la normativa ASTM D 1586-84 (Riapp. 92) impiegando un dispositivo di battitura con sganciamento automatico, con maglio da 63.5kg, aste \varnothing 50mm e campionatore Raymond con punta aperta (rendimento del sistema di battitura 60%);
- n. 2 prove le franc a carico variabile;
- n. 2 analisi di laboratorio su campioni rimaneggiati;

Nella tabella seguente sono riassunte le prove eseguite e le relative quote

| SPT Profondità da p.c. [m] | PROVE "K" Tipo Le Franc Profondità da p.c. [m] | Analisi di Laboratorio Profondità da p.c. [m] |
|-------------------------------|---|--|
| 1.5 | 1.5 – 2.0 | 0.7-1.2 |
| 4.5 | 5.0 – 5.5 | 5.0-5.5 |
| 7.5 | | |
| 9.0 | | |
| 10.5 | | |

Tabella 1

Durante la campagna d'indagine non è stato prelevato alcun campione di terreno.

3.1.1. Prove SPT

Nella tabella seguente vengono riportati, per tutti i sondaggi eseguiti, le profondità di prova e il corrispondente valore di N_{SPT} (numero di colpi necessario ad una penetrazione del campionatore Raymond a punta aperta per tre tratti di 15 cm).

| Profondità da p.c. [m] | S1 |
|------------------------|----------|
| 1.5 | 4-3-3 |
| 4.5 | 5-3-3 |
| 7.5 | 16-24-34 |
| 9.0 | 14-13-9 |
| 10.5 | R |

Tabella 2

In **Allegato 1** si riporta la stratigrafia dei sondaggi con indicato le prove SPT e la documentazione fotografica delle indagini svolte.

3.1.2. Permeabilità del sottosuolo

Al fine di determinare il valore di permeabilità dei terreni nell'area in oggetto, sono state effettuate n. 2 prove di permeabilità tipo Lefranc a carico variabile.

Modalità esecutive:

- per la prova a carico variabile il foro di sondaggio è stato riempito fino all'estremità (testa) del rivestimento e gli abbassamenti del livello dell'acqua all'interno del foro sono stati misurati ad intervalli di tempo definiti.

Di seguito si riassumono i valori ottenuti:

| Sondaggio | n° prova | Profondità di profondità (m da p.c.) | Tipo di Prova | K (m/s) | K (cm/s) |
|-----------|----------|--------------------------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|
| S1 | 1 | 1.5 – 2.0 | Lefranc a carico variabile | 8.42×10^{-6} | 8.42×10^{-4} |
| S1 | 2 | 5.0 – 5.5 | Lefranc a carico variabile | 4.13×10^{-6} | 4.13×10^{-4} |

Tabella 3 - Valori di Permeabilità misurati da prove

I valori misurati sono propri di un terreno a permeabilità da scarsa a buona.

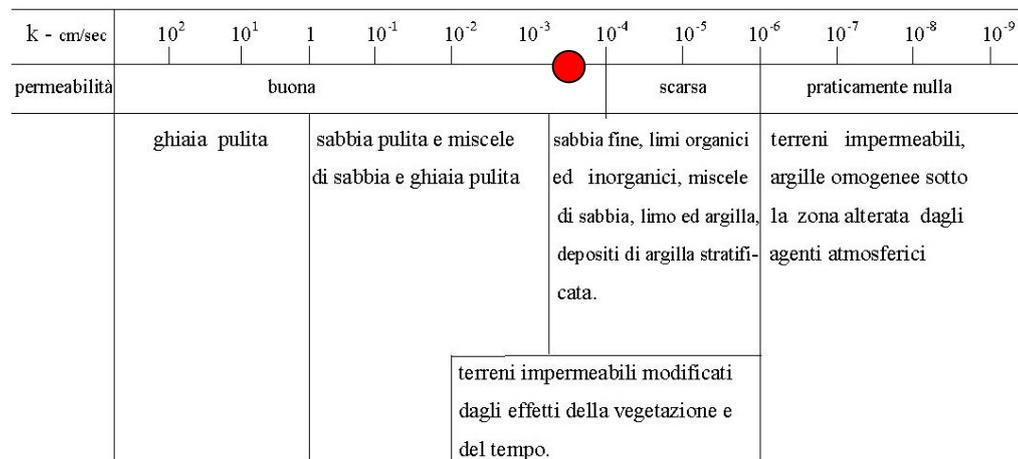


Figura 17: Valori indicativi del coefficiente di permeabilità da Casagrande e Fadum

Di seguito si riporta l'elaborazione delle prove effettuate.

PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO VARIABILE

Località: Besana in Brianza (MB), loc. Calò

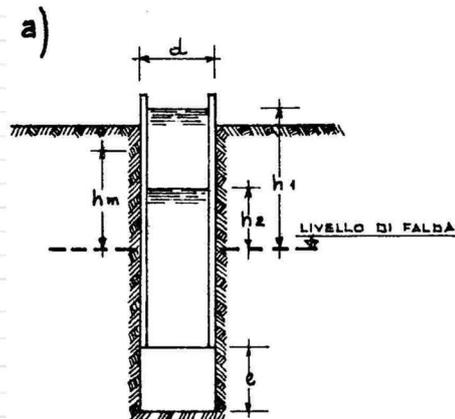
Data: 19/08/2021

Committente:

SONDAGGIO: **S1** PROVA: **L1**

| Tempo (s) | livello da bocca foro (m) | h (altezza livello da livello falda o fondo foro) | Permeabilità K (m/s) |
|----------------------------|---------------------------|---|----------------------|
| 0 | 0.00 | 2.60 | |
| 40 | 0.45 | 2.15 | 1.72E-04 |
| 90 | 0.61 | 1.99 | 5.61E-05 |
| 120 | 0.72 | 1.88 | 6.88E-05 |
| 180 | 0.77 | 1.84 | 1.46E-05 |
| 240 | 0.81 | 1.80 | 1.33E-05 |
| 300 | 0.84 | 1.76 | 1.19E-05 |
| 360 | 0.87 | 1.73 | 1.04E-05 |
| 420 | 0.90 | 1.70 | 1.06E-05 |
| 480 | 0.94 | 1.67 | 1.26E-05 |
| 540 | 0.97 | 1.64 | 1.10E-05 |
| 600 | 0.99 | 1.61 | 9.32E-06 |
| 660 | 1.02 | 1.58 | 1.14E-05 |
| 720 | 1.04 | 1.56 | 7.70E-06 |
| 780 | 1.08 | 1.53 | 1.37E-05 |
| 840 | 1.09 | 1.52 | 3.98E-06 |
| 900 | 1.11 | 1.49 | 1.01E-05 |
| 990 | 1.14 | 1.46 | 8.20E-06 |
| 1080 | 1.17 | 1.43 | 8.37E-06 |
| 1140 | 1.19 | 1.41 | 8.51E-06 |
| 1200 | 1.21 | 1.39 | 8.64E-06 |
| 1260 | 1.24 | 1.37 | 1.10E-05 |
| 1380 | 1.25 | 1.35 | 3.34E-06 |
| 1490 | 1.28 | 1.32 | 7.41E-06 |
| 1560 | 1.30 | 1.30 | 7.91E-06 |
| 1650 | 1.32 | 1.29 | 4.68E-06 |
| Permeabilità media* (m/s): | | | 8.42E-06 |

| | |
|---|----------------|
| Diametro del foro (m) | 0.152 |
| Area del foro (mq) | 0.01814 |
| Lunghezza del tratto filtrante (m) | 0.50 |
| Altezza iniz. acqua da livello falda o fondo foro (m) | 2.60 |
| Profondità del foro (m) | 2.00 |
| Sporgenza testa tubo rivestimento (m) | 0.60 |
| Coefficiente di forma C_L | 0.50 |



*Valori compresi tra circa 1/4 e 3/4 dell'abbassamento totale (Beers,

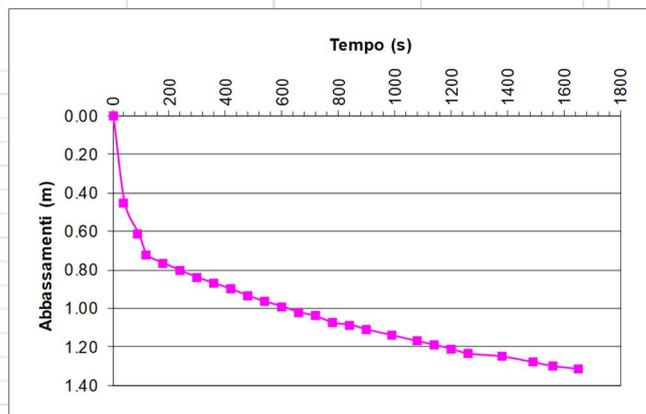


Grafico 1

PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC A CARICO VARIABILE

Località: Besana in Brianza (MB), loc. Calò

Data: 19/08/2021

Committente:

SONDAGGIO: S1 PROVA: L2

| Tempo (s) | livello da bocca foro (m) | h (altezza livello da livello falda o fondo foro) | Permeabilità K (m/s) |
|-----------|---------------------------|---|----------------------|
| 0 | 0.00 | 6.10 | |
| 30 | 0.04 | 6.06 | 6.63E-06 |
| 60 | 0.08 | 6.02 | 6.67E-06 |
| 120 | 0.14 | 5.96 | 5.05E-06 |
| 180 | 0.20 | 5.90 | 5.10E-06 |
| 240 | 0.26 | 5.84 | 4.89E-06 |
| 360 | 0.37 | 5.73 | 4.92E-06 |
| 480 | 0.47 | 5.63 | 4.57E-06 |
| 600 | 0.58 | 5.53 | 4.61E-06 |
| 720 | 0.66 | 5.44 | 3.91E-06 |
| 840 | 0.74 | 5.36 | 3.87E-06 |
| 960 | 0.84 | 5.26 | 4.60E-06 |
| 1080 | 0.90 | 5.20 | 3.08E-06 |
| 1200 | 0.98 | 5.12 | 3.71E-06 |
| 1320 | 1.05 | 5.05 | 3.47E-06 |
| 1440 | 1.13 | 4.98 | 3.77E-06 |
| 1560 | 1.188 | 4.91 | 3.21E-06 |
| 1680 | 1.270 | 4.83 | 4.24E-06 |
| 1800 | 1.320 | 4.78 | 2.62E-06 |
| 1920 | 1.385 | 4.72 | 3.45E-06 |
| 2040 | 1.450 | 4.65 | 3.50E-06 |

| | |
|---|---------|
| Diametro del foro (m) | 0.152 |
| Area del foro (mq) | 0.01814 |
| Lunghezza del tratto filtrante (m) | 0.60 |
| Altezza iniz. acqua da livello falda o fondo foro (m) | 6.10 |
| Profondità del foro (m) | 5.50 |
| Sporgenza testa tubo rivestimento (m) | 0.60 |
| Coefficiente di forma C_L | 0.60 |

Permeabilità media* (m/s): 3.44E-06

*Valori compresi tra circa 1/4 e 3/4 dell'abbassamento totale (Beers,

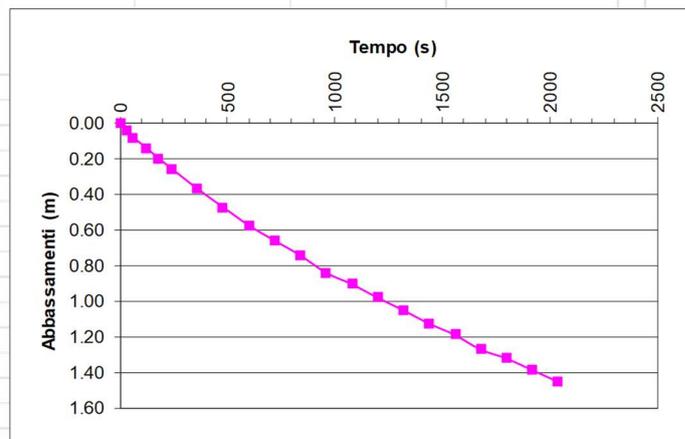
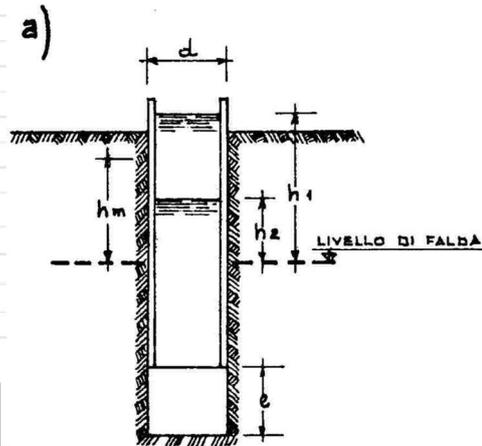


Grafico 2

3.1.3. Prove di laboratorio

3.1.3.1 Analisi granulometriche e limiti di Atterberg

A integrazione della precedente campagna di indagine, nella presente campagna d'indagine sono stati prelevati n.8 campioni di terreno indisturbati, sottoposti ad analisi granulometrica e limiti di Atterberg, la profondità di prelievi ed i risultati dell'analisi sono riassunti nella tabella seguente:

| Tipo di campione | | rimaneggiato | rimaneggiato |
|-------------------------------------|----------|--|--------------------------|
| Certificato | | 210223-c1 | 210223-c2 |
| Sondaggio | | S1 | S1 |
| Campione | | C1 | C2 |
| Profondità da p.c. | | 0,7 - 1,2 | 5,0-5,5 |
| Profondità da ± 0.00 | | | |
| Ghiaia | % | 36.78 | 46.09 |
| Sabbia | % | 37.45 | 36.22 |
| Limo | % | 18.88 | 14.87 |
| Argilla | % | 7.31 | 2.8 |
| Denominazione | AGI | sabbia con ghiaia limosa deb argillosa | ghiaia con sabbia limosa |
| classificazione HRB / CNR UNI 10006 | - | A ₂₋₄ | A _{1-b} |
| classificazione USCS / ASTM | - | SM/SC | GM/GC |
| Peso specifico medio | g/cm^3 | | |
| Contenuto volumetrico medio d'acqua | % | 5.5 | 8.5 |
| Peso di volume naturale | g/cm^3 | 1.70 | 1.70 |

Tabella 4 – analisi granulometriche riepilogo dei dati principali

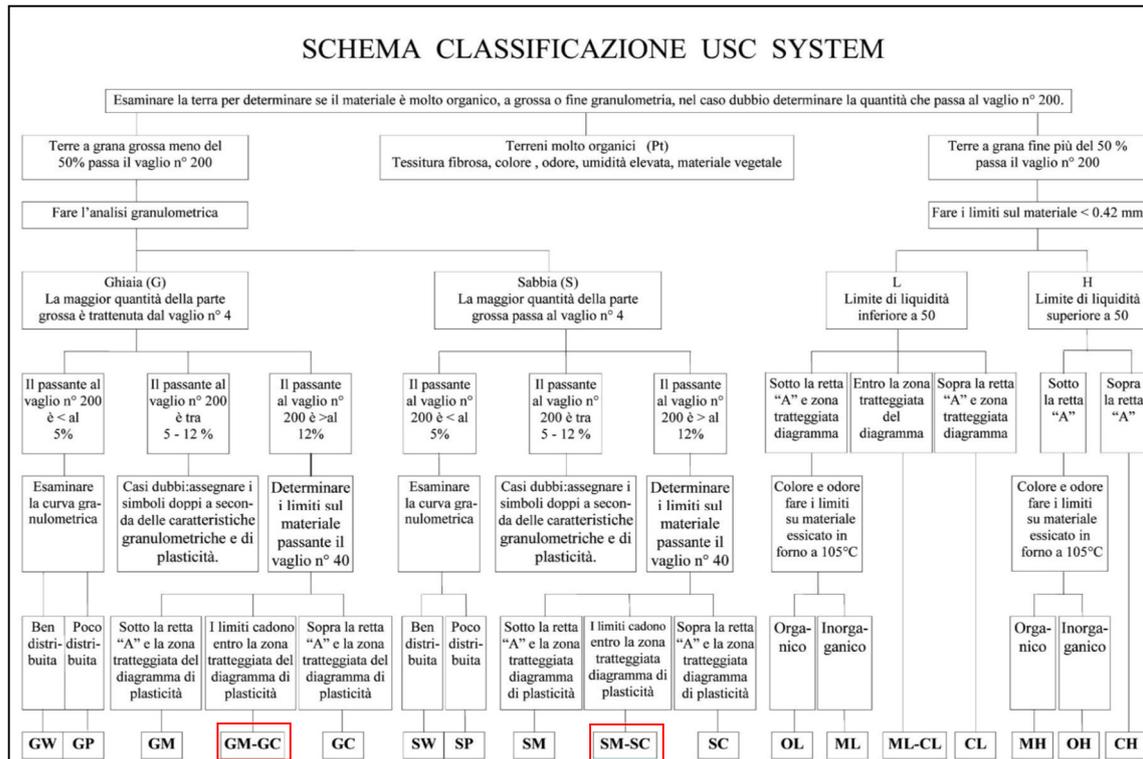


Figura 18: Classificazione USCS

SCHEMA CLASSIFICAZIONE UNI CNR 10006

| Classificazione delle terre | Terre Ghiaio-Sabbiose passante allo staccio 0.075 ≤ 35% | | | | | | Terre Limo Argillose passante allo staccio 0.075 > 35% | | | | Torbe | | |
|---|---|-------|----------------|------------------------------------|------------------------|------|---|----------------------------|----------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|------------------------|------|
| | A1 | | A3 | A2 | | | A4 | A5 | A6 | A7 | | A8 | |
| Gruppo | A1-a | | A1-b | A2-4 | | | A2-5 | A2-6 | A2-7 | | A7-5 | A7-6 | |
| Granulometria Frazione passante allo staccio: | | | | | | | | | | | | | |
| 2.000 mm | ≤ 50 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 0.400 mm | ≤ 30 | ≤ 50 | > 50 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 0.075 mm | ≤ 15 | ≤ 25 | ≤ 10 | ≤ 35 | ≤ 35 | ≤ 35 | ≤ 35 | > 35 | > 35 | > 35 | > 35 | > 35 | |
| Caratteristiche frazione < 0.4 mm | | | | | | | | | | | | | |
| Limite liquido | - | - | ≤ 40 | > 40 | ≤ 40 | > 40 | ≤ 40 | > 40 | ≤ 40 | > 40 | ≤ 40 | > 40 | > 40 |
| Indice plastico | ≤ 6 | n. p. | ≤ 10 | ≤ 10 max | > 10 | > 10 | ≤ 10 | ≤ 10 | ≤ 10 | > 10 | > 10 | > 10 | > 10 |
| Indice di gruppo | 0 | | 0 | 0 | | | ≤ 4 | ≤ 8 | ≤ 12 | ≤ 16 | ≤ 20 | | |
| Terre tipiche del gruppo | ghiaia, ghiaia sabbiosa sabbia grossa, pomice scorie vulcaniche | | sabbia fine | ghiaia e sabbia limosa o argillosa | | | limi poco compressibili | limi fortem. compressibili | argille poco compressibili | argille fortem. mediamente plastiche | compres. fortemente plastiche | Torbe recenti o remote | |
| Qualità portanti del terreno in assenza del gelo | da eccellente a buona | | | | da mediocre a scadente | | da mediocre a scadente | | | | da scartare come sottofondo | | |
| Azione del gelo sulle qualità portanti | nessuna o lieve | | media | | | | molto elevata | media | elevata | media | | | |
| Ritiro o rigonfiamento | nullo | | nulla o lieve | | | | lieve o medio | elevato | elevato | molto elevato | | | |
| Permeabilità | elevata | | media o scarsa | | | | media o scarsa | scarsa o nulla | | | | | |

Figura 19: Classificazione dei Terreni HRB (AASHTO UNI CNR 10006) solitamente usata nel campo delle costruzioni stradali

3.2. Prove penetrometriche dinamiche

Le prove penetrometriche sono state eseguite secondo i criteri standardizzati normalmente in uso, impiegando un penetrometro semovente superpesante (DPSH) tipo "Meardi AGI", avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- Peso del maglio: 73 kg
- Altezza di caduta: 75 cm
- Diametro della punta: 51 mm
- Conicità della Punta: 60°

Le prove sono state effettuate circa alla stessa quota, con uno scarto ridotto l'una dall'altra, le verticali d'indagine sono state arrestate alle seguenti profondità:

- P1 a 3,6 m dal p.c. per rifiuto;
- P2 a 3.0 m dal p.c. per rifiuto.

Le profondità indagate sono sufficienti ad acquisire i dati necessari alla risoluzione delle problematiche geotecniche inerenti all'intervento in esame.

I diagrammi penetrometrici ottenuti sono riportati in allegato, i grafici delle prove indicano in ascissa il numero di colpi necessario per far avanzare la punta di 30 cm (N_{SPT}), in ordinata invece la profondità di avanzamento della punta (m).

3.3. Risultati dell'indagine – Unità litotecniche

La caratterizzazione del sottosuolo viene effettuata mediante l'interpretazione dei diagrammi penetrometrici, alla luce della storia geologica che ha interessato l'area di indagine, nonché della composizione litologica del materiale, informazioni dedotte dalle fonti di seguito allegate:

- carta geologica della Lombardia 1:250.000 del Servizio Geologico Nazionale;
- studio geologico Comunale;
- indagini eseguite;

Dall'interpretazione delle prove sono state definite due unità litotecniche contraddistinte da differenti caratteristiche geotecniche. Di seguito vengono riportate le verticali indagate e le profondità delle diverse unità rispetto al piano campagna:

PRIMO STRATO $N_{30} 5 \div 6 * N_{SPT} 6$

Si tratta dell'orizzonte superficiale più compressibile, incontrato in entrambe le prove per uno spessore di circa 1.5/1.8 m che si approfondisce fino a circa 6 m nel sondaggio. Si tratta superficialmente di un terreno di coltivo localmente rimaneggiato passante sa sabbie e ghiaie in matrice limosa, la frazione fine tende a ridursi in profondità, passando dal 25% al 20%.

Litologicamente è costituito da materiale fine a prevalente componente sabbiosa-limosa.

Presenta un grado di addensamento medio basso, ascrivibile alle categorie inferiori, definibile come "sciolto / mediamente addensato" (Clayton 1995).

SECONDO STRATO $N_{30} >20 * N_{SPT} 50$

Litologicamente si differenzia rispetto al terreno soprastante per via di una riduzione della frazione fine, sempre presente tra il 15 - 20% ed un marcato incremento del grado addensamento. Si tratta di un deposito fluviale / fluvioglaciale composto da sabbie e ghiaie con matrice limosa in subordine (sabbia con ghiaia limosa / ghiaia con sabbia limosa)

Presenta un grado di addensamento medio elevato, ascrivibile alle categorie superiori, definibile come “addensato / molto addensato” (Clayton 1995).

TERZO STRATO N_{SPT} 22

Individuato nel solo sondaggio oltre gli 8.4m di profondità, fino a 10.1m, si differenzia per un cambio litologico evidente. Attribibile ad una riduzione di energia del corso d’acqua che ha favorito il deposito di sabbie fini con poca ghiaia passante a limi anche localmente argillosi, compatti.

Presenta un grado di addensamento inferiore rispetto alla soprastante unità, si tratta comunque di un deposito “mediamente addensato / consistete” (Clayton 1995).

QUARTO STRATO N_{SPT} R

Rinvenuto oltre i 10 m di profondità si tratta di sabbie ghiaie cementate associabili al ceppo.

La tabella riporta la distinzione delle unità litotecniche individuate:

| | P1 | P2 | S1 | Litozona |
|------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------|
| | N₃₀ | N₃₀ | N_{SPT} | |
| 0.3 | 3 | 3 | | |
| 0.6 | 8 | 3 | | 1 |
| 0.9 | 9 | 4 | | 2 |
| 1.2 | 11 | 5 | | 3 |
| 1.5 | 4 | 6 | 6 | 4 |
| 1.8 | 8 | 9 | | |
| 2.1 | 15 | 24 | | |
| 2.4 | 19 | 29 | | |
| 2.7 | 24 | 34 | | |
| 3.0 | 36 | 100 | | |
| 3.3 | 50 | | | |
| 3.6 | 100 | | | |
| 3.9 | | | | |
| 4.2 | | | | |
| 4.5 | | | 6 | |
| 4.8 | | | | |
| 5.1 | | | | |
| 5.4 | | | | |
| 5.7 | | | | |
| 6.0 | | | | |
| 6.3 | | | | |
| 6.6 | | | | |
| 6.9 | | | | |
| 7.2 | | | | |
| 7.5 | | | 58 | |
| 7.8 | | | | |
| 8.1 | | | | |
| 8.4 | | | | |
| 8.7 | | | | |
| 9.0 | | | 22 | |
| 9.3 | | | | |
| 9.6 | | | | |
| 9.9 | | | | |
| 10.2 | | | | |
| 10.5 | | | 100 | |

Tabella 5

4. PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE – SECONDO LIVELLO

4.1. Condizioni litologiche

Per le condizioni litologiche andrà attribuita una specifica categoria di suolo (previa esecuzione di specifiche indagini), tra quelle definite dalla tabella 3.2.II delle NTC 2018 ripresa di seguito, sulla base del profilo di Vs. I valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche. La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

h_i = spessore dell'i-esimo strato;

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

N = numero di strati;

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

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II. (cfr *Tabella 9*)

Dall'indagine HVSR condotta presso l'area in oggetto è emerso un valore di V_{S30} pari a 474 m/s propria di un terreno di categoria "B".

Pericolosità Sismica Locale – Secondo Livello Componente Geologica PGT

Per i Comuni Lombardi che ricadono in Zona sismica 3, la D.G.R. 30 novembre 2011 – n. IX/2016 prevede di condurre un ulteriore approfondimento sismico denominato "*secondo livello di approfondimento*".

Il suddetto approfondimento consiste nel valutare, in termini di contenuti energetici, se il fattore di amplificazione "Fa" ottenuto da specifiche schede che descrivono i caratteri sito specifici dell'area (in termini di caratteri litologici, profondità del *bedrock* sismico, profilo delle onde di taglio "Vs" e periodo proprio del sito "T") è superiore o inferiore di quello proposto dalla Regione Lombardia (in funzione della categoria di suolo e del periodo) a cui si rifanno gli spettri della normativa nazionale (cfr. *Tabella 6*). Di seguito è riportata la tabella per valori di "Fa" che fanno riferimento all'intervallo di periodo compreso tra 0.1 – 0.5 secondi, ossia l'intervallo che si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide e all'intervallo di periodo compreso tra 0.5 – 1.5 secondi, ossia l'intervallo che si riferisce a strutture piuttosto alte con un numero di piani fuori terra maggiore di 5:

| Comune | Intervallo Fa | Valori soglia | | | |
|--------------------|---------------|---------------|-----|-----|-----|
| | | B | C | D | E |
| BESANA IN BRIANZA | 0.1 - 0.5 | 1.4 | 1.8 | 2.2 | 2.0 |
| BESANZA IN BRIANZA | 0.5 - 1.5 | 1.7 | 2.4 | 4.2 | 3.1 |

Tabella 6 - Soglie fornite dalla Regione Lombardia per Comune di Besana in Brianza

Valutazione dell'amplificazione litologica del sito

Sulla base delle caratteristiche geologiche/litologiche dell'area, si individua la litologia prevalente presente nel sito e per questa si sceglie la relativa scheda di valutazione di riferimento.

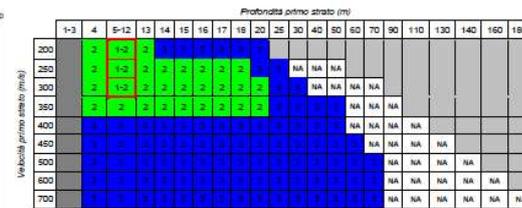
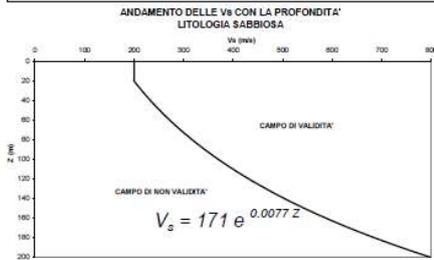
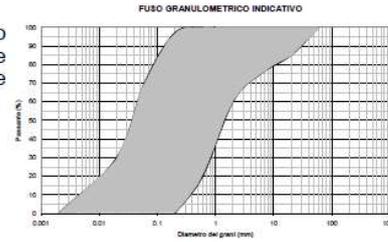
Come primo approccio è stato confrontato il profilo delle Vs con la scheda per le litologie ghiaiose, tuttavia per questa granulometria il profilo rientrava nel campo della NON VALIDITÀ. È stata quindi cambiata scheda ed è stata scelta quella relativa alle litologie SABBIOSE della DGR 2616/2011 (cfr. **Figura 20**), la curva ottenuta rientra completamente nel profilo della validità della scheda SABBIOSA.

EFFETTI LITOLGICI – SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA

PARAMETRI INDICATIVI

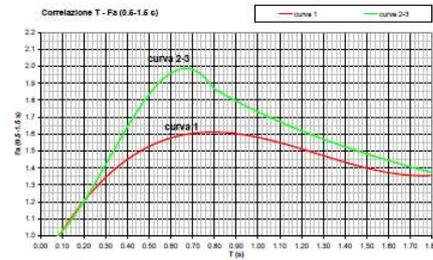
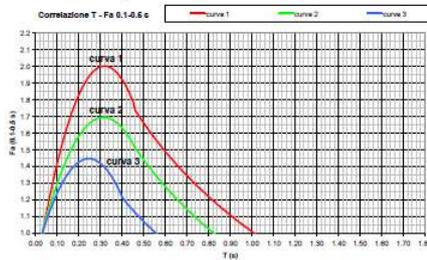
GRANULOMETRIA:
Da sabbia con ghiaia e ciottoli a limo e sabbia passando per sabbie ghiaiose, sabbie limose, sabbie con limo e ghiaia, sabbie limose debolmente ghiaiose, sabbie ghiaiose debolmente limose e sabbie

NOTE:
Comportamento granulare
Struttura granulo-sostenuta
Clasti con $D_{max} > 20$ cm inferiori al 15%
Frazione ghiaiosa inferiore al 25%
Frazione limosa fino ad un massimo del 70%



ove
la sigla NA indica $Fa = 1$

il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1
CONDIZIONE: strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media V_s minore o uguale a 300 m/s poggiate su strato con velocità maggiore di 500 m/s



| Curva | Tratto polinomiale | Tratto logaritmico | Tratto rettilineo |
|-------|--|---|-------------------------------------|
| 1 | $0.03 \leq T \leq 0.50$ $Fa_{0.1-0.5} = -12.21 T^2 + 7.79 T + 0.76$ | $0.50 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.01 - 0.94 \ln T$ | $T > 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$ |
| 2 | $0.03 \leq T \leq 0.45$ $Fa_{0.1-0.5} = -8.65 T^2 + 5.44 T + 0.84$ | $0.45 \leq T \leq 0.80$ $Fa_{0.1-0.5} = 0.93 - 0.88 \ln T$ | $T > 0.80$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$ |
| 3 | $0.03 \leq T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -9.66 T^2 + 4.77 T + 0.86$ | $0.50 < T \leq 0.55$ $Fa_{0.1-0.5} = 0.62 - 0.65 \ln T$ | $T > 0.55$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$ |

| Curva | |
|-------|---|
| 1 | $0.08 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 0.57 T^3 - 2.16 T^2 + 2.38 T + 0.61$ |
| 2 | $0.08 \leq T < 0.80$ $Fa_{0.5-1.5} = -6.11 T^3 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$ |
| 3 | $0.80 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 1.73 - 0.61 \ln T$ |

Figura 20: Scheda effetti litologici – litologia sabbiosa

Scelta della curva T-Fa

Nel caso in esame, in virtù del p.to di acquisizione dell'indagine sono stati scartati i primi tre metri di profondità del profilo di Vs.

$$V_s \text{ HVSR} - \text{Primo strato: } (330 \times 7.50) / 7.50 = 330 \text{ m/s}$$

| | | Profondità primo strato (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----|-----------------------------|---|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|--|
| | | 1-3 | 4 | 5-12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 90 | 110 | 130 | 140 | 160 | 180 | | | |
| Velocità primo strato (m/s) | 200 | | 2 | 1-2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 250 | | 2 | 1-2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | NA | NA | NA | | | | | | | | | | |
| | 300 | | 2 | 1-2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | NA | NA | NA | NA | | | | | | | | | |
| | 350 | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | NA | NA | NA | | | | | | | | |
| | 400 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | NA | NA | NA | NA | | | | | | |
| | 450 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | NA | NA | NA | NA | | | | | |
| | 500 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | NA | NA | NA | NA | | | | |
| | 600 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | NA | NA | NA | NA | NA | | | |
| 700 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | | | |

Figura 21: Matrice per la scelta della curva più appropriata per il calcolo del fattore di amplificazione – Scheda Litologia sabbiosa.

Calcolo del periodo proprio del sito

A questo punto si calcola il periodo proprio del sito considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è uguale o superiore a 800 m/s con la seguente formula:

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

Prima Fase: verifica della congruità dell'andamento delle Vs con la scheda individuata.

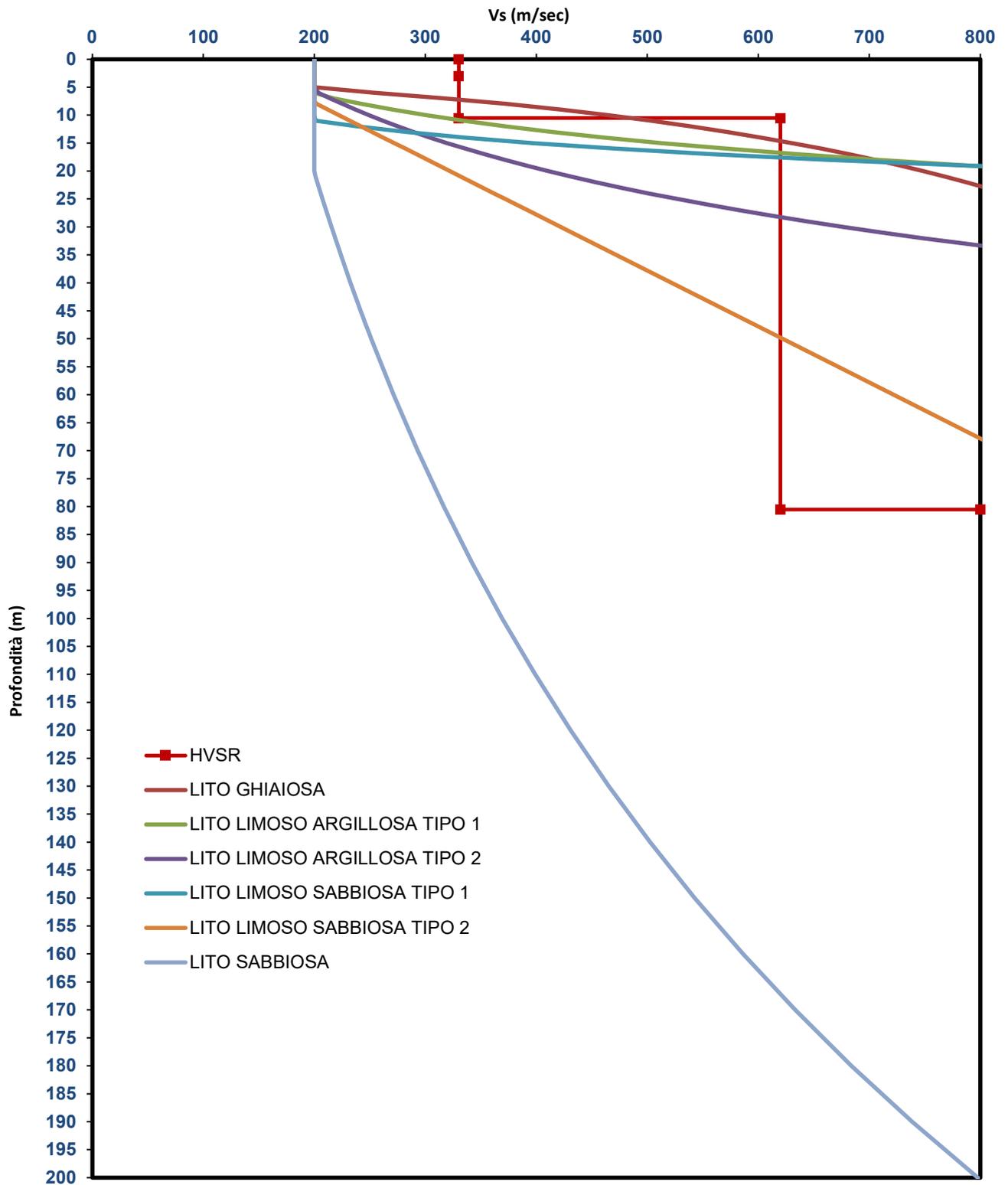


Figura 22: Profilo delle Vs con la profondità

Nel caso in esame, non essendo stato raggiunto il valore di 800 m/s, è stato estrapolato un gradiente di crescita dal profilo delle Vs fino al raggiungimento degli 800 m/s.

| da [m] | a [m] | Vs [m/s] | Hi [m] | Vsi x Hi [m ² /s] |
|--------|-------|----------|----------|------------------------------|
| 0 | 3 | 330 | 3 | 990 |
| 3 | 10.5 | 330 | 7.5 | 2475 |
| 10.5 | 80.5 | 620 | 70 | 43400 |
| 80.5 | | 800 | | |
| | | Σ | 77.5 | 45875 |
| | | | T | 0.5237 |

*IN AZZURRO TRATTO DA ASPORTARE PER L'IMPOSTA DELLE FONDAZIONI
*IN VERDE EVENTUALE TRATTO INTERPOLATO FINO A 800 M/S

Tabella 7: Calcolo di T – HVSR

Inserendo tale valore nei grafici di correlazione T-Fa si ricavano i seguenti valori di Fa per intervalli di periodo tra 0.1-0.5 s.

| Sabbiosa | | | | | | |
|-----------|--|-------------|----------------------------|-------------|-------------------|-------------|
| Fa0.1-0.5 | | | | | | |
| Curva | Tratto polinomiale | Fa | Tratto logaritmico | Fa | Tratto rettilineo | Fa |
| 1 | | | | | | |
| 2 | 0.03 ≤ T ≤ 0.45 | | 0.45 < T ≤ 0.80 | | T > 0.80 | |
| | Fa0.1-0.5 = -8.65T ² + 5.44T + 0.84 | 1.32 | Fa0.1-0.5 = 0.83 - 0.88LnT | 1.40 | Fa0.1-0.5 = 1.00 | 1.00 |
| 3 | | | | | | |

Tabella 8: Valore di Fa

Confronto con i valori soglia calcolati dalla Regione

I valori così ottenuti sono stati paragonati ai valori di riferimento forniti dalla Regione Lombardia, e validi per il Comune di Besana in Brianza.

Il valore soglia calcolati dalla Regione per un suolo di tipo B (categoria di suolo di determinata con l'indagine HVSR), ripreso dalla **Tabella 6**, è pari a 1.4:

$$Fa \text{ calcolato} = 1.4 = Fa \text{ soglia cat. B} = 1.4$$

Il valore di Fa calcolato è uguale al valore di soglia di riferimento per un sottosuolo di tipo B, pertanto per l'area in esame è possibile affermare che lo spettro di normativa NON è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica. Pertanto la categoria di suolo verrà declassata dalla categoria B alla categoria C.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

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

Tabella 9

4.2. Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche invece se ci si trova davanti a condizioni complesse sarà necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni semplici si può adottare la seguente classificazione riportata in tabella 3.2.III – NTC 2018.

Le categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30m.

Nel caso in esame considerato il contesto pianeggiante, la categoria di appartenenza è la "T1".

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

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

Tabella 10

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella Tab. 3.2.V, in funzione delle categorie topografiche definite in precedenza oltre naturalmente all'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

| Categoria topografica | Ubicazione dell'opera o dell'intervento | S_T |
|-----------------------|---|-------|
| T1 | - | 1,0 |
| T2 | In corrispondenza della sommità del pendio | 1,2 |
| T3 | In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30° | 1,2 |
| T4 | In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30° | 1,4 |

Tabella 11

PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA (§2.4.3 NTC 18)

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U (se $V_R \leq 35$ anni si pone comunque $V_R = 35$ anni):

$$V_R = V_N \times C_U = 50$$

Dopo aver raccolto tutti i dati (fattore di struttura etc.) ed aver determinato la categoria di sottosuolo, si potrà procedere con il calcolo dell'azione sismica e la determinazione dei seguenti parametri sismici: K_h , K_v e A_{max} , in funzione dello stato limite di riferimento.

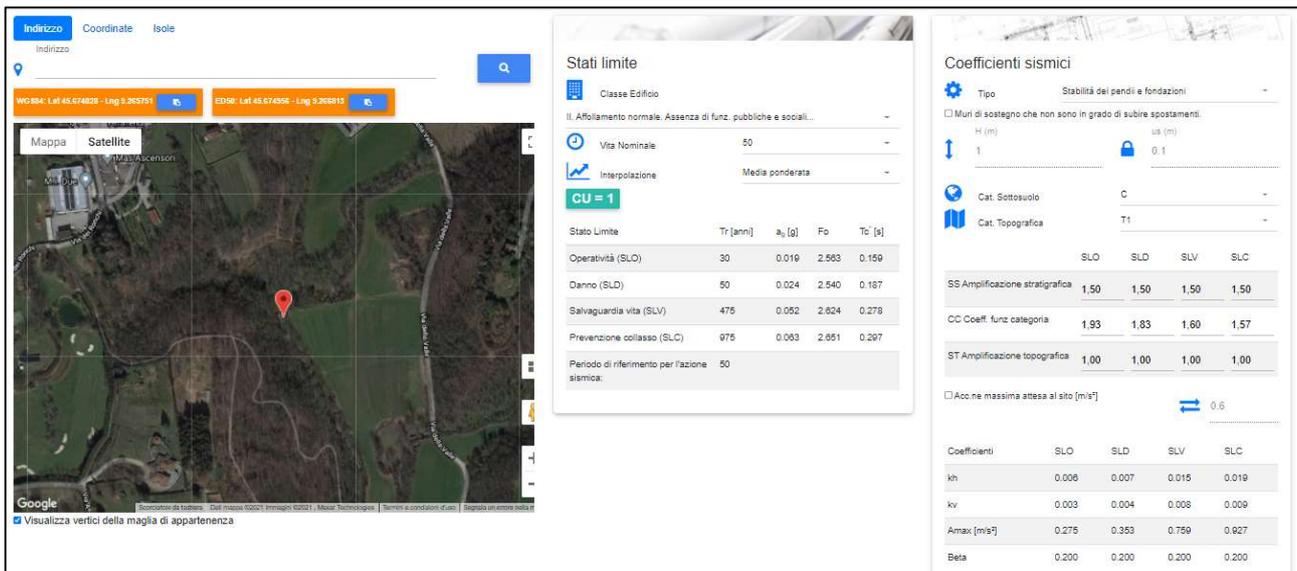


Figura 23: parametri sismici (www.geostru.com)

4.3. Valutazione del coefficiente di sicurezza nei confronti della liquefazione

Il § 7.11.3.4.1 delle NTC 18 “Generalità” si afferma che:

Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate. Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione. In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

Al § 7.11.3.4.2 vengono indicate le condizioni per il quale, al verificarsi di almeno una di queste, può essere omessa la verifica a liquefazione:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa.
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

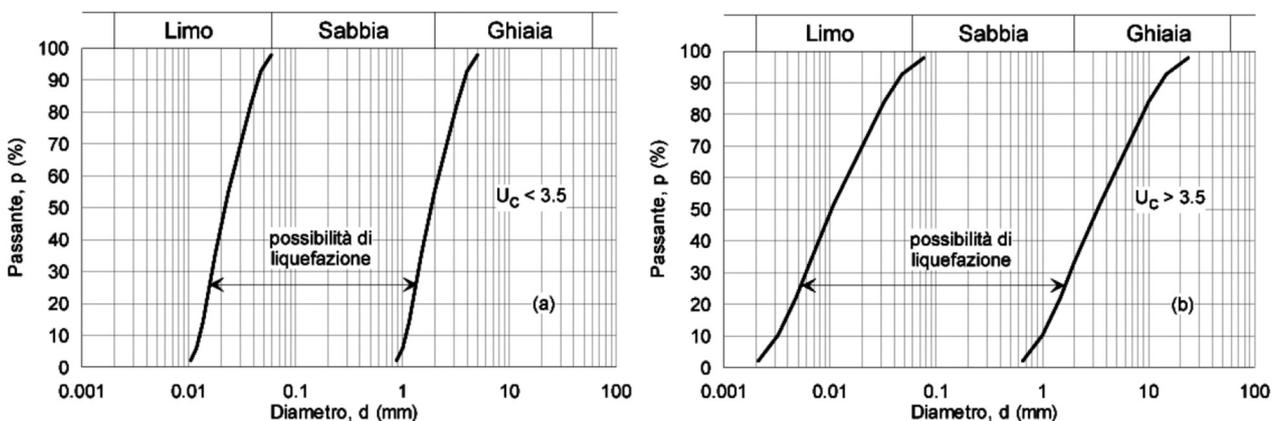


Figura 24: fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione (figura 7.11.1 NTC 2008)

Quando la condizione 1 non risulta soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2, 3 e 4.

Visto il verificarsi delle seguenti condizioni:

- l'accelerazione orizzontale massima $a_g < 0,1$;
- il fuso granulometrico;

È possibile affermare che non sussistono le condizioni di suscettibilità alla liquefazione.

5. SUSCETTIBILITÀ AL FENOMENO DEGLI OCCHI POLLINI

Per quanto concerne il fenomeno degli occhi pollini, secondo le valutazioni riportate dal PTCP l'area in oggetto ricade tra le aree ad alta suscettività al fenomeno.

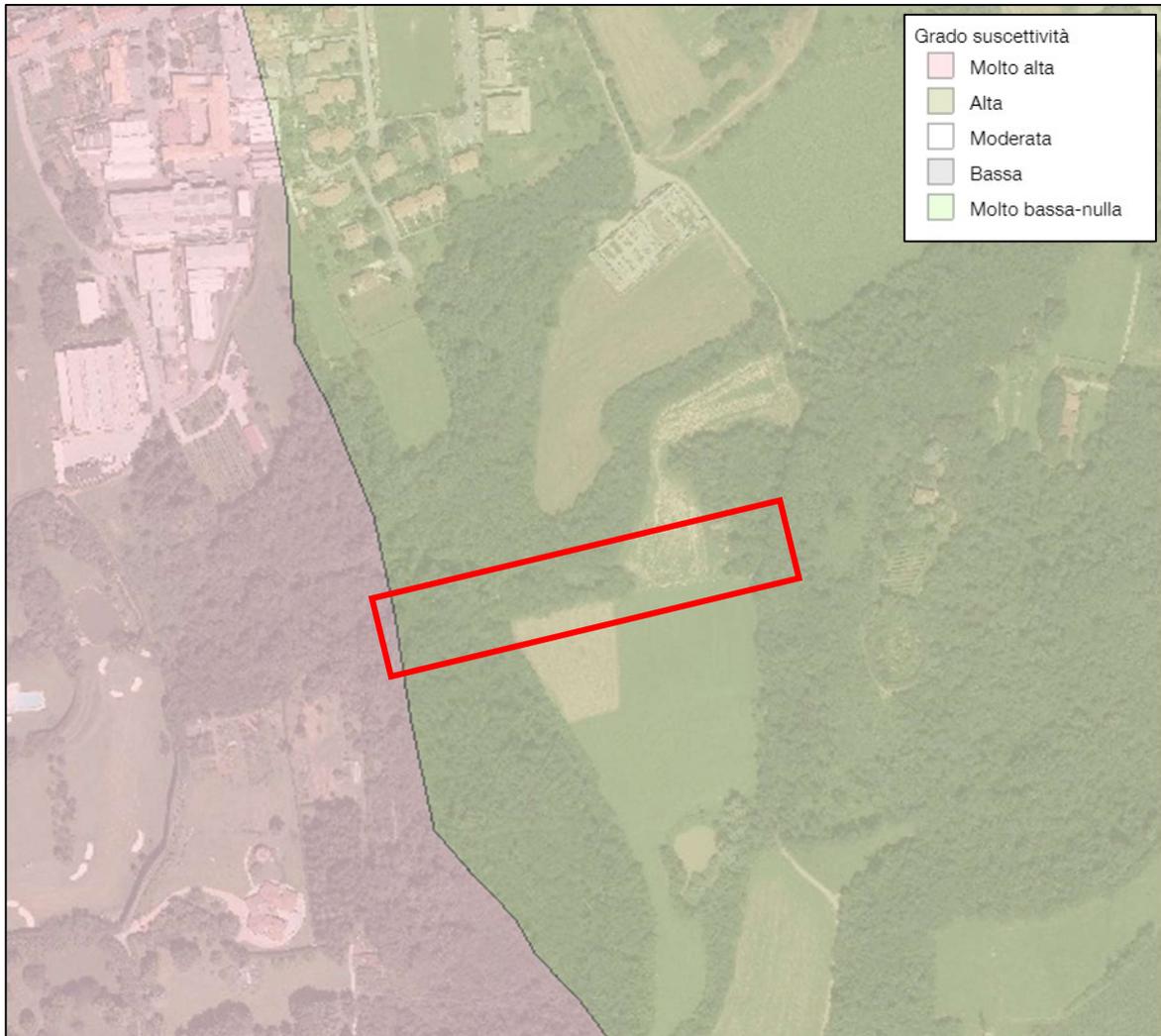


Figura 25 - stralcio della carta della suscettività al fenomeno degli occhi pollini (da Geoportale Regione Lombardia)

Di seguito le linee guida indicate dal PTCP.

| FENOMENO DEGLI OCCHI POLLINI - LINEE GUIDA |
|--|
| <p>OBIETTIVI DI INDAGINE</p> <ul style="list-style-type: none"> • determinare la presenza di "occhi pollini" o della loro possibile formazione al fine di limitare i possibili danni o interferenze con l'attività umana e la possibile veicolazione di sostanze inquinanti nel sottosuolo; • suggerite misure efficaci e concretamente realizzabili, onde evitare aggravii di tempi e costi durante la realizzazione delle infrastrutture. |
| <p>CONSIDERAZIONI GENERALI PER LE CAMPAGNE DI INDAGINE</p> <ul style="list-style-type: none"> • occhi pollini di dimensioni molto ridotte possono ingrandirsi successivamente alla realizzazione di un intervento; • le cavità possono essere parzialmente o totalmente riempite di materiale di crollo e/o sedimenti derivanti dalla circolazione idrica sotterranea, rendendo più difficile la ricerca della loro presenza. |
| <p>METODI DI INDAGINE</p> <p><u>Prove penetrometriche:</u> benché siano uno tra i metodi più usati per la caratterizzazione geotecnica dei terreni, non sono indagini indicate per determinare la presenza di "occhi pollini". Esse non consentono di definire con sufficiente precisione la presenza e lo sviluppo del reticolo di cavità all'interno del terreno dato che la maglia con cui vengono normalmente eseguite non può fornire la distribuzione areale delle cavità stesse, né risulta economicamente conveniente eseguire prove penetrometriche in numero sufficiente a questo scopo.</p> <p><u>Indagini geofisiche:</u> sono quelle che meglio possono essere utilizzate per l'individuazione e mappatura di vuoti nel sottosuolo; il georadar e la tomografia elettrica 2D e 3D sono tra quelle che meglio si adattano allo scopo.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Il <u>georadar</u>, ha il vantaggio di essere di facile e veloce impiego e di avere costi contenuti, di contro presenta limiti di impiego in terreni ricchi di argilla quali quelli in cui tipicamente si formano gli occhi pollini. Infatti la capacità di penetrazione del georadar in questi terreni è molto limitata, mentre gli occhi pollini si formano spesso in profondità. A tal proposito può essere adottata la tecnica georadar a fondo scavo in modo da aumentare la profondità di investigazione. • La <u>tomografia elettrica</u>: consente una maggiore penetrazione in profondità e risoluzione sebbene l'esecuzione di questo tipo di indagine sia più onerosa. <p><u>Limiti di impiego:</u> le indagini geofisiche hanno lo svantaggio di avere una risoluzione minima che può essere superiore al diametro delle condotte. Inoltre, nel caso in cui gli "occhi pollini" fossero riempiti totalmente di sedimenti che hanno caratteristiche simili a quello in cui l'occhio pollino si forma, la cavità potrebbe non essere riconosciuta in quanto non ci sono grandi differenze di resistività tra la litologia ospitante l'occhio pollino e il riempimento.</p> |
| <p>PREVENZIONE E GESTIONE</p> <p>La circolazione di acqua nel sottosuolo è uno dei fattori fondamentali nella formazione degli occhi pollini. Nelle aree in cui risulta esserci una probabilità alta e molto alta al fenomeno degli occhi pollini deve essere prestata la massima attenzione nello smaltimento delle acque nel terreno. In queste zone deve essere evitato l'uso dei pozzi perdenti in quanto l'immissione di acqua a seguito di precipitazioni può innescare il fenomeno e/o contribuire in modo sostanziale alla sua accentuazione, aumentando quindi la probabilità di avere danni alle opere.</p> <p>E' da evitare di usare gli "occhi pollini" come pozzi perdenti naturali in cui convogliare le acque di scarico. Infatti gli "occhi pollini" si ingrandiscono a ogni nuova venuta d'acqua e quindi questa tecnica porterebbe ad una evoluzione molto rapida delle cavità con seri pericoli per le opere.</p> |

6. MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Dalle prove penetrometriche, sono stati ricavati i parametri geotecnici corrispondenti alle diverse unità litotecniche precedentemente identificate, anche in funzione dei caratteri geologici dell'area.

| Strato | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------------|-------|-------|-------|----------|
| N_{DP} | 3-6 | 30-60 | 22 | > 50 – R |
| $N_{30 (60\%)}$ | 5-7 | 50 | 22 | > 50 – R |
| $N_{SPT N}$ | 12 | 50 | 18 | > 50 – R |
| $Dr_{(k)} (\%)$ | 35 | 60 | 50 | > 60 |
| $\gamma (Kn/m^3)$ | 17 | 19 | 19 | 22 |
| $\varphi_{PC (k)} (^\circ)$ | 32,90 | 36,40 | 35,00 | 36,40 |
| $\varphi_{R (k)} (^\circ)$ | 30,98 | 36,40 | 34,50 | 36,40 |
| $c (kg/cm^2)$ | - | - | - | - |
| $E (kg/cm^2)$ | 80 | 430 | 190 | 518 |

Tabella 12

- N_{DP} = resistenza penetrometrica misurata per ogni 30 cm di avanzamento della punta (colpi/piede) della prova penetrometrica con penetrometro dinamica tipo "Meardi-AGI".
- $N_{(60\%)}$ = resistenza penetrometrica dinamica corretta rispetto:
 - al rendimento del sistema di battitura (73-74% secondo dati ISMES);
 - alla profondità
 - al rapporto $N_{SCPT} / N_{SPT} = 0,6$ proposto dallo S.G.I. (Cestari 1996);
- $N_1 (60\%) = N_{(60\%)}$ normalizzato rispetto alla tensione litostatica efficace secondo la formula $N_1 = N_{SPT} \cdot \sqrt{(\sigma_p / \sigma'_{vo})}$ Liao e Whithman (1986);
- Dr = densità relativa (%), ricavata in base al metodo di Skempton per sabbie fini(65) = $N_{SPT N} / Dr^2$;
- γ = peso di volume naturale del terreno (kN/m^3), stimato nell'ambito degli usuali intervalli di variazione compatibili con la natura granulometrica ed il grado di addensamento;
- γ' = peso di volume naturale del terreno (kN/m^3) γ , in termini di sforzi efficaci;
- φ_{PC} = angolo di attrito di picco è ricavato le correlazioni proposte da Schmertmann (1978) in funzione di Dr e della litologia.
- φ_R = angolo di attrito ridotto che tiene in considerazione del basso grado di addensamento che può far temere l'insorgere di grandi deformazioni prima ancora del raggiungimento della secondo Vesic (1970).
- c = coesione (kg/cm^2) parametro difficilmente stimabile con le prove penetrometriche, viene assegnato un valore modesto unicamente sulla base della tipologia di materiale presente.
- E = modulo di elasticità (kg/cm^2), calcolato in base alla relazione generica il cui valore numerico dipende dal valore di resistenza penetrometrica e dalla frazione granulometrica dominante (da bowles - fondazioni). Per i valori dei moduli di deformazione E non si applica il 5° percentile, bensì la mediana, poiché non si è in presenza nè di azioni A , nè di resistenze R .
- x_k = i valori contraddistinti dal pedice k sono da intendersi caratteristici, ovvero determinati secondo la seguente formula

$$= X_k = X_{mean} - (1 + k_n \cdot V_x)$$
 dove:

- X_{mean} : valore medio;
- V_x : deviazione standard / media;
- k_n : -1.645;

l'EC7 fissa, per i parametri della resistenza al taglio, una probabilità di non superamento del 5%, alla quale corrisponde, per una distribuzione di tipo gaussiano.

7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'area oggetto di studio si colloca in loc. Calò a Besana Brianza (MB), in un contesto di pianure fluvio-glaciali, ad una quota di circa 240 m s.l.m. L'area in oggetto non è interessata da vincoli di carattere geologico.

Caratteri Sismici del sito:

- con Delibera di Giunta Regionale dell'11 luglio 2014 - n. X/2129, la Regione Lombardia ha provveduto all'aggiornamento delle zone sismiche. Il Comune di Besana Brianza è stato inserito in Zona Sismica 3;
- lo scenario di pericolosità sismica locale attribuito in sede di PGT è "Z4a";
- a seguito dell'approfondimento sismico di secondo livello condotto la categoria di suolo da utilizzare in fase di progettazione è la "C" mentre la categoria topografica è la T1

L'ambito d'intervento ricade in Classe di fattibilità 3c, aree ad elevata vulnerabilità degli acquiferi / 4b aree di laminazione del rio Brovada.

L'ambito d'intervento ricade in Classe di fattibilità 3c, aree ad elevata vulnerabilità degli acquiferi e Classe di fattibilità 4.

L'intervento in progetto è compatibile con le limitazioni previste dalla classe di fattibilità geologica.

In merito all'interferenza dell'opera con il fenomeno degli occhi pollini si rileva che le indagini geognostiche eseguite, pur limitate rispetto alla lunghezza dell'opera, non ne hanno evidenziato la presenza. La struttura in terra armata e la platea di fondazione del sistema di scarico/sfioro si ritengono compatibili con tale fenomeno in quanto prevedono la distribuzione del carico su superfici molto ampie.

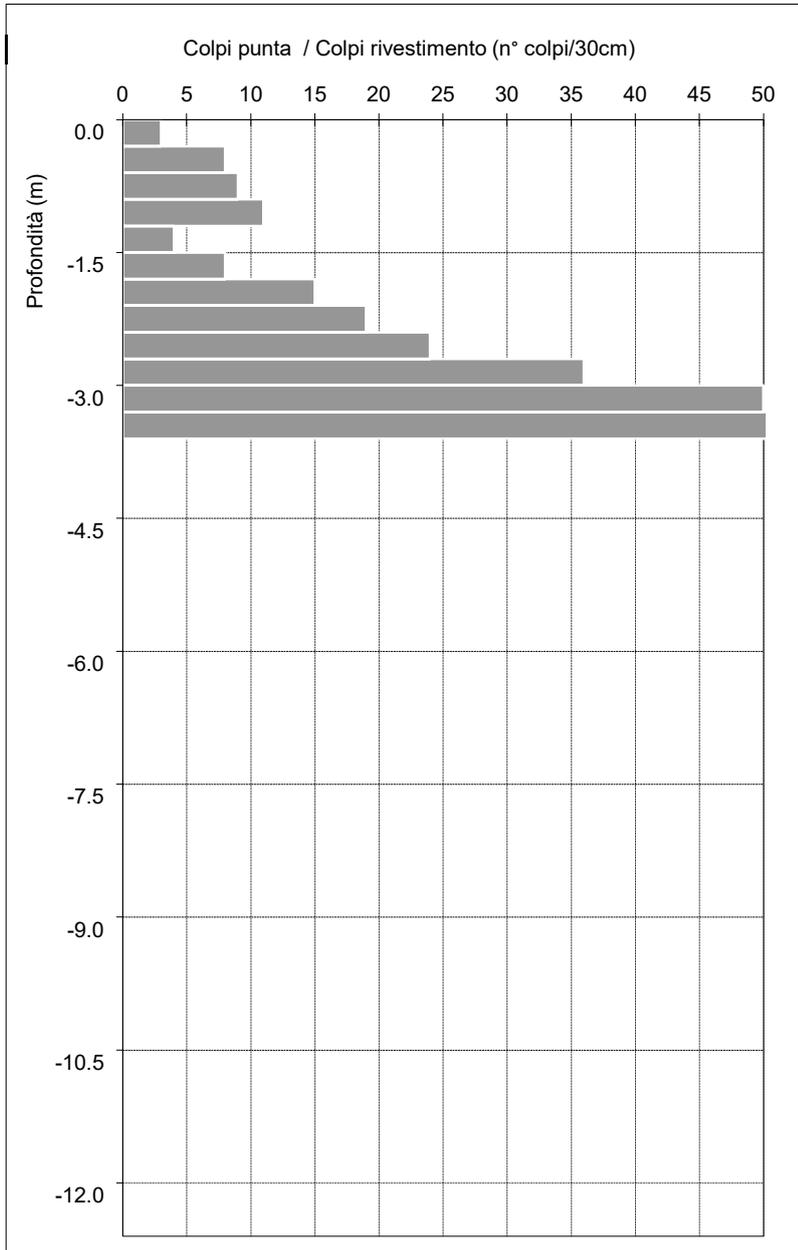
In merito alla platea di fondazione del sistema di scarico/sfioro, vista la presenza del conglomerato affiorante sulla destra idrografica, in fase di sbancamento bisognerà prestare attenzione affinché non si abbia una imposta platea in parte su roccia ed in parte sui depositi fluvio-glaciali



Dott. Geol. Stefano Sesana

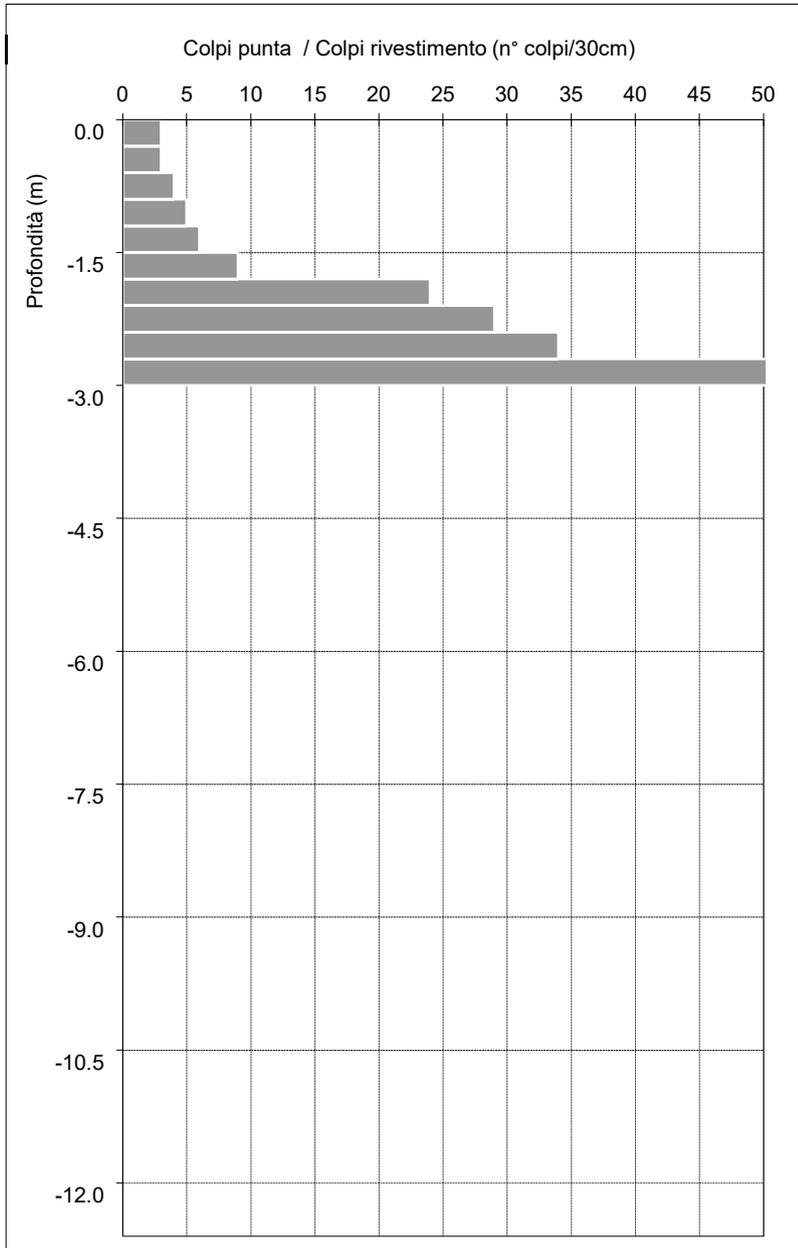
ALLEGATO 1 - PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

| | | | |
|---|-------------------------------|---------------|-------------------|
| Prova penetrometrica dinamica n. | | 1 | |
| Comm.: | Parco Valle Lambro | Data: | 03/08/2021 |
| Località: | Besana in Brianza (MB) | Quota inizio: | p.c. |
| Indirizzo: | | Falda (m): | - |
| Attrezzatura: | Pagani 63/100 | | |



| Quota [m] | | N _{SCPT} | N _{RIVEST} |
|-----------|-------|-------------------|---------------------|
| 0.0 | -0.3 | 3 | |
| -0.3 | -0.6 | 8 | |
| -0.6 | -0.9 | 9 | |
| -0.9 | -1.2 | 11 | |
| -1.2 | -1.5 | 4 | |
| -1.5 | -1.8 | 8 | |
| -1.8 | -2.1 | 15 | |
| -2.1 | -2.4 | 19 | |
| -2.4 | -2.7 | 24 | |
| -2.7 | -3.0 | 36 | |
| -3.0 | -3.3 | 50 | |
| -3.3 | -3.6 | 100 | |
| -3.6 | -3.9 | | |
| -3.9 | -4.2 | | |
| -4.2 | -4.5 | | |
| -4.5 | -4.8 | | |
| -4.8 | -5.1 | | |
| -5.1 | -5.4 | | |
| -5.4 | -5.7 | | |
| -5.7 | -6.0 | | |
| -6.0 | -6.3 | | |
| -6.3 | -6.6 | | |
| -6.6 | -6.9 | | |
| -6.9 | -7.2 | | |
| -7.2 | -7.5 | | |
| -7.5 | -7.8 | | |
| -7.8 | -8.1 | | |
| -8.1 | -8.4 | | |
| -8.4 | -8.7 | | |
| -8.7 | -9.0 | | |
| -9.0 | -9.3 | | |
| -9.3 | -9.6 | | |
| -9.6 | -9.9 | | |
| -9.9 | -10.2 | | |
| -10.2 | -10.5 | | |
| -10.5 | -10.8 | | |

| | | | |
|---|-------------------------------|---------------|-------------------|
| Prova penetrometrica dinamica n. | | 2 | |
| Comm.: | Parco Valle Lambro | Data: | 03/08/2021 |
| Località: | Besana in Brianza (CO) | Quota inizio: | p.c. |
| Indirizzo: | | Falda (m): | - |
| Attrezzatura: | Pagani 63/100 | | |



| Quota [m] | | N _{SCPT} | N _{RIVEST} |
|-----------|-------|-------------------|---------------------|
| 0.0 | -0.3 | 3 | |
| -0.3 | -0.6 | 3 | |
| -0.6 | -0.9 | 4 | |
| -0.9 | -1.2 | 5 | |
| -1.2 | -1.5 | 6 | |
| -1.5 | -1.8 | 9 | |
| -1.8 | -2.1 | 24 | |
| -2.1 | -2.4 | 29 | |
| -2.4 | -2.7 | 34 | |
| -2.7 | -3.0 | 100 | |
| -3.0 | -3.3 | | |
| -3.3 | -3.6 | | |
| -3.6 | -3.9 | | |
| -3.9 | -4.2 | | |
| -4.2 | -4.5 | | |
| -4.5 | -4.8 | | |
| -4.8 | -5.1 | | |
| -5.1 | -5.4 | | |
| -5.4 | -5.7 | | |
| -5.7 | -6.0 | | |
| -6.0 | -6.3 | | |
| -6.3 | -6.6 | | |
| -6.6 | -6.9 | | |
| -6.9 | -7.2 | | |
| -7.2 | -7.5 | | |
| -7.5 | -7.8 | | |
| -7.8 | -8.1 | | |
| -8.1 | -8.4 | | |
| -8.4 | -8.7 | | |
| -8.7 | -9.0 | | |
| -9.0 | -9.3 | | |
| -9.3 | -9.6 | | |
| -9.6 | -9.9 | | |
| -9.9 | -10.2 | | |
| -10.2 | -10.5 | | |
| -10.5 | -10.8 | | |

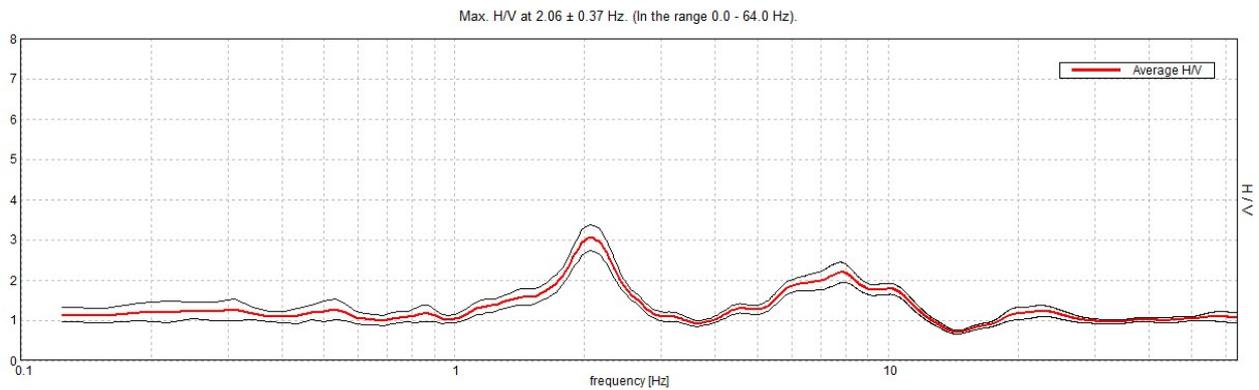
ALLEGATO 2 – INDAGINE HVSR

BESANA CALO, CALO 20_50

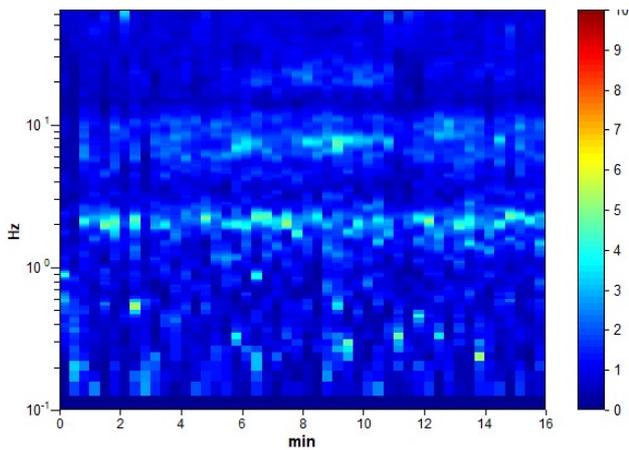
Strumento: TRZ-0047/01-09
 Formato dati: 16 byte
 Fondo scala [mV]: n.a.
 Inizio registrazione: 17/04/00 02:12:05 Fine registrazione: 17/04/00 02:28:05
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h16'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.
 Freq. campionamento: 128 Hz
 Lunghezza finestre: 20 s
 Tipo di lisciamento: Triangular window
 Lisciamento: 10%

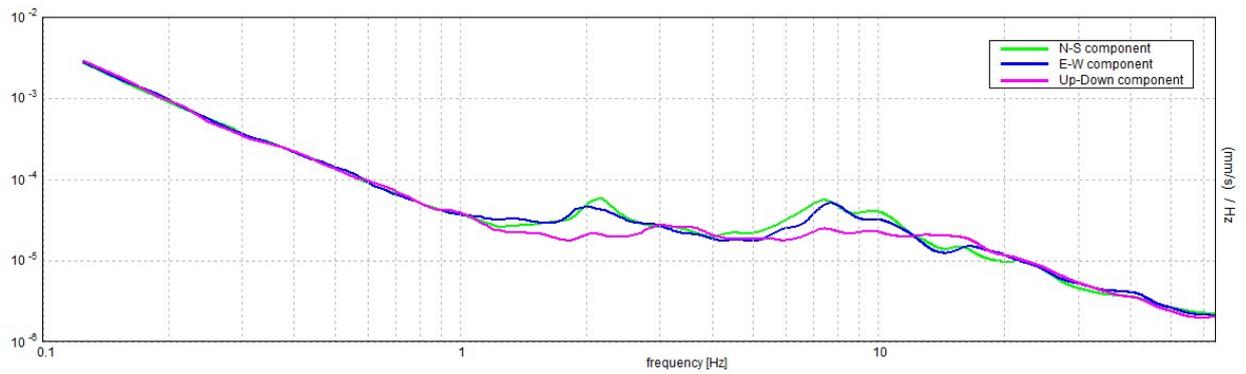
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



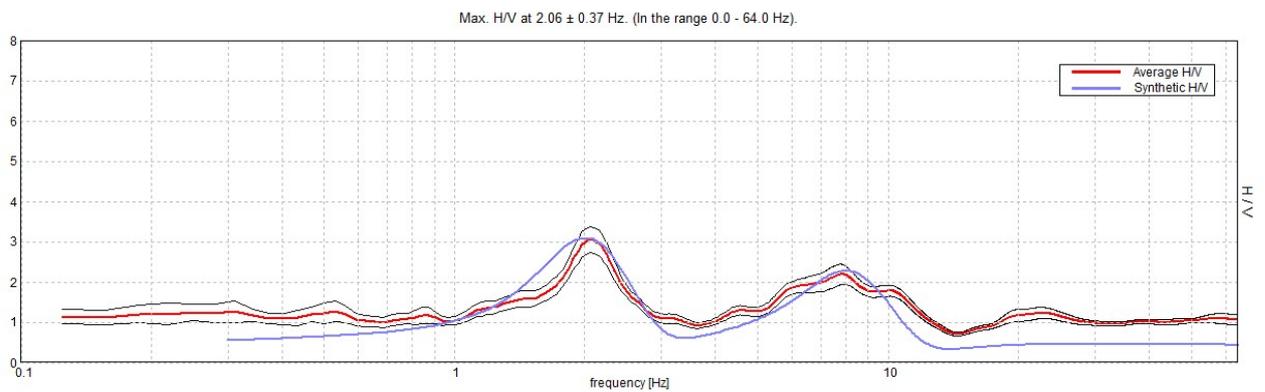
SERIE TEMPORALE H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

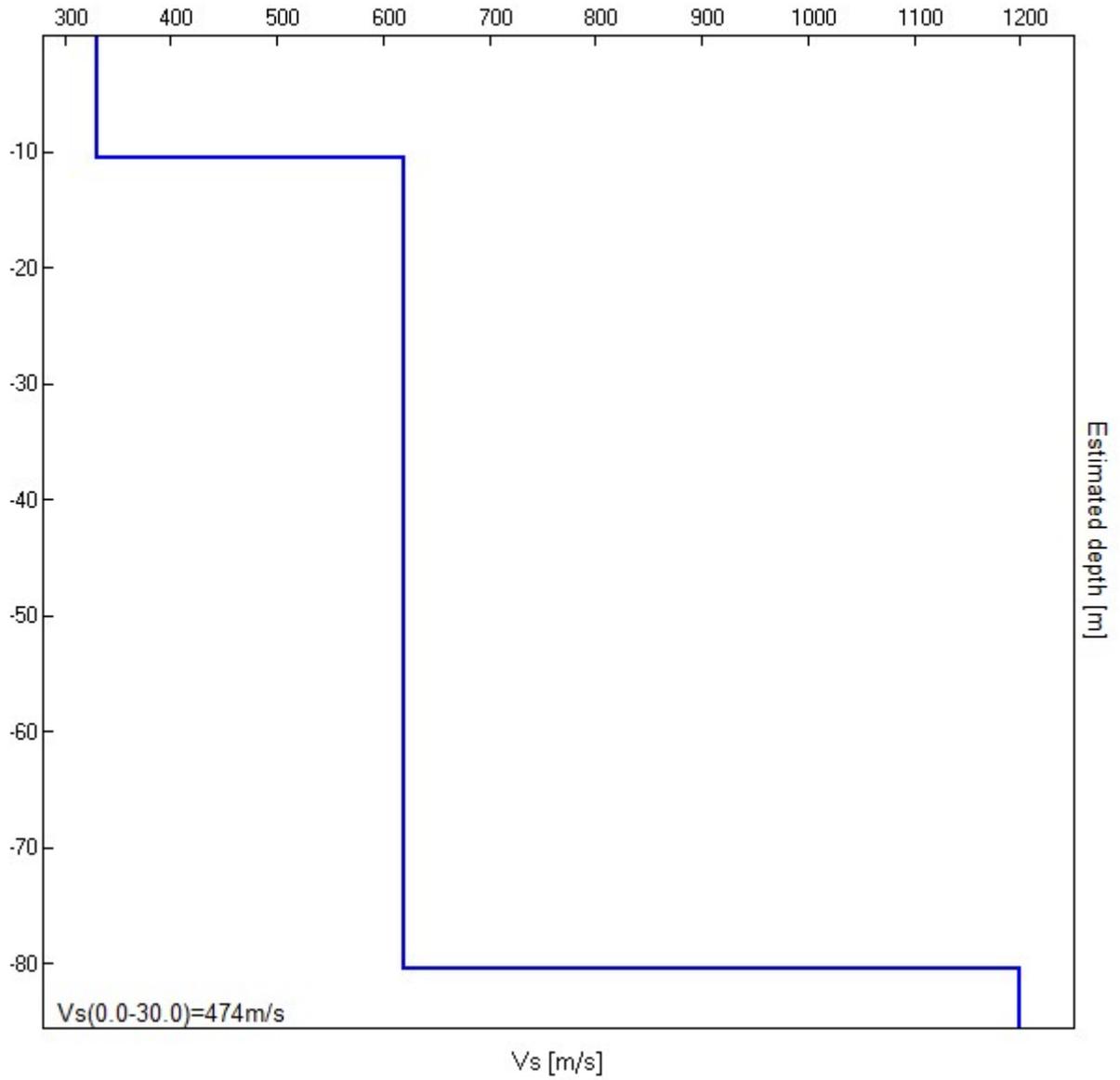


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



| Profondità alla base dello strato [m] | Spessore [m] | Vs [m/s] | Rapporto di Poisson |
|---------------------------------------|--------------|----------|---------------------|
| 10.50 | 10.50 | 330 | 0.42 |
| 80.50 | 70.00 | 620 | 0.39 |
| inf. | inf. | 1200 | 0.35 |

Vs(0.0-30.0)=474m/s



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

Picco H/V a 2.06 ± 0.37 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

| Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti] | | | |
|--|-------------------------|-----------|-----------|
| $f_0 > 10 / L_w$ | $2.06 > 0.50$ | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | $1980.0 > 200$ | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Superato 0 volte su 100 | OK | |
| Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti] | | | |
| Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 1.344 Hz | OK | |
| Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 2.656 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | $3.04 > 2$ | OK | |
| $f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.17726 < 0.05$ | | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.36561 < 0.10313$ | | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.3172 < 1.58$ | OK | |

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

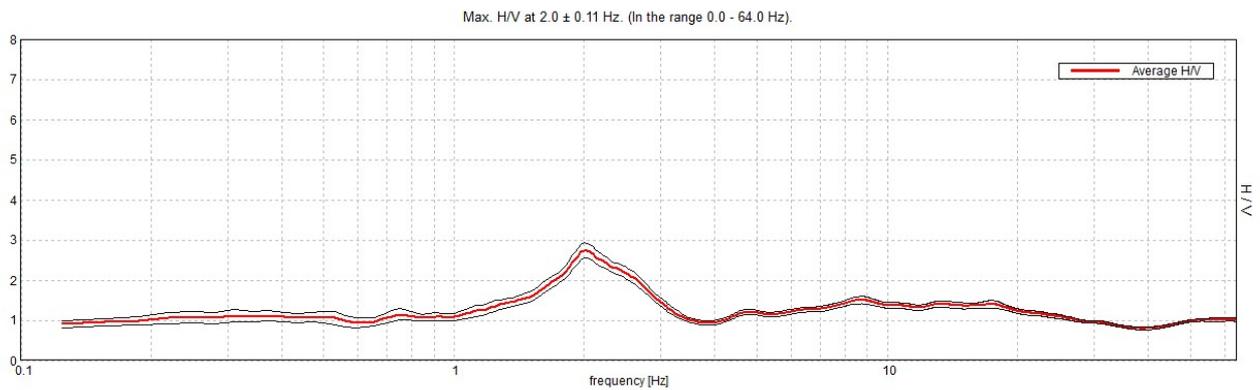
| Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$ | | | | | |
|---|------------|-----------|------------|------------|------------|
| Intervallo di freq. [Hz] | < 0.2 | 0.2 – 0.5 | 0.5 – 1.0 | 1.0 – 2.0 | > 2.0 |
| $\varepsilon(f_0)$ [Hz] | $0.25 f_0$ | $0.2 f_0$ | $0.15 f_0$ | $0.10 f_0$ | $0.05 f_0$ |
|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

BESANA CALO, CALO 19_50

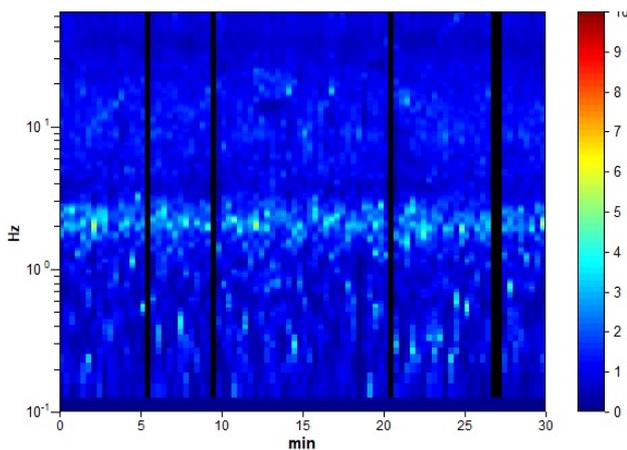
Strumento: TRZ-0047/01-09
 Formato dati: 16 byte
 Fondo scala [mV]: n.a.
 Inizio registrazione: 16/04/00 20:56:14 Fine registrazione: 16/04/00 21:26:14
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN
 Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 94% tracciato (selezione manuale)
 Freq. campionamento: 128 Hz
 Lunghezza finestre: 20 s
 Tipo di lisciamento: Triangular window
 Lisciamento: 10%

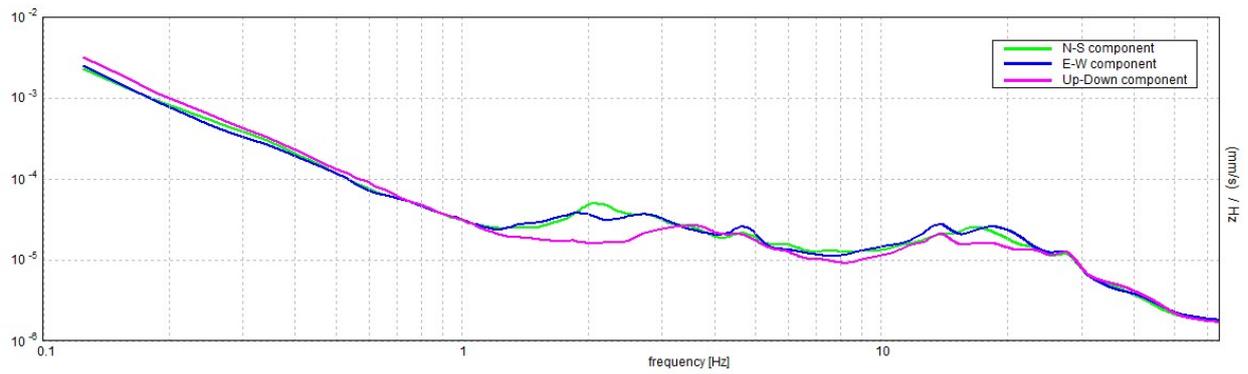
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



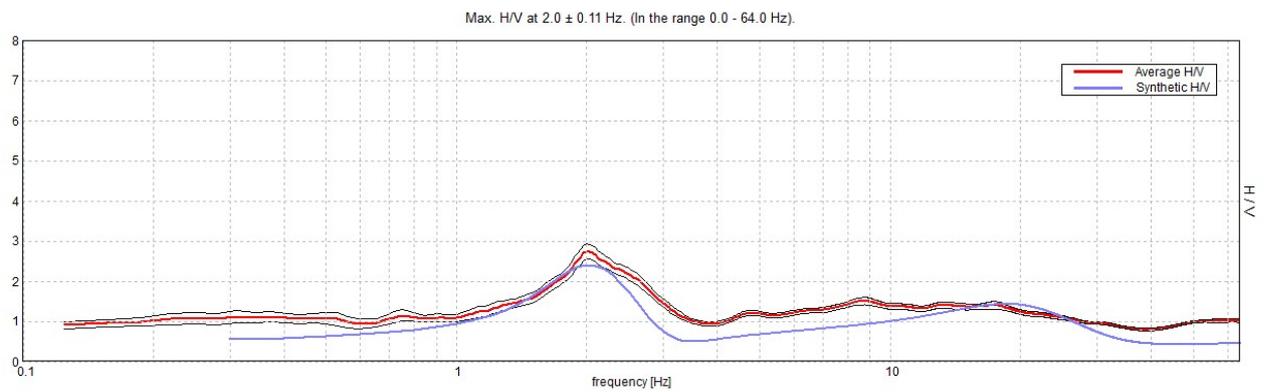
SERIE TEMPORALE H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

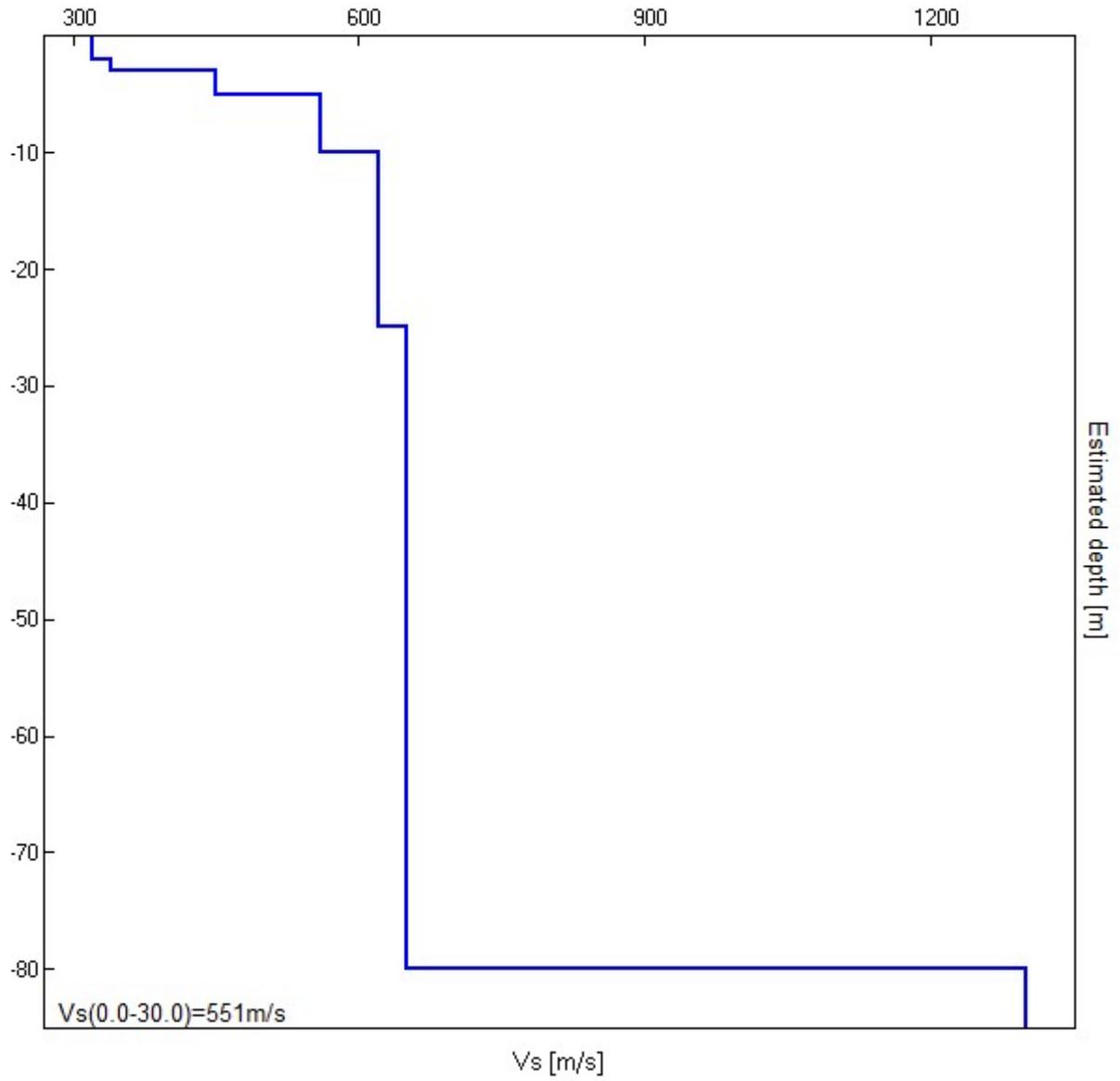


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



| Profondità alla base dello strato [m] | Spessore [m] | Vs [m/s] | Rapporto di Poisson |
|---------------------------------------|--------------|----------|---------------------|
| 1.00 | 1.00 | 320 | 0.40 |
| 2.00 | 1.00 | 320 | 0.40 |
| 3.00 | 1.00 | 340 | 0.39 |
| 5.00 | 2.00 | 450 | 0.36 |
| 10.00 | 5.00 | 560 | 0.36 |
| 25.00 | 15.00 | 620 | 0.36 |
| 80.00 | 55.00 | 650 | 0.36 |
| inf. | inf. | 1300 | 0.35 |

Vs(0.0-30.0)=551m/s



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

Picco H/V a 2.0 ± 0.11 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

| | | | |
|--|------------------------|-----------|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | $2.00 > 0.50$ | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | $3400.0 > 200$ | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Superato 0 volte su 97 | OK | |

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

| | | | |
|--|--------------------|-----------|-----------|
| Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 1.25 Hz | OK | |
| Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 3.094 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | $2.74 > 2$ | OK | |
| $f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.05651 < 0.05$ | | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.11303 < 0.1$ | | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.1899 < 1.58$ | OK | |

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

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

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

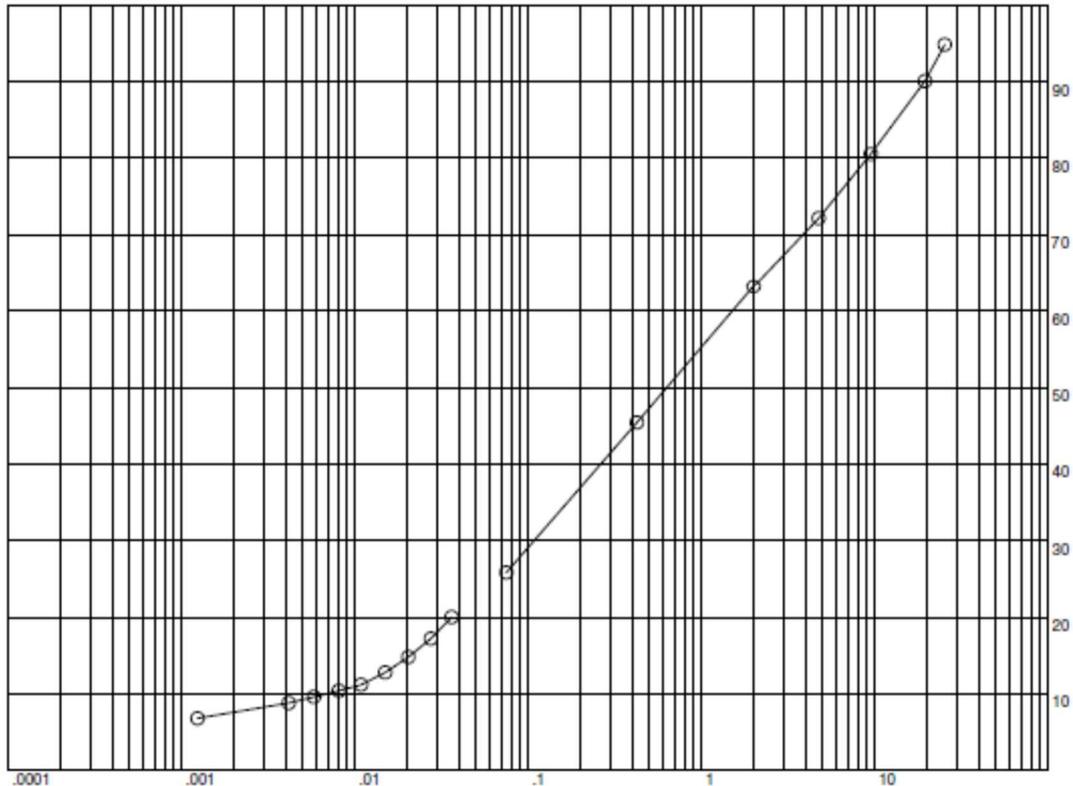
ALLEGATO 3 – ANALISI DI LABORATORIO

CAMPIONE 210223 S1C1

ANALISI GRANULOMETRICA

| | | | |
|---------|------|--------|--------|
| ARGILLA | LIMO | SABBIA | GHIAIA |
|---------|------|--------|--------|

DIAMETRO, mm-PASSANTE, %



| ANALISI PER SETACCI | | SEDIMENTAZIONE | |
|---------------------|-------------|----------------|-------------|
| MAGLIE, mm | PASSANTE, % | DIAM., mm | PASSANTE, % |
| 25.4 | 94.86 | .0363 | 20 |
| 19.5 | 90.09 | .0275 | 17.2 |
| 9.5 | 80.55 | .0204 | 14.8 |
| 4.75 | 72.2 | .015 | 12.8 |
| 2 | 63.22 | .0109 | 11.2 |
| .425 | 45.4 | .00812 | 10.4 |
| .075 | 25.82 | .00582 | 9.6 |
| | | .00417 | 8.8 |
| | | .00124 | 6.8 |

GHIAIA, %= 36.78
SABBIA, %= 37.45
LIMO, %= 18.44
ARGILLA, %= 7.31

d60,mm= 1.7154
d30,mm= .1497
d10,mm= .0069

COEFF. DI UNIFORMITA'= 248.6
COEFF. DI CONCAVITA'= 1.89

RAPPORTO DI PROVA DI LABORATORIO

Numero: 210223-c1

Nel rapporto sono indicati i risultati ottenuti dalle prove di caratterizzazione fisica, condotte secondo procedure standardizzate

IDENTIFICAZIONE DEL CAMPIONE

Procedura: PO-01 rev 01

Commessa: 210223

Scavo / Sond.: s1

Località: Besana in Brianza

Camp.: c1

Data inizio prove: 20/07/21

Profondità (m): 0,7/1,2

FOTOGRAFIA DEL CAMPIONE



DESCRIZIONE

Procedura: PO-02 rev 03

Sabbia con ghiaia limosa deb. argillosa, colore nocciola, debolmente umida, poco addensata

Clasti poligenici, ben assortiti, mediamente arrotondati, poco alterati, con tracce di frustoli vegetali e laterizi

Frazione fine poco coesiva e poco plastica

DETERMINAZIONE DEL PESO DI VOLUME NATURALE

Procedura: PO-07b rev 01

| | | |
|------------|-------------------|-------|
| Pw | g | 199,0 |
| γ_w | g/cm ³ | 0,981 |
| V | cm ³ | 202,9 |
| Pt | g | 353,8 |
| γ_n | g/cm ³ | 1,74 |

Pw = peso acqua spostata
 γ_w = densità acqua
V = volume
Pt = peso terreno
 γ_n = peso di volume naturale

DETERMINAZIONE DEL CONTENUTO D'ACQUA

Procedura: PO-03 rev 02

| | | |
|-----|---|--------|
| T | g | 285,74 |
| PLU | g | 847,61 |
| PLS | g | 818,52 |
| WN | % | 5,5 |

T = peso tara
PLU = peso lordo umido
PLS = peso lordo secco
WN = contenuto d'acqua naturale

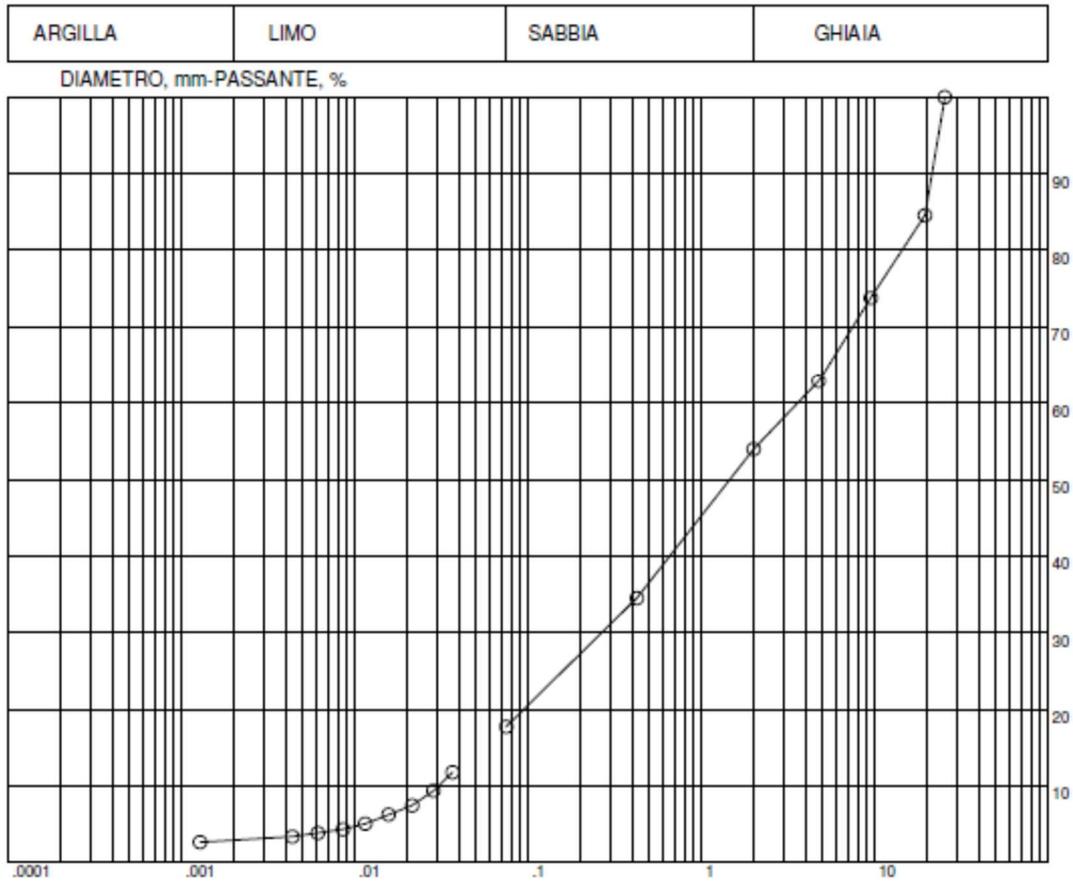
| ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA | | | Procedura: PO-04 rev 01 | | |
|--|---|-------|--------------------------------------|----|--------|
| Ghiaia | % | 36,8 | Ghiaia = frazione > 2,000 mm | | |
| Sabbia | % | 37,5 | Sabbia = frazione 0,075 – 2,000 mm | | |
| Frazione fine (L+A) | % | 25,7 | Limo + Argilla = frazione < 0,075 mm | | |
| ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE | | | Procedura: PO-05 rev 01 | | |
| Frazione fine (L+A) | % | 25,7 | Limo + Argilla = frazione < 0,075 mm | | |
| Limo | % | 18,4 | Limo = frazione 0,002 – 0,075 mm | | |
| Argilla | % | 7,3 | Argilla = frazione < 0,002 mm | | |
| CLASSIFICAZIONE GEOTECNICA | | | Procedura: PO-09 rev 03 | | |
| Passante al 2,00 mm | % | 63,2 | WL | % | nd |
| Passante al 0,42 mm | % | 45,4 | IP | % | nd |
| Passante al 0,075 mm | % | 25,8 | Casagrande | - | nd |
| Coefficiente uniformità | - | 248 | D60 | mm | 3,87 |
| | | | D10 | mm | 0,0069 |
| HRB / CNR UNI 10006: | | A-2-4 | | | |
| USCS / ASTM: | | SC-SM | | | |

NOTE

nd = non determinabile (campione non plastico)
si allega la curva granulometrica

CAMPIONE: 210223 S1C2

ANALISI GRANULOMETRICA



GHIAIA, %= 46.09
SABBIA, %= 36.22
LIMO, %= 14.87
ARGILLA, %= 2.8

d60,mm= 3.8712
d30,mm= .3313
d10,mm= .0306

COEFF. DI UNIFORMITA'= 126.5
COEFF. DI CONCAVITA'= .92

RAPPORTO DI PROVA DI LABORATORIO

Numero: 210223-c2

Nel rapporto sono indicati i risultati ottenuti dalle prove di caratterizzazione fisica, condotte secondo procedure standardizzate

IDENTIFICAZIONE DEL CAMPIONE

Procedura: PO-01 rev 01

Commessa: 210223

Scavo / Sond.: s1

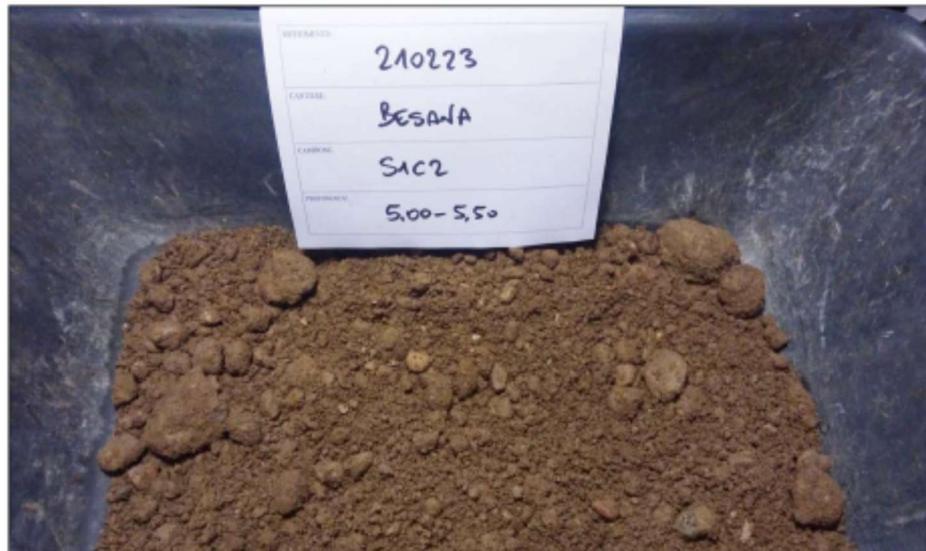
Località: Besana in Brianza

Camp.: c2

Data inizio prove: 20/07/21

Profondità (m): 5,0/5,5

FOTOGRAFIA DEL CAMPIONE



DESCRIZIONE

Procedura: PO-02 rev 03

Ghiaia con sabbia limosa, colore nocciola, poco umida, mediamente addensata

Clasti poligenici, ben assortiti, ben arrotondati, poco alterati, senza tracce di frustoli vegetali né laterizi

Frazione fine non coesiva e non plastica

DETERMINAZIONE DEL PESO DI VOLUME NATURALE

Procedura: PO-07b rev 01

| | | | |
|------------|-------------------|-------|--------------------------------------|
| Pw | g | 51,0 | Pw = peso acqua spostata |
| Pt | g | 88,3 | Pt = peso terreno |
| γ_w | g/cm ³ | 0,981 | γ_w = densità acqua |
| V | cm ³ | 52,0 | V = volume |
| γ_n | g/cm ³ | 1,70 | γ_n = peso di volume naturale |

DETERMINAZIONE DEL CONTENUTO D'ACQUA

Procedura: PO-03 rev 02

| | | | |
|-----|---|--------|---------------------------------|
| T | g | 844,4 | T = peso tara |
| PLU | g | 2252,2 | PLU = peso lordo umido |
| PLS | g | 2142,1 | PLS = peso lordo secco |
| WN | % | 8,5 | WN = contenuto d'acqua naturale |

| ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA | | | Procedura: PO-04 rev 01 | | |
|--|---|-------|--------------------------------------|----|--------|
| Ghiaia | % | 46,1 | Ghiaia = frazione > 2,000 mm | | |
| Sabbia | % | 36,2 | Sabbia = frazione 0,075 – 2,000 mm | | |
| Frazione fine (L+A) | % | 17,7 | Limo + Argilla = frazione < 0,075 mm | | |
| ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE | | | Procedura: PO-05 rev 01 | | |
| Frazione fine (L+A) | % | 17,7 | Limo + Argilla = frazione < 0,075 mm | | |
| Limo | % | 14,9 | Limo = frazione 0,002 – 0,075 mm | | |
| Argilla | % | 2,8 | Argilla = frazione < 0,002 mm | | |
| CLASSIFICAZIONE GEOTECNICA | | | Procedura: PO-09 rev 03 | | |
| Passante al 2,00 mm | % | 53,9 | WL | % | nd |
| Passante al 0,42 mm | % | 34,5 | IP | % | nd |
| Passante al 0,075 mm | % | 17,7 | Casagrande | - | nd |
| Coefficiente uniformità | - | 126 | D60 | mm | 3,87 |
| | | | D10 | mm | 0,0306 |
| HRB / CNR UNI 10006: | | A-1-b | | | |
| USCS / ASTM: | | GC-GM | | | |

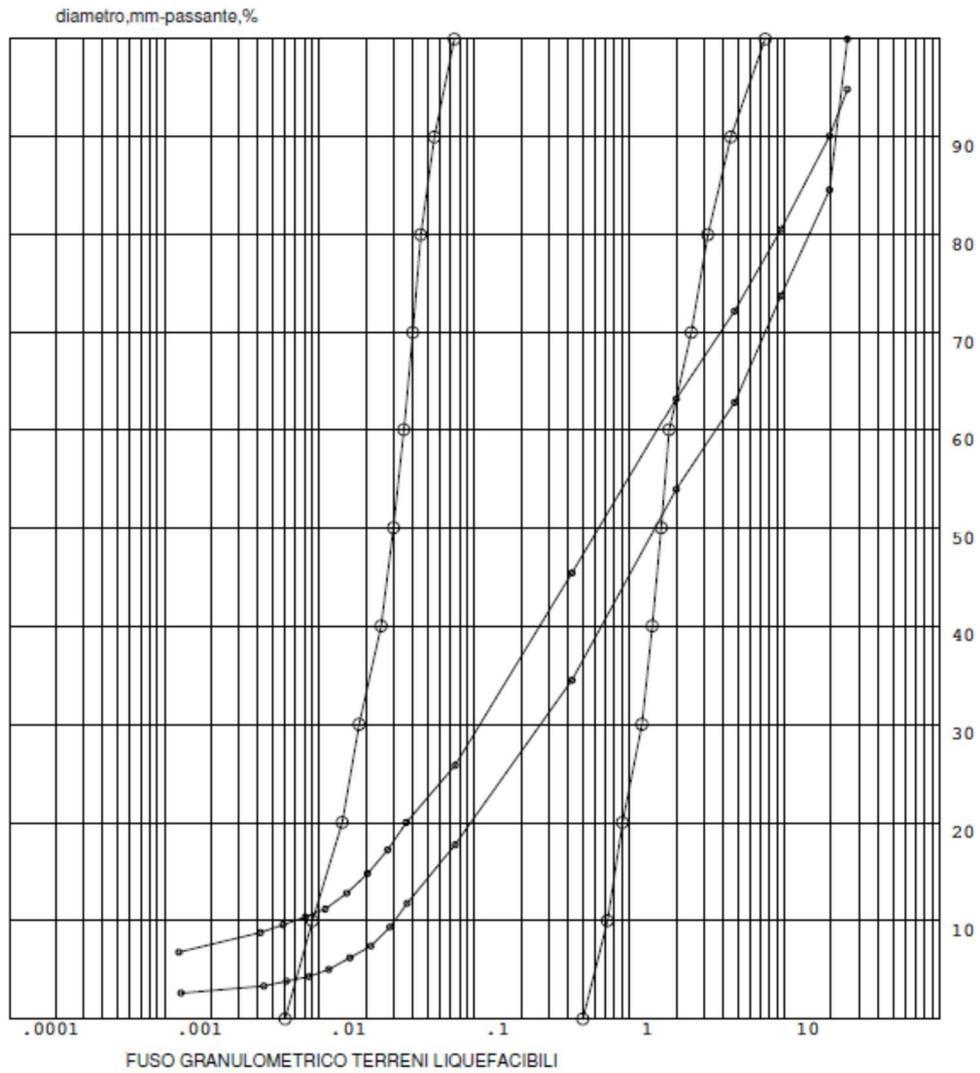
NOTE

nd = non determinabile (campione non plastico)
si allega la curva granulometrica

COMMESSA: 210223

INVILUPPO ANALISI GRANULOMETRICHE

| ARGILLA | LIMO | SABBIA | GHIAIA |
|---------|------|--------|--------|
|---------|------|--------|--------|



ALLEGATO 4 – SONDAGGIO GEOGNOSTICO