

REALIZZAZIONE DI OPERE DI LAMINAZIONE NELL'ALTO SEVESO

CUP: B83H19000350002 – CIG: 8150878D4C

(CO-E-158)

PROGETTO DEFINITIVO

MARZO 2022

ELABORATO:

RELAZIONE GEOLOGICA - IDROGEOLOGICA ZONA CENTRO

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDAZIONE	VERIFICA
00	PRIMA EMISSIONE	MARZO 2022	S. Frati	G. B. Peduzzi
01				

RUP

Dott. Ing. MARCO LA VEGLIA

ATI:

MANDATARIA



20133 MILANO – via Bassini, 23 – tel. 0226681264
fax 0226681553 – E-Mail: etatec@etatec.it

Prof. Ing. ALESSANDRO PAOLETTI
Dott. Ing. GIOVANNI BATTISTA PEDUZZI
Dott. Ing. STEFANO CROCI
Dott. Ing. FILIPPO MALINGENGO
Dott. Ing. VINCENZO CICCARELLI

MANDANTI

STUDIO PAOLETTI
INGEGNERI ASSOCIATI

20133 MILANO – via Bassini, 23 – tel. 0226681264
fax 0226681553 – E-Mail: studiopaoletti@etatec.it

Dott. Ing. CRISTINA GIUSEPPINA PASSONI

Studio Frati
geologia applicata

22079 VILLA GUARDIA (CO) – via Monte Grappa, 43a
Tel 3388587308 – E-Mail: frati@geologi.it

Dott. Geol. STEFANO FRATI

FABRIZIO MONZA
ARCHITETTO

20014 NERVIANO (MI) – via Ticino, 27
Tel. 0331415944 – E-Mail: studio@archimonza.it

Arch. FABRIZIO MONZA


DOTT. SSA
ILARIA FRONTORI
ARCHEOLOGA

20093 COLOGNO MONZESE (MI) – via Santa Margherita, 14
Tel. 3383775512 – E-Mail: ilaria.frontori@gmail.com

Dott. ILARIA FRONTORI

TIPOLOGIA

PD

COMMESSA

250–46

DOCUMENTO

ATTI

NUMERO

A.4.4.3

INDICE

1. PREMESSA.....	1
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO – GEOMORFOLOGICO	1
3. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	3
4. RISULTANZE STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE TERRITORIALE: STUDIO GEOLOGICO COMUNALE	5
5. INDAGINI PREGRESSE.....	9
5.1 INDAGINI PER POLO ESTRATTIVO	9
5.2 INDAGINI PER CENTRALE DI TELERISCALDAMENTO COMUNALE	11
6. INDAGINI REALIZZATE	15
7. RICOSTRUZIONE DELLA PIEZOMETRIA LOCALE	16
8. ASPETTI SIMICI.....	17
8.1 INQUADRAMENTO SISMICO	17
8.2 MODELLO SISMICO E SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO	18
9. MODELLO GEOLOGICO	21
9.1 MODELLO GENERALE.....	21
9.2 ASPETTI LITOTECNICI.....	26
10. ASPETTI AMBIENTALI	27

1. PREMESSA

La presente relazione riporta nello specifico i caratteri geologici dell'Area Centro. Per gli inquadramenti di carattere generale si rimanda all'apposita relazione di inquadramento.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO – GEOMORFOLOGICO

Le descrizioni geologiche di dettaglio sono state desunte da analisi e studi precedenti. Particolare attenzione è stata posta all'analisi della componente geologica, idrogeologica e sismica a supporto del PGT vigente.

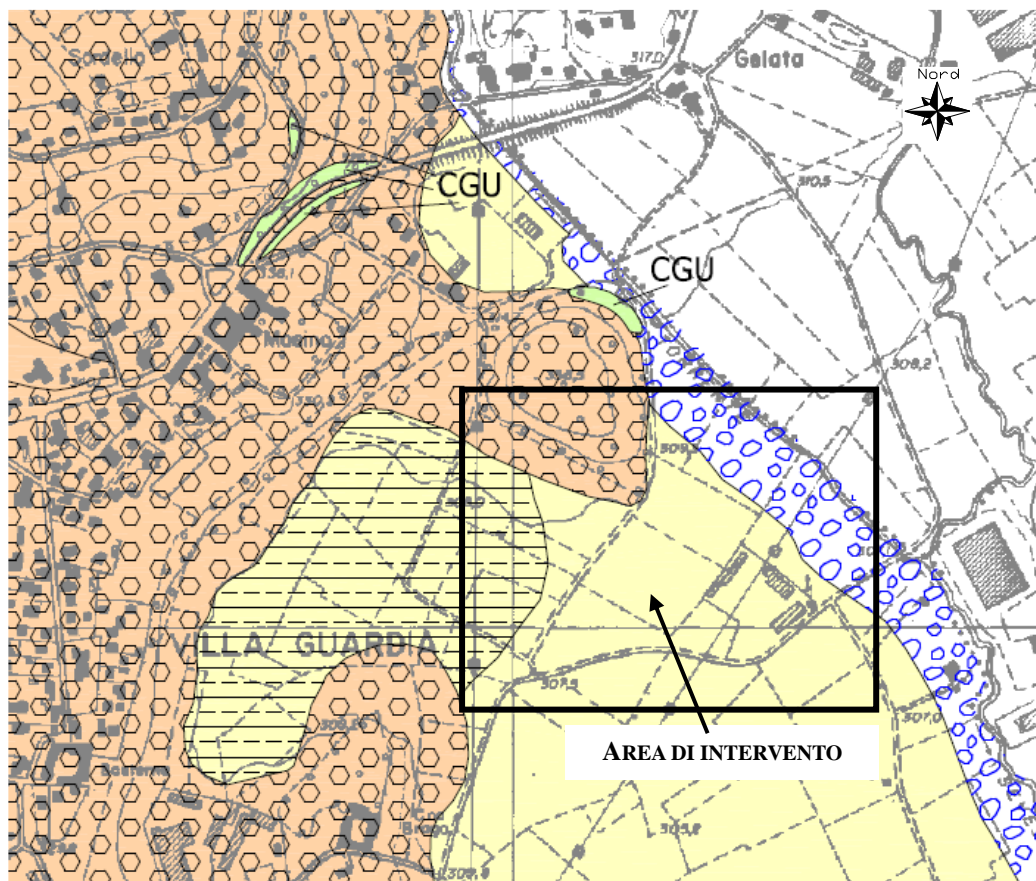
Gli interventi in progetto si ubicano nella zona orientale del territorio comunale Villa Guardia, lungo il Torrente Lusert.

Qui prevalgono i depositi alluvionali recenti e attuali (appartenenti al Sintema del Po), privi di alterazione superficiale, con suoli in genere poco sviluppati. Essi caratterizzano l'alveo e alcune zone adiacenti del torrente Lusert. Sono costituiti prevalentemente da ghiaie medio fini a supporto di clasti con abbondante matrice sabbiosa o a supporto di matrice e da sabbie e ghiaie a supporto di matrice limoso sabbiosa; talora si intercalano dei livelli più grossolani con matrice in quantità ridotta o livelli più fini.

Spostandosi lateralmente (allontanandosi dal torrente) si passa a depositi del Sintema di Cantù; la facies prevalente è quella dei depositi alluvionali nelle zone pianeggianti, mentre la collina posta a est è caratterizzata da depositi morenici. Questi ultimi ricoprono la Gonfolite Lombarda che costituisce l'ossatura della collina suddetta.

La Gonfolite è qui rappresentata dai *Conglomerati di Lucino*.

Il sito in esame risulta caratterizzato dalla presenza di uno spessore di alcuni metri di depositi granulari di origine alluvionale e/o fluvioglaciale che ricoprono la Formazione della Gonfolite Lombarda. Tale substrato roccioso si presenta in facies arenaceo-conglomeratica e sembra approfondirsi repentinamente spostandosi verso est.



Carta geologica – fuori scala

DEPOSITI NEOGENICO-QUATERNARI

Sintema del Po (Pleistocene superiore-Olocene)

Depositi alluvionali e fluvio-glaciali

Depositi lacustri

Supersintema del Laghi - Sintema di Cantù (Pleistocene superiore)

Subintema della Cà Morta: a) depositi fluvio-glaciali b) depositi di contatto glaci

Subintema di Cuccago: a) depositi fluvio-glaciali b) depositi morenici

Subintema di Fino Mornasco: a) depositi fluvio-glaciali b) depositi morenici

Supersintema di Besnate (Pleistocene medio-superiore)

Unità di Cadorago; depositi morenici

Supersintema di Besnate indifferenziato; depositi morenici

SUCCESSIONE SEDIMENTARIA DELLE ALPI MERIDIONALI

Gruppo della Gonfolite Lombarda - Settore di Como (Burdigaliano-Langhiano)

CGU Conglomerati di Lucino: conglomerati ed arenarie conglomeratiche

CGUa Peliti di Lurate Caccivio: argille marnose e marne argillose

CGUa Peliti di Lucinasco: alternanze di argille marnose e areniti passanti a peliti

3. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

La situazione idrogeologica (a più grande scala) dell'area della piana alluvionale del Fiume Seveso è stata ricostruita sulla base delle stratigrafie dei pozzi ubicati nelle immediate vicinanze. Nel territorio sono presenti numerosi pozzi destinati al prelievo di acque ad uso idropotabile. Nel settore orientale dell'area sono ubicati i pozzi dell'A.C.S.M. mentre nel settore meridionale è presente il pozzo Fontanino.

Nell'ambito della piana del Torrente Seveso, dove l'assetto morfologico subpianeggiante ed il brusco approfondimento del substrato roccioso costituiscono il presupposto per la presenza di corpi idrici sotterranei contraddistinti da buona potenza e continuità laterale.

In questo settore, con riferimento ai dati reperiti relativamente ai pozzi esistenti, la base della sequenza stratigrafica-tipo è rappresentata dal substrato gonfolitico impermeabile. Tale litotipo risulta essere improduttivo dal punto di vista idrogeologico; solo localmente si è rilevata la presenza di piccoli acquiferi, dovuti a permeabilità secondaria. Lo si rinviene a -115 m da p.c. in prossimità dei pozzi A.C.S.M.

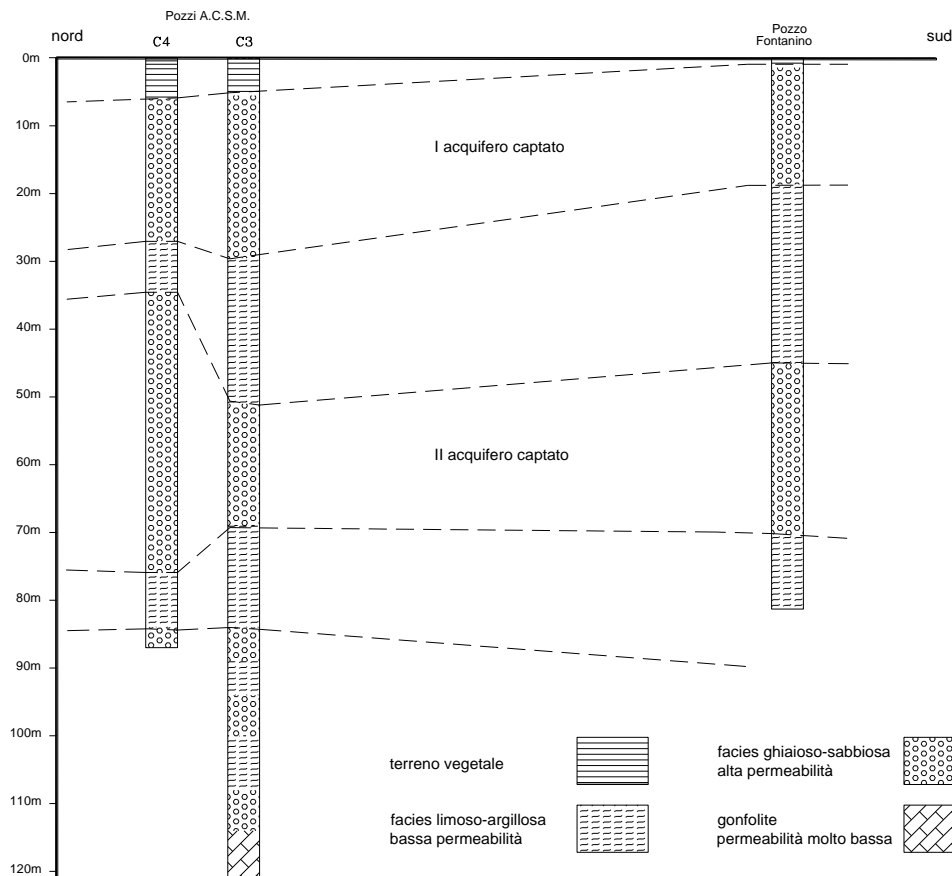
Al di sopra della Gonfolite sono presenti limi argillosi varvati, da grigi a giallastri, con fossili e intercalazioni lenticolari sabbioso-ghiaiose riferiti al Villafranchiano. Nell'ambito dei corpi lenticolari sabbioso-ghiaiosi si rileva spesso la presenza di riserve idriche sfruttabili.

Al di sopra dei depositi villafranchiani si rileva la presenza di un acquifero sabbioso-ghiaioso, sede della falda acquifera maggiormente produttiva del territorio in esame. Tale acquifero presenta delle caratteristiche riferibili ad un acquifero confinato o semiconfinato.

Al di sopra sono presenti dei limi grigi di probabile origine glaciolacustre che rappresentano l'aquicludes o l'aquitards della seconda falda. Tale orizzonte presenta uno spessore di circa 25 m e determina una bassa vulnerabilità della falda.

Al di sopra di questi sedimenti, si rinvengono direttamente le coltri di depositi fluvioglaciali e alluvionali prevalentemente sabbioso-ghiaiosi (spessore massimo dell'ordine di 20 m) attuali e recenti riferibili al Torrente Seveso. Tali depositi costituiscono l'orizzonte acquifero superficiale. La soggiacenza della falda freatica presente nell'area risulta molto variabile ma, in genere, presenta valori non inferiori a 10 m.

La soggiacenza della falda freatica presente nell'area risulta molto variabile ma, in genere, non presenta valori minori di 10 m.



Sezione idrogeologica – fuori scala

L'assetto idrogeologico locale si discosta notevolmente da quello generale dell'area in quanto la presenza di Gonfolite a modesta profondità dal piano campagna contribuisce alla formazione di una modesta falda sospesa, determinata dallo scorrimento delle acque di infiltrazione sul substrato impermeabile.

Le indagini realizzate per la centrale di teleriscaldamento comunale (situata lungo il margine ovest del sito di intervento, ai piedi della collina gonfolitica) hanno individuato il livello piezometrico di tale falda è stato individuato, ad una profondità di circa 5-6 m dal p.c. nel settore nord con un repentino approfondimento spostandosi verso sud-est.

4. RISULTANZE STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE TERRITORIALE: STUDIO GEOLOGICO COMUNALE

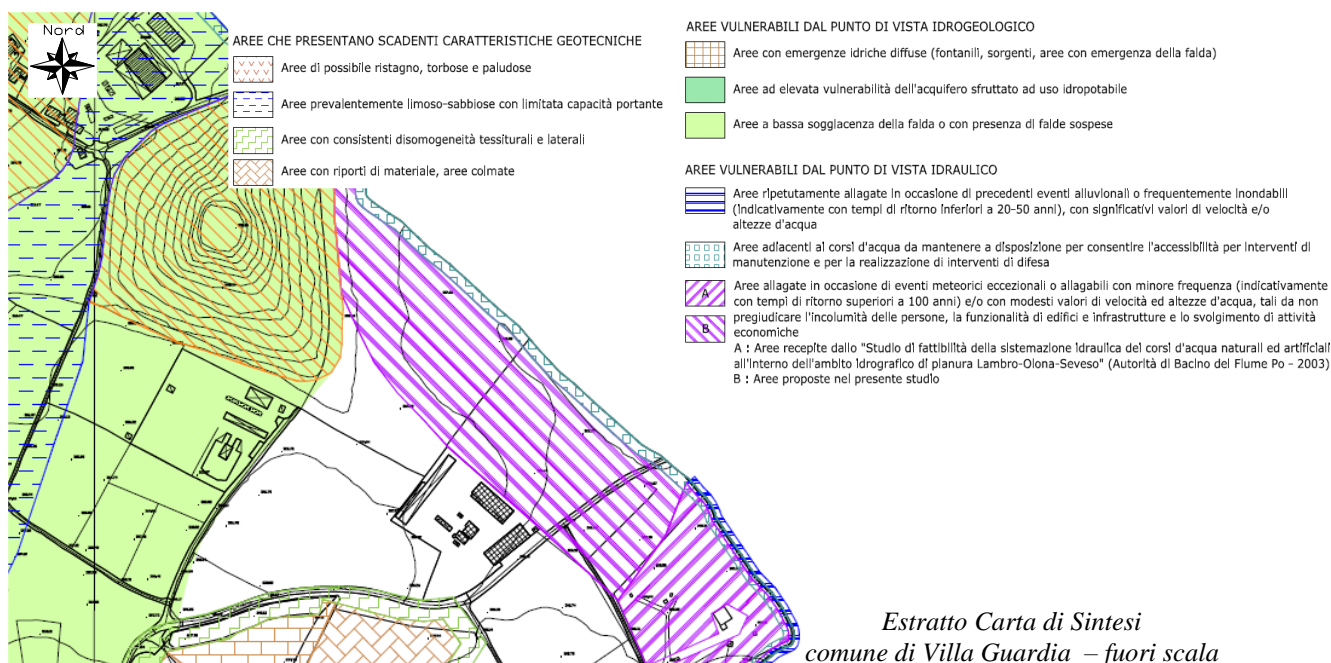
Di seguito verrà analizzata solamente la componente geologica del PGT comunale.

Per quanto attiene a tutti gli altri aspetti e studi bibliografici si rimanda alle rispettive relazione specialistiche.

Il Comune di Villa Guardia è dotato di uno studio geologico di supporto alla pianificazione territoriale redatto dallo Scrivente nel 2010-2011.

In tale elaborato vengono analizzate le caratteristiche geologiche generali del territorio, e cioè le componenti geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, idrografiche e geotecniche. Tutte queste informazioni, opportunamente sintetizzate, portano alla redazione della carta di fattibilità, che fornisce indicazioni in merito alle limitazioni e destinazioni di uso del territorio, alle prescrizioni per gli interventi urbanistici, agli studi ed indagini da effettuare.

La *Carta di Sintesi*, riporta le aree omogenee dal punto di vista della pericolosità riferita allo specifico fenomeno che la genera. Tale carta è infatti costituita da una serie di poligoni che definiscono una porzione di territorio caratterizzata da pericolosità omogenea per la presenza di uno o più fenomeni di dissesto idrogeologico in atto o potenziale o da vulnerabilità idrogeologica.



I principali tematismi che interessano le zone di intervento e quelle immediatamente adiacenti sono le seguenti.

Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico

- Aree adiacenti ai corsi d'acqua da mantenere a disposizione per consentire l'accessibilità per interventi di manutenzione e per la realizzazione di interventi di difesa [...].
- Aree allagate in occasione di eventi meteorici eccezionali o allagabili con minore frequenza (indicativamente con tempi di ritorno superiori a 100 anni) e/o con modesti valori di velocità ed altezze d'acqua, tali da non pregiudicare l'incolumità delle persone, la funzionalità di edifici e infrastrutture e lo svolgimento di attività economiche: anche queste aree sono state identificate nel già citato studio riferito al Torrente Seveso. L'area è stata ampliata verso monte lungo l'asta della Roggia Lusera, sulla base delle osservazioni effettuate durante l'esondazione avvenuta in data Maggio 2010.

Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche

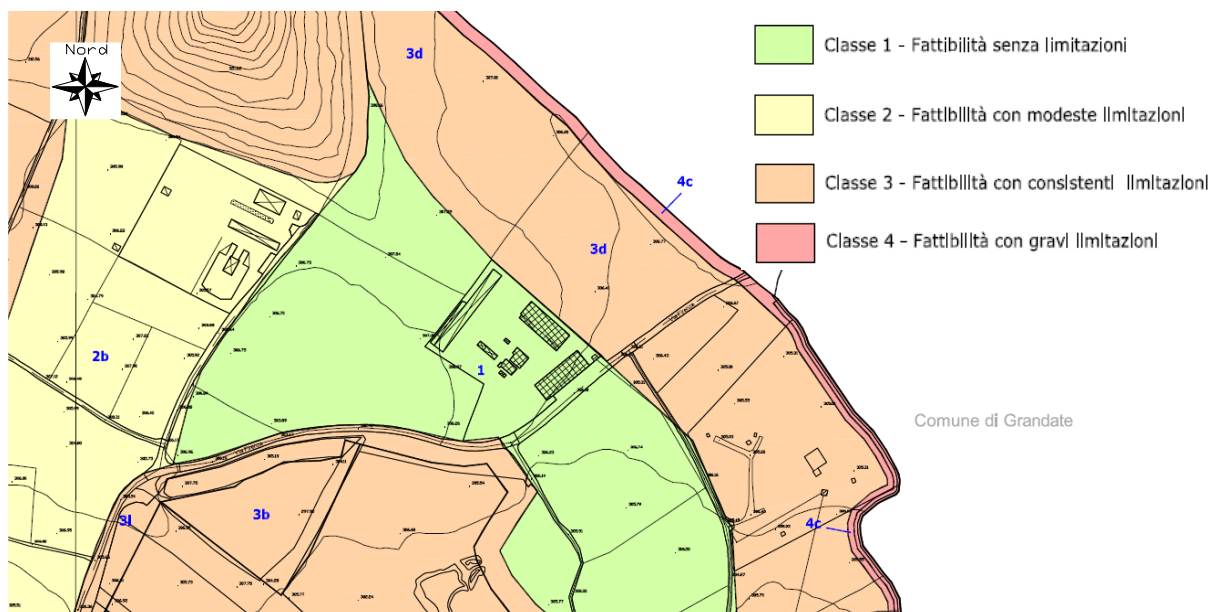
- Aree con consistenti disomogeneità tessiturali verticali e laterali: si tratta di zone con locali accumuli detritici e glaciali di spessore molto variabile. Lungo i piani di posa delle fondazioni e lungo i fronti di scavo vi è la possibilità di mettere in luce materiali con caratteristiche geotecniche o geomeccaniche molto differenti tra loro, che possono causare problematiche di cedimenti differenziali o di instabilità.

I tematismi riportati nella carta di Sintesi portano alla definizione della Carta di Fattibilità, che fornisce indicazioni in merito alle limitazioni e alle destinazioni di uso del territorio, alle prescrizioni per gli interventi urbanistici, agli studi e alle indagini da effettuare.

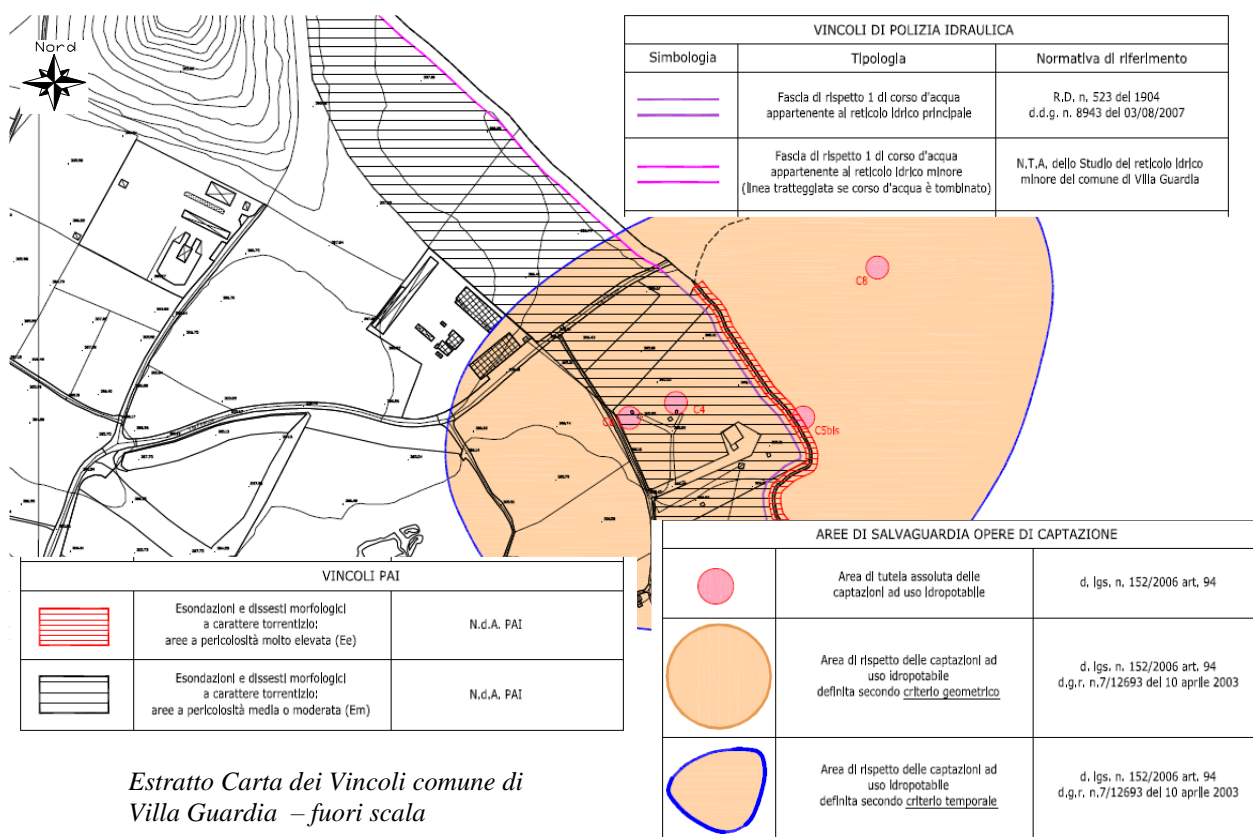
I principali tematismi che interessano le zone di intervento e quelle immediatamente adiacenti sono le seguenti.

- classe 1 (Fattibilità senza limitazioni): aree per le quali non sono emerse particolari limitazioni di carattere geologico
- classe 2 (Fattibilità con modeste limitazioni), sottoclasse 2b: Aree con presenza di falde sospese a carattere temporaneo. In questa classe sono comprese le aree per le quali si sono riscontrate modeste limitazioni di carattere geologico a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso, che possono essere superate mediante approfondimenti di indagine ed accorgimenti tecnico-costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa.
- classe di fattibilità 3 (Fattibilità con consistenti limitazioni), sottoclassi 3d e 3i.
 - 3d → Aree allagate in occasione di eventi meteorici eccezionali o allagabili con minore frequenza (indicativamente con tempi di ritorno superiori a 100 anni) e/o con modesti valori di velocità ed altezze d'acqua, tali da non pregiudicare l'incolumità delle persone, la funzionalità di edifici e infrastrutture e lo svolgimento di attività economiche
 - 3i → Aree con consistenti disomogeneità tessiturali verticali e laterali

- classe 4 (Fattibilità con gravi limitazioni) ed in sottoclasse 4c: aree adiacenti ai corsi d'acqua da mantenere a disposizione per consentire l'accessibilità per interventi di manutenzione e per la realizzazione di interventi di difesa.



Estratto Carta di Fattibilità comune di Villa Guardia – fuori scala



Estratto Carta dei Vincoli comune di Villa Guardia – fuori scala

Per quanto riguarda i Vincoli geologici, idraulici ed idrogeologici i principali tematismi che interessano le zone di intervento e quelle immediatamente adiacenti sono le seguenti.

- Fascia di rispetto idraulico che comprende le aree di stretta pertinenza idraulica attorno al torrente Lusert.
- Aree a pericolosità media o moderata (Em), soggette a esondazioni e dissesti morfologici a carattere torrentizio, individuate nella Carta del dissesto con legenda uniformata PAI.
- Aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile: fascia di rispetto definita con criterio temporale

La Carta della pericolosità sismica locale, inserisce il terreno in esame nello scenario Z4a. Tale scenario comprende la zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi che potrebbero comportare effetti di amplificazione litologica e geometrica.

Gli interventi in progetto, data la loro natura e tipologia sono compatibili con quanto sopra riportato.

5. INDAGINI PREGRESSE

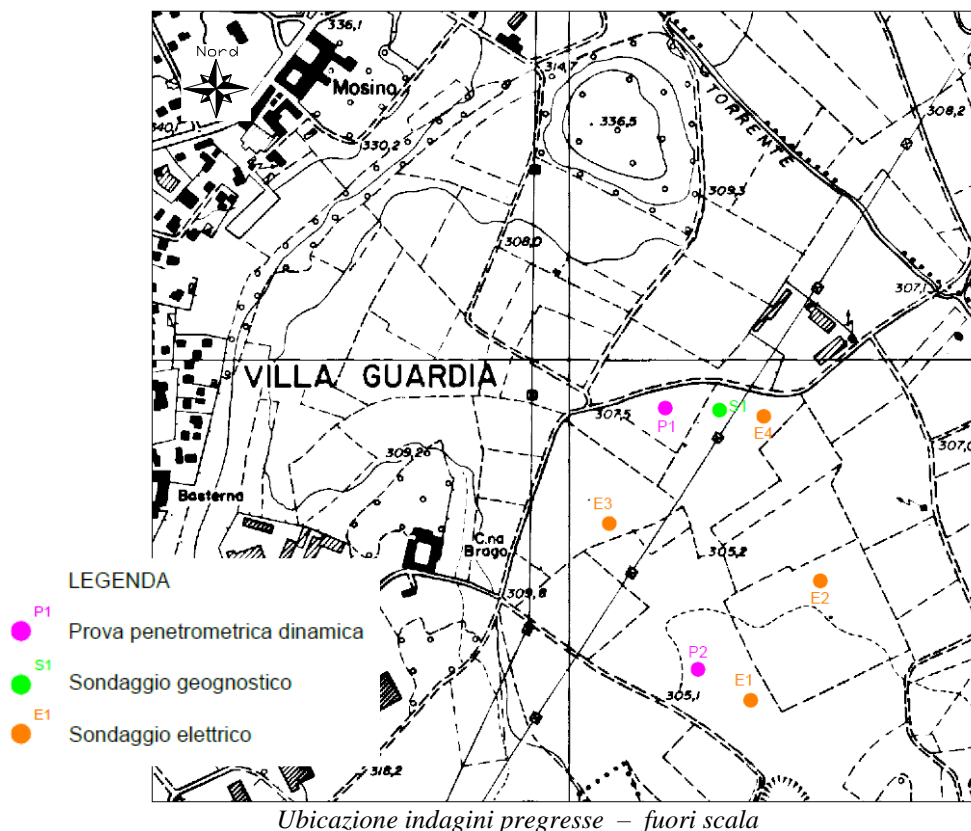
Nel capitolo seguente verranno sintetizzati i risultati di indagini pregresse realizzate nei dintorni dell'area in esame.

5.1 INDAGINI PER POLO ESTRATTIVO

In primo luogo sono stati analizzati i risultati di una campagna di indagini geognostiche pregresse eseguite nel 1985, e finalizzate all'apertura del polo estrattivo P4, posto a Sud dell'area in esame.

Le indagini eseguite all'interno del polo estrattivo sono state le seguenti:

- n. 2 prove penetrometriche dinamiche (SCPT);
- n. 4 sondaggi elettrici verticali;
- n. 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo.



Si riportano di seguito schematicamente i risultati delle indagini.

Prove penetrometriche

Prova P1

0,0 - 2,1 m Nscpt medio = 4 colpi/piede
2,1 - 2,7 m Nscpt medio = 25 colpi/piede
2,7 - 3,5 m Nscpt medio = 8 colpi/piede
3,5 - 3,9 m Nscpt medio = 65 colpi/piede
3,9 - 4,5 m Nscpt medio = 48 colpi/piede
4,5 - 5,0 m Nscpt medio = 75 colpi/piede
5,0 - 6,0 m Nscpt medio = 45 colpi/piede
6,0 - 7,5 m Nscpt medio = 80 colpi/piede

Prova P2

0,0 - 2,0 m Nscpt medio = 5 colpi/piede
2,0 - 2,5 m Nscpt medio = 12 colpi/piede
2,5 - 3,3 m Nscpt medio = 32 colpi/piede
3,3 - 4,2 m Nscpt medio = 55 colpi/piede
4,2 - 4,8 m Nscpt medio = 80 colpi/piede

Sondaggi elettrici verticali

Sondaggio E1

0,0 - 2,0 m: 90 ohm/m areato
2,0 - 20,0 m: 800 ohm/m sabbie e ghiaie fini
> 20,0 m: 100 ohm/m sabbie e limi

Sondaggio E2

0,0 - 4,0 m: 120 ohm/m areato
4,0 - 10,0 m: 1200 ohm/m sabbie e ghiaie grossolane
10,0 - 65,0 m: 500 ohm/m sabbie fini
> 65,0 m: <50 ohm/m limi e argille

Sondaggio E3

0,0 - 2,0 m: 230 ohm/m areato
2,0 - 20,0 m: 950 ohm/m sabbie e ghiaie fini
> 20,0 m: 210 ohm/m sabbie e limi

Sondaggio E4

0,0 - 4,0 m: 160 ohm/m areato
4,0 - 9,0 m: 1500 ohm/m sabbie e ghiaie grossolane
9,0 - 68,0 m: 650 ohm/m sabbie fini
> 68,0 m: <50 ohm/m limi e argille

Sondaggio geognostico

E' stato eseguito un sondaggio geognostico fino alla profondità di 30 m dal p.c..

Da un punto di vista litologico, sono state confermate le indicazioni già emerse durante le prove indirette; infatti, fino a -20 m sono state ritrovate sabbie ghiaiose verso l'alto e sabbie medio-fini con ciottoli e ghiaie subordinate verso il basso. Oltre i 20 m è stata osservata la presenza di materiali a granulometria fine (limi e limi sabbiosi).

Dalle suddette analisi condotte in passato (poste a sud del sito in esame) è quindi possibile desumere che in genere, al di sotto di un orizzonte di alterazione superficiale (suolo) caratterizzato da uno spessore di circa 2 m, sono presenti terreni granulari da moderatamente addensati a addensati, contraddistinti da discreti parametri litotecnici. Tali depositi si spingono fino ad una profondità di circa 15-20 m dove iniziano terreni fini limoso-sabbiosi che, probabilmente, presentano parametri di resistenza scadenti.

5.2 INDAGINI PER CENTRALE DI TELERISCALDAMENTO COMUNALE

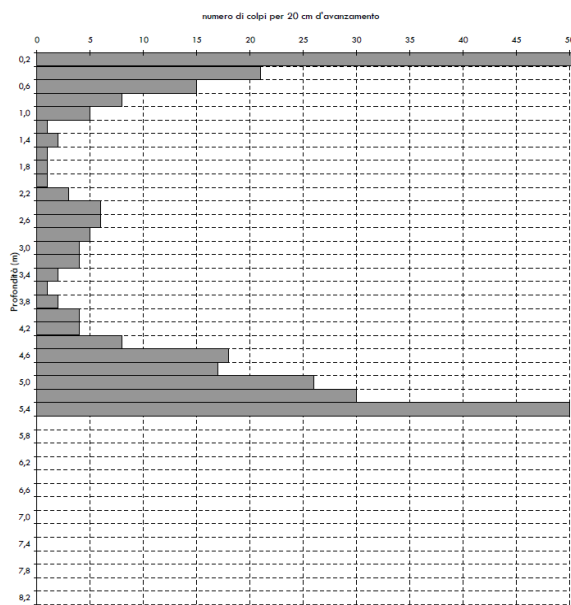
Al fine di caratterizzare da un punto di vista geotecnico i terreni affioranti sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche:

- n. 5 prove penetrometriche dinamiche continue di tipo DPSH;
- n. 2 sondaggi geognostici di 10 m
- n. 3 sondaggi geognostici di 3-5 m
- n. 1 sondaggio sismico tipo MASW.

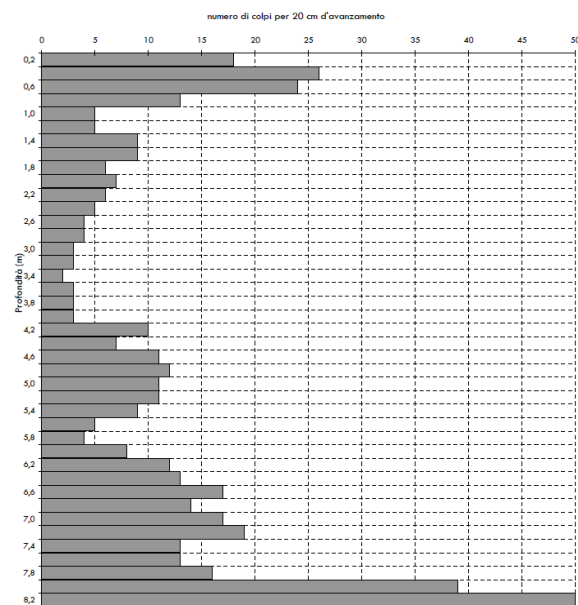


Prove penetrometriche

Sono state eseguite cinque prove penetrometriche dinamiche di tipo DPSH.



Prova P1



Prova P3

Mandanti:

11

Sondaggi geognostici

Nel settembre 2007 sono stati eseguiti due sondaggi geognostici, che hanno raggiunto rispettivamente la profondità di -10 m dal piano campagna.

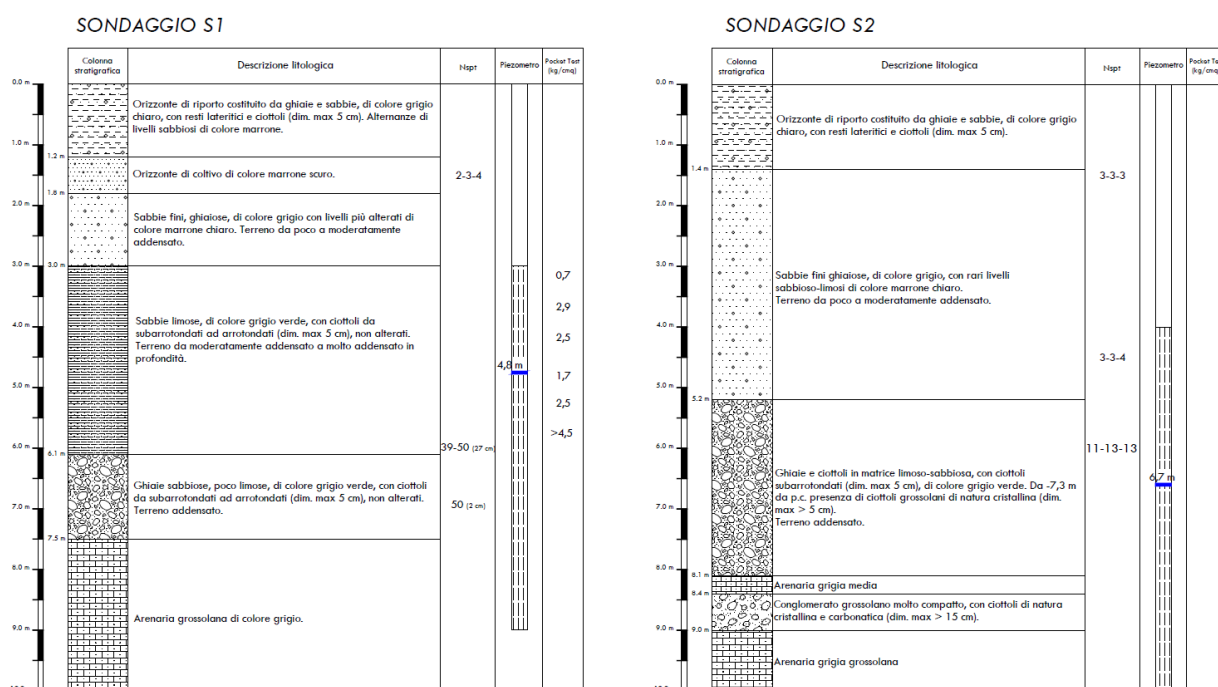
Durante l'esecuzione dei sondaggi, è stata rilevata la presenza di acque sotterranee alla profondità di -4,8 m/ -4,4 m da p.c. in uno dei sondaggi e di 6,7 m/ -6,2 m da p.c. nell'altro.

Nel 2008 sono stati eseguiti n. 4 sondaggi geognostici nell'ambito del Piano di Indagine Ambientale Preliminare.

Un controllo effettuato nel gennaio 2008 ha inoltre evidenziato il livello idrico a circa -2,2 m da piano campagna.

Tali sondaggi hanno raggiunto rispettivamente le profondità di -5 m, -3 m, -3 m, e -3 m e non hanno rilevato la presenza di acque sotterranee fino alle massime profondità raggiunte.

Nello stesso ambito è stato realizzato un piezometro per il campionamento delle acque di falda.



Analisi sismiche

E' stata effettuata una campagna di indagini geofisiche al fine di caratterizzare da un punto di vista sismico il sottosuolo dell'area in esame.

Nello specifico la metodologia utilizzata è stata quella delle prove MASW per il calcolo del

valore V_{s30} e la ricostruzione della stratigrafia delle onde S. Il valore determinato delle V_{s30} dal piano campagna è di 731 m/s indicativo di un terreno di categoria B.

Modello

Sulla base dei risultati delle indagini condotte è stato possibile effettuare una ricostruzione dell'assetto litotecnico dell'area.

Partendo dal piano campagna, al di sotto della pavimentazione, è stata rilevata la presenza di un orizzonte di terreno di riporto (orizzonte R) costituito, in genere, da ghiaie sabbie e ciottoli con resti lateritici, steso come sottofondo della pavimentazione esistente. Tale orizzonte presenta uno spessore variabile da 1 a 2 m e non è stato caratterizzato sotto il profilo litotecnico a causa della sua natura eterogenea.

Nel settore occidentale dell'area, al di sotto del materiale di riporto, è stata evidenziata la presenza del vecchio terreno di coltura (orizzonte S), costituito da limi sabbiosi molli di colore marrone scuro. Tale orizzonte, dove rilevato, presenta uno spessore di circa 1 m.

Al di sotto, sono presenti terreni sabbioso-ghiaiosi di colore grigio con percentuale molto variabile di matrice limosa, di colore marrone chiaro (orizzonte A). Tale orizzonte è generalmente costituito di materiali da poco a moderatamente addensati, con spessori compresi tra 1 m e 3,5 metri. Sulla base della resistenza alla penetrazione dinamica sono stati ricavati i seguenti parametri litotecnici:

- | | |
|--|--|
| - N_{spt} medio = 6,5 colpi/piede | - Angolo d'attrito efficace = $28,5^\circ$ |
| - Peso di volume naturale = $1,68 \text{ t/m}^3$ | - Modulo d'elasticità = 58 kg/cm^2 |
| - Peso di volume saturo = $1,97 \text{ t/m}^3$ | |

Nel settore occidentale dell'area, seguono materiali sabbioso-limosi (**orizzonte B**) di colore grigio-verde con qualche ciottolo, con spessore di circa 3 metri, che mostrano un grado di addensamento che aumenta con la profondità. Sulla base della resistenza alla penetrazione dinamica sono stati ricavati i seguenti parametri litotecnici:

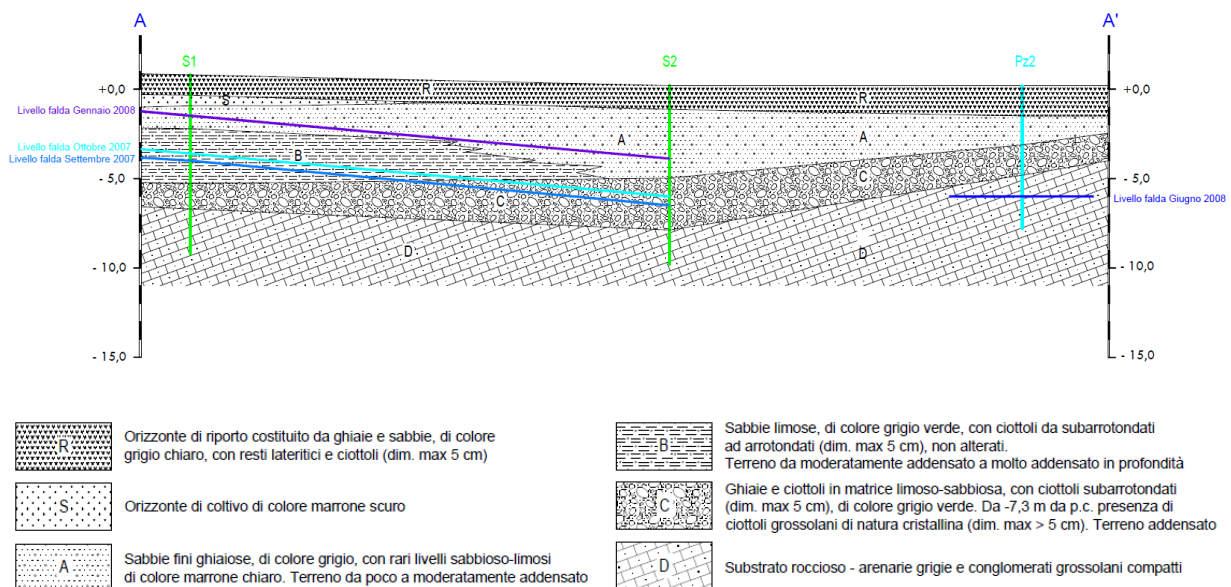
- | | |
|--|--|
| - N_{spt} medio = 10 colpi/piede | - Angolo d'attrito efficace = 30° |
| - Peso di volume naturale = $1,78 \text{ t/m}^3$ | - Modulo d'elasticità = 80 kg/cm^2 |
| - Peso di volume saturo = $2,04 \text{ t/m}^3$ | - Coesione non drenata = 1 kg/cm^2 |

Inferiormente, è presente un terreno da moderatamente addensato a molto addensato costituito da ghiaie e sabbie in abbondante matrice limosa (**orizzonte C**). Tale orizzonte presenta un graduale aumento con la profondità della componente ghiaiosa e del grado di addensamento. Sulla base della resistenza alla penetrazione dinamica sono stati ricavati i seguenti parametri litotecnici:

- Nspt medio = 20 colpi/piede
- Peso di volume naturale = 1,85 t/m³
- Peso di volume saturo = 2,1 t/m³
- Angolo d'attrito efficace = 33°
- Modulo d'elasticità = 223 kg/cm²

Chiudono la sequenza, i materiali cementati appartenenti all'**orizzonte D**, costituito da livelli di arenaria medio-grossolana di colore grigio e da conglomerato grossolano a matrice arenacea, con ciottoli di natura prevalentemente cristallina.

La geologia dell'area, nonché il sondaggio sismico effettuato nelle vicinanze, permettono di interpretare tale orizzonte cementato come substrato roccioso appartenente alla formazione della Gonfolite Lombarda.



6. INDAGINI REALIZZATE

Nella zona di studio sono state condotte le indagini riportate nelle tabelle seguenti.

L'ubicazione e i report delle singole indagini sono riportate nella relazione sulle indagini.

- 7 saggi esplorativi (4 scavi + 3 trincee)
- 6 campioni per laboratorio terre
- 4 campioni per analisi chimiche
- 4 prove permeabilità
- 3 prove penetrometriche dinamiche (DPSH)
- 1 prospezione sismica MASW
- 1 misura di sismica passiva HVSr

Nome indagine	tipo indagine	
CA1	scavo	rilievo stratigrafico prelievo campione per laboratorio terre prelievo campione per laboratorio chimico prova permeabilità
CA2	scavo	rilievo stratigrafico prelievo campione per laboratorio terre prelievo campione per laboratorio chimico prova permeabilità
CA3	scavo	rilievo stratigrafico prelievo campione per laboratorio terre prelievo campione per laboratorio chimico prova permeabilità
CA4	scavo	rilievo stratigrafico prelievo campione per laboratorio terre prelievo campione per laboratorio chimico prova permeabilità
CC1	trincea	rilievo stratigrafico prelievo campione per laboratorio terre
CC2	trincea	rilievo stratigrafico
CC3	trincea	rilievo stratigrafico prelievo campione per laboratorio terre
P5 – P6 – P7	prove penetrometriche	prova dinamica (DPSH)
Masw 2 - HVSr 2	indagini geofisiche:	1 prospezione sismica MASW 1 misure di sismica passiva HVSr

Campioni per laboratorio analisi chimiche		
Nome campione	profondità campionamento	Set analitico
CA1	-1,65/-1,8 m	A
CA2	-0,5/-1,0 m	A
CA3	-0,5/-1,0 m	A
CA4	-0,5/-1,0 m	B

Mandanti:

15

7. RICOSTRUZIONE DELLA PIEZOMETRIA LOCALE

Nome indagine	Soggiacenza falda da p.c. (m da p.c.)	
	mar-21	13/10/2021
CA1	assente fino -3,0	
CA2	assente fino -3,0	
CA3	assente fino -3,2	
CA4	assente fino -3,0	
CC1	assente fino -2,6	
CC2	assente fino -2,6	
CC3	assente fino -2,0	
P5		-9,0
P6		assente fino -3,9
P7		assente fino -7,3

Le indagini condotte non hanno individuato un livello idrico caratterizzato da bassa soggiacenza.

8. ASPETTI SIMICI

8.1 INQUADRAMENTO SISMICO

Per l'applicazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 marzo 2003, è stata redatta una mappa della pericolosità sismica di base per tutto il territorio nazionale, con l'individuazione di quattro zone sismiche a pericolosità decrescente (zona 1, zona 2, zona 3, zona 4) e la formazione degli elenchi dei comuni compresi in ciascuna zona.

Ogni zona sismica è contrassegnata da un diverso "range" di valori del parametro a_g corrispondente alla accelerazione di picco orizzontale del suolo, con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi, espressa come frazione dell'accelerazione di gravità g , secondo la seguente tabella.

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

- Zona 1: è la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti
- Zona 2: zona in cui possono verificarsi terremoti abbastanza forti
- Zona 3: zona in cui possono verificarsi scuotimenti modesti
- Zona 4: zona meno pericolosa; possibilità di danni sismici basse

La Regione Lombardia, con la D.G.R. 7 novembre 2003 n. 7/14964 "Disposizioni preliminari per l'attuazione dell'ordinanza Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 recante primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", ha confermato la classificazione sismica dei singoli comuni proposta dalla OPCM sopracitata ed ha stabilito i modi e i tempi di applicabilità della nuova normativa sismica sia per le costruzioni esistenti che per quelle future.

Al comune Villa Guardia è stata attribuita la zona sismica 4.

L'Ordinanza PCM 3274 ha richiesto anche la compilazione di una nuova mappa di pericolosità del territorio Nazionale espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s). Tale mappa è stata approvata con Ordinanza PCM 28 aprile 2006 n. 3519.

Il nuovo studio di pericolosità, ha fornito alle Regioni uno strumento aggiornato per la classificazione del proprio territorio.

La Regione Lombardia, con D.G.R. 11 luglio 2014, n. X/2129 “Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)”, ha provveduto all’aggiornamento della classificazione sismica dei Comuni.

Secondo questa classificazione è stata confermata la zona sismica 4.

8.2 MODELLO SISMICO E SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

Il D.M. 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni” (NTC 2018) ha proposto una classificazione delle categorie di sottosuolo per l’utilizzo dell’approccio semplificato nelle verifiche sismiche.

Per quanto riguarda il sito in esame, le analisi sismiche condotte hanno permesso di attribuire al sito in esame la categoria di sottosuolo C: “depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.”

Per la definizione dell’azione sismica locale con l’approccio semplificato, oltre che la categoria sismica di sottosuolo, è necessario determinare una categoria topografica.

Al lotto in esame è possibile attribuire una categoria topografica T1: “*superficie pianeggiante. Pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$* ”.

APPROFONDIMENTO SISMICO DI SECONDO LIVELLO

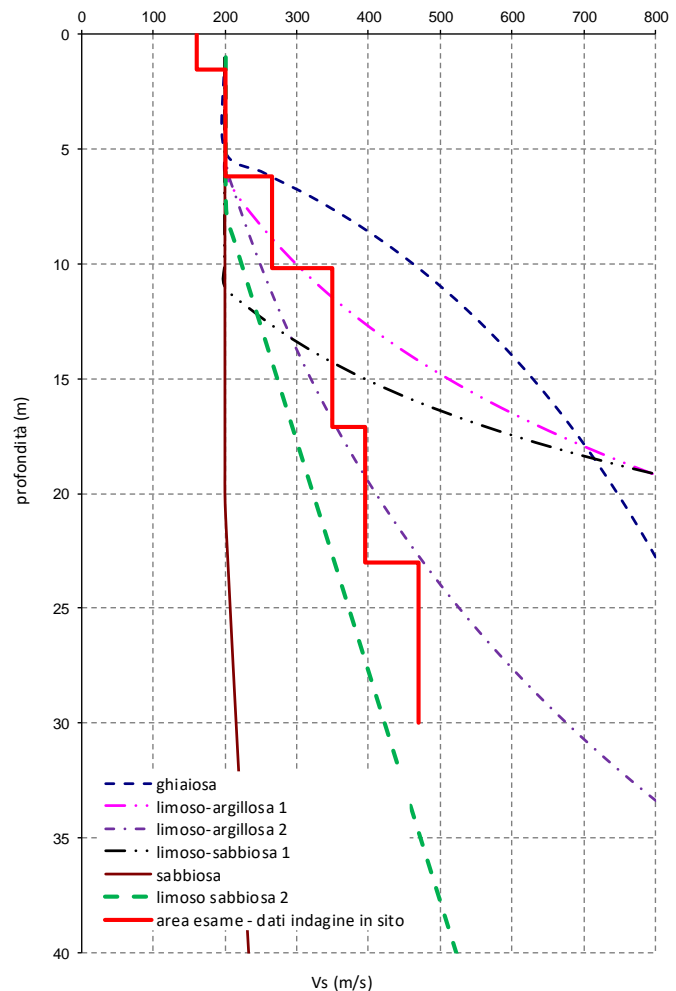
Data la natura del progetto è stato effettuato il 2° livello di approfondimento sismico così come prescritto dalla vigente normativa regionale.

L’applicazione del secondo livello consente di verificare se, per il sito in esame, la normativa nazionale risulta sufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale (Fa calcolato minore a Fa di soglia comunali forniti da Regione).

Con i risultati delle indagini geofisiche condotte è stata utilizzata la procedura riportata nella normativa di riferimento per la determinazione dei fattori di amplificazione locali.

Inizialmente è stata individuata la scheda litologica di riferimento tra quelle proposte da Regione Lombardia.

Sulla base all'andamento delle Vs con la profondità, ricavato dall'indagine con la metodologia MASW, per l'area in esame si è scelta la scheda "limoso-sabbiosa tipo 2".



Sulla base della velocità media Vs, e dello spessore dello strato superficiale, è stata scelta la curva da utilizzare nel grafico T-Fa → curva 1 rossa

Il valore del periodo proprio del sito, ricavato dall'analisi HVSR, è risultato il seguente:

→ Frequenza di risonanza $\cong 4,8$ Hz - Periodo del sito = 0,2 s

Successivamente sono stati determinati i valori di Fa per i due intervalli di periodo 0,1-0,5 s e 0,5-1,5 s.

→ Intervallo di periodo 0,1 – 0,5 s Fa = 1,9

→ Intervallo di periodo 0,5 – 1,5 s Fa = 1,1

Tali valori sono stati confrontati con i valori di soglia forniti da Regione Lombardia per il comune di Villa Guardia. I valori di soglia rappresentano i valori oltre i quali lo spettro proposto dalla normativa nazionale risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

	Valori di soglia – comune Villa Guardia			
	Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
PERIODO 0,1 - 0,5 s	1,4	1,9	2,2	2,0
PERIODO 0,5 - 1,5 s	1,7	2,4	4,2	3,1

L'analisi effettuata ha definito che i valori di F_a previsti dalla normativa nazionale (sia per opere con periodo nell'intervallo 0,1-0,5 s che in quello 0,5-1,0 s) sono sufficienti a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito esaminato. Sarà quindi possibile applicare lo spettro previsto dalla normativa vigente.

9. MODELLO GEOLOGICO

9.1 MODELLO GENERALE

Sulla base delle indagini condotte, e facendo riferimento alle opere in progetto, è stato possibile individuare sostanzialmente due orizzonti litostratigrafici.

Orizzonte A

Questo orizzonte è costituito, al di sotto di un livello di terreno di coltivo con spessore mediamente di 0,2 - 0,4 m, da intercalazioni di sabbia con limo, sabbia con limo argillosa con tracce di ghiaia, sabbia con limo argillosa.

E' stato rinvenuto in tutte le indagini realizzate.

Al suo interno si rinvencono lenti/zone con materiale vegetale di colore grigio scuro-nerastro; tali materiali sono stati incontrati solamente in un punto di indagine.

Localmente si hanno livelli in cui prevale la sabbia a scapito delle frazioni fini limo-argillose.

Per quanto riguarda il colore si alternano livelli marrone, marrone scuro e livelli marrone-nero; il passaggio tra livelli a differente colorazione non è uniforme sia in senso orizzontale che verticale.

Lo spessore di questo orizzonte è alquanto variabile nell'area. In corrispondenza degli scavi aperti varia tra 1,35 m a 2,9 m.

Questo orizzonte è stato campionato in cinque punti e sottoposto ad analisi di laboratorio geotecnico.

Si riassumono di seguito le caratteristiche salienti.

Percentuali granulometriche

- La sabbia ha percentuali variabili tra il 71% circa (CA4) e il 42% circa (CA1 - CA3)
- Le analisi granulometriche hanno evidenziato comunque una non indifferente e componente di terreno fine (limi+argille) → 52 —56 % circa . Fa eccezione il campione CA4 in cui è decisamente inferiore (circa 26%).
- La percentuale di limo varia tra il 17% circa (CA4) e il 42% circa (CA3)
- La percentuale di argilla varia tra il 9% circa (CA4) e il 15% circa (CA1)

Orizzonte A							
	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	descrizione	*	**
CA1	4,82	42,25	37,95	14,98	Sabbia con limo argillosa con tracce di ghiaia	A6	CL
CA3	0,65	42,7	42,05	14,6	Sabbia con limo argillosa con tracce di ghiaia	A4	ML-CL
CA4	2,59	70,83	17,46	9,12	Sabbia limosa debolmente argillosa con tracce di ghiaia	A2-4	SM-SC
CC1	0,0	46,47	38,97	14,56	Sabbia con limo argillosa	A7-6	CL
CC3	0,36	47,86	40,25	11,53	Sabbia con limo argillosa con tracce di ghiaia	A4	CL

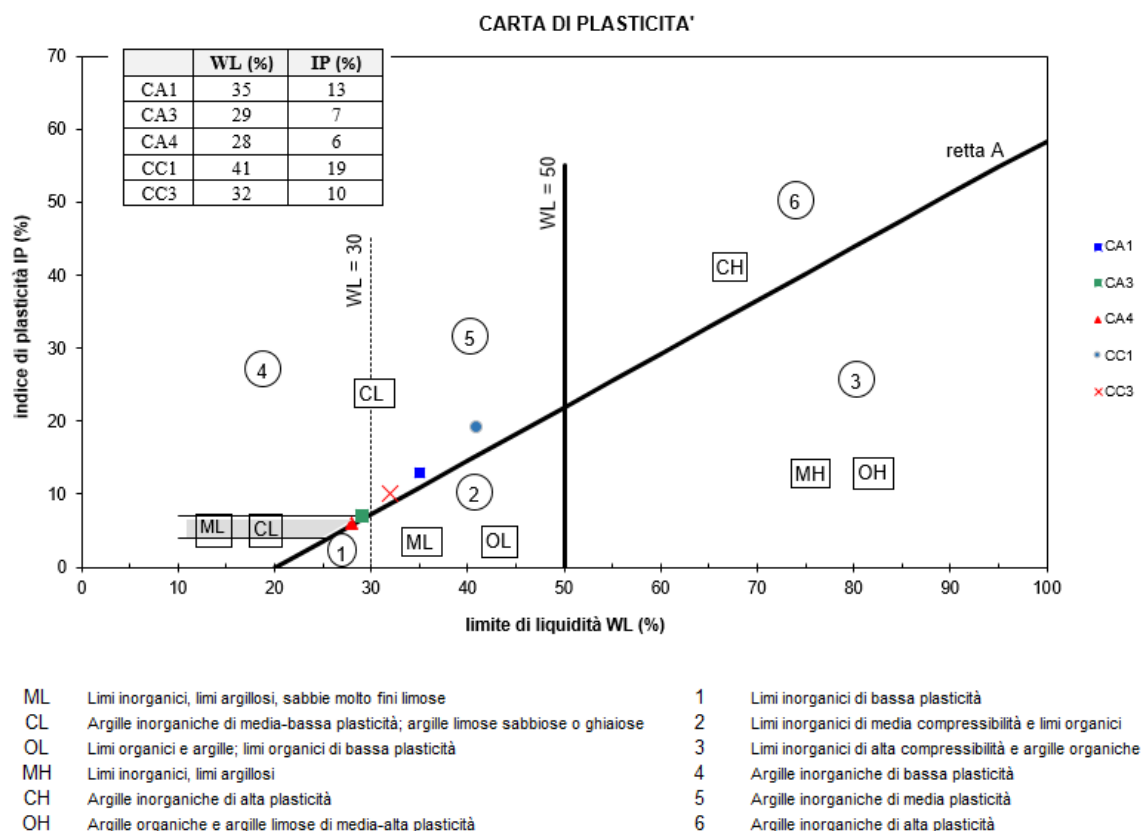
* classificazione Norma AASHTO - UNI CNR 10006

** classificazione Norma USC SYSTEM

Limiti di Atterberg

- L'indice plastico varia tra 9 e 19.

I terreni di tale orizzonte presentano quindi caratteristiche di molto varie: da poco plastico a plastico



Mandanti:

22

Classificazioni

- Secondo la classificazione AASHTO - UNI CNR 10006 i terreni rientrano nelle terre limo-argillose nei gruppi A4, A6 e A7.
- Secondo la classificazione USC SYSTEM i terreni sono denominati CL (Argille inorganiche di media-bassa plasticità; argille limose sabbiose o ghiaiose) o ML-CL limo inorganico e sabbie molto fini, limo o sabbia fine argillosa con lieve plasticità / argille inorganiche di media-bassa plasticità; argille limose sabbiose o ghiaiose).
- Parziale eccezione è il campione CA4 in cui la ridotta percentuale di fine (limo+argilla) rispetto agli altri campioni prelevati, determina una differente classificazione.

AASHTO - UNI CNR 10006 → gruppo A2-4

USC SYSTEM → SM-SC (sabbie limose, associazione di sabbie e limi poco gradati / sabbie argillose, associazioni di sabbie e argille poco gradate)

Permeabilità

I valori ottenuti dalle prove di permeabilità realizzate in questo orizzonte sono sintetizzati nella tabella seguente.

prova	Coeff. permeabilità k (m/s)		
CA1	$6,4 \cdot 10^{-6}$ m/s	permeabilità bassa →	drenaggio povero
CA2	$2,4 \cdot 10^{-6}$ m/s	permeabilità bassa →	drenaggio povero
CA3	$5,2 \cdot 10^{-6}$ m/s	permeabilità bassa →	drenaggio povero
CA4	$4,1 \cdot 10^{-6}$ m/s	permeabilità bassa →	drenaggio povero
Valore medio	$4,5 \cdot 10^{-6}$ m/s		

Orizzonte B

Questo orizzonte è costituito da ghiaia con sabbia e ciottoli limoso/argillosa. I clasti sono poligenici, prevalentemente subarrotondati /arrotondati e, in quantità minore, spigolosi con dimensioni dei ciottoli fino a 10-15 cm (abbondanti) e, più rari, fino a 20-35 cm. Il colore è marrone o marrone giallastro.

E' stato ben indagato in alcune indagini (CA1, CA2, CA3 e CC3) per uno spessore variabile tra 0,7 e 1,6 m mentre in due scavi/trincee è stato rinvenuto a fondo scavo (CA4 e CC1). Nella trincea CC2 non è stato raggiunto dallo scavo (fondo scavo -2,6 ma da p.c.).

Questo orizzonte è stato campionato in un punto e sottoposto ad analisi di laboratorio geotecnico.

Si riassumono di seguito le caratteristiche salienti.

Percentuali granulometriche

- Le analisi granulometriche hanno evidenziato una scarsa componente di terreno fine (limi+argille) → circa 5%
- La percentuale di sabbia è il 42% circa
- La percentuale di ghiaia è di circa 53%

Orizzonte B						
	% ghiaia	% sabbia	% Limo + argilla	descrizione	*	**
CA2	52,85	41,99	5,16	Ghiaia con sabbia limo-argillosa	A1-a	GW-GM

* classificazione Norma AASHTO - UNI CNR 10006

** classificazione Norma USC SYSTEM

Limiti di Atterberg

In laboratorio non è stato possibile eseguire il limite plastico in quanto il terreno è non plastico.

Classificazioni

- Secondo la classificazione AASHTO - UNI CNR 10006 i terreni rientrano nelle terre ghiaioso-sabbiose gruppo A1-a.
- Secondo la classificazione USC SYSTEM i terreni sono denominati GW-GM (ghiaie ben gradate, associazioni di ghiaie e sabbie; frazioni fini assenti o poco presenti / ghiaie limose, associazioni di ghiaie-sabbie-argille poco gradate).

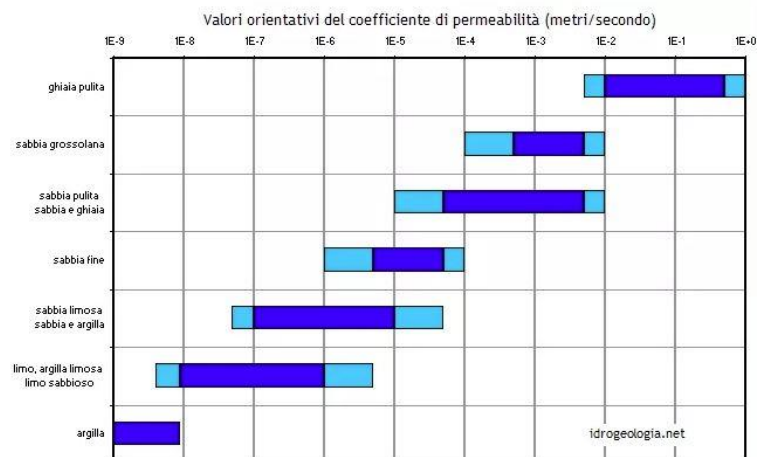
Permeabilità

Questo livello non è stato indagato tramite prove di permeabilità dirette. Una stima, seppur genenrale ed indicativa può essere ricavata dalla relazione empirica proposta da Hazen che lega la permeabilità di un terreno alla granulometria ed in particolare ad D10.

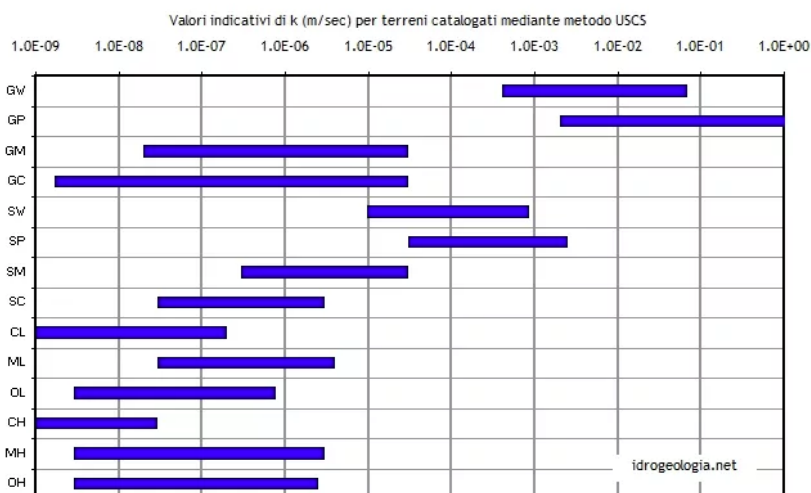
I valori ottenuti sono i seguenti.

CA2 → $K = 2,8 \cdot 10^{-4}$ m/s → permeabilità media → drenaggio buono

Tali valori rientrano nei parametri forniti in letteratura.



Valori orientativi del coefficiente di permeabilità orizzontale in metri/sec per terreni sciolti a granulometria decrescente dalle ghiaie alle argille



Valori indicativi del coefficiente di permeabilità per una serie di terreni classificati sulla base del metodo USCS (Unified Soil Classification System)

Valori indicativi del coefficiente di permeabilità k per vari terreni.

k (m/s)	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹
Drenaggio	Buono						Povero			Praticamente impermeabile		
	Ghiaia pulita	Sabbia pulita e miscele di sabbia e ghiaia pulita				Sabbia fine, limi organici e inorganici, miscele di sabbia, limo e argilla, depositi di argilla stratificati			Terreni impermeabili, argille omogenee sotto la zona alterata dagli agenti atmosferici			
					Terreni impermeabili modificati dagli effetti della vegetazione e del tempo							

9.2 ASPETTI LITOTECNICI

Per quanto riguarda gli aspetti litotecnici si possono individuare livelli a differente grado di addensamento.

Si distinguono due livelli a differente addensamento.

Il primo livello (livello 1) è costituito da terreni molto sciolti e comprende sia l'orizzonte litologico A che la porzione sommitale dell'orizzonte B.

In profondità il grado di addensamento aumenta nettamente e repentinamente; il livello 2 è caratterizzato infatti da terreni addensati / molto addensati ed ha causato il “rifiuto delle prove penetrometriche”. Litologicamente si tratta di un orizzonte non incontrato dagli scavi ma presumibilmente composto da materiale cementato e/o il substrato gonfolitico.

Stato di addensamento	Nspt (colpi/30 cm)
molto sciolto	0 – 4
sciolto	4 – 10
moderatamente addensato	10 – 30
addensato	30 – 50
molto addensato	> 50

Con riferimento alle prove penetrometriche P5, P6 e P7 le caratteristiche dei livelli individuati sono le seguenti.

➤ Livello 1

E' costituito da terreni molto sciolti con valori medi di Nspt di 3 - 4 c/p.

Lo spessore individuato nelle verticali di indagine varia da circa 3,6 m (prova P6) a 9 m (prova P5). Comprende sia l'orizzonte litologico A che l'orizzonte B.

➤ Livello 2

E' costituito da terreni addensati / molto addensati con valori medi di Nspt variabili da 28 - 42 c/p fino al “rifiuto alla penetrazione”.

10. ASPETTI AMBIENTALI

Come già accennato, sono stati prelevati dei campioni di terreno al fine di caratterizzarli chimicamente.

Campioni per laboratorio analisi chimiche		
Nome campione	profondità campionamento	Set analitico
CA1	-1,65/-1,8 m	A
CA2	-0,5/-1,0 m	A
CA3	-0,5/-1,0 m	A
CA4	-0,5/-1,0 m	B
<u>Set analitico A</u> ✓ Metalli: Arsenico, Cadmio, Cobalto, Cromo totale, Cromo VI, Nichel, Mercurio, Piombo, Rame, Zinco ✓ Idrocarburi pesanti: C>12 ✓ Amianto		
<u>Set analitico B</u> ✓ Metalli: Arsenico, Cadmio, Cobalto, Cromo totale, Cromo VI, Nichel, Mercurio, Piombo, Rame, Zinco ✓ Idrocarburi pesanti: C>12 ✓ Idrocarburi leggeri: C<12 ✓ Amianto ✓ IPA ✓ Composti organici aromatici (BTEX)		

Per quanto riguarda i limiti normativi di riferimento sono stati individuati nelle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) dell'Allegato 5 della Parte Quarta, del d.lgs. 152/06.

I risultati delle analisi chimiche condotte evidenziano come tutti i parametri ricercati presentano una concentrazione al di sotto dei limiti imposti per aree a destinazione d'uso verde pubblico, privato e residenziale (colonna A).

Il terreno naturale (per quanto attiene ai campioni analizzati) ha quindi le caratteristiche ambientali per poter essere riutilizzato in sito o gestite come sottoprodotto.

Villa Guardia, dicembre 2021

Dott. geologo
Frati Stefano



Mandanti:

28