

tav.

H**Ed**

oggetto

Relazione Geologica - Sismica - Geotecnica

832/19_Ed/00

Archivio/P/832_19 PesentiSerafinolmp.P.A.A15-BonateSopra/06.PRAT.EDILIZIE/007-P.A. Ago 2020

data

descrizione

elaborato

verificato

13/10/2020

Piano attuativo

pc.

mf.



Comune di: Bonate Sopra

Provincia di: Bergamo

Commessa: 832/19

Proprietario: Diocesi di Bergamo

Comm.: Pesenti Serafino srl

timbro

lavori :

PIANO ATTUATIVO

Piano attuativo area AT15 denominato "GARDEN HOME"

Sede legale:

Studio Facchinetti & Partners - Architetti Associati
24060 Casazza - Bergamo - Italia, Piazza della Pieve n.1

Sedi operative:

BERGAMO

MILANO

BELGRADO

Sede di riferimento: 24125 - Bergamo - Italia,**via Daste e Spalenga n.45**

T. +39 - 035 300359 F. +39 - 035 4236322

e.mail: info@facchinetti-partners.com

<http://www.facchinetti-partners.com>

F A C C H I N E T T I



P A R T N E R S

A R C H I T E T T I A S S O C I A T I

MASSIMO FACCHINETTI CARLO BONO ALESSANDRA BOCCALARI

Studio tecnico dott. MAURIZIO ZUNTINI

Consulenze Geologiche ed Ambientali



PESENTI SERAFINO - s.r.l.
Via Locatelli, 33 – 24041 Brembate - Bg

Relazione geologica – sismica - geotecnica
a supporto dei lavori di realizzazione di nuove unità abitative site in Via S.
Rocco nel Comune di Bonate Sopra – Provincia di Bergamo
Piano Attuativo area AT15 denominata "Garden Home"

Il Tecnico

Dott. Geol. Maurizio Zuntini

Dott. MAURIZIO ZUNTINI
GEOLOGO - M. Iscr. O.L.G. 340
Via Lega Lombarda, 4 - 24030 PONTIDA (BG)
Tel. 035.4385491



Dicembre, 2019



PESENTI SERAFINO - s.r.l.
Relazione geologica, sismica e geotecnica

CONTENUTO

1	Premessa	pag. 3
2	Inquadramento territoriale	pag. 4
3	Rapporto geologico	pag. 5
3.1	Inquadramento geologico	pag. 5
3.2	Geomorfologia	pag- 6
3.3	Idrogeologia	pag. 6
3.4	Climatologia	pag. 8
4	Rapporto sismico	pag. 10
4.1	Categoria di Sottosuolo e Categoria Topografica	pag. 10
4.2	Prospezioni sismiche e modello sismostratigrafico	pag. 10
4.3	Analisi HVSR	pag. 11
4.4	Indagine sismica MASW	Pag. 15
4.5	Determinazione degli spettri di velocità ed individuazione delle curve di dispersione	pag. 17
4.6	Profilo sismostratigrafico	pag. 20
4.7	Approfondimento relativo agli aspetti sismici (<i>app5</i>)	pag. 23
4.8	Pericolosità sismica del sito	pag. 23
4.9	Stabilità del sito nei confronti della liquefazione	pag. 27
5	Rapporto geotecnico	pag. 28
5.1	Indagini geognostiche	pag. 28
5.2	Il progetto	pag. 32
5.3	Il vigente P.G.T. del Comune di Brembate	pag. 33
6	Conclusioni	pag. 35

Allegato al testo

Elaborazione dei dati geotecnici



PESENTI SERAFINO - s.r.l.

Relazione geologica – sismica - geotecnica

a supporto dei lavori di realizzazione di nuove unità abitative site in Via S. Rocco nel Comune di Bonate Sopra – Provincia di Bergamo
Piano Attuativo area AT15 denominata “Garden Home”

1 Premessa

A nome e per conto della Soc. Pesenti Serafino s.r.l. e su incarico dello studio di progettazione Arch. Facchinetti, è stato da noi sviluppato il seguente elaborato che si propone di ricostruire le caratteristiche geologiche, sismiche e geotecniche dei terreni d’interesse, per definire le condizioni di fattibilità e di esercizio delle opere di fondazione di edifici residenziali da realizzare in via S. Rocco – Piano Attuativo area AT15 denominata “Garden Home nel Comune di Bonate Sopra – Bg.

La zona indagata è posta in area pianeggiante ad una quota topografica di circa 228 m s.l.m.

L’rea in oggetto ed i luoghi ad essa contermini sono in fase di completamento della urbanizzazione.

Lo studio ha previsto l’analisi dei dati bibliografici e l’esecuzione di una campagna d’indagine geognostica basata sull’esecuzione di n° 4 prove penetrometriche di tipo dinamico SCPT, mediante penetrometro pesante Pagani TG 63-200.

L’acquisizione dei dati litostratigrafici ha permesso di ricostruire il modello locale di dettaglio dei terreni interessati.

La presente indagine costituisce il supporto alla progettazione, come prescritto dal D. M. 17/01/2018 NTC18 ed alla relativa circolare esplicativa del C.S.LL.PP.

In particolare si pone in evidenza quanto indicato dalle normativa in merito alla finalità ed ai contenuti della relazione geologica nel D.M. 17/01/2018 e nell’Eurocodice 7.

In merito si richiama l’attenzione sui paragrafi:

- 6.1.2. Prescrizioni generali,
- 6.2 Articolazione del progetto,
- C. 6. Progettazione geotecnica,
- C.6.2 Articolazione del progetto.



2 Inquadramento territoriale

L'area oggetto di indagine appartiene amministrativamente al Comune di Bonate Sopra (Bg) sulla quale si prevede di realizzare edifici residenziali a due piani con un piano interrato destinato a box e cantina.

Il sito è posto ad una quota topografica di circa 228 m s.l.m. su area pianeggiante in posizione morfologica piana

L'area è ubicata ad Est del centro abitato di Bonate Sopra.

L'individuazione di tale area, le cui coordinate WGS84 sono:

Nord: 45° 405255

Est: 9° 3347793

è stata effettuata utilizzando diverse basi topografiche quali l'aerofotogrammetrico del Comune di Bonate Sopra e la C.T.R. della Regione Lombardia, fogli C5a3, in scala 1:10.000 allegata nel testo.



Immagine 1: Corografia dei luoghi, scala 1:10.000



3 Rapporto geologico

3.1 Inquadramento geologico

Nell'area di indagine si riconoscono i caratteri deposizionali tipici della media pianura padana, costituita da depositi sedimentari di tipo glaciale e subglaciale superficiali riferibili al Pleistocene Medio – superiore (60 – 30 ma), questi depositi, nel loro insieme, costituiscono il cosiddetto “Livello Fondamentale della Pianura”.

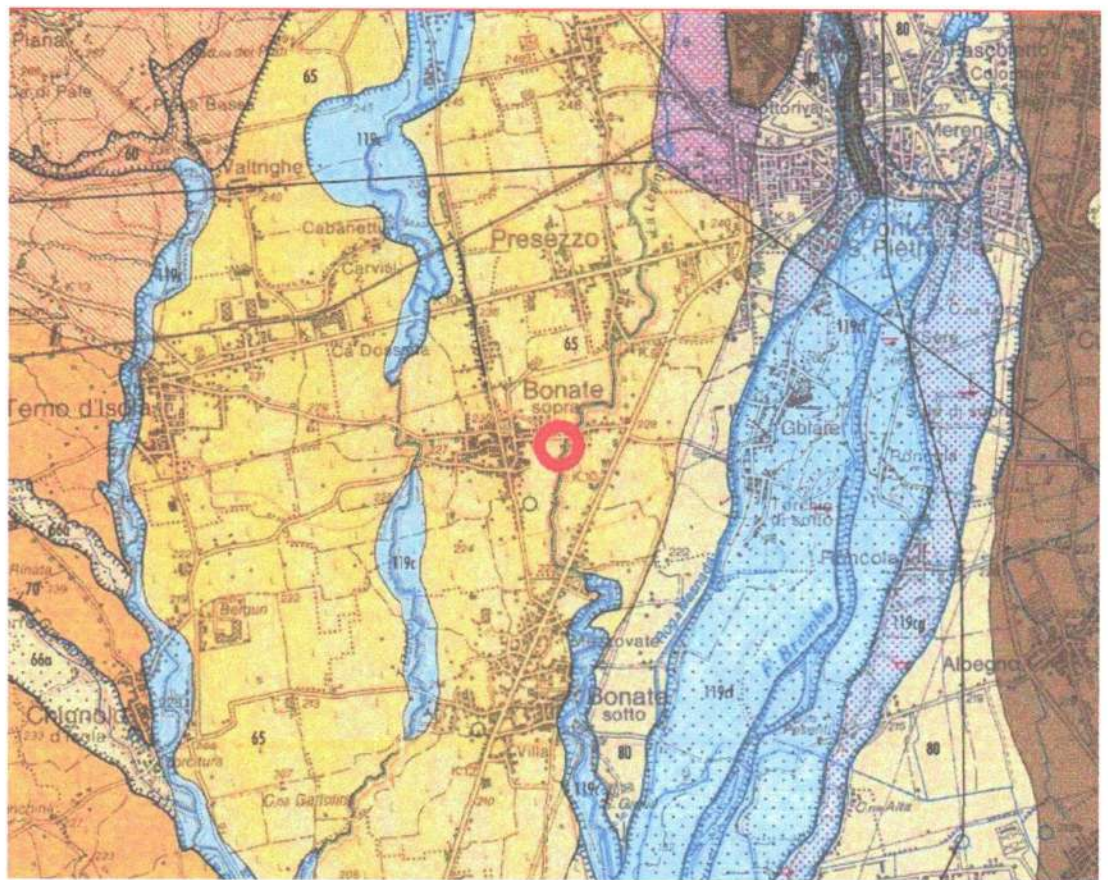


Immagine 2: Carta geologica, scala 1:50.000

Litologicamente i depositi sopra descritti costituiscono gran parte del bacino padano, con passaggi transizionali sia laterali che verticali a termini granulometrici più o meno fini con frequenti intercalazioni limosi, mai argillosi; in particolare procedendo da Nord verso Sud, tendono a prevalere le frazioni fini rispetto a quelle grossolane, specialmente nella fascia di depositi più superficiali di tipo continentale. Il profilo limite superiore presenta una morfologia ben conservata, la copertura loessica è discontinua ma ben



ma ben rappresentata. Il profilo di alterazione è evoluto con livelli di decarbonatazione fino a 3 metri.

L'area esaminata si colloca nella zona a ghiaie prevalenti con stato di alterazione limoso di colore brunastro (7.5YR4/3 msc), i clasti appartengono a litotipi riconducibili all'alto Lario ed alla Valtellina.

Tentando una ricostruzione palinspastica dei luoghi e riferendosi al Pleistocene, si osserva come, ormai esaurita l'orogenesi alpina ha inizio una fase di collasso con la formazione di un bacino tra i continenti africano ed europeo, in tal modo si forma il Mediterraneo, etimologicamente "tra le terre".

Gli agenti erosivi iniziano a smantellare l'apparato montuoso i cui residui vengono presi in carico dai ghiacciai e dalle acque di esarazione portandoli verso Sud a colmare, parzialmente, la depressione che si sta formando, la pianura padana.

Le grandi glaciazioni del periodo Pleistocenico hanno dato origine a notevoli depositi clastici che, strappati dalle neofornate montagne poste a Nord, li conducevano verso Sud a formare la pianura. Nel periodo sono riconoscibili almeno tre principali glaciazioni Mindel, Riss e Wurm; l'ultima grande glaciazione, Gunz, non è sempre riconoscibile nel Pleistocene, ma viene spesso datata Neocene inferiore.

3.2 Geomorfologia

Dal punto di vista geomorfologico l'area di studio appare pianeggiante e lievemente inclinata verso Sud con un gradiente medio di inclinazione pari a 0,2%; la sua regolarità viene interrotta verso Sud dai fiumi Adda e Brembo prossimo alla confluenza nel primo con forme a dosso, ondulazioni ad ampio raggio e tracce di paleo idrografia a canali intrecciati tipo braided.

Verso Est la zona di studio è delimitata dal T. Lesina che incide nuovamente i depositi continentali e rideposita i suoi prodotti.

3.3 Idrogeologia

Le conoscenze stratigrafiche ed idrogeologiche locali sono state ottenute consultando il sito della Provincia di Bergamo, della Regione Lombardia, di ARPA Lombardia ed il PGT del Comune di Bonate Sopra.

La struttura idrogeologica dell'Isola Bergamasca e del Comune di Bonate Sopra, in particolare, è caratterizzata dalla presenza di due acquiferi separati dal un livello argilloso, la cui continuità laterale e spessore non sono



costanti, pertanto a scala generale viene indicato un solo acquifero indifferenziato dello spessore di circa 140 metri.

A scala locale, partendo dalla superficie topografica si possono distinguere:

Unità ghiaioso sabbiosa questa unità idrogeologica è presente laddove affiorano i depositi fluvioglaciali più recenti; lateralmente è sostituita dall'Unità ghiaioso – sabbiosa – limosa. Si tratta di depositi sciolti costituiti da ghiaie poligeniche anche grossolane e sabbie con intercalati sottili livelli di sabbie miste a limi ed argille. Lo spessore medio di questa unità varia tra 10 e 15 metri.

Unità sabbioso argillosa: è costituita da ghiaie in abbondante matrice limoso argillosa di spessore variabile tra 15 e 20 metri. All'interno di questa unità è presente una falda locale di tipo sospeso, che si estende verso il basso fino ai primi banchi di conglomerato ben cementato e/o fino ad un orizzonte limoso argilloso, di spessore variabile che ricopre localmente tale conglomerato.

Unità conglomeratica (ceppo del Brembo): è costituita da bancate decimetriche di conglomerati poligenici ben cementati alternati a livelli di ghiaie anche grossolane poco cementate sono presenti scarse intercalazioni di limi argillosi. La cementazione carbonatica è diffusa e mostra una distribuzione irregolare che favorisce l'insorgere di processi di alterazione e dissoluzione. All'interno di questa unità vi è un flusso idrogeologico estremamente variabile sia in senso verticale che orizzontale, la circolazione idrica sotterranea si sviluppa lungo vie preferenziali. Tale unità rappresenta l'acquifero freatico principale nella zona di studio e si estende da una profondità di circa – 30 metri fino al massimo di 100 – 110 metri di profondità, in essa fluisce una falda di tipo libero, dotata di buona potenzialità.

Al di sotto dell'unità conglomeratica si riconoscono ulteriori due unità, unità limoso argillosa e substrato roccioso, di esse non discuteremo essendo troppo profonde per le finalità del presente studio.

La falda freatica localmente presente viene rinvenuta nei litotipi dell'unità conglomeratica; la ricarica di tale acquifero avviene attraverso la ricarica diretta, per filtrazione oppure attraverso la circolazione idrica sotterranea profonda.

La soggiacenza di questa falda è superiore ai 20 metri.



3.4 Climatologia

La zona presenta caratteri pluviometrici tipici del clima sublitoraneo alpino, con un massimo principale nel periodo primaverile ed uno secondario in autunno, con un minimo in corrispondenza dei mesi invernali; non si riscontrano stagioni completamente siccitose. Il clima è Sudalpino umido.

La piovosità locale registrata dalla Regione Lombardia – Ufficio Rischi Geologici e Protezione Civile nelle stazioni di Cernusco sul Naviglio, Brembate e Barzana dal 1891 al 1990 indica:

Piovosità minima:	650 mm
Piovosità media:	1.150 mm
Piovosità massima:	2.000 mm

Per ricercare la durata critica, quindi l'intensità massima di pioggia, è necessario conoscere la regola secondo la quale varia, in funzione della portata, l'altezza di precipitazione caratteristica con un determinato tempo di ritorno:

La formula è $h = at^n$

In cui

h = altezza di pioggia

t = tempo di ritorno

a ed **n** = parametri caratteristici della morfologia del bacino.

Per rappresentare la pioggia critica si utilizzano una serie di curve caratterizzate da differenti tempi di ritorno (2 - 5 - 10 - 20 - 50 - 100 - 200 anni).

Nel caso in esame sono stati utilizzati i valori di pioggia critica corrispondente ad ogni tempo di ritorno tratti dal sito ARPA Lombardia di cui alla sottostante tabella, per ore da 1 a 24:

ore	Tempi di ritorno						
	2	5	10	20	50	100	200
1	28,1	38,5	45,4	52,2	61,2	69,0	74,9
2	34,5	47,1	55,7	64,0	75,0	83,3	91,8
3	38,8	53,0	62,7	72,1	84,4	93,8	103,4
4	42,2	57,7	68,2	78,4	94,8	102,1	112,5
5	45,1	61,6	72,8	83,7	98,0	109,0	120,1
6	47,5	65,0	76,8	88,3	103,4	115,0	126,6
7	49,7	68,0	80,3	92,3	108,2	120,3	132,5



8	51,7	70,7	83,5	96,0	112,5	125,1	137,8
9	53,5	73,2	86,4	99,4	116,4	129,4	142,6
10	55,2	75,2	89,2	102,5	120,1	133,5	147,1
11	56,8	77,6	91,7	105,4	123,5	137,3	151,2
12	58,2	79,6	94,1	108,1	126,7	140,8	155,1
13	59,6	81,5	96,3	110,7	129,7	144,2	158,8
14	60,9	83,3	98,4	113,1	132,5	147,3	162,3
15	62,2	85,0	100,4	115,4	135,2	150,3	165,6
16	63,3	86,6	102,3	117,6	137,8	153,2	168,8
17	64,5	88,2	104,1	119,7	140,3	155,9	171,8
18	65,6	89,6	105,9	121,8	142,6	158,6	174,7
19	66,6	91,1	107,6	123,7	144,3	161,1	177,5
20	67,6	92,4	109,2	125,6	147,1	163,6	180,2
21	68,6	93,8	110,8	127,4	149,2	165,9	182,8
22	69,6	95,1	112,3	129,1	151,3	168,2	185,3
23	70,5	96,3	113,8	130,8	153,3	170,4	187,7
24	71,3	97,5	115,2	132,4	155,2	172,5	191,1



4 Rapporto sismico

4.0 Premessa

Nel presente elaborato viene eseguito uno Studio Geologico in ottemperanza a quanto prescritto dal Testo Unico sulle Costruzioni (D.M. 17/01/2018), secondo quanto previsto dalle Norme di Piano (D.G.R. 30/11/2011 n. IX/2616) e dalle nuove normative regionali in materia di vigilanza sulle costruzioni in zone sismiche (DGR 5001/2016, LR 33/2015) e aggiornamento della classificazione sismica regionale (DGR 2129/2014).

In riferimento alla nuova procedura di “deposito del progetto” (zona sismica 3), si allega inoltre il relativo Modulo 9 di dichiarazione/asseverazione del Geologo.

2 – Indagini sismiche, Categoria di Sottosuolo e Categoria Topografica

Viene di seguito eseguita la classificazione dei terreni di fondazione secondo quanto previsto dalle norme tecniche allegate al D.M. 17/01/2018.

Per quanto concerne le caratteristiche geomorfologiche facendo riferimento alle NTC 2018 e analizzando la cartografia dell’area di studio a scale da 1:5.000 a 1:10.000, si ritiene che il sito di progetto è inserito in contesto pianeggiante con inclinazione media $< 15^\circ$. Si potrà dunque tenere conto di una **categoria topografica T1**, alla quale corrisponde un coefficiente topografico **ST pari a 1,0**.

2.1 - Prospezioni sismiche e modello sismostratigrafico

Per la verifica del comportamento sismico dei terreni di fondazione sono state eseguite specifiche indagini per determinare la velocità di propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo. Le indagini in sito sono consistite nell’esecuzione di **n° 1 stendimento** di sismica multicanale con acquisizione delle onde di superficie con elaborazione dei dati secondo la procedura **MASW** ed analisi congiunta con i dati ottenuti mediante l’esecuzione di **n° 1 indagine sismica passiva con metodo HVSR**. Mediante tali metodologie è stato possibile ricostruire l’andamento medio delle onde Vs in profondità ed eseguire la valutazione del parametro **Vs,eq** di sito al fine di classificare il terreno di fondazione (tabelle allegate al D.M. 17/01/2018) e stimare la possibile frequenza di risonanza di sito.



Fig. 1 – Ubicazione delle indagini svolte presso l'area di studio, su immagine da satellite (fonte Google Earth).

4.3 Analisi HVSr

Allo scopo di migliorare la definizione del profilo verticale V_s nelle porzioni più profonde e di calcolare la possibile frequenza di risonanza di sito, si è scelto di eseguire una misurazione dei microtremori sismici ambientali per la definizione e l'analisi del rapporto spettrale H/V.

Cenni sulla metodologia HVSr

La tecnica HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è basata sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticale del rumore sismico ambientale. La prova a stazione singola, consiste nella valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti. Il risultato di questa prova è una curva sperimentale, che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze



spettrali medie delle vibrazioni in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi, sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura. L'ampiezza di questi massimi è proporzionale (anche se non linearmente) all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente alla base della copertura.

In particolare, in presenza di forti variazioni nel profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo (legate per esempio alla transizione fra sedimenti soffici e basamento rigido), la funzione H/V mostra dei massimi marcati in corrispondenza della frequenza di risonanza f_r relativa alla configurazione stratigrafica del sito (con f_r circa uguale al rapporto fra la velocità media delle onde S fino alla profondità del salto di velocità e il quadruplo di questa profondità). Pertanto, questa prova ha lo scopo principale di mettere in luce la presenza di fenomeni di risonanza sismica e consentire una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni.

Acquisizione dei dati

Nell'area d'indagine è stata eseguita, mediante stazione singola o tromometro, una misura di microtremore sismico ambientale per un tempo di registrazione pari a 20 minuti.

La strumentazione utilizzata si compone nello specifico di:

- un sistema di ricezione costituito da un tromometro CGE a 3 componenti geofoniche con frequenza propria di 2 Hz per acquisizioni del microtremore lungo la direzione verticale e le due direzioni orizzontali ortogonali.
- un sistema di acquisizione e memorizzazione costituito da un sismografo modulare in grado di registrare in modo digitale le forme d'onda generate (*Geode Geometrics Mod. 3-1000*); il sismografo A/D è in grado di campionare segnali tra 0.025 ms e 16 ms (campionamento eseguito a 4 ms). Il sistema di acquisizione è completato da un computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.

Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti

I risultati delle analisi presentati in questo lavoro sono stati ottenuti con il software *winMASW* versione *Acd 7.2*, che permette di determinare i rapporti medi fra le componenti spettrali del segnale, misurate sul piano orizzontale e verticale. A questo scopo, l'acquisizione del microtremore ambientale è stata suddivisa in una serie di finestre temporali di uguale durata (finestre di 20 ms), per ciascuna delle quali è stato determinato lo spettro del moto.

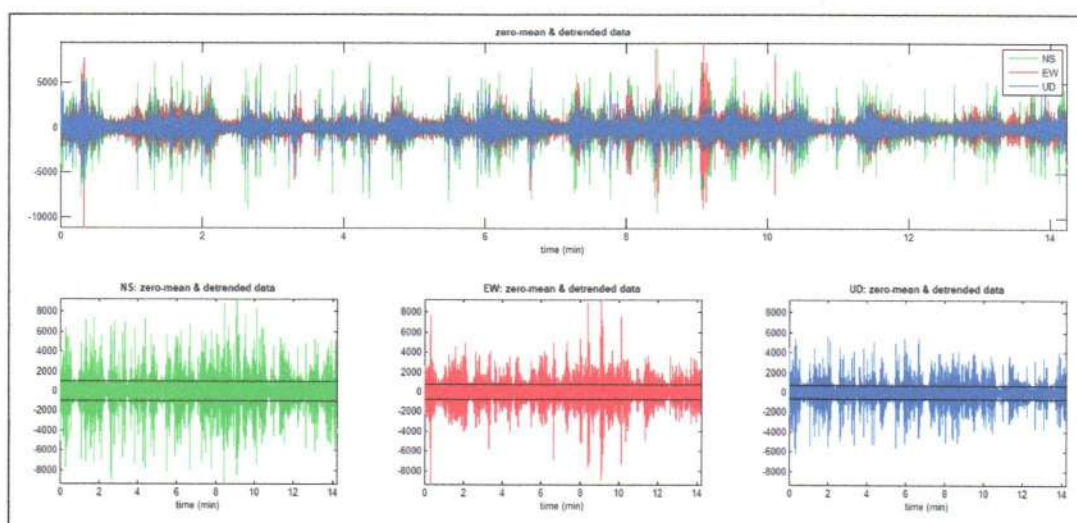


Fig. 2 - Visualizzazione dei dati prima della rimozione di eventi transienti.

La determinazione della curva HVSR ha previsto in sintesi i seguenti steps:

- 1) Eliminazione manuale da parte dell'utente delle parti di segnale costituite dal disturbo arrecato da eventi non conformi al rumore ambientale (transienti). Questa operazione produce una diminuzione della lunghezza del segnale analizzato (vedi figura precedente).
- 2) Definizione della lunghezza degli intervalli entro cui calcolare le curve HVSR (20 ms).
- 3) Calcolo delle trasformate di Fourier delle tre componenti x, y, z del moto.
- 4) Operazione di smoothing degli spettri di Fourier.
- 5) Somma delle due componenti orizzontali x e y.
- 6) Calcolo delle curve HVSR come rapporto spettrale tra la componente orizzontale H e la componente verticale V negli N intervalli temporali stazionari.
- 7) Calcolo della curva HVSR media tra le n curve HVSR.

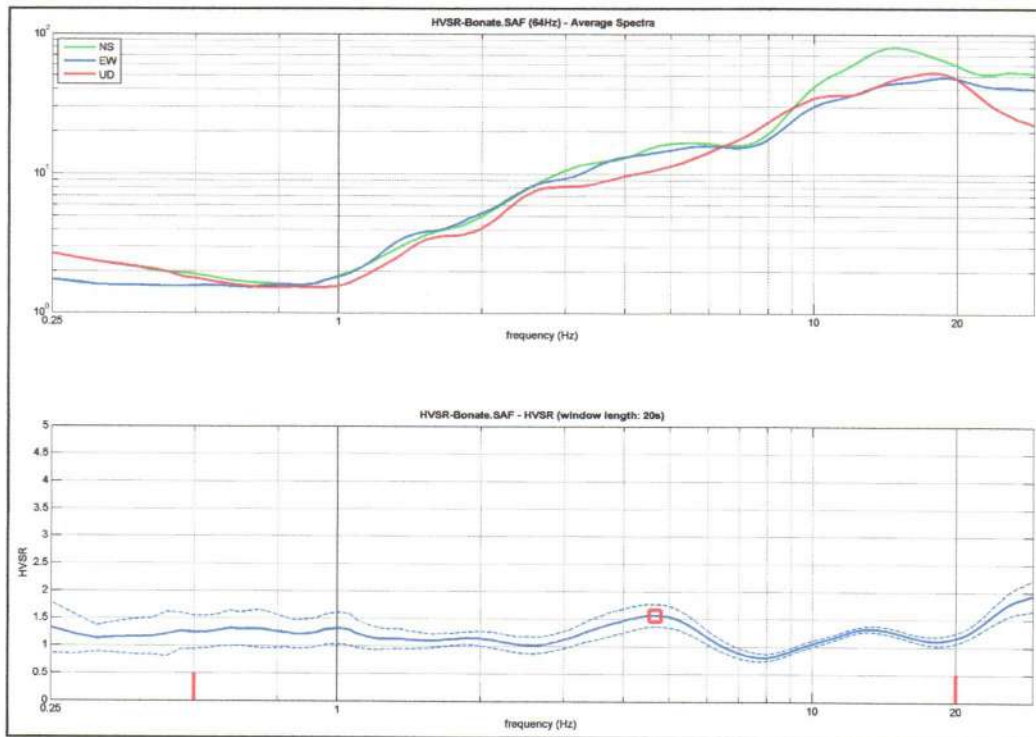


Fig. 3 - Visualizzazione HVSR e spettro medio di ampiezza del sito indagato.

I risultati parziali ottenuti, durante le fasi di elaborazione delle curve H/V, sono stati iterativamente controllati andando a valutare la direttività e la stabilità nel tempo della curva HVSR.

La curva HVSR calcolata, indica un picco principale a circa 10,8 Hz; la sua validità viene verificata, mediante software *winMASW*, secondo i criteri di ammissibilità del progetto *SESAME* (che definiscono la robustezza statistica della curva HVSR e degli eventuali picchi presenti).

Criteria for a reliable H/V curve (Criteri per una curva affidabile)

- #1. $[f_0 > 10/Lw]$: $10.761 > 0.5$ (OK)
- #2. $[nc > 200]$: $23888 > 200$ (OK)
- #3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

Criteria for a clear H/V peak (Criteri per un picco H/V chiaro)

- #1. $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2]$: yes (considering standard deviations), at frequency 4.1Hz (OK)
- #2. $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2]$: (NO)
- #3. $[A_0 > 2]$: $1.1 < 2$ (NO)
- #4. $[f_{\text{peak}}[A_{h/v}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (NO)
- #5. $[\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)]$: $4.283 > 0.538$ (NO)



#6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: 0.061 < 1.58 (OK)

Descrizione dei risultati

Il picco a 4,7 Hz con ampiezza pari 1,6 rispetta tutti i criteri *SESAME* per una curva affidabile; tuttavia non è rispettata la condizione che prevede la verifica di un minimo di 5 criteri su 6 per un picco chiaro, nonostante siano stati modificati, in diverso modo, i parametri di elaborazione affinché essi fossero tutti verificati.

Dall'analisi della curva HVSR, eseguita tra 0,5 Hz e 20 Hz (frequenze di interesse ingegneristico) è quindi risultata una possibile frequenza principale di risonanza attorno a 4,7 Hz. Questa non può essere definita come certamente significativa ai fini dell'individuazione di una possibile frequenza di risonanza di sito.

Il picco di risonanza principale del sito indagato, nonostante non siano verificati tutti i criteri *SESAME*, può essere ritenuto di origine stratigrafica e attribuibile ad un debole contrasto di impedenza sismica, ipotizzabile a circa 25-26 m dal p.c., tra la sequenza glaciale/fluvioglaciale caratteristica dell'area in esame e sottostanti orizzonti particolarmente addensati o molto più presumibilmente di natura conglomeratica.

Il picco individuato dall'analisi H/V e il suo relativo tratto di curva sono stati quindi utilizzati, tramite modellazione diretta, nell'analisi congiunta MASW+HVSR, per trarre informazioni sismo-stratigrafiche utili da integrare all'indagine MASW.

Si sottolinea come, solamente l'analisi congiunta MASW+HVSR, abbia consentito di determinare un profilo di Vs completo, potendo superare i limiti di entrambi i metodi; per le indagini MASW l'ambiguità delle Vs a medio-basse frequenze e per l'HVSR la non univocità della soluzione.

4.4 INDAGINE SISMICA MASW

Cenni sulla metodologia MASW

Con una prospezione sismica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) si analizza il fenomeno della dispersione che le onde di superficie subiscono in un mezzo stratificato. La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda (λ), quindi frequenza è, infatti, influenzata dalle proprietà che il sottosuolo attraversato possiede ed è detta velocità di fase.

Le MASW attive sono realizzate tramite analisi delle onde di Rayleigh o di Love oppure, congiuntamente Rayleigh + Love. Queste rappresentano le onde di superficie prodotte dall'interazione delle onde di corpo (P e S) con una superficie di discontinuità fisica. Le onde di Rayleigh, e più precisamente le loro componenti verticali, vengono registrate tramite i comuni geofoni verticali a bassa frequenza e generate da una sorgente ad impatto verticale, la classica martellata. Le onde di Love invece vengono acquisite mediante



geofoni a componente orizzontale e generate applicando una sorgente di taglio al terreno, questo perché le loro componenti si muovono solamente sul piano orizzontale, con oscillazione perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell'onda. Durante l'indagine in oggetto lungo lo stendimento sismico sono state registrate per motivi operativi solo le componenti verticali delle onde di Rayleigh.

Il principio della tecnica MASW prevede che, poiché la dispersione delle onde di superficie dipende dalle caratteristiche del sottosuolo e dalle sue variazioni verticali, dalla determinazione delle curve di dispersione del segnale è possibile ricavare le caratteristiche fondamentali del mezzo quali ad esempio la velocità delle onde di taglio V_s e lo spessore degli strati. La velocità delle onde di Rayleigh (V_R) infatti è correlabile alla V_s , essendo pari a circa il 90% della velocità delle onde di taglio.

L'analisi del fenomeno della dispersione, che avviene attraverso la curva di dispersione, permette quindi di determinare le caratteristiche del sottosuolo. La curva di dispersione del dataset è ottenuta mediante il passaggio dal dominio spazio-tempo (sismogramma) al dominio velocità di fase/frequenza (spettro di velocità) effettuato mediante specifica operazione con software dedicato.

Tenuto conto di quanto richiesto per l'applicazione della normativa relativa alla progettazione geotecnica, si ritiene che la metodologia di analisi MASW, risulti idonea alla definizione dei dati richiesti. Tale scelta risulta avvalorata dalle seguenti considerazioni:

1. La percentuale di energia convertita in onde Rayleigh o di Love è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%).
2. La propagazione e dispersione delle onde di Rayleigh o di Love si verifica senza problemi anche in caso di inversioni di velocità. Rispetto alla sismica a rifrazione, infatti, il metodo MASW non presenta problemi legati alla presenza di strati soffici compresi tra strati più rigidi.
3. La propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla V_p e dalla densità, è funzione innanzitutto della V_s , parametro di fondamentale importanza nella caratterizzazione geotecnica di un sito (categoria di suolo in base al Testo Unico).

Acquisizione dei dati

L'ubicazione e la lunghezza dello stendimento sono state scelte in funzione della logistica dei luoghi e dell'ingombro degli edifici esistenti. L'allineamento sismico per l'acquisizione delle onde di Rayleigh ha previsto una distanza tra i geofoni pari a 1,0 m ed una serie di scoppi esterni e coniugati rispetto all'ultimo geofono con offset variabili (2-4-6-8-10-15 m) a diversa intensità di energizzazione.



L'acquisizione della componente verticale delle onde di Rayleigh è avvenuta mediante registrazione della propagazione del segnale sismico generato da una sorgente ad impatto verticale (martellata), tramite uno stendimento sismico di 24 geofoni a componente verticale.

La strumentazione utilizzata si compone nello specifico di:

- una sorgente meccanica in grado di generare onde elastiche direzionali e ricche di energia realizzata mediante la battuta verticale e orizzontale di una mazza battente di 10 kg su piastra;
- un sistema di ricezione costituito alternativamente da uno stendimento di 24 geofoni (onde di Rayleigh) a movimento verticale (Geospace GS11D) a frequenza di 4,5 Hz e tripodi in alluminio, collegati mediante un cavo multielettrodo;
- un sistema di acquisizione e memorizzazione costituito da un sismografo modulare in grado di registrare in modo digitale le forme d'onda generate (Geode Geometrics Mod. 3-1000); il sismografo A/D è in grado di campionare segnali tra 0.025 ms e 16 ms. Il sistema di acquisizione è completato da dispositivo di trigger, computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.

4.5 Determinazione degli spettri di velocità ed individuazione delle curve di dispersione

La stima dell'andamento in profondità delle velocità V_s , mediante acquisizione sismica multicanale è ottenuta tramite l'analisi del segnale nel dominio frequenza/velocità di fase.

Viene utilizzato lo spettro di velocità in quanto è il dominio dove è chiaramente più immediato e naturale comprendere le proprietà dispersive del mezzo attraversato, determinando con precisione la velocità di ciascuna componente del segnale registrato.

Dopo aver scelto quindi il sismogramma più idoneo, quello solitamente con il miglior rapporto segnale/rumore, si esegue una trasformata dal dominio spazio/tempo al dominio frequenza/velocità (**Fig. 4**).

Particolare attenzione nell'interpretazione delle curve di dispersione è posta in considerazione del fatto che le vibrazioni indotte dalle onde di superficie sono correlabili a diversi modi, che possono sovrapporsi all'interno degli spettri di velocità.

Se tale sovrapposizione avviene, può generarsi una curva di dispersione apparente, che può risultare fuorviante in fase di interpretazione. Al fine di individuare i modi corretti e correlabili alla reale successione stratigrafica è stato scelto di eseguire un'analisi congiunta delle onde di Rayleigh e delle onde Love. L'interpretazione dello spettro è consistita quindi nel confrontare le distribuzioni di energia tra i vari modi. Dato che la



distribuzione dell'energia nelle due componenti Love e Rayleigh è risultata a tratti molto differente, l'analisi congiunta è risultata indispensabile al riconoscimento del reale andamento dei modi e portando all'elaborazione di un modello maggiormente vincolato e preciso.

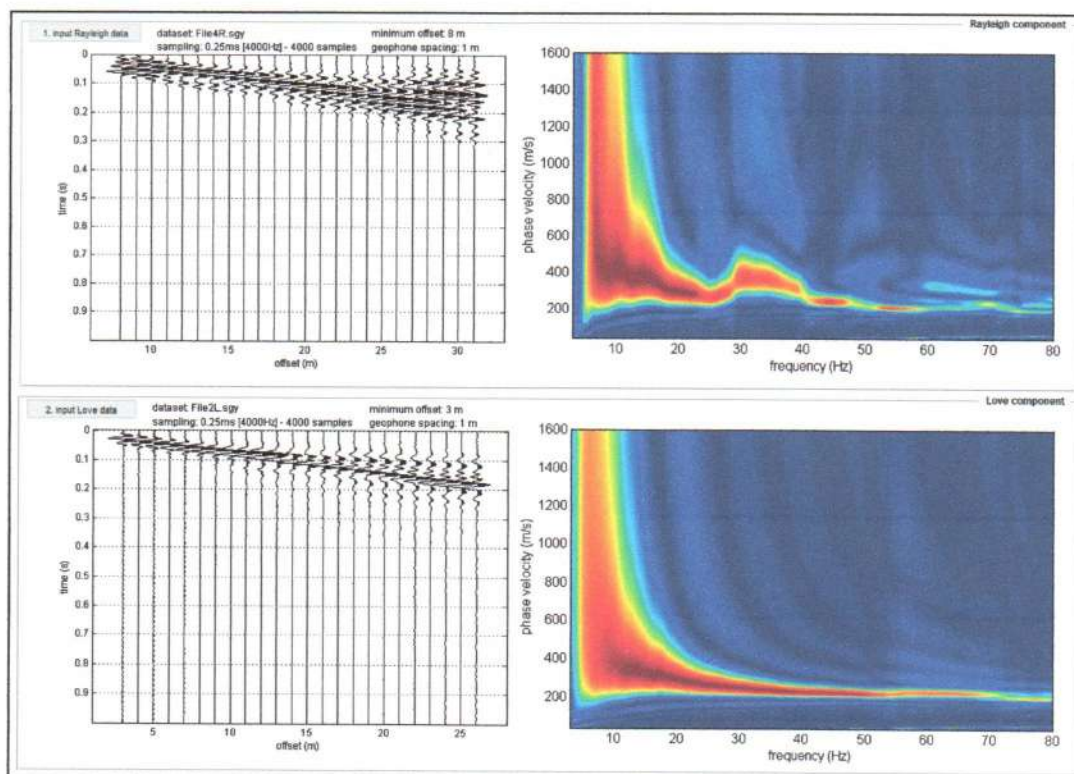


Fig. 3 - Visualizzazione del sismogramma acquisito (sx) e rispettivo spettro di velocità di fase delle onde di Rayleigh (dx).

Si riassumono di seguito i dati relativi ai parametri di acquisizione del dataset prescelto, utilizzato per la successiva elaborazione:

ONDE DI RAYLEIGH	ONDE DI LOVE
Dati relativi allo shot 3 - File4R.sgy	Dati relativi allo shot 1 - File2L.sgy
offset minimo: 8 m	offset minimo: 3 m
distanza intergeofonica: 1,0 m	distanza intergeofonica: 1,0 m
Intervallo di campionamento: 0,25 ms	Intervallo di campionamento: 0,25 ms
Tempo di acquisizione: 1 s	Tempo di acquisizione: 1 s



Procedure di modellazione diretta e analisi delle onde Rayleigh

Analizzati i sismogrammi e i rispettivi spettri di velocità si è proceduto alla ricostruzione della distribuzione verticale delle Vs. Partendo dalle curve di dispersione delle onde di Rayleigh e di Love è stato ricostruito il modello che è responsabile di quelle curve, effettuando quindi un'inversione, vale a dire che si è ricavato il modello di sottosuolo che ha determinato il dato di campagna. Gli spettri di velocità di fase sono stati interpretati identificando le curve modali, mediante modellazione diretta, studiando l'andamento dei vari modi in funzione del modello atteso (**Fig. 5**). Questo è stato iterativamente modificato fino ad ottenere una buona sovrapposizione degli andamenti delle curve di dispersione sui vari modi riconosciuti, contemporaneamente in entrambi gli spettri, al fine di ottenere un solo modello di velocità.

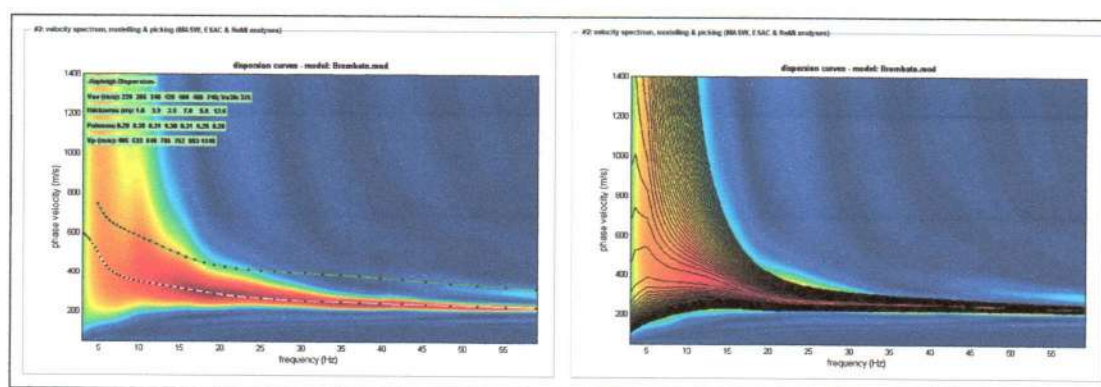


Fig. 3 - A sinistra: modellazione diretta dello spettro di velocità di fase delle onde di Rayleigh mediante individuazione del modo fondamentale e di porzioni dei modi superiori che compongono lo spettro. A destra: spettro di velocità con modellazione diretta mediante approccio FVS.

Inoltre, per l'interpretazione dello spettro di velocità nella sua parte a media e bassa frequenza (<10 Hz), e quindi in corrispondenza delle porzioni più profonde del modello geofisico, è stata considerata la curva HV ottenuta dall'indagine sismica HVSR (**Fig. 6**). In particolare, è stata eseguita un'analisi congiunta tra lo spettro di dispersione ottenuto con indagine MASW e la curva HV misurata, al fine di ottenere un solo modello di velocità.

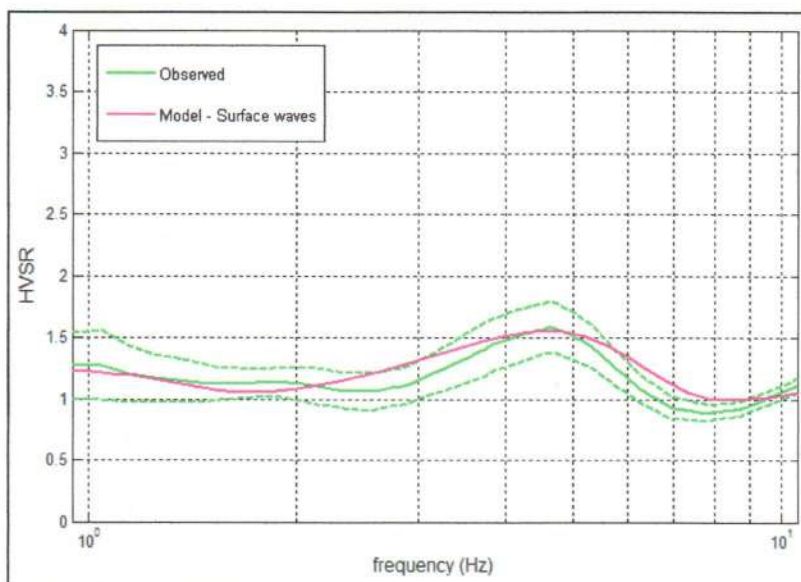


Fig. 6 - Confronto tra H/V sperimentale (verde) e teorico (viola), ottenuto per lo stesso modello di velocità considerato nell'analisi MASW.

4.6 Profilo sismostratigrafico

Per l'elaborazione ed interpretazione dei dati si è tenuto conto, delle evidenze del segnale acquisito, delle stratigrafie di alcuni pozzi presenti in aree limitrofe ed in contesti omologhi a quello oggetto di studio e di alcune prove penetrometriche eseguite in un lotto limitrofo. Nella seguente tabella sono riportati i valori delle velocità medie e gli spessori di ciascun sismostrato, in modo da definire un modello geofisico medio, ottenuto mediante analisi MASW in onde di Rayleigh.

Si riportano anche, in maniera indicativa, le stime dei valori della densità e del modulo di Poisson eseguite contestualmente all'elaborazione e mediante correlazioni di letteratura. Poiché la dispersione delle onde di superficie dipende essenzialmente dalla V_s e degli spessori degli strati (cioè dalla geometria), tali valori devono essere considerati solamente come stime largamente approssimative. Viene riportato, inoltre, il valore del modulo di taglio che tra i moduli elastici è l'unico che non dipende da V_p , ma solamente da V_s e densità e quindi la sua stima risulta più attendibile.



MODELLO GEOFISICO MEDIO - Via San Rocco - Bonate Sopra (BG)

Sismostrato	Vs (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)	Stima densità (g/cm ³)	Modulo di Poisson	Modulo di Taglio (MPa)
1	185	1,2	-1,2	1,80	0,30	62
2	280	2,5	-3,7	1,90	0,31	149
3	350	3,9	-7,6	1,95	0,30	239
4	415	5,9	-13,5	2,02	0,35	348
5	390	5,0	-18,5	1,99	0,32	302
6	480	6,9	-25,4	2,03	0,31	468
7	740	4,6	-35,0	2,12	0,28	1164

Il valore del modulo dinamico di taglio, dipendente da Vs e densità si riferisce a condizioni di bassa deformazione. Per deformazioni significativamente superiori, come di norma nei calcoli geotecnici, i valori dovranno essere idoneamente corretti e utilizzati solo nei modi e nei casi appropriati.

D.M. 17/01/2018	Profondità del bedrock sismico	V _{s,eq} (m/s)	Categoria di sottosuolo	Valore di V _{s,eq} calcolato mediante l'espressione 3.2.1 delle N.T.C. 2018
Calcolo a partire dal ripiano di esecuzione MASW (p.c.)	oltre 30,0 m	404	B	$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$ Categoria di sottosuolo assegnata in base a quanto indicato nelle Tabella 3.2 II
Calcolo a partire da -3,0 m dal p.c. (piano fondazioni)	oltre 30,0 m	441	B	

Si sottolinea come la Categoria di Sottosuolo di Progetto, stimata alternativamente in base a quanto previsto dal D.M. 17/01/2018, deve essere definita dal Geologo o dal progettista anche in funzione dei dati progettuali.



Si riporta inoltre la stratigrafia schematica del modello medio, ottenuto fino a -38,0 m dal p.c., mediante analisi congiunta MASW, utilizzato per il calcolo del parametro $V_{s,eq}$ (Fig. 6).

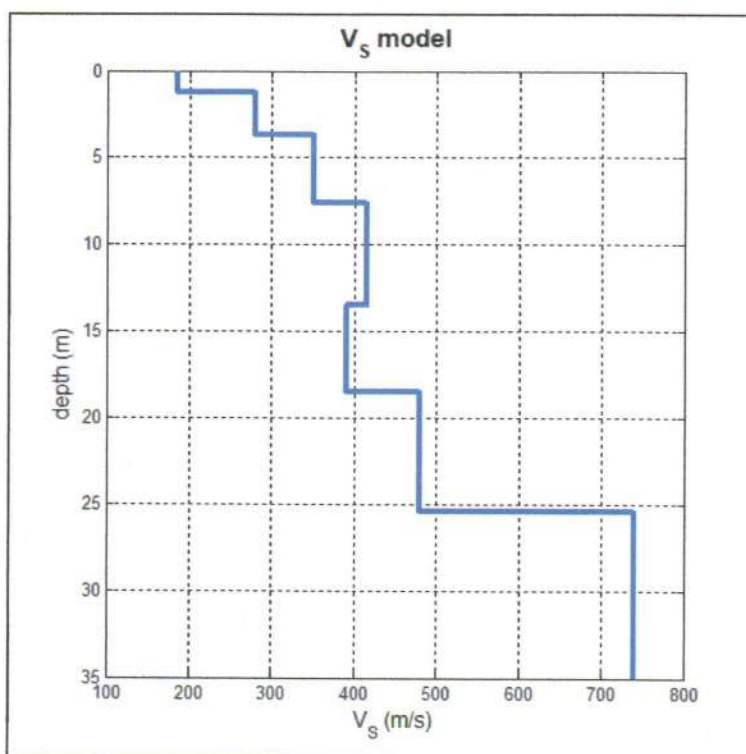


Fig. 6 – Profilo sismostratigrafico

In base ai dati sismostratigrafici ottenuti, si rileva una prima coltre di terreno superficiale, di spessore pari a 1,2 m, con valori di velocità delle onde di taglio (*onde S*) pari a 185 m/s.

Oltre -1,2 m e fino ad almeno a -25,4 m dal p.c. si riscontrano depositi da moderatamente addensati a molto addensati, con valori di velocità delle onde S, in generale e graduale aumento con la profondità, compresi tra 280 e 480 m/s, afferenti all'unità glaciale/fluvioglaciale caratteristica del territorio in cui ricade l'area in esame.

Deboli inversioni di velocità delle onde S possono essere imputabili a diminuzioni dello stato di addensamento di alcuni orizzonti appartenenti alla medesima unità deposizionale.

A partire da -25,4 m dal p.c., in accordo con la modellazione diretta della curva HVSR, si registrano velocità di propagazione delle onde S medio-alti e pari a 740 m/s propri di depositi particolarmente addensati o correlabili alla presenza di uno o più livelli di natura conglomeratica.



4.7 Approfondimento relativo agli aspetti sismici (app5)

In questo capitolo si forniscono quindi, per quanto di pertinenza del Geologo, i dati inerenti le eventuali prescrizioni di pianificazione urbanistica e, considerando le apposite analisi sismiche e geomorfologiche, si forniscono la Cat. di Sottosuolo e la Cat. Topografica di sito, che potranno essere utilizzate per la stima dell'Azione Sismica e più in generale per la progettazione delle opere previste.

L'O.P.C.M. 3274/2003, includeva il territorio comunale di Brembate, in zona sismica 4. La redazione della "Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale" (espressa come accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) allegata all'O.P.C.M. n. 3519/2006 indica però che il comune di Calolziocorte risulta interessato da una fascia con accelerazione sismica a_g compresa tra 0,075g e 0,100g (con probabilità di superamento del 10% in 50 anni) riferibile quindi a una Zona sismica 3.

La D.G.R. 11 Luglio 2014 – n. X/2129 che ha aggiornamento recentemente le zone sismiche in Regione Lombardia, ha lasciato tutto il territorio del Comune di Carnate in Zona sismica 3, indicando un valore di a_{gmax} pari a 0,102g.

4.8 Pericolosità sismica del sito

Nel capitolo 2 è stata eseguita la classificazione dei terreni di fondazione secondo quanto previsto dalle norme tecniche alle nuove N.T.C. 2018.

Considerando i risultati dell'indagine sismica MASW eseguita all'interno del lotto di progetto, partendo da una profondità di riferimento di - 3,0 m dal p.c. (ripiano interrato di posa delle fondazioni) è stato calcolato un valore di $V_{s,eq}$ pari a **441 m/s**. e quindi il sito di progetto ricadrebbe in una "categoria di sottosuolo B".

Dal punto di vista della Pericolosità Sismica Locale l'area ricade, secondo lo studio della "Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio" di Bonate Sopra, entro lo scenario di pericolosità sismica **Z4a (Fig. 7)** "Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi" (Tav. 04 – aggiornamento Maggio 2019).



(Tav. 1), allegata al P.G.T. comunale, con ubicazione dell'area di interesse.

Per lo scenario Z4a, nello stesso Studio Geologico Comunale, non è stata eseguita, nello Studio Geologico Comunale, un'analisi sito-specifica per la Stima degli effetti litologici e del Fattore di Amplificazione di sito, in quanto obbligatoria, alla data di redazione del P.G.T., in Zona Sismica 4, solo per la progettazione di opere strategiche rilevanti (*Analisi di secondo livello non effettuata*).

Per tale scenario è stata eseguita, nello Studio Geologico Comunale, un'analisi sito-specifica per la Stima degli effetti litologici e del Fattore di Amplificazione di sito (2° Livello di approfondimento – All. 5 della D.G.R. 9/2616/2011). Secondo l'approfondimento di II livello comunale citato, il lotto di progetto ricadrebbe in un'area con terreni di Cat. di sottosuolo "B" in cui sono segnalati, sia per edifici con periodo T compreso tra 0,5 e 1,5 s che per edifici con periodo compreso tra 0,1 s e 0,5 s, valori di Fa di sito inferiori ai valori di Fa di soglia, previsti per la categoria di sottosuolo considerata, e che pertanto i parametri sismici della normativa sismica vigente sono sufficienti a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica (FAC < FAS).



Considerato che per tale scenario di Pericolosità Sismica la normativa regionale prevede fenomeni di amplificazione stratigrafica, e avendo a disposizione un'indagine sismica eseguita entro il lotto di progetto, è stato scelto di eseguire comunque un'analisi sito-specifica per la Stima degli effetti litologici e del Fattore di Amplificazione di sito (2° Livello di approfondimento – All. 5 della D.G.R. 9/2616/2011), utilizzando il profilo sismico ottenuto dalla prospezione sismica MASW eseguita in corrispondenza dell'area di progetto.

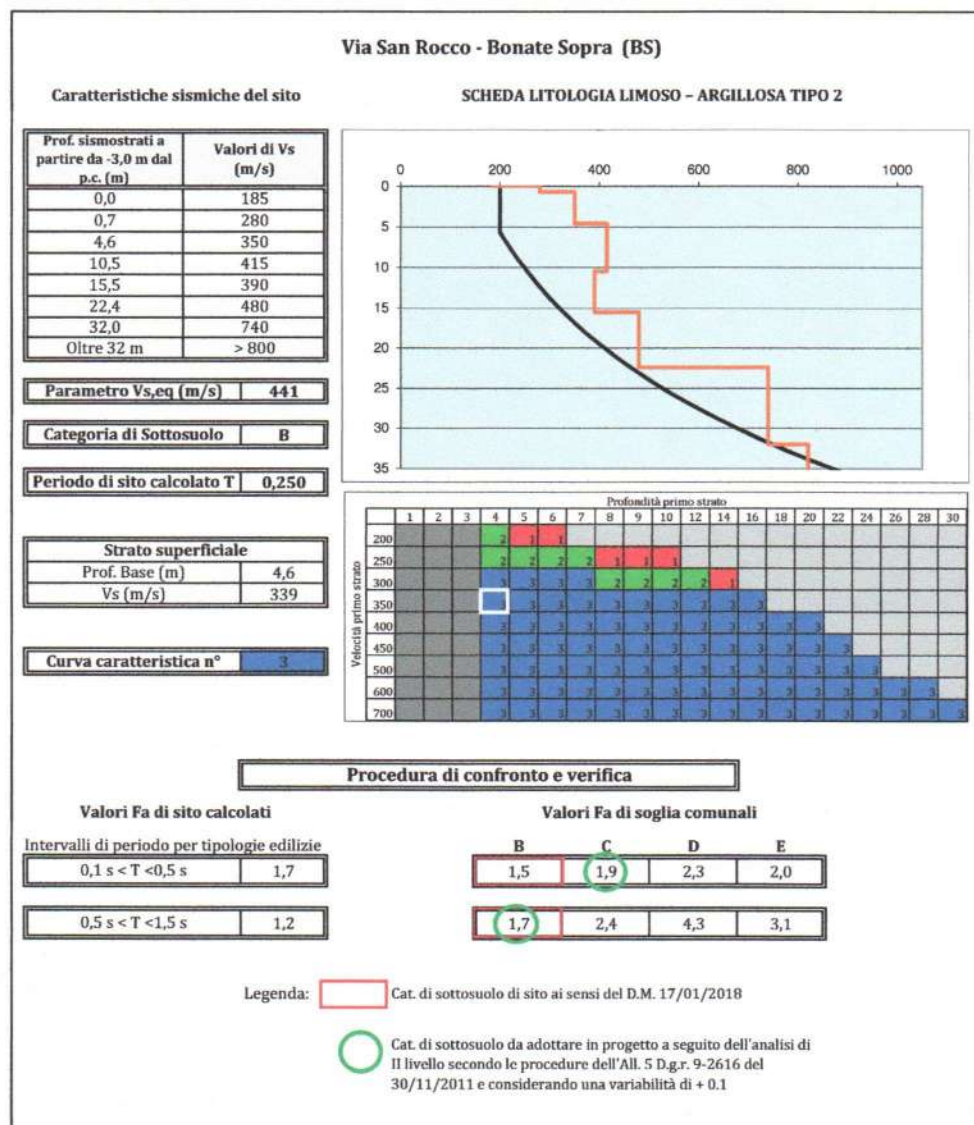
In accordo con la procedura, la successione stratigrafica di riferimento, cioè lo spessore e la velocità di ciascuno strato, come definita nel modello geofisico medio, è stata riportata, a partire dal piano di posa delle fondazioni (-3,5 m dal p.c.), nelle "Schede di Stima degli Effetti Litologici".

Rispettando i campi di validità e le caratteristiche granulometriche dei terreni presenti in sito è stata eseguita una verifica dei valori dei Fattori di amplificazione di sito (F_a) rispetto a quelli di "soglia comunale", utilizzando la "scheda relativa alla litologia sabbiosa", curva caratteristica 2, di cui si riporta l'esplicazione grafico-analitica (**Fig. 8**).

Si specifica che, per i limiti intrinseci delle metodologie d'indagine utilizzate e della tipologia della successione stratigrafica del sito in esame, non è stato possibile raggiungere il bedrock sismico ($V_s \geq 800$ m/s), utile per il calcolo del periodo di vibrazione del sito (T).

Per questo motivo, la ricostruzione dell'andamento dei valori di V_s fino al valore di 800 m/s è stata stimata sulla base del gradiente di V_s nei primi 35 m indagati e considerando, come evidenziato in più stratigrafie di pozzi terebrati entro il medesimo contesto geologico, la presenza diffusa a partire da 35 m dal p.c., di orizzonti conglomeratici ritenuti rigidi.

Si ipotizza quindi la presenza del substrato geologico rigido rappresentante il bedrock sismico della successione indagata, ad una profondità plausibile di circa -35,0 m dal p.c. (-32,0 m dal ripiano fondazioni).



secondo le procedure previste dall'All. 5 - D.g.r. 9-2616 del 30/11/2011.

I risultati ottenuti indicano che per edifici con periodo T compreso tra 0,5 e 1,5 s, si ottengono valori di Fa inferiore al valore di soglia previsto per la categoria di sottosuolo "B" (definita per il sito d'interesse) e che pertanto i parametri sismici della normativa sismica vigente sono sufficienti a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica.

Al contrario per edifici con periodo compreso tra 0,1 s e 0,5 s, sono stati calcolati valori di Fa di sito superiori ai valori di Fa di soglia comunale (**FAC > FAS**) previsti per la categoria di sottosuolo "B". Sarà quindi necessario assumere in progetto la **Categoria di Sottosuolo "C"** ed i relativi parametri sismici.



Stabilità del sito nei confronti della liquefazione

Il fenomeno della liquefazione è governato dalla generazione e dall'accumulo di eccessi di pressione interstiziale, in occasione di un terremoto, in sabbie e sabbie limose, sature e poco addensate. I dati sperimentali di letteratura mettono in evidenza che l'incremento della pressione interstiziale avviene in risposta alle sollecitazioni cicliche tangenziali a cui un elemento di volume di terreno è sottoposto in condizioni non drenate durante lo scuotimento sismico. Per tale elemento di volume, il valore finale della pressione interstiziale è funzione delle caratteristiche del moto sismico, cioè ampiezza, contenuto in frequenza e numero di cicli, ovvero durata. Per la determinazione del potenziale di liquefazione dei terreni di fondazione, sono state considerate le "circostanze di esclusione" dalla verifica alla liquefazione elencate al punto 7.11.3.4.2 del D.M. 17/01/2018. Secondo il suddetto punto, (articolo 7.11.3.4.2 "Esclusione della verifica a liquefazione") è possibile omettere la verifica alla liquefazione quando si manifesta, in ordine, almeno una delle seguenti condizioni:

Analisi delle condizioni per l'esclusione alla verifica a liquefazione:

comma 1. l'accelerazione massima attesa al piano campagna viene calcolata considerando i parametri riferiti allo Stato Limite Ultimo SLV, relativi alla categoria "C", mediante la seguente relazione: $a_g \max \text{ suolo} = a_g \times S_s \times S_t$. Riepilogando i parametri utilizzati sono i seguenti:

a_g	0,095 g
S_s	1,500 (Cat. C)
S_t	1,0

Il valore complessivo di accelerazione sismica orizzontale è risultato essere pari a 0,142 g e risulta quindi superiore a quello di esclusione indicato dal comma 2 (non verificato).

comma 2. per l'area oggetto di indagine, alla luce dell'assetto idrogeologico descritto, e dalle evidenze delle indagini in situ eseguite all'interno dell'area di studio, si ipotizza la presenza di una falda acquifera a profondità di circa 2-3 m dal p.c. (non verificato).

comma 3. in base alle indagini svolte in sito e al modello geologico-stratigrafico proposto non sono stati rilevati depositi costituiti da sabbie pulite e quindi tale condizione non risulta direttamente applicabile.

comma 4. dal modello geologico-stratigrafico redatto sulla base delle evidenze delle penetrometriche eseguite nel lotto di progetto, si ritiene che il sito di indagine, oltre un primo strato di terreno superficiale vegetale, sia composto da terreni prevalentemente ghiaiosi in matrice argilloso-limosa, con curva granulometrica esterna ai fusi granulometrici di normativa riportati in Fig. 7.11.1 allegata al D.M. 17/01/2018 - fusi granulometrici di terreni suscettibili a liquefazione (non verificato).

Si ritiene pertanto, ai sensi del D.M. 17/01/18, il sito d'interesse soggetto ad esclusione alla verifica alla liquefazione.



5 Rapporto geotecnico

5.1 Indagini geognostiche

E' stata realizzata una campagna d'indagine geognostica al fine di ricostruire la stratigrafia locale dell'area in oggetto, basata su una serie di prove penetrometriche di tipo dinamico SCPT mediante penetrometro pesante Pagani TG 63-200 per valutare lo stato di addensamento del terreno.

Sono stati eseguiti n° 4 sondaggi all'interno dell'area oggetto di studio ed identificati con le sigle SCPTn, le prove sono state ubicate in corrispondenza degli edifici in progetto.

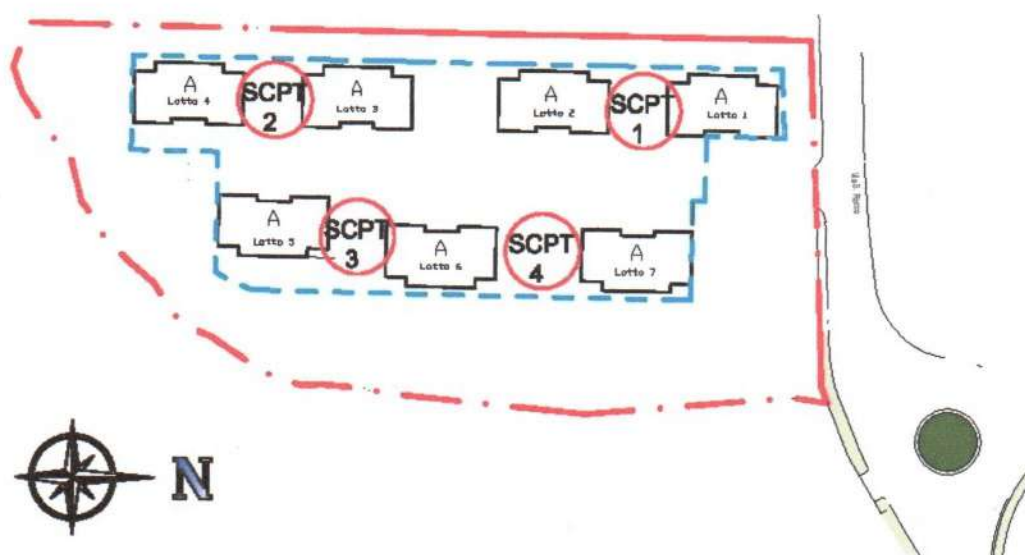


Immagine 3: Ubicazione delle prove penetrometriche la **linea rossa** tratteggiate delimita l'area di intervento

La stratigrafia locale è composta da:

- Superficialmente è presente un livello molto esiguo dato da abbondante limo con terreno di tipo agricolo: si tratta di un suolo caratteristico di aree agricole con elevato indice di pietrosità (abbondante scheletro ghiaioso);
- A partire da 1 metro fino a circa 5 metri si passa ad un orizzonte costituito da sabbia e ghiaia preponderanti con abbondante presenza



- di matrice fine: si tratta del livello superficiale parzialmente alterato e pedogenizzato del substrato ghiaioso presente a profondità maggiori,
- Al di sotto della profondità di 5 metri sino alla massima profondità indagata e oltre vi è il substrato ghiaioso vero e proprio attribuibile come detto alle alluvioni pleistoceniche costituito da sabbie e ghiaie con scarsa o trascurabile presenza di frazioni fini.

Attraverso un software prodotto dalla Geostru srl, denominato Dynamic, è stato possibile ricavare, inserendo i dati ottenuti dalle prove penetrometriche, i parametri geotecnici, mediante correlazioni, degli strati di terreno investigati, nonché la categoria del sottosuolo. Di seguito si riporta una sintesi contenente i principali parametri geotecnici utili per determinare la capacità portante del terreno in relazione ai carichi indotti, nonché i cedimenti.

L'elaborazione di tali dati è posta in appendice alla presente

Il primo strato è composto da **sabbia limosa con ghiaia**, di tipo coesivo, in relazione a questo strato sono stati determinati i seguenti parametri:

Coesione non drenata C_u (KPa) è costituita dal valore di resistenza a rottura di un provino saturo di acqua, nello strato in esame presenta valori compresi tra 30 e 42 KPa.

Resistenza alla punta di un Penetrometro Statico Q (KPa). Rappresenta il valore di resistenza del terreno alla penetrazione causata da una forza statica, nello strato in esame presenta valori compresi tra 9 13,50 KPa.

Modulo Edometrico E_{ed} (KPa): indica la comprimibilità di un tipo di terreno, nello strato in esame presenta valori compresi tra 50 e 70 KPa indicando una densità dello strato da media a buona.

Modulo di Young E_y (KPa): il modulo di Young viene determinato dal diagramma sforzi – deformazioni nel tratto in cui il materiale subisce una deformazione elastica (al termine dello sforzo il materiale riprende la sua forma originale), in questo strato presenta valori compresi tra 48 e 67 si tratta di valori da medi a buoni.

Classificazione AGI: indica questo strato come moderatamente addensato.

Peso dell'unità di volume γ : (KN/m³) ricavato mediante la correlazione di Meyerhof ed altri autori, presenta valori compresi tra 17,5 e 18,5.



Peso dell'unità di volume saturo γ_{sat} (KN/m³) anche questo ricavato mediante la correlazione di Meyerhof ed altri, presenta valori compresi tra 18,8 e 18,9.

Velocità delle onde sismiche (m/sec): nello strato esaminato varia tra 77 e 86 m/sec, si tratta di valori molto bassi.

N. B: questo strato è stato analizzato ma non è d'interesse nella progettazione geotecnica perché verrà completamente asportato.

Il **secondo strato** è composto da **sabbia e ghiaia limosa**, di tipo incoerente, in relazione a questo strato sono stati determinati i seguenti parametri:

Densità relativa (%): è costituita dal rapporto percentuale tra il corpo esaminato e quello di riferimento, nello strato in esame presenta valori pari a 100.

Angolo di attrito interno (°). Considerato l'angolo di riposo del materiale non sottoposto a pressioni, nello strato in esame presenta valori compresi tra 27 e 30°.

Modulo di Young E_y (KPa): il modulo di Young viene determinato dal diagramma sforzi – deformazioni nel tratto in cui il materiale subisce una deformazione elastica (al termine dello sforzo il materiale riprende la sua forma originale), in questo strato presenta valori compresi tra 20 e 29,8 si tratta di valori da medi a buoni.

Modulo Edometrico E_{ed} (KPa): indica la comprimibilità di un tipo di terreno, presenta valori compresi tra 7,8 e 11,9 indicando una densità dello strato da media a buona.

Classificazione AGI: indica questo strato come addensato.

Peso dell'unità di volume γ : (KN/m³) ricavato mediante la correlazione di Meyerhof ed altri autori, presenta valori compresi tra 17,8 e 18,2.

Peso dell'unità di volume saturo γ_{sat} (KN/m³) anche questo ricavato mediante la correlazione di Meyerhof ed altri, presenta valori tra 20,3 e 21,3.

Coefficiente di Poisson (%): inteso come il valore di deformazione dello strato sottoposto ad un pressione monodirezionale, nello strato in esame presenta valori tra 0,27 e 0,31.

Deformazione a taglio dinamico G (MPa): indica il valore di resistenza alla deformazione dello strato in funzione di un carico ciclico, nello strato in esame presenta valori tra 133 e 231.

Velocità delle onde sismiche (m/sec): nello strato esaminato varia tra 142 e 163 m/sec.



Modulo di reazione K_0 Coefficiente di Winkler – KPa): indica il valore di pressione esercitata sullo strato esaminato per produrre un abbassamento noto. Nello strato in esame presenta valori compresi tra 4,86 e 7,46.

Resistenza di punta Q_c (MPa): indica la resistenza opposta alla penetrazione di punta in rapporto ad un penetrometro statico, presenta valori compresi tra 500 e 89 ed indica la presenza di materiale granulare medio.

N.B: questo strato è d'interesse per la progettazione geotecnica poiché in esso poggeranno le fondazioni e, parzialmente, su di esso graverà il cono delle pressioni

Il **terzo strato** è composto da **ghiaia e sabbia con limitata presenza di limo**, di tipo incoerente, in relazione a questo strato sono stati determinati i seguenti parametri:

Densità relativa (%): è costituita dal rapporto percentuale tra il corpo esaminato e quello di riferimento, nello strato in esame presenta valori pari a 100.

Angolo di attrito interno ($^\circ$). Considerato l'angolo di riposo del materiale non sottoposto a pressioni, nello strato in esame presenta valori compresi tra 30 e 35 $^\circ$.

Modulo di Young E_y (MPa): il modulo di Young viene determinato dal diagramma sforzi – deformazioni nel tratto in cui il materiale subisce una deformazione elastica (al termine dello sforzo il materiale riprende la sua forma originale), in questo strato presenta valori compresi tra 48 e 84 si tratta di valori molto buoni.

Modulo Edometrico E_{ed} (MPa): indica la comprimibilità di un tipo di terreno, presenta valori compresi tra 19 e 34 indicando una densità dello strato buona

Classificazione AGI: indica questo strato come molto addensato.

Peso dell'unità di volume γ : (KN/m³) ricavato mediante la correlazione di Meyerhof ed altri autori, presenta valori compresi tra 17,2 e 19,7.

Peso dell'unità di volume saturo γ_{sat} (KN/m) anche questo ricavato mediante la correlazione di Meyerhof ed altri, presenta valori tra 21,7 e 22,2.

Coefficiente di Poisson (%): inteso come il valore di deformazione dello strato sottoposto ad un pressione monodirezionale, nello strato in esame presenta valori compresi tra 0,05 e 0,18.

Deformazione a taglio dinamico G (MPa): indica il valore di resistenza alla deformazione dello strato in funzione di un carico ciclico, nello strato in esame presenta valori tra 406 e 741.



Velocità delle onde sismiche (m/sec): nello strato esaminato varia tra 181 e 238 m/sec.

Modulo di reazione K_0 Coefficiente di Winkler – KPa): indica il valore di pressione esercitata sullo strato esaminato per produrre un abbassamento noto. Nello strato in esame presenta valori pari a 11,93.

Resistenza di punta Q_c (MPa): indica la resistenza opposta alla penetrazione di punta in rapporto ad un penetrometro statico, presenta valori compresi tra 17,4 e 30,8 ed indica la presenza di materiale granulare grossolano.

N.B: questo strato è d'interesse per la progettazione geotecnica poiché su di esso graverà il cono delle pressioni

Il tipo di sottosuolo corrispondente all'area oggetto di studio appartiene alla categoria di **Tipo B**, analogo risultato è stato ottenuto nel rapporto sismico.

5.2 Il progetto

Il progetto redatto dallo Studio Facchinetti prevede la realizzazione di edifici plurifamiliari composti da 2 piani fuori terra ed un piano interrato adibito a garage, lavanderia e cantine.

Il progetto prevede la realizzazione di n° 7 palazzine ognuna avente una superficie media di 665 m², la superficie totale occupata è pari a 4.650 m² oltre alle aree pertinenziali quali strade, parcheggi, marciapiedi e piste ciclabili

Si prevede uno scavo di sbancamento di circa 5 metri per l'imposta delle fondazioni. Lo scavo di sbancamento indurrà un alleggerimento nel terreno pari a 9 T/m², la struttura avrà un peso proprio di circa 9 T/m², per cui alla profondità di imposta delle fondazioni lo scarico indotto dallo scavo ed il carico della struttura si equilibreranno non appesantendo il terreno.

Gli strati di materiale fine, presenti nel sottosuolo fino ad una profondità media di 4,5 metri, verranno asportati nelle operazioni di scavo per impostare le fondazioni e la struttura poggerà sulla parte profonda del secondo strato avente caratteristiche geotecniche da medie a buone (cfr rapporto geotecnico).

Non avendo a disposizione la progettazione esecutiva ma solamente quella di massima non è possibile determinare con esattezza il tipo e le dimensioni della fondazione, tuttavia sulla base di esperienze dirette si



propone la realizzazione di una fondazione perimetrale continua irrobustita da puntoni di collegamento, tale fondazione sarà larga 1 m.

5.3 Il vigente P.G.T. del Comune di Bonate Sopra

Il P.G.T. del Comune di Bonate Sopra è stato adottato con D.C.C. n° 26 del 30/09/2010, approvato con D. C. C. n° 16 del 29/04/2011 e pubblicato sul B.U.R.L. il 30/11/2011, attualmente la variante generale è stata adottata con D. C. C. n° 39 del 15/11/2018.

Da esso sono state estratte solo le tavole che hanno attinenza con la attuale progettazione,
Carta di fattibilità geologica, e Piano delle regole.

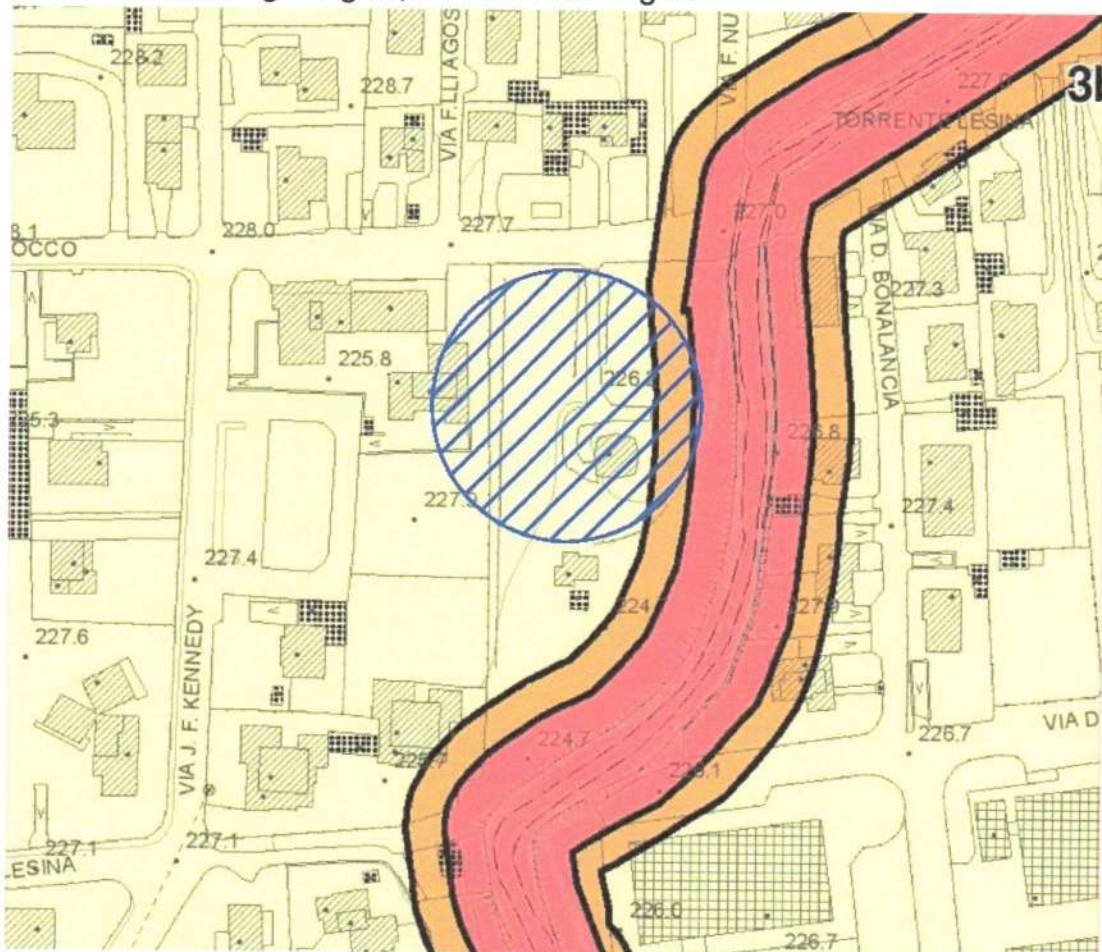


Immagine 4: Carta di fattibilità geologica, scala 1:2.000



La Carta di Fattibilità geologica inserisce l'area esaminata in zona 2 – “fattibilità con modeste limitazioni”.

Si nota sul confine sinistro dell'area esaminata la presenza della fascia di rispetto del T. Lesina posta in classe 3B e l'alveo del torrente posto ovviamente in classe 4.

La carta di fattibilità pone questa area in zona facilmente usufruibile senza ulteriore consumo di suolo.

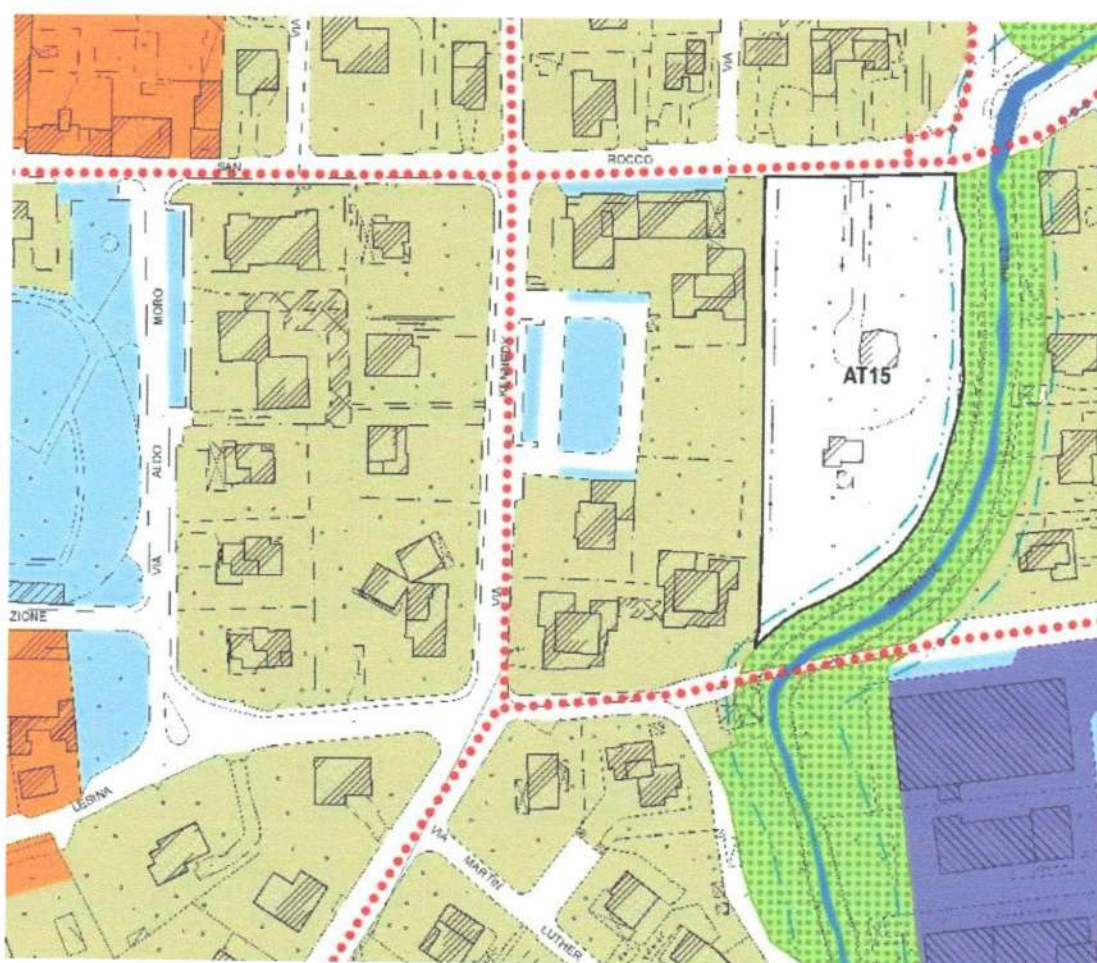


Immagine 5 – Piano delle Regole, scala 1:2.000

Il Piano delle Regole del Comune di Bonate Sopra pone quest'area in ambiti di trasformazione e di rigenerazione urbana, in zona AT15

Viene quindi considerata e confermata la vocazione edilizia del sito, la progettazione è ben inserita nel contesto limitrofo con la realizzazione di edifici analoghi a quelli esistenti.



6 Conclusioni

La presente relazione è stata sviluppata a supporto del progetto di nuova edificazione di n° 7 palazzine residenziali nel Comune di Bonate Sopra – BG per conto della Soc. Pesenti Serafino. s.r.l. con sede in Brembate Via Locatelli, 33.

Per quanto riguarda la sismicità dell'area il Comune di Bonate Sopra è posto in una zona a basso rischio sismico, la zona presenta una probabilità di accelerazione sismica orizzontale compresa tra 0,05 e 0,15 (0,102Ag/g).

La ricostruzione della stratigrafia locale è stata effettuata analizzando dati bibliografici e mediante la realizzazione di una campagna d'indagine geognostica basata sull'esecuzione di una serie di prove penetrometriche di tipo dinamico mediante penetrometro pesante Pagani.

Tale campagna ha rivelato la presenza di materiale fine fino ad una profondità di circa 5 metri per poi incontrare strati di materiale incoerente costituiti da miscele di sabbie e ghiaie limose.

La categoria del sottosuolo ricavata da tale campagna investigativa appartiene alla classe B del D. Min. N.T.C.'18.

Date le caratteristiche geotecniche dei terreni si ritiene idonea la realizzazione di fondazioni nastriformi a comportamento elastico da irrobustire con puntoni di collegamento la cui base di appoggio si troverà ad una profondità di 5 m circa dal p.c., la larghezza di tali fondazioni sarà di almeno 1 metro.

L'intervento progettato è quindi compatibile con la geologia dei luoghi, nonché con la sismicità dell'area.

L'aspetto geotecnico del sistema terreno fondazioni offre condizioni di piena sicurezza se realizzato seguendo le indicazioni contenute nella presente relazione.

Infine l'intervento progettato è compatibile con lo strumento urbanistico vigente, in particolare facendo riferimento alla fattibilità geologica ed al Piano delle Regole.

Per quanto sopra si ritiene non vi siano ostacoli alla realizzazione di quanto progettato dallo Studio Facchinetti in Comune di Bonate Sopra (Bg).

P.S.

Durante la realizzazione delle opere sarà opportuno prevedere un'adeguata assistenza geologica per verificare che le ipotesi geologiche e geotecniche assunte dai dati puntuali, e le soluzioni progettuali indicate siano corrette.

Dicembre, 2019

Dott. Geol. Maurizio Zuntini

Dott. MAURIZIO ZUNTINI
GEOLOGO - n° Iscr. O.L.G. 340
Via Lega Lombarda, 1 - 24030 BONATE SOPRA (BG)
Tel. 035.438549



Pesenti Serafino s.r.l.

Relazione geologica, sismica e geotecnica a Bonate Sopra



PESENTI SERAFINO - s.r.l.
Via Locatelli, 33 – 24041 Brembate - Bg

Relazione geologica – sismica - geotecnica
a supporto dei lavori di realizzazione di nuove unità site in Via S. Rocco nel
Comune di Bonate Sopra – Provincia di Bergamo
Piano Attuativo area AT15 denominata “Garden Home”

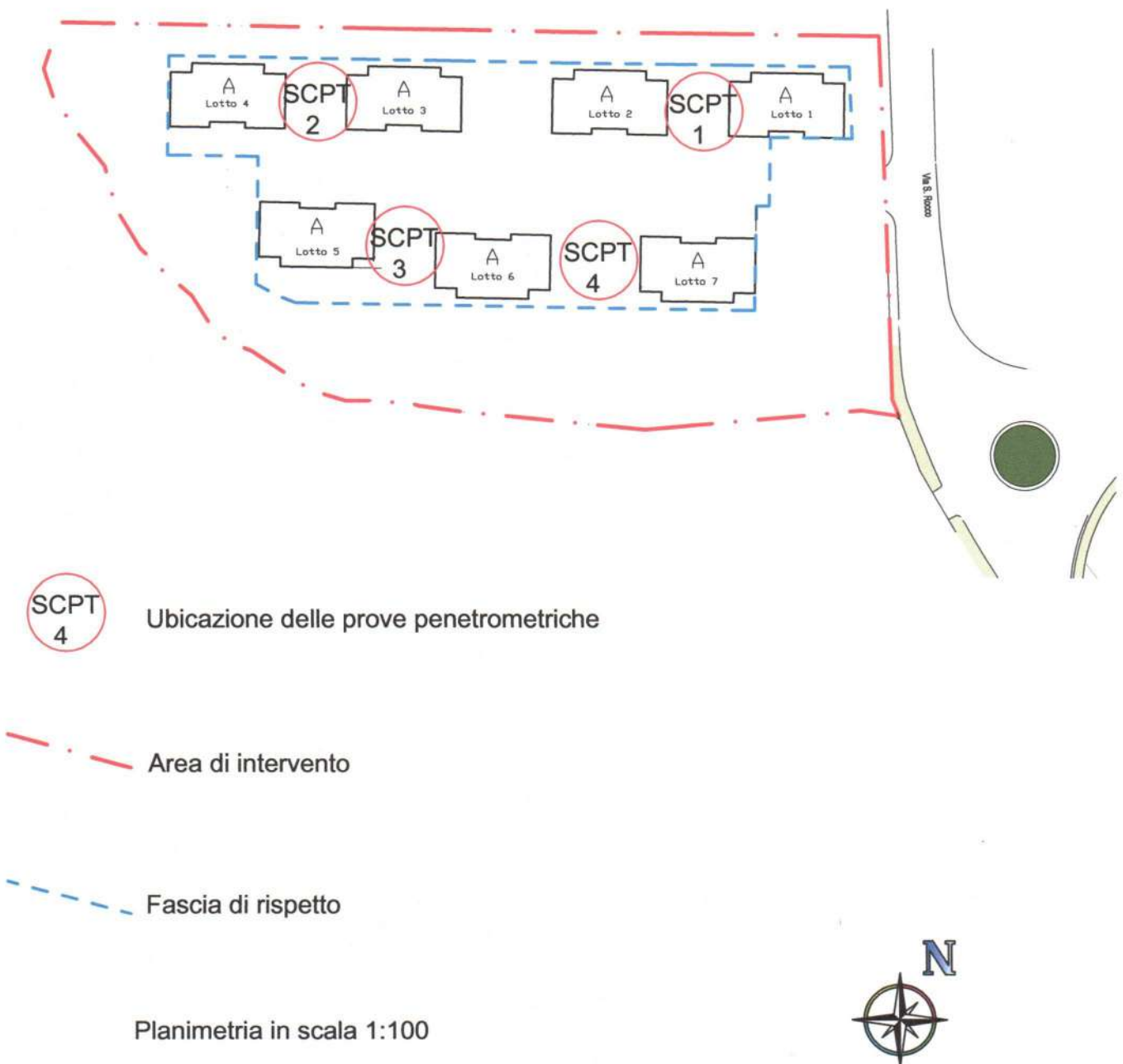
APPENDICE

Elaborazione delle prove penetrometriche

PESENTI Serafino S.R.L.
Via Locatelli, 33
24041 Brembate (Bg)

Piano Attuativo area AT15 denominata "Garden Home"
in Comune di 24040 Bonate Sopra (Bg).

Ubicazione delle Prove Penetrometriche



SCPT 4 Ubicazione delle prove penetrometriche

Area di intervento

Fascia di rispetto

Planimetria in scala 1:100

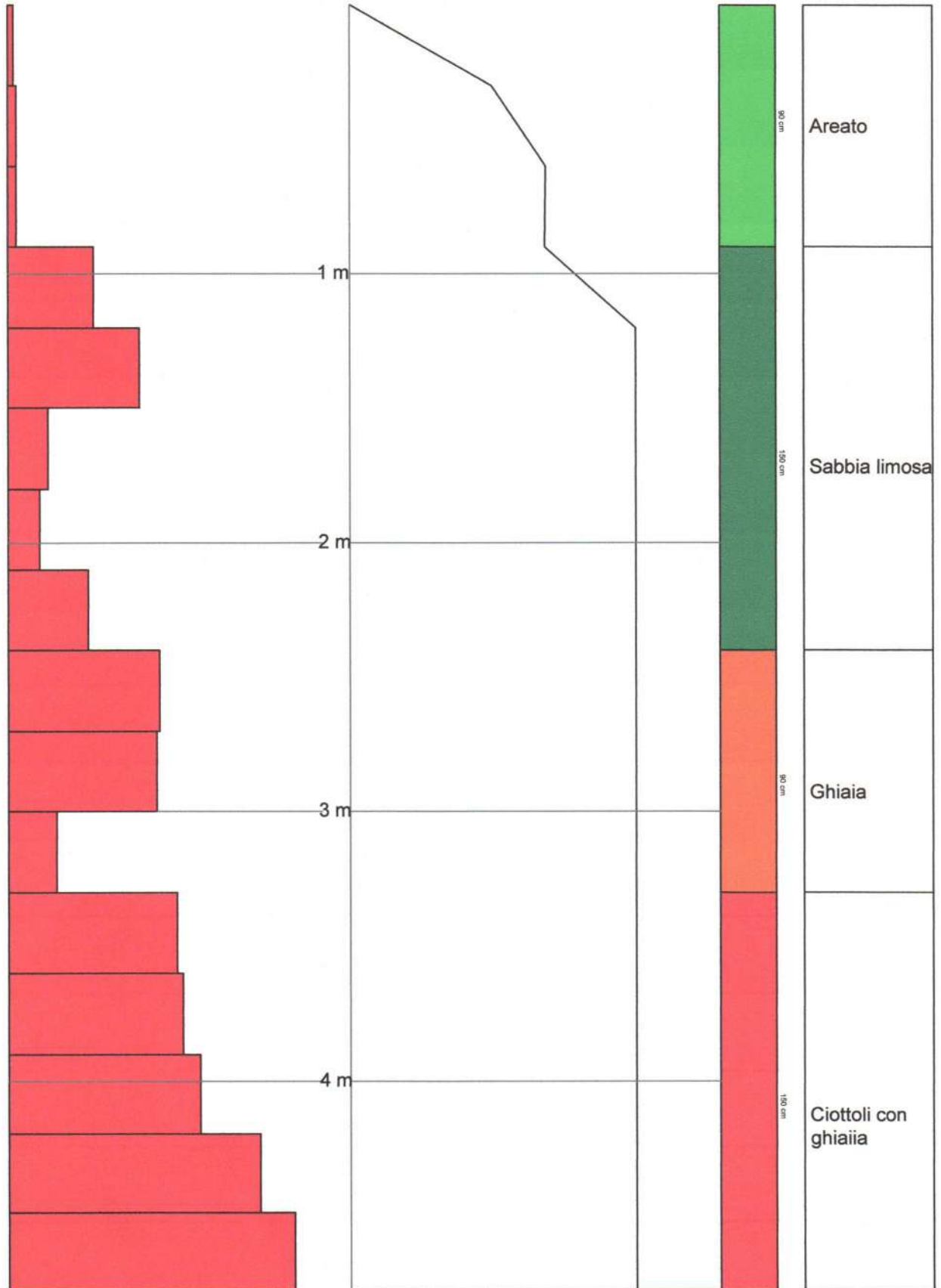


Numero di colpi penetrazione di punta

5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100

SPD (kg/cm²)

Interpretazione stratigrafica



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA **Nr.1****TERRENI COESIVI I**

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (1) Argilla	4,81	0.00-0,90	Terzaghi-Peck	0,30

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) Argilla	4,81	0.00-0,90	Robertson (1983)	9,62

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) Argilla	4,81	0.00-0,90	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	50,85

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) Argilla	4,81	0.00-0,90	Apollonia	48,10

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) Argilla	4,81	0.00-0,90	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (1) Argilla	4,81	0.00-0,90	Meyerhof	1,75

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato (1) Argilla	4,81	0.00-0,90	Meyerhof	1,88

Velocità onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (1) Argilla	4,81	0.00-0,90	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	76,95

TERRENI INCOERENTI I

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (2) Sabbia limosa	44,64	0,90-2,40	44,64	Meyerhof 1957	100
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	81,45	2,40-3,60	81,45	Meyerhof 1957	100
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	142,2	3,60-4,80	142,2	Meyerhof 1957	100

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (2) Sabbia limosa	44,64	0,90-2,40	N1,60=0	Wolff (1989)N160	27,1
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	81,45	2,40-3,60	N1,60=0	Wolff (1989)N160	27,1
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	142,2	3,60-4,80	N1,60=0	Wolff (1989)N160	27,1

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (2) Sabbia limosa	44,64	0,90-2,40	44,64	Bowles (1982) Sabbia Media	298,20
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	81,45	2,40-3,60	81,45	Bowles (1982) Sabbia Media	482,25
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	142,2	3,60-4,80	142,2	Bowles (1982) Sabbia Media	786,00

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (2) Sabbia limosa	44,64	0,90-2,40	44,64	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	119,16
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	81,45	2,40-3,60	81,45	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	194,77
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	142,2	3,60-4,80	142,2	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	319,55

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (2) Sabbia limosa	44,64	0,90-2,40	44,64	Classificazione A.G.I	ADDENSATO
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	81,45	2,40-3,60	81,45	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	142,2	3,60-4,80	142,2	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
Strato (2) Sabbia limosa	44,64	0,90-2,40	44,64	Terzaghi-Peck 1948	1,82
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	81,45	2,40-3,60	81,45	Terzaghi-Peck 1948	1,96
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	142,2	3,60-4,80	142,2	Terzaghi-Peck 1948	1,72

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
Strato (2) Sabbia limosa	44,64	0,90-2,40	44,64	Terzaghi-Peck 1948	2,13
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	81,45	2,40-3,60	81,45	Terzaghi-Peck 1948	2,22
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	142,2	3,60-4,80	142,2	Terzaghi-Peck 1948	2,06

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (2) Sabbia limosa	44,64	0,90-2,40	44,64	(A.G.I.)	0,27
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	81,45	2,40-3,60	81,45	(A.G.I.)	0,19
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	142,2	3,60-4,80	142,2	(A.G.I.)	0,07

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (2) Sabbia limosa	44,64	0,90-2,40	44,64	Ohsaki (Sabbie pulite)	2310,22
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	81,45	2,40-3,60	81,45	Ohsaki (Sabbie pulite)	4065,85
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	142,2	3,60-4,80	142,2	Ohsaki (Sabbie pulite)	6864,98

Velocità onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (2) Sabbia limosa	44,64	0,90-2,40	44,64	Ohta & Goto (1978) Limi	145,38
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	81,45	2,40-3,60	81,45	Ohta & Goto (1978) Limi	181,05
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	142,2	3,60-4,80	142,2	Ohta & Goto (1978) Limi	212,75

Coefficiente spinta a Riposo $K_0 = \sigma_H / \sigma_0$

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K_0
Strato (2) Sabbia limosa	44,64	0,90-2,40	44,64	Navfac 1971-1982	7,46
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	81,45	2,40-3,60	81,45	Navfac 1971-1982	11,93
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	142,2	3,60-4,80	142,2	Navfac 1971-1982	11,93

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (2) Sabbia limosa	44,64	0,90-2,40	44,64	Robertson 1983	89,28
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	81,45	2,40-3,60	81,45	Robertson 1983	162,90
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	142,2	3,60-4,80	142,2	Robertson 1983	284,40

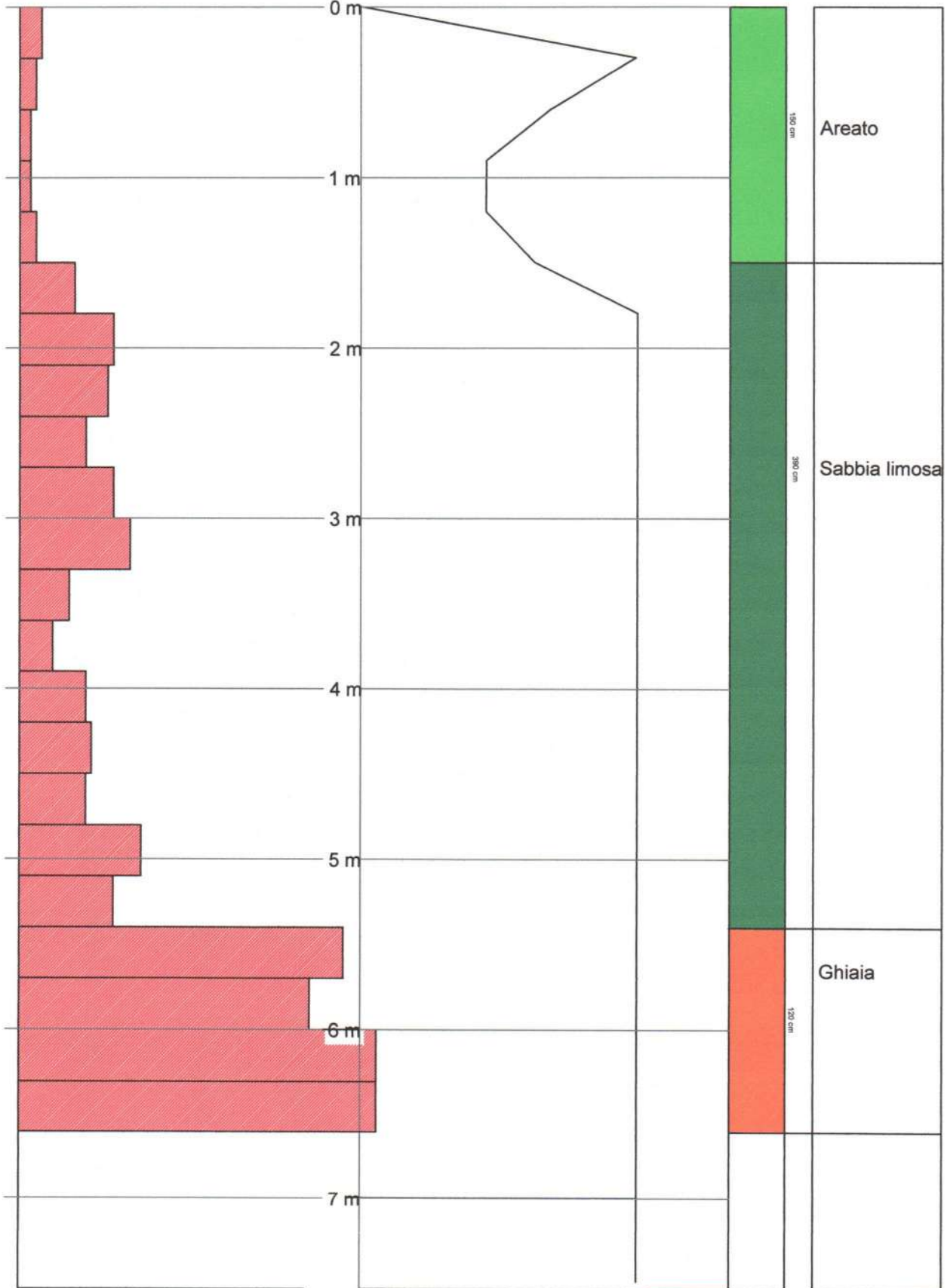
Numero di colpi penetrazione di punta

RPD (Kg/cm)

Interpretazione stratigrafica

5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100

0 5,6 11,2 16,8 22,4 28,0



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA **Nr.2****TERRENI COESIVI I**

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (1) Argilla-limosa	5,76	0.00-1,50	Terzaghi-Peck	0,36

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) Argilla-limosa	5,76	0.00-1,50	Robertson (1983)	11,52

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) Argilla-limosa	5,76	0.00-1,50	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	60,54

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) Argilla-limosa	5,76	0.00-1,50	Apollonia	57,60

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) Argilla-limosa	5,76	0.00-1,50	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (1) Argilla-limosa	5,76	0.00-1,50	Meyerhof	1,80

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato (1) Argilla-limosa	5,76	0.00-1,50	Meyerhof	1,89

Velocità onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (1) Argilla-limosa	5,76	0.00-1,50	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	87,61

TERRENI INCOERENTI I

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (2) Ghiaia limosa	24,89	1,50-5,10	24,89	Meyerhof 1957	90,36
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	101,88	5,10-6,60	101,88	Meyerhof 1957	100
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	154,21	6,60-7,50	154,21	Meyerhof 1957	100

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (2) Ghiaia limosa	24,89	1,50-5,10	N1,60=0	Wolff (1989) N160	27,1
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	101,88	5,10-6,60	N1,60=0	Wolff (1989) N160	27,1
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	154,21	6,60-7,50	N1,60=0	Wolff (1989) N160	27,1

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (2) Ghiaia limosa	24,89	1,50-5,10	24,89	Bowles (1982) Sabbia Media	199,45
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	101,88	5,10-6,60	101,88	Bowles (1982) Sabbia Media	584,40
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	154,21	6,60-7,50	154,21	Bowles (1982) Sabbia Media	846,05

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (2) Ghiaia limosa	24,89	1,50-5,10	24,89	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	78,59
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	101,88	5,10-6,60	101,88	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	236,73
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	154,21	6,60-7,50	154,21	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	344,22

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (2) Ghiaia limosa	24,89	1,50-5,10	24,89	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	101,88	5,10-6,60	101,88	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	154,21	6,60-7,50	154,21	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
Strato (2) Ghiaia limosa	24,89	1,50-5,10	24,89	Terzaghi-Peck 1948	1,65
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	101,88	5,10-6,60	101,88	Terzaghi-Peck 1948	1,95
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	154,21	6,60-7,50	154,21	Terzaghi-Peck 1948	1,60

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
Strato (2) Ghiaia limosa	24,89	1,50-5,10	24,89	Terzaghi-Peck 1948	2,03
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	101,88	5,10-6,60	101,88	Terzaghi-Peck 1948	2,21
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	154,21	6,60-7,50	154,21	Terzaghi-Peck 1948	1,99

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (2) Ghiaia limosa	24,89	1,50-5,10	24,89	(A.G.I.)	0,31
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	101,88	5,10-6,60	101,88	(A.G.I.)	0,15
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	154,21	6,60-7,50	154,21	(A.G.I.)	0,05

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (2) Ghiaia limosa	24,89	1,50-5,10	24,89	Ohsaki (Sabbie pulite)	1334,06
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	101,88	5,10-6,60	101,88	Ohsaki (Sabbie pulite)	5017,84
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	154,21	6,60-7,50	154,21	Ohsaki (Sabbie pulite)	7408,65

Velocità onde di taglio

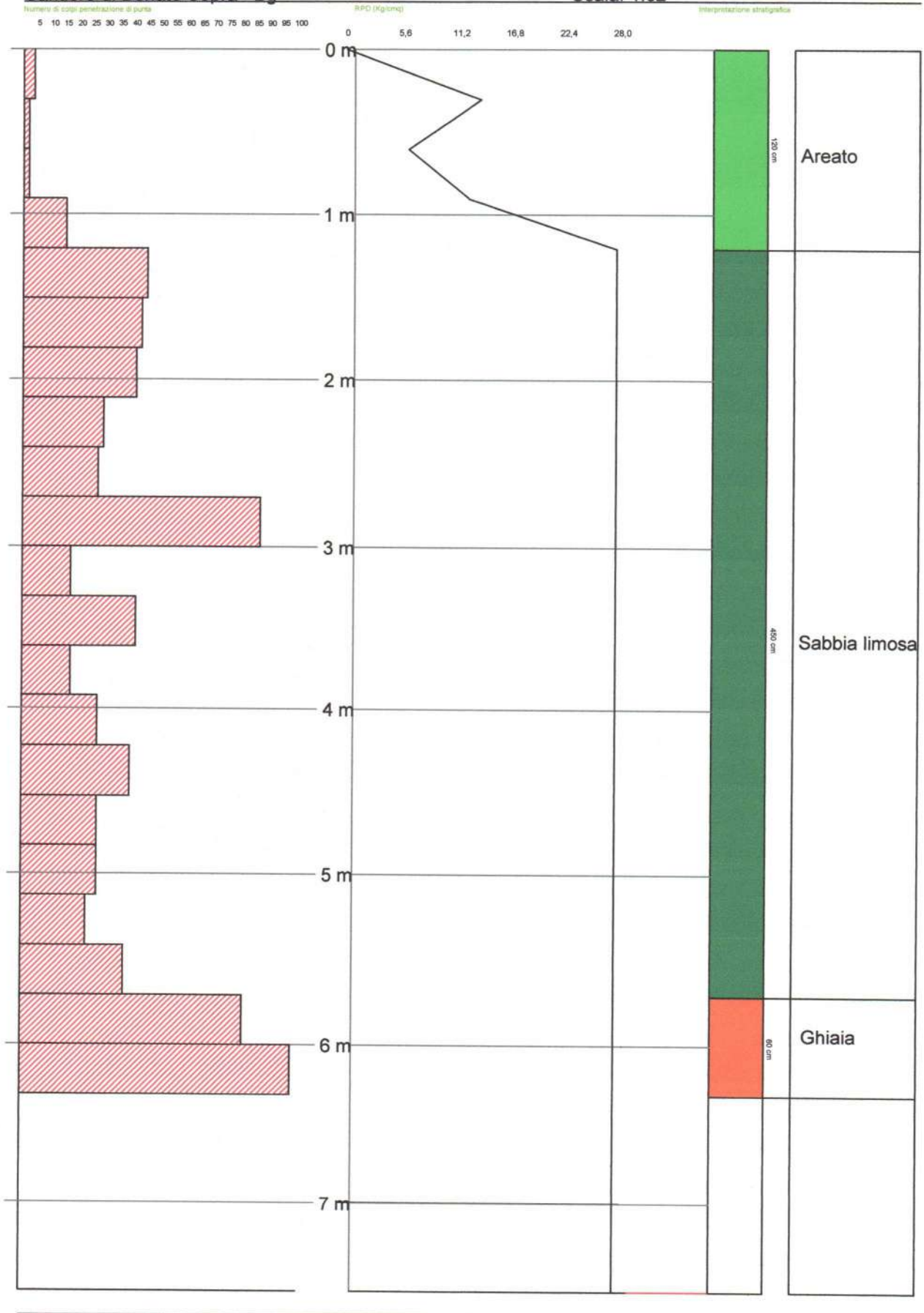
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (2) Ghiaia limosa	24,89	1,50-5,10	24,89	Ohta & Goto (1978) Limi	150,21
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	101,88	5,10-6,60	101,88	Ohta & Goto (1978) Limi	214,08
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	154,21	6,60-7,50	154,21	Ohta & Goto (1978) Limi	238,43

Coefficiente spinta a Riposo $K_0 = \sigma_H / P_0$

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K_0
Strato (2) Ghiaia limosa	24,89	1,50-5,10	24,89	Navfac 1971-1982	4,86
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	101,88	5,10-6,60	101,88	Navfac 1971-1982	11,93
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	154,21	6,60-7,50	154,21	Navfac 1971-1982	11,93

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (2) Ghiaia limosa	24,89	1,50-5,10	24,89	Robertson 1983	49,78
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	101,88	5,10-6,60	101,88	Robertson 1983	203,76
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	154,21	6,60-7,50	154,21	Robertson 1983	308,42



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA **Nr.3****TERRENI COESIVI I**

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (1) Argilla-limosa	5,85	0.00-1,20	Terzaghi-Peck	0,37

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) Argilla-limosa	5,85	0.00-1,20	Robertson (1983)	11,70

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) Argilla-limosa	5,85	0.00-1,20	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	61,46

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) Argilla-limosa	5,85	0.00-1,20	Apollonia	58,50

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) Argilla-limosa	5,85	0.00-1,20	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (1) Argilla-limosa	5,85	0.00-1,20	Meyerhof	1,80

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato (1) Argilla-limosa	5,85	0.00-1,20	Meyerhof	1,89

Velocità onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (1) Argilla-limosa	5,85	0.00-1,20	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	84,14

TERRENI INCOERENTI I

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (2) Limo sabbioso	39,6	1,20-2,10	39,6	Meyerhof 1957	100
Strato (3) Limo	30,74	2,10-5,70	30,74	Meyerhof 1957	95,09
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	87,3	5,70-6,30	87,3	Meyerhof 1957	100
Strato (5) Ciottoli e Ghiaia	141,3	6,30-7,50	141,3	Meyerhof 1957	100

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (2) Limo sabbioso	39,6	1,20-2,10	N1,60=0	Wolff (1989) N160	27,1
Strato (3) Limo	30,74	2,10-5,70	N1,60=0	Wolff (1989) N160	27,1
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	87,3	5,70-6,30	N1,60=0	Wolff (1989) N160	27,1
Strato (5) Ciottoli e Ghiaia	141,3	6,30-7,50	N1,60=0	Wolff (1989) N160	27,1

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (2) Limo sabbioso	39,6	1,20-2,10	39,6	Bowles (1982) Sabbia Media	273,00
Strato (3) Limo	30,74	2,10-5,70	30,74	Bowles (1982) Sabbia Media	228,70
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	87,3	5,70-6,30	87,3	Bowles (1982) Sabbia Media	511,50
Strato (5) Ciottoli e Ghiaia	141,3	6,30-7,50	141,3	Bowles (1982) Sabbia Media	781,50

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (2) Limo sabbioso	39,6	1,20-2,10	39,6	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	108,80
Strato (3) Limo	30,74	2,10-5,70	30,74	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	90,61
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	87,3	5,70-6,30	87,3	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	206,78
Strato (5) Ciottoli e Ghiaia	141,3	6,30-7,50	141,3	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	317,70

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (2) Limo sabbioso	39,6	1,20-2,10	39,6	Classificazione A.G.I.	ADDENSATO
Strato (3) Limo	30,74	2,10-5,70	30,74	Classificazione A.G.I.	ADDENSATO
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	87,3	5,70-6,30	87,3	Classificazione A.G.I.	MOLTO ADDENSATO
Strato (5) Ciottoli e Ghiaia	141,3	6,30-7,50	141,3	Classificazione A.G.I.	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
Strato (2) Limo sabbioso	39,6	1,20-2,10	39,6	Terzaghi-Peck 1948	1,78
Strato (3) Limo	30,74	2,10-5,70	30,74	Terzaghi-Peck 1948	1,70
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	87,3	5,70-6,30	87,3	Terzaghi-Peck 1948	1,97
Strato (5) Ciottoli e Ghiaia	141,3	6,30-7,50	141,3	Terzaghi-Peck 1948	1,73

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
Strato (2) Limo sabbioso	39,6	1,20-2,10	39,6	Terzaghi-Peck 1948	2,11
Strato (3) Limo	30,74	2,10-5,70	30,74	Terzaghi-Peck 1948	2,06
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	87,3	5,70-6,30	87,3	Terzaghi-Peck 1948	2,22
Strato (5) Ciottoli e Ghiaia	141,3	6,30-7,50	141,3	Terzaghi-Peck 1948	2,07

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (2) Limo sabbioso	39,6	1,20-2,10	39,6	(A.G.I.)	0,28
Strato (3) Limo	30,74	2,10-5,70	30,74	(A.G.I.)	0,29
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	87,3	5,70-6,30	87,3	(A.G.I.)	0,18
Strato (5) Ciottoli e Ghiaia	141,3	6,30-7,50	141,3	(A.G.I.)	0,07

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (2) Limo sabbioso	39,6	1,20-2,10	39,6	Ohsaki (Sabbie pulite)	2064,18
Strato (3) Limo	30,74	2,10-5,70	30,74	Ohsaki (Sabbie pulite)	1626,88
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	87,3	5,70-6,30	87,3	Ohsaki (Sabbie pulite)	4339,77
Strato (5) Ciottoli e Ghiaia	141,3	6,30-7,50	141,3	Ohsaki (Sabbie pulite)	6824,13

Velocità onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (2) Limo sabbioso	39,6	1,20-2,10	39,6	Ohta & Goto (1978) Limi	142,4
Strato (3) Limo	30,74	2,10-5,70	30,74	Ohta & Goto (1978) Limi	160,9
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	87,3	5,70-6,30	87,3	Ohta & Goto (1978) Limi	209,46
Strato (5) Ciottoli e Ghiaia	141,3	6,30-7,50	141,3	Ohta & Goto (1978) Limi	233,88

Coefficiente spinta a Riposo $K_0 = \sigma_{H/P_0}$

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K ₀
Strato (2) Limo sabbioso	39,6	1,20-2,10	39,6	Navfac 1971-1982	6,84
Strato (3) Limo	30,74	2,10-5,70	30,74	Navfac 1971-1982	5,71
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	87,3	5,70-6,30	87,3	Navfac 1971-1982	11,93
Strato (5) Ciottoli e Ghiaia	141,3	6,30-7,50	141,3	Navfac 1971-1982	11,93

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (2) Limo sabbioso	39,6	1,20-2,10	39,6	Robertson 1983	79,20
Strato (3) Limo	30,74	2,10-5,70	30,74	Robertson 1983	61,48
Strato (4) Ciottoli e Ghiaia	87,3	5,70-6,30	87,3	Robertson 1983	174,60
Strato (5) Ciottoli e Ghiaia	141,3	6,30-7,50	141,3	Robertson 1983	282,60

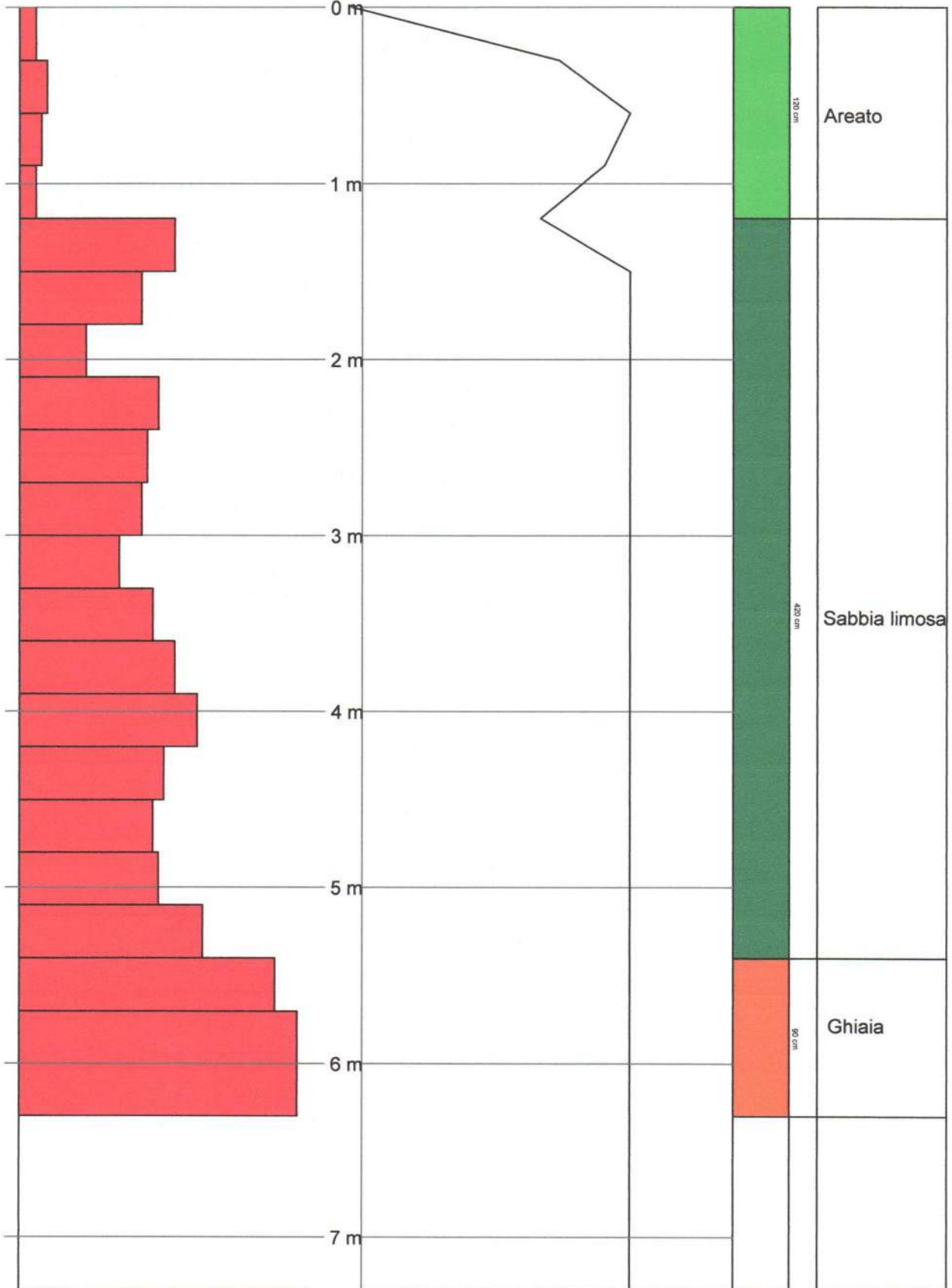
Numero di colpi penetrazione di punta

5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100

RPD (Kg/cm²)

0 5,6 11,2 16,8 22,4 28,0

Interpretazione stratigrafica



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA **Nr.4****TERRENI COESIVI I**

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (1) Argilla-limosa	6,75	0.00-1,20	Terzaghi-Peck	0,42

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) Argilla-limosa	6,75	0.00-1,20	Robertson (1983)	13,50

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) Argilla-limosa	6,75	0.00-1,20	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	70,64

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) Argilla-limosa	6,75	0.00-1,20	Apollonia	67,50

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) Argilla-limosa	6,75	0.00-1,20	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (1) Argilla-limosa	6,75	0.00-1,20	Meyerhof	1,85

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato (1) Argilla-limosa	6,75	0.00-1,20	Meyerhof	1,89

Velocità onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (1) Argilla-limosa	6,75	0.00-1,20	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	86,25

TERRENI INCOERENT I

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (2) Sabbia limosa	42,79	1,20-5,10	42,79	Meyerhof 1957	100
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	117,52	5,10-7,20	117,52	Meyerhof 1957	100

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (2) Sabbia limosa	42,79	1,20-5,10	N1,60=0	Wolff (1989)N160	27,1
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	117,52	5,10-7,20	N1,60=0	Wolff (1989)N160	27,1

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (2) Sabbia limosa	42,79	1,20-5,10	42,79	Bowles (1982) Sabbia Media	288,95
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	117,52	5,10-7,20	117,52	Bowles (1982) Sabbia Media	662,60

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (2) Sabbia limosa	42,79	1,20-5,10	42,79	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	115,36
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	117,52	5,10-7,20	117,52	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	268,85

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (2) Sabbia limosa	42,79	1,20-5,10	42,79	Classificazione A.G.I	ADDENSATO
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	117,52	5,10-7,20	117,52	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
Strato (2) Sabbia limosa	42,79	1,20-5,10	42,79	Terzaghi-Peck 1948	1,80
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	117,52	5,10-7,20	117,52	Terzaghi-Peck 1948	1,89

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
Strato (2) Sabbia limosa	42,79	1,20-5,10	42,79	Terzaghi-Peck 1948	2,12
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	117,52	5,10-7,20	117,52	Terzaghi-Peck 1948	2,17

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (2) Sabbia limosa	42,79	1,20-5,10	42,79	(A.G.I.)	0,27
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	117,52	5,10-7,20	117,52	(A.G.I.)	0,11

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (2) Sabbia limosa	42,79	1,20-5,10	42,79	Ohsaki (Sabbie pulite)	2220,11
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	117,52	5,10-7,20	117,52	Ohsaki (Sabbie pulite)	5738,76

Velocità onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (2) Sabbia limosa	42,79	1,20-5,10	42,79	Ohta & Goto (1978) Limi	163,5
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	117,52	5,10-7,20	117,52	Ohta & Goto (1978) Limi	221,57

Coefficiente spinta a Riposo $K_0 = \sigma_{H0} / \sigma_{V0}$

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K_0
Strato (2) Sabbia limosa	42,79	1,20-5,10	42,79	Navfac 1971-1982	7,23
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	117,52	5,10-7,20	117,52	Navfac 1971-1982	11,93

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (2) Sabbia limosa	42,79	1,20-5,10	42,79	Robertson 1983	85,58
Strato (3) Ciottoli e Ghiaia	117,52	5,10-7,20	117,52	Robertson 1983	235,04