

COMUNE DI CASNATE CON BERNATE

**PROGETTO DI AMPLIAMENTO SCUOLA
DELL'INFANZIA DI VIA VERDI**
Via Verdi n. 6 – 22070 Casnate con Bernate

COMMITTENTE
COMUNE DI CASNATE CON BERNATE

RELAZIONE GEOLOGICA

PROGETTISTA

Arch. Sergio BIANCHI
Via Rencati, 29 – 22063 Cantù (CO)
Ordine degli Architetti della Provincia di Como n. 608
Tel 031 710340 s.bianchi@studioarchitettobianchi.it

COLLABORATORE: Ing. Federico BIANCHI

CONSULENZE:

Strutture
Impianti meccanici
Impianti elettrici
Analisi geologiche
Imappto acustico

Ing. Ivano GRISONI
Ing. Alessandro CHIESA
P.I.E. Simone RADICE
Geol. Samuele AZZAN
Arch. Roberto PISONI

Cantù, marzo 2024

D.12

COMUNE DI CASNATE CON BERNATE

Provincia di Como

RELAZIONE GEOLOGICA AI SENSI DEL D.M. 17.01.2018
E DELLA D.G.R. IX/2616 A SUPPORTO DEL PROGETTO
DI AMPLIAMENTO SCUOLA DELL'INFANZIA DI VIA VERDI
IN COMUNE DI CASNATE CON BERNATE (CO)

DR. GEOLOGO SAMUELE AZZAN



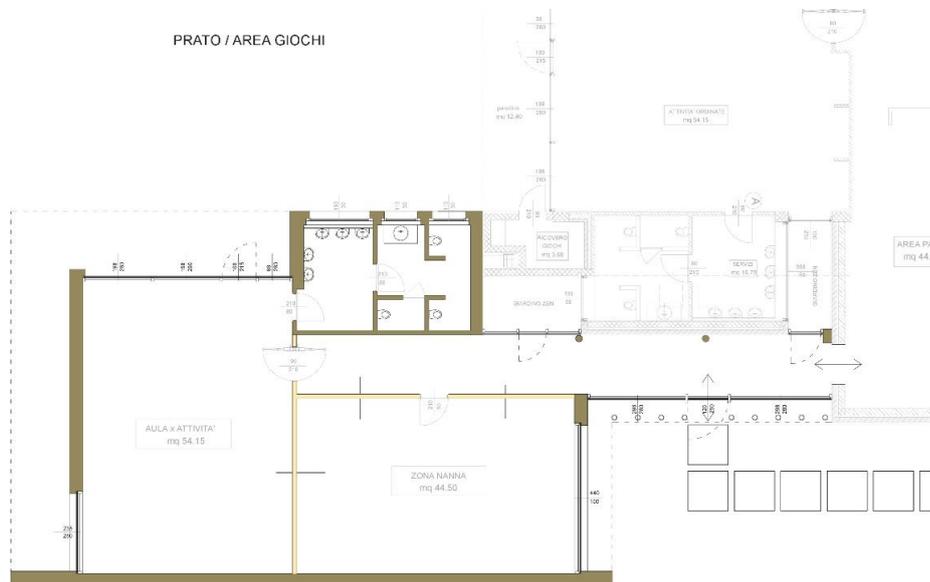
1- PREMESSA

La presente relazione è stata prodotta su incarico dell'Amministrazione Comunale di Casnate con Bernate; scopo del presente lavoro è la stesura della relazione geologica e geotecnica ai sensi del D.M. del 17.01.2018 e della D.G.R. IX/2616 del 30.11.2011 per il progetto di realizzazione di un ampliamento di una scuola per l'infanzia sita, in Via Verdi 15 in Comune di Casnate con Bernate (CO).

Lo studio del comparto, in considerazione delle dimensioni del progetto e dell'attuale stato di fatto, è stato attuato attraverso l'esecuzione di una campagna di indagini geognostiche, in particolare:

- n° 3 prove penetrometriche dinamiche, eseguita con penetrometro dinamico pesante a punta conica (Scpt);
- n° 1 registrazione sismica passiva con tomografo digitale (HVSR);

Il progetto, a cura dello Studio di Arch. Sergio Bianchi, cui si rimanda per tutti i dettagli, prevede la formazione di un ampliamento dell'edificio a 1 piano fuori terra, senza vani seminterrati, di dimensione in pianta pari a circa 200 m² con spazi da adibire a servizi igienici e nuove aule scolastiche.



Stralcio planimetria di progetto non in scala

Il presente documento rappresenta una relazione geologica e geotecnica ai sensi delle NTC '18

2- NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Decreto Ministeriale 14.01.2008

“Norme tecniche per le Costruzioni” e Circolare n° 617 del 02.02.2009 “Istruzioni per l’applicazione delle NTC di cui al D.M. 14 gennaio 2008”

Decreto Ministeriale 17.01.2018

“Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”.

D.G.R. 2616/2011

Aggiornamento dei “Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio in attuazione dell’art. 57, comma 1, L.R. n° 12/2005”

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.
Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007

D.G.R. n°2129 del 11/07/2014

contenente l’“Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r.1/2000, art.3, c.108, lett. d)”.

3 - INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area d'intervento è ubicata in comune di Casnate con Bernate (CO) nel settore centrale del territorio comunale, in località Bernate in una zona pianeggiante poco urbanizzata ai piedi della collina di Bernate, ad una quota media di 314,00 m s.l.m. circa.

Il territorio di Casnate con Bernate (CO), e più in particolare l'area d'intervento, è cartografato nella **Tavoletta B5a1** alla scala 1:10.000 della Carta Tecnica Regionale (CTR).

Dalla consultazione dello studio geologico a supporto del PGT comunale vigente si evince che l'area di studio, è ubicata in una zona inclusa nella **Classe di Fattibilità 2** – “Fattibilità con modeste limitazioni”, per la quale le NTA richiedono necessario realizzare approfondimenti di carattere geologico, geotecnico e/o idrogeologico, finalizzati ai singoli progetti.

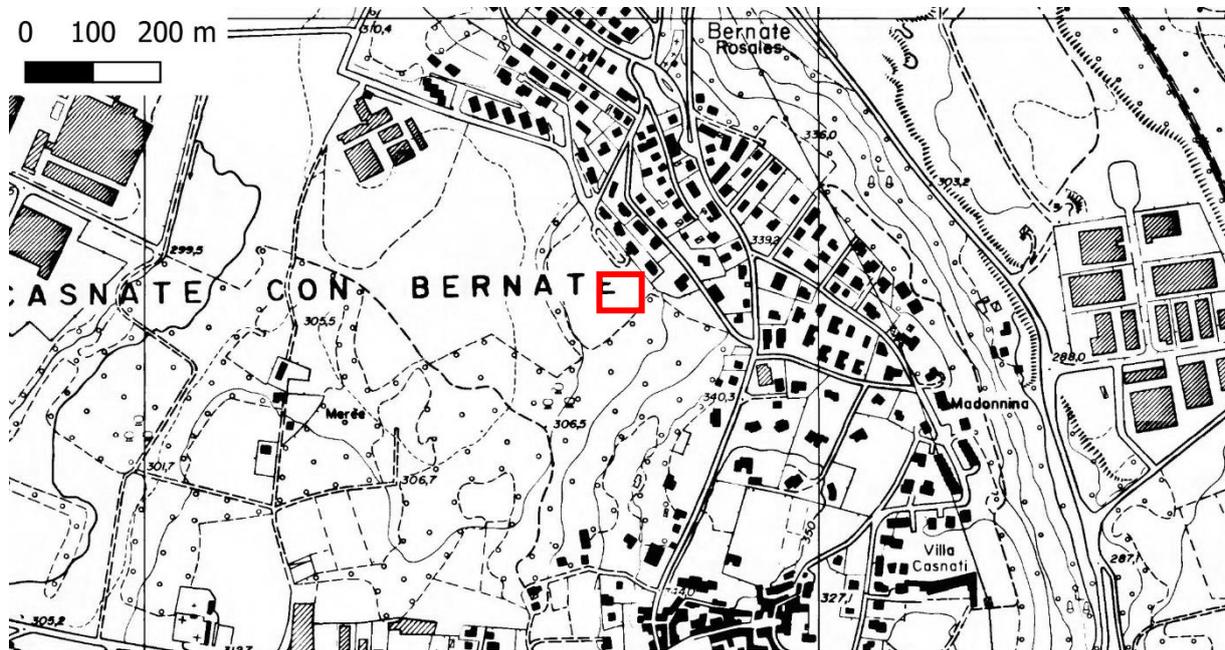
Dalla consultazione delle carte di supporto alla pianificazione comunale (carta dei vincoli e di sintesi) si evidenzia quanto segue:

- L'area di progetto non ricade in alcun vincolo geologico ed è posizionata esternamente alle fasce di rispetto idraulico del RIM;
- La carta di Sintesi indica scenari di pericolosità legati alla bassa soggiacenza di falde sospese e per potenziale presenza di terreni sciolti.
- L'area d'intervento in oggetto non ricade entro alcuna perimetrazione di zone allagabili di cui al Piano Gestione Rischio Alluvioni¹, o vincoli PAI.
- Il territorio comunale di Casnate con Bernate (CO) è inserito, in base alla nuova normativa (D.G.R. n°2129 del 11/07/2014), in **ZONA SISMICA 4** della zonizzazione sismica nazionale (pericolosità sismica molto bassa) con valore di $A_g \max 0,041319$.

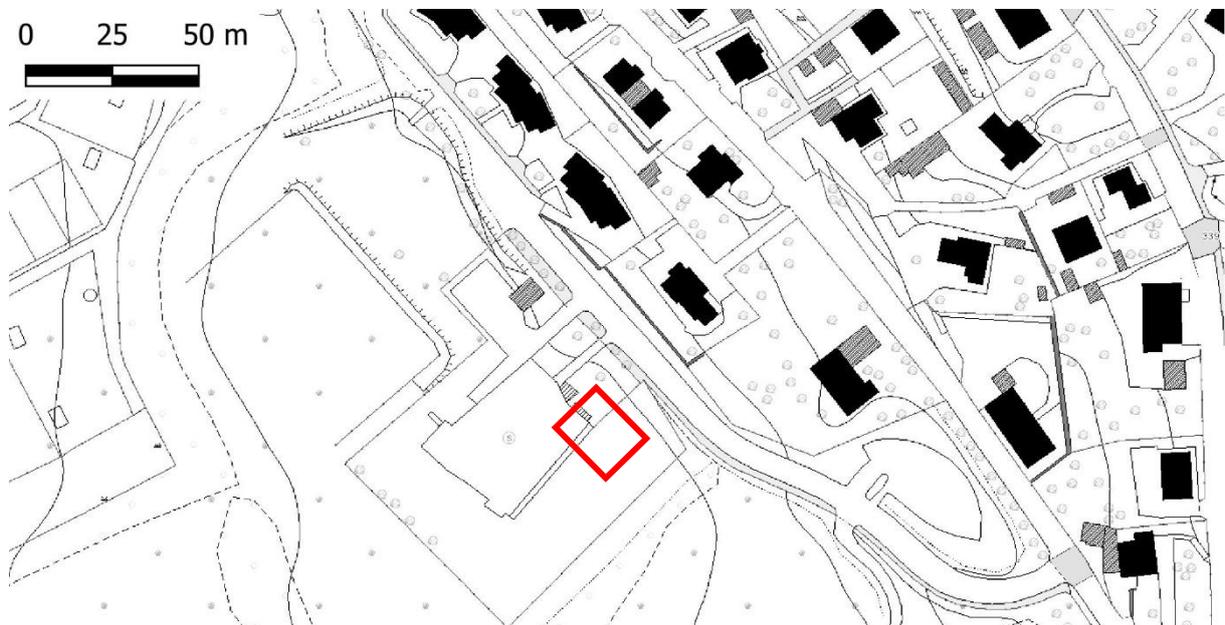
Di seguito viene riportato uno stralcio della Carta Tecnica Regionale e del DBT (Data Base Territoriale), con evidenziata l'area d'intervento, un estratto della Carta di Fattibilità Geologica e della carta dei Vincoli e Sintesi allegate allo Studio Geologico Comunale a supporto del PGT.

¹ adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Po con delibera n. 4 del 17 dicembre 2015, approvato con delibera n. 2 del 3 marzo 2016 è definitivamente approvato con d.p.c.m. del 27 ottobre 2016, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 30, serie Generale, del 6 febbraio 2017

Carta Tecnica Regionale - C.T.R. scala 1:10.000



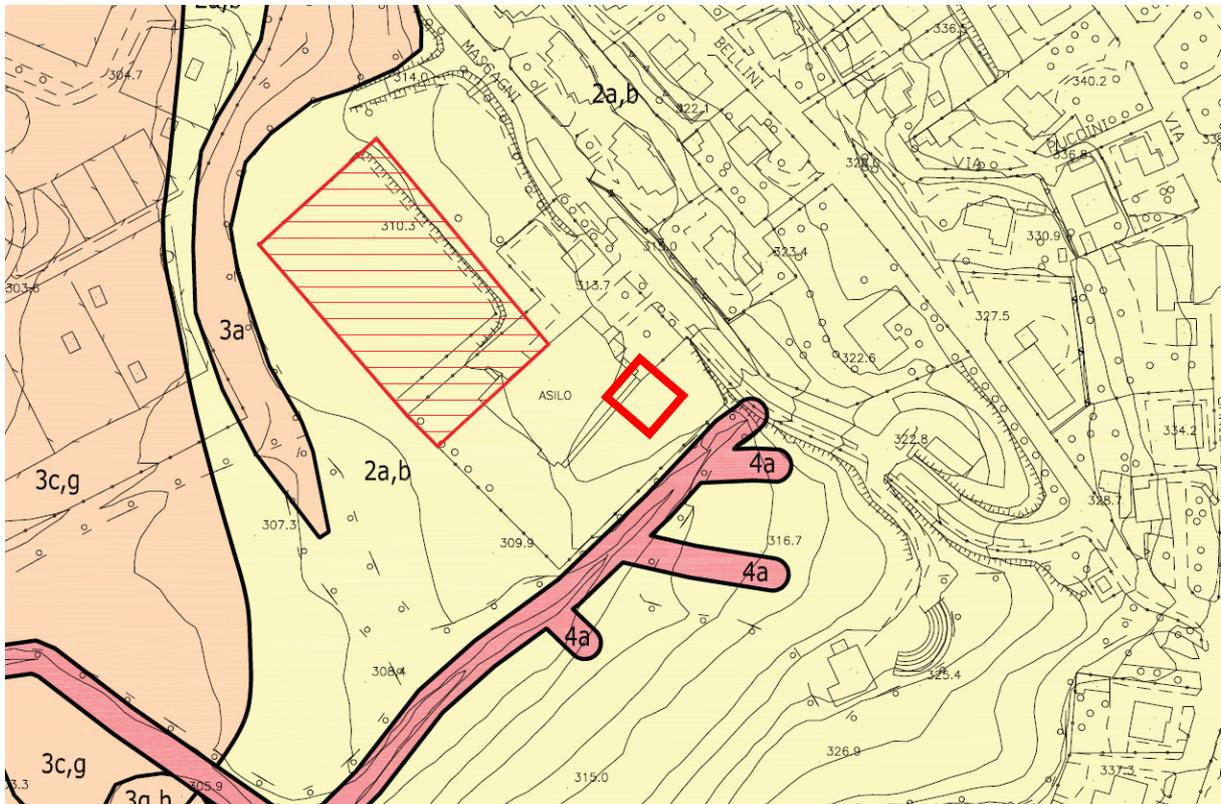
Database territoriale scala 1:2.000



 Area d'indagine



ESTRATTO CARTA DELLA FATTIBILITA'
(tratto dallo Studio Geologico a supporto del P.G.T.)



2 **Classe 2 - FATTIBILITA' CON MODESTE LIMITAZIONI**
La classe comprende aree nelle quali sono state riscontrate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso. Tali limitazioni possono, in genere, essere superate mediante approfondimenti di indagine e accorgimenti tecnico-costruttivi, senza l'esecuzione di specifiche opere di difesa.
Norma di riferimento : art. 6 NTA Studio Geologico Comunale

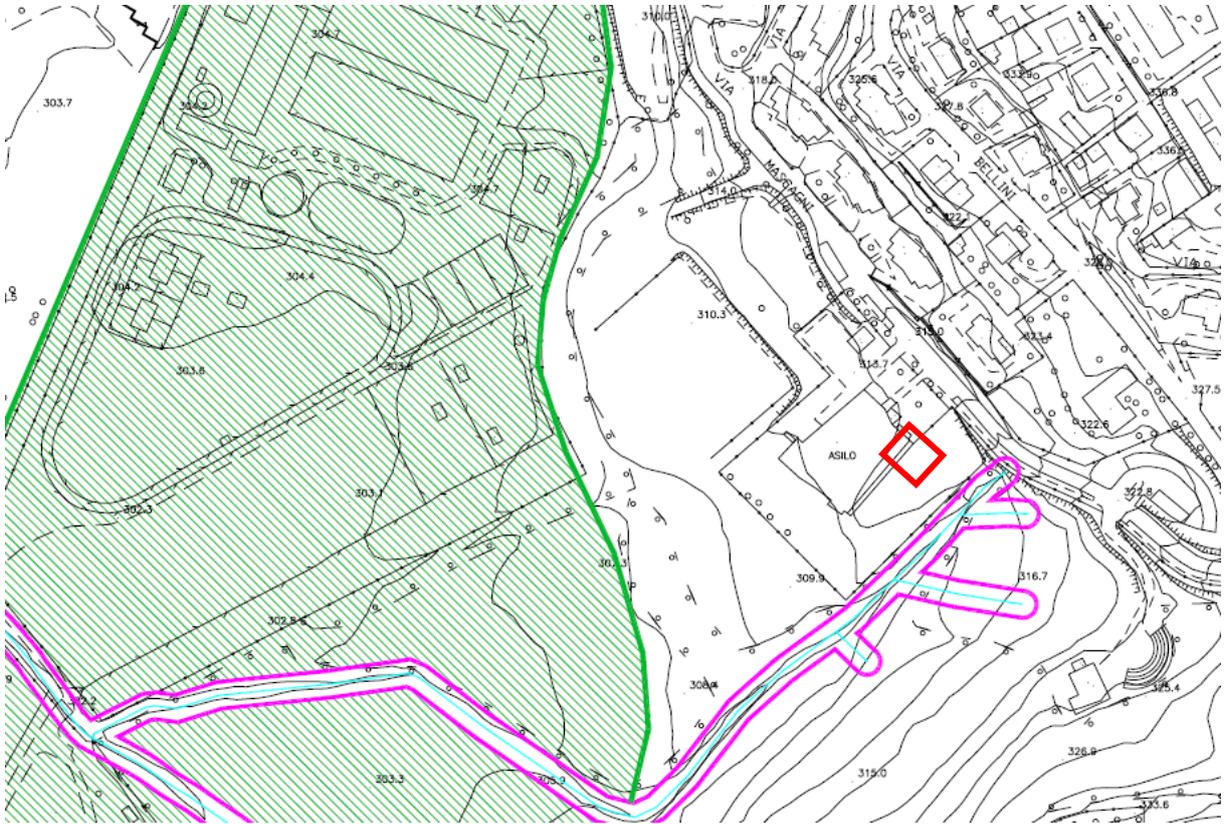
Sottoclasse 2a - aree a pericolosità potenziale dal punto di vista dell'instabilità dei versanti per la presenza di terreni sciolti su pendenze medie

Sottoclasse 2b - aree con potenziale presenza di falde sospese spesso a carattere temporaneo, con soggiacenza generalmente superiore a 3 metri

 Area d'indagine



ESTRATTO CARTA DEI VINCOLI
(tratto dallo studio geologico a supporto del P.G.T.)

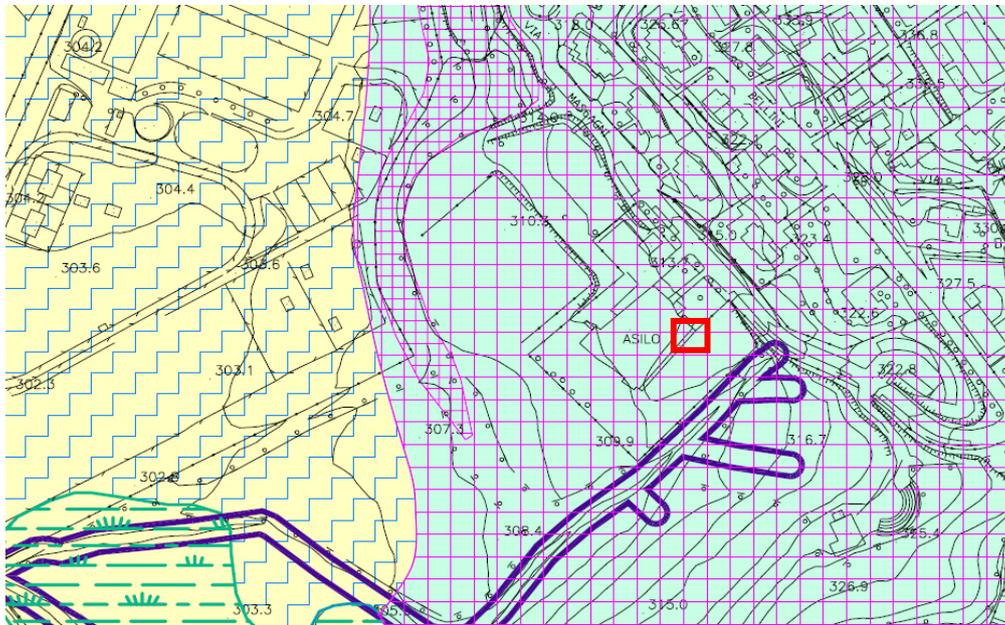


VINCOLI DI POLIZIA IDRAULICA		
Simbologia	Tipologia	Normativa di riferimento
	Fascia di rispetto 1 di corso d'acqua appartenente al reticolo idrico principale	R.D. n. 523 del 1904 d.d.g. n. 8943 del 03/08/2007
	Fascia di rispetto 1 di corso d'acqua appartenente al reticolo idrico minore	N.T.A. dello Studio del reticolo idrico minore del comune di Casnate con Bernate
	Fascia di rispetto 2 di corso d'acqua appartenente al reticolo idrico minore	

 Area d'indagine



ESTRATTO CARTA DI SINTESI
(tratto dallo studio geologico a supporto del P.G.T.)



Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti

-  Aree a pericolosità potenziale per la presenza di terreni sciolti su pendenze elevate e con fenomeni di erosione, comprensive delle aree di possibile accumulo
-  Aree a pericolosità potenziale per la presenza di terreni sciolti su pendenze medie
-  Aree estrattive attive

Aree vulnerabili dal punto di vista Idrogeologico

-  Aree con presenza di falde sospese con soggiacenza generalmente inferiore a 3 metri
-  Aree con potenziale presenza di falde sospese spesso a carattere temporaneo con soggiacenza generalmente superiore a 3 metri

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 e aree potenzialmente inondabili in occasione di eventi meteorici indicativamente con tempi di ritorno di 10 anni tratto da "Studio di fattibilità della sistemazione Idraulica dei corsi d'acqua nell'ambito della pianura Lambro-Olona", redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Po
-  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 tratto da "Studio di fattibilità della sistemazione Idraulica dei corsi d'acqua nell'ambito della pianura Lambro-Olona", redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Po
-  Aree potenzialmente inondabili individuate con criteri geomorfologici tenendo conto delle criticità derivanti da punti di debolezza delle strutture di contenimento quali tratti di sponde in erosione, punti di possibile tracimazione, sovralluvionamenti, sezioni di deflusso insufficienti anche a causa della presenza di depositi di materiale in alveo

Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche

-  Aree con riporti di materiale
-  Aree estrattive non attive parzialmente recuperate
-  Aree prevalentemente limoso-argillose con limitata capacità portante
-  Aree di possibile ristagno, torbose e paludose

 Area d'indagine



4 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO-MORFOLOGICO

A livello generale, l'area che ospita il territorio comunale di Casnate con Bernate, si ubica al limite tra una zona montana settentrionale, costituita dalle formazioni rocciose appartenenti al Sudalpino, e una zona meridionale pedemontana, a morfologia da collinare a pianeggiante, formata da depositi incoerenti e non, di origine glaciale e fluviale.

Durante il Quaternario quest'area è stata interessata dalla presenza di un grosso ghiacciaio che scendeva lungo il solco del Lago di Como per poi aprirsi a ventaglio verso la pianura.

Queste enormi masse di ghiaccio si sono impostate su di una morfologia preesistente modificandola notevolmente sia nelle fasi di avanzata, attraverso un'accentuata azione erosiva, sia nelle fasi di ritiro, durante le quali hanno sedimentato una grande quantità di materiale incoerente formando l'anfiteatro morenico di Casnate con Bernate.

L'impronta lasciata dal ghiacciaio è osservabile nell'azione di lisciamiento e arrotondamento delle superfici rocciose, sulle quali si è esercitata l'abrasione del ghiaccio.

Altra evidenza dei processi glaciali che hanno interessato la zona è data dalle morene, materiale preso in carico e trasportato dal ghiacciaio durante il suo avanzamento.

L'area di progetto si colloca ai piedi sud-occidentali di un rilievo collinare allungato in direzione circa nordovest-sudest, costituito da un'ossatura rocciosa formata da un conglomerato poligenico (Formazione della Gonfolite Lombarda), al di sopra del quale sono presenti ampie coltri di depositi glaciali e fluvio-glaciali.

Nello specifico il substrato roccioso, la cui genesi viene riferita a un bacino orogenico impostato su di un margine continentale attivo (zona di margine dell'oceano Ligure-Piemontese durante le ultime fasi dell'orogenesi alpina) affiora molto più a nord dell'area di progetto, in corrispondenza della scarpata a valle di C.na Zappa; si tratta di conglomerati medio grossolani, con clasti silicatici e carbonatici a supporto clastico e grado di cementazione molto elevato.

I depositi superficiali, di origine glaciale sono costituiti da ciottoli e ghiaie a supporto di matrice sabbiosa, alternati a livelli di ghiaie fini e sabbie grossolane.

Quanto rilevato localmente in sito conferma la distribuzione litologica di cui alle carte di riferimento di più ampia scala: in particolare sono state rilevate poco più a est dell'area di progetto, scarpate stabili che mettono a giorno i depositi glaciali che ammantano la collina in esame.

Si tratta di depositi granulari eterogenei, sabbioso-ghiaiosi, comunque con una percentuale non trascurabile di matrice fine (che attribuisce al materiale un discreto grado di coesione) e rari ciottoli e blocchi trovanti di dimensioni decimetriche; il grado di compattazione è da medio a elevato, tanto da giustificare la presenza di scarpate stabili con angoli di 60° per altezze dei

fronti dell'ordine di 2,0 m, ma sono spesso coperti da coltri superficiali di materiali da sciolti a poco addensati di spessore in genere non superiore a 1-2 m.

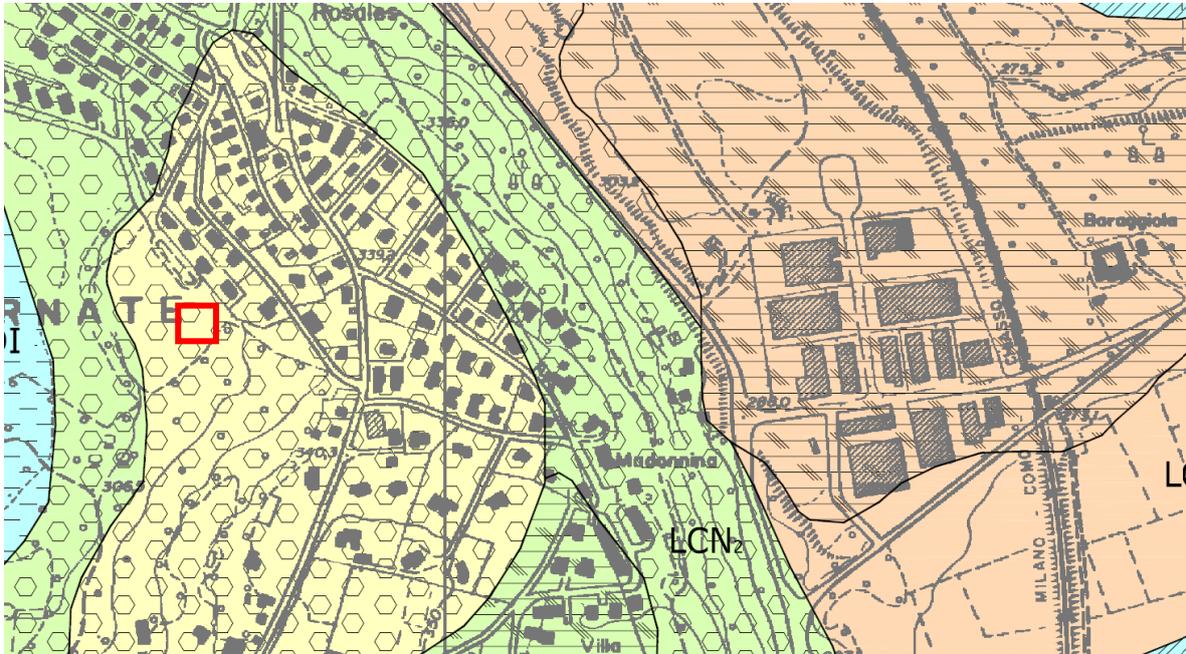


Aspetto del deposito glaciale affiorante a nord ovest dell'area di progetto (termine di Via Ortigara verso il serbatoio dell'acquedotto.)

Le indagini condotte hanno rilevato la presenza di terreni a comportamento prevalentemente granulare poco addensati per i primi 2 m circa di spessore da piano campagna, cui segue un orizzonte più addensato e un rifiuto alla penetrazione che si attesta fra i 3 e i 4 m di profondità, che può rappresentare verosimilmente il tetto del conglomerato basale.

Non si segnalano comunque nelle vicinanze dell'area di edificazione dissesti idrogeologici o fenomeni morfodinamici in atto o potenziali che possano interferire con i futuri edifici.

ESTRATTO CARTA GEOLOGICA
(tratto dallo studio geologico a supporto del P.G.T.)



LCN₃ Alternanze di ghiaie a matrice sabbiosa grossolana e lenti di sabbie da medie a grossolane, massive o a laminazione incrociata, sabbie da grossolane a fini con limi in lamine piano-parallele o incrociate a basso angolo (*facies di contatto glaciale*)



LCN₃ Alternanze di livelli di ghiaie in matrice sabbiosa grossolana, ghiaie pulite con sabbie da medie a fini e sabbie da medie a grossolane; sabbie da medie a grossolane con laminazione piano-parallela e incrociata concava (*facies fluvioglaciale*)

Colore della matrice 10YR. Alterazione da scarsa ad assente, con spessore di 1 - 1,5 metri.
Morfologie ben conservate con grandi estensioni di piane laustri e di contatto glaciale, morene ben evidenti.

SUBSISTEMA DI CUCCIAGO



LCN₂ Diamicton massivi a supporto di clasti; diamicton con vaga stratificazione e ciottoli allineati; ghiaie a supporto di matrice alternate a livelli di ghiaie fini e sabbie grossolane (*facies glaciale*)



LCN₂ Sabbie e ghiaie fini gradate con lenti cementate; sabbie massive o vagament laminate (*facies di contatto glaciale*)



LCN₂ Ghiaie a supporto di matrice sabbiosa, a locale debole cementazione (*facies fluvioglaciale*)

Colore della matrice 10YR. Alterazione da scarsa ad assente, con spessore di 1 - 1,5 metri.
Morfologie ben conservate.

SUBSISTEMA DI FINO MORNASCO



LCN₃ Diamicton massivi a supporto di clasti grossolanamente gradati (*facies glaciale*)



Area d'indagine



5 - INQUADRAMENTO IDROLOGICO – IDROGEOLOGICO

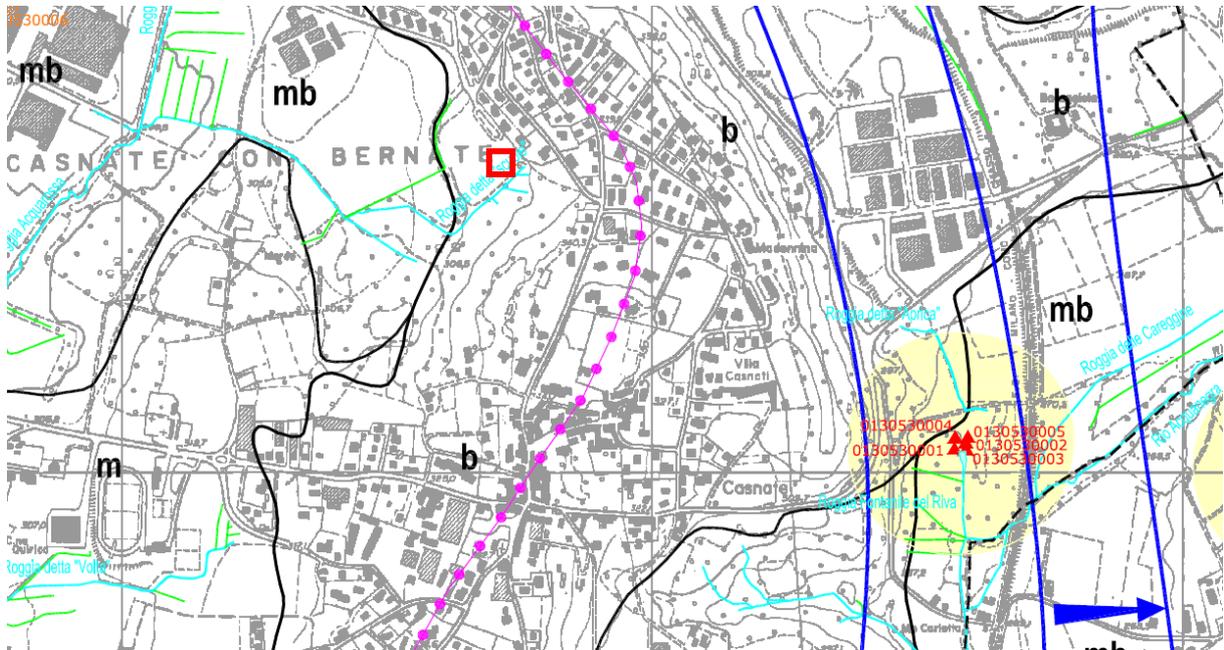
Per quanto riguarda l'idrografia di superficie, nell'area esaminata non sono presenti corsi d'acqua significativi, eccezion fatta per la piccola roggia sita a circa 25 m a sud-est dell'area di progetto che raccoglie le acque di scolo del settore collinare sovrastante, ma con piccola estensione di bacino e che non influenza il sito di futura edificazione.

Per quel che concerne la circolazione idrica profonda, l'area non ospita una vera e propria falda idrica continua; si rilevano invece fenomeni di filtrazione a bassa profondità (fra 1 e 2 m da p.c.) con circolazione idrica molto modesta, lenta, e periodica, legata alla morfologia locale (alto collinare di raccolta e filtrazione lungo versante) e al regime pluviometrico.

Tali orizzonti idrici sospesi non hanno continuità temporale e spaziale significativa.

La permeabilità dei depositi superficiali è piuttosto bassa, con un coefficiente k compreso fra 10^{-8} e 10^{-6} m/s, mentre la Gonfolite di base è praticamente impermeabile ($k < 10^{-8}$ m/s) e improduttiva dal punto di vista idrogeologico, a meno di locali condizioni, non rilevate in sito, dove si sviluppano piccoli acquiferi poco continui per fratturazione secondaria del substrato.

ESTRATTO CARTA IDROGEOLOGICA
(tratto dallo studio geologico a supporto del P.G.T.)



-  Reticolo idrico principale
 -  Reticolo idrico minore
 -  Reticolo idrico artificiale
 -  Limiti di bacino idrografico
 B1: bacino idrografico di pertinenza del Torrente Seveso
 B2: bacino idrografico di pertinenza del Rio Acquanegra
 -  Possibili aree esondabili
 -  1131020006 Pozzo pubblico ad uso idropotabile dell'acquedotto comunale di Casnate con Bernate
 -  1132120003 Pozzo ad uso idropotabile altro comune
 -  013110010 Pozzo ad uso industriale
 -  Fascia di rispetto dei pozzi pubblici ad uso idropotabile definita con criterio geometrico
 -  -290 Isopiezometrica e relativa quota s.l.m. (da: "Monitoraggio delle falde acquifere in Provincia di Como" a cura della Amministrazione Provinciale di Como, 1998)
 -  Direzione di flusso
 -  - - - - Confine comunale
-  Area d'indagine

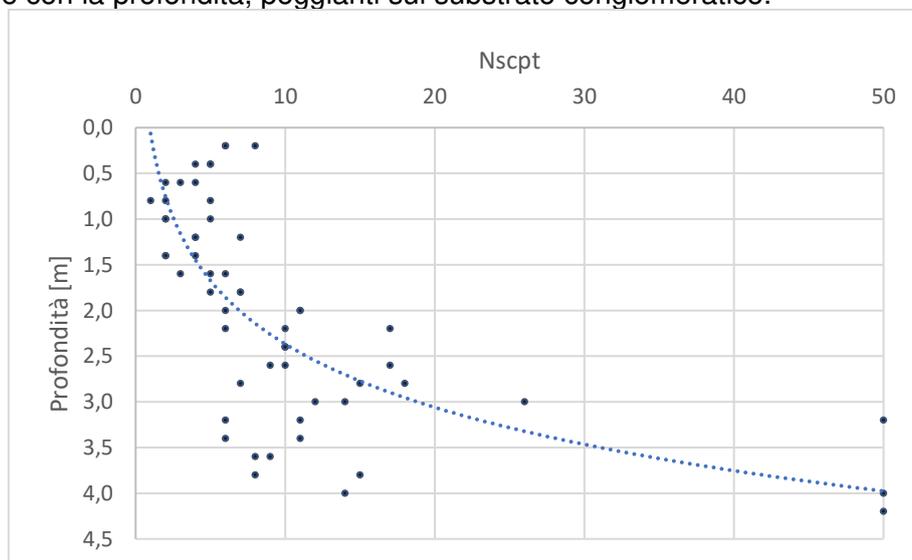


6- CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

Allo scopo di definire le caratteristiche geotecniche dei terreni presenti nel sottosuolo dell'area d'intervento sono state eseguite n° 3 prove penetrometriche con penetrometro dinamico standard a punta conica S.C.P.T.; le prove, sono state spinte fino a profondità massima di 4,2 m dal piano campagna attuale fino a raggiungere il rifiuto alla penetrazione causato verosimilmente dall'incontro con il substrato conglomeratico (Gonfolite).

Il piano da cui sono state eseguite le prove corrisponde all'attuale piano campagna, come da planimetria allegata.

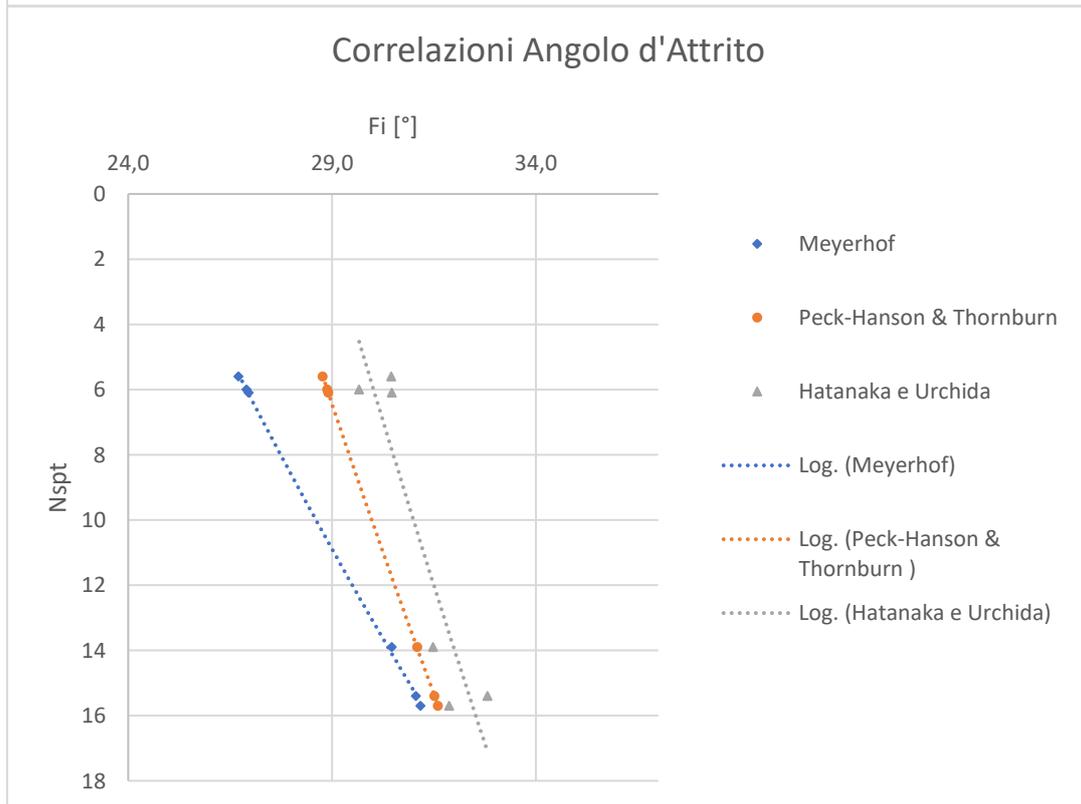
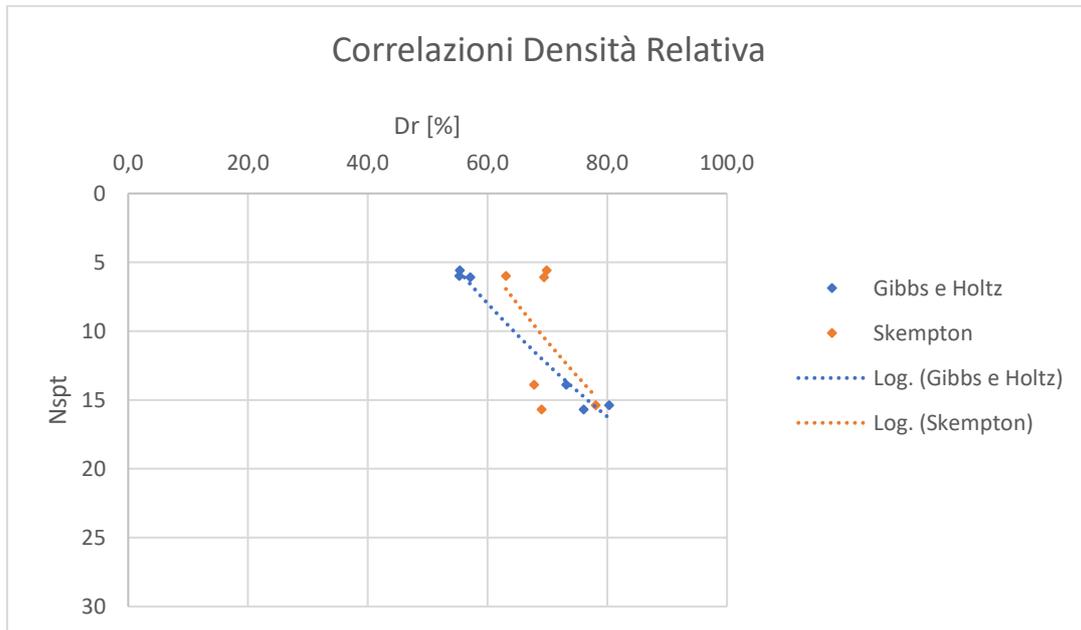
L'esame dei diagrammi penetrometrici, ha evidenziato la presenza di terreni superficiali da poco a moderatamente addensati con tendenza al miglioramento delle caratteristiche geotecniche con la profondità, poggianti sul substrato conglomeratico.

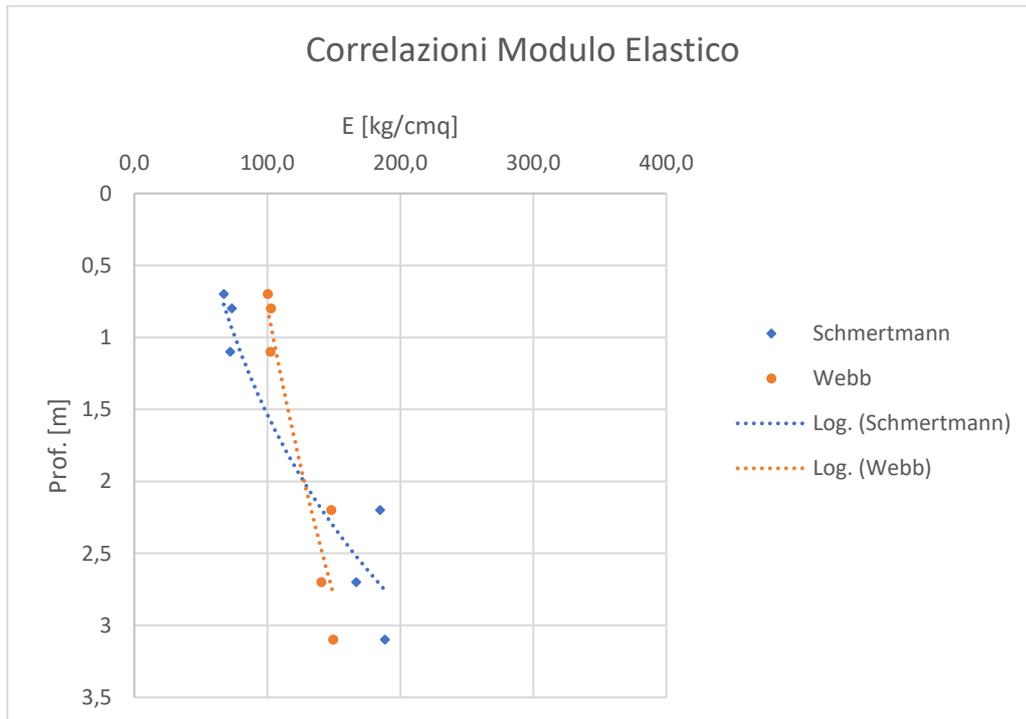


I risultati delle prove penetrometriche, riportati negli allegati istogrammi, sono stati interpretati per risalire, anche se indirettamente dato il tipo di prove eseguite, alle grandezze indice dei terreni investigati: densità relativa (d_r %), angolo d'attrito interno (ϕ), peso di volume (γ) e modulo di Young (E).

Nella seguente tabella vengono riportate le correlazioni per la determinazione dei principali parametri geotecnici:

Parametro geotecnico	Correlazione utilizzata
Angolo d'attrito	Meyerhof - Peck-Hanson & Thornburn – Hatanaka e Urchida
Peso di volume	Meyerhof
Modulo Elastico	Schmertmann - Webb
Densità relativa	Gibbs & Holtz - Skempton





In base alle risultanze delle prove penetrometriche, sono state distinte, tre differenti “Litozone” abbastanza omogenee per caratteristiche tecniche, distinte in base ai valori medi di resistenza alla penetrazione.

In particolare è stato possibile distinguere:

Litozona A : è caratterizzata da sabbie e sabbie limose poco addensate. Presenta parametri geotecnici e valori di resistenza alla penetrazione generalmente mediocri.

Nella seguente tabella viene riportata la profondità di ritrovamento dei terreni riferita ad ogni singola postazione di prova:

Prova penetrometrica	Profondità di ritrovamento
S.C.P.T. 1	Da 0,0 m a 1,6 m
S.C.P.T. 2	Da 0,0 m a 1,4 m
S.C.P.T. 3	Da 0,0 m a 2,2 m

Di seguito vengono riportati i principali parametri geotecnici desunti dall'interpretazione delle prove:

Nspt	Angolo attrito Meyerhof (1965)	Peso volume kN/m ³	Peso volume saturo kN/m ³	Coeff. Poisson	Modulo Young kg/cm ²	Grado addensamento
5,5 – 6,0	26° - 27°	15,5-16,0	18,0-18,5	0,35	65-75	Poco addensato

Litozona B : è caratterizzata da sabbie e ghiaie moderatamente addensate. Presenta parametri geotecnici e valori di resistenza alla penetrazione generalmente discreti.

Nella seguente tabella viene riportata la profondità di ritrovamento dei terreni riferita ad ogni singola postazione di prova:

Prova penetrometrica	Profondità di ritrovamento
S.C.P.T. 1	Da 1,6 a 3,8 m
S.C.P.T. 2	Da 1,4 a 3,0 m
S.C.P.T. 3	Da 2,2 a 4,0 m

Di seguito vengono riportati i principali parametri geotecnici desunti dall'interpretazione delle prove:

Nspt	Angolo attrito Meyerhof (1965)	Peso volume kN/m³	Peso volume saturo kN/m³	Coeff. Poisson	Modulo Young kg/cm²	Grado addensamento
14,0 – 16,0	30,0° - 31,0°	17,0-17,5	19,0-19,5	0,33	170-190	moderatamente addensato

Litozona C : è caratterizzata dal conglomerato basale che costituisce il substrato roccioso locale e in corrispondenza del quale si è verificato il rifiuto alla penetrazione.

Nella seguente tabella viene riportata la profondità di ritrovamento del substrato riferita ad ogni singola postazione di prova:

Prova penetrometrica	Profondità di ritrovamento
S.C.P.T. 1	4,0 m
S.C.P.T. 2	3,2 m
S.C.P.T. 2	4,2 m

Di seguito vengono riportati i principali parametri geotecnici desunti dall'interpretazione delle prove:

Nspt	Angolo attrito Meyerhof (1965)	Peso volume kN/m³	Peso volume saturo kN/m³	Coeff. Poisson	Modulo Young kg/cm²	Grado addensamento
>50	>36°	>20,0	>20,5	<0,30	>400	Molto addensato

È comunque opportuno ricordare che il tipo di prove eseguite consente una caratterizzazione geotecnica dei terreni testati ma tuttavia l'interpretazione litologico-stratigrafica, in assenza di sondaggi geognostici, è da ritenersi solo indicativa

* La correlazione tra SPT e SCPT utilizzata è la seguente: **$N_{spt} = \beta t N_{scpt}$**

Ove: $\beta t = Q/Q_{spt} = 1,40$ (coefficiente teorico di energia)

Q = energia specifica per colpo (kg/cm^2)

Q_{spt} = energia specifica per colpo della prova SPT (kg/cm^2)

6.1 PARAMETRI CARATTERISTICI E MODELLO GEOTECNICO

Sulla base delle risultanze ottenute dall'esecuzione delle indagini nel lotto, verificate anche con indagini eseguite in zone limitrofe, in terreni con simili caratteristiche geotecniche, nella seguente tabella riassuntiva vengono riportate le caratteristiche geotecniche medie riferite ad ogni singola LITAZIONE (modello geotecnico di riferimento).

In accordo con quanto previsto al punto 6.2.2 delle NTC 2018, nel modello geotecnico sono indicati i valori caratteristici, calcolati a partire dai valori medi riportati nel modello geologico relativi ai seguenti parametri del terreno:

- peso di volume
- angolo di attrito/Coazione non drenata
- modulo elastico

Ai sensi delle NTC 2018 e delle norme europee EC7, cui le stesse norme nazionali fanno riferimento, il valore caratteristico da utilizzare nei calcoli è una stima cautelativa del parametro derivato dalla prova che tenga conto della naturale variabilità del parametro in accordo con le caratteristiche del sottosuolo, della specifica verifica geotecnica, nell'ambito della quale viene introdotto il parametro e delle condizioni costruttive che corrispondono alla verifica.

LITAZIONE	addensamento	N_{spt}	γ t/m ³	γ_s t/m ³	E_y kg/cm ²	ϕ_m °	ϕ_k °	n	D_r %
A	Poco addensato	5,9	1,60	1,85	70	26,9	26,6	0,35	55
B	Moderat. addensato	14,7	1,70	1,95	180	30,9	30,3	0,33	75
C	Molto addensato	>50	2,00	2,05	400	36,0	36,0	0,30	100

γ peso di volume γ_s peso di volume saturo E_y modulo elastico n modulo di poisson
 ϕ_m angolo d'attrito interno valore medio ϕ_k angolo d'attrito interno valore caratteristico

MODELLO GEOTECNICO DI CALCOLO

Per le verifiche dei sistemi geotecnici si consideri il seguente schema di calcolo medio

LITAZIONE	addensamento	profondità da p.c.	spessore	saturo
A	Poco addensato	0,0	2,0	Da -1,0 m
B	Moderat. addensato	2,0	2,0	si
C	Molto addensato	4,0	-	si

7- INQUADRAMENTO SISMICO

L'analisi sismica del lotto d'intervento è richiesta in seguito all'entrata in vigore della legge 12/2005 sui Piani di Governo del Territorio; la Regione Lombardia ha emanato, con D.G.R. 22 dicembre 2005 n. 8/1566, i nuovi "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione all'art. 57 della l.r. 11 marzo 2005, n. 12." I nuovi criteri forniscono inoltre le indicazioni per l'analisi del rischio sismico, in attuazione all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003.

La metodologia, basata su indagini dirette ed indirette, prevede tre livelli di approfondimento con grado di dettaglio crescente: i primi due livelli sono obbligatori (con opportuna differenza in funzione della zona sismica di appartenenza) in fase di pianificazione, mentre il terzo è obbligatorio in fase di progettazione sia quando con il 2° livello si dimostra l'inadeguatezza della normativa sismica nazionale, sia per gli scenari di pericolosità sismica locale caratterizzati da effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione e contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche meccaniche molto diverse tra loro.

- **il 1° livello** consente il riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base di osservazioni geologiche e di dati esistenti; il territorio viene suddiviso in zone a pericolosità sismica omogenea ed individuate da sigle identificative (Z1, Z2 ecc.).
- **Il 2° livello** permette la caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi nelle aree perimetrali nella Carta della Pericolosità Sismica Locale e fornisce una stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione (Fa). L'applicazione del 2° livello consente l'individuazione, nell'ambito degli scenari qualitativi suscettibili di amplificazione (zone Z3 e Z4), di aree in cui la normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione gli effetti di amplificazione sismica locale (Fa calcolato superiore a Fa di soglia comunale calcolato dal politecnico di Milano).
- **Il 3° livello** permette la definizione degli effetti di amplificazione tramite indagini ed analisi più approfondite nelle aree in cui la normativa risulta inadeguata.

Il territorio comunale di Casnate con Bernate (CO) è inserito, in base alla nuova normativa (D.G.R. n°2129 del 11/07/2014), in **ZONA 4** della zonizzazione sismica nazionale.

L'analisi di 1° livello riportata nello Studio Geologico ha incluso, in base alle caratteristiche del locale sottosuolo, il comparto d'intervento nella categoria **Z4c** "Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi"

Per questo scenario in Zona sismica 4, la normativa regionale prevede approfondimenti oltre al primo livello solo per edifici strategici o rilevanti, quindi anche per il caso in esame.

Dal punto di vista topografico, considerando le caratteristiche dell'area e dei suoi intorno, il comparto d'intervento può essere ascrivibile alla **categoria T1** (rif. tab. n. 3.2.III NTC2018).

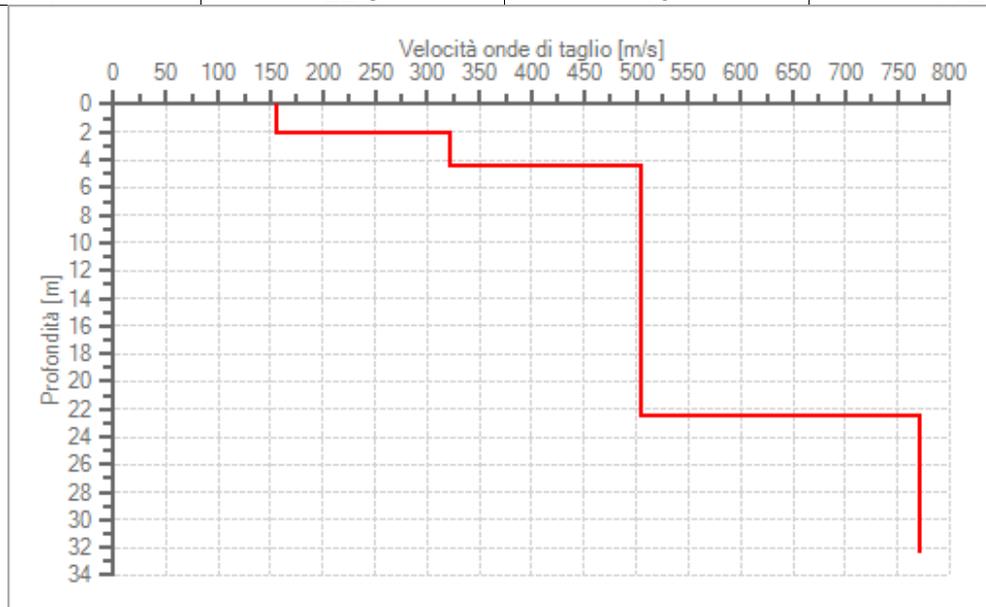
7.1 - CALCOLO DELLE V_{SEQ} CON LA PROFONDITA'.

È stata eseguita una specifica indagine sismica in sito, basata sulla registrazione di una sismica dei microtremori con il metodo HVSR (cfr. Allegato 5: Relazione sismica). Il valore di V_{seq} , riferito al piano campagna attuale, è risultato:

HVSR n. 1 pari a **452.74 m/s** (478.82 a partire dal piano di posa pari a 0,70 m)

Più in particolare il locale sottosuolo è stato così suddiviso:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	2.05	155
2	2.05	2.45	322
3	4.5	18	504
4	22.5	10	772



Ai fini della definizione dell'azione sismica, è necessario stabilire la categoria di sottosuolo di fondazione secondo la tab. 3.2.II delle NTC18.

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

In base alla misura delle V_{seq} , si attribuirebbe al sottosuolo d'interesse la categoria B di sottosuolo di fondazione, tuttavia la normativa regionale prescrive un approfondimento per questo tipo di edifici per determinare se tale spettro è sufficientemente cautelativo nel tener conto degli effetti di potenziale amplificazione.

Al paragrafo successivo si affronta tale approfondimento; come si vedrà per il breve periodo (ossia per strutture che vibrano con $T < 0,5s$), lo spettro da utilizzare sarà quello per la **Categoria C**.

7.2 – ANALISI DI TERZO LIVELLO

Come visto al paragrafo precedente il terreno di fondazione rientrerebbe in una Categoria B, ma la normativa regionale in materia sismica prescrive che si debba eseguire un approfondimento per valutare se lo spettro normativo è sufficientemente cautelativo nel tener conto degli effetti di amplificazione litologica locale.

Dato che l'approfondimento di secondo livello² comporta l'utilizzo di schede litologiche che si ritengono non adeguate e non applicabili alla stratigrafia locale, si procederà direttamente con un approfondimento di terzo livello secondo normativa.

Si procederà con un'analisi di **Risposta Sismica Locale (RSL)**, calcolo dello spettro elastico e del **Fattore di Amplificazione (Fa)**, da mettere a confronto con i valori soglia tabellati per il Comune di Casnate con Bernate.

Infine, sulla scorta dell'analisi di RSL, si determineranno i parametri sismici per calcoli strutturali e dei sistemi geotecnici.

ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

È stato eseguito un calcolo di risposta sismica locale, definendo lo spettro al sito da mettere a confronto con quelli normativi, in modo tale da permettere allo strutturista di scegliere la parametrizzazione sismica che meglio si applichi al caso in esame.

È stato utilizzato il codice di calcolo STRATA³ che consente l'inserimento delle serie temporali dei terremoti naturali e del profilo sismostratigrafico, restituendo lo spettro di risposta di output. Gli accelerogrammi forniti dalla Regione Lombardia per la Fascia 1, sono stati importati nel codice di calcolo normalizzandoli singolarmente all'ag di progetto come definita prima (la pga per lo SLV al sito, considerato un coefficiente d'uso di 1,5 è pari a 0,046 g), attraverso un opportuno fattore di scala.

Dato che il codice consente di eseguire contemporaneamente i calcoli a differenti profondità, si è scelto di eseguire l'analisi alla quota del piano fondazione in progetto e in corrispondenza del bedrock sismico (la cui profondità è stata ipotizzata a circa 35 m, sulla scorta dell'indagine

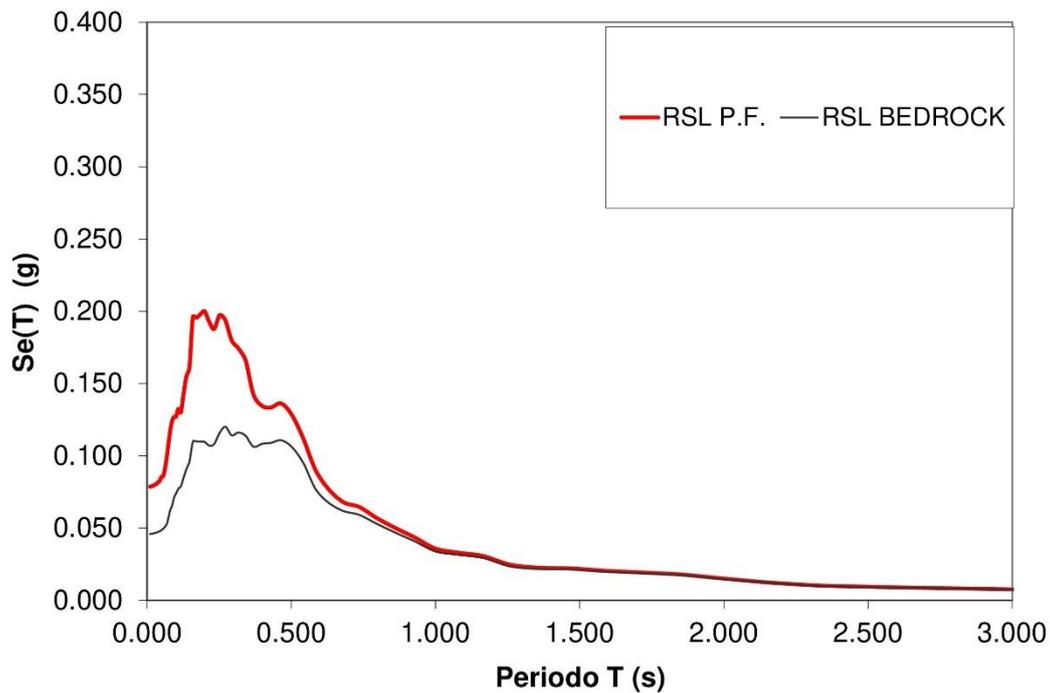
² La metodologia per la valutazione dell'amplificazione sismica locale in adempimento a quanto previsto dal D.M. del 14 gennaio 2008, della D.G.R. n. 14964 del 7 novembre 2003 e del d.d.u.o n. 19904 del 21 novembre 2003, si basa su tre livelli successivi di approfondimento, in funzione della zona sismica di appartenenza e degli scenari di pericolosità sismica locale.

³ Kottke Albert R. & Rathje Ellen M. (2008) v. 0.2.0, University of Texas at Austin

sismica condotta), in modo da valutare il risultato ottenuto con quelle che sono le condizioni rispettivamente di amplificazione massima e nulla (output/input)

Lo spettro elastico ottenuto per il sito con l'analisi di Risposta Sismica Locale (RSL), eseguito a quota piano fondazione, risulta avere un'amplificazione poco marcata per periodi compresi fra 0,2 e 0,3 s.

Di seguito si riportano in forma grafica i risultati dell'elaborazione.



Si ricorda che la normativa regionale vigente, prevede si debbano individuare le aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale le strutture in progetto, ossia **il fattore di amplificazione sismico (Fa) calcolato è superiore di quello di soglia comunale fornito dal Politecnico di Milano.**

Per le aree con Fa superiore a quello della soglia dettata dalla normativa regionale (vedere tabella sotto riportata), si dovrà procedere a ulteriori approfondimenti o **in alternativa utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore.**

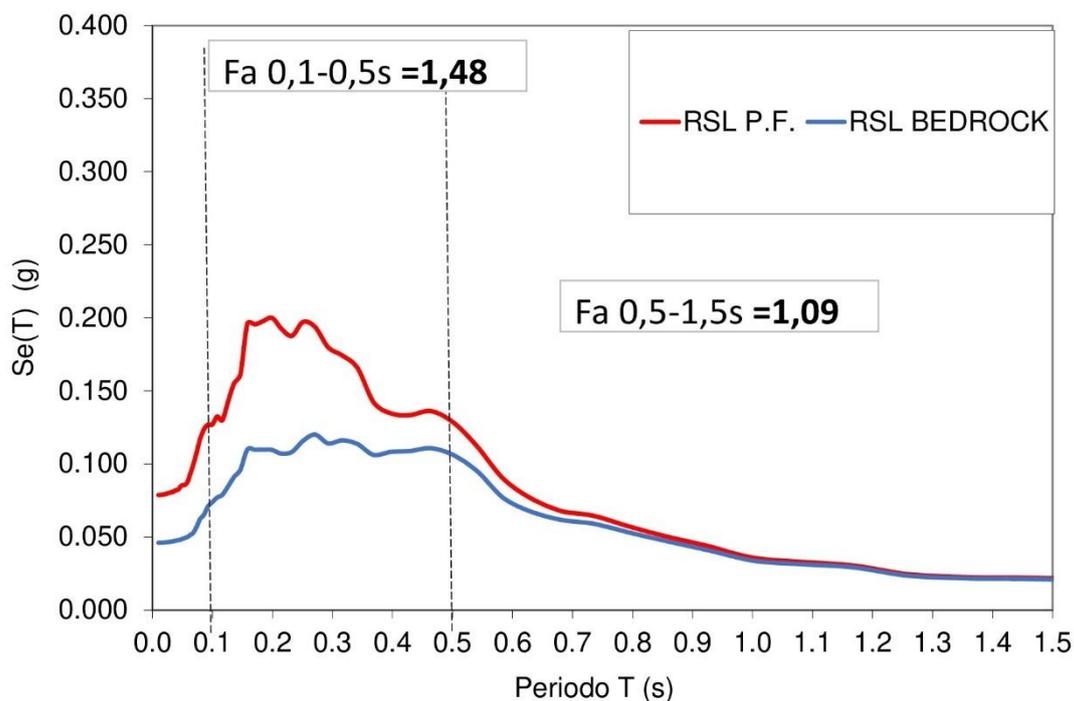
VALORI DI SOGLIA PER IL COMUNE DI CASNATE CON BERNATE				
(estratto da soglie_lomb.xls diffuso da regione Lombardia)				
		Valori soglia		
	Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
periodo 0,1-0,5 s	1,43	1,85	2,20	1,98
periodo 0,5-1,5 s	1,71	2,41	4,16	3,08

Per il caso in esame si forniscono i risultati sia per il breve che per il lungo periodo, dato che la definizione del periodo dei fabbricati compete allo strutturista (si consideri comunque in linea generale che una struttura in c.a. passa da una vibrazione breve a una lunga per altezze da piano fondazione dell'ordine di almeno 10-15 m)

Il Fattore di Amplificazione si calcola come il rapporto fra l'integrale dello spettro elastico a piano fondazione (output) e quello al bedrock (input), definiti nell'intervallo 0,1-0,5 s (breve periodo) e 0,5-1,5 s (lungo periodo), nel caso in esame risulta:

$$Fa_{0,1-0,5} = 1,48 \text{ (breve periodo)}$$

$$Fa_{0,5-1,5} = 1,09 \text{ (lungo periodo)}$$



Come visibile dai valori soglia tabellati sopra, il valore del fattore d'amplificazione è superiore a quello per il suolo di Categoria B.

Per tutti i calcoli geotecnici e strutturali in condizioni sismiche (per strutture che vibrano con $T < 0,5s$), pertanto, lo spettro normativo per la Categoria B NON è sufficientemente cautelativo nel breve periodo.

Sarà quindi da utilizzare lo spettro di Categoria C.

Nel caso il periodo della struttura in progetto sia $> 0,5s$ lo spettro per la Categoria B risulta sufficientemente cautelativo.

7.3 PARAMETRI SISMICI

Al fine di valutare i parametri sismici caratteristici è stato utilizzato il foglio di calcolo rilasciato dal Ministero dei lavori Pubblici., secondo i dati di input riportati di seguito.

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii e fondazioni

Classe: 3 Vita nominale: 50

Parametri sismici: categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 75 anni Coefficiente cu: 1,5

I coefficienti ottenuti sono perciò i seguenti, distinti nel caso di applicazione dello spettro normativo (suolo C) ipotizzando quindi ragionevolmente che la struttura in progetto abbia periodo di vibrazione proprio $<0,5$ s:

STATO LIMITE	a_{max} (m/s ²)	a_{max} (g)	β_s	K_h	K_v
SUOLO SISMICO C – T1					
SLO (Operatività)	0,280	0,029	0,200	0,006	0,003
SLD (Danno)	0,347	0,035	0,200	0,007	0,004
SLV (Salvaguardia Vita)	0,674	0,069	0,200	0,014	0,007
SLC (Prevenzione Collasso)	0,804	0,082	0,200	0,016	0,008

Si ricorda che il rispetto dei vari Stati Limite viene considerato conseguito dalle NTC:

- Nei confronti di tutti gli Stati Limite Ultimi (SLU), quando siano soddisfatte le verifiche relative al solo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).
- Nei confronti di tutti gli Stati Limite di Esercizio (SLE), quando siano rispettate le verifiche relative al solo Stato Limite di Danno (SLD).

7.4 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

In ogni sito è necessario procedere alla valutazione della sicurezza nei confronti della liquefazione, secondo, le indicazioni riportate nel paragrafo 7.11.5.1 delle NTC2008 e s.m.i..

La normativa vigente (NTC D.M. 17/01/18) prevede che la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze (7.11.3.4.2):

1. *Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;*
2. *Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;*
3. *Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_c1N > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_c1N è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;*
4. *Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.*

Per quanto riguarda la verifica di sicurezza nei confronti dei fenomeni di liquefazione, ai sensi delle NTC 17/01/2018, questa può essere omessa nel caso in esame, in quanto non sussistono le condizioni minime perché sia ragionevole prevedere un rischio di liquefazione di questi terreni – condizione 1 soddisfatta ($a_g \max < 0,1g$).

8 - RELAZIONE GEOTECNICA

In accordo con lo Strutturista si ipotizza la realizzazione di una fondazione a platea di dimensioni pari alla dimensione dell'ampliamento impostata sui terreni della Litozona A ad una profondità di circa 0,70 m dall'attuale piano campagna.

L'utilizzo di una fondazione del tipo a platea permette pertanto una migliore distribuzione dei carichi di progetto evitando l'insorgere di cedimenti non compatibili con le opere in progetto.

Di seguito sono riportati i calcoli geotecnici, ai sensi delle Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (D.M. 17/01/2018) per la determinazione delle resistenze allo stato limite ultimo (SLU) e allo stato limite d'esercizio (SLE), alla prevista profondità di posa delle fondazioni e per la tipologia e geometria delle fondazioni fornite dall'Ingegnere progettista (cfr. relazione di calcolo realizzata dallo Strutturista).

8.1. VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO (SLU)

In campo geotecnico la verifica prevede il calcolo della resistenza alla rottura del terreno allo stato limite ultimo, indicata come R_d (capacità portante del terreno).

Le azioni di progetto dovranno essere compatibili con le resistenze del terreno secondo la relazione:

$$R_d < E_d$$

Come previsto nelle NTC 2018 la verifica viene eseguita secondo l'approccio 2.

Il seguente schema riassume gli approcci utilizzati e le relative combinazioni azioni / resistenze.

➤ Approccio 2 Combinazione: $A1 + M1 + R3$

Dove:

A Coefficienti amplificativi delle azioni di progetto

M Coefficienti parziali relativi ai parametri del terreno

R Coefficienti parziali riduttivi della resistenza

Nel calcolo di R_d intervengono i soli coefficienti M ed R, mentre il coefficiente A definisce le azioni di progetto, oggetto di calcolo da parte del Progettista.

I calcoli della resistenza del terreno sono stati eseguiti adottando la relazione di Brich-Hansen per fondazioni continue impostate su un terreno considerato prettamente incoerente, assunta la coesione cautelativamente uguale a zero, e con piano d'appoggio cautelativamente posto in presenza del livello delle acque freatiche (falda ritrovata a profondità pari a 1,00 m).

La formula di calcolo per la determinazione della resistenza del terreno , con le premesse già svolte , è espressa da :

$$R_d = \gamma' \cdot D \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + K \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$

dove :

γ = peso di volume del terreno (T/mc)

γ' = peso di volume del terreno di rinfianco alla fondazione (T/mc)

D = profondità imposta fondazione (m)

Df = profondità imposta fondazione (m) – considerando solo il rinfianco della fondazione

Nq = coefficiente adimensionale funzione di ϕ (angolo attrito interno terreno*)

N γ = ,, ,, ,, ,, ,, ,, ,,

Sq, S γ = fattori di forma

Iq, I γ = fattori di inclinazione

K = coefficiente di forma delle fondazioni (0,4 per plinti quadrati – 0,5 per fondazioni nastriformi)

B = larghezza della fondazione (m)

L = lunghezza della fondazione (m)

* Nq e N γ assunti secondo Vesic (1975)

Nel calcolo della portanza in condizioni sismiche, al fine di considerare gli effetti inerziali indotti dal sisma in condizioni pseudostatiche, vengono introdotti i fattori correttivi z:

$$z_q = z_\gamma = 1 - (kh/tg\phi)^{0,35}$$

$$z_c = 1 - 0,32 \cdot kh$$

ove kh è il coefficiente sismico orizzontale calcolato secondo quanto previsto dalla vigente normativa in materia (NTC)

Nei calcoli sotto riportati si è considerata, in accordo con lo Strutturista, una fondazione a platea con larghezza pari all'ingombro dell'edificio (circa **11 m x 15 m** – dimensioni minime) immersata per almeno **0,30 m** (altezza della fondazione) e con piano di posa pari a circa **0,70 m** dalla quota attuale del terreno.

Il valore delle azioni, sotto riportato, è stato fornito dallo Strutturista.

CONDIZIONI STATICHE E DINAMICHE (SLU-SLV)

APPROCCIO 2 –COMBINAZIONE UNICA STR (A1+M1+R3)

RESISTENZE DI PROGETTO

Dati geotecnici

Litozona	Angolo attrito	Peso .Vol	Coeff. Nq	Coeff.Nc	Coeff. Ny
Litozona A	26,5°	1,60 t/mc (0,6 t/mc immerso in falda)	13,47	23,03	12,51

Dati fondazioni

Tipologia	Largh. B	Lung. L	Imm.	P.posa
Platea	11,01 m	14,92 m	0,30 m	0,70 m.

Resistenza del terreno Rd allo SLU – (Approccio 2- Combinazione unica)

Tipologia	B=11,01 m. – L= 14,92 m
Platea	>0,25 N/mm ²

* L' Rd calcolato tiene in considerazione il coefficiente R 2 pari a 2,3

Resistenza del terreno Rd allo SLV – (Approccio 2- Combinazione unica)

Tipologia	B=11,01 m. – L= 14,92 m
Platea	>0,25 N/mm ²

* L' Rd calcolato tiene in considerazione il coefficiente R 2 pari a 2,3 e del valore di Kh relativo allo SLV.

AZIONI DI PROGETTO

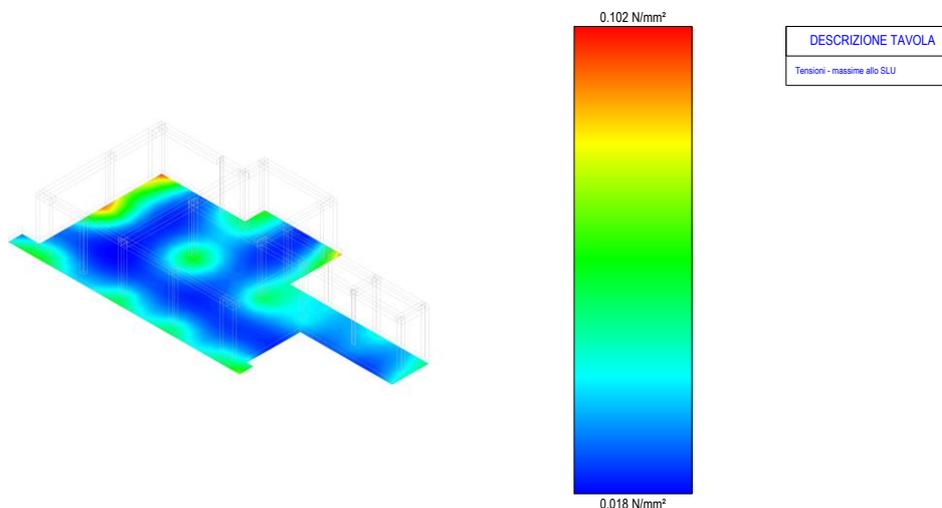
Azioni di progetto Ed allo SLU/SLV– (Approccio 2- Combinazione unica)

Tipologia	B=11,01 m. – L= 14,92 m
Platea	0,095 N/mm ²

*il calcolo dell'azione di progetto è stato fornito dallo strutturista e cautelativamente considerato pari a quello massimo

Di seguito si riporta la pressione allo SLU fornita dallo Strutturista:

Geotecnica



Ed < Rd Verificato

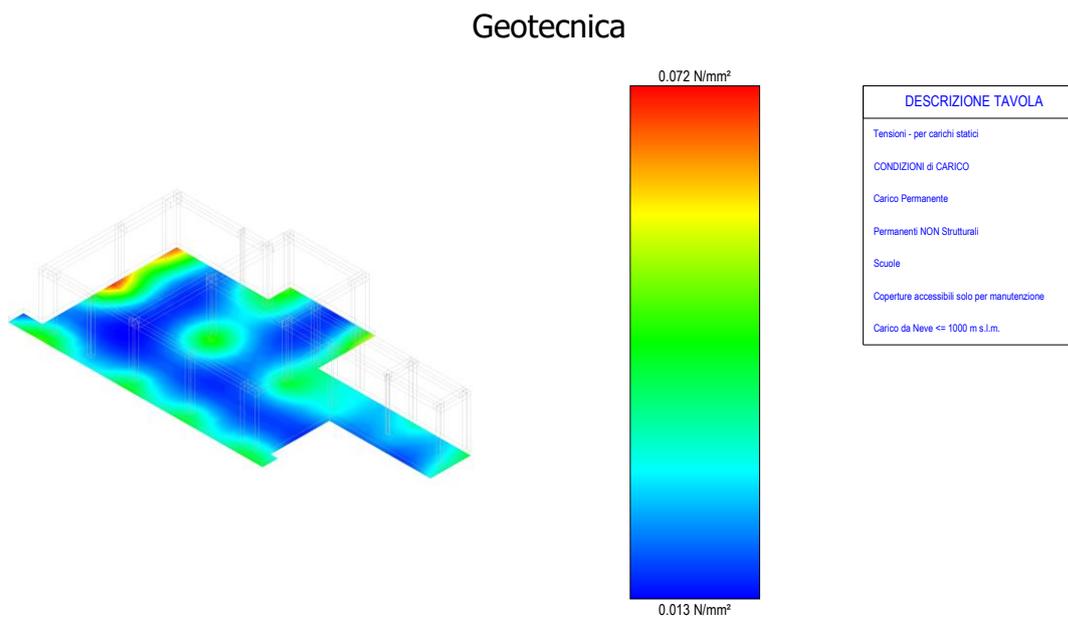
Dalla comparazione si evidenzia come la relazione fondamentale (Ed ≤ Rd) per l'analisi allo stato limite ultimo (SLU - SLV) sia verificata per la tipologia e la geometria della fondazione analizzata.

8.2. VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO (SLE) - ANALISI DEI CEDIMENTI

Di seguito viene riportato il valore dei cedimenti, utilizzando, in accordo con lo Strutturista, i carichi medi allo SLE forniti dallo Strutturista, pari a circa **0,072 N/mm²**

Più in particolare:

.à



Per il calcolo dei cedimenti è stato utilizzato il metodo della teoria dell'elasticità utilizzando la seguente relazione:

$$S_d = C_d \times q \times B' \times (1 - \mu^2 / E)$$

Ove:

S _d	=	Cedimento
q	=	Carico netto sul terreno alla base della fondazione
B'	=	Minima dimensione laterale dell'area caricata
μ	=	Rapporto Poisson terreno

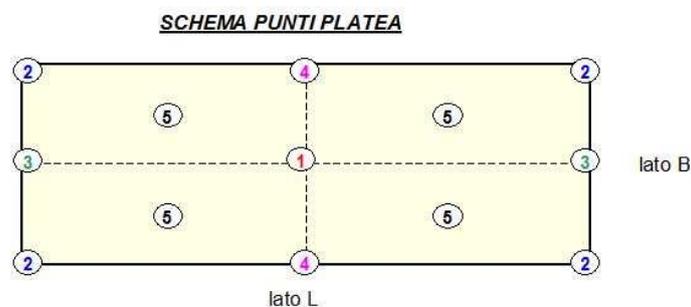
E = Modulo elastico medio terreno
Cd = Coefficiente di forma e rigidità della fondazione

Si evidenzia che il calcolo dei cedimenti, è stato eseguito, cautelativamente visto il probabile ritrovamento del substrato roccioso prequaternario, considerando ugualmente la profondità d'influenza Z_i entro la quale avviene il 75 % del cedimento (cfr. Relazione tra B e Z - Burland e Burbridge 1985). Lo spessore di terreno considerato è superiore alla quota di ritrovamento del substrato roccioso.

CALCOLO DEI CEDIMENTI

Parametri terreno-fondazione	1	2	3	4	5
posizione punto	centro	spigolo	metà lato B	metà lato L	centro quadranti
larghezza B (m)	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0
B' (m)	5,5		5,5		2,8
lunghezza L (m)	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9
L' (m)	7,5			7,5	3,7
spessore strato cedevole H (m)	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
quota imposta fondazioni (m)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
modulo elastico medio terreno E (kg/cmq)	150	150	150	150	150
rapporto di Poisson terreno	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
peso di volume naturale (kN/mc)	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
coefficiente di forma Cd	0,21	0,09	0,21	0,09	0,34
L'/B'	1,36	1,36	2,71	0,68	0,34
H/B'	1,09	0,54	1,09	0,54	2,18
tensione naturale alla quota imposta (kg/cmq)	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Cedimento					
carico di esercizio (kg/cmq)	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
carico netto sul terreno (kg/cmq)	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62
cedimento (cm)	1,73	0,37	0,86	0,74	1,40

*Nel calcolo viene utilizzato, cautelativamente il modulo elastico medio tra la Litozona A e B escludendo pertanto la Litozona C



Si evidenzia come, con i carichi di progetto considerati, si ottengono cedimenti di media entità ritenuti compatibili, in accordo con lo Strutturista, con le strutture in progetto.

9 - CONCLUSIONI

Da quanto espresso nelle precedenti pagine si può rilevare quanto segue:

- L'area d'intervento è ubicata in comune di Casnate con Bernate (CO) nel settore centrale del territorio comunale, in una zona pianeggiante poco urbanizzata ai piedi della collina di Bernate, ad una quota media di 314 m s.l.m. circa.
- Dal punto di vista geologico l'area d'intervento è caratterizzata da terreni morenici sabbioso limosi e sabbioso ghiaiosi, da poco a moderatamente addensati e di spessore generalmente < 4,0 m, poggianti su un substrato roccioso conglomeratico (Gonfolite).
- Per quel che concerne la circolazione idrica profonda, l'area non ospita una vera e propria falda idrica continua; si rilevano invece fenomeni di filtrazione a bassa profondità (fra 1 e 2 m da p.c.) con circolazione idrica molto modesta, lenta, e periodica, legata alla morfologia locale (alto collinare di raccolta e filtrazione lungo versante) e al regime pluviometrico.
- Dal punto di vista sismico (a seguito di analisi indagine eseguita in sito ed approfondimento di terzo livello) si attribuisce ai terreni la **Categoria C** di sottosuolo di fondazione. L'analisi topografica locale permette di attribuire una **categoria topografica T1**.
- Le verifiche geotecniche eseguite allo SLU e allo SLE (dinamiche e statiche) e la stima dei cedimenti hanno evidenziato come sia possibile assoggettare i terreni ai carichi previsti dal progetto (Ed).
- Si prescrive di valutare attentamente la possibilità di eseguire di opere di impermeabilizzazione e/o drenaggio delle acque di filtrazione, vista la possibile temporanea e periodica interferenza fra queste e le opere di fondazione.

Dr. Azzan Samuele
Geologo

In base alle caratteristiche geometriche, geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche del comparto d'intervento si ritiene di poter riconoscere la fattibilità delle opere previste dal Progetto, avendo cura di valutare le indicazioni progettuali indicate.

Si attesta inoltre la compatibilità del Progetto allo Studio Geologico del territorio comunale di supporto al P.G.T. in cui il comparto in esame è stato inserito in classe 2 (Fattibilità con modeste limitazioni) per la quale si rimanda alle NTA del PGT.

A disposizione per ogni ulteriore chiarimento e/o necessità.


DR. GEOLOGO SAMUELE AZZAN

ALLEGATI

- 1) Ubicazione indagini geognostiche
- 2) Modello geotecnico stratigrafico di calcolo
- 3) Istogrammi penetrometrici
- 4) Documentazione fotografica
- 5) Relazione Sismica

Allegato 2: MODELLO GEOTECNICO STRATIGRAFICO DI CALCOLO

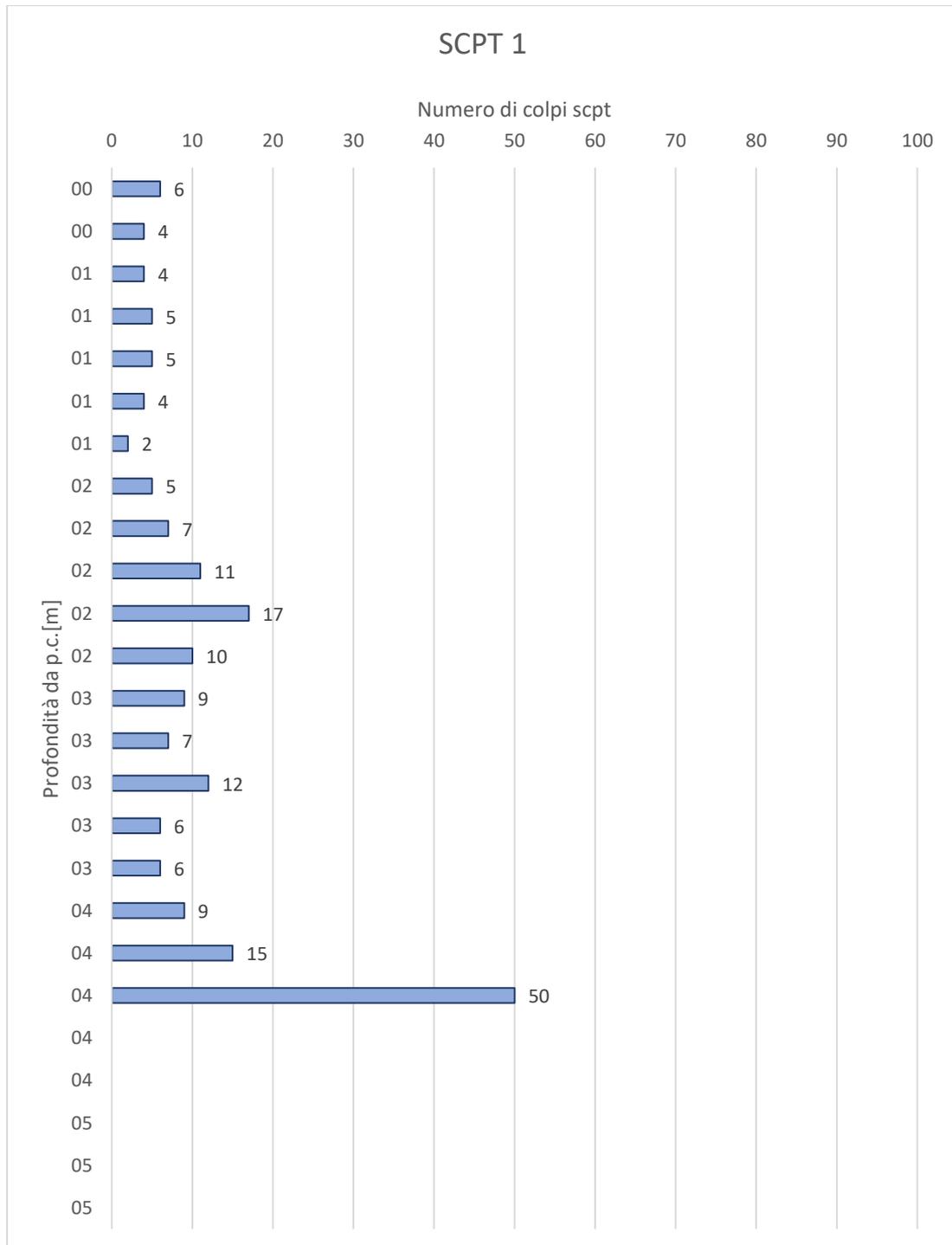
Per le verifiche dei sistemi geotecnici si consideri il seguente schema di calcolo medio

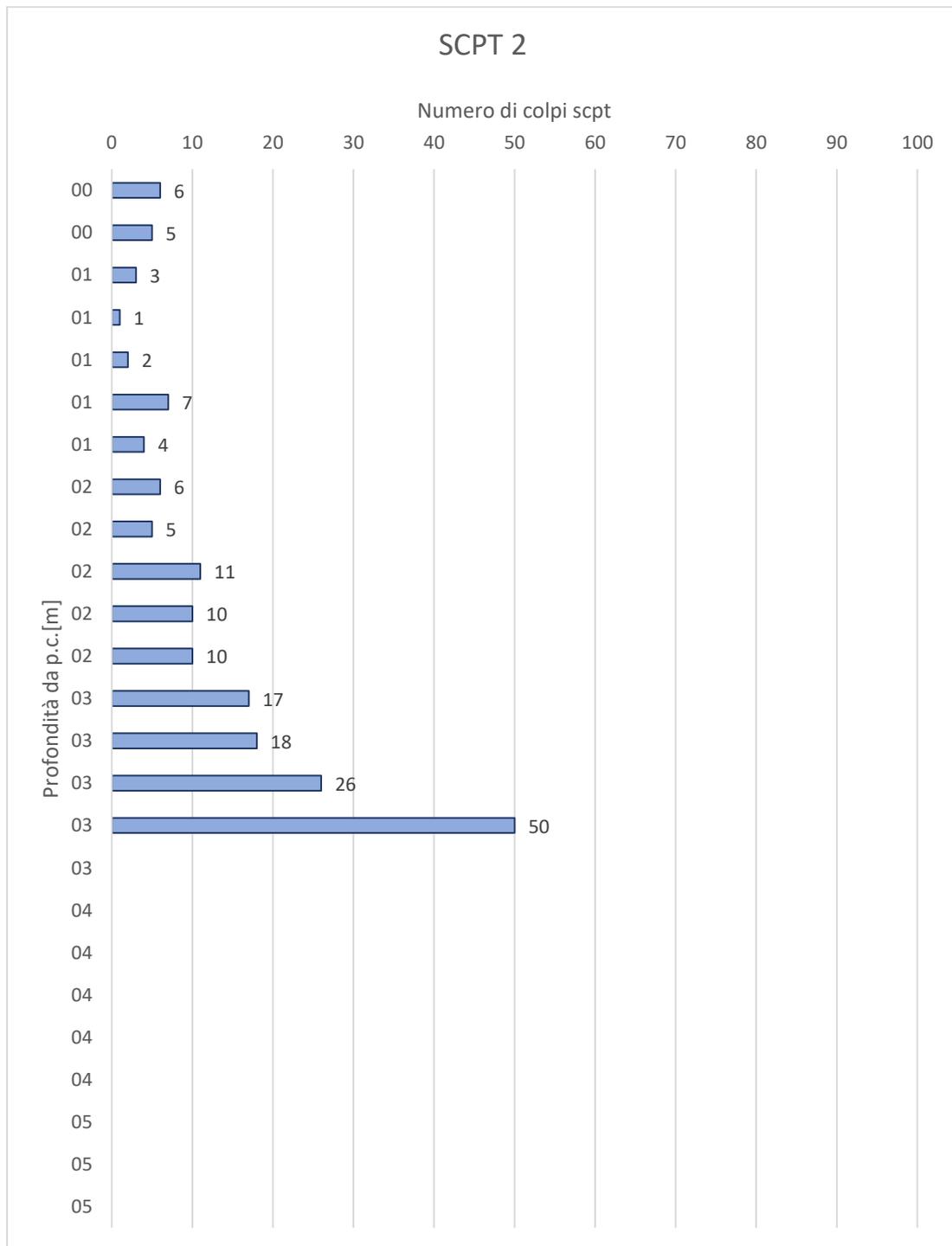
LITOZONA	addensamento	profondità da p.c.	spessore	saturo
		m	m	
A	Poco addensato	0,0	2,0	Da -1,0 m
B	Moderat. addensato	2,0	2,0	si
C	Molto addensato	4,0	-	si

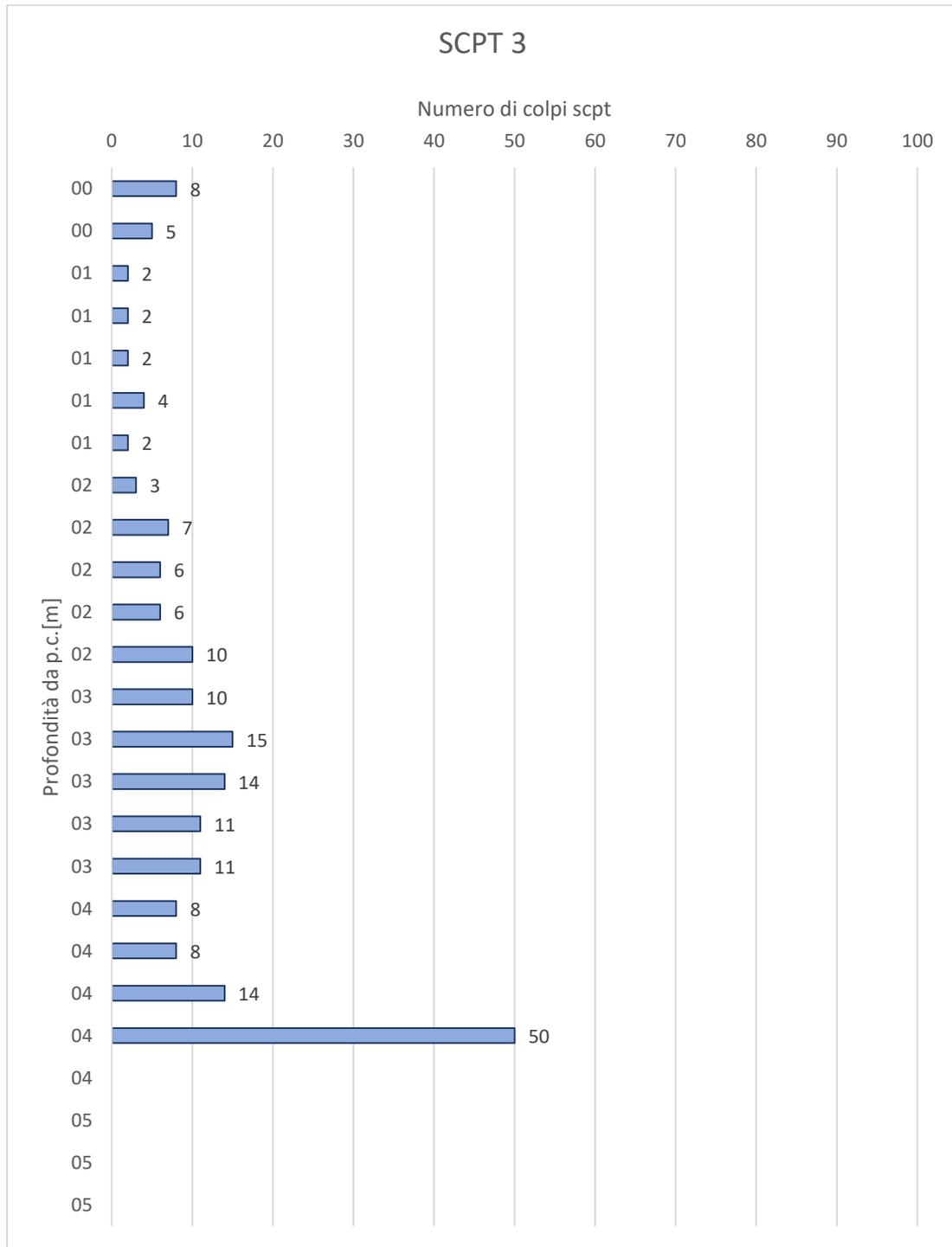
LITOZONA	addensamento	Nspt	γ	γ_s	E_y	ϕ_m	ϕ_k	n	Dr
			t/m ³	t/m ³	kg/cm ²	°	°		%
A	Poco addensato	5,9	1,60	1,85	70	26,9	26,6	0,35	55
B	Moderat. addensato	14,7	1,70	1,95	180	30,9	30,3	0,33	75
C	Molto addensato	>50	2,00	2,05	400	36,0	36,0	0,30	100

γ peso di volume γ_s peso di volume saturo E_y modulo elastico n modulo di poisson
 ϕ_m angolo d'attrito interno valore medio ϕ_k angolo d'attrito interno valore caratteristico

Allegato 3: ISTOGRAMMI PENETROMETRICI







Allegato 4: DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





Dr. Azzan Samuele
Geologo

Allegato 5: RELAZIONE SISMICA

Indagine geofisica tramite tecnica HVSR

1 Cenni sulla teoria della tecnica HVSR

La tecnica HVSR permette di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo V_{s30} attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo

permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito. L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo Vs30.

2 Strumento di acquisizione

Per l'acquisizione è stato impiegato il seguente strumento: **ECHO TROMO HVSR 3**

Di seguito sono indicate le principali caratteristiche tecniche:

Number of channels	3 with differential input
AD conversion	24 bits
Dynamic range	130dB@1ms PG=0dB 120dB@1ms PG=18dB
Cross talk	>90dB
Preamplify gain	1-2-4-8-16-32
Frequency response MASW	0 to 400Hz (1KSPS)
Frequency response HVSR	Selectable 78-155-311-415-622-1244 Hz
Sampling Interval	12.8 -6.4-3.2-2.4-1.6-0.8 ms
Record Length	Depends on the SDcard capacity
Distorsion (THD)	0,0004%
Max Input signal	1Vpp, 0dB
CMR	110dB (fCM = 60Hz fDATA = 30kSPS)
Noise	0,25uV, 2ms 36dB
Delay	0 to 100 sec
Temperature range	-30°C +70°C
Power	9.6 Volt
Continuous recording	yes
Output format:	SEGY / SAF (SESAME ASCII FORMAT)

L'elaborazione dei dati raccolti impiega Easy HVSR un software per l'analisi di registrazioni di rumori ambientali nelle tre direzioni ortogonali a stazione singola, secondo la tecnica di Nakamura

3 Acquisizione

3.1 Dati generali

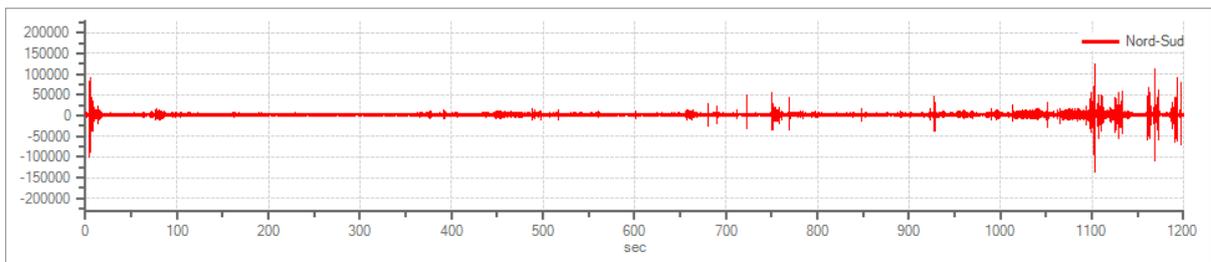
Cantiere: Casnate con Bernate - Asilo

3.2 Tracce in input

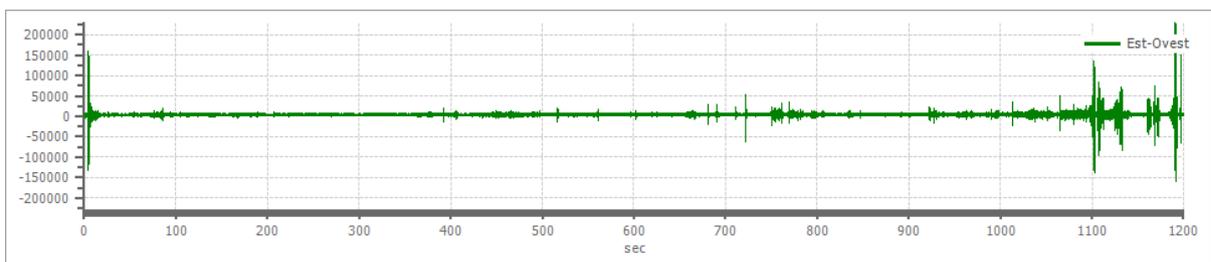
Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1200 s
Frequenza di campionamento:	157.00 Hz
Numero campioni:	188400
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

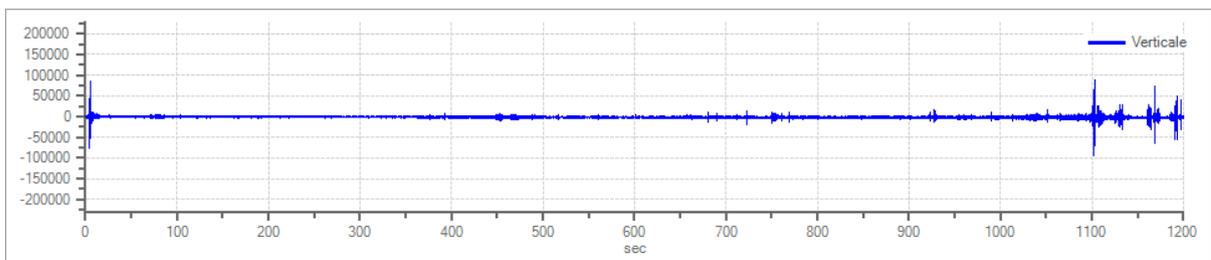
Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

3.3 Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

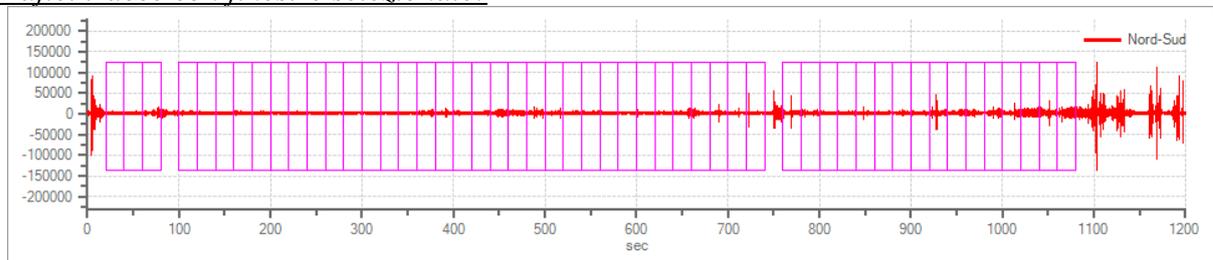
Numero totale finestre selezionate: 51
 Numero finestre incluse nel calcolo: 51
 Dimensione temporale finestre: 20.000 s
 Tipo di lisciamiento: Triangolare proporzionale
 Percentuale di lisciamiento: 10.00 %

Tabella finestre:

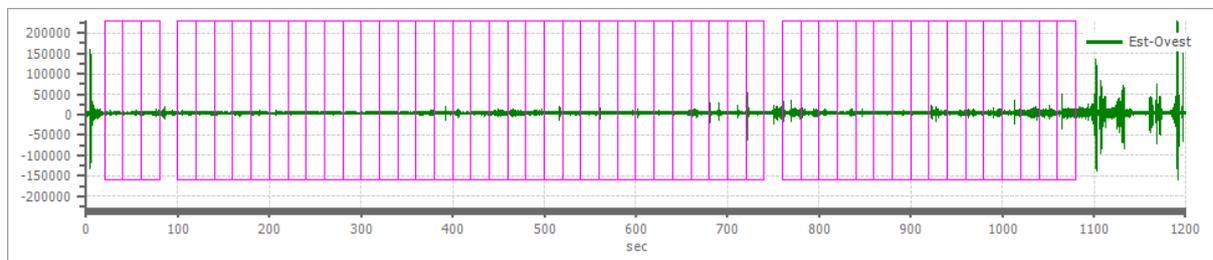
Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	20	40	Inclusa
2	40	60	Inclusa
3	60	80	Inclusa
4	100	120	Inclusa
5	120	140	Inclusa
6	140	160	Inclusa
7	160	180	Inclusa
8	180	200	Inclusa
9	200	220	Inclusa
10	220	240	Inclusa
11	240	260	Inclusa
12	260	280	Inclusa
13	280	300	Inclusa
14	300	320	Inclusa
15	320	340	Inclusa
16	340	360	Inclusa
17	360	380	Inclusa
18	380	400	Inclusa
19	400	420	Inclusa
20	420	440	Inclusa
21	440	460	Inclusa
22	460	480	Inclusa
23	480	500	Inclusa
24	500	520	Inclusa
25	520	540	Inclusa
26	540	560	Inclusa
27	560	580	Inclusa
28	580	600	Inclusa
29	600	620	Inclusa
30	620	640	Inclusa
31	640	660	Inclusa
32	660	680	Inclusa
33	680	700	Inclusa
34	700	720	Inclusa
35	720	740	Inclusa
36	760	780	Inclusa
37	780	800	Inclusa
38	800	820	Inclusa

39	820	840	Inclusa
40	840	860	Inclusa
41	860	880	Inclusa
42	880	900	Inclusa
43	900	920	Inclusa
44	920	940	Inclusa
45	940	960	Inclusa
46	960	980	Inclusa
47	980	1000	Inclusa
48	1000	1020	Inclusa
49	1020	1040	Inclusa
50	1040	1060	Inclusa
51	1060	1080	Inclusa

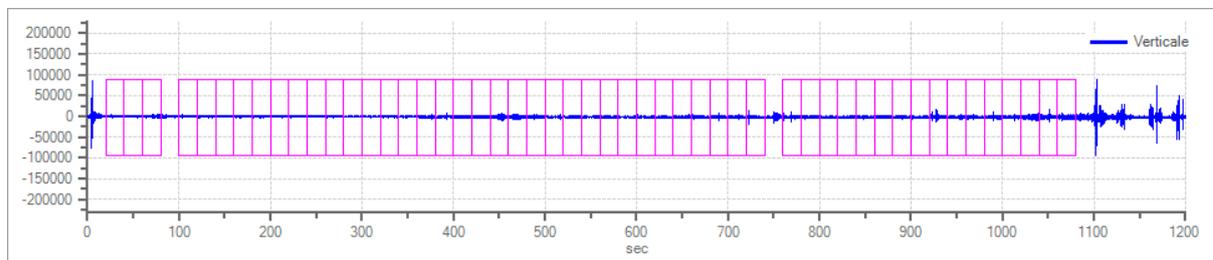
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

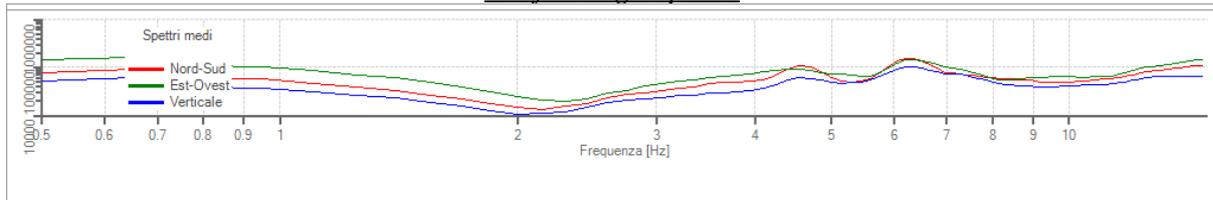


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

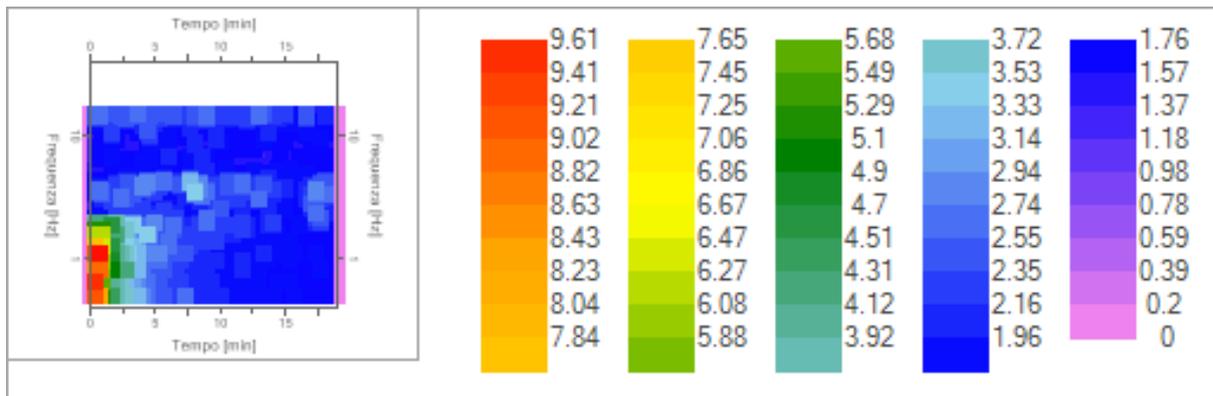


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

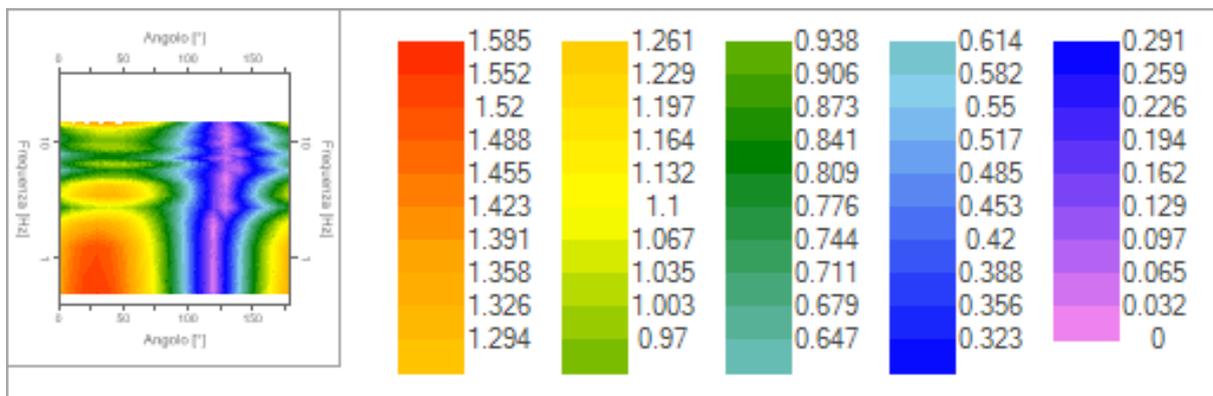
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

3.4 Rapporto spettrale H/V

Dati riepilogativi:

Frequenza massima:	15.00 Hz
Frequenza minima:	0.50 Hz
Passo frequenze:	0.15 Hz
Tipo lisciamento::	Triangolare proporzionale
Percentuale di lisciamento:	10.00 %
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 1.10 Hz \pm 0.76 Hz

Verifiche SESAME:

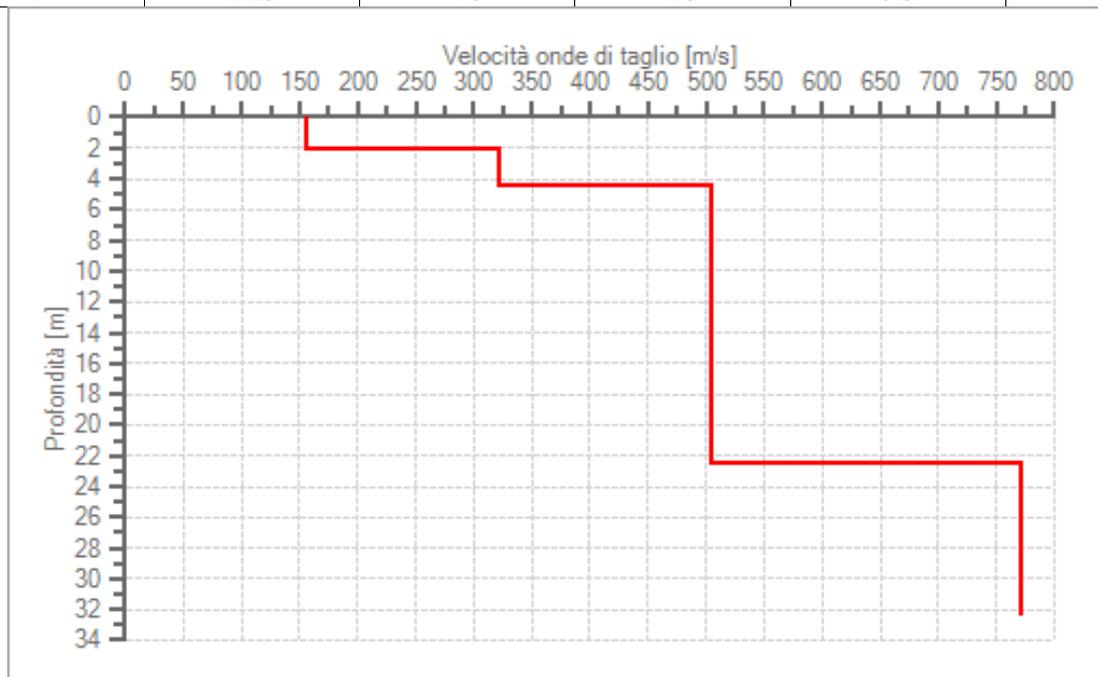
Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Non superato
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

3.5 Modello stratigraficoDati riepilogativi:

Numero strati:	4
Frequenza del picco dell'ellitticità:	0.75 Hz
Valore di disadattamento:	0.19
Valore Vseq:	452.74 m/s (478.82 a partire dal piano di posa pari a 0,70 m)

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m ³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	2.05	18	0.3	155
2	2.05	2.45	18	0.3	322
3	4.5	18	18	0.3	504
4	22.5	10	18	0.3	772



Profilo delle velocità delle onde di taglio.

3.6 Profilo velocità delle onde S e classificazione del sottosuolo secondo il D.M. 17.01.2018

Il D.M. 17.01.2018 propone come riferimento di calcolo dell'amplificazione sismica locale, in particolare della componente stratigrafica basata sulla stima del parametro $V_{s,eq}$. Per $V_{s,eq}$ s'intende la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio calcolata come la media pesata delle velocità delle onde S calcolata secondo la relazione:

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

con:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

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

N numero di strati;

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

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

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Sulla base del valore calcolato di $V_{s,eq}$ vengono identificate 5 classi, A, B, C, D ed E alle quali corrispondono un differente spettro di risposta elastico. Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è il seguente:

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

4 Conclusioni

Dal modello stratigrafico deduciamo un valore di $V_{s,eq}$ uguale a **478,82 m/s** a partire dalla prevista profondità del piano di posa pari a 0,70 m

In base al modello ricavato il sito ricade nella ***categoria di sottosuolo B.***