

SPAZIO PER PROTOCOLLO

Al Comune di
Provincia di

COLOGNO AL SERIO
Bergamo

Concessione Edilizia n.	del
Autorizzazione Edilizia n.	del
PdR.: prot. n.	del



RELAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA

OGGETTO:	PIANO DI RECUPERO "BRINA-CAVALLERI" Ristrutturazione/riqualificazione/recupero/rigenerazione urbana patrimonio edilizio esistente "ex proprietà Vanoli" – ex proprietà "Caldara"
COMMITTENTE:	Sig. BRINA LUCA – Sig. CAVALLERI MARCO
UBICAZIONE:	via Rocca angolo via Monsignor Drago – Cologno al Serio (Bg)
DATA:	Settembre 2022



Studio FACCHETTI
BIM Architecture & Engineering+

via Umberto Primo, n. 5 - Morengo (BG)
tel. 0363-95694
mail. info@studiofacchetti.com
www.studiofacchetti.com

I Tecnici

I proponenti:

Sig. Brina Luca Luigi

.....

Sig. Cavalleri Marco

.....



COMUNE DI COLOGNO AL SERIO (BG)

Progetto

PIANO DI RECUPERO EDIFICI ESISTENTI
VIA ROCCA, ANGOLO VIA MONS. DRAGO
COLGNO AL SERIO (BG)

Committente

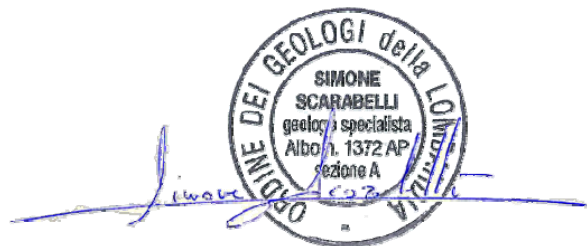
BRINA LUCA E CAVLLERI MARCO
VIA ROCCA, ANGOLO VIA MONS. DRAGO
COLGNO AL SERIO BG

RELAZIONE GEOLOGICA (R1- R3)

AI SENSI DEL D.M. 17.01.2018 NTC 2018 e DGR 2616/2011

Firma Data

29/10/2022



QUESTO DOCUMENTO E LE INFORMAZIONI IN ESSO CONTENUTE SONO DI PROPRIETA' DEL PROFESSIONISTA IN INTESTAZIONE. E' VIETATA LA COPIA E LA RIPRODUZIONE ANCHE PARZIALE SENZA IL PERMESSO DEL PROFESSIONISTA.



INDICE

1.	PREMESSA	2
1.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
2.	STATO DI FATTO E DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	4
3.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO	6
3.1	GEOMORFOLOGIA	7
3.2	IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA	1
4.	CONFRONTO CON GLI STRUMENTI URBANISTICI LOCALI	2
5.	INDAGINE GEOGNOSTICHE	4
6.	INDAGINI GEOFISICHE.....	5
6.1	MASW METODOLOGIA	5
6.2	MASW ACQUISIZIONE.....	5
6.3	HVSR METODOLOGIA	8
6.4	HVSR ACQUISIZIONE.....	10
6.5	ANALISI DATI GEOFISICI.....	12
7.	PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE	16
8.	VALUTAZIONE DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE SISMICA LOCALE AI SENSI DELLA D.G.R. N. IX/2616 DEL 30.11.2011 (APPROFONDIMENTO SISMICO DI II° LIVELLO).....	17
9.	VALUTAZIONE DELL'ACCELERAZIONE SISMICA MASSIMA DEL SITO	23
10.	INDAGINI GEOTECNICHE.....	27
10.1	MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO	28
10.2	DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI.....	30
11.	GESTIONE DELLE ACQUE.....	32
12.	TERRE E ROCCE DA SCAVO.....	33
13.	SINTESI.....	34

ALLEGATI



1. PREMESSA

La presente relazione tecnica costituisce il supporto geologico-geotecnico e sismico preliminare alla proposta di piano di recupero di edifici esistenti in via Rocca angolo via Mons. Drago presso il centro storico di Cologno al Serio (BG)

Finalità dello studio è in particolare quella di individuare le problematiche di ordine sismico connesse all'equilibrio della struttura. L'acquisizione diretta dei dati di campagna è avvenuta attraverso un'indagine geognostica caratterizzata da n.2 prova penetrometrica dinamica spinta fino alla profondità massima di 8 m rispetto al p.c. ed uno stendimento sismico tipo MASW e una indagine HVSR

I dati raccolti sono stati quindi integrati con quelli esistenti, derivanti da studi pregressi in zone limitrofe, dalla letteratura di riferimento e dalla cartografia tecnica disponibile.

Pertanto, considerando gli obiettivi sopra esposti, l'indagine si è articolata attraverso la successione delle seguenti fasi:

- esame dei dati geologici ed idrogeologici pregressi della zona, disponibili tramite bibliografia;
- rilevamento morfologico-idrologico speditivo dell'area e del suo relativo intorno;
- esecuzione delle prospezioni geognostiche in situ e misura dei valori di resistenza penetrometrica;
- verifica dell'eventuale presenza di acqua di falda;
- ricostruzione dell'assetto litostratigrafico e caratterizzazione geologico-tecnica dei terreni di fondazione con la definizione dei parametri geomeccanici;
- determinazione della capacità portante del terreno e stima dell'entità dei fenomeni di cedimento;
- valutazione delle scelte fondazionali in relazione alle possibili interazioni tra terreno e sovrastruttura.



1.1 *NORMATIVA DI RIFERIMENTO*

Lo studio è stato condotto in accordo con quanto previsto dalla normativa vigente:

- ✓ **D.M. LL.PP. 17.01.18** *“Norme tecniche per le costruzioni”*;
- ✓ **Circolare del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici 02.02.09** *“Istruzioni per l’applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni”*;
- ✓ **Eurocodice 7** *“Progettazione geotecnica – parte I: Regole Generali (1997) – parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002) – parte III: progettazione assistita con prove in sito (2002)”*;
- ✓ **Eurocodice 8 (1998)** *“Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture – parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”*;
- ✓ **O.P.C.M. n.3274 20.03.03** *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”*;
- ✓ **O.P.C.M. n.3519 28.04.06** *“Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”*;
- ✓ **Allegato al voto n.36 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici 27.07.07** *“Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale”*;
- ✓ **D.G.R. 11 luglio 2014 n. X/2129** *“Aggiornamento della classificazione sismica dei Comuni della Lombardia, in attuazione della Legge 112/1998, della L.R. 1/2000 Art.3 comma 108 lett.d), del D.P.R. 380/2001”*;
- ✓ **D.G.R. 30 marzo 2016 n. X/5001** *“Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l’esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (artt. 3, comma 1, e 13, comma 1, della L.R. 33/2015)”*.

2. STATO DI FATTO E DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'area interessata dall'intervento edificatorio si trova in un'area pianeggiante del Comune di Sant'Angelo Lodigiano (LO), più precisamente in via Europa. L'area in esame si inserisce all'interno di una zona a carattere prevalentemente residenziale in espansione.

Nella figura seguente è rappresentato l'inquadramento geografico di riferimento, con indicazione dell'area oggetto di intervento.



Figura 2.1: Inquadramento geografico di riferimento, foto satellitare



Figura 2.2: Inquadramento geografico di riferimento, foto satellitare



Figura 3 Prospetto - progetto

1 PIANTA PIANO TERRA, 1 : 100

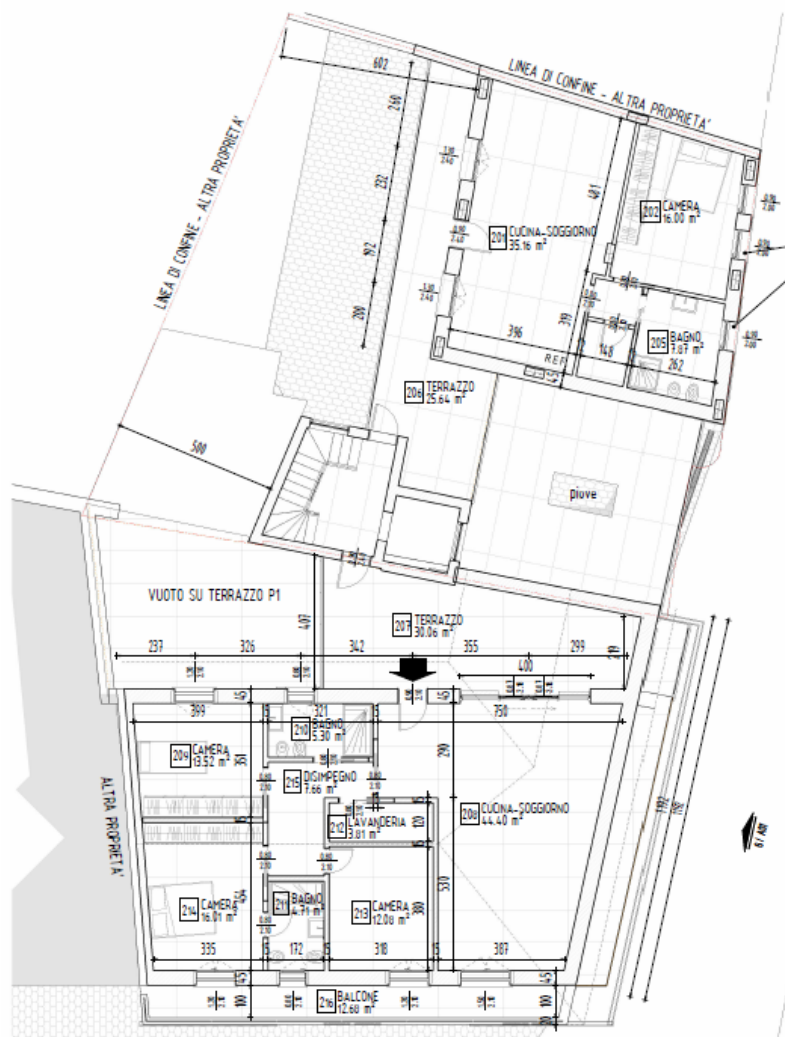
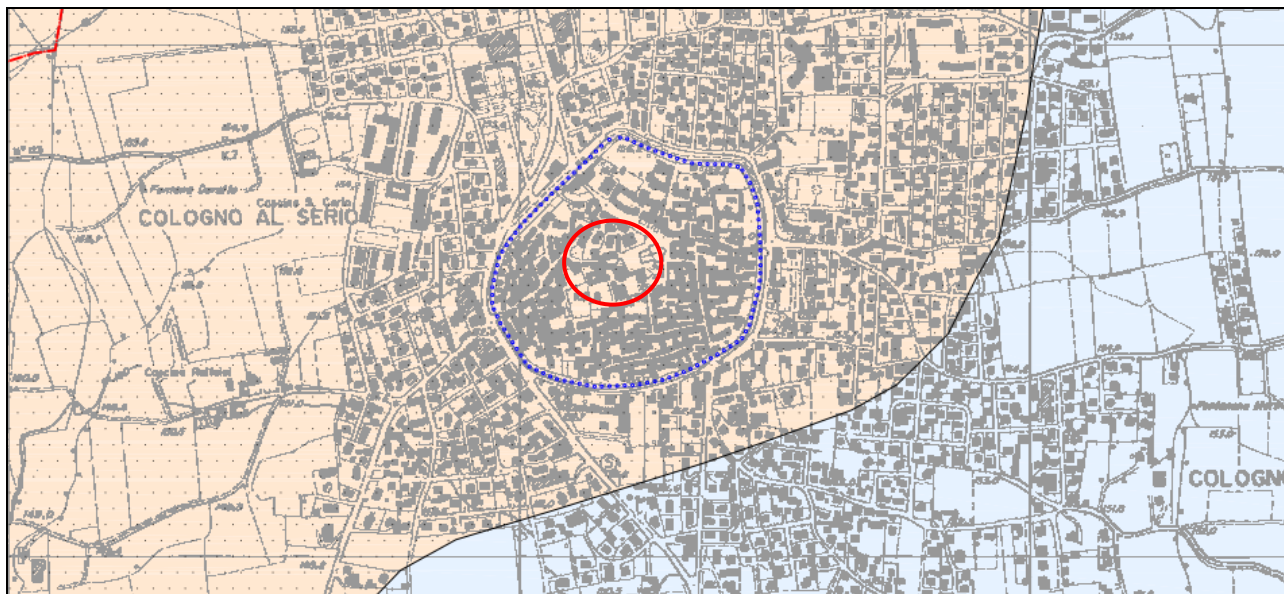


Figura 4 - Planimetria di progetto

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

Il territorio comunale di Cologno al Serio (BG) è caratterizzato da un aspetto geomorfologico pianeggiante con altimetrie comprese fra 155 m s.m. e 157 m s.m. circa; il contesto geologico di pertinenza è stato desunto dall'esame del Foglio 46 (Treviglio) della Carta Geologica d'Italia, alla scala 1:100.000



Geologia (fonte: Carta Geologica della Provincia di Bergamo):



UNITA' DI COLOGNO (tardo Pleistocene - Wurm superiore)

Depositi fluvioglaciali: ghiaie poligeniche a supporto clastico da arrotondate e discoidali, a matrice sabbioso-calcareo.



UNITA' POSTGLACIALE OLOCENICA (Olocene tardo Pleistocene superiore)

Depositi fluviali: ghiaie a supporto clastico, in prevalenti strati planari. sabbie e limi da massivi a laminati.

Figura 5 - Carta Geologica da PGT Cologno al Serio

L'Unità di Cologno è costituita da depositi fluvioglaciali di ghiaie, con stratificazione suborizzontale grossolana, da medio-grossolane a grossolane, a supporto clastico, con matrice sabbiosa e localmente da ghiaie molto grossolane con livelli lenticolari pseudo-coerenti e orizzonti e lenti di natura sabbiosa. L'orizzonte superficiale, di spessore variabile fra 20 e 60 cm circa, è di prevalente natura argillitica con colorazione da bruno scuro a giallastro scuro. L'unità rappresenta una fase



deposizionale di tipo fluvioglaciale connessa ad una dinamica fluviale di tipo braided, cioè corsi d'acqua contraddistinti da una grande mobilità dei canali di piena che si intrecciano nelle varie fasi di piena e magra depositando in forma lenticolare, materiali a granulometria diversa, selezionata. Come risulta da alcuni dati litostratigrafici osservati in sezioni di scavo a scopo edilizio, al disotto del terreno agrario, localmente frammisto a terreni di risulta, in genere di spessore inferiore al metro, si passa a sedimenti in alternanza stratigrafica in cui a tratti prevale la componente ghiaiosa, cui si intercalano livelli più ghiaioso-ciottolosi, a volte cementati o sabbiosi. L'unità di Cologno affiora con continuità in tutto il settore occidentale del territorio comunale di Cologno al Serio compreso l'intero centro abitato e presenta un andamento con direzione NE-SW rispetto all'Unità Postglaciale-Olocenica.¹

3.1 GEOMORFOLOGIA

Dal punto di vista geomorfologico i depositi alluvionali dell'area in esame appartengono al "Livello Fondamentale della Pianura", ma procedendo verso est si passa al sistema terrazzato del Serio ed in particolare all'Unità post-glaciale Olocenica di raccordo fra il L.F.P. e l'alveo del fiume Serio. Dall'esame attento della superficie topografica si evidenzia, oltre alla pendenza N-S nell'ordine del 7 per mille, una componente non trascurabile (circa 1 per mille) da E verso W a testimonianza di eventi deposizionali (coalescenze di conoidi alluvionali) da parte dal fiume Serio. Le recenti forme del Serio risultano invece per lo più di tipo erosivo (terrazzo recente), con scarpate dell'ordine dei 3 - 5 metri, che separa al L.F.P. con l'alveo fluviale. Tali scarpate sono soggette ad una intensa erosione al piede che determina franamenti anche significativi. Attualmente l'alveo del fiume Serio presenta un'ampiezza di circa una decina di metri; l'alternarsi delle fasi erosive e deposizionali ha portato alla formazione di numerose barre, principalmente ghiaiose in alveo.²

¹ Da PGT Cologno al Serio

² Da PGT Cologno al Serio

3.2 IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA

il Comune di Cologno al Serio è interessato dalla presenza di 2 corsi d'acqua appartenente al Reticolo Idrografico Principale, ed una fitta rete di canali appartenenti al Reticolo Idrografico Minore, in parte di competenza del Consorzio di Bonifica est Ticino Villoresi e in parte di competenza comunale. Tutto il territorio è fortemente condizionato da interventi antropici di bonifica e regimazione della rete idrica superficiale.

L'andamento piezometrico risulta in linea generale da nord verso sud, con una debole componente verso il quadrante occidentale. La pendenza della falda risulta intorno al 5 per mille, con aumento durante le fasi di morbida piezometrica sino al 7 per mille, divenendo praticamente parallela alla superficie del suolo.

L'idrografia superficiale condiziona radicalmente la soggiacenza della falda freatica. Infatti si riscontra che nella zona a sud dell'abitato Cologno al Serio le escursioni piezometriche stagionali (2m) risultano meno della metà rispetto all'area a nord dell'abitato (5 - 6 m). Ciò comporta un aumento del gradiente generale del flusso idrico in concomitanza dei periodi di massimo livello piezometrico.

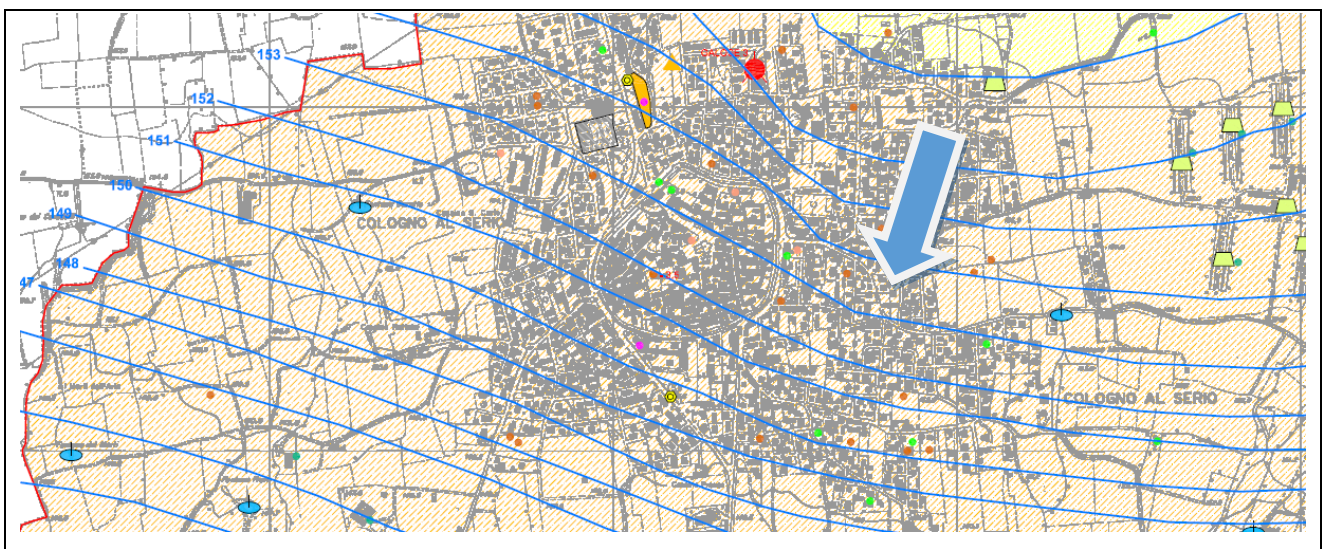


Figura 6 - Carta idrogeologica da PGT Cologno al Serio



4. CONFRONTO CON GLI STRUMENTI URBANISTICI LOCALI

Confrontando il sito con gli strumenti urbanistici locali (PGT in vigore), si nota come l'area sia esente da vincoli edificatori, ed il contesto di fattibilità geologica sia assimilabile alla CLASSE DI FATTIBILITÀ 3c1: Fattibilità con consistenti limitazioni Descrizione: Aree caratterizzate da una vulnerabilità intrinseca dell'acquifero freatico molto elevata: aree a bassa soggiacenza della falda libera inferiore a 4 m. dal p.c. Prescrizioni: Sono consentite tutte le tipologie di intervento edilizio; per le nuove opere edificatorie e/o di ampliamento ammesse si rende necessario uno studio di compatibilità idrogeologica per la valutazione, tramite monitoraggio piezometrico e studio storico dell'escursione della falda, della possibile interazione delle acque di falda con l'opera stessa, al fine di garantire il mantenimento e/o il miglioramento delle caratteristiche fisico chimiche delle acque della falda superficiale. Per queste aree, a salvaguardia della falda idrica sotterranea, per gli interventi di nuova edificazione, nonché di ristrutturazione con demolizione e ricostruzione, deve essere previsto in fase progettuale e realizzato il collettamento degli scarichi idrici in fognatura; devono inoltre essere previsti interventi di regimazione idraulica per lo smaltimento delle acque superficiali e sotterranee. Gli scarichi delle acque superficiali e derivanti dal pompaggio delle acque sotterranee, anche in condizioni climatiche ed idrologiche avverse, debbono essere complessivamente compatibili con la normativa regionale sull'invarianza idraulica. A questo scopo è consentita, in mancanza di soluzioni alternative, la realizzazione di vasche di laminazione al di sotto del livello di falda purché costruttivamente compatibili con il terreno saturo. La realizzazione e la modifica dei vani interrati e seminterrati, purché dotati di collettamento delle acque di scarico, che interferiscono con il livello della falda è ammessa a condizione che vengano provvisti di sistemi di auto protezione. Gli scarichi delle acque superficiali e derivanti dal pompaggio delle acque sotterranee, anche in condizioni climatiche ed idrologiche avverse, devono essere comunque compatibili con la normativa regionale sull'invarianza idrologica e idraulica. È vietata la realizzazione e la modifica dei vani interrati e seminterrati che interferiscano con il livello della falda da adibire ad uso produttivo, nel caso prevedano attività che comportano l'utilizzo o lo stoccaggio di sostanze pericolose/insalubri. Per le attività produttive potenzialmente idroinquinanti dovrà essere eseguita una specifica indagine idrogeologica che valuti il possibile impatto sulle acque sotterranee e che preveda, se necessario, l'adozione di accorgimenti in grado di tutelare la falda acquifera e che ne consenta il monitoraggio.

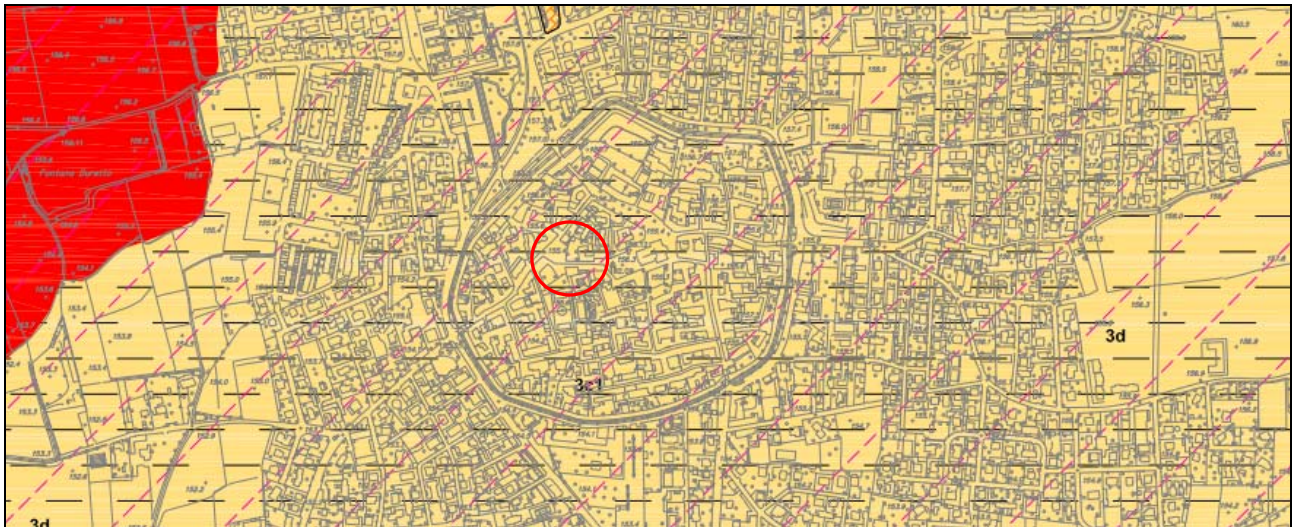


Figura 7 - Carta della Fattibilità Geologica - da PGT Cologno al Serio

5. INDAGINE GEOGNOSTICHE

Sono state proposte per il seguente intervento:

N.2 Prove penetrometriche dinamiche

N.1 Indagine Geofisica M.A.S.W.

N.1 Indagine H.V.S.R

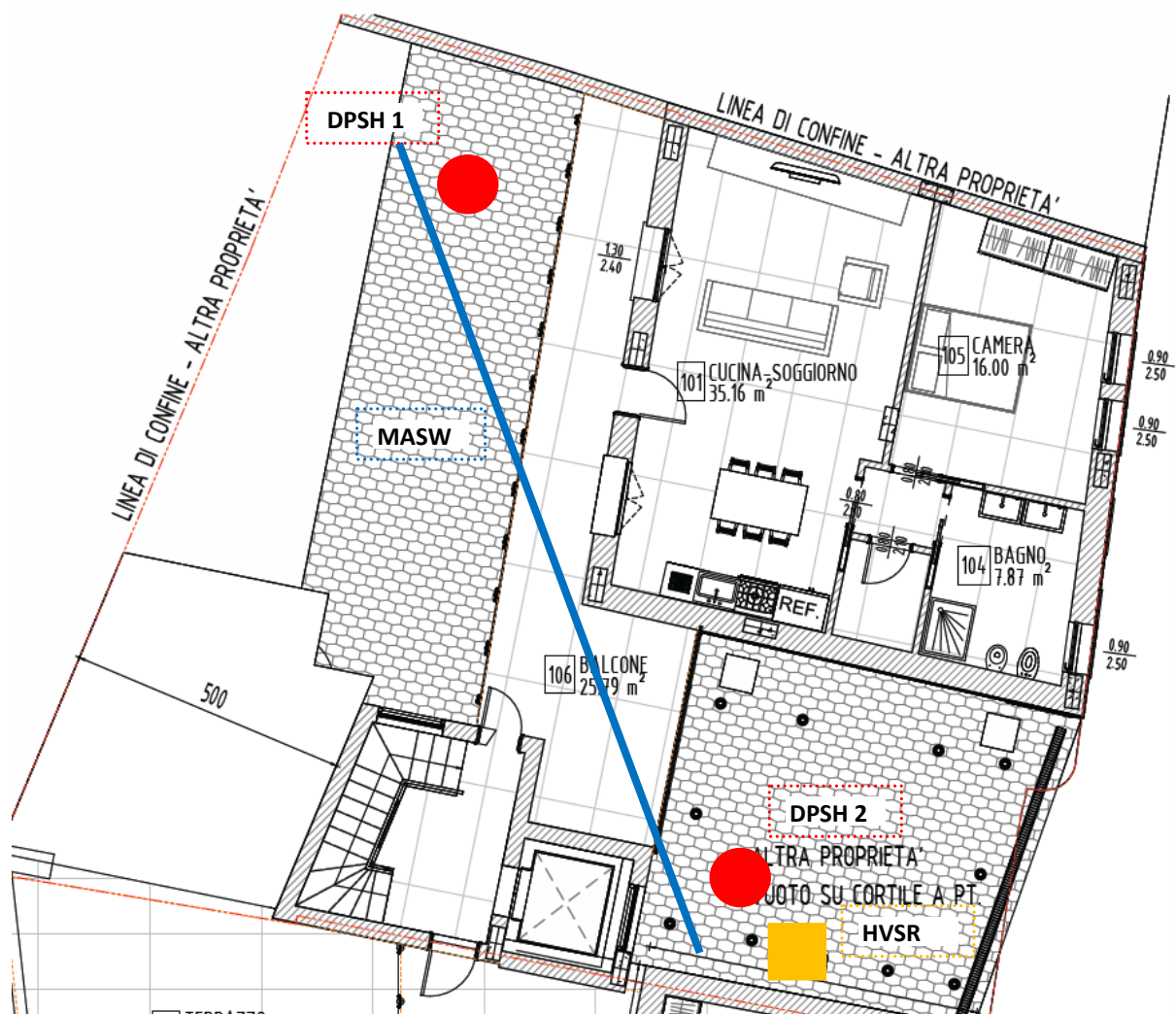


Figura 5.1: Ubicazione delle indagini



6. INDAGINI GEOFISICHE

In data 17/10/2022 è stata effettuata un'indagine geofisica all'interno dell'area in studio, al fine di fornire indicazioni sul comportamento del sottosuolo nell'ipotesi di un evento sismico.

Nello specifico si è disposta la realizzazione di una base sismica denominata "L1" attrezzata con geofoni con registrazione verticale. In corrispondenza della linea "L1" è stata realizzata un'indagine sismica applicando la metodologia MASW la quale consente, attraverso alcune trasformazioni, di risalire alla velocità delle onde S (onde di taglio).

6.1 MASW METODOLOGIA

L'attrezzatura utilizzata in campagna è costituita da un sismografo Sismografo Ambrogeo ECHO 24/2002 Seismic UNIT a 24 canali e 24 geofoni distanziati di 2.0 m, mazza e piastra di battuta:

Il sismografo ha possibilità di stack degli impulsi sismici, filtraggio digitale programmabile (per la riduzione dei rumori) e guadagno verticale del segnale (in ampiezza) con sensibilità tra 1 e 100 decibel. La registrazione dei dati in digitale viene effettuata su PC sul quale vengono successivamente elaborati i dati.

L'indagine MASW realizzata lungo lo stendimento L1 ha previsto un punto di energizzazione (andata), posto a 6,0 m di distanza dal primo geofono.

6.2 MASW ACQUISIZIONE

L'acquisizione della velocità delle onde di taglio (V_s) avviene per mezzo di indagine sismica a rifrazione con metodo MASW, mediante energizzazione del sottosuolo e registrazione degli arrivi delle onde rifrante in corrispondenza di geofoni verticali.

L'elaborazione dei dati sismici con metodo MASW è stata effettuata per mezzo del software EASYMASW di Geostru che, mediante la trasformata di Fourier, è in grado di fornire indicazioni sulla suddivisione delle unità litologiche del sottosuolo mediante l'individuazione delle onde V_s .

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:



- P-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- S-Trasversale: onda profonda di taglio;
- L-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- R-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.
- Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier), i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Di seguito si riporta il sismogramma frutto della somma di ciascuna acquisizione, filtrato di eventuali disturbi di fondo:

Tracce

N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	2000.0
Interdistanza geofoni [m]	4.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00

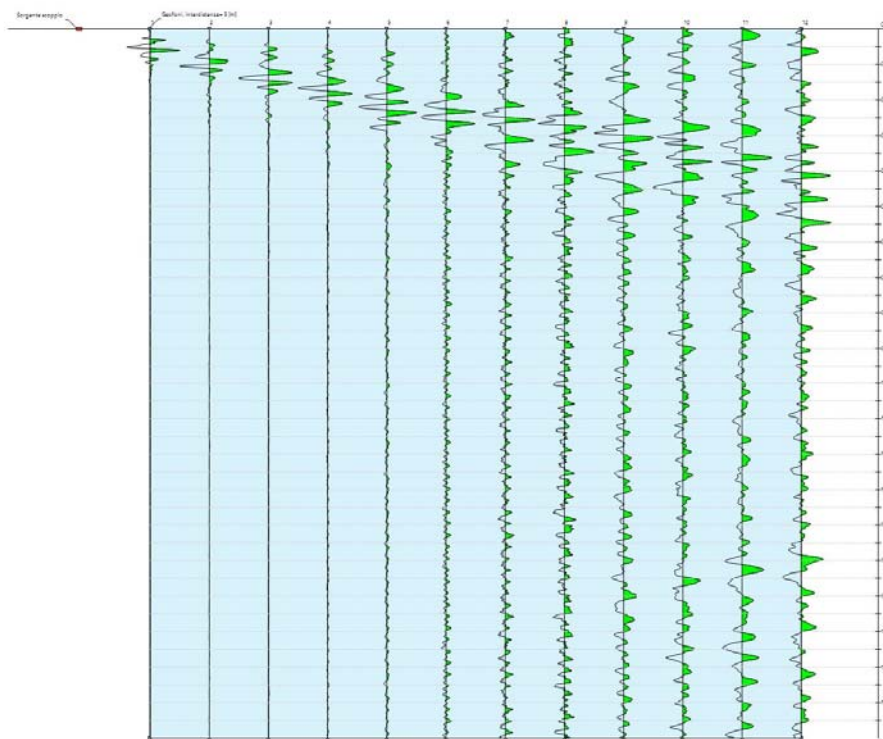


Figura 2 Sismogramma della base sismica L1

Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1

L'elaborazione dei sismogrammi ha consentito di estrapolare la trasformata di Fourier, di seguito riportata, e da questa si risale alla curva di dispersione che, confrontata, mediante sovrapposizione, con quella teorica consente di ottenere sia gli spessori dei vari strati che le rispettive velocità.

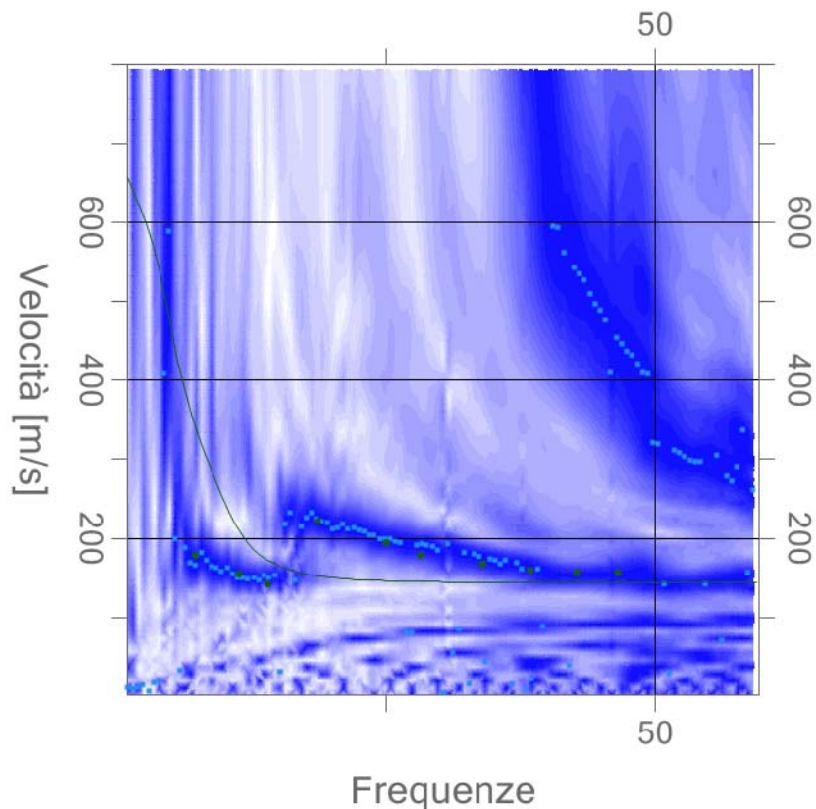


Figura 3 - Trasformata di Fourier e curva di dispersione della base sismica L1

6.3 HVSR METODOLOGIA

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo V_{seq} 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 lisciamiento 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.

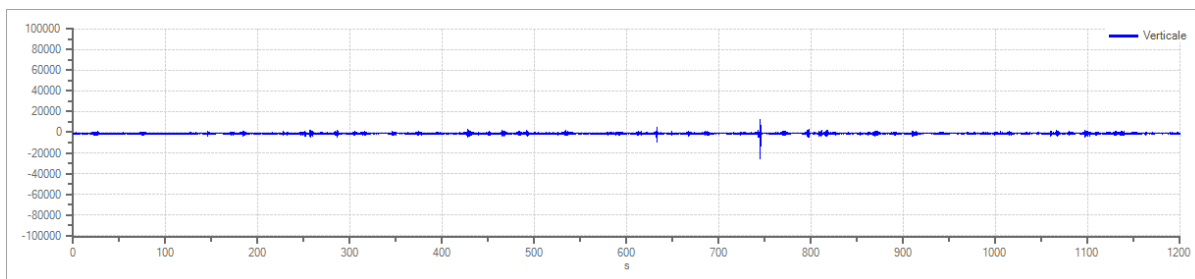
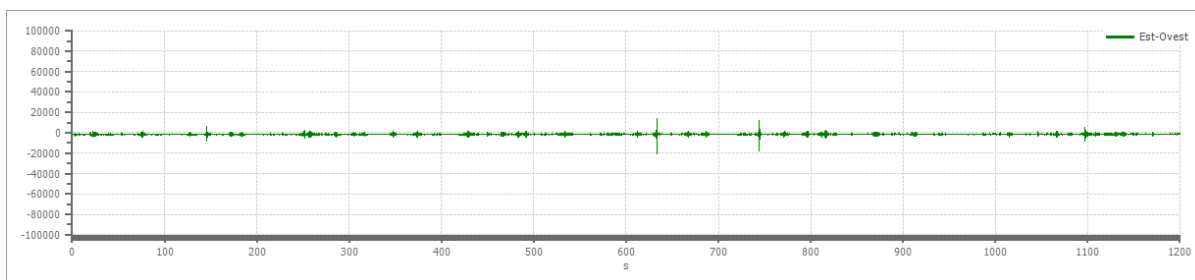
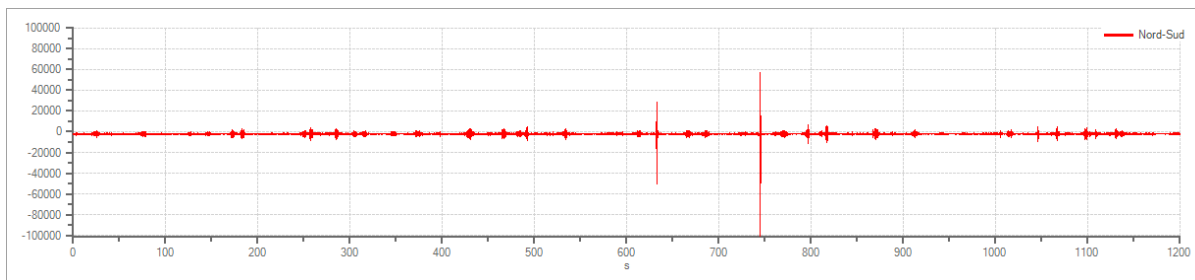


6.4 HVSR ACQUISIZIONE

La strumentazione utilizzata per l'indagine HVSR è un sensore sismico 3D con frequenza geofonica di 4.5 hz ed acquisito con Sismografo Sysmatrack di MAE advanced geophysics instruments.

Numero tracce: 3
Durata registrazione: 1200 s
Frequenza di campionamento: 251.00 Hz
Numero campioni: 301200
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

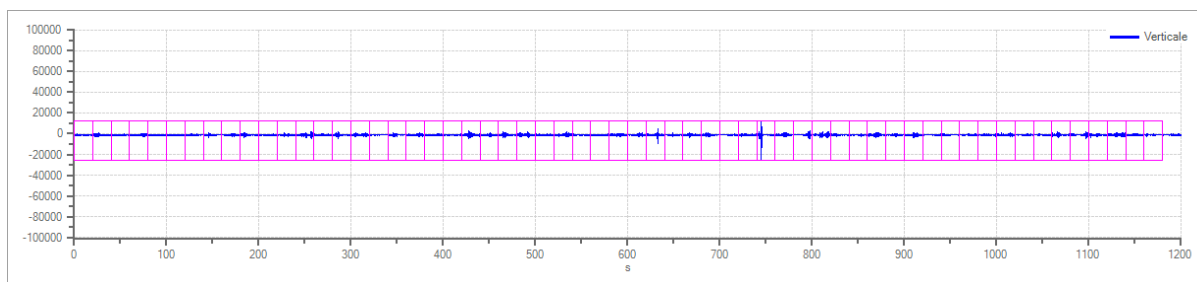
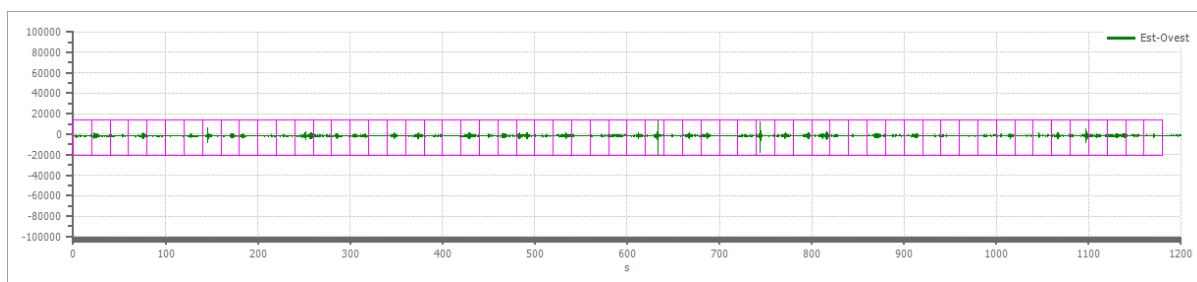
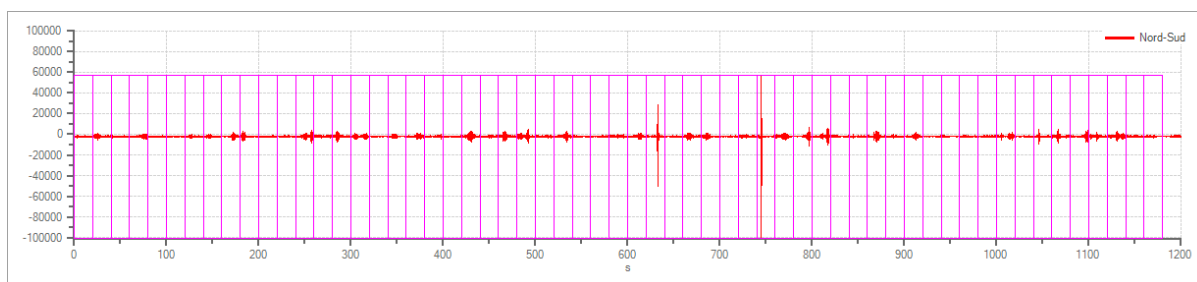
Grafici tracce:



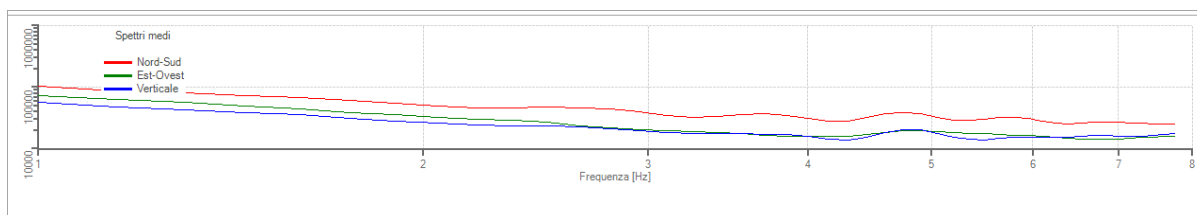


Numero totale finestre selezionate: 59
Numero finestre incluse nel calcolo: 59
Dimensione temporale finestre: 20.000 s
Tipo di liscio: Konno & Ohmachi
Percentuale di liscio: 12.00 %
Coefficiente di banda: 40.00

Grafici tracce con finestre selezionate:



Grafici degli spettri



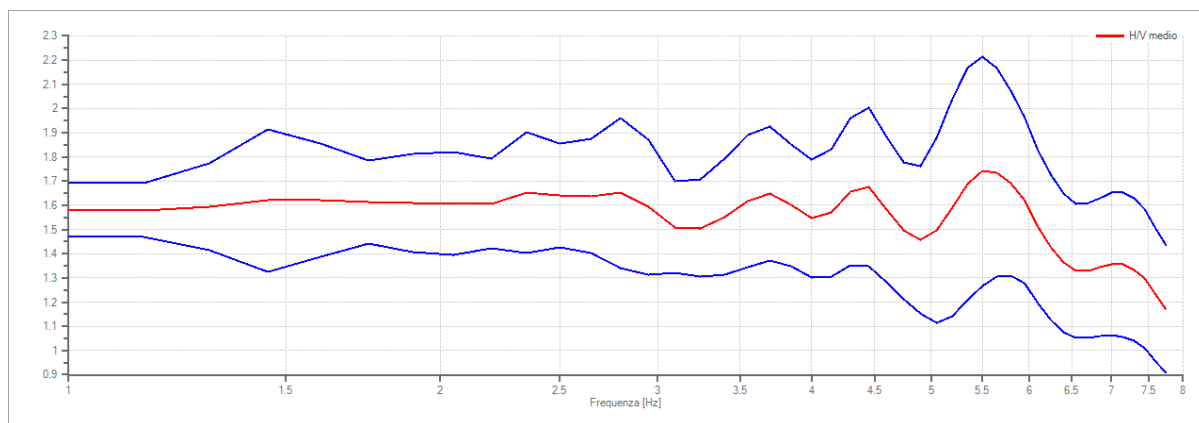
Rapporto spettrale H/V

Frequenza massima: 8.00 Hz
Frequenza minima: 1.00 Hz
Passo frequenze: 0.15 Hz
Tipo lisciamiento:: Konno & Ohmachi
Percentuale di lisciamiento: 12.00 %
Tipo di somma direzionale: Media quadratica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 5.50 Hz \pm 0.27 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

6.5 ANALISI DATI GEOFISICI

Il modello sismico del sottosuolo è stato definito sulla base della variazione con la profondità della velocità delle onde di taglio vs ricavata con la prova sismica Masw. Si riporta qui di seguito la stratigrafia sismica del sottosuolo indagato e nel grafico di Figura 4, il relativo profilo di velocità delle onde di taglio vs.

Dalla sovrapposizione della curva di dispersione si è ottenuta la ricostruzione del sottosuolo in



orizzonti aventi differenti spessori e valori di velocità come di seguito indicato:

Tabella 1- Valori delle Vs

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	5.00	5.00	256.4	157.0
2	11.00	6.00	530.7	325.0
3	18.00	7.00	961.8	589.0
4	26.00	8.00	976.5	598.0
5	35.00	9.00	1068.0	624.0
6	oo	oo	1226.4	701.0

Sulla base della variazione con la profondità della vs sono stati determinati con le relazioni sotto indicate il modulo dinamico di taglio G_0 ed il modulo compressibilità volumetrica dinamico M_0 . L'andamento con la profondità dei parametri dinamici G_0 ed M_0 è riportato nei grafici di Tabella 2 - Valori geotecnici derivati.

Tabella 2 - Valori geotecnici derivati

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	G_0 [MPa]	M_0 [MPa]
1	3.00	3.00	180.82	295.28	58.85	156.94
2	8.12	5.12	228.93	373.85	94.34	251.57
3	14.23	6.12	243.40	397.48	106.64	284.38
4	20.31	6.08	442.15	722.03	351.90	938.40
5	28.33	8.03	474.93	775.56	406.01	1082.70
6	oo	oo	521.24	851.17	489.04	1304.10

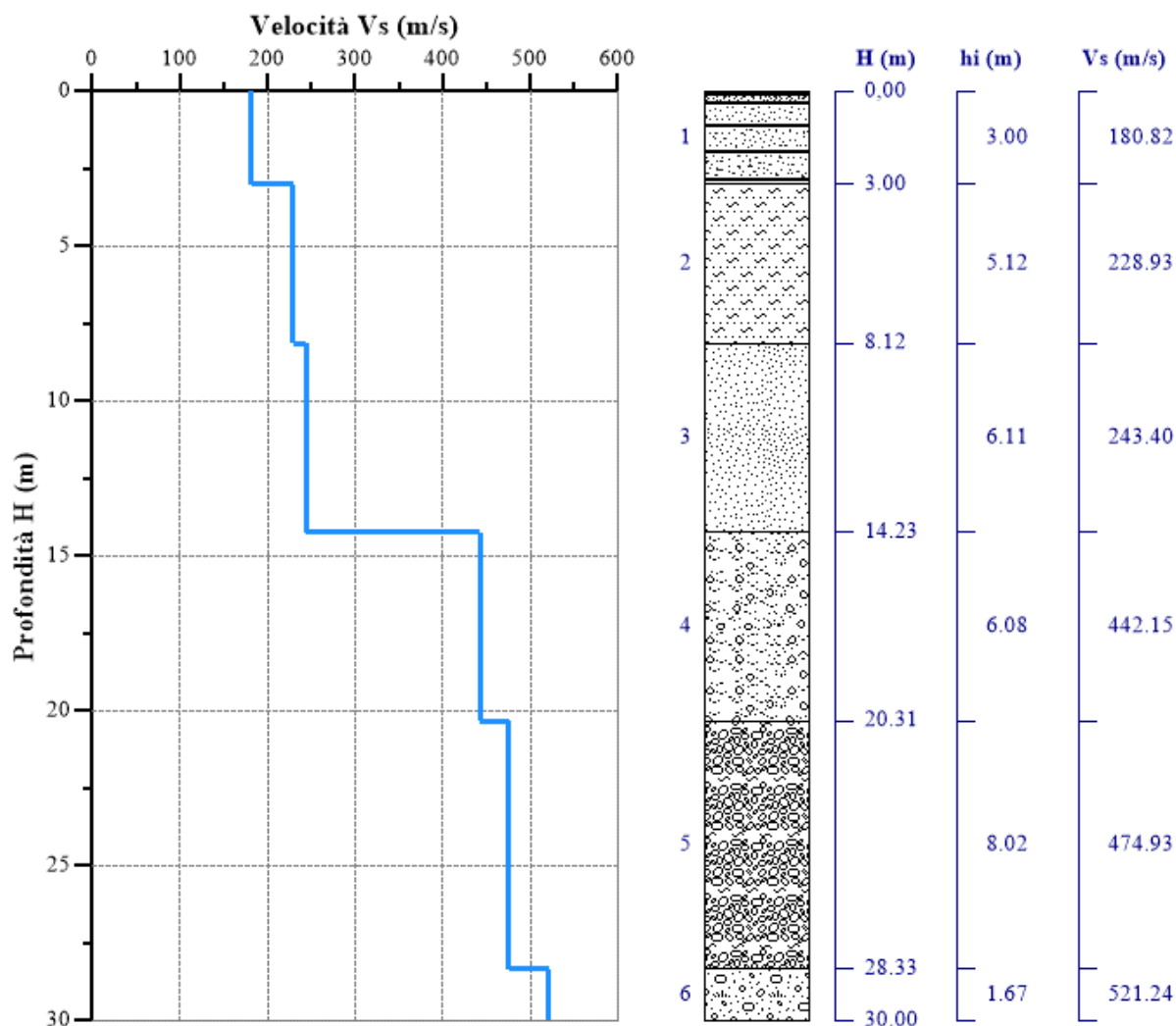


Figura 4 - Diagramma delle velocità Vs riferite ai vari strati intercettati nella base Sismica L1

La determinazione della categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione in accordo con quanto indicato nelle NTC/2018 è stata eseguita con il valore VS30 ricavato con la prova sismica calcolato con la seguente relazione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$



dove H_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori. I valori di V_{s30} fino a 4 m di profondità e il corrispondente tipo di suolo sono riportati nella seguente tabella.

Profondità da p.c. [m]	Intervallo da p.c. [m]	V_{s30} [m/s]	Categoria suolo [-]
0	0÷-30	306	C
1	-1÷-31	318	C
2	-2÷-32	330	C
3	-3÷-33	344	C
4	-4÷-34	354	C

Si evince che ai terreni dell'area in esame corrisponde la categoria di suolo di fondazione di **Tipo C** depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s".



7. PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

Per quanto riguarda il rischio sismico sulla base di quanto riportato nella D.g.r. n. IX/2616 del 30 novembre 2011 e di quanto indicato nella *Carta di pericolosità sismica locale* della Componente geologica del PGT l'area interessata dall'intervento edilizio appartiene allo scenario di Pericolosità Sismica Locale PSL Z4a- *Zona di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi* soggetta in caso di eventi sismici a fenomeni di amplificazioni litologiche e geometriche.

Con la D.g.r. n.X/2129 dell'11 Luglio 2014, entrata in vigore il 10 aprile 2016, la Regione Lombardia ha approvato la nuova classificazione sismica dei comuni lombardi. Nel caso specifico al comune di Cologno al Serio è stata attribuita la zona sismica 3 con un'accelerazione orizzontale massima al suolo $a_{g,475}$ pari a 0.1254 g.

Sulla base di quanto indicato nel paragrafo 1.4.3 della delibera della giunta regionale n.IX/2616 del 30 novembre 2011 per gli scenari PSL Z4 ricadenti in zone sismiche 3 è obbligatorio per tutti gli edifici eseguire una verifica di secondo livello finalizzata a valutare l'amplificazione sismica locale.

Per quanto riguarda la massima intensità macrosismica I_{max} (che rappresenta una misura degli effetti che il terremoto ha prodotto sull'uomo, sugli edifici e sull'ambiente) si fa generalmente riferimento alla classificazione del Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti GNDT dove nel database del GNDT per tutte le regioni distinti per comuni vengono riportati i valori dell'intensità macrosismica MCS.

La storia sismica di Cologno al Serio non è nota direttamente perché i cataloghi macrosismici non comprendono dati provenienti da questa località, ma è definibile dalle informazioni storiche provenienti dai comuni di Bergamo, Cassano d'Adda Treviglio riassunte nel catalogo DBMI15. Il terremoto conosciuto di maggiore intensità con epicentro a Treviglio, è avvenuto il 10 settembre 1781 (Latitudine 45.501° Longitudine 9.589 ° $I_{max}=6\div 7$ e $M_w=4.93$) e 11 Km a SO di Cologno al Serio.



8. VALUTAZIONE DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE SISMICA LOCALE

AI SENSI DELLA D.G.R. N. IX/2616 DEL 30.11.2011 (APPROFONDIMENTO SISMICO DI II° LIVELLO)

La valutazione dell'amplificazione sismica locale è stata definita con la metodologia prevista dalla Regione Lombardia nella delibera della giunta regionale n.IX/2616 del 30 novembre 2011. Tale procedura permette, in relazione alle caratteristiche litologiche, geotecniche e sismiche una valutazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi.

In particolare attraverso la definizione del fattore di amplificazione viene valutato il grado di protezione raggiunto dalla normativa vigente nel tenere in considerazione gli effetti sismici. Più precisamente essendo il sito in esame collocato in pianura si è proceduto a definire il fattore di amplificazione relativo agli effetti litologici mediante le Schede-Litologia opportunamente predisposte dal Politecnico di Milano per conto della Regione Lombardia. La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di F_a ottenuto dalle schede di valutazione con un parametro di analogo significato definito come "Valore di Soglia" calcolato per ciascun comune della Lombardia dal Politecnico di Milano. Tale valore soglia è stato calcolato per le diverse categorie di suolo relativamente ai due intervalli del periodo proprio di oscillazione delle tipologie edilizie presenti con maggior frequenza in Lombardia, ossia per $0.1s < T < 0.5s$ (intervallo riferito a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide) e per $0.5s < T < 1.5s$ (intervallo riferito a strutture più alte e più flessibili). Tali parametri sono contenuti nel file "soglie_lomb.xls" della banca dati regionale e rappresentano i valori di soglia oltre i quali lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

La procedura prevede pertanto di valutare il valore di F_a con le schede di valutazione e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia. Si possono presentare quindi due situazioni:

1. il valore di F_a determinato tramite scheda è inferiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa;
2. il valore di F_a è superiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è insufficiente a tenere



in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi è necessario in fase di progettazione edilizia, o effettuare analisi più approfondite oppure utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore.

Nella tabella sottostante sono riportati i valori soglia relativi ai due intervalli sopra menzionati per il comune di Cologno al Serio.

Comune di Cologno al Serio Zona sismica 3			
Valori di Soglia di Fa nell'intervallo $0.1s < T < 0.5s$			
Suolo B	Suolo C	Suolo D	Suolo E
1.5	1.9	2.3	2.0
Valori di Soglia di Fa nell'intervallo $0.5s < T < 1.5s$			
Suolo B	Suolo C	Suolo D	Suolo E
1.7	2.4	4.3	3.1

Per il sito in esame sulla base delle caratteristiche litologiche del sottosuolo e confrontando l'andamento con la profondità della velocità delle onde di taglio v_s (determinata con le prove sismiche) con quello riportato nelle schede litologiche fornite dalla Regione Lombardia, è stata individuata come scheda di riferimento quella a litologia sabbiosa tipo 2.

In particolare come visualizzato in Figura 5 si è provveduto a riportare i valori delle v_s relativi all'area indagata nell'apposito diagramma per verificarne la congruità con il campo di validità della scheda di riferimento. Dai grafici emerge che tutti i valori delle v_s calcolate, ad esclusione dei primi metri stanno al di sopra della linea rossa che divide il campo di validità (sopra la linea) dal campo di non validità (sotto la linea).



EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO – SABBIOSA TIPO 2

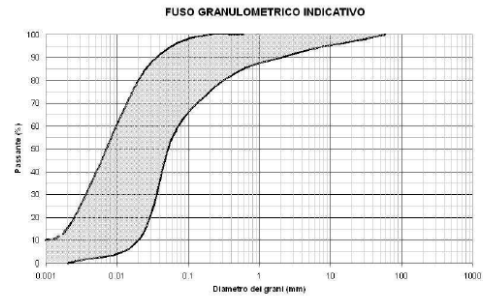
PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:

Da limi con sabbie debolmente ghiaiose a limi debolmente sabbioso-argillosi passando per limi con sabbie, limi debolmente argillosi, limi debolmente sabbiosi, limi debolmente ghiaiosi e sabbie con limi debolmente argillosi

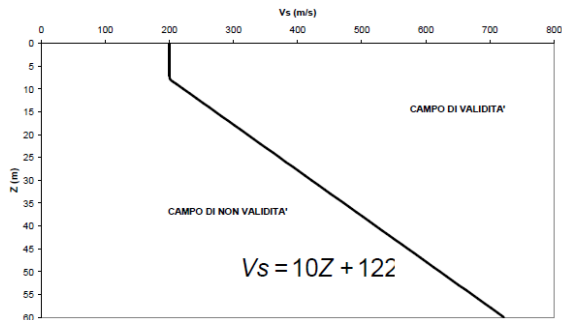
NOTE:

- Comportamento coesivo
 - Frazione limosa ad un massimo del 95%
 - Presenza di clasti immersi con $D_{max} < 2-3$ cm
 - Frazione ghiaiosa fino ad un massimo del 10%
 - Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 45%
 - Frazione argillosa fino ad un massimo del 15%
- A FIANCO:** range di valori per alcuni parametri geotecnici significativi validi per limi sabbiosi debolmente argillosi



PARAMETRO	INTERVALLO
Peso di volume naturale	γ (kNm ⁻³) 18.5-19.5
Peso specifico particelle solide	γ_s (kNm ⁻³) 26.0-27.9
Contenuto d'acqua naturale	w (%) 25-30
Limite di liquidità	w _L (%) 25-35
Limite di plasticità	w _p (%) 15-20
Indice di plasticità	I _p (%) 5-15
Indice dei vuoti	e 0.6-0.9
Grado di saturazione	S _r (%) 90-100
Coefficiente di spinta a riposo	K ₀ 0.4-0.5
Indice di compressione	C _c 0.10-0.30
Indice di rigonfiamento	C _s 0.03-0.05
Coefficiente di consolidazione secondaria	C _α 0.002-0.008
Numero colpi prova SPT (nei primi 10 m)	N _{sp} 0-20

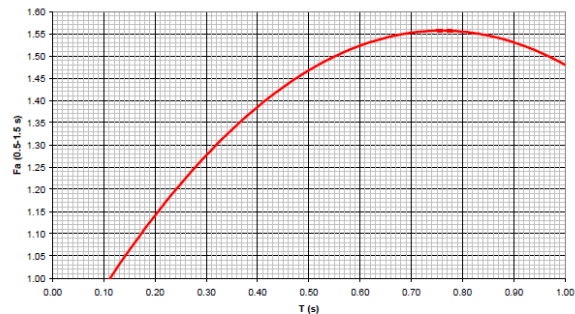
ANDAMENTO DEI VALORI DI V_s CON LA PROFONDITA'



Profondità primo strato (m)

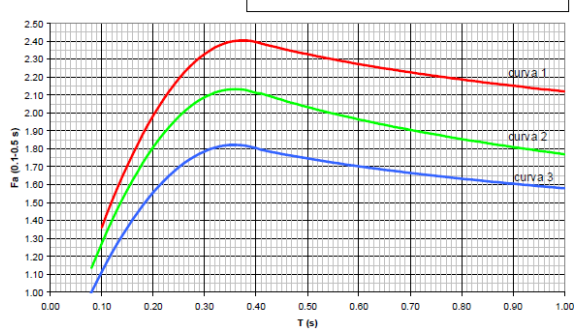
Profondità primo strato (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20	30	35	40	50	60
200	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
250	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
300	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
350	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
400	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
450	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
500	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
600	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
700	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Correlazione T - Fa 0.5-1.5 s



$$Fa_{0.5-1.5} = -1.33T^2 + 2.02T + 0.79$$

Correlazione T - Fa 0.1-0.5 s



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

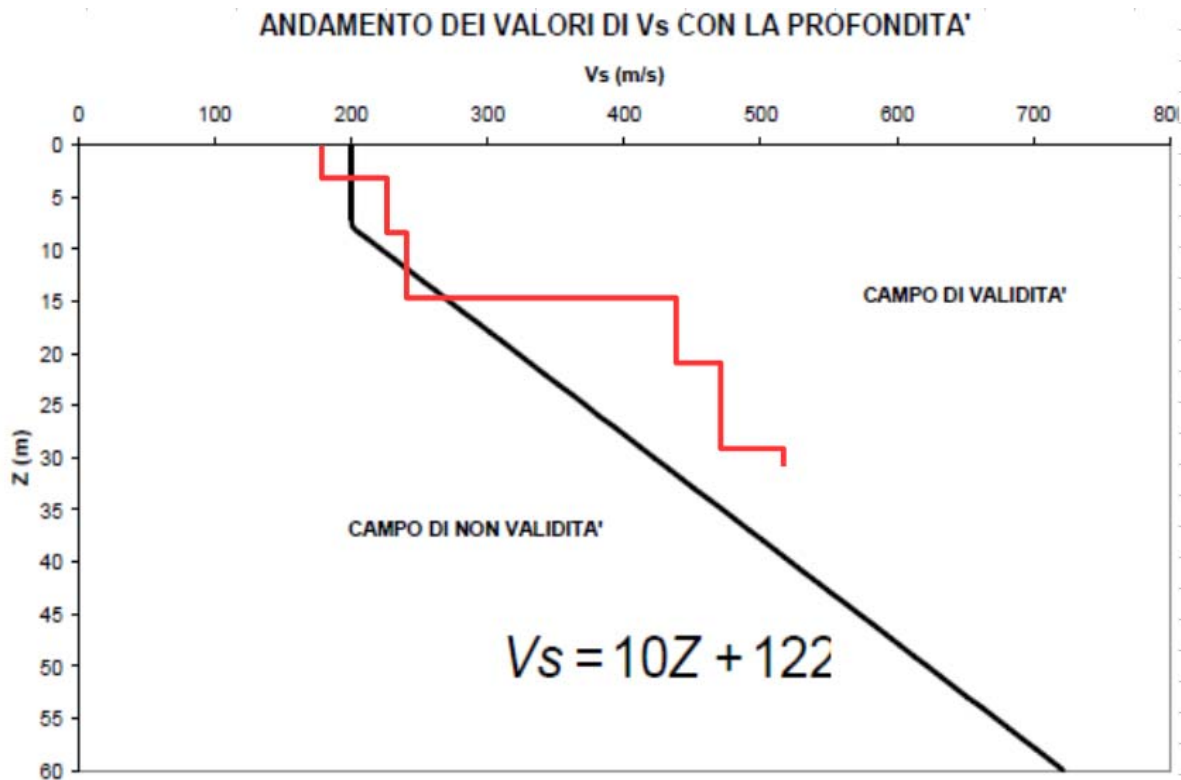


Figura 5 - Andamento della velocità delle onde di taglio v_s con la profondità

Successivamente in funzione della velocità delle onde di taglio v_s dello strato superficiale e del suo spessore è stata selezionata la curva più appropriata per la valutazione del fattore di amplificazione F_a negli intervalli $0.1s \div 0.5s$ e $0.5s \div 1.5s$ utilizzando la matrice di Figura 6. Nel caso specifico, lo strato superficiale ha uno spessore inferiore a 4 m pertanto nella scelta della curva è stato assunto lo strato superficiale equivalente al quale è stata assegnata una velocità v_s calcolata come media pesata dei valori di v_s degli strati superficiali la cui somma supera i 4 m. Lo spessore e la velocità v_s dello strato superficiale equivalente così determinato è pari a 190 m/s. La velocità v_s dello strato sottostante è inferiore a 500 m/s, pertanto è stata scelta la curva 1 (rossa).



Figura 6 - Matrice

Il passo successivo prevede di valutare il periodo proprio di vibrazione del sito T calcolato fino alla profondità in cui il valore della velocità vs è uguale o superiore a 800 m/s. Il periodo proprio di vibrazione del sito T è stato calcolato con la relazione sotto riportata

$$T = \frac{4 \cdot \sum_{i=1,N} h_i}{\frac{\sum_{i=1,N} v_{si} \cdot h_i}{\sum_{i=1,N} h_i}}$$

dove hi e V_{si} sono rispettivamente lo spessore e la velocità dello strato i-esimo del modello. Il valore di T calcolato è risultato pari a 0.18 s. I valori di Fa relativi all'intervallo 0.1s<T<0.5s sono stati calcolati utilizzando gli abachi visualizzati nella Figura 7 e Figura 8 le seguenti formule:

$$Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46 \quad 1.52$$

$$Fa_{0.5-1.5} = -1.33T^2 + 2.02T + 0.79 \quad 1.10$$



Comune di Cologno al Serio Zona sismica 3			
Valori di Soglia di Fa nell'intervallo $0.1s < T < 0.5s$			
Suolo B	Suolo C	Suolo D	Suolo E
1.5	1.9	2.3	2.0
Valori di Soglia di Fa nell'intervallo $0.5s < T < 1.5s$			
Suolo B	Suolo C	Suolo D	Suolo E
1.7	2.4	4.3	3.1

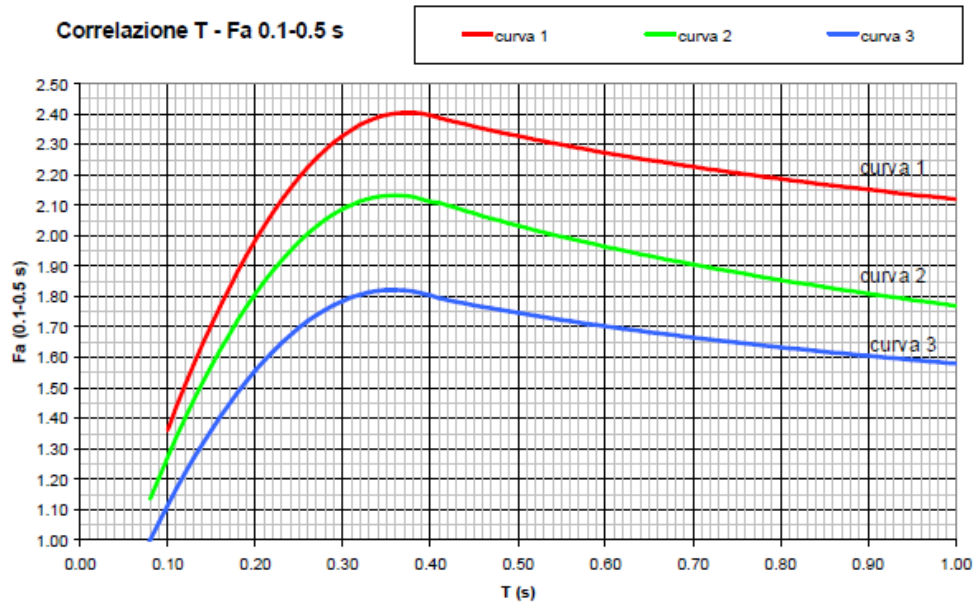


Figura 7 - T-Fa – Intervallo $0.1s < T < 0.5s$

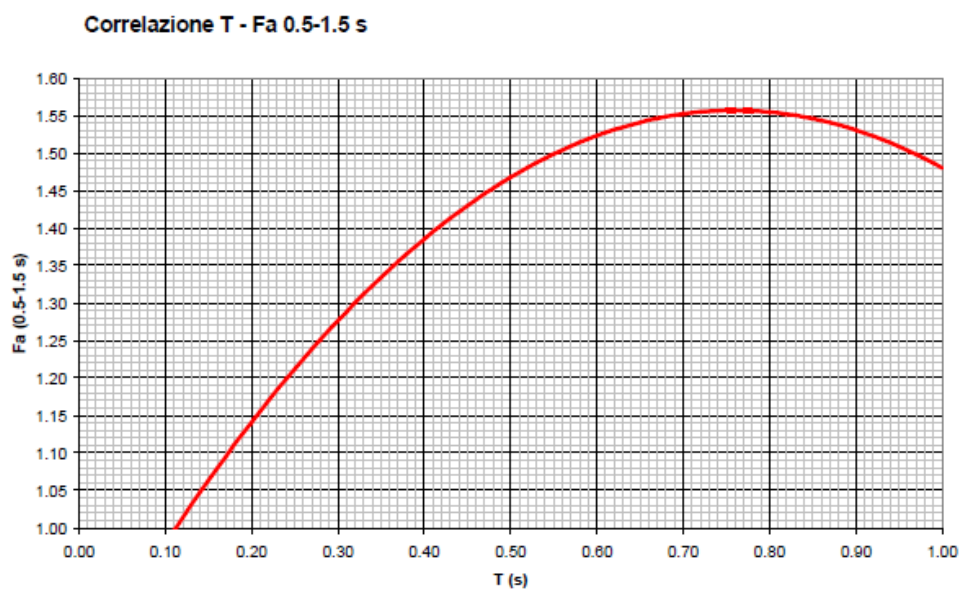


Figura 8 - T-Fa – Intervallo $0.5s < T < 1.5s$



I valori di F_a ottenuti per il sito in esame risultano per entrambi i periodi di oscillazione inferiori al valore di soglia fornito dalla Regione Lombardia, pertanto la normativa nazionale risulta sufficientemente cautelativa nei confronti dei fenomeni di amplificazione sismica locale. Questo fa sì che in fase progettuale si potranno adottare gli spettri di norma relativi al suolo sismico di tipo C misurato

9. VALUTAZIONE DELL'ACCELERAZIONE SISMICA MASSIMA DEL SITO

Le NTC/08 e s.m.e i. ai fini della definizione delle azioni sismiche sulle strutture superano il concetto della classificazione sismica del territorio in zone e prevedono che l'azione sismica di riferimento sia definita per ogni sito sulla base delle sue coordinate. Le zone sismiche 1, 2, 3, 4 hanno quindi significato solo da un punto di vista amministrativo. Le NTC/08 e le successive NTC/18 stabiliscono il principio per cui le azioni sismiche sulle costruzioni si valutano in relazione alla pericolosità del sito definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa su suolo di categoria A (ag) e del corrispondente spettro di risposta elastico. Per accelerazione massima attesa si intende il picco del segnale che ha una certa probabilità PVR di essere superato in un periodo di riferimento VR. Il periodo di riferimento VR viene determinato come prodotto della vita nominale della costruzione VN e del coefficiente d'uso CU. La vita nominale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. Il valore del coefficiente d'uso dipende dalla gravità delle perdite dovute al raggiungimento di un determinato stato limite e quindi riguarda l'importanza della struttura. La coppia PVR, VR che identifica l'accelerazione massima di riferimento per le azioni si può sintetizzare nel periodo di ritorno TR.

Le azioni sismiche di progetto sono definite dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione in funzione della morfologia e della stratigrafia che determinano la risposta sismica locale. I parametri vengono definiti in condizione di campo libero su suolo rigido, con una topografia pianeggiante, così come riportato al § 3.2.2 delle NTC 2018 e s.m.i. La pericolosità sismica, quindi, è definita dai valori di accelerazione orizzontale massima attesa con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento. Gli spettri di risposta elastica sono

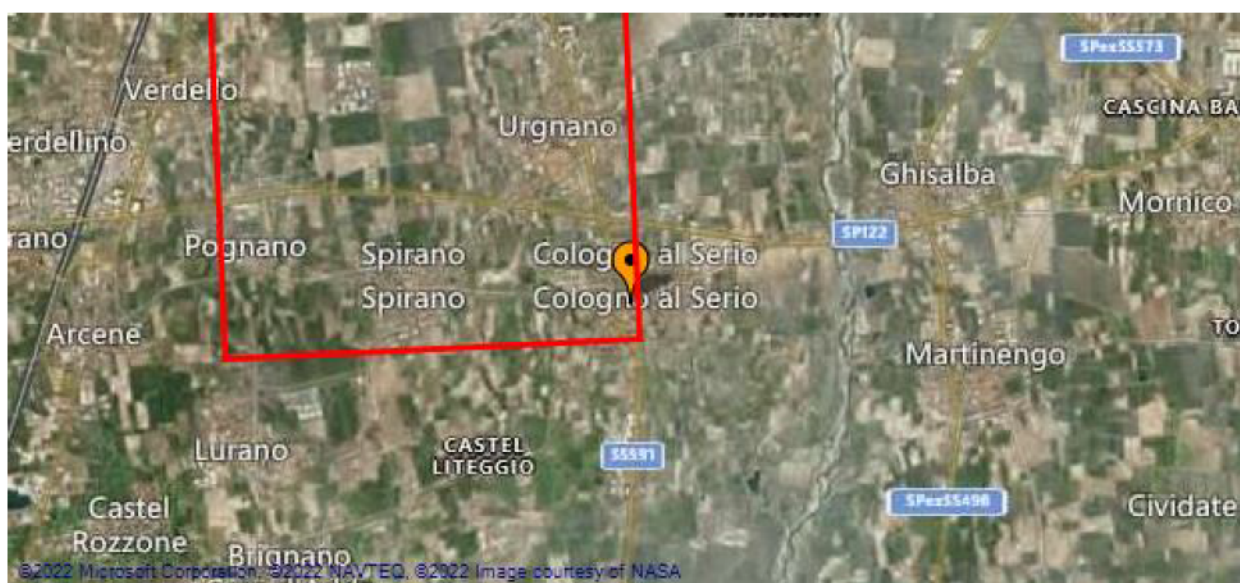
definiti per ciascuna probabilità a partire dai parametri quali: ag l'accelerazione orizzontale massima al sito, F_0 il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale e TC^* il valore per il periodo di inizio del tratto a velocità costante sullo spettro in accelerazione orizzontale. Convenzionalmente si adotta uno smorzamento del 5%. Gli spettri, così definiti, possono essere utilizzati per strutture con periodo fondamentale minore o uguale a 4,0 s.

Dati del sito:

Sistema	Longitudine:	9.706716	Sistema	Longitudine:	9.707766
WGS84:	Latitudine:	45.580136	ED50:	Latitudine:	45.581063

Tipo di interpolazione: **superficie rigata**

Nota: *Il sito è interno!*



Sicurezza e prestazioni attese:

Vita nominale V_N : **50 anni** (Tab. 2.4.I.) Periodo di riferimento V_R : **50 anni** (§ 2.4.3.)

Coefficiente d'uso C_U : **1.00** (Tab. 2.4.II)

Azioni sulle costruzioni (*Stati limite e relative probabilità di superamento, § 3.2.1*):

Stati Limite di Esercizio **SLO**, $P_{VR} 81\% = 30$
(SLE): **SLD**, $P_{VR} 63\% = 50$

Stati Limiti Ultimi (SLU): **SLV**, $P_{VR} 10\% = 475$
SLC, $P_{VR} 5\% = 975$

Stati Limiti di Operatività (SLO); di Danno (SLD), di salvaguardia della Vita (SLV) e di prevenzione del Collasso (SLC).

Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche (§ 3.2.2):

Categoria di sottosuolo: C (Tab. 3.2.II)

Categoria topografica: T1 (Tab. 3.2.III)

Rapporto $h/H = 1,00$

($h =$ altezza del sito, $H =$ altezza rilievo topografico)

Tabella dei parametri riferiti ai 4 stati limite:

Stati limite	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	TC^* [s]
SLO	30	0.033	2.42	0.201
SLD	50	0.043	2.43	0.220
SLV	475	0.122	2.42	0.269
SLC	975	0.160	2.48	0.275

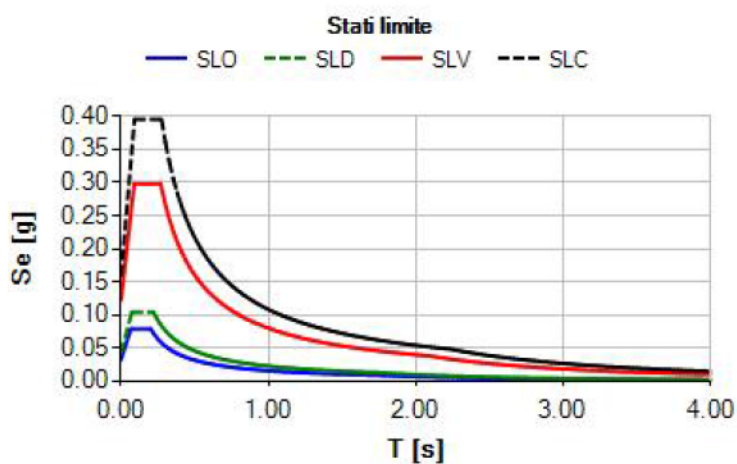


Figura 9 - Spettri di risposta elastica in accelerazione orizzontale per i 4 stati limite

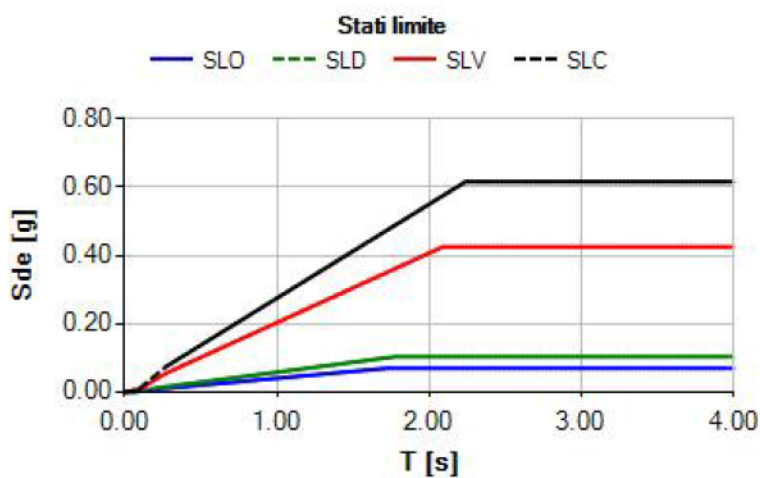


Figura 10 - Spettri di risposta elastica in spostamento orizzontale per i 4 stati limite



Tabella dei parametri di progetto per la componente orizzontale:

S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica, C_C = coefficiente in funzione della categoria di sottosuolo, S_T = coefficiente di amplificazione topografica, S = coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche, a_{max} = l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito, beta e alfa = coefficienti dipendente dal tipo di opera, k_h e k_v = coefficienti sismici orizzontale e verticale.

Stati limite	S_S	C_C	S_T	S
SLO	1.500	1.782	1.000	1.500
SLD	1.500	1.731	1.000	1.500
SLV	1.500	1.619	1.000	1.500
SLC	1.463	1.608	1.000	1.463

Stati limite	a_{max} [g]	beta	alfa	k_h	k_v
SLO	0.049	0.200	1.000	0.010	0.005
SLD	0.064	0.200	1.000	0.013	0.006
SLV	0.185	0.240	1.000	0.044	0.022
SLC	0.233	0.240	1.000	0.056	0.028



10. INDAGINI GEOTECNICHE

Al fine di valutare le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione, il giorno 17/10/2022 sono state eseguite n. 2 prove penetrometriche dinamiche DPSH, le prospezioni hanno avuto inizio dal piano campagna attuale ed hanno permesso di raggiungere una profondità massima di investigazione di 8,0 m.

Per l'acquisizione dei dati geotecnici del sottosuolo è stato impiegato un penetrometro semovente statico-dinamico (Pagani) da 100 KN di spinta, dotato di meccanismo di sgancio automatico per le prove dinamiche.

Nel corso delle prove è stato riscontrato il numero di colpi N del maglio necessari per infliggere lo scandaglio di intervalli consecutivi di 20,0 cm.

Le caratteristiche dell'attrezzatura sono le seguenti:

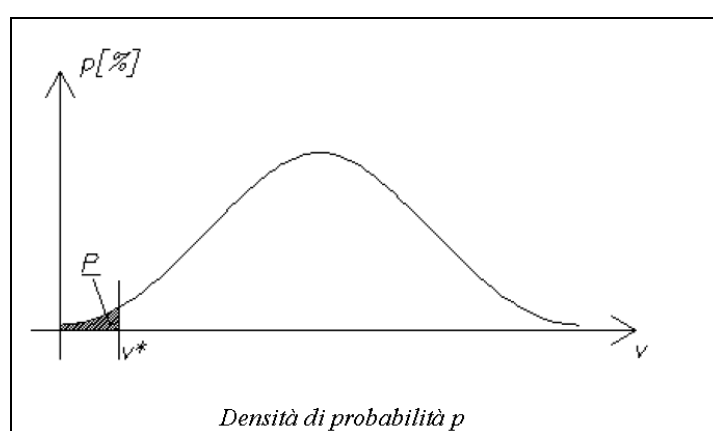
- Peso Massa battente 63 Kg
- Altezza di caduta libera 0,75 m
- Peso sistema di battuta 0,63 Kg
- Diametro punta conica 51,00 mm
- Area di base punta 20,43 cm²
- Peso aste a metro 6,31 Kg/m
- Avanzamento punta 0,20 m
- Numero colpi per punta N(30)
- Coeff. Correlazione 1,8
- Angolo di apertura punta 90°

I risultati riscontrati durante la campagna sono visualizzati attraverso grafici, rappresentati in Allegato e che riportano per ogni verticale di prova il numero di colpi $N_{s_{cpt}}$ necessari per l'avanzamento della punta di 20 cm.

10.1 MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Un aspetto essenziale del metodo degli stati limite riguarda la scelta dei parametri da introdurre nel modello di calcolo.

Relativamente ai calcoli geotecnici con il criterio degli stati limite si devono considerare nelle relazioni i parametri caratteristici. Il valore caratteristico di un particolare parametro di calcolo (quale può essere ad esempio il peso specifico del terreno) è definito come quel valore al quale è associato una determinata probabilità di non superamento.



Per maggiore chiarezza osservare la precedente figura P è la probabilità di non superamento della variabile v connessa al valore v^* (valore caratteristico cercato se $P=5\%$). v^* viene quindi calcolato imponendo che l'area P sia uguale a 5%.

Per quanto riguarda il calcolo geotecnico esistono due linee di pensiero seguite per la determinazione dei parametri caratteristici.

Una prima linea si basa su un approccio probabilistico, considerando quindi le quantità statistiche ricavate su un opportuno campione di prove.

Una seconda linea di pensiero invece porta avanti l'idea che l'approccio probabilistico non sia adatto a modellare il reale comportamento del terreno. In particolare questo secondo approccio si basa su procedimenti più razionali, ritenendo infatti che i valori caratteristici delle proprietà del terreno vadano valutati in funzione del livello di deformazione previsto per lo stato limite



considerato.

Tanto per fare un esempio, nel caso di stato limite ultimo si dovranno considerare i parametri di resistenza (angolo di attrito e coesione) relativi alla fase post-critica del materiale, cioè quelli relativi ad elevati livelli di deformazione.

Maggiori indicazioni in merito sono fornite dalla circolare inerente le istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14/01/2008).

In particolare in funzione del volume di terreno coinvolto nello stato limite considerato si possono presentare le seguenti situazioni:

elevati volumi di terreno (stabilità dei pendii, capacità portante fondazioni ecc.): è consigliabile utilizzare i valori medi dei parametri geotecnici;

piccoli volumi di terreno (verifica a scorrimento di un muro di contenimento): è consigliabile utilizzare i valori minimi.

I valori caratteristici dei parametri geotecnici si possono stimare seguendo gli stessi ragionamenti e le stesse procedure utilizzati per i materiali da costruzione.

Prendendo in considerazione il peso proprio del terreno (il ragionamento è analogo per gli altri materiali), il valore caratteristico si determina con la seguente relazione:

$$\gamma_k = \gamma_m (1+k \cdot s_\gamma)$$

Dove:

γ_k è il valore caratteristico del peso del terreno;

γ_m è il valore medio del peso del terreno;

k è una variabile che dipende dalla legge di distribuzione della probabilità e dalla probabilità di non superamento adottata. L'Eurocodice7 fissa una probabilità di non superamento del 5% alla quale corrisponde, per una distribuzione di tipo gaussiana, un valore di k uguale a -1,645

s_γ è definito coefficiente di variazione ed è valutato come rapporto tra lo scarto quadratico medio e la media dei valori del parametro.



È evidente come il procedimento descritto richiede che siano state effettuate un sufficiente numero di prove sperimentali sul terreno oggetto di analisi.

Chiaramente non è sempre possibile avere a disposizione un sufficiente numero di prove per applicare le formule sopra descritte, ed in questi casi si possono adottare i valori dei coefficienti di variazione ricavati dalla letteratura scientifica.

Nell'area in studio, i risultati delle prove penetrometriche eseguite hanno fornito la seguente configurazione del terreno e parametri geotecnici.

10.2 DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI

Scegliendo il tipo di interpretazione litologica si ha in automatico la stratigrafia con il passo dello strumento ed interpolazione automatica degli strati. L'utilizzo dei dati dovrà comunque essere trattato con spirito critico e possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

PROVA ...DPSH 1

Profondità prova 6.00 mt

Strato	Prof. (m)	NSPT	volume (t/m ³)	volume saturo (t/m ³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Poisson
riporto	0.00-0.60	4.41	1.51	1.88	26.1	57.67	0.34
sabbia con limo	0.60-2.20	2.57	1.73	1.87	25.13	49.46	0.35
ghiaia sabbiosa	2.20-6.00	23.14	2.05	2.00	33.68	141.20	0.31

PROVA ...DPSH 2

Profondità prova 6.00 mt

Strato	Prof. (m)	NSPT	volume (t/m ³)	volume saturo (t/m ³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Poisson
riporto	0.00-0.60	4.90	1.53	1.89	28.4	59.85	0.34
sabbia e limo	0.60-2.20	4.04	1.70	1.88	25.15	56.02	0.35
ghiaia sabbiosa	2.20-6.00	15.24	1.89	1.95	31.35	105.97	0.32



Modello Geotecnico del sottosuolo

Strato	Prof. (m)	NSPT	volume (t/m ³)	volume saturo (t/m ³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Poisson
riporto	0.00-0.60	4.90	1.53	1.80	--	--	--
sabbia e limo	0.60-2.20	4.04	1.70	1.90	24.5	45	0.35
ghiaia sabbiosa	2.20-6.00	15.24	1.80	2.00	31.0	100	0.32



11. GESTIONE DELLE ACQUE

Le necessarie condizioni di stabilità nelle fasi successive alla realizzazione delle opere in progetto, in riferimento alle fondazioni delle strutture, potranno essere salvaguardate nel tempo solo con la costante e corretta gestione delle acque meteoriche di scorrimento superficiale. In particolare tali acque dovranno essere completamente raccolte e quindi evacuate attraverso canalizzazioni che ne favoriscano il rapido smaltimento, al fine di evitare ristagni superficiali o filtrazioni nel sottosuolo pregiudizievoli per l'integrità delle nuove strutture; le modalità di gestione di tali acque dovranno rispettare il **principio dell'invarianza idraulica** ed idrologica secondo i criteri e i metodi contenuti nel R.R. n.8 del 19 aprile 2019 "disposizioni sull'applicazione dei principi di invarianza idraulica ed idrologica. Modifiche al regolamento regionale 23 novembre 2017, n.7 (Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n.12 'Legge per il governo del territorio')".

Infine dovranno necessariamente essere evitati riempimenti con materiali (es ghiaie, sabbie, misto frantumato, misto riciclato, ecc.) diversi dal c.l.s. in quanto fungerebbero da richiamo ed accumulo per le acque sotterranee e di percolazione favorendo accumuli di acqua con conseguente decadimento delle caratteristiche geotecniche e delle proprietà meccaniche del terreno a discapito e della stabilità delle strutture.



12. TERRE E ROCCE DA SCAVO

Per l'eventuale riutilizzo dei materiali di risulta degli scavi si potrà fare riferimento al D.P.R. n.120 del 13.06.2017 (che riunisce e sostituisce gli articoli n.184, n.185 e n.186 del D.Lgs. n.152 del 03.04.2006 ed il D.M. n.161 del 10.08.2012, disciplinato dall'articolo n.41-bis della L. n.98 del 09.08.2013) o, in caso contrario, essi dovranno essere gestiti come rifiuto secondo quanto previsto dalla parte IV del D.Lgs. n.152 del 03.04.2006.



13. SINTESI

Sismicità

Tabella 3 - Tabella 3.2.II "Categorie di sottosuolo" (NTC 2018)

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

Tabella 4 - Tabella 3.2.III "Categorie topografiche" (NTC 2018)

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

Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

Stati limite	S_s	C_c	S_T	S
SLO	1.500	1.782	1.000	1.500
SLD	1.500	1.731	1.000	1.500
SLV	1.500	1.619	1.000	1.500
SLC	1.463	1.608	1.000	1.463



Stati limite	a_{max} [g]	beta	alfa	kh	kv
SLO	0.049	0.200	1.000	0.010	0.005
SLD	0.064	0.200	1.000	0.013	0.006
SLV	0.185	0.240	1.000	0.044	0.022
SLC	0.233	0.240	1.000	0.056	0.028

Modello Geotecnico del Sottosuolo

Modello Geotecnico del sottosuolo

Strato	Prof. (m)	NSPT	volume (t/m ³)	volume saturo (t/m ³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)	Modulo Poisson
riporto	0.00-0.60	4.90	1.53	1.80	--	--	--
sabbia e limo	0.60-2.20	4.04	1.70	1.90	24.5	45	0.35
ghiaia sabbiosa	2.20-6.00	15.24	1.80	2.00	31.0	100	0.32



ALLEGATI