C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

COMUNE DI PREVALLE

PROVINCIA DI BRESCIA

INDAGINE GEOLOGICA E GEOTECNICA PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE DELL'INTERVENTO DI REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE IN VIA GARDESANA.

RELAZIONE GEOLOGICA

ai sensi del
D.M. 17/01/2018
D.G.R. 2616/2011

RELAZIONE GEOTECNICA

ai sensi del
D.M. 17/01/2018

RELAZIONE SISMICA

ai sensi del
D.G.R. 11 luglio 2014 - n. X/2129

COMMITTENTE: **O.M.C.S. STAMPI S.R.L.**

GEOLOGO: DOTT. GUIDO TORRESANI
O.G.L. n° 1141

DATA: SETTEMBRE 2024

Studio di Geologia dott. GUIDO TORRESANI
25034 – ORZINUOVI (BS) - Via G. Bruno, 44
tel/fax 030 4197172
GEOLOGIA AMBIENTALE, IDROGEOLOGIA, GEOTECNICA, GESTIONE CAVE, AUTORIZZAZIONI POZZI

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

SOMMARIO:

- Premessa;
- Inquadramento geologico e natura litologica dei terreni di fondazione;
- Piano di imposta e tipo di fondazione;
- Sismicità dell'area;
- Definizione dell'azione sismica;
- Indagini geognostiche;
- Caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica;
- Determinazione delle resistenze dei terreni Rd ai sensi del D.M. 17/01/2018;
- Calcolo dei cedimenti;
- Suscettibilità alla liquefazione dei terreni di fondazione;
- Verifica della fattibilità geologica dell'intervento in riferimento ai criteri indicati nella D.G.R. 2616/2011
- Considerazioni conclusive.

ALLEGATI

- Inquadramento corografico (CTR scala 1:10.000);
- Planimetria dell'area dell'intervento con ubicazione delle indagini;
- Stratigrafia e relativa documentazione fotografica trincee T1÷T3
- Tabulati e grafici prove penetrometrica (prove P1÷P5);
- Asseverazione relazione geologica – MODULO 9;
- Asseverazione relazione geotecnica – MODULO 10.

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

PREMESSE

La presente relazione geologica e geotecnica ha lo scopo di caratterizzare da un punto di vista geomeccanico, litostratigrafico, idrogeologico e sismico la porzione di area, di proprietà della ditta **O.M.C.S. STAMPI S.R.L.**, sita nel Comune di Prevalle (BS) in Via Gardesana, interessata dal progetto di realizzazione di nuovo capannone.

L'indagine è stata programmata ed esperita sulla base della normativa ministeriale oggetto del **D.M. 17.01.2018** concernente "aggiornamento delle Norme tecniche sulle costruzioni". Tale caratterizzazione è importante non solo per una corretta scelta e dimensionamento delle strutture di fondazione, ma anche perchè a seguito di detto D.M. è necessario verificare i parametri sismici della zona.

Fig.1: ubicazione indagine sismica di riferimento.

Sulla base del **D.g.r. 11 luglio 2014 - n. X/2129** "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)", **il territorio comunale di Prevalle è stato classificato come ZONA 2**. In riferimento all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20/03/2003 e sulla base della litostratigrafia rilevata, è possibile attribuire ai terreni indagati il profilo stratigrafico del suolo di fondazione di "tipo B". Il profilo stratigrafico del suolo di tipo "B" deriva dall'analisi sismica eseguita direttamente nell'area. Considerato inoltre quanto indicato nella microzonazione sismica, risultando il fattore di amplificazione sismica Fa locale < del valore di Fa soglia comunale previsto dalla Regione Lombardia (per le zone pedemontane), si utilizzerà nei calcoli della capacità portante dei terreni la categoria sismica di **suolo di tipo "B".**

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

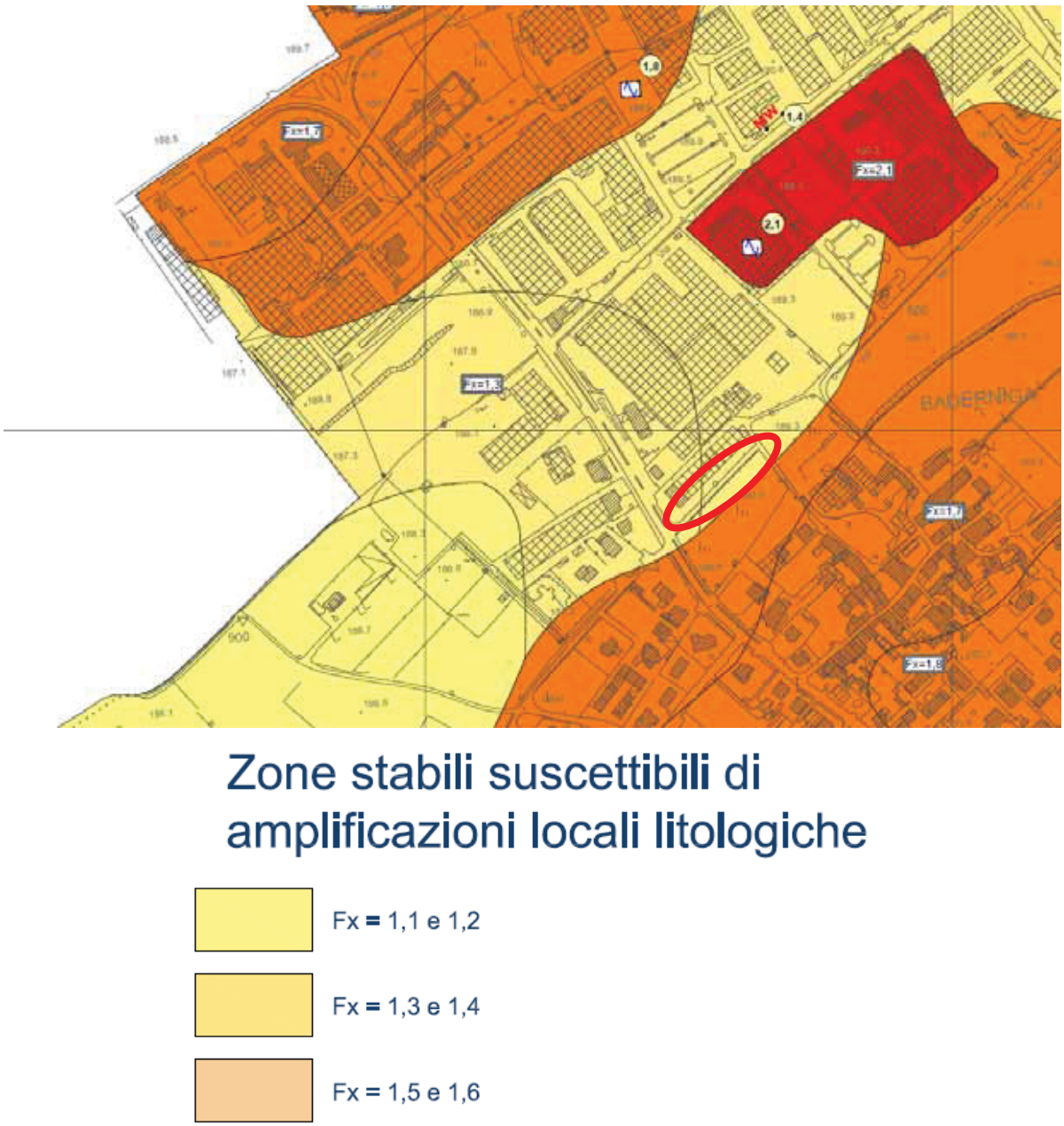


Fig.2: carta dei fattori di amplificazione Microzonazione sismica comunale

E' necessario quindi prevedere in sede di indagine geologico-tecnica la verifica di alcuni elementi e fattori che influenzano il comportamento delle fondazioni; tra questi la **litologia** dei terreni di substrato, la **profondità del piano di imposta**, il **carico allo stato limite ultimo**, la **suscettibilità alla liquefazione** dei terreni di fondazione, i possibili **cedimenti** e il **livello della falda acquifera**.

L'indagine ha inoltre lo scopo di verificare la fattibilità geologica dell'intervento in riferimento ai criteri indicati nella **D.G.R. 2616/2011** "Aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT".

Considerata l'estensione del lotto da indagare, l'entità delle opere di progetto e considerate le caratteristiche geomeccaniche dei terreni della zona, si è proceduto all'esecuzione di **n.6 prove penetrometriche dinamiche SCPT (prove P1÷P6) e n. 2**

trincee esplorative (T1÷T2), che ha consentito di verificare il comportamento geomeccanico del sottosuolo e hanno consentito di verificare l'assenza della falda entro le profondità indagate.

Per la valutazione della categoria sismica è stata realizzazione una prova sismica **MASW**, seguita dall'approfondimento sismico di II livello.

Considerata l'omogeneità litostratigrafica e geomeccanica dei terreni presenti nell'ambito della zona indagata e tenuto in considerazione l'estensione del lotto da indagare, si ritiene che le indagini eseguite siano sufficienti per poter caratterizzare adeguatamente il sottosuolo ospitante le strutture esistenti e di progetto. Tale scelta è avvalorata anche dalla conoscenza delle aree circostanti a quella di intervento che in un intorno significativo presentano caratteristiche litostratigrafiche e geomeccaniche simili.

Si tenga presente che la superficie scelta come quota 0 di RIFERIMENTO per tutte le quote indicate nella relazione è il PIANO PIAZZALE ESISTENTE. Il piano campagna su cui sono state eseguite le indagini è ribassato di -1,0 m dallo 0 RIF.

Lo studio è stato condotto in osservanza alle seguenti normative vigenti:

- **Decreto Ministeriale 14.01.2008**
- Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni
- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici**
  Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009.
- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici**
  Pericolosita sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.
- Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007
  Eurocodice 8 (1998)
- **Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture**
  Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)
- **Eurocodice 7.1 (1997)**
  Progettazione geotecnica – Parte I : Regole Generali . - UNI
- **Eurocodice 7.2 (2002)**
  Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI
- **Eurocodice 7.3 (2002)** Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita con prove in sito(2002). UNI
- **D.G.R. n. 2616/11** "Aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT".
- **D.G.R. n. 2129/14 Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia**
- **LR 33/15** Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche. Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica
- **D.G.R. n. 5001/16** Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica
- **Decreto Ministeriale 17.01.2018**
  Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

INQUADRAMENTO GEOLOGICO E NATURA LITOLOGICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

La conoscenza delle condizioni geomorfologiche generali del territorio è basata sul rilievo diretto mediante il quale si sono controllati e puntualizzati gli elementi forniti dalla bibliografia.

L'indagine si è avvalsa delle conoscenze geologiche dello scrivente riguardo le caratteristiche medio generali del territorio comunale e si è svolta mediante la realizzazione di n.1 scavi esplorativi finalizzati a visionare le condizioni litostratigrafiche dei terreni in posto.

L'areale indagato è ubicato in comune di Prevalle (come evidenziato nella allegata C.T.R. 1:10.000). Il terreno interno al lotto di indagine si presenta come una superficie pianeggiante ad una quota media di circa 190 metri s.l.m.

Dal punto di vista geologico l'area in esame si colloca sui depositi fluvioglaciali terrazzati prevalentemente ghiaioso sabbiosi.

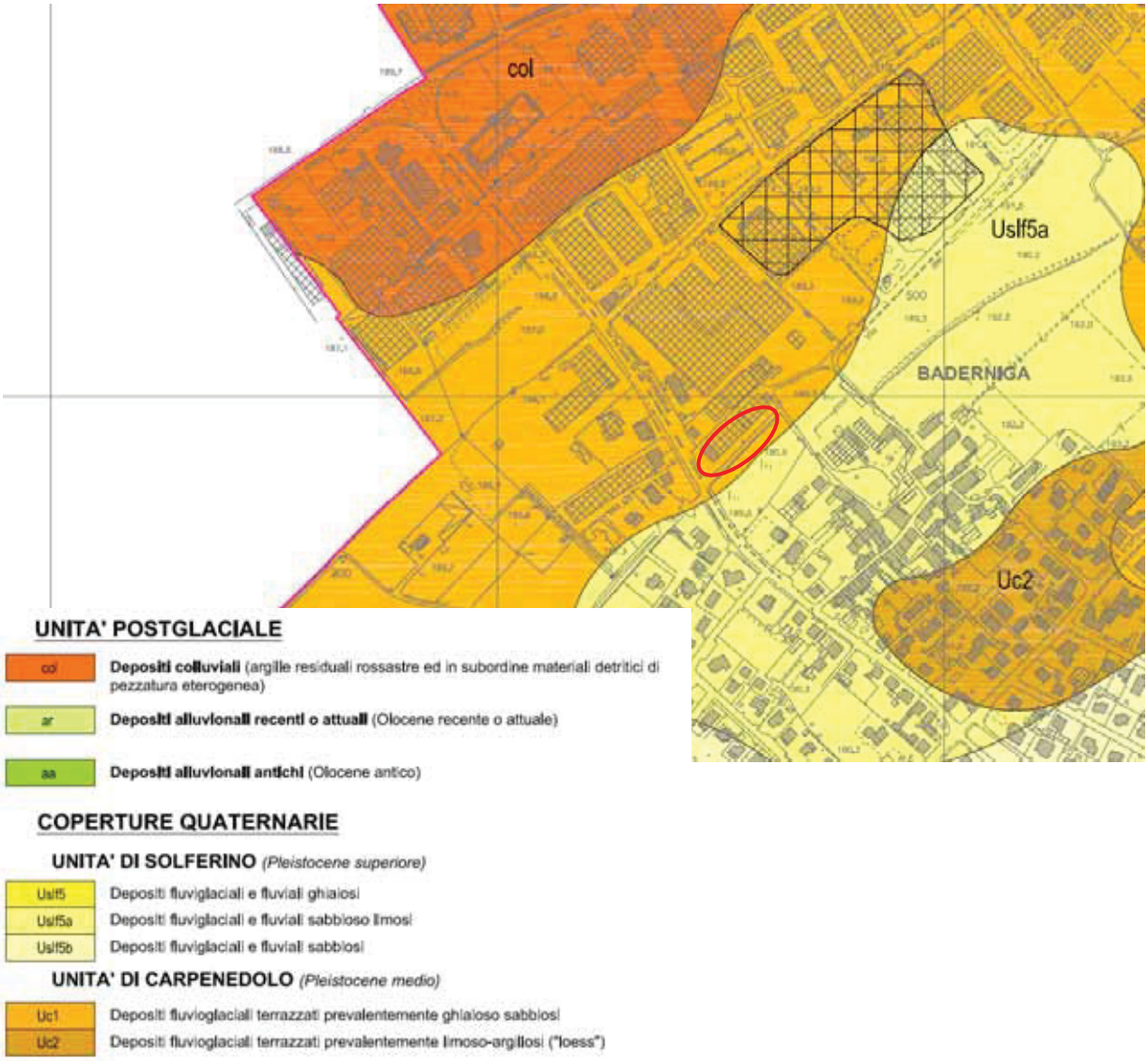


Fig.2: Estratto carta geologica PGT comunale

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

La natura del terreno, dedotta direttamente dagli scavi T1 e T2 eseguiti all'interno dell'area di intervento, si presenta come una successione litostratigrafica come di seguito riportato (le quote sono espresse come m di profondità rispetto al piano campagna p.c.=-1,0 m da 0 RIF.):

da 0,0 a 0,3 m	Terreno vegetale
da 0,3 a 1,0 m	Argilla
oltre 1,0 m	Ghiaie, ciottoli in matrice sabbiosa grossolana

Falda assente entro le profondità indagate; dalle conoscenze locali la falda superficiale (con origine di versante) presenta un livello statico > 20 m dal p.c., con escursioni verticali stagionali poco significative.

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

PIANO DI IMPOSTA E TIPO DI FONDAZIONE

La ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo ha consentito di individuare, al di sotto dell'orizzonte superficiale argilloso **(orizzonte A)** fino a 1,0m di profondità dal p.c. (2,0 m dallo 0 RIF.), un **orizzonte B** portante a sabbie ghiaie con ciottoli in matrice argillosa rinvenuto fino alle massime profondità investigate.

Le caratteristiche mostrate dai terreni della zona consentono di ritenere geomeccanicamente uniforme l'intera superficie indagata, permettendo quindi di ipotizzare una uniforme distribuzione dei carichi strutturali e di progetto, limitando il pericolo di cedimenti differenziali.

Valutate pertanto le caratteristiche idrogeologiche, geomeccaniche e litologiche dei terreni indagati, in relazione alla tipologia strutturale prevista, **è possibile adottare fondazioni superficiali tipo PLINTI,**

Nel caso specifico saranno quindi verificate le seguenti ipotesi fondazionali:

- **PLINTI** avente dimensioni di 4,0 m x 4,0 m con piano d'imposta >=1,1 m da p.c. (>=2,1 m da 0 RIF.), all'interno dell'orizzonte B (Ghiaie, ciottoli in matrice sabbiosa grossolana).

INDAGINI GEOGNOSTICHE

Allo scopo di ottenere utili informazioni tecniche destinate ad una corretta interpretazione delle caratteristiche geologiche dei terreni di fondazione dell'opera in progetto sono state eseguite le seguenti indagini:

- n. 6 prove penetrometriche DINAMICHE SCPT (prove P1÷P6);
- n. 2 scavi esplorativi (Trincee T1÷T2)
- Per la definizione della categoria sismica del suolo di fondazione ai sensi dell'O.P.C.M. n. 3274 del 20 Marzo 2003 è stata eseguita **n.1 prova sismica tipo MASW e una HVSR**.

L'ubicazione delle prove eseguite viene riportata nella planimetria allegata.

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

Prove Penetrometriche dinamiche (SCPT)

Allo scopo di ottenere utili informazioni tecniche destinate ad una corretta interpretazione delle caratteristiche geologiche dei terreni di fondazione dell'opera in progetto sono state eseguite n. 6 prove penetrometriche dinamiche; utilizzando un penetrometro dinamico, modello Pagani "Emilia TG 73-200 avente un maglio di 73,0 Kg ,volata 75 cm, angolo di apertura punta 60, aste lunghe 1 metro.

Per le modalità esecutive delle prove penetrometriche ci si è attenuti a quanto specificato nelle "Raccomandazioni sulla Programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" a cura della Associazione Geotecnica Italiana 1977.

Le prove dinamiche (SCPT) consistono nell'infiggere nel terreno una punta conica di dimensioni standard utilizzando una massa battente che esercita una energia costante; l'infissione avviene per tratti consecutivi di 30 cm. Su tale spessore costante vengono misurati il numero di colpi necessari alla penetrazione della punta.

Le caratteristiche del penetrometro dinamico utilizzato rispondono alla nuova categoria di standard europeo D.P.S.H. (Dinamic Probing Super Heavy) che presenta le seguenti specifiche tecniche:

- Passo di lettura	30 cm.
- Peso massa battente (Maglio)	M = 73 Kg
- Altezza di caduta libera del maglio	H = 0,75 m
- Area della punta	20 cm^2
- Angolo al vertice della punta	90°
- Peso delle aste:(peso/m)	Ma = 6 Kg/m
- Massa passiva	4,2 Kg

Le tabelle e i diagrammi di interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche vengono riportati in allegato.

PROVA SISMICA MASW E HVSR

MODELLO GEOFISICO MEDIO – Via Gardesana – Prevalle (BS)						
Sismostrato	Vs (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)	Stima densità (g/cm³)	Modulo di Poisson	Modulo di Taglio (MPa)
1	160	0,9	-0,9	1,78	0,33	45
2	280	2,6	-3,5	1,90	0,31	149
3	325	2,3	-5,8	1,94	0,32	205
4	405	7,8	-13,6	1,99	0,30	326
5	385	6,0	-19,6	1,98	0,32	294
6	505	5,0	-24,6	2,04	0,30	520
7	590	5,4	-30,0	2,07	0,29	722

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

D.M. 17/01/2018	**Profondità del bedrock sismico**	$Vs_{,eq}$ (m/s)	Categoria di sottosuolo	Valore di Vs,eq calcolato mediante l'espressione 3.2.1 del D.M. 17/01/2018 $V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$ Categoria di sottosuolo assegnata in base a quanto indicato nella Tabella 3.2 II
Calcolo a partire dal ripiano di esecuzione MASW (p.c.)	Oltre -30,0 m dal p.c.	395	B	

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

SISMICITA' DELL'AREA

Con l'introduzione dell'O.P.C.M. n. 3274 del 20 Marzo 2003 e succ. modif. sono stati rivisti i criteri per l'individuazione delle zone sismiche. Inoltre sono state definite le norme tecniche per la progettazione di nuovi edifici, di nuovi ponti, per le opere di fondazione, per le strutture di sostegno. La suddetta ordinanza riporta, sino alla deliberazione delle regioni (cosa che in Lombardia è avvenuto con la D.g.r. 11 luglio 2014 - n. X/2129), le nuove classificazioni sismiche individuate sulla base del documento "Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale". In particolare, l'intero territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone.

Nello specifico il territorio comunale di **PREVALLE** ricade, per quanto indicato in Allegato A della D.g.r. 11 luglio 2014 - n. X/2129 "elenco dei comuni con indicazione delle relative zone sismiche e dell'accelerazione massima (agmax) presente all'interno del territorio comunale" **in ZONA 2**.

ISTAT	*Provincia*	*Comune*	*Zona Sismica AgMax*	*Agmax*
03017155	BS	PREVALLE	2	0,159141

Il terreno indagato secondo lo schema presente nell'Ordinanza risulta appartenente alla categoria di **suolo di fondazione tipo "B"**, (*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*) così come specificato al paragrafo 3.1 del Capitolo 3 "Azione sismica" di dette norme.

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. La pericolosità sismica e definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa $\mathbf{a_g}$ in condizioni di campo libero su sito di riferimento con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente Se(T), con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento V_R. In alternativa e ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR}, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $\mathbf{a_g}$ accelerazione orizzontale massima al sito;
- $\mathbf{F_0}$ valore massimo di fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- **T*C** periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per il calcolo dei valori sopra citati sono stati considerati i seguenti parametri in base al tipo di opera in progetto:

- **Vita nominale dell'opera V_N:** intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale e destinata

Tabella 1 – *Vita nominale v_n per diversi tipi di opere*

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali -Strutture in fase costruttiva1	≤ 10
2	**Opere ordinarie**, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

- **Classe d'uso:** classe nella quale sono suddivise le opere, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso

L'opera in progetto appartiene alla Classe d'uso II: costruzioni il cui uso prevede affollamenti normali.

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un ***periodo di riferimento*** V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la ***vita nominale*** N_V per il ***coefficiente d'uso*** C_U :

$$V_R = V_N \times C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso CU e definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella seguente Tabella:

Tabella n. 2 *-Valori del coefficiente d'uso Cu*

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE Cu	0.7	**1.0**	1.5	2.0

Se VR ≤ 35 anni si pone comunque VR = 35 anni

Dopo aver definito la Vita Nominale e la Classe d'uso e possibile, quindi, calcolare il **Periodo di riferimento per l'azione sismica V_R** come:

$$V_R = V_N * C_U = 50*1,0 = \mathbf{50\ anni}$$

Tabella 3 *-riassuntiva*

tipo di costruzione	2
vita nominale	≥ 50
classe d'uso	II
coefficiente Cu	1.0
vita di riferimento $V_r=V_n*C_u$	50

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA -STIMA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA

Le *azioni sismiche di progetto* si definiscono a partire dalla "**pericolosità sismica di base**" del sito di costruzione, che è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo ("periodo di riferimento" V_R espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità e denominata "**Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento**" (P_{VR}) .

La pericolosità sismica e definita in termini di :

- accelerazione orizzontale massima attesa *ag* in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (categoria A, ecc.), con superficie topografica orizzontale (categoria T1; ecc.);
- ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente Se(T), con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R.

Ai fini delle NTC le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR}, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- **ag** accelerazione orizzontale massima al sito;
- **Fo** valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
- **T*C** periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

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

Nel caso specifico dell'areale indagato la conformazione morfologica generale dell'area può essere assoggettata ad un profilo T1 con locali terrazzamenti (o salti di quota) che non modificano nel complesso la planarità generale dei terreni (inclinazioni medie < 15°)

Tabella n.4 -*Categorie topografiche*

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

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA

Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E il *coefficiente di Amplificazione stratigrafica* (Ss) e il *coefficiente funzione della categoria di sottosuolo* (Cc) possono essere calcolati in funzione dei valori di *Fo* (Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e *Tc** (Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella seguente Tabella, nella quale *g* è l'accelerazione di gravita ed il tempo è espresso in secondi:

Tabella n. 5 -*Espressioni di SS e di CC*

CATEGORIA SOTTOSUOLO	S_S	C_C
A	1.00	1.00
B	**1.00 ≤ 1.40 – 0.40 * F0 ag/g ≤ 1.20**	**1.10 * (Tc) -0.20**
C	1.00 ≤ 1.70 – 0.60 * F0 ag/g ≤ 1.50	1.05 * (Tc) -0.33
D	0.90 ≤ 2.40 – 1.50 * F0 ag/g ≤ 1.80	1.25 * (Tc) -0.50
E	1.00 ≤ 2.00 – 1.10 * F0 ag/g ≤ 1.60	1.15 * (Tc) -0.40

AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico ST riportati nella seguente Tabella, in funzione delle categorie topografiche definite in Tabella n.1 e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Tabella n. 6 -*Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica ST*

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	ST
T1		**1.0**
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.4

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica e definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base dove ST assume valore unitario.

L'elaborazione dei dati e stata effettuata mediante l'utilizzo del programma **GEOSTRU**, da cui sono stati ottenuti i seguenti **parametri sito-specifici**:

Determinazione dei parametri sismici

(1)* Coordinate WGS84

Lat. 45.559547° Long. 10.423167°

(1)* Coordinate ED50

Lat. 45.560468° Long. 10.424200°

Classe dell'edificio

Vita nominale

(Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100)

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

Parametri sismici
Categoria sottosuolo: B
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento per l'azione sismica: 50 anni
Coefficiente cu: 1,0
In funzione della probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} vengono calcolati i valori ag, F_0, T*C e del periodo di ritorno:

Tabella 7 – *Probabilità di superamento* P_{VR} *al variare dello stato limite considerato*

Stati limite

Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

Vita Nominale 50

Interpolazione Media ponderata

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.041	2.590	0.217
Danno (SLD)	50	0.056	2.507	0.239
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.158	2.457	0.266
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.206	2.452	0.277
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Dove:

SLE = stati limite di esercizio

SLO = stato limite di operatività: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
SLD = stato limite di danno: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacita di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

SLU = stati limite ultimi

SLV = stato limite di salvaguardia della vita: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte di resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
SLC = stato limite di prevenzione del collasso: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli nei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Tabella n. 8 - *Coefficienti sismici stati limite*

Coefficienti sismici

Tipo: Stabilità dei pendii e fondazioni

☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): 1

us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: B

Cat. Topografica: T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
CC Coeff. funz categoria	1,49	1,46	1,43	1,42
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²] 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.010	0.013	0.046	0.069
kv	0.005	0.007	0.023	0.035
Amax [m/s²]	0.483	0.658	1.861	2.425
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E GEOTECNICA

Le evidenze dirette dello scavo esplorativo eseguito, unitamente alle conoscenze geologiche acquisite dallo scrivente riguardo le caratteristiche medio generali del territorio comunale dell'area, hanno permesso di ricostruire l'assetto litostratigrafico del sottosuolo e, contestualmente, di caratterizzare dal punto di vista geotecnico i terreni interessati dalle fondazioni delle opere in progetto.

Modello litostratigrafico del sottosuolo

La ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo ha consentito di individuare, al di sotto dell'orizzonte superficiale argilloso **(orizzonte A)** fino a 1,0m di profondità dal p.c. (2,0 m dallo 0 RIF.), un **orizzonte B** portante a sabbie ghiaie con ciottoli in matrice argillosa rinvenuto fino alle massime profondità investigate.

Le quote riportate nella sottostante tabella sono riferite al p.c.= -1,0 m da 0 RIF.

A	(da 0,0 m a 1,0 m) Argilla compatta
B	(Oltre 1,0 m) Sabbie ghiaie con ciottoli in matrice argillosa

Modello geomeccanico

Nella seguente tabella, viene riportato il profilo geotecnico dei livelli riconosciuti, suddivisi in base delle seguenti caratteristiche: litologia prevalente, stato di addensamento e proprietà fisico-meccaniche; per ciascuna grandezza fisica considerata, è stato riportato un range di valori di riferimento.

Orizzonte A – Argilla (da 0,0 m a 1,0 m dal p.c.)			
Parametri	Simbolo	Unità di misura	Valore
Addensamento			compatto
Peso di volume	g	t/m^3	2,0
Angolo di attrito	Ø	°	-
Coesione non drenata	Cu	Kg/cm^2	1,0
Coesione efficace	C'	Kg/cm^2	0,3
Modulo edometrico	E	Kg/cm^2	110
Densità relativa	Dr	%	-

Orizzonte B – Sabbie ghiaie con ciottoli in matrice argillosa (oltre 1,0 m dal p.c.)			
Parametri	Simbolo	Unità di misura	Valore
Addensamento			BEN COSTIPATO
Peso di volume	g	t/m^3	2,0
Angolo di attrito	Ø	°	32
Coesione non drenata	Cu	Kg/cm^2	-
Modulo elastico	E	Kg/cm^2	250
Densità relativa	Dr	%	60

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

DETERMINAZIONE DELLE RESISTENZE (Rd)

Per ogni stato limite per perdita di equilibrio (EQU) deve essere rispettata la condizione:

$$E_{inst,d} <= E_{stb,d}$$

dove $E_{inst,d}$ è il valore di progetto dell'azione instabilizzante, $E_{stb,d}$ è il valore di progetto dell'azione stabilizzante.

La verifica della suddetta condizione deve essere eseguita impiegando come fattori parziali per le azioni i valori γF riportati nella colonna EQU della tabella 6.2.I.

Per ogni stato limite ultimo che preveda il raggiungimento della resistenza di un elemento strutturale (STR) o del terreno (GEO) deve essere rispettata la condizione:

$$E_d <= R_d \quad [6.2.1]$$

essendo Ed il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione, definito dalle relazioni [6.2.2a] o [6.2.2b]

$$E_d = E\left[\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d\right] \quad [6.2.2a]$$

$$E_d = \gamma_E \cdot E\left[F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d\right] \quad [6.2.2b]$$

e Rd è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico definito dalla relazione [6.2.3].

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R\left[\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d\right] \quad [6.2.3]$$

essendo E_d il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione.

Effetto delle azioni e resistenza di progetto sono espresse nelle [6.2.2a] e [6.2.3] rispettivamente in funzione delle azioni di progetto γFFk, dei parametri geotecnici di progetto Xk/γM e dei parametri geometrici di progetto ad. Il coefficiente parziale di sicurezza γR opera direttamente sulla resistenza del sistema. L'effetto delle azioni di progetto può anche essere valutato diret- tamente con i valori caratteristici delle azioni come indicato dalla [6.2.2b] con γE = γF.

la verifica della condizione [6.2.1] deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

Nel primo approccio progettuale *(Approccio 1)* le verifiche si eseguono con due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti ognuna delle quali può essere critica per differenti aspetti dello stesso progetto.

Nel secondo approccio progettuale **(Approccio 2)** le verifiche si eseguono con

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

un'unica combinazione di gruppi di coefficienti.

I fattori parziali per il gruppo R1 sono sempre unitari; quelli del gruppo R2 possono essere maggiori o uguali all'unità e, in assenza di indicazioni specifiche per lo stato limite ultimo considerato, devono essere scelti dal progettista in relazione alle incertezze connesse con i procedimenti adottati.

Azioni

I coefficienti parziali γF relativi alle azioni sono indicati nella Tab. 6.2.I. Si deve comunque intendere che il terreno e l'acqua costituiscono carichi permanenti (strutturali) quando, nella modellazione utilizzata, contribuiscono al comportamento dell'opera con le loro caratteristiche di peso, resistenza e rigidezza.

Tab. 6.2.I – *Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni*

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti G_2 [1]	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Q}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

[1] Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

Resistenze

Il valore di progetto della resistenza Rd può essere determinato:

a) in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale γM specificato nella successiva Tab. 6.2.II e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali γR specificati nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;

b) in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati di prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali γR riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;

c) sulla base di misure dirette su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali γR riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera.

Tab. 6.2.II – *Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno*

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

Nelle verifiche di sicurezza per le FONDAZIONI SUPERFICIALI devono essere presi in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo, sia a breve sia a lungo termine.

Gli stati limite ultimi delle fondazioni superficiali si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono la fondazione stessa.

Nel caso di fondazioni posizionate su o in prossimità di pendii naturali o artificiali deve essere effettuata la verifica anche con riferimento alle condizioni di stabilità globale del pendio includendo nelle verifiche le azioni trasmesse dalle fondazioni.

Le verifiche devono essere effettuate almeno nei confronti dei seguenti stati limite, accertando che la condizione [6.2.1] sia soddisfatta per ogni stato limite considerato:

- SLU di tipo geotecnico (GEO)
- collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno;
- collasso per scorrimento sul piano di posa;
- stabilità globale.
- SLU di tipo strutturale (STR)
- raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

La verifica di stabilità globale deve essere effettuata secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici e nella Tab. 6.8.I per le resistenze globali.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate applicando la **combinazione (A1+M1+R3) di coefficienti parziali prevista dall'Approccio 2**, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I.

Nelle verifiche nei confronti di SLU di tipo strutturale (STR), il coefficiente γR non deve essere portato in conto.

Tab. 6.4.I – *Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali*

Verifica	Coefficiente parziale
	(R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

L'analisi della capacità portante del terreno, ossia la verifica agli SLU di collasso per carico limite dell'insieme fondazione – terreno per l'ipotesi *di FONDAZIONE*, è stata effettuata con l'ausilio di specifico programma di calcolo "Loadcap" (con licenza concessa da "Geostru S.r.l.") eseguita in CONDIZIONI DRENATE.
Il calcolo è stato effettuato con il metodo di **Brinch-Hansen**, ritenuto il più idoneo per il caso in esame:

$$Q_{lim} = 1/2*B*\gamma*N\gamma*s\gamma*i\gamma*b\gamma*g\gamma*z\gamma + c*Nc*sc*ic*bc*gc*dc*zc + \\ +q*Nq*sq*iq*bq*gq*dq*zq$$

dove :

*N**c** N**q** Nγ*	=	*Fattori di capacità portante dipendenti dall'angolo di resistenza al taglio;*
*s**c** s**q** sγ*	=	*Fattori di forma della fondazione;*
*i**c** i**q** iγ*	=	*Fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del carico;*
*b**c** b**q** bγ*	=	*Fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione della base;*
*g**c** g**q** gγ*	=	*Fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del p. c.;*
*z**c** z**q** zγ*	=	*Fattori correttivi che tengono dell'inerzia dovuta al sisma (solo per condizioni dinamiche)*
*D**c** d**q***	=	*Fattori dipendenti dalla profondità del piano di posa;*
γ	=	*Peso specifico del terreno sotto il piano di fondazione;*
q	=	*Carico litostatico presente sopra il piano di fondazione (proporzionale al all'altezza del confinamento laterale);*
Q_{lim}	=	*Capacità portante determinata allo stato limite ultimo*

Di seguito vengono riassunti i risultati ottenuti in riferimento alle diverse configurazioni fondazionali considerate ed **utilizzando l'*Approccio 2***, come indicato dalla normativa, allo scopo di dare utili indicazioni allo strutturista.
Nelle tabelle seguenti si riportano i valori calcolati delle Resistenze (*Rd*), depurate del fattore di sicurezza a partire dai valori di *Qlim*, per le seguenti ipotesi di fondazione:

- **PLINTI** avente dimensioni di 4,0 m x 4,0 m con piano d'imposta >=1,1 m da p.c. (>=2,1 m da 0 RIF.), all'interno dell'orizzonte B (Ghiaie, ciottoli in matrice sabbiosa grossolana).

PLINTI

profondità di imposta: **>=2,1 m da 0 RIF. (orizzonte B)**
Dimensioni FONDAZIONE: **4,0 m x 4,0 m**

CONDIZIONI STATICHE

APPROCCIO	Combinazione	Q_{lim} (Kg/cm^2)	γ_R	**Rd** (Kg/cm^2)	Cedimento(cm) $Q_{SLE = 1,5}$ Kg/cm^2
2	**1 (A1+M1+R3)**	**5,06**	**2,3**	**2,2**	0,5

coefficiente di sottofondazione K Winkler = 3,0 Kg/cm^3

CONDIZIONI SISMICHE*

APPROCCIO	Combinazione	Q_{lim} (Kg/cm^2)	γ_R	**Rd** (Kg/cm^2)
2	**1 (A1+M1+R3)**	**4,83**	**2,3**	**2,1**

*i parametri di resistenza sono stati calcolati applicando i fattori correttivi previsti dal metodo Richards et al. (1993).

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

CALCOLO DEI CEDIMENTI

Nel dimensionamento delle fondazioni è necessario tener conto non solo della resistenza al taglio dei terreni, ma anche dei cedimenti indotti dal carico applicato.
Tali cedimenti dovranno essere ovviamente inferiori ad un valore critico che, se superato, potrebbe generare inconvenienti nella struttura.

E' stata pertanto eseguita una verifica dei cedimenti indotti nel terreno di fondazione nella combinazione di carico massimo di esercizio ipotizzato in precedenza come Q_{SLE} (1,5 kg/cm^2).

Per il calcolo dei cedimenti è stato adottato il metodo dei cedimenti elastici:

I cedimenti di una fondazione rettangolare di dimensioni B×L posta sulla superficie di un semispazio elastico si possono calcolare in base aduna equazione basata sulla teoria dell'elasticità (Timoshenko e Goodier (1951)):

$$\Delta H = q_0 B' \frac{1-\mu^2}{E_s}\left(I_1 + \frac{1-2\mu}{1-\mu} I_2\right) I_F \qquad (1)$$

dove:
q_0 *Intensità della pressione di contatto*
B' *Minima dimensione dell'area reagente,*
E e μ *Parametri elastici del terreno.*
I_i *Coefficienti di influenza dipendenti da: L'/B', spessore dello strato H, coefficiente di Poisson μ, profondità del piano di posa D;*

I coefficienti I_1 e I_2 si possono calcolare utilizzando le equazioni fornite da Steinbrenner (1934) (V. Bowles), in funzione del rapporto L'/B' ed H/B, utilizzando B'=B/2 e L'=L/2 per i coefficienti relativi al centro e B'=B e L'=L per i coefficienti relativi al bordo.

Il coefficiente di influenza I_F deriva dalle equazioni di Fox (1948), che indicano il cedimento si riduce con la profondità in funzione del coefficiente di Poisson e del rapporto L/B.
In modo da semplificare l'equazione (1) si introduce il coefficiente I_S:

$$I_S = I_1 + \frac{1-2\mu}{1-\mu} I_2$$

Il cedimento dello strato di spessore H vale:

$$\Delta H = q_0 B' \frac{1-\mu^2}{E_S} I_S I_F$$

Per meglio approssimare i cedimenti si suddivide la base di appoggio in modo che il punto si trovi in corrispondenza di uno spigolo esterno comune a più rettangoli. In pratica si moltiplica per un fattore pari a 4 per il calcolo dei cedimenti al centro e per un fattore pari a 1 per i cedimenti al bordo.
Nel calcolo dei cedimenti si considera una profondità del bulbo delle tensioni pari a 5B, se il substrato roccioso si trova ad una profondità maggiore.
A tal proposito viene considerato substrato roccioso lo strato che ha un valore di E pari a 10 volte dello strato soprastante.
Il modulo elastico per terreni stratificati viene calcolato come media pesata dei moduli elastici degli strati interessati dal cedimento immediato.

Nella tabella riportata alla pagina precedente, nell'ultima colonna a destra, sono indicati i cedimenti indotti dai PLINTI impostati alle relative profondità dallo 0 RIF., che esercitano un sovraccarico pari alla Pressione di lavoro massima stabilita in precedenza (Q_{SLE}).
Come si può notare i cedimenti ottenuti con le ipotesi di fondazione indicate sono compatibili con le strutture di progetto.

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Ai sensi della Legge 64/74, del D.M. 19/6/1984 e dell'attuale D.M. 17/01/2018, in aree classificate sismiche deve essere valutata la possibilità che insorgano fenomeni di liquefazione del terreno di fondazione in seguito alle vibrazioni prodotte dalle scosse telluriche.

I fenomeni di liquefazione possono verificarsi in particolari condizioni, come quelle indotte da un sisma di Magnitudo superiore a 6, in terreni a granulometria fine (sabbioso-limosi), allo stato sciolto o poco addensato, in falda oppure interessati dalla oscillazione della falda stessa.

Al paragrafo 7.11.3.4 del DM 17.01.2018 è ribadito che tali analisi possono essere omesse quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N1)60 > 30 oppure qc1N > 180 dove (N1)60 è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc1N 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 Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc < 3,5 e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc > 3,5.

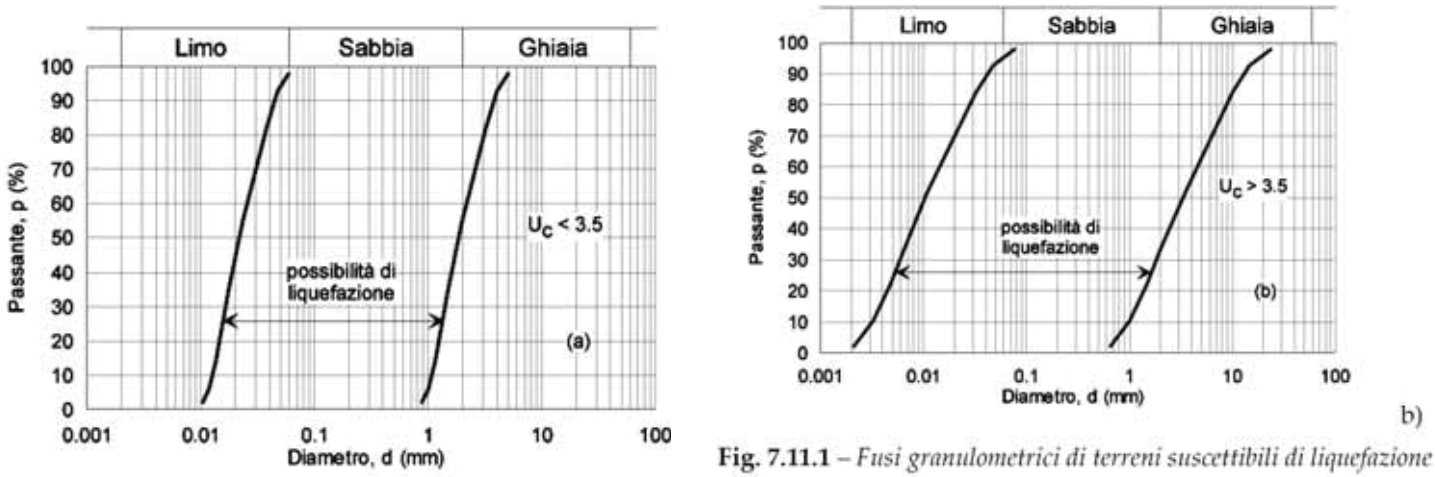


Fig. 7.11.1 – *Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione*

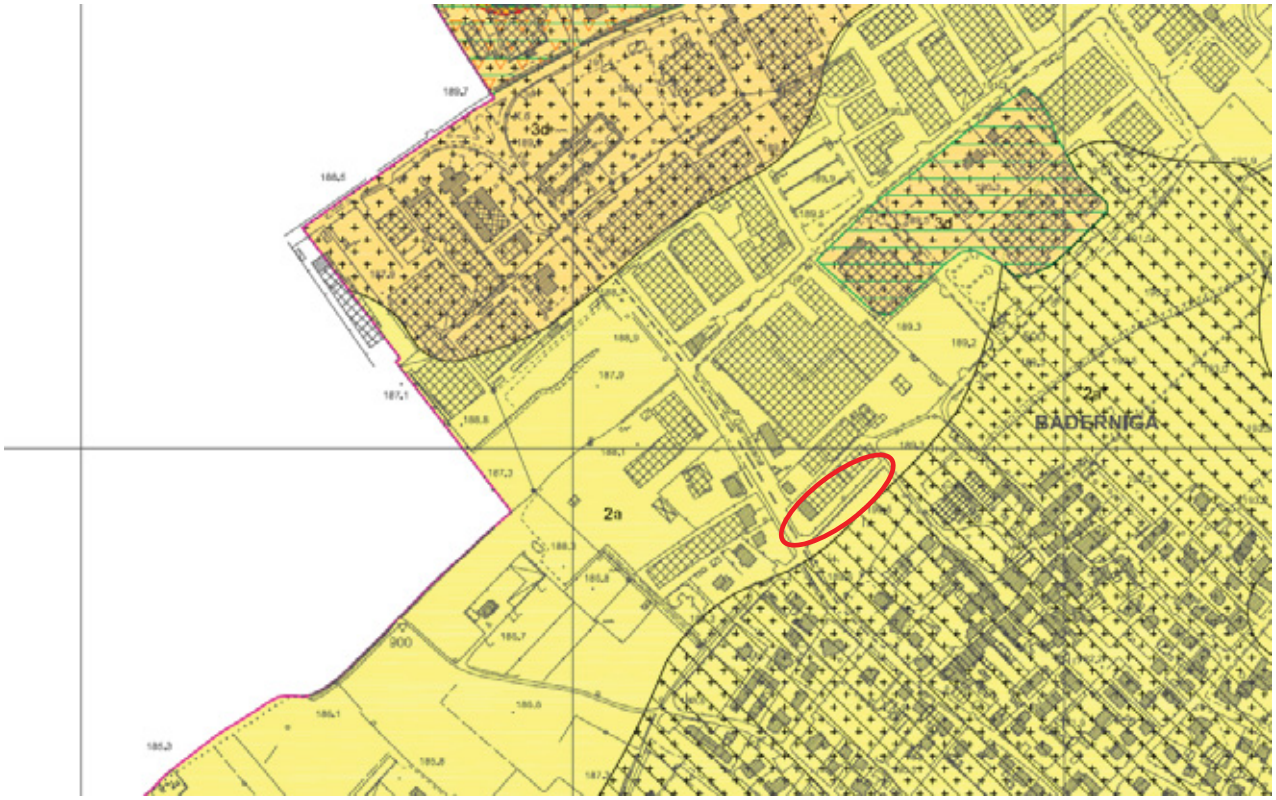
Nel nostro caso sono verificate la n.2 e la n.4, quindi l'analisi della liquefazione può essere omessa.

Il substrato di fondazione dell'area in oggetto, si presenta, come dimostrano le risultanze dell'indagine eseguita, costituito ghiaia e ciottoli costipati.

Considerato quindi la profondità della falda acquifera (>20m) e la presenza della componente ghiaiosa grossolana, è possibile ritenere che nelle condizioni di progetto non siano prevedibili incipienti fenomeni di liquefazione per i terreni di fondazione in seguito ad un evento sismico.

VERIFICA DELLA FATTIBILITÀ GEOLOGICA AI SENSI DELLA D.G.R. 2616/2011

LA CARTA DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA allegata al PGT, redatta ai sensi della L.R. 12/05 (vedi stralcio allegato), attribuisce all'area in esame una CLASSE DI FATTIBILITÀ 2a "fattibilità con modeste limitazioni" aree a media vulnerabilità della falda.



Art. 3 - CLASSE 2 - FATTIBILITA' CON MODESTE LIMITAZIONI

2a - Aree di pianura a media vulnerabilità della falda.

3d - Aree caratterizzate da terreni con caratteristiche geotecniche da mediocri a scadenti

SCENARI PSL Z4a e Z4d con valori locali di Fa di sito > Fa di soglia (edifici con periodo 0,1s-0,5s)

Fig.3: Estratto carta fattibilità geologica PGT comunale

Considerati i risultati ottenuti nel corso della presente indagine redatti in prospettiva sismica, non vi sono particolari prescrizioni nell'attuazione delle future strutture di progetto.
Da un punto di vista del rischio idraulico ed idrogeologico locale non si rilevano particolari fattori limitativi o di rischio.

Ai sensi della D.G.R. 2616/2011, si ritiene pertanto fattibile da un punto di vista geologico, idrogeologico e sismico l'intervento prospettato.

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

CONCLUSIONI

L'indagine eseguita ha consentito di giungere ad una caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione, consentendo di verificare la fattibilità dell'intero progetto.
Dal punto di vista geologico tecnico nulla osta all'esecuzione dei lavori, purché siano rispettate le prescrizioni riportate in precedenza e qui riassunte:

- **Si tenga presente che la superficie scelta come quota 0 di RIFERIMENTO per tutte le quote indicate nella relazione è il PIANO PIAZZALE ESISTENTE. Il piano campagna su cui sono state eseguite le indagini è ribassato di -1,0 m dallo 0 RIF.**
- Categoria sismica di suolo considerato: **tipo "B";**
- **Falda assente entro le profondità indagate; dalle conoscenze locali la falda superficiale (con origine di versante) presenta un livello statico > 20 m dal p.c., con escursioni verticali stagionali poco significative.**
- Tipologia di fondazioni verificate:
  - **PLINTI** aventi dimensioni di 4,0 m x 4,0 m con piano d'imposta >=1,1 m da p.c. (>=2,1 m da 0 RIF.), all'interno dell'orizzonte B (Ghiaie, ciottoli in matrice sabbiosa grossolana).
- In merito ai valori di resistenza del terreno si veda quanto indicato alla pag. 21.
- cedimenti: **accettabili i secondari.**

Spetta alla Direzione Lavori verificare che il piano di posa delle fondazioni sia solido e non costituito da materiale alterato; in particolare la D.L. dovrà verificare che l'imposta della fondazione non ricada su materiali riportati e che il substrato corrisponda a quanto descritto nella presente relazione.
Si rimane pertanto a disposizione per ulteriori ed eventuali approfondimenti di indagine e ulteriori sopralluoghi richiesti dalla DL qualora in fase di inizio dei lavori si presentasse una situazione diversa da quella prospettata.

Orzinuovi, 12/09/2025

ORDINE DEI GEOLOGI LOMBARDIA
Dr. Geologo GUIDO TORRESANI n. 1141

COROGRAFIA - Scala 1: 10.000

localizzazione dell'area oggetto dell'indagine geologico-tecnica

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

PLANIMETRIA CON UBICAZIONE INDAGINI ESEGUITE

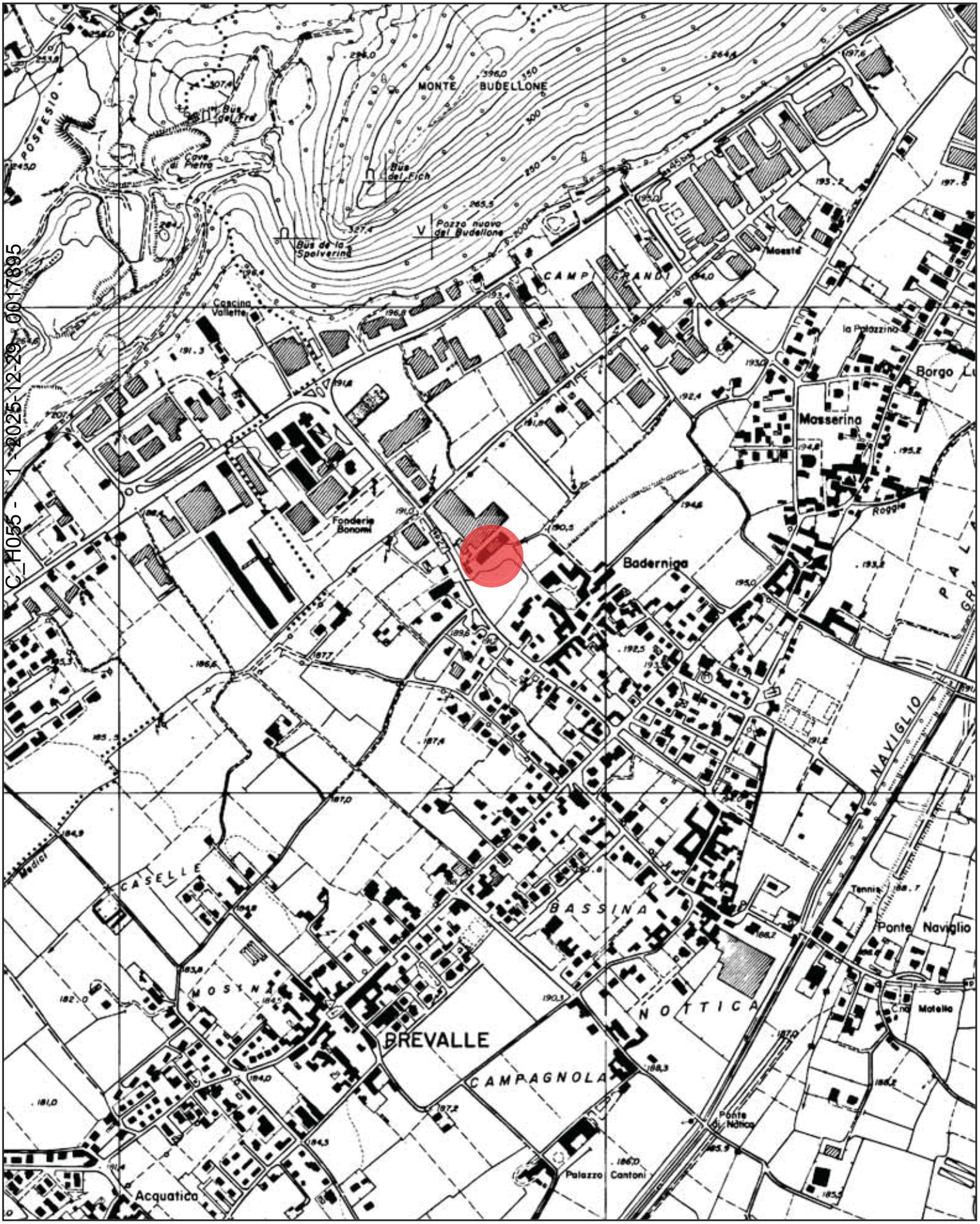
STRATIGRAFIA TRINCEE ESPLORATIVE T1

GRAFICI PROVE PENETROMETRICHE

ASSEVERAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA – MODULO 9

ASSEVERAZIONE RELAZIONE GEOTECNICA – MODULO 10

Ctr 10.000



300m

1:10.000

C_H055 - 1 - 2025-12-29 - 0017895

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

Studio TECNICO BRESCIANI tel. 030 60 1024		Tavola 3
	Progetto SUAP NUOVO CAPANNONE INDUSTRIALE	Scala 1:200
COMUNE DI PREVALLE (BRESCIA)	Oggetto PIANTA PIANO TERRA	Data Gennaio 2024
	Committente / Proprietà O.M.C.S. STAMPI S.R.L.	
Progettista Arch. BRESCIANI GIULIANO		Indirizzo via S.Antonio n. 18 Calvagese della Riviera

Trincea esplorativa T1 - stratigrafia

Località: Prevalle (BS) - Via Gardesana
Committente: O.M.C.S. STAMPI S.R.L.

Scala 1:200	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione
0,3	0,3		Terreno vegetale
0,6 0,9	1,0		Argilla
1,2 1,5	1,5		Ghiaia e ciottoli in matrice argillosa
1,8 2,1			

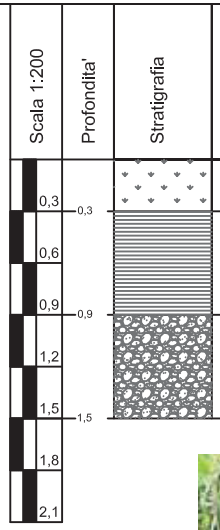
Trincea esplorativa T1 - ubicazione

Località: Prevalle (BS) - Via Gardesana
Committente: O.M.C.S. STAMPI S.R.L.

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

Trincea esplorativa T2 - stratigrafia

Località: Prevalle (BS) - Via Gardesana
Committente: O.M.C.S. STAMPI S.R.L.



Descrizione
Terreno vegetale
Argilla
Ghiaia e ciottoli in matrice argillosa

Trincea esplorativa T2 - ubicazione

Località: Prevalle (BS) - Via Gardesana
Committente: O.M.C.S. STAMPI S.R.L.

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

Prova penetrometrica dinamica P1

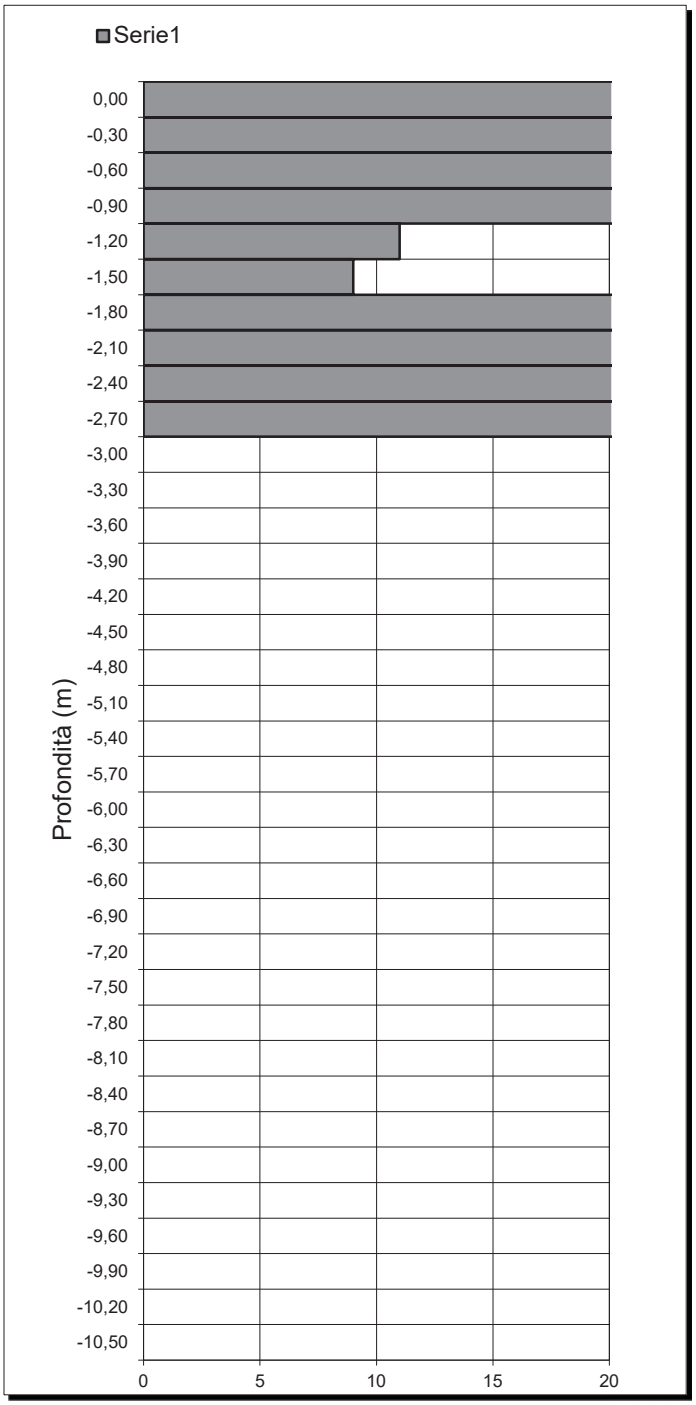
Località: Prevalle (BS) - Via Gardesana

Data: Settembre 2025

Comm.: O.M.C.S. STAMPI S.R.L.

Attrezzatura: Pagani 63/100

Studio di Geologia
Dott. Geol. Guido Torresani
Via G. Bruno, 44
25034 Orzinuovi
Tel: 030 4197172
e-mail: torresani.geologo@gmail.com



Profondità (m)		Colpi Punta (Nscpt)
0,00	-0,30	62
-0,30	-0,60	21
-0,60	-0,90	23
-0,90	-1,20	23
-1,20	-1,50	11
-1,50	-1,80	9
-1,80	-2,10	21
-2,10	-2,40	37
-2,40	-2,70	26
-2,70	-3,00	36
-3,00	-3,30	
-3,30	-3,60	
-3,60	-3,90	
-3,90	-4,20	
-4,20	-4,50	
-4,50	-4,80	
-4,80	-5,10	
-5,10	-5,40	
-5,40	-5,70	
-5,70	-6,00	
-6,00	-6,30	
-6,30	-6,60	
-6,60	-6,90	
-6,90	-7,20	
-7,20	-7,50	
-7,50	-7,80	
-7,80	-8,10	
-8,10	-8,40	
-8,40	-8,70	
-8,70	-9,00	
-9,00	-9,30	
-9,30	-9,60	
-9,60	-9,90	
-9,90	-10,20	
-10,20	-10,50	
-10,50	-10,80	

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

Prova Penetrometrica P1 - ubicazione

Località: Prevalle (BS) - Via Gardesana
Committente: O.M.C.S. STAMPI S.R.L.

Prova penetrometrica dinamica P2

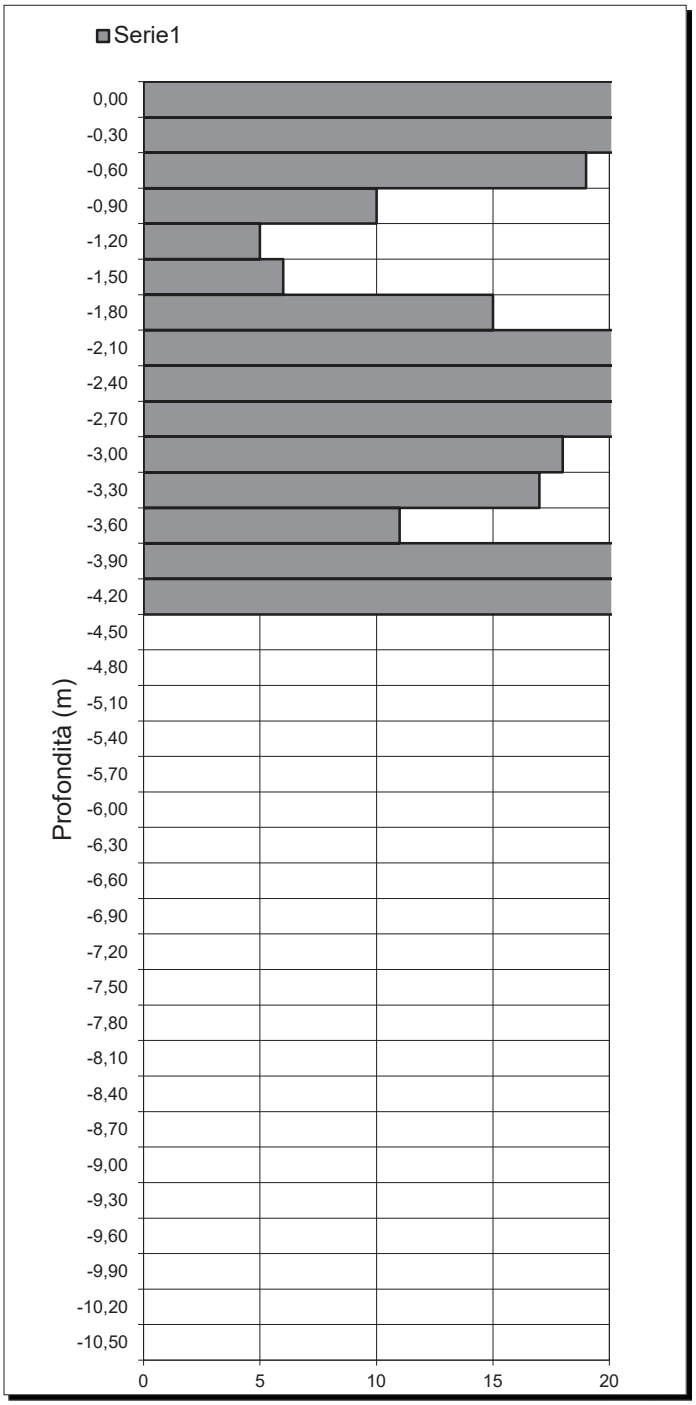
Località: Prevalle (BS) - Via Gardesana

Data: Settembre 2025

Comm.: O.M.C.S. STAMPI S.R.L.

Attrezzatura: Pagani 63/100

Studio di Geologia
Dott. Geol. Guido Torresani
Via G. Bruno, 44
25034 Orzinuovi
Tel: 030 4197172
e-mail: torresani.geologo@gmail.com



Profondità (m)		Colpi Punta (Nscpt)
0,00	-0,30	60
-0,30	-0,60	29
-0,60	-0,90	19
-0,90	-1,20	10
-1,20	-1,50	5
-1,50	-1,80	6
-1,80	-2,10	15
-2,10	-2,40	22
-2,40	-2,70	22
-2,70	-3,00	21
-3,00	-3,30	18
-3,30	-3,60	17
-3,60	-3,90	11
-3,90	-4,20	22
-4,20	-4,50	34
-4,50	-4,80	
-4,80	-5,10	
-5,10	-5,40	
-5,40	-5,70	
-5,70	-6,00	
-6,00	-6,30	
-6,30	-6,60	
-6,60	-6,90	
-6,90	-7,20	
-7,20	-7,50	
-7,50	-7,80	
-7,80	-8,10	
-8,10	-8,40	
-8,40	-8,70	
-8,70	-9,00	
-9,00	-9,30	
-9,30	-9,60	
-9,60	-9,90	
-9,90	-10,20	
-10,20	-10,50	
-10,50	-10,80	

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

Prova Penetrometrica P2 - ubicazione

Località: Prevalle (BS) - Via Gardesana
Committente: O.M.C.S. STAMPI S.R.L.

Prova penetrometrica dinamica P3

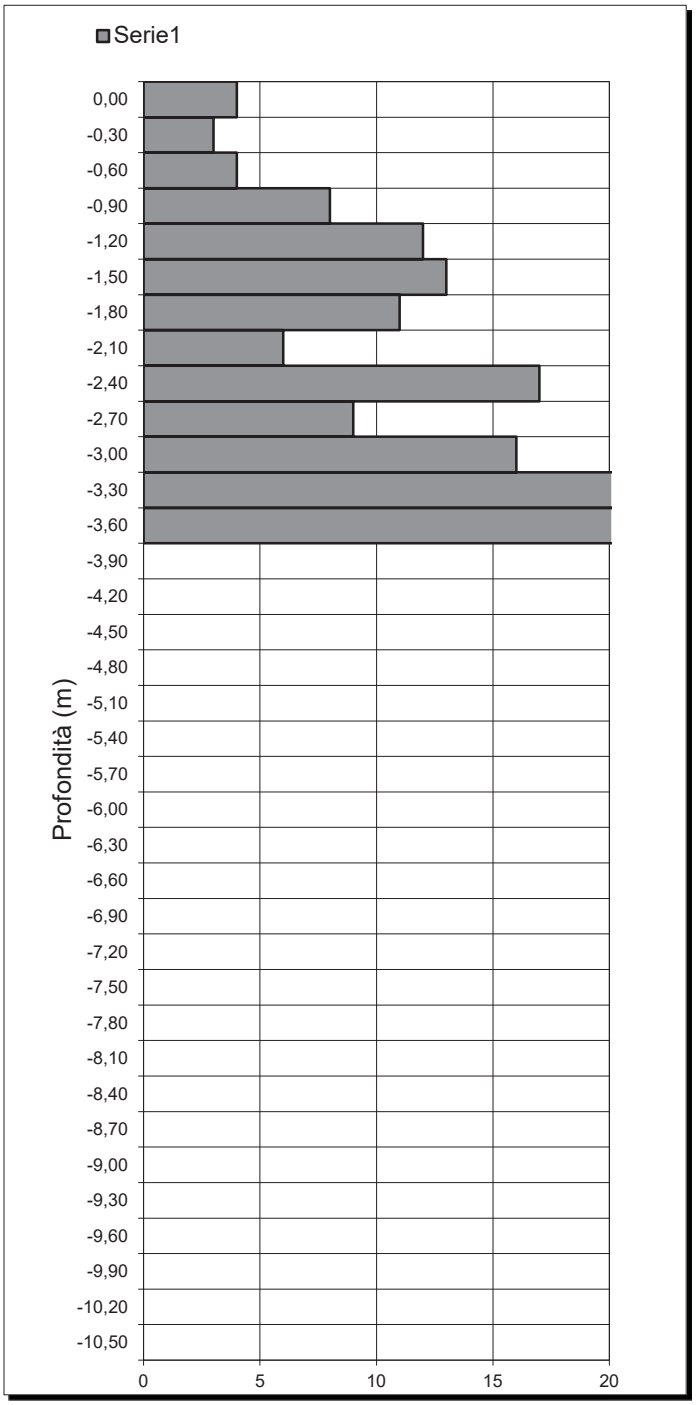
Località: Prevalle (BS) - Via Gardesana

Data: Settembre 2025

Comm.: O.M.C.S. STAMPI S.R.L.

Attrezzatura: Pagani 63/100

Studio di Geologia
Dott. Geol. Guido Torresani
Via G. Bruno, 44
25034 Orzinuovi
Tel: 030 4197172
e-mail: torresani.geologo@gmail.com



Profondità (m)		Colpi Punta (Nscpt)
0,00	-0,30	4
-0,30	-0,60	3
-0,60	-0,90	4
-0,90	-1,20	8
-1,20	-1,50	12
-1,50	-1,80	13
-1,80	-2,10	11
-2,10	-2,40	6
-2,40	-2,70	17
-2,70	-3,00	9
-3,00	-3,30	16
-3,30	-3,60	21
-3,60	-3,90	28
-3,90	-4,20	
-4,20	-4,50	
-4,50	-4,80	
-4,80	-5,10	
-5,10	-5,40	
-5,40	-5,70	
-5,70	-6,00	
-6,00	-6,30	
-6,30	-6,60	
-6,60	-6,90	
-6,90	-7,20	
-7,20	-7,50	
-7,50	-7,80	
-7,80	-8,10	
-8,10	-8,40	
-8,40	-8,70	
-8,70	-9,00	
-9,00	-9,30	
-9,30	-9,60	
-9,60	-9,90	
-9,90	-10,20	
-10,20	-10,50	
-10,50	-10,80	

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

Prova Penetrometrica P3 - ubicazione

Località: Prevalle (BS) - Via Gardesana
Committente: O.M.C.S. STAMPI S.R.L.

Prova penetrometrica dinamica P4

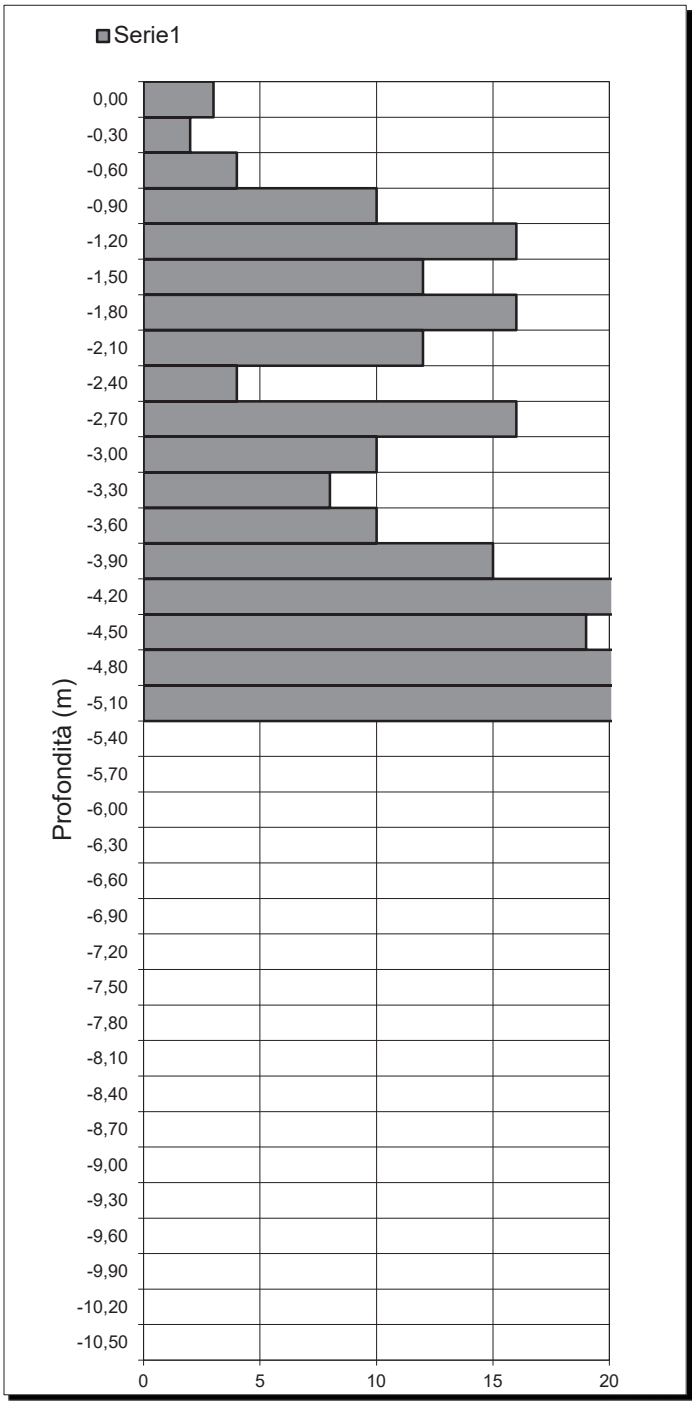
Località: Prevalle (BS) - Via Gardesana

Data: Settembre 2025

Comm.: O.M.C.S. STAMPI S.R.L.

Attrezzatura: Pagani 63/100

Studio di Geologia
Dott. Geol. Guido Torresani
Via G. Bruno, 44
25034 Orzinuovi
Tel: 030 4197172
e-mail: torresani.geologo@gmail.com



Profondità (m)		Colpi Punta (Nscpt)
0,00	-0,30	3
-0,30	-0,60	2
-0,60	-0,90	4
-0,90	-1,20	10
-1,20	-1,50	16
-1,50	-1,80	12
-1,80	-2,10	16
-2,10	-2,40	12
-2,40	-2,70	4
-2,70	-3,00	16
-3,00	-3,30	10
-3,30	-3,60	8
-3,60	-3,90	10
-3,90	-4,20	15
-4,20	-4,50	21
-4,50	-4,80	19
-4,80	-5,10	24
-5,10	-5,40	35
-5,40	-5,70	
-5,70	-6,00	
-6,00	-6,30	
-6,30	-6,60	
-6,60	-6,90	
-6,90	-7,20	
-7,20	-7,50	
-7,50	-7,80	
-7,80	-8,10	
-8,10	-8,40	
-8,40	-8,70	
-8,70	-9,00	
-9,00	-9,30	
-9,30	-9,60	
-9,60	-9,90	
-9,90	-10,20	
-10,20	-10,50	
-10,50	-10,80	

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

Prova Penetrometrica P4 - ubicazione

Località: Prevalle (BS) - Via Gardesana
Committente: O.M.C.S. STAMPI S.R.L.

Prova penetrometrica dinamica P5

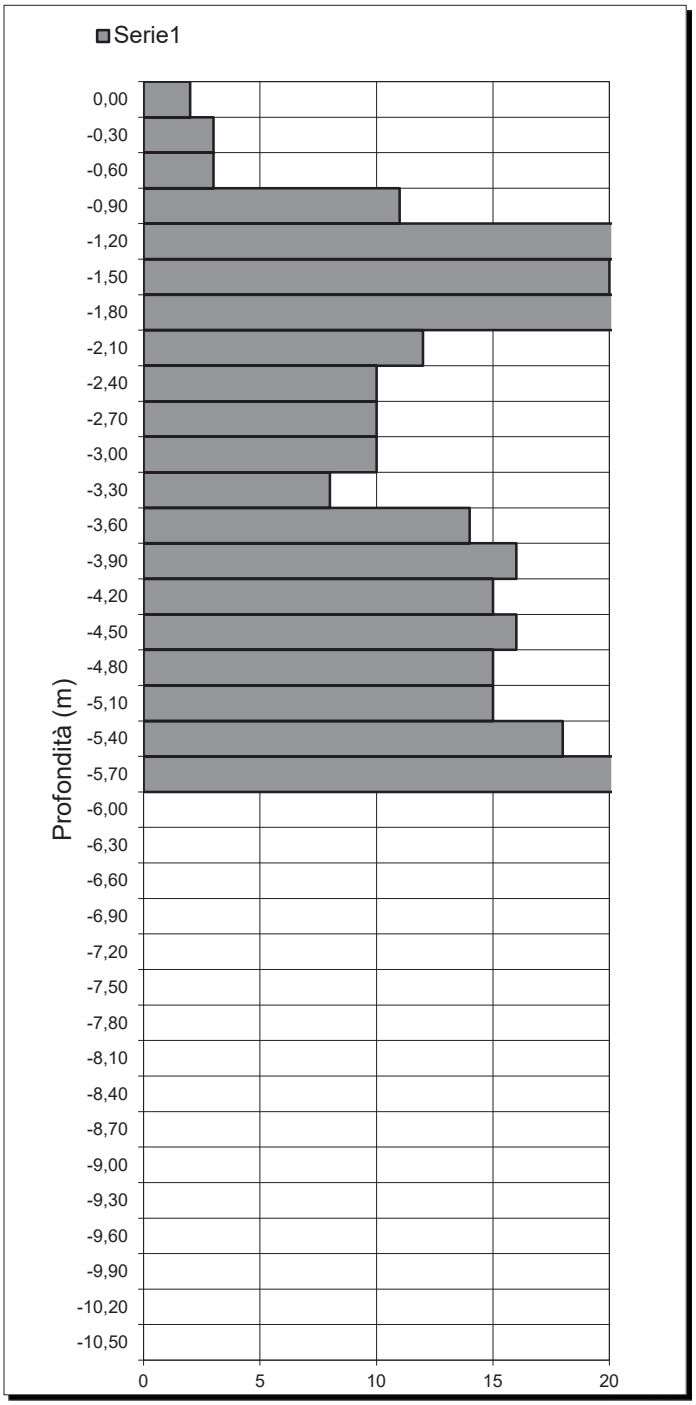
Località: Prevalle (BS) - Via Gardesana

Data: Settembre 2025

Comm.: O.M.C.S. STAMPI S.R.L.

Attrezzatura: Pagani 63/100

Studio di Geologia
Dott. Geol. Guido Torresani
Via G. Bruno, 44
25034 Orzinuovi
Tel: 030 4197172
e-mail: torresani.geologo@gmail.com



Profondità (m)		Colpi Punta (Nscpt)
0,00	-0,30	2
-0,30	-0,60	3
-0,60	-0,90	3
-0,90	-1,20	11
-1,20	-1,50	33
-1,50	-1,80	20
-1,80	-2,10	22
-2,10	-2,40	12
-2,40	-2,70	10
-2,70	-3,00	10
-3,00	-3,30	10
-3,30	-3,60	8
-3,60	-3,90	14
-3,90	-4,20	16
-4,20	-4,50	15
-4,50	-4,80	16
-4,80	-5,10	15
-5,10	-5,40	15
-5,40	-5,70	18
-5,70	-6,00	21
-6,00	-6,30	
-6,30	-6,60	
-6,60	-6,90	
-6,90	-7,20	
-7,20	-7,50	
-7,50	-7,80	
-7,80	-8,10	
-8,10	-8,40	
-8,40	-8,70	
-8,70	-9,00	
-9,00	-9,30	
-9,30	-9,60	
-9,60	-9,90	
-9,90	-10,20	
-10,20	-10,50	
-10,50	-10,80	

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

Prova Penetrometrica P5 - ubicazione

Località: Prevalle (BS) - Via Gardesana
Committente: O.M.C.S. STAMPI S.R.L.

Prova penetrometrica dinamica P6

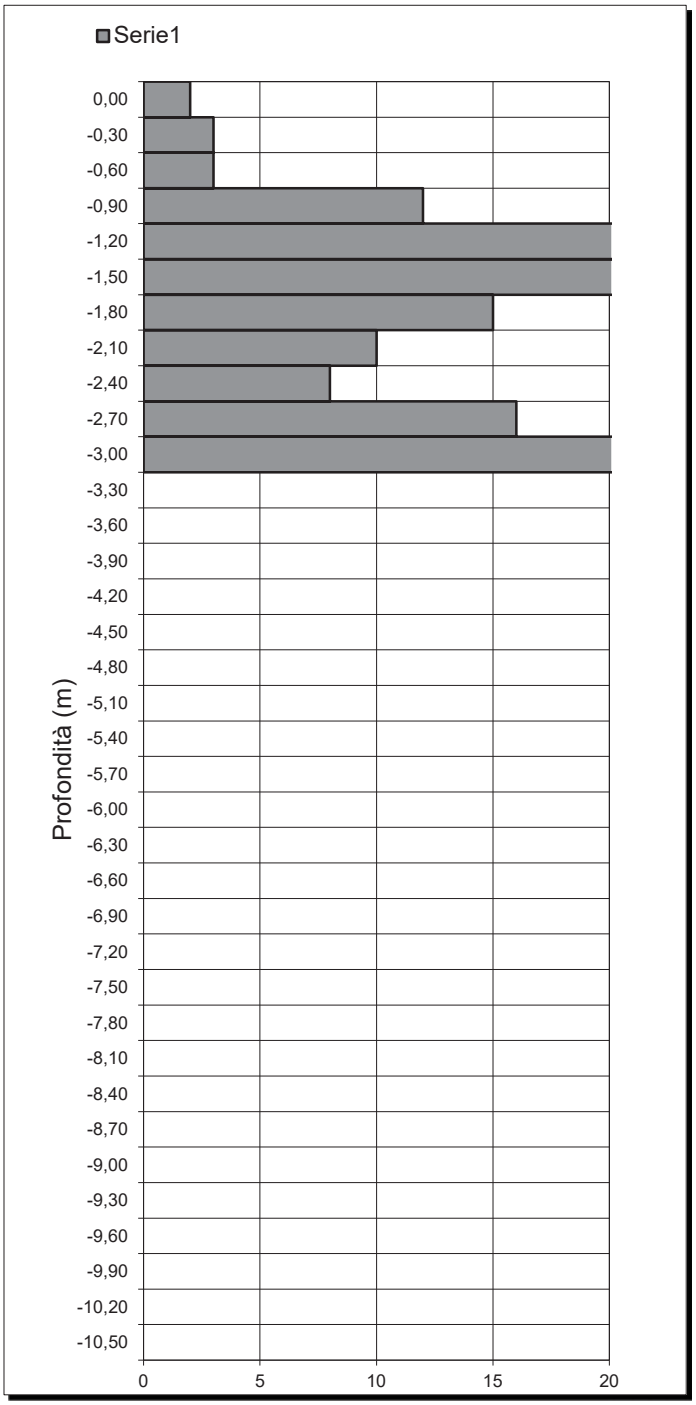
Località: Prevalle (BS) - Via Gardesana

Data: Settembre 2025

Comm.: O.M.C.S. STAMPI S.R.L.

Attrezzatura: Pagani 63/100

Studio di Geologia
Dott. Geol. Guido Torresani
Via G. Bruno, 44
25034 Orzinuovi
Tel: 030 4197172
e-mail: torresani.geologo@gmail.com



Profondità (m)		Colpi Punta (Nscpt)
0,00	-0,30	2
-0,30	-0,60	3
-0,60	-0,90	3
-0,90	-1,20	12
-1,20	-1,50	32
-1,50	-1,80	26
-1,80	-2,10	15
-2,10	-2,40	10
-2,40	-2,70	8
-2,70	-3,00	16
-3,00	-3,30	25
-3,30	-3,60	
-3,60	-3,90	
-3,90	-4,20	
-4,20	-4,50	
-4,50	-4,80	
-4,80	-5,10	
-5,10	-5,40	
-5,40	-5,70	
-5,70	-6,00	
-6,00	-6,30	
-6,30	-6,60	
-6,60	-6,90	
-6,90	-7,20	
-7,20	-7,50	
-7,50	-7,80	
-7,80	-8,10	
-8,10	-8,40	
-8,40	-8,70	
-8,70	-9,00	
-9,00	-9,30	
-9,30	-9,60	
-9,60	-9,90	
-9,90	-10,20	
-10,20	-10,50	
-10,50	-10,80	

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

Prova Penetrometrica P6 - ubicazione

Località: Prevalle (BS) - Via Gardesana
Committente: O.M.C.S. STAMPI S.R.L.

Viale Michelangelo, 40 – 25015 Desenzano del Garda (BS)
P.IVA/C.F. 03632850982
Cell: 347 9428449 - mail: info@crestana.it
www.crestana.it

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

COMUNE DI PREVALLE

PROVINCIA DI BRESCIA
Regione Lombardia

ESECUZIONE DI UNA PROSPEZIONE SISMICA M.A.S.W. E DI UNA MISURA DI MICROTREMORE SISMICO H.V.S.R., CON ANALISI CONGIUNTA DEI DATI, IN VIA GARDESANA

RAPPORTO TECNICO

Committente: *Dott. Geol. Guido Torresani*

Data:
29 Agosto 2025

CRESTANA
INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE ED AMBIENTALI

Viale Michelangelo, 40 - 25015 Desenzano del Garda (BS)
Cell: 347 9428449 - mail: info@crestana.it
www.crestana.it

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

INDICE

1 - PREMESSA 3

2 - ANALISI HVSR 3

2.1 - Cenni sulla metodologia HVSR 3

2.2 - Acquisizione dei dati HVSR 4

2.3 - Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti 4

2.4 - Descrizione dei risultati dell'analisi HVSR 6

3 - INDAGINE SISMICA MASW 7

3.1 - Cenni sulla metodologia MASW 7

3.2 - Acquisizione dei dati MASW 8

3.3 - Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti 8

4 - MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO 11

5 - CONCLUSIONI 13

6 - UBICAZIONE DELLE INDAGINI 14

7 - ALLEGATO FOTOGRAFICO 15

CRESTANA
INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE ED AMBIENTALI

Viale Michelangelo, 40 - 25015 Desenzano del Garda (BS)
Cell: 347 9428449 - mail: info@crestana.it
www.crestana.it

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

1 - PREMESSA

Su incarico conferito dal *Dott. Geol. Guido Torresani* è stata eseguita, in data 28 Agosto 2025, una prospezione geofisica finalizzata alla ricostruzione stratigrafica e sismica dei terreni, nell'ambito di uno Studio Geologico eseguito in un'area ubicata in Via Gardesana, nel comune di Prevalle (BS).

Le indagini in sito sono consistite nell'esecuzione di **n° 1 profilo di sismica multicanale** con acquisizione delle onde di superficie ed elaborazione dati **mediante metodologia MASW,** e **n° 1 indagine sismica passiva con metodo HVSR.**

Mediante tali metodologie è stato possibile ricostruire *l'andamento medio delle velocità delle onde di taglio S* in profondità ed eseguire la valutazione del parametro $\mathbf{Vs_{,eq}}$ di sito, al fine di identificare la *Categoria di Sottosuolo di progetto* (tabelle allegate al *D.M. 17/01/2018*) misurando eventualmente il periodo proprio di vibrazione di sito.

2 - ANALISI HVSR

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

2.1 - Cenni sulla metodologia HVSR

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è basata sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticale del rumore sismico ambientale. La prova a stazione singola consiste nella valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti. Il risultato di questa prova è una curva sperimentale, che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alle quali la curva H/V mostra dei massimi, sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura. L'ampiezza di questi massimi è proporzionale (anche se non linearmente) all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente alla base della copertura.

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

Viale Michelangelo, 40 - 25015 Desenzano del Garda (BS)
Cell: 347 9428449 - mail: info@crestana.it
www.crestana.it

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

2.2 - Acquisizione dei dati HVSR

Nell'area d'indagine è stata eseguita, mediante stazione singola o tromometro, una misura di rumore sismico ambientale per un tempo di registrazione massimo di 15 minuti. La strumentazione utilizzata si compone nello specifico di:

- un sistema di ricezione costituito da un tromometro CGE a 3 componenti geofoniche con frequenza propria di 2 Hz per acquisizioni del microtremore lungo la direzione verticale e le due direzioni orizzontali ortogonali.
- un sistema di acquisizione e memorizzazione costituito da un sismografo modulare in grado di registrare in modo digitale le forme d'onda generate (*Geode Geometrics Mod. ES-3000*); il sismografo A/D è in grado di campionare segnali tra 0.025 ms e 16 ms (campionamento eseguito a 4 ms). Il sistema di acquisizione è completato da un computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.

2.3 - Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti

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

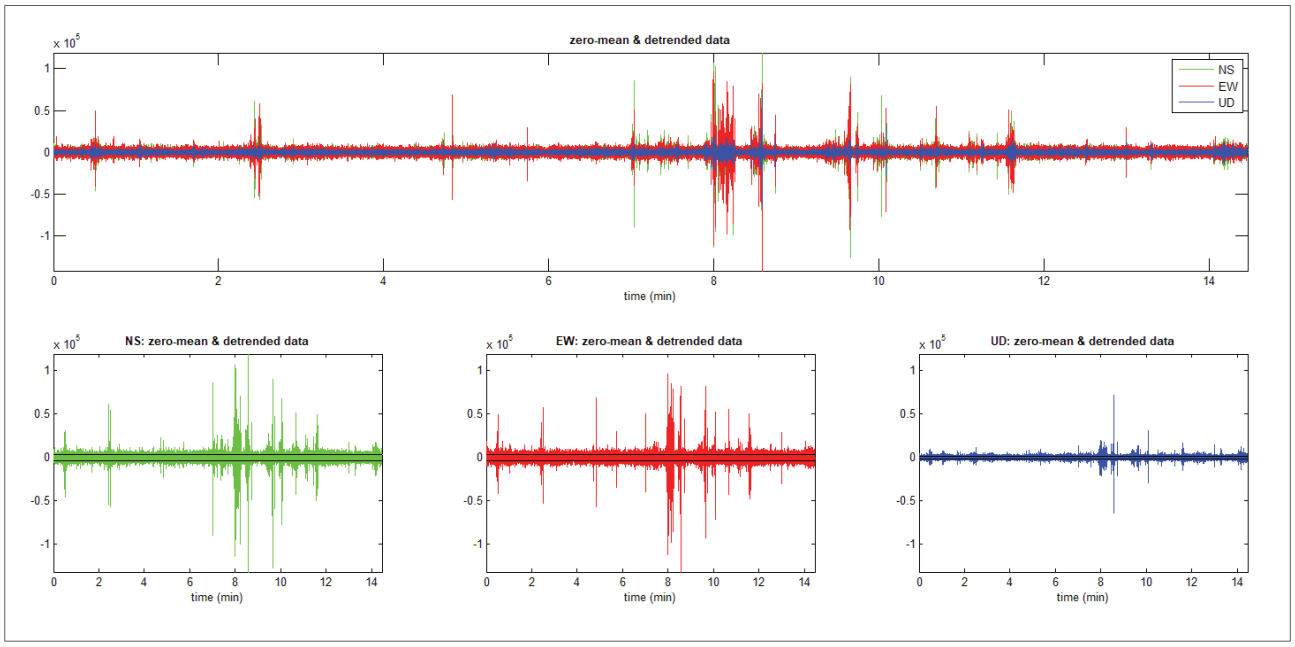


Fig. 1 - *Visualizzazione dei dati dopo la rimozione dei principali eventi transienti.*

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

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

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

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

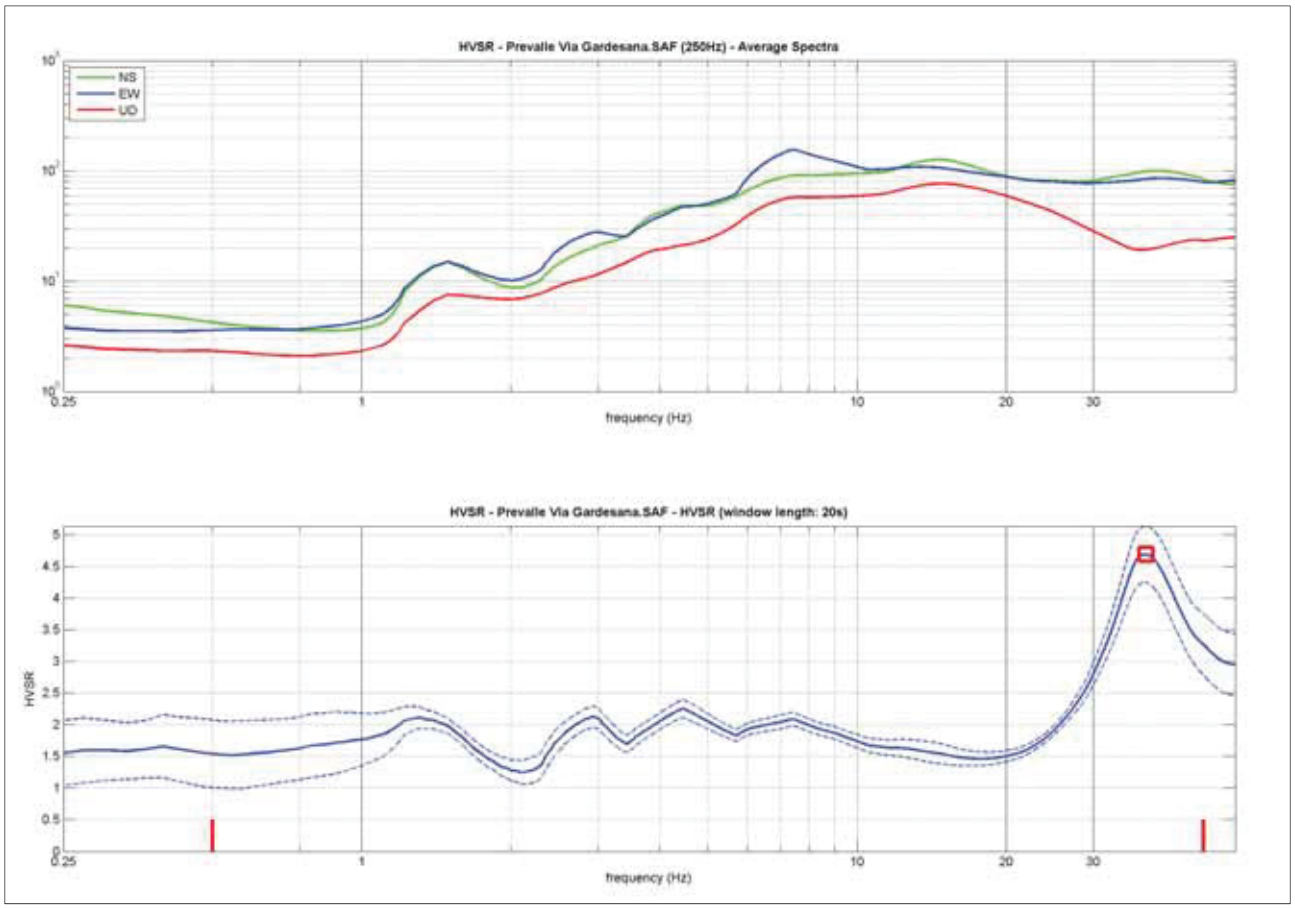


Fig. 2 - *Visualizzazione HVSR e spettro medio di ampiezza del sito indagato.*

Viale Michelangelo, 40 - 25015 Desenzano del Garda (BS)
Cell: 347 9428449 - mail: info@crestana.it
www.crestana.it

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

La curva HVSR indica un picco principale a circa 38,2 Hz; la sua validità viene verificata, mediante software *winMASW*, secondo i criteri di ammissibilità del progetto *SESAME* (che definiscono la robustezza statistica della curva HVSR e degli eventuali picchi presenti).

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

#1. [f0 > 10/Lw]: 38.248 > 0.5 (OK)

#2. [nc > 200]: 63491 > 200 (OK)

#3. [f0>0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)

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

#1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: yes, at frequency 9.6Hz (OK)

#2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: (NO)

#3. [A0 > 2]: 4.7 > 2 (OK)

#4. [fpeak[Ah/v(f) ± sigmaA(f)] = f0 ± 5%]: (OK)

#5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 8.253 > 1.912 (NO)

#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.445 < 1.58 (OK)

2.4 - Descrizione dei risultati dell'analisi HVSR

Il picco a 38,2 Hz con ampiezza pari a 4,7 rispetta tutti i criteri *SESAME* per una curva affidabile; tuttavia, non è rispettata la condizione che prevede la verifica di un minimo di 5 criteri su 6 per un picco chiaro, nonostante siano stati modificati, in diverso modo, i parametri di elaborazione affinché essi fossero tutti verificati.

Dall'analisi della curva HVSR, eseguita tra 0,5 Hz e 50,0 Hz (frequenze di interesse ingegneristico tali da includere il picco di risonanza principale) è quindi risultata una possibile frequenza principale di risonanza attorno a 38,2 Hz. Questa non può essere definita come certamente significativa ai fini dell'individuazione di una possibile frequenza di risonanza di sito.

Considerato l'andamento delle tre componenti che costituiscono il segnale sismico registrato, il picco di risonanza principale del sito indagato, nonostante non siano verificati tutti i criteri SESAME, può essere ritenuto comunque di origine stratigrafica e correlabile ad un contrasto di impedenza sismica molto superficiale presente entro il primo metro di profondità dal p.c., tra i terreni di copertura superficiali e i sottostanti depositi maggiormente addensati afferenti alla sequenza fluvioglaciale caratteristica del territorio in cui ricade l'area in esame.

Pur tenendo debitamente conto delle limitazioni che tale metodologia presenta per la ricostruzione di un profilo sismostratigrafico dettagliato, il picco principale individuato dall'analisi H/V e il relativo tratto di curva sono stati quindi utilizzati, tramite modellazione diretta, nell'analisi congiunta MASW+HVSR (***Fig. 4***), per trarre informazioni sismo-stratigrafiche utili da integrare all'elaborazione sismica MASW di seguito riportata.

Viale Michelangelo, 40 - 25015 Desenzano del Garda (BS)
Cell: 347 9428449 - mail: info@crestana.it
www.crestana.it

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

3 -INDAGINE SISMICA MASW

3.1 - Cenni sulla metodologia MASW

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

Le *MASW* attive sono realizzate tramite analisi delle onde di Rayleigh o di Love oppure, congiuntamente Rayleigh + Love. Queste rappresentano le onde di superficie prodotte dall'iterazione delle onde di corpo (P e S) con una superficie di discontinuità fisica. Le *onde di Rayleigh*, e più precisamente le loro componenti verticali, vengono registrate tramite i comuni geofoni verticali a bassa frequenza e generate da una sorgente ad impatto verticale, la classica martellata. Le *onde di Love* invece vengono acquisite mediante geofoni a componente orizzontale e generate applicando una sorgente di taglio al terreno, questo perché le loro componenti si muovono solamente sul piano orizzontale, con oscillazione perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell'onda. Durante l'indagine in oggetto sono state registrate sia la componente verticale delle onde di Rayleigh sia le onde di Love

Il principio della tecnica MASW prevede che, poiché la dispersione delle onde di superficie dipende dalle caratteristiche del sottosuolo e dalle sue variazioni verticali, dalla determinazione delle curve di dispersione del segnale è possibile ricavare le caratteristiche fondamentali del mezzo quali ad esempio la velocità delle onde di taglio Vs e lo spessore degli strati. La velocità delle onde di Rayleigh (V_R) infatti è correlabile alla Vs, essendo pari a circa il 90% della velocità delle onde di taglio. L'analisi del fenomeno della dispersione, che avviene attraverso la *curva di dispersione*, permette quindi di determinare le caratteristiche del sottosuolo. La curva di dispersione del *dataset* è ottenuta mediante il passaggio dal dominio *spazio-tempo* (sismogramma) al dominio *velocità di fase/frequenza* (spettro di velocità) effettuato mediante specifica operazione con software dedicato.

Tenuto conto di quanto richiesto per l'applicazione della normativa relativa alla progettazione geotecnica, si ritiene che la metodologia di analisi *MASW*, risulti idonea alla definizione dei dati richiesti.

Viale Michelangelo, 40 - 25015 Desenzano del Garda (BS)
Cell: 347 9428449 - mail: info@crestana.it
www.crestana.it

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

3.2 - Acquisizione dei dati MASW

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

L'acquisizione della componente verticale delle *onde di Rayleigh* è avvenuta mediante registrazione della propagazione del segnale sismico generato da una sorgente ad impatto verticale (martellata), tramite uno stendimento sismico di 12 geofoni a componente verticale.

L'acquisizione delle *onde di Love* è avvenuta invece mediante uno stendimento sismico di 12 geofoni a componente orizzontale posti trasversalmente all'allungamento dello stendimento, generando un'onda sismica di taglio mediante martellata orizzontale su piastra posta verticalmente nel terreno. La strumentazione utilizzata si compone nello specifico di:

- una sorgente meccanica in grado di generare onde elastiche direzionali e ricche di energia realizzata mediante la battuta verticale e orizzontale di una mazza battente di 10 kg su piastra;
- un sistema di ricezione costituito alternativamente da uno stendimento di 12 geofoni (onde di Rayleigh) a movimento verticale (*Geospace GS11D*) e da uno stendimento di 12 geofoni (onde di Love) a movimento orizzontale (Senshe con livello a bolla), entrambi a frequenza di 4,5 Hz e puntali da 3", collegati mediante un cavo multielettrodo;
- un sistema di acquisizione e memorizzazione costituito da un sismografo modulare in grado di registrare in modo digitale le forme d'onda generate (*Geode Geometrics Mod. ES-3000*); il sismografo A/D è in grado di campionare segnali tra 0.025 ms e 16 ms. Il sistema di acquisizione è completato da dispositivo di *trigger*, computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.

3.3 - Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti

Determinazione degli spettri di velocità ed individuazione delle curve di dispersione

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

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

Dopo aver scelto quindi i sismogrammi più idonei, quelli solitamente con il miglior rapporto *segnale/rumore,* si esegue una trasformata dal dominio *spazio/tempo* al dominio *frequenza/velocità (**Fig. 3**).*

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

Se tale sovrapposizione avviene, può generarsi una curva di dispersione apparente, che può risultare fuorviante in fase di interpretazione. Al fine di individuare i *modi* corretti e correlabili alla reale successione stratigrafica è stato scelto di eseguire un'***analisi congiunta delle onde di Rayleigh e delle onde di Love***.

Viale Michelangelo, 40 - 25015 Desenzano del Garda (BS)
Cell: 347 9428449 - mail: info@crestana.it
www.crestana.it

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

L'interpretazione dello spettro è consistita quindi nel confrontare le distribuzioni di energia tra i vari modi. Dato che la distribuzione dell'energia nelle due componenti Love e Rayleigh è risultata a tratti differente, l'analisi congiunta è risultata indispensabile al riconoscimento del reale andamento dei modi, portando all'elaborazione di un unico modello maggiormente vincolato e preciso.

Procedure di modellazione diretta e analisi congiunta Rayleigh+Love+HVSR

Analizzati i sismogrammi e i rispettivi spettri di velocità si è proceduto alla ricostruzione della distribuzione verticale delle Vs. Partendo dalle curve di dispersione delle onde di Rayleigh e di Love è stato ricostruito il modello che è responsabile di quelle curve, effettuando quindi un'inversione, vale a dire che si è ricavato il modello di sottosuolo che ha determinato il dato di campagna.

Gli spettri di velocità di fase sono stati interpretati identificando le curve modali, mediante modellazione diretta, studiando l'andamento dei vari modi in funzione del modello atteso (***Fig. 3***). Questo è stato iterativamente modificato fino ad ottenere una buona sovrapposizione degli andamenti delle curve di dispersione sui vari modi riconosciuti, contemporaneamente in entrambi gli spettri, al fine di ottenere un solo modello di velocità.

Inoltre, per l'interpretazione dello spettro di velocità nella sua parte a medio-bassa frequenza (<50 Hz), è stata considerata la curva HV ottenuta dall'indagine sismica HVSR. In particolare, è stata eseguita un'**analisi congiunta** tra lo spettro di dispersione ottenuto con indagine MASW e la curva H/V misurata, al fine di ottenere un solo modello di velocità (***Fig. 4***).

CRESTANA
INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE ED AMBIENTALI

Viale Michelangelo, 40 - 25015 Desenzano del Garda (BS)
Cell: 347 9428449 - mail: info@crestana.it
www.crestana.it

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

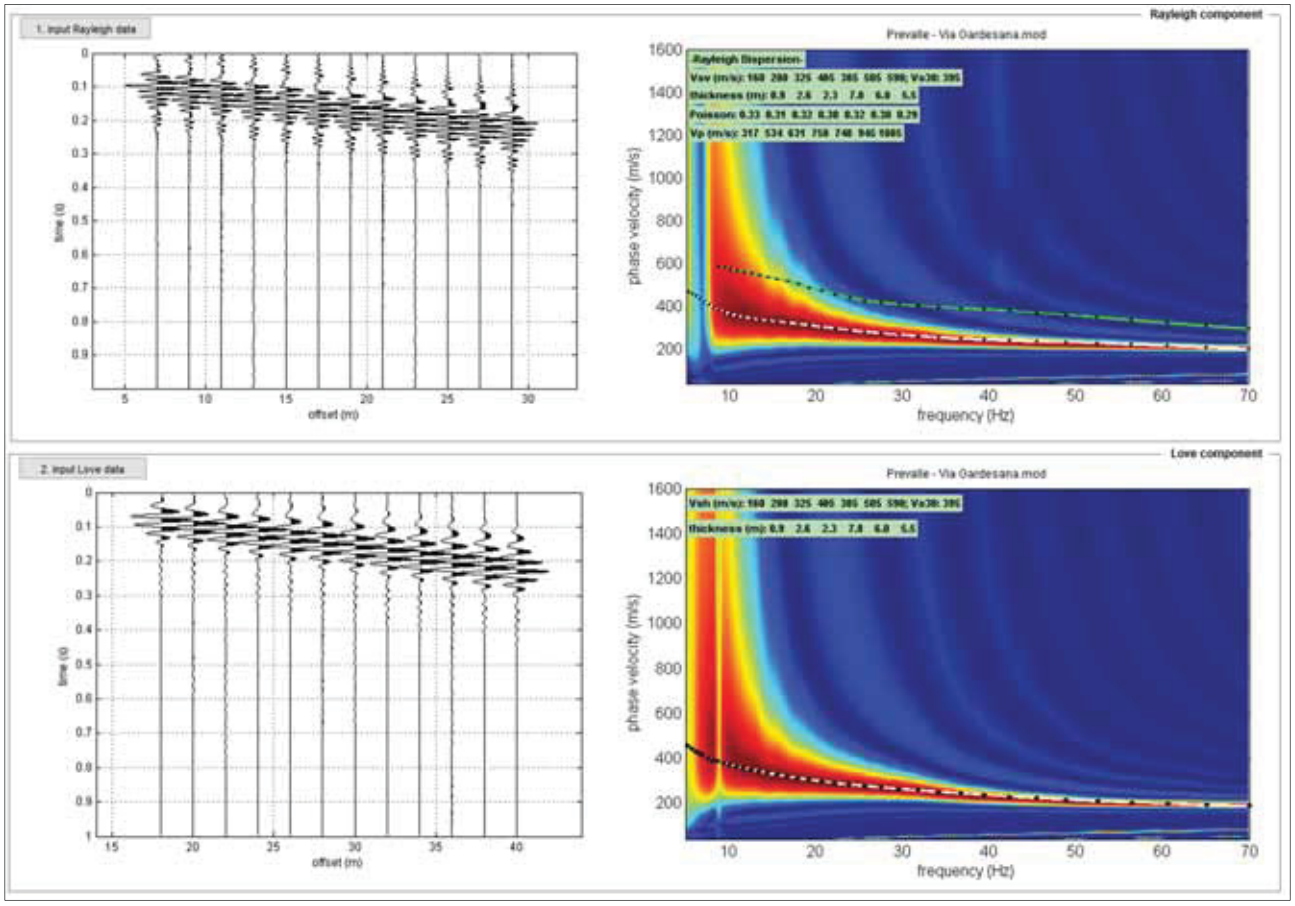


Fig. 3 - *Sismogrammi acquisiti (sx) e risultati dell'analisi congiunta Rayleigh+Love (dx): modellazione diretta mediante individuazione dei vari modi che compongono lo spettro di velocità delle onde di Rayleigh (in alto) e congiuntamente quello delle onde di Love (in basso).*

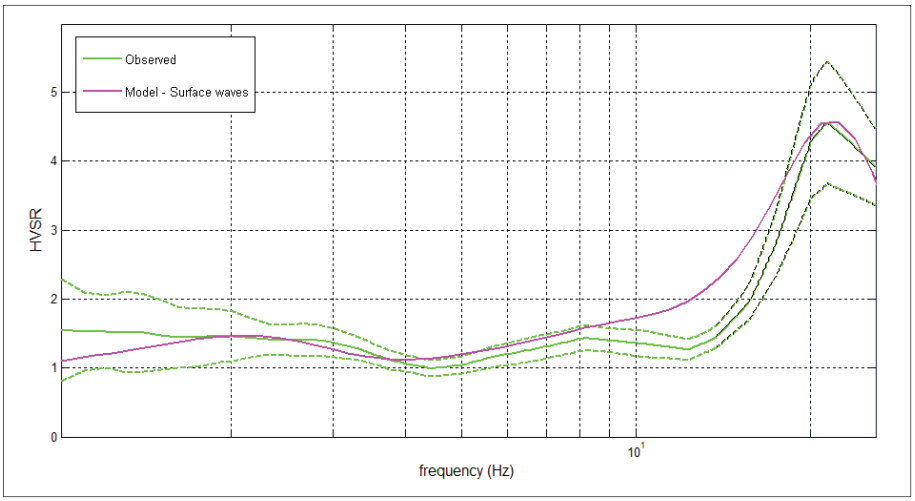


Fig. 4 - *Confronto tra H/V sperimentale (verde) e modellato (magenta), ottenuto per lo stesso modello di velocità considerato nell'analisi MASW.*

CRESTANA
INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE ED AMBIENTALI

Viale Michelangelo, 40 - 25015 Desenzano del Garda (BS)
Cell: 347 9428449 - mail: info@crestana.it
www.crestana.it

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

4 - MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO

Per l'elaborazione e l'interpretazione dei dati, si è tenuto conto delle evidenze del segnale acquisito, delle prove penetrometriche eseguite nel medesimo lotto di progetto e delle stratigrafie di alcuni pozzi terebrati in aree limitrofe a quella di studio.

Nella seguente tabella sono riportati i valori delle velocità medie e gli spessori di ciascun sismostrato, in modo da definire un **modello geofisico medio**, ottenuto mediante analisi delle onde di superficie con metodologia MASW in onde di Rayleigh e di Love in modo congiunto con la curva HVSR.

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

MODELLO GEOFISICO MEDIO – Via Gardesana – Prevalle (BS)						
Sismostrato	**Vs (m/s)**	**Spessore (m)**	**Profondità da p.c. (m)**	**Stima densità (g/cm³)**	**Modulo di Poisson**	**Modulo di Taglio (MPa)**
1	160	0,9	-0,9	1,78	0,33	45
2	280	2,6	-3,5	1,90	0,31	149
3	325	2,3	-5,8	1,94	0,32	205
4	405	7,8	-13,6	1,99	0,30	326
5	385	6,0	-19,6	1,98	0,32	294
6	505	5,0	-24,6	2,04	0,30	520
7	590	5,4	-30,0	2,07	0,29	722

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

D.M. 17/01/2018	**Profondità del bedrock sismico**	**$V_{S,eq}$** (m/s)	**Categoria di sottosuolo**	Valore di Vs,eq calcolato mediante l'espressione 3.2.1 del D.M. 17/01/2018 $V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$ Categoria di sottosuolo assegnata in base a quanto indicato nella Tabella 3.2 II
Calcolo a partire dal ripiano di esecuzione MASW (p.c.)	Oltre -30,0 m dal p.c.	**395**	**B**	

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

Viale Michelangelo, 40 - 25015 Desenzano del Garda (BS)
Cell: 347 9428449 - mail: info@crestana.it
www.crestana.it

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

Si riporta inoltre il profilo sismostratigrafico del modello medio ottenuto fino a -30,0 m dal p.c., mediante analisi congiunta MASW+HVSR, utilizzata per il calcolo del parametro $Vs_{,eq}$ (***Fig. 5***).

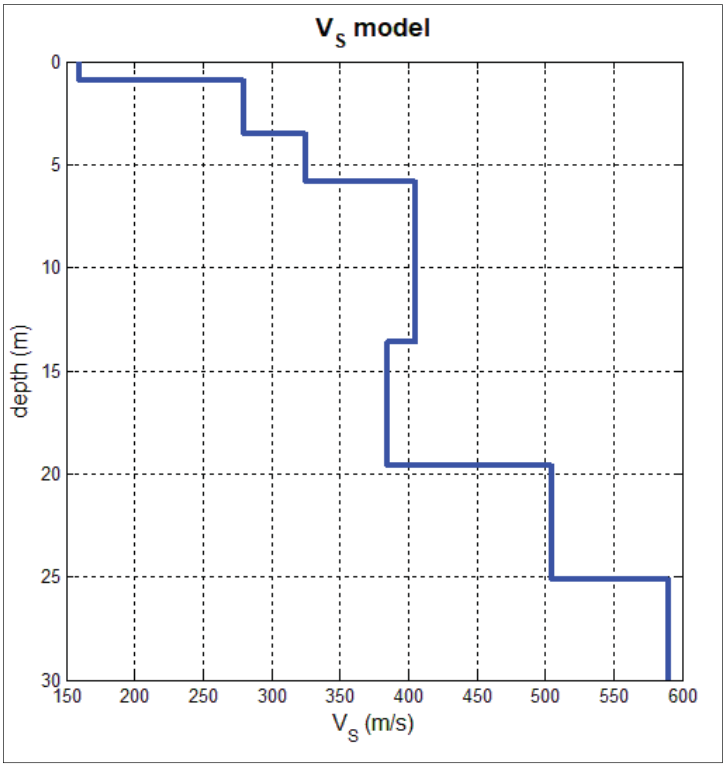


Fig. 5 - *Profilo sismostratigrafico.*

In base ai dati sismostratigrafici ottenuti si rileva inizialmente, fino ad una profondità di circa 0,9 m dal p.c., un primo orizzonte superficiale, con valori di velocità di propagazione delle onde di taglio (*onde S*) pari a 160 m/s.

A partire da -0,9 e fino a circa -19,6 m dal p.c., in accordo anche con la modellazione diretta del picco principale della curva HVSR, si riscontrano valori di velocità delle onde S compresi tra 280 e 405 m/s, propri di depositi da moderatamente addensati ad addensati, afferenti alla sequenza deposizionale di origine fluvioglaciale caratteristica della zona in cui ricade l'area in esame.

Deboli inversioni dei valori di velocità delle onde S, come quella riscontrata da -13,6 a -19,6 m dal p.c. (Vs=385 m/s), sono imputabili alla presenza di uno o più orizzonti poco meno addensati rispetto all'intera sequenza indagata e/o alla presenza di orizzonti di natura prevalentemente limoso-sabbiosa.

Oltre -19,6 m dal p.c. sono stati rilevati valori di Vs in generale e graduale aumento con la profondità e compresi tra 505 e 590 m/s, per cui si ipotizza la presenza di depositi particolarmente addensati afferenti alla medesima sequenza deposizionale indagata.

Viale Michelangelo, 40 - 25015 Desenzano del Garda (BS)
Cell: 347 9428449 - mail: info@crestana.it
www.crestana.it

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

5 - CONCLUSIONI

Le prospezioni geofisiche eseguite hanno permesso di ricostruire in maniera dettagliata le caratteristiche sismiche dei depositi che caratterizzano l'area oggetto di studio, ubicata in Via Gardesana, nel Comune di Prevalle (BS).

Nello specifico sono state eseguiti n° 1 profilo di sismica multicanale con acquisizione delle onde di superficie ed elaborazione dati mediante metodologia MASW, e n° 1 indagine sismica passiva con metodo HVSR.

Il profilo sismostratigrafico ottenuto risulta correlabile con il quadro geologico dell'area oggetto di interesse e i valori di velocità delle onde *S* nei primi metri risultano compatibili con l'andamento delle prove penetrometriche eseguite nella medesima area di indagine.

Per il sito in esame è stato calcolato un valore di ***Vs,eq***, pari a ***395 m/s***, con bedrock sismico posto oltre -30,0 m da p.c., e pertanto, il sito di progetto ricadrebbe in una "***Categoria di sottosuolo B***".

Per la conferma della categoria di sottosuolo si rimanda in ogni caso all'analisi sito-specifica per la Stima degli effetti litologici e del Fattore di Amplificazione di sito (2° Livello di approfondimento – All. 5 della D.G.R. IX/2616 del 2011).

Infine, si resta a completa disposizione per eventuali indagini integrative, oltre che a confronti in merito a quanto redatto nel presente Rapporto Tecnico.

Desenzano del Garda, 29/08/2025

Crestana SRL

CRESTANA
INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE ED AMBIENTALI

Viale Michelangelo, 40 - 25015 Desenzano del Garda (BS)
Cell: 347 9428449 - mail: info@crestana.it
www.crestana.it

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

6 - UBICAZIONE DELLE INDAGINI

Via Gardesana – Prevalle (BS)

Legenda:

Stendimento sismico con acquisizione ed elaborazione dei dati mediante metodologia MASW

Misura di microtremore sismico, con stazione singola, mediante tecnica HVSR

CRESTANA
INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE ED AMBIENTALI

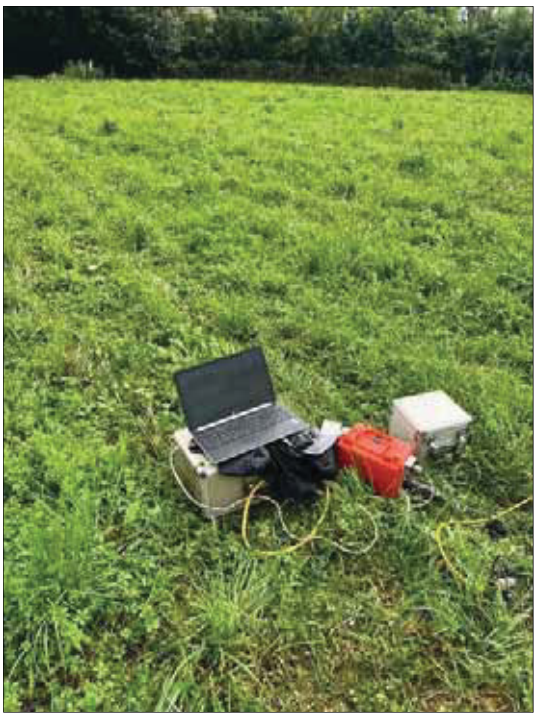
Viale Michelangelo, 40 - 25015 Desenzano del Garda (BS)
Cell: 347 9428449 - mail: info@crestana.it
www.crestana.it

C_H055 - - 1 - 2025-12-29 - 0017895

7 - ALLEGATO FOTOGRAFICO

Stendimento sismico M.A.S.W.

Misura del microtremore sismico mediante tecnica H.V.S.R.



Acquisizione del segnale sismico mediante Sismografo Geometrics Mod. Geode ES-3000

Shot sismico verticale per la generazione delle onde di Rayleigh

Documento firmato da: MORA MASSIMO In data: 22/12/2025
TORRESANI GUIDO In data: 16/09/2025