

tav.

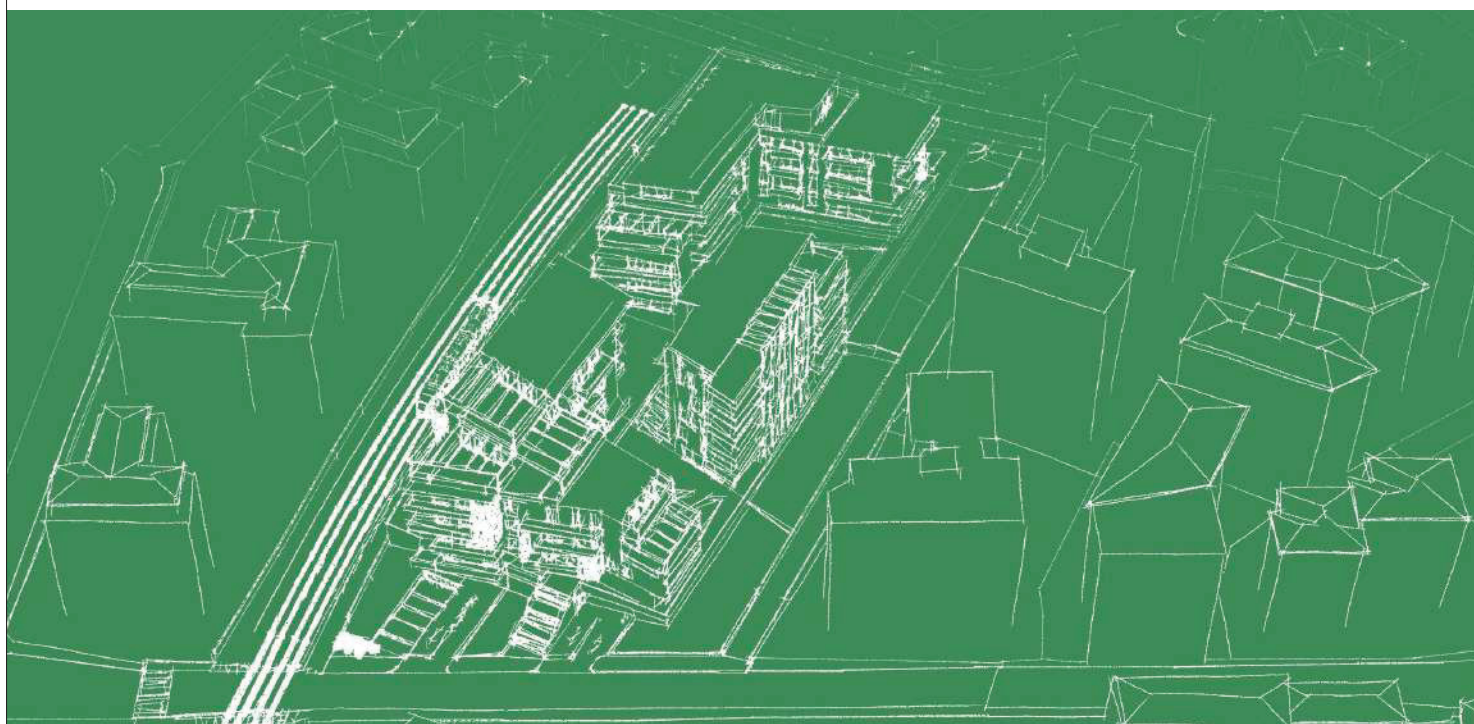
C

oggetto

Ed

## Relazione Geologica - Tecnica

693/15_Ed/02	Archivio/G/GIUPPONI/693_15 GIUPPONI_Residenze area EX ISMES/05.PRATICHE EDILIZIE/014-Agg.ConsiglioComunale_No		
data	descrizione	elaborato	verificato
07/09/18	Consegna Piano Attuativo ambito At_i 24 - Settembre 2018	cb.	mf.
12/12/18	Consegna Piano Attuativo ambito At_i 24 - Dicembre 2018	cb.	mf.
29/11/19	Aggiornamento a seguito fase istruttoria	cb.	mf.



rev.09/2017

Commessa:/Order:

**693/15**

Comune di: Bergamo

Provincia di: Bergamo

Committente: I.S.M. s.r.l.

lavori:/works:

**ISTANZA P.A.****PIANO ATTUATIVO AMBITO At\_i24 EX ISMES**

timbro

Sede legale:  
24060 Casazza-Bergamo-Italia, Piazza della Pieve n.1Sedi operative:  
**BERGAMO MILANO BELGRADO**Sede di riferimento:  
**24125 - Bergamo - Italia,  
via Daste e Spalenga n.45**  
T. +39 - 035 300359 F. +39 - 035 4236322  
e.mail: info@facchinetti-partners.com  
<http://www.facchinetti-partners.com>

F A C C H I N E T T I



P A R T N E R S

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

MASSIMO FACCHINETTI CARLO BONO ALESSANDRA BOCCALARI

# COMUNE DI BERGAMO

## INDAGINE GEOLOGICA E GEOTECNICA RELATIVA ALLA CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE DI NUOVE UNITA' ABITATIVE IN VIA PONTE PIETRA - AREA EX ISMES -

### RELAZIONE GEOLOGICA

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

### RELAZIONE IDROGEOLOGICA

### RELAZIONE SISMICA

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

COMMITTENTE: **I.S.M. s.r.l.**

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

**DATA: Gennaio 2019**

**Studio di Geologia dott. GUIDO TORRESANI**

25034 – ORZINUOVI (BS) - Via Giordano Bruno, 44

tel/fax 030 4197172

GEOLOGIA AMBIENTALE, IDROGEOLOGIA, GEOTECNICA, GESTIONE CAVE, AUTORIZZAZIONI POZZI

## **SOMMARIO**

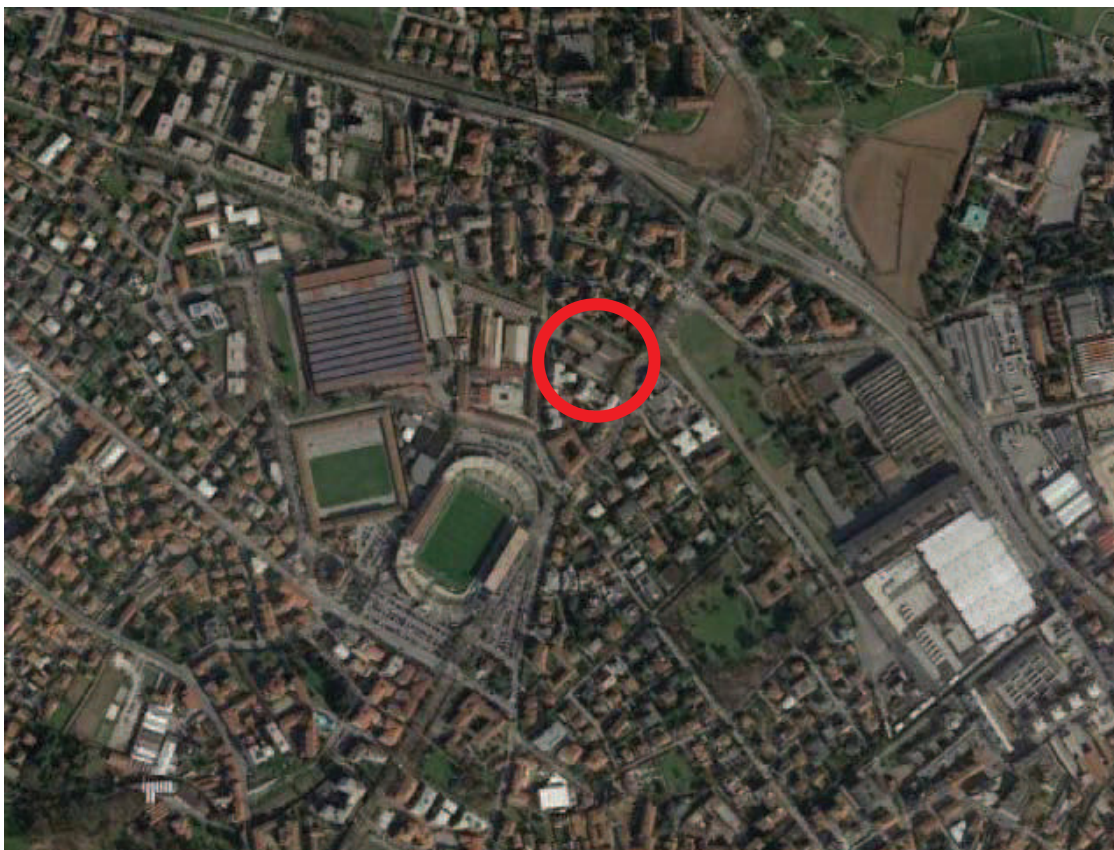
- Premessa;
- Inquadramento geologico e natura litologica dei terreni di fondazione;
- Inquadramento idrogeologico e livelli piezometrici
- Indagini geognostiche;
- Piano di imposta e tipo di fondazione;
- Sismicità dell'area;
- Definizione dell'azione sismica – Stima della pericolosità sismica;
- Caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica;
- Suscettibilità alla liquefazione dei terreni di fondazione;
- Valutazione della permeabilità dei terreni;
- Considerazioni conclusive.

## **ALLEGATI**

- Aerofotogrammetrico (CTR scala 1: 10.000);
- Planimetria dello stato di fatto con ubicazione delle indagini eseguite;
- Stratigrafie sondaggi geognostici e documentazione fotografica con tabelle prove di permeabilità;
- Foto scavo esplorativo profondo 4,0 m \_asciutto (ubicazione in planimetria)
- Sezione geotecnica interpretativa;
- Asseverazione relazione geologica – MODULO 9

## PREMESSA

La presente relazione, commissionata dalla società I.S.M. s.r.l. di Bergamo, è stata richiesta a supporto del progetto di realizzazione di un nuove unità abitative ubicate in Via Ponte Pietra nel Comune di BERGAMO, nell'ambito del PIANO ATTUATIVO AMBITO denominato At\_i24 EX ISMES. La presente relazione illustra i risultati delle indagini geologico - tecniche che hanno permesso di valutare il comportamento geomeccanico dei terreni di fondazione delle opere in progetto.



*Fig.1 – inquadramento corografico area di intervento su foto aerea*

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.

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 Bergamo è stato classificato come ZONA 3**. In riferimento all’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20/03/2003 e sulla base dell’indagine sismica eseguita, è possibile attribuire ai terreni indagati il profilo stratigrafico del suolo di fondazione di **“tipo C”**. Il profilo stratigrafico del suolo di tipo “C” deriva dall’analisi sismica MASW eseguita, i cui risultati sono riportati in allegato. Inoltre dall’approfondimento sismico di II livello eseguito (per edifici con periodo di oscillazione compreso tra 0,5 e 1,5 come risulta essere quello in oggetto vista l’altezza

pari a 30 m) risulta che il fattore di amplificazione  $F_{a_{0.5-1.5}}$  è inferiore al valore di soglia comunale stabilito dalla regione, come confermato anche nello studio sismico comunale.

E' necessario quindi prevede 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".

Lo studio ha comportato un rilievo geomorfologico di dettaglio della zona interessata dal progetto e l'esecuzione (anno 2011) di **n. 4 sondaggi esplorativi (S1, S2, R4, R5)** per la caratterizzazione geotecnica, litostratigrafica e di permeabilità dei terreni. All'interno dei sondaggi sono state eseguite **n. 8 prove penetrometriche standard SPT** (n.2 prove per ciascun sondaggio) e **n.1 prova Lefranc** (eseguita all'interno del foro di sondaggio S1) per la stima della permeabilità dei terreni. Il sondaggio R4 è stato infine attrezzato con un tubo piezometrico per consentire il monitoraggio periodico del livello di falda. Inoltre negli anni successivi, su richiesta dell'ARPA sono stati realizzati n.3 nuovi piezometri di monitoraggio ambientale profondi 15 m (PZ1, PZ2 e PZ3).

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 indagine sismica con la metodologia MASW.**

Considerata l'estensione del lotto da indagare, l'omogeneità litostratigrafica e geomeccanica dei terreni locali, si ritiene che le indagini eseguite siano sufficienti per caratterizzare adeguatamente i terreni in oggetto. Tale scelta è avvalorata anche dalla conoscenza delle aree circostanti a quella di intervento che in un intorno significativo presentano caratteristiche litostratigrafiche e geologiche simili.

**Si tenga presente che la superficie scelta come quota 0 di RIFERIMENTO per tutte le quote indicate nella relazione è il piano sul quale sono stati realizzati i sondaggi S1, S2 e R5, identificato come "piano campagna CORTILE INTERNO" (piano rialzato di circa 0,4 m rispetto al piano strada di Via Ponte Pietra). Il sondaggio R4 è stato invece eseguito a partire da un piano rialzato di 3,50 m rispetto allo 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**  
Pericolosità 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

## INQUADRAMENTO GEOLOGICO E NATURA LITOLOGICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

L'area oggetto della presente indagine è ubicata nella zona Nord del Comune di Bergamo (come evidenziato nell'allegato aerofotogrammetrico CTR scala 1:10.000). L'area si presenta come una superficie genericamente planare ad una quota di 267 metri s.l.m., anche se inserita in un più ampio contesto geomorfologico ondulato, al raccordo fra la pianura e i primi rilievi prealpini

Secondo quanto riportato nella "Carta Geologica della Provincia di Bergamo", questa zona ricade sui **depositi fluvioglaciali** appartenenti all' "**Complesso di Ponte della Selva – Unità di Torre Boldone**" (Pleistocene Medio), corrisponde all'alta pianura urbanizzata dalla città bassa.

L'Unità di Torre Boldone è formata da limo argilloso debolmente sabbioso con rari ciottoli e/o blocchi al quale si alternano ghiaie sabbiose con ciottoli e blocchi di derivazione seriana, argille limose debolmente sabbiose con inclusi poligenici alterati, calcari marnosi argillificati e arenarie decarbonate. Sono localmente si possono rinvenire livelli ghiaioso sabbiosi, ghiaiosi, con o senza supporto di matrice, alternati a livelli limosi e argillosi di spessore a volte plurimetrico già nei primi metri di sottosuolo.

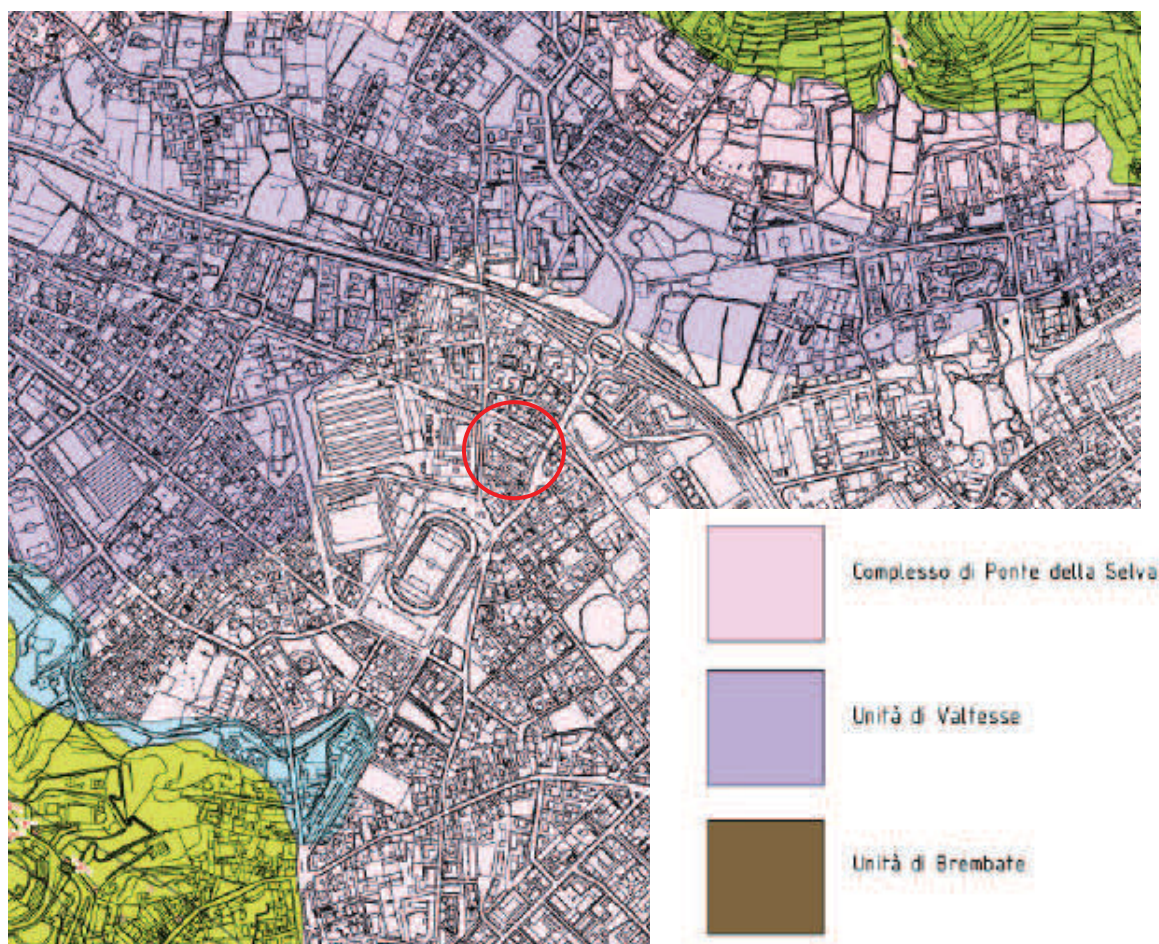


Fig.2: Estratto della carta geologica allegata al PGT comunale

Sulla base delle conoscenze dei terreni della zona e delle prove eseguite, è stata osservata una **generale uniformità litostratigrafica e geomeccanica dei terreni di fondazione.**

**In particolare le prove SPT eseguite all'interno dei fori di sondaggio hanno mostrato valori di resistenza alla penetrazione dello strumento uniformi, con valori medio-bassi ( $N_{spt}$  medio = 10) a partire da profondità superiori ai 3,0 m da p.c. (0.0 RIF.)**

La natura del terreno, dedotta dai sondaggi esplorativi eseguiti sull'area, mostra una successione litostratigrafica uniforme costituita essenzialmente da argille che oltre i 9,0 m di profondità possono alternarsi ad argille con ghiaia. La stratigrafia medio rappresentativa della zona può essere schematizzata come di seguito riportato:

da 0,0 a 9,0	Argille (con locali intercalazioni di livelletti a ghiaie)
da 9,0 a 13,0	Argille con ghiaia
oltre 13,0	Argille con ghiaia e sabbia

**I valori di resistenza alla punta ottenuti valutando le prove penetrometriche eseguite, portano a ritenere l'intera area indagata omogenea da un punto di vista geomeccanico; dal punto di vista litostratigrafico il substrato è costituito da litologie prevalentemente argillose fino a circa -9,0 m dal p.c. (0 RIF.). Localmente nei primi 3 metri dal p.c., come rilevato nella zona del sondaggio S2, sono presenti terreni di riporto ghiaioso-sabbiosi allo stato saturo a causa del ristagno delle acque meteoriche che si infiltrano dalla superficie e che non riescono a drenare.**

## **INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E LIVELLI PIEZOMETRICI**

L'area di intervento si inserisce in una zona di passaggio tra la fascia pedecollinare e l'alta pianura sulla quale insiste gran parte dell'area urbanizzata della città bassa di Bergamo.

In questo settore del territorio comunale la struttura degli acquiferi non è ben definita a causa dell'elevata eterogeneità tessiturale del sottosuolo e della bassa o modesta permeabilità dei terreni, soprattutto nel primo sottosuolo. Il deflusso idrico sub-superficiale si manifesta attraverso correnti sotterranee di limitata sezione e regime variabile.

Sulla base delle risultanze delle indagini eseguite è possibile formulare solo delle ipotesi sull'assetto idrogeologico locale e sulla possibile direzione e verso di scorrimento della falda misurata nei 3 piezometri di monitoraggio (ARPA) e altri 2 punti di riferimento.

Appare da subito evidente come la realtà idrogeologica rilevata in modo puntiforme sull'area si discosti in modo considerevole dall'ipotesi di falda libera riportato nella carta idrogeologica del PGT (anche se nel documento ufficiale comunale viene specificato che le informazioni in quella zona sono molto scarse al punto da abbozzare un andamento teorico). Si segnala infatti che la falda in questione è di tipo artesiano (cioè in pressione), mentre nel PGT è stata interpretata come libera. In merito all'andamento, nel PGT viene tratteggiata una direzione da NORD verso SUD come era plausibile indicare in assenza di informazioni certe. E' quindi necessario allontanarsi dal modello didattico di falda libera che scorre da monte verso valle (indicativamente da Nord verso



Sud) per orientarsi invece su un modello di falda in pressione il cui andamento è molto incerto (la ricostruzione ipotizzata di seguito evidenzia che localmente la piezometria può direzionarsi anche contro pendenza topografica per insinuarsi nelle vie di sfogo naturali rappresentate dalle litologie più permeabili). Si segnala quindi che le informazioni riportate nel PGT non sono state tenute in considerazione nel presente studio perché non corrispondenti alla realtà locale.

L'indagine ha messo in evidenza la presenza su tutta l'area di una coltre argillosa impermeabile con spessore ovunque non inferiore ai 9 m. Si tratta di terreni impermeabili costituiti da una dominanza di argille che localmente possono essere interrotte nella loro continuità da sottili livelli più permeabili che rappresentano le vie di sfogo e di potenziale comunicazione di falde isolate e in pressione che caratterizzano l'idrogeologia della zona.

La falda all'interno di tali litologie è stata intercettata alla profondità di circa 9 metri dal p.c., in corrispondenza della comparsa delle litologie argilloso-ghiaiose dotate di maggiore permeabilità. Ciò è confermato dal fatto che in fase di carotaggio fino ad una profondità di 9 m il terreno è completamente asciutto e la coltre argillosa attraversata funge da tappo per l'acquifero artesiano sottostante. Bucato lo strato impermeabile, dai 9 metri di profondità la falda è risalita immediatamente alle profondità attualmente misurabili.

**La prima acqua intercettata nei piezometri presenta quindi caratteristiche di una falda in pressione che determina all'interno dei sondaggi una risalienza variabile dai 3-4 m nel piezometro 1 e 2 fino e 8 m nel piezometro 3-4; questo implica una significativa differenza di pressione idrostatica che nel contesto morfologico locale non consente la ricostruzione di un modello idrogeologico certo (e soprattutto confrontabile con quello riportato nel PGT).**

Con i valori piezometrici rilevati si è tentata una correlazione piezometrica che ha portato alla redazione della carta idrogeologica riportata in fig.11.

Osservando le stratigrafie dei carotaggi si osserva che localmente la coltre argillosa è intervallata da sottili orizzonti ghiaiosi che contengono un flusso idrico (falde confinate potenzialmente tra loro interconnesse). Si è convinti di quanto indicato poiché in fase di carotaggio le litologie argillose asciutte risultavano umide in corrispondenza dei livelli ghiaiosi intercettati.

Le differenze piezometriche rilevate nei diversi punti di misurazione indicano che esistono pressioni idrostatiche diverse che agiscono negli acquiferi del sottosuolo; si può quindi interpretare tale constatazione in tre modi diversi:

- 1) **La prima ipotesi è che vi possa essere nel sottosuolo (caratterizzato da una potente coltre argillosa), una sola falda artesianata impostata oltre i 9,0 m di profondità, che trova sfogo nelle lenti permeabili sature idraulicamente intercomunicanti;** tale assetto idraulico non trova riscontro nella morfologia dei luoghi e non consente quindi la ricostruzione di un modello idrogeologico sensato; sarebbero frequenti infatti i punti in cui la piezometria risulterebbe ad una quota maggiore del piano topografico.
- 2) **La seconda ipotesi potrebbe essere la presenza di falde sospese, impostate nei livelli permeabili saturi che localmente attraversano la coltre argillosa, con caratteristiche di isolamento idrodinamico;** tale assetto idrogeologico darebbe

luogo a singole falde sospese isolate di cui non è nota l'estensione e l'andamento. Tale ipotesi non risulterebbe così improbabile nelle zone pedemontane di passaggio fra l'alta pianura e la montagna.

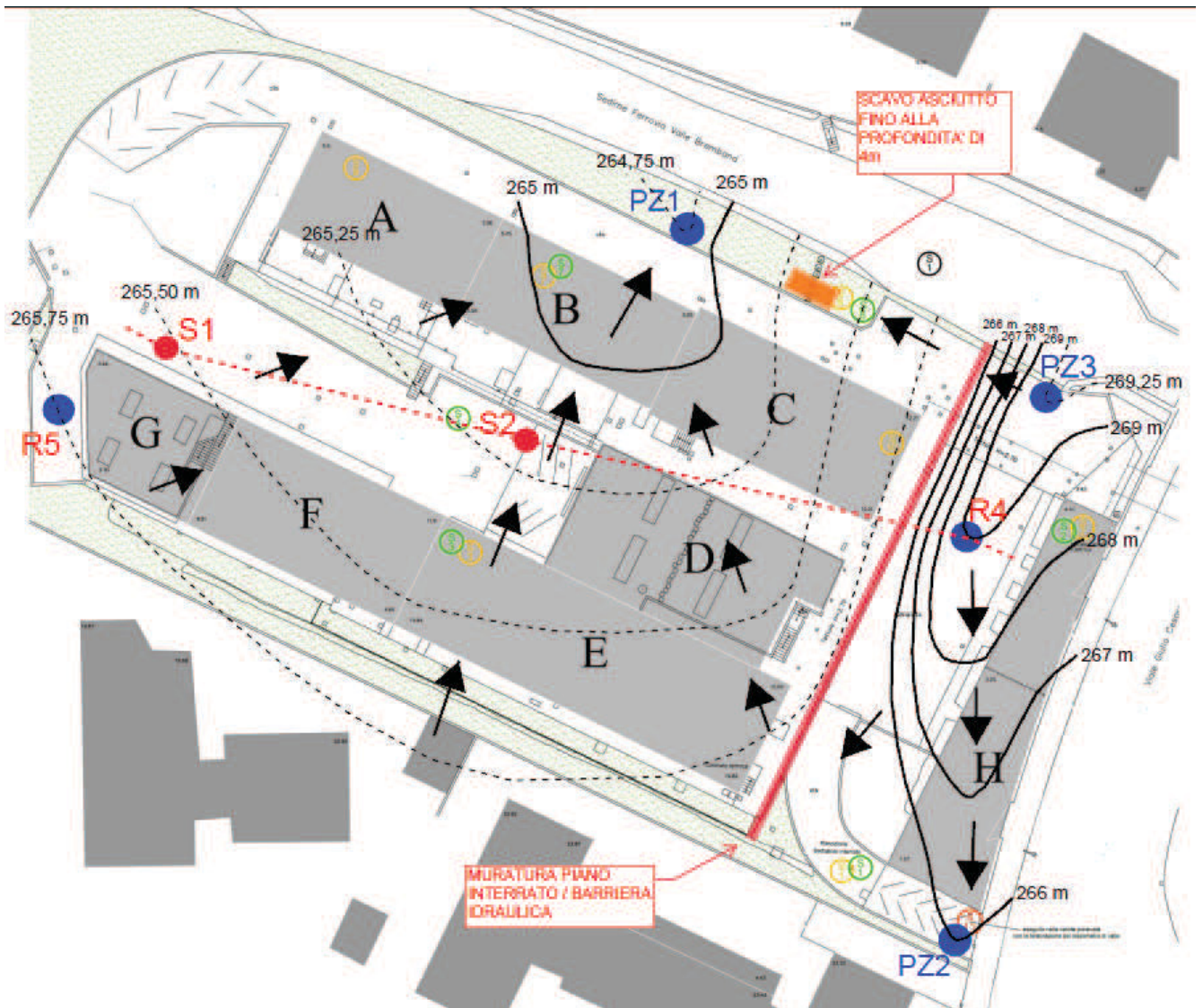
- 3) **La terza ipotesi un po' forzata è che se si vuole trovare una correlazione fra i livelli piezometrici rilevati, è necessario ipotizzare l'esistenza di due falde separate, che pur essendo entrambe in pressione, mostrano piezometrie diverse fra loro e non correlabili.** Si deve pensare ad una sorta di barriera idraulica (che materialmente può essere rappresentata dalla muratura interrata posta parallelamente a Viale Giulio Cesare) che tiene separata la piezometria con andamento N-S parallela a viale Giulio Cesare da quella con andamento opposto S-N che caratterizza tutta la zona centrale più depressa dell'area indagata fino alla Via Ponte Pietra. Esiste in sostanza una lacuna di correlazioni piezometriche in senso Est Ovest nella zona in cui è presente il piano interrato prossimo a Viale Giulio Cesare.

Non deve stupire in questo caso che a livello locale la direzione di scorrimento della falda possa essere anche contro pendenza (intendendo per pendenza l'inclinazione topografica della superficie originaria del territorio). Per le falde in pressione non è sempre possibile stabilire un verso e una direzione di scorrimento certi.

Si può quindi ipotizzare l'esistenza di almeno due falde con piezometrie fra loro non confrontabili che danno origine quindi ad andamenti e direzioni discordanti.

Questa ipotesi è stata presa in considerazione solamente per tentare la ricostruzione idrogeologica richiesta nella conferenza di servizi; si resta però del parere che la realtà idrogeologica locale sia più simile all'ipotesi 2 che non a due falde idraulicamente distinte.

La presenza di falda isolate, dotate di piezometrie diverse (pressioni idrostatiche diverse) Può trovare riscontro nella realtà geologico morfologica dell'area in questione.



*Fig.3: planimetria dell'area con possibile ricostruzione della piezometria (ipotesi 3)*

## 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.4 sondaggi a carotaggio continuo;
- n.8 prove penetrometriche standard (SPT) all'interno dei fori di sondaggio (n.2 prove per ogni sondaggio);
- n.1 prova Lefranc all'interno del foro di sondaggio S1;
- n.1 prova sismica masw.

L'ubicazione delle indagini effettuate viene riportata nella planimetria allegata.

### Sondaggi a carotaggio continuo

I sondaggi geognostici sono stati eseguiti tramite l'impiego di una sonda idraulica, con tecnica a rotazione a carotaggio continuo e rivestimento delle pareti del foro.

I sondaggi S1, S2 e R5 sono stati realizzati a partire dalla medesima quota coincidente con lo 0.0 RIF. (p.c.); il sondaggio R4 è stato eseguito invece nel settore rialzato ad una quota di +3,75 m dallo 0.0 RIF.

Le operazioni di carotaggio sono state eseguite con utilizzo di acqua e recupero integrale del terreno attraversato. E' stato utilizzato un carotiere semplice con diametro di 101 mm; per il rivestimento del foro sono stati utilizzati tubi con diametro di 127 mm.

Di seguito si riportano le profondità raggiunte in ogni sondaggio:

Sondaggio	Quota di inizio sondaggio (in metri) rispetto allo 0.0 RIF (p.c.)	Profondità (m da p.c.)
S1	0.0	15
S2	0.0	15
R4	+ 3,75	15
R5	0.0	30

Il materiale prelevato è stato alloggiato in apposite cassette catalogatrici, successivamente conservate nella zona di cantiere.

**I sondaggi hanno permesso di ricostruire la successione litostratigrafica del sottosuolo permettendo inoltre di realizzare a diverse profondità specifiche prove in foro per la definizione dei parametri geotecnici (prove SPT) e della permeabilità (prova Lefranc).**

La descrizione dettagliata delle stratigrafie dei sondaggi viene riportata negli appositi moduli stratigrafici in appendice corredati dalla relativa documentazione fotografica.

### **Prove Penetrometriche Standard (SPT)**

All'interno dei sondaggi in fase di avanzamento sono state eseguite delle prove penetrometriche standard (SPT), riassunte nella tabella seguente.

Sondaggio	Profondità (m dal 0.0 RIF)	Valori N (n° colpi x 15cm di avanzamento)	Valori N <sub>spt</sub>
S1	3.50 ÷ 3.95	3/4/7	11
	4.50 ÷ 4.95	3/7/7	14
S2	3.50 ÷ 3.95	7/9/8	17
	4.50 ÷ 4.95	4/8/7	15
R4	2.25 ÷ 2.70	3/6/6	12
	3.75 ÷ 4.20	13/18/19	37
R5	3.50 ÷ 3.95	3/5/6	11
	7.00 ÷ 7.45	2/4/5	9

La prova SPT avviene a fondo foro di sondaggio, in fase di avanzamento, consentendo l'investigazione di specifici livelli posti a determinate profondità. Ciascuna prova si riferisce al valore della resistenza del terreno offerta per l'infissione di un tratto di 45cm (espresso con tre valori, riferiti a 15cm ciascuno). La prova giunge a rifiuto (R) quando supera i 50 colpi per un avanzamento minore di 15 cm.

Per l'esecuzione delle prove è stata utilizzata un'attrezzatura avente le caratteristiche tecniche di seguito riportate:

- maglio in acciaio del peso di 63.5kg
- caduta libera del maglio di 760mm
- dispositivo con sganciamento automatico del maglio
- punta conica con angolo di 60°
- aste Ø 50 mm / spessore 5.9 mm

### **Prove Lefranc**

Le prove Lefranc, nella versione modificata dall'Associazione Geotecnica Italiana (AGI), permettono di determinare la permeabilità di terreni al di sopra o al di sotto del livello di falda.

Per l'esecuzione della prova sono state rispettate le seguenti prescrizioni:

- le pareti della perforazione sono state rivestite con una tubazione per tutto il tratto del sondaggio non interessato dalla prova;
- il tratto di prova, tasca, è stato riempito con materiale filtrante di granulometria adatta.

Le prove Lefranc si dividono in prove a carico costante o a carico variabile. Nel nostro caso specifico la prova eseguita nel sondaggio S1 è stata realizzata a carico variabile.

La prova è stata eseguita oltre i 9 m di profondità dal p.c., nell'orizzonte B "argille con ghiaia" in cui la permeabilità del terreno dovrebbe essere maggiore rispetto all'orizzonte argilloso costituente lo strato superficiale "A"

**Come si dimostrerà di seguito anche l'orizzonte litologico B "argille con ghiaia" risulta caratterizzato da valori limitatissimi di permeabilità.**

### Prova a carico variabile

La prova a carico variabile è stata eseguita misurando la velocità di riequilibrio del livello dell'acqua nel foro (abbassamento) dopo averlo alterato mediante immissione o emungimento, nel ns caso la prova è stata effettuata mediante immissione di acqua innalzandone il livello quanto più possibile. All'istante in cui si sospende l'immissione dell'acqua si misura l'altezza del livello ( $h_0$ ) e si fa partire il contasecondi annotando ora e minuti di partenza ( $t_0$ ).

Si eseguono le letture del livello ( $h$ ) a frequenti intervalli di tempo ( $t$ ) annotando sia il livello dell'acqua che il tempo di ciascuna lettura.

Il valore del coefficiente di permeabilità è stato calcolato con la seguente formula :

$$K = A/C \cdot (t_2 - t_1) \cdot \ln(h_1/h_2)$$

A = area del foro in prova

C = coefficiente di forma = L per  $L > 2r$

$h_1 - h_2$  = differenza di altezza del livello acqua

$t_1 - t_2$  = intervalli di tempo di lettura

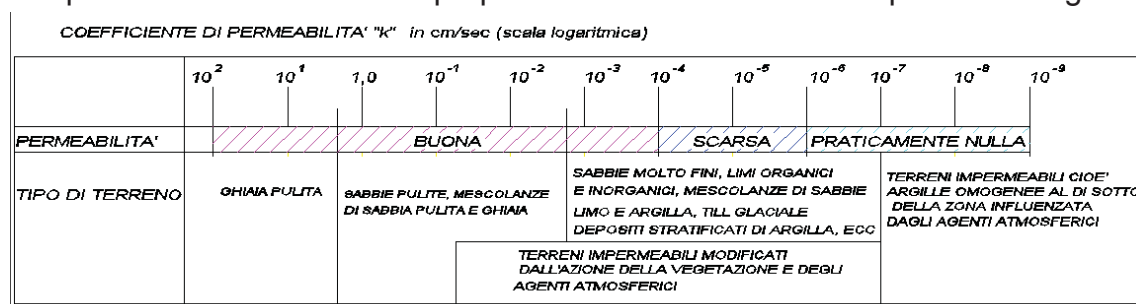
L = tratto scoperto di prova

Nella tabella seguente vengono riportati i dati caratteristici della prova eseguita.

La tabella e il diagramma di interpretazione relativo alla prova Lefranc viene riportato in allegato.

Sondaggio	Profondità di prova (in m da p.c.)	Litologia	K (m/s)	K (cm/s)
<b>S1</b>	-11.00	Argilla con ghiaia	<b><math>3,15 \times 10^{-6}</math></b>	<b><math>3,15 \times 10^{-4}</math></b>

Il valore ottenuto risulta in linea con le caratteristiche granulometriche dei terreni (argille con ghiaie) entro i quali la prova è stata realizzata. Il valore registrato, nell'ordine di  $10^{-6}$  m/s ( $10^{-4}$  cm/s), consente di classificare il terreno in esame come avente permeabilità scarsa. A tal proposito si osservi lo schema riportato di seguito.



"Classificazione dei terreni in funzione della permeabilità"

Se si considera il fatto che litologie presenti fra il piano campagna e la profondità di prova (10,5 m dal p.c. all'interno dell'orizzonte argilloso ghiaioso) sono costituite quasi completamente da argille, senza quindi la componente ghiaiosa che ne aumenta la permeabilità, appare evidente come la permeabilità delle argille sia da considerarsi praticamente nulla (valori di  $K < 10^{-6}$  cm/s).

Quanto emerso dalla misurazione della permeabilità nell'area d'intervento, risulta essere discordante con quanto indicato a livello di PGT comunale nella carta idrogeologica e di vulnerabilità dell'acquifero superficiale.

NELLA CARTA IDROGEOLOGICA allegata al PGT COMUNALE alla zona in esame viene assegnata una CLASSE DI PERMEABILITA' II MEDIO-ALTA:  $k=10^{-4}$  cm/s ÷  $10^{-2}$  cm/s, depositi fluvio-glaciali delle unità quaternarie e rocce costituite dal Conglomerato di Sirone.

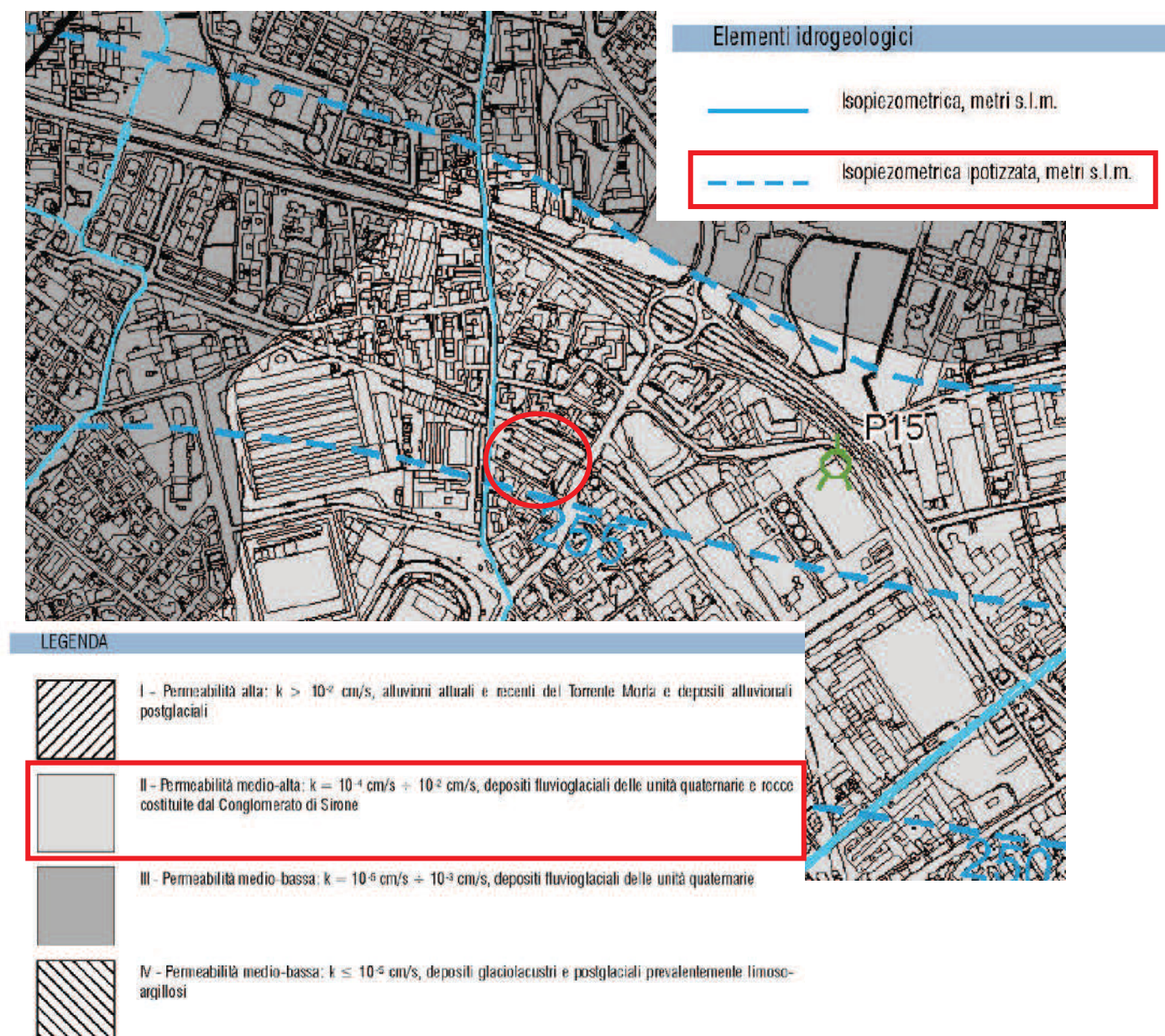
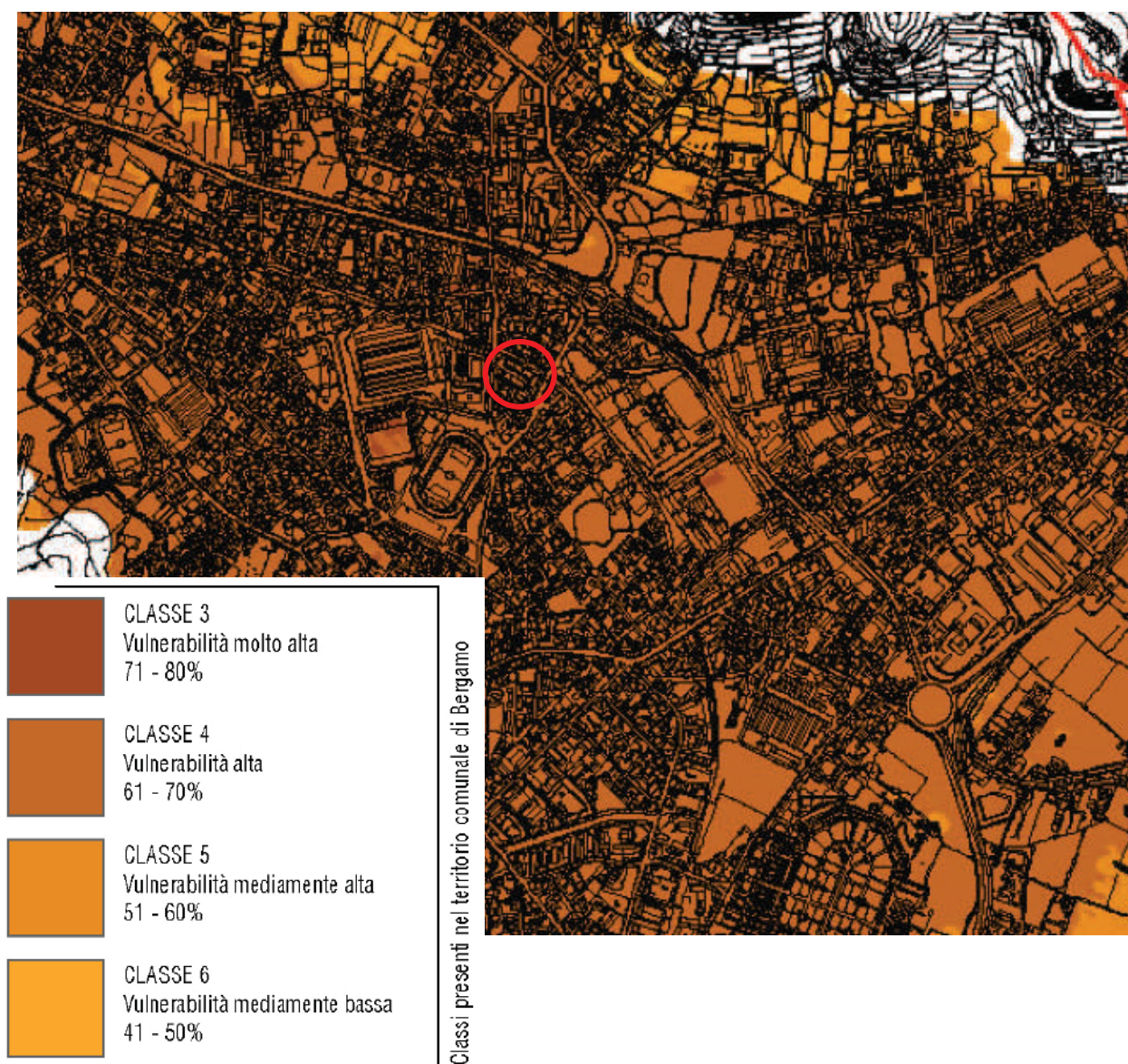


Fig.4: Estratto della carta idrogeologica allegata al PGT comunale

Relativamente all'andamento della falda (non definita a livello di PGT se freatica o artesia) viene riportato un tratteggio didattico, che rappresenta direzione e verso di scorrimento verso Sud, con soggiacenza di circa 10÷15 m (dislivello fra il piano topografico e la piezometria raffigurata in carta). Questa interpretazione indicata nel PGT fa propendere per un acquifero superficiale di tipo freatico. Come si darà riscontro di seguito, sulla base delle nostre risultanze di indagine sito specifiche, l'interpretazione attribuita nel PGT all'acquifero presente nel sottosuolo della zona di indagine è sbagliato.

LA CARTA DELLA VULNERABILITA' DELL'ACQUIFERO SUPRFICIALE allegata al PGT, redatta ai sensi della D.G.R. 8/7374 del 28 Maggio (vedi stralcio allegato), attribuisce all'area in esame una CLASSE DI VULNERABILITA' 4/5: vulnerabilità alta e vulnerabilità mediamente alta.



*Fig.5: Estratto della carta della vulnerabilità dell'acquifero superficiale allegata al PGT*



**Questa interpretazione del PGT si discosta notevolmente dalla realtà rilevata sull'area. Dove la vulnerabilità idrogeologica è certamente bassa, visti i risultati litostratigrafici ottenuti con i carotaggi.**

Quanto indicato nelle carte allegate al PGT sopra riportate risulta quindi in contrasto con la realtà geologica ed idrogeologica dell'area in esame. L'osservazione diretta del sottosuolo nei primi 15 m e sul sondaggio S4 (Riferimento 5) di 30 m di profondità infatti ha consentito di individuare terreni costituiti superficialmente da depositi argillosi praticamente impermeabili (almeno nei primi 9 metri circa di profondità) seguiti da alternanza di argille con inglobati livelli ghiaiosi, dotati comunque di bassa permeabilità.

### **Indagine sismica: prova MASW**

Si veda quanto riportato nella relazione tecnica in allegato.

**Prospezione MASW**                       **$V_{s30} = 315$  m/sec (da p.c. a -30 m)**

Da qui si evince che il valore ottenuto di  $V_s$  classifica pienamente il terreno nella categoria del suolo di fondazione di tipo C (*Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza, caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  compresi fra 180 e 360 m/s*).

Inoltre dall'approfondimento sismico di II livello eseguito (per edifici con periodo di oscillazione compreso tra 0,5 e 1,5 come risulta essere quello in oggetto vista un'altezza di 30 m) risulta che il fattore di amplificazione  $F_{a_{0.5-1.5}}$  è inferiore al valore di soglia regionale, come riportato nello studio sismico comunale. I risultati di tale approfondimento confermano quanto indicato a livello di PGT comunale.

## PIANO DI IMPOSTA E TIPO DI FONDAZIONE

La ricostruzione delle litologie presenti nel sottosuolo della zona indagata, è basata sul censimento dei dati esistenti (stratigrafie dei pozzi, indagini geotecniche, scavi, ecc.) oltre che dall'esame diretto del terreno superficiale tramite i sondaggi esplorativi (S1, S2, R3 e R4).

**In particolare il raffronto fra le indagini eseguite mette in evidenza come nell'insieme il sottosuolo della zona indagata si presenti litologicamente omogeneo.**

L'osservazione diretta del sottosuolo nei primi metri ha consentito di individuare, al di sotto dello strato superficiale costituito da terreno vegetale o di riporto, terreni aventi natura prevalentemente argillosa. In particolare il terreno presente nei primi 9 m circa di profondità dal p.c. (0 RIF.) risulta costituito da argille (**orizzonte A**) mediamente consistenti, dotate di caratteristiche geotecniche modeste, come testimoniano i valori di resistenza alla penetrazione rilevati con le prove SPT ( $N_{spt}$  medio = 10). Al di sotto di tali depositi sono state rilevate alternanze di argille con intercalazioni di ghiaie maggiormente costipate (**orizzonte B**).

**Si segnala che la falda è di carattere artesiano e localizzata a -9,0 m dallo 0 RIF.. Forato l'orizzonte argilloso che funge da tappo, il livello piezometrico si stabilizza a circa -1,0 m di profondità dallo 0 RIF.; Considerato che l'orizzonte argilloso può essere interessato da livelletti ghiaiosi che fungono da veicolatori dei flussi idrici, al fine di evitare qualunque interferenza fra la falda e le opere di fondazione, è opportuno impermeabilizzare queste ultime.**

**In merito alla tipologia di fondazione più opportuna da utilizzare in una realtà idrogeologica come quella riscontrata, non ci si esprime in questa fase, è infatti opportuno un confronto con lo strutturista per verificare la tipologia di fondazione più idonea al caso, anche in relazione alla proposta progettuale definitiva.**

## 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 **BERGAMO** 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.

<i>ISTAT</i>	<i>Provincia</i>	<i>Comune</i>	<i>Zona Sismica AgMax</i>	<i>Agmax</i>
03016024	BG	BERGAMO	3	0,11877

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  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  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento  $V_R$ . In alternativa è 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:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$  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 è 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	$\leq 10$
2	<b>Opere ordinarie</b> , ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$

➤ **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 NORMALI AFFOLLAMENTI

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  $C_U$  è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella seguente Tabella:

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

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_u$	0.7	1.0	1.5	2.0

Se  $V_R \leq 35$  anni si pone comunque  $V_R = 35$  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:

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

**Tabella 3 -riassuntiva**

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

## 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 è denominata “**Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento**” ( $P_{VR}$ ).

La pericolosità sismica è 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.

**Tabella n.4 -Categorie topografiche**

Categoria topografica	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 $i \leq 15^\circ \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

## AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA

Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E il *coefficiente di Amplificazione stratigrafica* ( $S_s$ ) e il *coefficiente funzione della categoria di sottosuolo* ( $C_c$ ) possono essere calcolati in funzione dei valori di  $F_o$  (Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e  $T_{c^*}$  (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 gravità ed il tempo è espresso in secondi:

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

CATEGORIA SOTTOSUOLO	S <sub>s</sub>	C <sub>c</sub>
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 * F_0 \text{ ag/g} \leq 1.20$	$1.10 * (T_c) - 0.20$
<b>C</b>	<b><math>1.00 \leq 1.70 - 0.60 * F_0 \text{ ag/g} \leq 1.50</math></b>	<b><math>1.05 * (T_c) - 0.33</math></b>
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 * F_0 \text{ ag/g} \leq 1.80$	$1.25 * (T_c) - 0.50$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 * F_0 \text{ ag/g} \leq 1.60$	$1.15 * (T_c) - 0.40$

**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
<b>T1</b>		<b>1.0</b>
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 è 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 è stata effettuata mediante l'utilizzo del programma **GEOSTRU**, da cui sono stati ottenuti i seguenti **parametri sito-specifici**:

**Determinazione dei parametri sismici**

Coordinate WGS84  
 Lat. **45.711195°**                      Long. **9.682885°**

Classe dell'edificio

Vita nominale

**Parametri sismici**

Categoria sottosuolo: C




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<sub>VR</sub> vengono calcolati i valori ag, F<sub>0</sub>, 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		
<b>CU = 1</b>				
Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.030	2.440	0.197
Danno (SLD)	50	0.038	2.481	0.215
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.110	2.417	0.271
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.144	2.461	0.276
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 capacità 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) us (m)

 1  0.1

 Cat. Sottosuolo **C** ▼

 Cat. Topografica **T1** ▼

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,50	1,49
CC Coeff. funz categoria	1,80	1,74	1,61	1,61
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s<sup>2</sup>]  0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.009	0.012	0.040	0.052
kv	0.004	0.006	0.020	0.026
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.436	0.565	1.617	2.105
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240



## CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E GEOTECNICA

L'elaborazione dei dati desunti dai sondaggi esplorativi e dalla prove penetrometriche SPT ha permesso di ricostruire l'assetto litostratigrafico del sottosuolo rappresentato graficamente nella **SEZIONE GEOTECNICA** allegata e, contestualmente, di caratterizzare dal punto di vista geotecnico i terreni interessati dalle fondazioni dell'opera in progetto.

### Modello litostratigrafico del sottosuolo

Il sottosuolo dell'area investigata si presenta caratterizzato, al di sotto dell'orizzonte superficiale vegetale o riportato da un **orizzonte A** individuato fino ad profondità di circa 9 m caratterizzato da argille poco consistenti. Tale orizzonte è caratterizzato da medio-basse proprietà geotecniche come testimoniano il numero di colpi rilevato nelle prove SPT ( $N_{spt}$  medio = 10). Al di sotto di questo orizzonte è presente un **orizzonte B** costituito da argille con inglobata ghiaia maggiormente costipate.

<b>A</b>	(da 0,0 a 9,0 m) Argille ( $N_{spt}$ medio = 10)
<b>B</b>	(oltre 9,00 m) Argille con inglobata ghiaia

Le caratteristiche geotecniche dell'orizzonte portante scelto come piano di imposta delle fondazioni (orizzonte A), sono le seguenti:

<b>Orizzonte A – “ARGILLE” (da 0,0 m a 9,0 m dal piano campagna)</b>			
Parametri	Simbolo	Unità di misura	Valore
Consistenza			poco consistente
Peso di volume	g	t/m <sup>3</sup>	1,9
Angolo di attrito	∅	°	-
Coesione non drenata	Cu	Kg/cm <sup>2</sup>	0,7
Modulo edometrico	E	Kg/cm <sup>2</sup>	50

<b>Orizzonte A – “ARGILLE CON INGLOBATA GHIAIA” (oltre 9,0 m dal piano campagna)</b>			
Parametri	Simbolo	Unità di misura	Valore
Consistenza			Mediamente consistente
Peso di volume	g	t/m <sup>3</sup>	1,95
Angolo di attrito	∅	°	-
Coesione non drenata	Cu	Kg/cm <sup>2</sup>	1,0
Modulo edometrico	E	Kg/cm <sup>2</sup>	80

Nella seguente tabella, viene riportato per ogni orizzonte individuato il **valore caratteristico \* di resistenza al taglio** ottenuto analiticamente partendo dai valori medi sopra riportati:

**Orizzonte A**

C <sub>u</sub> m	0,7 Kg/cm <sup>2</sup> valore medio
<b>C<sub>u</sub> k</b>	<b>0,7 Kg/cm<sup>2</sup> valore caratteristico *</b>
C <sub>u</sub> d	0,7 Kg/cm <sup>2</sup> valore di progetto

**Orizzonte B**

C <sub>u</sub> m	1,0 Kg/cm <sup>2</sup> valore medio
<b>C<sub>u</sub> k</b>	<b>1,0 Kg/cm<sup>2</sup> valore caratteristico *</b>
C <sub>u</sub> d	1,0 Kg/cm <sup>2</sup> valore di progetto

La coesione non drenata C<sub>u</sub> è stata calcolata con la correlazione di Stroud (1974)

$$c_u = f_1 \cdot N_{SPT}$$

in cui f<sub>1</sub> è un coefficiente funzione dell'indice di plasticità. Il coefficiente f<sub>1</sub> ha valori comprese tra 3.5 e 6.5 KPa e mediamente vale 4.4 KPa.

\*il valore caratteristico k rappresenta la soglia al di sotto della quale si colloca non più del 5% dei valori desumibili da una serie teoricamente illimitata di prove. Nel caso specifico è stato determinato il valore caratteristico dell'angolo di attrito  
I valori caratteristici di Ø' sono determinabili con la seguente relazione:

$$\sigma'_k = \sigma'_m (1 + C \cdot V_{\sigma'})$$

dove:

σ'<sub>k</sub> = valore caratteristico dell'angolo di attrito interno;

σ'<sub>m</sub> = valore medio dell'angolo di attrito;

V<sub>σ'</sub> = coefficiente di variazione (COV) di σ', definito come il rapporto fra lo scarto quadratico medio (deviazione standard) e la media dei valori di σ';

**C** = parametro dipendente dalla legge di distribuzione della probabilità e dalla probabilità di non superamento adottata.

L' Eurocodice 7 fissa, per i parametri della resistenza al taglio, una probabilità di non superamento del 5%, alla quale corrisponde, per una distribuzione di tipo gaussiano, un valore di **C = - 1,645**.

Di conseguenza la precedente relazione diventa:

$$\sigma'_k = \sigma'_m (1 - 1,645 V_{\sigma'})$$

° coefficiente di variazione = V<sub>σ'</sub>° = rapporto fra lo scarto quadratico medio e la media dei valori

Si riportano per completezza alcune importanti precisazioni riportate nelle Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CSLP) sulle NTC 2018

**A) Valori caratteristici circa uguali ai valori medi**

Nelle valutazioni che il geotecnico deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici, appare giustificato, secondo il CSLP, il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno (in fondazioni superficiali o in una frana il volume interessato dalla superficie di rottura è grande), con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti.

**B) Valori caratteristici circa uguali ai valori minimi**

Valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno (ad es. terreno di base di un palo, verifica a scorrimento di un muro), con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo, o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidità. La scelta di valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici può essere dettata anche solo dalle caratteristiche dei terreni; (ad esempio, effetto delle discontinuità sul valore operativo della resistenza non drenata).

Una migliore approssimazione nella valutazione dei valori caratteristici può essere ottenuta operando le opportune medie dei valori dei parametri geotecnici nell'ambito di piccoli volumi di terreno, quando questi assumano importanza per lo stato limite considerato.

## 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  $qc_{1N} > 180$  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  $qc_{1N}$  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  $U_c < 3,5$  e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

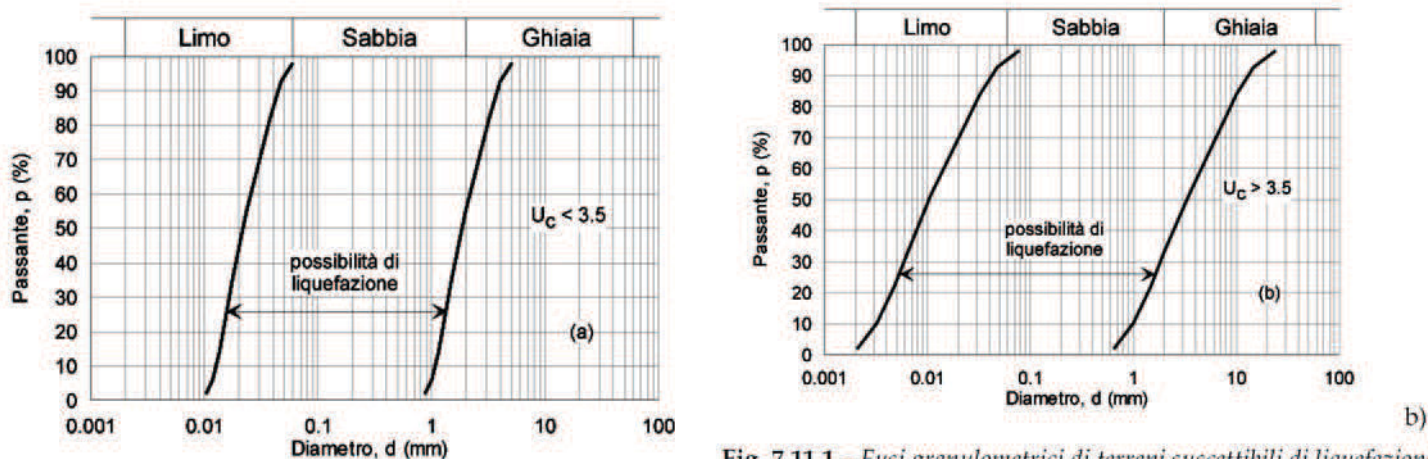


Fig. 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

**Nel nostro caso è verificata la n.4, quindi l'analisi della liquefazione può essere omessa.**

Il terreno di fondazione dell'area in oggetto, si presenta infatti, come dimostrano le risultanze dell'indagine eseguita, costituito principalmente da litologie fini coesive; quindi per la presenza della componente argillosa si esclude l'ipotesi che si possano verificare incipienti fenomeni di liquefazione dei terreni oggetto di indagine.

## 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 3a "fattibilità con consistenze limitazioni" (modeste caratteristiche geotecniche del primo sottosuolo)

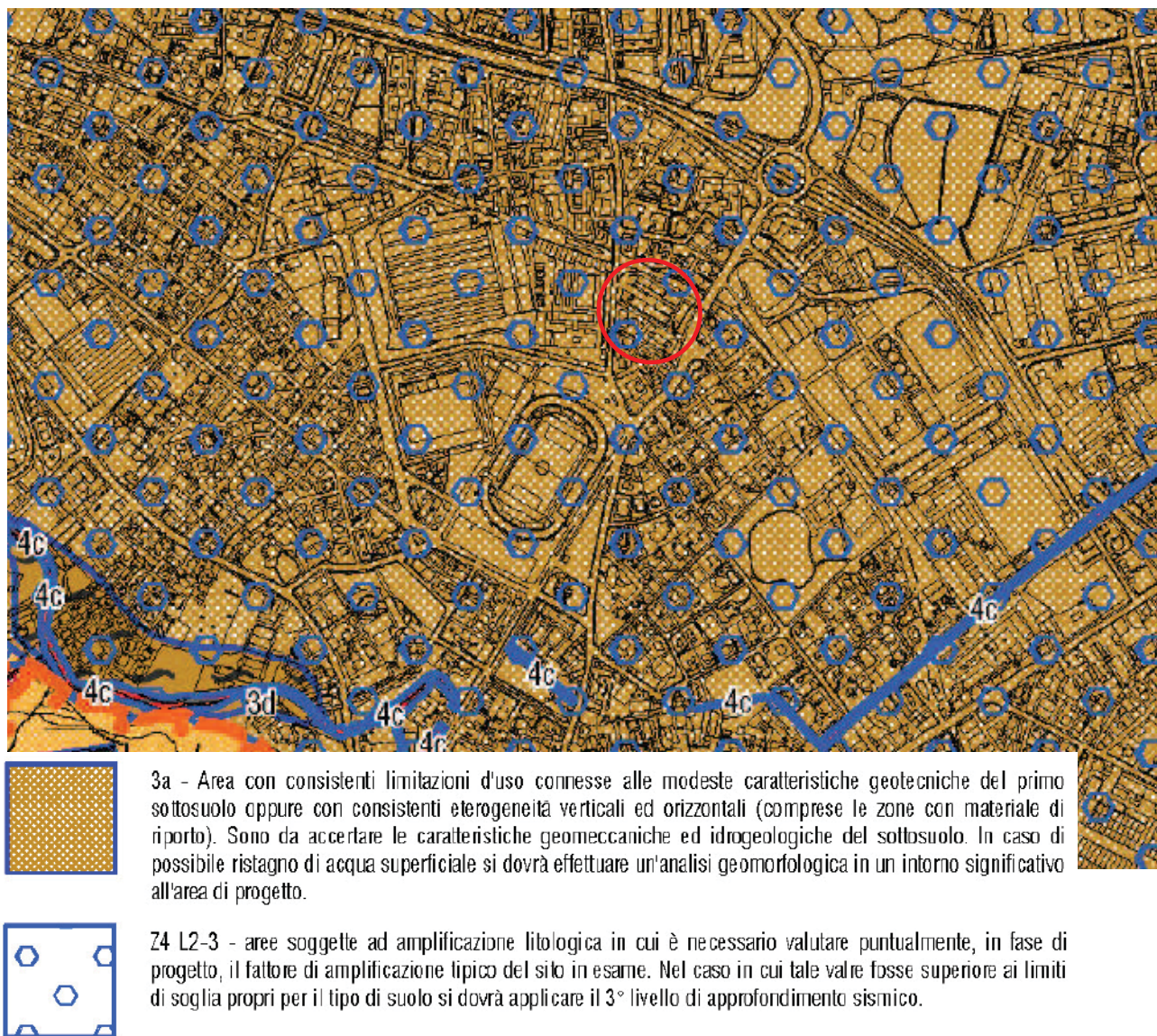


Fig. 6 – stralcio della carta di fattibilità geologica del PGT comunale

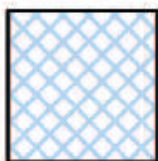
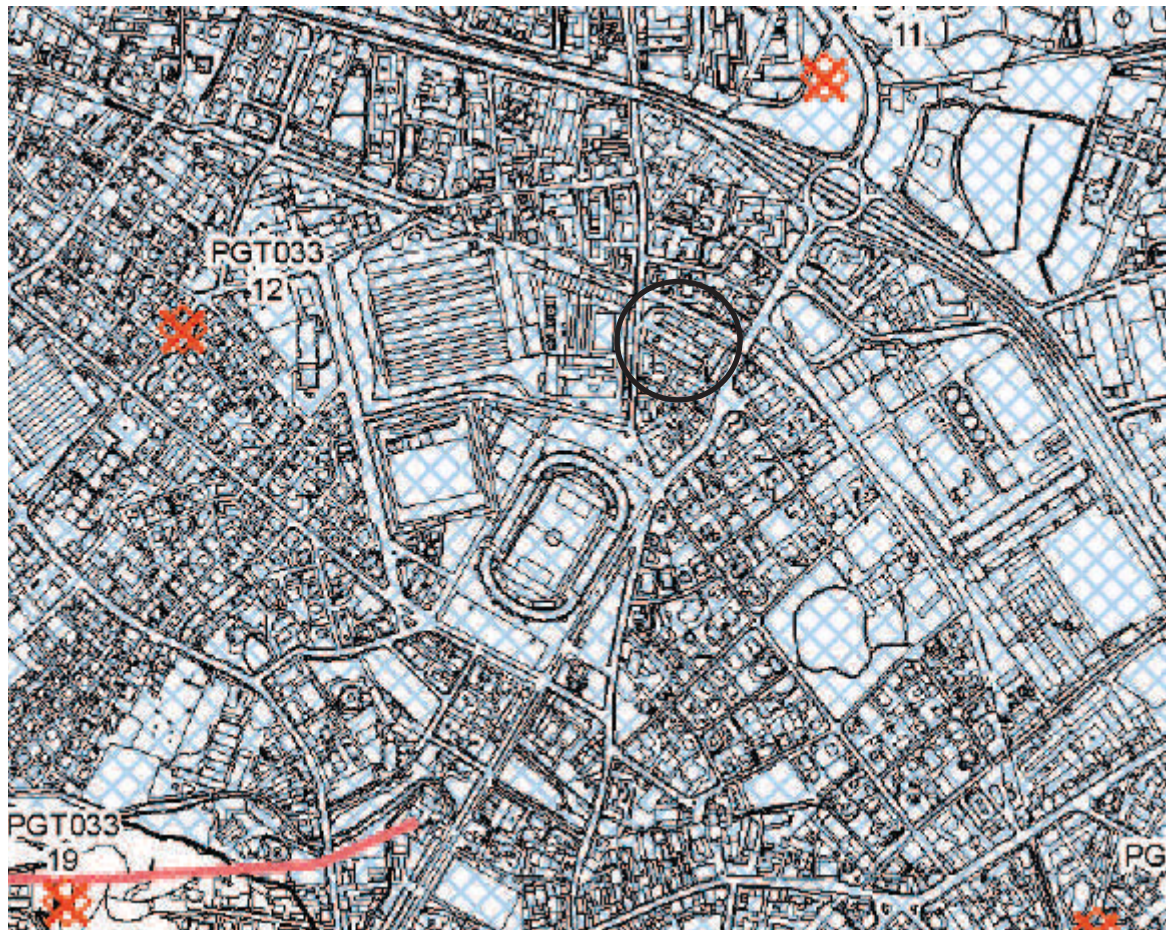
Considerati i risultati ottenuti nel corso della presente indagine redatti in prospettiva sismica, non vi sono particolari prescrizioni nell'attuazione delle future strutture di progetto.

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.**

**ANALISI SISMICA DI PRIMO LIVELLO**

Nella Carta della pericolosità sismica di I livello del PGT comunale l'area in esame viene classificata come Zona Z4a: "Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi".



Z4a

Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi

Fig.7 – Carta della pericolosità sismica di I livello del PGT comunale

**ANALISI DI SECONDO LIVELLO AI SENSI DELLA D.G.R. 2616/2011 - allegato 5**

Per la definizione del modello sismo-stratigrafico sito specifico utile per l'esecuzione dell'analisi di 2° livello, è stata eseguita direttamente un'indagine sismica tipo MASW all'interno del lotto oggetto di indagine.

Con l'analisi di 2° livello viene definito il fattore di amplificazione (Fa) sito specifico per l'area di indagine, non caratterizzata nello studio geologico comunale.

**Analisi 2° livello**

La caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica è stata eseguita attraverso i risultati ottenuti dalla prova MASW (valore di Vs30).

La correlazione dei risultati ha permesso l'elaborazione di un modello geologico di riferimento e la successiva implementazione dei dati per il calcolo del valore di Fattore di Amplificazione (Fa) con la procedura proposta dalla normativa regionale vigente.

Il passo successivo è rappresentato dall'utilizzo delle schede di valutazione di riferimento proposte dalla normativa in Allegato 5 della L.R. 11/03/05 n. 12 art. 57.

La scheda di valutazione è stata scelta sulla base della litologia prevalente, dell'andamento dei Vs con la profondità e del modello geofisico – geotecnico di riferimento.

Verificata la compatibilità della scheda si è proceduto alla scelta della curva appropriata (indicata con il numero ed il colore di riferimento) per la valutazione del valore di Fa nell'intervallo 0,1 – 0,5s (curva 1, 2 e 3 e relative formule) e nell'intervallo 0,5 – 1,5 s (unica curva e relativa formula) sulla base del periodo proprio di sito T.

L'intervallo tra 0.1 – 0.5s è da ritenersi adeguato a strutture ed a edifici relativamente bassi, regolari e piuttosto rigidi, mentre l'intervallo 0.5 – 1.5s si riferisce a strutture più alte e flessibili come quello in oggetto.

**VERIFICA DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE (Fa) E RISULTATI RAGGIUNTI**

Il fattore di amplificazione Fa è stato calcolato solamente per gli effetti litologici per entrambi gli intervalli di periodo indicati nella scheda di valutazione.

In allegato è visibile il modello geofisico di riferimento relativo ai risultati della prova MASW.

Qui di seguito vengono esposti i risultati raggiunti per il calcolo del valore di Fa ed il relativo confronto con il valore di soglia (considerando una tolleranza/variabilità di +/- 0,1) proprio del Comune di Bergamo.

La scheda di valutazione che da un punto di vista litostratigrafico si ritiene più affine alla realtà dei terreni locali è la **“LIMOSO-ARGILLOSA TIPO 2”**.

**Il profilo delle Vs rientra quasi perfettamente all'interno del campo di validità della scheda.**

**Per quanto riguarda l'intervallo tra 0.1 e 0.5 la curva utilizzata e la “curva 2” di colore verde** (vedi specifica formula allegato 5 D.G.R. 28 MAGGIO 2008 – N. 8/7374).

Con periodo proprio di sito  $T = 0,36$  e suolo **tipo C** (ottenuto dalla prova masw eseguita) si ottiene:

$Fa_{0.1 - 0.5s} = 2,13$       valore di soglia comunale = 1,5  
 $Fa_{0.5 - 1.5s} = 1,28$       valore di soglia comunale = 1,7

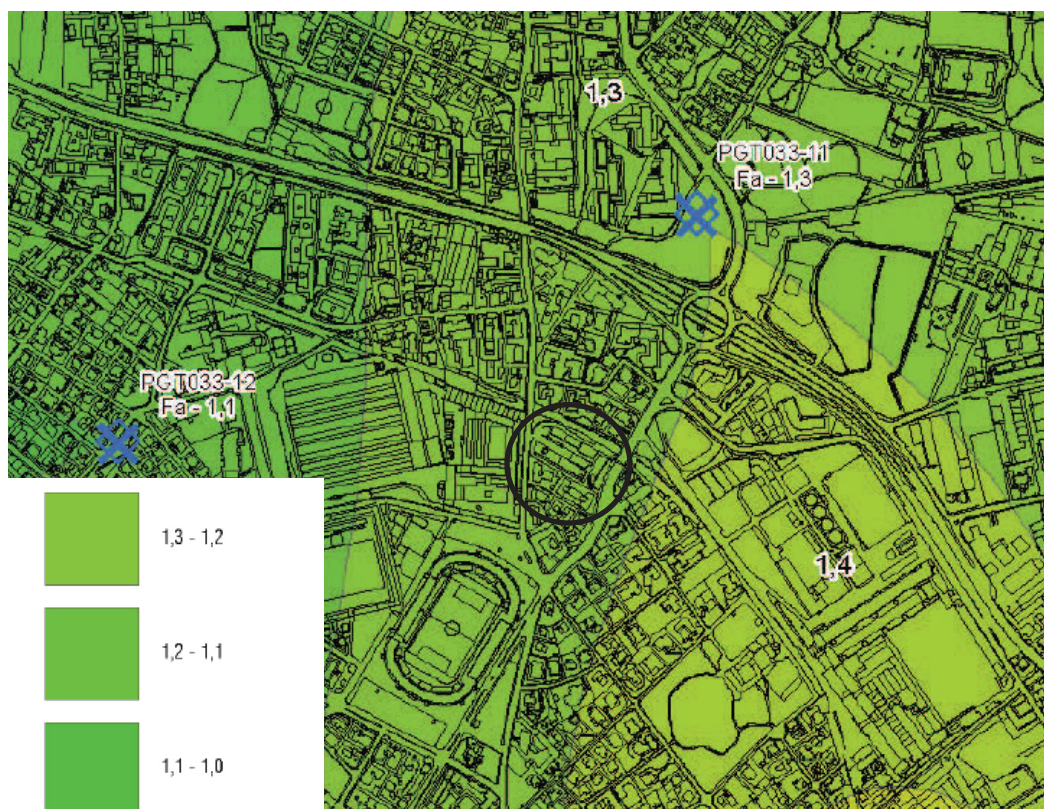
Come si può notare i valori di  $Fa$  determinati mediante le schede di valutazione risulta maggiore del valore soglia per il periodo 0.1 – 0.5 (edifici bassi e rigidi) mentre risulta inferiore per il periodo 0.5 – 1.5 (edifici alti e flessibili come quello in oggetto):

$$Fa_{0.1 - 0.5s} = 2,13 > 1,5$$

$$Fa_{0.5 - 1.5s} = 1,28 < 1,7$$

La normativa è pertanto sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi, in fase di progettazione, si conferma l'utilizzo dello spettro di norma caratteristico della categoria di suolo C.

Quanto emerso dall'analisi effettuata risulta completamente in linea con quanto indicato nella carta dei fattori di amplificazione per il periodo 0.5 - 1.5 allegata al PGT.



*Fig.8 – Carta fattori di amplificazione litologica intervallo 0.5 – 1.5 del PGT comunale*



## CONCLUSIONI

### A – Geologia e litostratigrafia dei terreni

Le valutazioni litostratigrafiche del sottosuolo dell'area oggetto di studio sono state ricavate dalle stratigrafie dei 4 sondaggi geognostici eseguiti.

I valori di resistenza alla punta ottenuti valutando le prove SPT eseguite all'interno dei fori di sondaggio portano a ritenere l'intera area indagata, almeno entro i primi 15 m di profondità dal p.c., omogenea da un punto di vista litostratigrafico e geomeccanico e costituita da litologie prevalentemente argillose fino a -9 m dal p.c. Localmente nei primi 3,5 metri dal p.c., come rilevato nella zona del sondaggio S2, sono presenti terreni di riporto ghiaioso-sabbiosi allo stato saturo in seguito al ristagno delle acque meteoriche che si infiltrano dalla superficie.

### B – Idrogeologia e livelli piezometrici

Le misurazioni piezometriche eseguite nei vari punti di misurazione e la conoscenza litostratigrafica del sottosuolo smentiscono la presenza di un acquifero freatico come invece sostenuto nello studio idrogeologico allegato al PGT.

Le differenze piezometriche rilevate nei diversi punti di misurazione indicano che esistono pressioni idrostatiche diverse che agiscono negli acquiferi del sottosuolo; tale constatazione può prestarsi a interpretazioni diverse che andrebbero affinate con l'ausilio di ulteriori informazioni:

- **La prima ipotesi è che vi possa essere nel sottosuolo (caratterizzato da una potente coltre argillosa), una sola falda artesianica impostata oltre i 9,0 m di profondità, che trova sfogo nelle lenti permeabili sature idraulicamente intercomunicanti;** tale assetto idraulico non trova riscontro nella morfologia dei luoghi e non consente quindi la ricostruzione di un modello idrogeologico sensato; sarebbero frequenti infatti i punti in cui la piezometria risulterebbe ad una quota maggiore del piano topografico.
- **La seconda ipotesi potrebbe essere la presenza di falde sospese, impostate nei livelli permeabili saturi che localmente attraversano la coltre argillosa, con caratteristiche di isolamento idrodinamico;** tale assetto idrogeologico darebbe luogo a singole falde sospese isolate di cui non è nota l'estensione e l'andamento. Tale ipotesi non risulterebbe così improbabile nelle zone pedemontane di passaggio fra l'alta pianura e la montagna.
- **La terza ipotesi un po' forzata è che se si vuole trovare una correlazione fra i livelli piezometrici rilevati, è necessario ipotizzare l'esistenza di due falde separate, che pur essendo entrambe in pressione, mostrano piezometrie diverse fra loro e non correlabili.** Si deve pensare ad una sorta di barriera idraulica (che materialmente può essere rappresentata dalla muratura interrata posta parallelamente a Viale Giulio Cesare) che tiene separata la piezometria con andamento N-S parallela a viale Giulio Cesare da quella con andamento opposto S-N che caratterizza tutta la zona centrale più depressa dell'area indagata fino alla Via Ponte Pietra. Esiste in sostanza una lacuna di correlazioni piezometriche in senso Est Ovest nella zona in cui è presente il piano interrato prossimo a Viale Giulio Cesare.

Non deve stupire in questo caso che a livello locale la direzione di scorrimento della falda possa essere anche contro pendenza (intendendo per pendenza l'inclinazione topografica della superficie originaria del territorio). Per le falde in pressione non è sempre possibile stabilire un verso e una direzione di scorrimento certi.

Si può quindi ipotizzare l'esistenza di almeno due falde con piezometrie fra loro non confrontabili che danno origine quindi ad andamenti e direzioni discordanti.

Questa ipotesi è stata presa in considerazione solamente per tentare la ricostruzione idrogeologica richiesta nella conferenza di servizi; si resta però del parere che la realtà idrogeologica locale sia più simile all'ipotesi 2 che non a due falde idraulicamente distinte.

### **C – Permeabilità dei terreni**

L'osservazione diretta del sottosuolo nei primi 9 m di profondità ha consentito di individuare terreni costituiti superficialmente da depositi argillosi impermeabili.

Tale composizione litostratigrafica, sulla base delle verifiche condotte (prova di permeabilità Lefranc a carico variabile) e delle conoscenze circa le caratteristiche fisiche delle argille, garantisce l'impermeabilità dei depositi rilevati. Tale caratteristica composizionale del substrato porta ad importanti osservazioni:

in primo luogo la potente coltre argillosa superficiale garantisce un efficace effetto barriera nella diffusione in profondità di un potenziale inquinante proveniente dalla superficie;

in secondo luogo la presenza di una falda in pressione non permette di giustificare la diffusione di un potenziale inquinante in falda seguendo le più elementari regole di diffusione di un inquinante in falda freatica (diffusione del plume di contaminazione da monte verso valle seguendo la direzione e verso di scorrimento di una falda libera). Una falda in pressione può determinare un flusso idrico che in funzione della pressione artesianica stessa può propagarsi in qualunque direzione seguendo delle vie preferenziali generate da livelli litologici a maggiore permeabilità (vene ghiaiose sature intercalate nei potenti livelli argillosi), anche contro gravità.

### **D – Caratteristiche geotecniche del sottosuolo**

Per la caratterizzazione geotecnica del terreno sono state eseguite delle prove penetrometriche standard SPT all'interno dei fori di sondaggio. I valori ottenuti sono confrontabili e pertanto ritenuti attendibili.

L'osservazione diretta del sottosuolo nei primi metri ha consentito di individuare, al di sotto dello strato superficiale costituito da terreno vegetale o da terreni di riporto, terreni aventi natura prevalentemente argillosa. In particolare il terreno presente nei primi 9 m circa di profondità dal p.c. (0 RIF.) risulta costituito da argille (**Orizzonte A**) modestamente consistenti, dotate di caratteristiche geotecniche medio-basse, come testimoniano i valori di resistenza alla penetrazione rilevati con le prove SPT ( $N_{spt}$  medio = 10). Al di sotto di tali depositi è stato rilevato un orizzonte maggiormente costipato costituito da argille con inglobata ghiaia (**orizzonte B**).

Le caratteristiche geomeccaniche del substrato di fondazione (spessore di terreno in cui si sviluppa il bulbo delle tensioni) seppur non elevate, sono omogenee, e pertanto idonee per tipologie di fondazioni dirette.

**E –Indicazioni progettuali per le opere di fondazione**

Sulla base delle risultanze di indagine si ritiene che l'omogeneità litostratigrafica riscontrata permetta di adottare fondazioni di tipo superficiale, da definirsi dopo un confronto con l'ingegnere strutturista che dimensionerà i C.A.

Resta prioritario procedere comunque all'impermeabilizzazione delle opere di fondazione a scopo cautelativo, al fine di evitare risalite idriche o il perdurare di umidità nelle opere di fondazione stesse. Anche la realizzazione di un idoneo sistema di drenaggio superficiale che allontani le acque piovane di infiltrazione dalle murature interrate, si rende fermamente necessario.

Considerata la complessità geologica, idrogeologica e geomeccanica dell'area indagata, si rimane a disposizione per ulteriori verifiche o confronto, qualora in fase di progettazione esecuzione o in fase di inizio lavori permanesse qualche incertezza esecutiva o apparisse qualche anomalia al momento non prevista o valutata.

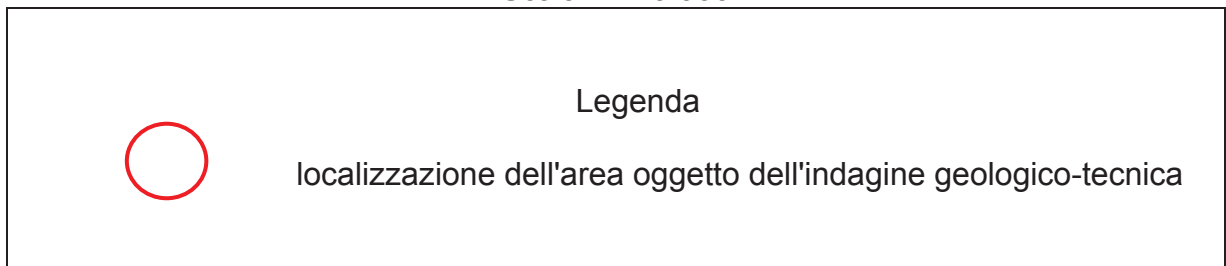
Orzinuovi, 29/01/2019

Geol. Guido Torresani



AEROFOTOGRAMMETRICO

Scala 1: 10.000



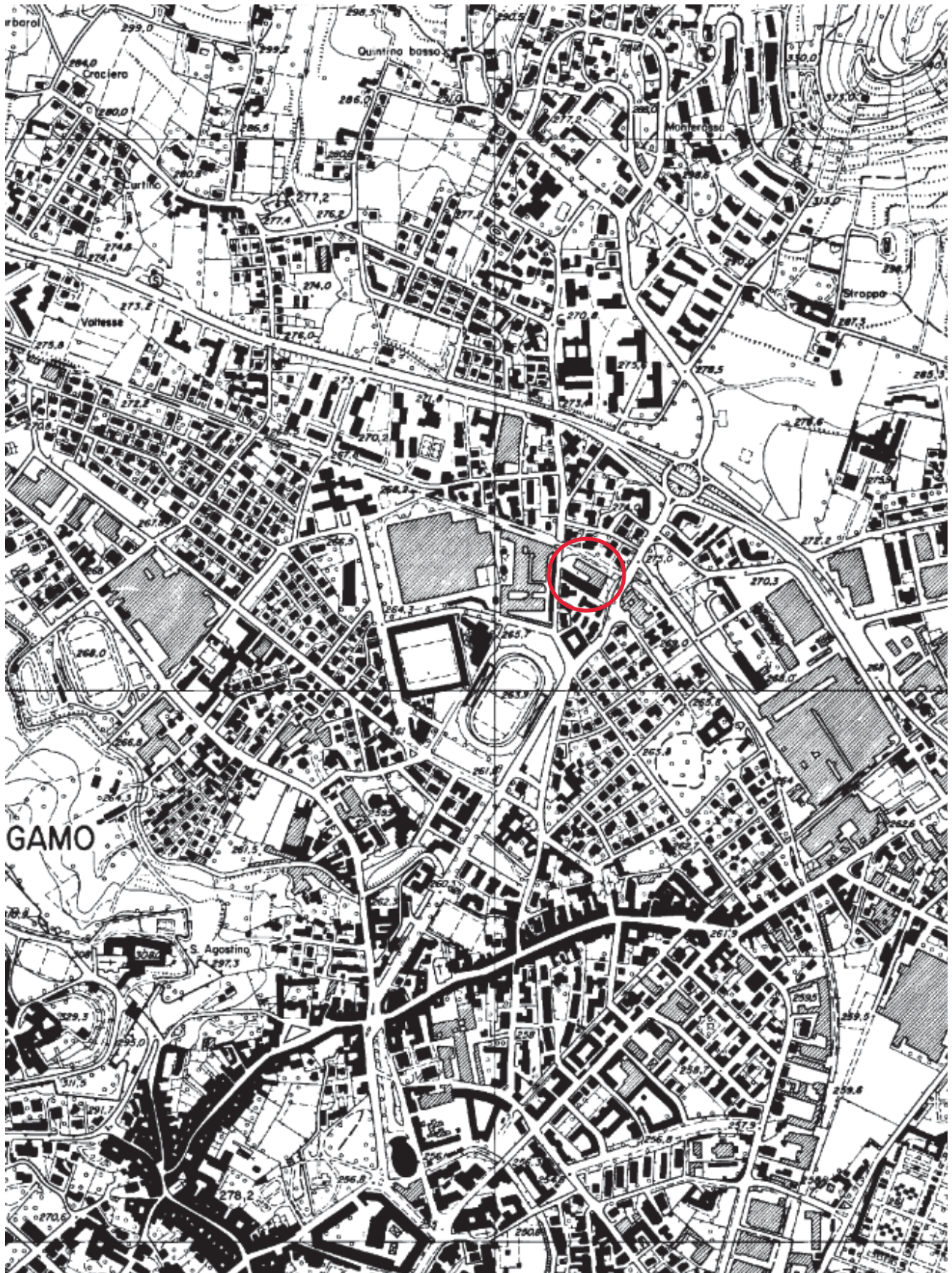
PLANIMETRIA STATO DI FATTO CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI  
ESEGUITE

STRATIGRAFIA SONDAGGI GEOGNOSTICI E DOCUMENTAZIONE  
FOTOGRAFICA CON TABELLE PROVE DI PERMEABILITÀ

FOTO SCAVO ESPLORATIVO PROFONDO 4,0 m - ASCIUTTO  
(UBICAZIONE IN PLANIMETRIA)






SEZIONE LITOSTRATIGRAFICO INTERPRETATIVA

ASSEVERAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA




INQUADRAMENTO CTR - FOGLIO C6B2 - SCALA 1:10.000 - BERGAMO (BG)

**LEGENDA**

-  Campionamento terreni (indagine preliminare del 04/10/2011)
-  Prova di campionamento acque del 30/08/2012 (esito negativo) - contraddittorio ARPA (Piano di Caratterizzazione)
-  Campionamento terreni del 29/08/2012 - contraddittorio ARPA (Piano di Caratterizzazione)
-  Campionamento terreni del 15/02/2013
-  Campionamento acque del 18/02/2013, del 08/05/2013 e del 02/08/2015

-  Superfici coperte
-  Superfici drenanti

**PZ.n**  
 Piezometro esistente monitoraggi ARPA

**Sn**  
 Sondaggi esplorativi con riferimento stratigrafico

**-----** SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA

**R4**  
 Sondaggi con riferimento piezometrico

**Comune di Bergamo**

COMMITTENTE

PROVINCIA DI BERGAMO

OGGETTO  
 Integrazione punti di campionamento terreni e acque sotterranee (PZ.n)

UBICAZIONE  
 Aree Ex I.S.M.E.S. Via Ponte Pietra - Bergamo (BG)

COMMITTENTE  
 I.S.M. S.r.l. Piazza della Repubblica n.2 Bergamo (BG)

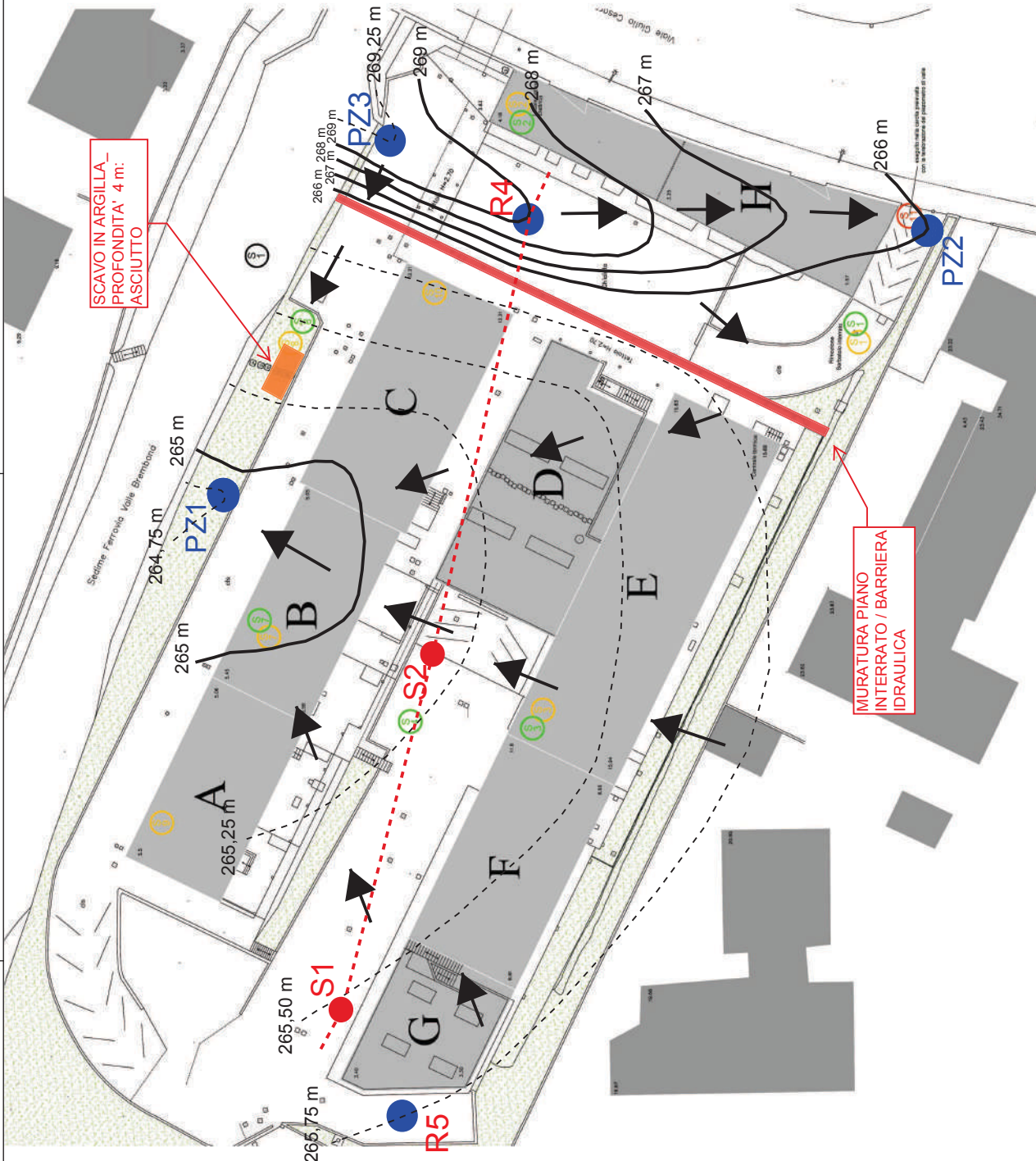
DATA  
 18 Gennaio 2017

SCALA  
 1:100

**TECNOLOGIE AMBIENTALI S.R.L.**

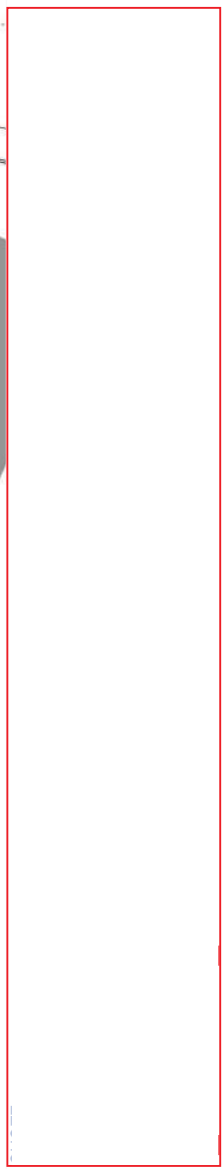
Via Libertà 4/25 - 24021 - Abbinio (BG) - Italia  
 Tel. 035-761022 - Fax 035-760533 - P.I. 020300860186  
[www.tecnologieambientali.it](http://www.tecnologieambientali.it) - [info@tecnologieambientali.it](mailto:info@tecnologieambientali.it)

NUMERO TAVOLA  
**1/1**



SCAVO IN ARGILLA - PROFONDITA' 4 m. - ASCIUTTO

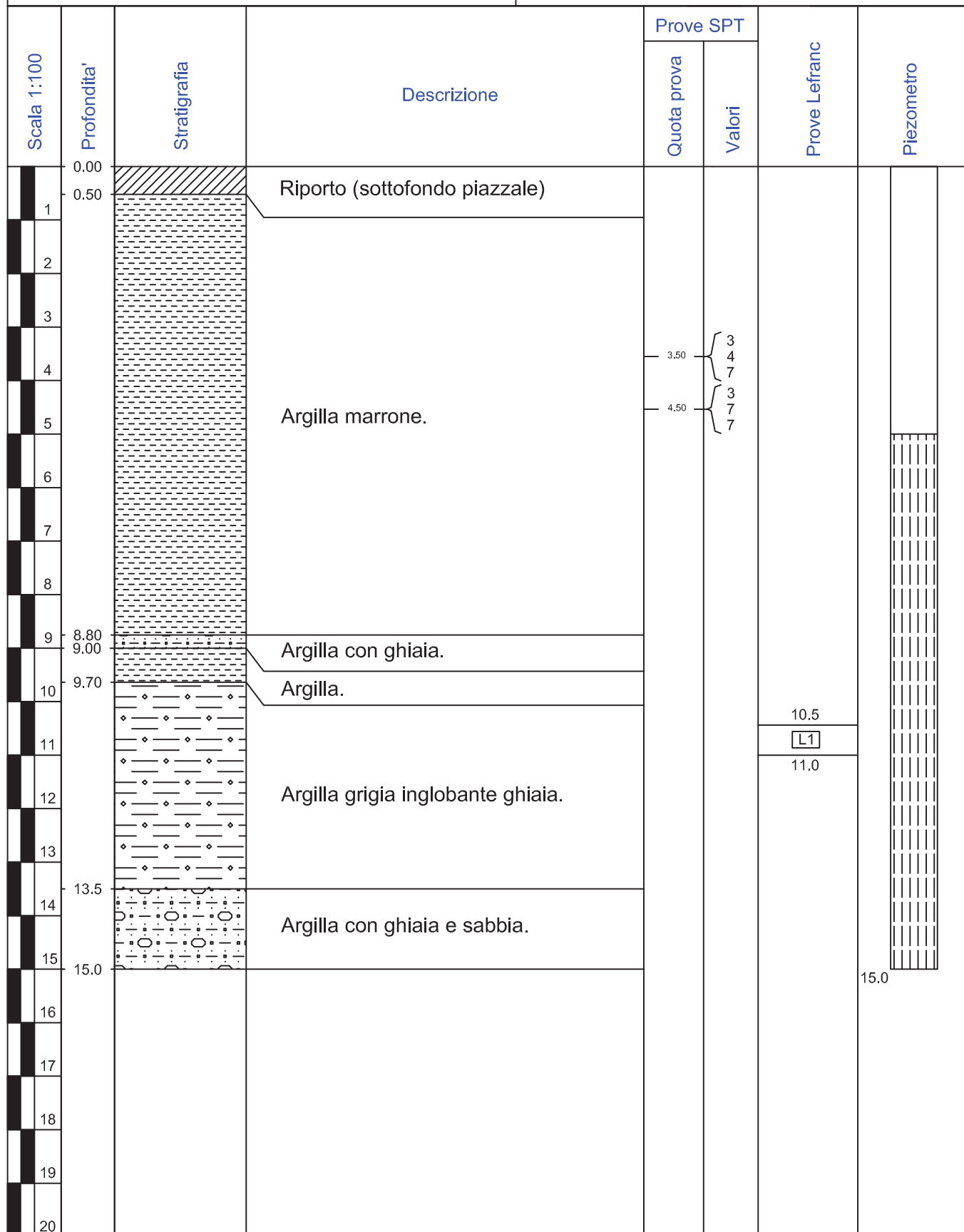
MURATURA PIANO INTERRATO / BARRIERA IDRAULICA



# STRATIGRAFIA SONDAGGIO GEOGNOSTICO

*Dott. Geol. Guido Torresani*  
*Via Roma n.4*  
*25034 Orzinuovi (BS)*  
Tel/fax: 030944193 cell. 3287214007

Committente: I.S.M. srl - P.zza Repubblica 2, Bergamo	Quota inizio sondaggio: p.c. (0.0 RIF)
Data: marzo 2010	Metodo di perforazione: carotaggio continuo
Località: Via Ponte Pietra - Bergamo	Profondità sondaggio: 15 m
Sondaggio: <b>S1</b>	Liv. falda: -8,8 m da p.c. (risalita fino a -2,0 m da p.c.)



**DOCUMENTAZIONE  
FOTOGRAFICA  
SONDAGGIO  
GEOGNOSTICO**

*Dott. Geol. Guido Torresani  
Via Roma n.4  
25034 Orzinuovi (BS)  
Tel/fax: 030944193 cell. 3287214007*

Committente: I.S.M. srl - P.zza Repubblica 2, Bergamo

Data: marzo 2010

Località: Via Ponte Pietra - Bergamo

Sondaggio: **S1** 0.0 m - 15.0 m





# STRATIGRAFIA SONDAGGIO GEOGNOSTICO

*Dott. Geol. Guido Torresani*  
*Via Roma n.4*  
*25034 Orzinuovi (BS)*  
Tel/fax: 030944193 cell. 3287214007

Committente: I.S.M. srl - P.zza Repubblica 2, Bergamo	Quota inizio sondaggio: p.c. (0.0 RIF)
Data: marzo 2010	Metodo di perforazione: carotaggio continuo
Località: Via Ponte Pietra - Bergamo	Profondità sondaggio: 15 m
Sondaggio: <b>S2</b>	Livello falda: terreno saturo a partire dalla superficie

Scala 1:100	Profondità'	Stratigrafia	Descrizione	Prove SPT		Prove Lefranc	Piezometro
				Quota prova	Valori		
1	0.00		Riporto: ghiaia e sabbia.				
2							
3							
4	3.30		Argilla.	3.50	{ 7 9 8 4 8 7		
5							
6							
7	6.50						
8	7.10		Argilla con ghiaia.				
8	7.60						
9	8.00		Argilla grigia.				
9	8.00						
10	9.00		Argilla con ghiaia.				
11							
12							
13			Argilla con ghiaia.				
14	13.5						
15	15.0		Argilla arancio-marrone.				
16							
17							
18							
19							
20							

**DOCUMENTAZIONE  
FOTOGRAFICA  
SONDAGGIO  
GEOGNOSTICO**

*Dott. Geol. Guido Torresani  
Via Roma n.4  
25034 Orzinuovi (BS)  
Tel/fax: 030944193 cell. 3287214007*

Committente: I.S.M. srl - P.zza Repubblica 2, Bergamo

Data: marzo 2010

Località: Via Ponte Pietra - Bergamo

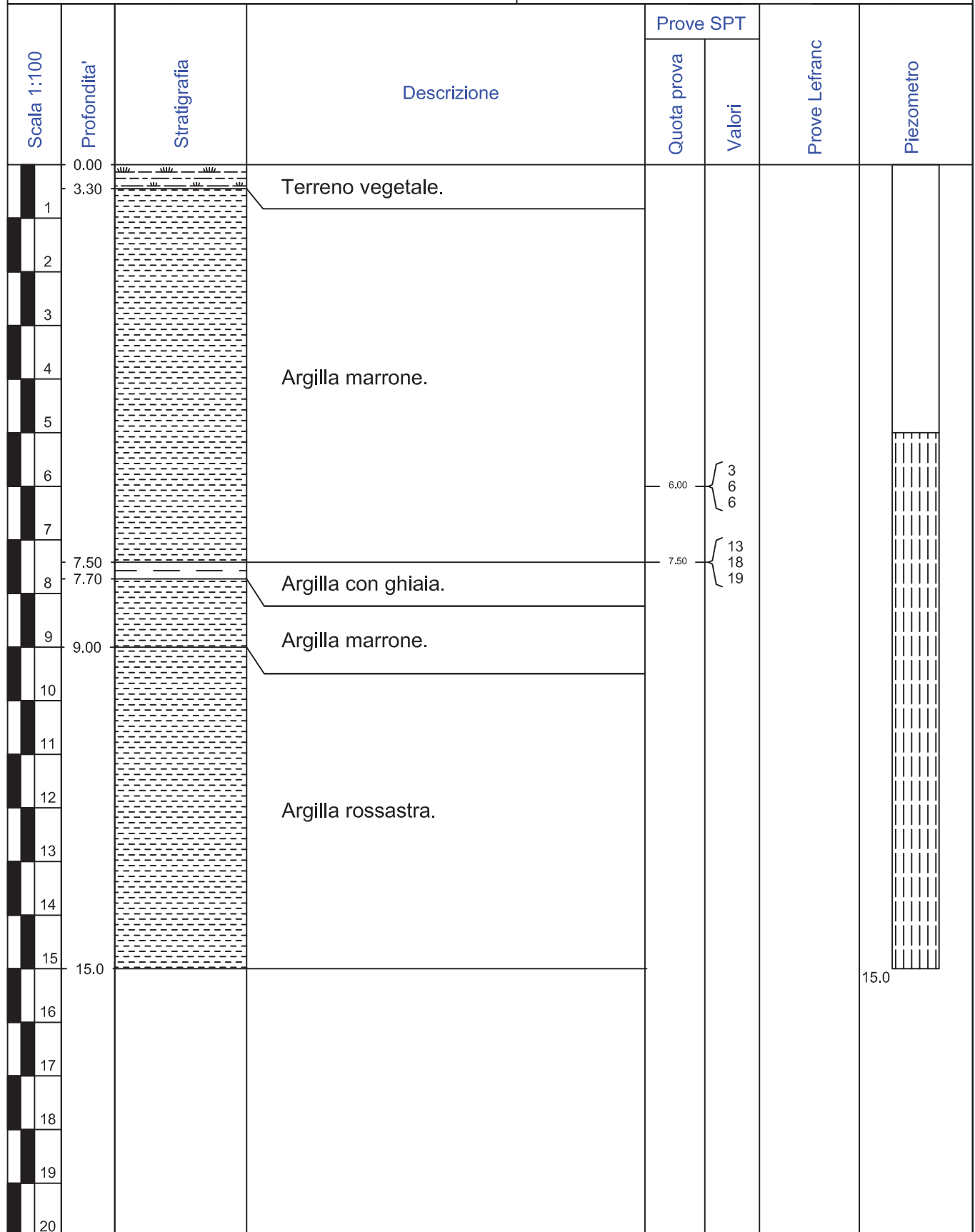
Sondaggio: **S2** 0.0 m - 15.0 m



# STRATIGRAFIA SONDAGGIO GEOGNOSTICO

*Dott. Geol. Guido Torresani*  
*Via Roma n.4*  
*25034 Orzinuovi (BS)*  
Tel/fax: 030944193 cell. 3287214007

Committente: I.S.M. srl - P.zza Repubblica 2, Bergamo	Quota inizio sondaggio: + 3,75 m da 0.0 RIF
Data: marzo 2010	Metodo di perforazione: carotaggio continuo
Località: Via Ponte Pietra - Bergamo	Profondità sondaggio: 15 m
Sondaggio: <b>S3-R4</b>	Liv.falda: -7,5 m da p.c. (risalita fino a -1,5 m da p.c.)



**DOCUMENTAZIONE  
FOTOGRAFICA  
SONDAGGIO  
GEOGNOSTICO**

*Dott. Geol. Guido Torresani  
Via Roma n.4  
25034 Orzinuovi (BS)  
Tel/fax: 030944193 cell. 3287214007*

Committente: I.S.M. srl - P.zza Repubblica 2, Bergamo

Data: marzo 2010

Località: Via Ponte Pietra - Bergamo





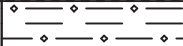



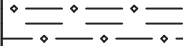
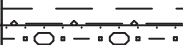



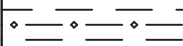
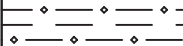
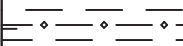
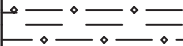
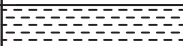



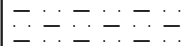
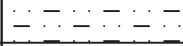
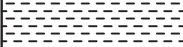
Sondaggio: **S3-R4** 0.0 m-15.0 m



**STRATIGRAFIA  
SONDAGGIO  
GEOGNOSTICO**

*Dott. Geol. Guido Torresani  
Via Roma n.4  
25034 Orzinuovi (BS)  
Tel/fax: 030944193 cell. 3287214007*

Committente: I.S.M. srl - P.zza Repubblica 2, Bergamo	Quota inizio sondaggio: p.c. (0.0 RIF)
Data: marzo 2010	Metodo di perforazione: carotaggio continuo
Località: Via Ponte Pietra - Bergamo	Profondità sondaggio: 30 m
Sondaggio: <b>S4-R5</b>	Liv.falda: -8,0 m da p.c. (risalita fino a -2,7 m da p.c.)

Scala 1:100	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Prove SPT		Prove Lefranc	Piezometro
				Quota prova	Valori		
	0.00						
	0.30		Riporto.				
2			Argilla.				
4			Argilla.				
	4.20		Argilla con ghiaia.				
6			Argilla con ghiaia.				
	6.00		Argilla.				
8			Argilla.	3.50	3 5 6		
	9.00		Argilla inglobante ghiaia.	4.50	2 4 5		
10			Argilla inglobante ghiaia.				
12			Argilla con ghiaia e sabbia.				
14			Argilla con ghiaia e sabbia.				
	15.2		Argilla con ghiaia.				
16			Argilla con ghiaia.				
18			Argilla con ghiaia.				
20			Argilla con ghiaia.				
	20.0		Argilla marrone.				
22			Argilla marrone.				
24			Argilla marrone.				
	24.5		Argilla sabbiosa grigia.				
26			Argilla sabbiosa grigia.				
28			Argilla marrone.				
	26.7		Argilla marrone.				
30			Argilla marrone.				
	30.0		Argilla marrone.				
32							
34							
36							
38							
40							

**DOCUMENTAZIONE  
FOTOGRAFICA  
SONDAGGIO  
GEOGNOSTICO**

*Dott. Geol. Guido Torresani  
Via Roma n.4  
25034 Orzinuovi (BS)  
Tel/fax: 030944193 cell. 3287214007*

Committente: I.S.M. srl - P.zza Repubblica 2, Bergamo

Data: marzo 2010

Località: Via Ponte Pietra - Bergamo

Sondaggio: **S4-R5** foto 0.0 m -15.0 m

Pagina: 1/2



**DOCUMENTAZIONE  
FOTOGRAFICA  
SONDAGGIO  
GEOGNOSTICO**

*Dott. Geol. Guido Torresani  
Via Roma n.4  
25034 Orzinuovi (BS)  
Tel/fax: 030944193 cell. 3287214007*

Committente: I.S.M. srl - P.zza Repubblica 2, Bergamo

Data: marzo 2010

Località: Via Ponte Pietra - Bergamo

Sondaggio: **S4-R5** foto: 15.0 m -30.0 m

Pagina: 2/2



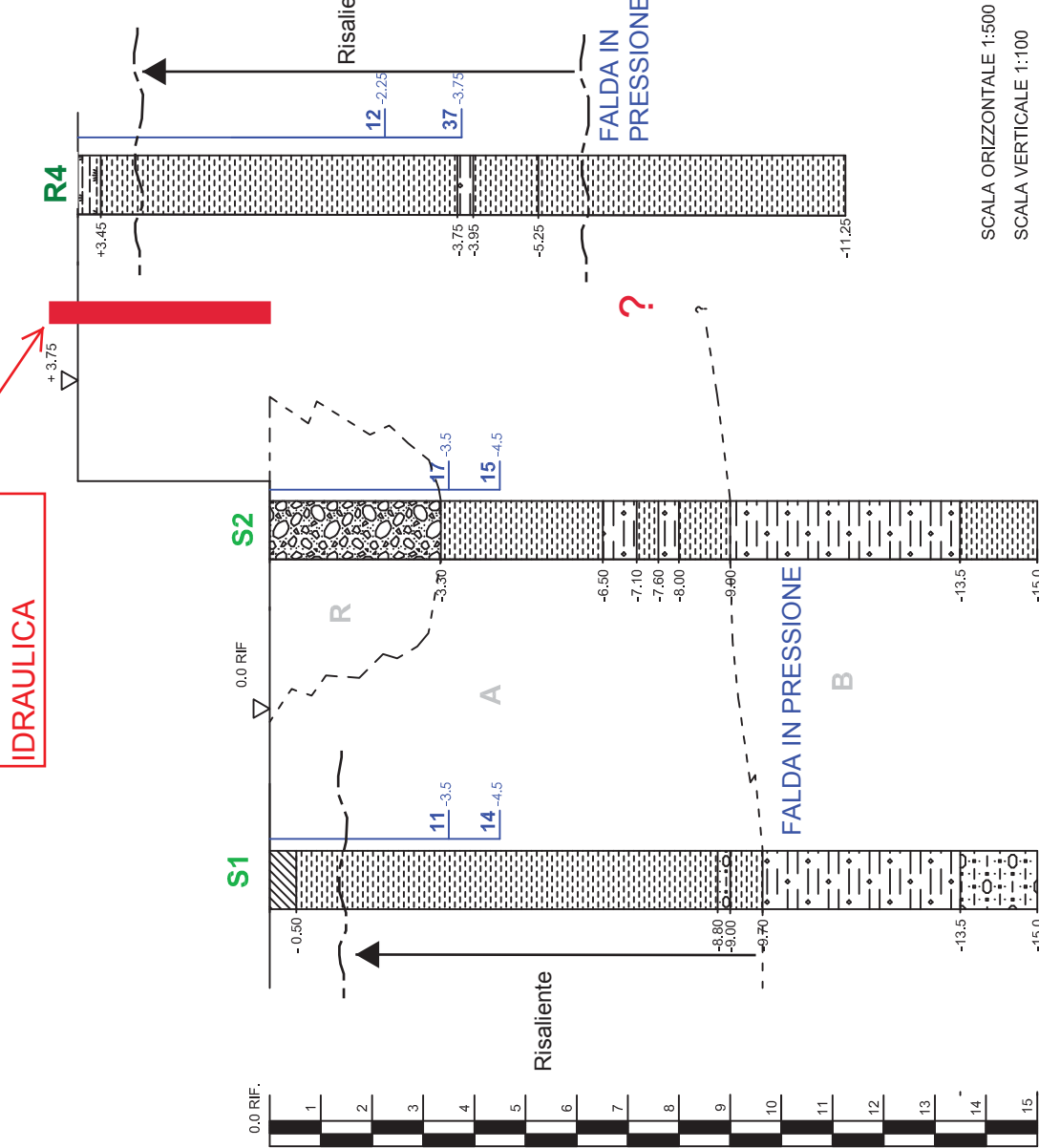
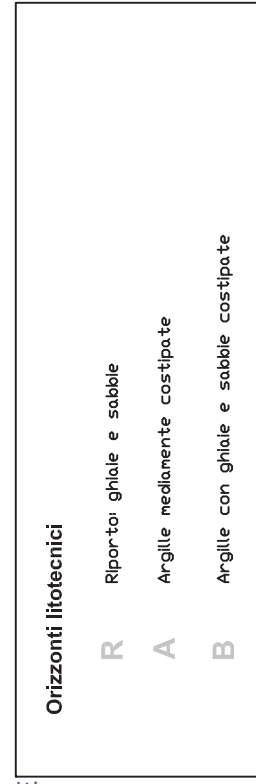
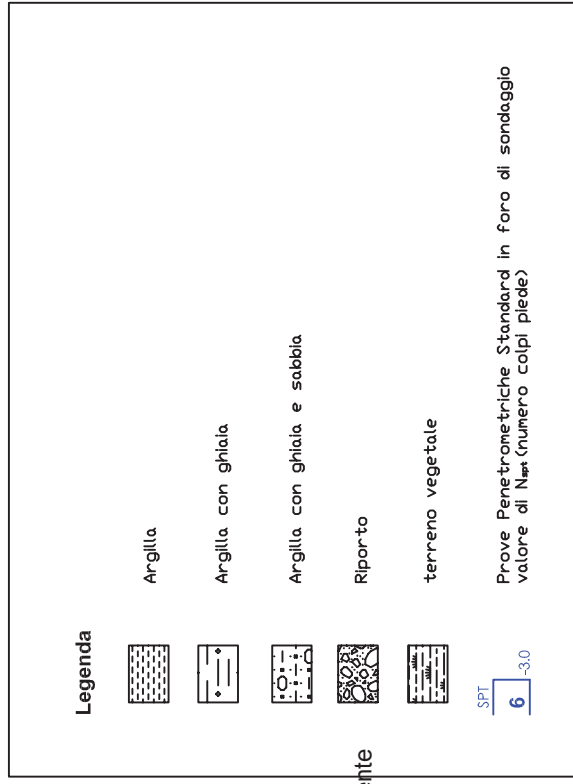




MURATURA  
PIANO  
INTERRATO /  
BARRIERA  
IDRAULICA

A

A'



SEZIONE GEOTECNICA

## PROVA DI LEFRANC A CARICO VARIABILE

Località: Bergamo - Via Ponte Pietra

Data: Marzo 2010

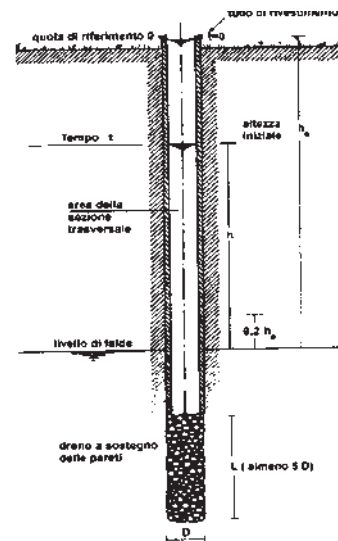
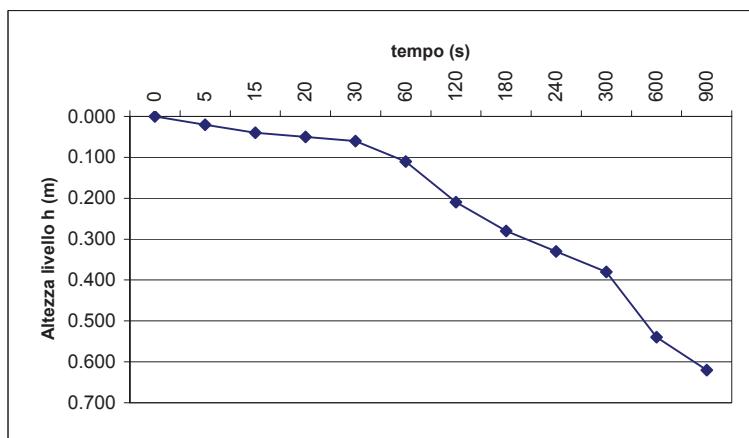
Committente: I.S.M. s.r.l.

SONDAGGIO: **S1**

Tempo (s)	livello da bocca foro (m)	h (altezza livello da fondo foro)	Permeabilità K (m/s)
0	0.000	11.50	
5	0.020	11.48	8.82E-06
15	0.040	11.46	5.88E-06
20	0.050	11.45	4.42E-06
30	0.060	11.44	2.21E-06
60	0.110	11.39	3.70E-06
120	0.210	11.29	3.72E-06
180	0.280	11.22	2.62E-06
240	0.330	11.17	1.88E-06
300	0.380	11.12	1.89E-06
600	0.540	10.96	1.22E-06
900	0.620	10.88	6.18E-07
1200	0.730	10.77	8.58E-07
1500	0.810	10.69	6.29E-07
1800	0.880	10.62	5.55E-07

Diametro del foro (m)	<b>0.127</b>
Area del foro (mq)	<b>0.01266</b>
Lunghezza del tratto filtrante (m)	<b>0.50</b>
Profondità del foro (m)	<b>11.00</b>
Sporgenza testa tubo rivestimento (m)	<b>0.50</b>

Permeabilità media (m/s): **3.15E-06**





Viale Michelangelo, 40 – 25015 Desenzano del Garda (BS)

Cell: 347 9428449 – 349 2936733

P.IVA/C.F. 03632850982

mail: [info@crestanasrls.com](mailto:info@crestanasrls.com)

[www.crestanasrls.com](http://www.crestanasrls.com)

---

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 PONTE PIETRA, NEL COMUNE DI BERGAMO (BG)

---

Committente: *Dott. Geol. Guido Torresani*

---

---

RAPPORTO TECNICO

---

Data

28 Gennaio 2019

---



**CRESTANA S.r.l.s.**  
INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE ED AMBIENTALI

Viale Michelangelo, 40 – 25015 Desenzano del Garda (BS)  
Cell: 347 9428449 – 349 2936733  
mail: [info@crestanasrls.com](mailto:info@crestanasrls.com)  
[www.crestanasrls.com](http://www.crestanasrls.com)

## INDICE

1 -PREMESSA .....	3
2 -ANALISI HVSR .....	3
2.1 - Cenni sulla metodologia HVSR.....	3
2.2 - Acquisizione dei dati .....	4
2.3 - Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti.....	4
2.4 - Descrizione dei risultati .....	6
3 -INDAGINE SISMICA MASW .....	7
3.1 - Cenni sulla metodologia MASW .....	7
3.2 - Acquisizione dei dati .....	8
3.3 - Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti.....	8
4 -PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO .....	11

## 1 - PREMESSA

Su incarico conferito dal *Dott. Geol. Guido Torresani* alla ditta *Crestana S.r.l.s.* è stata eseguita, in data 28 Gennaio 2019, una prospezione geofisica finalizzata alla ricostruzione stratigrafica e sismica dei terreni, nell'ambito di uno Studio Geologico eseguito in Via Ponte Pietra, nel Comune di Bergamo (BG).

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 onde Vs** in profondità ed eseguire la valutazione del parametro **Vs<sub>eq</sub>** di sito, al fine di classificare il terreno di fondazione secondo il *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 alla quali la curva H/V mostra dei massimi, sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura. L'ampiezza di questi massimi è proporzionale (anche se non linearmente) all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente alla base della copertura.

In particolare, in presenza di forti variazioni nel profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo (legate per esempio alla transizione fra sedimenti soffici e basamento rigido), la funzione H/V mostra dei massimi marcati in corrispondenza della frequenza di risonanza *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.

## 2.2 - Acquisizione dei dati

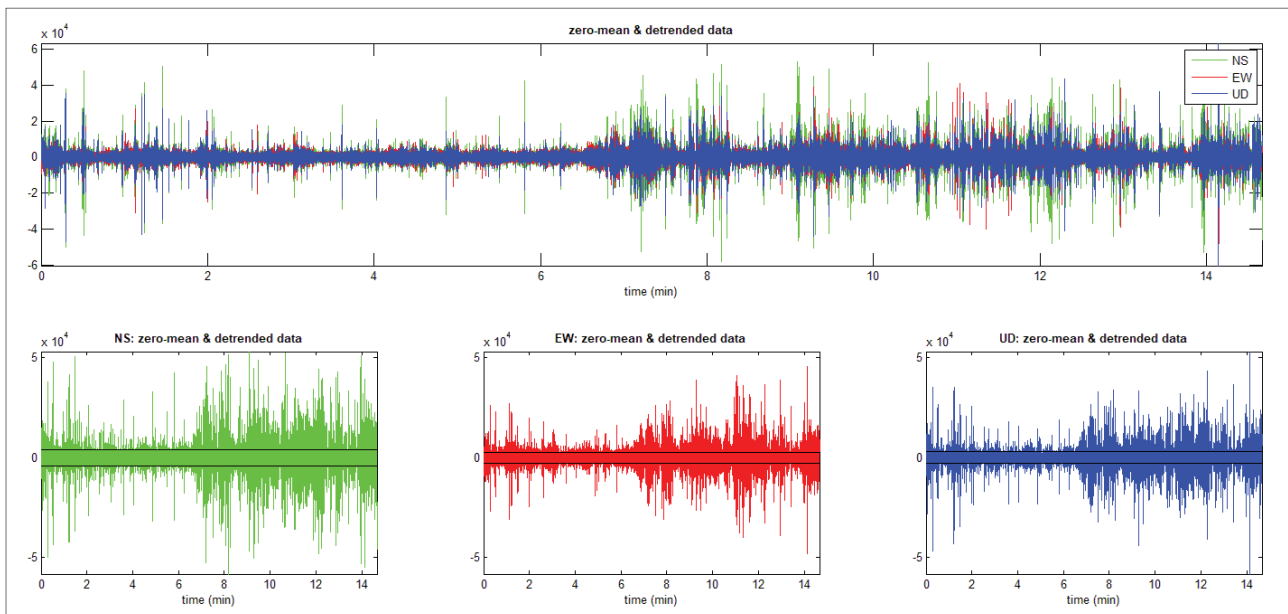
Nell'area d'indagine è stata eseguita, mediante stazione singola o tromometro, una misura di rumore sismico ambientale per un tempo di registrazione massimo di 16 minuti.

La strumentazione utilizzata si compone nello specifico di:

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

## 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.

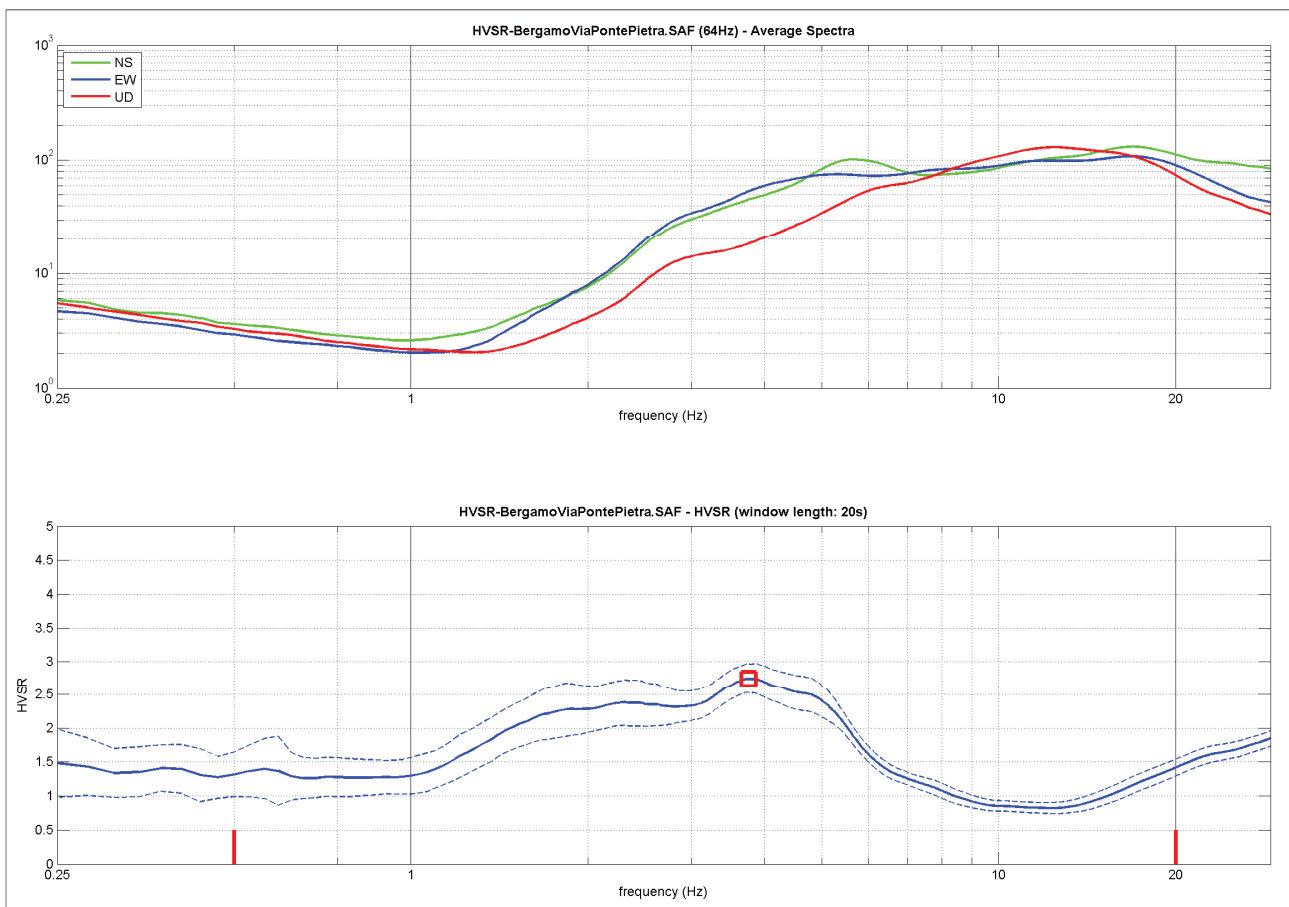


**Fig. 1** - Visualizzazione dei dati dopo la rimozione di eventi transienti.

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

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

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.

La curva HVSR calcolata, indica un picco principale a circa 3,8 Hz; la sua validità viene verificata, mediante software *winMASW*, secondo i criteri di ammissibilità del progetto *SESAME* (che definiscono la robustezza statistica della curva HVSR e degli eventuali picchi presenti).

---

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

- #1. [ $f_0 > 10/L_w$ ]:  $3.754 > 0.5$  (OK)
- #2. [ $n_c > 200$ ]:  $5781 > 200$  (OK)
- #3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

---

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

- #1. [exists f- in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 1.0Hz (OK)
- #2. [exists f+ in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 6.5Hz (OK)
- #3. [ $A_0 > 2$ ]:  $2.7 > 2$  (OK)
- #4. [ $f_{\text{peak}}[A_h/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (OK)
- #5. [ $\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$ ]:  $1.153 > 0.188$  (NO)
- #6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]:  $0.220 < 1.58$  (OK)

## 2.4 - Descrizione dei risultati

Il picco a 3,8 Hz con ampiezza pari 2,7 rispetta tutti i criteri *SESAME* per una curva affidabile; è inoltre rispettata la condizione che prevede la verifica di un minimo di 5 criteri su 6 per un picco chiaro. Il criterio #5 è spesso tra i più restrittivi; al di là della sua rigorosa formulazione, si è valutato il dato con buon senso e si è scelto di non andare a modificare i parametri di elaborazione affinché esso fosse verificato.

Dall'analisi della curva HVSR, eseguita tra 0,5 Hz e 20 Hz (frequenze di interesse ingegneristico) è quindi risultata una possibile frequenza principale di risonanza attorno a 3,8 Hz.

Il picco di risonanza principale del sito indagato può essere ritenuto di origine stratigrafica e attribuibile ad un contrasto di impedenza sismica, presente a circa 25-30 m dal p.c., tra la sequenza detritica superficiale e sottostanti orizzonti, presumibilmente ghiaiosi, maggiormente addensati.

Il picco individuato dall'analisi H/V, unitamente ad un picco secondario poco pronunciato posto a 1,8 Hz, quest'ultimo correlabile ad una discontinuità presente a circa 50,0-60,0 m dal p.c., sono stati quindi comunque utilizzati, tramite modellazione diretta, nell'analisi congiunta MASW+HVSR (**Fig. 5**), per trarre informazioni sismo-stratigrafiche utili da integrare all'analisi MASW.



### 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 ( $\lambda$ ), quindi frequenza è, infatti, influenzata dalle proprietà che il sottosuolo attraversato possiede ed è detta *velocità di fase*.

Le *MASW* attive sono realizzate tramite analisi delle onde di Rayleigh o di Love oppure, congiuntamente Rayleigh + Love. Queste rappresentano le onde di superficie prodotte dall'interazione delle onde di corpo (P e S) con una superficie di discontinuità fisica. Le onde di Rayleigh, e più precisamente le loro componenti verticali, vengono registrate tramite i comuni geofoni verticali a bassa frequenza e generate da una sorgente ad impatto verticale, la classica martellata. Le onde di Love invece vengono acquisite mediante geofoni a componente orizzontale e generate applicando una sorgente di taglio al terreno, questo perché le loro componenti si muovono solamente sul piano orizzontale, con oscillazione perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell'onda. Durante l'indagine in oggetto 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  $V_s$  e lo spessore degli strati. La velocità delle onde di Rayleigh ( $V_R$ ) infatti è correlabile alla  $V_s$ , essendo pari a circa il 90% della velocità delle onde di taglio. L'analisi del fenomeno della dispersione, che avviene attraverso la *curva di dispersione*, permette quindi di determinare le caratteristiche del sottosuolo. La curva di dispersione del *dataset* è ottenuta mediante il passaggio dal dominio *spazio-tempo* (sismogramma) al dominio *velocità di fase/frequenza* (spettro di velocità) effettuato mediante specifica operazione con software dedicato.

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

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

### 3.2 - *Acquisizione dei dati*

L'ubicazione e la lunghezza dello stendimento sono state scelte in funzione della logistica dei luoghi e dell'ingombro degli edifici esistenti nell'area di progetto. L'allineamento sismico ha previsto una distanza tra i geofoni pari a 1,0 m ed una serie di scoppi esterni e coniugati rispetto all'ultimo geofono con offset variabili (1-3-5-7-15 m) a diversa intensità di energizzazione. Per l'acquisizione delle onde di Love lo stendimento sismico ha previsto invece una distanza intergeofonica pari a 1,0 m ed una serie di scoppi esterni con offset di 3 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 24 geofoni a componente verticale.

L'acquisizione delle *onde di Love* è avvenuta invece mediante uno stendimento sismico di 24 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 24 geofoni (onde di Rayleigh) a movimento verticale (*Geospace GS11D*) e da uno stendimento di 24 geofoni (onde di Love) a movimento orizzontale (*Senshe* con livello a bolla), entrambi a frequenza di 4,5 Hz e puntale 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. 3-1000*); il sismografo A/D è in grado di campionare segnali tra 0.025 ms e 16 ms. Il sistema di acquisizione è completato da dispositivo di *trigger*, computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.

### 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  $V_s$ , mediante acquisizione sismica multicanale è ottenuta tramite l'analisi del segnale nel dominio frequenza/velocità di fase.

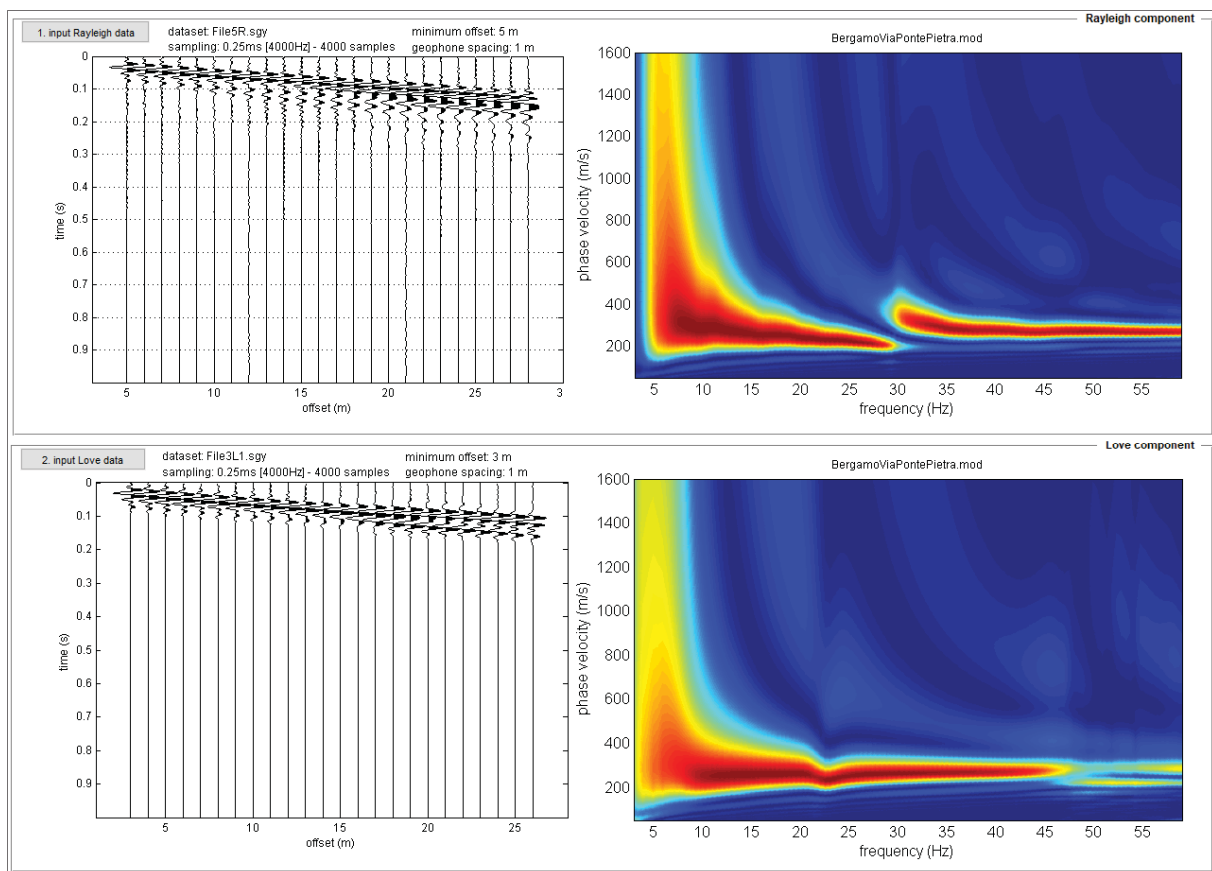
Viene utilizzato lo spettro di velocità in quanto è il dominio dove è chiaramente più immediato e naturale comprendere le proprietà dispersive del mezzo attraversato, determinando con precisione la velocità di ciascuna componente del segnale registrato.

Dopo aver scelto quindi 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 Love.

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



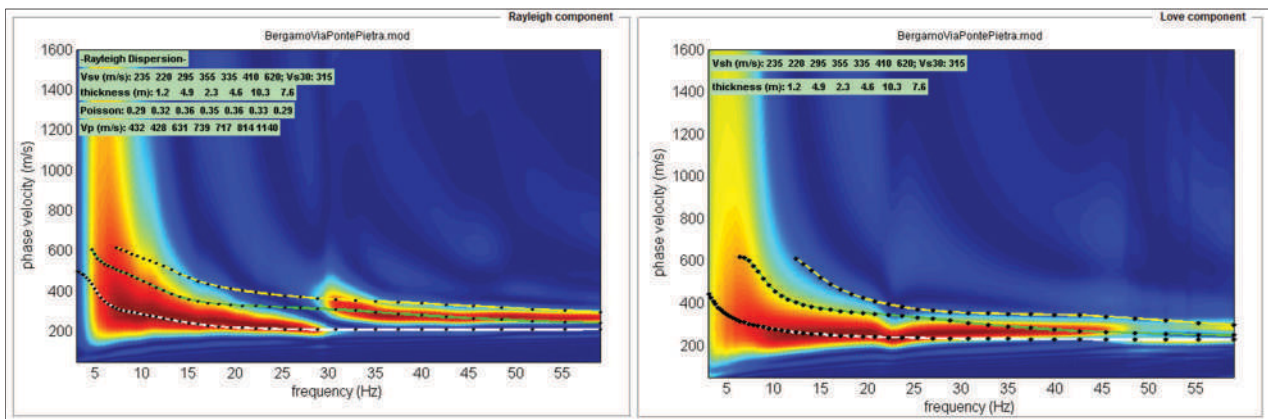
**Fig. 3 - Sismogrammi acquisiti (sx) e relativi spettri di dispersione (dx) della componente verticale delle onde di Rayleigh (in alto) e delle onde di Love (in basso).**

Si riassumono di seguito i dati relativi ai parametri di acquisizione utilizzati per i dataset prescelti per l'elaborazione:

ONDE DI RAYLEIGH	ONDE DI LOVE
Dati relativi allo shot 3 - File5R.sgy	Dati relativi allo shot 1 - File3L1.sgy
offset minimo: 5 m	offset minimo: 3 m
distanza intergeofonica: 1,0 m	distanza intergeofonica: 1,0 m
Intervallo di campionamento: 0,25 ms	Intervallo di campionamento: 0,25 ms
Tempo di acquisizione: 1 s	Tempo di acquisizione: 1 s

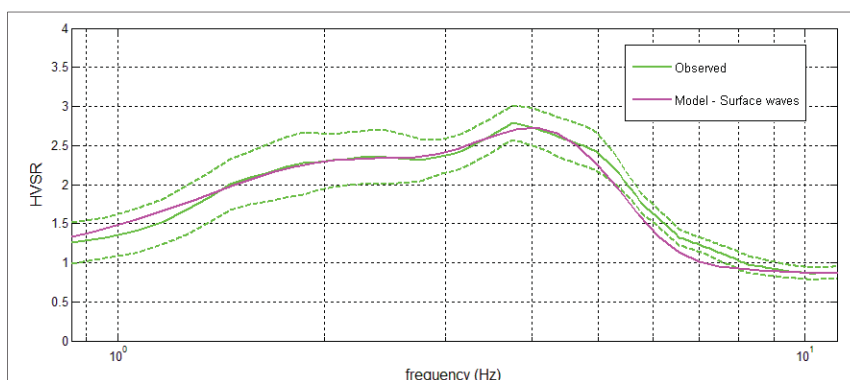
### ***Procedure di modellazione diretta e analisi congiunta Rayleigh+Love+HVSr***

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. 4**). Questo è stato iterativamente modificato fino ad ottenere una buona sovrapposizione degli andamenti delle curve di dispersione sui vari modi riconosciuti, contemporaneamente in entrambi gli spettri, al fine di ottenere un solo modello di velocità.



**Fig. 4** - Risultati dell'analisi congiunta Rayleigh+Love: modellazione diretta mediante individuazione del modo fondamentale e dei modi superiori che compongono lo spettro di velocità delle onde di Rayleigh (sx) e congiuntamente quello delle onde di Love (dx).

Inoltre, per l'interpretazione dello spettro di velocità nella sua parte a bassa frequenza (<10 Hz), quindi in corrispondenza delle porzioni profonde del modello geofisico, è stata considerata la curva HV ottenuta dall'indagine sismica HVSr (**Fig. 5**). 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. 5** - Confronto tra H/V sperimentale (verde) e teorico (viola), ottenuto per lo stesso modello di velocità considerato nell'analisi MASW.

## 4 - PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO

Per l'elaborazione e l'interpretazione dei dati, si è tenuto conto delle evidenze del segnale acquisito, dei sondaggi geognostici eseguiti entro il medesimo lotto di progetto e delle stratigrafie di alcuni pozzi terebrati in aree limitrofe a quella oggetto 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 MASW in onde di Rayleigh+Love ed in modo congiunto con l'analisi 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.

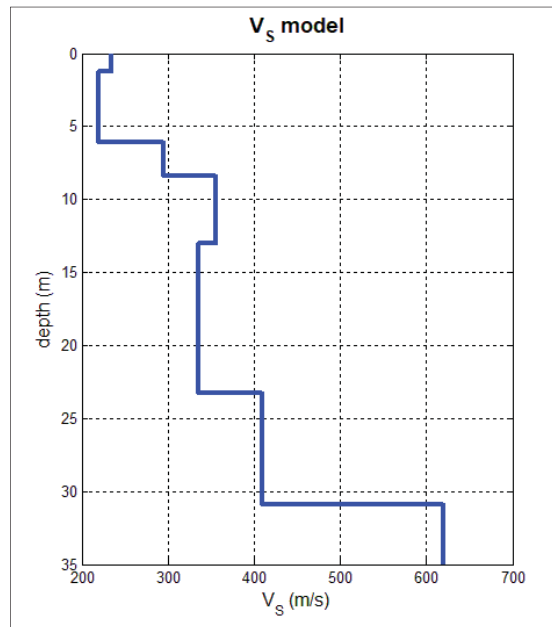
MODELLO GEOFISICO MEDIO - Via Ponte Pietra - Bergamo (BG)						
Sismostrato	Vs (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)	Stima densità (g/cm <sup>3</sup> )	Modulo di Poisson	Modulo di Taglio (MPa)
1	235	1,2	-1,2	1,85	0,29	102
2	220	4,9	-6,1	1,85	0,32	89
3	295	2,3	-8,4	1,94	0,36	169
4	355	4,6	-13,0	1,98	0,35	250
5	335	10,3	-23,3	1,97	0,36	221
6	410	7,6	-30,9	2,00	0,33	337
7	620	4,1	-35,0	2,09	0,29	802

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
Calcolo a partire dal ripiano di esecuzione MASW (p.c.)	Oltre 30 metri dal p.c.	315	C	$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$ Categoria di sottosuolo assegnata in base a quanto indicato nella Tabella 3.2 II

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.

Si riporta inoltre la stratigrafia schematica del modello medio fino a -35,0 m dal p.c., ottenuto mediante analisi MASW, utilizzato per il calcolo del parametro  $V_{s,eq}$  (**Fig. 6**).



**Fig. 6** - Profilo sismostratigrafico.

In base ai dati sismostratigrafici ottenuti, si rilevano orizzonti da scarsamente a moderatamente consistenti, per uno spessore complessivo pari a 8,4 m e con velocità delle onde di taglio (onde  $S$ ) comprese tra 220 e 295 m/s.

Da -8,4 a -30,9 m dal p.c., sono stati riscontrati valori di velocità delle onde  $S$  compresi tra 355 e 410 m/s, propri di terreni da moderatamente consistenti a consistenti e/o moderatamente addensati.

Deboli inversioni dei valori di velocità delle onde  $S$  (335 m/s), come quelle riscontrate tra -13,0 m e -23,3 m dal p.c., possono presumibilmente essere dovute alla presenza di uno o più livelli naturali poco meno addensati e/o consistenti rispetto all'intera sequenza deposizionale indagata.

Oltre -30,9 m dal p.c. si segnalano valori di  $V_s$  medio-alti e pari a 620 m/s, correlabili a depositi alluvionali/fluvioglaciali particolarmente addensati.

Il profilo sismostratigrafico ottenuto risulta correlabile con il quadro geologico dell'area oggetto di indagine e i valori di velocità delle onde  $S$  nei primi metri sono compatibili con l'andamento delle prove penetrometriche eseguite in foro di sondaggio, entro il medesimo lotto di indagine.

Desenzano del Garda, 28/01/2019



Il Tecnico

## UBICAZIONE DELL'AREA OGGETTO D'INDAGINE

(Via Ponte Pietra – Bergamo - BG)



Legenda:

-  Stendimento sismico con acquisizione ed elaborazione dei dati mediante metodologia MASW in onde di Rayleigh e di Love
-  Misura di microtremore sismico, con stazione singola, mediante tecnica HVSr

## ALLEGATO FOTOGRAFICO



*Stendimento sismico MASW*



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



*Acquisizione dei segnali sismici  
mediante sismografo Geometrics  
Mod. Geode 3-1000*



*Shot sismico orizzontale per la  
generazione delle onde di Love*

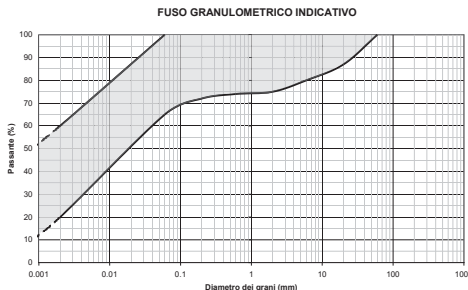


EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO – ARGILLOSA TIPO 2

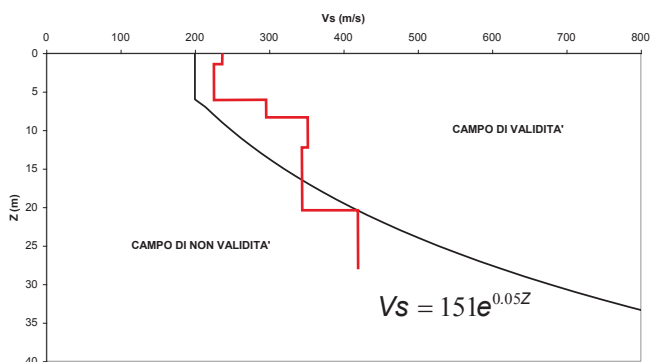
PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA e NOTE: come per la litologia limoso - argillosa TIPO 1, a cui in aggiunta è possibile associare i seguenti range di valori per alcuni parametri geotecnici significativi validi per argille con limi ghiaiosi debolmente sabbiosi:

PARAMETRO		INTERVALLO
Peso di volume naturale	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	19.5-20.0
Peso specifico particelle solide	$\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]	25.7-26.7
Contenuto d'acqua naturale	w [%]	20-25
Limite di liquidità	w <sub>L</sub> [%]	30-50
Limite di plasticità	w <sub>P</sub> [%]	15-20
Indice di plasticità	I <sub>P</sub> [%]	15-30
Indice dei vuoti	e	0.5-0.7
Grado di saturazione	S <sub>r</sub> [%]	90-100
Coefficiente di spinta a riposo	K <sub>0</sub>	0.5-0.6
Indice di compressione	C <sub>c</sub>	0.15-0.30
Indice di rigonfiamento	C <sub>s</sub>	0.02-0.06
Coefficiente di consolidazione secondaria	C <sub>a</sub>	0.001-0.005
Grado di consolidazione	OCR	1-3
Numero colpi prova SPT (nei primi 10 m)	N <sub>spt</sub>	15-30

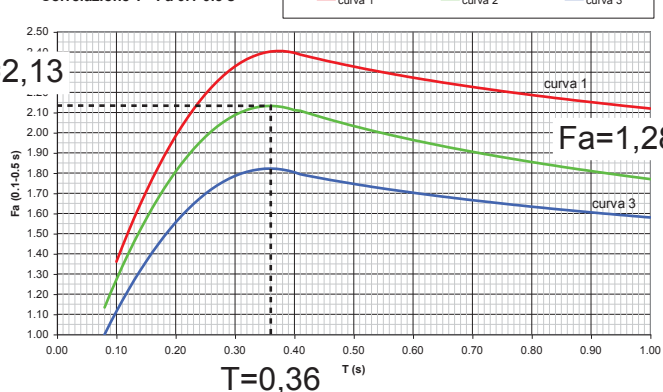


ANDAMENTO DEI VALORI DI Vs CON LA PROFONDITA'

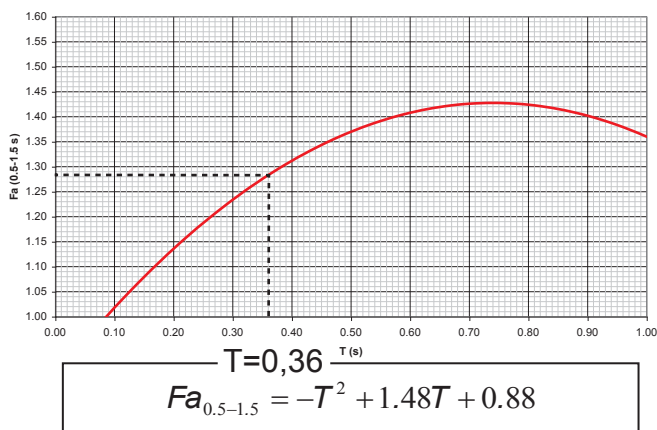


Velocità primo strato (m/s)	Profondità primo strato (m)																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30										
200				2	1	1																								
250				2	2	2	2	1	1	1																				
300				3	3	3	3	2	2	2	2	1																		
350				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3																	
400				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														
500				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												
700				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3											

Correlazione T - Fa 0.1-0.5 s



Correlazione T - Fa 0.5-1.5 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 $Fa_{0.1-0.5} = 1.58 - 0.24LnT$

Fa (0.1-0.5) calcolato > Fa soglia  
2,13 > 1,5

Fa (0.5-1.5) calcolato < Fa soglia  
1,28 < 1,7



DICHIARAZIONE/ASSEVERAZIONE DEL GEOLOGO  
DI CONGRUITA' DEI CONTENUTI DELLA RELAZIONE GEOLOGICA AI REQUISITI RICHIESTI DAL  
PARAGRAFO 6.2.1 NTC 2018 e/o DALLA D.G.R. 2616/2011

Il

sottoscritto GUIDO TORRESANI  
iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione LOMBARDIA - n. 1141.....incaricato in  
data gennaio 2019..... da I.S.M. s.r.l...... per conto  
di I.S.M. s.r.l...... di redigere la relazione geologica relativa  
al seguente intervento .....

REALIZZAZIONE NUOVE UNITA' ABITATIVE  
.....  
.....  
.....

da eseguire in Comune di BERGAMO  
Località .....

indirizzo VIA PONTE PIETRA / VIA GIULIO CESARE..... n° .....

CAP .....

Comune Catastale BERGAMO..... Foglio n. 23..... Mappale o  
Particella 617.....

consapevole che in caso di dichiarazione mendace sarà punito ai sensi del Codice Penale secondo quanto prescritto dall'art. 76 del D.P.R. 445/2000 e che, inoltre, qualora dal controllo effettuato emerga la non veridicità del contenuto di taluna delle dichiarazioni rese, decadranno i benefici conseguenti al provvedimento eventualmente emanato sulla base della dichiarazione non veritiera (art. 75 D.P.R. 445/2000),

DICHIARA

A. che la relazione geologica in oggetto è stata redatta ai sensi di:

- D.M. 17 gennaio 2018 (paragrafo 6.2.1 NTC 2018)
- D.G.R. 2616/2011 e D.M. 17 gennaio 2018 (paragrafo 6.2.1 NTC 2018)
- D.M. 17 gennaio 2018 (paragrafo 6.2.1 NTC 2018), recependo quanto contenuto in una relazione geologica già depositata, redatta ai sensi della D.G.R. 2616/2011 per il rilascio del titolo abilitativo relativo all'intervento in questione

B. che, nello studio geologico comunale (PGT vigente) redatto in attuazione dell'art. 57 comma 1 della L.R. 12/2005, al sito di intervento sono state attribuite le seguenti caratteristiche geologiche:

1. SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE PSL 1 LIV – DGR 2616/2011 all. 5 p.to 2.1

- |   |   |   |
|---|---|---|
| <input type="checkbox"/> Z1 Instabilità dei versanti    | <input type="checkbox"/> Z2a Cedimenti                              | <input type="checkbox"/> Z2b Liquefazione |
| <input type="checkbox"/> Z3 Amplificazione topografica  | <input checked="" type="checkbox"/> Z4 Amplificazione Stratigrafica |   |
| <input type="checkbox"/> Z5 Comportamenti differenziali | <input type="checkbox"/> Nessuno scenario                           |   |

1.1 VERIFICA SISMICA DI SECONDO LIVELLO PSL 2 LIV – DGR 2616/2011 all. 5 p.to 2.2

- Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) > Soglia comunale (FAS)\*  
 Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) <= Soglia comunale (FAS)\*  
 Analisi di secondo livello non effettuata

\* tenuto conto delle tolleranze ammesse nell'Allegato 5 della D.G.R. 2616/2011

2. CLASSE DI FATTIBILITA' GEOLOGICA – DGR 2616/2011 p.to 3.1

- 1 senza particolari limitazioni  
 2 con modeste limitazioni  
 3 con consistenti limitazioni  
 4 con gravi limitazioni

2.1 TIPO DI LIMITAZIONE ALLA FATTIBILITA' GEOLOGICA – DGR2616/2011 p.to 3.2

- a) Instabilità dei versanti dal punto di vista statico  
 b) Vulnerabilità idrogeologica  
 c) Vulnerabilità idraulica  
 d) Scadenti caratteristiche geotecniche  
 nessuna particolare limitazione

**DICHIARA INOLTRE**

**in fase di predisposizione dello studio geologico a supporto della progettazione**

- C. di aver seguito tutte le prescrizioni previste dalle norme geologiche di piano vigenti riportate nel piano delle regole del PGT del Comune di BERGAMO.....
- D. di aver eseguito ai sensi degli allegati alla DGR 2616/2011 conformemente alle linee guida disponibili:
- Approfondimento relativo all'instabilità dei versanti dal punto di vista statico (App1)  
 Approfondimento relativo alla vulnerabilità idrogeologica (App2)  
 Approfondimento relativo alla vulnerabilità idraulica (App3)  
 Approfondimento relativo alle scadenti caratteristiche geotecniche (App4)  
 Approfondimento relativo agli aspetti sismici (App5), la cui tipologia e grado sono dettagliatamente descritte nelle successive schede  
 Nessun particolare approfondimento
- E. di aver redatto il modello geologico del sito sulla base di:
- indagini appositamente eseguite nel sito d'interesse o nel suo immediato intorno, del tipo SONDAGGI GEOGNOSTICI, PROVE PENETROMETRICHE STANDARD SPT, PROVA.....  
SISMICA MASW.....

- .....  
.....
- indagini pregresse, la cui estendibilità al sito d'interesse è stata adeguatamente motivata in relazione, del tipo .....
- .....  
.....

F. di aver valutato i fenomeni di amplificazione sismica di tipo stratigrafico attraverso:

- analisi di risposta sismica locale
- procedura semplificata basata sulla definizione della seguente categoria di sottosuolo, di cui al paragrafo 3.2.2 NTC 2018, la cui applicabilità è stata adeguatamente motivata in relazione; pertanto è stata individuata la seguente categoria di sottosuolo:

A       B       C       D       E

mediante la seguente tipologia d'indagine PROVA SISMICA E ANALISI II LIVELLO ESEGUITE.....  
la cui idoneità al caso specifico è stata adeguatamente motivata in relazione.

G. di aver valutato i fenomeni di amplificazione sismica di tipo topografico attraverso:

- analisi di risposta sismica locale
- procedura semplificata basata sulla definizione della seguente categoria topografica, di cui al paragrafo 3.2.2 NTC 2018, la cui applicabilità è stata adeguatamente motivata in relazione; pertanto è stata individuata la seguente categoria topografica:

T1       T2       T3       T4

mediante analisi morfologica condotta su base topografica a scala 1:500.....  
la cui idoneità al caso specifico è stata adeguatamente motivata in relazione.

H. di aver adeguatamente considerato la sicurezza nei confronti del fenomeno della liquefazione, mediante:

- esclusione della verifica (paragrafo 7.11.3.4.2 NTC 2018), opportunamente motivata in relazione;
- verifica di stabilità (paragrafo 7.11.3.4.3 NTC 2018) mediante la seguente metodologia .....
- .....

I. che l'intervento previsto risulta fattibile e compatibile con l'assetto geologico del sito:

- senza esecuzione di opere e/o interventi specifici per la mitigazione del rischio
- previa esecuzione di opere e/o accorgimenti costruttivi da eseguirsi durante i lavori relativi all'intervento in oggetto
- previa esecuzione di specifiche opere e/o interventi per la mitigazione del rischio da eseguirsi prima dei lavori relativi all'intervento in oggetto; in relazione a questo si specifica che tali lavori:
- non sono stati eseguiti o sono stati eseguiti solo parzialmente

- sono stati eseguiti nel rispetto delle prescrizioni contenute nello studio specifico e con il quale risultano compatibili

**ASSEVERA**

ai sensi dell'art. 481 del Codice Penale la conformità di quanto eseguito ai fini della relazione in oggetto alla normativa nazionale e regionale vigente e la piena osservanza della relazione alle norme sismiche vigenti.

Dichiara infine di essere informato, ai sensi e per gli effetti del Regolamento UE 2016/679 e del Dlgs 101/2018 che i dati personali raccolti saranno trattati, anche con strumenti informatici, esclusivamente nell'ambito del procedimento per il quale la presente dichiarazione viene resa.

Luogo Orzinuovi , Data .29/01/2019...

IL GEOLOGO  
  
(timbro e firma)



**MODULO 9: Approfondimento 5 relativo agli aspetti sismici (App5) – AMPLIFICAZIONE**

Nel caso di scenari PSL di tipo Z3, Z4 e relativi sottotipi (Tabella 1 p.to 2.1 Allegato 5 D.G.R. IX/2616), qualora l'analisi sismica di II° livello non fosse stata eseguita nel sito d'indagine, sebbene obbligatoria, o fosse stata eseguita ma il fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) risulti maggiore del valore di soglia comunale (FAS), \*previo specifica tolleranza ammessa dalla normativa regionale (Allegato 5 D.G.R. IX/2616); tali approfondimenti saranno da prevedere anche nel caso dello scenario PSL di tipo Z5 (Tabella 1 p.to 2.1 Allegato 5 D.G.R. IX/2616)

	1° grado	2° grado	3° grado
Conoscenze minime obbligatorie al 1° grado di approfondimento	<input checked="" type="checkbox"/> Modello sismo-stratigrafico del sito		
Verifiche e modellazioni al 1° grado di approfondimento	<input checked="" type="checkbox"/> Analisi di II° livello ai sensi dell'Allegato 5 DGR IX/2616 applicata al sito oggetto di intervento, previa verifica dei requisiti di applicabilità, ovvero: 1- Assenza di fenomeni 2D legati alla risonanza di bacino 2- Assenza di inversioni di velocità significative 3- Contrasti di impedenza sismica < 3 4- Valori di $V_{S11} > 250$ m/s		
Risultati al 1° grado di approfondimento	<input checked="" type="checkbox"/> $FAC \leq FAS^*$ <b>Fine approfondimento</b> Compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito; utilizzo della Cat. Sottosuolo corrispondente al $V_{S33}$ misurato  <input type="checkbox"/> $FAC > FAS^*$ <b>Fine approfondimento</b> Non compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito; utilizzo della Cat. Sottosuolo superiore a quella corrispondente al $V_{S33}$ misurato	<input type="checkbox"/> $FAC > FAS^*$  Nel caso non siano disponibili schede di II° livello valide per la situazione investigata o nel caso si voglia aumentare il grado di accuratezza delle previsioni  2° grado di approfondimento	<input type="checkbox"/> Non applicabilità dell'analisi di II° livello  Obbligo del 3° grado di approfondimento  Oppure nel caso <input type="checkbox"/> $FAC > FAS^*$ e nel caso si scelga di NON utilizzare la Categoria di Sottosuolo superiore a quella corrispondente al $V_{S33}$ misurato  3° grado di approfondimento
Indagini integrative minime obbligatorie al 2° grado di approfondimento		<input type="checkbox"/> Indagine sismica di tipo MASW e/o rifrazione onde SH	
Verifiche e modellazioni al 2° grado di approfondimento		<input type="checkbox"/> Verifica ed integrazione del modello geofisico del sottosuolo e analisi numeriche, utilizzando gli accelerogrammi di input regionali e calcolo di FAC	
Risultati al 2° grado di approfondimento		<input type="checkbox"/> $FAC \leq FAS^*$ <b>Fine approfondimento</b> Compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito; utilizzo della Cat. Sottosuolo corrispondente al $V_{S33}$ misurato  <input type="checkbox"/> $FAC > FAS^*$ <b>Fine approfondimento</b> Non compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito; utilizzo della Cat. Sottosuolo superiore a quella corrispondente al $V_{S33}$ misurato	Nel caso <input type="checkbox"/> $FAC > FAS^*$ e nel caso si scelga di NON utilizzare la Categoria di Sottosuolo superiore a quella corrispondente al $V_{S33}$ misurato  3° grado di approfondimento
Indagini integrative minime obbligatorie al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Indagine di sismica superficiale combinata con più tecniche, compreso ARRAY2D con velocimetri ad acquisizione sincrona nei casi di substrato rigido posto a profondità maggiori di 20-30 m
Verifiche e modellazioni al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Analisi di risposta sismica locale con sets accelerometrici di input opportunamente selezionati (almeno due gruppi ciascuno da 7 accelerogrammi per SLV e SLD)
Risultati al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Spettri di risposta elastici e/o accelerogrammi calcolati al piano di fondazione <b>Fine approfondimento</b>

**MODULO 9: Approfondimento 5 relativo agli aspetti sismici (App5) – LIQUEFAZIONE**

Nel caso di scenari PSL di tipo Z2b (Tabella 1 p.to 2.1 Allegato 5 D.G.R. IX/2616) soggetti a fenomeni di liquefazione

	1° grado	2° grado	3° grado
Conoscenze minime obbligatorie al 1° grado di approfondimento	<input checked="" type="checkbox"/> Valore di Magnitudo massima attesa <input checked="" type="checkbox"/> Valore di $a_{max}$ in superficie <input checked="" type="checkbox"/> Soggiacenza della falda <input checked="" type="checkbox"/> Curva granulometrica e valori di resistenza penetrometrica normalizzata negli orizzonti non coesivi saturi presenti entro il volume significativo di sottosuolo		
Verifiche e modellazioni al 1° grado di approfondimento	<input checked="" type="checkbox"/> Valutazione dei requisiti per l'esclusione della verifica di sicurezza alla liquefazione		
Risultati al 1° grado di approfondimento	<input checked="" type="checkbox"/> Assenza dei fattori scatenanti e/o predisponenti <b>Fine approfondimento</b> <b>SITO STABILE</b>	<input type="checkbox"/> Presenza dei fattori scatenanti e predisponenti Obbligo del 2° grado di approfondimento	
Indagini integrative minime obbligatorie al 2° grado di approfondimento		<input type="checkbox"/> Prove in sito per la determinazione indiretta del parametro di resistenza ciclica CRR <input type="checkbox"/> Determinazione sperimentale della frazione di fine FC alle profondità di analisi	
Verifiche e modellazioni al 2° grado di approfondimento		<input type="checkbox"/> Stima del coefficiente di sicurezza alla liquefazione (FL) tramite applicazione puntuale di metodi storico-empirici ad almeno 3 diverse profondità ritenute significative	
Risultati al 2° grado di approfondimento		<input type="checkbox"/> $FL \geq 1.0$ (per tutti i punti d'analisi) <b>Fine approfondimento</b> <b>SITO STABILE</b>	<input type="checkbox"/> $FL < 1.0$ (per almeno un punto d'analisi) Obbligo del 3° grado di approfondimento
Indagini integrative minime obbligatorie al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Prove penetrometriche statiche con punta elettrica (CPTe) o piezocono (CPTu)
Verifiche e modellazioni al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Stima dell'andamento del coefficiente di sicurezza alla liquefazione con la profondità tramite applicazione di metodi storico-empirici e calcolo del potenziale di liquefazione $I_L$ valido per una profondità critica almeno pari al volume significativo di sottosuolo
Risultati al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> $I_L \leq 2.0$ <b>Fine approfondimento</b> <b>SITO STABILE</b> <input type="checkbox"/> $2.0 < I_L \leq 5.0$ <b>Verifica DI AMMISSIBILITA' DEL CEDIMENTO ATTESO STIMATO</b> <input type="checkbox"/> $I_L > 5.0$ <b>OPERE DI SISTEMAZIONE E MITIGAZIONE DEL RISCHIO</b>
<input type="checkbox"/> Eventuali verifiche di sicurezza con metodi avanzati di analisi dinamica (da non intendere come sostitutivi dei metodi precedenti)			

**ALLEGATO 6 D.G.R. X/6738/2017 – NUOVO SCHEMA ASSEVERAZIONE**  
(ex allegato 15 D.G.R. IX/2616/2011)

**DICHIARAZIONE SOSTITUTIVA DELL'ATTO DI NOTORIETA'**

(Art. 47 D.P.R. 28 dicembre 2000, n. 445)

**Piano attuativo in variante al piano dei servizi del PGT- At\_i 24 Ex Ismes Via Ponte Pietra, Via Giulio Cesare in comune di Bergamo**

Io sottoscritto **Guido Torresani** nato a Orzinuovi il 06.10.1971, residente in Via Giordano Bruno n. 44 a Orzinuovi, con studio professionale a Orzinuovi (BS) in via Giordano Bruno n. 44 - iscritto all'Ordine dei Geologi della Lombardia al n° 1141, incaricato dalla soc. **I.S.M. s.r.l.** di redigere l'indagine geologica e di fattibilità relativa all'intervento in oggetto

consapevole che in caso di dichiarazioni mendace sarà punito ai sensi del Codice Penale secondo quanto prescritto dall'Art. 76 del succitato DPR 445/2000 e che, inoltre, qualora dal controllo effettuato emerga la non veridicità del contenuto di taluna delle dichiarazioni rese, decadrà dai benefici conseguenti al provvedimento eventualmente emanato sulla base delle dichiarazioni non veritiere (rt. 75 DPR 445/2000)

- Preso atto della documentazione relativa Piano attuativo in variante al piano dei servizi del PGT- At\_i 24 Ex Ismes Via Ponte Pietra, Via Giulio Cesare in comune di Bergamo
- preso atto dello **studio geologico allegato al PGT del Comune di Bergamo** redatto dai Geol. Renato Caldarelli e Massimo Eliotropi ai sensi della D.g.r. n. 8/7374 del 28 Maggio 2008 integrativa della DGR n° 8/1566 del 22.12.2005 in attuazione della L.R. 12/05 art. 57.
- preso atto dello studio del PGRA – piano di gestione del rischio alluvioni (delibera n. 4 del 17 dicembre 2015).
- preso atto del documento di polizia idraulica del Comune di Bergamo

**DICHIARO QUANTO SEGUE**

1. Le indicazioni contenute nello studio geologico comunale vigente sono conformi ai "Criteri ed indirizzi per la redazione della componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT in attuazione della D.g.r. n. 9/2616 del 30 Novembre 2011 integrativa della DGR 8/7374 del 28/05/08 e della DGR n° 8/1566 del 22.12.2005 in attuazione della L.R. 12/05 art. 57, affrontando tutte le tematiche compilando gli elaborati cartografici previsti
2. Di aver consultato ed utilizzato come riferimento valutativo i dati e gli studi presenti nel Sistema Informativo Territoriale Regionale e presso gli archivi cartacei delle strutture regionali e provinciali.
3. **Di ritenere adeguata la classe di fattibilità geologica riportata nello studio geologico vigente attribuita all'area in cui ricade l'intervento in progetto, conformemente a quanto indicato nella Tab. 1 dei citati criteri.** In particolare l'area di intervento ricade in "Classe 3a" – aree con modeste caratteristiche geotecniche del primo sottosuolo.



### DICHIARO INOLTRE

- che lo studio redatto NON propone aggiornamenti parziali o globali al quadro del dissesto contenuto nell'Elaborato 2 del PAI vigente o derivante da una precedente proposta di aggiornamento;
- che lo studio redatto NON propone modifiche/aggiornamenti alle aree allagabili contenute nelle mappe di pericolosità del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA);
- che NON si è resa necessaria la redazione della Carta PAI-PGRA in quanto lo studio non propone aggiornamenti alla cartografia del PAI e del PGRA
- che lo studio redatto NON propone aggiornamenti globali o parziali al mosaico della fattibilità geologica vigente

### ASSEVERA

- la congruità tra i contenuti della variante e i contenuti (classificazioni e norme) della componente geologica del Piano di Governo del Territorio;
- la congruità tra i contenuti della variante e i contenuti (classificazioni e norme) derivanti dal PGRA, dalla variante normativa al PAI e dalle disposizioni regionali conseguenti.

Dichiara infine di essere informato, ai sensi e per gli effetti di cui all'art. 10 della legge 675/96 che i dati personali raccolti saranno trattati, anche con strumenti informatici, esclusivamente nell'ambito del procedimento per il quale la presente dichiarazione viene resa.

Orzinuovi, 02/12/2019

Geol. Guido Torresani





SCADENZA 06/10/2027

Euro 11,2

AY 5310599

IPZS. 1964 - O.C.V. - ROMA



Cognome **TORRESANI**.....  
Nome **GUIDO**.....  
nato il **06/10/1971**.....  
(atto n° **337**..... PL..... SA. **1971**.....)  
a **ORZINUOVI**..... (..... **BS**.....)  
Cittadinanza **ITALIANA**.....  
Residenza **ORZINUOVI**.....  
Via **VIA G. BRUNO, 44**.....  
Stato civile:.....  
Professione **GEOLOGO**.....  
CONNOTATI E CONTRASSEGNI SALIENTI.....  
Statura **1,77**.....  
Capelli **CASTANI**.....  
Occhi **CASTANI**.....  
Segni particolari **NESSUNO**.....



Firma del titolare..... *Guido Torresani*  
..... **ORZINUOVI** il **19/07/2017**.....

Impronta del dito indice sinistro.....

D'ORDINE DEL SINDACO  
Il Funzionario incaricato  
*Dr.ssa Rosella Dragoni*  
*Rosella Dragoni*  


 Regione Lombardia

 Carta Regionale dei Servizi

 TESSERA SANITARIA  
CARTA NAZIONALE DEI SERVIZI

 Codice fiscale  
TRRGDU71R06G1490

Data di scadenza  
05/08/2019

Cognome  
TORRESANI

Nome  
GUIDO

Sesso  
M

Luogo di nascita  
ORZINUOVI

Codice assistito  
340FT441

Provincia Data di nascita  
BS 06/10/1971