



# Comune di Casteggio

Provincia di Pavia

PROGETTO:

## PIANO ATTUATIVO:

"AMBITO DI TRASFORMAZIONE PRODUTTIVO, INDUSTRIALE , LOGISTICO

ATPIL 2 - ATPIL 4 - ATPIL 5"

ART.14 DELLA L.R. N°12 DEL 11 MARZO 2005



SOGGETTO PROPONENTE:

**G.S.M. S.R.L.**

Via Giuseppe Verdi 12  
24121 Bergamo (BG)

PROGETTO:

## REALIZZAZIONE NUOVO DEPOSITO LOGISTICO

sito in strada comunale per Casa Chiodi s.n.c. - 27045, Casteggio (PV)

PROGETTISTI:

### GeP Ingegneria S.r.l.

Via Manzoni, 35  
27045 Casteggio(PV)  
tel. e fax 0383890586  
cell. 3386547441 - 3356185544  
Mail [gepingegneriasrl@gmail.com](mailto:gepingegneriasrl@gmail.com)  
Pec [gepingegneriasrl@lamiapec.it](mailto:gepingegneriasrl@lamiapec.it)



DESCRIZIONE ELABORATO:

Relazione Geologica - Geotecnica e sismica

DATA:

03/03/2025

Revisione N°

01

Elaborato N°

**PA\_R06**

SCALA:

**COMUNI DI CASTEGGIO e CORVINO SAN QUIRICO**

Provincia di Pavia



**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI NUOVO DEPOSITO  
“AMBITO DI TRASFORMAZIONE PRODUTTIVO – ATP2”**

**RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA e SISMICA**

Committente:

**G.S.M. S.r.l.**

**Redatto da:**

Dott. Geol. Mauro Saleri



Casatisma (PV), dicembre 2022

## INDICE

---

1.0 Premessa.....	pag. 3
1.1 Normativa di riferimento.....>>	4
2.0 Stato di fatto e breve descrizione dell'intervento.....>>	5
3.0 Inquadramento geologico-geomorfologico.....>>	5
4.0 Fattibilità – Vincoli Geologici, Idrogeologici e Idraulici.....>>	7
5.0 Indagini geognostiche.....>>	7
5.1 Sondaggio a carotaggio continuo.....>>	8
5.1.1 Attrezzature e modalità esecutive.....>>	8
5.1.2 Prove di permeabilità Lefranc.....>>	9
5.2 Prove penetrometriche.....>>	9
5.3 Stendimento sismico M.A.S.W.....>>	10
6.0 Caratterizzazione litostratigrafica dei terreni.....>>	11
7.0 Determinazione dei parametri geotecnici.....>>	12
8.0 Caratterizzazione sismica del sito.....>>	13
8.1 Rappresentazione ed interpretazione dei dati sismici M.A.S.W.....>>	13
8.3 Caratteristiche macrosismiche dell'area.....>>	15
8.3.1 Pericolosità Sismica Locale (PSL).....>>	16
8.4 Categoria di sottosuolo e categoria topografica.....>>	16
8.5 Analisi di 2° livello.....>>	18
8.5.1 Effetti litologici – Stima del Fattore di Amplificazione $F_a$ .....>>	18
8.6 Parametri sismici di riferimento.....>>	20
9.0 Valutazione del potenziale di liquefazione.....>>	22
10.0 Fondazioni.....>>	22
10.1 Scelta della tipologia e verifica della capacità portante.....>>	22
10.2 Cedimenti.....>>	23
11.0 Terre e Rocce da scavo.....>>	26

## ALLEGATI

---

- Allegato 1 - Corografia generale con ubicazione area in esame
- Allegato 2 - Planimetria con ubicazione punti di indagine
- Allegato 3 - Stratigrafia sondaggio
- Allegato 3 - Risultati prove di permeabilità
- Allegato 5 - Istogrammi prove penetrometriche
- Allegato 6 - Documentazione fotografica

## 1.0 PREMESSA

---

Nella presente relazione si espongono i risultati delle indagini geologiche, geotecniche e sismiche eseguite per conto dell'Ing. Carlo Percivalle, relative al progetto dei lavori per la realizzazione di un nuovo complesso logistico su terreni sito nei territori comunali di Casteggio e Corvino San Quirico (PV), nei pressi della località Casa Chiodi. Lo studio è finalizzato alla definizione delle caratteristiche geologico-geomorfologiche generali e di sismicità dell'area, nonché dell'assetto litostratigrafico e geotecnico dei terreni di imposta delle strutture in progetto; in particolare lo scopo dell'indagine è quello di fornire ai Progettisti utili indicazioni fra le possibili tipologie fondazionali, in funzione dei carichi di esercizio e delle effettive condizioni litostratigrafiche dei volumi significativi di terreno interessati dalle opere. Pertanto, oltre che tramite un rilievo morfologico dell'area, l'acquisizione diretta dei dati di campagna è avvenuta attraverso specifiche prospezioni geognostiche rappresentate da n.1 sondaggio a carotaggio continuo, n.5 prove penetrometriche C.P.T. e da n.1 stendimento sismico con metodologia M.A.S.W., eseguiti nel periodo luglio-settembre 2022. Si precisa che la ubicazione dei punti di indagine è stata condizionata dalle momentanee condizioni di agibilità dei terreni. I dati raccolti sono stati comunque integrati con quelli esistenti, derivanti da studi già effettuati in aree limitrofe e pertanto tra loro confrontabili, oltre che dalla letteratura di riferimento e dalla cartografia tecnica disponibile. Considerando gli obiettivi sopra esposti, l'indagine si è articolata attraverso la successione delle seguenti fasi:

- acquisizione dei dati geologici ed idrogeologici della zona disponibili tramite bibliografia e esame della documentazione relativa ad indagini precedentemente eseguite in aree limitrofe;
- rilevamento morfologico-idrologico speditivo dell'area e del suo relativo intorno;
- esecuzione delle prospezioni geognostiche in situ;
- caratterizzazione sismica dell'area attraverso riscontri normativi e dati acquisiti in sito;
- ricostruzione dell'assetto litostratigrafico e caratterizzazione geologico-tecnica dei terreni di fondazione con la definizione dei principali parametri geotecnici;
- valutazione delle scelte fondazionali in relazione alle possibili interazioni tra terreno e sovrastruttura;
- determinazione della capacità portante del terreno e stima dell'entità dei cedimenti.

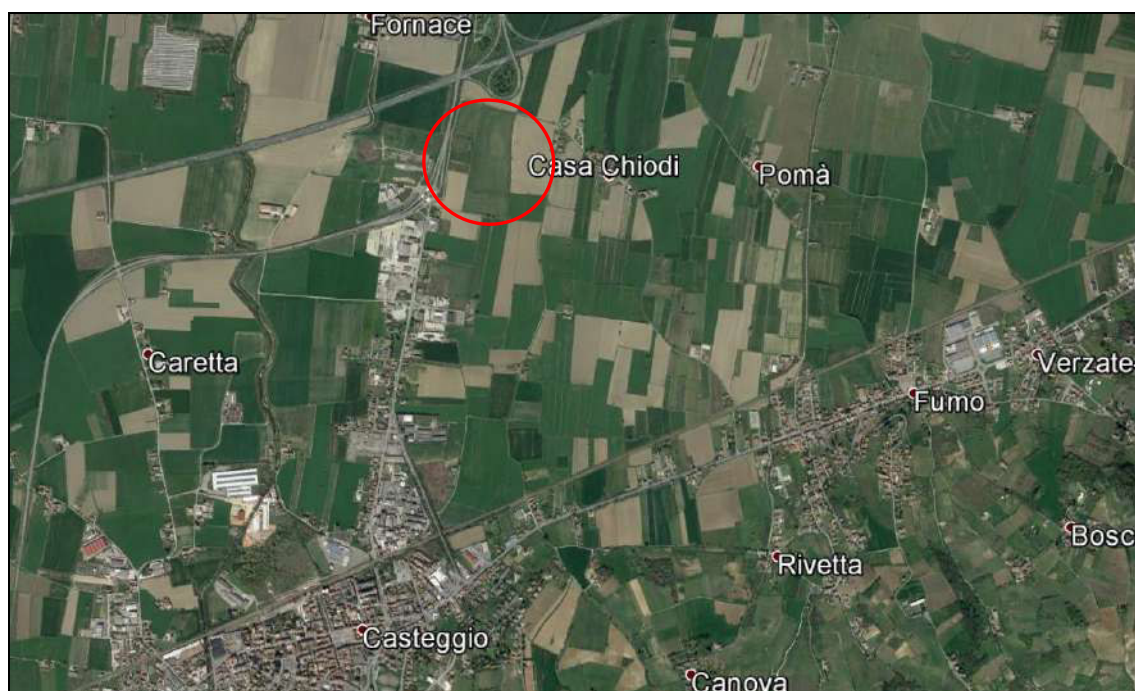
## **1.1 Normativa di riferimento**

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

- D.M. LL.PP. 11.03.1988 *“Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”*;
- D.M. LL.PP. 17.01.2018 *“Norme tecniche per le costruzioni – Testo aggiornato delle norme tecniche per le costruzioni, di cui alla legge 5 novembre 1971, n.1086, alla legge 2 febbraio 1974, n.64, al decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n.380, ed al decreto-legge 28 maggio 2004, n.136, convertito con modificazioni, dalla legge 27 luglio 2004, n.186”*;
- Eurocodice 7 *“Progettazione geotecnica – parte I: Regole Generale (1997) – parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002) – parte III: progettazione assistita con prove in sito (2002)”*;
- Eurocodice 8 (1998) *“Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture – parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”*;
- O.P.C.M. n.3274 20.03.03 *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”*;
- O.P.C.M. n.3519 28.04.2006 *“Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”*;
- Allegato al voto n.36 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici 27.07.07 *“Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale”*;
- D.G.R. n. IX/2616 30.11.2011 *“Aggiornamento dei ‘Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell’art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n.12’, approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n.8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n.8/7374”*, pubblicata sul BURL n.50 Serie ordinaria del 15 dicembre 2012;
- D.P.R. n.120 13.06.2017 *“Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell’articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n.133, convertito, con modificazioni, della legge 11 novembre 2014, n.164”*;
- P.G.T. (Piano di Governo del Territorio) del Comune di Casteggio e del Comune di Corvino San Quirico.

## 2.0 STATO DI FATTO E BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'area è ubicata nelle porzioni settentrionali dei territori comunali di Casteggio e di Corvino San Quirico, a circa 500 metri in direzione Ovest dalla località Casa Chiodi (fig. 1) ed è confinata a nord dal raccordo autostradale e a ovest dalla SP ex SS10; essa presenta superficie complessiva di circa 135.000mq ed attualmente risulta asservita alle attività agricole, fatto salvo un piccolo appezzamento di incolto.



**Figura 1:** Foto satellitare con ubicazione area in esame.

Il progetto, tuttora in fase di definizione, prevede la realizzazione di una struttura prefabbricata a pianta rettangolare con dimensioni complessive di mq 385 x 100 circa, da adibire ad attività di “logistica”.

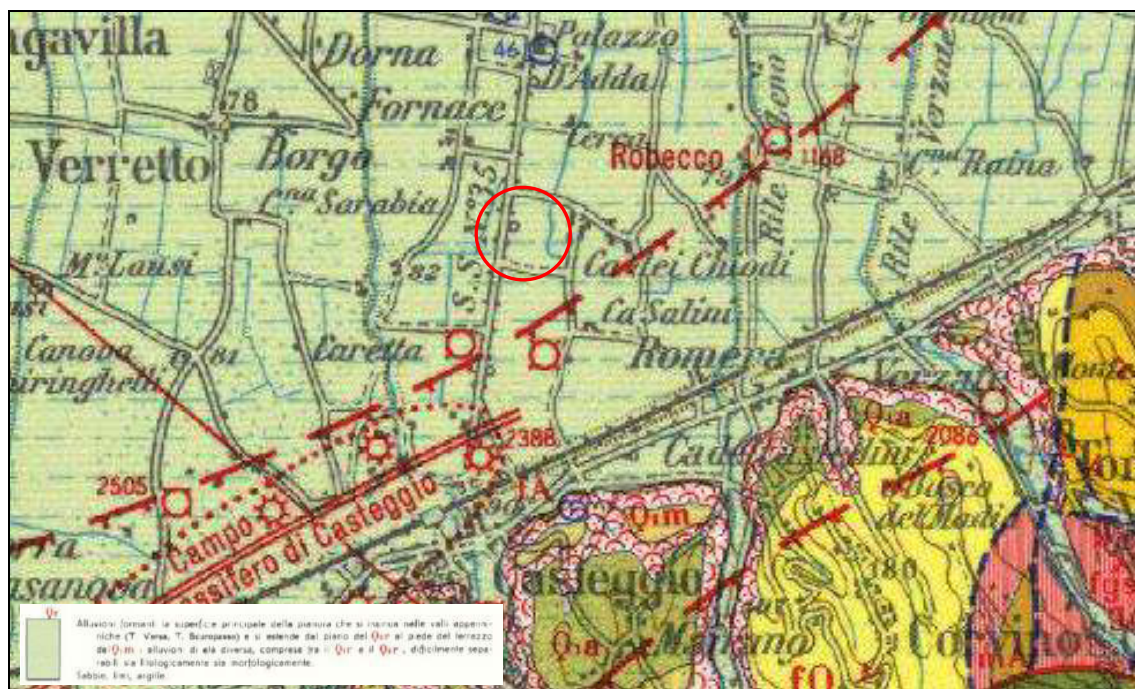
## 3.0 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO

L'area è inserita in una fascia di territorio pianeggiante, alla quota di circa 78 metri s.l.m. Il deflusso naturale delle acque è verso nord.

Il contesto geologico è stato desunto dall'esame del Foglio 59 (Pavia) della Carta Geologica d'Italia, alla scala 1:100.000 (fig. 2).



Si tratta di terreni ascrivibili alla formazione quaternaria delle “Alluvioni formanti la superficie principale della pianura –  $Q_2'$ ”, costituita in superficie da depositi argilloso-limosi e più in profondità sabbioso-ghiaiosi, perpetrati dalle deiezioni dei locali corsi d’acqua. Tali depositi sono a loro volta posti a copertura del substrato di origine marina, costituito da rocce marnoso-siltoso-arenacee, appartenenti alla serie del Bacino Oltrepadano.



**Figura 2:** Estratto Carta Geologica d'Italia - Foglio 59 Pavia.

L'idrografia è caratterizzata dalla presenza nelle campagne circostanti di modesti fossi e canalizzazioni di scolo dei terreni agricoli, attivi solo in concomitanza dei periodi piovosi, tra i quali il fosso “La Croce” che delimita l’area verso est. Si segnalano inoltre verso ovest e verso est alla distanza di alcune centinaia di metri la presenza rispettivamente del torrente Coppa e del rio San Zeno.

Nella *Carta Idrogeologica e del Sistema Idrografico* allegata al P.G.T. comunale di Casteggio (Dott. Geol. Daniele Calvi - maggio 2011) la soggiacenza della prima falda in corrispondenza dell’area in esame è segnalata a circa 8.0 metri dal piano campagna, come anche risultato dai riscontri direttamente effettuati nel corso delle indagini. Più in superficie possono invece sussistere filtrazioni idriche “sospese” per lo più di carattere temporaneo e di intensità variabile in relazione alle condizioni meteorologiche stagionali, localizzate nei livelletti di materiali incoerenti permeabili per porosità.

#### 4.0 FATTIBILITÀ - VINCOLI GEOLOGICI, IDROGEOLOGICI E IDRAULICI

---

Nelle *Carta dei Vincoli Esistenti* pertinente agli Studi Geologici a supporto dei P.G.T. comunali di Casteggio e di Corvino San Quirico l'area interessata dall'edificazione dei fabbricati in progetto risulta esterna a qualsiasi vincolo segnalato. Andrà comunque considerata la fascia di rispetto dei corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrico minore individuata in corrispondenza del fosso La Croce che scorre in fregio al limite orientale del sedime.

Nelle *Carte di Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano estesa all'intero territorio comunale* pertinenti agli stessi P.G.T. l'area in esame è inserita nella Classe 2 "fattibilità con modeste limitazioni" ed in particolare nella sottoclasse 2A che comprende "le aree pianeggianti ascrivibili al Livello Fondamentale della Pianura (depositi alluvionali del Fluviale Recente)..... nella zona a nord della tangenziale di Casteggio, stabili, non inondabili.

In tali aree sono necessarie "opportune indagini di dettaglio in sito per la caratterizzazione litostratigrafica, idrogeologica e geotecnica dei terreni di fondazione al fine di identificare le corrette tipologie delle strutture fondazionali e consentirne il corretto dimensionamento in funzione delle caratteristiche e delle volumetrie delle opere".

Pertanto l'area è giudicata idonea ad accogliere l'intervento di edificazione programmato, fatte salve le prescrizioni di carattere geologico-geotecnico che verranno indicate nei paragrafi successivi, sulla base delle indagini puntuali svolte in sito.

#### 5.0 INDAGINI GEOGNOSTICHE

---

Il programma di indagine si è così articolato:

- n.1 sondaggio a carotaggio continuo spinto fino alla profondità di 20m dall'attuale p.c. (S1) con esecuzione di n.2 prove di permeabilità tipo Lefranc;
- n.5 prove penetrometriche statiche C.P.T. (Cone Penetration Test), spinte fino a profondità massima di 16,0m dall'attuale p.c. (P1, P2, P3, P4, P5);
- n.1 base sismica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) della lunghezza complessiva di 60.0m (L1).



Di seguito si riporta la planimetria con l'ubicazione delle indagini (fig. 3) e successivamente se ne illustrano i dettagli e le modalità esecutive.



**Figura 3:** Planimetria con ubicazione punti di indagine attuali ed aree già oggetto di indagine (C.na Leopolda-Stalla).

## **5.1 Sondaggio a carotaggio continuo**

### **5.1.1 Attrezzature e modalità esecutive**

È stata impiegata una sonda perforatrice idraulica Beretta modello T44 allestita su carro cingolato.

La perforazione è stata condotta a carotaggio continuo con l'utilizzo di carotiere semplice avente diametro 101 mm; il prelievo dei campioni è avvenuto "a secco" mentre per

er il sostegno delle pareti del foro sono stati impiegati rivestimenti provvisori consistenti in tubi di acciaio del diametro di 127 mm, inseriti con l'ausilio di circolazione di acqua in pressione. Il sondaggio è stato descritto in apposito modulo stratigrafico in cui si sono indicate, in funzione della profondità, la rappresentazione stratigrafica e la descrizione dei terreni attraversati.

I materiali prelevati sono stati collocati in apposite cassette catalogatrici in PVC, adatte a contenere 5 metri di carote, sulle quali sono stati annotati l'identificazione del punto di sondaggio e le relative profondità di prelievo; esse sono state quindi analizzate a vista per la redazione della stratigrafia e fotografate. Le cassette contenenti i campioni di terreno estratti durante il carotaggio sono ricoverate presso la sede Tecnosuolo S.r.l. in Casatisma (PV).

#### 5.1.2 Prove di permeabilità Lefranc

Nel corso dell'esecuzione del sondaggio S1 sono state eseguite n.2 prove di permeabilità di tipo Lefranc a carico variabile. Le operazioni di predisposizione delle prove hanno comportato la pulizia del fondo foro da eventuali detriti della perforazione e quindi il riempimento della colonna di rivestimento con acqua pulita. Una volta raggiunta la saturazione del materiale presente a fondo foro, sono state effettuate misurazioni dell'abbassamento del livello indotto, ad intervalli di tempo regolari, fino ad un massimo di 30 minuti.

Il valore della permeabilità è stato poi ricavato attraverso la relazione:

$$k = \frac{\pi \cdot d^2}{4 \cdot Cl \cdot \Delta t} \ln \frac{h_{in}}{h_{fin}}$$

dove:

d= diametro interno del tubo di rivestimento;

Cl= l per l>d;

l= tratto di foro non rivestito;

$\Delta t$ = durata totale prova;

$h_{in}$ = altezza di carico ad inizio prova;

$h_{fin}$ = altezza di carico a fine prova

## **5.2 Prove Penetrometriche**

Per l'acquisizione dei dati è stato impiegato un penetrometro semovente statico-dinamico PAGANI modello TG 63-200, dotato di opportuni elicoidi di ancoraggio e punta meccanica Begemann per le prove statiche e di sgancio automatico per le prove dinamiche.

L'esecuzione delle prove statiche ha comportato la verifica ad intervalli regolari di 20 cm della resistenza in  $\text{Kg/cm}^2$  opposta dal terreno all'avanzamento dell'apposita punta meccanica Begemann ( $R_p$ ) e del relativo manicotto laterale ( $R_l$ ) per mezzo del dispositivo Friction Jacket Cone. Dall'analisi di  $R_p/R_l$  è possibile effettuare una valutazione indicativa della litologia dei terreni attraversati e definire la granulometria (Begemann 1965- Schmertmann 1969). Le caratteristiche tecniche dell'attrezzatura in modalità statica sono le seguenti:

<i>Forza di infissione</i>	<i>200 kN</i>
<i>Velocità di infissione</i>	<i><math>2 \pm 0.5 \text{ cm/sec}</math></i>
<i>Superficie della punta</i>	<i><math>10 \text{ cm}^2</math></i>
<i>Diametro della punta</i>	<i>35.7 mm, con conicità <math>60^\circ</math></i>
<i>Altezza manicotto laterale</i>	<i>13.3 mm</i>
<i>Superficie del manicotto</i>	<i><math>150 \text{ cm}^2</math></i>
<i>Diametro delle aste</i>	<i>36 mm</i>
<i>Passo di lettura</i>	<i>20 cm</i>

I risultati riscontrati in campagna vengono visualizzati attraverso grafici che riportano per ogni verticale di prova:

- la resistenza alla punta ( $R_p$ ) in  $\text{Kg/cm}^2$ ;
- la somma della resistenza alla punta ( $R_p$ ) e di attrito laterale ( $R_l$ ) in  $\text{Kg/cm}^2$ ;
- il rapporto delle resistenze  $R_p/R_l$  (adimensionale).

## **5.3 Stendimento Sismico M.A.S.W.**

E' stato utilizzato sismografo Pasi modello Gea 24 con possibilità di stack degli impulsi sismici, filtraggio digitale programmabile (per la riduzione dei rumori) e guadagno automatico del segnale (in ampiezza), geofoni verticali e orizzontali da 4.5 Hz spazati di 5m con offset a 5m di distanza dal primo geofono, l'energizzazione è avvenuta tramite mazza del peso di 10 Kg.

Per avere un'approfondita Analisi Multicanale delle Onde di Superficie (MASW), il dataset è stato ottenuto mediante le seguenti modalità:

- Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)
  - 12 geofoni verticali da 4.5 Hz;
  - Energizzazione verticale su piastra quadrata in lega di alluminio.

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software WinMASW 3C 7.2 beta e nell'analisi sono stati scelti i dataset migliori acquisiti scegliendo il più rappresentativo per le Onde di Rayleigh (ZVF). Una volta individuato il dataset da utilizzare è stato determinato lo spettro di velocità e successivamente è stata effettuata la modellazione.

È necessario sottolineare che l'interpretazione delle indagini geofisiche viene fatta nell'ipotesi che gli strati del sottosuolo siano omogenei, orizzontali e con superfici di separazione piano parallele. La valutazione delle velocità e degli spessori dei singoli strati viene effettuata con un margine di incertezza, insita proprio nei metodi geofisici, che si aggira attorno al 10-15%.

## 6.0 CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA DEI TERRENI

---

L'esame dei campioni prelevati nel corso del sondaggio e dei diagrammi di resistenza penetrometrica ha consentito di definire uno schema nel quale si identificano degli orizzonti litostratigrafici sovrapposti, aventi caratteristiche di resistenza alla penetrazione statica e parametri litologici e geomeccanici specifici. Le variazioni dei parametri  $R_p$ ,  $R_l$  ed  $R_p/R_l$ , rilevate lungo le singole verticali di prova, sono normalmente riconducibili sia a cambiamenti geolitologici e granulometrici dei terreni attraversati che al diverso stato di addensamento o consistenza degli stessi. Con il ricorso a inevitabili schematizzazioni il modello litostratigrafico locale può essere così proposto:

### LIVELLO I:

Argille limoso-sabbiose da mediamente consistenti a compatte caratterizzate da valori di  $R_p$  mediamente compresi tra  $30 \div 40 \text{ kg/cm}^2$ , localmente  $60 \div 80 \text{ kg/cm}^2$

### LIVELLO II:

Argille da molli a mediamente compatte, i valori di  $R_p$  sono mediamente di  $20 \div 25$  ( $20 \div 30$ )  $\text{kg/cm}^2$  (liv. II-A), localmente di  $8 \div 15 \text{ kg/cm}^2$  (liv. II-B, presente solo in P3, P4 e P5, a quote diverse). Presenza di livelletti sabbioso-argillosi.

**LIVELLO III:**

Sabbie e ghiaie da addensate a molto addensate,  $R_p$  è di  $100 \div 150 \text{ kg/cm}^2$  con intercalazioni con  $R_p \geq 200 \text{ kg/cm}^2$ .

Con riferimento all'attuale piano campagna i rapporti stratigrafici nei punti di prova possono essere così schematizzati:

Punto di prova n°		S1	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5
Prof. da p.c. (m) interfaccia livelli	I-II	3,2	6,0	6,4	2,0	5,8	6,6
	II-III	17,5	14,8	12,6	15,2	15,8	13,6
Prof. fine prova (m)		20,0	15,5	13,5	16,0	16,5	14,8

Il livello II-B caratterizzato da scarsi valori di resistenza è stato individuato in P3 da 3,0 a 5,5 metri dal p.c. e in P4 e P5 rispettivamente da 10÷11 a 12,5 metri dal p.c.

Si segnala inoltre che indagini precedentemente eseguite presso i confinanti sedimi di Cascina Leopolda e relativa stalla sono confrontabili con le presenti e hanno permesso di riscontrare l'interfaccia tra analoghi terreni pertinenti ai livelli I e II a profondità comprese tra 2 e 5,6 metri mentre il sub-strato ghiaioso (liv. III) era riscontrato a profondità di 15,5÷16,5 metri dal p.c.

Nel corso dell'indagine è stata riscontrata presenza di acque sotterranee alla profondità di circa 8 metri dal p.c.; non è possibile escludere la presenza a quote superficiali di filtrazioni idriche sotterranee, sottoforma di microfalde sospese, attive temporaneamente nell'ambito dei livelletti di terreno permeabili per porosità.

## 7.0 DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI

La definizione dei parametri geotecnici che caratterizzano gli strati di terreno investigati è stata eseguita mediante risultati delle prove penetrometriche realizzate in sito, utilizzando le correlazioni semi-empiriche e sperimentali note in letteratura, oltre che sulla base di dati già acquisiti attraverso prove in sito ed in laboratorio su terreni analoghi.

Agli orizzonti del modello litostratigrafico sopra esposto si possono attribuire i seguenti valori medi, determinati sulla base di quelli ricavati dall'elaborazione dei dati acquisiti in corrispondenza di ciascuna verticale di prova.

Tali valori sono da considerare validi quali "ordini di grandezza", per una loro più precisa definizione sarà necessario ricorrere a prove geotecniche di laboratorio su campioni di terreno indisturbati.

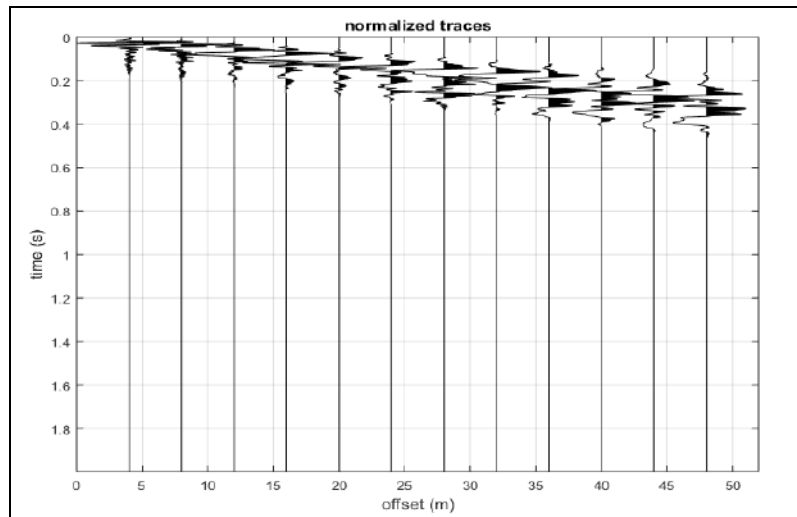
LIVELLO	I	II-A	II-B	III
Comportamento geotecnico	coesivo	coesivo	coesivo	incoerente
Valori medio-minimi di $R_p$ (kg/cm <sup>2</sup> )	30÷40	20÷25	8÷15	>>100
Peso di volume $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	1.8	1.8	1.7	1.9
Coesione non drenata $C_u$ (t/m <sup>2</sup> )	12÷14	8÷10	4÷6	0
Coesione efficace $c'$ (t/m <sup>2</sup> )	1÷2	0÷1	0	0
Angolo di attrito efficace $\phi'$ (°)	28°÷30°	25°÷27°	22°÷24°	35°÷40°
Modulo edometrico $M$ (kg/cm <sup>2</sup> )	120÷160	80÷100	40÷60	250÷350
Modulo elastico $E$ (kg/cm <sup>2</sup> )	0	0	0	200÷300
Modulo elastico non drenato $E_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	350÷450	250÷300	150÷200	0

## 8.0 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

### 8.1 Rappresentazione ed interpretazione dei dati sismici M.A.S.W.

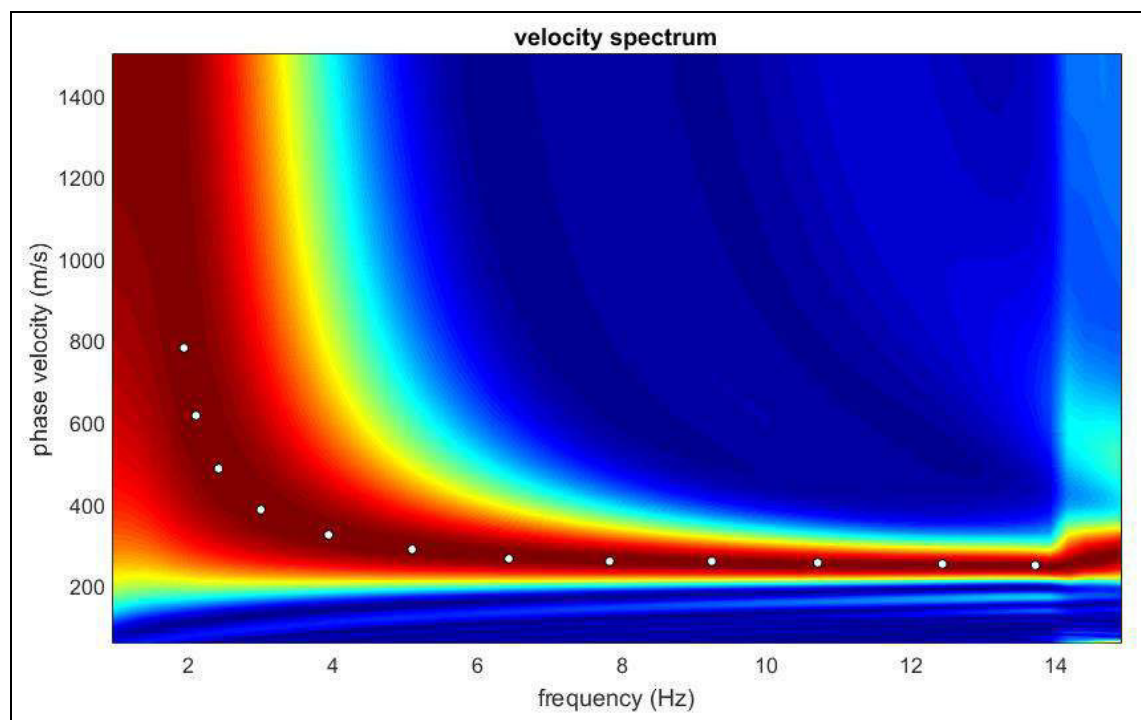
L'energizzazione del terreno per la lettura dei tempi di arrivo delle onde superficiali, è stata ottenuta impiegando una mazza battente su di una piastra in lega di alluminio aderente al suolo. L'energizzazione è stata effettuata all'estremo dello stendimento ad una distanza di 5.0m ed è stata eseguita più volte per garantire l'apprezzabilità dei segnali raccolti. Si riporta di seguito il sismogramma filtrato di eventuali disturbi di fondo (fig. 4):





**Figura 4:** Sismogramma base sismica L1.

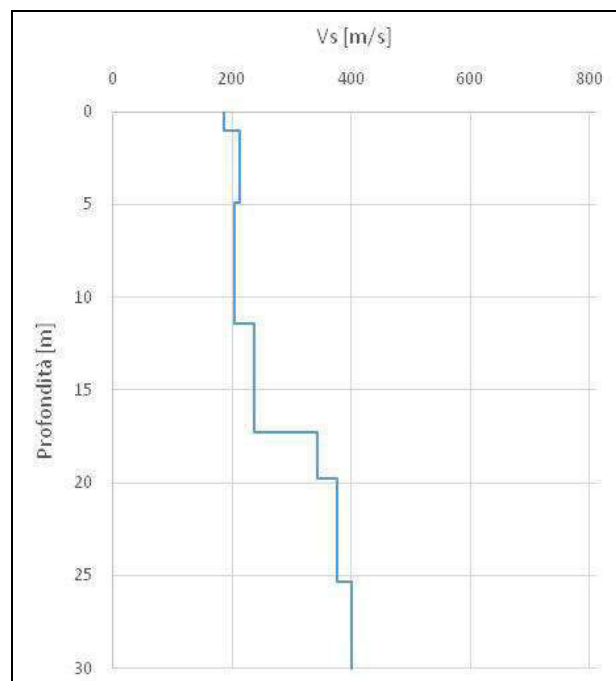
L'elaborazione del sismogramma ha consentito di estrapolare lo spettro di velocità dal quale si è risalito tramite picking alla curva di dispersione (fig. 5) che consente di ottenere sia gli spessori dei vari strati che le rispettive velocità.



**Figura 5:** Spettro di velocità base sismica L1 con picking.

Dall'inversione della curva di dispersione si è ottenuta la ricostruzione del sottosuolo in orizzonti aventi differenti spessori e valori di velocità:

L1		
Spessore (m)	Profondità (m)	V <sub>s</sub> (m/sec)
1.0	0.0-1.0	187
3.9	1.0-4.90	214
6.5	4.90-11.40	204
5.9	11.40-17.30	237
2.5	17.30-19.80	344
5.5	19.80-25.30	376
4.7	25.30-30.0	401



**Figura 6:** Diagramma delle velocità  $V_s$  riferite ai vari strati intercettati nella base sismica

## **8.2 Caratteristiche macrosismiche dell'area**

Secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3519 del 28 aprile 2006 – “*Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*” riferita all'intero territorio nazionale, e recepita dalla Regione Lombardia tramite la D.G.R. n.X/2129 - 11.07.2014 (fig. 7) i territori comunali di Casteggio e di Corvino San Quirico sono classificati in **zona sismica 3** a “sismicità bassa”, cui corrisponde un valore massimo di  $a_g$  pari a 0.15g.

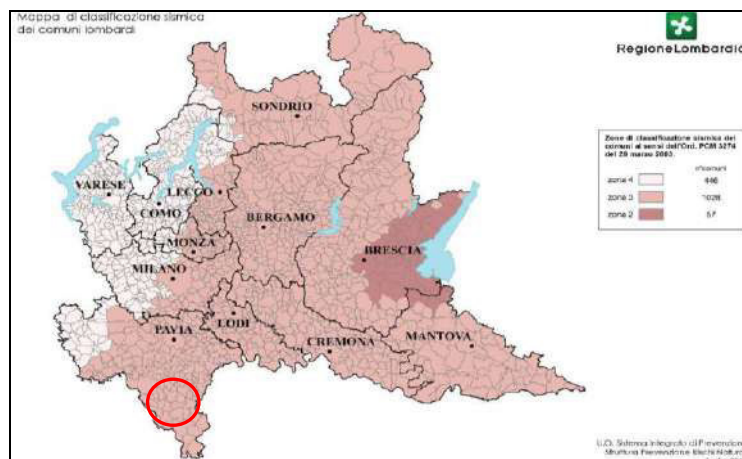


Figura 7: Classificazione sismica dei comuni della Lombardia a seguito della D.G.R. n. X/2129.

Allo stesso modo i valori di  $a_g$  agli SLU dinamici, calcolati secondo il D.M. 17.01.2008 “*Norme tecniche per le costruzioni*” (e riportati nei successivi paragrafi) per le coordinate che identificano il sito ovvero lat. 45,03517° e long. 9,13383°, risultano compresi nel range  $0.05 < a_g \leq 0.15g$  relativo alla **zona sismica 3** (Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Allegato al Voto n.36 del 27.07.2007 – “*Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale*”).

### 8.2.1 Pericolosità Sismica Locale (PSL)

L’area in esame ricade nello scenario di Pericolosità Sismica Locale Z4a “Zone con prevalenza di depositi alluvionali coesivi (Piano Generale Terrazzato o Livello Fondamentale della Pianura)” mentre una piccola porzione è classificata nello scenario Z2 “Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti: aree caratterizzate dalla presenza di terreni a limitata capacità portante fino ad elevata profondità, riporti compatti (rilevati stradali e ferroviari); riporti eterogenei non compattati o poco compattati; aree colmate, aree degradate (ex cave); manufatti arginali”, come riportato nella *Carta della Pericolosità Sismica Locale* pertinente lo Studio Geologico a supporto del P.G.T. comunale (Dott. Geol. Daniele Calvi - maggio 2011). Tali scenari sono legati ad eventuali amplificazioni di sito di tipo litologico e geometrico ed a eventuali cedimenti diffusi. In questa fase è stata eseguita una analisi con approfondimento di II livello, per la determinazione dei fattori di amplificazione  $F_a$  di tipo litologico ed è stata eseguita la stima dei cedimenti del terreno di fondazione per alcune ipotesi di geometria fondazionali. Pertanto, dal punto di vista della sismicità, l’area è giudicata idonea ad accogliere l’intervento di edificazione programmato, fatte salve le prescrizioni di carattere sismico che verranno indicate nei paragrafi successivi, sulla base delle indagini puntuali svolte in sito.

### 8.3 Categoria di sottosuolo e categoria topografica

Per quanto riguarda la determinazione della categoria di sottosuolo il D.M. 17.01.2018 prevede una classificazione in cinque categorie principali riportate nella tabella 3.2.II (fig. 11) definite in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s,eq}$  corrispondente alla velocità media di propagazione delle onde sismiche di taglio fino alla profondità del substrato sismico, definito come quella formazione caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità di tale substrato superiore a 30m la velocità equivalente  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , considerando le proprietà degli strati di terreno fino alla profondità di 30m. L'espressione per la determinazione della velocità equivalente  $V_{s,eq}$  è la seguente:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_i}}$$

$h_i$  = Spessore in metri dello strato i-esimo  
 $V_i$  = Velocità dell'onda di taglio i-esima  
 $N$  = Numero di strati  
 $H$  = Profondità del substrato sismico con  $V_s > 800 \text{ m/s}$

Per il sito in esame la categoria di sottosuolo è stata determinata tramite i dati ottenuti dallo stendimento sismico con metodologia M.A.S.W. eseguito in corrispondenza dell'area di indagine. Dall'elaborazione di tali dati il terreno presenta per la linea eseguita, valori delle  $V_{s30}$  pari a **263 m/s**, riferiti all'attuale piano campagna; il terreno è pertanto classificabile in **categoria C** "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s".

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

Figura 11: Tabella 3.2.II "Categorie di sottosuolo" – D.M. 17.01.2018.

In riferimento alle categorie topografiche riportate nella tabella 3.2.III del D.M. (fig. 12), il sito può essere classificato nella **categoria T1**.

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

**Figura 12:** Tabella 3.2.III “Categorie topografiche” – D.M. 17.01.2018.

## **8.4 Analisi di 2° livello**

### **8.4.1 Effetti litologici – Stima del Fattore di Amplificazione $F_a$**

La valutazione degli effetti di amplificazione dovuti alla litologia è avvenuta mediante la procedura semplificata di 2° livello riportata nella D.G.R. 8/7374 del 28 Maggio 2008 e successivamente ripresa dalla D.G.R. IX/2616 del 30 Novembre 2011 di Regione Lombardia; la sua applicazione richiede la conoscenza della litologia prevalente dei materiali presenti in sito; e dell'andamento delle  $V_{s,eq}$  con la profondità (spessore e velocità  $V_{s,eq}$  di ciascuno strato); per la loro determinazione sono stati utilizzati i risultati ottenuti dalla esecuzione delle prove penetrometriche realizzate in sito unitamente ai dati relativi ad indagini geognostiche già realizzate ed alle stratigrafie dei pozzi presenti sul territorio comunale oltre che ai risultati emersi dall'esecuzione dell'indagine geofisica M.A.S.W. La procedura fornisce la stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valori di Fattori di Amplificazione ( $F_a$ ) dal punto di vista degli effetti litologici, al fine di determinare se la normativa nazionale risulta sufficiente o meno nella stima degli effetti di amplificazione sismica locale sulla base del confronto tra gli  $F_a$  calcolati e quelli di riferimento indicati dalla Regione Lombardia per ciascun comune.

Lo studio è condotto con metodi quantitativi semplificati, validi per le amplificazioni litologiche ed è utilizzato per caratterizzare l'area in esame in funzione del fattore  $F_a$ . Tale valore di  $F_a$  si riferisce quindi agli intervalli di periodo 0.1-0.5s e 0.5-1.5s, in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie più rappresentate sul territorio regionale, rispettivamente riferibili a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide (max. 4 piani) ed a strutture alte e flessibili (5 o più piani). Sulla base dei parametri geotecnici e litologici si individua la litologia prevalente del sito e da questa si sceglie la relativa scheda di riferimento tra quelle riportate nella citata normativa regionale, che può essere utilizzata se

l'andamento delle  $V_{s,eq}$  ricade nel campo di validità dell'apposito diagramma riportato nella scheda. Successivamente ricavando lo spessore del primo "sismo-strato" con  $V_{s,eq}$  pari ad almeno 200 m/s (il cui spessore deve essere di almeno 4 metri) si determina quali curve tra quelle riportate nella scheda per i due diversi intervalli di periodo descritti occorre utilizzare per la valutazione del Fattore di Amplificazione, sulla base del periodo T del sito (calcolato a partire dall'andamento delle  $V_{s,eq}$  con la profondità fino agli 800 m/s direttamente misurati o ipotizzati con adeguato gradiente).

**STIMA DEGLI EFFETTI LITOLOGICI**  
ai sensi della D.G.R. IX/2616 - 30.11.2011 di Regione Lombardia

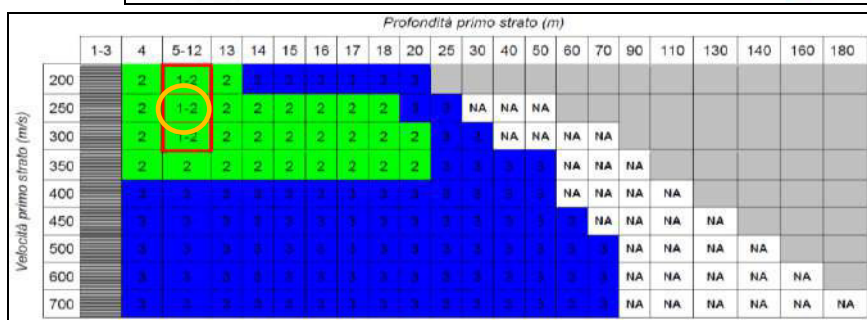
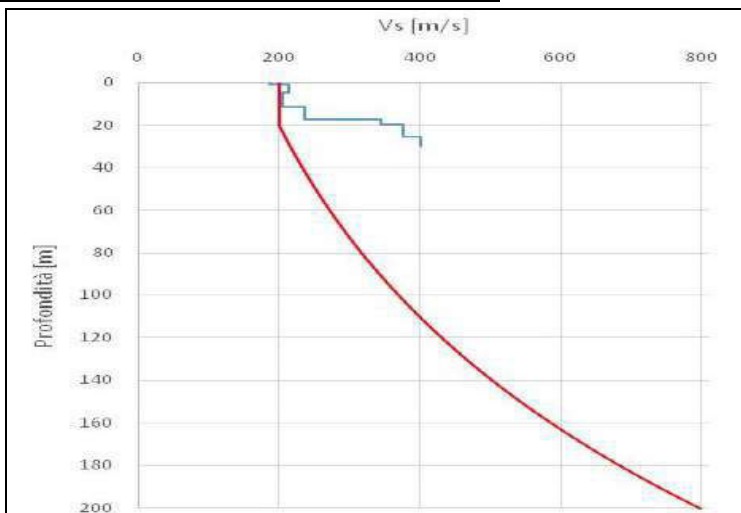
**Scheda "LITOLOGIA SABBIOSA"**

L1		
Spess. (m)	Prof. (m)	$V_s$ (m/s)
1.0	1.0	187
3.9	4.9	214
6.5	11.4	204
5.9	17.3	237
2.5	19.8	344
5.5	25.3	376
4.7	30.0	401

Periodo T (s)
0.44

Primo strato	
Prof. (m)	17.3
$V_s$ (m/s)	216.5

Curva caratteristica	
n.	2



**VERIFICA**

Periodo	Valori $F_a$ di sito	Valori $F_a$ di soglia Comune di CASTEGGIO			
		Suolo B	Suolo C	Suolo D	Suolo E
$0.1 < T < 0.5$ s	1.55	1.50	1.90	2.30	2.00
$0.5 < T < 1.5$ s	1.73	1.70	2.40	4.30	3.10



La procedura ha permesso di stimare gli  $F_a$  con le schede di valutazione sopra riportate e di confrontarlo con i corrispettivi valore di soglia, considerando una variabilità di  $\pm 0.1$ , che tiene conto la variabilità del valore di  $F_a$  ottenuto. **Dalla verifica deriva che, sia nel caso di edifici bassi che caso di edifici alti, il valore di  $F_a$  calcolato e riferito alla categoria di suolo C è inferiore ai valori di riferimento; lo spettro proposto dalla normativa per suoli di tipo C risulta pertanto sufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.**

### **8.5 Parametri sismici di riferimento**

Di seguito si riportano i parametri di riferimento, propri del sito in questione, per la definizione della pericolosità sismica di base ed i parametri sismici necessari per la valutazione delle azioni sismiche di progetto attese. Nel caso in esame il sito presenta le seguenti coordinate (sistema di riferimento ED50):

Latitudine	Longitudine
45,03517°	9,13383°

Per il calcolo delle grandezze  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T^*_c$  si devono considerare i seguenti parametri:

- **Classe d'uso: II** - Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
- **Vita nominale  $V_N$ :  $\geq 50$  anni** (tabella 2.4.I - tipologie costruttive classe 2): Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.
- **Coefficiente d'uso  $C_U$ : 1.0** relativo alla classe d'uso II.
- **Periodo di riferimento per l'azione sismica:**  $V_R = V_N * C_U = 50 * 1.0 = 50$  anni.

Pertanto, a partire dai dati sopra riportati, in funzione della probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  vengono calcolati i valori  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T^*_c$  e del periodo di ritorno  $T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR})$ :

Stati limite		$P_{VR}$	Periodo di ritorno (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$	$T^*_c$ (sec)
SLE	SLO	81%	30	0,025	2,494	0,193
	SLD	63%	50	0,033	2,514	0,213
SLU	SLV	10%	475	0,088	2,450	0,274
	SLC	5%	975	0,117	2,451	0,279

Da questi ultimi è possibile ricavare, sulla base della **categoria C** del suolo di fondazione, gli ulteriori parametri:

Stati limite		$S_s$	$C_c$	$S_t$	$T_B$ (s)	$T_c$ (s)	$T_D$ (s)	$F_v$
SLE	SLO	1,50	1,807	1,00	0,116	0,349	1,701	0,53
	SLD	1,50	1,749	1,00	0,124	0,373	1,731	0,62
SLU	SLV	1,50	1,609	1,00	0,147	0,441	1,950	0,98
	SLC	1,50	1,601	1,00	0,149	0,446	2,068	1,13

**SLE** = stati limite di esercizio:

- **SLO** = Stato Limite di Operatività;
- **SLD** = Stato Limite di Danno;

**SLU** = stati limite ultimi:

- **SLV** = Stato Limite di salvaguardia della Vita;
- **SLC** = Stato Limite di prevenzione del Collasso;

$S_s$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica;

$C_c$  = coefficiente di categoria di sottosuolo;

$S_t$  = coefficiente di amplificazione topografica;

$T_B$  = periodo corrispondente all'inizio del tratto ad accelerazione costante spettro delle componenti orizzontali;

$T_c$  = periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante spettro delle componenti orizzontali;

$T_D$  = periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante spettro delle componenti orizzontali;

$F_v$  = fattore di amplificazione spettrale.

Per calcolare il valore di  $A_{max}$  (accelerazione massima) occorre moltiplicare il valore di  $a_g$  per i coefficienti di amplificazione sismica ( $S$ ) tramite la relazione:  $A_{max} = a_g \text{ (m/s}^2\text{)} \cdot S$ ; l'accelerazione massima deve essere fornita in  $\text{m/s}^2$ , pertanto i valori nominali di  $a_g$  precedentemente calcolati vanno moltiplicati per  $9.81 \text{ m/s}^2$  e successivamente moltiplicati per i coefficienti di amplificazione sismica  $S = S_s \cdot S_t$ .

Stati limite		$a_g$ (g)	$a_g$ (m/s <sup>2</sup> )	$S$ ( $S_s \cdot S_t$ )	$A_{max}$ (m/s <sup>2</sup> )
SLE	SLO	0,025	0,245	1,50	0,368
	SLD	0,033	0,324	1,50	0,486
SLU	SLV	0,088	0,863	1,50	1,295
	SLC	0,117	1,148	1,50	1,722

Infine i coefficienti  $K_h$  (coefficiente sismico orizzontale) e  $K_v$  (coefficiente sismico verticale) assumono i seguenti valori:

Stati limite		$K_h$	$K_v$
SLE	SLO	0,008	0,004
	SLD	0,010	0,005
SLU	SLV	0,026	0,013
	SLC	0,042	0,021

## 9.0 VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Il fenomeno della liquefazione interessa generalmente depositi sabbiosi e/o sabbioso-limosi sciolti, saturi e a granulometria uniforme, i quali a seguito di una sollecitazione sismica passano dallo stato solido a quello fluido, denotando una diminuzione della resistenza al taglio a causa dell'aumento delle pressioni interstiziali ( $u$ ), tale da generare deformazioni permanenti significative o persino dell'annullamento delle pressioni efficaci ( $\sigma'$ ) nel terreno. La verifica della suscettibilità alla liquefazione deve essere effettuata quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda. Nel caso in esame si ritiene di escludere il rischio di liquefazione, in ragione della natura coesiva dei materiali pertinenti agli orizzonti individuati e precedentemente descritti, costituiti principalmente da depositi argilloso-limosi fino a profondità di 12÷17 metri dal p.c. e quindi da materiali sabbioso-ghiaiosi grossolani.

## 10.0 FONDAZIONI

### 10.1 Scelta della tipologia e verifica della capacità portante

Per valutazioni di carattere preliminare si ipotizzano fondazioni a plinto, con piano di posa alla profondità di 2 metri dal p.c. Stanti le condizioni litostratigrafiche riscontrate sia attraverso le prove penetrometriche eseguite nel sito che in quelle già realizzate presso i confinanti terreni della C.na Leopolda, dalle quali si evince la presenza di un livello costituito da terreni compatti fino a profondità di 2÷6 metri dal p.c. (liv. I) cui seguono terreni con caratteristiche geomeccaniche più scadenti (liv. II), si ritiene corretto proporre il dimensionamento delle fondazioni con i parametri del livello II.

Il calcolo della capacità portante del terreno può avvenire utilizzando la formula di Terzaghi-Peck valida per fondazioni quadrate:

$$q_{ult.} = ( c \cdot N_c + \gamma \cdot D \cdot N_q + 0,4 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma )$$

dove:

D = approfondimento del piano di posa dal più vicino piano di calpestio;

B = larghezza della fondazione;

$N_c$ - $N_q$ - $N_\gamma$ = coefficienti adimensionali funzioni di  $\varphi'$ .

Considerando in base al D.M. L.L. P.P. 17.01.2018 i coefficienti M1 della tabella 6.2. II si avrà:

$$\gamma_t = 1.8 \text{ t/m}^3 \quad (A1+M1+R3)$$

$$c_{uk} = 9.0 \text{ t/m}^2 \quad (A1+M1+R3)$$

$$N_c=5.14 \quad N_q=1 \quad N_\gamma=0 \quad \text{per } \varphi'_k=0^\circ \quad (A1+M1+R3)$$

$$N_c=20 \quad N_q=10 \quad N_\gamma=6 \quad \text{per } \varphi'_k=25^\circ \quad (A1+M1+R3)$$

Pertanto per diverse ipotesi di geometria fondazionale, si avrà:

Livello di appoggio	D (m)	B (m)	q.ult. (Kg/cm <sup>2</sup> )	
			(A1+M1+R3)	
			breve termine	lungo termine
II	≥2,0	3,0	4,6	4,9
		6,0	4,6	6,2

da suddividere per il coefficiente parziale R3 per le verifiche agli stati limite ultimi  $\gamma_R$  riportato nella tabella 6.4.I del D.M.; essendo  $\gamma_R = 2.3$  si avrà il seguente valore della capacità portante:

Livello di appoggio	D (m)	B (m)	q.amm. (Kg/cm <sup>2</sup> )	
			(A1+M1+R3)	
			Breve termine	lungo termine
II	≥2,0	3,0	2,0	2,1
		6,0	2,0	2,7

## 10.2 Cedimenti

L'applicazione dei carichi fondazionali provocherà cedimenti nel terreno valutabili considerando la distribuzione della pressione del carico trasferito dalle fondazioni su un semispazio elastico, con il contributo degli strati al cedimento totale fino alla profondità in cui la tensione verticale dovuta al sovraccarico esterno è minore al 10% della tensione geostatica effettiva.

I cedimenti immediati sono stati calcolati con la seguente formula:

$$s = \sum_i \frac{1}{E_i} [\Delta\sigma_{zi} - \nu_i(\Delta\sigma_{xi} + \Delta\sigma_{yi})] \Delta l_i$$

dove:

$S$  = cedimento

$E_i$  = modulo elastico dello strato  $i$

$\nu$  = modulo di Poisson dello strato  $i$

$\Delta\sigma_{xi}$ ,  $\Delta\sigma_{yi}$ ,  $\Delta\sigma_{zi}$  = incremento di sollecitazione nello strato  $i$ , rispettivamente in direzione  $x$ ,  $y$  e  $z$ .

$\Delta l_i$  = Spessore dello strato  $i$

I cedimenti di consolidazione attesi, per gli strati coesivi, sono stati calcolati con la seguente formula (Skempton):

$$S_c = \mu S_{ed}$$

dove:

$$S_{ed} = \sum \frac{\Delta\sigma_{zi}}{M_i} * \Delta h_i$$

$$\mu = A + \alpha (1 - A)$$

dove:

$S_c$  = cedimento di consolidazione

$\mu$  = coefficiente di correzione

$S_{ed}$  = cedimento edometrico

$\Delta\sigma_{zi}$  = aumento di tensione nello strato  $i$  in direzione  $z$

$M_i$  = modulo edometrico dello strato  $i$

$\Delta h_i$  = spessore dello strato  $i$

$A$  = coefficiente di Skempton

$\alpha$  = rapporto tra la tensione orizzontale e quella verticale

In base al D.M. 17.01.2018 è necessario stabilire la massima azione di progetto che causa il cedimento critico pari alla soglia massima tollerabile per l'edificio, vale a dire occorre verificare che il cedimento massimo ammissibile  $S_{cd}$  (che avviene con il Carico Limite  $C_d$  agli stati Limite d'Esercizio) deve essere maggiore del cedimento  $S_d$  che avviene con il carico di progetto  $E_d$  considerato (pertanto  $E_d < C_d$ ).

Solitamente per gli edifici e le strutture di uso più comune si impone un valore limite al cedimento complessivo pari a 2.5 cm per le fondazioni in appoggio su litotipi sabbiosi e 4 cm per fondazioni in appoggi su litotipi argillosi in modo tale da evitare cedimenti differenziali di elevata entità.

Per quanto riguarda il caso specifico in oggetto, occorre sottolineare il fatto che si sono riscontrate situazioni piuttosto eterogenee nei confronti delle caratteristiche di compressibilità dei terreni, in particolar modo dovute alle variazioni dello spessore del livello I relativamente poco comprimibile e localmente presente fino a profondità di 2 metri dal p.c. e localmente fino a 6. Questo comporterà inevitabilmente l'insorgere di cedimenti differenziali il cui ordine di grandezza viene di seguito valutato in relazione alla più sfavorevole e alla più favorevole delle situazioni riscontrate. Si considera inoltre un indice di carico non superiore a 2kg/cmq.

### **intorni prova P 3**

<b>Prof. piano di appoggio (cm)</b>	<b>B (cm)</b>	<b>Resistenza di Progetto (<math>R_d</math>) S.L.U. (Kg/cmq)</b>	<b>Cedimento immediato <math>S_i</math> (cm)</b>	<b>Cedimento di consolidaz. <math>S_c</math> (cm)</b>	<b>Cedimento totale <math>S_{tot}</math> (cm)</b>
$\geq 200$	300	2,0	1,9	6,3	<b>8,2</b>
	600	2,0	3,2	11,4	<b>14,6</b>



**intorni prova P 5**

Prof. piano di appoggio (cm)	B (cm)	Resistenza di Progetto ( $R_d$ ) S.L.U. (Kg/cm <sup>2</sup> )	Cedimento immediato $S_i$ (cm)	Cedimento di consolidaz. $S_c$ (cm)	Cedimento totale $S_{tot}$ (cm)
$\geq 200$	300	2,0	1,0	3,1	<b>4,1</b>
	600	2,0	2,2	6,9	<b>9,1</b>

I valori dei cedimenti riportati dovranno essere giudicati compatibili da parte dei progettisti, previa le opportune considerazioni relative alle caratteristiche delle strutture.

Una più dettagliata quantificazione dei cedimenti potrà avvenire una volta note le effettive entità delle sollecitazioni trasmesse al terreno.

**11.0 TERRE E ROCCE DA SCAVO**

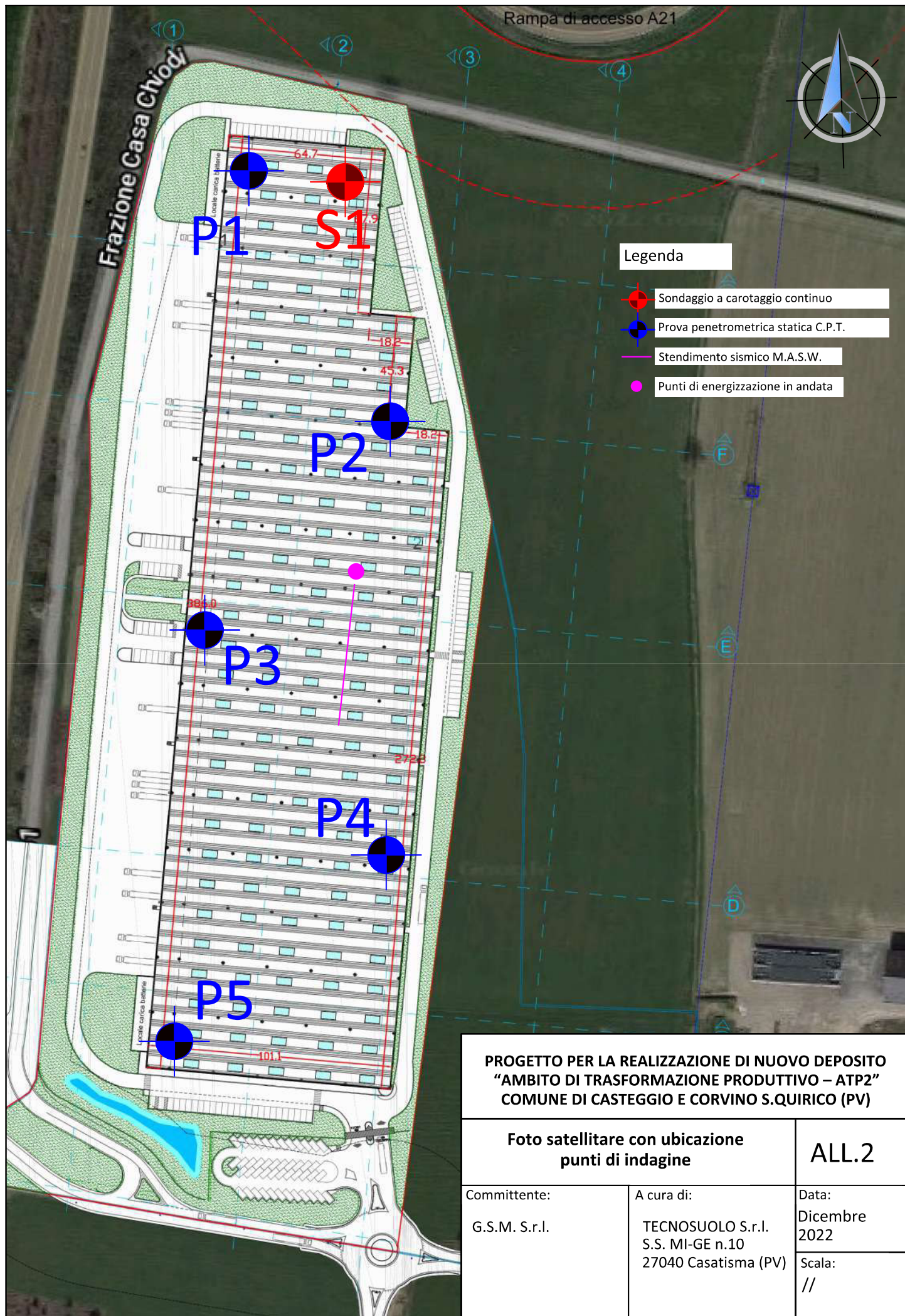
Per l'eventuale riutilizzo dei materiali di risulta degli scavi di fondazione si potrà fare riferimento al D.P.R. n.120 del 13.06.2017 (che riunisce e sostituisce gli articoli n.184, n.185 e n.186 del D.Lgs. n.152 del 03.04.2006 ed il D.M. n.161 del 10.08.2012, disciplinato dall'articolo n.41-bis della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

Casatisma, dicembre 2022

Dott. Geol. Mauro Saleri







**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI NUOVO DEPOSITO  
"AMBITO DI TRASFORMAZIONE PRODUTTIVO – ATP2"  
COMUNE DI CASTEGGIO E CORVINO S. QUIRICO (PV)**

**Foto satellitare con ubicazione  
punti di indagine**

**ALL.2**

Committente:	A cura di:	Data:
G.S.M. S.r.l.	TECNOSUOLO S.r.l. S.S. MI-GE n.10 27040 Casatisma (PV)	Dicembre 2022
		Scala: //

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI NUOVO DEPOSITO  
“AMBITO DI TRASFORMAZIONE PRODUTTIVO – ATP2”  
COMUNE DI CASTEGGIO E CORVINO S.QUIRICO (PV)**

**Stratigrafia sondaggio**

**ALL.3**

Committente:

G.S.M. S.r.l.

A cura di:

TECNOSUOLO S.r.l.  
S.S. MI-GE n.10  
27040 Casatisma (PV)

Data:

Dicembre  
2022

Scala:

//

<div>Tecnosuolo s.r.l</div> <div>27040 Casatisma (Pv) S.S Mi-Ge n° 10</div> <div>Tel. (0383) 891852</div>		COMMITTENTE: G.S.M. S.r.l.		SONDAGGIO	
INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE		LOCALITA': CASTEGGIO – Casa Chiodi		N° S1	
		QUOTA INIZIO: p.c.		DATA 25.07.2022	

profondità strati mt.	spessore strati mt.	stratigrafia	carotaggio	CAMPIONI		H <sub>2</sub> O	DESCRIZIONE LITOLOGICA	K cm/s	P.P. Kg/cmq	schema piezometro	S.P.T.			NOTE
				tipo	prof. mt.									
0.00							Argille sabbioso-limose di colore nocciola	8,25 x 10 <sup>-5</sup>						
3.20														
17.50							Argille con locale presenza di livelletti centimetrici limoso-sabbiosi; colore nocciola passante a grigio. Intercalazione limoso-sabbiosa da 11,3m a 12,0m.	6,52 x 10 <sup>-5</sup>						
20.00							Ghiaia eterometrica con sabbia debolmente limosa; colore grigio							

CAMPIONE: <input type="checkbox"/> Rimaneggiato <input checked="" type="checkbox"/> Ambientale <input type="checkbox"/> Indisturbato		CASSETTE CATALOGATRICI  n° 4	LIVELLO FALDA			
<div><div>ARGILLA</div><div>ARGILLITE</div><div>LIMO</div><div>MARNA</div><div>SABBIA</div><div>CALCARE</div><div>GHIAIA</div><div>ARENARIA</div><div>TERRENO VEGET.</div><div>CONGLOMERATO</div><div>TORBA</div><div>ROCCE IGNEE</div></div>			DATA	Piano camp.	Testa pozzo	Livello acqua
			25.07.2022			-8,0m

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI NUOVO DEPOSITO  
“AMBITO DI TRASFORMAZIONE PRODUTTIVO – ATP2”  
COMUNE DI CASTEGGIO E CORVINO S.QUIRICO (PV)**

**Risultati prove di permeabilità**

**ALL.4**

Committente:

G.S.M. S.r.l.

A cura di:

TECNOSUOLO S.r.l.  
S.S. MI-GE n.10  
27040 Casatisma (PV)

Data:

Dicembre  
2022

Scala:

//



# **PROVA DI PERMEABILITA' A CARICO VARIABILE**

Sondaggio: **S1 - PROVA 1 - G.S.M. S.r.l. - Casteggio**

25/07/2022

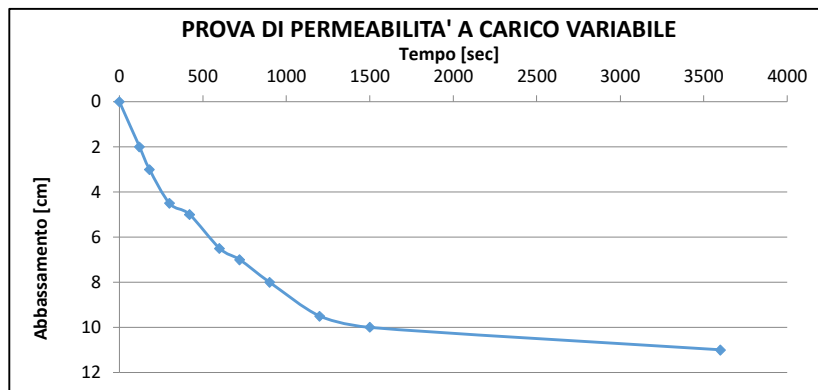
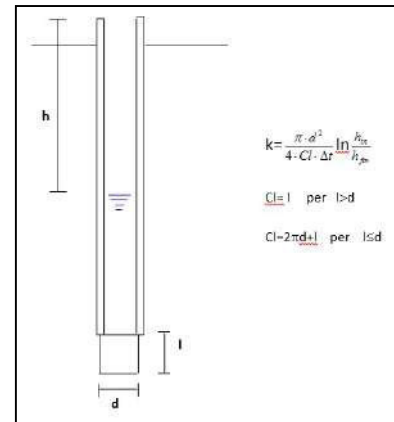
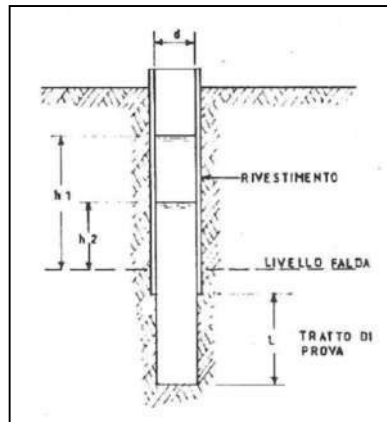
Prof. prova: -2,0/-2,20 m

Liv. falda: -7,90 m

d =	12,7	[cm]
Area=	126,7	[cm <sup>2</sup> ]
L=	20	[cm]
C=	20,0	[cm]
t <sub>in</sub> =	0	[sec]
t <sub>fin</sub> =	3600	[sec]
h <sub>1</sub> =	240	[cm]
h <sub>2</sub> =	229	[cm]

k=	8,25E-05	[cm/sec]
	8,25E-07	[m/sec]

tempo	abbassamento	livello
[sec]	[cm]	[cm]
0	0	240
120	2	238
180	3	237
300	4,5	235,5
420	5	235
600	6,5	233,5
720	7	233
900	8	232
1200	9,5	230,5
1500	10	230
3600	11	229



# **PROVA DI PERMEABILITA' A CARICO VARIABILE**

Sondaggio: **S1 - PROVA 2 - G.S.M. S.r.l. - Casteggio**

25/07/2022

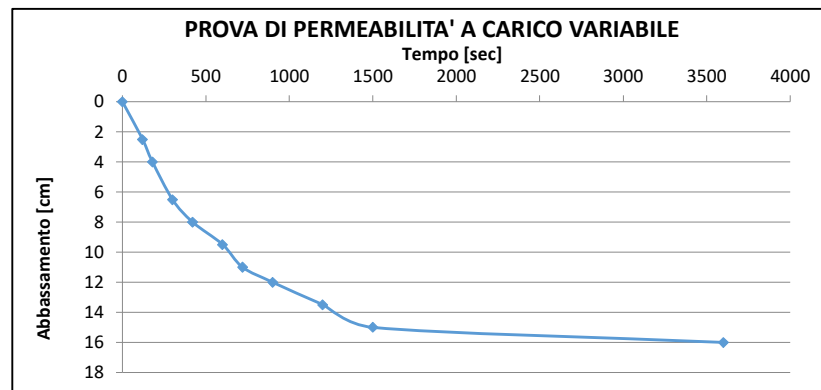
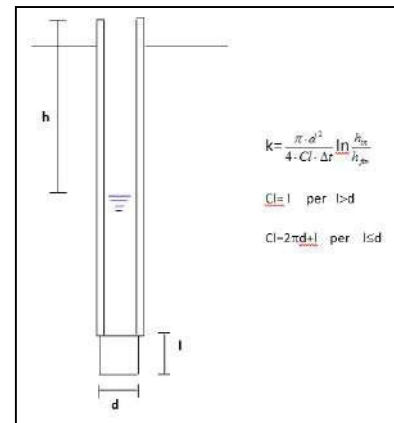
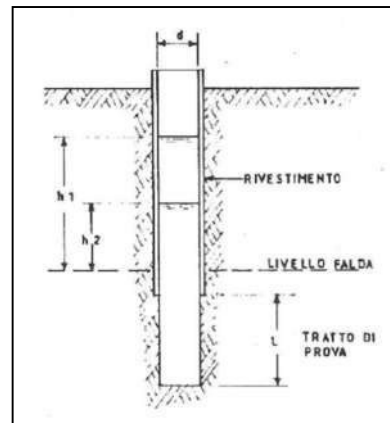
Prof. prova: -4,0/-4,20 m

Liv. falda: -7,90 m

d =	12,7	[cm]
Area=	126,7	[cm <sup>2</sup> ]
L=	20	[cm]
C=	20,0	[cm]
t <sub>in</sub> =	0	[sec]
t <sub>fin</sub> =	3600	[sec]
h <sub>1</sub> =	440	[cm]
h <sub>2</sub> =	424	[cm]

k=	6,52E-05	[cm/sec]
	6,52E-07	[m/sec]

tempo	abbassamento	livello
[sec]	[cm]	[cm]
0	0	440
120	2,5	437,5
180	4	436
300	6,5	433,5
420	8	432
600	9,5	430,5
720	11	429
900	12	428
1200	13,5	426,5
1500	15	425
3600	16	424



**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI NUOVO DEPOSITO  
“AMBITO DI TRASFORMAZIONE PRODUTTIVO – ATP2”  
COMUNE DI CASTEGGIO E CORVINO S.QUIRICO (PV)**

**Istogrammi prove penetrometriche**

**ALL.5**

Committente:

G.S.M. S.r.l.

A cura di:

TECNOSUOLO S.r.l.  
S.S. MI-GE n.10  
27040 Casatisma (PV)

Data:

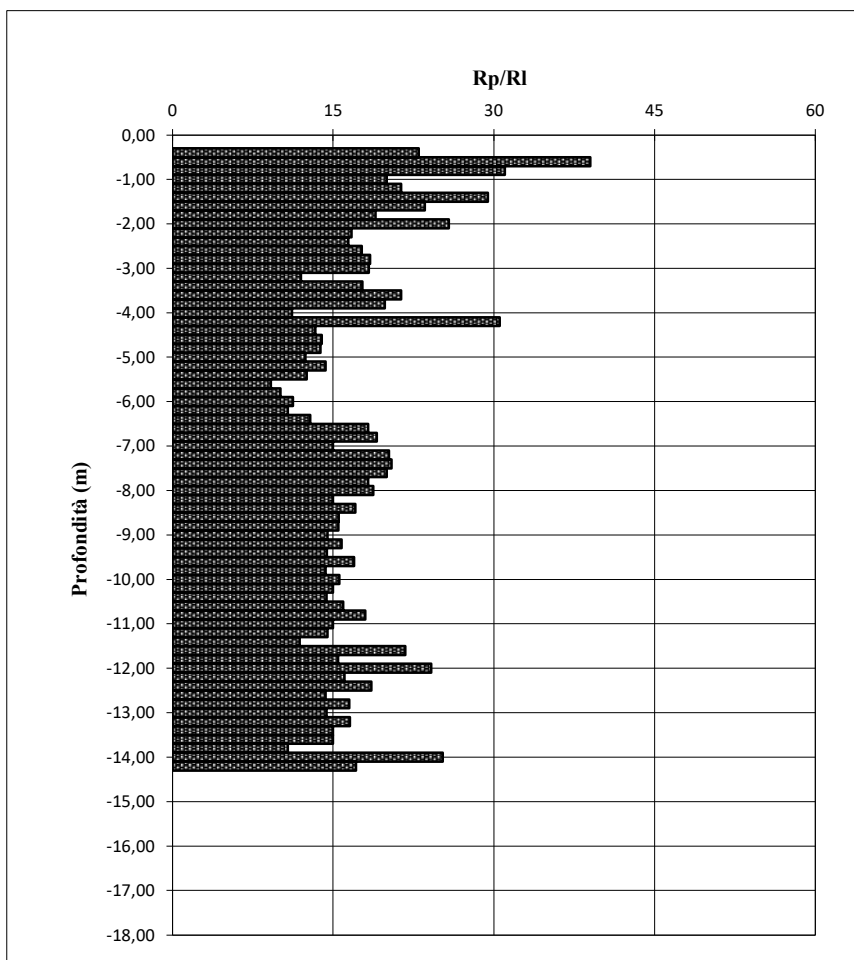
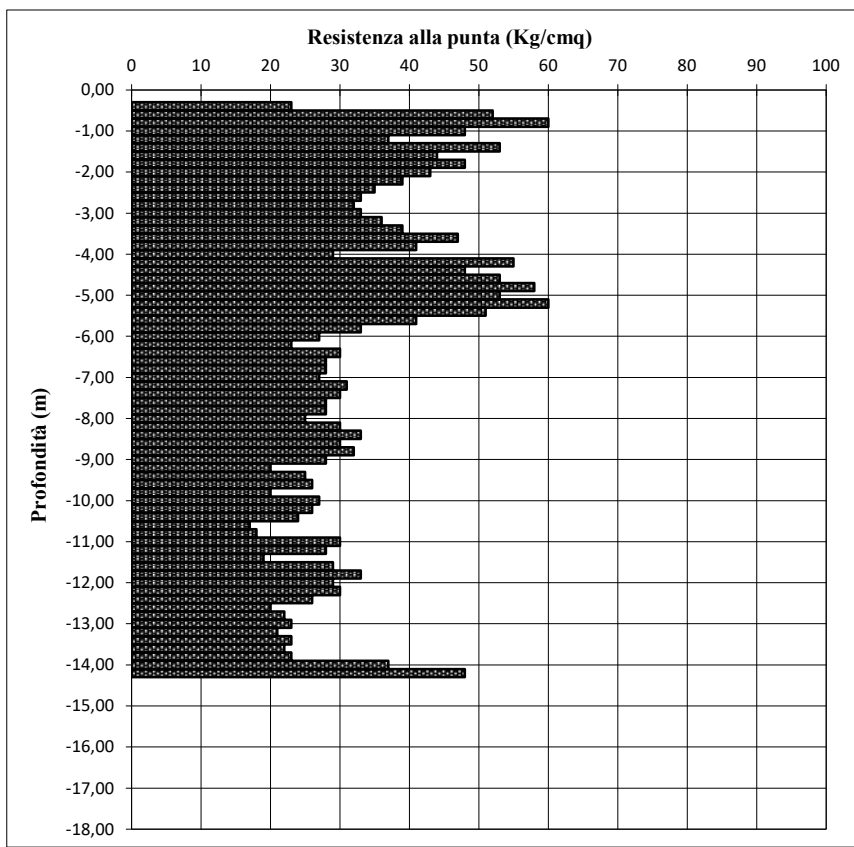
Dicembre  
2022

Scala:

//

## Prova penetrometrica statica n.

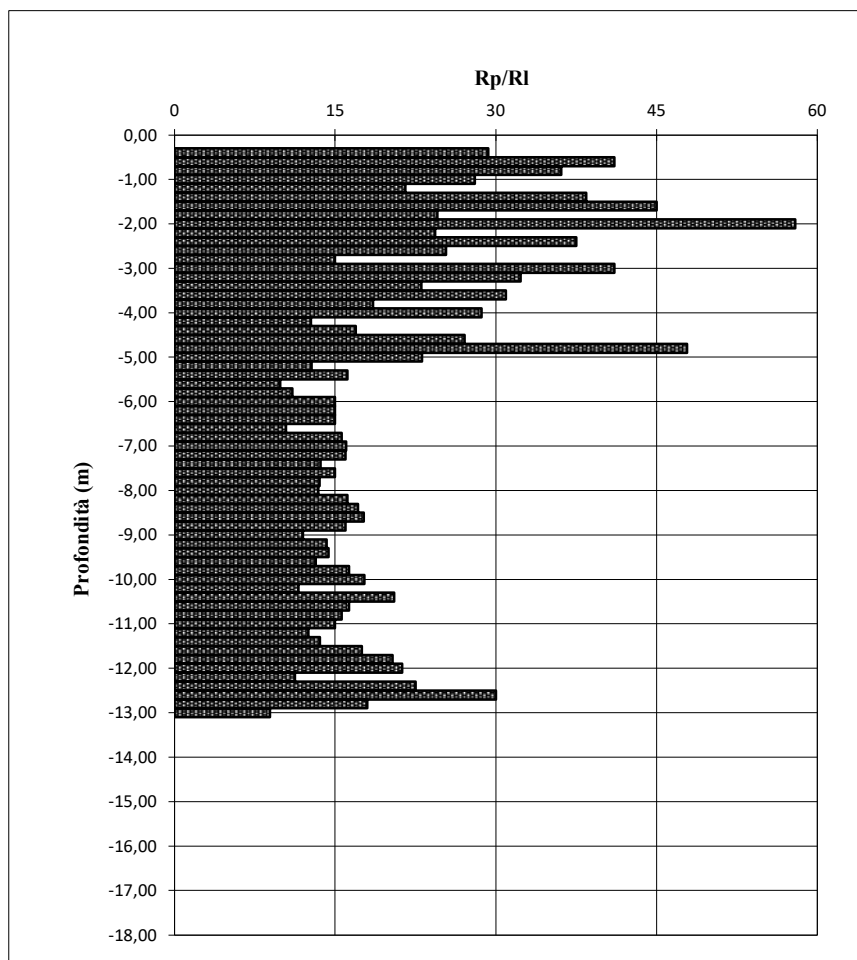
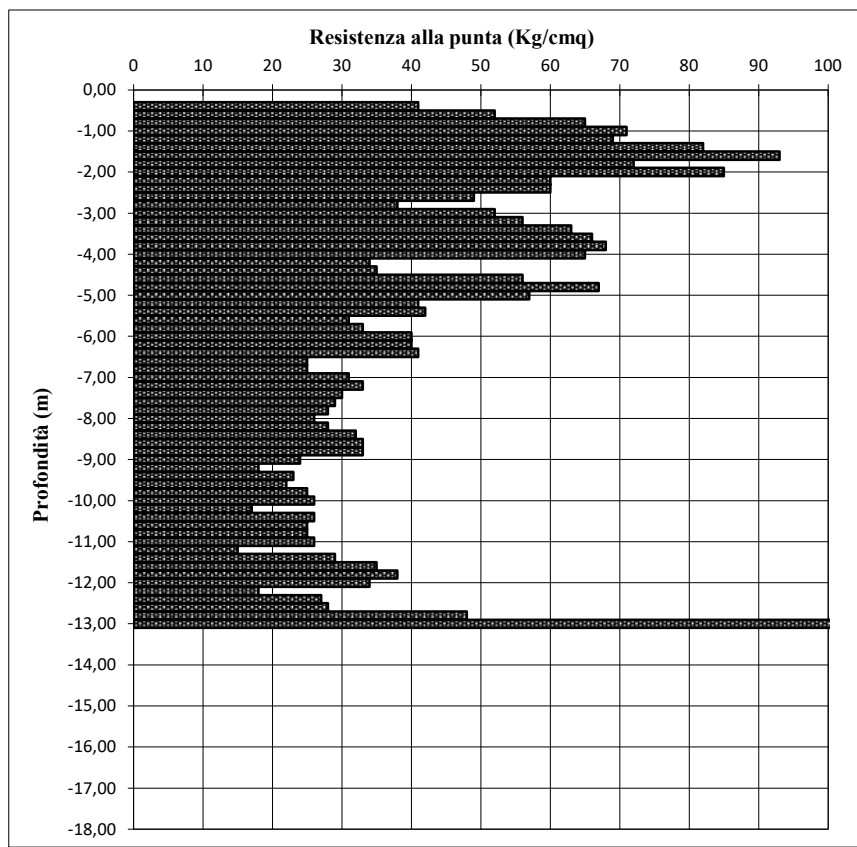
P1

Località: **Casteggio**  
Committente: **G.S.M. S.r.l.**Data: **26/09/2022**  
Quota inizio **p.c.**

Quota	Rp	Rp+R m	Rp/RI	Quota	Rp	Rp+R m	Rp/RI
0,00	0	0	0	-9,20	20	39	16
-0,20	/	/		-9,40	25	51	14
-0,40	23	38	23	-9,60	26	49	17
-0,60	52	72	39	-9,80	20	41	14
-0,80	60	89	31	-10,00	27	53	16
-1,00	48	84	20	-10,20	26	52	15
-1,20	37	63	21	-10,40	24	49	14
-1,40	53	80	29	-10,60	17	33	16
-1,60	44	72	24	-10,80	18	33	18
-1,80	48	86	19	-11,00	30	60	15
-2,00	43	68	26	-11,20	28	57	14
-2,20	39	74	17	-11,40	19	43	12
-2,40	35	67	16	-11,60	29	49	22
-2,60	33	61	18	-11,80	33	65	15
-2,80	32	58	18	-12,00	29	47	24
-3,00	33	60	18	-12,20	30	58	16
-3,20	36	81	12	-12,40	26	47	19
-3,40	39	72	18	-12,60	20	41	14
-3,60	47	80	21	-12,80	22	42	17
-3,80	41	72	20	-13,00	23	47	14
-4,00	29	68	11	-13,20	21	40	17
-4,20	55	82	31	-13,40	23	46	15
-4,40	48	102	13	-13,60	22	44	15
-4,60	53	110	14	-13,80	23	55	11
-4,80	58	121	14	-14,00	37	59	25
-5,00	53	117	12	-14,20	48	90	17
-5,20	60	123	14	-14,40	Disancor.		
-5,40	51	112	13				
-5,60	41	108	9				
-5,80	33	82	10				
-6,00	27	63	11				
-6,20	23	55	11				
-6,40	30	65	13				
-6,60	28	51	18				
-6,80	28	50	19				
-7,00	27	54	15				
-7,20	31	54	20				
-7,40	30	52	20				
-7,60	28	49	20				
-7,80	28	51	18				
-8,00	25	45	19				
-8,20	30	60	15				
-8,40	33	62	17				
-8,60	30	59	16				
-8,80	32	63	15				
-9,00	28	57	14				

## Prova penetrometrica statica n.

P2

Località: **Casteggio**  
Committente: **G.S.M. S.r.l.**Data: **26/09/2022**  
Quota inizio **p.c.**

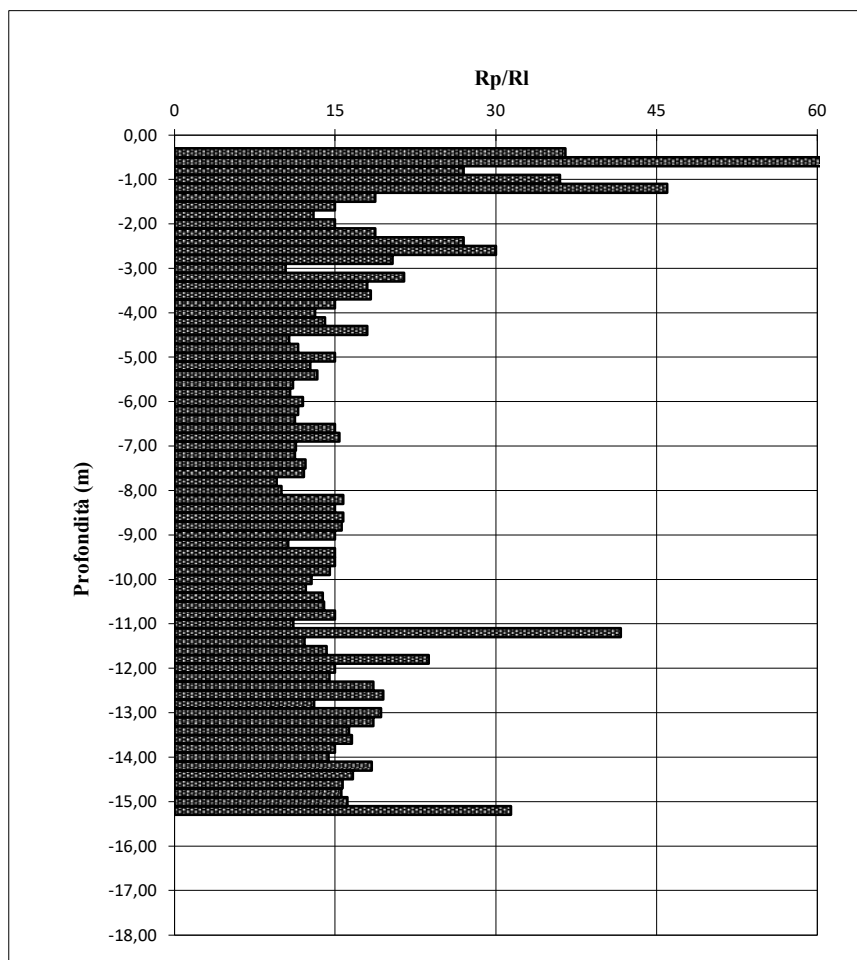
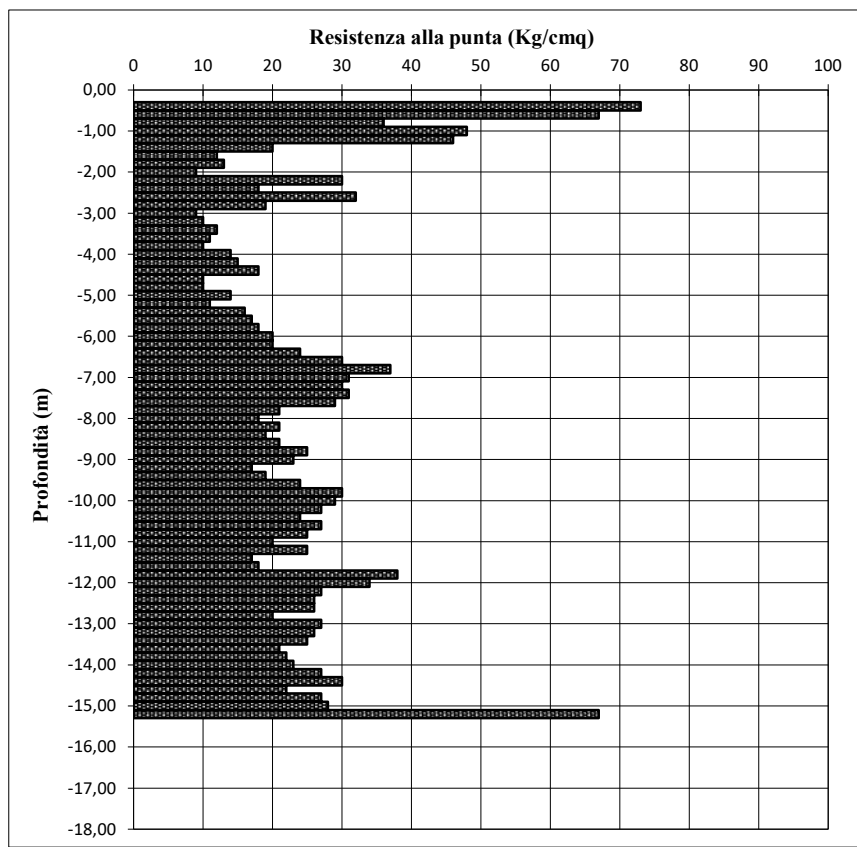
Quota	Rp	Rp+Rm	Rp/RI	Quota	Rp	Rp+Rm	Rp/RI
0,00	0	0	0	-9,20	18	37	14
-0,20	/	/		-9,40	23	47	14
-0,40	41	62	29	-9,60	22	47	13
-0,60	52	71	41	-9,80	25	48	16
-0,80	65	92	36	-10,00	26	48	18
-1,00	71	109	28	-10,20	17	39	12
-1,20	69	117	22	-10,40	26	45	21
-1,40	82	114	38	-10,60	25	48	16
-1,60	93	124	45	-10,80	25	49	16
-1,80	72	116	25	-11,00	26	52	15
-2,00	85	107	58	-11,20	15	33	13
-2,20	60	97	24	-11,40	29	61	14
-2,40	60	84	38	-11,60	35	65	18
-2,60	49	78	25	-11,80	38	66	20
-2,80	38	76	15	-12,00	34	58	21
-3,00	52	71	41	-12,20	18	42	11
-3,20	56	82	32	-12,40	27	45	23
-3,40	63	104	23	-12,60	28	42	30
-3,60	66	98	31	-12,80	48	88	18
-3,80	68	123	19	-13,00	150	402	9
-4,00	65	99	29	-13,20	Rifiuto		
-4,20	34	74	13	-13,40			
-4,40	35	66	17	-13,60			
-4,60	56	87	27	-13,80			
-4,80	67	88	48	-14,00			
-5,00	57	94	23	-14,20			
-5,20	41	89	13	-14,40			
-5,40	42	81	16	-14,60			
-5,60	31	78	10	-14,80			
-5,80	33	78	11	-15,00			
-6,00	40	80	15	-15,20			
-6,20	40	80	15	-15,40			
-6,40	41	82	15	-15,60			
-6,60	25	61	10	-15,80			
-6,80	25	49	16	-16,00			
-7,00	31	60	16	-16,20			
-7,20	33	64	16	-16,40			
-7,40	30	63	14	-16,60			
-7,60	29	58	15	-16,80			
-7,80	28	59	14	-17,00			
-8,00	26	55	13	-17,20			
-8,20	28	54	16	-17,40			
-8,40	32	60	17	-17,60			
-8,60	33	61	18	-17,80			
-8,80	33	64	16	-18,00			
-9,00	24	54	12				

## Prova penetrometrica statica n.

P3

Località: **Casteggio**  
 Committente: **G.S.M. S.r.l.**

Data: **26/09/2022**  
 Quota inizio **p.c.**



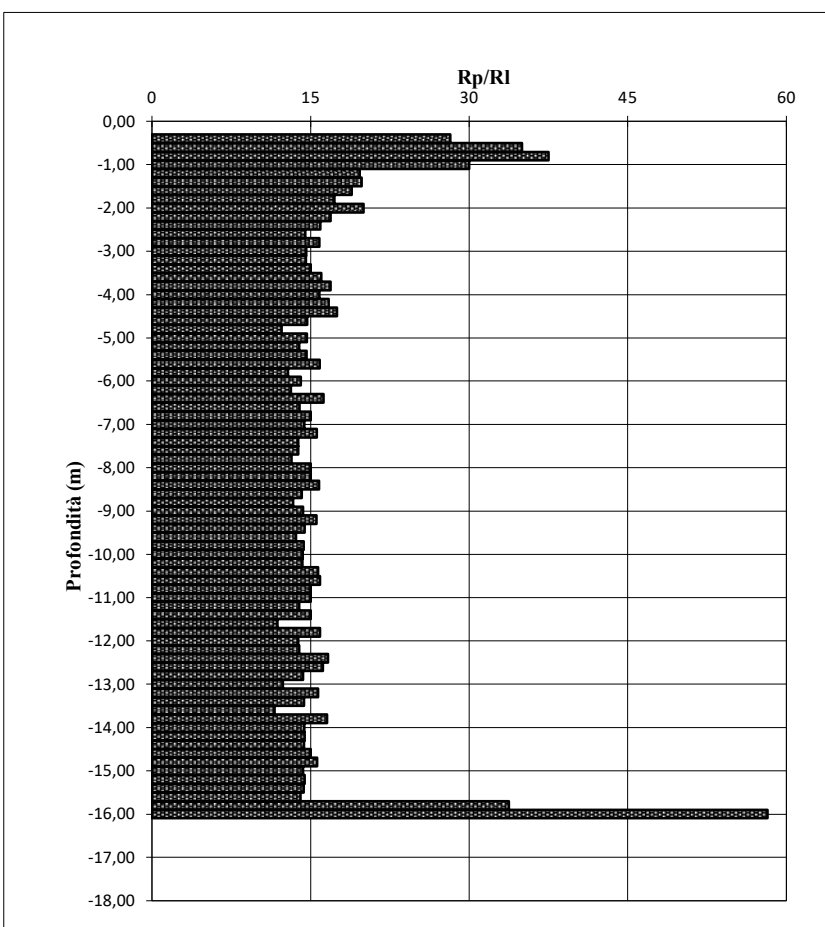
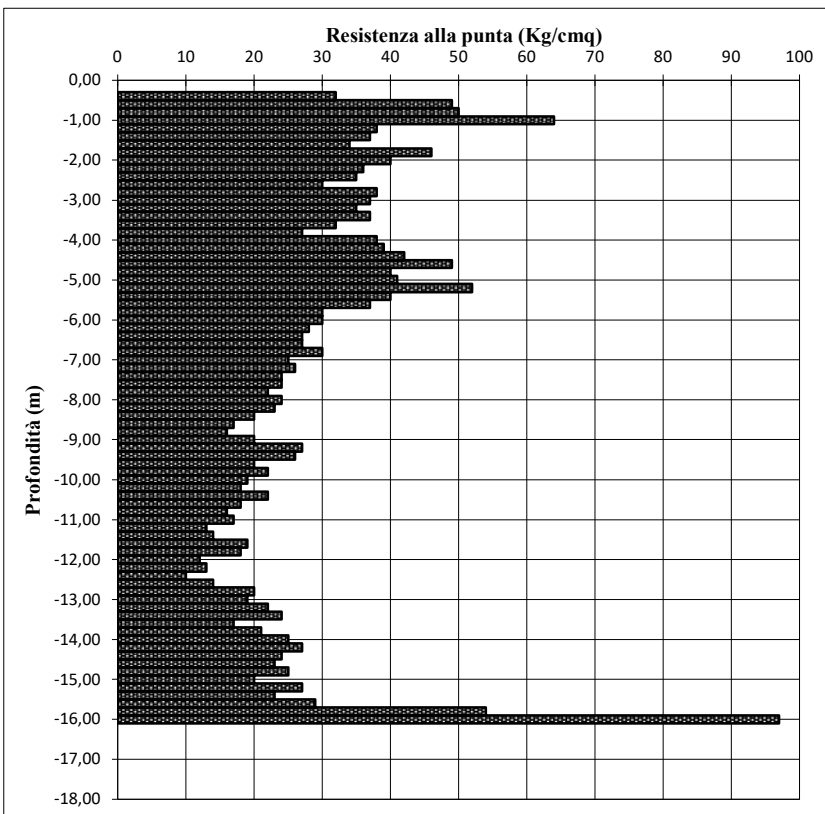
Quota	Rp	Rp+R m	Rp/RI	Quota	Rp	Rp+R m	Rp/RI
0,00	0	0	0	-9,20	17	41	11
-0,20	/	/		-9,40	19	38	15
-0,40	73	103	37	-9,60	24	48	15
-0,60	67	81	72	-9,80	30	61	15
-0,80	36	56	27	-10,00	29	63	13
-1,00	48	68	36	-10,20	27	60	12
-1,20	46	61	46	-10,40	24	50	14
-1,40	20	36	19	-10,60	27	56	14
-1,60	12	24	15	-10,80	25	50	15
-1,80	13	28	13	-11,00	20	47	11
-2,00	9	18	15	-11,20	25	34	42
-2,20	30	54	19	-11,40	17	38	12
-2,40	18	28	27	-11,60	18	37	14
-2,60	32	48	30	-11,80	38	62	24
-2,80	19	33	20	-12,00	34	68	15
-3,00	9	22	10	-12,20	27	55	14
-3,20	10	17	21	-12,40	26	47	19
-3,40	12	22	18	-12,60	26	46	20
-3,60	11	20	18	-12,80	20	43	13
-3,80	10	20	15	-13,00	27	48	19
-4,00	14	30	13	-13,20	26	47	19
-4,20	15	31	14	-13,40	25	48	16
-4,40	18	33	18	-13,60	21	40	17
-4,60	10	24	11	-13,80	22	44	15
-4,80	10	23	12	-14,00	23	47	14
-5,00	14	28	15	-14,20	27	49	18
-5,20	11	24	13	-14,40	30	57	17
-5,40	16	34	13	-14,60	22	43	16
-5,60	17	40	11	-14,80	27	53	16
-5,80	18	43	11	-15,00	28	54	16
-6,00	20	45	12	-15,20	67	99	31
-6,20	20	46	12	-15,40	Disancor.		
-6,40	24	56	11	-15,60			
-6,60	30	60	15	-15,80			
-6,80	37	73	15	-16,00			
-7,00	31	72	11	-16,20			
-7,20	30	70	11	-16,40			
-7,40	31	69	12	-16,60			
-7,60	29	65	12	-16,80			
-7,80	21	54	10	-17,00			
-8,00	18	45	10	-17,20			
-8,20	21	41	16	-17,40			
-8,40	19	38	15	-17,60			
-8,60	21	41	16	-17,80			
-8,80	25	49	16	-18,00			
-9,00	23	46	15				

## Prova penetrometrica statica n.

P4

Località: **Casteggio**  
Committente: **G.S.M. S.r.l.**

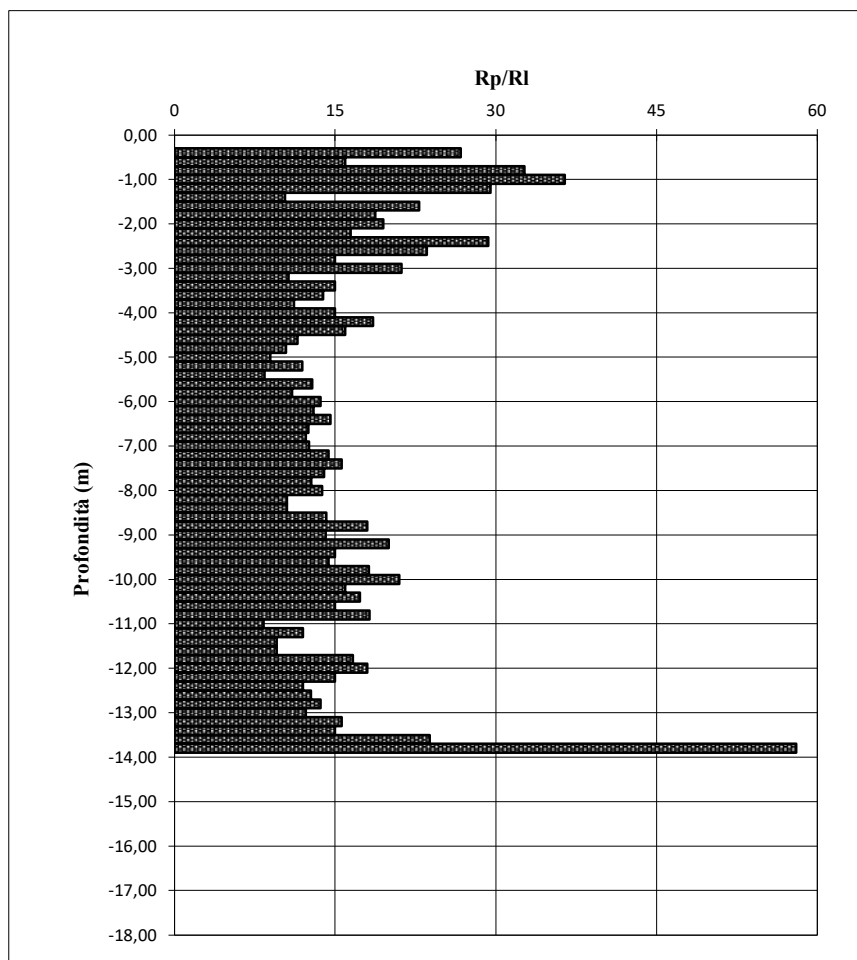
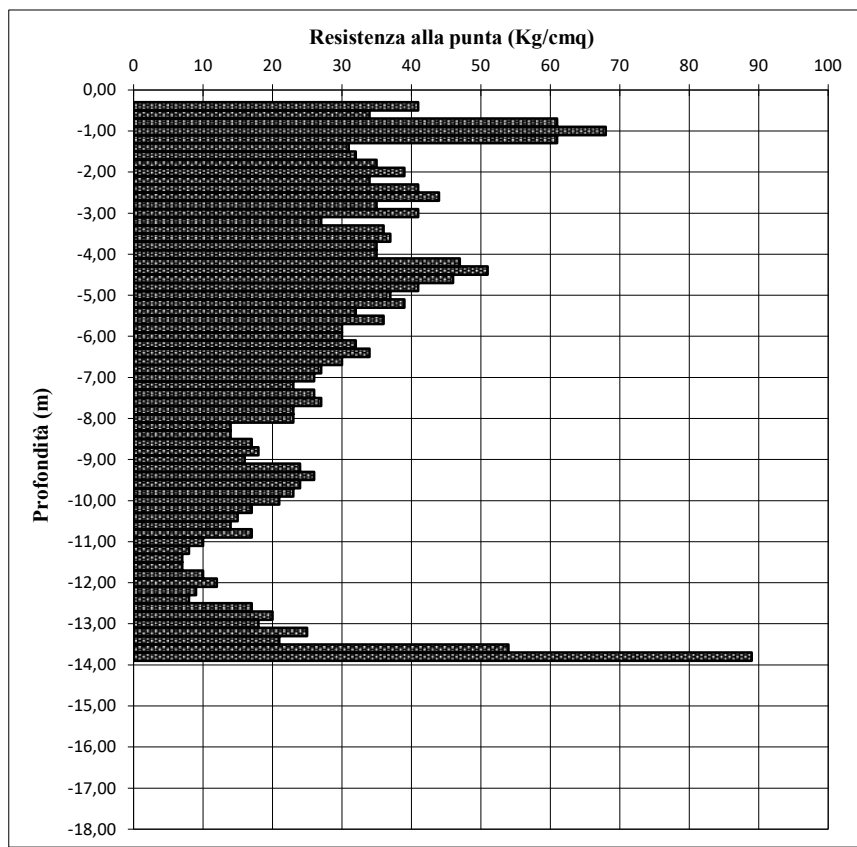
Data: **26/09/2022**  
Quota inizio **p.c.**



Quota	Rp	Rp+R m	Rp/Rl	Quota	Rp	Rp+R m	Rp/Rl
0,00	0	0	0	-9,20	27	53	16
-0,20	0	0	0	-9,40	26	53	14
-0,40	32	49	28	-9,60	20	42	14
-0,60	49	70	35	-9,80	22	45	14
-0,80	50	70	38	-10,00	19	39	14
-1,00	64	96	30	-10,20	18	37	14
-1,20	38	67	20	-10,40	22	43	16
-1,40	37	65	20	-10,60	18	35	16
-1,60	34	61	19	-10,80	16	32	15
-1,80	46	86	17	-11,00	17	34	15
-2,00	40	70	20	-11,20	13	27	14
-2,20	36	68	17	-11,40	14	28	15
-2,40	35	68	16	-11,60	19	43	12
-2,60	30	61	15	-11,80	18	35	16
-2,80	38	74	16	-12,00	12	25	14
-3,00	37	75	15	-12,20	13	27	14
-3,20	35	71	15	-12,40	10	19	17
-3,40	37	74	15	-12,60	14	27	16
-3,60	32	62	16	-12,80	20	41	14
-3,80	27	51	17	-13,00	19	42	12
-4,00	38	74	16	-13,20	22	43	16
-4,20	39	74	17	-13,40	24	49	14
-4,40	42	78	18	-13,60	17	39	12
-4,60	49	99	15	-13,80	21	40	17
-4,80	40	89	12	-14,00	25	51	14
-5,00	41	83	15	-14,20	27	55	14
-5,20	52	108	14	-14,40	24	49	14
-5,40	40	81	15	-14,60	23	46	15
-5,60	37	72	16	-14,80	25	49	16
-5,80	30	65	13	-15,00	20	41	14
-6,00	30	62	14	-15,20	27	55	14
-6,20	28	60	13	-15,40	23	47	14
-6,40	27	52	16	-15,60	29	60	14
-6,60	27	56	14	-15,80	54	78	34
-6,80	30	60	15	-16,00	97	122	58
-7,00	25	51	14	-16,20			
-7,20	26	51	16	-16,40			
-7,40	24	50	14	-16,60			
-7,60	24	50	14	-16,80			
-7,80	22	47	13	-17,00			
-8,00	24	48	15	-17,20			
-8,20	23	46	15	-17,40			
-8,40	20	39	16	-17,60			
-8,60	17	35	14	-17,80			
-8,80	16	34	13	-18,00			
-9,00	20	41	14				

## Prova penetrometrica statica n.

P5

Località: **Casteggio**  
Committente: **G.S.M. S.r.l.**Data: **26/09/2022**  
Quota inizio **p.c.**

Quota	Rp	Rp+Rm	Rp/RI	Quota	Rp	Rp+Rm	Rp/RI
0,00	0	0	0	-9,20	24	42	20
-0,20	0	0	#DIV/0!	-9,40	26	52	15
-0,40	41	64	27	-9,60	24	49	14
-0,60	34	66	16	-9,80	23	42	18
-0,80	61	89	33	-10,00	21	36	21
-1,00	68	96	36	-10,20	17	33	16
-1,20	61	92	30	-10,40	15	28	17
-1,40	31	76	10	-10,60	14	28	15
-1,60	32	53	23	-10,80	17	31	18
-1,80	35	63	19	-11,00	10	28	8
-2,00	39	69	20	-11,20	8	18	12
-2,20	34	65	16	-11,40	7	18	10
-2,40	41	62	29	-11,60	7	18	10
-2,60	44	72	24	-11,80	10	19	17
-2,80	35	70	15	-12,00	12	22	18
-3,00	41	70	21	-12,20	9	18	15
-3,20	27	65	11	-12,40	8	18	12
-3,40	36	72	15	-12,60	17	37	13
-3,60	37	77	14	-12,80	20	42	14
-3,80	35	82	11	-13,00	18	40	12
-4,00	35	70	15	-13,20	25	49	16
-4,20	47	85	19	-13,40	21	42	15
-4,40	51	99	16	-13,60	54	88	24
-4,60	46	106	12	-13,80	89	112	58
-4,80	41	100	10	-14,00	disancor.		
-5,00	37	99	9	-14,20			
-5,20	39	88	12	-14,40			
-5,40	32	89	8	-14,60			
-5,60	36	78	13	-14,80			
-5,80	30	71	11	-15,00			
-6,00	30	63	14	-15,20			
-6,20	32	69	13	-15,40			
-6,40	34	69	15	-15,60			
-6,60	30	66	13	-15,80			
-6,80	27	60	12	-16,00			
-7,00	26	57	13	-16,20			
-7,20	23	47	14	-16,40			
-7,40	26	51	16	-16,60			
-7,60	27	56	14	-16,80			
-7,80	23	50	13	-17,00			
-8,00	23	48	14	-17,20			
-8,20	14	34	11	-17,40			
-8,40	14	34	11	-17,60			
-8,60	17	35	14	-17,80			
-8,80	18	33	18	-18,00			
-9,00	16	33	14				

Acqua = - 7,85 mt. da p.c.





**Foto 1:** Postazione sondaggio S1.



**Foto 2:** Punto di prova P1.

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI NUOVO DEPOSITO  
“AMBITO DI TRASFORMAZIONE PRODUTTIVO – ATP2”  
COMUNE DI CASTEGGIO E CORVINO S. QUIRICO (PV)**

**Istogrammi prove penetrometriche**

**ALL.6**

Committente:

G.S.M. S.r.l.

A cura di:

TECNOSUOLO S.r.l.  
S.S. MI-GE n.10  
27040 Casatisma (PV)

Data:

Dicembre  
2022

Scala:

//



**Foto 3:** Punto di prova P2.



**Foto 4:** Punto di prova P3.

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI NUOVO DEPOSITO  
“AMBITO DI TRASFORMAZIONE PRODUTTIVO – ATP2”  
COMUNE DI CASTEGGIO E CORVINO S. QUIRICO (PV)**

**Istogrammi prove penetrometriche**

**ALL.6**

Committente:

G.S.M. S.r.l.

A cura di:

TECNOSUOLO S.r.l.  
S.S. MI-GE n.10  
27040 Casatisma (PV)

Data:

Dicembre  
2022

Scala:

//



**Foto 5:** Punto di prova P4.



**Foto 6:** Punto di prova P5.

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI NUOVO DEPOSITO  
“AMBITO DI TRASFORMAZIONE PRODUTTIVO – ATP2”  
COMUNE DI CASTEGGIO E CORVINO S. QUIRICO (PV)**

**Istogrammi prove penetrometriche**

**ALL.6**

Committente:

G.S.M. S.r.l.

A cura di:

TECNOSUOLO S.r.l.  
S.S. MI-GE n.10  
27040 Casatisma (PV)

Data:

Dicembre  
2022

Scala:

//