

# AMPLIAMENTO DEL POLO DI INFANZIA DEL COMUNE DI SARMATO - VIA GUIDO MOIA



Progetto PRELIMINARE  
ai sensi art. 17 del D.P.R. 207/2010



Progetto DEFINITIVO  
ai sensi art. 24 del D.P.R. 207/2010



Progetto ESECUTIVO  
ai sensi art. 33 del D.P.R. 207/2010

## GENERALI RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA

COMMITTENTE

Comune di Sarmato



Viale Resistenza n° 2  
29010 Sarmato  
Piacenza  
Tel. + 39 0523 887827  
Fax + 39 0523 887784  
E mail comune.sarmato@sintranet.legalmail.it

PROGETTISTA

STUDIO ASSOCIATO Archh. ODDI



Corso G. Matteotti n° 66  
29015 Castel San Giovanni  
Piacenza  
Tel. + 39 0523 881310  
Fax + 39 0523 881965  
E mail info@studiooddi.it

TEAM DI PROGETTAZIONE

COORDINATORE DELLE INTEGRAZIONI SPECIALISTICHE - Arch. Giuseppe Oddi  
PROGETTISTA ARCHITETTONICO - Arch. Giuseppe Oddi - Arch. Bruno Oddi  
PROGETTISTA STRUTTURALE - Ing. Mario Oddi  
PROGETTISTA IMPIANTI TERMO-MECCANICI E IDRICO-SANITARI - Ing. Massimo Parenti  
PROGETTISTA IMPIANTI ELETTRICI - Ing. Niccolò Centri  
COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE - Arch. Bruno Oddi

CODICE ELABORATO

RL G 02

SCALA

/

REVISIONE  
00

DATA  
Gennaio 2023

MOTIVO

ESEGUITO  
Adriano Baldini

CONTROLLATO  
Bruno Oddi

APPROVATO  
Giuseppe Oddi

## Relazione geologica

- Modello Geologico
- Modello Geotecnico Preliminare
- Modello Sismico

### Tecnici Incaricati

Dott. Geol. Baldini Adriano



REGIONE EMILIA ROMAGNA  
PROVINCIA DI PIACENZA (PC)  
COMUNE DI SARMATO



### Oggetto

Relazione Geologico-Tecnica relativa alla verifica di fattibilità geologica del progetto preliminare che prevede l'ampliamento del polo di infanzia del Comune di Sarmato sito sul Mappale n. 552 del Foglio n. 16 della Mappa Catastale.

### Committente

Spett.  
Comune di Sarmato  
Viale Resistenza, 2  
29010 Sarmato (PC)  
C.F. 00267710333

Trevozzo, 12 settembre 2022

GeoTest

# Sommario

0) GENERALITÀ.....	1
1) PREMESSA.....	1
2) NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....	3
3) INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO.....	4
3.1 Inquadramento Geologico – Geomorfológico Regionale .....	4
3.2 Aspetti Geologici – Geomorfológicos dell'area in esame.....	7
3.3 Idrografia ed Idrogeologia (cenni) .....	8
3.4 Pericolosità Geo-ambientale e Strumenti Urbanistici.....	10
4) INDAGINI EFFETTUATE E MODELLO GEOLOGICO GEOTECNICO PRELIMINARE.....	12
4.1 Modello Geologico.....	15
4.2 Modello Geotecnico Preliminare.....	17
5) VERIFICA DEL CARICO LIMITE (SLU) E STIMA DEI CEDIMENTI.....	19
5.1 Dati Generali .....	19
5.2 Coefficienti Sismici (N.T.C.) .....	20
5.3 Stratigrafia Terreno .....	21
5.4 Carico Limite Fondazione combinazione A1+M1+R3 .....	21
5.5 Stima dei Cedimenti Elastici.....	21
5.6 Stima dei Cedimenti Edometrici .....	23
6) CONCLUSIONI .....	24

## Indice delle Tavole e delle Figure

- Fig. 1: Corografia – Carta Tecnica Regionale 1:5.000*
- Fig. 2: Estratto di Mappa Catastale*
- Fig. 3: Ubicazione Indagini Effettuate*
- Fig. 4: Estratto Carta Geologica d'Italia 1:100.000 – Foglio n. 60*
- Fig. 5: Estratto Carta Geologica Regionale*
- Fig. 6: Sezione Geologica dal Quadro Conoscitivo del PSC del Comune di Sarmato*
- Fig. 7: Estratto Carta Idrogeologica del PSC – Comune di Sarmato*
- Fig. 8: Estratto Carta della pericolosità da alluvione del reticolo principale di pianura - Direttiva 2007/60/CE*
- Fig. 9: Estratto Carta della pericolosità da alluvione del reticolo secondario di pianura - Direttiva 2007/60/CE*
- Fig. 10: Estratto Carta Tecnica di Fattibilità del PSC – Comune di Sarmato*
- Fig. 11: Estratto Carta Emergenze Culturali, Storiche, Paesaggistiche del PSC – Comune di Sarmato*
- Fig. 12: Estratto Carta Tutele e Vincoli Ambientali del PSC – Comune di Sarmato*
- Fig. 13: Estratto Carta dei Rispetti e Limiti all'edificabilità dei suoli e alla trasformabilità degli insediamenti del RUE – Comune di Sarmato*
- Fig. 14: Estratto Carta della Classificazione del Territorio del RUE – Comune di Sarmato*
- Fig. 15: Estratto Carta della Classificazione del Territorio del Capoluogo del RUE – Comune di Sarmato*

## Allegati

**ALLEGATO 1: PROVE PENETROMETRICHE**

**ALLEGATO 2: INDAGINE GEOFISICA DI SUPERFICIE**

## 0) GENERALITÀ

---

Il sottoscritto Baldini Adriano, iscritto all'Ordine Regionale Geologi dell'Emilia Romagna al n.749, residente in Trevozzo Comune di Alta Val Tidone - Via E. Fermi n. 113, dipendente di Geotest s.r.l., redige la presente relazione geologico-tecnica in ossequio a quanto sancito dal D.M. 17/01/2018 e dalle altre normative nazionali e regionali in materia di tutela ambientale, e a seguito dello specifico incarico conferitogli dal Comune di Sarmato.

## 1) PREMESSA

---

Con la presente relazione vengono valutati gli aspetti geologici, geotecnici, geomorfologici, geofisici ed idrogeologici, relativi al progetto di realizzazione dell'ampliamento del polo di infanzia del Comune di Sarmato, sito nella porzione occidentale del capoluogo (Fig. 1). Tale intervento prevede la realizzazione di un nuovo manufatto, costituito dal piano terra e avente dimensioni di circa 46.66 m x 27.86 m, elevato di circa 1.5 m rispetto al p.c.

Nel dettaglio l'area interessata dall'intervento risulta essere quella sottesa dal mappale n. 552 del foglio n. 16 della Planimetria Catastale (Fig. 2).

Per la descrizione dettagliata dell'intervento si rimanda alla relazione tecnica allegata alla pratica di progetto.

Ad evasione di una vostra specifica richiesta, e con lo scopo di verificare la compatibilità geologico-geotecnica di quanto in progetto, lo scrivente ha eseguito il giorno 07/09/2022 un sopralluogo geologico generale durante il quale sono state raccolte tutte quelle informazioni di carattere geologico-geomorfologico necessarie per procedere ad una corretta valutazione circa la compatibilità tra l'intervento in progetto e la realtà geologica locale.

Per verificare l'assetto stratigrafico dell'area e per avere informazioni di massima circa i parametri geotecnici del terreno presente in sito, lo scrivente ha condotto, entro il perimetro d'interesse, le seguenti indagini geognostiche la cui ubicazione è illustrata in Fig. 3:



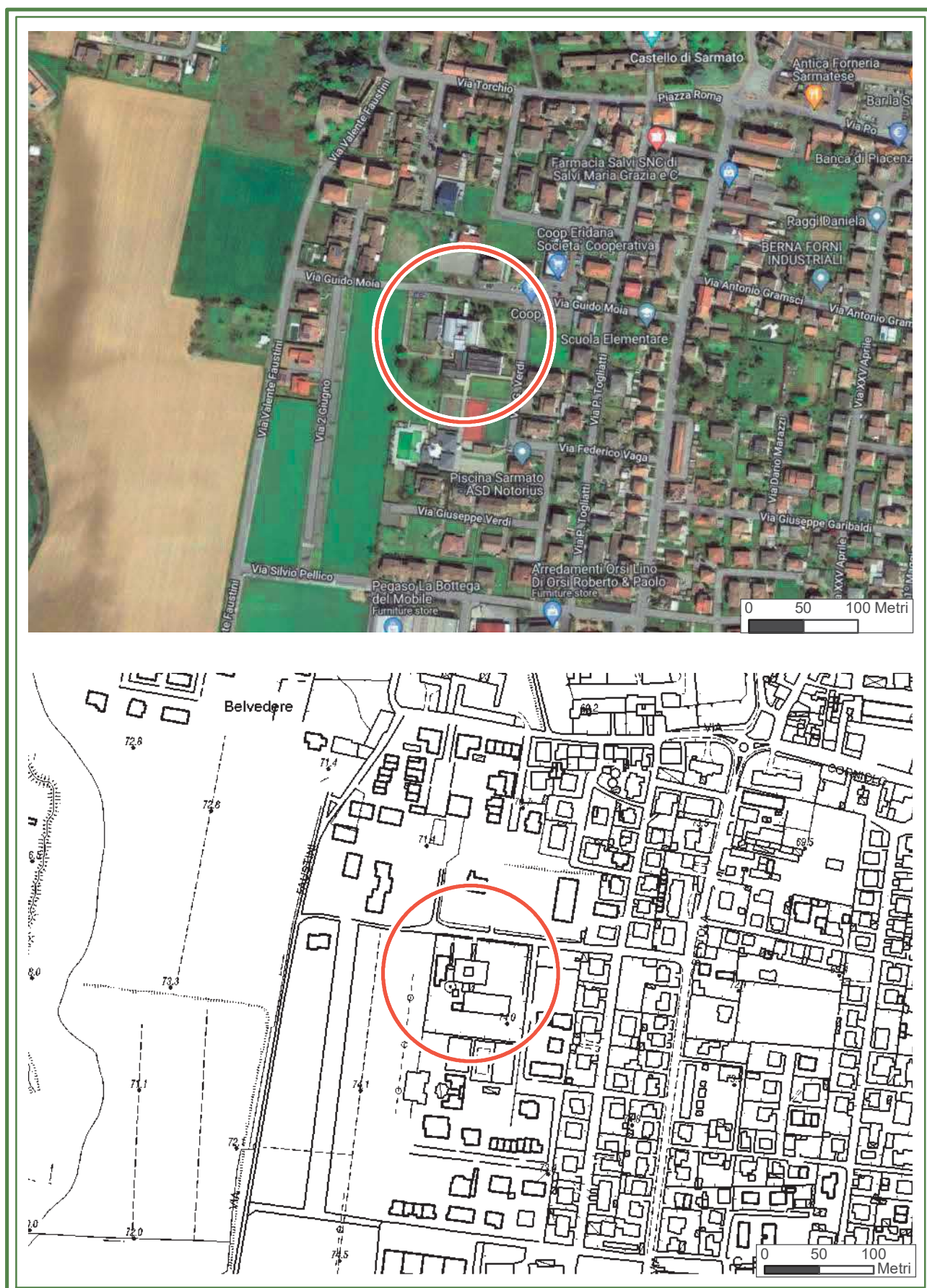


Fig. 1: Corografia – CTR 1:5000

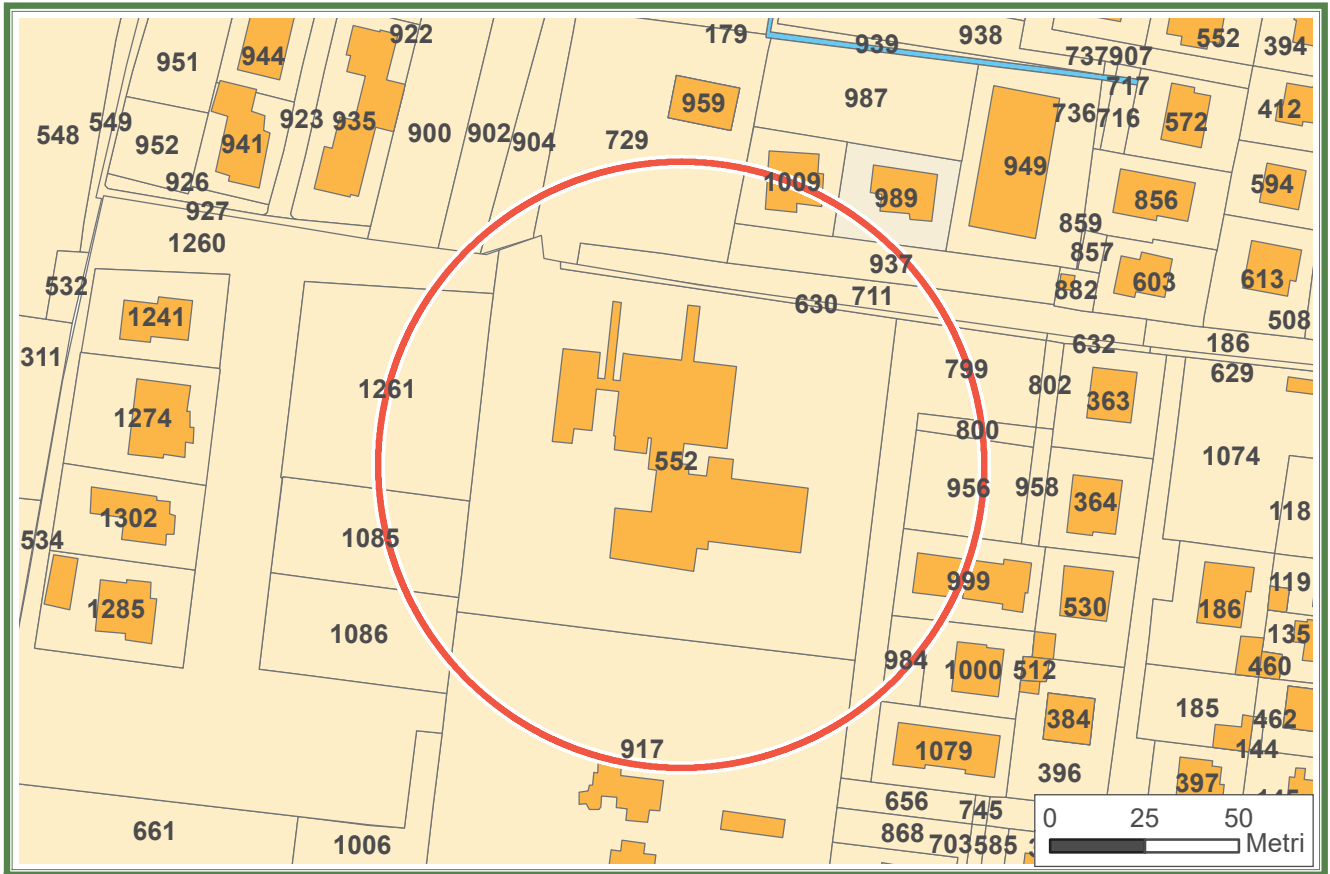


Fig. 2: Estratto di Mappa Catastale





Fig. 3: Ubicazione indagini effettuate (prove penetrometriche dinamiche, prova sismica MASW e HVSr)



- n. 5 prove penetrometriche dinamiche eseguite con penetrometro Pagani TG 63-200 la cui elaborazione e risultati sono riportati in **allegato 1**
- Indagini geofisiche di superficie (trattazione specifica in **allegato 2**) consistite in:
  - n. 1 prova MASW per la caratterizzazione della categoria di suolo sismico ( $V_{Seq}$ )
  - n. 2 prove HVSR tipo Nakamura per la determinazione della frequenza sito specifica.

Un importante supporto, che integra ed approfondisce la conoscenza del territorio, è dato dalle informazioni bibliografiche e d'archivio disponibili tra cui risultanze ottenute in occasione di pregresse indagini geognostiche svolte in aree più o meno prossime a quella di interesse e correlabili al contesto geologico locale. I dati a disposizione permettono di delineare, nel loro insieme, una conoscenza di sito approfondita incrementando la risoluzione ed il dettaglio delle informazioni disponibili.

L'insieme delle informazioni raccolte ed il confronto dei risultati ottenuti hanno consentito di procedere, in un primo tempo, alla modellizzazione geologica e caratterizzazione geotecnica preliminare dei terreni investigati e, successivamente, ad una valutazione e stima preliminare del Carico Limite (SLU) a cui può essere assoggettato il terreno sede di imposta delle fondazioni del futuro manufatto.

***Sinteticamente le indagini eseguite si sono sostanziate nelle seguenti operazioni:***

- a) rilevamento geologico, geomorfologico ed indagini geognostiche/geofisiche di superficie utili alla modellazione geologica ed idrogeologica preliminare sito specifica;
- b) caratterizzazione geomeccanica di massima del terreno presente nel sottosuolo dell'area in esame, definizione della categoria di suolo sismico di fondazione e della frequenza sito specifica;
- c) considerazioni geotecniche qualitative e semi-quantitative sull'interazione tra opera/e in progetto ed assetto geologico locale con attenzione al sistema terreno/fondazione in termini di capacità portante e cedimenti attesi;
- d) valutazioni in merito alla compatibilità tra l'intervento in progetto ed il contesto/pericolosità geoambientale/i in cui si inserisce il volume significativo individuato.

## 2) NORMATIVE DI RIFERIMENTO

---

### **D.M. LL.PP. del 11/03/1988**

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

### **D.M. LL.PP. del 14/02/1992**

Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

### **D.M. 9 Gennaio 1996**

Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche

### **D.M. 16 Gennaio 1996**

Norme Tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi

### **D.M. 16 Gennaio 1996**

Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche

### **Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.**

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996

### **Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.**

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

### **Decreto n. 159 del 14.9.2005**

Normative Tecniche per le costruzioni in zona sismica.

### **Eurocodice 7**

Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.

### **Eurocodice 8**

Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

### **D.M 14/01/2008**

Norme Tecniche per le Costruzioni

### **D.M 17/01/2018**

Aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni

### 3) INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO

L'area oggetto del presente studio è ubicata nella porzione occidentale del capoluogo, ad una quota di circa 74 m s.l.m. (Fig. 1).

#### 3.1 Inquadramento Geologico – Geomorfologico Regionale

L'area di indagine ricade entro il Foglio 60, denominato “Piacenza”, della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100 000 (Fig. 4).

Il territorio cartografato nel suddetto Foglio è diviso in due settori dal corso del fiume Po che lo percorre con direzione est-ovest, descrivendo una serie continua di meandri. Il settore a nord del Po appartiene al versante alpino della Valle Padana, rappresentando una parte marginale della pianura lombarda, e presenta i tratti terminali dei fiumi Lambro e Adda. Il settore a sud del Po appartiene invece al versante appenninico della Valle Padana ed è interessato dai tratti terminali dei seguenti affluenti di destra, che lo solcano in direzione sud-nord: Tidone, Trebbia, Nure e Riglio.

I lineamenti morfologici delle due sponde del Po presentano caratteri geomorfologici molto diversi. In destra, la piana pedeappenninica degrada dolcemente fino all'impluvio principale (Po) ed è percorsa da torrenti con alvei poco incisi, fuori dall'ambito delle proprie conoidi. In sinistra invece un'importante scarpata con andamento a festoni separa la piana antica delle basse zone di lanca, arginate, bonificate e sistemate idraulicamente, ma ancora esondabili in caso di grandi piene; inoltre, la piana antica è stata notevolmente incisa e frastagliata dagli affluenti alpini del Po (Lambro, Adda, Serio). Sono state le secolari variazioni di corso del Po, tramite la formazione, lo sviluppo ed il taglio di successivi meandri, in concomitanza col sollevamento quaternario della fascia pedeappenninica, e quindi con lo spostamento graduale verso nord dell'asse padano, a provocare questa differenza.

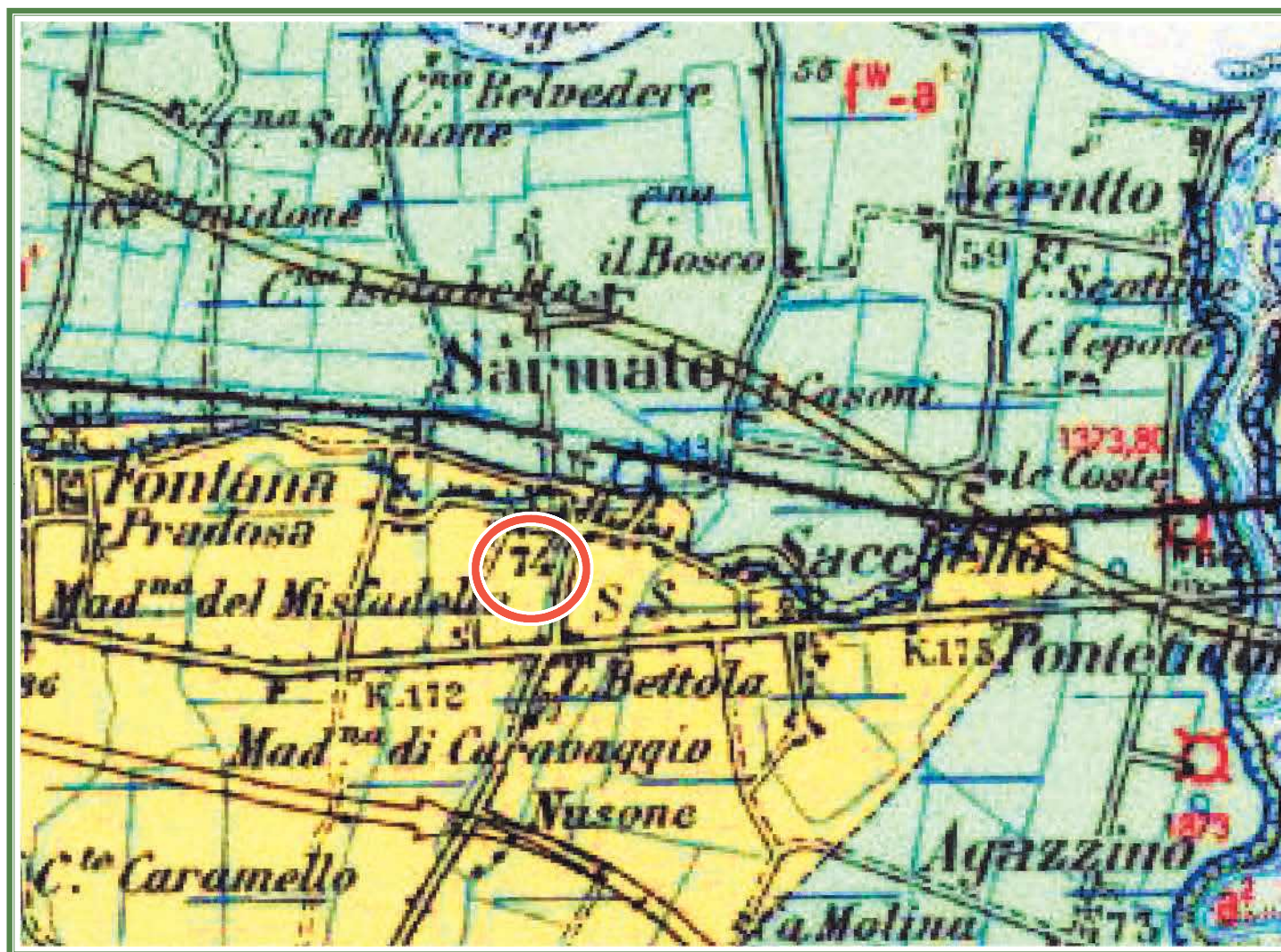
La litologia prevalente nel Foglio “Piacenza” è pressoché correlabile a depositi di tipo continentale di età olocenica e pleistocenica presenti in maggioranza nel settore di pianura posto a nord del Fiume Po (ad eccezione di alcuni lembi di formazioni marine plio-pleistoceniche e mioceniche presenti sul Colle di San Colombano).

In ordine crescente di età, troviamo le seguenti formazioni continentali:

- **a<sup>3</sup>** - alluvioni ghiaioso-sabbiose, attuali;
- **a<sup>2</sup>, p** - alluvioni limose, localmente sabbiose e ghiaiose, anche attualmente esondabili, recenti (a<sup>2</sup>); depositi dei bacini palustri, prevalentemente argillosi, neri (p);
- **a<sup>1</sup>** – alluvioni sabbioso-ghiaiose e argilloso-limose, postglaciali, antiche;



## CARTA GEOLOGICA D'ITALIA 1:50.000 PIACENZA Foglio 60



### LEGENDA

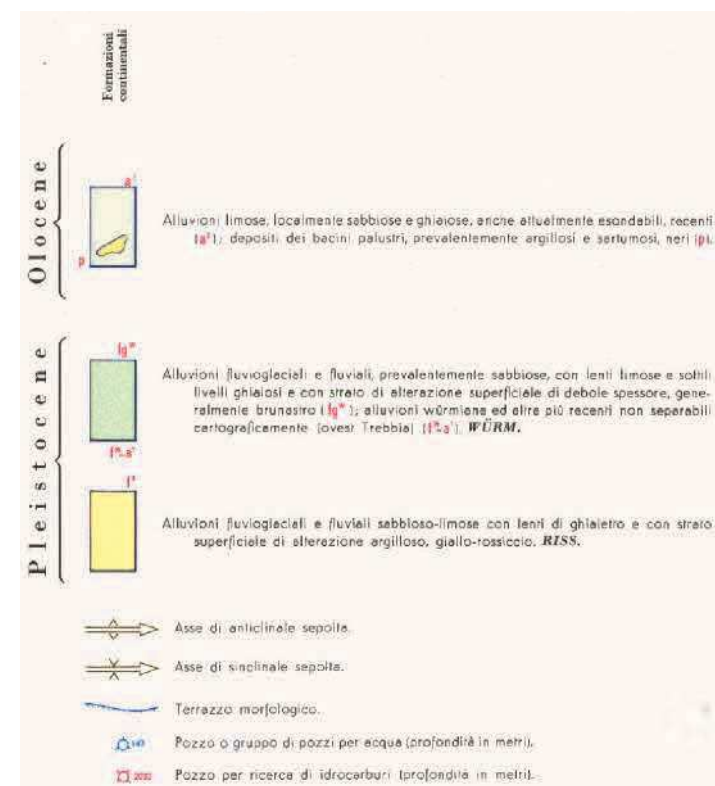


Fig. 4: Estratto Carta Geologica d'Italia 1:100.000 – Foglio n. 60



- **f<sup>w</sup>-a<sup>1</sup>, fg<sup>w</sup>** – alluvioni fluvioglaciali e fluviali, prevalentemente sabbiose con lenti limose e sottili livelli ghiaiosi e con strato di alterazione superficiale di debole spessore, generalmente brunastro (fg<sup>w</sup>); alluvioni wurmiane ed altre più recenti non separabili cartograficamente (ovest Trebbia) (f<sup>w</sup>-a<sup>1</sup>). WURM;
- **fg<sup>M</sup>** – alluvioni fluvioglaciali e fluviali, a terrazzi testimoni, ghiaiose e sabbiose, con strato di alterazione di spessore sino a 4 m, più o meno cementato, spesso parzialmente eroso, ad argille giallo-ocra o talora rossicce, con ciottoli completamente decalcificati e con laccature nere di idrossido di manganese. MINDEL;

Le formazioni marine, che costituiscono lembi sporadici attorno al Colle di S. Colombano, dalle più recenti, sono:

- **Q<sup>c</sup>-Pa, Q<sup>c</sup>-Pc** – sabbie con intercalazioni argillose a *Hyalinea balthica* (SCHROETER). Argille grigio-azzurre a *Cardium* sp., argille grigio-verdastre a *Turritella* sp. (Q<sup>c</sup>-Pa); calcare madreporico, lumachella a pettinidi, calcare a corallinacee, conglomerato con abbondante macrofauna a brachipodi, gasteropodi, lamellibranchi e coralli (Q<sup>c</sup>-Pc). CALABRIANO-PLIOCENE SUPERIORE (?). Formazione di San Colombano.
- **M** – Marne ed argille con intercalazioni sabbiose e ghiaiose presso S. Colombano con rari macrofossili e con *Bolivinooides miocenicus* (GIAN.), *Cassidulina levigata* (D'ORB) e *Bolivina aria* (MACFAD. TORTONIANO). Marne di Sant'Agata Fossili.

Le successioni continentali (sostanzialmente quaternarie) non evidenziano, nelle porzioni superficiali affioranti, deformazioni duttili e/o fragili. Questi depositi sono andati progressivamente a suturare i resti del bacino marino padano, attraverso un'alternanza di fasi erosive e deposizionali. Una vasta superficie erosionale separa le successioni continentali di piana e conoide alluvionale dai sottostanti depositi marini mio-pliocenici.

Le suddette successioni continentali sono state recentemente oggetto di una nuova classificazione gerarchica in modo tale da poter meglio ripartire i depositi quaternari di pianura. La definizione stratigrafica adottata segue un approccio basato sull'identificazione di sequenze di strati delimitati da superfici-tempo e sulla relazione genetica tra sistemi deposizionali coevi.

Si distinguono così due sequenze principali denominate:

- Supersintema Quaternario marino (corrispondente al Supersintema Padano “PD”);
- Supersintema Emiliano-Romagnolo (sigla “AE”).

A sua volta, quest'ultimo viene suddiviso in:

- Sintema (o Alloformazione) Emiliano-Romagnolo Inferiore "AEI" del Pliocene Medio (equivalente stratigrafico del Supersintema Lombardo Inferiore "LI", Pleistocene Medio).
- Sintema (o Alloformazione) Emiliano-Romagnolo Superiore "AES" del Pleistocene Superiore - Olocene (equivalente stratigrafico del Supersintema Lombardo Superiore "LS" (Pleistocene Medio/Superiore - Olocene).

Inoltre, tale suddivisione tende ad includere altre categorie minori quali i Subsintemi e le Unità. Il sistema classificativo delle unità geologico - stratigrafiche assume pertanto un'organizzazione gerarchica che trova corrispondenza con la ciclicità climatico - deposizionale delle fasi glaciali ed interglaciali. Durante le fasi glaciali, i bacini di alimentazione dei corsi d'acqua si trovarono in condizioni di resistasia ed il paesaggio era contraddistinto da azioni erosive prevalenti sulla pedogenesi; si produssero così grandi quantità di detriti che i corsi d'acqua distribuirono più a valle. Durante le fasi interglaciali le condizioni si invertirono, e il paesaggio si evolvette da condizioni di resistasia a condizioni di biostasia; i corsi d'acqua cominciarono così ad incidere le loro alluvioni, creando quelle morfosculture note come terrazzi fluviali.

Nell'ambito del territorio comunale di Sarmato affiora unicamente il Sintema (o Alloformazione) Emiliano Romagnolo Superiore che ricopre le unità più antiche. Il Supersintema Emiliano Romagnolo, deposti a partire da circa 800.000 anni BP, è costituito da terreni continentali, sedimentati al di sopra di una superficie di discontinuità regionale. L'Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore è un'Unità alluvionale prevalentemente grossolana, di età Pleistocene medio - Olocene. Il limite di tetto è rappresentato dalla superficie topografica, mentre il contatto di base è netto e discordante sull'Alloformazione Emiliano-Romagnola Inferiore e su tutte le altre unità più antiche. L'Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore è suddivisa in cinque allomembri, di cui il più recente è rappresentato dall'Allomembro di Ravenna (AES8 Pleistocene superiore - Olocene; post circa 20.000 anni B.P).

Per quanto riguarda l'assetto tettonico dell'area, le importanti traslazioni dell'edificio appenninico hanno portato le successioni emiliane ad avanzare verso settentrione, accavallandosi sui depositi medio miocenici oggi presenti nel sottosuolo.

In questo contesto geodinamico si ha la formazione di una serie di strutture di tipo fragile (sovrascorrimenti e faglie inverse) e di tipo duttile (pieghe spesso rovesce) caratteristiche di una tettonica di tipo compressivo e caratterizzate da una vergenza di tipo appenninica (NW) e assi strutturali in direzione NE-SW. I terreni interessati maggiormente dalle deformazioni tettoniche sono

di origine marina e hanno subito traslazioni di entità differente a seconda della loro originaria posizione paleogeografica.

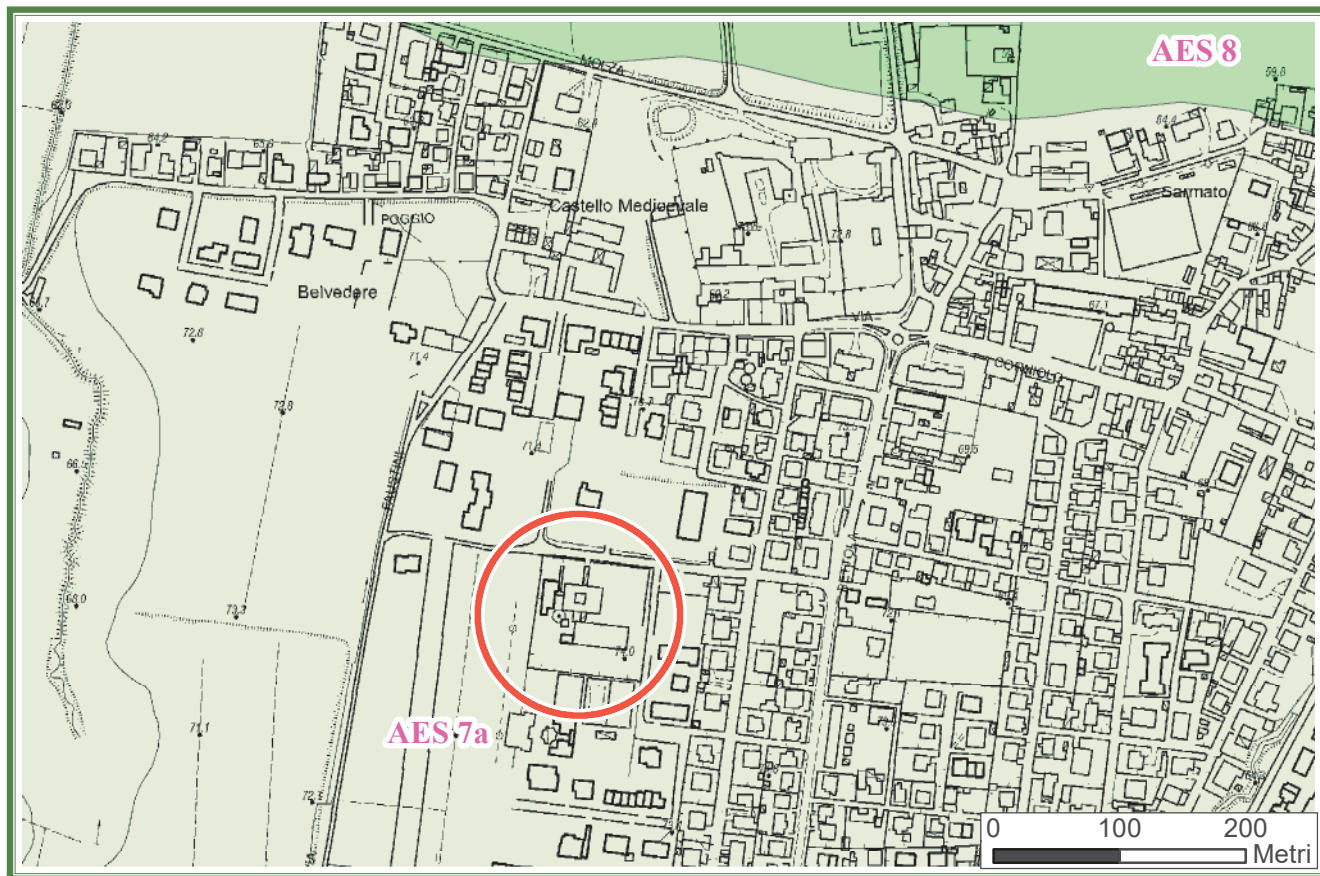
Anche il bacino padano risulta essere interessato dalla strutturazione plio-pleistocenica con una serie di accavallamenti che si spingono verso N, oltre l'attuale corso del Fiume Po, costituendo nel loro insieme il cosiddetto "Fronte sepolto dell'Appennino". Particolare interesse riveste la presenza del rilievo del Colle di San Colombano, da considerarsi come il riflesso superficiale di una struttura sepolta che ha provocato il sollevamento dell'area, consentendo l'erosione dei depositi più recenti del Livello Fondamentale della Pianura e la messa in luce di depositi fluvioglaciali più antichi; dove l'erosione ha inciso di più i depositi continentali si ha un affioramento dei depositi marini del Miocene Superiore-Pliocenici. L'età del sollevamento sarebbe posteriore al Mindel.

### ***3.2 Aspetti Geologici – Geomorfologici dell'area in esame***

Dal punto di vista geomorfologico il sito in esame è collocato in un areale caratterizzato da una morfologia terrazzata, dove scarpate e ripiani di terrazzo modellano il paesaggio riflettendo la successione spazio-temporale delle varie fasi di alterna erosione e sedimentazione operate nel tempo dai corsi d'acqua. Nello specifico, i depositi quaternari (AES7a) sono raccordati verso nord alle più recenti e geometricamente ribassate coperture quaternarie (AES8) da una scarpata di terrazzo distante circa 400 m dall'area di studio. Ancora più a nord tali coperture sono raccordate alle "Alluvioni Recenti ed Attuali" del Fiume Po. Verso Sud invece il limite è costituito dalla fascia pedecollinare che si immerge al di sotto dei già citati depositi fluvioglaciali.

Più dettagliatamente i sedimenti in questione (Figg. 5-6) sono classificati secondo la Bibliografia Geologica Ufficiale come "Diluvium medio" depositatesi nell'interglaciale Mindel-Riss oggi attribuito ***all'Unità di Niviano AES7a***. Di seguito si riporta la descrizione tipologica fornita dal livello informativo interrogabile sul portale cartografico (SGSS) della Regione Emilia Romagna: "Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati: depositi di conoide ghiaiosa e depositi intravallivi terrazzati. Limi e limi sabbiosi con intercalazioni di ghiaie e sabbie: depositi di interconoide. Il profilo di alterazione dell'unità è molto evoluto e raggiunge i 4-5 m di profondità. L'unità presenta una copertura fine, composita e discontinua, di spessore fino a 2 m, costituita da limi e limi argillosi giallastri; il profilo di alterazione è molto evoluto. Lo spessore massimo dell'unità è di poche decine di metri".

## CARTA GEOLOGICA DELLA REGIONE EMILIA - ROMAGNA



### Legenda

#### Coperture quaternarie

 AES8 - Subsistema di Ravenna

 AES7a - Unità di Niviano

#### AES7a – Unità di Niviano

**Descrizione tipologica:** Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati: depositi di conoide ghiaiosa e depositi intravallivi terrazzati. Limi e limi sabbiosi con intercalazioni di ghiaie e sabbie: depositi di interconoide. Il profilo di alterazione dell'unità è molto evoluto e raggiunge i 4-5 m di profondità. L'unità presenta una copertura fine, composta e discontinua, di spessore fino a 2 m, costituita da limi e limi argillosi giallastri; il profilo di alterazione è molto evoluto. Lo spessore massimo dell'unità è di poche decine di metri.

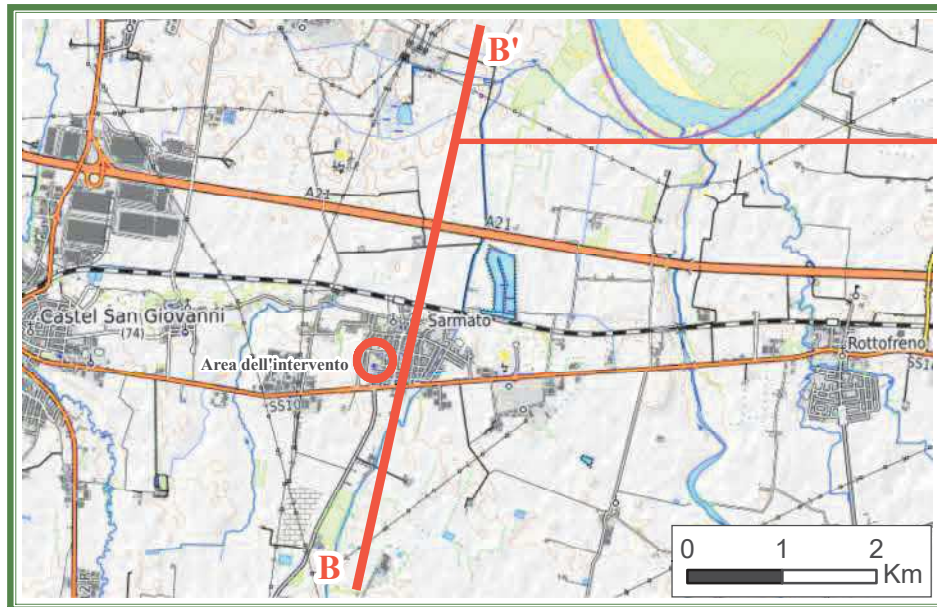
**Ambiente:** Piana alluvionale

**Ubicazione:** Pianura

Fig. 5: Estratto Carta Geologica Regionale



## SEZIONE GEOLOGICA



### Legenda

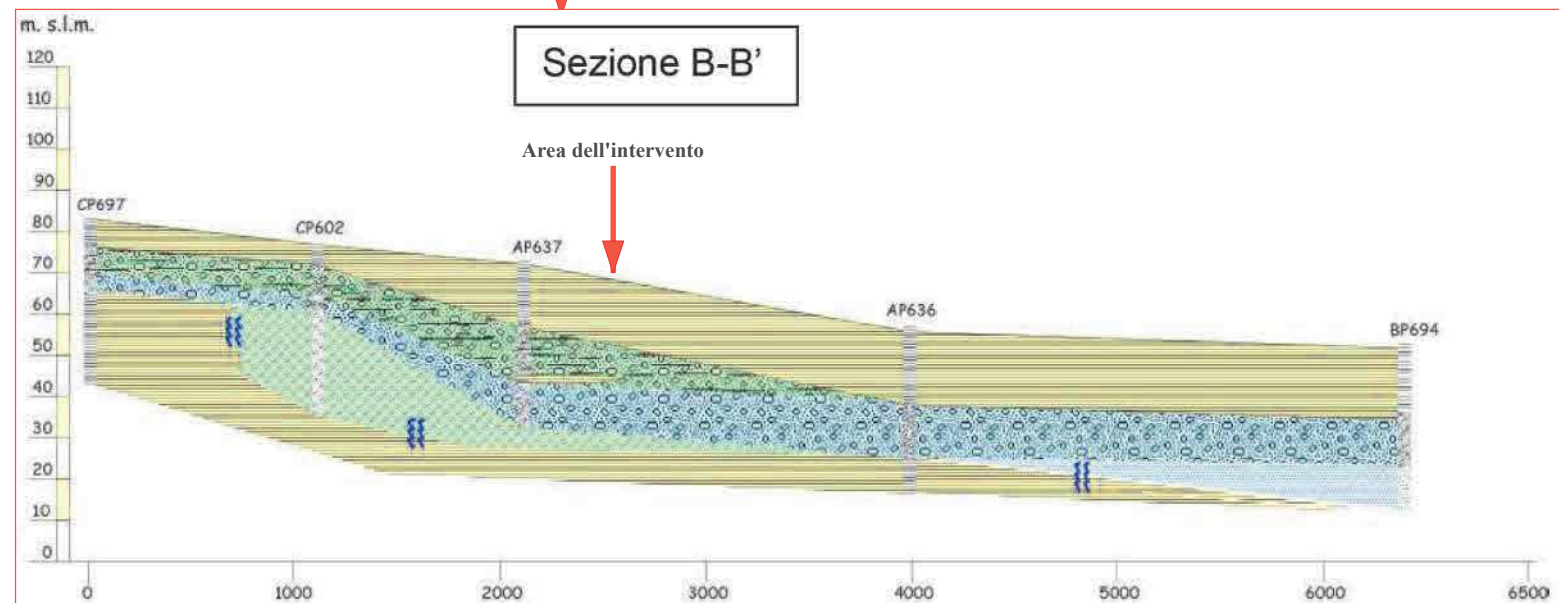
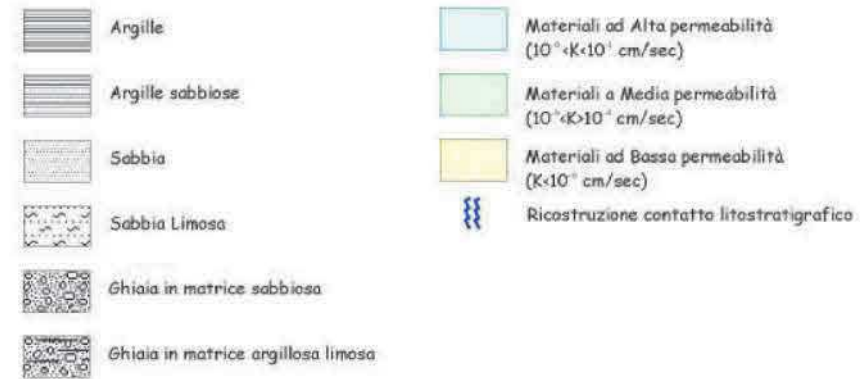


Fig. 6: Sezione Geologica dal Quadro Conoscitivo del PSC del Comune di Sarmato

Il sistema classificativo delle unità geologico-stratigrafiche e tettoniche assume pertanto un'organizzazione gerarchica che trova corrispondenze con la ciclicità climatico-deposizionale delle fasi glaciali ed interglaciali nonché correlazioni con le unità idrostratigrafiche (in termini di gruppi e complessi acquiferi).

Nel sito ove è previsto l'intervento in progetto, sono state condotte specifiche indagini geognostiche e geofisiche che hanno registrato una potenza del materiale argilloso-limoso poco addensato dell'ordine di circa 6.0/7.0 m; al di sotto della coltre fine di copertura troviamo materiale a maggiore granulometria (sabbia e ghiaia sabbiosa).

### ***3.3 Idrografia ed Idrogeologia (cenni)***

Il reticolo idrografico superficiale è caratterizzato dalla presenza del Fiume Po, ubicato circa 4.2 Km a Nord del sito in esame, che ne costituisce l'elemento principale segnando il limite settentrionale del territorio comunale. A questo si aggiungono i suoi tributari, tra cui il torrente Tidone che scorre 3.1 Km a est dell'area di studio, caratterizzati da un orientamento complessivamente perpendicolare alla dorsale appenninica; è inoltre presente una fitta rete di corpi idrici secondari (rii e canali di ordine inferiore). Tra questi ultimi si segnala il Canale della Scuola, che scorre circa 10 m a nord dell'area interessata dall'intervento.

Dal punto di vista idrogeologico, il sito in esame si inserisce in un contesto acquifero di pianura caratterizzato da risorse idriche sotterranee cospicue e uniformemente distribuite (rispetto alle zone di collina). Esse sono identificabili nella falda freatica, presente pressoché ovunque, e molto spesso anche in altre artesiane soggiacenti a questa. Sedi di falde acquifere naturali sono le intercalazioni ghiaiose e sabbiose comprese nella coltre di sedimenti fluviali deposti dal Fiume Po e dai suoi affluenti appenninici durante l'era quaternaria. La consistenza ed il numero degli acquiferi risultano variabili da zona a zona, in funzione di diversi fattori, quali la vicinanza di paleoconoidi e lo spessore complessivo del materasso alluvionale che riposa su un substrato generalmente impermeabile, intensamente corrugato.

L'assetto idrogeologico generale è costituito da una serie di sistemi multi falde, associati ai differenti livelli litologici permeabili (a componente ghiaiosa sabbiosa), intervallati con serie impermeabili (argille e limi). I corpi permeabili ospitanti l'acquifero alluvionale principale superficiale risultano

direttamente connessi alle assise ghiaioso sabbiose costituenti il subalveo del T. Tidone e del Fiume Po a Nord, risentendo dei rispettivi carichi idraulici.

In generale, il territorio del Comune di Sarmato è caratterizzato da una struttura idrogeologica del sottosuolo che non consente la ricarica diretta da piogge e lo scambio con il reticolo idrografico; questa condizione aumenta il grado di protezione dei sottostanti acquiferi. Le captazioni idriche profonde (pozzi idrici), costituiscono agenti veicolatori e di interscambio tra il sistema multifida compartimentato che caratterizza il sistema idrogeologico del territorio

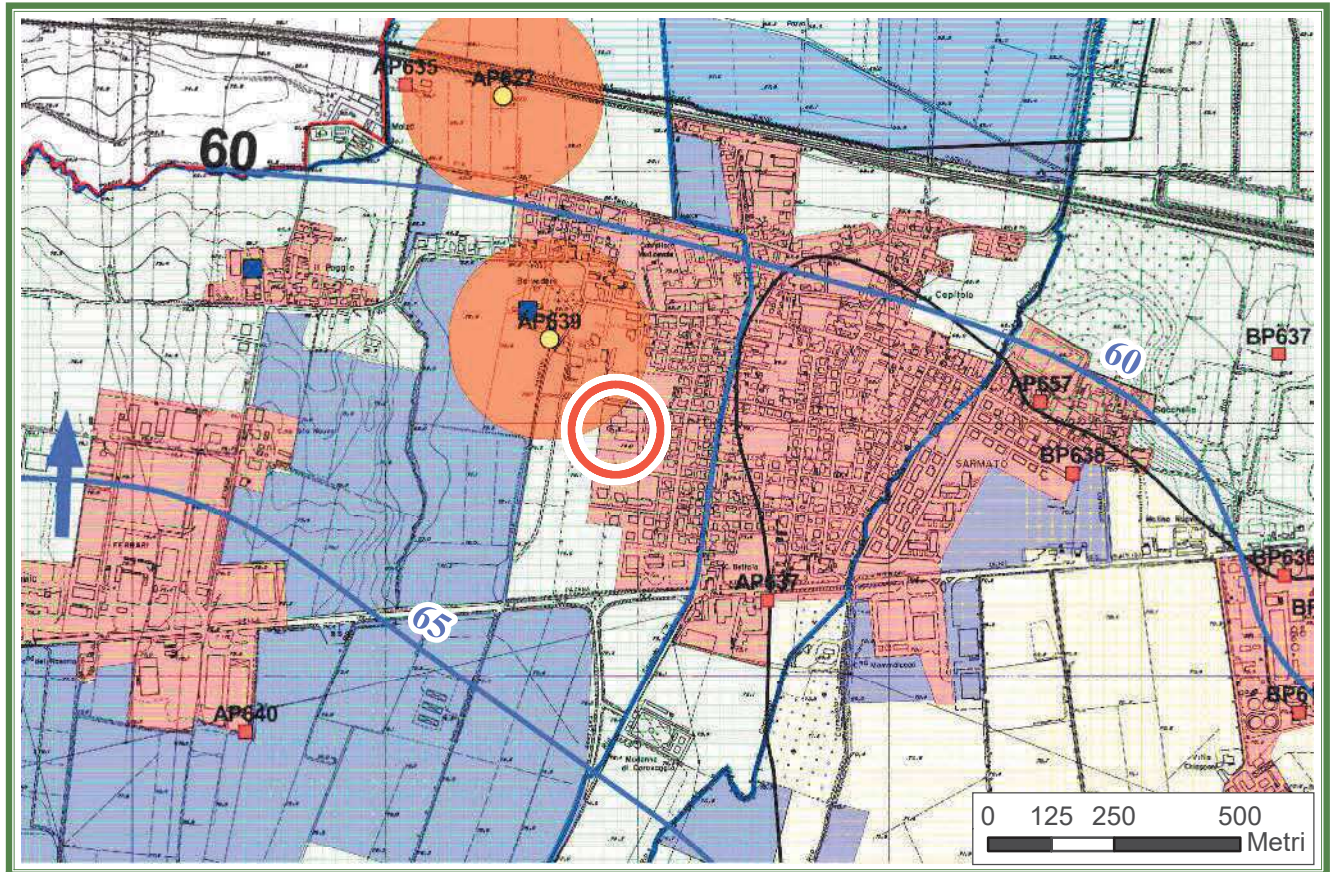
Più in dettaglio, le verticali penetrometriche, spinte fino ad una profondità massima di 9.4 m dal p.c., non hanno evidenziato la presenza di una falda idrica sotterranea, confermando quanto si evince dalla consultazione della carta idrogeologica del PSC di Sarmato (Fig. 7) che in prossimità dell'area di studio indica la presenza della falda ad una profondità di circa 12.0 m dal p.c.

La presenza di orizzonti saturi superficiali, pur non essendo particolarmente rilevante ai fini idrogeologici, è significativa soprattutto dal punto di vista geomeccanico. La variabilità spazio/temporale che caratterizza la falda superficiale può essere condizionata da diversi fattori tra cui la ciclicità del regime climatico stagionale in cui i periodi siccitosi (estate) portano alla depressione del livello piezometrico, mentre i periodi climatici piovosi ne aumentano il livello portando alla coalescenza tra le falde sospese. Anche l'attività antropica potrebbe perturbare l'evoluzione dei processi naturali sovrapponendovi fattori contraddistinti anch'essi da una certa variabilità.

La competenza dei corpi idrici presenti nel primo sottosuolo si riconosce quindi nel ruolo geotecnico (più che in quello idrogeologico): la presenza di orizzonti saturi superficiali, infatti, condiziona le proprietà geomeccaniche del terreno con possibili conseguenze sulle strutture fondazionali interagenti. Gli effetti delle variazioni cicliche nel contenuto naturale di umidità nel terreno interessano in modo particolare i minerali argillosi costituenti che, per struttura, sono più di altri soggetti a variazioni reologiche. Questo fenomeno, schematizzabile in un'alternanza ciclica di umattazione ed essiccamento, può causare locali ed indesiderati cedimenti strutturali, specie nel caso di una errata scelta della quota del piano fondazionale.



## CARTA IDROGEOLOGICA DEL PSC




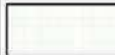





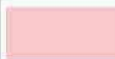


LEGENDA					
Vulnerabilità degli acquiferi					
SIMBOLO	DESCRIZIONE				
	(A) Alta				
	(M) Media				
Elementi di idrogeologia					
	Senso di flusso prevalente della falda				
	Isopiezometria, con relativa quota della falda s.l.m.				
Reticolo idrografico superficiale					
	Corsi d'acqua (F, PO, T, Tidone, Rio Corniolo: corsi d'acqua di rilevanza territoriale, Rio Panaro, Rio Bagaglio: corsi d'acqua di rilevanza locale)				
Pozzi esistenti					
	pozzo acquedottistico e relativa fascia di rispetto (200m)				
Pozzi di cui è nota la stratigrafia					
	<table><tr><td>A = TAV. 161100 (CTR 1.0000)</td><td>B = TAV. 161110 (CTR 1.0000)</td><td>C = TAV. 161140 (CTR 1.0000)</td><td>D = TAV. 161150 (CTR 1.0000)</td></tr></table>	A = TAV. 161100 (CTR 1.0000)	B = TAV. 161110 (CTR 1.0000)	C = TAV. 161140 (CTR 1.0000)	D = TAV. 161150 (CTR 1.0000)
A = TAV. 161100 (CTR 1.0000)	B = TAV. 161110 (CTR 1.0000)	C = TAV. 161140 (CTR 1.0000)	D = TAV. 161150 (CTR 1.0000)		
	Zona a spandimento letame vietata				
	Zona a spandimento letame 2003				
	Bovini				

Fig. 7: Estratto Carta Idrogeologica del PSC – Comune di Sarmato



### **3.4 Pericolosità Geo-ambientale e Strumenti Urbanistici**

Come evidenziato nelle carte della pericolosità da alluvione della Direttiva 2007/60/CE (Direttiva alluvioni), l'area di studio ricade all'esterno degli scenari di rischio relativamente al reticolo principale di pianura (Fig. 8), mentre si trova in un'area a rischio medio, con alluvioni poco frequenti e tempi di ritorno tra i 100 e i 200 anni, per quanto concerne il reticolo secondario di pianura (Fig. 9).

Dalla carta Tecnica della Fattibilità del PSC si evince che l'area in esame ricade in una classe di edificabilità senza particolari limitazioni costruttive (Fig. 10). Si tratta di aree di pianura alluvionale ad andamento pianeggiante caratterizzate da una copertura argillosa limosa, impostata su un substrato costituito da ghiaie e sabbie prevalenti, in stato di addensamento elevato, normalmente non affiorante, a profondità comprese tra 0.5 e 1.5 m. La soggiacenza della falda è compresa nell'intervallo 4 - 8 m dal p.c., con locali possibili innalzamenti, a carattere straordinario, fino a -3 m. dal p.c. La possibile esistenza di locali eterogeneità litostratigrafiche latero-verticali rende necessaria l'esecuzione di accertamenti geognostici preliminari, da condursi in fase di progetto esecutivo, finalizzati al corretto dimensionamento delle strutture fondali, anche in funzione dei cedimenti del terreno. La costruzione di scantinati e seminterrati, a profondità maggiore di 3.0 m. dal p.c. è subordinata ad accertamenti preventivi ed alla realizzazione di opere di salvaguardia. È richiesta un'adeguata manutenzione dei canali di scolo al fine di conservare adeguate sezioni di deflusso. È infine opportuno che le fognature e le fosse biologiche vengano alloggiate in manufatti impermeabili a tenuta ed ispezionabili.

Dalla lettura della Carta delle Emergenze Culturali, Storiche, Paesaggistiche del PSC il sito di interesse risulta essere compreso nell'area occupata dal Sistema urbanizzato di Sarmato (Fig. 11).

Nella carta delle Tutele e dei Vincoli Ambientali del PSC l'area di nostro interesse è classificata come Settore di ricarica di tipo B – Ricarica indiretta (Fig. 12). L'area ricade inoltre nella zona di rispetto di un pozzo idropotabile. Tali aree sono costituite dalla porzione di territorio circostante la zona di tutela assoluta da sottoporre a vincoli e destinazioni d'uso tali da tutelare qualitativamente e quantitativamente la risorsa idrica captata e possono essere suddivise in zona di rispetto ristretta e zona di rispetto allargata, in relazione alla tipologia dell'opera di presa o captazione e alla situazione locale di vulnerabilità e rischio della risorsa.

## PERICOLOSITÀ DA ALLUVIONE DEL RETICOLO PRINCIPALE DI PIANURA



### Legenda

#### Pericolosità da alluvione del reticolo principale di pianura e secondario collinare e montano



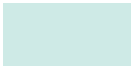
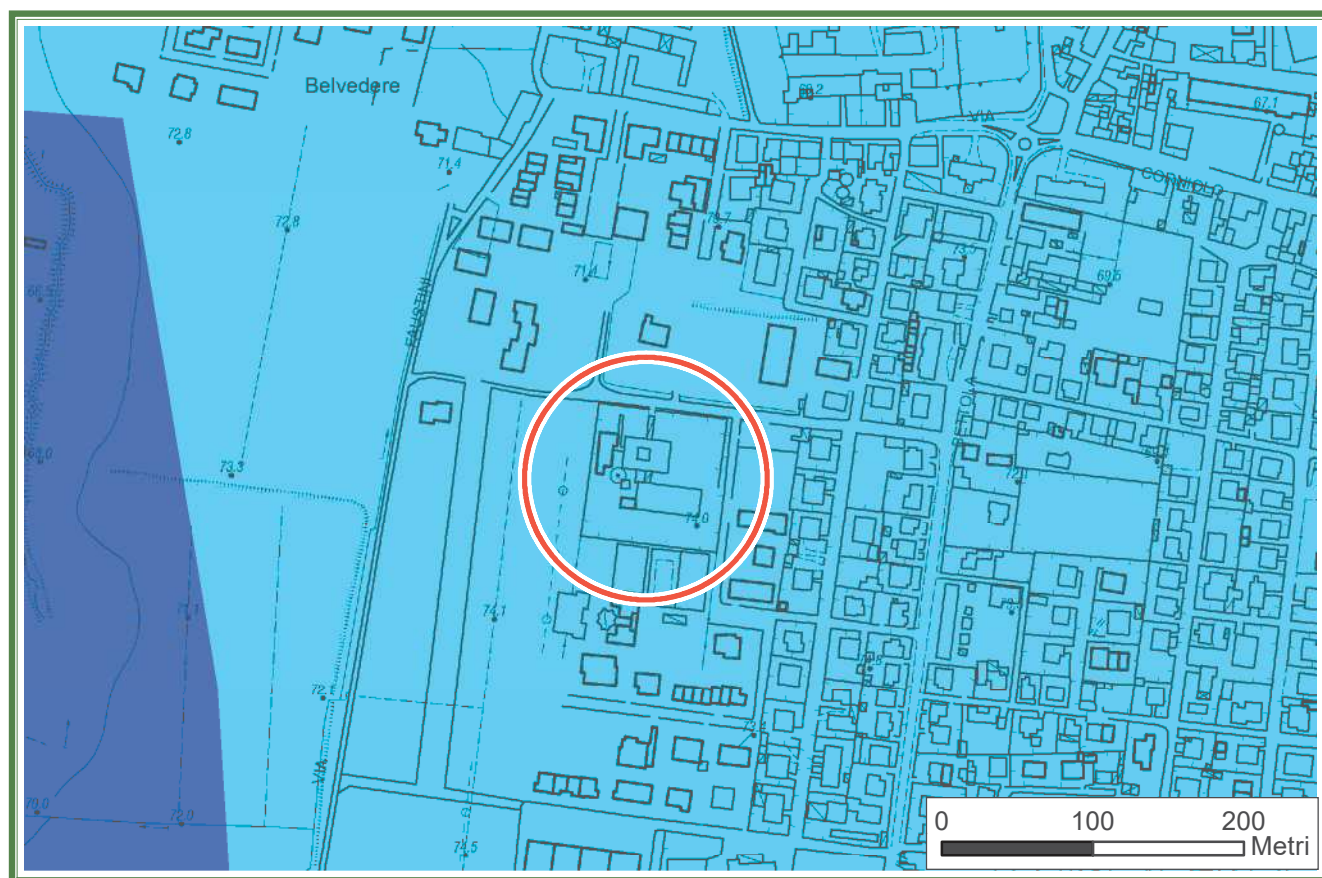
-  P3 - H (Alluvioni frequenti: tempo di ritorno tra 20 e 50 anni - elevata probabilità)
-  P2 - M (Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno tra 100 e 200 anni - media probabilità)
-  P1 - L (Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi)

Fig. 8: Estratto Carta della pericolosità da alluvione del reticolo principale di pianura e secondario collinare e montano - Direttiva 2007/60/CE

## PERICOLOSITÀ DA ALLUVIONE DEL RETICOLO SECONDARIO DI PIANURA



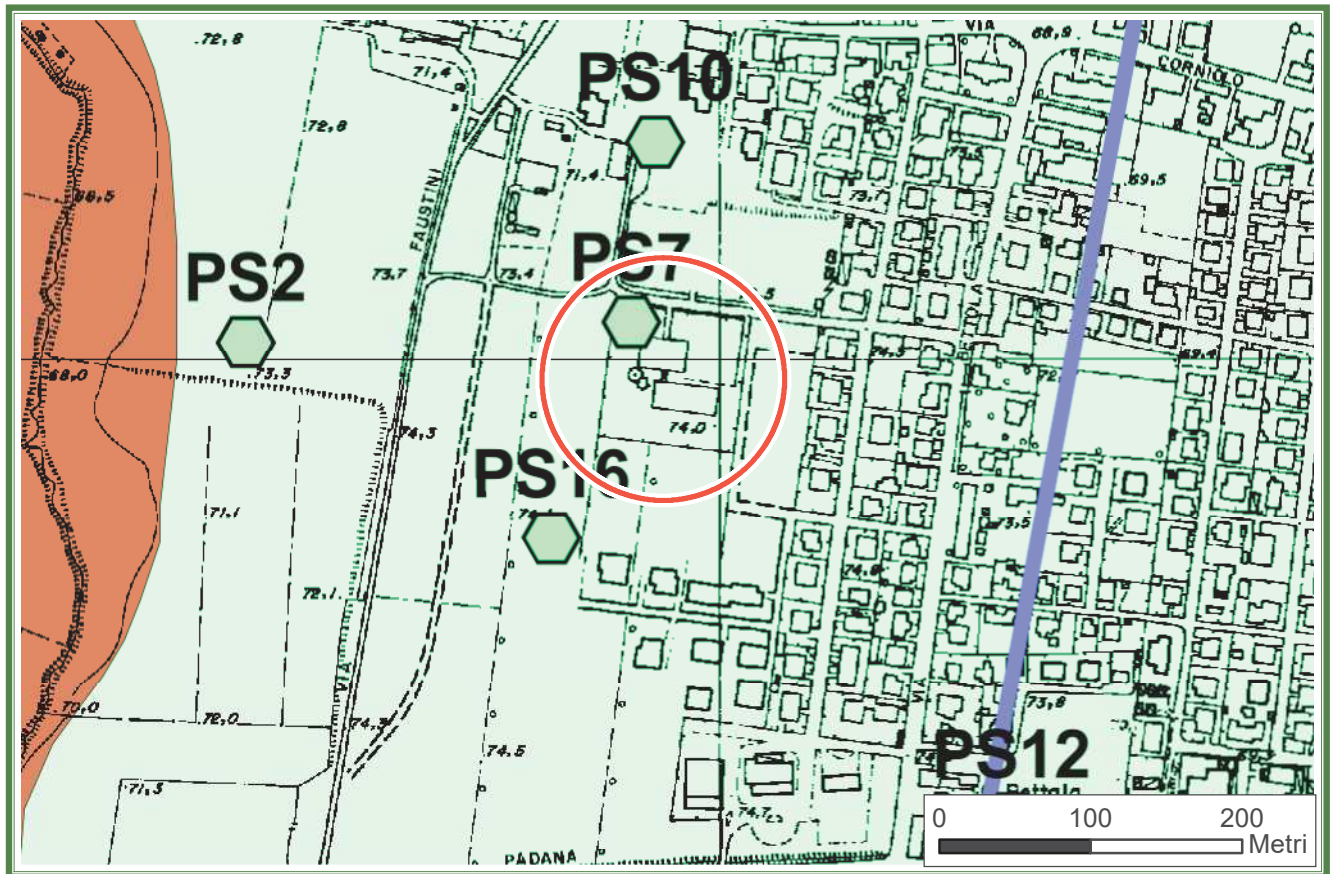
### Legenda

#### Pericolosità da alluvione del reticolo secondario di pianura

- P3 - H (Alluvioni frequenti: tempo di ritorno tra 20 e 50 anni - elevata probabilità)
- P2 - M (Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno tra 100 e 200 anni - media probabilità)
- P1 - L (Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi)



## CARTA TECNICA DI FATTIBILITA'



### LEGENDA

	Ubicazione prova penetrometrica statica e relativa numerazione
	Ubicazione prova penetrometrica dinamica e relativa numerazione
	Sezione litostratigrafica

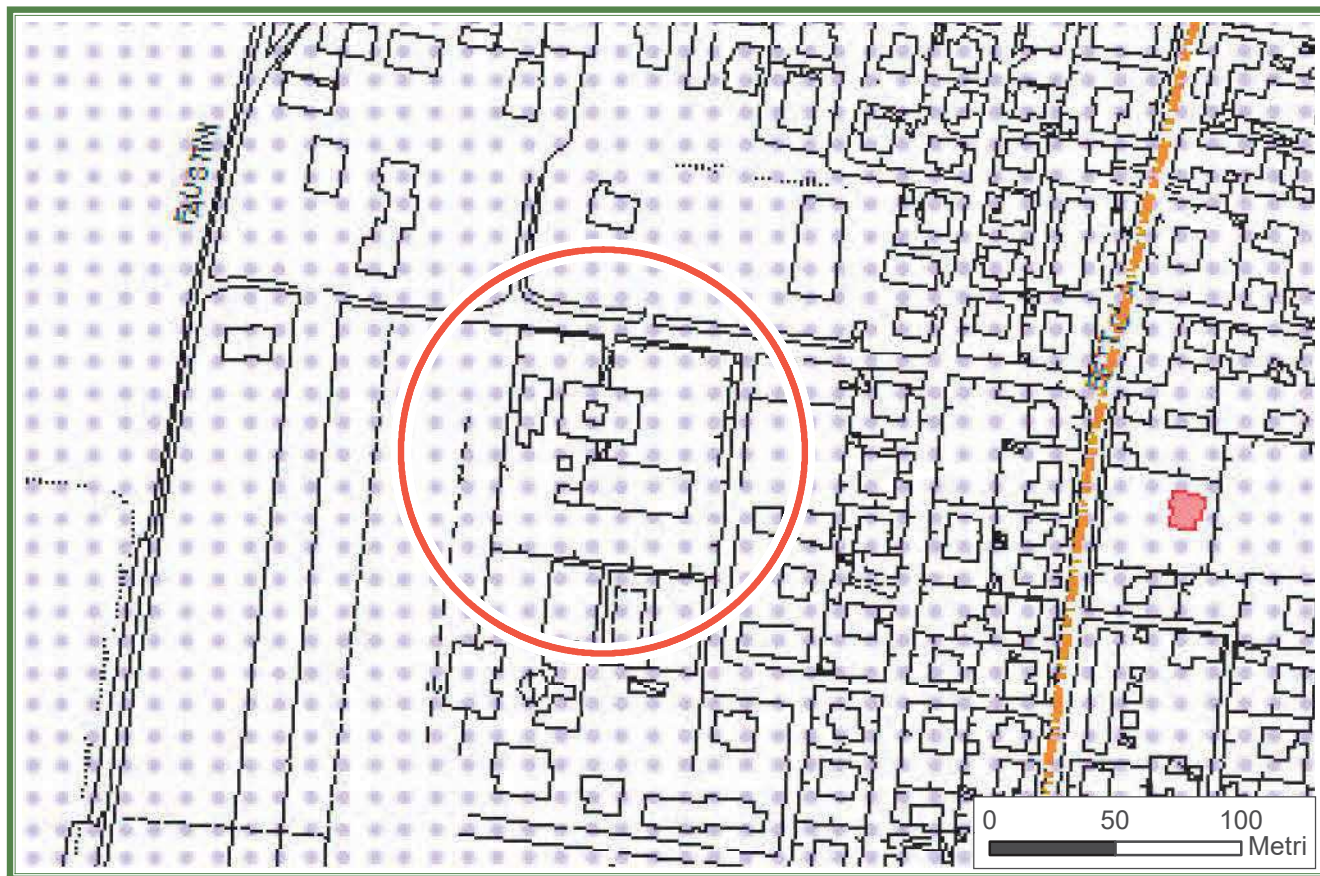
### CLASSI DI EDIFICABILITA'

	AI (seza partiolari limitazionicostruttive)
	AII (con scarse limitazioni costruttive)

Fig. 10: Estratto Carta Tecnica di Fattibilità del PSC – Comune di Sarmato



## CARTA EMERGENZE CULTURALI, STORICHE E PAESAGGISTICHE



### Legenda

#### Zone urbane storiche ed elementi di interesse storico-architettonico e testimoniale

Art. 61  
PSC



Edifici di valore storico-architettonico e storico-culturale (L.R. 20/2000, art. A-9)

#### Viabilità storica urbana ed extraurbana

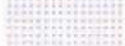
Art. 65  
PSC



Percorsi storici consolidati (PTCP, art. 27)

#### Sub-unità di paesaggio di rilevanza locale (PTCP, art. 54)

Art. 56  
PSC

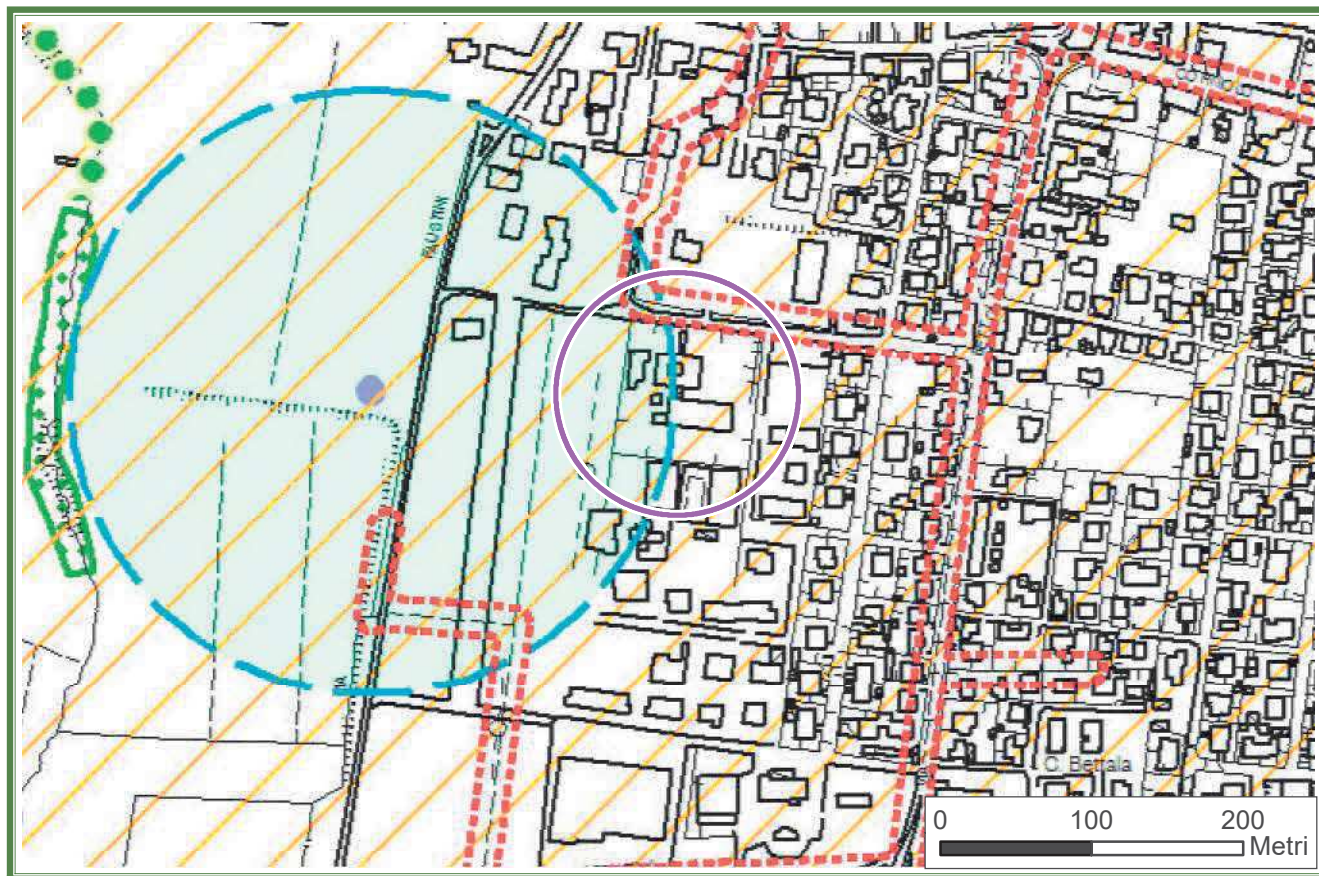


16b - Sistema urbanizzato di Sarmato

Fig. 11: Estratto Carta Emergenze Culturali, Storiche e Paesaggistiche del PSC – Comune di Sarmato




## CARTA VINCOLI E TUTELE AMBIENTALI




### LEGENDA

#### Aree di valore naturale-ambientale e rischio idraulico


- Art. 68 PSC  Vincolo idraulico (R.D. 523/1904, art. 96)

#### Assetto vegetazionale tutelato


- Art. 58 PSC  Aree forestali e boschive (PTCP, art. 8)

- Art. 55 PSC  Esemplari arborei singoli, in gruppi isolati o in filari meritevoli di tutela ed elementi lineari (PTCP, art. 9)

#### Aree di salvaguardia

- Art. 69 PSC  Aree di ricarica della falda: Settore di ricarica di tipo B – Ricarica indiretta (PTCP, art. 35) e Zone di tutela dei corpi idrici superficiali e sotterranei (PTCP, art. 36 bis)

#### Zone di rispetto ai pozzi idropotabili (D.Lgs 152/2006, art. 94; PTCP, art. 35)

- Art. 69 PSC  Zona di tutela assoluta - 10 m


- Art. 69 PSC  Zona di rispetto - 200 m

Fig. 12: Estratto Carta Vincoli e Tutele Ambientali del PSC – Comune di Sarmato




## CARTA DEI VINCOLI E DEI RISPETTI DEL RUE




### Legenda

#### Infrastrutture per la mobilità

Art. 4.2.1 RUE — F1 - Strada locale esistente

Art. 4.2.1 RUE  Centri abitati (D.L. 285/1992; D.P.R. 495/1992; L.R. 20/2000, art. A-5, c. 6)

Art. 4.2.1 RUE  Fascia di rispetto alla rete stradale e autostradale (D.L. 285/1992; D.P.R. 495/1992)

#### Aree a servizio della Protezione Civile


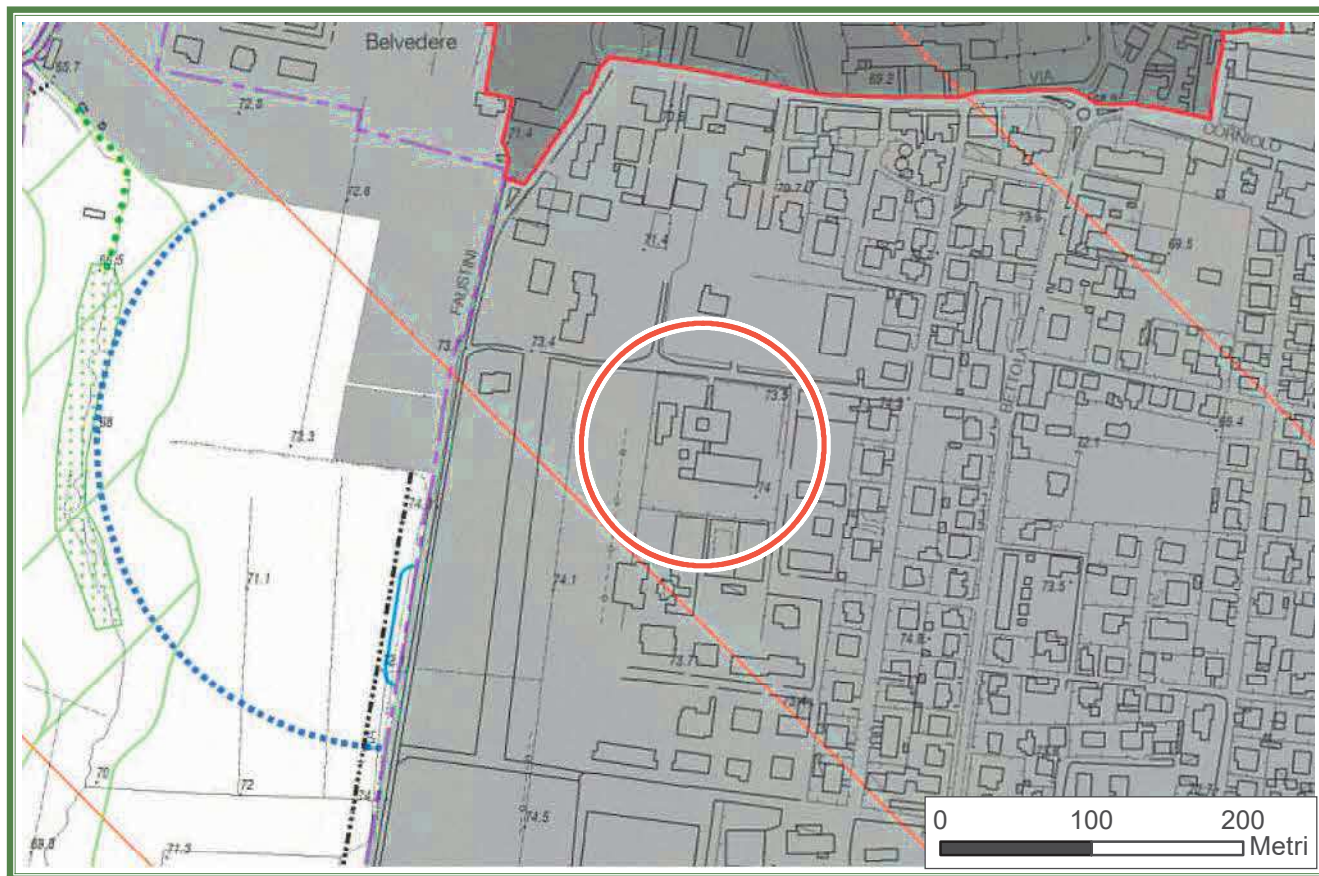
Art. 4.2.11 RUE  Zone di accoglienza della popolazione

Fig. 13: Estratto Carta dei Rispetti e Limiti all'edificabilità dei suoli e alla trasformabilità degli insediamenti del RUE – Comune di Sarmato

## CARTA DELLA CLASSIFICAZIONE DEL TERRITORIO DEL RUE



### Legenda

#### ZONE URBANISTICHE

##### Zone agricole

Art. 3.2.21  
RUE

Zona E1 - Agricola normale

##### Centri storici

Art. 3.2.2  
Art. 4.1.9  
RUE



Zona A - Centro storico

##### Delimitazione dei centri

Art. 3.1.4  
RUE



Delimitazione del territorio urbanizzato

#### Cartografia di dettaglio



Zone ed elementi visualizzati nella cartografia in scala 1:2.000



Zona A - Centro storico e Struttura insediativa storica non urbana visualizzati nella cartografia in scala 1:1.000 per la definizione delle categorie di intervento

#### VINCOLI E RISPETTI

##### Tutele e vincoli ambientali

Art. 4.1.21  
RUE



Vincolo idraulico (R.D. 523/1904)

Art. 4.1.11  
RUE



Esemplari arborei singoli, in gruppi isolati o in filari meritevoli di tutela ed elementi lineari (PTCP, art. 9)

Art. 4.1.22  
Art. 4.1.23  
RUE



Aree di ricarica della falda: Settore di ricarica di tipo B - Ricarica indiretta (PTCP, art. 35) e  
Zone di tutela dei corpi idrici superficiali e sotterranei (PTCP, art. 36 bis)

Zone di rispetto ai pozzi idropotabili (D.Lgs 152/2006, art. 94; PTCP, art. 35)

Art. 4.1.22  
RUE



Zona di rispetto - 200 m

##### Aree ed elementi di interesse paesaggistico

Art. 4.1.10  
RUE



Territori coperti da foreste e boschi (D.Lgs 142/2004, art. 142, c. 1, lett. g)

Art. 4.1.12  
RUE



Aree di protezione paesaggistica

Fig. 14: Estratto Carta della Classificazione del Territorio del RUE – Comune di Sarmato



## CARTA DELLA CLASSIFICAZIONE DEL TERRITORIO DEL RUE



### Legenda



Fig. 15: Estratto Carta della Classificazione del Territorio del Capoluogo del RUE – Comune di Sarmato

In particolare, nella zona di rispetto sono vietati l'insediamento dei seguenti centri di pericolo e lo svolgimento delle seguenti attività:

- a. dispersione di fanghi e acque reflue, anche se depurati;
- b. accumulo di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi;
- c. spandimento di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi, salvo che l'impiego di tali sostanze sia effettuato sulla base delle indicazioni di uno specifico piano di utilizzazione che tenga conto della natura dei suoli, delle colture compatibili, delle tecniche agronomiche impiegate e della vulnerabilità delle risorse idriche;
- d. dispersione nel sottosuolo di acque meteoriche proveniente da piazzali e strade.
- e. aree cimiteriali;
- f. apertura di cave che possono essere in connessione con la falda;
- g. apertura di pozzi ad eccezione di quelli che estraggono acque destinate al consumo umano e di quelli finalizzati alla variazione dell'estrazione ed alla protezione delle caratteristiche qualitative della risorsa idrica;
- h. gestione di rifiuti;
- i. stoccaggio di prodotti ovvero, sostanze chimiche pericolose e sostanze radioattive;
- j. centri di raccolta, demolizione e rottamazione di autoveicoli;
- k. pozzi perdenti;
- l. pascolo e stabulazione di bestiame che ecceda i 170 chilogrammi per ettaro di azoto presente negli effluenti, al netto delle perdite di stoccaggio e distribuzione. È comunque vietata la stabulazione di bestiame nella zona di rispetto ristretta.

Per gli insediamenti o le attività di cui sopra, preesistenti, ove possibile, e comunque ad eccezione delle aree cimiteriali, sono adottate le misure per il loro allontanamento; in ogni caso deve essere garantita la loro messa in sicurezza.

In assenza dell'individuazione da parte delle Regioni o delle Province autonome della zona di rispetto, la medesima ha un'estensione di 200 metri di raggio rispetto al punto di captazione o di derivazione.

La Cartografia del RUE (Figg. 13 – 15) segnala che l'area dell'intervento è compresa tra le aree di accoglienza della popolazione individuate nel Piano Comunale di Protezione Civile. Viene inoltre confermato che l'area ricade nel Settore di ricarica di tipo B – Ricarica indiretta della falda e nella zona di rispetto di un pozzo idrico ad uso idropotabile

#### 4) INDAGINI EFFETTUATE E MODELLO GEOLOGICO GEOTECNICO PRELIMINARE

Allo scopo di verificare la fattibilità dell'opera in progetto e valutarne la compatibilità rispetto al contesto geologico-idrogeologico in cui si inserisce, lo scrivente ha effettuato, il giorno 07 settembre 2022, un sopralluogo geologico generale durante il quale sono stati presi in considerazione gli aspetti geologici, geomorfologici ed idrologici per un intorno significativo del sito in esame.

Osservazione e rilevamento geologico di superficie sono stati integrati con indagini sito specifiche finalizzate alla modellazione geologica ed individuazione delle principali unità litotecniche costituenti il primo sottosuolo dell'area di studio.

La campagna geognostica è consistita nell'esecuzione di:

- n. 5 prove penetrometriche dinamiche eseguite con penetrometro Pagani TG 63-200 il quale, tramite un maglio di 63.5 Kg di peso che cade da 75 cm di altezza, infigge nel terreno una serie di aste lunghe un metro cadauna all'estremità delle quali vi è una punta standardizzata di 20.43 cm<sup>2</sup> di sezione. Le letture su passo strumentale (n. di colpi ogni 20 cm di infissione dell'asta), elaborazione e risultati sono riportati in **allegato 1**. La parametrizzazione geomeccanica restituita in fase interpretativa, costituisce una base per la valutazione preliminare della capacità portante e dei cedimenti attesi sviluppata nel capitolo successivo del presente documento.
- Indagini geofisiche di superficie (trattazione specifica in **allegato 2**) consistite in n. 1 prova MASW per la caratterizzazione della categoria di suolo sismico ( $V_{Seq}$ ) e n. 2 prove HVSr tipo Nakamura per la determinazione della frequenza sito specifica.

Una preliminare analisi dei contenuti derivanti dallo stato dell'arte nonché il reperimento di documentazione tecnica esistente (esempio pregresse campagne geognostiche correlabili per contesto specifico) costituiscono passi necessari alla comprensione della realtà indagata e, pertanto, alla limitazione del grado di incertezza interpretativa.

Dalla sinergia degli strumenti conoscitivi sopra descritti è stato possibile definire in via preliminare un modello geologico rappresentativo dell'assetto lito-stratigrafico di sito, nonché l'individuazione e caratterizzazione delle principali unità litotecniche interagenti con l'opera in progetto.

La campagna di indagini eseguita è stata dimensionata in relazione all'attuale fase di stato progettuale. Ne consegue una finalità ed un grado di definizione del modello geologico coerente con il livello di approfondimento adottato. In considerazione del fatto che la definizione del piano delle indagini, la caratterizzazione e la modellazione geotecnica sono responsabilità del progettista (con riferimento alla normativa nazionale), potranno effettuarsi integrazioni alle prove eseguite sotto indicazione e richiesta di quest'ultimo. Di seguito, per maggior chiarezza sull'argomento, si riportano estratti normativi dedicati alla progettazione geotecnica (DECRETO 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»).

---

**Estratto Articolo 6.2.1 "Caratterizzazione e Modellazione Geologica del Sito"**

**Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17.01.2018)**

*"Il modello geologico di riferimento è la ricostruzione concettuale della storia evolutiva dell'area di studio. La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito deve comprendere la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio, descritti e sintetizzati dal modello geologico di riferimento. In funzione del tipo di opera, di intervento e della complessità del contesto geologico nel quale si inserisce l'opera, specifiche indagini saranno finalizzate alla documentata ricostruzione del modello geologico. Il modello geologico deve essere sviluppato in modo da costituire elemento di riferimento per il progettista per inquadrare i problemi geotecnici e per definire il programma delle indagini geotecniche".*

---



---

**Estratto Articolo 6.2.2 “Indagini, caratterizzazione e modellazione geotecnica”**  
**Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17.01.2018).**

*“Le indagini geotecniche devono essere programmate in funzione del tipo di opera e/o di intervento e devono riguardare il volume significativo di terreno (parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso). Le indagini devono permettere la definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo necessari alla progettazione. Della definizione del piano delle indagini, della caratterizzazione e della modellazione geotecnica è responsabile il progettista. I valori caratteristici delle grandezze fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere ottenuti mediante specifiche prove di laboratorio su campioni indisturbati di terreno e attraverso l'interpretazione dei risultati di prove e misure in sito. Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato. Ai fini dell'analisi quantitativa di uno specifico problema, per modello geotecnico di sottosuolo si intende uno schema rappresentativo del volume significativo di terreno, suddiviso in unità omogenee sotto il profilo fisico-meccanico, che devono essere caratterizzate con riferimento allo specifico problema geotecnico. È responsabilità del progettista la definizione del piano delle indagini, la caratterizzazione e la modellazione geotecnica. Nel caso di costruzioni o di interventi di modesta rilevanza, che ricadano in zone ben conosciute dal punto di vista geotecnico, la progettazione può essere basata su preesistenti indagini e prove documentate sull'esperienza e sulle conoscenze disponibili, ferma restando la piena responsabilità del progettista su ipotesi e scelte progettuali”.*

---

Il modello di sottosuolo schematizzato può definirsi “Modello geologico – geotecnico preliminare” in quanto oltre a costituire un primo rapporto di prefattibilità ambientale dell'opera, supportato da valutazioni ed indagini geologiche – idrogeologiche, introduce una preliminare definizione del “livello di pericolosità geologica” e del “comportamento” del sito in quanto accompagnato da indagini e prove geotecniche finalizzate al problema specifico, ante operam.

La redazione di un modello geologico-geotecnico “definitivo” potrà essere sviluppata sulla base di un progetto esecutivo ad opera del progettista, mediante disamina approfondita delle “problematiche esaminate” e delle “verifiche analitiche in sede di progettazione esecutiva”.

Nel modello proposto, la scelta dei valori caratteristici da attribuire alle grandezze fisiche e meccaniche del terreno si basa sulla valutazione di più fattori: analisi cautelativa dei risultati ottenuti da specifiche prove e misure eseguite in sito; condizioni di stato limite considerato; complessità della realtà geologica sito specifica e pericolosità geologiche riscontrate entro il volume significativo considerato.

Ad integrazione delle conoscenze di sito e a supporto interpretativo delle indagini condotte, sono state inoltre utilizzate le informazioni bibliografiche e d'archivio disponibili.

#### **4.1 Modello Geologico**

Come in precedenza accennato, l'area di studio si inserisce in un contesto di pianura alluvionale, il quale è caratterizzato da una tipica deposizione fluviale, in cui i corpi sedimentari sono interdigitati tra loro e organizzati in forme lenticolari. L'assetto geologico di una piana alluvionale è rappresentato, quindi, da passaggi latero-verticali molto gradualmente tra diversi litotipi, difficilmente distinguibili tra loro. Tale situazione litologica emerge dalle indagini eseguite in sito (DPSH e MASW), le quali suggeriscono la presenza di una successione litologica complessivamente granulare, con una variabilità areale e verticale dei depositi.

La disamina dei dati geofisici, in particolare le informazioni ricavate dalla prova sismica MASW, ha permesso di ricostruire il probabile assetto geologico locale. L'indagine geofisica ha permesso di identificare un primo sismostrato, che si estende dal piano campagna fino a circa 1.0/1.5 m di profondità, caratterizzato da litotipi poco addensati corrispondenti all'areato superficiale. Tra i 1.0/1.5 m e 5.0 m si registra un primo leggero incremento dei valori di velocità, per la presenza di litotipi fini e poco compatti. Tra i 5.0 m e gli 8.0/10.0 m si registrano ulteriori incrementi di velocità delle onde Vs, che segnalano un incremento nel grado di addensamento e/o una progressiva maggiorazione tessiturale nella successione, prevalentemente caratterizzata da litologie limose e limoso-sabbiose con subordinati livelli di ghiaie e sabbie. Più in profondità, fino a 18.0-20.0 m i valori di velocità indicano la presenza di litotipi complessivamente granulari e discretamente addensati caratterizzati da depositi sabbioso-ghiaiosi con intercalazioni coesive. Oltre i 18.0/20.0 i valori di Vs aumentano in modo più netto e marcato per la presenza di materiale più compatto e grossolano ben addensato.

L'analisi delle diagrafie penetrometriche delle prove DPSH effettuate in sito ha consentito di dettagliare i primi metri di profondità del sottosuolo, offrendo un'accurata caratterizzazione litologica del materiale attraversato (i valori di profondità sono al netto della copertura di materiale di riporto):

- **Unità 0:** unità avente spessore di circa 1.0/1.5 m costituita da materiale di riporto antropico eterogeneo ed eterometrico, intercettato nell'espletamento delle prove P1, P2, P3 eseguite nella porzione nord-occidentale dell'impronta fondazionale del futuro manufatto; la caratterizzazione geomeccanica non è pertinente. Nella porzione meridionale tale Unità è assente.
- **Unità 1:** unità più superficiale che si estende dal piano campagna fino a circa 3.0/3.5 m, composta da terreno di natura limoso argillosa che al momento del sopralluogo si presentava sovraconsolidato per essiccamento. La porzione più superficiale di sottosuolo è infatti soggetta a ripetuti cicli stagionali che determinano una variazione nel contenuto naturale di acqua (nei periodi siccitosi il terreno si presenta sovraconsolidato). Per terreni in cui i minerali argillosi costituenti appaiono in percentuale non trascurabile, l'alternanza di umattazione ed essiccamento comporta un decadimento delle proprietà fisiche e geomeccaniche del materiale. Generalmente oltre al metro di profondità tale aspetto può considerarsi trascurabile.
- **Unità 2:** l'orizzonte è costituito da materiale fine e coesivo, di natura limoso-argillosa, che si estende da circa 3.0/3.5 m fino a 5.6/6.8 m circa di profondità;
- **Unità 3:** l'andamento della resistenza alla penetrazione dinamica lungo le diagrafie penetrometriche, al di sotto dell'Unità 2, suggerisce la presenza di un materiale con una componente attritiva maggiore rispetto agli orizzonti soprastanti. L'estensione verticale di tale unità è variabile da uno spessore minimo di 0.8 m nella prova P 3 ad uno massimo di 3.0 m nella prova P 4.
- **Unità 4:** al di sotto dell'Unità 3 sembra essere presente un orizzonte costituito da materiale più compatto ed addensato, probabilmente ascrivibile ad una ghiaia con matrice sabbioso limosa.

Le prove penetrometriche, al momento dell'indagine, non hanno rilevato la presenza di orizzonti saturi nei primi 9.4 m di profondità del sottosuolo, in linea con il dato bibliografico riscontrato nel PSC di Sarmato (soggiacenza della falda di circa 12 m di profondità).

## 4.2 Modello Geotecnico Preliminare

Allo scopo di offrire una caratterizzazione geomeccanica del materiale attraversato, di seguito si riporta il Modello Geotecnico Preliminare, comprensivo dei parametri geomeccanici di riferimento. I valori di profondità sono al netto della copertura di materiale di riporto (presente nelle prove P1, P2 e P3). Per l'Unità 1, in fase di calcolo dei cedimenti, verranno utilizzati i parametri geomeccanici in condizioni di terreno umattato dell'Unità 2, al fine di ottenere un'analisi cautelativa dei risultati.

Unità 1	da p.c. a 2.8/3.0 m circa
Litologia	limo argilloso <u>sovracconsolidato per essiccamento</u>
Comportamento litotecnico	coesivo
Caratteristiche geomeccaniche principali	
peso unità di volume ( $\gamma$ )	1.90/1.95 T/mc
coesione non drenata ( $C_u$ )	9.0/10.0 T/mq
modulo edometrico ( $E_d$ )	100.0/110.0 kg/cm <sup>2</sup>
Nspt	10.0/11.0

Unità 2	da 2.8/3.0 m a 5.6/6.8 m circa
Litologia	limo argilloso
Comportamento litotecnico	coesivo
Caratteristiche geomeccaniche principali	
peso unità di volume ( $\gamma$ )	1.65/1.70 T/mc
coesione non drenata ( $C_u$ )	3.0/3.5 T/mq
modulo edometrico ( $E_d$ )	35.0/40.0 kg/cm <sup>2</sup>
Nspt	3.5/4.0

Unità 3	da 5.6/6.8 m a 8.6/8.8 m circa
Litologia	sabbia limosa/limo sabbioso
Comportamento litotecnico	attritivo
Caratteristiche geomeccaniche principali	
peso unità di volume ( $\gamma$ )	1.75/1.80 T/mc
angolo di resistenza al taglio ( $\phi$ )	27.0°/29.0°
modulo di Young ( $E_y$ )	75.0/100.0 kg/cm <sup>2</sup>
Nspt	10.0/13.0



Unità 4	oltre 8.6/8.8 m circa (prove spinte fino a 9.0/9.4 m circa)
Litologia	ghiaia sabbiosa
Comportamento litotecnico	attritivo
Caratteristiche geomeccaniche principali	
peso unità di volume ( $\gamma$ )	1.95/2.00 T/mc
angolo di resistenza al taglio ( $\phi$ )	36.0°/38.0°
modulo di Young ( $E_y$ )	>250.0 kg/cmq
Nspt	35.0/40.0

## 5) VERIFICA DEL CARICO LIMITE/Stato Limite Ultimo - Formula Brinch-Hansen (EC7-EC8)

---

Il presente capitolo illustra l'ipotesi fondazionale preliminare riferita all'intervento/i oggetto della presente relazione.

La verifica riportata costituisce uno strumento ulteriore per valutare la compatibilità geologica dell'intervento/i in progetto: non assume, pertanto, una valenza ed un significato ingegneristico.

Rimanendo, lo scopo della verifica preliminare, confinato all'individuazione qualitativa di eventuali problematiche geotecniche del sistema terreno/fondazione, si prenderà in esame solamente un'ipotesi di pressione normale di progetto e non il completo schema delle forze agenti.

Segnalazioni emerse in questa fase verranno valutate e quantificate dal progettista incaricato in fase di progettazione definitiva.

Il Carico Limite, determinato secondo le direttive NTC 2018, è stato calcolato utilizzando la formula di Brinch - Hansen (1970), ed ipotizzando una fondazione superficiale con plinti aventi dimensioni di 3.5 x 3.5 m. ubicati a 1.8 m. di profondità dall'attuale p.c.

La presa visione dell'intero scavo fondazionale da parte dello scrivente costituisce condizione necessaria per confermare l'affidabilità del modello geologico e geotecnico preliminare formulato nonché le valutazioni relative alla compatibilità del contesto specifico con l'intervento in progetto.

### 5.1 Dati Generali

---

Coordinate Lat./Long.	45,057787/ 9,48762
Normativa	NTC 2018
Larghezza fondazione	3,5 m
Lunghezza fondazione	3,5 m
Profondità piano di posa	1,8 m
Altezza di incastro	1,8 m
Effetto sismico secondo	NTC 2018

## 5.2 Coefficienti Sismici (N.T.C.)

### Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe IV
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	100,0 [anni]

### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	60,0	0,39	2,54	0,23
S.L.D.	101,0	0,49	2,51	0,25
S.L.V.	949,0	1,20	2,47	0,29
S.L.C.	1950,0	1,54	2,47	0,29

### Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,858	0,2	0,0119	0,006
S.L.D.	0,735	0,2	0,015	0,0075
S.L.V.	1,8	0,24	0,0441	0,022
S.L.C.	2,2596	0,24	0,0553	0,0277

### 5.3 Stratigrafia Terreno

Spessore strato [m]	Peso unità di volume [Kg/m <sup>3</sup> ]	Peso unità di volume saturo [Kg/m <sup>3</sup> ]	Angolo di attrito [°]	Coesione [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Coesione non drenata [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Modulo Elastico [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Modulo Edometrico [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Poisson	Coeff. consolid. az. primaria [cmq/s]	Coeff. consolid. azione secondaria	Descrizione
2,0	1650,0	1750,0	0,0	0,0	0,3	40,0	35,0	0,35	0,0	0,0	
0,8	1650,0	1750,0	0,0	0,0	0,3	40,0	35,0	0,35	0,0	0,0	
2,02	1700,0	1800,0	0,0	0,0	0,35	40,0	40,0	0,35	0,0	0,0	
1,98	1700,0	1800,0	0,0	0,0	0,35	40,0	40,0	0,34	0,0	0,0	
2,0	1800,0	1900,0	29,0	0,0	0,0	100,0	80,0	0,33	0,0	0,0	
>0,6	2000,0	2100,0	38,0	0,0	0,0	250,0	230,0	0,28	0,0	0,0	

#### Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [Kg/cm <sup>2</sup> ]	N [Kg]	Mx [Kg·m]	My [Kg·m]	Hx [Kg]	Hy [Kg]	Tipo
1	A1+M1+R3	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
2	SISMA	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
3	S.L.E.	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio
4	S.L.D.	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio

#### Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coeff. Rid. Capacità portante verticale	Coeff. Rid. C capacità portante orizzontale
1	No	1	1	1	1	1	2,3	1,1
2	Si	1	1	1	1	1	2,3	1,1
3	No	1	1	1	1	1	1	1
4	No	1	1	1	1	1	1	1



#### 5.4 Carico Limite Fondazione combinazione A1+M1+R3

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione non drenata)

Fattore [Nq]	1,0
Fattore [Nc]	5,14
Fattore forma [Sc]	1,2
Fattore profondità [Dc]	1,0
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1,0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1,0
Fattore inclinazione base [Bc]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0
Carico limite	2,17 Kg/cm <sup>2</sup>
Costante di sottofondo	0,87 Kg/cm <sup>3</sup>

#### 5.5 Stima dei Cedimenti Elastici

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

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

dove:

$q_0$  = Intensità della pressione di contatto

$B'$  = Minima dimensione dell'area reagente,

$E$  e  $\mu$  = Parametri elastici del terreno.

$I_i$  = Coefficienti di influenza dipendenti da:  $L'/B'$ , spessore dello strato  $H$ , coefficiente di

Poisson  $\mu$ , profondità del piano di posa  $D$ ;

Il modulo elastico per terreni stratificati viene calcolato come media pesata dei moduli elastici degli strati interessati dal cedimento immediato.

## CEDIMENTI ELASTICI

Pressione normale di progetto	0,55 Kg/cm <sup>2</sup>
Spessore strato	5,5 m
Profondità substrato roccioso	55,0 m
Modulo Elastico	40,0 Kg/cm <sup>2</sup>
Coefficiente di Poisson	0,35

Coefficiente di influenza I1	0,37
Coefficiente di influenza I2	0,05
Coefficiente di influenza Is	0,39

*Cedimento al centro della fondazione* 11,38 mm

Coefficiente di influenza I1	0,23
Coefficiente di influenza I2	0,07
Coefficiente di influenza Is	0,27
<i>Cedimento al bordo</i>	3,88 mm

### 5.6 Stima dei Cedimenti Edometrici

Il calcolo dei cedimenti con l'approccio edometrico consente di valutare un cedimento di consolidazione di tipo monodimensionale, prodotto dalle tensioni indotte da un carico applicato in condizioni di espansione laterale impedita.

Il cedimento edometrico viene calcolato per stimare l'entità dei cedimenti a medio e lungo termine (Cedimento di consolidazione + Cedimento viscoso) con il Metodo logaritmico di Terzaghi.

Nel caso fondazionale ipotizzato si ottiene:

Pressione normale di progetto 0,55 Kg/cm<sup>2</sup>

Z: Profondità media dello strato; Dp: Incremento di tensione; Wc: Cedimento consolidazione;  
Ws: Cedimento secondario; Wt: Cedimento totale.

Strato	Z (m)	Tensione (Kg/cm <sup>2</sup> )	Dp (Kg/cm <sup>2</sup> )	Metodo	Wc (cm)	Ws (cm)	Wt (cm)
1	1,9	0,314	0,253	Edometrico	0,1446	--	0,1446
2	2,4	0,396	0,246	Edometrico	0,5631	--	0,5631
3	3,81	0,634	0,159	Edometrico	0,8048	--	0,8048
4	5,81	0,974	0,07	Edometrico	0,3452	--	0,3452
5	7,8	1,322	0,036	Edometrico	0,09	--	0,09
6	9,1	1,562	0,025	Edometrico	0,0066	--	0,0066

**Cedimento totale Wt = 1,95 cm**

L'esame dei cedimenti evidenzia come questi ultimi, in base all'ipotesi fondazionale fatta e con un carico stimato di  $0.55 \text{ Kg/cm}^2$ , raggiungano un valore massimo totale pari a circa 30.0/31.0 mm di cui circa 19.0/19.5 mm nel medio e lungo periodo mentre circa 11.0/11.5 mm è l'entità del cedimento immediato, simultaneo alle diverse fasi di carico. Si ricorda come il margine di errore afferente la stima dei cedimenti sia piuttosto ampio in quanto si possono verificare differenze pari a circa il  $\pm 20\%$  o  $\pm 30\%$  rispetto a quanto stimato.

I cedimenti stimati non considerano l'interazione delle altre strutture adiacenti, trascurando pertanto gli effetti indotti dalla sovrapposizione dei bulbi tensionali di ciascun manufatto.

Si lascia comunque il compito al progettista incaricato di verificare la compatibilità tra la struttura in progetto ed i cedimenti attesi nel tempo in funzione dei reali carichi di esercizio.

## 6) CONCLUSIONI

Date le dimensioni e la tipologia del manufatto in progetto e valutate le risultanze delle indagini espletate, si evince come lo stesso non comporti una significativa variazione dell'equilibrio geologico-geomorfologico-idrogeologico della zona risultando quindi essere, nel complesso, **geologicamente compatibile**.

Si raccomanda tuttavia di adottare alcuni interventi cautelativi ed accorgimenti costruttivi di normale uso nella zona:

- La tipologia fondazionale più idonea a conferire le migliori garanzie di stabilità per il futuro manufatto dovrà essere dimensionata in funzione dei reali carichi di esercizio ed in modo da trasmettere al sistema terreno-fondazione pressioni compatibili. Nel presente documento sono stati trascurati gli effetti dovuti all'interazione di eventuali strutture adiacenti (sovrapposizione bulbi di tensione). Di questi però si dovrà tenere conto in fase progettuale;
- Qualora i cedimenti attesi dovessero essere non compatibili e/o i carichi di esercizio dovessero risultare maggiori di quanto ipotizzato, si dovranno rivedere le caratteristiche delle strutture fondazionali e/o impiegare una differente tipologia di fondazione, da valutarsi in funzione dei reali carichi strutturali, così da assicurare le migliori condizioni di stabilità al manufatto;
- Per quanto possibile cercare di mantenere asciutto il terreno di fondazione, avendo una particolare cura per l'allontanamento delle acque meteoriche, da realizzarsi mediante la costruzione di un efficiente sistema di pluviali che impedisca alle acque di infiltrarsi in aderenza alla fondazione del manufatto compromettendo nel tempo la stabilità dello stesso.

*Nel dichiararmi a disposizione per eventuali ulteriori delucidazioni integrative colgo l'occasione per porgere distinti saluti.*

Trevozzo V.T. 12/09/2022

*Geotest s.r.l.*



Dott. Geologo Adriano Baldini



# Allegato 1

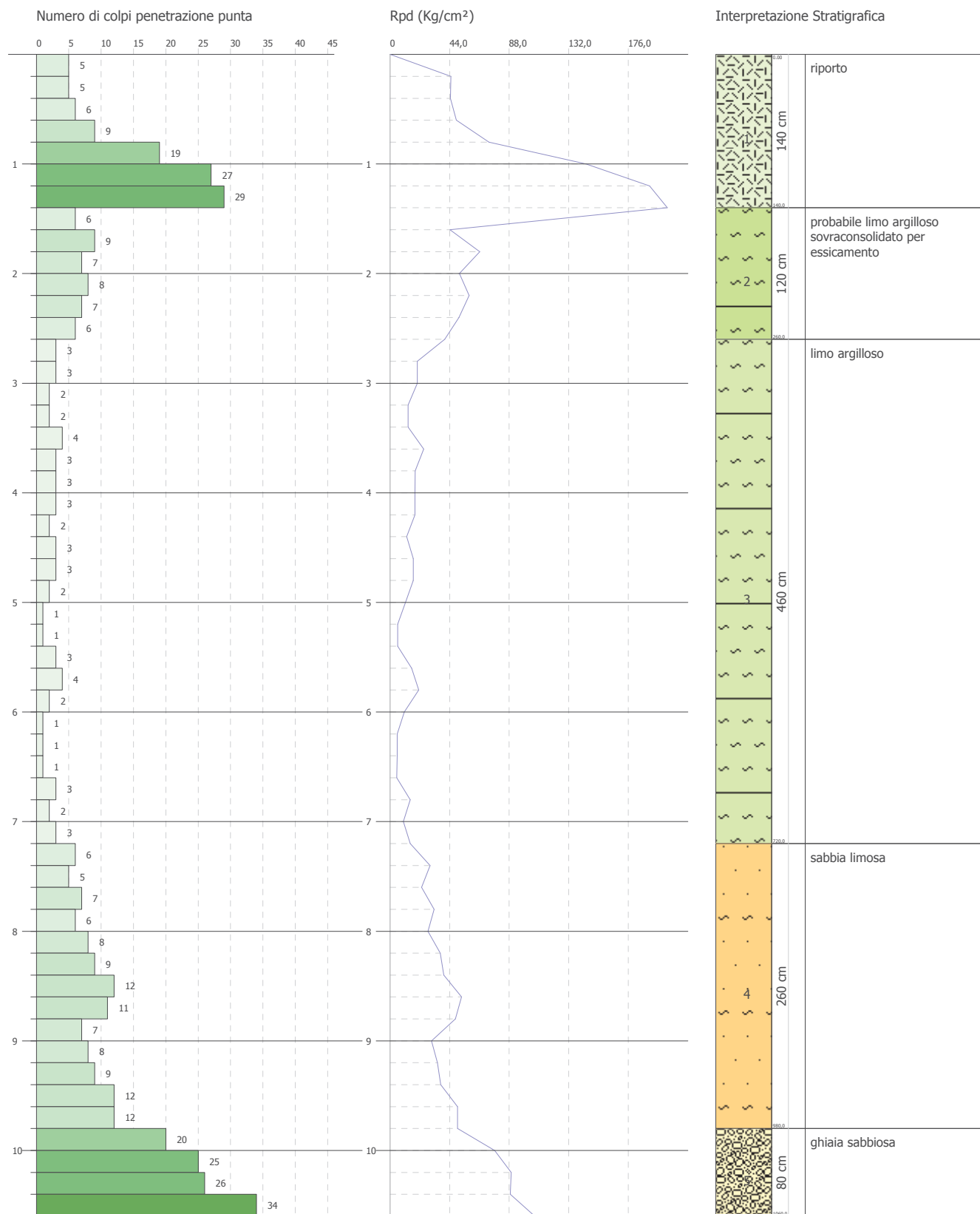
## Prove Penetrometriche Dinamiche

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P 1  
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Comune di Sarmato  
Descrizione: Ampliamento del polo di infanzia  
Località: Sarmato

Data: 07/09/2022

Scala 1:51



**ESECUTORE INDAGINI:****GeoTest s.r.l.****COMMITTENTE: Spett. Comune di Sarmato****STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P 1****TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) probabile limo argilloso sovracconsolidato per essiccamento	10,54	1,40-2,60	Schmertmann 1975	1,04
Strato (3) limo argilloso	3,51	2,60-7,20	Schmertmann 1975	0,34

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) probabile limo argilloso sovracconsolidato per essiccamento	10,54	1,40-2,60	Robertson (1983)	21,08
Strato (3) limo argilloso	3,51	2,60-7,20	Robertson (1983)	7,02

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) probabile limo argilloso sovracconsolidato per essiccamento	10,54	1,40-2,60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	109,29
Strato (3) limo argilloso	3,51	2,60-7,20	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	37,59

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) probabile limo argilloso sovracconsolidato per essiccamento	10,54	1,40-2,60	Apollonia	105,40
Strato (3) limo argilloso	3,51	2,60-7,20	Apollonia	35,10

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (2) probabile limo argilloso sovracconsolidato per essiccamento	10,54	1,40-2,60	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
Strato (3) limo argilloso	3,51	2,60-7,20	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato (2) probabile limo argilloso sovracconsolidato per essiccamento	10,54	1,40-2,60	Meyerhof	1,98
Strato (3) limo argilloso	3,51	2,60-7,20	Meyerhof	1,67

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato (2) probabile limo argilloso sovracconsolidato per essiccamento	10,54	1,40-2,60	Meyerhof	2,18
Strato (3) limo argilloso	3,51	2,60-7,20	Meyerhof	1,87

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) riporto	21,01	0.00-1,40	21,01	Skempton 1986	52,7
Strato (4) sabbia limosa	12,67	7,20-9,80	12,67	Skempton 1986	38,59
Strato (5) ghiaia sabbiosa	38,59	9,80-10,60	38,59	Skempton 1986	71,23

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) riporto	21,01	0.00-1,40	21,01	Meyerhof (1965)	37,37
Strato (4) sabbia limosa	12,67	7,20-9,80	12,67	Meyerhof (1965)	34,66
Strato (5) ghiaia sabbiosa	38,59	9,80-10,60	38,59	Meyerhof (1965)	41,26



Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) riporto	21,01	0.00-1,40	21,01	Schmertmann (1978) (Sabbie)	168,08
Strato (4) sabbia limosa	12,67	7,20-9,80	12,67	Schmertmann (1978) (Sabbie)	101,36
Strato (5) ghiaia sabbiosa	38,59	9,80-10,60	38,59	Schmertmann (1978) (Sabbie)	308,72

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) riporto	21,01	0.00-1,40	21,01	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	131,70
Strato (4) sabbia limosa	12,67	7,20-9,80	12,67	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	94,51
Strato (5) ghiaia sabbiosa	38,59	9,80-10,60	38,59	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	210,11

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) riporto	21,01	0.00-1,40	21,01	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (4) sabbia limosa	12,67	7,20-9,80	12,67	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (5) ghiaia sabbiosa	38,59	9,80-10,60	38,59	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) riporto	21,01	0.00-1,40	21,01	Meyerhof et al.	2,01
Strato (4) sabbia limosa	12,67	7,20-9,80	12,67	Meyerhof et al.	1,81
Strato (5) ghiaia sabbiosa	38,59	9,80-10,60	38,59	Meyerhof et al.	2,20

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) riporto	21,01	0.00-1,40	21,01	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,99
Strato (4) sabbia limosa	12,67	7,20-9,80	12,67	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,93
Strato (5) ghiaia sabbiosa	38,59	9,80-10,60	38,59	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,10

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) riporto	21,01	0.00-1,40	21,01	(A.G.I.)	0,31
Strato (4) sabbia limosa	12,67	7,20-9,80	12,67	(A.G.I.)	0,33
Strato (5) ghiaia sabbiosa	38,59	9,80-10,60	38,59	(A.G.I.)	0,28

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) riporto	21,01	0.00-1,40	21,01	Ohsaki (Sabbie pulite)	1137,61
Strato (4) sabbia limosa	12,67	7,20-9,80	12,67	Ohsaki (Sabbie pulite)	707,17
Strato (5) ghiaia sabbiosa	38,59	9,80-10,60	38,59	Ohsaki (Sabbie pulite)	2014,65

Coefficiente spinta a Riposo K0=SigmaH/P0

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (1) riporto	21,01	0.00-1,40	21,01	Navfac 1971-1982	4,22
Strato (4) sabbia limosa	12,67	7,20-9,80	12,67	Navfac 1971-1982	2,66
Strato (5) ghiaia sabbiosa	38,59	9,80-10,60	38,59	Navfac 1971-1982	6,72

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

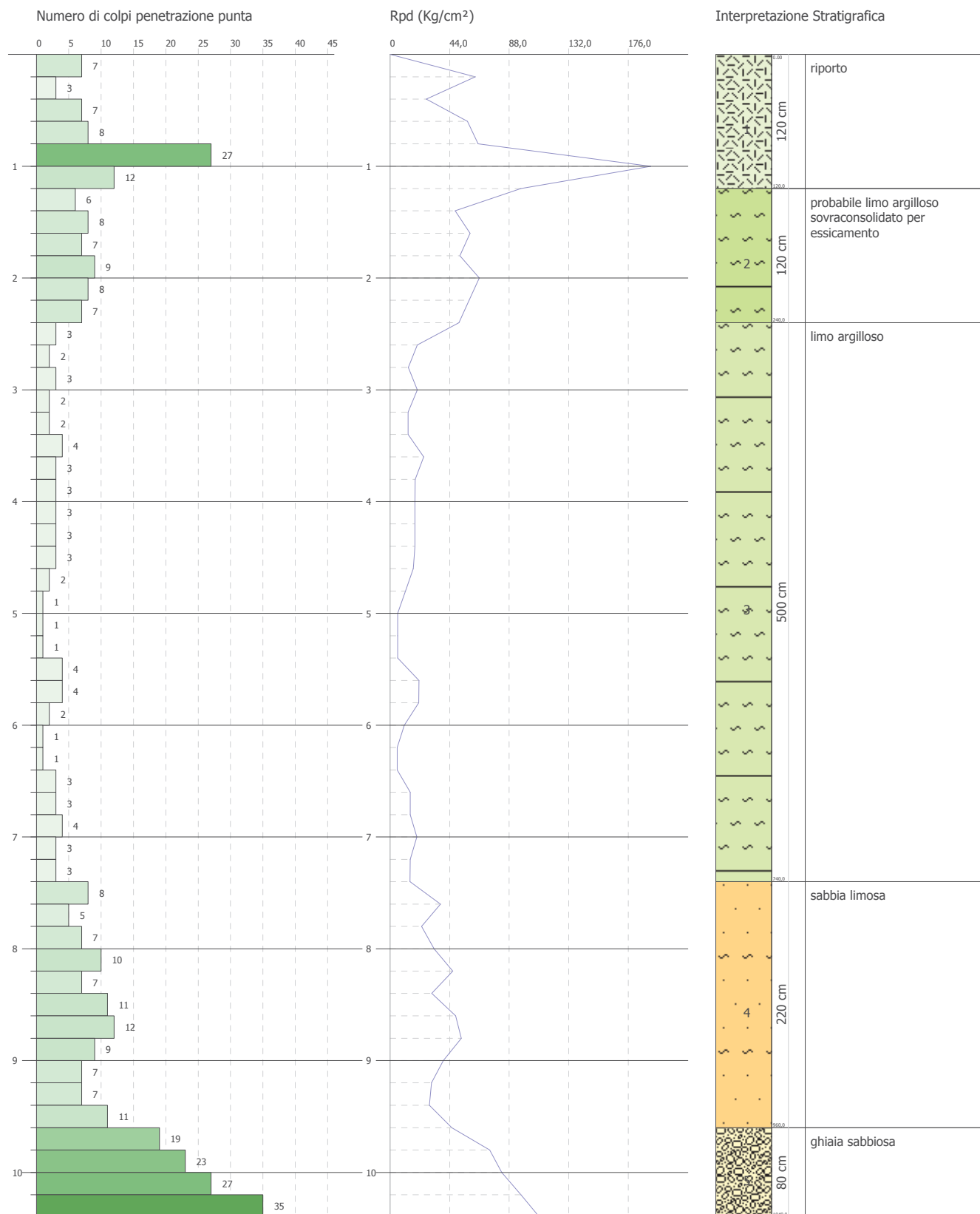
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) riporto	21,01	0.00-1,40	21,01	Robertson 1983	42,02
Strato (4) sabbia limosa	12,67	7,20-9,80	12,67	Robertson 1983	25,34
Strato (5) ghiaia sabbiosa	38,59	9,80-10,60	38,59	Robertson 1983	77,18

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P 2  
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Comune di Sarmato  
Descrizione: Ampliamento del polo di infanzia  
Località: Sarmato

Data: 07/09/2022

Scala 1:50



**ESECUTORE INDAGINI:****GeoTest s.r.l.****COMMITTENTE: Spett. Comune di Sarmato****STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P 2****TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) probabile limo argilloso sovracconsolidato per essiccamento	11,03	1,20-2,40	Schmertmann 1975	1,08
Strato (3) limo argilloso	3,76	2,40-7,40	Schmertmann 1975	0,37

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) probabile limo argilloso sovracconsolidato per essiccamento	11,03	1,20-2,40	Robertson (1983)	22,06
Strato (3) limo argilloso	3,76	2,40-7,40	Robertson (1983)	7,52

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) probabile limo argilloso sovracconsolidato per essiccamento	11,03	1,20-2,40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	114,29
Strato (3) limo argilloso	3,76	2,40-7,40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	40,14

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) probabile limo argilloso sovracconsolidato per essiccamento	11,03	1,20-2,40	Apollonia	110,30
Strato (3) limo argilloso	3,76	2,40-7,40	Apollonia	37,60



Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (2) probabile limo argilloso sovracconsolidato per essiccamento	11,03	1,20-2,40	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
Strato (3) limo argilloso	3,76	2,40-7,40	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato (2) probabile limo argilloso sovracconsolidato per essiccamento	11,03	1,20-2,40	Meyerhof	2,00
Strato (3) limo argilloso	3,76	2,40-7,40	Meyerhof	1,68

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato (2) probabile limo argilloso sovracconsolidato per essiccamento	11,03	1,20-2,40	Meyerhof	2,20
Strato (3) limo argilloso	3,76	2,40-7,40	Meyerhof	1,87

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) riporto	15,68	0,00-1,20	15,68	Skempton 1986	44,23
Strato (4) sabbia limosa	12,57	7,40-9,60	12,57	Skempton 1986	38,39
Strato (5) ghiaia sabbiosa	38,22	9,60-10,40	38,22	Skempton 1986	70,93

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) riporto	15,68	0,00-1,20	15,68	Meyerhof (1965)	35,7
Strato (4) sabbia limosa	12,57	7,40-9,60	12,57	Meyerhof (1965)	34,62
Strato (5) ghiaia sabbiosa	38,22	9,60-10,40	38,22	Meyerhof (1965)	41,21

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) riporto	15,68	0.00-1,20	15,68	Schmertmann (1978) (Sabbie)	125,44
Strato (4) sabbia limosa	12,57	7,40-9,60	12,57	Schmertmann (1978) (Sabbie)	100,56
Strato (5) ghiaia sabbiosa	38,22	9,60-10,40	38,22	Schmertmann (1978) (Sabbie)	305,76

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) riporto	15,68	0.00-1,20	15,68	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	107,93
Strato (4) sabbia limosa	12,57	7,40-9,60	12,57	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	94,06
Strato (5) ghiaia sabbiosa	38,22	9,60-10,40	38,22	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	208,46

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) riporto	15,68	0.00-1,20	15,68	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (4) sabbia limosa	12,57	7,40-9,60	12,57	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (5) ghiaia sabbiosa	38,22	9,60-10,40	38,22	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) riporto	15,68	0.00-1,20	15,68	Meyerhof et al.	1,90
Strato (4) sabbia limosa	12,57	7,40-9,60	12,57	Meyerhof et al.	1,81
Strato (5) ghiaia sabbiosa	38,22	9,60-10,40	38,22	Meyerhof et al.	2,19

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) riporto	15,68	0.00-1,20	15,68	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,95
Strato (4) sabbia limosa	12,57	7,40-9,60	12,57	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,93
Strato (5) ghiaia sabbiosa	38,22	9,60-10,40	38,22	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,09

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) riporto	15,68	0,00-1,20	15,68	(A.G.I.)	0,32
Strato (4) sabbia limosa	12,57	7,40-9,60	12,57	(A.G.I.)	0,33
Strato (5) ghiaia sabbiosa	38,22	9,60-10,40	38,22	(A.G.I.)	0,28

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) riporto	15,68	0,00-1,20	15,68	Ohsaki (Sabbie pulite)	864,05
Strato (4) sabbia limosa	12,57	7,40-9,60	12,57	Ohsaki (Sabbie pulite)	701,92
Strato (5) ghiaia sabbiosa	38,22	9,60-10,40	38,22	Ohsaki (Sabbie pulite)	1996,49

Coefficiente spinta a Riposo K0=SigmaH/P0

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (1) riporto	15,68	0,00-1,20	15,68	Navfac 1971-1982	3,26
Strato (4) sabbia limosa	12,57	7,40-9,60	12,57	Navfac 1971-1982	2,64
Strato (5) ghiaia sabbiosa	38,22	9,60-10,40	38,22	Navfac 1971-1982	6,67

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

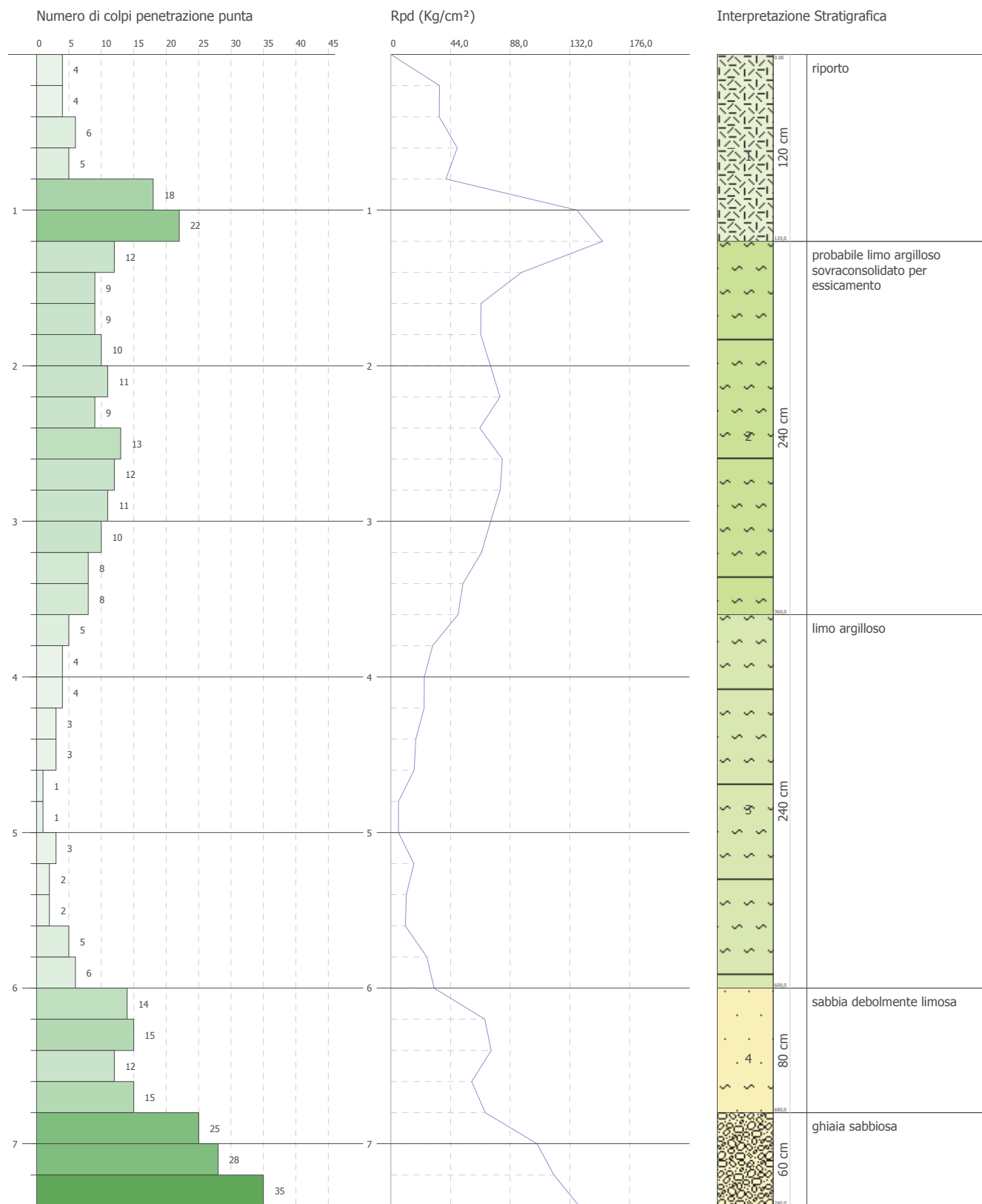
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) riporto	15,68	0,00-1,20	15,68	Robertson 1983	31,36
Strato (4) sabbia limosa	12,57	7,40-9,60	12,57	Robertson 1983	25,14
Strato (5) ghiaia sabbiosa	38,22	9,60-10,40	38,22	Robertson 1983	76,44

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P 3  
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Comune di Sarmato  
Descrizione: Ampliamento del polo di infanzia  
Località: Sarmato

Data: 07/09/2022

Scala 1:36





**ESECUTORE INDAGINI:****GeoTest s.r.l.****COMMITTENTE: Spett. Comune di Sarmato****STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P 3****TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) probabile limo argilloso sovracconsolidato per essiccamento	14,95	1,20-3,60	Schmertmann 1975	1,47
Strato (3) limo argilloso	4,78	3,60-6,00	Schmertmann 1975	0,47

Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) probabile limo argilloso sovracconsolidato per essiccamento	14,95	1,20-3,60	Robertson (1983)	29,90
Strato (3) limo argilloso	4,78	3,60-6,00	Robertson (1983)	9,56

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) probabile limo argilloso sovracconsolidato per essiccamento	14,95	1,20-3,60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	154,27
Strato (3) limo argilloso	4,78	3,60-6,00	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	50,55

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) probabile limo argilloso sovracconsolidato per essiccamento	14,95	1,20-3,60	Apollonia	149,50
Strato (3) limo argilloso	4,78	3,60-6,00	Apollonia	47,80

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (2) probabile limo argilloso sovracconsolidato per essiccamento	14,95	1,20-3,60	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
Strato (3) limo argilloso	4,78	3,60-6,00	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato (2) probabile limo argilloso sovracconsolidato per essiccamento	14,95	1,20-3,60	Meyerhof	2,07
Strato (3) limo argilloso	4,78	3,60-6,00	Meyerhof	1,75

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato (2) probabile limo argilloso sovracconsolidato per essiccamento	14,95	1,20-3,60	Meyerhof	2,28
Strato (3) limo argilloso	4,78	3,60-6,00	Meyerhof	1,88

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) riporto	14,45	0,00-1,20	14,45	Skempton 1986	42,01
Strato (4) sabbia debolmente limosa	20,58	6,00-6,80	20,58	Skempton 1986	52,08
Strato (5) ghiaia sabbiosa	43,12	6,80-7,40	43,12	Skempton 1986	74,83

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) riporto	14,45	0,00-1,20	14,45	Meyerhof (1965)	35,28
Strato (4) sabbia debolmente limosa	20,58	6,00-6,80	20,58	Meyerhof (1965)	37,24
Strato (5) ghiaia sabbiosa	43,12	6,80-7,40	43,12	Meyerhof (1965)	41,87

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) riporto	14,45	0.00-1,20	14,45	Schmertmann (1978) (Sabbie)	115,60
Strato (4) sabbia debolmente limosa	20,58	6,00-6,80	20,58	Schmertmann (1978) (Sabbie)	164,64
Strato (5) ghiaia sabbiosa	43,12	6,80-7,40	43,12	Schmertmann (1978) (Sabbie)	344,96

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) riporto	14,45	0.00-1,20	14,45	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	102,45
Strato (4) sabbia debolmente limosa	20,58	6,00-6,80	20,58	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	129,79
Strato (5) ghiaia sabbiosa	43,12	6,80-7,40	43,12	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	230,32

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) riporto	14,45	0.00-1,20	14,45	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (4) sabbia debolmente limosa	20,58	6,00-6,80	20,58	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (5) ghiaia sabbiosa	43,12	6,80-7,40	43,12	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) riporto	14,45	0.00-1,20	14,45	Meyerhof et al.	1,87
Strato (4) sabbia debolmente limosa	20,58	6,00-6,80	20,58	Meyerhof et al.	2,00
Strato (5) ghiaia sabbiosa	43,12	6,80-7,40	43,12	Meyerhof et al.	2,21

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) riporto	14,45	0.00-1,20	14,45	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,95
Strato (4) sabbia debolmente limosa	20,58	6,00-6,80	20,58	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,98
Strato (5) ghiaia sabbiosa	43,12	6,80-7,40	43,12	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,12

# ALLEGATO 1 – ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICHE

## Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) riporto	14,45	0,00-1,20	14,45	(A.G.I.)	0,33
Strato (4) sabbia debolmente limosa	20,58	6,00-6,80	20,58	(A.G.I.)	0,31
Strato (5) ghiaia sabbiosa	43,12	6,80-7,40	43,12	(A.G.I.)	0,27

## Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) riporto	14,45	0,00-1,20	14,45	Ohsaki (Sabbie pulite)	800,18
Strato (4) sabbia debolmente limosa	20,58	6,00-6,80	20,58	Ohsaki (Sabbie pulite)	1115,71
Strato (5) ghiaia sabbiosa	43,12	6,80-7,40	43,12	Ohsaki (Sabbie pulite)	2236,20

## Coefficiente spinta a Riposo K0=SigmaH/P0

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (1) riporto	14,45	0,00-1,20	14,45	Navfac 1971-1982	3,02
Strato (4) sabbia debolmente limosa	20,58	6,00-6,80	20,58	Navfac 1971-1982	4,15
Strato (5) ghiaia sabbiosa	43,12	6,80-7,40	43,12	Navfac 1971-1982	7,27

## Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) riporto	14,45	0,00-1,20	14,45	Robertson 1983	28,90
Strato (4) sabbia debolmente limosa	20,58	6,00-6,80	20,58	Robertson 1983	41,16
Strato (5) ghiaia sabbiosa	43,12	6,80-7,40	43,12	Robertson 1983	86,24

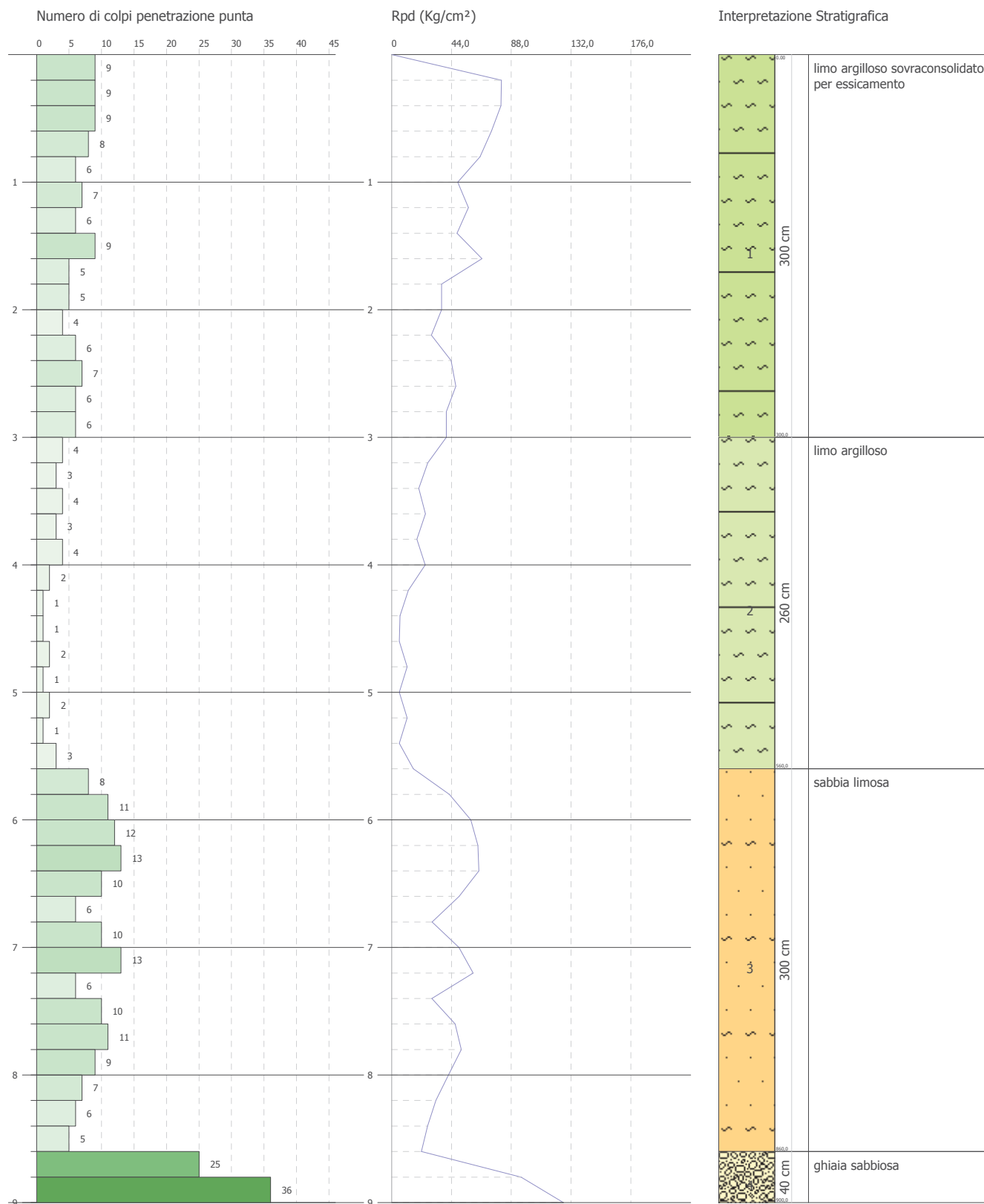


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P 4  
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Comune di Sarmato  
Descrizione: Ampliamento del polo di infanzia  
Località: Sarmato

Data: 07/09/2022

Scala 1:44



**ESECUTORE INDAGINI:****GeoTest s.r.l.****COMMITTENTE: Spett. Comune di Sarmato****STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P 4****TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) limo argilloso sovracconsolidato per essicamento	10	0.00-3,00	Schmertmann 1975	0,98
Strato (2) limo argilloso	3,5	3,00-5,60	Schmertmann 1975	0,34

Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) limo argilloso sovracconsolidato per essicamento	10	0.00-3,00	Robertson (1983)	20,00
Strato (2) limo argilloso	3,5	3,00-5,60	Robertson (1983)	7,00

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) limo argilloso sovracconsolidato per essicamento	10	0.00-3,00	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	103,79
Strato (2) limo argilloso	3,5	3,00-5,60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	37,49

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) limo argilloso sovracconsolidato per essicamento	10	0.00-3,00	Apollonia	100,00
Strato (2) limo argilloso	3,5	3,00-5,60	Apollonia	35,00

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) limo argilloso sovracconsolidato per essiccamento	10	0.00-3,00	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
Strato (2) limo argilloso	3,5	3,00-5,60	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato (1) limo argilloso sovracconsolidato per essiccamento	10	0.00-3,00	Meyerhof	1,97
Strato (2) limo argilloso	3,5	3,00-5,60	Meyerhof	1,67

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato (1) limo argilloso sovracconsolidato per essiccamento	10	0.00-3,00	Meyerhof	2,17
Strato (2) limo argilloso	3,5	3,00-5,60	Meyerhof	1,87

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (3) sabbia limosa	13,42	5,60-8,60	13,42	Skempton 1986	40,06
Strato (4) ghiaia sabbiosa	44,83	8,60-9,00	44,83	Skempton 1986	76,18

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (3) sabbia limosa	13,42	5,60-8,60	13,42	Meyerhof (1965)	34,92
Strato (4) ghiaia sabbiosa	44,83	8,60-9,00	44,83	Meyerhof (1965)	42,05

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
Strato (3) sabbia limosa	13,42	5,60-8,60	13,42	Schmertmann (1978) (Sabbie)	107,36
Strato (4) ghiaia sabbiosa	44,83	8,60-9,00	44,83	Schmertmann (1978) (Sabbie)	358,64

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (3) sabbia limosa	13,42	5,60-8,60	13,42	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	97,85
Strato (4) ghiaia sabbiosa	44,83	8,60-9,00	44,83	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	237,94

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (3) sabbia limosa	13,42	5,60-8,60	13,42	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (4) ghiaia sabbiosa	44,83	8,60-9,00	44,83	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (3) sabbia limosa	13,42	5,60-8,60	13,42	Meyerhof et al.	1,84
Strato (4) ghiaia sabbiosa	44,83	8,60-9,00	44,83	Meyerhof et al.	2,22

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (3) sabbia limosa	13,42	5,60-8,60	13,42	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,94
Strato (4) ghiaia sabbiosa	44,83	8,60-9,00	44,83	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,13

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (3) sabbia limosa	13,42	5,60-8,60	13,42	(A.G.I.)	0,33
Strato (4) ghiaia sabbiosa	44,83	8,60-9,00	44,83	(A.G.I.)	0,26

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (3) sabbia limosa	13,42	5,60-8,60	13,42	Ohsaki (Sabbie pulite)	746,45
Strato (4) ghiaia sabbiosa	44,83	8,60-9,00	44,83	Ohsaki (Sabbie pulite)	2319,47

Coefficiente spinta a Riposo K0=SigmaH/P0

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (3) sabbia limosa	13,42	5,60-8,60	13,42	Navfac 1971-1982	2,81
Strato (4) ghiaia sabbiosa	44,83	8,60-9,00	44,83	Navfac 1971-1982	7,49



## Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

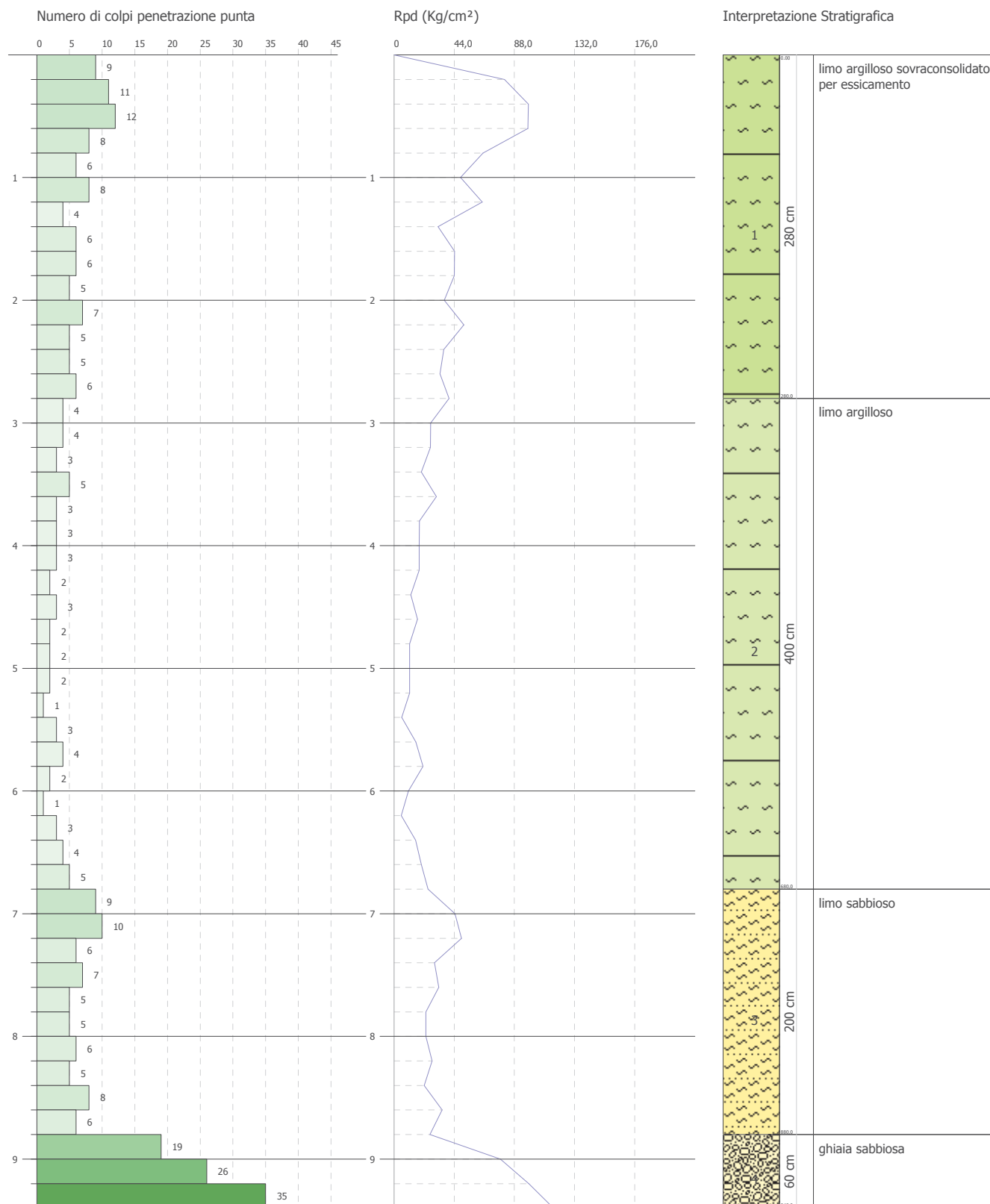
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (3) sabbia limosa	13,42	5,60-8,60	13,42	Robertson 1983	26,84
Strato (4) ghiaia sabbiosa	44,83	8,60-9,00	44,83	Robertson 1983	89,66

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P 5  
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Comune di Sarmato  
Descrizione: Ampliamento del polo di infanzia  
Località: Sarmato

Data: 07/09/2022

Scala 1:46



**ESECUTORE INDAGINI:****GeoTest s.r.l.****COMMITTENTE: Spett. Comune di Sarmato****STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P 5****TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) limo argilloso sovracconsolidato per essiccamento	10,29	0.00-2,80	Schmertmann 1975	1,01
Strato (2) limo argilloso	4,34	2,80-6,80	Schmertmann 1975	0,42
Strato (3) limo sabbioso	9,85	6,80-8,80	Schmertmann 1975	0,97

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) limo argilloso sovracconsolidato per essiccamento	10,29	0.00-2,80	Robertson (1983)	20,58
Strato (2) limo argilloso	4,34	2,80-6,80	Robertson (1983)	8,68
Strato (3) limo sabbioso	9,85	6,80-8,80	Robertson (1983)	19,70

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) limo argilloso sovracconsolidato per essiccamento	10,29	0.00-2,80	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	106,74
Strato (2) limo argilloso	4,34	2,80-6,80	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	46,06
Strato (3) limo sabbioso	9,85	6,80-8,80	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	102,26

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) limo argilloso sovracconsolidato per essiccamento	10,29	0.00-2,80	Apollonia	102,90
Strato (2) limo argilloso	4,34	2,80-6,80	Apollonia	43,40
Strato (3) limo sabbioso	9,85	6,80-8,80	Apollonia	98,50

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) limo argilloso sovracconsolidato per essiccamento	10,29	0,00-2,80	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
Strato (2) limo argilloso	4,34	2,80-6,80	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Strato (3) limo sabbioso	9,85	6,80-8,80	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato (1) limo argilloso sovracconsolidato per essiccamento	10,29	0,00-2,80	Meyerhof	1,98
Strato (2) limo argilloso	4,34	2,80-6,80	Meyerhof	1,72
Strato (3) limo sabbioso	9,85	6,80-8,80	Meyerhof	1,96

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato (1) limo argilloso sovracconsolidato per essiccamento	10,29	0,00-2,80	Meyerhof	2,18
Strato (2) limo argilloso	4,34	2,80-6,80	Meyerhof	1,87
Strato (3) limo sabbioso	9,85	6,80-8,80	Meyerhof	2,16

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (3) limo sabbioso	9,85	6,80-8,80	9,85	Skempton 1986	32,66
Strato (4) ghiaia sabbiosa	39,2	8,80-9,40	39,2	Skempton 1986	71,72

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (3) limo sabbioso	9,85	6,80-8,80	9,85	Meyerhof (1965)	33,61
Strato (4) ghiaia sabbiosa	39,2	8,80-9,40	39,2	Meyerhof (1965)	41,36

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
Strato (3) limo sabbioso	9,85	6,80-8,80	9,85	Schmertmann (1978) (Sabbie)	78,80
Strato (4) ghiaia sabbiosa	39,2	8,80-9,40	39,2	Schmertmann (1978) (Sabbie)	313,60

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (3) limo sabbioso	9,85	6,80-8,80	9,85	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	81,93
Strato (4) ghiaia sabbiosa	39,2	8,80-9,40	39,2	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	212,83

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (3) limo sabbioso	9,85	6,80-8,80	9,85	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (4) ghiaia sabbiosa	39,2	8,80-9,40	39,2	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (3) limo sabbioso	9,85	6,80-8,80	9,85	Meyerhof et al.	1,73
Strato (4) ghiaia sabbiosa	39,2	8,80-9,40	39,2	Meyerhof et al.	2,20

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (3) limo sabbioso	9,85	6,80-8,80	9,85	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,92
Strato (4) ghiaia sabbiosa	39,2	8,80-9,40	39,2	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,10

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (3) limo sabbioso	9,85	6,80-8,80	9,85	(A.G.I.)	0,33
Strato (4) ghiaia sabbiosa	39,2	8,80-9,40	39,2	(A.G.I.)	0,28

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (3) limo sabbioso	9,85	6,80-8,80	9,85	Ohsaki (Sabbie pulite)	558,14
Strato (4) ghiaia sabbiosa	39,2	8,80-9,40	39,2	Ohsaki (Sabbie pulite)	2044,57

Coefficiente spinta a Riposo K0=SigmaH/P0

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (3) limo sabbioso	9,85	6,80-8,80	9,85	Navfac 1971-1982	2,07
Strato (4) ghiaia sabbiosa	39,2	8,80-9,40	39,2	Navfac 1971-1982	6,79



# ALLEGATO 1 – ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICHE

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (3) limo sabbioso	9,85	6,80-8,80	9,85	Robertson 1983	19,70
Strato (4) ghiaia sabbiosa	39,2	8,80-9,40	39,2	Robertson 1983	78,40

# Allegato 2

## Indagine Geofisica di Superficie

# Indagine Geofisica

---

## PROVA SISMICA MULTICANALE MASW

# DATI GENERALI

- **COMMITTENTE** : SPETT.LE COMUNE DI SARMATO  
UFFICIO TECNICO COMUNALE
- **CANTIERE** : AMPLIAMENTO DEL POLO DI INFANZIA DEL  
COMUNE DI SARMATO
- **LOCALITÀ** : VIA GUIDO MOIA  
29010 SARMATO (PC)

## COROGRAFIA



## UBICAZIONE INDAGINI



## STENDIMENTO



## PROVA SISMICA MULTICANALE MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)

### 1.1 PREMESSA

Su incarico e per conto della Committenza "*Comune di Sarmato*", è stata condotta in data 07 settembre 2022, una indagine geofisica mediante il metodo di analisi spettrale delle onde di superficie (Rayleigh) con tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), eseguita presso l'attuale Polo Scolastico sito in Via Guido Moia, comune di Sarmato (PC).

L'utilizzo di tale metodologia ha permesso di ricavare le velocità delle onde di taglio S, le quali hanno consentito il calcolo del valore del parametro  $V_{s30}$ , necessario per la definizione della categoria di suolo di fondazione come previsto da normativa vigente "Aggiornamento Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 17 Gennaio 2018).

### 1.2 CENNI METODOLOGICI

Il metodo M.A.S.W. (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$ , sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni nel caso specifico) posti sulla superficie del suolo secondo uno stendimento lineare.

Tale metodo di indagine è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo (tramite energizzazione con mazza battente parallelamente all'array). Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5 Hz e 70Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa tra i 30 m ed i 50 m, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente e presenta una maggiore affidabilità per profondità di circa 20 m.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde.

In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive (fenomeno della dispersione geometrica), cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.



La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano anche gli strati più profondi del suolo.

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale.

L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

La profondità investigata dalle onde di Rayleigh dipende dalla lunghezza d'onda, dalla velocità delle onde di taglio Vs e dalla frequenza (Stokoe II and Santamarina, 2000): onde di Rayleigh con diversa lunghezza d'onda forniscono informazioni a diverse profondità del sito. Le informazioni sulla velocità delle onde di taglio Vs del sito fornite, sono da intendersi come informazioni medie lungo la profondità.

Il risultato finale del processo di elaborazione è il profilo verticale delle velocità delle onde S.

I **vantaggi** della tecnica M.A.S.W. possono essere così riassunti:

1. particolarmente indicata per terreni attenuanti ed ambienti rumorosi;
2. è in grado di evidenziare inversioni di velocità nel profilo di velocità;
3. buona risoluzione.

I **limiti teorici** del metodo MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli, orizzontali ed omogenei, quindi una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere appresentata dalla presenza di pendenze significative superiori a 20°. Si rammenta, in ogni caso, che 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 generalmente attorno al 10-20 %.

L'**elaborazione** dei dati con il metodo M.A.S.W. prevede tre principali fasi di lavoro:

1. la prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale;
2. la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica;
3. la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , agendo sui parametri sotto elencati mediante loro modifica fino a raggiungere la sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato:
  - 3.1 spessore strati considerati ( $h_{iesimo}$ );
  - 3.2 velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) e delle onde di compressione ( $V_p$ ) o, in alternativa alle velocità  $V_p$ , è possibile assegnare il coefficiente di Poisson ( $\sigma$ );
  - 3.3 densità di massa degli strati che costituiscono il modello del suolo.

Generalmente l'operatore simula un modello geotecnico sintetico iniziale definendo un certo numero di strati ed assegnando a ciascuno di essi il corrispettivo valore del peso dell'unità di volume e del coefficiente di Poisson. Le principali variabili al raggiungimento del miglior fitting fra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione teorica, saranno pertanto lo spessore dei singoli strati ( $h_{iesimo}$ ) e la corrispettiva velocità ( $V_s$ ).

La curva di dispersione teorica ottenuta manualmente tramite intervento attivo dell'utente nella definizione di un primo modello di sottosuolo (e quindi di profilo di velocità delle onde di taglio verticali), si affianca una combinazione automatica di ricerca del profilo di velocità / modello di sottosuolo ottimale. Quest'ultima si affida ad un algoritmo di ricerca globale o locale per minimizzare l'errore tra la curva sperimentale e la curva numerica.

Il processo descritto è detto "**di Inversione**" e consiste, appunto, nella modifica reiterata dei parametri del modello geotecnico sintetico fino ad avvicinare il più possibile (tendenza alla sovrapposizione) la curva di dispersione teorica con quella sperimentale ed ottenere il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

In genere quando l'errore relativo, tra curva sperimentale e curva numerica è compresa tra il 5% ed il 10% si ha un soddisfacente accordo tra le due pertanto, il profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$  e la definizione di suolo sismico conseguente rappresentano una soluzione valida dal punto di vista ingegneristico.

### 1.3 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E MODALITÀ ESECUTIVE

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati consiste in un sismografo a 24 canali *ECHO 12-24/2010 della "Ambrogeo"*, n° 12 geofoni verticali con periodo proprio di 4,5 Hz, mazza battente di 8 kg dotata di uno starter da accoppiare al circuito trigger del sismografo, piastra di battuta in alluminio 15x15x2.5 cm, batteria ricaricabile 12V, cavo per sismica a rifrazione 75 mt con 12 takeouts a 5 metri di intervallo.



**AMBR GEO** Strumenti per Geofisica

---

**Seismograph ECHO 24/2010 Seismic Unit**



- Monitor: Touchscreen/External laptop
- Number of channels: 12-24+1
- A/D Conversion: 24 bits
- Dynamic range: 130dB @1ms PG=0dB  
120dB @1ms PG=18dB  
>90dB
- Cross talk: 0db, 6db, 12db, 24db, 30 db, 36 db
- Preampify gain: 0 to 6KHz (30kSPS),  
0 to 4,8KHz (15kSPS),  
0 to 3KHz (7,5kSPS),  
0 to 1,5KHz (3,5kSPS),  
0 to 800Hz (2kSPS),  
0 to 400Hz (1kSPS)
- Frequency response: Low Cut Out  
10,15,25,35,50,70,100,200,280,400 Hz
- Acquisition and display filter: 32us,64us,128us,256us,480us,960us  
16000 samples
- Sampling interval: 1/32 of samples interval
- Record length: 0,0004 %
- Stacking trigger accuracy: 2Vpp,0Db
- Distorsion (THD): 110dB (ICM =60Hz, fDATA = 30kSPS)
- Max input signal: 0,25uV,2ms,36Db
- CMR: 524ms @ 32us sample interval
- Noise: 0 to 2500ms step 10ms
- Pre-trigger data: - 30°C/+70°C
- Delay: 12 V
- Temperature range: HVSR
- Power: SEG-Y/SG2 / SAF (SESAME ASCII FORMAT)
- Continuous recording: 61-pin Bendix connector - NK27-pin Cannon connector
- Output format:
- Connector:





61 pins connector

Figura 1: Sismografo Echo 24/2010 Seismic UNIT Ambrogeo

La geometria di acquisizione ha previsto uno stendimento di 12 geofoni spazati di 5 m (distanza intergeofonica) con offset sorgente di 5 m (distanza di energizzazione dal primo geofono).

La configurazione temporale di acquisizione è consistita in durata di acquisizione pari a 1002.3 msec e periodo di campionamento 0.478 msec.

Si ricorda che il punto di determinazione del profilo delle Vs in profondità, si riferisce al centro dello stendimento geofonico.

I dati sismici registrati in campagna sono stati elaborati utilizzando il software "*winMASW 2018 versione Academy della EliaSoft*" il quale consente l'operazione di processing mediante "modellazione diretta" e fitting tra la curva di dispersione e lo spettro di velocità ottenuto dai dati acquisiti per arrivare ad un modello del profilo verticale Vs il più coerente possibile con l'andamento della curva di dispersione sperimentale misurata.

## 1.4 ELABORAZIONE DATI

I dati sismici registrati in campagna sono stati elaborati utilizzando il software "winMASW 2018 versione Academy della Eliosoft". In una prima fase è stata calcolata la velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale.

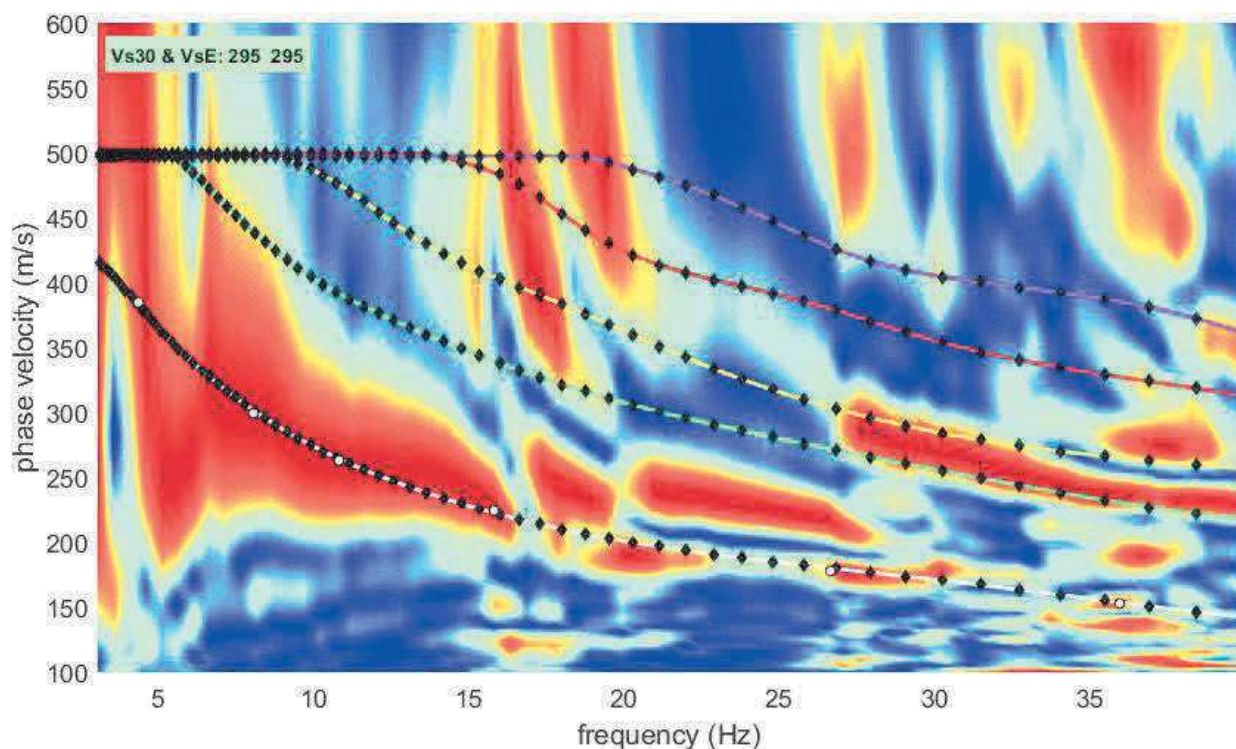
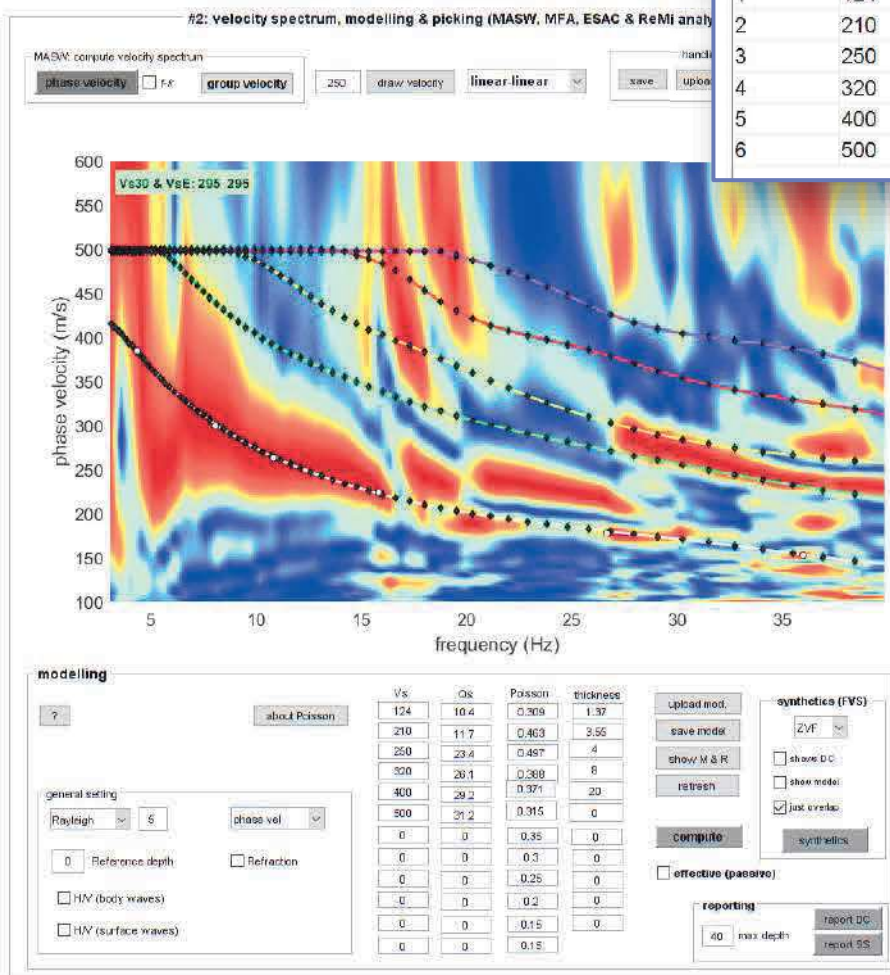
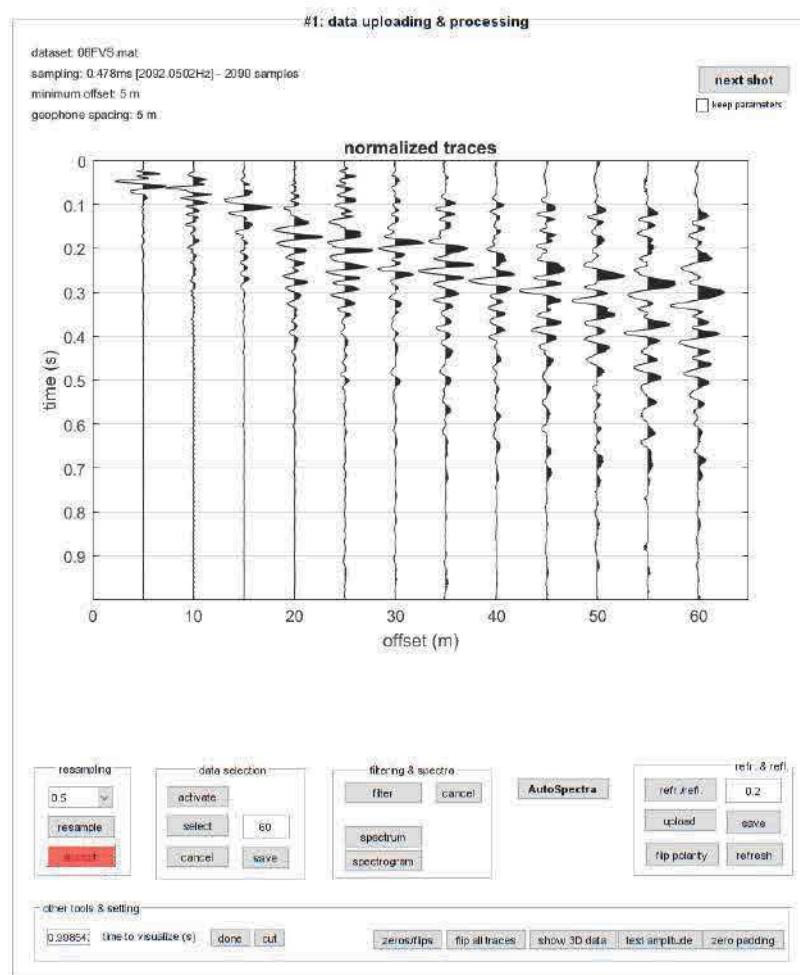


Figura 2: Grafico velocità di fase-frequenza e curva di dispersione dell'area d'interesse

Successivamente è stato definito il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , modificando opportunamente, per ciascun strato individuato, i seguenti parametri: spessore  $h$ , velocità delle onde di taglio  $V_s$  e di compressione  $V_p$  o, in alternativa, il coefficiente di Poisson ( $\sigma$ ) e il peso dell'unità di volume. Lo scopo è quello di ottenere un modello di velocità, e quindi di sottosuolo, a cui corrisponda una curva di dispersione numerica che si sovrapponga (o avvicini) alla velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale.





### best model

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	124	1.3700	1.3700
2	210	3.5500	4.9200
3	250	4	8.9200
4	320	9.1163	18.0363
5	400	20.0641	38.1004
6	500	0	0

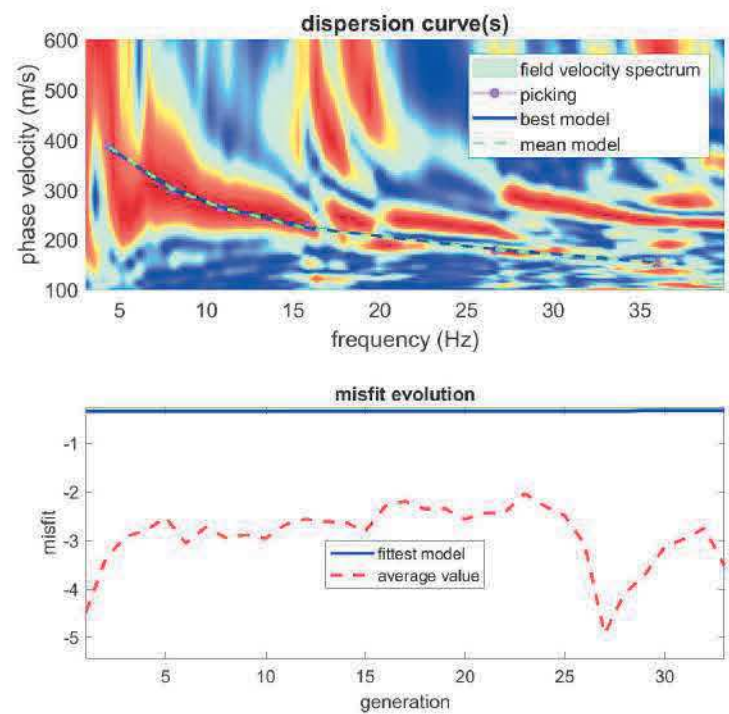
picking

show f-k  
 auto picking  
 dispersion curves  
 fundamental  
 to cover the best point of the considered mode click the right button  
 save picking  
 plik3.cdp  
 cancel picking

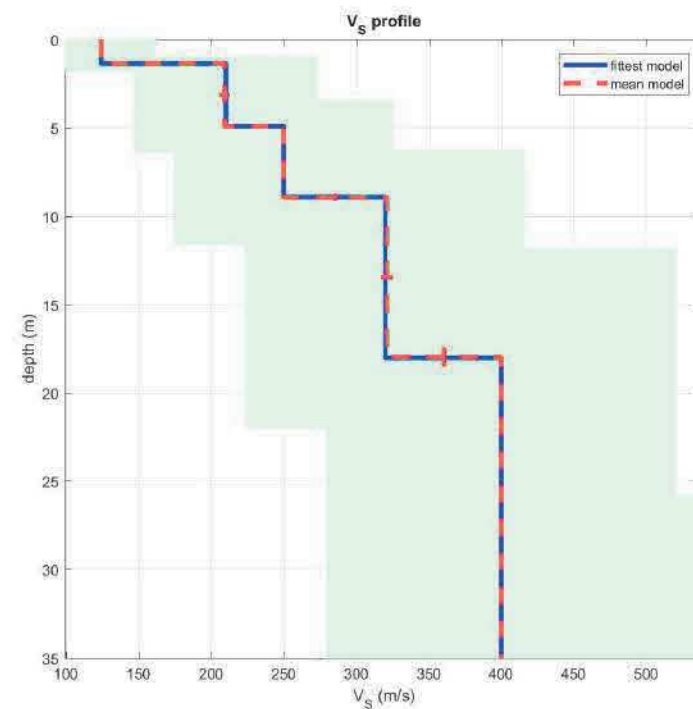
Inversion  
 inversion  
 joint D+HV inv.

www.winmasw.com

Figura 3: Sulla sinistra i dati di campagna e sulla destra lo spettro di velocità calcolato



www.winmasw.com



dataset: 06FVS.mat  
 dispersion curve: pik3.cdp  
 Vs30 & VsE (best model): 293 293 m/s  
 Vs30 & VsE (mean model): 293 293 m/s

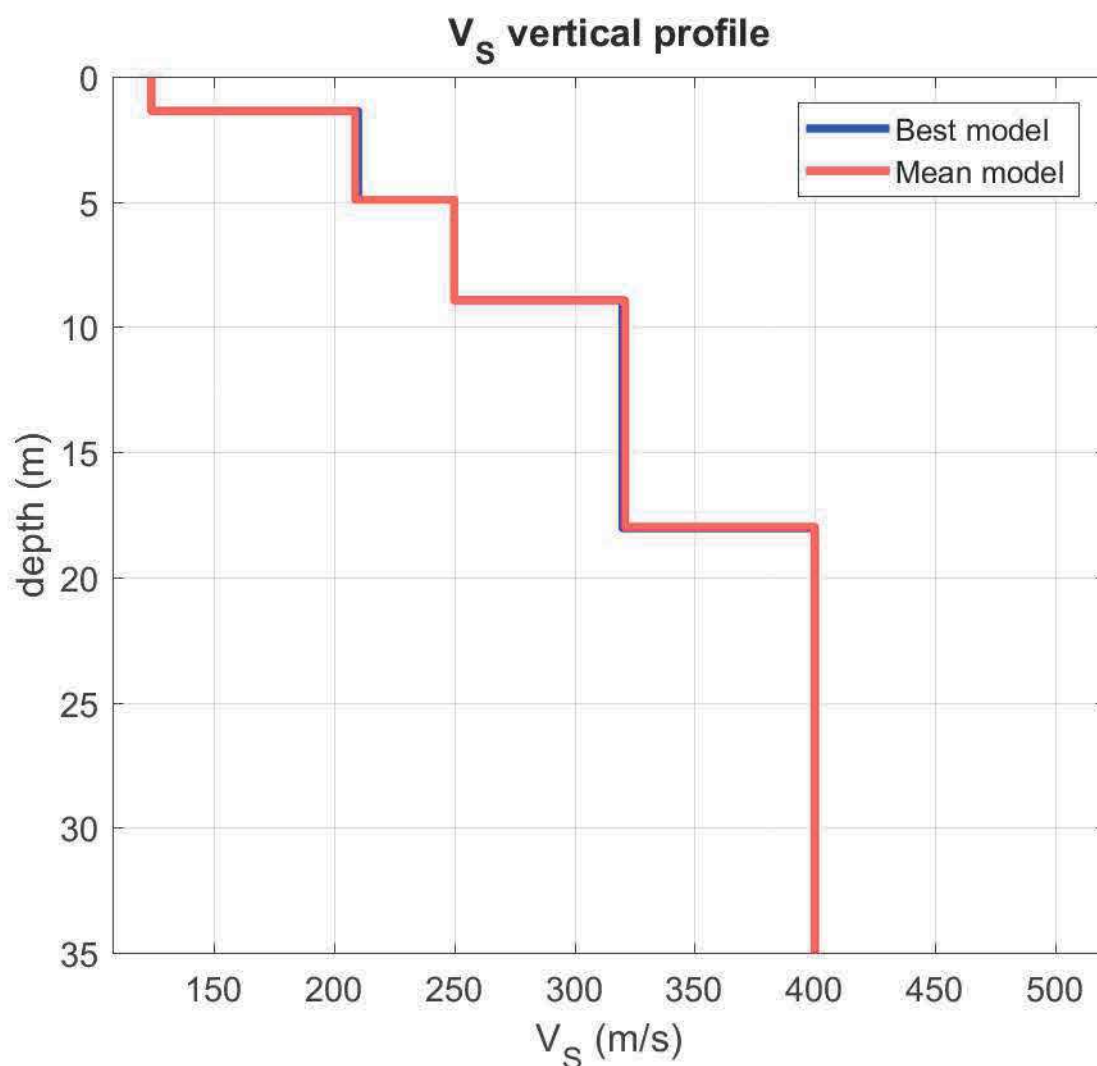
half-space

Figura 4: Risultati della modellazione diretta con relativa curva di dispersione. A destra Profilo verticale Vs successivo al processo di inversione

## 1.5 ANALISI DEI RISULTATI

I dati sismici acquisiti, ed elaborati, hanno consentito di interpretare un profilo di velocità delle onde "S" fino ad oltre 30 m dal p.c.

Tale risultato costituisce un importante supporto nell'interpretazione della successione litostratigrafica di sito. L'indagine geofisica M.A.S.W., unitamente alle risultanze di prove geognostiche (tra cui penetrometrie dinamiche e/o statiche) nonché di informazioni bibliografiche e d'archivio, consente la definizione dei principali orizzonti geotecnici. La velocità di propagazione delle onde di taglio costituisce un parametro geomeccanico del mezzo attraversato, pertanto fornisce indicazioni sulle caratteristiche e sullo stato dello scheletro del materiale stesso (le velocità variano al variare delle caratteristiche geomeccaniche e fisiche dei litotipi coinvolti): generalmente la velocità delle onde di taglio aumenta in corrispondenza di materiali addensati e con buone caratteristiche geomeccaniche, mentre diminuisce in materiali poco consistenti e con scadenti caratteristiche geotecniche.



**Figura 5: Profilo verticale di velocità delle onde "S" ( $V_S$ )**

## 1.6 CONSIDERAZIONI INTERPRETATIVE CONCLUSIVE

I risultati della prova MASW appaiono coerenti con l'assetto geologico sito specifico.

In ottemperanza a quanto definito dalla vigente normativa "Aggiornamento Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17 Gennaio 2018", la classificazione di suolo sismico relativo al sito oggetto di studio, è stata ottenuta sulla base delle condizioni stratigrafiche e del valore di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

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

$h_i$  : spessore dell'i-esimo strato;  
 $V_{s,i}$  : velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;  
 $N$  : numero di strati;  
 $H$  : profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali.

Nei depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità (da intendersi i primi 30 m di profondità rispetto al piano fondazionale ovvero, velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità, considerando come quota di riferimento il piano fondazionale p.f. = 0 m). In altri termini, ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s,30}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità.

Nei depositi con profondità  $H$  del substrato inferiore a 30 m la categoria di suolo non è più definita sulla base del calcolo del  $V_s$  relativo a 30 m ma la classificazione del sottosuolo dovrà effettuarsi in base ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  (rispetto al piano di imposta) entro lo spessore  $H$  del substrato, caratterizzato da  $V_s$  non inferiori a 800 m/s: per strati con  $V_s \geq 800$  m/s posti a profondità inferiore ai 30 m si considera infatti solo tale profondità.

Profondità da p.c.	$V_s$ equivalente (m/sec)	Categoria di sottosuolo
0 m	$V_{s30, eq} = 293$	C
-1.0 m	$V_{s30, eq} = 310$	C
-2.0 m	$V_{s30, eq} = 322$	C

Tabella per la classificazione del suolo di fondazione



Categoria	Descrizione	Vs min [m/sec]	Vs max [m/sec]
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.	800	-
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.	360	800
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.	180	360
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.	100	180
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.	-	-



Su incarico conferito dal Comune di Sarmato, è stata eseguita in data 07 settembre 2022, una indagine geofisica mediante il metodo di analisi spettrale delle onde di superficie (Rayleigh) con tecnica MASW, presso l'attuale Polo Scolastico sito in Via Guido Moia, comune di Sarmato (PC). Dall'esame del profilo verticale di velocità delle onde "S" (Vs) ottenuto, è stato possibile caratterizzare sismicamente l'area di studio, qualificando e quantificando le caratteristiche geosismiche dei terreni coinvolti. Il modello simo-stratigrafico restituito, ha mostrato un'apprezzabile correlatività con l'assetto geologico della zona evidenziando un modello geosismico di sito costituito dai seguenti sismostrati:

- Lo spessore del materiale areato molto allentato con Vs inferiore a 130 m/s è di 1.0-1.5 m circa;
- Più in profondità, fino a circa 5.0 m, i valori di Vs subiscono un leggero incremento, pur mantenendosi inferiori a 200-220 m/s. Trattasi, presumibilmente, di materiale prevalentemente fine comunque sempre poco compatto (limo e limo argilloso poco addensato);
- Oltre i 5.0 m fino a circa 8.0-10.0 m di profondità, si registra un ulteriore aumento di velocità probabilmente dovuto ad un incremento nel grado di addensamento del deposito e/o ad una complessiva maggiorazione tessiturale dello stesso (litotipi a grana medio fine mediamente consistenti di natura limosa, sabbioso-limosa con subordinati livelli di ghiaie e sabbie). Vs si attesta mediamente sui 250-260 m/s.;
- Da 8.0-10.0 m fino a circa 18.0-20.0 m di profondità, la velocità raggiunge i 300-350 m/s circa, indicando la presenza di litotipi complessivamente granulari e discretamente addensati. Trattasi, verosimilmente, di una successione caratterizzata dall'alternanza tra sedimenti grossolani e fini (depositi alluvionali sabbioso-ghiaiosi con intercalazioni coesive);
- Oltre i 18.0-20.0 metri circa la Vs aumenta in modo più netto e marcato superando i 400-420 m/s, per la presenza di materiale più compatto e grossolano ben addensato;
- I valori di Vs<sub>eq</sub> calcolati da p.c. e da p.f. posto a -1.0 m e -2.0 m da p.c., sono rispettivamente pari a 293 m/s, 310 m/s e 322 m/s, definendo una categoria di suolo fondazionale sito specifico di tipo "C".

Treviso, 08 settembre 2022

Geotest s.r.l.



Dott. Geol. Adriano Baldini



Dott. Geol. Sara Bozzini

# Indagine Geofisica

---

## MISURA DEI RAPPORTI SPETTRALI HVSR

## MISURA DEI RAPPORTI SPETTRALI HVSR - HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (IPOTESI DI NAKAMURA)

### 1.1 CENNI METODOLOGICI

Il metodo dei rapporti spettrali di singola stazione (HVSr) è largamente utilizzato in paesi con elevato rischio sismico, quali il Giappone, per la stima degli effetti di amplificazione di sito.

Tale metodo si basa sulla misura del microtremore, un'impercettibile oscillazione naturale del suolo presente in qualsiasi punto della superficie terrestre, che consiste per lo più nelle onde sismiche prodotte dal vento e dal moto ondoso marino negli strati superficiali della Terra. Anche le attività umane (industrie, traffico stradale ecc.) possono produrre localmente microtremore, ma in genere tale segnale viene attenuato piuttosto rapidamente a causa delle sue caratteristiche di alta frequenza.

Il microtremore naturale del suolo, agendo da oscillatore naturale, permette tramite adeguata strumentazione, la misura diretta delle frequenze di vibrazione dei terreni e dei manufatti.

La tecnica utilizzata, proposta da Nakamura (Nakamura, Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. QR of RTRI, Vol. 30, No.1, 25-33) per lo studio delle amplificazioni di sito, assume che i microtremori consistano principalmente di onde di Rayleigh che si propagano in un singolo strato sovrastante su semispazio e che la presenza di questo strato sia la causa dell'amplificazione al sito. Tale tecnica permette di separare i termini di sorgente-percorso e di sito tramite i rapporti tra le componenti del moto, senza utilizzare alcun sito di riferimento.

Le ipotesi su cui si basa la tecnica di Nakamura sono le seguenti:

- *I microtremori sono generati da sorgenti locali, e non da sorgenti profonde i cui contributi sono trascurabili;*
- *Le sorgenti dei microtremori in superficie non influenzano i microtremori alla base dello strato considerato;*
- *La componente verticale del moto non risente di effetti di amplificazione locale;*
- *Il picco visibile nei rapporti H/V (rapporto tra l'ampiezza spettrale della componente orizzontale e l'ampiezza spettrale della componente verticale) è indipendente dalle caratteristiche della sorgente del rumore ed è invece fortemente dipendente dalle condizioni stratigrafico-litologiche del terreno. Tale picco è inoltre ben correlato con la frequenza fondamentale di vibrazione del terreno soggetto alla propagazione di onde S verticali e con il picco fondamentale delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh.*

Le principali applicazioni delle prove H/V si possono così sintetizzare:

- *Misura delle frequenze di risonanza dei suoli;*
- *Effetti di sito e microzonazione sismica (curve H/V, metodo di Nakamura);*
- *Stratigrafia sismica passiva;*
- *Vs30 da fit vincolato della curva H/V;*
- *Segnalazione dei possibili fenomeni di doppia risonanza suolo-struttura.*

Di particolare importanza è la frequenza di vibrazione del sito, caratterizzata dal maggiore rapporto di ampiezze **H/V**, nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico (frequenze generalmente inferiori a 10 Hz), denominata frequenza fondamentale di vibrazione **f<sub>0</sub>**.

È possibile poi determinare la profondità degli strati sismici mediante la misura diretta delle frequenze di vibrazione, associata alla misura delle velocità delle onde S tramite la relazione:

$$f_0 = \frac{Vs}{4H}$$

dove:

- **Vs** è la velocità media delle onde di taglio;
- **H** è la profondità dello strato sismico in corrispondenza di un netto aumento di velocità sismiche.

Le misure HVSR permettono inoltre, se associate a misure di dispersione delle onde di superficie (Masw, Esac, ReMi ecc.), di vincolare il profilo Vs e quindi di ottenere una ricostruzione più "robusta" del profilo di velocità e raggiungere profondità non direttamente raggiungibili dalle altre prove.

A causa della pesante non-univocità della soluzione, una modellazione del solo HVSR senza quantitative informazioni sulle Vs ottenute da misure Masw / Esac-ReMi. e un solido ancoraggio di taratura, non risulta affidabile per la determinazione del profilo di velocità delle onde S e quindi della valutazione della Vs30.

## 1.2 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E MODALITA' DI ACQUISIZIONE

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato "**TROMINO® BLU**", tromografo digitale di ultima generazione.

"**TROMINO®**" è uno strumento compatto, ultra leggero che opera in alta risoluzione.

Al suo interno racchiude:

- 3 canali velocimetrici a guadagno variabile
- 3 canali accelerometrici
- 1 canale analogico
- ricevitore GPS
- modulo radio ricevente/trasmittente (per la sincronizzazione tra diverse unità)
- sistema di trigger radio (per prove MASW e simili)

Possibilità di campionamento nell'intervallo di frequenze compreso tra 0.1 e 1024 Hz. Nel caso specifico, le registrazioni hanno avuto una lunghezza di 20 minuti, con un campionamento a 128 Hz.



- ▣ 3 canali velocimetrici a guadagno e sensibilità variabile: dal microtremore (fino a  $\pm 0.5$  mm/s) alle vibrazioni forti (fino a  $\pm 5$  cm/s)
- ▣ 3 canali accelerometrici ( $\pm 2$  g)
- ▣ 1 canale analogico (es. trigger esterno per MASW e rifrazione)
- ▣ frequenze di lavoro [0.1, 1024] Hz su tutti i canali con conversione A/D a 24 bit reali
- ▣ ricevitore GPS con antenna interna o esterna per posizionamento e sincronizzazione tra diverse unità
- ▣ modulo radio trasmittente e ricevente integrato per sincronizzazione tra diverse unità e trasmissione di allarmi (es. superamento di soglie)



## 1.3 ELABORAZIONE ED ANALISI DEI DATI

Per l'elaborazione dei dati sismici è stato utilizzato il software winMASW 2018 versione Academy della EliaSoft.

Di seguito i risultati ottenuti dall'elaborazione delle prove effettuate:

### 1.3.1 DATA ACQUISITION

- Località = Polo di Infanzia, Via Guido Moia – 29010 Sarmato (PC)
- Station Coordinates HVSR 1 = 009°29.2563 E, 45°03.4653 N
- Station Coordinates HVSR 2 = 009°29.2560 E, 45°03.4505 N

### 1.3.2 DATA PROCESSING

- Sampling frequency (Hz): 64
- Window length (sec): 20
- Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz
- Tapering (%): 5
- Smoothing (%): 10

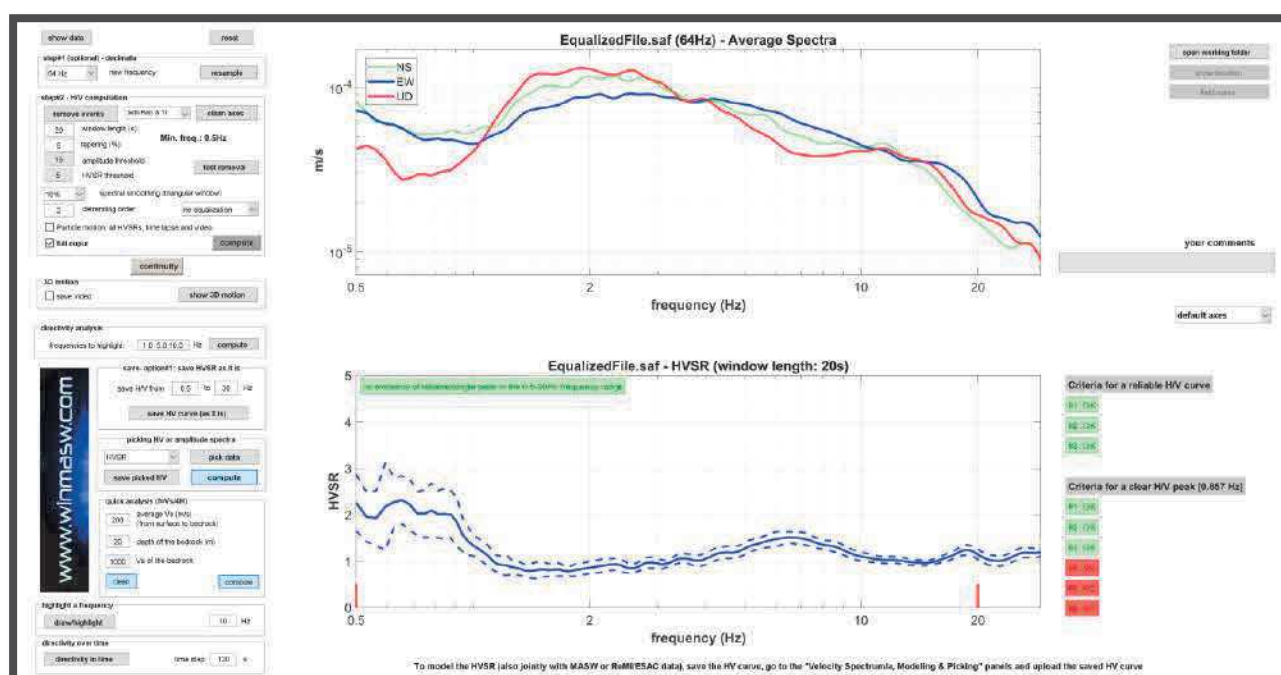


Figura 1: Prova HVS1\_1 la riga continua indica il valore medio, le tratteggiate le deviazioni standard

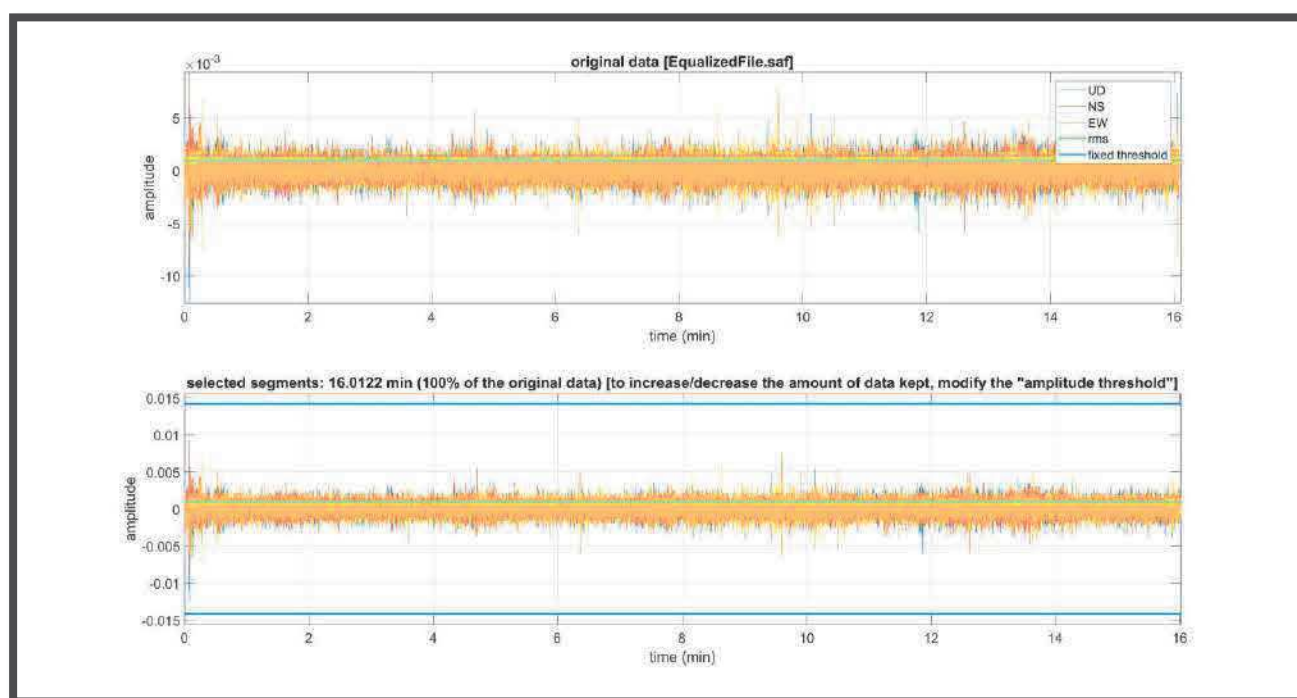


Figura 2: Prova HVS1\_1 dati originali e dati "puliti"

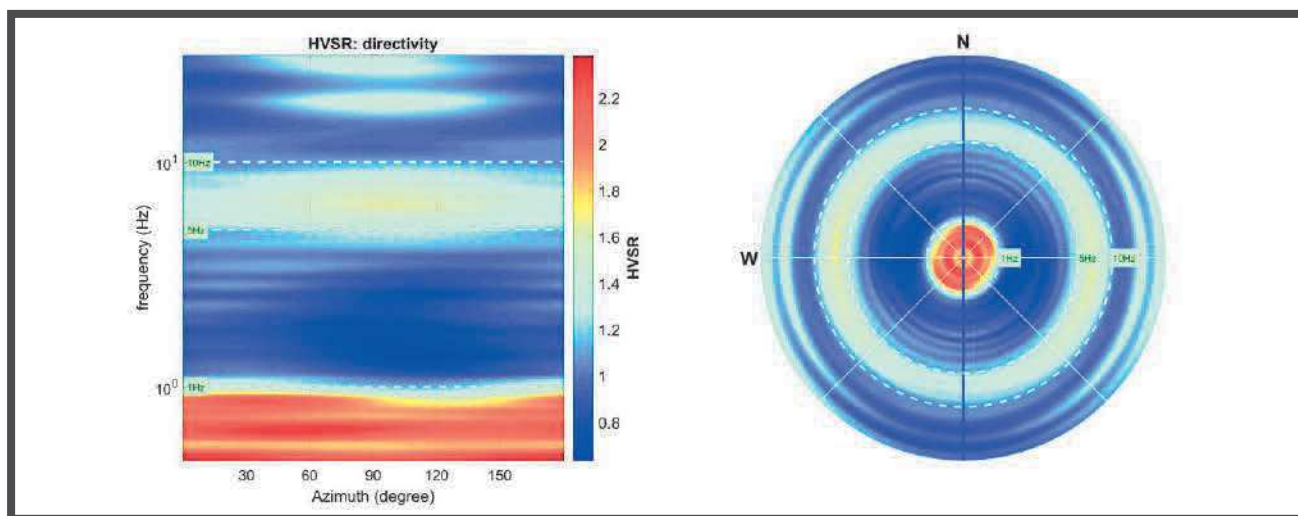


Figura 3: Prova HVSR\_1 directivity

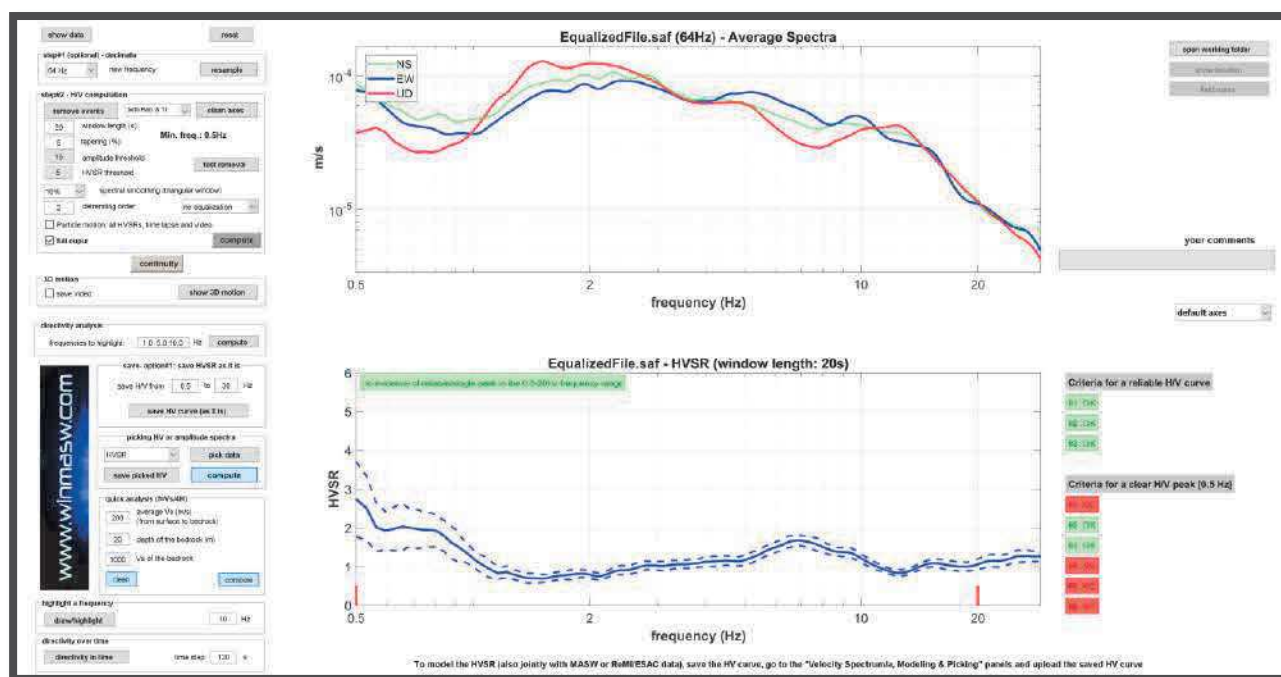


Figura 4: Prova HVSR\_2 la riga continua indica il valore medio, le tratteggiate le deviazioni standard

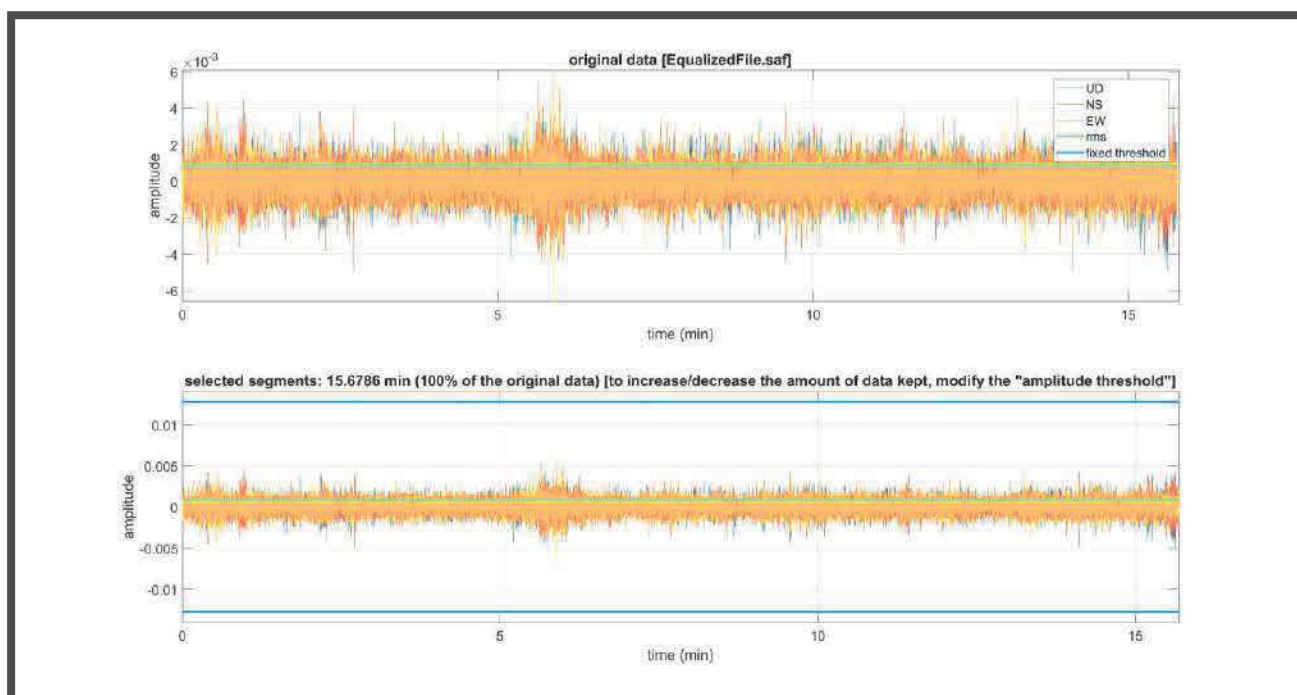


Figura 5: Prova HVSr\_2 dati originali e dati “puliti”

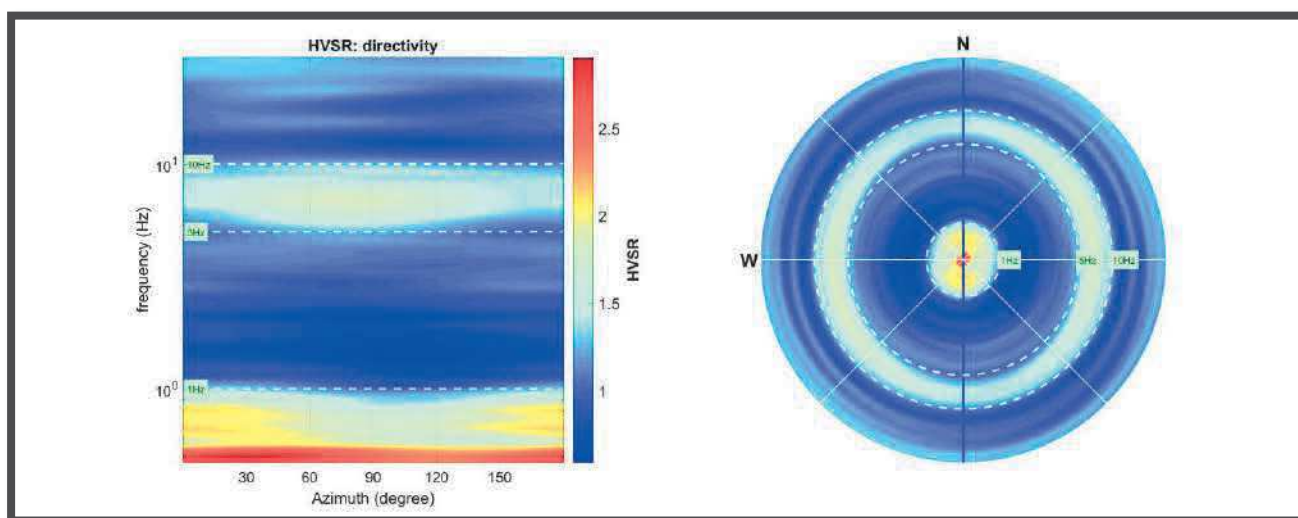


Figura 6: Prova HVSr\_2 directivity

Per consentire un più agevole confronto fra le prove, i risultati delle stesse sono stati riportati in un unico grafico.

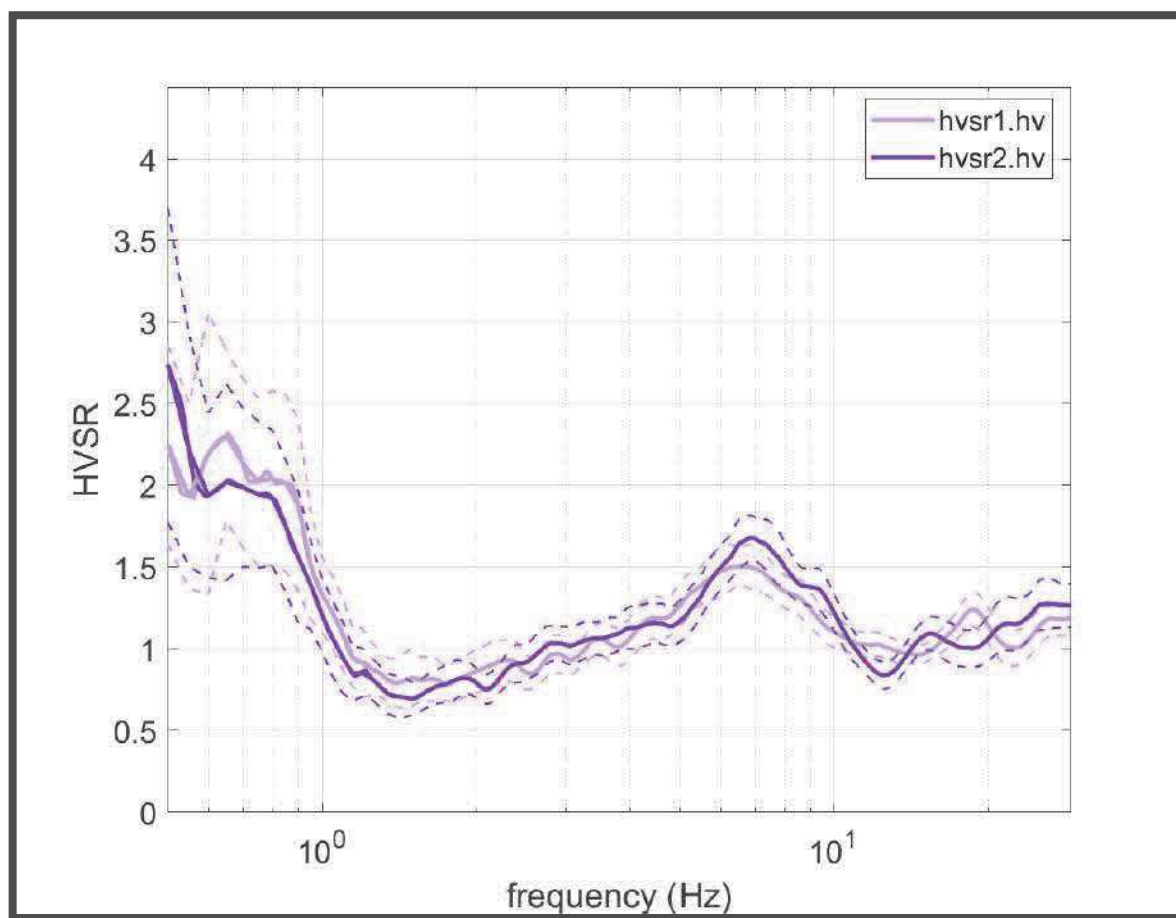


Figura 7: Quadro d'insieme delle prove HVSR

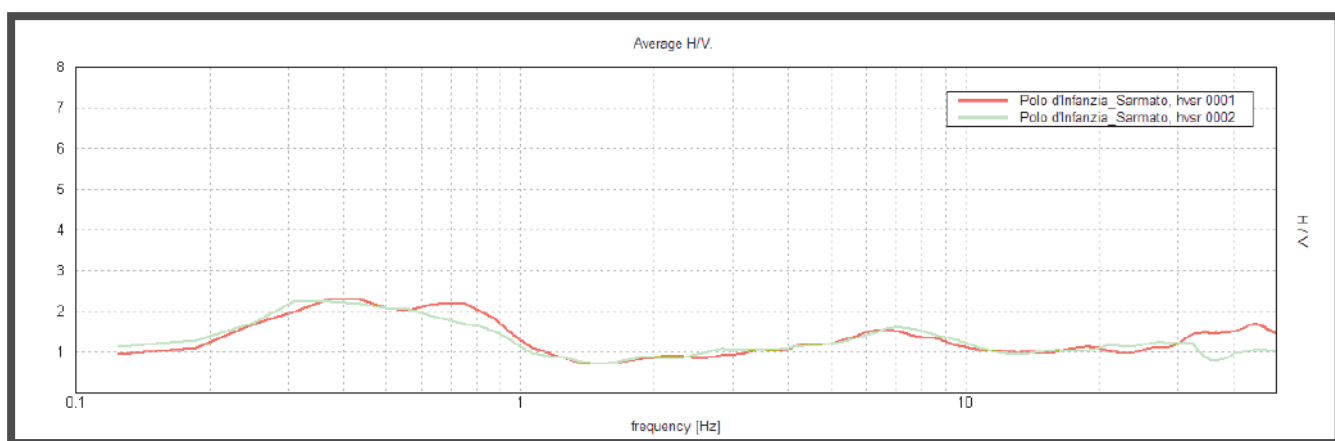


Figura 8: Quadro d'insieme delle prove HVSR - "Grilla"

## 1.4 ELABORAZIONE ED ANALISI DEI DATI con "Grilla"

I dati sismici acquisiti sono stati elaborati anche con il software "Grilla".

Il programma consente di effettuare:

- Analisi spettrale completa delle tracce, calcolo delle curve H/V per la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo;
- Procedure di pulizia delle tracce nel dominio del tempo e delle frequenze;
- Test sulla significatività dei picchi secondo le linee guida europee (Criteri Sesame);
- Determinazione delle frequenze dei modi di vibrare delle strutture con rimozione dell'effetto di sottosuolo;
- Creazione di un report automatico con tabelle e illustrazioni;
- Estrapolazione del profilo di velocità Vs mediante inversione della prova HVSR

Si precisa che il profilo di velocità ottenuto, costituisce una stima qualitativa ed approssimativa. I valori di Vs rappresentano quantità mediate sfruttando l'applicazione di formule empiriche.

L'affidabilità del modello proposto è proporzionale al dettaglio conoscitivo del contesto geologico-stratigrafico locale. Da una corretta predisposizione dei dati di partenza per la stima del profilo di Vs, ne scaturisce quindi una migliore rappresentatività del profilo ottenuto nonché l'individuazione dell'interfaccia/e costituente il/i contrasto/i di impedenza principale del sito investigato.

Sul piano operativo si procede "fittando" (ovvero approssimando il più possibile) la curva sperimentale misurata HVSR, con una curva teorica costruita a partire da un modello di sottosuolo ipotizzato. Generalmente le prospezioni geofisiche sono supportate da indagini geotecniche propedeutiche alla caratterizzazione geo-litotecnica sito specifica (per esempio prove penetrometriche).

Le informazioni sperimentali e bibliografiche disponibili, rappresentano una prima taratura per vincolare i dati di input degli orizzonti più superficiali del modello teorico.

A partire da un profilo di primo tentativo semplificato, i parametri che definiscono il modello verranno, pertanto, variati fino all'individuazione del set che minimizza la differenza fra la curva H/V sperimentale e quella H/V sintetica.

Si perverrà ad un modello stratigrafico-sismico dell'andamento di Vs con la profondità dal quale ricavare il valore di Vs<sub>eq</sub> attraverso la media ponderata del contributo dei vari orizzonti.



## POLO D'INFANZIA\_SARMATO, HVSR 0001

Strumento: TEB-0510/01-19

Formato dati: 32 byte

Fondo scala [mV]: 89

Inizio registrazione: 07/09/22 09:01:46 Fine registrazione: 07/09/22 09:21:46

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Posizione GPS: 009°29.2563 E, 45°03.4653 N (74.0 m)

(tempo UTC sincronizzato al primo campione di registrazione): non disponibile in questo modo di acquisizione + 0 + 0 campioni

Num. satelliti: 4

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 79% tracciato (selezione manuale)

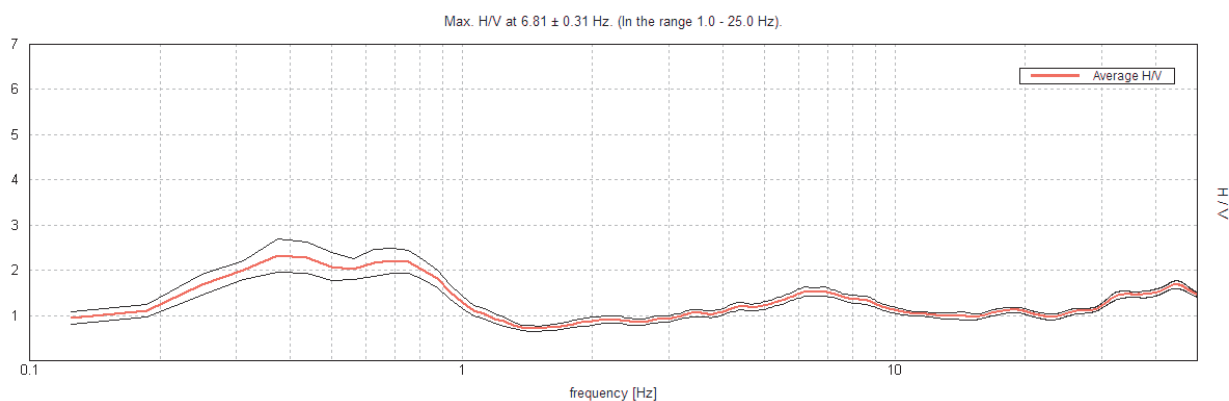
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 13 s

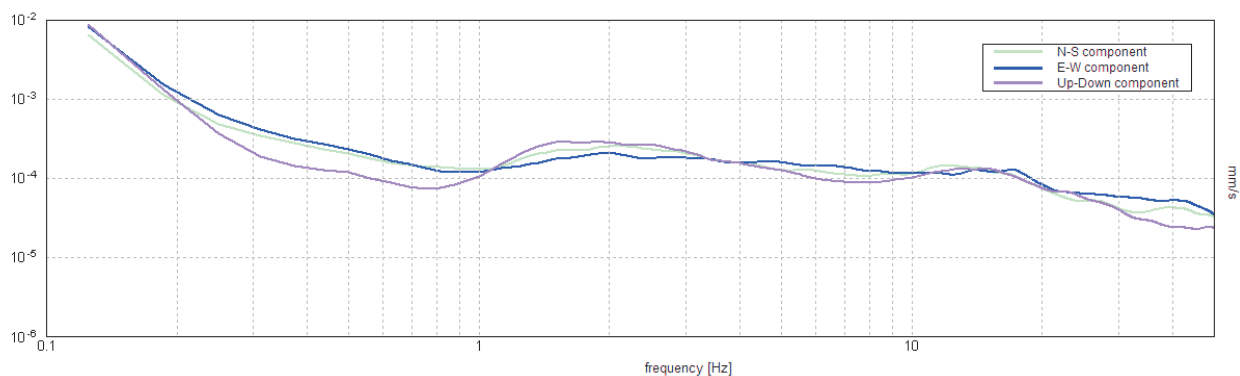
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

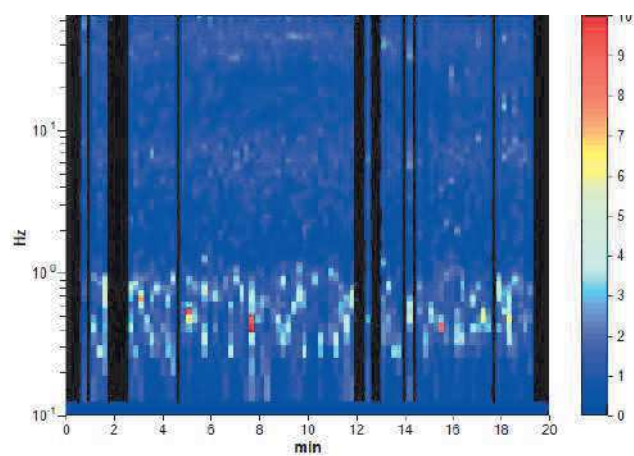
### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



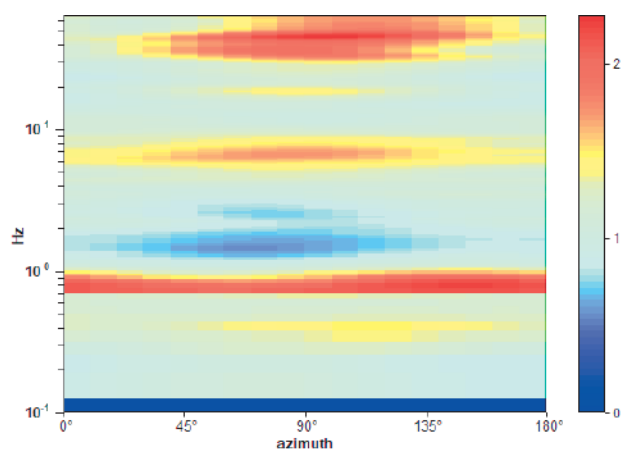
### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente**].

**Picco H/V a  $6.81 \pm 0.31$  Hz (nell'intervallo 1.0 - 25.0 Hz).**

### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$6.81 > 0.77$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$6465.1 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 164	OK	

### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$1.54 > 2$		NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0457  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.3113 < 0.34063$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1004 < 1.58$	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

## POLO D'INFANZIA\_SARMATO, HVSR 0002

Strumento: TEB-0510/01-19

Formato dati: 32 byte

Fondo scala [mV]: 89

Inizio registrazione: 07/09/22 10:39:06 Fine registrazione: 07/09/22 10:59:06

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Posizione GPS: 009°29.2560 E, 45°03.4505 N (46.3 m)

(tempo UTC sincronizzato al primo campione di registrazione): non disponibile in questo modo di acquisizione + 0 + 0 campioni

Num. satelliti: 6

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 71% tracciato (selezione manuale)

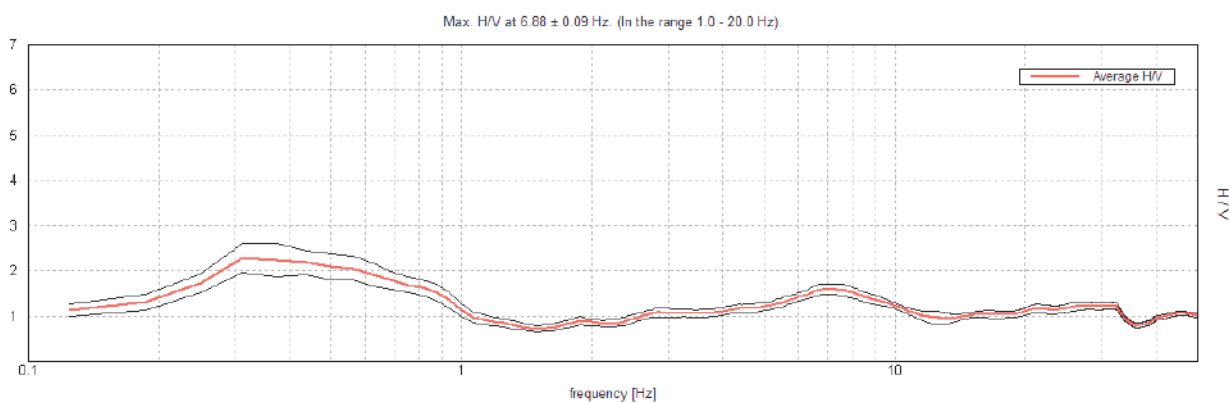
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 12 s

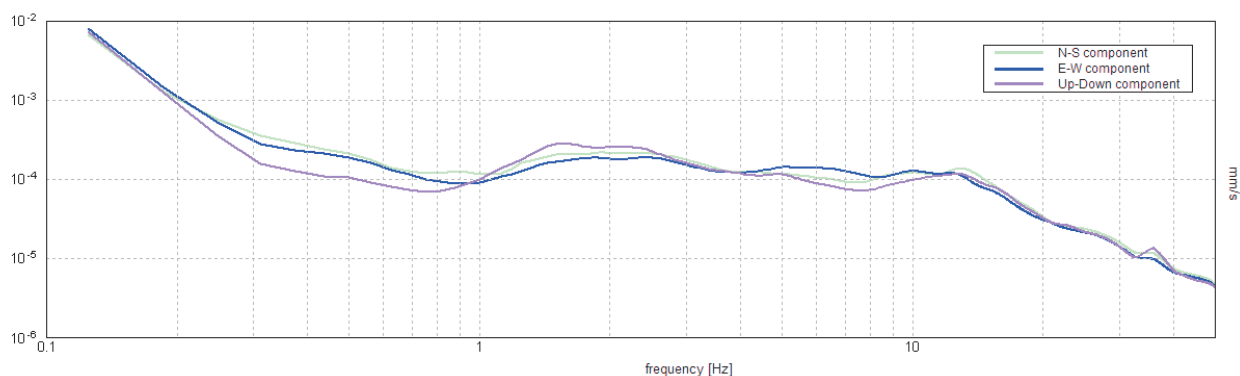
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

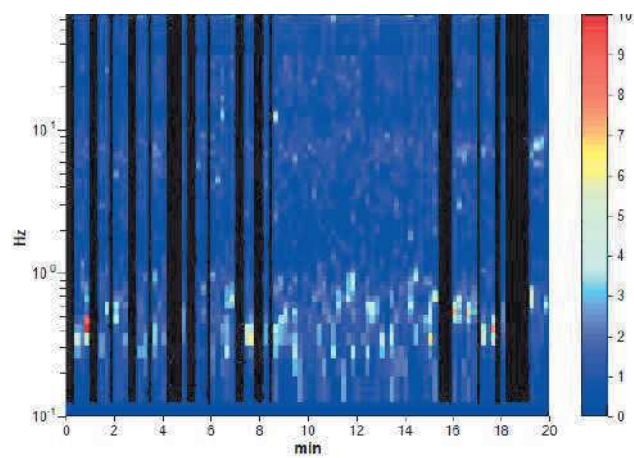
### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



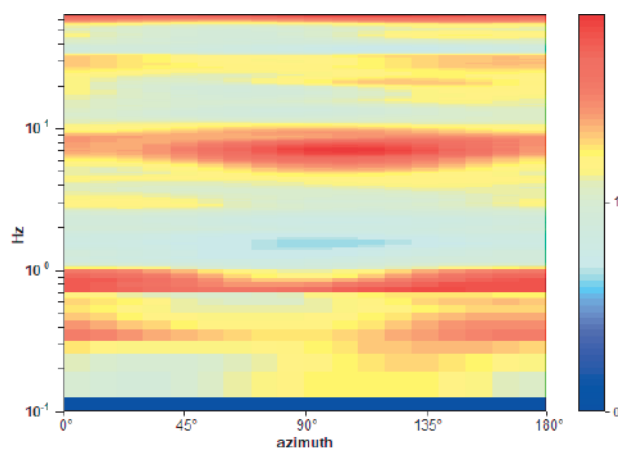
### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente**].

**Picco H/V a  $6.88 \pm 0.09$  Hz (nell'intervallo 1.0 - 20.0 Hz).**

### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$6.88 > 0.83$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$5857.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 166	OK	

### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$1.60 > 2$		NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01356  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.09324 < 0.34375$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1175 < 1.58$	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



## 1.5 CONSIDERAZIONI INTERPRETATIVE CONCLUSIVE

Analizzando i risultati delle prove si possono fare le seguenti considerazioni:

- Le prove condotte hanno un andamento nel complesso simile, a testimonianza di un sito caratterizzato da una buona uniformità sismo-stratigrafica;
- Nell'intervallo di frequenze a maggior interesse ingegneristico (normalmente 1 – 10/15 Hz), si rileva una frequenza di vibrazione comune ad entrambe le registrazioni intorno ai **6.81-6.88 Hz**. Anche se l'ampiezza non è particolarmente elevata (rispettivamente **[1.54(±0.10)]** e **[1.6(±0.12)]**), tale frequenza potrebbe indicare un passaggio, seppur non particolarmente marcato, alle medie profondità (verosimilmente intorno a 8.0-10.0 metri), in corrispondenza di materiale complessivamente più addensato e grossolano;
- La curva H/V assume valori non trascurabili (superiori a 2) alle basse frequenze (< 1Hz). In entrambe le prove infatti, si riconoscono 2 massimi rispettivamente a circa **0.38/0.44 Hz** e **0.65/0.75 Hz**. Pur non rivestendo particolare interesse ingegneristico, rivestono un significato litostratigrafico segnalando contrasti molto profondi entro la successione litostratigrafica (probabile "substrato geofisico base" della Pianura Padana);
- Dalle prove condotte è possibile notare che il rapporto H/V assume valori inferiori all'unità nell'intervallo compreso tra 1.0 Hz e 3.0 Hz circa. Tale circostanza potrebbe indicare un'inversione di velocità in profondità;
- In relazione alle frequenze di vibrazione del terreno individuate, gli edifici potenzialmente soggetti a fenomeni di risonanza sono quelli piuttosto bassi e rigidi.

Treviso, 08 settembre 2022

Geotest s.r.l.



Dott. Geol. Adriano Baldini



Dott. Geol. Sara Bozzini