



# Comune di Gragnano Trebbiense ACCORDO OPERATIVO N. 12



Committente: Immobiliare Il Pilastro S.r.l.

## 29. Relazione geologica e geotecnica

Progetto urbanistico ed edilizio

**Alex Massari**

**Fabio Ceci**

con Beatrice Salati, Elisa Cantone

Progetto delle reti infrastrutturali e studi idraulici

**Stefano Terzi**

Analisi del clima acustico

**Daniele Bertoli**

Relazione geologica e geotecnica

**Adriano Baldini** (GeoTest srl)

Rilievo planoaltimetrico generale

**Stefano Garbi**

**Novembre 2023**

# Relazione Geologica

- Modello Geologico
- Modello Geotecnico Preliminare
- Modello Sismico
- Valutazione Aspetti Sismici
- Rapporto Ambientale

## Tecnici Incaricati

Dott. Geol. Baldini Adriano



REGIONE EMILIA ROMAGNA  
PROVINCIA DI PIACENZA (PC)  
COMUNE DI GRAGNANO TREBBIENSE



## Oggetto

Relazione Geologico-Tecnica relativa alla verifica di fattibilità geologica dell'Accordo Operativo n. 12 per l'areale sotteso dai Mappali n° 11, 261, 276, 278 e 280 del Foglio n° 9 della Planimetria Catastale. Valutazione degli aspetti sismici ai sensi della DGR n. 630 del 29/04/2019 e successive integrazioni.

## Committente

Spett.

Immobiliare il Pilastro s.r.l.  
Gragnano Trebbiense (PC)  
C.F. e P. IVA: 01304310335

**Geotest**

# Sommario

0) GENERALITÀ.....	1
1) PREMESSA.....	1
2) NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....	4
3) INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO.....	5
3.1 Inquadramento Geologico – Geomorfologico Regionale .....	5
3.2 Aspetti Geologici – Geomorfologici dell'area in esame.....	8
3.3 Idrografia ed Idrogeologia (cenni) .....	9
3.4 Pericolosità Geo-ambientale e Strumenti Urbanistici.....	11
4) INDAGINI EFFETTUATE E MODELLO GEOLOGICO GEOTECNICO PRELIMINARE.....	15
4.1 Modello Geologico Geotecnico Preliminare .....	16
5) VERIFICA DEL CARICO LIMITE (SLU) E STIMA DEI CEDIMENTI.....	19
5.1 Dati Generali .....	20
5.2 Coefficienti Sismici (N.T.C.).....	20
5.3 Stratigrafia Terreno .....	21
5.4 Carico Limite Fondazione combinazione A1+M1+R3 .....	22
5.5 Stima dei Cedimenti Elastici.....	23
5.6 Stima dei Cedimenti Edometrici.....	24
6) CONCLUSIONI.....	25

## Indice delle Tavole e delle Figure

- Fig. 1: Corografia*
- 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: Sezione Geologica dalla Carta Geologica d'Italia in scala 1:100000 – Foglio 60*
- Fig. 6: Estratto Carta Geologica Regionale*
- Fig. 7: Estratto Carta degli Aspetti Litologici e Litotecnici - PSC Gragnano Trebbiense*
- Fig. 8: Estratto Carta degli Aspetti Idrogeologici - PSC Gragnano Trebbiense*
- Fig. 9: Estratto Carta della pericolosità da alluvione del reticolo secondario collinare e montano - Direttiva 2007/60/CE*
- Fig. 10: Estratto Carta della pericolosità da alluvione del reticolo secondario di pianura - Direttiva 2007/60/CE*
- Fig. 11: Estratto Carta della Tutela delle Risorse Idriche – PTCP di Piacenza*
- Fig. 12: Estratto Carta delle Aree Suscettibili di Effetti Sismici Locali – PTCP di Piacenza*
- Fig. 13: Estratto Carta degli Aspetti Sismici - PSC Gragnano Trebbiense*
- Fig. 14: Estratto Carta dei Vincoli del Sistema Idrogeologico - PSC Gragnano Trebbiense*
- Fig. 15: Estratto Carta della Fattibilità delle Trasformazioni - PSC Gragnano Trebbiense*
- Fig. 16: Estratto Carta dei Vincoli Antropici ed Infrastrutturali - PSC Gragnano Trebbiense*
- Fig. 17: Estratto Carta dei Vincoli del Quadro Conoscitivo - Piano Strutturale Comunale di Gragnano Trebbiense*
- Fig. 18: Estratto Carta dei Condizionamenti della Pianificazione Sovraordinata - PSC Gragnano Trebbiense*
- Fig. 19: Estratto Carta della Tutela Ambientale, Paesaggistica e Culturale del PTCP*
- Fig. 20: Estratto Carta dei Vincoli Storici e Ambientali - PSC Gragnano Trebbiense*
- Fig. 21: Estratto Carta delle aree e dei beni soggetti a vincolo culturale e paesaggistico (dlgs 42/2004) del PTCP*
- Fig. 22: Estratto Carta Schema Direttore Rete Ecologica del PTCP*
- Fig. 23: Estratto Carta Vocazioni Territoriali e Scenari di Progetto del PTCP*

- Fig. 24: Estratto Carta del Piano Strutturale Comunale di Gagnano Trebbiense*
- Fig. 25: Estratto Carta del Tessuti Extraurbani - Regolamento Urbanistico Edilizio di Gagnano Trebbiense*
- Fig. 26: Estratto Carta del Tessuti Urbani - Regolamento Urbanistico Edilizio di Gagnano Trebbiense*
- Fig. 27: Estratto Carta della Mobilità - Regolamento Urbanistico Edilizio di Gagnano Trebbiense*
- Fig. 28: Estratto Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica - Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Gagnano Trebbiense (2021)*

## *Allegati*

*ALLEGATO 1: PROVE PENETROMETRICHE*

*ALLEGATO 2: INDAGINI GEOFISICHE DI SUPERFICIE*

*ALLEGATO 3: VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI SISMICI*

*ALLEGATO 4: RAPPORTO AMBIENTALE – ACQUE SUPERFICIALI E SOTTERRANEE*

## 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 da Immobiliare Il Pilastro s.r.l.

## 1) PREMESSA

---

Con la presente relazione vengono valutati gli aspetti geologici, geotecnici, geomorfologici, geofisici ed idrogeologici relativi alla realizzazione di un nuovo Piano particolareggiato di iniziativa privata a destinazione residenziale (Accordo Operativo n.12). L'area dell'intervento si estende per circa 21.920 mq; 10960 mq circa saranno adibiti a servizi mentre la superficie fondiaria copre circa 10.960 mq ed è suddivisa nei comparti "A", "B", "C" e "D". L'area interessata dal presente studio risulta essere ubicata nella porzione settentrionale del territorio comunale, in loc. Il Pilastro, circa 600 m a nord-est della Frazione Gragnanino (Fig. 1). Nel dettaglio l'areale sul quale si svilupperà l'intervento risulta essere sotteso dai Mappali n° 11, 261, 276, 278 e 280 del Foglio n° 9 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 23/11/2021 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 riportata in Fig.3:

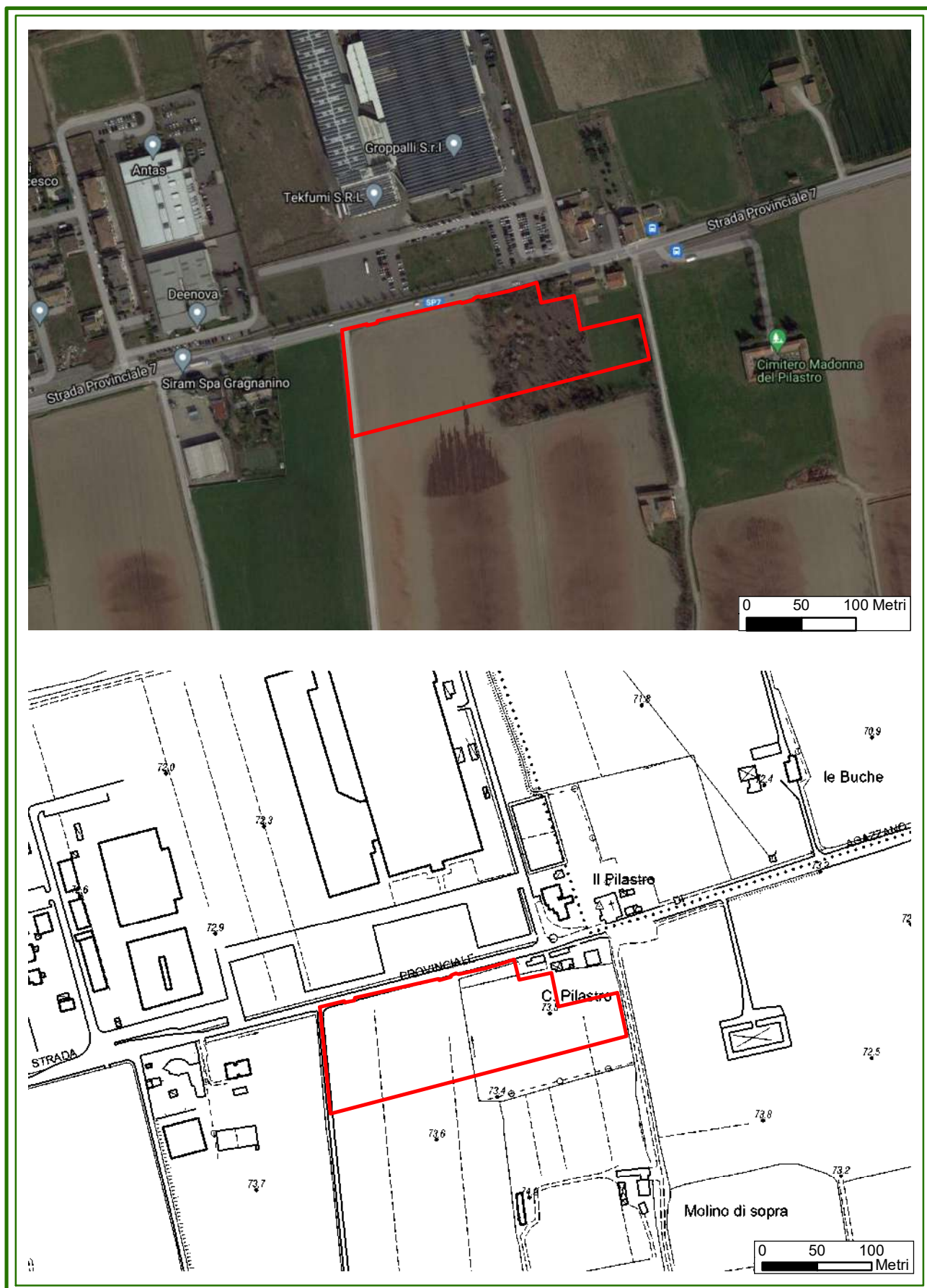


Fig. 1: Corografia – CTR 1:5000

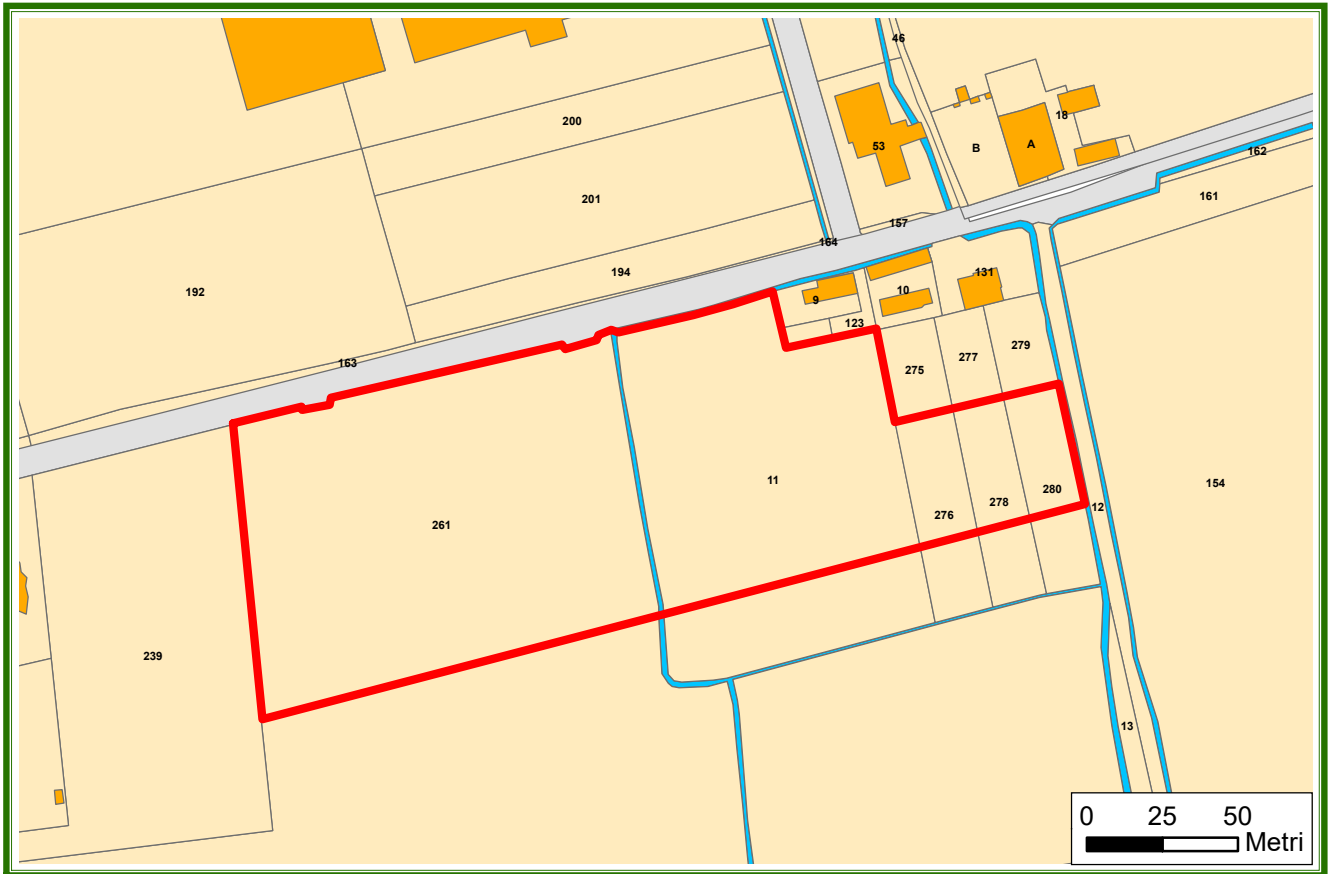


Fig. 2: Estratto di Mappa Catastale



- n.° 6 prove penetrometriche dinamiche DPSH con penetrometro Pagani TG 63-200 riportate in **Allegato 1**;
- Indagini geofisiche di superficie (trattazione specifica in **allegato 2**) consistite in:
  - n. 3 prove *MASW* per la caratterizzazione della categoria di suolo sismico (VSeq);
  - n. 3 prove *HVSR* tipo Nakamura per la determinazione della frequenza sito specifica.

In **Allegato 3** si riporta la valutazione degli aspetti sismici in base alla “Deliberazione Della Giunta Regionale dell’Emilia Romagna n. 630 del 29/04/2019” e successivi aggiornamenti:

- DGR n. 476 del 12/04/2021;
- DGR n. 564 del 26/04/2021.

Infine, in **Allegato 4** si individuano i corpi idrici di acque superficiali e sotterranee presenti in corrispondenza del sito interessato e/o nelle sue vicinanze e per ognuno di essi vengono assegnati gli obiettivi ambientali in riferimento al Piano di Gestione del Distretto Idrografico del Fiume Po (PdGPo).

Dal confronto dei risultati ottenuti è stato possibile formulare un Modello Geologico-Geotecnico preliminare caratterizzante il primo sottosuolo. Un importante supporto, che integra ed approfondisce la conoscenza del territorio, sono le informazioni bibliografiche e d’archivio disponibili tra cui anche risultanze ottenute in occasione di pregresse indagini geognostiche svolte in aree prossime a quella di interesse e correlabili quindi 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 incrociato 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 dei futuri manufatti.

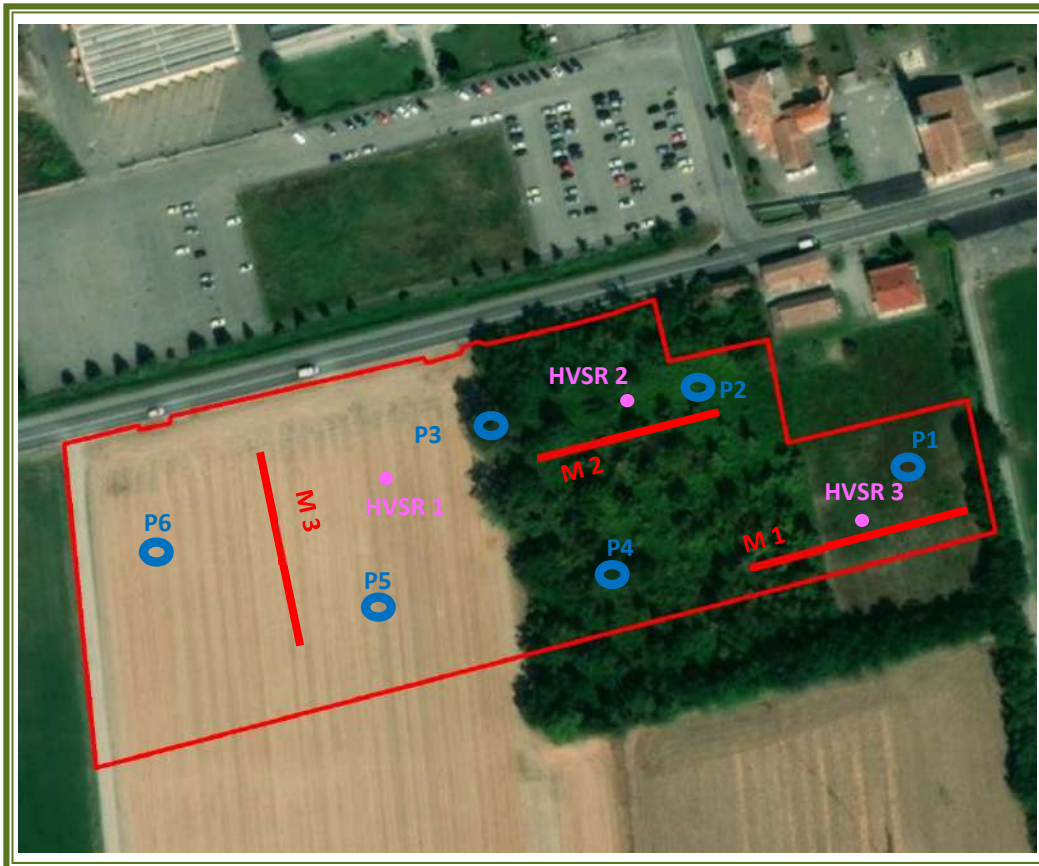


Fig. 3: Ubicazione indagini effettuate (prova penetrometriche dinamiche, prove sismiche MASW e HVSr)

***Sinteticamente le indagini eseguite furono sostanziate nelle seguenti operazioni:***

- a) rilevamento geologico, geomorfologico ed indagini geognostiche/geofisiche di superficie utili alla modellazione geologica geotecnica 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;
- d) valutazioni in merito alla compatibilità tra l'intervento in progetto ed il contesto/pericolosità geoambientale/i in cui si inseriva 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 interessata dal presente studio risulta essere ubicata nella porzione settentrionale del territorio comunale, in loc. Il Pilastro, circa 600 m a nord-est della Frazione Gragnanino, ad una quota media di circa 73 m s.l.m. (Fig. 1). Dal punto di vista morfologico, l'areale oggetto di questo studio si colloca su di un'area sub-pianeggiante all'interno della porzione sud-occidentale della pianura piacentina.

#### *3.1 Inquadramento Geologico - Geomorfológico Regionale*

---

L'area di indagine ricade entro il Foglio 60, denominato "Piacenza", della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100 000 (Fig. 4, 5).

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).

**CARTA GEOLOGICA D'ITALIA 1:100.000  
PIACENZA Foglio 60**



**Legenda**

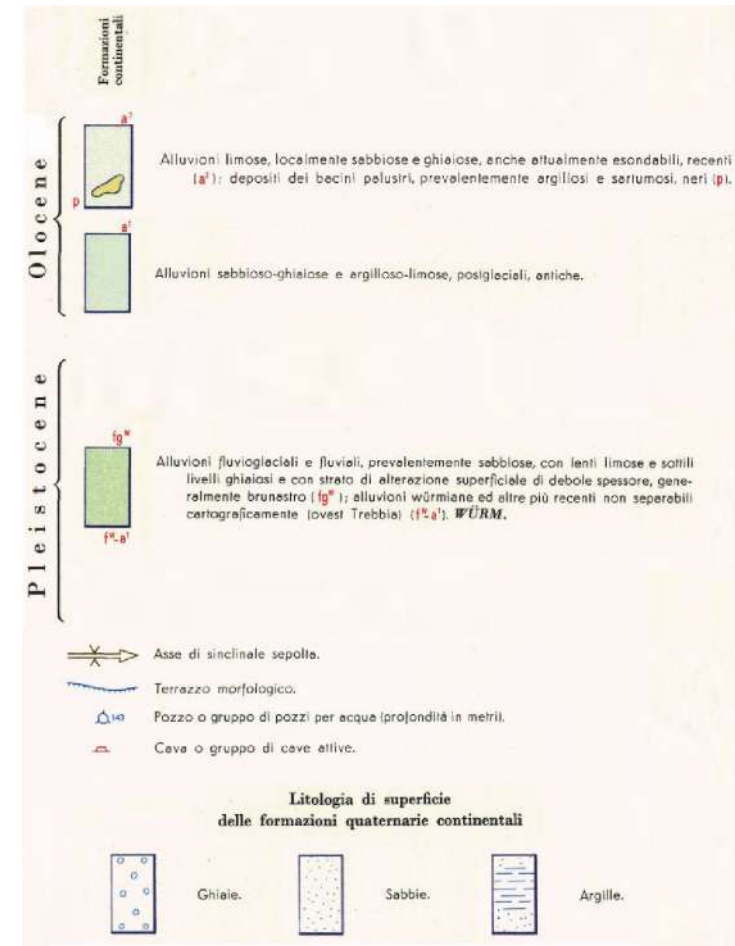


Fig. 4: Estratto Carta Geologica d'Italia 1:100.000 – Foglio n. 60

## SEZIONE GEOLOGICA

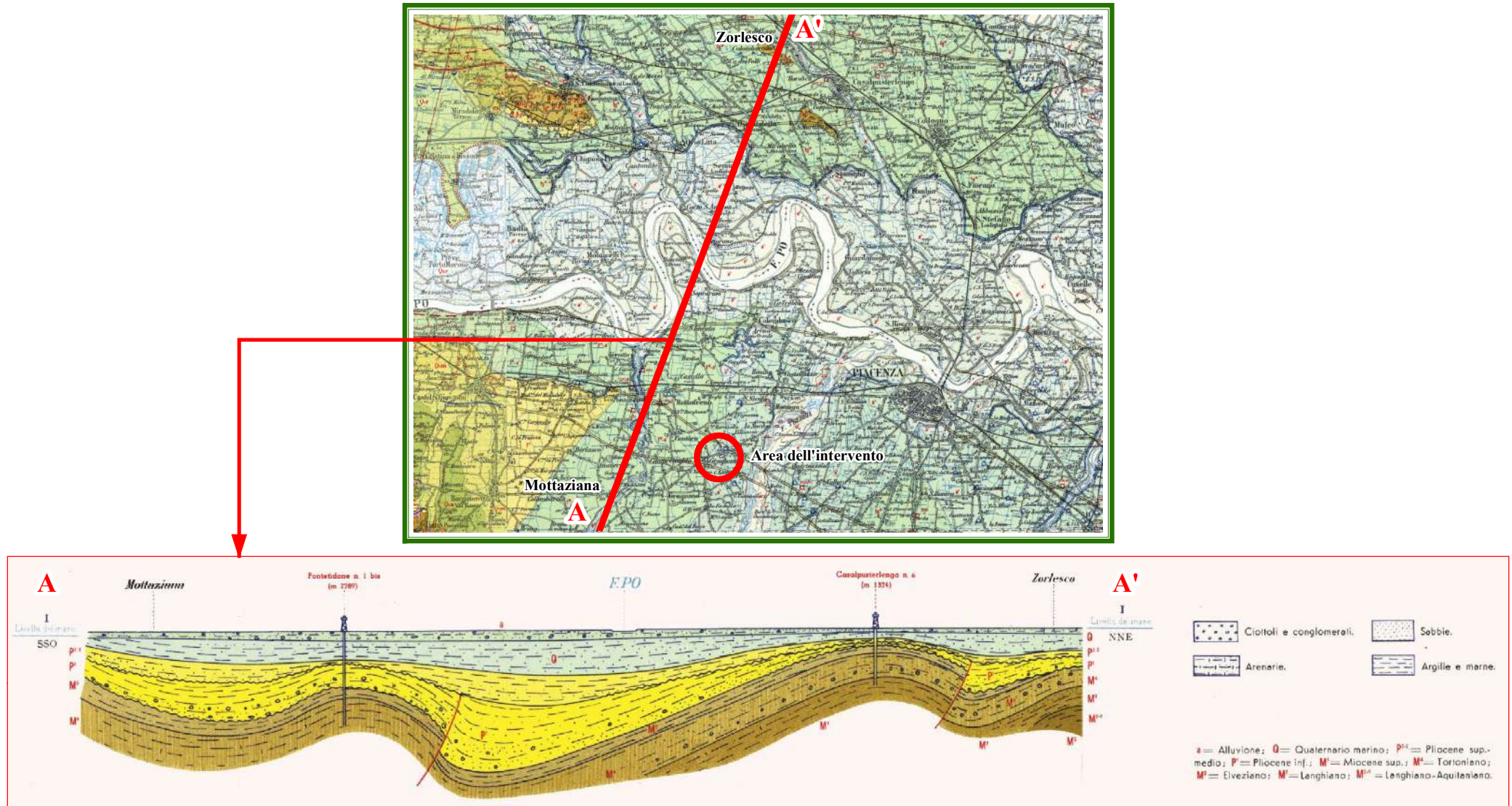


Fig. 5: Sezione Geologica dalla Carta Geologica d'Italia in scala 1:100000 – Foglio 60

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;
- **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 Gragnano Trebbiense affiora unicamente il Sintema (o Alloformazione) Emiliano Romagnolo Superiore che ricopre le unità più antiche. Il Supersintema Emiliano Romagnolo, depositosi 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 (Fig. 5).

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.

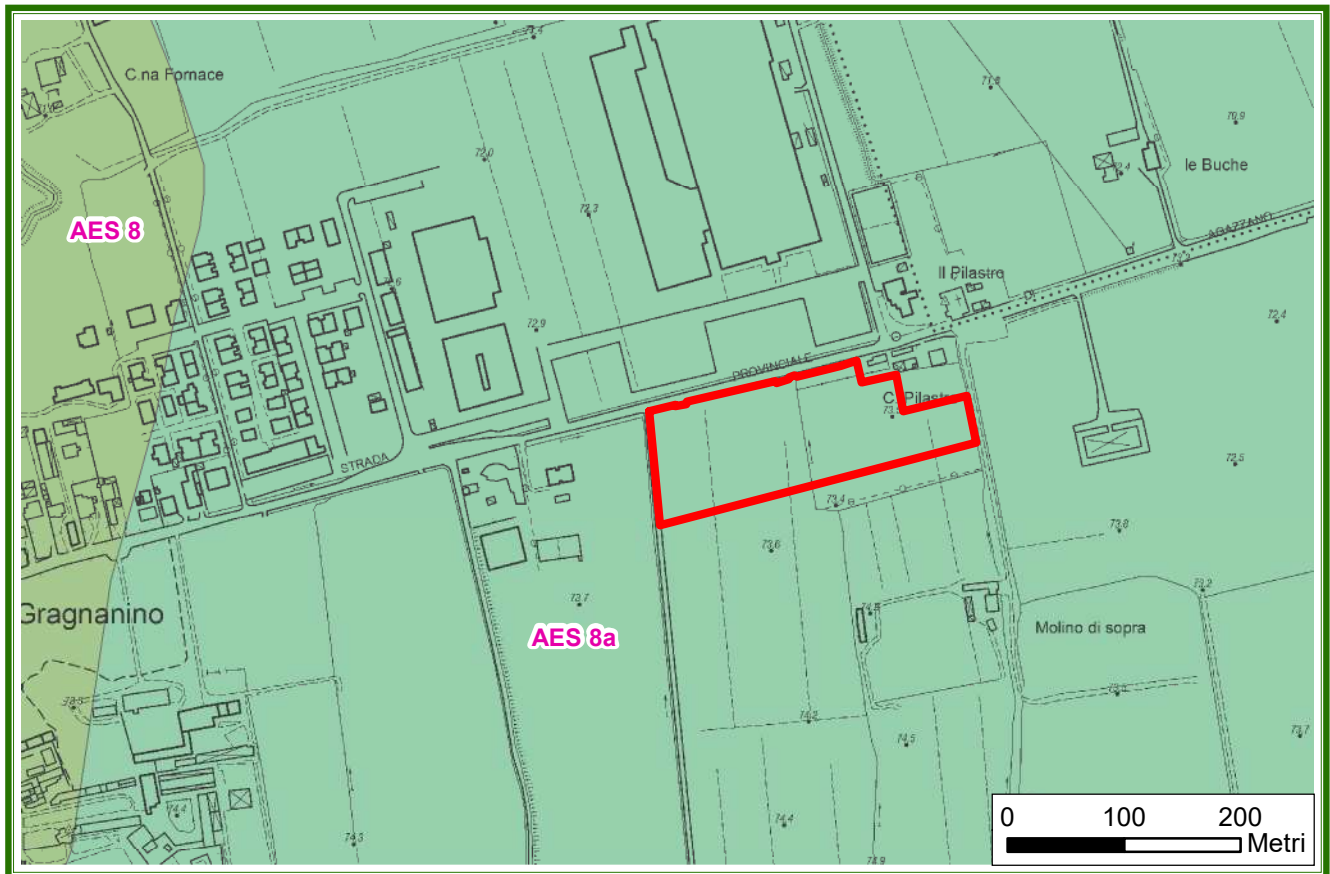
Anche il bacino padano risulta essere interessato dalla strutturazione plio-pleistocenica con una serie di accavallamenti che si spingono verso N, oltre l'attuale corso del Fiume Po, costituendo nel loro insieme il cosiddetto "Fronte sepolto dell'Appennino". Particolare interesse riveste la presenza 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***

---

La zona interessata dal presente studio è ubicata in Località Il Pilastro e, dal punto di vista geologico e geomorfologico, si trova in corrispondenza della parte terminale di un sistema di terrazzi depositatesi nelle varie fasi interglaciali. Più precisamente l'area in oggetto risulta ubicata 450 m circa ad est dalla scarpata, ormai poco riconoscibile, che separa i depositi fluvioglaciali riconducibili all'ultima fase interglaciale (Fase Wurmiana) dai depositi appartenenti alla prima fase postglaciale (Alluvioni antiche). Tale "sistema terrazzato" prograda con una pendenza media del 5% verso nord e risulta limitato, verso Est, dalla scarpata che fa da raccordo alle geometricamente sottostanti "Alluvioni Postglaciali" del F. Trebbia, mentre verso Sud il limite è costituito dalle scarpate, non sempre riconoscibili, che separano il terrazzo wurmiano dai più elevati ed antichi terreni dei terrazzi rissiani e mindeliani. A ovest il limite è costituito dall'incisione del T. Tidone.

## CARTA GEOLOGICA DELLA REGIONE EMILIA - ROMAGNA



### Legenda

- AES8a - Unità di Modena
- AES8 - Subsintema di Ravenna

### **AES8 a – Unità di Modena**

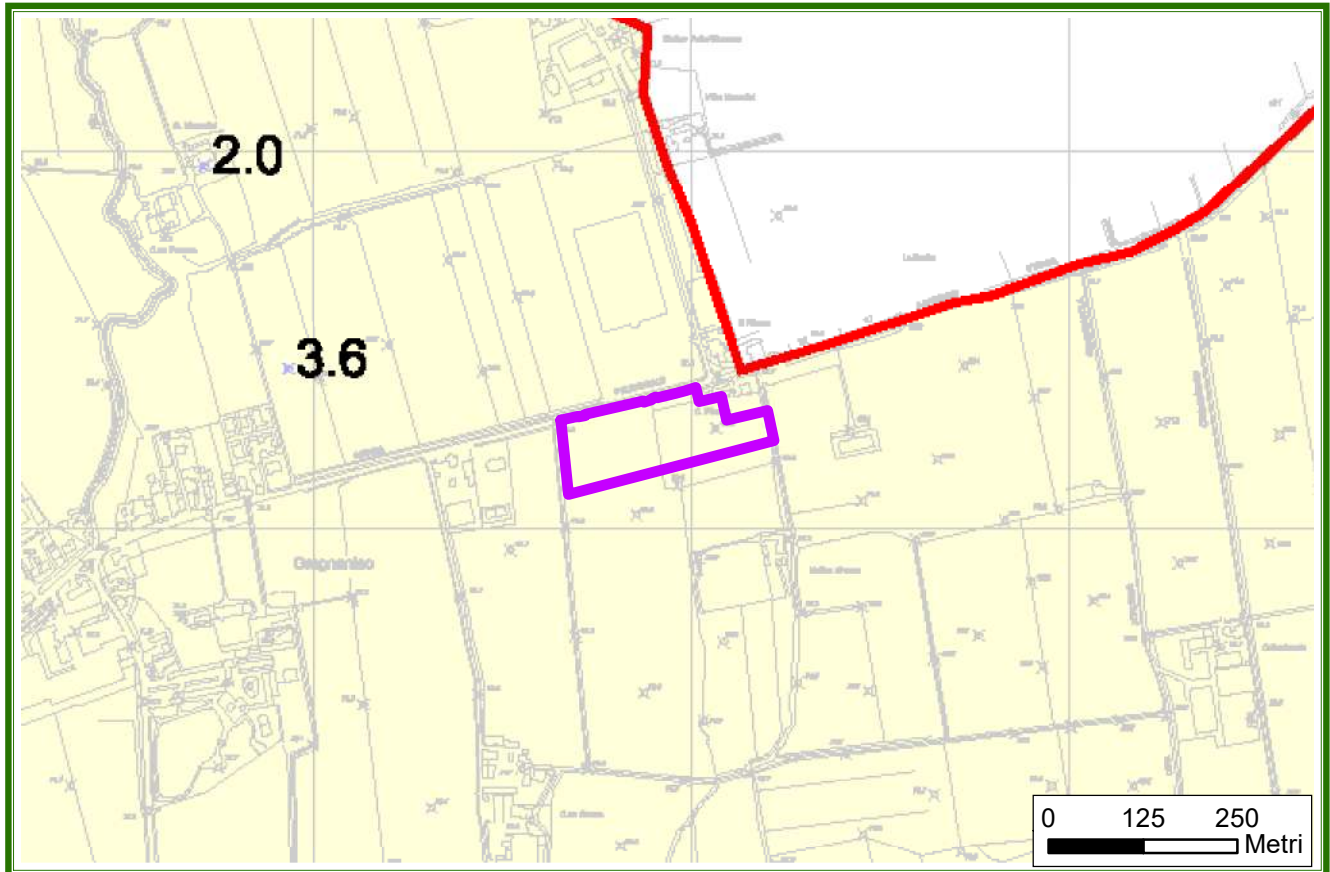
**Descrizione tipologica:** Ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua: depositi alluvionali intravallivi, terrazzati, e di conoide. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore (poche decine di cm). Lo spessore massimo dell'unità è di alcuni metri.

**Ambiente:** Piana alluvionale

**Ubicazione:** Pianura

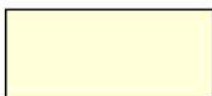
Fig. 6: Estratto Carta Geologica Regionale

## ASPETTI LITOLOGICI E LITOTECNICI



### Legenda

#### Successione stratigrafica TIPO 1



Successione stratigrafica costituita da ghiaie e sabbie prevalenti con intercalazioni di argille e/o limi, talora con spessori di oltre 5 metri.

Fondazioni dirette sono possibili per modeste condizioni di carico, in alternativa sono agevoli fondazioni indirette, essendo collocato lo strato di ghiaia a profondità contenute.

⊗ 2.0

Profilo stratigrafico (Fonte Servizio Geologico Regione Emilia Romagna); il numero indica la profondità del tetto delle ghiaie

Fig. 7: Estratto Carta degli Aspetti Litologici e Litotecnici - PSC Gragnano Trebbiense

Nel dettaglio, i depositi affioranti nell'area oggetto di studio sono stati identificati come appartenenti al Sintema emiliano-romagnolo superiore e più in particolare al Subsintema di Ravenna, Unità di Modena "AES8a" (Fig. 6). L'unità è costituita, sia in contesto intravallivo che di pianura, da depositi alluvionali terrazzati, adiacenti all'alveo di piena degli attuali corsi d'acqua. La scarpata fluviale che la separa dalla parte più antica del Subsintema di Ravenna varia da 1 a 2 m di altezza, mentre la scarpata fluviale che la separa dalle alluvioni attuali varia da 0.5 a 3 m di altezza. Localmente è sede di attività agricola e talora di insediamenti produttivi. L'unità è costituita da ghiaie prevalenti con livelli e lenti di sabbie, ricoperte da una coltre limoso-argillosa discontinua. Il fronte di alterazione è di limitato spessore (poche decine di cm). Lo spessore massimo dell'unità è di qualche metro. Nel sito in esame tale unità è stata intercettata a circa 0.5-1.5 m di profondità.

La Carta degli Aspetti Litologici e Litotecnici del PSC (Fig. 7) conferma che il sito è costituito in prevalenza da ghiaie e sabbie prevalenti con intercalazioni di argille e/o limi, talora con spessori di oltre 5 m.

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

---

A grande scala, il reticolo idrografico superficiale è caratterizzato dalla presenza del Fiume Po, che scorre circa 7.5 km a nord, e dei suoi tributari, caratterizzati da un orientamento complessivamente perpendicolare alla dorsale appenninica: il Fiume Trebbia, che scorre circa 1.5 km ad est del sito, ed il Torrente Tidone, che scorre invece ad ovest, alla distanza di circa 3 km. A questi si aggiunge una fitta rete di corpi idrici secondari (rii e canali di ordine inferiore) che risulta, in alcuni tratti, fortemente modificata dall'azione antropica (irrigidimento delle sponde e tombatura) operata sia per esigenze urbanistiche che agricole. Nello specifico, il Rio Marazzani attraversa l'area di studio, da nord a sud, nella parte centrale, seguendone poi in parte il limite nord-orientale; il Rio Vescovo, invece, coincide con il limite più orientale dell'area di interesse.

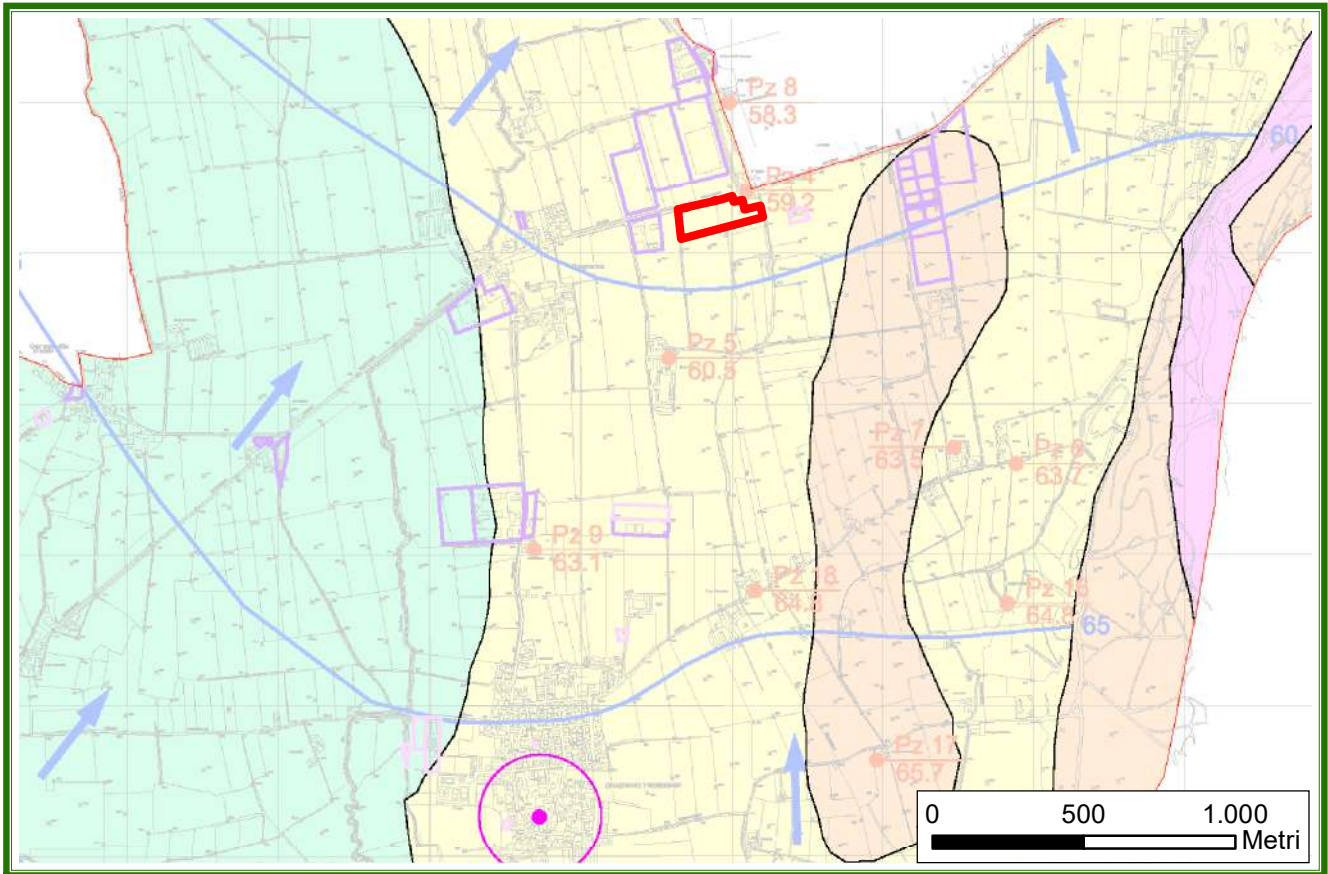
Dal punto di vista idrogeologico, il sito in esame si inserisce in un contesto acquifero di pianura caratterizzato da risorse idriche sotterranee cospicue e uniformemente distribuite (rispetto alle zone di collina). Esse sono identificabili nella falda freatica, presente pressoché ovunque, e molto spesso anche in falde 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'asse principale di flusso della falda più superficiale è generalmente diretto verso Nord – Nord Est, in accordo con l'orientamento della rete idrografica principale e del gradiente topografico. La falda superficiale è principalmente alimentata per filtrazione di subalveo e, secondariamente, per filtrazione da monte e viene ampiamente utilizzata a livello locale per uso irriguo e domestico, localmente anche a scopo acquedottistico.

Secondo la Carta Idrogeologica del PSC (Fig. 8) l'area indagata è classificata come “zona con vulnerabilità Alta – litologia affiorante costituita da terreni limosi e tendenzialmente limosi, a copertura di un substrato ghiaioso relegato a profondità inferiori di 10 metri dal piano campagna: falda a pelo libero”. Le verticali penetrometriche, spinte fino ad una profondità massima di 3.0 m dal p.c., non hanno evidenziato la presenza di una falda idrica sotterranea, alla data di esecuzione della prova; ciò concorda con la carta idrogeologica del PSC di Gragnano T.se che indica la presenza della falda in corrispondenza dell'area di studio ad una profondità di circa 14-15 m dal p.c.

Non è comunque da escludere la possibile presenza di locali livelli idrici effimeri (falde sospese) al di sopra del livello della falda principale. La loro natura discontinua ed effimera è imputabile alla presenza di locali lenti poco permeabili (limose o limoso – argillose) le quali interrompono il moto di filtrazione verso il basso dell'acqua, creando così delle riserve idriche sotterranee limitate sia nello spazio che nel tempo. 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. 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



### Legenda

- Zone con vulnerabilità Elevata**  
Litologia affiorante costituita da ghiaie e/o sabbie rappresentanti la zona insatura soprastante l'acquifero principale; copertura fine assente o presente con spessori ridotti, perturbata dai processi biologici delle radici e degli animali; falda a pelo libero
- Zone con vulnerabilità Alta**  
Litologia affiorante costituita da terreni limosi e tendenzialmente limosi, a copertura di un substrato ghiaioso relegato a profondità inferiori di 10 metri dal piano campagna; falda a pelo libero
- Zone con vulnerabilità Media**  
Litologia affiorante costituita da terreni limosi e tendenzialmente limosi, a copertura di un substrato ghiaioso relegato a profondità maggiori di 10 metri dal piano campagna, oppure caratterizzata da terreni argillosi e tendenzialmente argillosi, a copertura di un substrato ghiaioso relegato a profondità inferiori di 10 metri dal piano campagna; falda a pelo libero
- Pz 7**  
89.9  
Punti di misura del livello idrico
- 89**  
Isopieze (m s.l.m.) - campagna di misura giugno 1998  
Definiscono l'assetto morfo-planimetrico del livello idrico
- Direzione del flusso idrico sotterraneo**  
Esprime la direzione del moto della falda idrica
- Pozzi ad uso idropotabile con relativa fascia di rispetto dei 200 m**
- Aree produttive esistenti**
- Attrezzature tecnologiche esistenti**

Grado di vulnerabilità	Litologia di superficie	Profondità tetto ghiaie	Caratteristiche dell'acquifero
M Medio	Argilla	< 5 m	Falda a pelo libero
	Limo	> 10 m	Falda a pelo libero
	Limo	< 10 m	Falda in pressione
	Sabbia	> 10 m	Falda in pressione
A Alto	Sabbia	> 10 m	Falda a pelo libero
	Sabbia e/o Ghiaia	< 10 m	Falda a pelo libero
E Elevato	Limo	< 10 m	Falda a pelo libero
	Sabbia	< 10 m	Falda a pelo libero

Classi di vulnerabilità degli acquiferi (GNDCI - CNR; AA.VV., 1988)

Fig. 8: Estratto Carta degli Aspetti Idrogeologici - PSC Gragnano Trebbiense

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

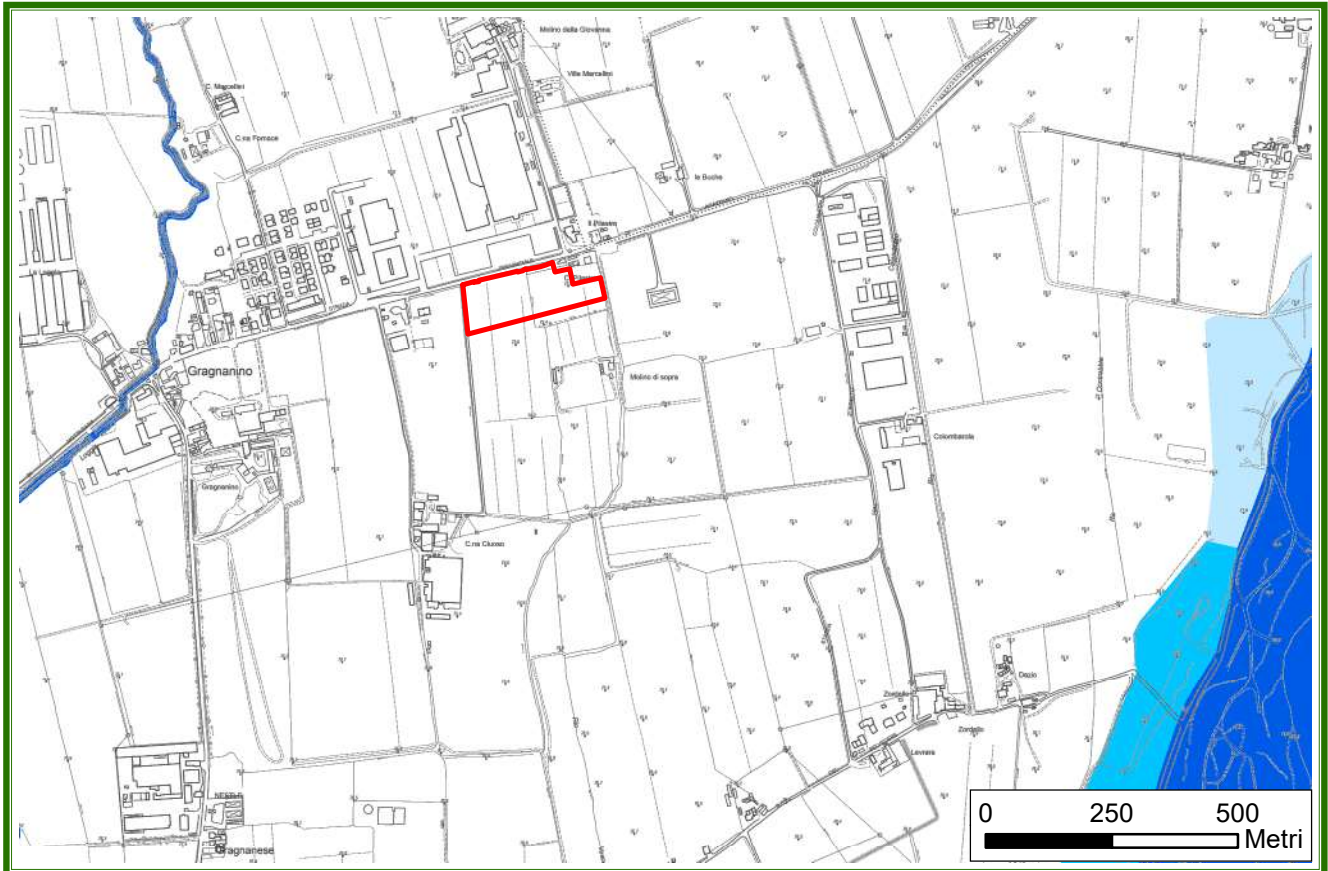
L'esame degli strumenti di pianificazione e programmazione territoriale, tra cui il Piano Strutturale Comunale (PSC) e il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP), ha lo scopo di determinare le principali operazioni di sviluppo e trasformazione previste dalle Autorità competenti per il territorio nel quale è stata inserita l'opera. Inoltre, vengono messi in evidenza eventuali vincoli di varia natura esistenti nell'area prescelta, limitanti nella futura pianificazione.

La Direttiva 2007/60/CE, relativa alla valutazione e alla gestione del rischio di alluvioni, ha come scopo quello di ridurre i rischi derivanti dai fenomeni alluvionali nei confronti della vita e salute umana, dell'ambiente, del patrimonio culturale, delle attività economiche e delle infrastrutture strategiche. La Direttiva prevede la redazione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni PGRA, nel quale vengono rappresentate le perimetrazioni degli scenari di pericolosità e rischio da alluvioni. Come evidenziato nelle carte della pericolosità da alluvione, l'area di studio ricade all'esterno degli scenari di rischio sia relativamente al reticolo secondario collinare e montano (Fig. 9) che a quello secondario di pianura (Fig. 10).

La salvaguardia delle acque destinate al consumo umano si realizza nel PTCP attraverso l'individuazione delle aree di tutela delle acque superficiali e sotterranee. Nel caso specifico, secondo la cartografia disponibile, il sito in oggetto ricade nel settore di ricarica di tipo "B" (Fig. 11). Si tratta di aree caratterizzate da ricarica indiretta della falda e generalmente si collocano tra il settore A e la pianura, idrogeologicamente e identificabile con un sistema debolmente compartimentato in cui alla falda freatica superficiale segue una falda semi-confinata in collegamento per drenanza verticale. Inoltre, la zona è caratterizzata da una vulnerabilità intrinseca alta che necessita di specifiche necessità di protezione/risanamento (artt. 34-35 e 36bis delle NTA del PTCP). Il PTCP, in riferimento ai contenuti del PDGPO, valuta anche la tutela delle risorse idriche relativamente agli stati e agli obiettivi di qualità per i corpi idrici (specifica trattazione in **Allegato 4**).



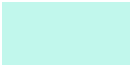


## PERICOLOSITÀ DA ALLUVIONE DEL RETICOLO SECONDARIO COLLINARE E MONTANO

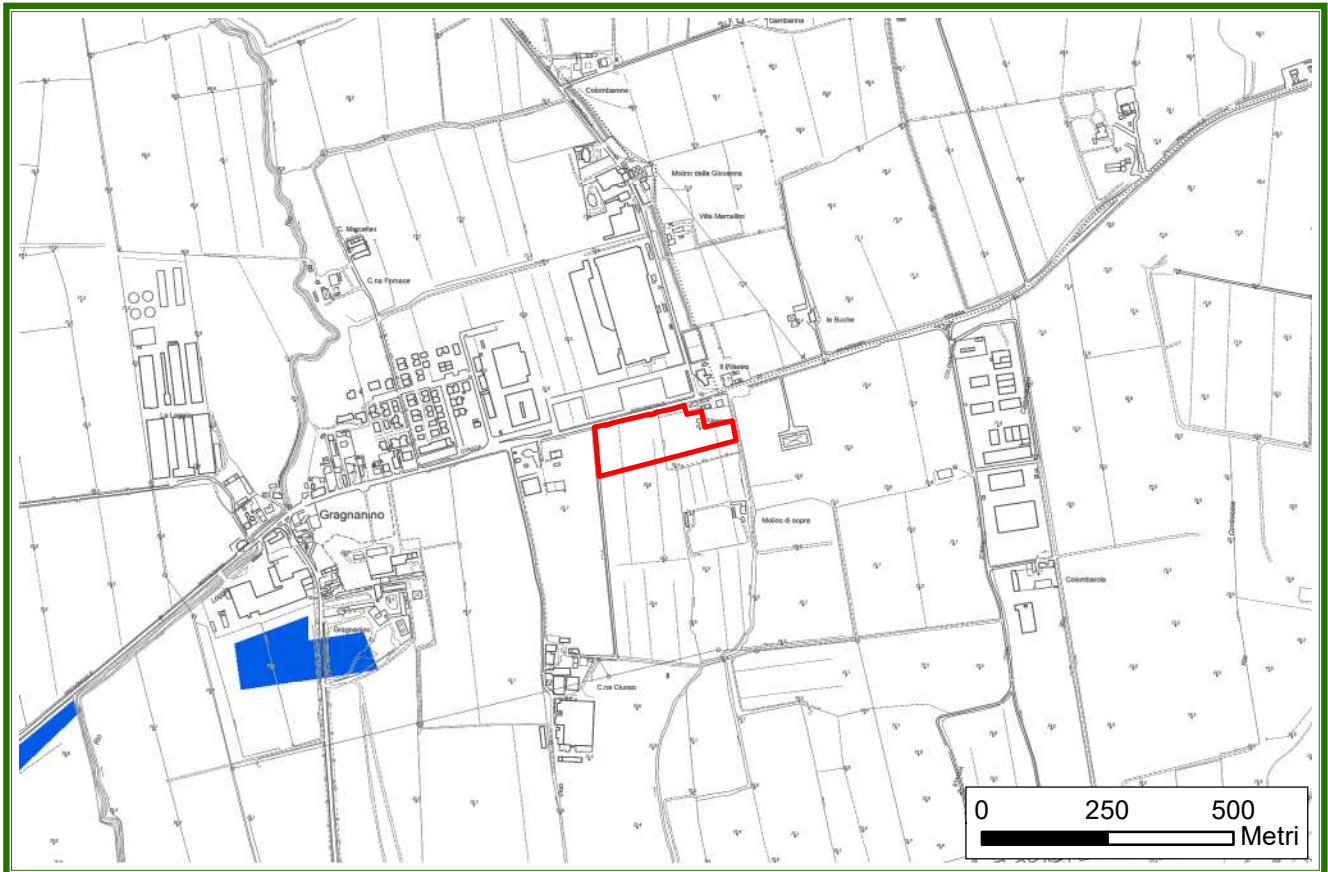


### Legenda

#### Pericolosità da alluvione del reticolo 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)

## PERICOLOSITÀ DA ALLUVIONE DEL RETICOLO SECONDARIO DI PIANURA



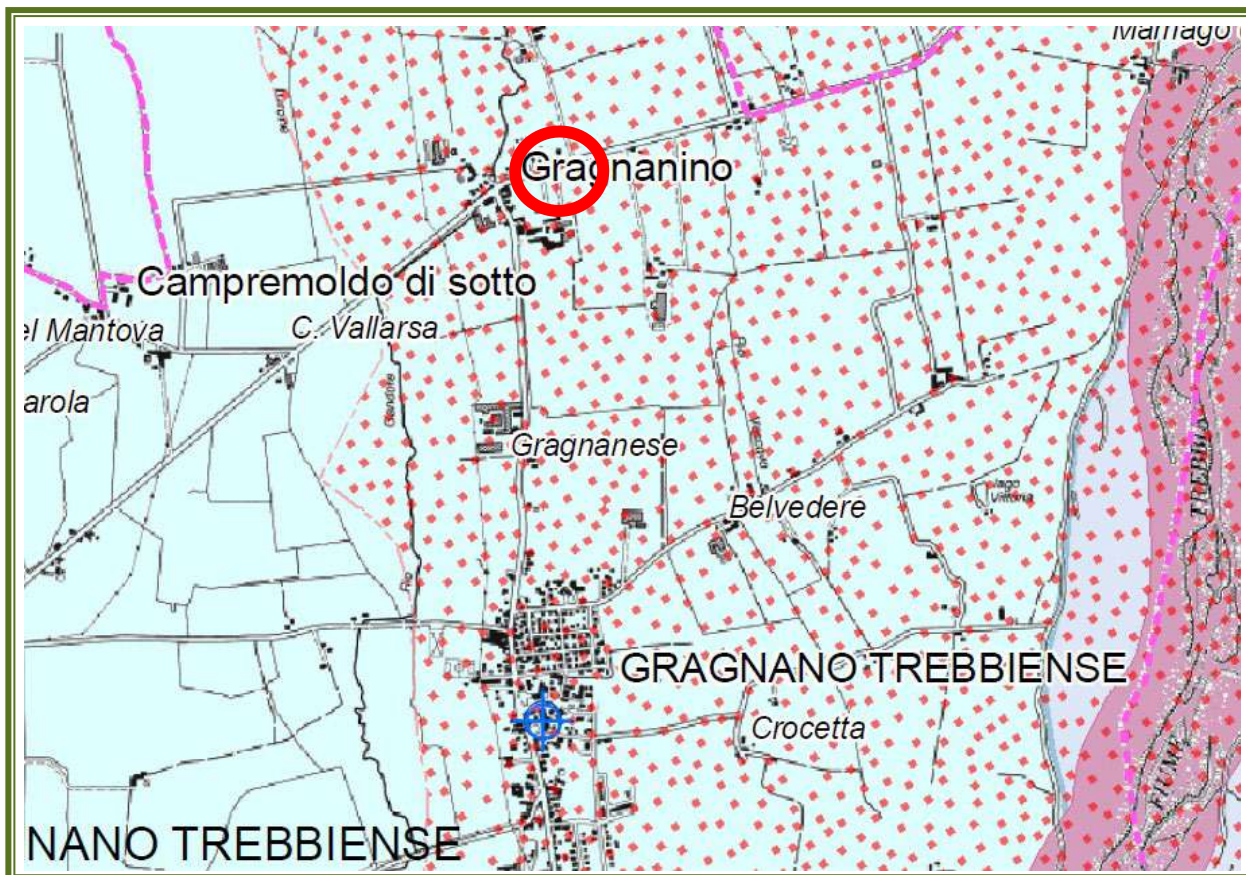
### Legenda

#### 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)

Fig. 10: Estratto Carta della pericolosità da alluvione del reticolo secondario - Direttiva 2007/60/CE

## CARTA DELLA TUTELA DELLE RISORSE IDRICHE



### LEGENDA






-  Settore di ricarica di tipo D - Alimentazione laterale subalvea
-  Settore di ricarica di tipo A - Ricarica diretta
-  Settore di ricarica di tipo B - Ricarica indiretta
-  Settore di ricarica di tipo C - Alimentazione dei settori di tipo A e B
-  Zone di vulnerabilità intrinseca alta, elevata ed estremamente elevata dell'acquifero superficiale

Fig. 11: Estratto Carta della Tutela delle Risorse Idriche – PTCP di Piacenza

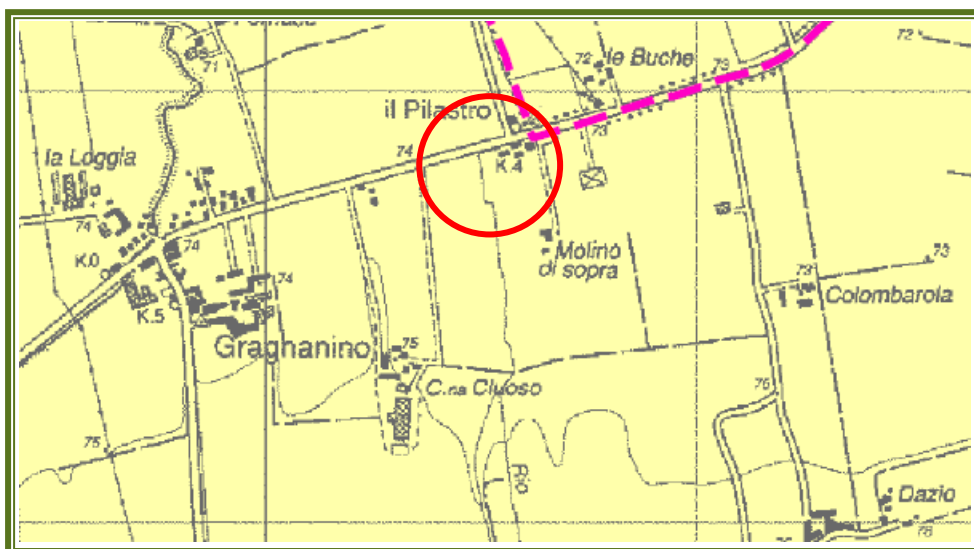
Lo strumento di pianificazione provinciale è chiamato a valutare la pericolosità sismica locale, intesa come il modo in cui l'assetto dei luoghi risponde all'input sismico. Esistono infatti diverse caratteristiche geologiche del territorio che possono, durante o in seguito al terremoto, fornire amplificazione del moto sismico e fenomeni di instabilità del terreno. Dall'analisi dell'estratto della Carta delle Aree Suscettibili di Effetti Sismici Locali (Fig. 12), si evince che il sito di interesse è classificato D - Depositi detritici, depositi alluvionali ghiaiosi, limosi o indifferenziati, substrato roccioso con  $V_{s30} < 800$  m/s e assimilabili. Gli effetti di sito attesi sono di amplificazione litologica, (attribuibile a fenomeni di intrappolamento delle onde sismiche nel deposito per effetto di riflessioni multiple tra terreni a diversa impedenza sismica e a fenomeni di risonanza tra onde sismiche riflesse e incidenti) ed è richiesto il secondo livello di approfondimento (vedi **Allegato 3** alla presente relazione).

Anche lo strumento di pianificazione comunale è chiamato a valutare la pericolosità sismica locale, ponendo particolare attenzione al territorio comunale di riferimento ed analizzando in modo più approfondito la materia di riduzione del rischio sismico (vedi **Allegato 3** alla presente relazione). In linea con le disposizioni del PTCP, anche lo strumento comunale inserisce la lottizzazione di interesse in un'area di conoide alluvionale, costituita da depositi alluvionali che possono dare origine ad un effetto di amplificazione stratigrafica in caso di sisma (Fig. 13).

In linea con le informazioni ricavate dalla cartografia del PTCP, anche il PSC (Fig. 14) colloca l'area di interesse in una zona di ricarica indiretta della falda, classificata come "settore B" (art. 42 del PSC), idrogeologicamente identificabile come sistema debolmente compartimentato in cui alla falda freatica superficiale segue una falda semiconfinata in collegamento per drenanza verticale.

Nella carta della fattibilità geologica alle trasformazioni dell'uso del suolo del PSC (Fig. 15), l'area di interesse viene classificata come "zona a fattibilità con modeste limitazioni all'insediamento residenziale e industriale". Si tratta di zone che presentano problematiche sotto il profilo geotecnico e idraulico, ma facilmente risolvibili attraverso adeguati accorgimenti costruttivi da definire in sede di progettazione, sulla base di specifici approfondimenti per la mitigazione del rischio. Tutti i nuovi interventi edilizi dovranno essere realizzati con modalità atte a consentire una corretta regimazione delle acque superficiali. In particolare i materiali impiegati per le pavimentazioni dovranno favorire l'infiltrazione nel terreno e comunque la ritenzione temporanea delle acque di precipitazione.

## CARTA DELLE AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI SISMICI LOCALI



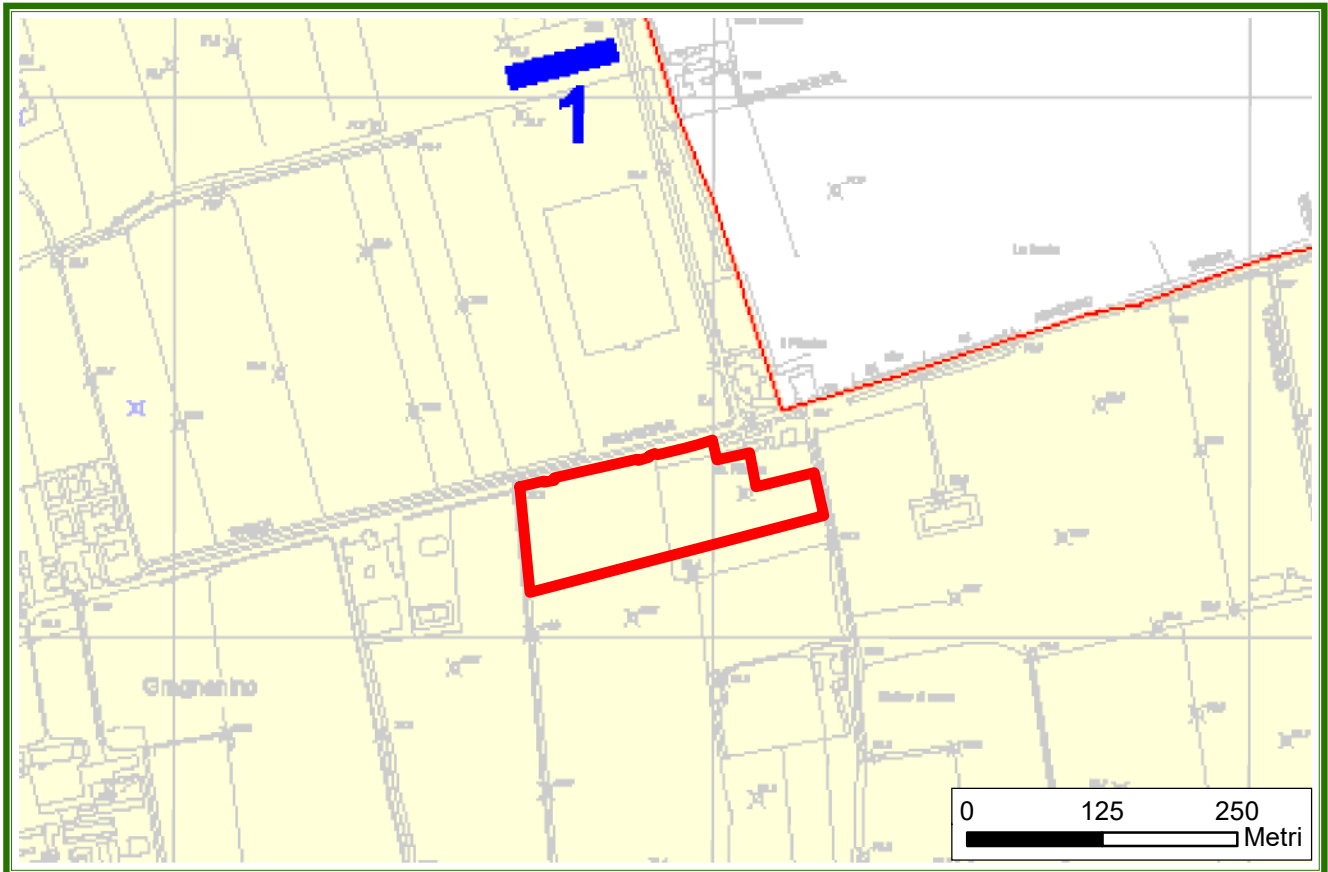
### Legenda

D Depositi detritici, depositi alluvionali ghiaiosi, limosi o indifferenziati, substrato roccioso con  $V_{s30} < 800$  m/s e assimilati

CLASSE	EFFETTI DI SITO					LIVELLO DI APPROFONDIMENTO (rif. Delib. A.L. n. 112/2007)
	amplificazione litologica	amplificazione topografica	instabilità di versante	cedimenti	liquefazione	
<b>F1i</b>	X	X	X			III
<b>F1</b>	X		X			III
<b>F2i</b>	X	X	X			III
<b>F2</b>	X		X			III
<b>Di</b>	X	X	X			III
<b>Si</b>	X	X	X		X	III (classe Di se si esclude il rischio di liquefazione)
<b>Ci</b>	X	X	X	X		III (classe Di se si esclude il rischio di cedimenti)
<b>S</b>	X				X	III (II, classe D, se si esclude il rischio di liquefazione)
<b>C</b>	X			X		III (II, classe D, se si esclude il rischio di cedimenti)
<b>T</b>	X					II (III, classe Di, in caso di inclinazione critica degli eventuali orizzonti di alterazione/fratturazione di spessore > 5m)
<b>I</b>		X				II (III, classe Di, in caso di orizzonti di alterazione/fratturazione di spessore > 5m)
<b>D</b>	X					II
<b>R</b>						(II, classe D, in caso di orizzonti di alterazione/fratturazione di spessore > 5m)

Fig. 12: Estratto Carta delle Aree Suscettibili di Effetti Sismici Locali – PTCP di Piacenza

## CARTA DEGLI ASPETTI SISMICI



### Legenda

#### ZONE CON MEDIO-BASSO RISCHIO DI AMPLIFICAZIONE DELL'ACCELERAZIONE SISMICA

Il profilo stratigrafico, fino alla profondità di 30 metri dal piano campagna, nell'ambito del territorio comunale di Gragnano può essere schematizzato come segue:

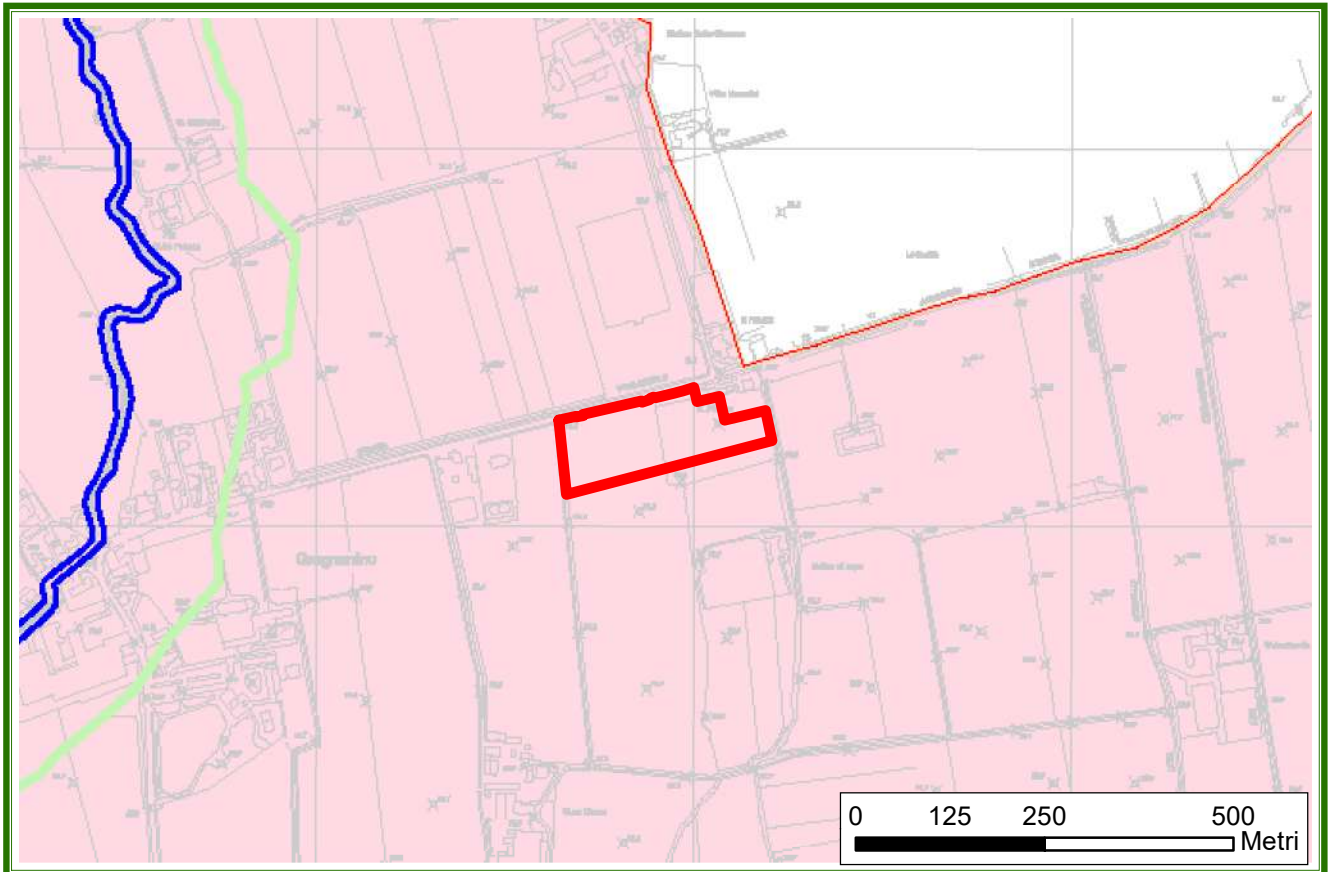
- argille e limi prevalenti soffici dell'olocene e tardo pleistocene con spessore compreso tra un minimo di 1,0 metri ed un massimo di 5 metri, per un valore medio pari a 3 metri;
- ghiaie in matrice sabbiosa e prevalenti con spessore medio pari a 25metri;

LA CATEGORIA DI SUOLO E' TIPO B

Indagine sismica (Ambler 2007)

Fig. 13: Estratto Carta degli Aspetti Sismici - PSC Gragnano Trebbiense

## SISTEMA IDROGEOLOGICO: CARTA DEI VINCOLI



### Legenda

#### SETTORE B

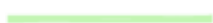


Aree caratterizzate da ricarica indiretta della falda, generalmente comprese tra la zona A e la media planura, idrogeologicamente identificabili come sistema debolmente compartimentato, in cui la falda freatica superficiale segue una falda semiconfinata in collegamento per drenanza verticale.

#### Fasce fluviali coerenti con PTCP 2007

A1

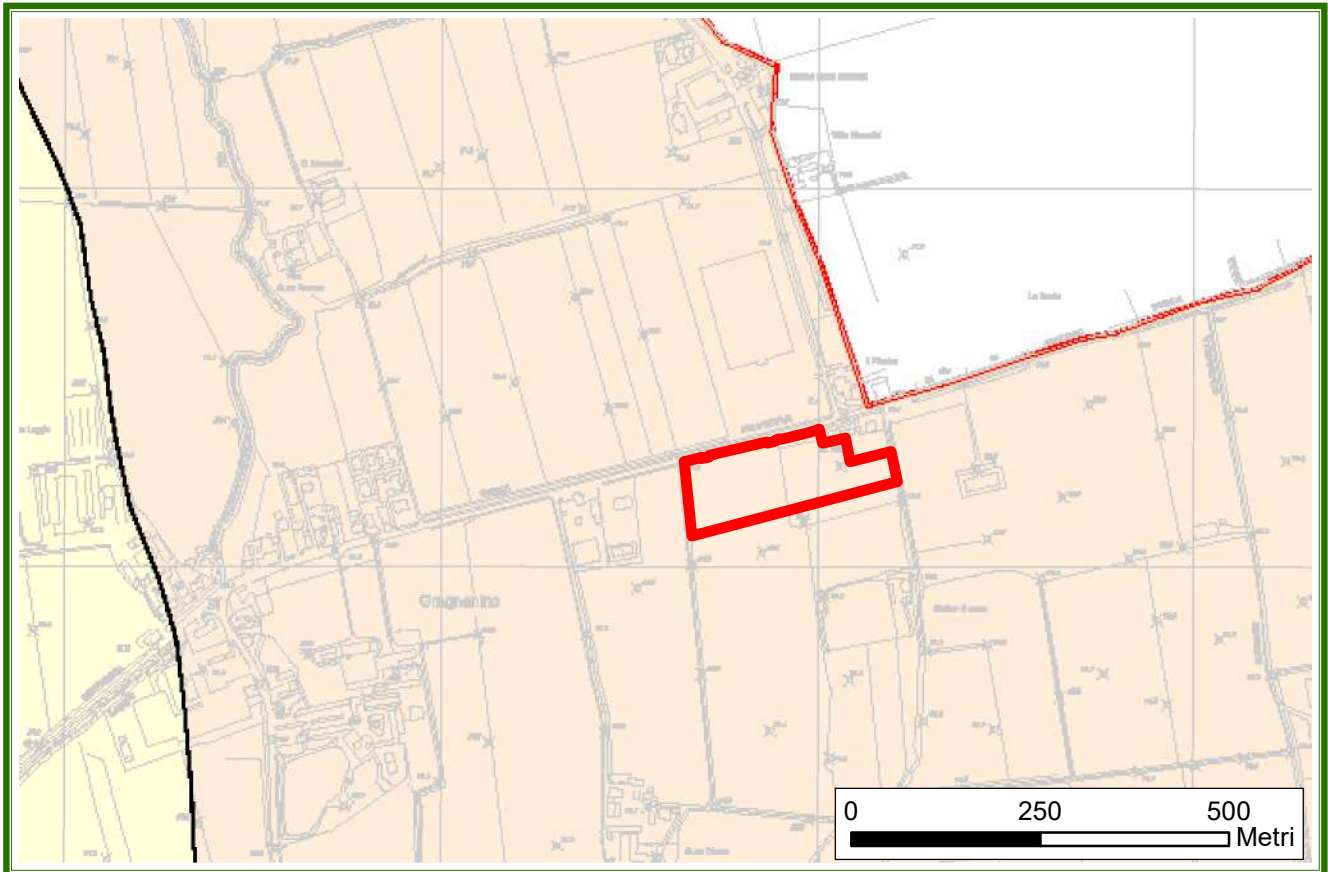
Zona A1 - Alveo attivo o Invaso



Limite della zona a vincolo paesaggistico ai sensi del D.L.vo 42.2004

Fig. 14: Estratto Carta dei Vincoli del Sistema Idrogeologico - PSC Gragnano Trebbiense

## FATTIBILITA' DELLE TRASFORMAZIONI



### Legenda





-  Zone a fattibilità senza particolari limitazioni all'insediamento residenziale e industriale
-  Zone a fattibilità con modeste limitazioni all'insediamento residenziale e industriale
-  Zone a fattibilità con consistenti limitazioni all'insediamento residenziale e industriale
-  Zone a fattibilità con gravi limitazioni all'insediamento residenziale e industriale

Fig. 15: Estratto Carta della Fattibilità delle Trasformazioni - PSC Gragnano Trebbiense



Tutti i nuovi interventi edilizi dovranno inoltre essere realizzati in modo da non alterare la funzionalità idraulica del contesto in cui s'inseriscono garantendo il mantenimento dell'efficienza della rete di convogliamento e di recapito delle acque superficiali. È vietato interrompere e/o impedire il deflusso superficiale dei fossi e dei canali nelle aree agricole, sia con opere definitive sia provvisorie, senza prevedere un nuovo e/o diverso recapito per le acque di scorrimento intercettate.

Per gli interventi edilizi che provochino l'impermeabilizzazione di grandi superfici di terreno, al fine di evitare un aumento eccessivo di carico idraulico nella rete di scolo superficiale e nella rete fognaria esistente si dovranno utilizzare degli appositi bacini di accumulo temporaneo per la raccolta delle acque intercettate dalle coperture degli edifici nel rispetto di quanto previsto dal DPR 18.02.1999 n. 238. I manufatti di raccolta, di recapito e di accumulo delle acque meteoriche dovranno essere compresi, unitariamente, nelle opere di urbanizzazione primaria.

Per quanto concerne la gestione territoriale in termini di strumentazione urbanistica, la carta dei Vincoli Antropici ed Infrastrutturali del PSC (Fig. 16) e la Carta dei vincoli del Quadro Conoscitivo del PSC (Fig. 17) evidenziano la fascia di rispetto stradale nella porzione settentrionale dell'area e quella di rispetto cimiteriale nella porzione più orientale.

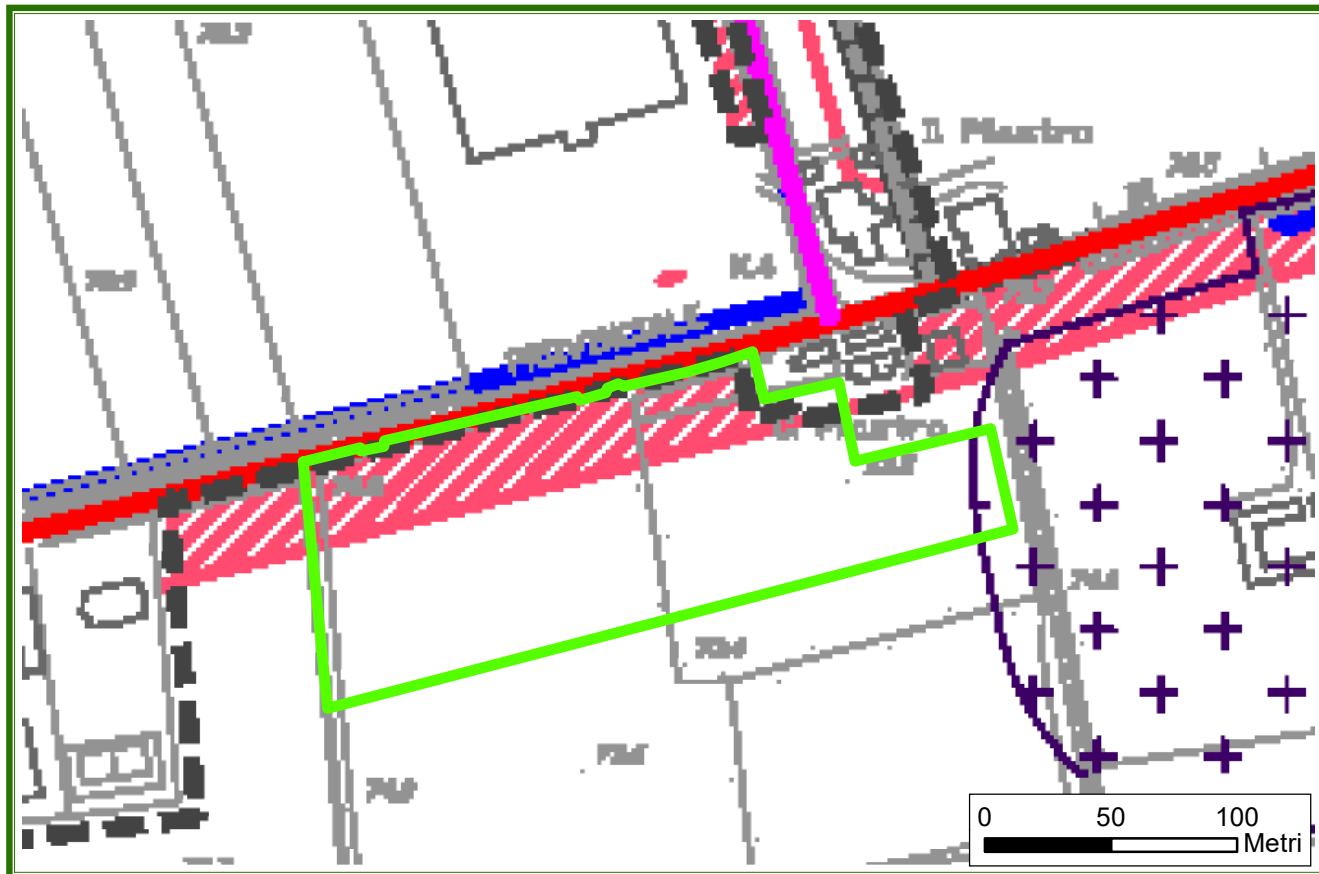
Dalla lettura della Carta dei Condizionamenti della Pianificazione Sovraordinata del PSC (Fig. 18) e dalla Carta della Tutela Ambientale, Paesaggistica e Culturale del PTCP (Fig. 19) si evince che l'area interessata dall'intervento si trova all'interno di un ambito interessato da bonifiche storiche di pianura (art.17 PSC 2). In tali aree gli interventi di nuova edificazione devono essere coerenti con l'organizzazione territoriale e di norma costituire unità accorpate urbanisticamente e paesaggisticamente con l'edificazione preesistente. L'area ricade inoltre all'interno delle zone di tutela dei corpi idrici superficiali e sotterranei (art. 36 bis del PTCP).

La Carta dei Vincoli Storici e Ambientali del PSC (Fig. 20) e la Carta delle aree e dei beni soggetti a vincolo culturale e paesaggistico (dlgs 42/2004) del PTCP (Fig. 21) non segnalano nessun elemento tutelato nell'area di studio.

Dall'analisi della Carta Schema Direttore della Rete Ecologica del PTCP (Fig. 22) si evince che la zona ricade negli ambiti di connessione da consolidare e migliorare in pianura.

Secondo la Carta delle Vocazioni Territoriali e degli Scenari di Progetto del PTCP (Fig. 23) il sito ricade tra gli ambiti ad alta vocazione produttiva-agricola.

## VINCOLI ANTROPICI ED INFRASTRUTTURALI

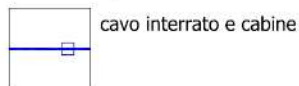


### Legenda

#### TUTELE ANTROPICHE ED INFRASTRUTTURALI (art.31 I.N.)

Rete elettrica (L.R. 30/2000 e relativa direttiva di applicazione DGR 197/2001)

**Reti elettriche a media tensione (tensione pari o inferiore a 35 kV) e relative fasce di rispetto**

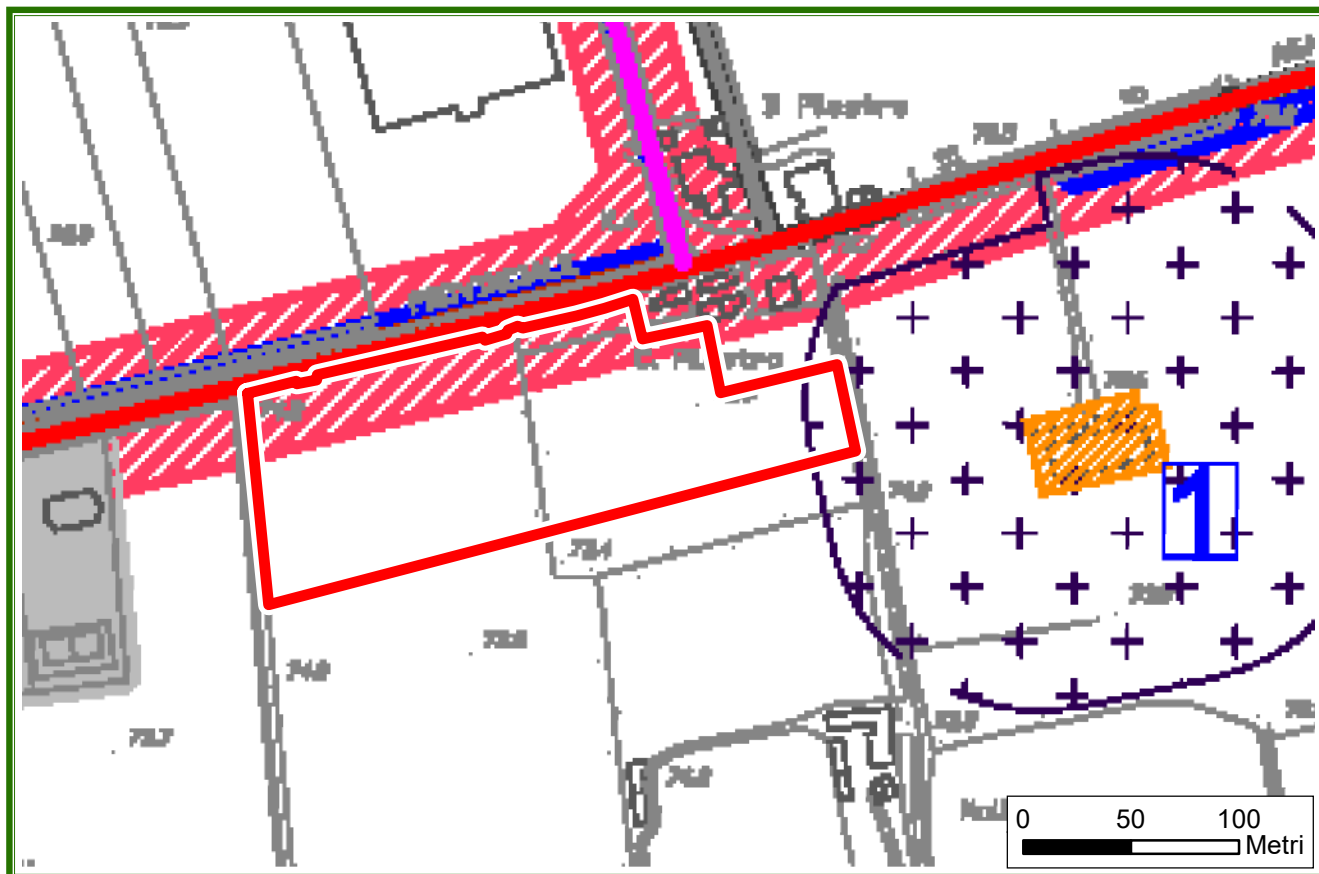


**Reti gas e relative fasce di rispetto (D.L.M. 24/11/1984 - DM 21/12/91)**



Fig. 16: Estratto Carta dei Vincoli Antropici ed Infrastrutturali - PSC Gragnano Trebbiense

## CARTA DEI VINCOLI




### Legenda

#### VINCOLI ANTROPICI E INFRASTRUTTURALI

Rete elettrica (L.R. 30/2000 e relativa direttiva di applicazione DGR 197/2001)

Reti elettriche a media tensione (tensione pari o inferiore a 35 kV) e relative fasce di rispetto

 cavo interrato

 Viabilità secondaria e relativa fascia di rispetto (DPR 610/1996)  
Strade extraurbane secondarie ( strade di tipo C) con fascia di rispetto di 30 m.



 Viabilità locale e relativa fascia di rispetto (DPR 610/1996)  
Strade locali ( strade di tipo F) con fascia di rispetto di 20 m.

 Fasce di rispetto cimiteriale  
(R.D. 1265/34, DPR 285/1990)  
Rappresentano le zone attorno ai cimiteri, all'interno delle quali non è consentita alcuna trasformazione eccetto gli interventi di manutenzione. Per i cimiteri esistenti la fascia di rispetto è di 100 m, ridotta con parere favorevole AUSL; per eventuali ampliamenti tale ampiezza non può essere inferiore a 50 m dai centri abitati (comuni con popolazione inferiore a 20.000 abitanti).

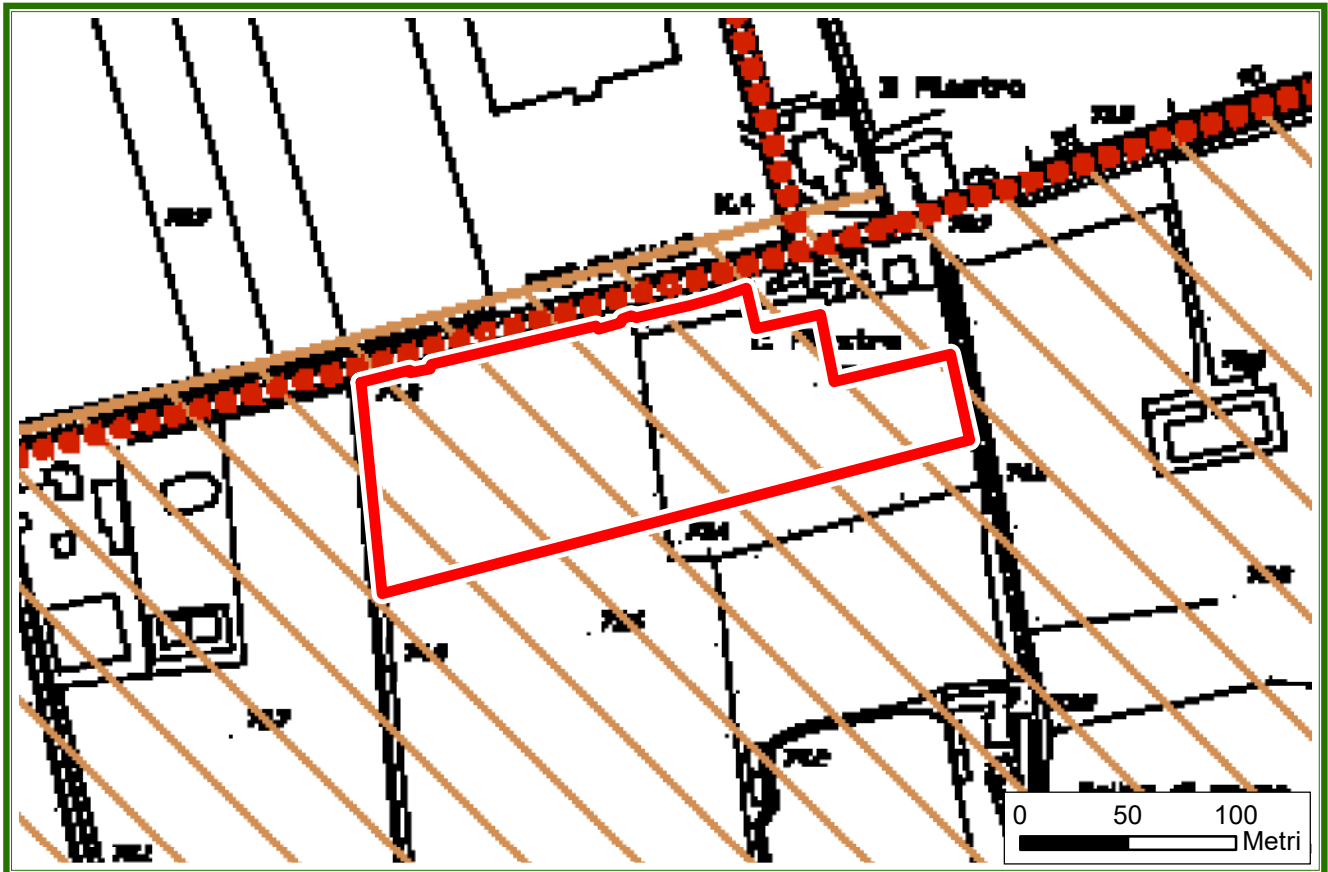
#### VINCOLI "CODICE DEI BENI CULTURALI E DEL PAESAGGIO" (D.Lgs. 22 gennaio 2004, n.42)

BENI CULTURALI SOTTOPOSTI ALLE DISPOSIZIONI DELLA PARTE SECONDA DEL DLGS 42/2004 (art.10)

 Beni pubblici vincolati  
1. Gragnanino - Loc. Il Pilastro - Cimitero

 Confine comunale       Centri abitati

## CONDIZIONAMENTI



### Legenda

#### AMBITI DI INTERESSE STORICO - TESTIMONIALE



Ambiti interessati da bonifiche storiche di pianura (art.26 PTCP 2007)  
(art.17 PSC2)

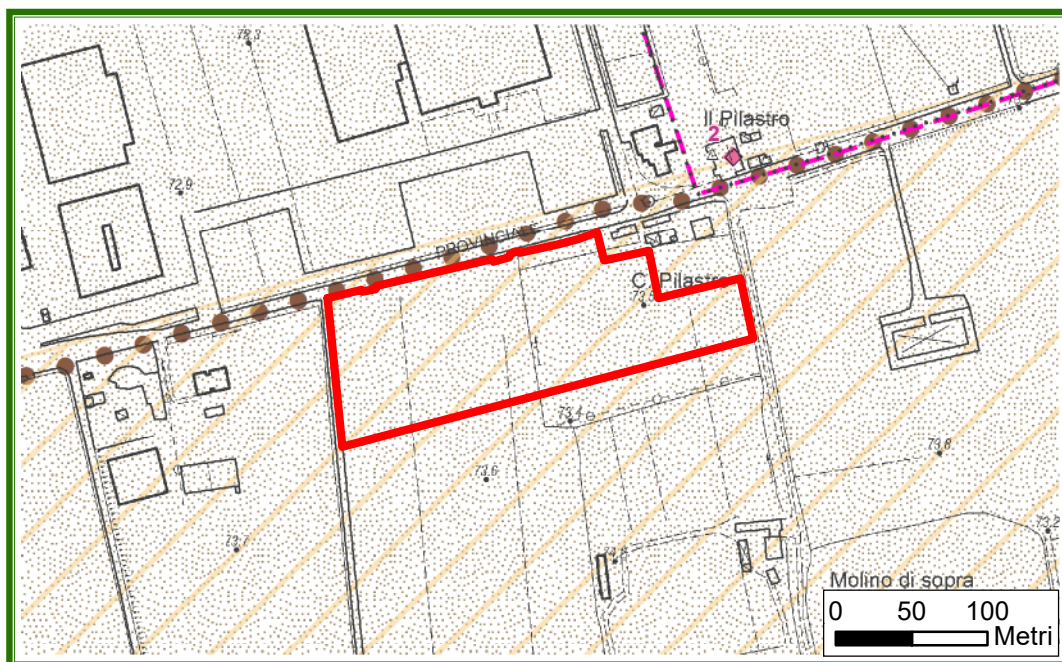
Terreni agricoli interessati da bonifiche storiche di pianura; tale ambito, prevede che i Comuni provvedano a definire strumenti di tutela generale per evitare l'alterazione delle caratteristiche essenziali degli elementi dell'organizzazione territoriale; l'edificazione deve essere coerente con l'organizzazione territoriale e con l'edificazione preesistente.



Viabilità storica (art.27 PTCP 2007) (art.18 PSC2)

Indicazioni del PTCP finalizzate a fornire indirizzi per la tutela della viabilità storica, sia per quanto concerne gli aspetti strutturali sia per quanto attiene l'arredo e le pertinenze di pregio.

## CARTA TUTELA AMBIENTALE, PAESAGGISTICA E STORICO CULTURALE DEL PTCP



### Legenda

art.  
PTCP

#### CORPI IDRICI SUPERFICIALI E SOTTERRANEI



Zone di tutela dei corpi idrici superficiali e sotterranei

36 bis

#### AMBITI DI INTERESSE STORICO TESTIMONIALE



21 Architettura religiosa ed assistenziale (*chiese, oratori, santuari, monasteri, conventi, ospedali*)

25



Zone interessate da bonifiche storiche di pianura

26



Percorso consolidato

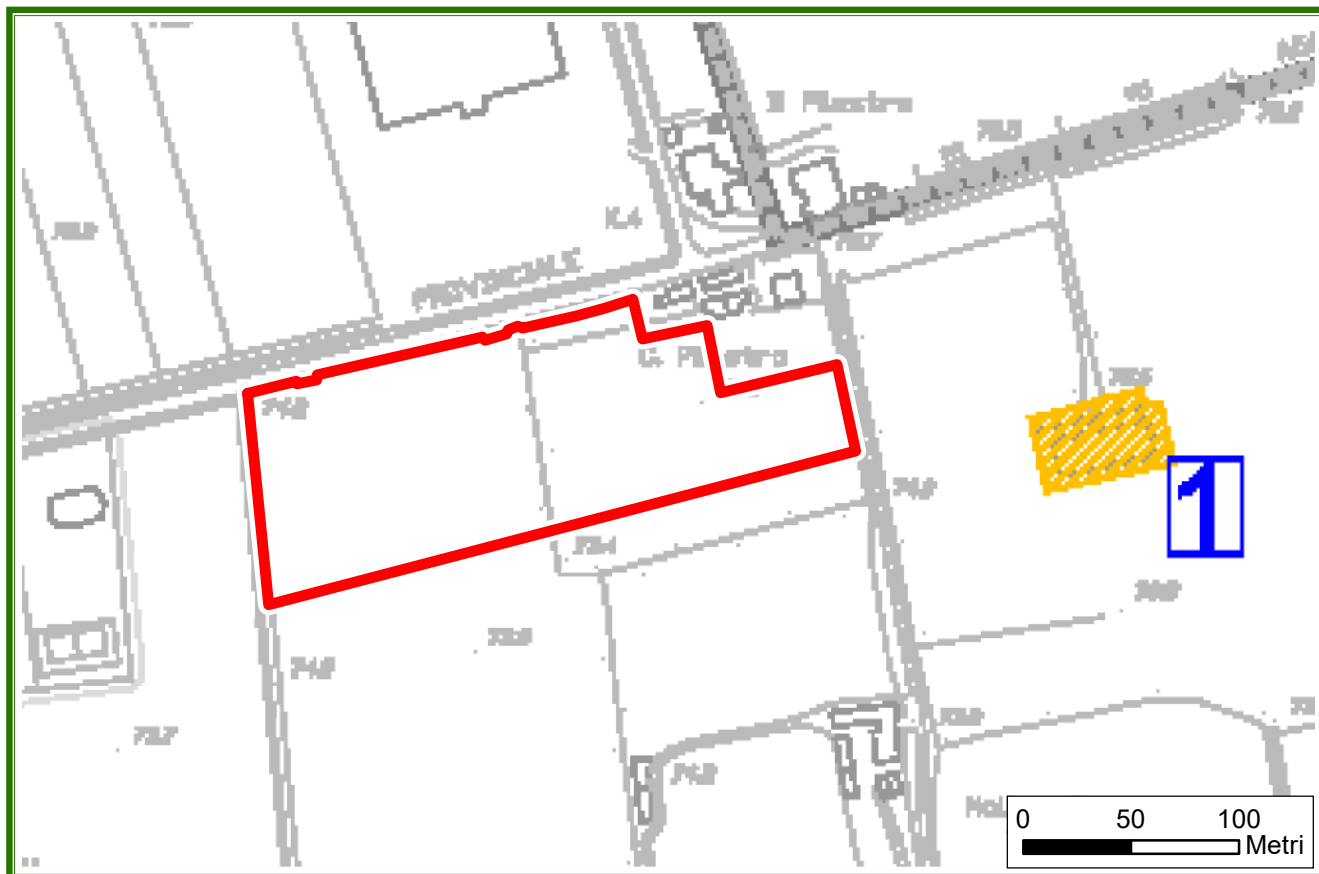
27



Confini amministrativi

Fig. 19: Estratto Carta della Tutela Ambientale, Paesaggistica e Culturale del PTCP

## VINCOLI STORICI E AMBIENTALI



### Legenda



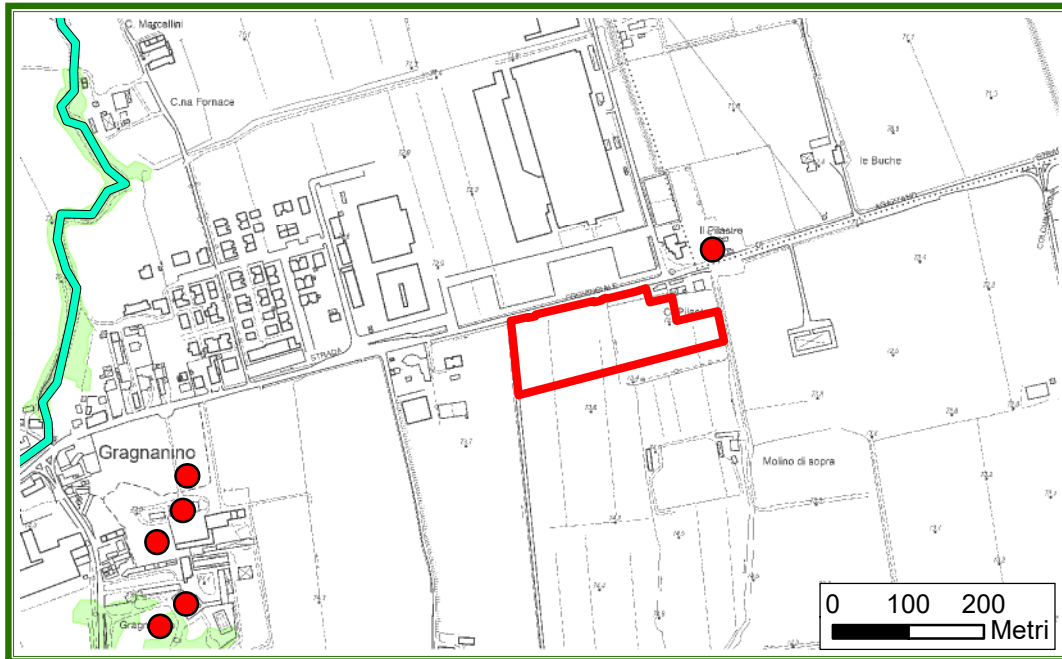
#### Beni pubblici vincolati

Immobili con più di cinquant'anni vincolati ope legis in quanto di proprietà di enti o istituti pubblici e persone giuridiche private senza fini di lucro che sono sottoposti alle disposizioni della parte seconda del DLgs 42/2004 (tra cui l'obbligo di autorizzazione per tutti i progetti di opere) fino a quando non sia stata effettuata la verifica di interesse culturale di cui all'art. 12 comma 2 DLgs 42/2004. Eventuali progetti che li riguardino devono essere autorizzati con la Soprintendenza ai Beni Architettonici.

1. Gragnano - Loc. Il Pilastro - Cimitero

Fig. 20: Estratto Carta dei Vincoli Storici e Ambientali - PSC Gragnano Trebbiense

## CARTA DEI VINCOLI CULTURALI E PAESAGGISTICI DEL PTCP



### Legenda

**TERRITORI COPERTI DA FORESTE O BOSCHI** (art.142 comma 1 lettera g)  
Il vincolo paesaggistico riguarda i territori coperti da foreste e da boschi, ancorché percorsi o danneggiati dal fuoco, e quelli sottoposti a vincolo di rimboscimento, come definiti dall'art.2, commi 2 e 6, del decreto legislativo 18 maggio 2001, n.227.

Ambiti tutelati ai sensi dell'art.142

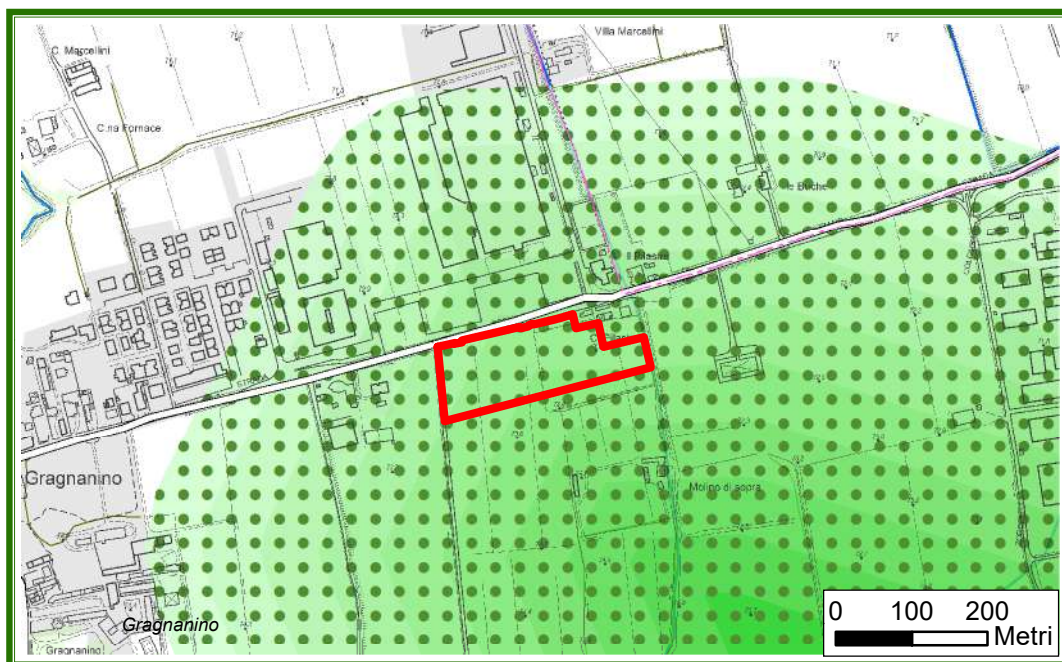
**FIUMI, TORRENTI E CORSI D'ACQUA PUBBLICI E RELATIVE SPONDE**

### IMMOBILI ED AREE DI NOTEVOLE INTERESSE PUBBLICO

**Ambiti assoggettati a tutela con specifici provvedimenti ai sensi dell'art.136**

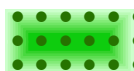
- \* BELLEZZE INDIVIDUE**  
(art.136 commi 1 lettere a. e b.)  
Sono bellezze individue  
a) le cose immobili che hanno cospicui caratteri di bellezza naturale o di singolarità geologica;  
b) le ville, i giardini e i parchi, non tutelati dalle disposizioni della Parte seconda del Codice, che si distinguono per la loro non comune bellezza;

## SCHEMA DIRETTORE RETE ECOLOGICA DEL PTCP



### Legenda

#### Elementi funzionali



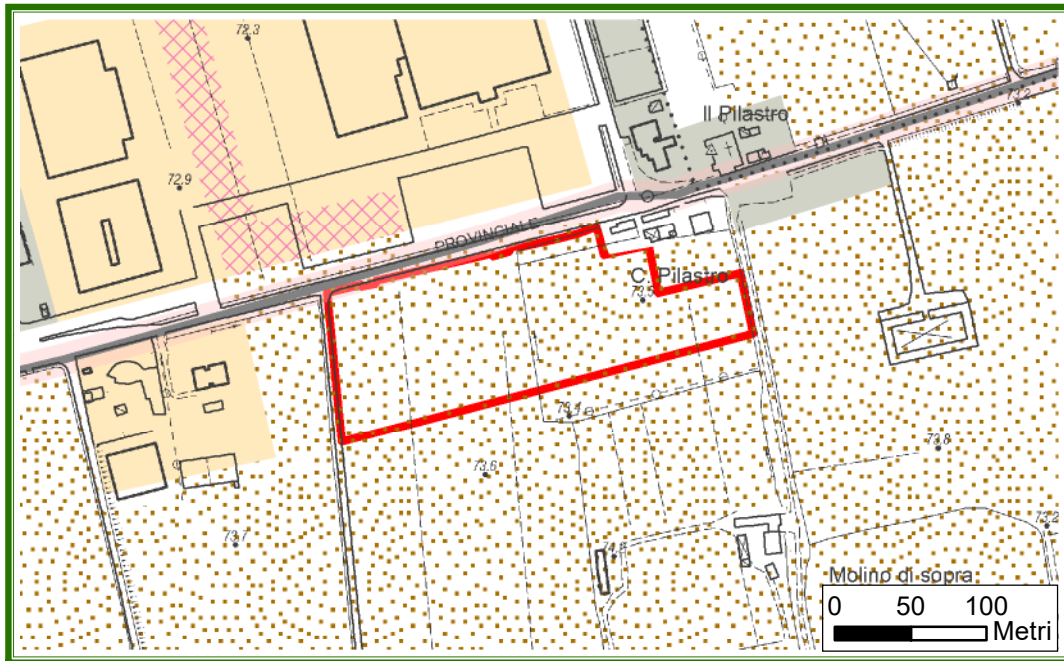
Ambiti di connessione da consolidare e migliorare in pianura



Confini comunali




## CARTA DELLA VOCAZIONE TERRITORIALE DEL PTCP





### Legenda


#### Sistema del territorio rurale

 Ambiti ad alta vocazione produttiva-agricola

#### Attuazione della pianificazione urbanistica

 ad uso residenziale, attrezzature e servizi

 per attività produttive, turistico ricreativo e direzionale-terziario

 - espansione

 Confini amministrativi

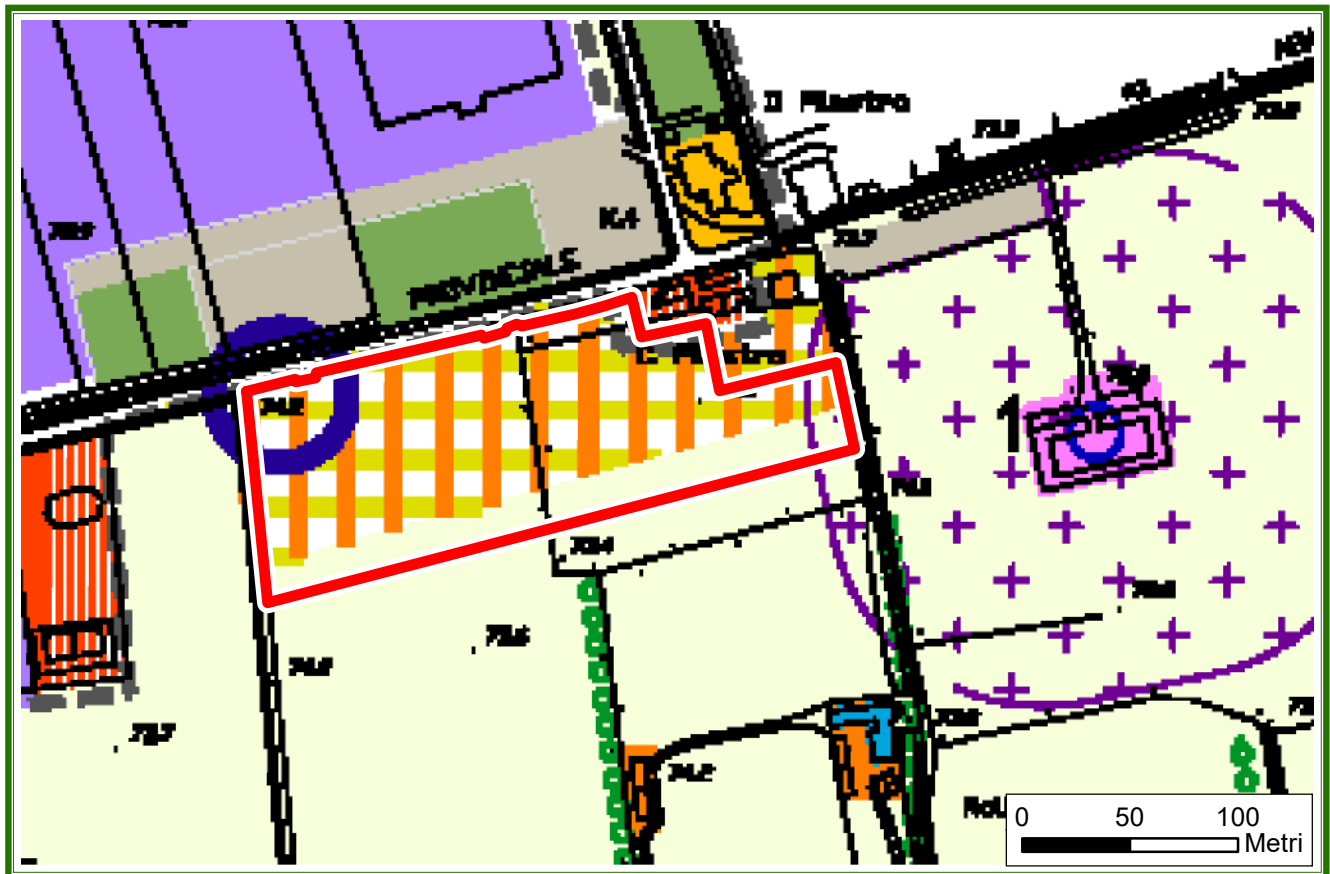
Fig. 23: Estratto Carta Vocazioni Territoriali e Scenari di Progetto del PTCP

Dalla Carta del Piano Strutturale Comunale di Gragnano Trebbiense (Fig. 24) si evince che la porzione più ampia dell'area rientra tra gli **ambiti di possibile riorganizzazione dei centri frazionali (art. 37 PSC 2)**: si tratta di ambiti caratterizzati dalla previsione di potenziale riorganizzazione delle previsioni del PRG vigente rimaste non attuate (prevalentemente per funzioni residenziali e per servizi), localizzate nelle aree limitrofe all'area urbanizzata del capoluogo e nei tessuti consolidati dei centri frazionali. I nuovi insediamenti saranno individuati e selezionati dal POC all'interno di tali ambiti e sottoposti a progettazione unitaria, al fine di programmare l'esecuzione dei manufatti e l'attivazione delle diverse funzioni previste, assicurando la contestuale realizzazione delle dotazioni ad essi connesse. La porzione più meridionale rientra invece tra gli **ambiti a vocazione produttiva agricola (art 43 PSC 2)**, si tratta di ambiti che presentano elevate caratteristiche pedologiche ed agronomico – produttive, con particolare riferimento alle zone tipiche di produzione. Sono caratterizzati da ordinari vincoli di tutela ambientale e particolarmente idonei, per tradizione, vocazione e specializzazione, allo svolgimento di attività di produzione di beni agro-alimentari ad alta intensità e concentrazione. È inoltre segnalata la già citata area di rispetto cimiteriale (art. 38 PSC 2) e, nella porzione nord-occidentale, una rotatoria in progetto per la riqualificazione dell'asse viabilistico (art.45 PSC 2).

Nella cartografia del Regolamento Urbanistico Edilizio del Comune di Gragnano Trebbiense (Figg. 25-27) vengono nuovamente evidenziate la fascia di rispetto cimiteriale nella porzione più orientale dell'area di interesse e la rotatoria in progetto in corrispondenza nell'angolo nord-occidentale dell'area. Le carte dei Tessuti Extraurbani (Fig.25) e dei Tessuti Urbani (Fig. 26) del RUE identificano parte dell'area oggetto dell'intervento come "territorio urbanizzabile", anche se indicano areali non coincidenti.

La caratterizzazione sismica territoriale elaborata sulla base di informazioni d'archivio e prove di nuova esecuzione condotte nell'ambito dello studio di microzonazione sismica del 2021, attribuisce l'area di studio alla MOPS - Zona 2002 (Fig. 28). Le microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), identificate sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche, presentano ognuna un proprio profilo stratigrafico tipo riferito ai primi 30-40 m di sottosuolo. La Zona 2002 corrisponde a depositi prevalentemente ghiaiosi in abbondante matrice limoso sabbiosa e limoso argillosa, dello spessore di oltre 30-40 metri e coperture politessurali di spessore variabile compreso tra 3-5 m. Il Substrato non è rigido e caratterizzato da  $V_s < 800$  m/s.

## PIANO STRUTTURALE COMUNALE



### Legenda

#### EDIFICI DI INTERESSE STORICO - ARCHITETTONICO (art. A-9 L.R. 20/2000) (art.16 comma 6 PSC2)



Beni pubblici vincolati (vincolati ai sensi del D.L. 42/2004)

Edifici e strutture di proprietà pubblica con età maggiore di cinquant'anni che costituiscono elementi di pregio storico o testimoniale. Eventuali progetti che li riguardano devono essere concordati con la Sovrintendenza ai Beni Architettonici.

I. Gragnano - Loc. Il Pilastrino - Cimitero



Elementi di interesse testimoniale

Edifici e manufatti, isolati o all'interno di insediamenti rurali, che rivestono interesse storico-testimoniale. Da sottoporre a modalità di intervento diretto la cui gestione sarà affidata al Regolamento Urbanistico Edilizio.

#### AMBITI URBANI CONSOLIDATI (art. A-10 L.R. 20/2000) (art.36 PSC2)

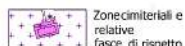


Tessuti prevalentemente residenziale a bassa densità dei centri frazionali



Tessuti prevalentemente produttivi

#### ATTREZZATURE E SPAZI COLLETTIVI (art.38 PSC2)



Zone cimiteriali e relative fasce di rispetto



Zone per attrezzature religiose



Zone per il verde attrezzato e parchi pubblici



Zone per parcheggi attrezzati

#### AMBITI PER I NUOVI INSEDIAMENTI (art. A-12 L.R. 20/2000) (art.37 comma 2 PSC2)



Ambiti di possibile riorganizzazione dei centri frazionali

Ambiti caratterizzati dalla previsione di potenziale riorganizzazione delle previsioni del PRG vigente rimaste non attuate (prevalentemente per funzioni residenziali e per servizi), localizzate nelle aree limitrofe all'area urbanizzata del capoluogo e nei tessuti consolidati dei centri frazionali. I nuovi insediamenti saranno individuati e selezionati dal POC all'interno di tali ambiti e sottoposti a progettazione unitaria, al fine di programmare l'esecuzione dei manufatti e l'attivazione delle diverse funzioni previste, assicurando la contestuale realizzazione delle dotazioni ad essi connesse.



Patrimonio edilizio non più connesso con l'attività agricola (art.44 PSC2)

Agglomerati rurali di dimensioni molto ridotte ed edifici isolati, esterni ai perimetri urbanizzati, caratterizzati da tipologie di origine rurale a funzione prevalentemente residenziale, la cui gestione sarà affidata al Regolamento Urbanistico ed Edilizio.



Ambiti a vocazione produttiva agricola (art. A-19 L.R. 20/2000) (art.43 PSC2)

Ambiti relativi all'unità di paesaggio (all. N4 PTCP) n°2 "unità di paesaggio dell'alta pianura piacentina" (sub unità 2a "unità dell'alta pianura") che interessano la parte settentrionale del territorio comunale, cingendo da Nord verso Est il centro abitato di Gragnano. Formati da depositi di conoide alluvionale dell'oleocene antico, questi ambiti sono costituiti da grandi appezzamenti agricoli con forma regolare che danno luogo ad un paesaggio piatto e povero di elementi caratterizzanti. La vulnerabilità è media.



Filari alberati

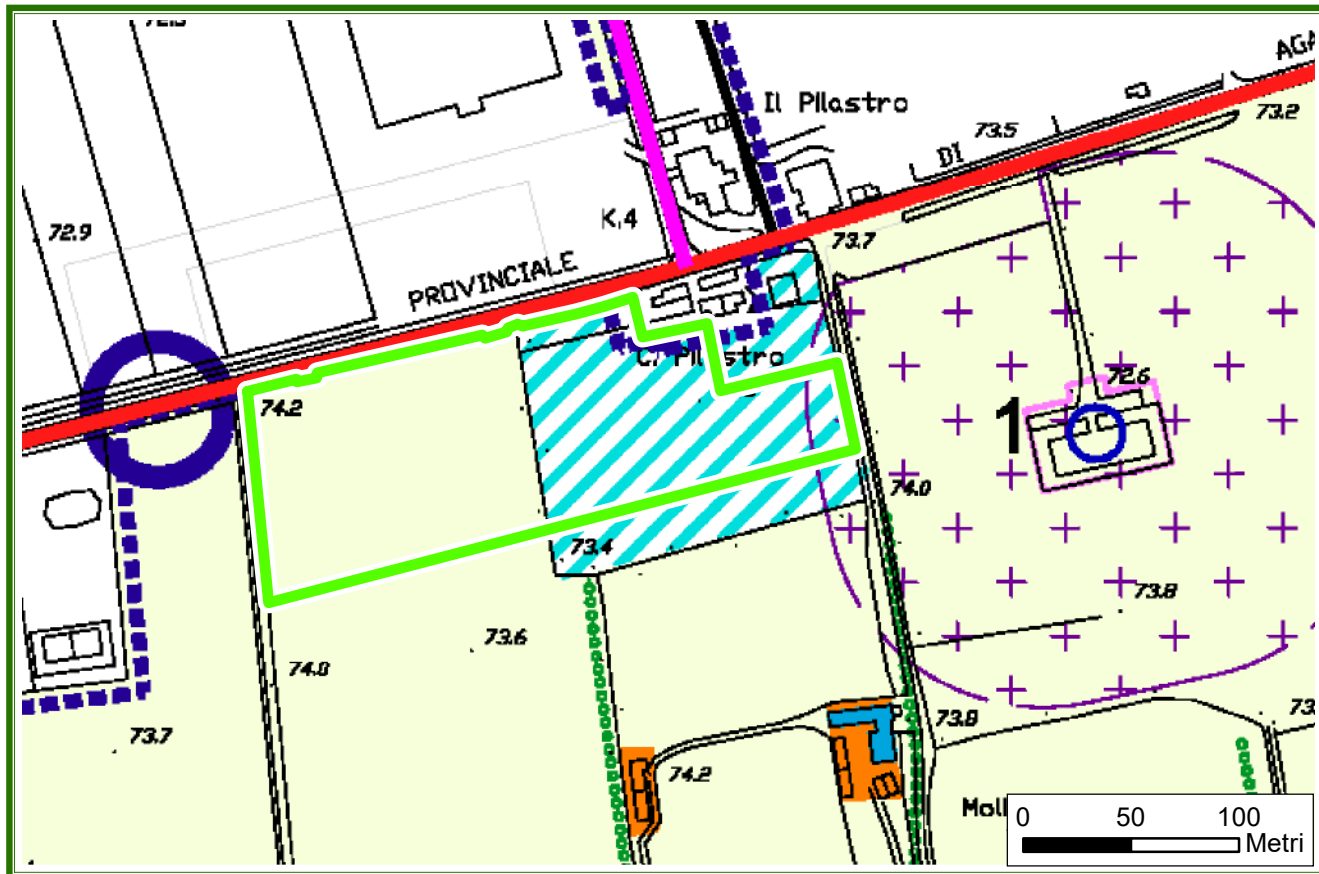


Riqualificazione dell'asse viabilistico: rotatorie (art.45 comma 5 PSC2)

Rotatorie di progetto legate alla necessità di regolamentare le intersezioni della strada di Castel Bosco con la strada Gragnano-Campremoldo di Sopra e con la S.P. di Mottaziana n°11.


Fig. 24: Estratto Carta del Piano Strutturale Comunale di Gragnano Trebbiense


## CARTA DEI TESSUTI EXTRAURBANI DEL RUE



### Legenda


**TERRITORIO RURALE (art. 28 L.R. 20/2000)** - soggetto alla disciplina del Regolamento Urbanistico ed Edilizio (RUE)

 Patrimonio edilizio per funzioni non più connesse con l'attività agricola


 Ambiti a vocazione produttiva agricola (art. A-19 L.R. 20/2000)  
Ambiti relativi all'unità di paesaggio (all. N4 P.T.C.P.) n°2 "unità di paesaggio dell'alta pianura piscesina" (sub unità 2a "unità dell'alta pianura") che interessano la parte settentrionale del territorio comunale, cingendo da Nord verso Est il centro abitato di Gagnano. Formati da depositi di conoidi alluvionali dell'oleone antico, questi ambiti sono costituiti da grandi appezzamenti agricoli con forma regolare che danno luogo ad un paesaggio piatto e povero di elementi caratterizzanti. La vulnerabilità è media.

 Filari alberati


**TERRITORIO URBANIZZATO (art. 28 L.R. 20/2000)** - soggetto alla disciplina del Regolamento Urbanistico ed Edilizio (RUE)


 Perimetro del territorio urbanizzato (art. 28 L.R. 20/2000)  
Territorio soggetto alla disciplina del Regolamento Urbanistico ed Edilizio (RUE)


**TERRITORIO URBANIZZABILE (art. 28 L.R. 20/2000)** - soggetto alla disciplina del Regolamento Urbanistico ed Edilizio (RUE)

 Ambiti di trasformazione potenziale.

**EDIFICI DI INTERESSE STORICO - ARCHITETTONICO (art. A-9 L.R. 20/2000)**

 Beni pubblici vincolati (vincolati ai sensi del D.L. 42/2004)  
I. Gagnano - Loc. Il Pilastrino - Chiesa

 Elementi di interesse testimoniale  
Edifici e manufatti, isolati o all'interno di insediamenti rurali, che rivestono interesse storico-testimoniale. Da sottoporre a modalità di intervento diretto la cui gestione sarà affidata al regolamento Urbanistico Edilizio.

 Fasce di rispetto cimiteriale (R.D. 1265/34, DPR 285/1990)  
Rappresentano le zone attorno ai cimiteri, all'interno delle quali non è consentita alcuna trasformazione eccetto gli interventi di manutenzione. Per i cimiteri esistenti la fascia di rispetto è di 100 m, ridotta con parere favorevole AUSA; per eventuali ampliamenti tale ampiezza non può essere inferiore a 50 m dai centri abitati (comuni con popolazione inferiore a 20.000 abitanti).

**SISTEMA INFRASTRUTTURALE (art. A-5 L.R. 20/2000)**

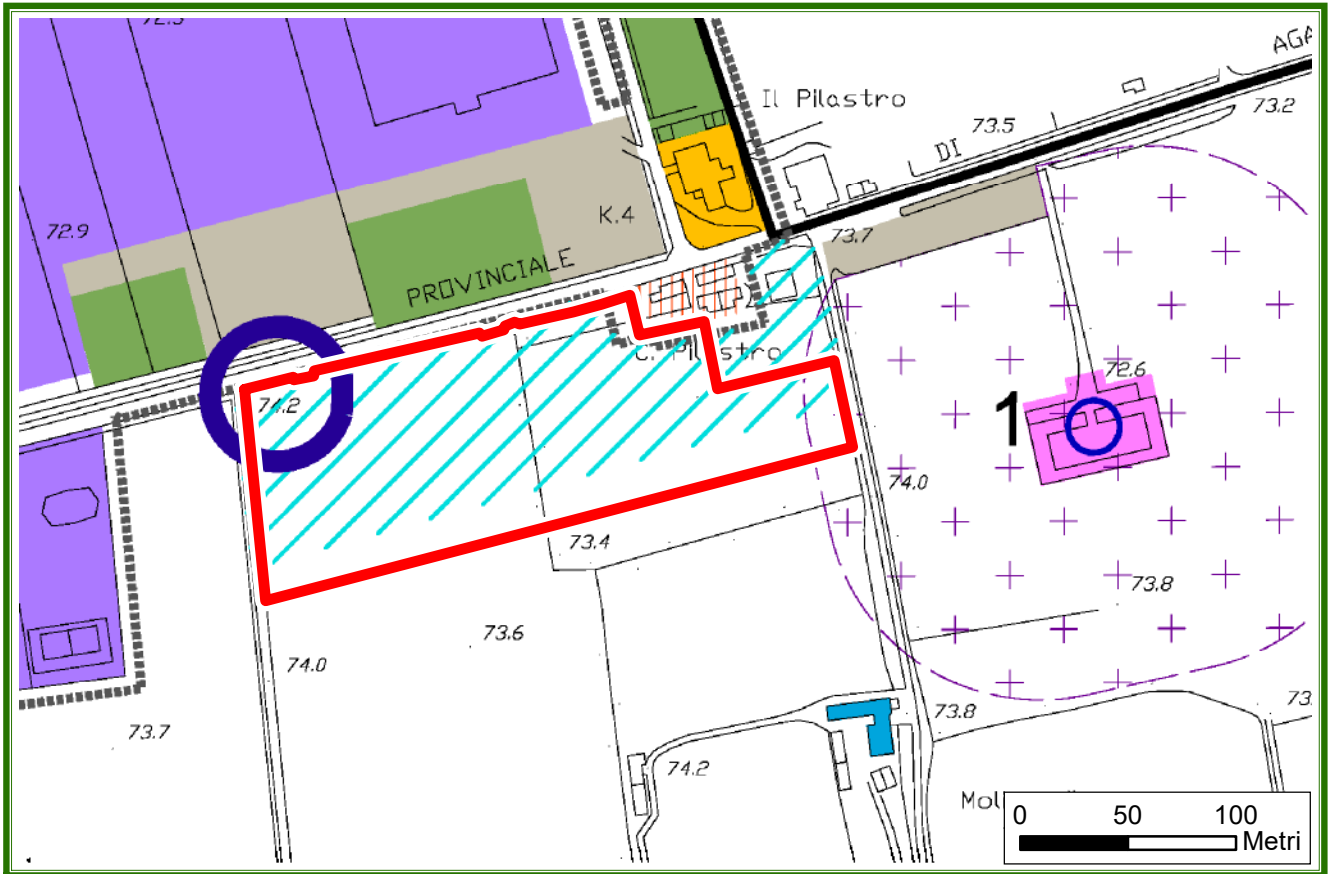
Viabilità esistente

 Viabilità secondaria (DPR 610/1996)  
Strade extraurbane secondarie (strade di tipo C) con fascia di rispetto di 30 m.

 Riqualificazione dell'asse viabilistico: rotoatorie  
Rotatorie di progetto legate alla necessità di regolamentare le intersezioni della strada di Castel Bosco con la strada Gagnano-Campredio di Sopra e con la S.P. di Montecroce n°11.

Fig. 25: Estratto Carta dei Tessuti Extraurbani - Regolamento Urbanistico Edilizio di Gagnano Trebbiense

## CARTA DEI TESSUTI URBANI DEL RUE



### Legenda

#### SISTEMA INSEDIATIVO - Titolo IV (art.A-4 L.R. 20/2000)



Perimetro del territorio urbanizzato (art. 28 L.R. 20/2000)  
Territorio soggetto alla disciplina del Regolamento Urbanistico ed Edilizio (RUE)

#### EDIFICI DI INTERESSE STORICO - ARCHITETTONICO (art. A-9 L.R. 20/2000)



Beni pubblici vincolati (vincolati ai sensi del D.L. 42/2004) - art.26  
I. Dipartimento - Loc. Il Pilastro - C.1000



Elementi di interesse testimoniale - art.27  
Edifici e manufatti, solati o all'interno di insediamenti rurali, che rivestono interesse storico-testimoniale. Da sottoporre a modalità di intervento diretto la cui gestione sarà affidata al Regolamento Urbanistico Edilizio.

#### AMBITI URBANI CONSOLIDATI (art. A-10 L.R. 20/2000)



Tessuti prevalentemente residenziale a bassa densità dei centri frazionali - art.35  
Tessuto a prevalente destinazione residenziale localizzato nei centri frazionali minori, caratterizzato da edifici mono-bifamiliari al centro del lotto, cresciuti in modo addizionale a ridosso della viabilità di ordine, senza disegno unitario con limitata dotazione di servizi.



Tessuti prevalentemente produttivi - art.36  
Parti del territorio con funzioni prevalentemente produttive/artigianali ed una limitata compresenza di insediamenti residenziali e spazi collettivi. Tipologicamente caratterizzati dalla presenza sia di piastre monoplanari al centro del lotto che da complessi più diversificati. La gestione dei tessuti urbani prevalentemente produttivi per intervento diretto sarà affidata al Regolamento Urbanistico Edilizio.

#### SERVIZI ESISTENTI E PREVISTI

##### Servizi urbani e tecnologici - art.17



Attrezzature tecnologiche e cimiteriali e relative fasce di rispetto

##### Servizi di quartiere - art.18



Zone per attrezzature religiose



Zone per il verde attrezzato e parchi pubblici



Zone per parcheggi attrezzati

#### TERRITORIO URBANIZZABILE (art. 28 L.R. 20/2000) - soggetto alla disciplina del Piano Operativo Comunale (POC)



Ambiti del territorio urbanizzabile - Capo III

#### SISTEMA INFRASTRUTTURALE (art. A-5 L.R. 20/2000)



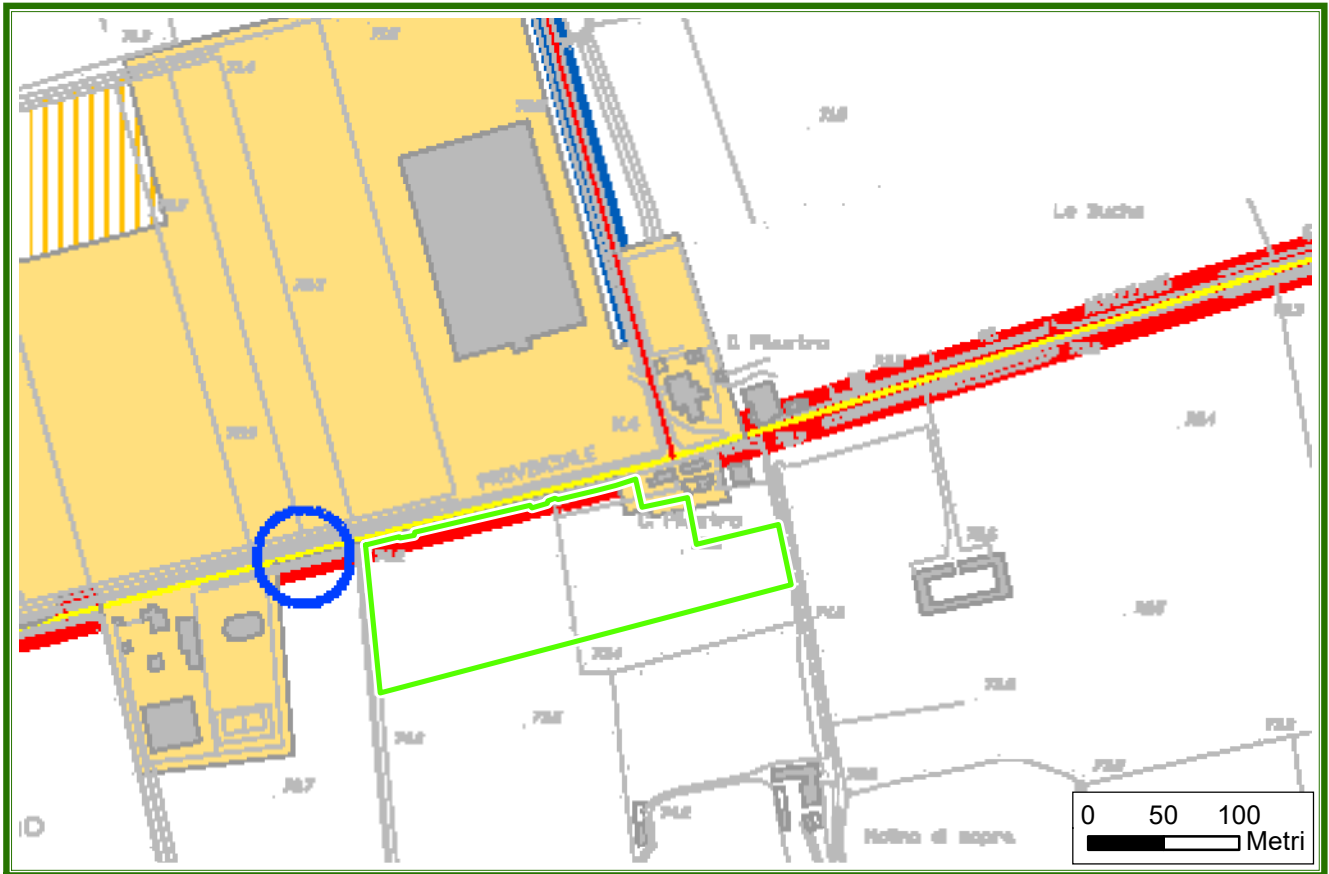
Riqualificazione dell'asse viabilistico: rotonde  
Rotatorie di progetto legate alla necessità di regolamentare le intersezioni della strada di Castel Basso con la strada Gagnano-Camorenzoldo di Sopra e con la S.P. di Mottaziana n°11.



Confine comunale

Fig. 26: Estratto Carta del Tessuti Urbani - Regolamento Urbanistico Edilizio di Gagnano Trebbiense

## CARTA DELLA MOBILITA' DEL RUE



### Legenda

#### VIABILITA' ESISTENTE

##### Tratti di competenza sovracomunale



Viabilità secondaria (D.Lgs 285/92, DPR 495/92)

Strade extraurbane secondarie ( strade di tipo C) con fascia di rispetto di 30 m.

##### Tratti di competenza comunale



Viabilità locale (D.Lgs 285/92, DPR 495/92)

Strade locali ( strade di tipo F) con fascia di rispetto di 20 m.

#### VIABILITA' DI PROGETTO

##### Asse viabilistico da modificare e riqualificare



Riqualificazione dell'asse viabilistico: rotonde

Rotatorie di progetto legate alla necessità di regolamentare le intersezioni della strada di Castel Bosco con la strada Gragnano-Campremoldo di Sopra e con la S.P. di Mottaziana n°11.



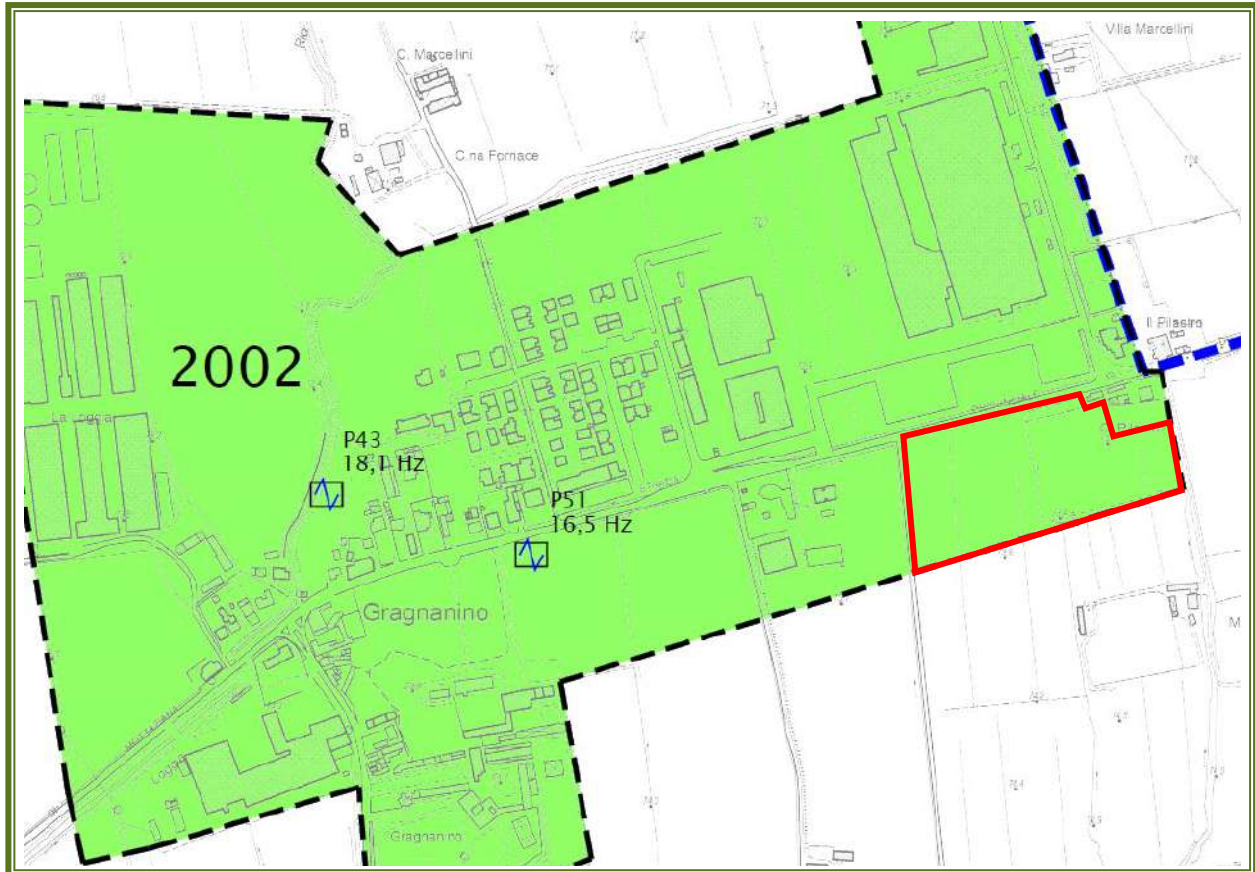
Territorio urbanizzato



Territorio urbanizzabile

Fig. 27: Estratto Carta della Mobilità - Regolamento Urbanistico Edilizio di Gragnano Trebbiense

## CARTA DELLE MOPS



### LEGENDA

- 2001
 Alternanze plurimetriche di depositi prevalentemente ghiaioso sabbiosi e depositi limoso sabbiosi o limoso argillosi, dello spessore di oltre 30-40 metri e coperture politessurali di spessore variabile compreso tra 3-5. Substrato non rigido caratterizzato da  $V_s < 800$  m/s
  
- 2002
 Depositi prevalentemente ghiaiosi in abbondante matrice limoso sabbiosa e limoso argillosa, dello spessore di oltre 30-40 metri e coperture politessurali di spessore variabile compreso tra 3-5. Substrato non rigido caratterizzato da  $V_s < 800$  m/s
  
- 2003
 Alternanze plurimetriche di depositi prevalentemente ghiaioso sabbiosi e depositi limoso sabbiosi o limoso argillosi, dello spessore di oltre 30-40 metri e coperture politessurali di spessore variabile compreso tra 8-15. Substrato non rigido caratterizzato da  $V_s < 800$  m/s

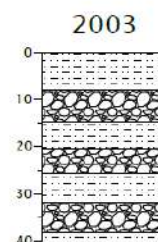
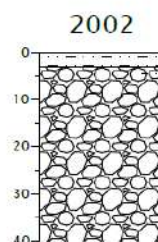
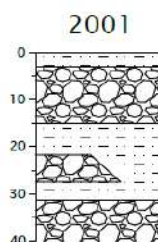


Fig. 28: Estratto Carta della Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica – Microzonazione Sismica del Comune di Gragnano Trebbiense (2021)

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

Allo scopo di verificare la fattibilità di quanto in progetto e valutarne la compatibilità rispetto al contesto geologico-idrogeologico in cui si inserisce, lo scrivente ha effettuato, il giorno 23 novembre 2021, 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° 6 *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° 3 *prove MASW* per la caratterizzazione della categoria di suolo sismico ( $V_{Seq}$ ) e n° 3 *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 la struttura in esame.



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 è 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 Geotecnico Preliminare**

**Unità 0.** Profondità da 0.0 a 0.6/0.8 metri circa: orizzonte costituito da terreno vegetale di natura litotecnica prettamente coesiva con proprietà geomeccaniche mediocri. Si tralascia la caratterizzazione geomeccanica in quanto non pertinente.

**Unità 1.** Profondità da 0.6/0.8 a 1.2/1.8 m circa. Si registra un netto miglioramento delle caratteristiche geotecniche del materiale che risulta essere a prevalente componente granulare attritiva (sabbia limosa). I principali parametri geotecnici possono essere così schematizzati: peso unità di volume  $\gamma = 1.65/1.75$  T/mc; modulo di Young  $E_y = 75/85$  kg/cmq; angolo di resistenza al taglio =  $23^\circ - 25^\circ$ .  $N_{spt} = 10.29-12.49$ .

**Unità 2.** Profondità superiore a 1.2/1.8 metri circa (verticali penetrometriche spinte fino a 3.0 m circa dal p.c.). Si registra un ulteriore netto miglioramento delle caratteristiche geotecniche del materiale che rimane a prevalente componente granulare attritiva (sabbia ghiaiosa). I principali parametri geotecnici possono essere così schematizzati: peso unità di volume  $\gamma = 1.85/1.95$  T/mc; modulo di Young  $E_y = 290/300$  kg/cmq; angolo di resistenza al taglio =  $34^\circ - 36^\circ$ .  $N_{spt} = 36.75 - 38.71$ .

Dall'indagine geofisica MASW viene confermata la presenza di una copertura fine poco addensata di esiguo spessore (1.5-2.0 m circa), fin dalla superficie sono presenti litotipi grossolani sub affioranti (ghiaie prevalenti e sabbie in matrice fine limoso-argillosa). Più in profondità, fino a circa 15.0-18.0 m dal p.c., un netto aumento delle velocità è riconducibile alla presenza di litotipi compatti ed addensati (ghiaie con possibile presenza di intercalazioni limoso-argillose). A profondità superiori la successione risulta costituita da litotipi grossolani molto addensati con possibile locale presenza di livelli cementati.

## **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 monolitica avente quota fondazionale a -1.0 m rispetto al piano campagna.

La presa visione dello 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

Lat./ Long. [WGS84]	45,031501/9,576964
Normativa	NTC 2018
Larghezza fondazione	10,0 m
Lunghezza fondazione	12,0 m
Profondità piano di posa	1,0 m
Altezza di incastro	1,0 m
Effetto sismico secondo	NTC 2018 Cascone e Maugeri

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

### Dati generali

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

### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.30	2.52	0.20
S.L.D.	50.0	0.37	2.57	0.22
S.L.V.	475.0	0.92	2.49	0.29
S.L.C.	975.0	1.21	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.	0.36	0.2	0.0073	0.0037
S.L.D.	0.444	0.2	0.0091	0.0045
S.L.V.	1.104	0.2	0.0225	0.0113
S.L.C.	1.452	0.24	0.0355	0.0178

### 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. consolidazione secondaria	Descrizione
0,8	1630,0	1860,0	0,0	0,0	0,28	29,4	31,78	0,0	0,0	0,0	
1,0	1700,0	1800,0	24,0	0,0	0,0	80,0	100,0	0,33	0,0	0,0	
1,2	1900,0	2000,0	36,0	0,0	0,0	300,0	250,0	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	0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
2	SISMA	0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
3	S.L.E.	0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio
4	S.L.D.	0.4	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	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef. Rid. Capacità portante orizzontale
1	No	1	1	1	1	1	2.3	1.1
2	Si	1	1	1	1	1	1.8	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 drenata)

Fattore [Nq]	9,6
Fattore [Nc]	19,32
Fattore [Ng]	7,66
Fattore forma [Sc]	1,38
Fattore profondità [Dc]	1,03
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1,0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1,0
Fattore inclinazione base [Bc]	1,0
Fattore forma [Sq]	1,34
Fattore profondità [Dq]	1,03
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1,0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1,0
Fattore inclinazione base [Bq]	1,0
Fattore forma [Sg]	0,75
Fattore profondità [Dg]	1,0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	1,0
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1,0
Fattore inclinazione base [Bg]	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	7,06 Kg/cm <sup>2</sup>
Costante di sottofondo	2.83 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	0,4 Kg/cm <sup>2</sup>
Spessore strato	2,0 m
Profondità substrato roccioso	2,0 m
Modulo Elastico	80,0 Kg/cm <sup>2</sup>
Coefficiente di Poisson	0,35

Coefficiente di influenza I1	0,03
Coefficiente di influenza I2	0,07
Coefficiente di influenza Is	0,06

*Cedimento al centro della fondazione*      2,52 mm

Coefficiente di influenza I1	0,01
Coefficiente di influenza I2	0,04
Coefficiente di influenza Is	0,03
<i>Cedimento al bordo</i>	0,56 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                      0.4 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)
2	1,4	0,232	0,236	Edometrico	0,1884	--	0,1884
3	2,4	0,426	0,233	Edometrico	0,1117	--	0,1117

**Cedimento totale Wt = 0.3 cm**

L'esame dei cedimenti evidenzia come questi ultimi, in base all'ipotesi fondazionale fatta, con un carico stimato di 0.4 Kg/cm<sup>2</sup>, e considerata l'eterogeneità del sottosuolo assumano un valore di 5.5/6.0 mm circa, di cui 3.0 mm nel medio e lungo periodo mentre 2.5/3.0 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 ± 20% o ± 30% rispetto a quanto stimato.

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

## 6) CONCLUSIONI

Date le dimensioni e la tipologia degli interventi edilizi in progetto e valutate le risultanze delle indagini espletate, si evince come gli stessi non comportino una significativa variazione dell'equilibrio geologico-geomorfologico-idrogeologico della zona risultando quindi essere, nel complesso, **geologicamente compatibili**.

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 i futuri manufatti dovrà essere dimensionata in funzione dei reali carichi di esercizio ed in modo da trasmettere al sistema terreno-fondazione delle pressioni compatibili;
- 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 dei futuri manufatti, compromettendo nel tempo la stabilità degli stessi.
- Tutte le attività di scavo dovranno essere eseguite in ossequio a quanto previsto dalla normativa vigente in materia di "Gestione delle terre e rocce da scavo" (DPR 120/2017);
- Per ogni singolo intervento edilizio si dovrà effettuare una specifica campagna di indagini al fine di redigere uno Studio Geologico, Geotecnico e Geofisico di dettaglio in ottemperanza alle vigenti NTC 2018.

Treviso V.T. 02/11/2023

*Geotest s.r.l.*



Dott. Geologo Adriano Baldini

# Allegato 1

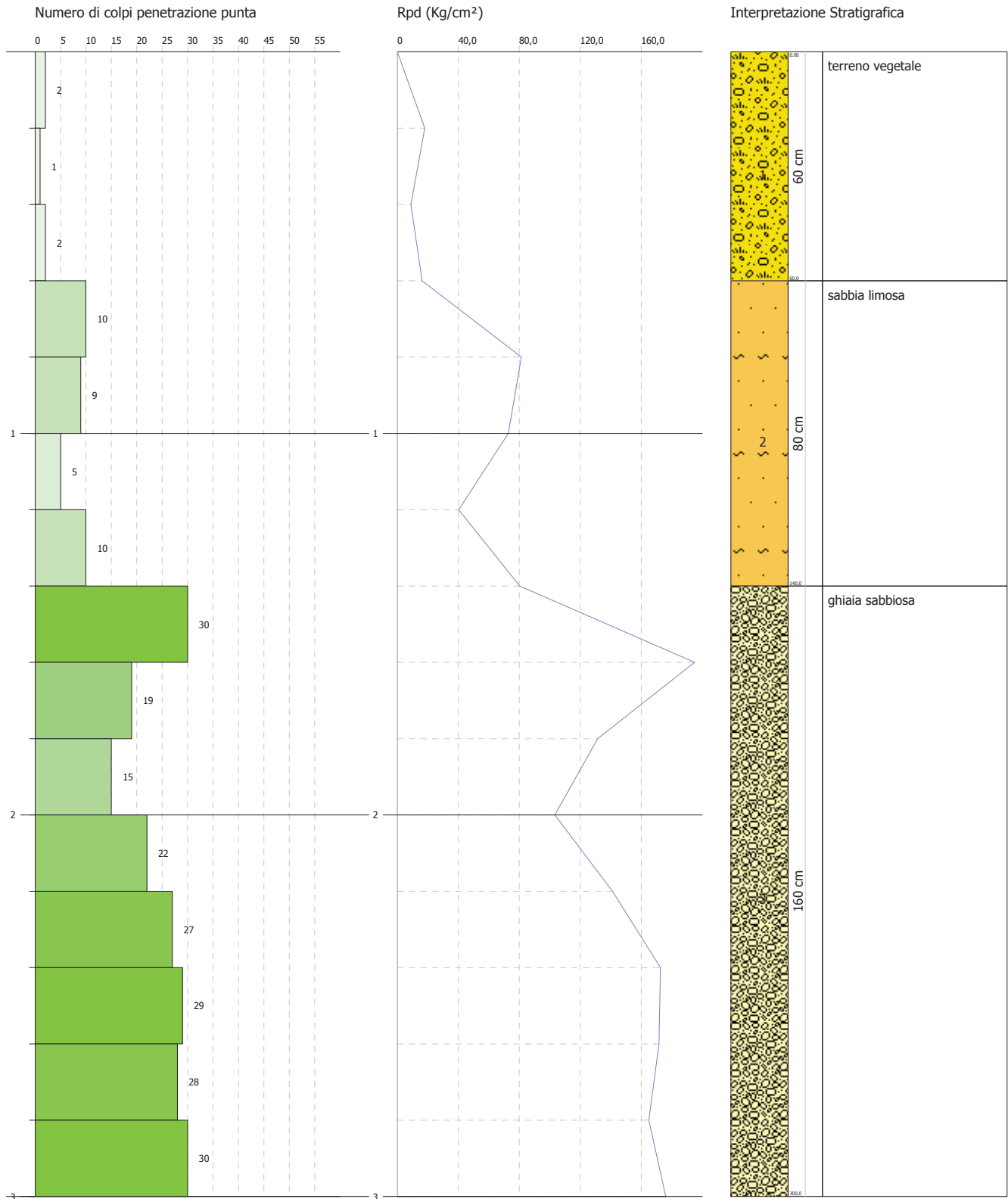
## Prove Penetrometriche

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

Committente: Il Pilastro s.r.l.  
Descrizione: Piano particolareggiato a destinazione residenziale  
Località: Il Pilastro

Data: 24/11/2021

Scala 1:15



ESECUTORE INDAGINI:

**GeoTest s.r.l.**

COMMITTENTE: Immobiliare Il Pilastro s.r.l.

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P 1

## TERRENI COESIVI

## Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	2,45	0.00-0,60	Schmertmann 1975	0,24

## Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	2,45	0.00-0,60	Robertson (1983)	4,90

## Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	2,45	0.00-0,60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	26,78

## Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	2,45	0.00-0,60	Apollonia	24,50

## Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) terreno vegetale	2,45	0.00-0,60	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE

## Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	2,45	0.00-0,60	Meyerhof	1,60

## Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	2,45	0.00-0,60	Meyerhof	1,86

**TERRENI INCOERENTI**

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (2) sabbia limosa	12,49	0,60-1,40	12,49	Skempton 1986	38,23
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,75	1,40-3,00	36,75	Skempton 1986	69,71

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (2) sabbia limosa	12,49	0,60-1,40	12,49	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	28,69
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,75	1,40-3,00	36,75	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	38,48

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) sabbia limosa	12,49	0,60-1,40	12,49	Schmertmann (1978) (Sabbie)	99,92
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,75	1,40-3,00	36,75	Schmertmann (1978) (Sabbie)	294,00

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) sabbia limosa	12,49	0,60-1,40	12,49	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	93,71
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,75	1,40-3,00	36,75	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	201,90

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (2) sabbia limosa	12,49	0,60-1,40	12,49	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,75	1,40-3,00	36,75	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 (2) sabbia limosa	12,49	0,60-1,40	12,49	Meyerhof et al.	1,81
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,75	1,40-3,00	36,75	Meyerhof et al.	2,19

ALLEGATO 1 – ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICHE

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (2) sabbia limosa	12,49	0,60-1,40	12,49	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,93
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,75	1,40-3,00	36,75	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,08

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (2) sabbia limosa	12,49	0,60-1,40	12,49	(A.G.I.)	0,33
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,75	1,40-3,00	36,75	(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 (2) sabbia limosa	12,49	0,60-1,40	12,49	Ohsaki (Sabbie pulite)	697,72
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,75	1,40-3,00	36,75	Ohsaki (Sabbie pulite)	1924,22

Coefficiente spinta a Riposo  $K_0 = \sigma_H / P_0$

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	$K_0$
Strato (2) sabbia limosa	12,49	0,60-1,40	12,49	Navfac 1971-1982	2,62
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,75	1,40-3,00	36,75	Navfac 1971-1982	6,49

$Q_c$  (Resistenza punta Penetrometro Statico)

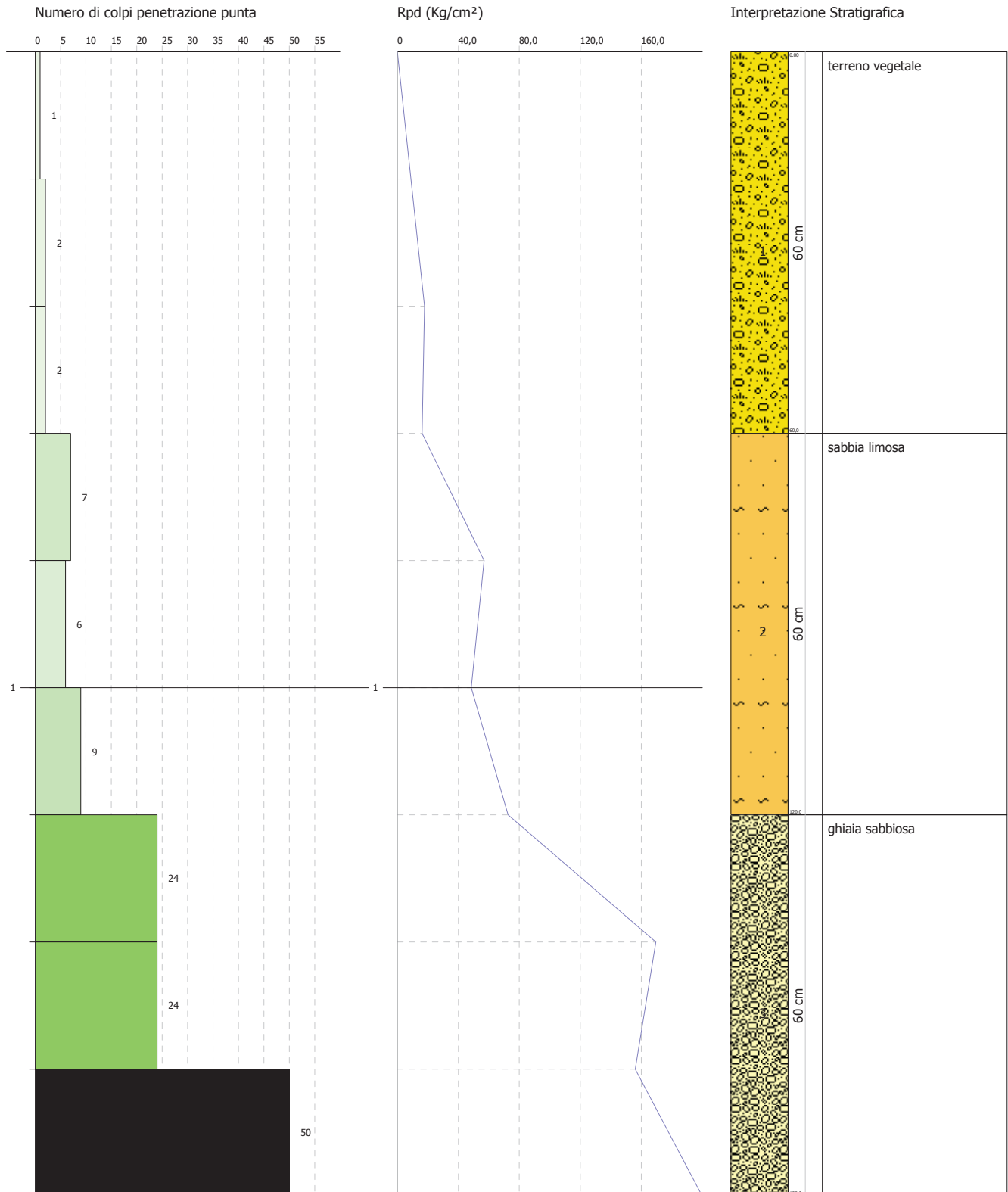
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	$Q_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) sabbia limosa	12,49	0,60-1,40	12,49	Robertson 1983	24,98
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,75	1,40-3,00	36,75	Robertson 1983	73,50

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

Committente: Il Pilastro s.r.l.  
Descrizione: Piano particolareggiato a destinazione residenziale  
Località: Il Pilastro

Data: 24/11/2021

Scala 1:9





ESECUTORE INDAGINI:

**GeoTest s.r.l.**

COMMITTENTE: Immobiliare Il Pilastro s.r.l.

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P 2

## TERRENI COESIVI

## Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	2,45	0.00-0,60	Schmertmann 1975	0,24

## Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	2,45	0.00-0,60	Robertson (1983)	4,90

## Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	2,45	0.00-0,60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	26,78

## Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	2,45	0.00-0,60	Apollonia	24,50

## Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) terreno vegetale	2,45	0.00-0,60	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE

## Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	2,45	0.00-0,60	Meyerhof	1,60

## Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	2,45	0.00-0,60	Meyerhof	1,86

**TERRENI INCOERENTI**

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (2) sabbia limosa	10,78	0,60-1,20	10,78	Skempton 1986	34,69
Strato (3) ghiaia sabbiosa	48,02	1,20-1,80	48,02	Skempton 1986	78,73

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (2) sabbia limosa	10,78	0,60-1,20	10,78	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	27,72
Strato (3) ghiaia sabbiosa	48,02	1,20-1,80	48,02	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	41,84

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) sabbia limosa	10,78	0,60-1,20	10,78	Schmertmann (1978) (Sabbie)	86,24
Strato (3) ghiaia sabbiosa	48,02	1,20-1,80	48,02	Schmertmann (1978) (Sabbie)	384,16

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) sabbia limosa	10,78	0,60-1,20	10,78	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	86,08
Strato (3) ghiaia sabbiosa	48,02	1,20-1,80	48,02	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	252,17

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (2) sabbia limosa	10,78	0,60-1,20	10,78	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (3) ghiaia sabbiosa	48,02	1,20-1,80	48,02	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 (2) sabbia limosa	10,78	0,60-1,20	10,78	Meyerhof et al.	1,76
Strato (3) ghiaia sabbiosa	48,02	1,20-1,80	48,02	Meyerhof et al.	2,23

ALLEGATO 1 – ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICHE

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (2) sabbia limosa	10,78	0,60-1,20	10,78	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,92
Strato (3) ghiaia sabbiosa	48,02	1,20-1,80	48,02	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,15

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (2) sabbia limosa	10,78	0,60-1,20	10,78	(A.G.I.)	0,33
Strato (3) ghiaia sabbiosa	48,02	1,20-1,80	48,02	(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 (2) sabbia limosa	10,78	0,60-1,20	10,78	Ohsaki (Sabbie pulite)	607,54
Strato (3) ghiaia sabbiosa	48,02	1,20-1,80	48,02	Ohsaki (Sabbie pulite)	2474,29

Coefficiente spinta a Riposo  $K_0 = \sigma_H / P_0$

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (2) sabbia limosa	10,78	0,60-1,20	10,78	Navfac 1971-1982	2,27
Strato (3) ghiaia sabbiosa	48,02	1,20-1,80	48,02	Navfac 1971-1982	7,90

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

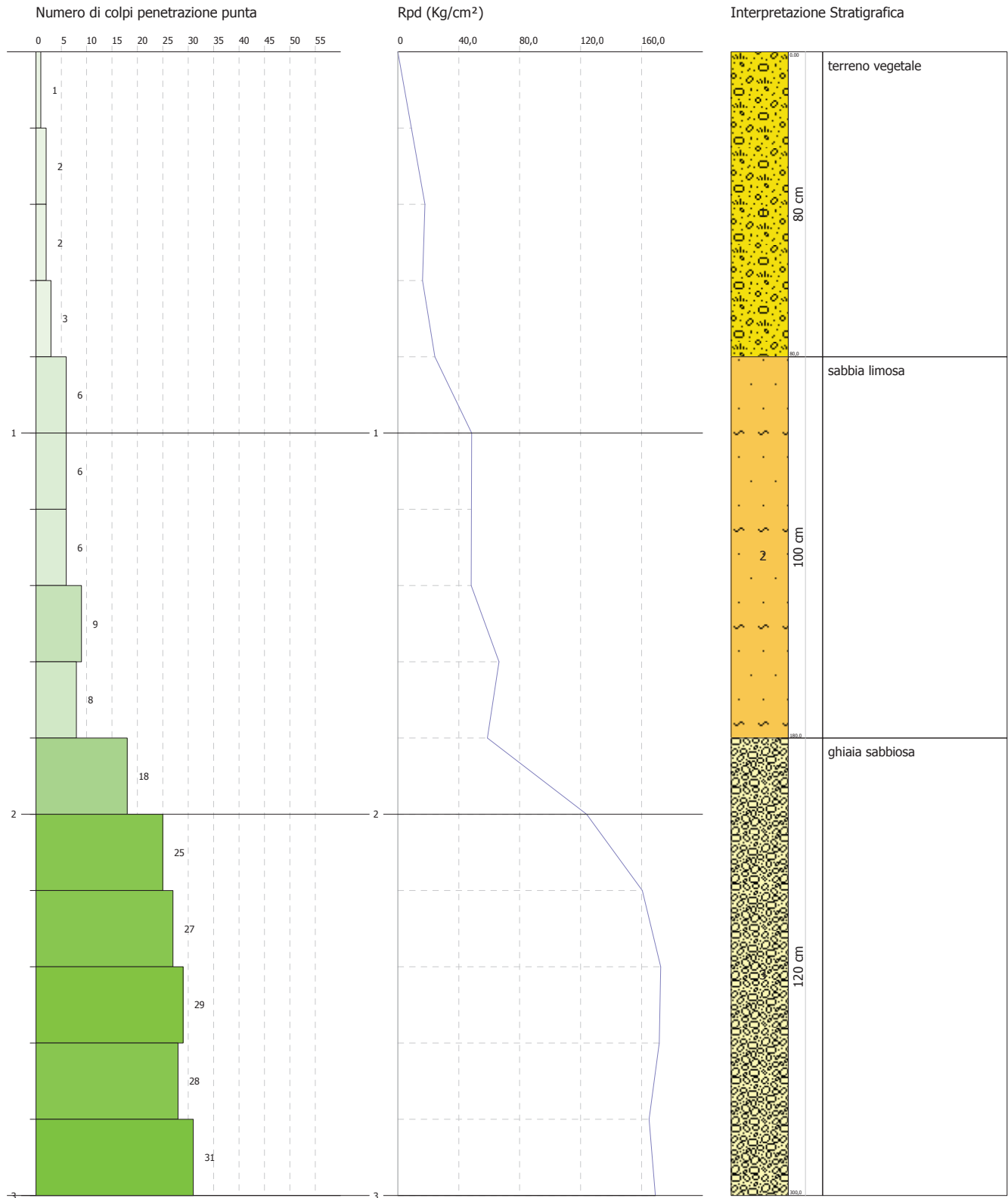
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) sabbia limosa	10,78	0,60-1,20	10,78	Robertson 1983	21,56
Strato (3) ghiaia sabbiosa	48,02	1,20-1,80	48,02	Robertson 1983	96,04

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

Committente: Il Pilastro s.r.l.  
Descrizione: Piano particolareggiato a destinazione residenziale  
Località: Il Pilastro

Data: 24/11/2021

Scala 1:15



ESECUTORE INDAGINI:

**GeoTest s.r.l.**

COMMITTENTE: Immobiliare Il Pilastro s.r.l.

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P 3

## TERRENI COESIVI

## Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	2,94	0.00-0,80	Schmertmann 1975	0,28

## Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	2,94	0.00-0,80	Robertson (1983)	5,88

## Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	2,94	0.00-0,80	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	31,78

## Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	2,94	0.00-0,80	Apollonia	29,40

## Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) terreno vegetale	2,94	0.00-0,80	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE

## Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	2,94	0.00-0,80	Meyerhof	1,63

## Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	2,94	0.00-0,80	Meyerhof	1,86

**TERRENI INCOERENTI**

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (2) sabbia limosa	10,29	0,80-1,80	10,29	Skempton 1986	33,63
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,71	1,80-3,00	38,71	Skempton 1986	71,33

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (2) sabbia limosa	10,29	0,80-1,80	10,29	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	27,42
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,71	1,80-3,00	38,71	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	39,1

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) sabbia limosa	10,29	0,80-1,80	10,29	Schmertmann (1978) (Sabbie)	82,32
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,71	1,80-3,00	38,71	Schmertmann (1978) (Sabbie)	309,68

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) sabbia limosa	10,29	0,80-1,80	10,29	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	83,89
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,71	1,80-3,00	38,71	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	210,65

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (2) sabbia limosa	10,29	0,80-1,80	10,29	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,71	1,80-3,00	38,71	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 (2) sabbia limosa	10,29	0,80-1,80	10,29	Meyerhof et al.	1,74
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,71	1,80-3,00	38,71	Meyerhof et al.	2,20

ALLEGATO 1 – ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICHE

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (2) sabbia limosa	10,29	0,80-1,80	10,29	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,92
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,71	1,80-3,00	38,71	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,10

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (2) sabbia limosa	10,29	0,80-1,80	10,29	(A.G.I.)	0,33
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,71	1,80-3,00	38,71	(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 (2) sabbia limosa	10,29	0,80-1,80	10,29	Ohsaki (Sabbie pulite)	581,55
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,71	1,80-3,00	38,71	Ohsaki (Sabbie pulite)	2020,54

Coefficiente spinta a Riposo  $K_0 = \sigma_H / P_0$

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	$K_0$
Strato (2) sabbia limosa	10,29	0,80-1,80	10,29	Navfac 1971-1982	2,16
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,71	1,80-3,00	38,71	Navfac 1971-1982	6,73

$Q_c$  (Resistenza punta Penetrometro Statico)

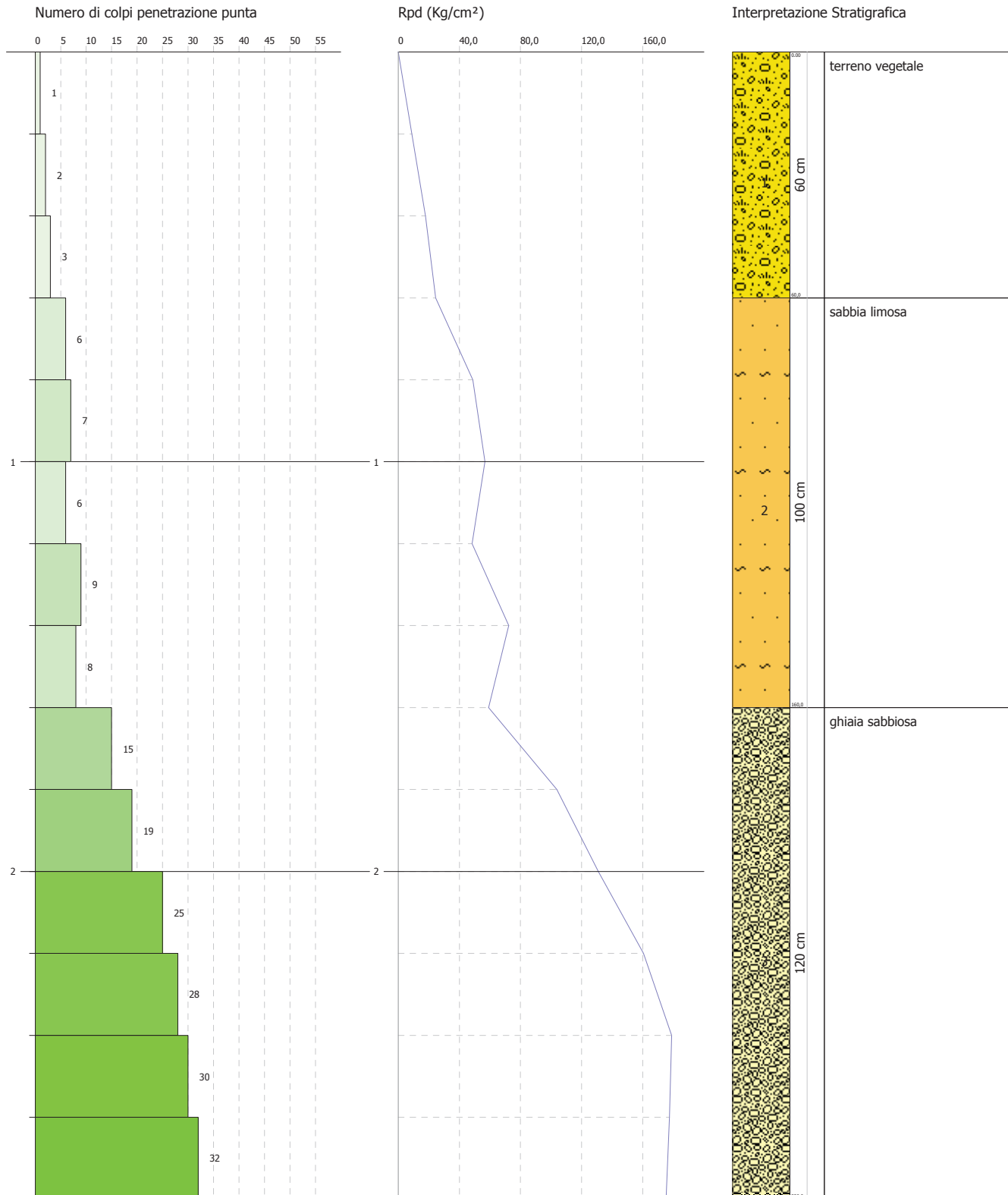
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	$Q_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) sabbia limosa	10,29	0,80-1,80	10,29	Robertson 1983	20,58
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,71	1,80-3,00	38,71	Robertson 1983	77,42

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

Committente: Il Pilastro s.r.l.  
Descrizione: Piano particolareggiato a destinazione residenziale  
Località: Il Pilastro

Data: 24/11/2021

Scala 1:14





ESECUTORE INDAGINI:

**GeoTest s.r.l.**

COMMITTENTE: Immobiliare Il Pilastro s.r.l.

## 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) terreno vegetale	2,94	0.00-0,60	Schmertmann 1975	0,28

## Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	2,94	0.00-0,60	Robertson (1983)	5,88

## Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	2,94	0.00-0,60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	31,78

## Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	2,94	0.00-0,60	Apollonia	29,40

## Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) terreno vegetale	2,94	0.00-0,60	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE

## Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	2,94	0.00-0,60	Meyerhof	1,63

## Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	2,94	0.00-0,60	Meyerhof	1,86

**TERRENI INCOERENTI**

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (2) sabbia limosa	10,58	0,60-1,60	10,58	Skempton 1986	34,26
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,5	1,60-2,80	36,5	Skempton 1986	69,49

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (2) sabbia limosa	10,58	0,60-1,60	10,58	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	27,6
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,5	1,60-2,80	36,5	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	38,4

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) sabbia limosa	10,58	0,60-1,60	10,58	Schmertmann (1978) (Sabbie)	84,64
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,5	1,60-2,80	36,5	Schmertmann (1978) (Sabbie)	292,00

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) sabbia limosa	10,58	0,60-1,60	10,58	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	85,19
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,5	1,60-2,80	36,5	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	200,79

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (2) sabbia limosa	10,58	0,60-1,60	10,58	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,5	1,60-2,80	36,5	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 (2) sabbia limosa	10,58	0,60-1,60	10,58	Meyerhof et al.	1,75
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,5	1,60-2,80	36,5	Meyerhof et al.	2,18

ALLEGATO 1 – ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICHE

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (2) sabbia limosa	10,58	0,60-1,60	10,58	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,92
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,5	1,60-2,80	36,5	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,08

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (2) sabbia limosa	10,58	0,60-1,60	10,58	(A.G.I.)	0,33
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,5	1,60-2,80	36,5	(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 (2) sabbia limosa	10,58	0,60-1,60	10,58	Ohsaki (Sabbie pulite)	596,94
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,5	1,60-2,80	36,5	Ohsaki (Sabbie pulite)	1911,92

Coefficiente spinta a Riposo K<sub>0</sub>=SigmaH/P<sub>0</sub>

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K <sub>0</sub>
Strato (2) sabbia limosa	10,58	0,60-1,60	10,58	Navfac 1971-1982	2,23
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,5	1,60-2,80	36,5	Navfac 1971-1982	6,46

Q<sub>c</sub> (Resistenza punta Penetrometro Statico)

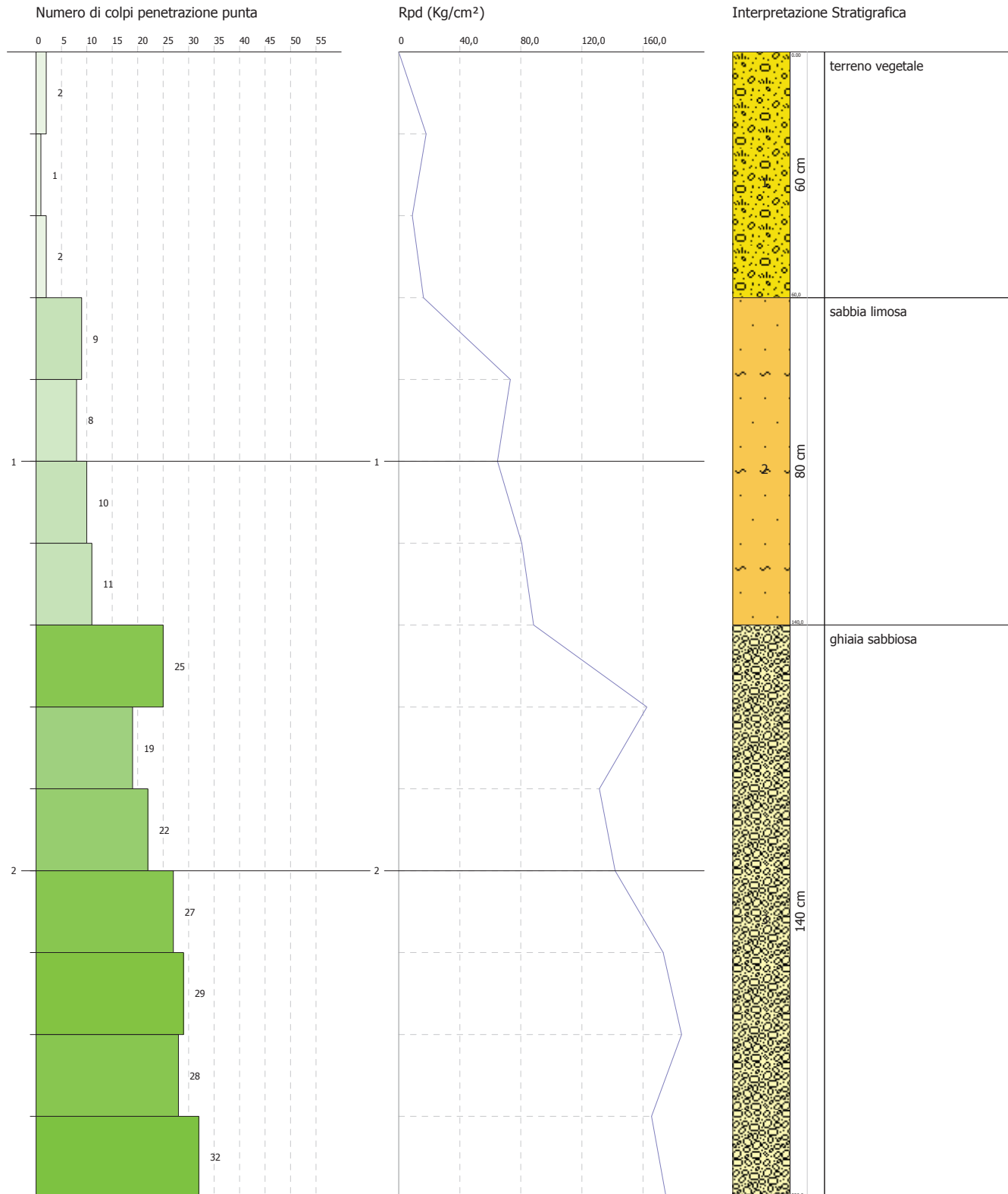
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Q <sub>c</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) sabbia limosa	10,58	0,60-1,60	10,58	Robertson 1983	21,16
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,5	1,60-2,80	36,5	Robertson 1983	73,00

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

Committente: Il Pilastro s.r.l.  
Descrizione: Piano particolareggiato a destinazione residenziale  
Località: Il Pilastro

Data: 24/11/2021

Scala 1:14



ESECUTORE INDAGINI:

**GeoTest s.r.l.**

COMMITTENTE: Immobiliare Il Pilastro s.r.l.

## 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) terreno vegetale	2,45	0.00-0,60	Schmertmann 1975	0,24

## Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	2,45	0.00-0,60	Robertson (1983)	4,90

## Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	2,45	0.00-0,60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	26,78

## Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	2,45	0.00-0,60	Apollonia	24,50

## Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) terreno vegetale	2,45	0.00-0,60	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE

## Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	2,45	0.00-0,60	Meyerhof	1,60

## Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	2,45	0.00-0,60	Meyerhof	1,86

**TERRENI INCOERENTI**

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (2) sabbia limosa	13,97	0,60-1,40	13,97	Skempton 1986	41,11
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,22	1,40-2,80	38,22	Skempton 1986	70,93

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (2) sabbia limosa	13,97	0,60-1,40	13,97	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	29,48
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,22	1,40-2,80	38,22	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	38,94

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) sabbia limosa	13,97	0,60-1,40	13,97	Schmertmann (1978) (Sabbie)	111,76
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,22	1,40-2,80	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 (2) sabbia limosa	13,97	0,60-1,40	13,97	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	100,31
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,22	1,40-2,80	38,22	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	208,46

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (2) sabbia limosa	13,97	0,60-1,40	13,97	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,22	1,40-2,80	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 (2) sabbia limosa	13,97	0,60-1,40	13,97	Meyerhof et al.	1,85
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,22	1,40-2,80	38,22	Meyerhof et al.	2,19

ALLEGATO 1 – ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICHE

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (2) sabbia limosa	13,97	0,60-1,40	13,97	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,94
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,22	1,40-2,80	38,22	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,09

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (2) sabbia limosa	13,97	0,60-1,40	13,97	(A.G.I.)	0,33
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,22	1,40-2,80	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 (2) sabbia limosa	13,97	0,60-1,40	13,97	Ohsaki (Sabbie pulite)	775,17
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,22	1,40-2,80	38,22	Ohsaki (Sabbie pulite)	1996,49

Coefficiente spinta a Riposo K<sub>0</sub>=SigmaH/P<sub>0</sub>

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K <sub>0</sub>
Strato (2) sabbia limosa	13,97	0,60-1,40	13,97	Navfac 1971-1982	2,92
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,22	1,40-2,80	38,22	Navfac 1971-1982	6,67

Q<sub>c</sub> (Resistenza punta Penetrometro Statico)

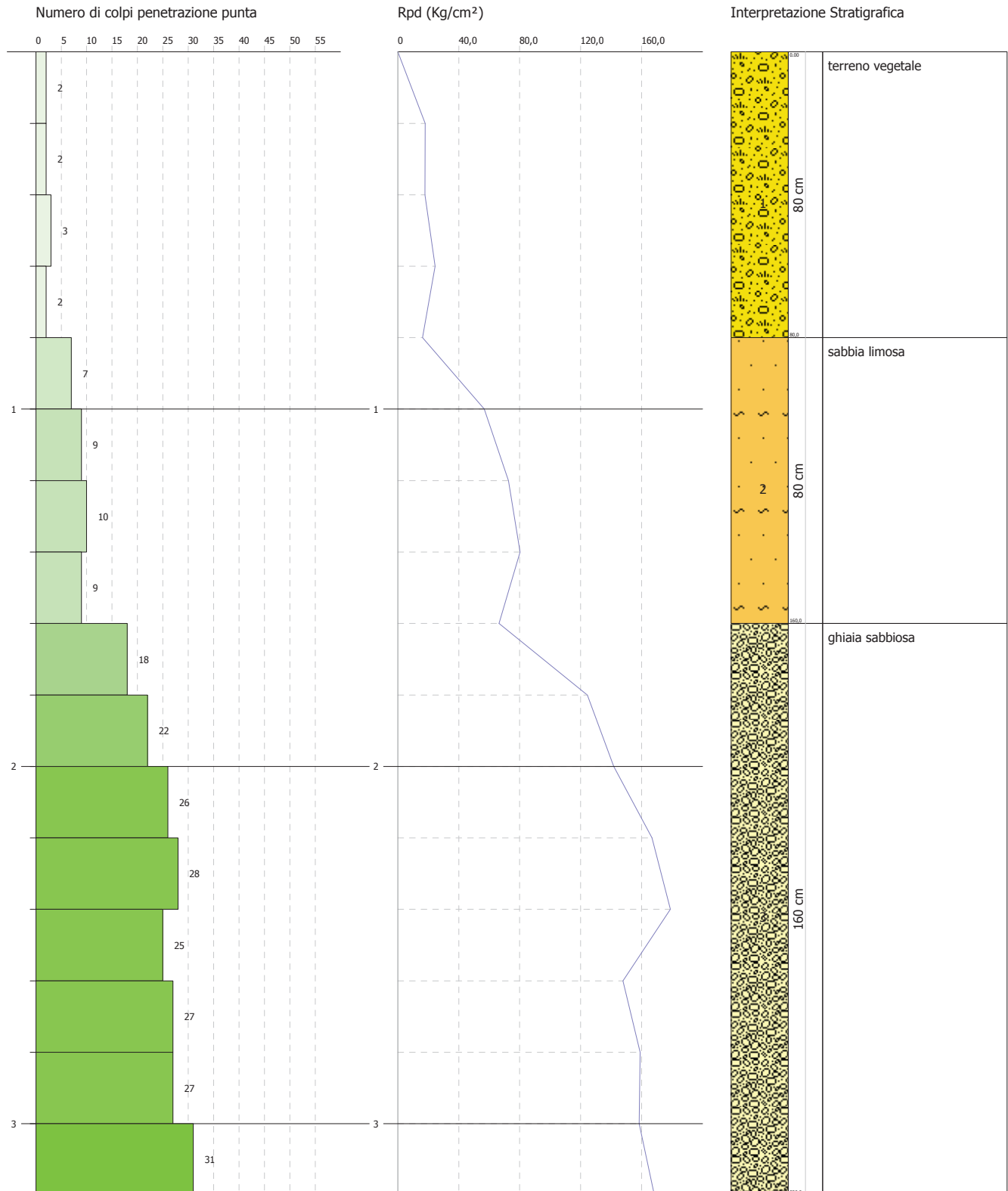
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Q <sub>c</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) sabbia limosa	13,97	0,60-1,40	13,97	Robertson 1983	27,94
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,22	1,40-2,80	38,22	Robertson 1983	76,44

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P 6  
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Il Pilastro s.r.l.  
Descrizione: Piano particolareggiato a destinazione residenziale  
Località: Il Pilastro

Data: 24/11/2021

Scala 1:16





ESECUTORE INDAGINI:

**GeoTest s.r.l.**

COMMITTENTE: Immobiliare Il Pilastro s.r.l.

## STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P 6

## TERRENI COESIVI

## Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	3,31	0.00-0,80	Schmertmann 1975	0,32

## Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	3,31	0.00-0,80	Robertson (1983)	6,62

## Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	3,31	0.00-0,80	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	35,55

## Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	3,31	0.00-0,80	Apollonia	33,10

## Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) terreno vegetale	3,31	0.00-0,80	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE

## Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	3,31	0.00-0,80	Meyerhof	1,66

## Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	3,31	0.00-0,80	Meyerhof	1,86

**TERRENI INCOERENTI**

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (2) sabbia limosa	12,86	0,80-1,60	12,86	Skempton 1986	38,97
Strato (3) ghiaia sabbiosa	37,49	1,60-3,20	37,49	Skempton 1986	70,32

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (2) sabbia limosa	12,86	0,80-1,60	12,86	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	28,89
Strato (3) ghiaia sabbiosa	37,49	1,60-3,20	37,49	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	38,71

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) sabbia limosa	12,86	0,80-1,60	12,86	Schmertmann (1978) (Sabbie)	102,88
Strato (3) ghiaia sabbiosa	37,49	1,60-3,20	37,49	Schmertmann (1978) (Sabbie)	299,92

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) sabbia limosa	12,86	0,80-1,60	12,86	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	95,36
Strato (3) ghiaia sabbiosa	37,49	1,60-3,20	37,49	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	205,21

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (2) sabbia limosa	12,86	0,80-1,60	12,86	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (3) ghiaia sabbiosa	37,49	1,60-3,20	37,49	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 (2) sabbia limosa	12,86	0,80-1,60	12,86	Meyerhof et al.	1,82
Strato (3) ghiaia sabbiosa	37,49	1,60-3,20	37,49	Meyerhof et al.	2,19

ALLEGATO 1 – ELABORAZIONE PROVE PENETROMETRICHE

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (2) sabbia limosa	12,86	0,80-1,60	12,86	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,94
Strato (3) ghiaia sabbiosa	37,49	1,60-3,20	37,49	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,09

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (2) sabbia limosa	12,86	0,80-1,60	12,86	(A.G.I.)	0,33
Strato (3) ghiaia sabbiosa	37,49	1,60-3,20	37,49	(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 (2) sabbia limosa	12,86	0,80-1,60	12,86	Ohsaki (Sabbie pulite)	717,13
Strato (3) ghiaia sabbiosa	37,49	1,60-3,20	37,49	Ohsaki (Sabbie pulite)	1960,62

Coefficiente spinta a Riposo K<sub>0</sub>=SigmaH/P<sub>0</sub>

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K <sub>0</sub>
Strato (2) sabbia limosa	12,86	0,80-1,60	12,86	Navfac 1971-1982	2,70
Strato (3) ghiaia sabbiosa	37,49	1,60-3,20	37,49	Navfac 1971-1982	6,58

Q<sub>c</sub> (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Q <sub>c</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) sabbia limosa	12,86	0,80-1,60	12,86	Robertson 1983	25,72
Strato (3) ghiaia sabbiosa	37,49	1,60-3,20	37,49	Robertson 1983	74,98

# Allegato 2

## Indagine Geofisica di Superficie

# Indagine Geofisica

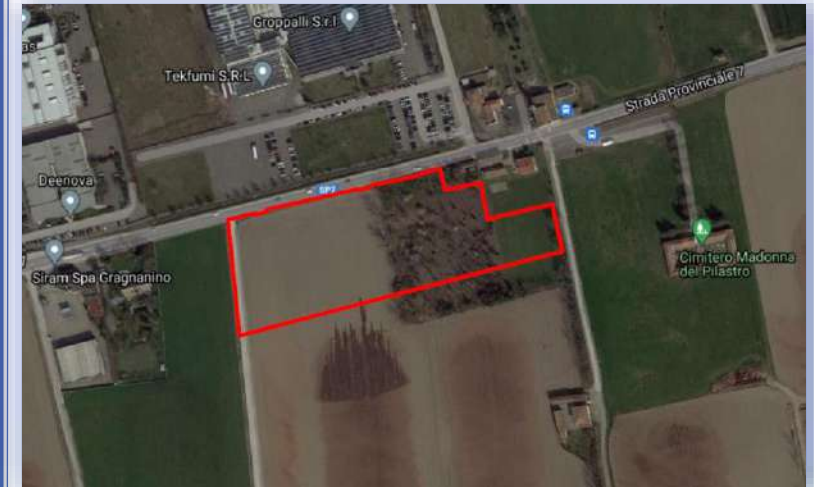
---

## PROVA SISMICA MULTICANALE MASW

# DATI GENERALI

- **COMMITTENTE** : SPETT.LE "IMMOBILIARE IL PILASTRO S.R.L."
- **CANTIERE** : PIANO PARTICOLAREGGIATO DI INIZIATIVA PRIVATA A DESTINAZIONE RESIDENZIALE
- **LOCALITÀ** : LOCALITÀ PILASTRO  
29010 GRAGNANO TREBBIENSE (PC)

## COROGRAFIA



## INDAGINI CONDOTTE

MASW 1



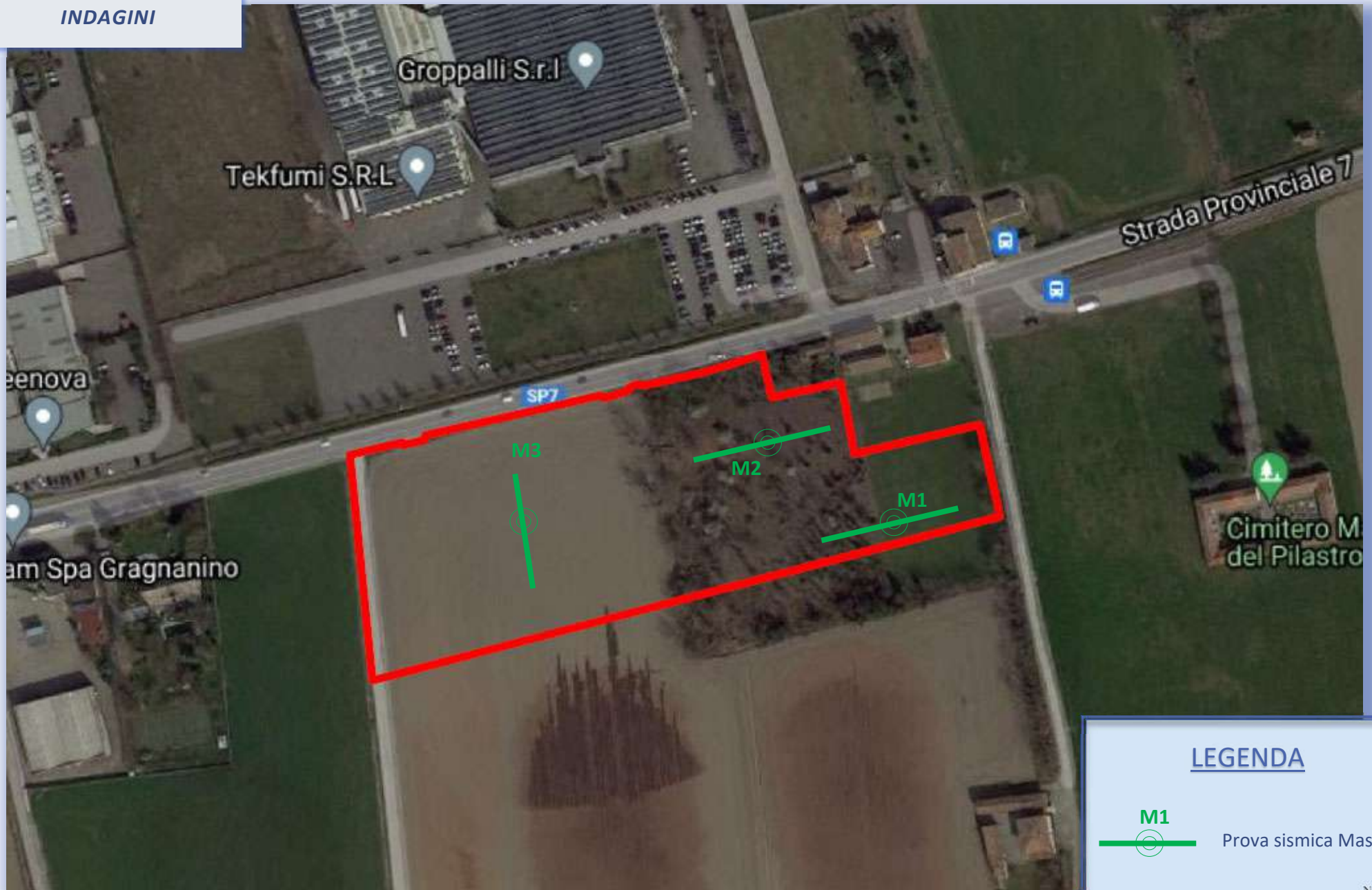
MASW 2



MASW 3



PLANIMETRIA DELLE  
INDAGINI



LEGENDA

**M1**  
—○— Prova sismica Masw



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

### 1.1 PREMESSA

Su incarico e per conto di "Immobiliare Il Pilastro s.r.l.", sono state condotte, il giorno 23 novembre 2021, n. 3 prove geofisiche mediante metodo di analisi spettrale delle onde di superficie (Rayleigh) con tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), presso una lottizzazione sita in Località Pilastro, comune di Gragnano Trebbiense (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  $V_s$  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  $V_s$  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.



## Seismograph ECHO 24/2010 Seismic Unit







61 pins connector

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitor:</li> <li>• Number of channels:</li> <li>• A/D Conversion:</li> <li>• Dynamic range:</li> <li>• Cross talk:</li> <li>• Preamplify gain:</li> <li>• Frequency response:</li> <li>• Acquisition and display filter:</li> <li>• Sampling interval:</li> <li>• Record length:</li> <li>• Stacking trigger accuracy:</li> <li>• Distorsion (THD):</li> <li>• Max input signal:</li> <li>• CMR:</li> <li>• Noise:</li> <li>• Pre-trigger data:</li> <li>• Delay:</li> <li>• Temperature range:</li> <li>• Power:</li> <li>• Continuous recording:</li> <li>• Output format:</li> <li>• Connector:</li> </ul>	<p>Touchscreen/External laptop 12-24+1 24 bits 130dB @1ms PG=0dB 120dB @1ms PG=18dB &gt;90db 0db, 6db, 12db, 24db, 30 db, 36 db 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) Low Cut Out 10,15,25,35,50,70,100,200,280,400 Hz 32us,64us,128us,256us,480us,960us 16000 samples 1/32 of samples interval 0,0004 % 2Vpp,0Db 110dB (ICM =60Hz, I DATA = 30kSPS) 0,25uV,2ms,36Db 524ms @ 32us sample interval 0 to 2500ms step 10ms - 30°C/+70°C 12 V HVSR SEG-Y/SG2 / SAF (SESAME ASCII FORMAT) 61-pin Bendix connector - NK27-pin Cannon connector</p>
---	---

Figura 1: Sismografo Echo 24/2010 Seismic UNIT Ambrogeo

La geometria di acquisizione ha previsto n. 3 stendimenti 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 Eliosoft*" 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.

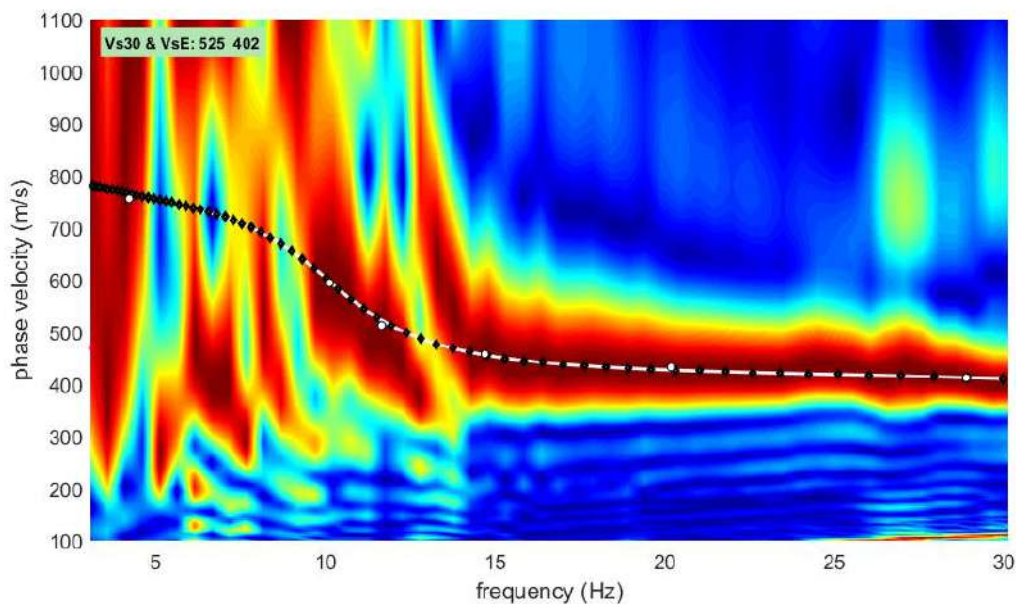


Figura 2: Grafico velocità di fase-frequenza e curva di dispersione della prova 1

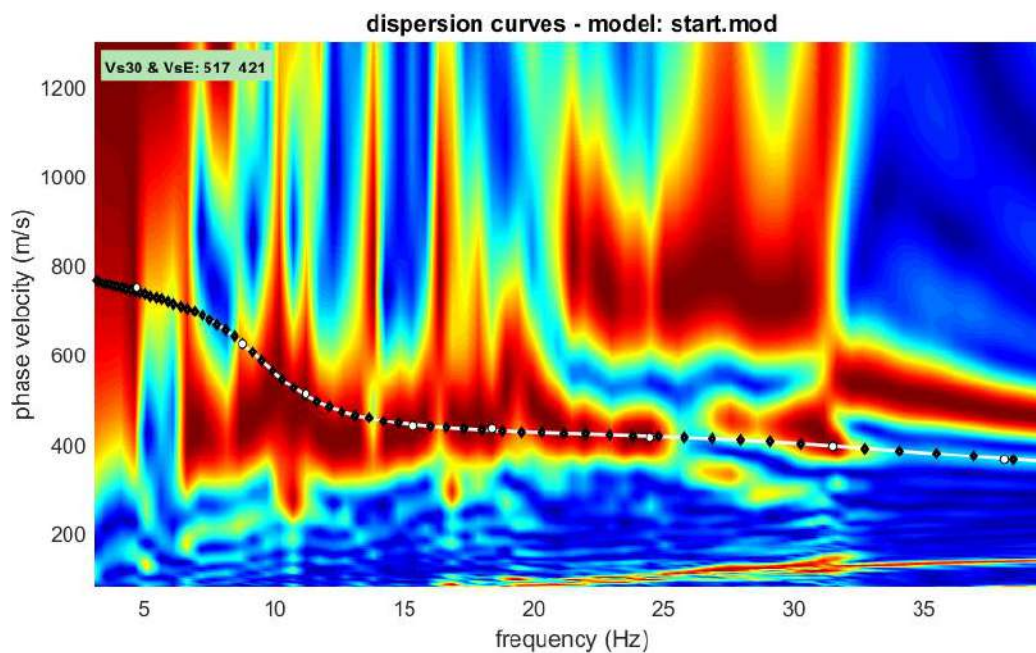


Figura 3: Grafico velocità di fase-frequenza e curva di dispersione della prova 2

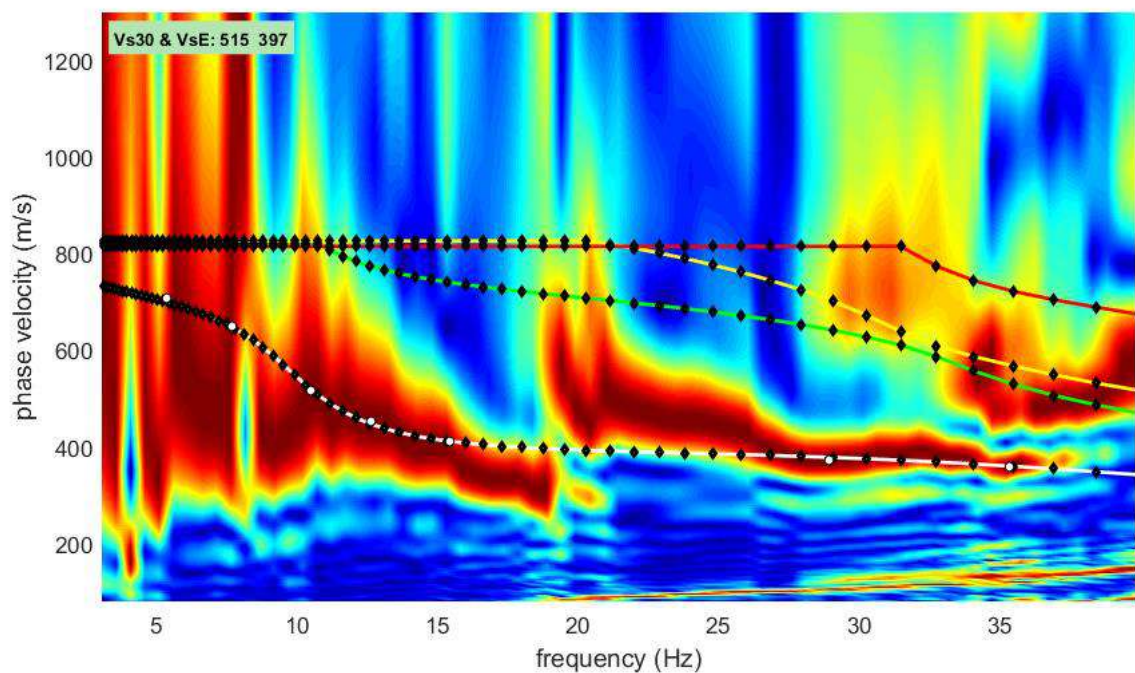
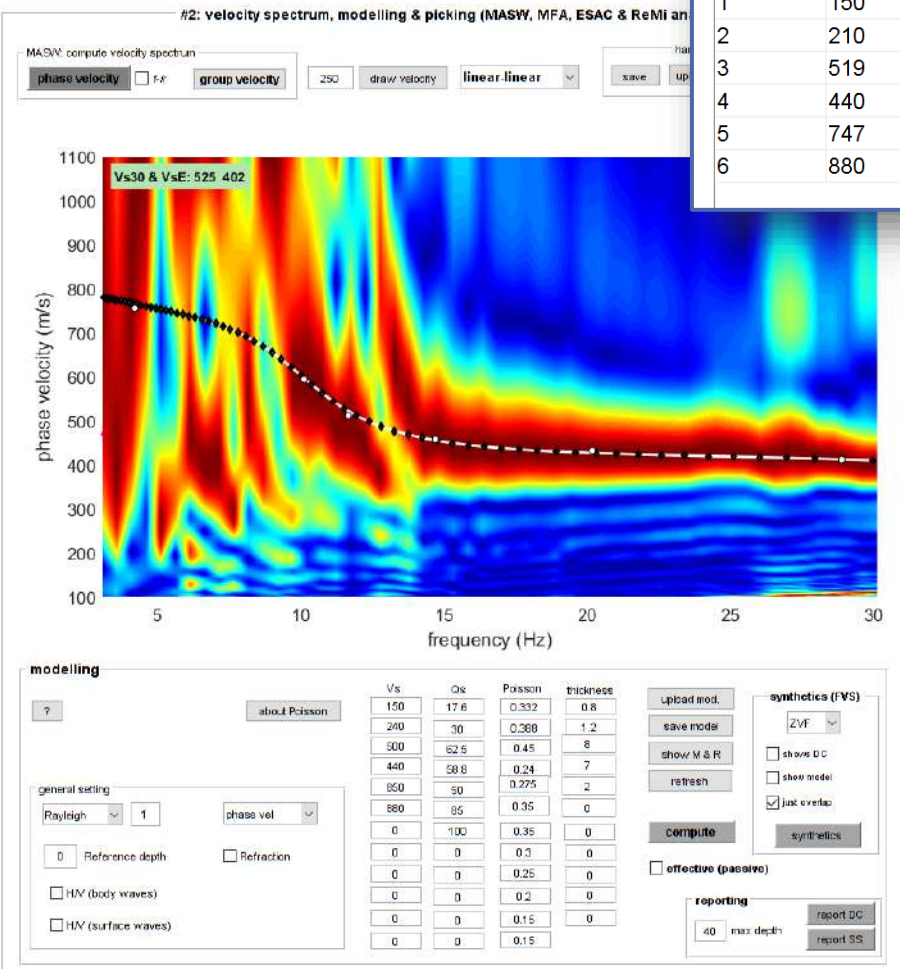
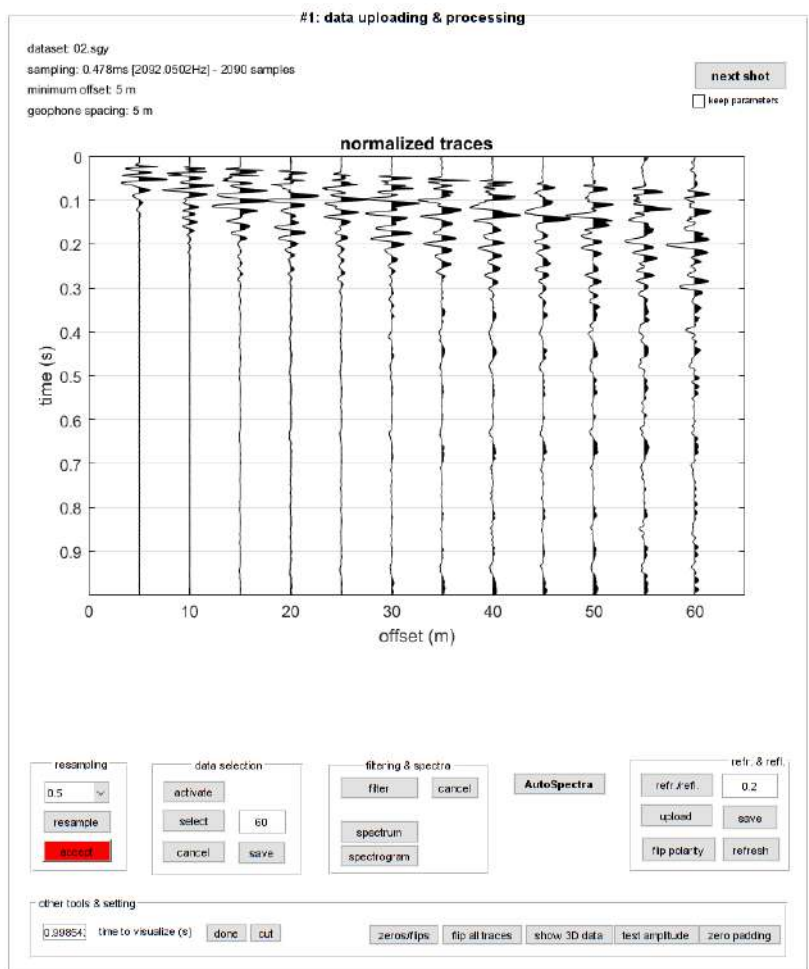


Figura 4: Grafico velocità di fase-frequenza e curva di dispersione della prova 3

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	150	0.7030	0.7030
2	210	1.0384	1.7414
3	519	8.1107	9.8522
4	440	7	16.8522
5	747	1.4275	18.2796
6	880	0	0

auto picking

dispersion curves: fundamental

to select the last part of the considered mode click the right button

save picking ?

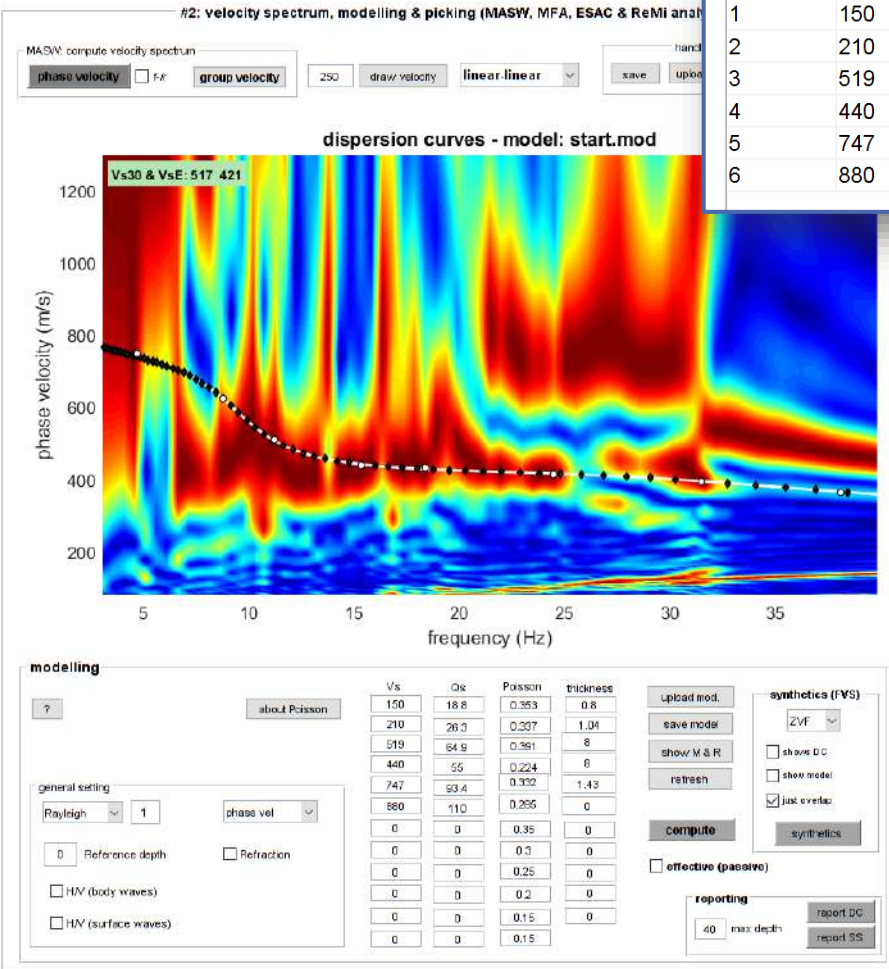
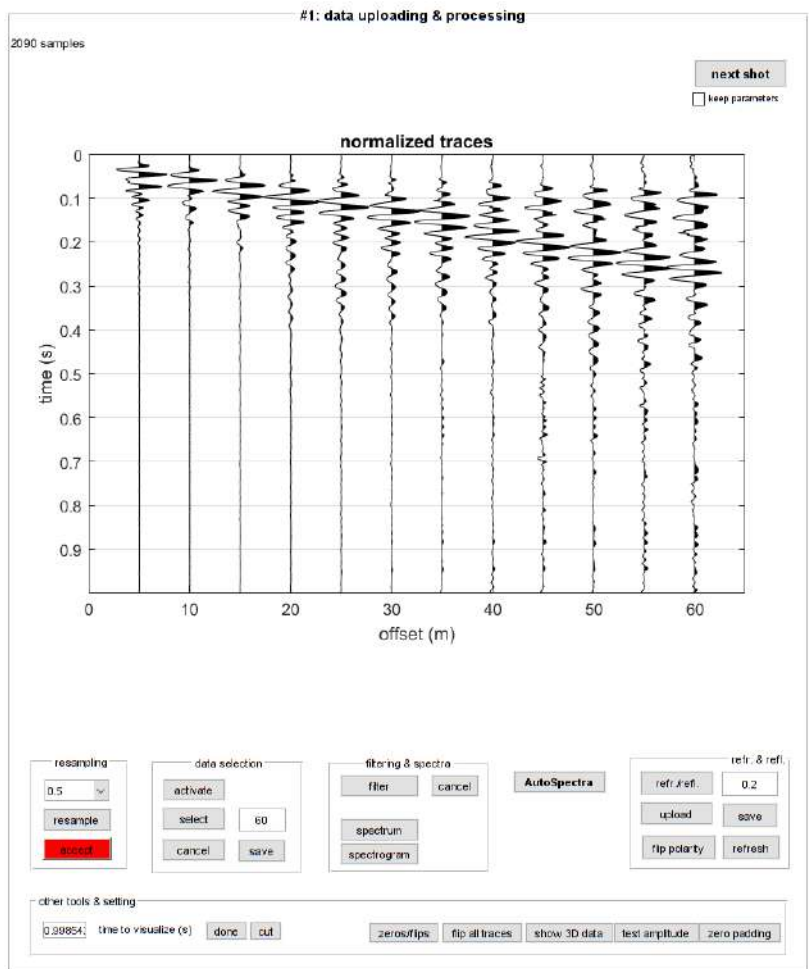
pk1.edp

cancel picking

inversion: inversion, joint D+HV inv.

www.winmasw.com

Figura 5: Sulla sinistra i dati di campagna e sulla destra lo spettro di velocità calcolato (prova 1)



best model

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	150	0.8000	0.8000
2	210	1.0400	1.8400
3	519	8	9.8400
4	440	8	17.8400
5	747	1.0387	18.8787
6	880	0	0

auto picking

dispersion curves: fundamental

to select the last point of the considered mode click the right button

save picking ?

pick.edp

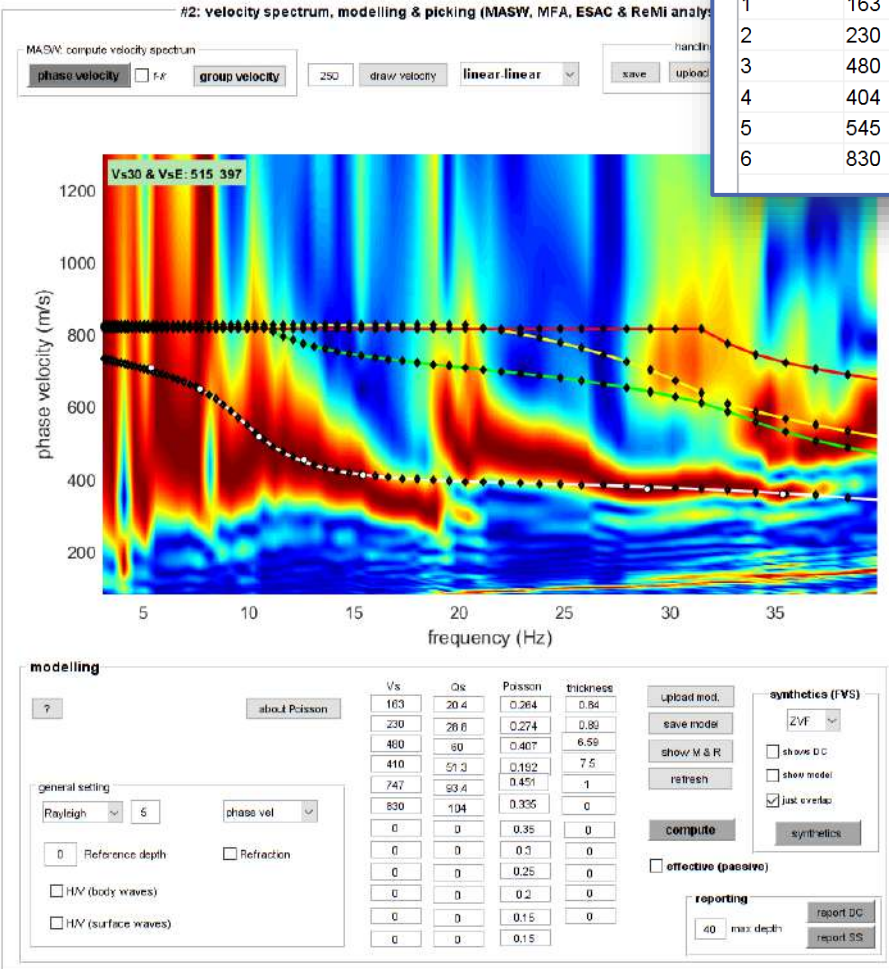
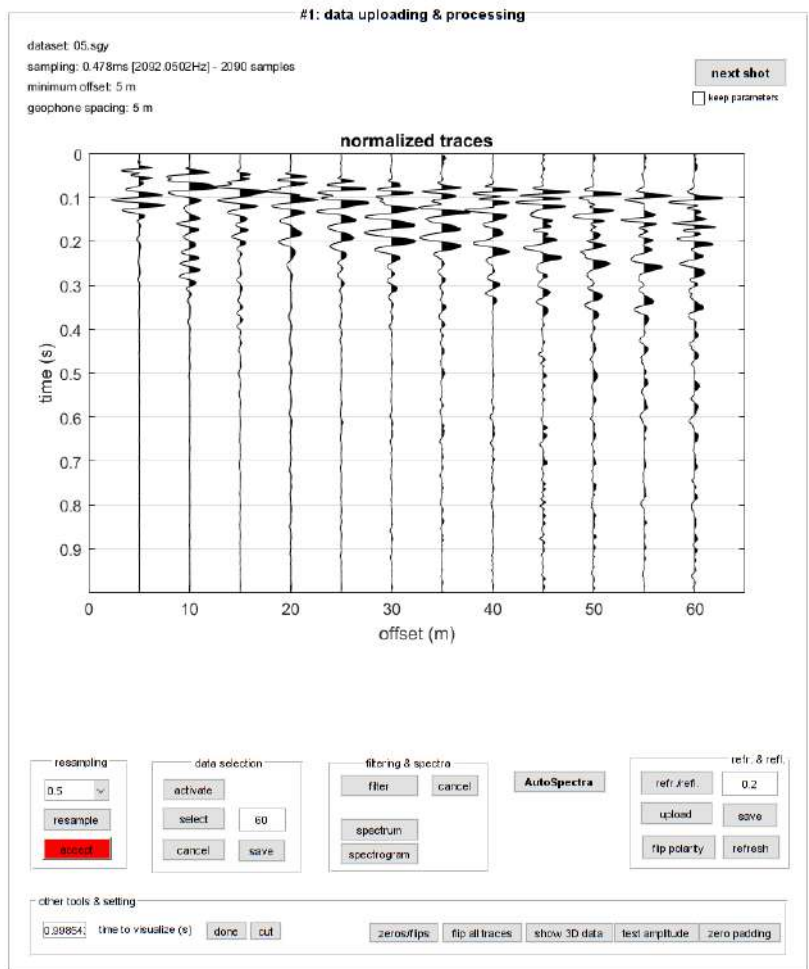
cancel picking

inversion: inversion, joint D+HV inv.

www.winmasw.com

Figura 6: Sulla sinistra i dati di campagna e sulla destra lo spettro di velocità calcolato (prova 2)





best model

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	163	0.8400	0.8400
2	230	0.8900	1.7300
3	480	5.8830	7.6130
4	404	7.5000	15.1130
5	545	0.7542	15.8672
6	830	0	0

show file

auto picking

dispersion curves: fundamental

to select the last part of the considered mode click the right button

save picking ?

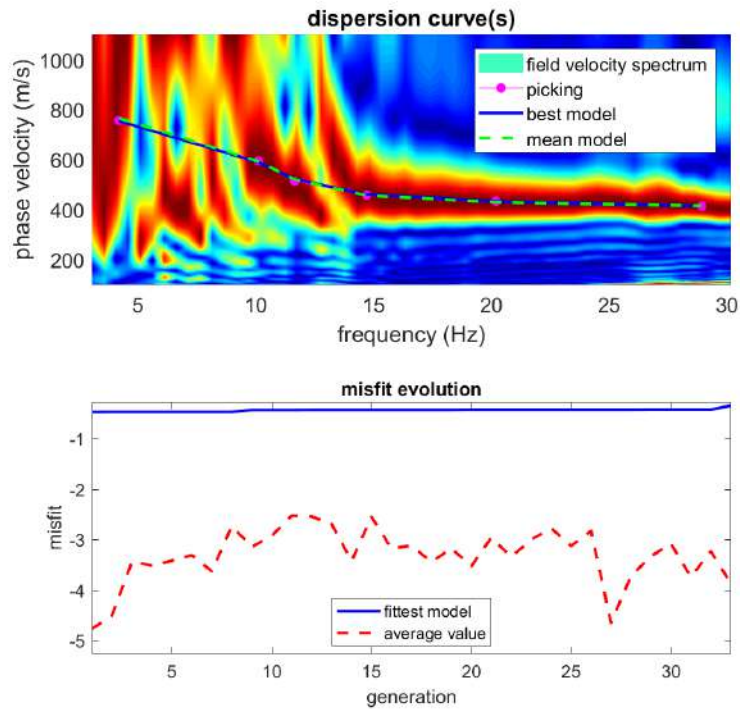
pk1.edp

cancel picking

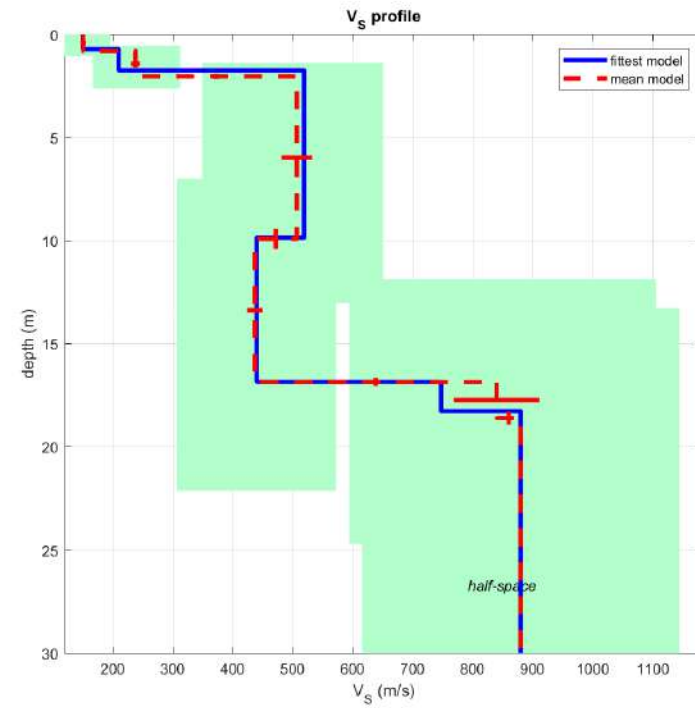
inversion: inversion, joint D+HV inv.

www.winmasw.com

Figura 7: Sulla sinistra i dati di campagna e sulla destra lo spettro di velocità calcolato (prova 3)

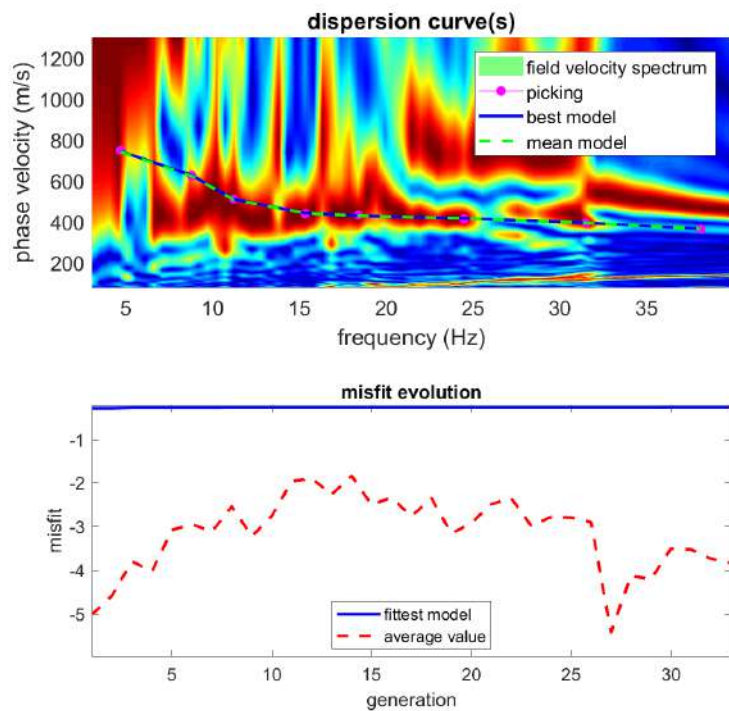


[www.winmasw.com](http://www.winmasw.com)

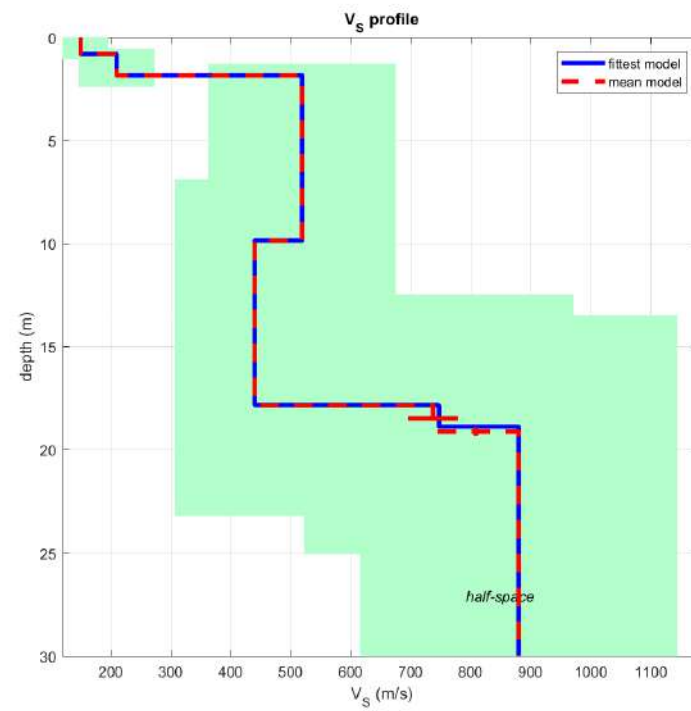


dataset: 02.sgy  
 dispersion curve: pik1.cdp  
 Vs30 & VsE (best model): 532 424 m/s  
 Vs30 & VsE (mean model): 527 402 m/s

Figura 8: Risultati della modellazione diretta con relativa curva di dispersione. A destra Profilo verticale Vs successivo al processo di inversione (Prova 1)

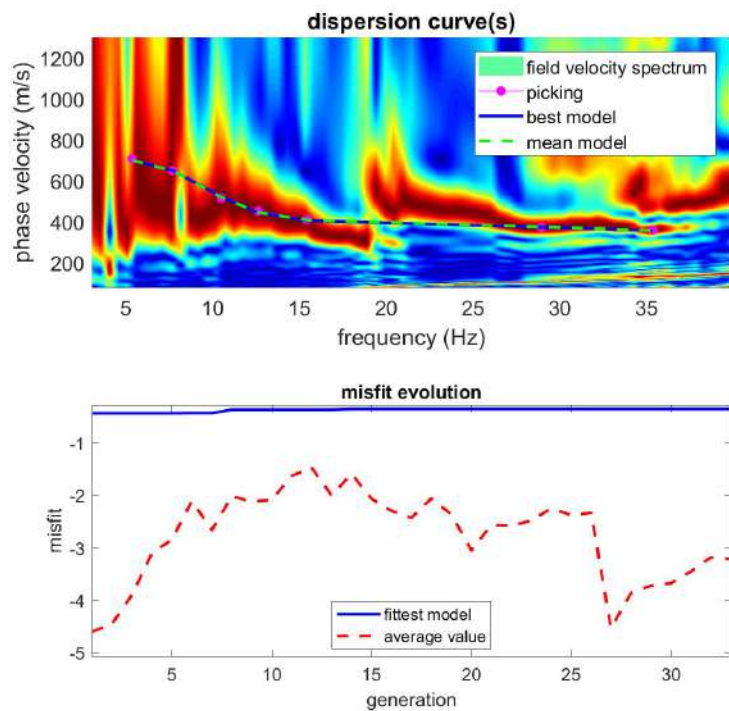


[www.winmasw.com](http://www.winmasw.com)

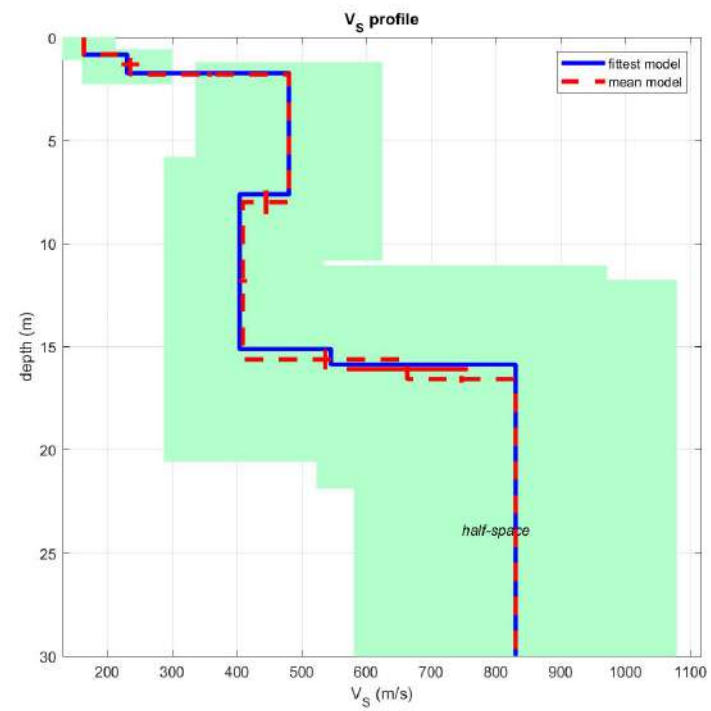


dataset: 04.sgy  
 dispersion curve: pik1.cdp  
 Vs30 & VsE (best model): 518 417 m/s  
 Vs30 & VsE (mean model): 517 419 m/s

Figura 9: Risultati della modellazione diretta con relativa curva di dispersione. A destra Profilo verticale Vs successivo al processo di inversione (Prova 2)



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



dataset: 05.sgy  
 dispersion curve: pik1.cdp  
 Vs30 & VsE (best model): 515 385 m/s  
 Vs30 & VsE (mean model): 514 393 m/s

Figura 10: Risultati della modellazione diretta con relativa curva di dispersione. A destra Profilo verticale Vs successivo al processo di inversione (Prova 3)

## Quadro d'insieme delle prove MASW

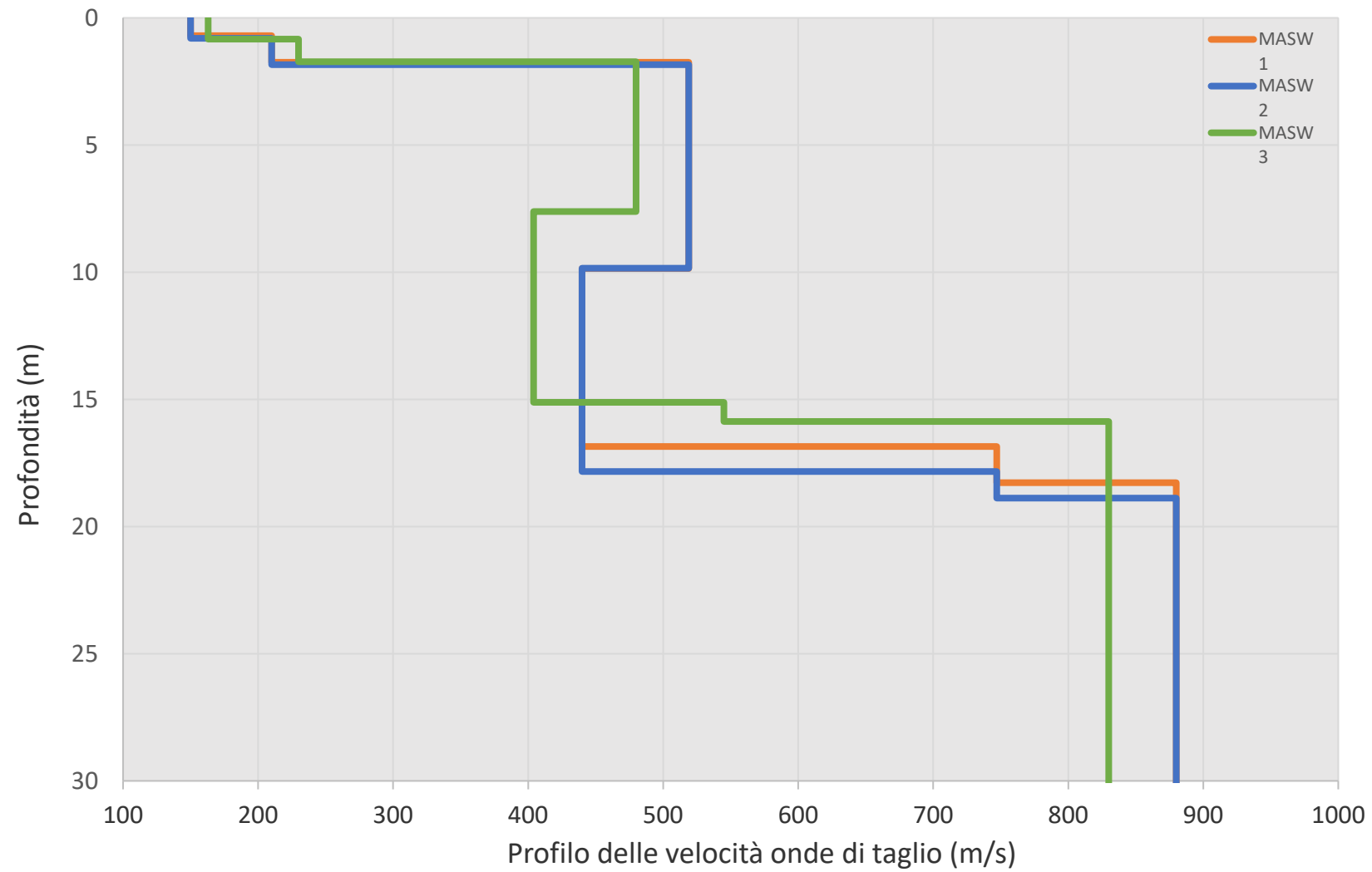


Figura 11: Quadro d'insieme delle prove MASW

## 1.5 ANALISI DEI RISULTATI

Per ciascuna delle 3 prove effettuate, 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.

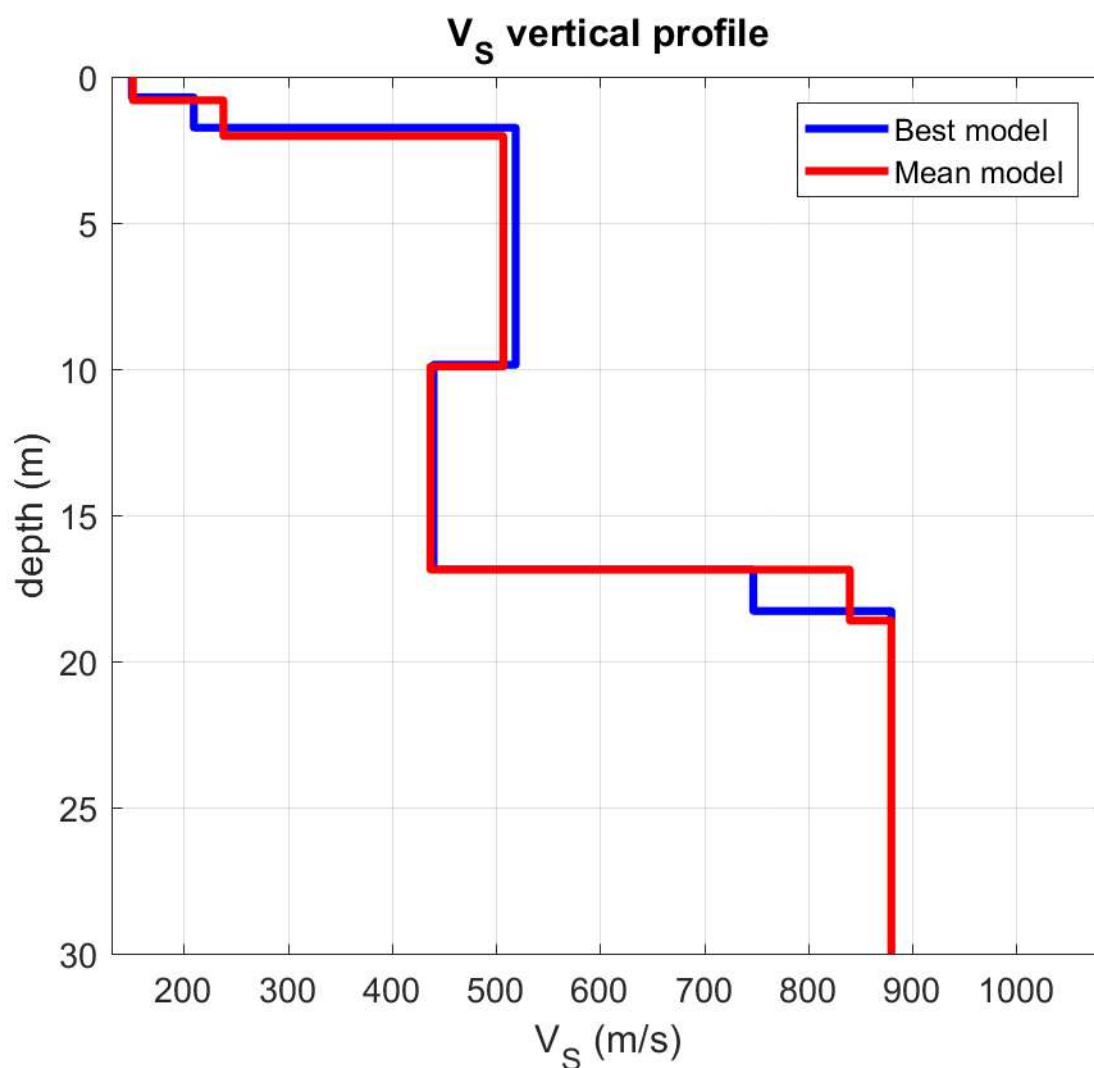


Figura 12: Profilo verticale di velocità delle onde "S" ( $V_S$ ) - Prova 1

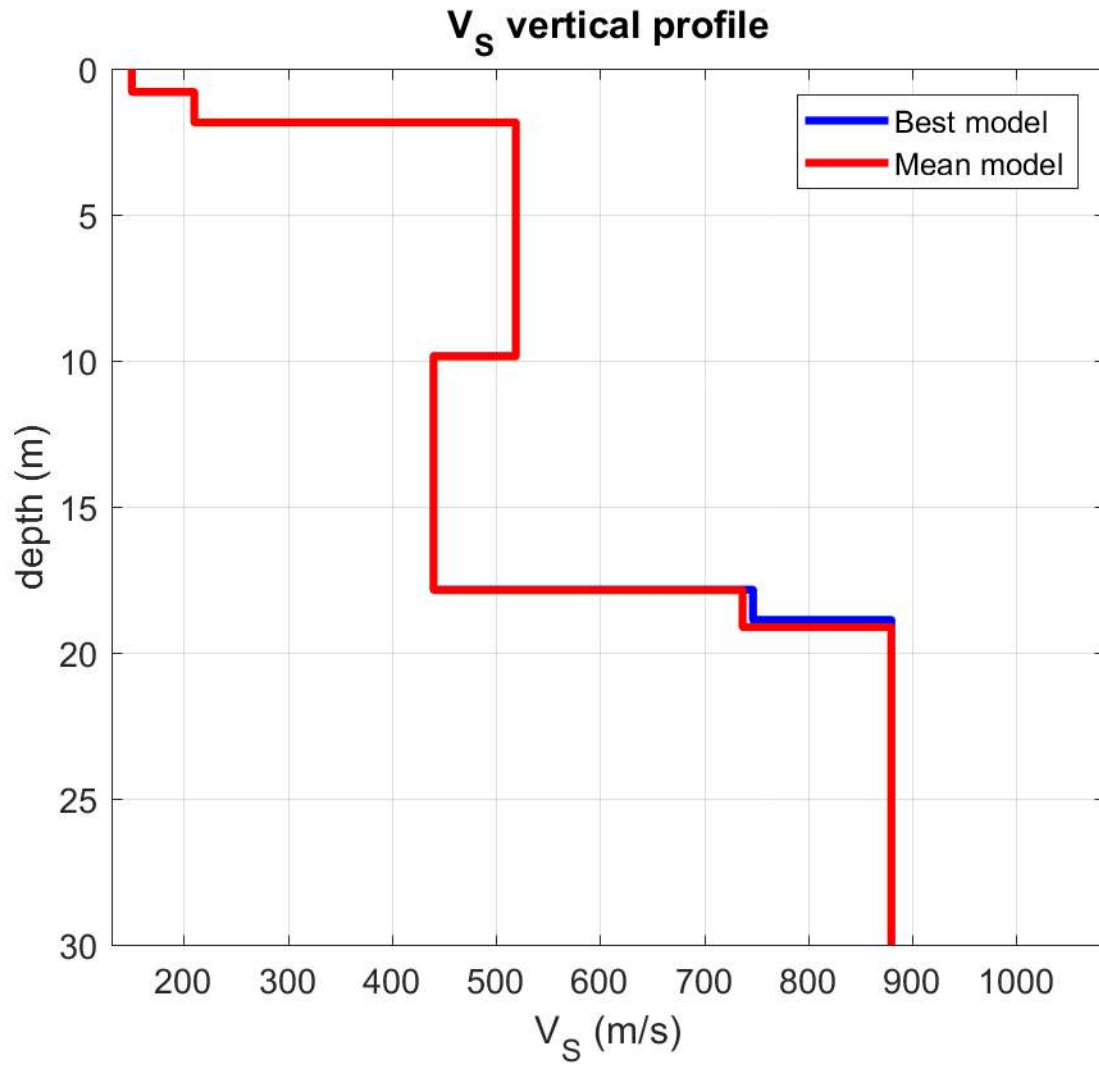


Figura 13: Profilo verticale di velocità delle onde "S" ( $V_S$ ) - Prova 2

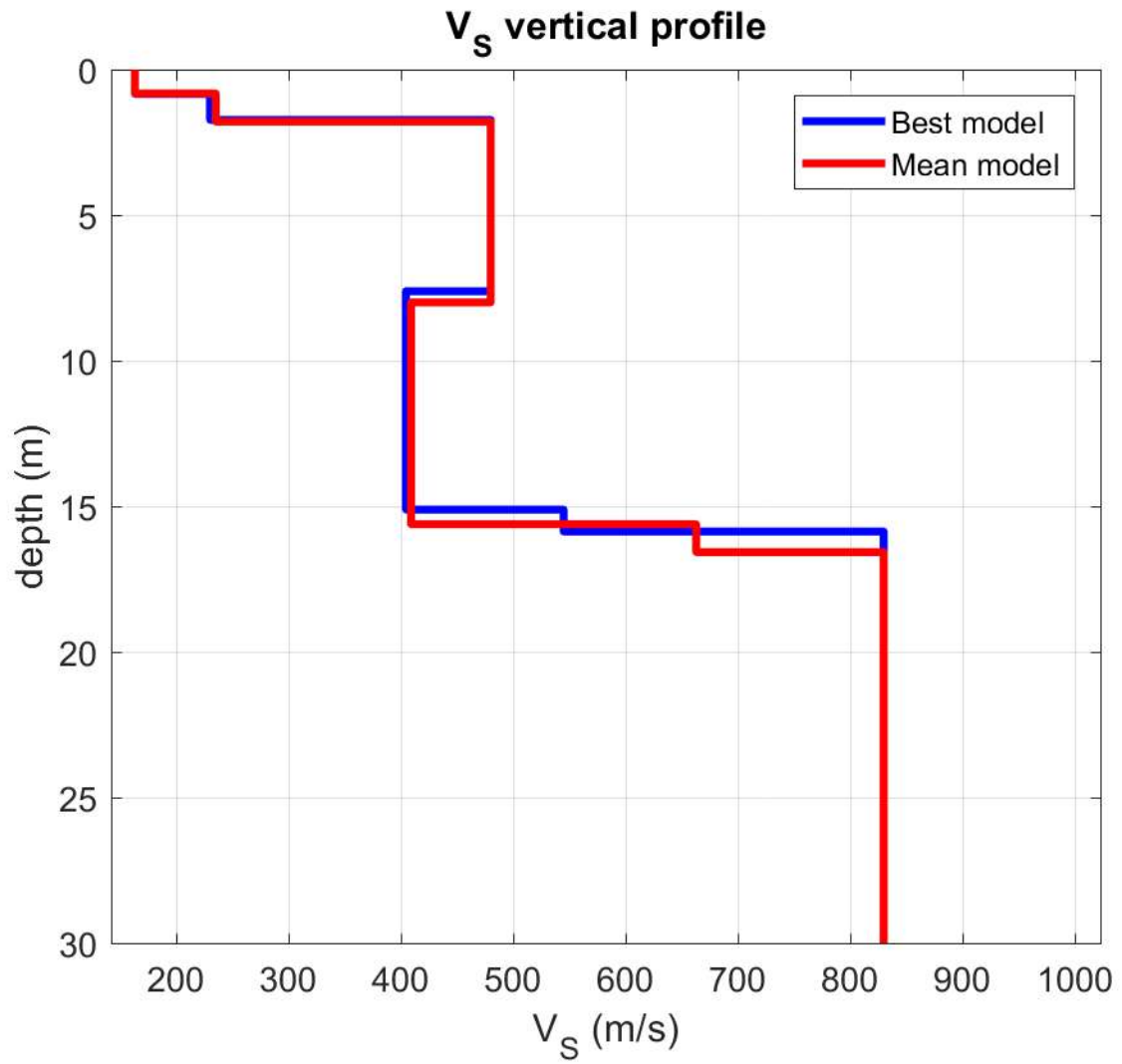


Figura 14: Profilo verticale di velocità delle onde "S" (Vs) - Prova 3



## 1.6 CONSIDERAZIONI INTERPRETATIVE CONCLUSIVE

I risultati delle prove 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.

Prove eseguite	Profondità da p.c.	Vs equivalente (m/sec)	Categoria di sottosuolo
<b>MASW 1</b>	0 m	Vs17, eq = <b>409</b>	<b>B</b>
	-1.0 m	Vs16, eq = <b>452</b>	<b>B</b>
	-2.0 m	Vs15, eq = <b>479</b>	<b>B</b>
<b>MASW 2</b>	0 m	Vs18, eq = <b>407</b>	<b>B</b>
	-1.0 m	Vs17, eq = <b>448</b>	<b>B</b>
	-2.0 m	Vs16, eq = <b>476</b>	<b>B</b>
<b>MASW 3</b>	0 m	Vs16, eq = <b>385</b>	<b>B</b>
	-1.0 m	Vs15, eq = <b>420</b>	<b>B</b>
	-2.0 m	Vs14, eq = <b>438</b>	<b>B</b>

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	Depositati 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	Depositati 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 da "Immobiliare Il Pilastro s.r.l.", sono state eseguite il giorno 23 novembre 2021, n. 3 indagini geofisiche mediante il metodo di analisi spettrale delle onde di superficie (Rayleigh) con tecnica MASW, presso una lottizzazione sita in Località Pilastro, comune di Gragnano Trebbiense (PC). Dall'esame dei profili verticali di velocità delle onde "S" (Vs) ottenuti, è stato possibile caratterizzare sismicamente l'area di studio, qualificando e quantificando le caratteristiche geosismiche dei terreni coinvolti. I modelli simo-stratigrafici restituiti, hanno mostrato un'apprezzabile correlatività con l'assetto geologico della zona; a seguire le considerazioni e deduzioni scaturite:

- I profili di velocità ricostruiti presentano un andamento sostanzialmente simile denotando una buona omogeneità litostratigrafica dell'area;
- La copertura fine poco addensata è di esiguo spessore (1.5-2.0 metri circa). I valori di Vs risultano infatti piuttosto elevati fin dalla superficie per la presenza di litotipi grossolani sub affioranti (ghiaie prevalenti e sabbie in matrice fine limoso-argillosa);
- Al di sotto dell'orizzonte più superficiale, fino a circa 15.0-18.0 metri di profondità, i valori di Vs subiscono un primo netto incremento superando i 450-520 m/s per la presenza di litotipi compatti ed addensati. Il deposito è caratterizzato da materiale alluvionale attritivo a natura prevalentemente ghiaiosa con possibile presenza di intercalazioni coesive (argilla e limo);
- Il bedrock sismico (velocità > 800 m/s) è stato identificato intorno ai 15.0-18.0 m circa di profondità. La successione litostratigrafica risulta costituita da litotipi grossolani molto addensati con possibile locale presenza di livelli cementati;
- I valori di Vs eq calcolati da p.c. e p.f. posto a -1.0 m e -2.0 m da p.c. variano da 385 m/s a 479 m/s definendo un suolo di fondazione sito specifico di tipo "B".

Trevozzo V.T., 29 novembre 2021

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 soffici 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:

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

dove:

- **V<sub>s</sub>** 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 Eliosoft.

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

### 1.3.1 DATA ACQUISITION

- Località = Località Pilastro, 29010 – Gragnano Trebbiense (PC)
- Station Coordinates HVSr 1 = 009°34.6952 E, 45°01.8703 N
- Station Coordinates HVSr 2 = 009°34.6361 E, 45°01.8989 N
- Station Coordinates HVSr 3 = 009°34.6026 E, 45°01.8833 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

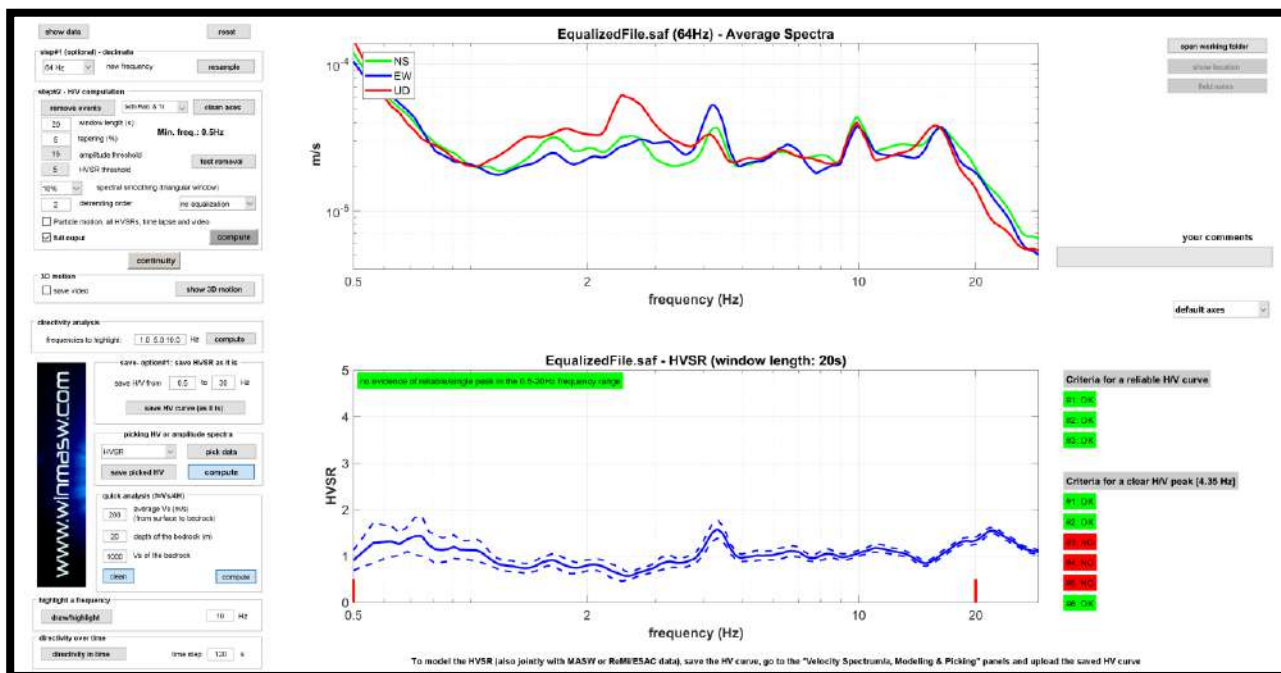


Figura 1: Prova HVSr\_1 la riga continua indica il valore medio, le tratteggiate le deviazioni standard

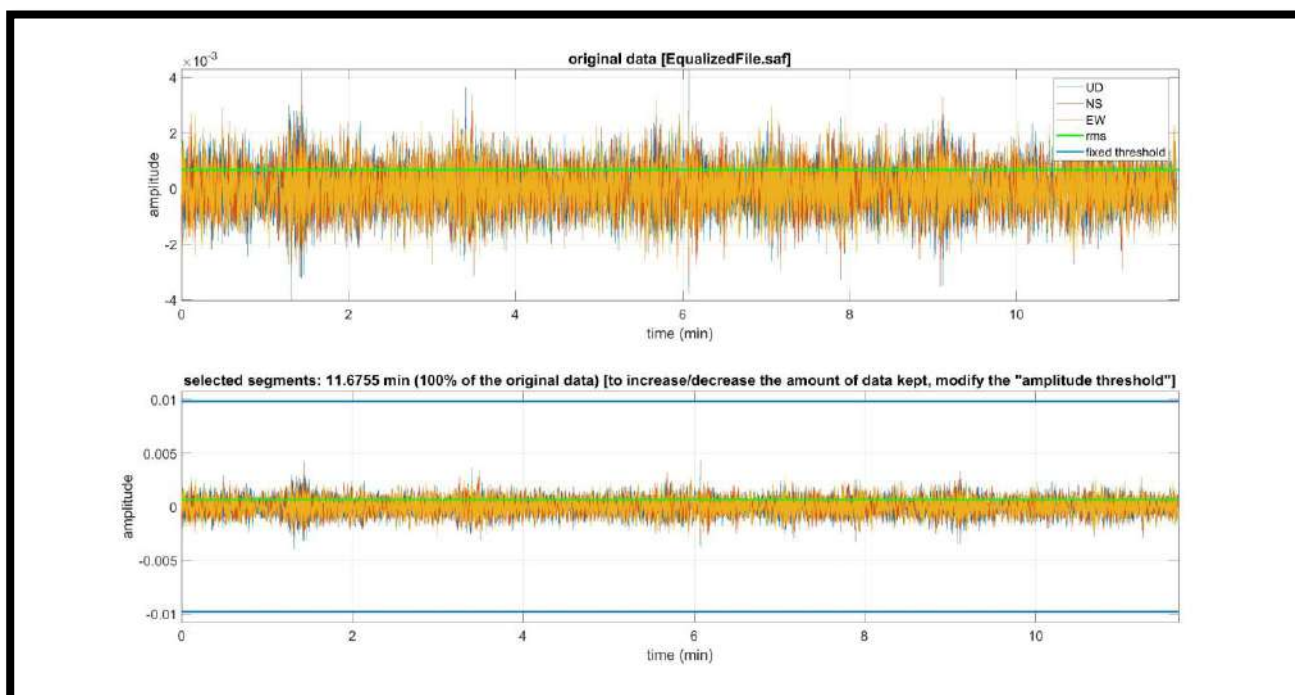


Figura 2: Prova HVSr\_1 dati originali e dati "puliti"

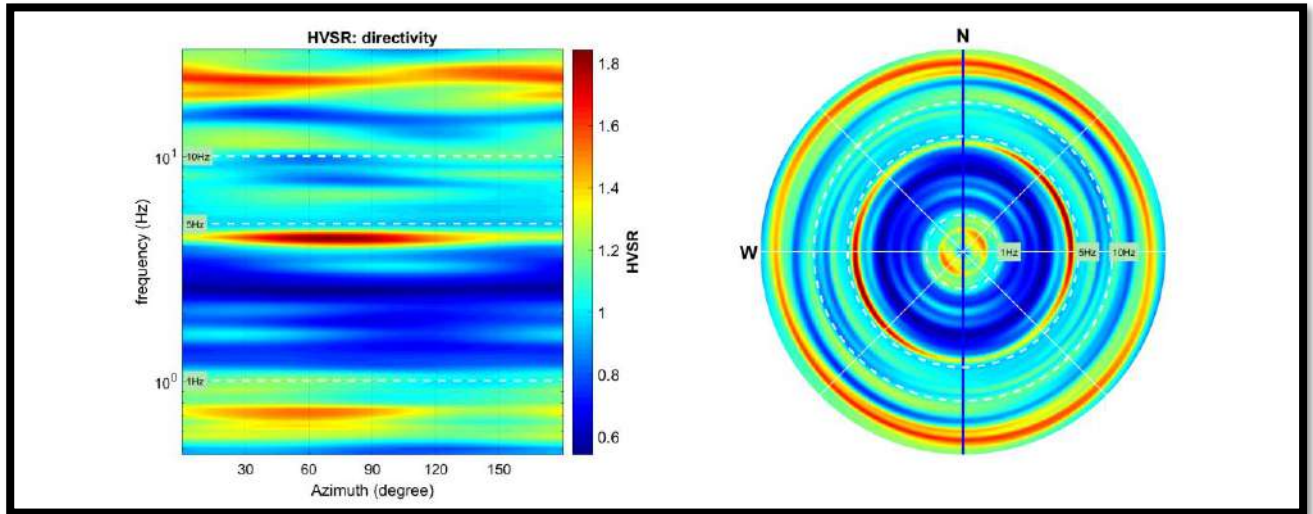


Figura 3: Prova HVSR\_1 directivity

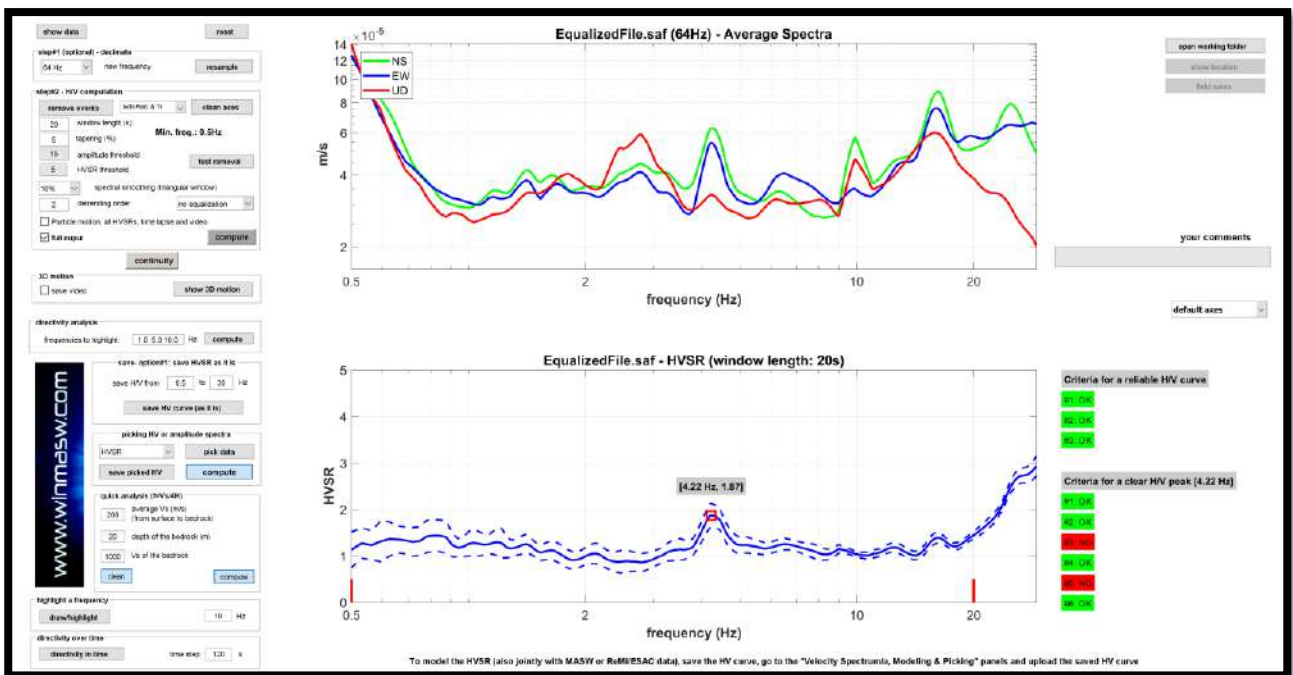


Figura 4: Prova HVSR\_2 la riga continua indica il valore medio, le tratteggiate le deviazioni standard

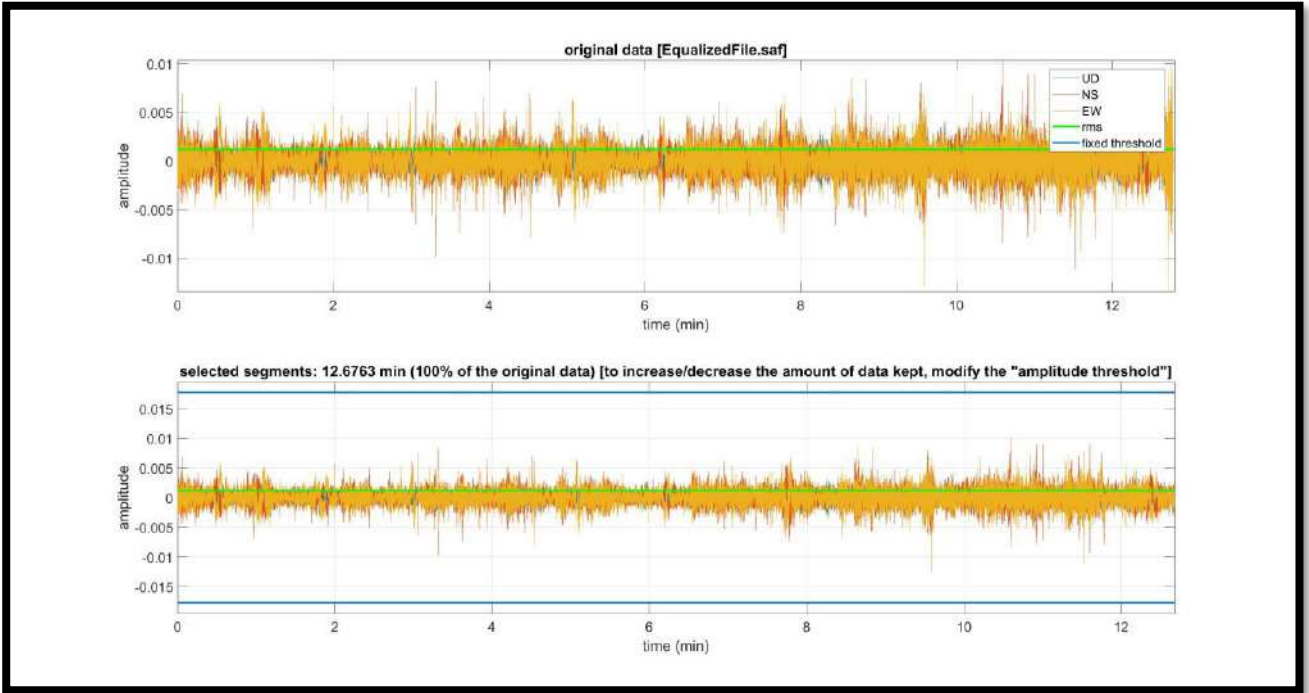


Figura 5: Prova HVSr\_2 dati originali e dati "puliti"

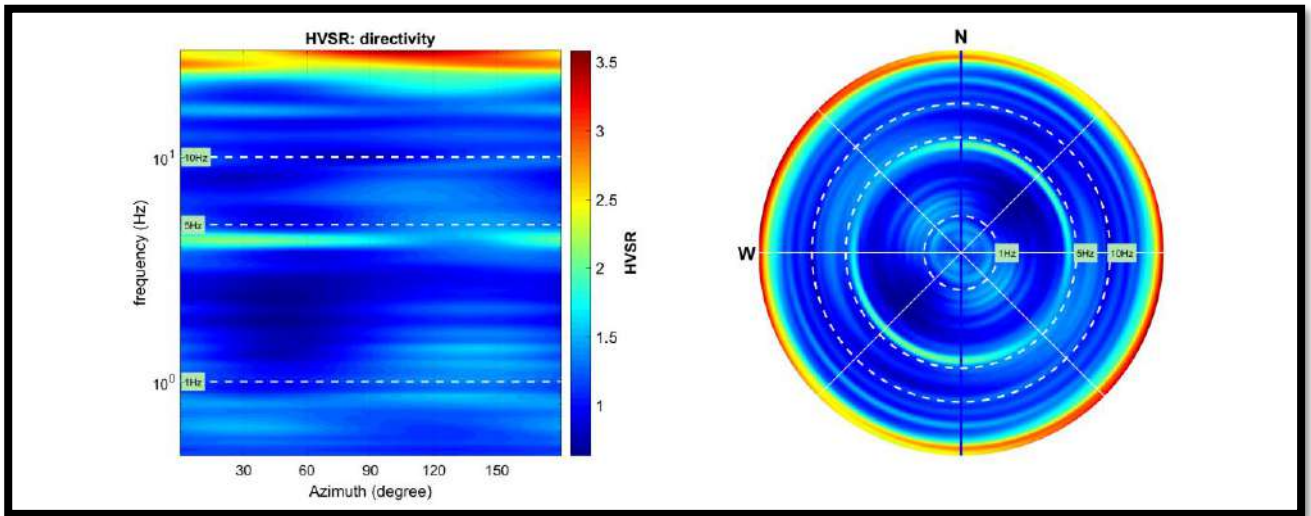


Figura 6: Prova HVSr\_2 directivity

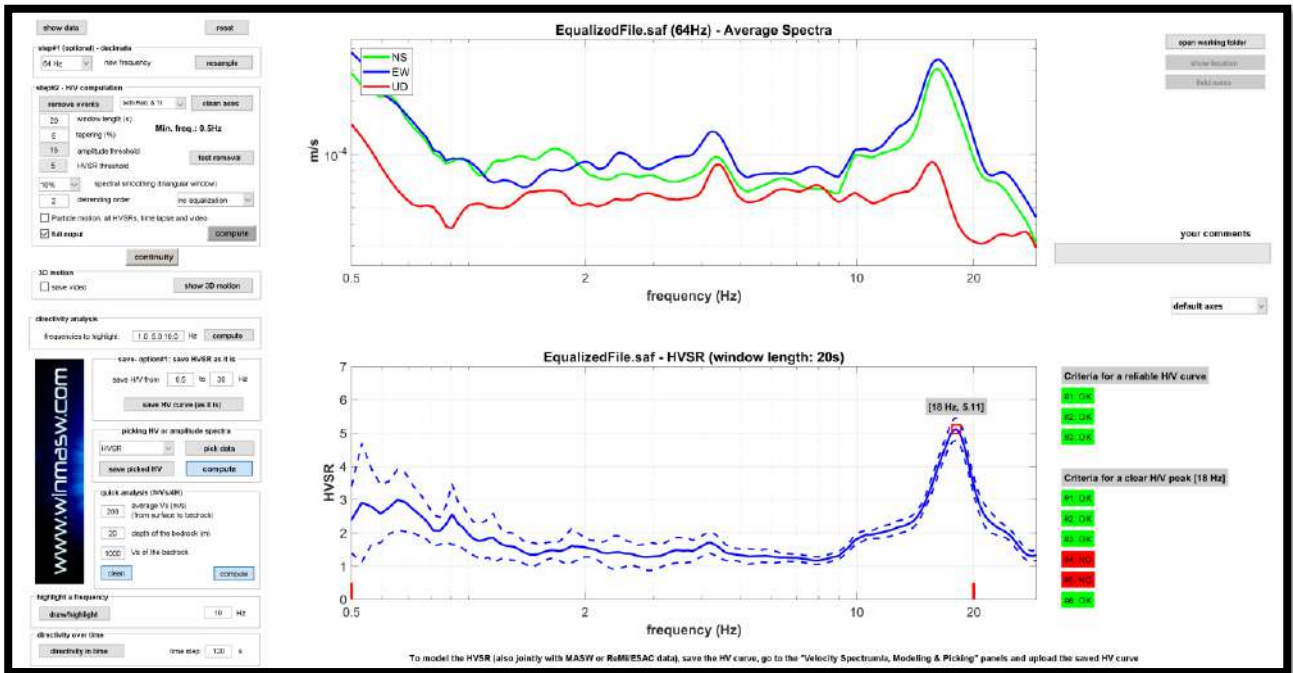


Figura 7: Prova HVSr\_3 la riga continua indica il valore medio, le tratteggiate le deviazioni standard

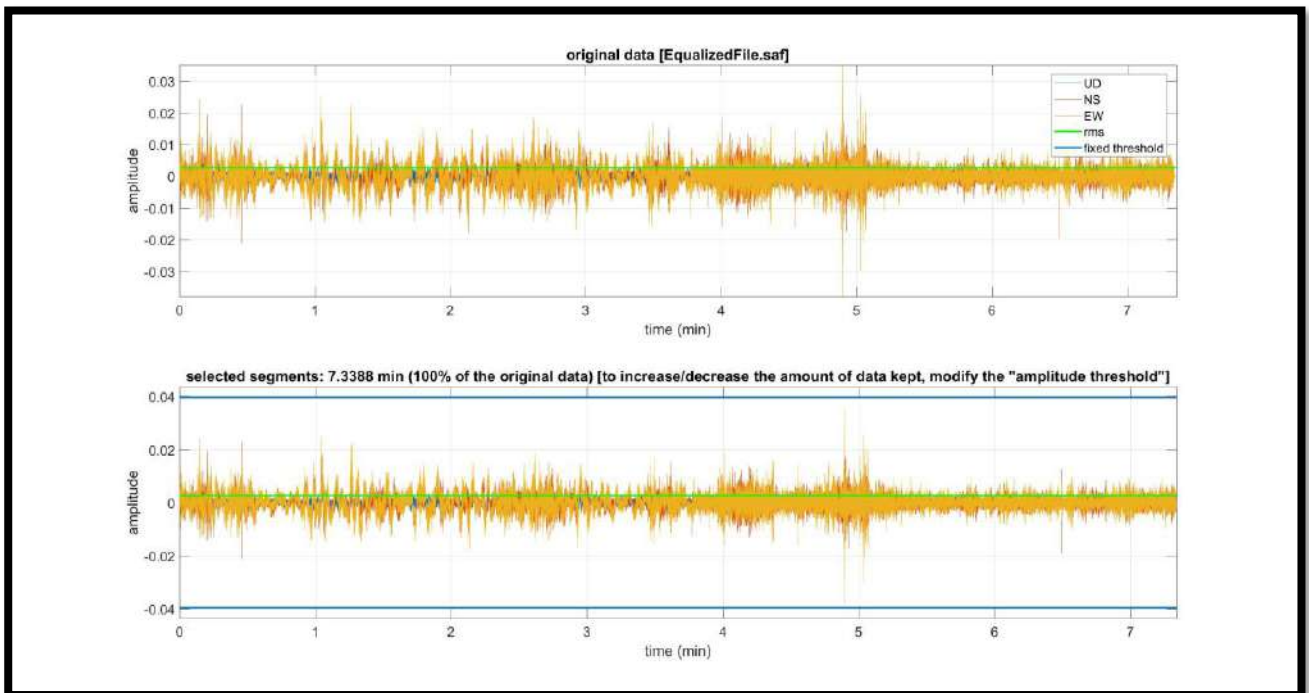


Figura 8: Prova HVSr\_3 dati originali e dati "puliti"

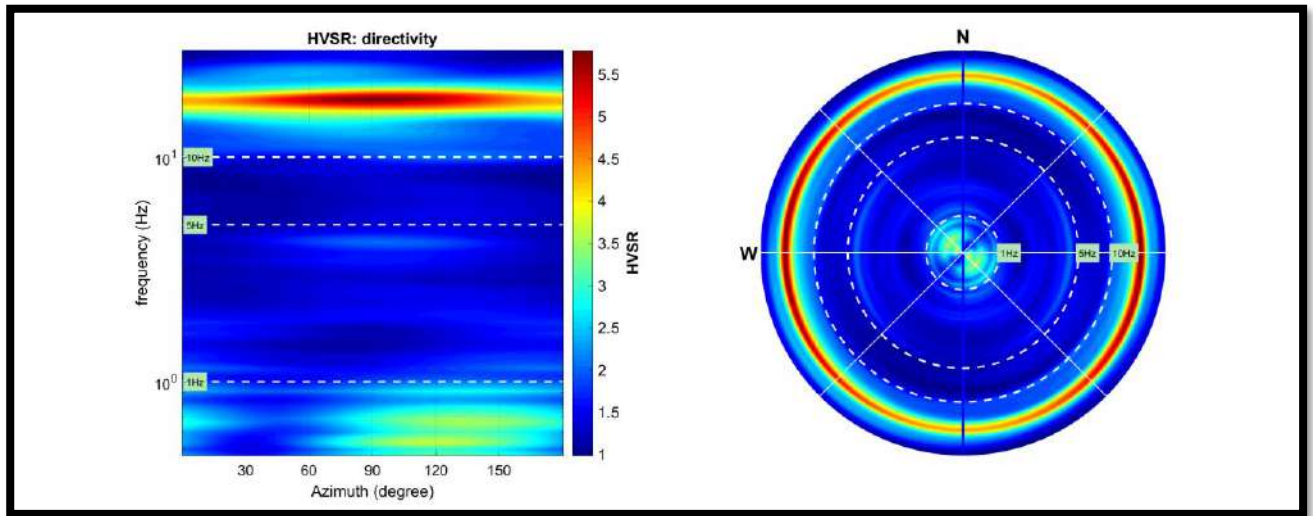


Figura 9: Prova HVSR\_3 directivity

## 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  $V_s$  mediante inversione della prova HVSR

Si precisa che il profilo di velocità ottenuto, costituisce una stima qualitativa ed approssimativa. I valori di  $V_s$  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  $V_s$ , 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  $V_s$  con la profondità dal quale ricavare il valore di  $V_{s\_eq}$  attraverso la media ponderata del contributo dei vari orizzonti.

## Località Pilastro\_GRAGNANO TR., HVSR 0001

Strumento: TEB-0510/01-19

Formato dati: 32 byte

Fondo scala [mV]: 89

Inizio registrazione: 23/11/21 14:24:17 Fine registrazione: 23/11/21 14:44:17

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Posizione GPS: 009°34.6952 E, 45°01.8703 N (68.4 m)

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

Num. satelliti: 7

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 57% tracciato (selezione manuale)

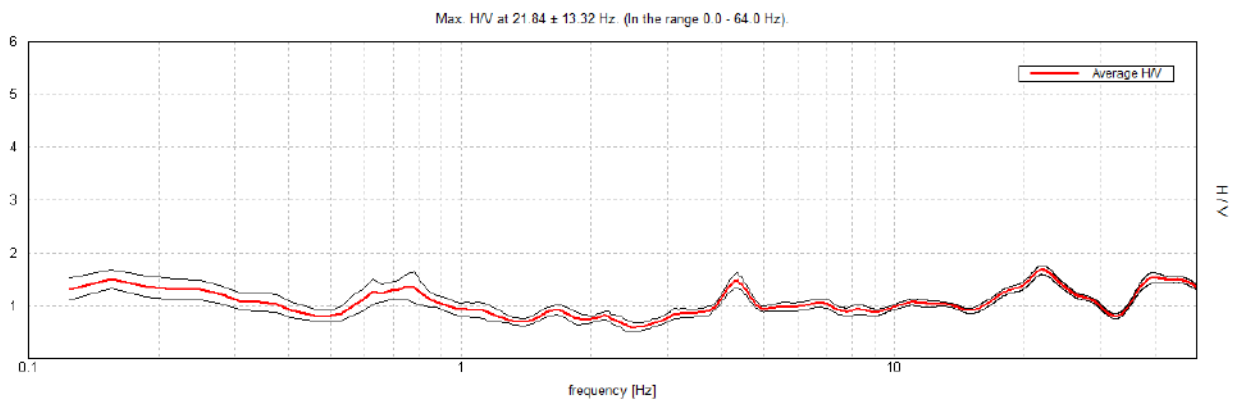
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

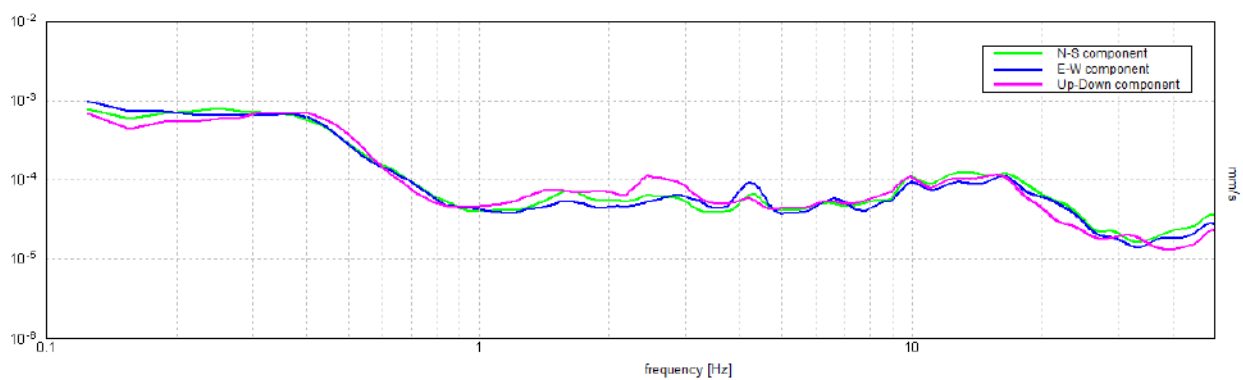
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

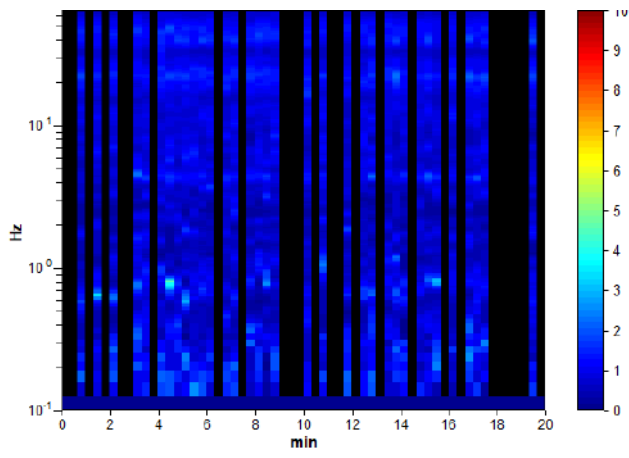


### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

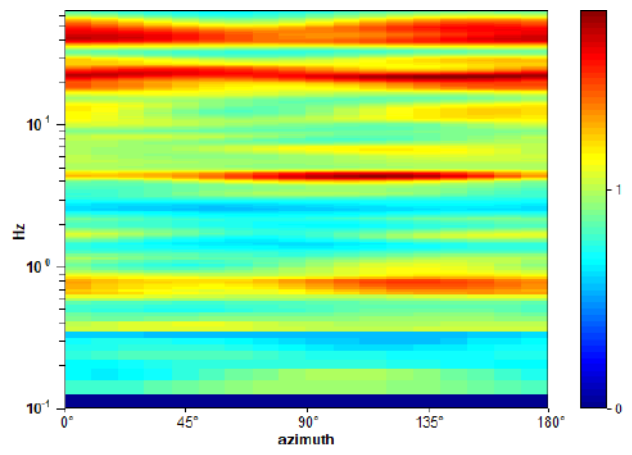




SERIE TEMPORALE H/V



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  $21.84 \pm 13.32$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$21.84 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$14853.8 > 200$	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 1050	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 $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	31.375 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$1.68 > 2$		NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.60995  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$13.32349 < 1.09219$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.0834 < 1.58$	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

## Località Pilastro\_GRAGNANO TR., HVSR 0002

Strumento: TEB-0510/01-19

Formato dati: 32 byte

Fondo scala [mV]: 89

Inizio registrazione: 23/11/21 14:50:01 Fine registrazione: 23/11/21 15:10:01

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Posizione GPS: 009°34.6361 E, 45°01.8989 N (62.1 m)

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

Num. satelliti: 7

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 60% tracciato (selezione manuale)

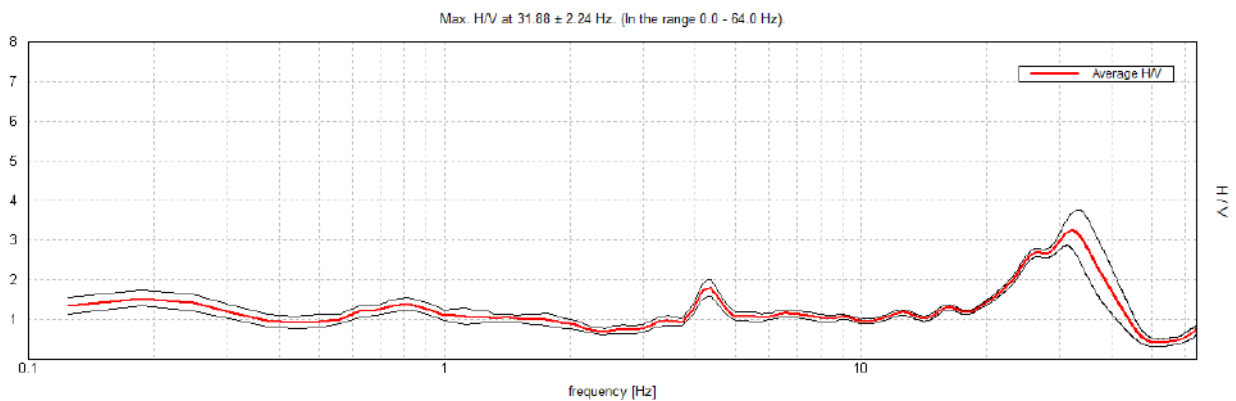
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 15 s

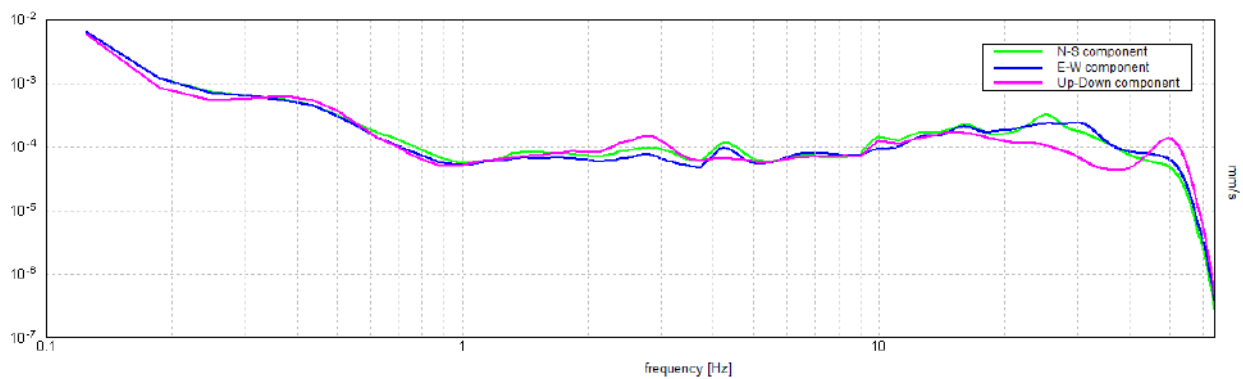
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

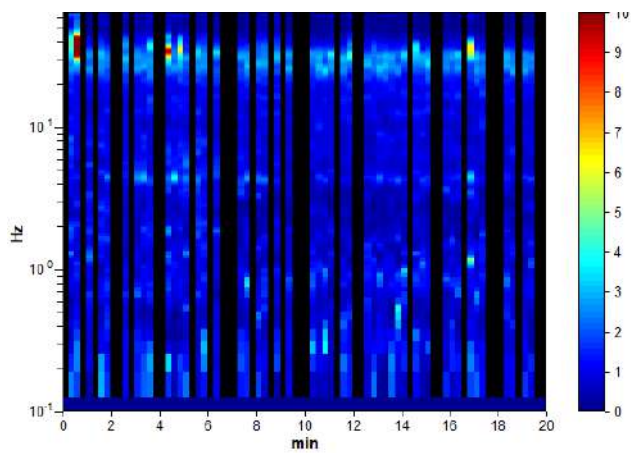
### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



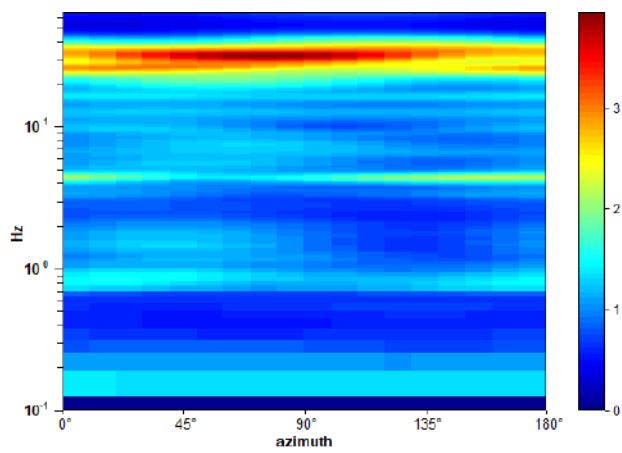
### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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  $31.88 \pm 2.24$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$31.88 > 0.67$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$22950.0 > 200$	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 766	OK	

### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	21.125 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	40.438 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.24 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.07013  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$2.23554 < 1.59375$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4297 < 1.58$	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

## Località Pilastro\_GRAGNANO TR., HVSR 0003

Strumento: TEB-0510/01-19

Formato dati: 32 byte

Fondo scala [mV]: 89

Inizio registrazione: 23/11/21 15:13:04 Fine registrazione: 23/11/21 15:33:04

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Posizione GPS: 009°34.6026 E, 45°01.8833 N (71.5 m)

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

Num. satelliti: 8

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 41% tracciato (selezione manuale)

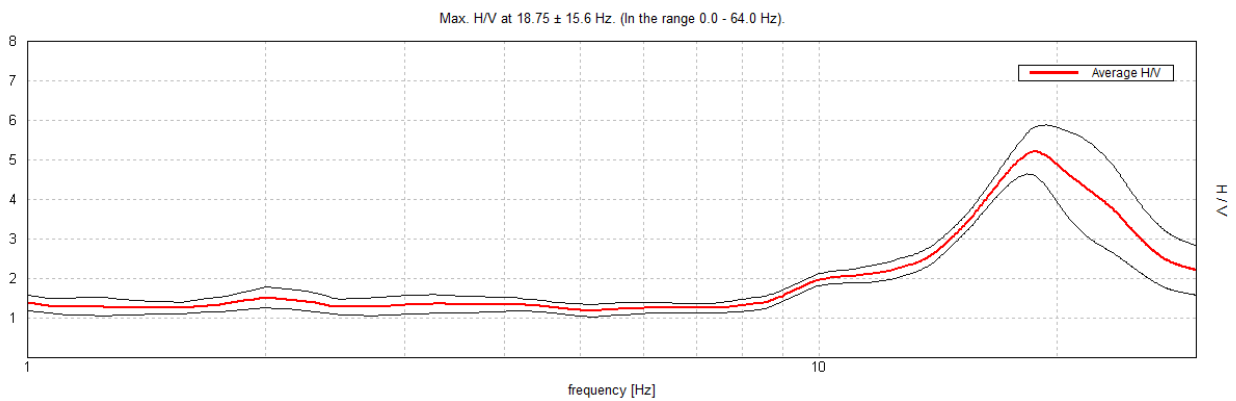
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 13 s

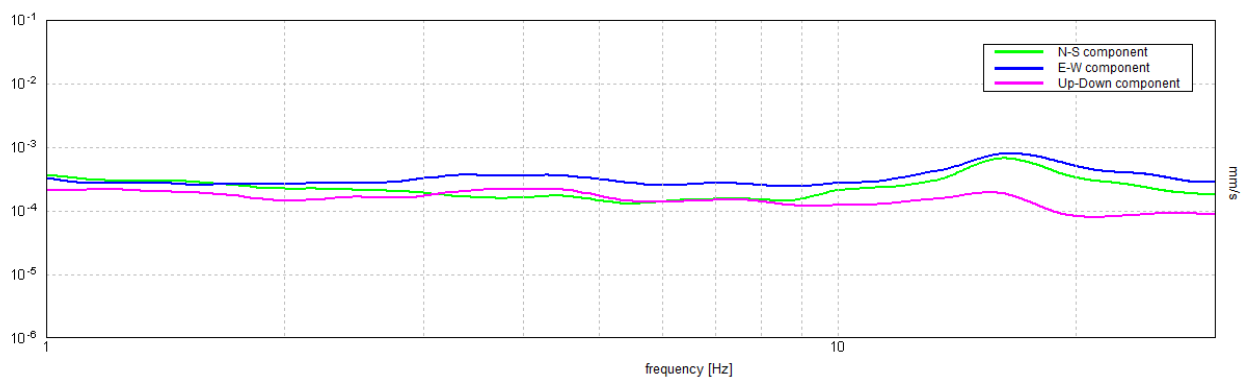
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 15%

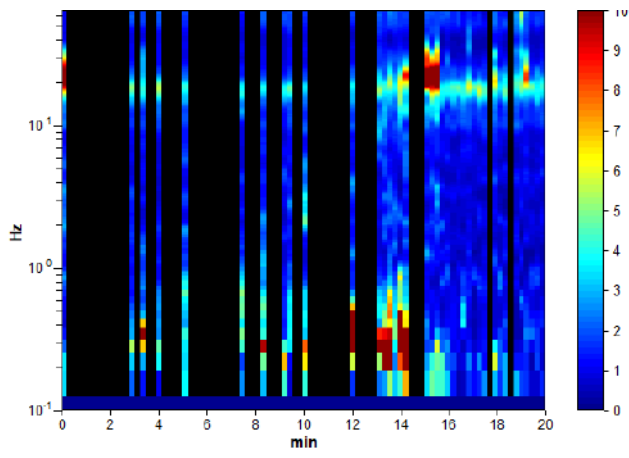
### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



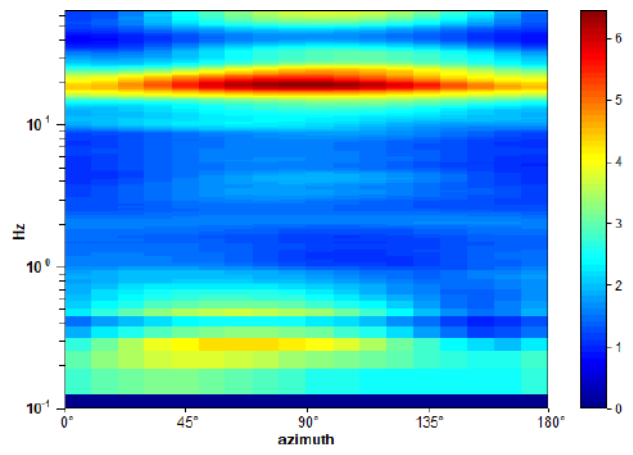
### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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  $18.75 \pm 15.6$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$18.75 > 0.77$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$9262.5 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 451	<b>OK</b>	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

<b>Esiste <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	13.875 Hz	<b>OK</b>	
<b>Esiste <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	26.875 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$5.22 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.83206  < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$15.60108 < 0.9375$		<b>NO</b>
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.6172 < 1.58$	<b>OK</b>	

$L_w$	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 tre prove eseguite hanno tra loro un andamento nel complesso simile testimoniando un sito caratterizzato da buona uniformità sismo-stratigrafica;
- Nell'intervallo di frequenze a maggior interesse ingegneristico (normalmente 1 – 10/15 Hz), non sono stati individuati picchi del rapporto H/V significativi;
- In un contesto litostratigrafico caratterizzato da scarsi contrasti d'impedenza sismica, la frequenza di vibrazione caratteristica del terreno si colloca oltre i 20 Hz. I picchi individuati, seppur di scarso interesse ingegneristico, presentano valori piuttosto significativi (ampiezza superiore a 2) segnalando un forte e molto superficiale contrasto d'impedenza sismica, al passaggio fra i materiali fini poco compatti e le alluvioni grossolane addensate sottostanti;
- Nell'intervallo 1.0 Hz - 3.5 Hz, il valore del rapporto H/V risulta inferiore all'unità, tale circostanza potrebbe indicare un'inversione di velocità in profondità.

Treviso, 29 novembre 2021

Geotest s.r.l.



Dott. Geol. Adriano Baldini



Dott. Geol. Sara Bozzini

# Allegato 3

- Valutazione aspetti sismici
- Analisi sismica semplificata  
(2° livello di approfondimento)
- Analisi approfondita  
(3° livello di approfondimento)

## RELAZIONE SISMICA

### 1 INTRODUZIONE

In merito alla riduzione del rischio sismico, in accordo con quanto definito dalla D.G.R. 630 del 2019, si redige un elaborato geologico-sismico quale documentazione di supporto al procedimento relativo alla realizzazione di un nuovo Piano Particolareggiato di Iniziativa Privata a Destinazione Residenziale (Accordo Operativo n.12), sito in Gragnano Trebbiense – Frazione di Gragnanino (PC).

La presente relazione nasce quindi dalla necessità di fornire i parametri previsti dalle direttive tecniche in vigore (D.G.R. 476 e 564 del 2021) integrando, relativamente all'areale d'interesse, l'informativa dello studio di microzonazione sismica territoriale redatto nel 2021.

### 2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOLOGICO E SISMICO

L'area oggetto di studio è collocata in Località Il Pilastro, nel settore meridionale dell'abitato di Gragnanino (PC).

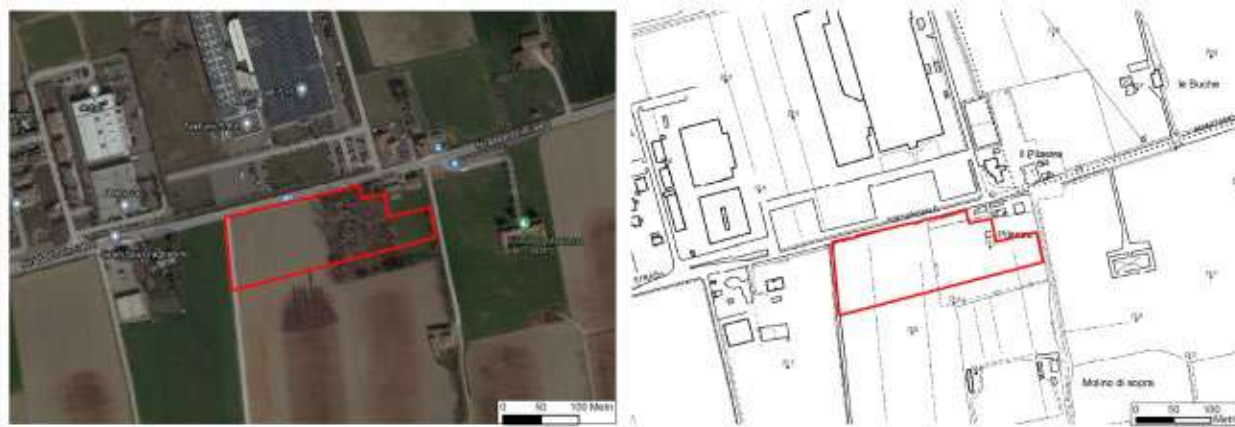


Figura 1: Ubicazione dell'area d'interesse

Dal punto di vista geologico e geomorfologico, l'area in esame si trova in corrispondenza della parte terminale di un sistema di terrazzi depositatesi nelle varie fasi interglaciali. Tale "sistema terrazzato" prograda con una pendenza media del 5% verso nord e risulta limitato, verso Est, dalla scarpata che fa da raccordo alle geometricamente sottostanti "Alluvioni Postglaciali" del F. Trebbia, mentre verso Sud il limite è costituito dalle scarpate, non sempre riconoscibili, che separano il terrazzo wurmiano dai più elevati ed antichi terreni dei terrazzi rissiani e mindeliani. A ovest il limite è costituito dall'incisione del T. Tidone.

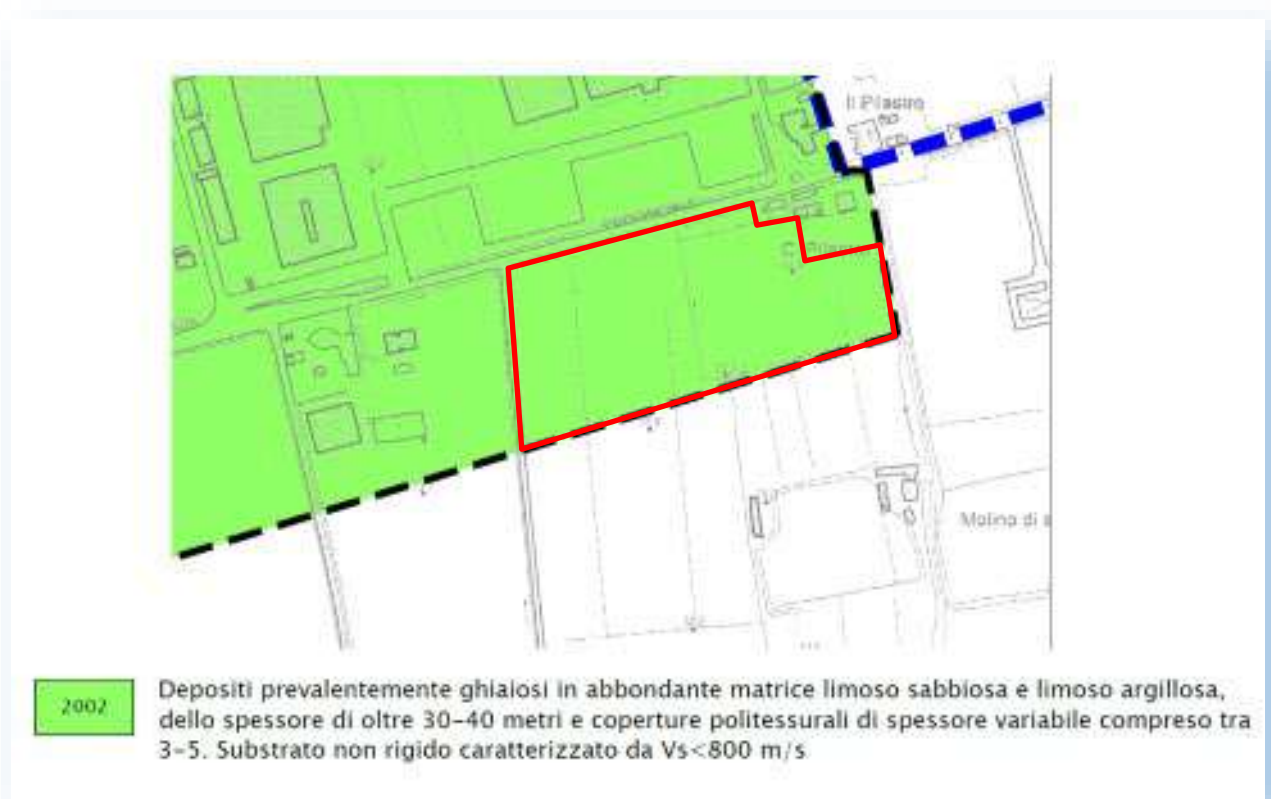
Le unità geologiche interessanti il territorio comunale sono quindi riferibili al Dominio Padano-Adriatico e nel caso specifico i depositi quaternari presenti nell'areale di indagine sono ascrivibili al Subsistema di Ravenna - Unità di Modena "AES8a".

"Unità di Modena "AES8a"

*"Ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua: depositi alluvionali intravallivi, terrazzati, e di conoide. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore (poche decine di cm). Lo spessore massimo dell'unità è di alcuni metri."*

La caratterizzazione sismica territoriale elaborata sulla base di informazioni d'archivio e prove di nuova esecuzione condotte nell'ambito dello studio di microzonazione sismica del 2021, attribuisce l'area di studio alla **MOPS – 2002** (fig. 2), per la quale è attesa un'amplificazione del moto sismico per effetto della litologia da sottoporre ad approfondimento di secondo livello.

Le microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), identificate sulla base delle caratteristiche litostratimetriche, presentano ognuna un proprio profilo stratigrafico tipo riferito ai primi 30-40 m di sottosuolo. La Zona 2002 corrisponde a depositi prevalentemente ghiaiosi in abbondante matrice limoso sabbiosa e limoso argillosa, dello spessore di oltre 30-40 metri e coperture politessurali di spessore variabile compreso tra 3-5 m. Il Substrato non è rigido e caratterizzato da  $V_s < 800$  m/s.



**Figura 2: Estratto Carta delle MOPS da Studio di Microzonazione Sismica 2021**

La modellazione presentata, costituendo solo un indicatore della possibilità che si manifestino fenomeni di amplificazione di tipo litologico, è stata necessariamente integrata con indagini geognostiche e geofisiche di dettaglio, finalizzate a specifiche valutazioni della locale amplificazione sismica e presentate nella relazione generale geologico-geotecnica.



**Figura 3: Ubicazione indagini condotte in sito – Relazione geologico-tecnica Geotest s.r.l.**

Il dimensionamento del piano d'indagini e la lettura interpretativa delle stesse, fanno seguito a specifiche considerazioni osservative e rilevamenti geologici di superficie sito specifici.

La disamina dei risultati ottenuti dalle indagini geognostiche condotte in sito ha delineato un contesto geologico coerente con le informazioni bibliografiche raccolte. La copertura fine poco addensata è di esiguo spessore, poiché fin dalla superficie sono presenti litotipi grossolani sub affioranti (ghiaie prevalenti e sabbie in matrice fine limoso-argillosa). Più in profondità, fino a circa 15.0-18.0 m dal p.c., sono invece presenti litotipi compatti ed addensati (ghiaie con possibile presenza di intercalazioni limoso-argillose), i quali passano a litotipi grossolani molto addensati con possibile locale presenza di livelli cementati.

### 3 VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI SISMICI

Di seguito verranno esaminati e valutati gli aspetti sismici dell'area interessata dal nuovo intervento di urbanizzazione secondo quanto prescritto dalle direttive tecniche sismiche in vigore:

- **DGR n. 630 del 29/04/2019;**
- **DGR n. 476 del 12/04/2021;**
- **DGR n. 564 del 26/04/2021.**

Lo scopo dei sopracitati atti di indirizzo e coordinamento, è quello di fornire i criteri per l'individuazione delle aree soggette ad effetti locali e la microzonazione sismica del territorio, in modo da orientare le scelte di pianificazione verso aree caratterizzate da minore pericolosità sismica.

La microzonazione sismica è pertanto un efficace strumento di prevenzione e riduzione del rischio sismico, in particolare se realizzato e applicato fino dalle prime fasi di pianificazione urbanistica, in quanto consente di indirizzare le scelte urbanistiche verso aree a minore pericolosità sismica e/o fornire indicazioni per scelte progettuali che tengano adeguatamente conto delle condizioni di pericolosità sismica locale.

Gli studi della pericolosità sismica di base e della pericolosità locale hanno come obiettivo:

- L'individuazione delle aree dove in occasione di terremoti possono verificarsi effetti locali;
- La stima quantitativa della risposta sismica locale dei depositi e delle morfologie presenti nell'area di indagine ("Analisi della Risposta Sismica Locale", RSL);
- La suddivisione del territorio in zone a diversa pericolosità sismica locale ("Microzonazione Sismica", MZS).

I risultati dell'analisi di pericolosità sismica locale e microzonazione sismica, devono essere recepiti negli strumenti di pianificazione territoriale ed urbanistica e di protezione civile. La microzonazione sismica è riferimento necessario per la Valutazione di Sostenibilità Ambientale e Territoriale (VALSAT) preventiva delle singole scelte del piano (artt. 18 e 19 della LR 24/2017).

### 3.1 *LIVELLI DI APPROFONDIMENTO*

La microzonazione sismica è la suddivisione dettagliata del territorio in base al comportamento dei terreni durante un evento sismico e ai possibili effetti indotti dallo scuotimento (risposta sismica locale).

Gli studi di microzonazione sismica prevedono diversi livelli di approfondimento in funzione delle finalità e delle applicazioni nonché degli scenari di pericolosità locale.

Per la microzonazione sismica si identificano **due fasi di analisi con diversi livelli di approfondimento**.

- **La prima fase di analisi** è diretta a definire gli scenari di pericolosità sismica locale (**primo livello** di approfondimento), cioè identificare le parti di territorio suscettibili di effetti locali (amplificazione del moto sismico, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno, ...).
- **La seconda fase di analisi** ha come obiettivo la microzonazione sismica del territorio indagato. Sulla base degli scenari individuati dalle analisi svolte nel corso della prima fase, nella seconda fase si attuano **due diversi livelli di approfondimento**:

a) un'analisi semplificata (**secondo livello** di approfondimento) basata, oltre che sull'acquisizione di dati geologici e geomorfologici più dettagliati di quelli rilevati nel primo livello, su prove geofisiche e prove geotecniche in sito di tipo standard.

L'amplificazione del moto sismico può essere stimata attraverso tabelle e formule.

b) un'analisi approfondita (**terzo livello** di approfondimento), è richiesta in areali con determinate caratteristiche e specificamente individuati dalla cartografia della pericolosità sismica locale predisposta dai piani di area vasta di prima fase e recepita nel quadro conoscitivo dei piani urbanistici comunali:

1. aree suscettibili di liquefazione o densificazione;
2. aree di versante instabili e potenzialmente instabili;
3. aree con rapide variazioni della profondità del bedrock sismico, come ad esempio le valli strette e profondamente incise, nelle quali il modello geologico non può essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale;
4. aree suscettibili di effetti differenziali (zone di contatto laterale tra litotipi con caratteristiche fisico - meccaniche molto diverse, zone di faglia attiva e capace, zone con cavità sepolte).



Sempre nei casi in cui sia necessaria, l'analisi di terzo livello:

1. può essere svolta dal Comune nell'ambito della predisposizione e approvazione degli strumenti generali di pianificazione urbanistica comunale, al fine di accertare gli effettivi fattori limitanti o condizionanti le trasformazioni urbane presenti in detti areali;
2. è comunque richiesta obbligatoriamente per la predisposizione e approvazione degli strumenti di pianificazione urbanistica attuativa che prevedano la localizzazione e l'attuazione in detti areali dei seguenti interventi: a) nuove urbanizzazioni; b) l'addensamento e la sostituzione urbana; c) la ristrutturazione urbanistica; d) edifici di interesse strategico e opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli interventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile e edifici e opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso.

## 4 CARATTERI SISMICI DELL'AREA D'INTERESSE

### 4.1 SISMICITÀ DI BASE

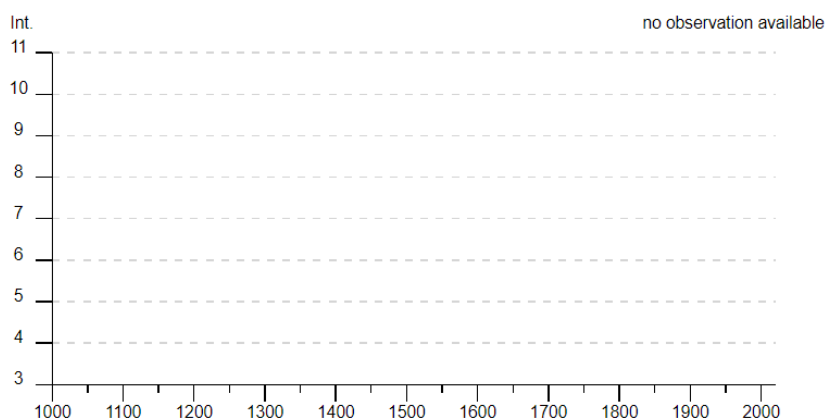
L'attuale normativa riprende la classificazione del territorio nazionale contenuta nell'OPCM 3274/03 (e successive modifiche). In base alla nuova normativa, tutto il territorio nazionale risulta classificato come sismico. Le classi di sismicità sono 4, con grado di rischio decrescente dalla zona 1 alla zona 4. I valori di riferimento di accelerazione massima orizzontale, su substrato rigido ( $V_s > 800$  m/s), per le 4 zone sono:

Zona	Valore di $a_g$
1	0.35 g
2	0.25 g
3	0.15 g
4	0.05 g

Il territorio Comunale di Gagnano Trebbiense, in base alla nuova riclassificazione, è inserito in **zona 3**. Nel dettaglio, nella nuova carta della pericolosità sismica del territorio nazionale, il valore di PGA previsto su suolo rigido con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, per l'area d'interesse, è di circa **0.0958 g**.

Dal punto di vista sismo-strutturale, l'area ricade nella zona simogenetica 911, in cui i meccanismi di fagliazione prevalenti sono legati a faglie trascorrenti e le profondità dei terremoti prevalentemente compresi fra 8 e 12 Km.

La magnitudo momento massima prevista per la zona sismogenetica d'interesse 911 è  $M_w=6.14$ . Le serie storiche dei terremoti contenuti nell'archivio della Regione Emilia - Romagna non segnalano alcun evento sismico rilevante nell'area di Gagnano Trebbiense (Fig. 4).



**Figura 4: Sismicità storica dell'area di interesse**

### Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale

(riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All.1b)

espressa in termini di accelerazione massima del suolo

con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

riferita a suoli rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)

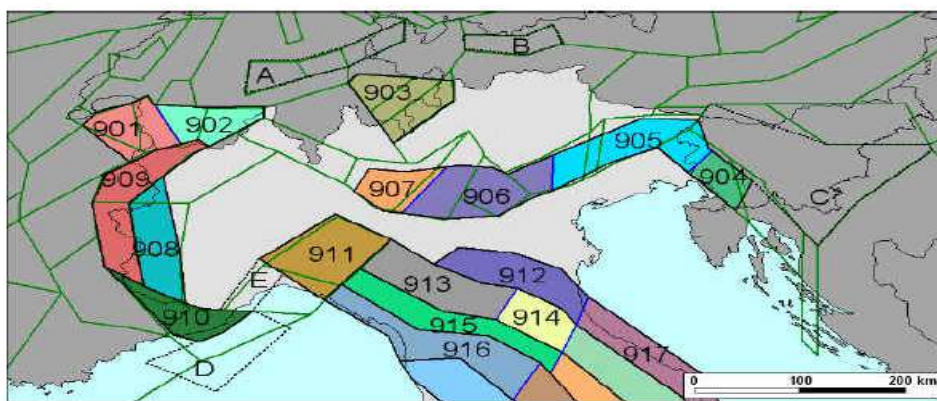
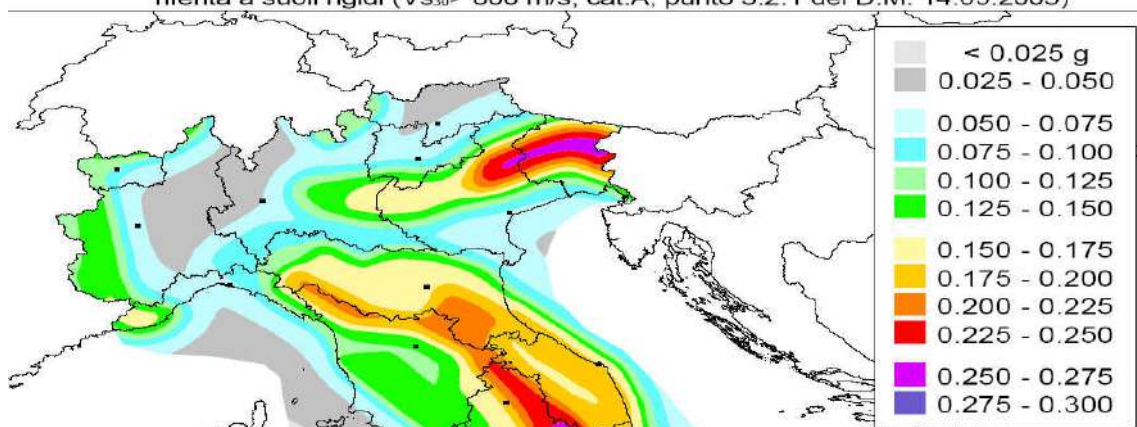


Figura 10. Zonazione sismogenetica ZS9 a confronto con la zonazione del progetto SESAME nell'area alpina (Jiménez et al., 2001; linee di colore verde).

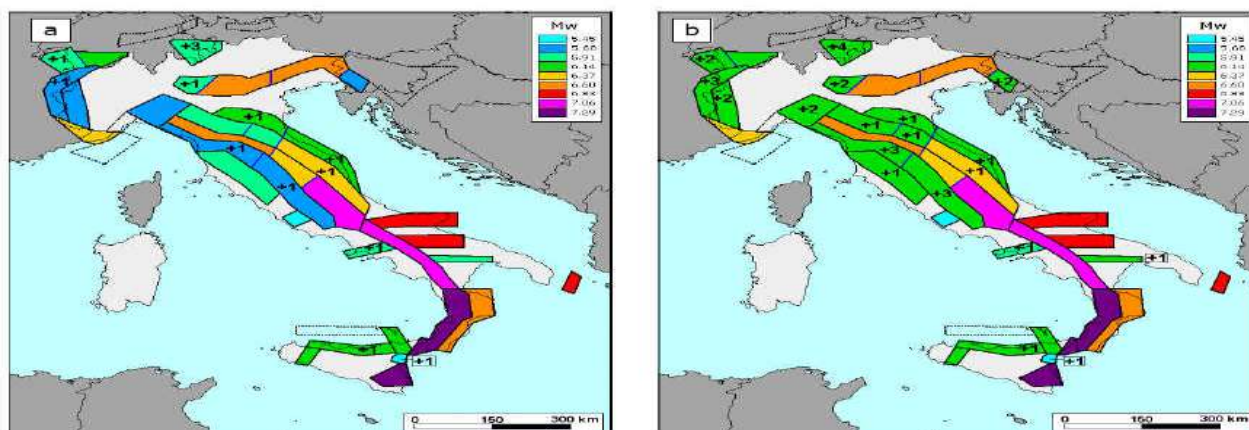


Figura 36. Valori di  $M_{wmax}$  corrispondenti ai due insiemi: a) "osservati" ( $M_{wmax1}$ ); b) "cautelativi" ( $M_{wmax2}$ ).

#### 4.2 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE

Gli scenari di pericolosità sismica locale, identificati nella prima fase di analisi svolta a scala territoriale, mediante elaborazione dei dati disponibili in sede di predisposizione del piano territoriale di livello provinciale o metropolitano, fornisce le prime indicazioni sui limiti e le condizioni pianificatore.

Nel caso specifico, dalla cartografia allegata al PTCP vigente, gli effetti sismici di sito sono riconducibili esclusivamente ad amplificazioni litologiche (fig. 5).



CLASSE	EFFETTI DI SITO					LIVELLO DI APPROFONDIMENTO (rif. Delib. A.L. n. 112/2007)
	amplificazione litologica	amplificazione topografica	instabilità di versante	cedimenti	liquefazione	
<b>F1i</b>	x	x	x			III
<b>F1</b>	x		x			III
<b>F2i</b>	x	x	x			III
<b>F2</b>	x		x			III
<b>Di</b>	x	x	x			III
<b>Si</b>	x	x	x		x	III (classe Di se si esclude il rischio di liquefazione)
<b>Ci</b>	x	x	x	x		III (classe Di se si esclude il rischio di cedimenti)
<b>S</b>	x				x	III (II, classe D, se si esclude il rischio di liquefazione)
<b>C</b>	x			x		III (II, classe D, se si esclude il rischio di cedimenti)
<b>T</b>	x					II (III, classe Di, in caso di inclinazione critica degli eventuali orizzonti di alterazione/fratturazione di spessore > 5m)
<b>I</b>		x				II (III, classe Di, in caso di orizzonti di alterazione/fratturazione di spessore > 5m)
<b>D</b>	x					II
<b>R</b>						I (II, classe D, in caso di orizzonti di alterazione/fratturazione di spessore > 5m)

Figura 5: Carta e legenda degli effetti sismici di sito estratta dal PTCP vigente

Dalle previsioni della pianificazione d'area vasta, deriva il quadro conoscitivo della pianificazione urbanistica comunale e cartografia della pericolosità sismica locale ad una scala di maggior dettaglio (fig. 6). Anche secondo la carta degli aspetti sismici del PSC redatta dal Comune di Gragnano Trebbiense, i principali effetti sismici attesi sono fenomeni di amplificazione stratigrafica.



**ZONE CON MEDIO-BASSO RISCHIO DI AMPLIFICAZIONE  
DELL'ACCELERAZIONE SISMICA**

Il profilo stratigrafico, fino alla profondità di 30 metri dal piano campagna, nell'ambito del territorio comunale di Gragnano può essere schematizzato come segue:

- argille e limi prevalenti soffici dell'olocene e tardo pleistocene con spessore compreso tra un minimo di 1,0 metri ed un massimo di 5 metri, per un valore medio pari a 3 metri;
- ghiaie in matrice sabbiosa e prevalenti con spessore medio pari a 25 metri;

LA CATEGORIA DI SUOLO E' TIPO B

**Figura 6: Carta e legenda degli effetti sismici di sito estratta dal PSC vigente**

Gli strumenti urbanistici (PTCP e PSC) escludono effetti di amplificazione topografica, fenomeni d'instabilità dei versanti (pendenza del versante complessivamente inferiore a 15°) e fenomeni di liquefazione. Tuttavia, considerato il contesto geologico di sito e l'eventuale oscillazione stagionale del livello piezometrico (profondità di circa 4.0/6.0 m da p.c. secondo il PSC comunale), si è comunque provveduto alla valutazione della possibilità di occorrenza della liquefazione.

## 5 INDAGINE SISMICA SITO SPECIFICA

Nell'area d'interesse, oltre a n. 6 prove penetrometriche DPSH, sono state realizzate:

- n. 3 Prove Masw;
- n. 3 Prove HVSR.

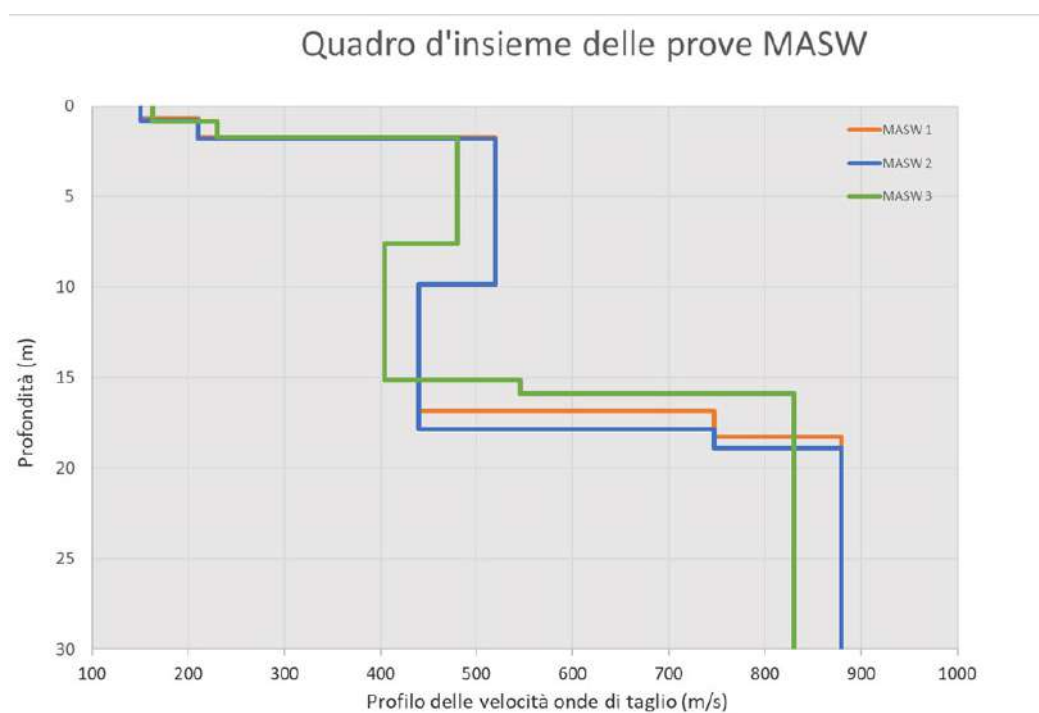


**Figura 7: Ubicazione delle prove sismiche**

Le indagini geofisiche sono state dimensionate in relazione al contesto geologico entro cui è inserita l'area di studio, al fine di ricostruire un profilo di velocità delle onde di taglio  $S$ , che fosse rappresentativo del sottosuolo indagato.

La caratterizzazione dei materiali in oggetto può quindi ritenersi soddisfacente rispetto ai requisiti relativi all'entrata in vigore del nuovo decreto ministeriale. L'amplificazione del segnale sismico è legata essenzialmente alla natura ed alla consistenza delle litologie presenti, ma anche alla natura ed alla struttura del substrato a comportamento rigido. Tale caratterizzazione territoriale, è passata necessariamente anche attraverso l'acquisizione di dati geognostici, funzionali appunto alla definizione del profilo sismico.

## 5.1 ANALISI DELLA PROVA MASW



**Figura 8: Andamento del profilo di Vs**

I risultati delle prove si possono così sintetizzare

- Lo spessore della copertura fine a bassa velocità ( $V_s < 200-230 \text{ m/s}$ ) è inferiore a 2.0 m;
- Più in profondità, fino a circa 15.0-18.0 metri, i valori aumentano portandosi sui 450-520 m/s;
- Il bedrock sismico (velocità  $> 800 \text{ m/s}$ ) è stato identificato intorno ai 15.0-18.0 m circa di profondità da p.c.;
- I valori di  $V_s$  eq calcolati per tutte e tre le prove 409 m/s (M1) 407 m/s (M2) 385 m/s (M3) indicano una categoria di sottosuolo di tipo "B".

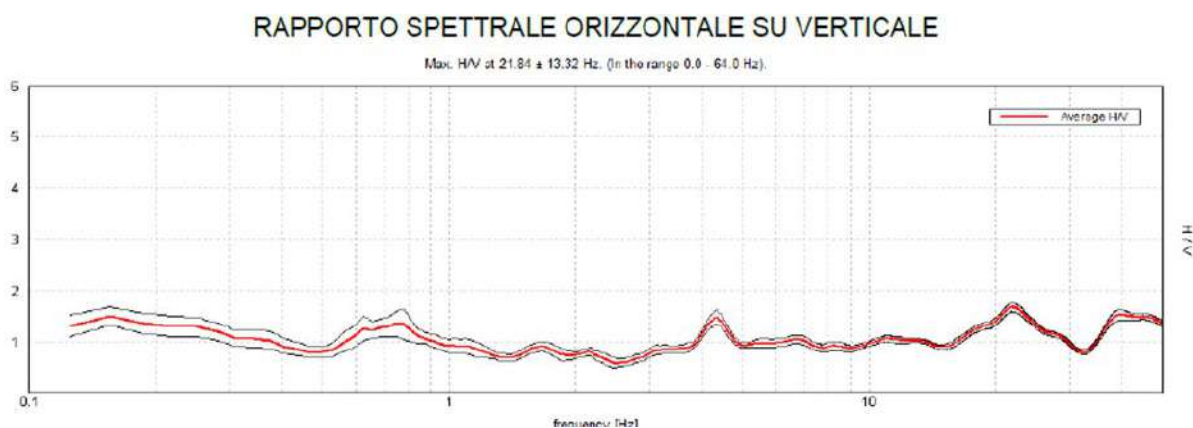
## 5.2 ANALISI DELLA PROVA HVSR

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. Il microtremore, un'impercettibile oscillazione naturale del suolo, è presente in qualsiasi punto della superficie terrestre e 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.

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;
- 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 15 Hz), denominata frequenza fondamentale di vibrazione  $f_0$ .

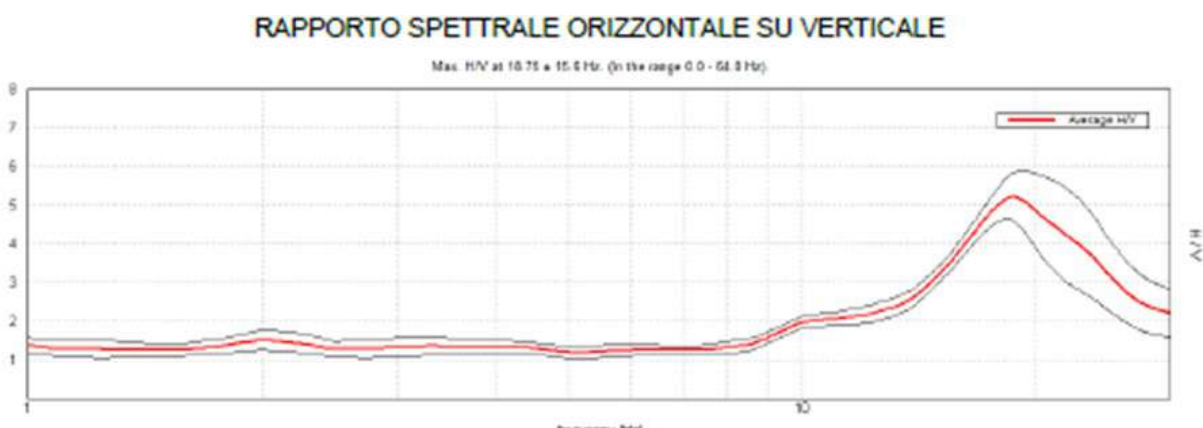


**Figura 9: Andamento della prova HVSR 1**





**Figura 10: Andamento della prova HVSR 2**



**Figura 11: Andamento della prova HVSR 3**

Analizzando i risultati della prova si possono fare le seguenti considerazioni:

- Le prove hanno un andamento molto simile testimoniando una sostanziale uniformità sismostratigrafica del sito;
- Nel complesso la successione litostratigrafia, nel campo di frequenze d'interesse ingegneristico (1-10/15 Hz), non presenta significativi contrasti d'impedenza sismica;
- Non si evidenzia una frequenza caratteristica (fondamentale) del sito ben definita;
- In base all'esito delle prove non sussistono le condizioni per l'insorgere, in caso di sisma, di fenomeni di risonanza terreno-strutture.

## 6 ANALISI SISMICA SEMPLIFICATA-2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

Lo scenario identificato nella prima fase di analisi individua, per l'area di studio, un secondo livello di approfondimento (analisi semplificata).

L'analisi semplificata è richiesta e ritenuta sufficiente per la stima dell'amplificazione, nelle aree pianeggianti e sub-pianeggianti, incluse le zone di fondovalle appenniniche, con stratificazione orizzontale e sub-orizzontale, e sui versanti stabili, compresi quelli con coperture di spessore circa costante e acclività  $\leq 15^\circ$ , vale a dire nelle aree in cui il modello geologico può essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale.

Per la definizione dell'amplificazione è previsto l'utilizzo di tabelle, formule e procedure indicate nell'Allegato A2 (Regione Emilia Romagna – Delibera Num. 630 del 29/04/2019: ALLEGATO A2 – *Tabelle e formule per la valutazione dei fattori di amplificazione sismica per le analisi del secondo livello di approfondimento e per la valutazione degli effetti topografici*). Le tabelle riportate in tale allegato sono state realizzate considerando un periodo di ritorno  $TR = 475$  anni (corrispondente ad una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) ed uno smorzamento  $\zeta = 5\%$ .

### 6.1 ELEMENTI DI MICROZONAZIONE SISMICA



Figura 12: Carta della microzonazione sismica del Comune di Gragnano Trebbiense - Livello 2 - FPG



Figura 13: Carta della microzonazione sismica del Comune di Gragnano Trebbiese - Livello 2 - FA<sub>SA1</sub> 0.1-0.5

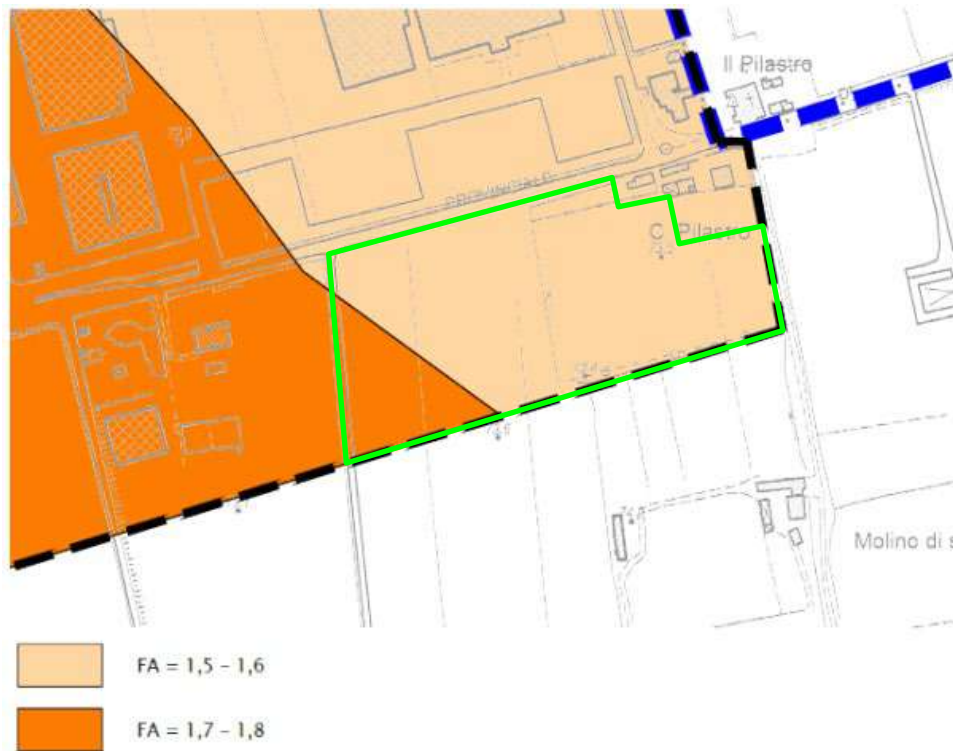


Figura 14: Carta della microzonazione sismica del Comune di Gragnano Trebbiese - Livello 2 - FA<sub>SA2</sub> 0.4-0.8

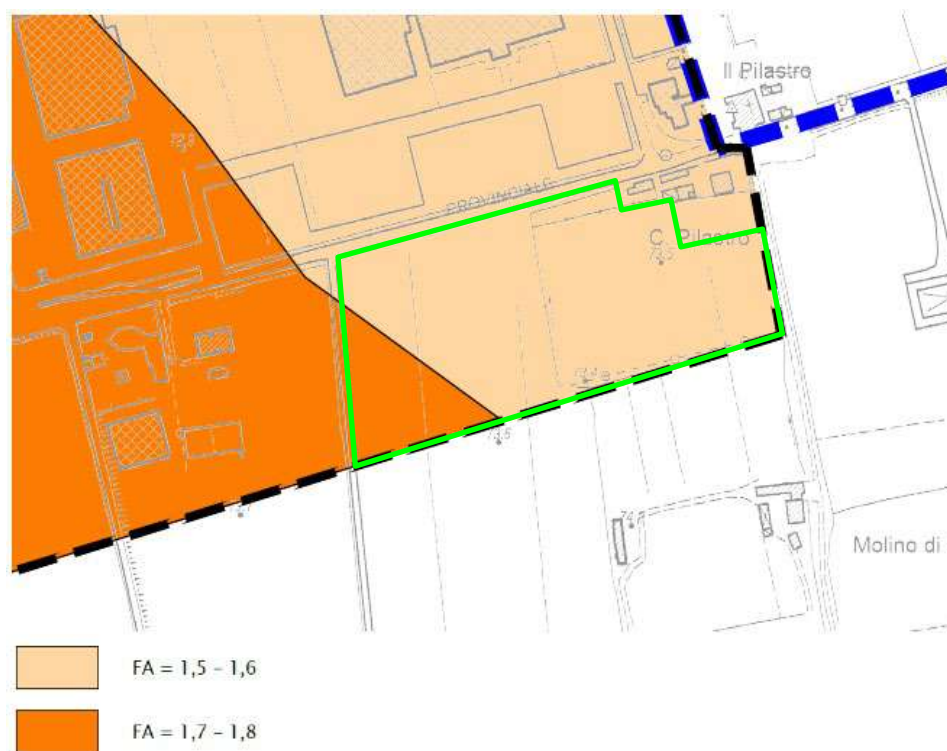


Figura 15: Carta della microzonazione sismica del Comune di Gragnano Trebbiense - Livello 2 - FA<sub>S3</sub> 0.7-1.1



Figura 16: Carta della microzonazione sismica del Comune di Gragnano Trebbiense - Livello 2 - FA<sub>S1</sub> 0.1-0.5



Figura 17: Carta della microzonazione sismica del Comune di Gragnano Trebbiense - Livello 2 -  $FA_{S12} 0.5-1.0$

**Valore di  $a_{refg} = 0.0958$**

dove  $a_{refg}$  = accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per  $T = 0$ , espressa in frazione dell'accelerazione di gravità  $g$  ( $a_{refg}$ )

**Categoria topografica del terreno T1 St = 1**

**Categoria suolo di fondazione = B**

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
---	--	-----	-----

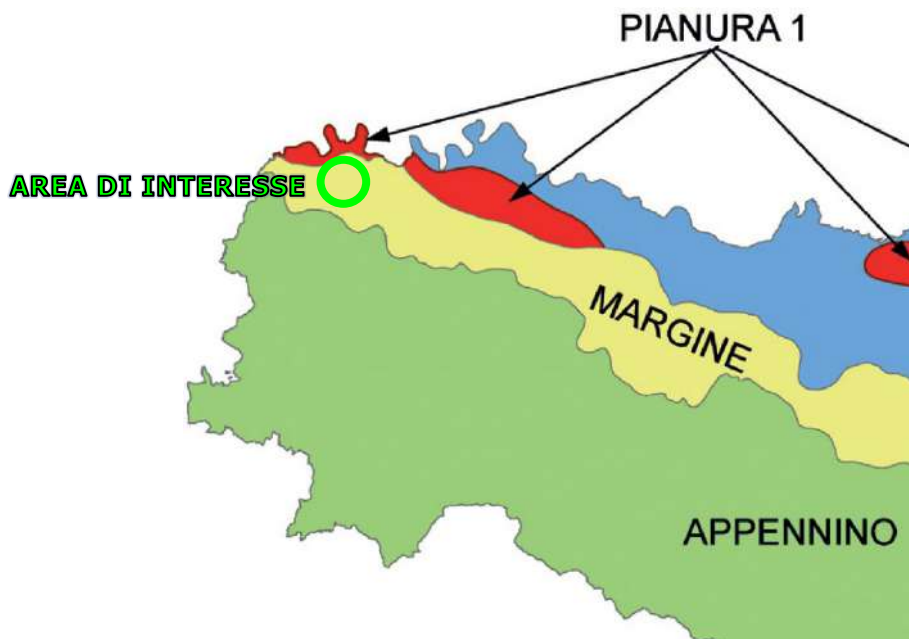


Figura 18: Localizzazione indicativa degli ambienti geomorfologici e litostratigrafici in Emilia-Romagna

Secondo gli scenari sismo-stratigrafici previsti dallo studio RER del 2015, l'area d'interesse è collocata nella zona "**MARGINE DI TIPO A**". A seguire le tabelle per il calcolo dei coefficienti di amplificazione sismica (DGR 630/2019 aggiornamento del DGR n.2193 del 21/12/2015).

L'amplificazione sarà quantificata in termini di PGA, SA1, SA2, SA3, SI1 e SI2 che esprimono l'amplificazione per motivi stratigrafici, eventualmente incrementati con il fattore di amplificazione per cause topografiche  $S_T$ .

Il fattore di amplificazione (F) è dato dal rapporto tra spettro di risposta elastico di output, alla superficie del suolo in esame, e spettro di risposta elastico di input, al suolo di riferimento (rigido e pianeggiante, classe di sottosuolo A delle NTC 2018), per prefissati intervalli di periodi T, calcolati per un tempo di ritorno  $T_R=475$  anni e smorzamento  $\zeta=5\%$ :  
 $F_{PGA} = PGA/PGA_0$ , dove  $PGA_0$  è l'accelerazione massima orizzontale a periodo  $T=0$  al suolo di riferimento e PGA è l'accelerazione massima orizzontale a periodo  $T=0$  alla superficie del sito;  
 $FA = SA/SA_0$ , dove  $SA_0$  è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione al suolo di riferimento e SA è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi T: SA1 per  $0,1s \leq T \leq 0,5s$ , SA2 per  $0,4s \leq T \leq 0,8s$ , SA3 per  $0,7s \leq T \leq 1,1s$ , SA4 per  $0,5s \leq T \leq 1,5s$ ;  
 $FH = SI/SI_0$ , dove  $SI_0$  è l'integrale dello spettro di risposta in velocità (Intensità di Housner) al suolo di riferimento e SI l'integrale dello spettro di risposta in velocità (o corrispondente grandezza di Intensità di Housner) alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi T: SI1 per  $0,1s \leq T \leq 0,5s$ , SI2 per  $0,5s \leq T \leq 1,0s$ , SI3 per  $0,5s \leq T \leq 1,5s$ .

MARGINE DI TIPO A: caratterizzato da terreni fini o grossolani poco consolidati, di spessore non superiore a 30 m, sovrastanti orizzonti prevalentemente grossolani a comportamento più rigido (indicativamente con valore di  $V_{sH}$  media almeno doppio rispetto a quello dei sedimenti sovrastanti); H è riferito allo spessore di sedimenti fini o grossolani poco consolidati sovrastanti i sedimenti continentali più rigidi.

$V_{sH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400
5	2,3	2,1	1,8	1,5		
10	2,3	2,2	2,0	1,8		
15	2,1	2,1	2,0	1,8		
20	2,1	2,1	2,0	1,9		
25	2,0	2,0	2,0	1,9		
30	1,9	1,9	1,9	1,9		

Fattore di Amplificazione **PGA**

$V_{sH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400
5	2,3	2,0	1,7	1,5		
10	2,5	2,3	2,0	1,8		
15	2,4	2,4	2,1	1,9		
20	2,3	2,3	2,1	2,0		
25	2,2	2,2	2,1	2,0		
30	2,0	2,0	2,0	1,9		

Fattore di Amplificazione **SA1** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ )

Figura 19: Tabelle relative allo scenario MARGINE DI TIPO A

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400
5	1,9	1,7	1,7	1,6		
10	2,7	2,2	1,9	1,8		
15	3,3	2,9	2,3	2,0		
20	3,4	3,1	2,6	2,2		
25	3,3	3,2	2,8	2,4		
30	3,1	3,1	2,8	2,5		

Fattore di Amplificazione SA2( $0,4s \leq T \leq 0,8s$ )

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400
5	1,6	1,6	1,6	1,6		
10	2,0	1,8	1,7	1,7		
15	2,9	2,3	2,0	1,9		
20	3,4	2,8	2,3	2,0		
25	3,9	3,4	2,7	2,3		
30	3,8	3,6	3,0	2,5		

Fattore di Amplificazione SA3 ( $0,7s \leq T \leq 1,1s$ )

Figura 20: Tabelle relative allo scenario MARGINE DI TIPO A



$V_{sH}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
H (m) ↓						
5	2,2	1,9	1,7	1,6		
10	2,6	2,4	2,0	1,8		
15	2,6	2,5	2,2	1,9		
20	2,5	2,5	2,3	2,0		
25	2,3	2,3	2,2	2,1		
30	2,1	2,1	2,1	2,0		

 Fattore di Amplificazione **SI1** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ )

$V_{sH}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
H (m) ↓						
5	1,8	1,7	1,6	1,6		
10	2,3	2,0	1,8	1,7		
15	3,2	2,6	2,1	2,0		
20	3,5	3,1	2,5	2,1		
25	3,7	3,4	2,8	2,4		
30	3,6	3,5	3,0	2,6		

 Fattore di Amplificazione **SI2** ( $0,5s \leq T \leq 1,0s$ )

**Figura 20: Tabelle relative allo scenario MARGINE DI TIPO A**

In base ai risultati delle prove "Masw" realizzate, i fattori di amplificazione calcolati per ii profili di velocità  $V_s$  sono riassunti nella tabella seguente:

PROVA	$V_{EQ}$ (SEDIMENTI POCO CONSOLIDATI)	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SI1	SI2
M1 / M2	180	2.2	2.1	1.8	1.6	2.0	1.7
M3	190	2.1	2.0	1.7	1.6	1.9	1.7

I FA riportati nelle tabelle sono stati calcolati per un tempo di ritorno  $T_R=475$  anni, con smorzamento  $\zeta=5\%$ , e sono relativi ai seguenti parametri rappresentativi dello scuotimento sismico:

- accelerazione di picco orizzontale (PGA)<sup>1</sup>;

- intensità spettrale  $SA = \int_{T_1}^{T_2} A(T, \zeta) dT$

dove  $A$  è lo spettro di risposta in accelerazione,  $T$  è il periodo proprio e  $\zeta$  è lo smorzamento<sup>2</sup>; sono stati considerati quattro intervalli di periodo proprio  $T$  ottenendo quattro valori di intensità spettrale:

	<b>T<sub>1</sub></b>	<b>T<sub>2</sub></b>
<b>SA1</b>	0,1 s	0,5 s
<b>SA2</b>	0,4 s	0,8 s
<b>SA3</b>	0,7 s	1,1 s
<b>SA4*</b>	0,5 s	1,5 s

- intensità spettrale  $SI = \int_{T_1}^{T_2} V(T, \zeta) dT$

dove  $V$  è lo spettro di risposta in velocità,  $T$  è il periodo proprio e  $\zeta$  è lo smorzamento<sup>3</sup>; sono stati considerati tre intervalli di periodo proprio  $T$  ottenendo tre valori di intensità spettrale:

	<b>T<sub>1</sub></b>	<b>T<sub>2</sub></b>
<b>SI1</b>	0,1 s	0,5 s
<b>SI2</b>	0,5 s	1,0 s
<b>SI3*</b>	0,5 s	1,5 s

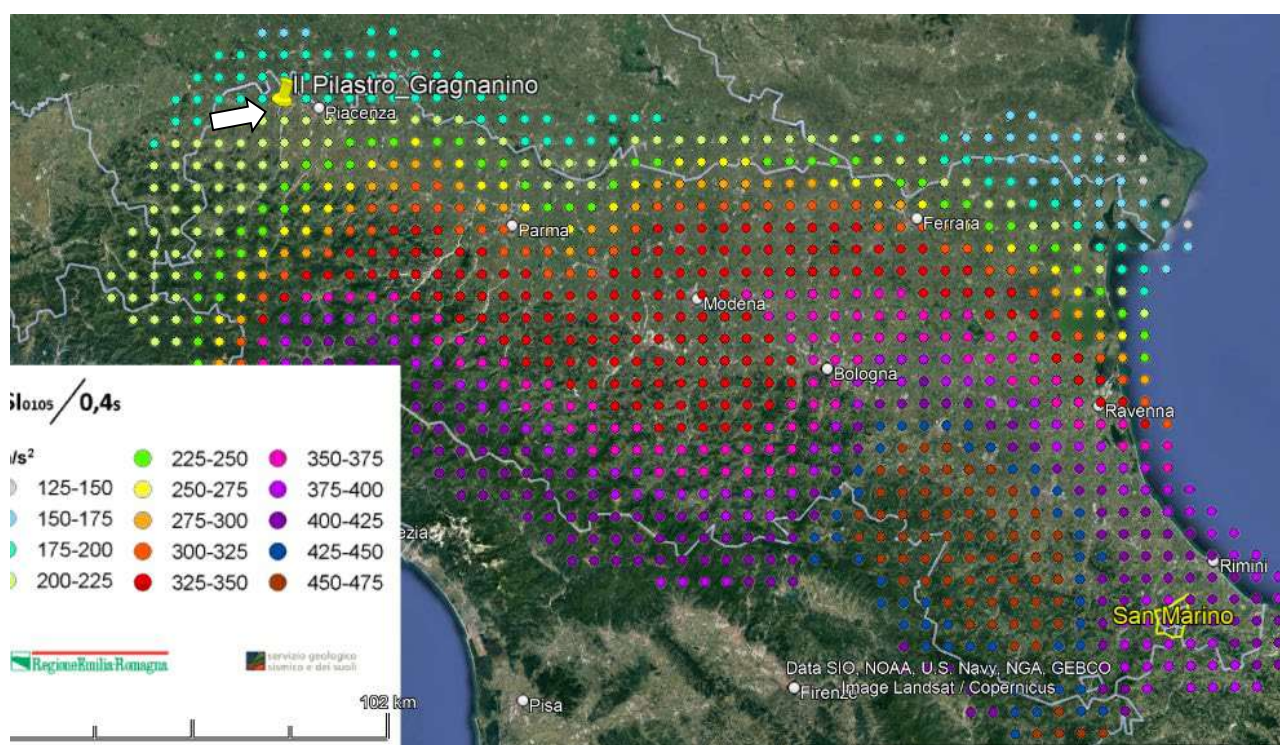
\*I fattori di amplificazione SA4 e SI3 sono richiesti per studi in aree di pianura e di costa.

Figura 21: Significato dei valori di amplificazione calcolati riferiti ai vari periodi

Il fattore  $H_{SM}$  (Naso et al., 2019) costituisce un parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in  $cm/s^2$ ), dato dal prodotto del parametro *Acceleration Spectrum Intensity* ( $ASI_{UHS}$ ), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodi  $0,1s \leq T \leq 0,5s$ , diviso per  $\Delta T$  (in questo caso pari a  $0,4s$ ) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi:

$$H_{SM} = \frac{ASI_{UHS}}{\Delta T} \times FA$$

Calcolo Fattore  $H_{SM}$  come da DGR 630/2019:



**Figura 22: Mappa dei valori di  $ASI_{UHS}/\Delta T$  (TR=475 anni, 50esimo percentile) dell'Emilia-Romagna e aree limitrofe (Naso et al., 2019), calcolato per l'intervallo di periodi  $0,1s \leq T \leq 0,5s$ , diviso per  $\Delta T$  (in questo caso pari a  $0,4s$ )**

Valore  $ASI_{UHS}/\Delta T$  :  $ASI_{0105}/0,4 s = 206.120362 \text{ cm/s}^2$

**$H_{SM} \text{ MASW 1 / MASW 2} = 206.120362 \times 2.1 = 432,8527602 \text{ cm/s}^2$**

**$H_{SM} \text{ MASW 3} = 206.120362 \times 2.0 = 412,240724 \text{ cm/s}^2$**

Oltre al parametro **H<sub>SM</sub>**, si stimano i valori di scuotimento in accelerazione (cm/s<sup>2</sup>) attesi al sito per gli altri intervalli di periodo: 0,4s ≤ T ≤ 0,8s (**H<sub>0408</sub>**); 0,7s ≤ T ≤ 1,1s (**H<sub>0711</sub>**).

L' Acceleration Spectrum Intensity (**ASI<sub>PU</sub>** in Von Thun et alii, 1988) è stato stimato calcolando, per ciascun intervallo di periodo specifico, l'integrale dello spettro probabilistico di pericolosità di base (roccia rigida e morfologicamente piatta) a Probabilità Uniforme (PU) in pseudo-accelerazione, con un tempo di ritorno di 475 anni.

Il valore **ASI<sub>PU</sub>** diviso per il corrispettivo ΔT e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) riferito allo stesso intervallo di periodo, consente la stima dei rispettivi livelli di pericolosità sismica.

Non essendo stata condotta un'analisi di risposta sismica locale, sono stati adottati come fattori amplificativi, quelli ottenuti dall'impiego degli abachi RER. I valori riportati nelle tabelle potrebbero portare a sovrastima. Tali valori possono essere sostituiti dai risultati di valutazioni della risposta sismica locale.

Lo scuotimento in accelerazione atteso al sito e così ricavato per gli intervalli di periodi 0,4s ≤ T ≤ 0,8s; 0,7s ≤ T ≤ 1,1s risulta:

- **MASW 1 / MASW 2:**

$$\mathbf{H_{0408}} = 201,40273 \text{ cm/s}^2$$

$$\mathbf{H_{0711}} = 105,54775 \text{ cm/s}^2$$

- **MASW 3:**

$$\mathbf{H_{0408}} = 190,21369 \text{ cm/s}^2$$

$$\mathbf{H_{0711}} = 105,54775 \text{ cm/s}^2$$

In ogni caso, a seconda dell'importanza che i vari edifici in progetto in quest'area assumeranno a livello di classe d'uso (NTC 2018), in fase attuativa occorrerà valutare l'opportunità di un'analisi di risposta sismica locale, con metodi analitici, per la determinazione del fattore di amplificazione litostratigrafico e per la quantificazione più dettagliata degli eventuali effetti di sito.

## 7 ANALISI APPROFONDATA

Un'analisi più approfondita di terzo livello, pur non essendo specificatamente richiesta per l'areale in oggetto, è stata comunque affrontata al fine di presentare in modo più completo quelli che possono essere i locali fattori di pericolosità sismica limitanti o condizionanti le trasformazioni urbane.

Nell'ambito territoriale esaminato, si riconosce come situazione di pericolosità locale, la condizione di suscettibilità a liquefazione. Tale effetto atteso, potenzialmente in grado di influenzare le previsioni di strumentazione urbanistica, è stato oggetto di approfondimento commisurato alla criticità, dimensioni dell'area ed importanza dell'intervento/i da realizzare.

### 7.1 VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

Il sito di indagine si colloca in un contesto geologico-geomorfologico di pianura pedemontana che risulta essere costituito da litotipi prevalentemente grossolani depositati dal F. Trebbia. Nel dettaglio, il sottosuolo del sito di interesse risulta essere costituito per i primi 150-200 m da sedimenti di natura ghiaiosa con locali intercalazioni di materiale fine. Pur essendo quindi molto bassa la probabilità di liquefazione in tali depositi, si è proceduto comunque alla verifica di suscettibilità a tale fenomeno.

Si precisa che le considerazioni riportate nel presente documento hanno valenza areale limitata alla lottizzazione in esame.

La procedura di calcolo descritta di seguito è stata performata su foglio di calcolo excel utilizzando, come dato di input, il profilo di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) ottenuto dall'elaborazione della prova MASW che ha restituito il modello sismico peggiore delle n. 3 prove sito-specifiche nell'intervallo di profondità suscettibile di liquefazione in caso di sisma (primi 20 m dal p.c.). Per il sito di interesse non sono disponibili prove CPT che sono il metodo più raccomandato dalla normativa nazionale (NTC 2018) e regionale (D.G.R. 476/2021 e 564/2021) per la verifica di rischio del suddetto fenomeno cosismico.

Per la presente verifica, il profilo di  $V_s$  è stato elaborato secondo il metodo semplificato di Andrus et al. (2000) che esprime la suscettibilità a liquefazione di un sito attraverso un fattore di sicurezza FSL calcolato come il rapporto tra la resistenza ciclica del terreno (CRR) e lo sforzo di taglio ciclico del sisma di riferimento (CSR) secondo la seguente formula:

$$FSL = \frac{CRR_{7.5}}{CSR} \cdot MSF \cdot k_{\sigma}$$

dove:

$CRR_{7.5}$  è il rapporto di resistenza ciclica normalizzato per  $M_w = 7.5$  (Cyclic Resistance Ratio)

MSF è il fattore di scala della magnitudo (Magnitude Scale Factor)

$K_\sigma$  è il fattore di correzione per la pressione di confinamento

CSR è il rapporto di tensione ciclica (Cyclic Stress Ratio)

Il metodo è valido per sabbie sciolte oloceniche (età < 10.000 anni). Se tale condizione non è soddisfatta si applicano dei fattori correttivi.

Nel dettaglio, per il calcolo del parametro CRR è stato utilizzato come dato di input il profilo verticale delle onde di taglio ( $V_s$ ) ottenuto dall'elaborazione della prova MASW 3 in quanto ha restituito il modello sismico peggiore delle n. 3 prove sito-specifiche nell'intervallo di profondità suscettibile di liquefazione (primi 20 metri dal p.c.).

La valutazione della resistenza CRR sulla base della velocità  $V_s$  è giustificata dal fatto che entrambi questi parametri dipendono dall'indice dei vuoti del terreno, dalle pressioni efficaci, dalla storia tensionale e dall'età geologica. Il metodo risulta vantaggioso per i bassi costi delle tecniche di indagine di misura delle  $V_s$  e la possibilità di effettuarle in terreni dove le prove SPT e CPT risultano poco affidabili. Le principali limitazioni sono invece legate al basso livello di deformazione delle misure di  $V_s$  indotto nel terreno rispetto al fenomeno della liquefazione (che avviene invece a grandi deformazioni), nonché al limitato dataset di misure di  $V_s$  disponibili in siti liquefatti rispetto all'elevato numero di prove SPT e CPT.

Relativamente al livello freatico, le n. 6 prove penetrometriche eseguite dallo scrivente nel mese di novembre 2021 sono state spinte ad una profondità massima di 3.00 m circa dal p.c. e non è stata rilevata la presenza di acqua in nessuna verticale. Tale dato è in accordo con la bibliografia disponibile, che per il sito di indagine riporta un valore medio di soggiacenza di circa 14.0/15.0 m. Sempre fonti bibliografiche riportano poco più ad est del sito di indagine la presenza di una prova SCPT (SCPT 3) eseguita nel mese di giugno 1993 in Loc. Colombarola (autore sconosciuto), nella quale si riporta la presenza di un orizzonte acquifero a partire da circa 6.5 m dal p.c. Nella presente verifica è stato pertanto utilizzato a scopo cautelativo un valore di soggiacenza della falda pari a 6.5 m.

Per il calcolo del parametro CSR è stato utilizzato un valore di  $PGA_0$  di 0.0958g (stimato dalla mappa di pericolosità sismica) ed il relativo fattore di amplificazione (FAPGA), calcolato in base agli abachi RER, è di 2.2. Di conseguenza si ottiene un valore di accelerazione massima attesa al suolo (PGA) pari a  $0.0958g \times 2.2 = 0.211g$ . La magnitudo momento utilizzata per il calcolo del Magnitudo Scaling Factor (MSF) è, in via cautelativa, quella della zona sismogenetica d'appartenenza (911, Tortona-Bobbio) ed è pari a 6.14.

Come descritto in precedenza, il fattore di sicurezza è definito dal rapporto tra la resistenza ciclica del terreno (CRR) e lo sforzo di taglio ciclico del sisma di riferimento (CSR). Le NTC 2018 rimandano al progettista la scelta del valore soglia di FS che separi i terreni liquefacibili da quelli non liquefacibili. L'Eurocodice EC8 invece suggerisce una soglia di 1.25. Dato il contesto geologico-idrogeologico sito-specifico (pianura pedemontana), contraddistinto da litotipi prevalentemente grossolani con rare intercalazioni di argille e limi, per la presente verifica si è deciso di considerare il valore 1.20 come soglia a separare i terreni liquefacibili da quelli non liquefacibili.

In aggiunta al fattore di sicurezza, è stato calcolato l'indice del potenziale di liquefazione LPI secondo Somnez (2003). Tale indice è un valore numerico che quantifica i possibili effetti della liquefazione in superficie. Tiene conto dello spessore dello strato liquefacibile, della sua profondità e del Fattore di Sicurezza. Si calcola con la seguente formula:

$$LPI = \int_0^{20} F(z)W(z)dz$$

dove

$$F(z) = 0 \text{ per } F_L \geq 1.2$$

$$F(z) = 2 \cdot 10^6 \exp(-18.427 F_L) \text{ per } 1.2 > F_L \geq 0.95$$

$$F(z) = 1 - F_L \text{ per } F_L \leq 0.95$$

$W(z) = 200/z_{crit}(1-z/z_{crit})$  con  $z_{crit}$  la profondità massima entro cui si può verificare la liquefazione (di norma pari a 20 m).

In funzione del valore raggiunto dall'indice, si possono individuare cinque classi di potenziale di liquefazione:

<b>LPI</b>	<b>Potenziale</b>
0	non liquefacibile ( $F_L \geq 1.2$ )
$0 < LPI \leq 2$	basso
$2 < LPI \leq 5$	moderato
$5 < LPI \leq 15$	alto
$LPI > 15$	molto alto

È stata infine calcolata la probabilità di liquefazione secondo il metodo di Juang et al. (2002) che utilizza la seguente formula:

$$P_L = \frac{1}{1 + (Fs/0.96)^{4.5}}$$

Si ottiene così un valore compreso tra 0 e 1 sulla base del quale vengono individuate cinque classi di probabilità di liquefazione:

$P_L$	Probabilità
$0.85 \leq P_L \leq 1.0$	Quasi certo
$0.65 \leq P_L \leq 0.85$	Molto probabile
$0.35 \leq P_L \leq 0.65$	Liquefazione e non liquefazione ambedue possibili
$0.15 \leq P_L \leq 0.35$	Scarsamente probabile
$P_L < 0.15$	Quasi improbabile

### 7.1.1. Dati di input ed elaborazione

Di seguito si elencano i parametri di input sito-specifici per la verifica di rischio:

- Zona sismogenetica = *Tortona - Bobbio*;
- Valore medio di soggiacenza falda = *6.5 m (da bibliografia)*;
- Magnitudo Momento Massima prevista = *6.14*;
- P.G.A.<sub>0</sub> = *0.0958 g*;
- Zona sismica = *zona sismica 3, zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti.  $0.05g < a_g \leq 0.15g$* ;
- Fattore di Amplificazione della PGA ( $FA_{PGA}$ ): = *2.2 (da abachi RER)*;
- P.G.A. = *0.211g*;

$$PGA = PGA_0 FA_{PGA}$$

dati di input					output					
Sismostrato	Profondità (m)	Spessore (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	$\sigma_{v0}$ (kPa)	u (kPa)	$\sigma'_{v0}$ (kPa)	FSL	LPI	$P_L$ (%)
1	0.84	0.84	16.00	163	non liquefacibile					
2	1.73	0.89	16.50	230	non liquefacibile					
3	7.61	5.88	19.50	480	142.79	11.10	131.69	3.17	0.00	0.007
4	15.11	7.5	19.00	404	285.29	86.10	199.19	7.15	0.00	0.000
5	15.87	0.76	20.00	545	300.49	93.70	206.79	1.78	0.00	0.046
6	30.0	14.13	21	830	597.22	235.00	362.22	3.71	0.00	0.004

La presente verifica di liquefazione è stata eseguita con il metodo semplificato di Andrus et al. (2000) che utilizza come dato di input per il calcolo del parametro CRR il profilo verticale delle onde di taglio (Vs) ottenuto dall'elaborazione della prova MASW 3 eseguita in sito dallo scrivente nel mese di dicembre 2021, in quanto ha restituito il modello sismico peggiore nell'intervallo di profondità suscettibile di liquefazione (primi 20 m dal p.c.).



Il fattore di sicurezza non è stato calcolato per i primi due sismostrati in quanto costituiti da litotipi a composizione prevalentemente fine coesiva e ubicati al di sopra del livello freatico. I rimanenti quattro sismostrati sono costituiti da litotipi prevalentemente ghiaiosi, con rare intercalazioni di orizzonti argilloso-limosi, ubicati al di sotto della superficie freatica. Per questi sismostrati si è quindi performata la verifica di rischio.

Le risultanze dell'elaborazione non hanno evidenziato la presenza di sismostrati con valori del fattore di sicurezza inferiori alla soglia di 1.20 considerata per il sito di interesse. I valori di LPI si mantengono inoltre su valori nulli, definendo per l'areale di indagine un potenziale di liquefazione molto basso (quasi impossibile). Si sono infine ottenuti valori di probabilità di liquefazione inferiori a 0.15 (liquefazione quasi improbabile). Si specifica che la presente verifica è stata condotta a favore di sicurezza, in quanto è stato utilizzato un valore di PGA relativo ad un tempo di ritorno di 475 anni. Nell'areale di studio vi sono inoltre evidenze storiche di eventi sismici, il più recente e rilevante dei quali è quello verificatosi nell'agosto 2000 con magnitudo momento pari a 4.94 (Monferrato). Tale valore di magnitudo è inferiore a quello utilizzato nella verifica stessa ( $M_w = 6.14$ ).

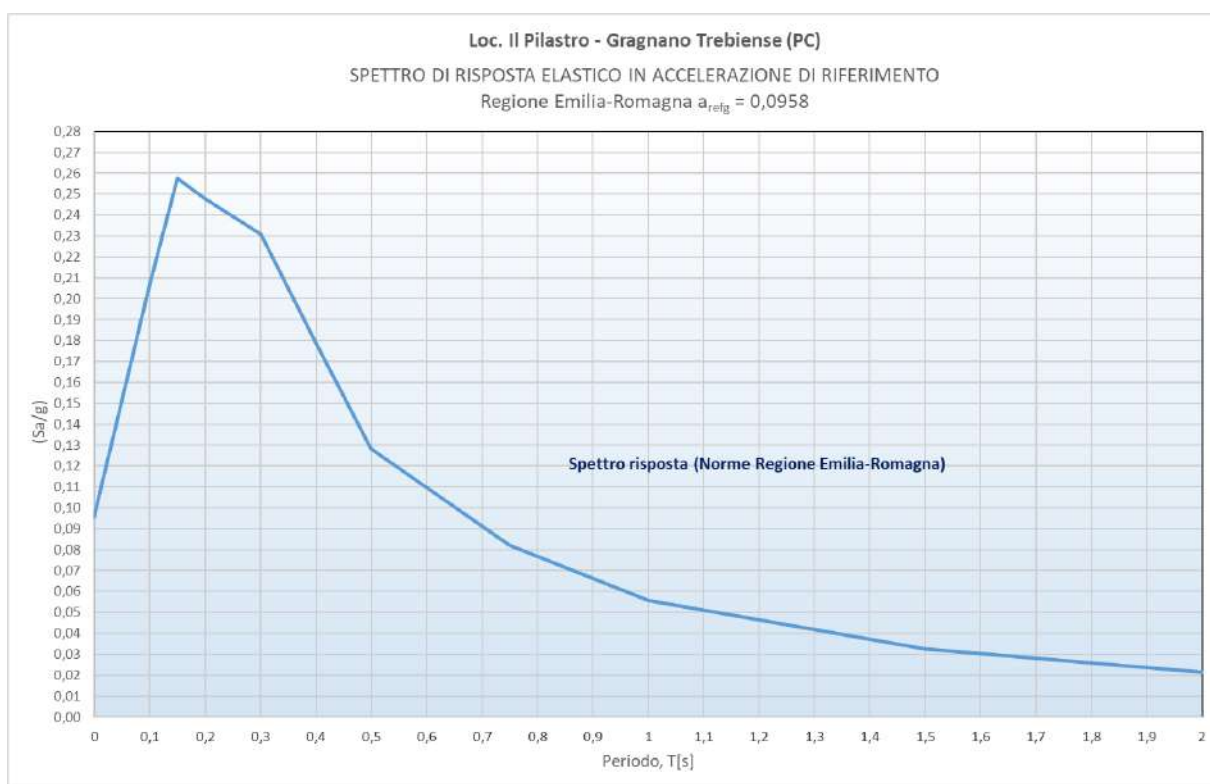
Alla luce di queste considerazioni è quindi possibile assegnare all'areale di indagine un **rischio basso/molto basso** di sviluppare fenomeni di liquefazione in caso di sisma.

## 7.2 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE

L'Allegato 4 della DGR 2193/2015 della Regione Emilia Romagna e Delibera Num. 630 del 29/04/2019 riporta la forma dello spettro di risposta in accelerazione (smorzamento pari al 5%) normalizzato e mediato sul territorio regionale. Questo spettro, che è rappresentativo del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni in Emilia-Romagna, è stato ricavato dai valori degli spettri di risposta calcolati per il territorio regionale da INGV.

Nel sito oggetto di studio,  $a_{refg}$  è pari a 0.0958. Tale valore corrisponde all'accelerazione massima orizzontale su suolo di riferimento (categoria di sottosuolo A, NTC 2018), espressa in frazione dell'accelerazione di gravità  $g$ , con il 10% di probabilità di superamento in 50 anni corrispondente al periodo di ritorno di 475 anni.

Da specificare che i valori di  $a_{refg}$  elaborati da INGV, sono relativi ai punti di una griglia fornita nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, tema "Sismica – Microzonazione Sismica", con passo 0.05 gradi.



**Figura 23: Spettro di risposta elastico in accelerazione di sito su suolo A in base alle norme della regione Emilia-Romagna**

Lo spettro di risposta in accelerazione (smorzamento pari al 5%) a probabilità uniforme, che descrive le caratteristiche del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni nel sito analizzato, si ottiene moltiplicando i valori che definiscono lo spettro di risposta normalizzato previsto per l'Emilia-Romagna, per il valore di  $a_{refg}$  sito specifico (valore di accelerazione massima orizzontale).

## 8 CONCLUSIONI

I caratteri sismici dell'area d'interesse e i risultati dell'approfondimento condotto, si possono così riassumere:

- In base alla normativa antisismica vigente, il territorio comunale di Gragnano Trebbiense è inserito in **zona 3** (medio-bassa sismicità);
- In base alla mappa della pericolosità sismica, il valore di **ag** atteso al sito e di **0.0958 g**;
- In relazione alle caratteristiche geologico-geomorfologiche dell'area, gli effetti di sito possono ricondursi esclusivamente a modesti fenomeni di amplificazione litologica;
- La categoria di suolo fondazionale secondo le NTC 2018 è di tipo "**B**";
- I fattori di amplificazione calcolati in base alla delibera regionale per lo scenario sismostratigrafico "**Margine di tipo A**", sono riassunti nella tabella sotto riportata:

PROVA	V_EQ (SEDIMENTI POCO CONSOLIDATI)	F PGA	SA1	SA2	SA3	SI1	SI2
M1 / M2	180	2.2	2.1	1.8	1.6	2.0	1.7
M3	190	2.1	2.0	1.7	1.6	1.9	1.7

- Il Fattore  $H_{SM}$  calcolato come da DGR 630/2019 e considerando come  $ASI_{UHS} / \Delta T$  un valore di  $ASI_{0.105} / 0,4 s = 206.120362 \text{ cm/s}^2$  risulta:

$$H_{SM} \text{ MASW 1 / MASW 2} = 206.120362 \times 2.1 = 432,8527602 \text{ cm/s}^2$$

$$H_{SM} \text{ MASW 3} = 206.120362 \times 2.0 = 412,240724 \text{ cm/s}^2$$

- I valori di scuotimento in accelerazione ( $\text{cm/s}^2$ ) attesi al sito per gli altri intervalli di periodo  $0,4s \leq T \leq 0,8s$  ( $H_{0408}$ ),  $0,7s \leq T \leq 1,1s$  ( $H_{0711}$ ) e stimati sulla base dei fattori amplificativi tabellari RER sono:

### MASW 1 / MASW 2:

$$H_{0408} = 201,40273 \text{ cm/s}^2$$

$$H_{0711} = 105,54775 \text{ cm/s}^2$$

### MASW 3:

$$H_{0408} = 190,21369 \text{ cm/s}^2$$

$$H_{0711} = 105,54775 \text{ cm/s}^2$$

- Nell'intervallo di frequenze a maggior interesse ingegneristico (normalmente 1 – 10/15 Hz), non si evidenziano picchi del rapporto H/V particolarmente elevati. In base all'esito delle prove non sussistono le condizioni per l'insorgere, in caso di sisma, di fenomeni di risonanza terreno-strutture;
- Dalla verifica della suscettibilità al fenomeno della liquefazione, l'indice del potenziale di liquefazione (LPI) risultante, presenta valori tali da collocare il sito entro la classe di **rischio basso/molto basso**.

In generale, dalla consultazione dei dati bibliografici, dalle cartografie e dalle caratteristiche geologico-stratigrafiche geotecniche e sismiche dell'area in studio, non sono stati rilevati elementi ostativi che possano compromettere l'intervento in progetto.

Treviso, 02 novembre 2023

Geotest s.r.l.



Dott. Geol. Adriano Baldini



Dott. Geol. Sara Bozzini

# Allegato 4

## Rapporto Ambientale Acque Superficiali e Sotterranee

---

## 1) PREMESSA

---

Il presente elaborato geologico-ambientale costituisce un'integrazione alla documentazione di supporto alla realizzazione di un nuovo Piano Particolareggiato di Iniziativa Privata a Destinazione Residenziale (Accordo Operativo n.12), sito in Gragnano Trebbiense – Frazione di Gragnanino (PC).

Nei capitoli successivi verranno individuati i corpi idrici di acque superficiali e sotterranee presenti in corrispondenza del sito interessato dall'intervento e/o nelle sue vicinanze. Per ognuno di questi vengono inoltre assegnati gli obiettivi ambientali in riferimento al Piano di Gestione del distretto idrografico del fiume Po (PdGPo) dell'anno 2015 e al PdGPo del 2021.

---

## 2) INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA

---

A grande scala, il reticolo idrografico superficiale è caratterizzato dalla presenza del Fiume Po, che scorre circa 7.5 km a nord, e dei suoi tributari, caratterizzati da un orientamento complessivamente perpendicolare alla dorsale appenninica: il Fiume Trebbia, che scorre circa 1.5 km ad est del sito, ed il Torrente Tidone, che scorre invece ad ovest, alla distanza di circa 3 km. A questi si aggiunge una fitta rete di corpi idrici secondari (rii e canali di ordine inferiore) che risulta, in alcuni tratti, fortemente modificata dall'azione antropica (irrigidimento delle sponde e tombatura) operata sia per esigenze urbanistiche che agricole. Nello specifico, il Rio Marazzani attraversa l'area di studio, da nord a sud, nella parte centrale, seguendone poi in parte il limite nord-orientale; il Rio Vescovo, invece, coincide con il limite più orientale dell'area di interesse.

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 (Fig. 1). Esse sono identificabili nella falda freatica, presente pressoché ovunque, e molto spesso anche in falde artesiane soggiacenti a questa. Sedi di falde acquifere naturali sono le intercalazioni ghiaiose e sabbiose comprese nella coltre di sedimenti fluviali depositi dal Fiume Po e dai suoi affluenti appenninici durante l'era quaternaria. Nel caso in esame, la falda superficiale è ospitata entro la coltre dei depositi alluvionali ascrivibili al Subsistema di Ravenna, Unità di Modena "AES8a". La carta idrogeologica del PSC di Gragnano T.se indica la presenza della falda in corrispondenza dell'area di studio ad una profondità di circa 14-15 m dal p.c. (Fig. 2).

L'asse principale di flusso della falda più superficiale è generalmente diretto verso Nord – Nord Est, in accordo con l'orientamento della rete idrografica principale e del gradiente topografico.

La vulnerabilità idrogeologica associata a questi tipi di risorse idriche, nell'area in esame, è “alta”, poiché si tratta di litologie affioranti costituite da terreni limosi e tendenzialmente limosi, a copertura di un substrato ghiaioso relegato a profondità inferiori di 10 metri dal piano campagna.

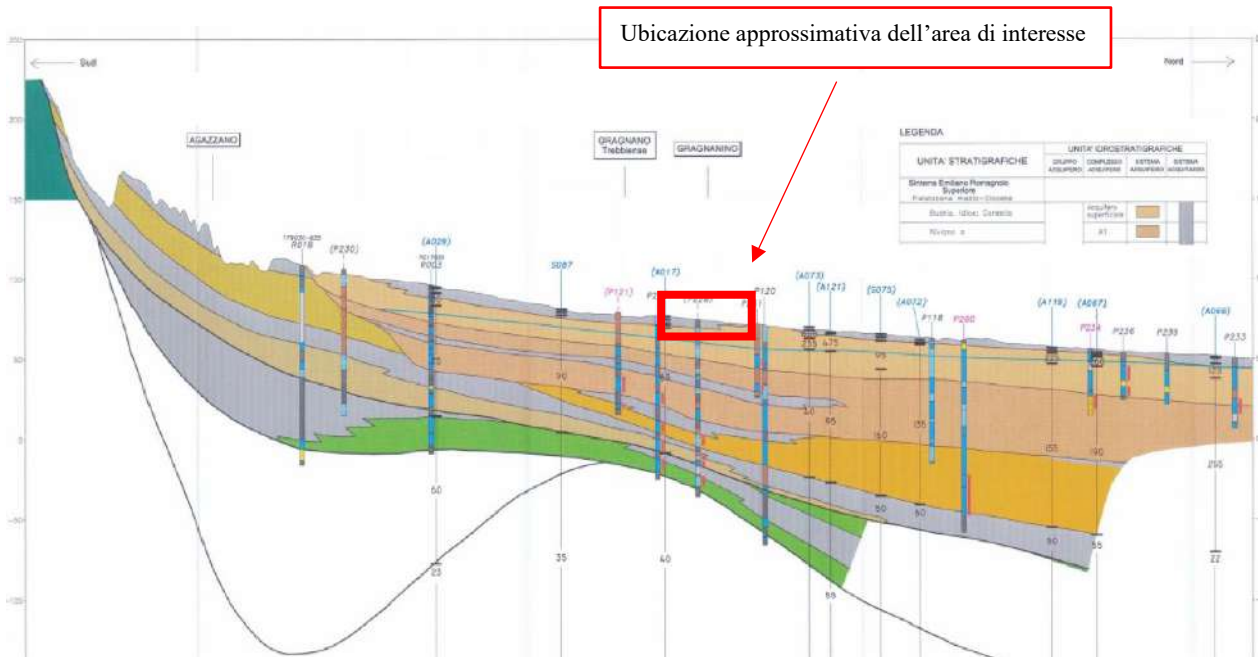


Fig. 1: Sezione Idrogeologica n.192 (Fonte: Geologia, Suoli e Sismica della Regione Emilia-Romagna)

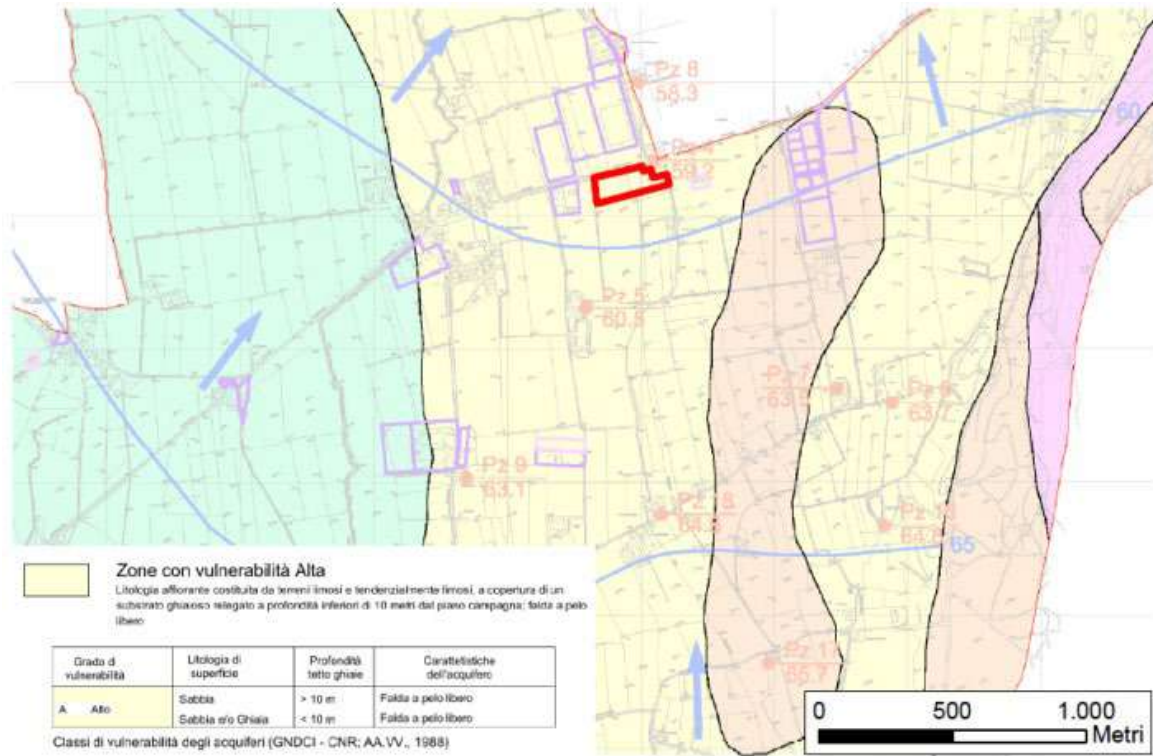


Fig. 2: Estratto Carta degli Aspetti Idrogeologici del PSC del Comune di Gragnano Trebbiense



In relazione all'area interessata dalla nuova lottizzazione a destinazione residenziale in progetto e premesso che secondo quanto riportato dalla cartografia tecnica Provinciale e Comunale, il sito in oggetto ricade nel Settore di tipo B – area caratterizzata da ricarica indiretta della falda (Fig. 3).

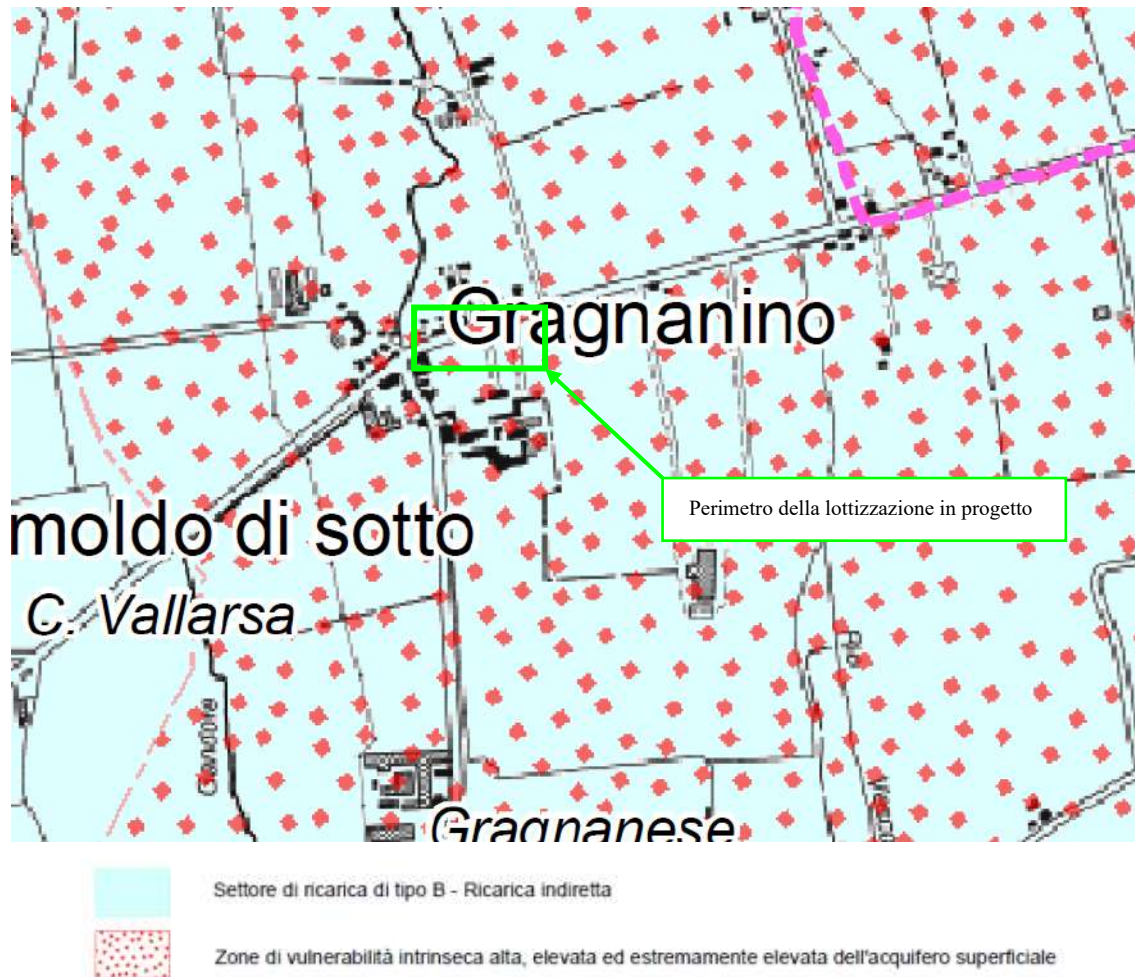


Fig. 3: Estratto Carta della Tutela delle Risorse Idriche del PTCP vigente di Piacenza

Al fine della tutela delle risorse idriche e zone di tutela dei corpi idrici l'art. 34, comma 2 delle Norme del PTCP prevede:

*b) la tutela delle risorse idriche complessive, attraverso specifiche misure per la tutela generale quali-quantitativa ed ecologica delle acque, secondo quanto indicato nell'allegato N5 alle presenti Norme, ai sensi degli artt. da 14 a 39 e da 50 a 84 delle Norme del PTA. Tali misure, da realizzarsi prioritariamente nell'ambito degli strumenti territoriali e urbanistici di pianificazione e attuazione, nonché tramite specifici programmi di iniziativa locale, sono articolate nelle seguenti categorie:*

- *tutela dei singoli corpi idrici, attraverso l'individuazione di specifici corpi idrici superficiali e sotterranei, opportunamente monitorati, per i quali sono determinati, a fissate scadenze temporali, obiettivi di qualità ambientale e obiettivi di qualità per specifica destinazione funzionale; gli obiettivi e gli stati rilevati per ogni stazione della rete di monitoraggio per i diversi corpi idrici sono definiti nella Relazione del presente Piano, che si intende aggiornata dalle modifiche introdotte dagli specifici provvedimenti degli Enti preposti e dai risultati dei rilievi periodici;*
- *tutela qualitativa delle acque, incentrata sulla disciplina degli scarichi, sulla disciplina delle attività di utilizzazione agronomica degli effluenti d'allevamento e delle acque reflue, con particolare riferimento alle zone vulnerabili da nitrati (ZVN, individuate a tal fine nella tavola A5 del presente Piano) e sulla tutela delle zone vulnerabili da prodotti fitosanitari;*
- *tutela quantitativa delle acque, incentrata sulla tutela delle zone soggette a fenomeni di siccità, sulla regolazione dei prelievi nel rispetto del deflusso minimo vitale (DMV), sull'incremento del risparmio idrico nel settore civile, produttivo industriale/commerciale e agricolo, nelle fasi di utilizzo, adduzione e distribuzione, sulla capacità di stoccaggio temporaneo delle acque e sul riutilizzo delle acque reflue;*
- *tutela ecologica delle acque, incentrata sulla tutela delle capacità autodepurative e della naturalità dei corpi idrici superficiali anche mediante il mantenimento o ripristino della vegetazione spontanea nelle aree di pertinenza dei corpi idrici superficiali, nel rispetto delle esigenze di gestione idraulica di cui alla lettera a., comma 12, del precedente Art. 10;*

Al fine delle acque destinate al consumo umano l'art. 35, comma 4 delle Norme del PTCP prevede:

*Le zone di protezione delle acque superficiali oggetto di derivazione a fini potabili sono costituite dalle aree coincidenti con l'intero bacino imbrifero di alimentazione a monte della captazione e, al loro interno, dalle aree a ridosso della presa, corrispondenti alle porzioni di bacino a monte della presa per un'estensione di 10 Km<sup>2</sup>. Nell'ambito di tali zone valgono le seguenti disposizioni:*

- a) *all'interno del bacino imbrifero di alimentazione, compresa l'area a ridosso della presa, la tutela è riconducibile alla disciplina finalizzata al raggiungimento degli obiettivi di qualità ambientale e per specifica destinazione di cui al comma 2, lettera b., del precedente Art. 34;*
- b) *all'interno dell'area a ridosso della presa, nelle aree non urbanizzate e non destinate all'urbanizzazione da strumenti urbanistici comunali vigenti o adottati alla data di entrata in vigore del PTA, valgono le seguenti disposizioni:*
  - *non sono ammesse le attività di gestione dei rifiuti;*
  - *la Provincia può prevedere specifiche limitazioni allo spandimento di reflui zootecnici e di fanghi, fertilizzanti, fitofarmaci o altri presidi chimici, nell'ambito degli strumenti previsti per lo svolgimento delle funzioni connesse all'utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento e delle acque reflue;*
  - *i Comuni, nell'ambito degli strumenti di pianificazione, non possono prevedere aree destinabili a nuove urbanizzazioni e devono prevedere specifiche limitazioni finalizzate ad eliminare o ridurre scarichi diretti e dilavamenti con recapito al corpo idrico e ad evitare la compromissione quantitativa delle risorse;*
- c) *all'interno dell'area a ridosso della presa, nelle aree non urbanizzate ma destinate all'urbanizzazione da strumenti urbanistici comunali vigenti o adottati alla data di entrata in vigore del PTA e nelle aree che saranno destinate all'urbanizzazione in conformità alle disposizioni del presente Piano, gli strumenti urbanistici comunali devono prevedere misure per la tutela quantitativa e qualitativa della risorsa idrica, disponendo almeno:*
  - *il divieto di attività comportanti scarichi pericolosi;*
  - *il divieto di attività a rischio di inquinamento;*
  - *l'obbligo di impermeabilizzazione dei piazzali delle aree industriali;*
  - *il divieto di attività di stoccaggio e di distribuzione di carburanti;*
  - *la realizzazione di reti fognarie separate;*

- *il corretto dimensionamento degli impianti di depurazione e il loro recapito in altro corpo idrico rispetto a quello captato o a valle della derivazione;*
  - *nel caso di prelievi idropotabili dal bacino d'accumulo, lo scarico dell'effluente nell'emissario del bacino;*
  - *il divieto di recapito delle acque di dilavamento delle strade nel corpo idrico a monte della captazione;*
- d) *all'interno dell'area a ridosso della presa, nelle aree già urbanizzate alla data di entrata in vigore del PTA, sulla base del censimento degli scarichi diretti nel corpo idrico approvato dalla Giunta provinciale e delle misure disposte per la messa in sicurezza o la riduzione del rischio, l'Autorità d'Ambito deve prevedere misure per la ristrutturazione degli impianti fognari e degli scarichi secondo i medesimi criteri previsti alla precedente lettera c.*

Al fine delle acque destinate al consumo umano l'art. 35, comma 5 delle Norme del PTCP prevede:

- a) *in tutti i settori delle aree di ricarica della falda, la Provincia può prevedere specifiche limitazioni allo spandimento di reflui zootecnici e di fanghi, fertilizzanti, fitofarmaci o altri presidi chimici, nell'ambito degli strumenti previsti per lo svolgimento delle funzioni connesse all'utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento e delle acque reflue;*
- b) *in tutti i settori delle aree di ricarica della falda, sulla base del censimento dei centri di pericolo che possono incidere sulla qualità della risorsa idrica, approvato dalla Giunta provinciale ai sensi del comma 2 dell'art. 45 del PTA, secondo l'elenco di cui all'allegato I al Capitolo 7 delle Norme del PTA, le Province e i Comuni dispongono misure di messa in sicurezza o di riduzione del rischio e favoriscono la delocalizzazione dei centri di pericolo;*
- c) *in tutti i settori delle aree di ricarica della falda devono essere raccolte e trattate tutte le acque di prima pioggia provenienti da nuove strade di categoria A, B e C, ai sensi del D.Lgs. n. 258/1992, e tutte le acque di prima pioggia provenienti da aree produttive, secondo quanto previsto dalla deliberazione della Giunta regionale n. 286/2005;*

- d) nei settori di ricarica di tipo A, B e D, nelle aree non urbanizzate e non destinate all'urbanizzazione da strumenti urbanistici comunali vigenti o adottati alla data di entrata in vigore del PTA, valgono le seguenti disposizioni:
- fatte salve le previsioni di livello sovracomunale, le aree di nuova edificazione devono essere pianificate dai Comuni nell'ambito dei PSC o PRG, conformemente a quanto disciplinato dalla successiva Parte terza, con l'obbligo di collettare i reflui alla pubblica fognatura e di disporre specifiche misure compensative degli interventi urbanistico-edilizi finalizzate a garantire la parità del bilancio idrico, ferme restando le disposizioni di cui al comma 2, lettera b., del precedente Art. 34 in materia di risparmio idrico e di corretta gestione degli scarichi;
  - i Comuni, nell'ambito dei PSC o PRG, individuano gli interventi necessari per contrastare gli effetti negativi dell'impermeabilizzazione dei terreni, garantendo le condizioni di sicurezza igienico-sanitaria e il rispetto delle tutele culturali e paesaggistiche di cui al D.Lgs. n. 42/2004;
- e) nei settori di ricarica di tipo A, B e D, nelle aree non urbanizzate ma destinate all'urbanizzazione da strumenti urbanistici comunali vigenti o adottati alla data di entrata in vigore del PTA e nelle aree che saranno destinate all'urbanizzazione in conformità alle disposizioni del presente Piano, gli strumenti urbanistici comunali prevedono misure per la tutela quantitativa e qualitativa della risorsa idrica definendo le attività consentite, prioritariamente tramite l'esclusione dei centri di pericolo di cui all'allegato 1 al Capitolo 7 delle Norme del PTA, e le modalità di realizzazione delle infrastrutture tecnologiche e viarie; l'insediamento di nuove attività industriali non va consentito nei settori di ricarica di tipo D, mentre nei settori di ricarica di tipo A va subordinato al rispetto delle seguenti condizioni:
- che non vengano previste o potenziate attività di gestione di rifiuti pericolosi;
  - che non sia presente uno stato di contaminazione delle acque sotterranee tale da rendere insostenibile ulteriore carico veicolato;
  - che gli scarichi permettano il collettamento in pubblica fognatura delle acque reflue di lavorazione;
  - che il prelievo di acque sotterranee a scopo produttivo sia verificato alla luce di una valutazione di compatibilità con il bilancio idrico locale supportata da specifico studio idrogeologico;
- f) nei settori di ricarica di tipo A, B e D, nelle aree urbanizzate alla data di entrata in vigore del PTA i Comuni e l'ATO, secondo le rispettive competenze, devono prevedere misure per la

riorganizzazione della rete fognaria (separazione delle reti e messa in sicurezza della rete delle acque nere) e la messa in sicurezza della rete viaria; le stesse misure vanno previste, se necessarie, anche per gli insediamenti e le infrastrutture viarie presenti nelle aree a destinazione rurale; l'insediamento di nuove attività industriali nei settori di ricarica di tipo D va consentito nel rispetto delle condizioni elencate alla precedente lettera e. per le attività industriali nei settori di ricarica di tipo A;

g) nei settori di ricarica di tipo D non sono comunque ammessi:

- la realizzazione di nuovi distributori di carburanti;
- la realizzazione di nuovi impianti di lavaggio automezzi;
- la realizzazione di nuovi cimiteri;

h) nei settori di ricarica di tipo A, B e D, l'esercizio delle attività estrattive per le quali, alla data di approvazione del PTA, non è stata approvata la convenzione richiesta dall'art. 12 della L.R. n. 17/1991, va effettuato nel rispetto delle seguenti condizioni:

- le attività estrattive non devono comportare rischi di contaminazione della falda e sono subordinate alla definizione di progetti di recupero ambientale da effettuarsi alla cessazione dell'attività; nella formazione dei detti progetti dovrà essere valutato il potenziale utilizzo delle ex cave come bacini di accumulo della risorsa idrica;
- non sono ammessi tombamenti di invasi di cava con terreni eccedenti i limiti di qualità di cui alla colonna A del D.M. n. 471/1999;

i) nei settori di ricarica di tipo A, B e D le attività di gestione dei rifiuti sono disciplinate come segue:

nei settori B sono consentite discariche limitatamente a rifiuti non pericolosi come da D.M. n.471/1999, subordinandone la realizzazione a verifica di compatibilità idrogeologica a scala areale;

### 3) IDENTIFICAZIONE DEL CORPO IDRICO SUPERFICIALE

Dall'analisi della cartografia tematica relativa alla tutela delle acque (Fig. 4) e consultabile nel WebGis realizzato da AERPAE al sito [Geocortex Viewer per HTML5 \(arpae.it\)](http://Geocortex.Viewer.per.HTML5(arpae.it)), i corsi d'acqua superficiali più vicini al sito in oggetto sono:

- Torrente Loggia (codice corpo idrico IT080106000000001ER – codice EU GWB);
- Fiume Trebbia (codice corpo idrico IT080109000000009\_10ER – codice EU GWB).



Fig. 4: Estratto dalla Cartografia Tematica di ARPAE Emilia-Romagna

### 3.1 Caratteristiche del corpo idrico superficiale "Torrente Loggia"

In base a quanto riportato sulla pubblicazione "Elenco degli obiettivi ambientali per le acque superficiali e sotterranee", allegato al Piano di Gestione del distretto idrografico del fiume Po – Riesame e aggiornamento al 2015 [Tabella 1.1 - Elenco dei CORPI IDRICI FLUVIALI del distretto idrografico del fiume Po e indicazione degli obiettivi definiti ai sensi della DQA – pagina 83 vedi stralcio della tabella riportato in Fig. 5], la porzione di asta del T. Loggia più vicina al sito in oggetto (700.0/800.0 m in direzione ovest) si trovava in uno stato caratterizzato dai seguenti parametri/giudizi e obiettivi:

- Pressioni significative 1.2, 2.2;
- Impatto significativo IN, IC;
- Stato chimico "buono";
- Obiettivo chimico (PdG Po 2015) "buono al 2015";
- Stato/potenziale ecologico "cattivo";
- Obiettivo ecologico (PdG Po 2015) "scarso al 2027" ed è prevista l'esenzione per l'obiettivo ecologico per costi spropositati.

Nell'Elenco degli obiettivi ambientali per le acque superficiali e sotterranee, allegato al Piano di Gestione del distretto idrografico del fiume Po – Riesame e aggiornamento al 2021 [Tabella 1.2 - Elenco dei CORPI IDRICI FLUVIALI del distretto idrografico del fiume Po e indicazione delle necessità di proroghe/esenzioni/deroghe, ai fini della definizione degli obiettivi ambientali ex art. 4, 5, 6 DQA – vedi stralcio della tabella riportato in Fig. 6], la porzione di asta del T. Loggia più vicina al sito in oggetto (700.0/800.0 m in direzione est) si trovava in uno stato ecologico/potenziale caratterizzato da:

- Pressione significativa 1.1, 1.2, 1.3, 2.2;
- Impatto significativo IN, IC, IM;
- Stato chimico "non buono", corrispondente all'obiettivo "buono al 2027" ed è prevista l'esenzione dall'obiettivo chimico per fattibilità tecnica;
- Stato potenziale ecologico "scarso";
- Obiettivo di qualità ecologica (PdG Po) "sufficiente al 2027" ed è prevista l'esenzione per l'obiettivo ecologico per costi spropositati e fattibilità tecnica.



### 3.2 Caratteristiche del corpo idrico superficiale "Fiume Trebbia"

In base a quanto riportato sulla pubblicazione "Elenco degli obiettivi ambientali per le acque superficiali e sotterranee", allegato al Piano di Gestione del distretto idrografico del fiume Po – Riesame e aggiornamento al 2015 [Tabella 1.1 - Elenco dei CORPI IDRICI FLUVIALI del distretto idrografico del fiume Po e indicazione degli obiettivi definiti ai sensi della DQA – pagina 99 vedi stralcio della tabella riportato in Fig. 7], la porzione di asta del F. Trebbia più vicina al sito in oggetto (1.8/2.0 km in direzione est) si trovava in uno stato caratterizzato dai seguenti parametri/giudizi e obiettivi:

- Pressioni significative 2.2,3.1;
- Impatto significativo HA\_IDR, HA\_MOR;
- Stato chimico "buono";
- Obiettivo chimico (PdG Po 2015) "buono al 2015";
- Stato/potenziale ecologico "sufficiente";
- Obiettivo ecologico (PdG Po 2015) "scarso al 2021" ed è prevista l'esenzione per l'obiettivo ecologico per fattibilità tecnica.

Nell'Elenco degli obiettivi ambientali per le acque superficiali e sotterranee, allegato al Piano di Gestione del distretto idrografico del fiume Po – Riesame e aggiornamento al 2021 [Tabella 1.2 - Elenco dei CORPI IDRICI FLUVIALI del distretto idrografico del fiume Po e indicazione delle necessità di proroghe/esenzioni/deroghe, ai fini della definizione degli obiettivi ambientali ex art. 4, 5, 6 DQA – vedi stralcio della tabella riportato in Fig. 8], la porzione di asta del F. Trebbia più vicina /al sito in oggetto (1.8/2.0 km in direzione est) si trovava in uno stato ecologico/potenziale caratterizzato da:

- Impatto significativo HA\_IDR;
- Stato chimico "non buono", corrispondente all'obiettivo "buono al 2015";
- Stato potenziale ecologico "buono";
- Obiettivo di qualità ecologica (PdG Po) "sufficiente al 2021".

Fig. 5: stralcio tabella 1.1 - Elenco dei CORPI IDRICI FLUVIALI del distretto idrografico del fiume Po e indicazione degli obiettivi definiti ai sensi della DQA (anno 2015) – pag. 83 di 156

Regione del distretto	Codice corpo idrico (ID_Ci2015)	Nome corso d'acqua	Natura	Uso per fortamenti e modificati	Pressioni significative	Impatti significativi	Staz. monit.	Stato CHIMICO	Obiettivo CHIMICO PdG Po 2015	Eventuali esenzioni ex art.4 DQA	Motivazione per esenzione indicata	Stato/Potenziale ECOLOGICO	Obiettivo ECOLOGICO PdG Po 2015	Eventuali esenzioni ex art.4 DQA	Motivazione per esenzione indicata
Emilia-Romagna	0106000000001ER	Loggia (Torrente)	naturale		1.3;2.2;	IN; IC	no	buono	buono al 2015			cattivo	scarso al 2027	4.5	Costi sproporzionati (Documento su <a href="http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/acque/informazioni/documenti/indagine-sul-2019entita-dei-costi-economico-sociali/view">http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/acque/informazioni/documenti/indagine-sul-2019entita-dei-costi-economico-sociali/view</a> )

Fig. 6: stralcio tabella 1.2 - Elenco dei CORPI IDRICI FLUVIALI del distretto idrografico del fiume Po e indicazione delle necessità di proroghe/esenzioni/deroghe, ai fini della definizione degli obiettivi ambientali ex art. 4, 5, 6 DQA (anno 2021 - sono state inserite solo le colonne di interesse della tabella) - pag. 14 di 79

Sub Unit	Regione	ID_Ci2021EUWSE	Nome Corpo Idrico	Natura Corpo Idrico	Presenza Stazione di monitoraggio	Pressioni significative	Impatti significativi	Stato chimico	Obiettivo chimico 2021	Esenzioni per obiettivo chimico	Stato-Potenziale ecologico	Obiettivo ecologico 2021	Esenzioni per obiettivo ecologico
Po	Emilia-Romagna	IT08010600000001ER	LOGGIA	naturale	no	1.1; 1.2; 1.3; 2.1;	IN; IC; IM;	Non Buono	buono al 2027	Art. 4.4 - Fattibilità tecnica	Scarso	sufficiente al 2027	Art. 4.5 - Costi sproporzionati; Art. 4.4 - Fattibilità tecnica

Fig. 7: stralcio tabella 1.1 - Elenco dei CORPI IDRICI FLUVIALI del distretto idrografico del fiume Po e indicazione degli obiettivi definiti ai sensi della DQA (anno 2015) – pag. 99 di 156

Regione del distretto	Codice corpo idrico (ID_Ci2015)	Nome corso d'acqua	Natura	Uso per fortamenti e modificati	Pressioni significative	Impatti significativi	Staz. monit.	Stato CHIMICO	Obiettivo CHIMICO PdG Po 2015	Eventuali esenzioni ex art.4 DQA	Motivazione per esenzione indicata	Stato/Potenziale ECOLOGICO	Obiettivo ECOLOGICO PdG Po 2015	Eventuali esenzioni ex art.4 DQA	Motivazione per esenzione indicata
Emilia-Romagna	01090000000010ER	Trebbia (Fiume)	naturale		2.2;3.1	HA_IDR; HA_MOR	no	buono	buono al 2015			sufficiente	buono al 2021	4.4	Fattibilità tecnica

Fig. 8: stralcio tabella 1.2 - Elenco dei CORPI IDRICI FLUVIALI del distretto idrografico del fiume Po e indicazione delle necessità di proroghe/esenzioni/deroghe, ai fini della definizione degli obiettivi ambientali ex art. 4, 5, 6 DQA (anno 2021 - sono state inserite solo le colonne di interesse della tabella) - pag. 16 di 79

Sub Unit	Regione	ID_Ci2021EUWSE	Nome Corpo Idrico	Natura Corpo Idrico	Presenza Stazione di monitoraggio	Pressioni significative	Impatti significativi	Stato chimico	Obiettivo chimico 2021	Esenzioni per obiettivo chimico	Stato-Potenziale ecologico	Obiettivo ecologico 2021	Esenzioni per obiettivo ecologico
Po	Emilia-Romagna	IT08010900000005_10ER	TREBBIA	naturale	sì	Nessuna pressione significativa	HA_IDR;	Buono	buono al 2021	No esenzione	Buono	buono al 2021	No esenzione

### *3.3 Valutazioni in merito all'impatto della nuova lottizzazione a scopo residenziale sulle acque superficiali*

---

È possibile affermare che l'area in esame non interferisce direttamente con le aste dei corpi idrici sopracitati. Inoltre, tenuto conto che l'insediamento residenziale in progetto prevede tutte quelle soluzioni adeguate alle norme vigenti, si ritiene che lo stesso non abbia alcuna influenza sulle acque superficiali e conseguentemente nessun impatto negativo sugli obiettivi di qualità previsti dal al Piano di Gestione del distretto idrografico del fiume Po.

#### 4) IDENTIFICAZIONE DEI CORPI IDRICI SOTTERRANEI

Dalla cartografia dei corpi idrici sotterranei pubblicata in rete sul webgis di ARPAE Emilia-Romagna (Geocortex Viewer per HTML5 (arpae.it)) e della cartografia tematica relativa alla tutela delle acque dalla Provincia di Piacenza (TVin – AMB 03 – Tutela delle acque) in corrispondenza del sito di interesse sono cartografati i seguenti corpi idrici (Fig. 9):

- Conoide Trebbia Confinato Inferiore (**codice corpo idrico IT082301ER-DQ2-CCI codice EU GWB**);
- Conoide Trebbia - Luretta Libero (**codice corpo idrico IT80032ER-DQ1-CL codice EU GWB**);

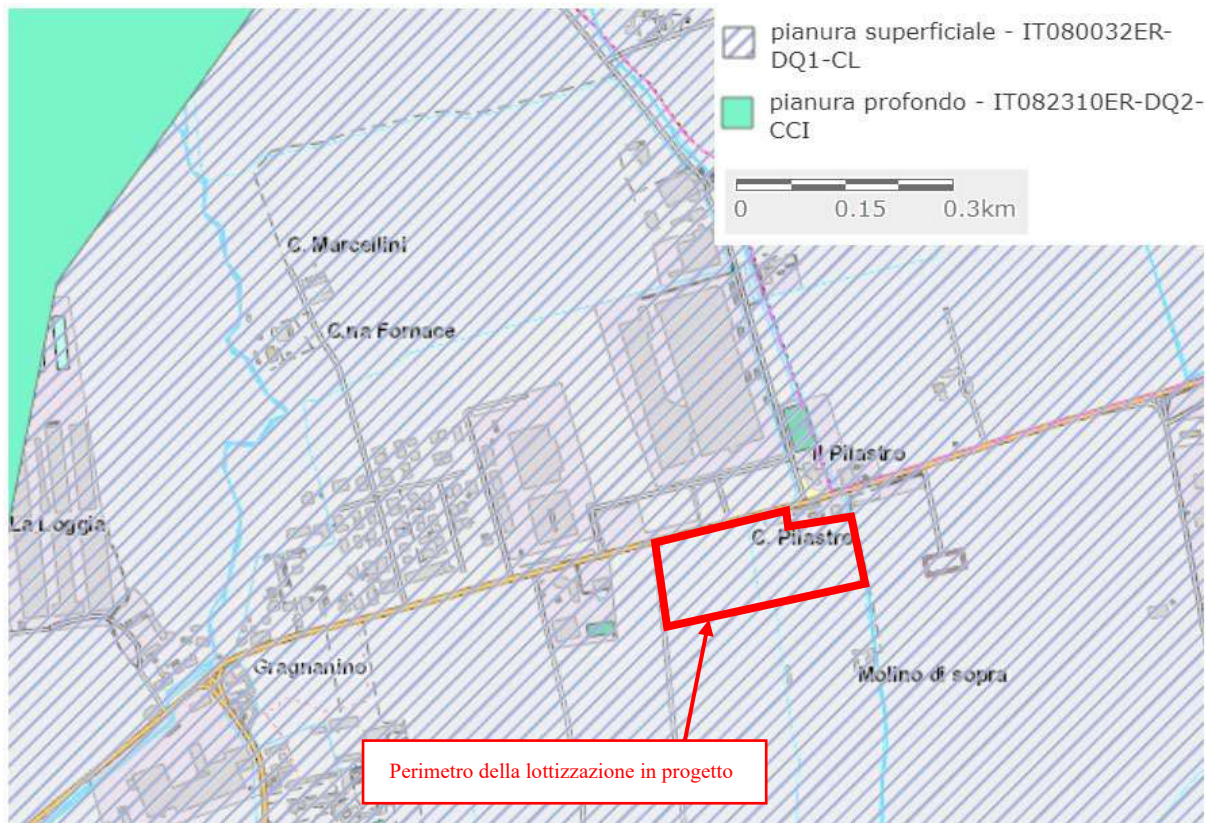


Fig. 9: Estratto Cartografia Tematica relativa alla tutela delle acque della Provincia di Piacenza

#### 4.1 Caratteristiche del corpo idrico sotterraneo "IT082301ER-DQ2-CCI"

In base a quanto riportato nell'Elenco degli obiettivi ambientali per le acque superficiali e sotterranee, allegato al Piano di Gestione del distretto idrografico del fiume Po – Riesame e aggiornamento al 2015 [Tabella 1.6 - Elenco dei CORPI IDRICI SOTTERRANEI del distretto idrografico del fiume Po e indicazione degli obiettivi definiti ai sensi della DQA – vedi stralcio della tabella riportato in Fig. 10 – pag. 139 di 156] il corpo idrico sotterraneo era caratterizzato come segue:

- Pressioni significative 3.7;
- Stato chimico "buono";
- Obiettivo chimico (PdG Po 2015) "scarso al 2015";
- Stato quantitativo "buono";
- Obiettivo quantitativo "buono al 2015".

In base a quanto riportato sulla pubblicazione "Elenco degli obiettivi ambientali per le acque superficiali e sotterranee, allegato al Piano di Gestione del distretto idrografico del fiume Po – Riesame e aggiornamento al 2021" [Tabella 1.6 - Elenco dei CORPI IDRICI SOTTERRANEI del distretto idrografico del fiume Po e indicazione degli obiettivi definiti ai sensi della DQA – vedi stralcio della tabella riportato in Fig. 11 – pag. 51 di 79] il corpo idrico sotterraneo era caratterizzato come segue:

- Impatti significativi IN, IS. Piez;
- Stato chimico "buono";
- Obiettivo di chimico (PdG Po 2015) "scarso al 2015";
- Stato quantitativo "buono";
- Obiettivo quantitativo "buono al 2015".

#### 4.2 Caratteristiche del corpo idrico sotterraneo "IT80032ER-DQ1-CL"

In base a quanto riportato nell'Elenco degli obiettivi ambientali per le acque superficiali e sotterranee, allegato al Piano di Gestione del distretto idrografico del fiume Po – Riesame e aggiornamento al 2015 [Tabella 1.6 - Elenco dei CORPI IDRICI SOTTERRANEI del distretto idrografico del fiume Po e indicazione degli obiettivi definiti ai sensi della DQA – vedi stralcio della tabella riportato in Fig. 12 – pag. 139 di 156] il corpo idrico sotterraneo era caratterizzato come segue:

- Pressioni significative 2.1, 2.2, 3.7;
- Impatti significativi IN, IC, Piez;
- Stato chimico "scarso";
- Obiettivo chimico (PdG Po 2015) "buono al 2027" ed è prevista l'esenzione per l'obiettivo chimico per fattibilità tecnica;
- Stato quantitativo "buono";
- Obiettivo quantitativo "buono al 2021" ed è prevista l'esenzione per l'obiettivo chimico per fattibilità tecnica.

In base a quanto riportato sulla pubblicazione "Elenco degli obiettivi ambientali per le acque superficiali e sotterranee, allegato al Piano di Gestione del distretto idrografico del fiume Po – Riesame e aggiornamento al 2021" [Tabella 1.6 - Elenco dei CORPI IDRICI SOTTERRANEI del distretto idrografico del fiume Po e indicazione degli obiettivi definiti ai sensi della DQA – vedi stralcio della tabella riportato in Fig. 13 – pag. 51 di 79] il corpo idrico sotterraneo era caratterizzato come segue:

- Pressioni significative 2.2;
- Impatti significativi IC, IN, IS, Piez;
- Stato chimico "scarso";
- Obiettivo chimico (PdG Po 2015) "buono al 2027" ed è prevista l'esenzione per l'obiettivo chimico per condizioni naturali;
- Stato quantitativo "buono";
- Obiettivo quantitativo "buono oltre al 2015".

Fig. 10: stralcio tabella 1.6 - Elenco dei CORPI IDRICI SOTTERRANEI del distretto idrografico del fiume Po e indicazione degli obiettivi definiti ai sensi della DQA (anno 2015) – pag. 139 di 156

Regione del distretto	Codice corpo idrico (ID_CI2015)	Nome corpo idrico	Sistema di circolazione	Pressioni significative	Impatti significativi	Staz. monit.	Stato CHIMICO	Obiettivo CHIMICO PdG Po 2015	Eventuali esenzioni ex art.4 DQA	Motivazione per esenzione indicata	Stato QUANTITATIVO	Obiettivo QUANTITATIVO PdG Po 2015	Eventuali esenzioni ex art.4 DQA	Motivazione per esenzione indicata
Emilia-Romagna	2301ER-DQ2-CCI	Conoide Trebbia - confinato inferiore	pianura profondo	3.7		si	buono	buono al 2015			buono	buono al 2015		

Fig. 11: stralcio tabella 1.6 - Elenco dei CORPI IDRICI SOTTERRANEI del distretto idrografico del fiume Po e indicazione delle necessità di proroghe/esenzioni/deroghe, ai fini della definizione degli obiettivi ambientali ex art. 4, 5, 6 DQA (anno 2021 - sono state inserite solo le colonne di interesse della tabella) - pag. 51 di 79

Sub Unit	Regione	ID_CI2021EUWISE	Nome Corpo Idrico	Tipo Acquifero	Presenza Stazione di monitoraggio	Pressioni significative	Impatti significativi	Stato chimico	Obiettivo chimico 2021	Esenzioni obiettivo chimico	Stato Quantitativo	Obiettivo quantitativo 2021	Esenzioni obiettivo quantitativo
Po	Emilia-Romagna	IT082301ER-DQ2-CCI	Conoide Trebbia - confinato inferiore	DQ2.1	si	Nessuna pressione significativa	IN; IS; Piez	Buono	buono al 2015	no esenzione	Buono	buono al 2015	no esenzione

Fig. 12: stralcio tabella 1.6 - Elenco dei CORPI IDRICI SOTTERRANEI del distretto idrografico del fiume Po e indicazione degli obiettivi definiti ai sensi della DQA (anno 2015) – pag. 139 di 156

Regione del distretto	Codice corpo idrico (ID_CI2015)	Nome corpo idrico	Sistema di circolazione	Pressioni significative	Impatti significativi	Staz. monit.	Stato CHIMICO	Obiettivo CHIMICO PdG Po 2015	Eventuali esenzioni ex art.4 DQA	Motivazione per esenzione indicata	Stato QUANTITATIVO	Obiettivo QUANTITATIVO PdG Po 2015	Eventuali esenzioni ex art.4 DQA	Motivazione per esenzione indicata
Emilia-Romagna	0032ER-DQ1-CL	Conoide Trebbia-Luretta - libero	pianura superficiale	2.1; 2.2; 3.7	IN; IC; Piez	si	scarso	buono al 2027	4.4	Fattibilità tecnica	buono	buono al 2021	4.4	Fattibilità tecnica

Fig. 13: stralcio tabella 1.6 - Elenco dei CORPI IDRICI SOTTERRANEI del distretto idrografico del fiume Po e indicazione delle necessità di proroghe/esenzioni/deroghe, ai fini della definizione degli obiettivi ambientali ex art. 4, 5, 6 DQA (anno 2021 - sono state inserite solo le colonne di interesse della tabella) - pag. 51 di 79

Sub Unit	Regione	ID_CI2021EUWISE	Nome Corpo Idrico	Tipo Acquifero	Presenza Stazione di monitoraggio	Pressioni significative	Impatti significativi	Stato chimico	Obiettivo chimico 2021	Esenzioni obiettivo chimico	Stato Quantitativo	Obiettivo quantitativo 2021	Esenzioni obiettivo quantitativo
Po	Emilia-Romagna	IT080032ER-DQ1-CL	Conoide Trebbia-Luretta - libero	DQ 1.1	si	2.2	IC; IN; IS; Piez	Scarso	buono al 2027	Art. 4.4 - Condizioni naturali	Buono	buono al 2015	no esenzione

### 4.3 Valutazioni in merito all'impatto della nuova lottizzazione a scopo residenziale sulle acque sotterranee

In base a quanto noto l'area oggetto d'intervento non interferisce direttamente con i corpi idrici sotterranei sopra individuati in quanto:

- le precauzioni previste da progetto in merito alla tutela delle acque sotterranee non andranno a impattare sulla risorsa idrica presente nel sottosuolo;
- allo stato attuale è previsto che gli insediamenti in progetto non prevedono la realizzazione di pozzi per l'approvvigionamento idrico ma di sopperire alle necessità ad uso consumo umano e domestico mediante l'allaccio alla rete idrica pubblica.

Per quanto noto, allo stato attuale si ritiene che l'insediamento in progetto non comporti influenze significative sulle acque sotterranee e senza impatti negativi sugli obiettivi di qualità previsti dal al Piano di Gestione del distretto idrografico del fiume Po.

Trevozzo V.T. 02/11/2023

Geotest s.r.l.



Dott. Geologo Adriano Baldini