

STERILTOM s.r.l.

Via Provinciale n° 90 – Gragnano Trebbiense (PC)

**PROGETTO DI REALIZZAZIONE DEL PIAZZALE SUD
PER BAIE DI CARICO INSEDIAMENTO PRODUTTIVO
STERILTOM S.R.L., LOC. CASALIGGIO IN COMUNE DI
GRAGNANO T.SE**

RELAZIONE GEOLOGICA

PROGETTISTI: Dott. Arch. Beatrice CAPRA
Via Pietro Giordani n° 15 - 29121 PIACENZA
Telefono : 0523 / 337610

Geom. Gianluca CAPRA
Via Pietro Giordani n° 15 - 29121 PIACENZA
Telefono : 0523 / 337610

Allegato 06

Piacenza li gennaio 2026

I TECNICI

Relazione Geologica

- Modello Geologico
- Modello Geotecnico
- Modello Sismico

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



Oggetto

Relazione Geologica-
Geotecnica a supporto del
progetto edilizio che prevede
la demolizione e ricostruzione
di magazzini presso lo
Stabilimento STERILTOM
s.r.l., da realizzarsi sull'areale
parzialmente sotteso dal
mappale n. 58 del foglio n. 23
della Planimetria Catastale.

Committente

Spett. Steriltom S.r.l.
Loc. Casaliggio, 90
29010 Gragnano T.se (PC)
P. IVA 01072770330

Tecnico Incaricato

Dott. Geol. Baldini Adriano



GeoTest

Trevozzo, 14 ottobre 2025

Sommario

0) GENERALITÀ.....	1
1) PREMESSA.....	1
2) NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
3) INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO	5
3.1 Inquadramento Geologico.....	4
3.2 Idrografia ed Idrogeologia (cenni).....	6
3.3 Interazione del progetto con le pianificazioni territoriali vigenti.....	7
4) MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO	8
4.1 Modello Geologico	9
4.2 Modello Geotecnico	9
5) VERIFICA DEL CARICO LIMITE (SLU) E STIMA DEI CEDIMENTI.....	10
5.1 Dati Generali	10
5.2 Coefficienti Sismici (N.T.C.)	11
5.3 Stratigrafia Terreno	11
5.4 Carico Limite Fondazione combinazione A1+M1+R3	13
5.5 Stima dei Cedimenti Elastici.....	14
5.6 Stima dei Cedimenti Edometrici	15
6) CONCLUSIONI	16

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 1:50.000 – Foglio n. 179

Fig. 5: Estratto Carta Geologica Regionale

Fig. 6: Estratto Carta del Sistema Idrogeologico – PSC

Fig. 7: Estratto Carta Idrogeologica – PSC

Fig. 8: Estratto Carta di Fattibilità delle Trasformazioni – PSC

Allegati

ALLEGATO 1: PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

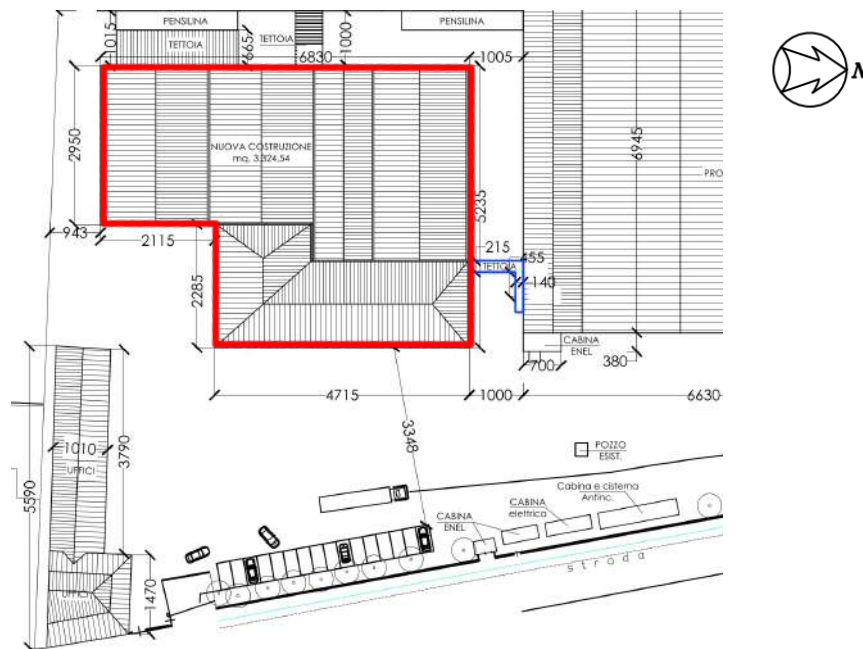
ALLEGATO 2: INDAGINE GEOFISICA DI SUPERFICIE

0) GENERALITÀ

Il sottoscritto Baldini Adriano, iscritto all'Ordine Regionale Geologi dell'Emilia-Romagna al n.749, residente in [REDACTED], redige la presente relazione geologica-geotecnica 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 dalla Ditta Steriltom S.r.l.

1) PREMESSA

Con la presente relazione vengono valutati gli aspetti geologici, geotecnici, geomorfologici, geofisici ed idrogeologici relativi al progetto edilizio che prevede la demolizione e ricostruzione di magazzini dello Stabilimento Steriltom s.r.l. In particolare, verrà realizzato un nuovo manufatto che avrà in pianta le dimensioni indicative di 68.30 m x 52.35 m circa e occuperà una superficie coperta di circa 3300 mq. Tale intervento sarà realizzato nella zona nord-occidentale del centro abitato di Casaliggio, all'interno della ditta stessa, circa 1.8 km a sud del capoluogo (Fig. 1); nel dettaglio, esso interesserà l'areale parzialmente sotteso dal mappale n. 58 del foglio n. 23 della Planimetria Catastale (Fig. 2). Per la descrizione dettagliata dell'intervento si rimanda alla relazione tecnica allegata alla pratica di progetto.



Manufatto in progetto

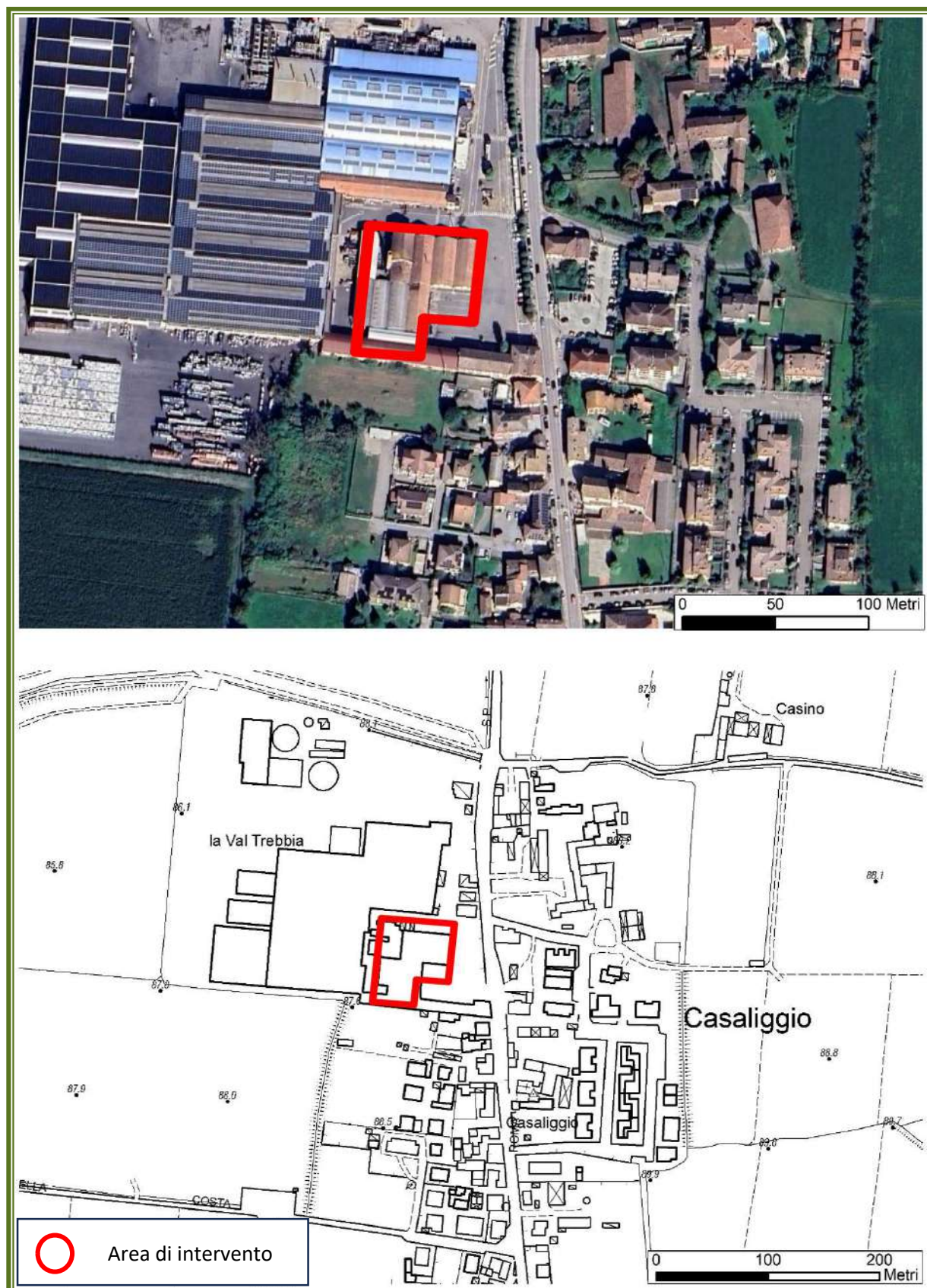
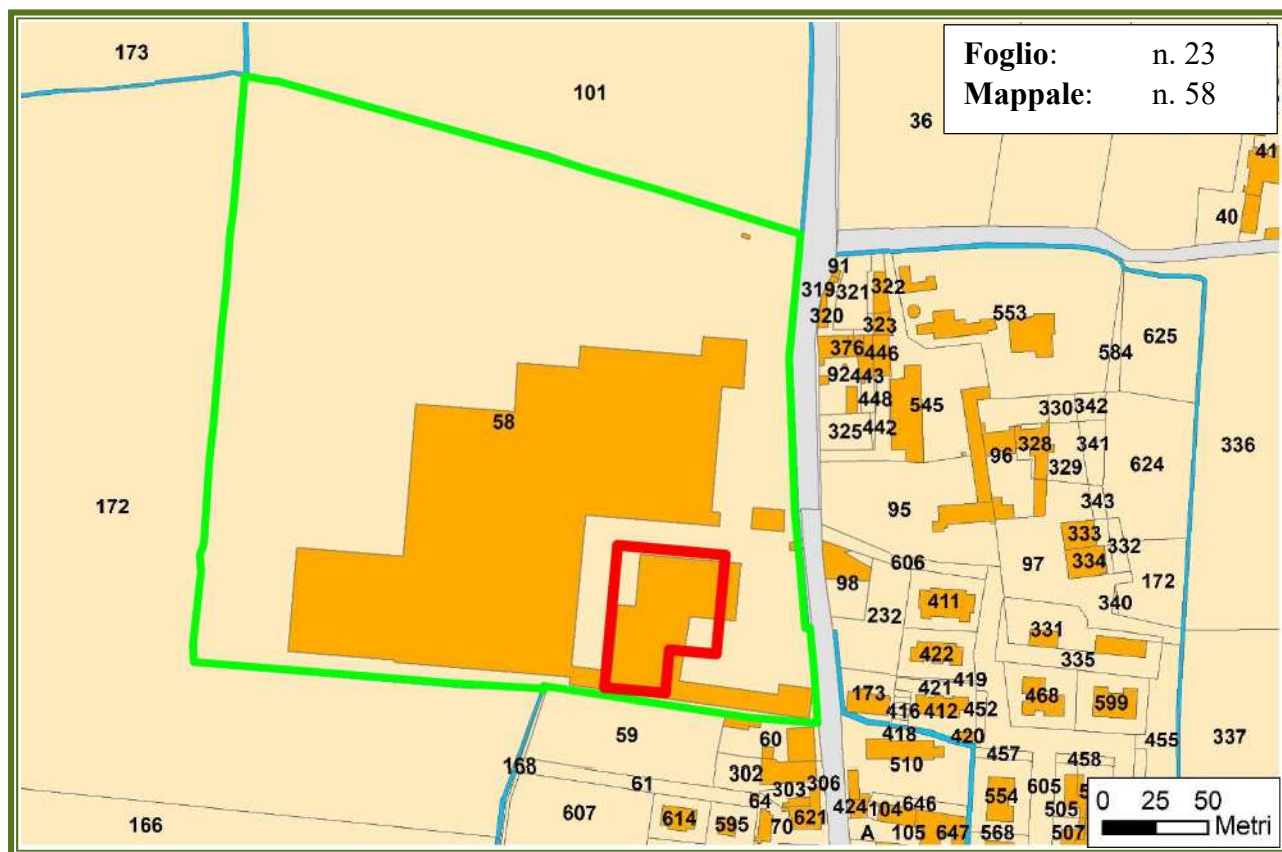
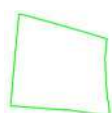


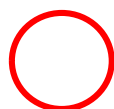
Fig. 1: Corografia – CTR 1:5000



Legenda



Mappale interessato dall'intervento



Manufatto in progetto

Fig. 2: Estratto di Mappa Catastale

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 10 ottobre 2025, 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 quanto in progetto e la realtà geologica locale.

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

- n. 6 prove penetrometriche dinamiche *DPSH* eseguite con penetrometro Pagani TG 63-200, la cui elaborazione e risultati sono riportati in **Allegato 1**;
- Indagine geofisica di superficie (trattazione specifica in **Allegato 2**) consistita in:
 - n. 1 prova MASW per la caratterizzazione del suolo sismico di fondazione (V_{seq}).

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

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

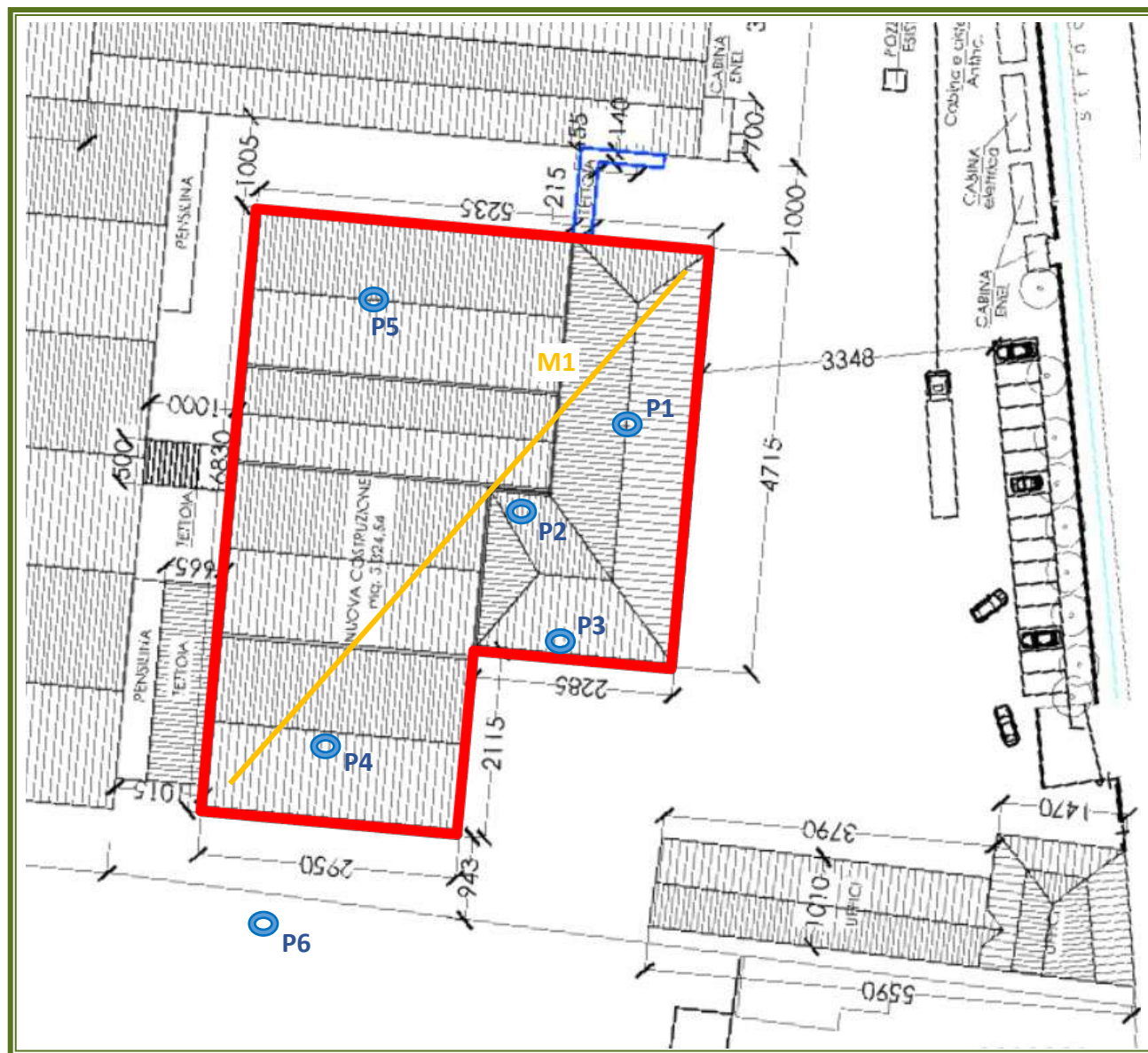


Fig. 3: Ubicazione indagini effettuate (prove penetrometriche dinamiche e prova sismica MASW)

Sinteticamente le indagini eseguite si sono sostanziate nelle seguenti operazioni:

- a) rilevamento geologico, geomorfologico ed indagini geognostiche/geofisiche di superficie utili alla modellazione geologica ed idrogeologica preliminare sito specifica;
- b) caratterizzazione geomeccanica di massima del terreno presente nel sottosuolo dell'area in esame, definizione della categoria di suolo sismico di fondazione e della frequenza sito specifica;
- c) considerazioni geotecniche qualitative e semi-quantitative sull'interazione tra opera/e in progetto ed assetto geologico locale.

2) NORMATIVA 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. 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

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

D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche

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 17/01/2018

Aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni

Delibera A.L. progr. n. 112 – oggetto n. 3121 del 2 maggio 2007

Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c. 1, della L.R. 20/2000 per “indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica”

DGR n. 476 del 12 aprile 2021 e (e DGR integrativa n. 564/2021)

Aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)”

3) INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO

L'area oggetto del presente studio è ubicata nella porzione nord-occidentale della Località Casaliggio di Gragnano Trebbiense, ad una quota di circa 88 m s.l.m. (Fig. 1). Essa si trova in un'area urbanizzata che si inserisce in un contesto geomorfologico risultato dei processi fluviali che hanno caratterizzato la dinamica deposizionale della porzione sud-occidentale della pianura piacentina in età olocenica.

3.1 Inquadramento Geologico

La morfologia del territorio è principalmente governata da processi fluvioglaciali e fluviali, che hanno determinato nel tempo forme deposizionali ed erosive caratteristiche degli attuali ambienti di piana alluvionale, disegnando un contesto morfologico tipico dei sistemi terrazzati.

Superfici pianeggianti delimitate da scarpate di terrazzo sono il risultato dell'incisione operata dai corsi d'acqua. Le superfici spianate dei terrazzi possono considerarsi come residui dei vecchi alvei mentre le scarpate che le delimitano rappresentano le diverse fasi erosive risultanti dall'incisione operata dai corsi d'acqua nei sedimenti alluvionali stessi.

I depositi su cui insiste il sito in esame sono principalmente governati dall'azione del Fiume Trebbia che, nel tempo, ha disegnato la tipica morfologia terrazzata e conoidi ghiaiose in corrispondenza degli sbocchi vallivi. Più nel dettaglio, il terrazzo morfologico su cui si imposta l'area di interesse presenta terreni riconducibili, secondo il più moderno criterio classificativo adottato per i depositi alluvionali quaternari di pianura, al **Subsintema di Ravenna – AES8** (Figg. 4 e 5).

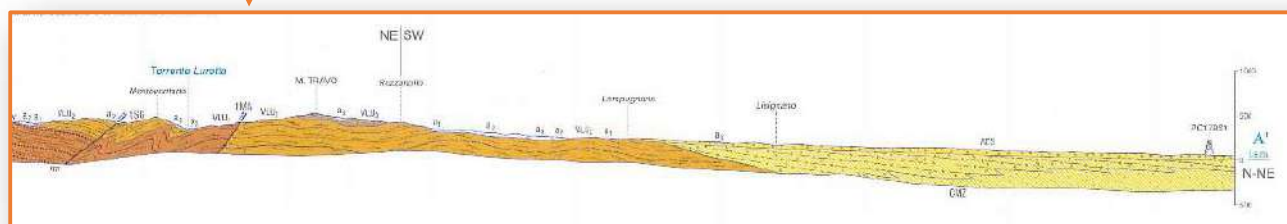
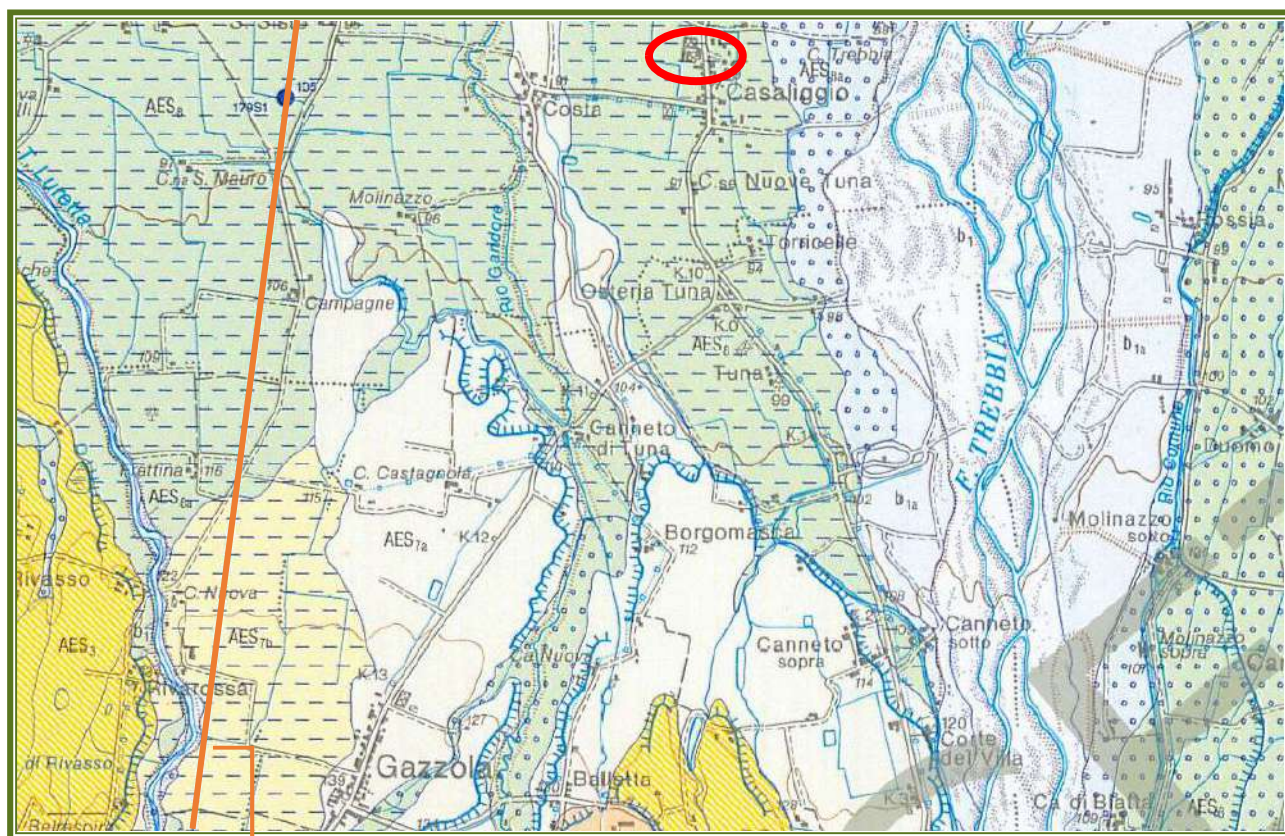
Spostandoci in direzione ovest e sud dall'area in esame, notiamo che i suddetti depositi sono raccordati da scarpate e orli di terrazzo con le soprastanti e più antiche alluvioni appartenenti all'Unità di Niviano (AES7a). Verso est, invece, troviamo depositi alluvionali sempre più recenti: dall'Unità di Modena, identificata in cartografia dalla sigla AES8a, fino ai depositi alluvionali in evoluzione (b1) in corrispondenza dell'alveo attivo del Fiume Trebbia (Figg. 4 e 5).

L'attività antropica, legata allo sviluppo urbanistico di Casaliggio, ha parzialmente obliterato l'originaria morfologia del paesaggio.

Come precedentemente introdotto, l'area oggetto del presente studio è ubicata in un contesto alluvionale di pianura con depositi appartenenti al Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES), Subsintema di Ravenna – AES8. Trattasi, sotto l'aspetto litologico, di depositi prevalentemente costituiti da sabbie, ghiaie sabbiose e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi. Il

CARTA GEOLOGICA D'ITALIA 1:50.000

PONTE DELL'OLIO Foglio 179



SISTEMI DEPOSIZIONALI E LITOLOGIE (distinti in AES₈, AES_{8a} e AES_{7a})

DEPOSITI ALLUVIONALI

PIANA INTRAVALLIVA E CONOIDE ALLUVIONALE



Ghiaie di riempimento di canale fluviale:

Ghiaie da grossolane a fini con matrice sabbiosa o, più raramente, argillosa, in strati da spessi a molto spessi, generalmente amalgamati. Presenti delle intercalazioni di sabbie e sabbie-ghiaiose, spesso sviluppate al tetto degli strati. Strutture sedimentarie assenti o date da embriatura dei ciottoli e gradazione positiva (nelle ghiaie più fini). Depositi di riempimento di canale fluviale. Formano corpi a geometria lobata, nastriforme (canali singoli) o tabulare (canali lateralmente e verticalmente amalgamati).

Alternanze di sabbie, limi ed argille di tracimazione fluviale indifferenziata.

Argille e limi in strati medi e spessi con rare intercalazioni di limi sabbiosi e sabbie limose in strati da molto sottili a medi. Presenti anche livelli di argille organiche. Depositi di tracimazione fluviale non differenziata (argine e piana inondabile).

Si sviluppano generalmente in corrispondenza delle aree relativamente depresse interposte ai rilievi deposizionali (depositi di interconoide). Costituiscono anche i depositi del reticolo idrografico secondario.

SUCCESSIONE POST-EVAPORITICA DEL MARGINE PADANO-ADRIATICO

SUPERSISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO

Unità costituita da terreni continentali, depositi al di sopra di una superficie di discontinuità regionale, cartografata in affioramento e nel sottosuolo del Foglio. Nei Fogli più settentrionali, confinanti con il 179, la superficie di discontinuità basale passa alla corrispondente superficie di continuità e, pertanto, non si potrà parlare più, per definizione, di Supersistema Emiliano-Romagnolo, ma di Sequenza Deposizionale Emiliano-Romagnola. Tutte le unità in cui viene suddiviso il supersistema presentano il medesimo problema stratigrafico formale, in quanto le discontinuità fisiche, che ne costituiscono il limite in affioramento, nel sottosuolo passano alla corrispondente superficie di continuità entro distanze più o meno brevi. Ognuna di queste unità dovrà, pertanto, essere considerata, alla scala del Foglio, una sequenza deposizionale (sensu MITCHUM et alii, 1977) di rango gerarchico corrispondente.

PLEISTOCENE MEDIO-OLOCENE

L'unità è suddivisa in due sistemi.

SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE (AES)

Unità alluvionale prevalentemente grossolana, di età Pleistocene medio-Olocene: depositi alluvionali intravallivi, terrazzati, di conoide alluvionale ghiaiosa e di interconoide. Lo spessore complessivo varia da 0 a 120 m circa. Il tetto è rappresentato dalla superficie topografica, mentre il contatto di base è erosivo e discordante sul Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore, e su CMZ, MRL, MRC e VLU. L'unità è suddivisa in quattro subsistemi e, dove non è stato possibile distinguerli, è stata cartografata come AES indistinto:

ghiaie e ghiaie sabbiose prevalenti, localmente cementate: depositi alluvionali terrazzati (e di conoide ghiaiosa nel sottosuolo). Lo spessore dei depositi terrazzati non supera i 25 metri. Il profilo di alterazione dell'unità è molto evoluto, raggiunge i 7-8 m di profondità ed è di tipo Bt/Btc/BC/Ck/C sulle litofacies grossolane. L'unità presenta una copertura fine, composta, dello spessore massimo di 4 m, costituita da limi e limi argillosi giallastri. Il suo profilo di alterazione è molto evoluto e di tipo A/E/Bt/Btc/Btb/Btcb/Btb/Btcb. Il contatto di base è erosivo e discordante sul Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore, e su CMZ e VLU. Corrisponde alla porzione più antica di AES (AES₁, AES₂).

PLEISTOCENE MEDIO-OLOCENE

Subsistema di Ravenna

Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi: depositi di conoide ghiaiosa e depositi intravallivi terrazzati. Limi e limi sabbiosi: depositi di interconoide. Lo spessore massimo dell'unità è inferiore a 20 metri. Il profilo di alterazione varia da qualche decina di cm fino ad 1 m ed è di tipo A/Bw/Bk(C). Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico, mentre il contatto di base è discontinuo, spesso erosivo e discordante, sugli altri subsistemi e sulle unità più antiche.

PLEISTOCENE SUP.-OLOCENE; post circa 18.000 anni B.P.

Su base morfologica, archeologica e pedostratigrafica viene distinta, all'interno del Subsistema di Ravenna, l'Unità di Modena.

Unità di Modena

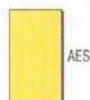
Ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua: depositi alluvionali intravallivi, terrazzati, e di conoide. Lo spessore massimo dell'unità è di alcuni metri. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore (poche decine di cm) e di tipo A/C, localmente A/Bw/C.

OLOCENE; post IV-VII sec. d.C.

Subsistema di Villa Verucchio (AES₇)

Il subsistema è suddiviso, su base morfologica e pedostratigrafica, in due unità stratigrafiche (o sequenze deposizionali) di spessore variabile da alcuni metri ad alcune decine di metri. Lo spessore massimo del Subsistema è di 40 m circa. Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale relitta corrispondente al piano topografico, mentre il contatto di base è erosivo e discordante sugli altri subsistemi e sulle unità più antiche.

Pliocene - Olocene



AES



AES₈



AES_{8a}

Fig. 4: Estratto Carta Geologica d'Italia 1:50.000 – Foglio n. 179

CARTA GEOLOGICA DELLA REGIONE EMILIA - ROMAGNA



Legenda

Ambienti deposiz. e litologie (10K)

Ghiaia Sabbiosa - Piana alluvionale

Sabbia Limoso Argillosa - Piana alluvionale

Coperture quaternarie (10K)

AES8 - Subsistema di Ravenna

AES8a - Unità di Modena

AES8 - Subsistema di Ravenna

Descrizione tipologica: Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi: depositi intravallivi terrazzati e di conoide ghiaiosa. Limi e limi sabbiosi: depositi di interconoide. Il profilo di alterazione varia da qualche decina di cm fino ad 1 m. Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico, mentre il contatto di base è discordante sulle unità più antiche. Lo spessore massimo dell'unità è inferiore a 20 metri.

Tessitura: Ghiaia Sabbiosa (GS)

Ambiente: Piana alluvionale

Ubicazione: Pianura

Fig. 5: Estratto Carta Geologica Regionale

profilo di alterazione varia da qualche decina di cm fino ad 1 m. Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico, mentre il contatto di base è discordante sulle unità più antiche. Lo spessore massimo dell'unità è inferiore a 20 metri. Una descrizione più dettagliata di tale unità, consultabile sul geo portale della regione Emilia-Romagna, è riportata a corredo della carta geologica regionale di Fig. 5.

Le indagini eseguite nell'ambito del presente studio hanno consentito di ricostruire una successione litostratigrafica in accordo con la bibliografia disponibile. Nel dettaglio, al disotto di una coltre superficiale di materiale antropico di riporto (della potenza di circa 1.0 m) è stata rilevata la presenza di depositi limoso-argillosi, di mediocri proprietà geotecniche, fino a profondità di circa 2.0/2.2 m da p.c. Seguono quindi depositi alluvionali ghiaioso-sabbiosi, caratterizzati da ottime proprietà geotecniche.

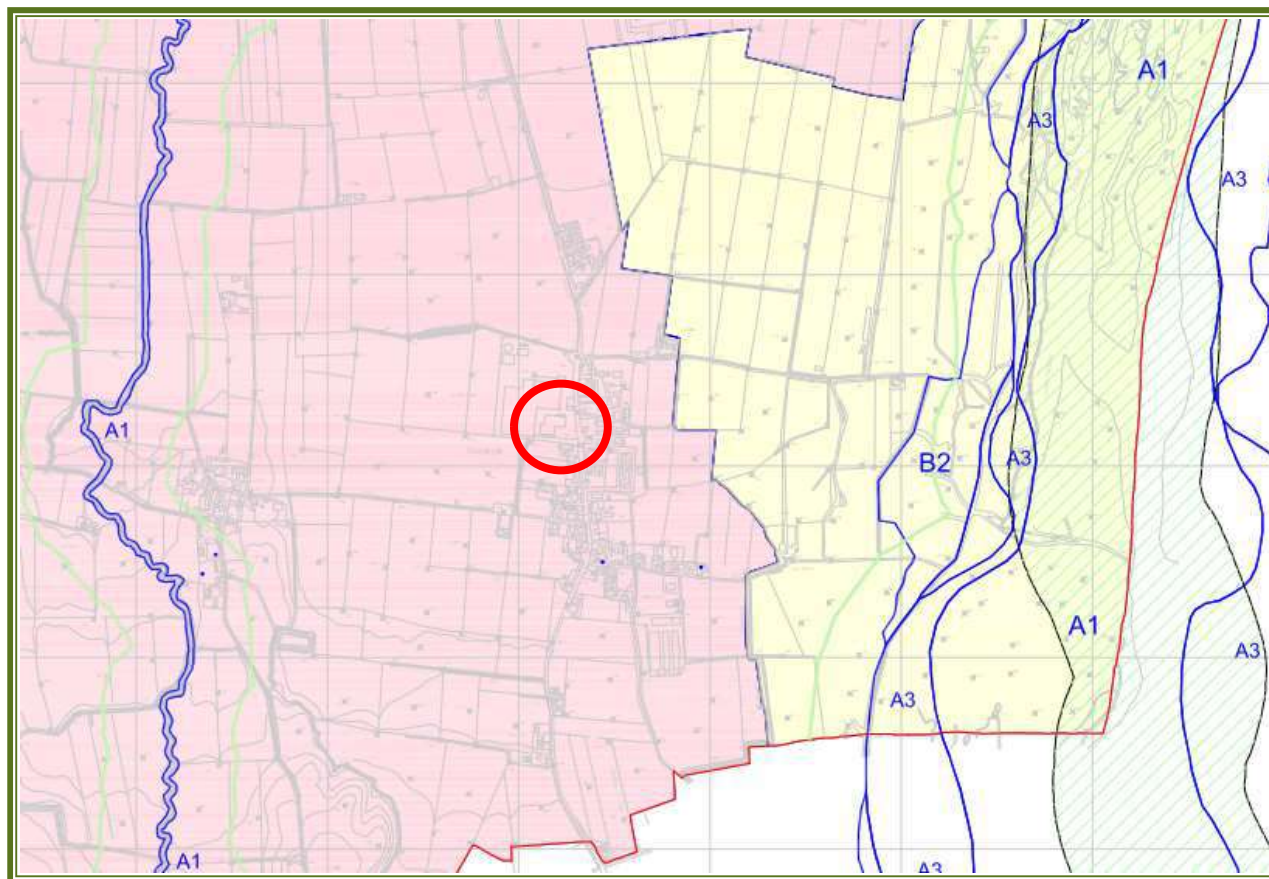
3.2 Idrografia ed Idrogeologia (cenni)

Per quanto concerne le acque superficiali, il reticolo idrografico è caratterizzato dalla presenza di corsi principali quali il Fiume Trebbia, poche centinaia di metri ad est dal sito, ed il Torrente Luretta, pochi chilometri ad ovest; nonché da canali e rii di ordine inferiore i quali defluiscono incidendo i terrazzi alluvionali che man mano incontrano. Tra questi ultimi si citano il Rio Bianco che scorre, tombinato, al confine orientale dell'area di intervento e il Rio Gragnano, al confine occidentale.

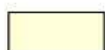
Sotto la coltre fine di copertura troviamo materiale granulare (sabbia, ghiaia, ghiaia in matrice argillosa), generalmente ospitante falde idriche. Dal punto di vista geotecnico sono le falde più superficiali (ospitate nella coltre di copertura) e generalmente di carattere effimero, a causare i problemi maggiori alle strutture, in quanto condizionano fortemente le caratteristiche geotecniche del terreno determinando un decadimento delle stesse a causa, soprattutto, del regime stagionale che le caratterizza ed interagendo anche con le fondazioni dei manufatti. Dalle verticali penetrometriche eseguite, la falda di superficie sembra essere assente il che porterebbe ad escludere una sua interazione con il manufatto in progetto e, in particolare, con le fondazioni dello stesso; tuttavia, si precisa che, sotto l'aspetto teorico, la natura discontinua ed effimera che caratterizza tale falda non permette di escludere con certezza la sua presenza in aree adiacenti a quella indagata.

Il contesto idrogeologico, a più ampio respiro, è schematizzabile attraverso un modello di riferimento (ricostruito per tutta l'area della pianura piacentina) caratterizzato da due distinti complessi acquiferi:

SISTEMA IDROGEOLOGICO



SETTORE A



Aree caratterizzate da ricarica diretta della falda, generalmente a ridosso della pedecollina, idrogeologicamente identificabili come sistema monostrato, contenente una falda freatica in continuità con la superficie da cui riceve alimentazione per infiltrazione.

SETTORE B



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

SETTORE D



Fasce adiacenti agli alvei fluviali (250 metri per lato) con prevalente alimentazione laterale subalvea.

Fasce fluviali coerenti con PTCP 2007

A1

Zona A1 - Alveo attivo o Invaso

A2

Zona A2: Alveo di piena

A3

Zona A3: Alveo di piena con valenza naturalistica

B1

Zona B1: Zona di conservazione del sistema fluviale

B2

Zona B2: Zona di recupero ambientale del sistema fluviale

B3

Zona B3: Zona ad elevato grado di antropizzazione

C1

Zona C1: Zona extrarginale o protetta da difese idrauliche

C2

Zona C2: Zona non protetta da difese idrauliche

Limite della zona a vincolo paesaggistico ai sensi del D.L.vo 42/2004

Fig. 6: Estratto Carta del Sistema Idrogeologico – PSC Comune di Gragnano Trebbiense

CARTA IDROGEOLOGICA PSC

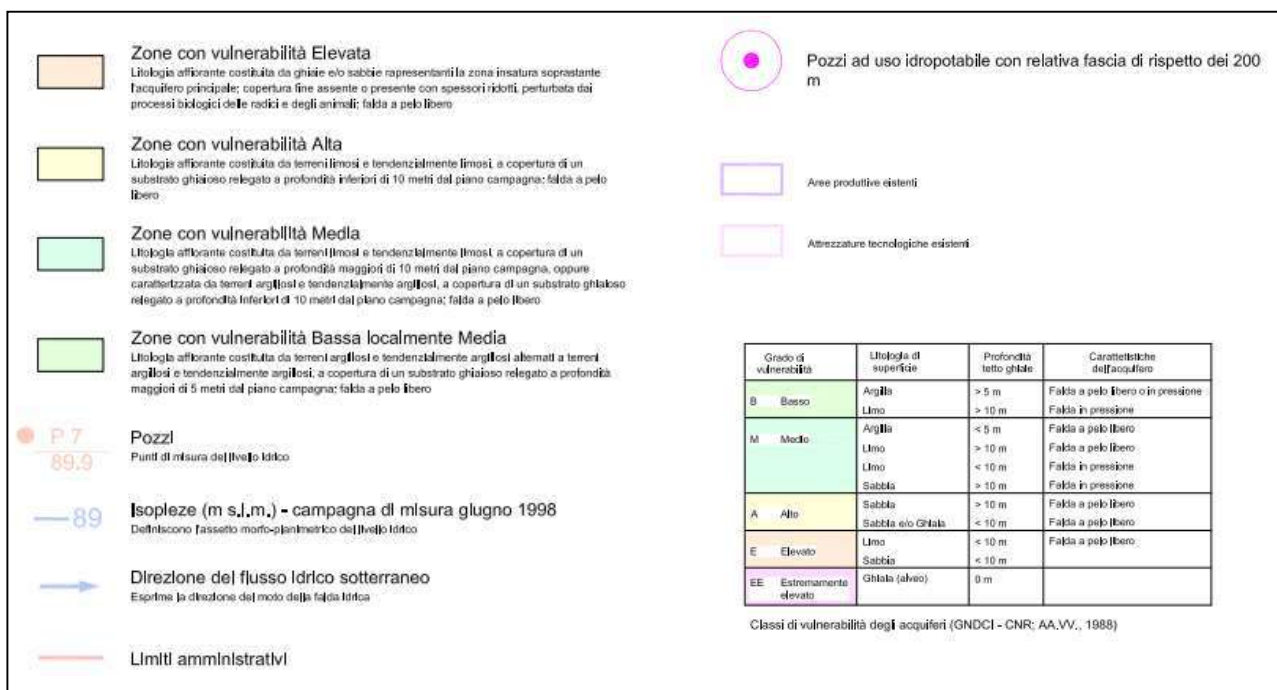
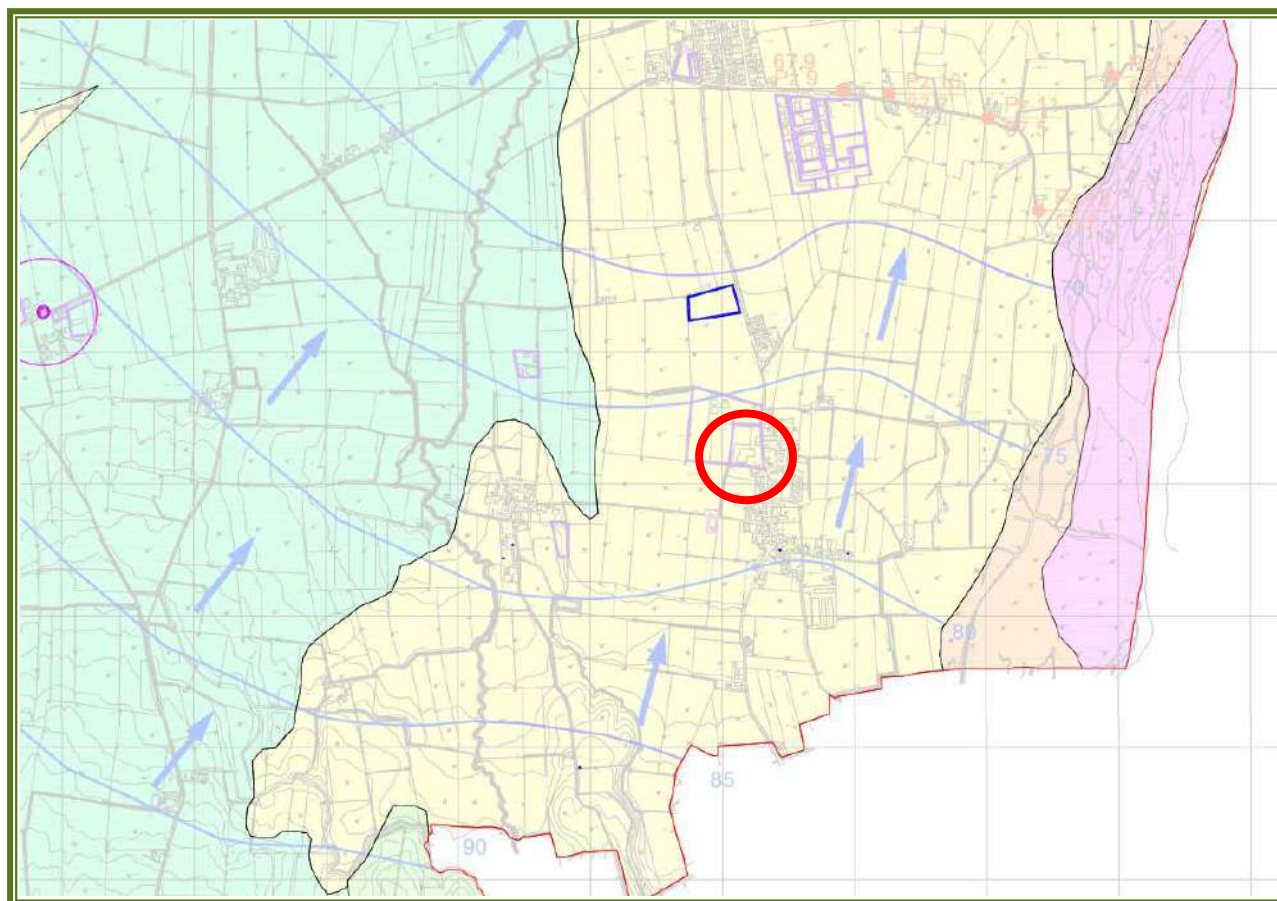


Fig. 7: Estratto Carta Idrogeologica del PSC – Comune di Gragnano Trebbiense

CARTA DI FATTIBILITÀ DELLE TRASFORMAZIONI PSC

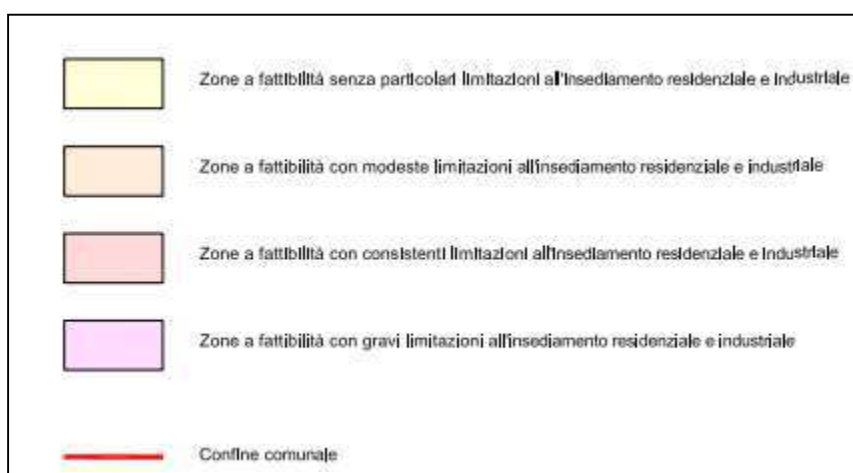
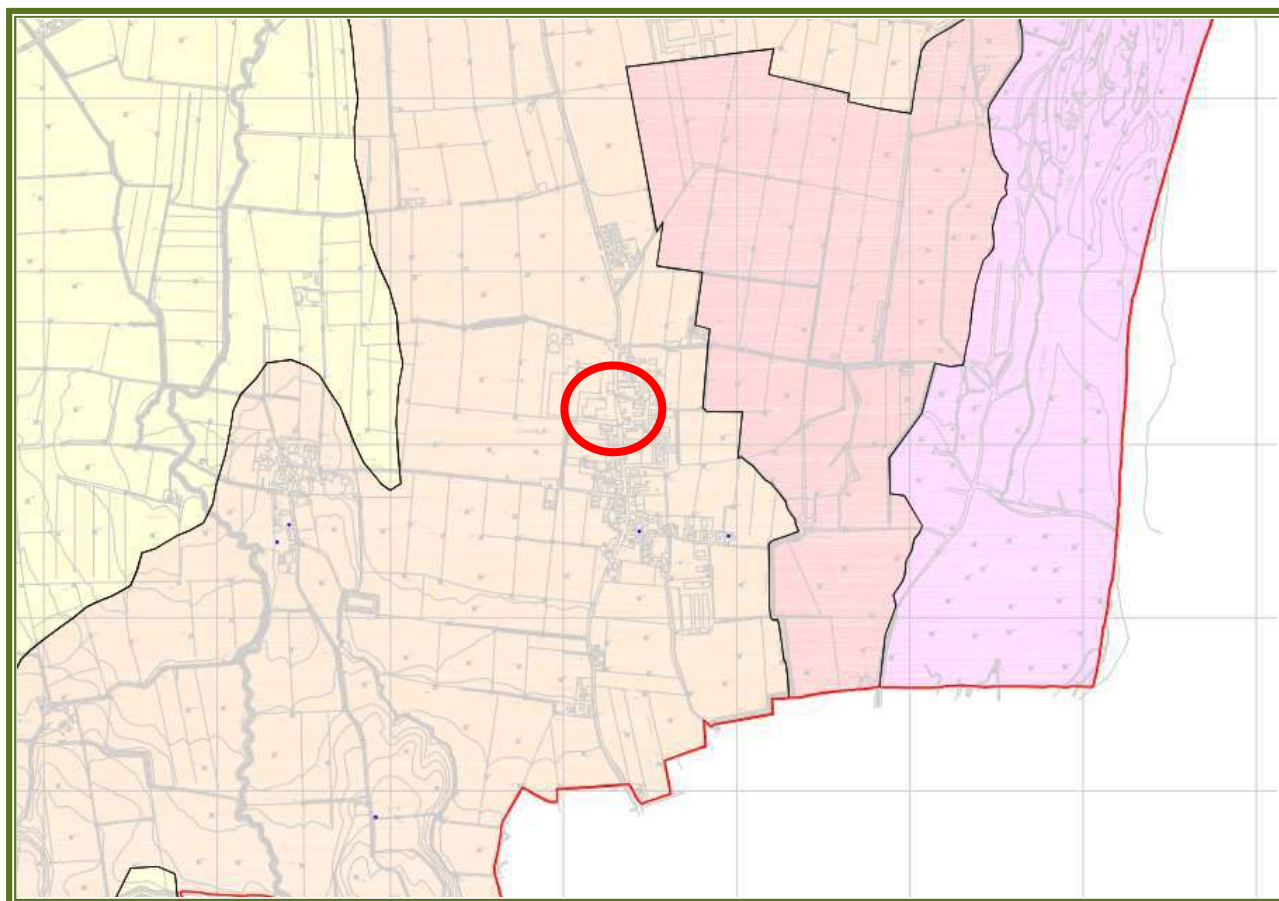


Fig. 8: Estratto Carta di fattibilità delle trasformazioni – PSC del Comune di Gragnano Trebbiense

uno superiore denominato “acquifero principale”, a comportamento essenzialmente freatico con “falda a pelo libero”, e uno più profondo denominato “acquifero secondario” con caratteri più o meno spiccati di artesianità. In linea generale, l’alimentazione dell’acquifero principale avviene per infiltrazione diretta dalla superficie delle acque meteoriche e per dispersione dall’alveo del F. Trebbia. Nell’area in esame, come dettagliato dalla carta del sistema idrogeologico (PSC) di cui si riporta uno stralcio in Fig. 6, la ricarica della falda risulta indiretta in quanto parte di un sistema idrogeologico debolmente compartimentato in cui la falda freatica superficiale segue una falda semiconfinata in collegamento per drenanza verticale. L’estratto della carta idrogeologica del PSC riportato in Fig. 7 mostra una direzione del flusso idrico sotterraneo della falda verso nord nord-est con soggiacenza della superficie piezometrica pari a circa 11/12 m dal p.c. (dati giugno 1998).

3.3 Interazione del progetto con le pianificazioni territoriali vigenti

➤ Piano Strutturale Comunale

Nell’ambito della gestione urbanistica e di pianificazione territoriale, la Cartografia di Piano Comunale (PSC) “Carta di fattibilità delle trasformazioni”, inserisce il sito oggetto di studio in zona di “fattibilità con modeste limitazioni all’insediamento residenziale e industriale” (Fig. 8).

➤ Stabilità nei confronti della liquefazione

Per il sito in esame può essere omessa la verifica a liquefazione in quanto non risulta verificata la condizione 4 riportata al paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC 2018; la granulometria dei depositi presenti è infatti esterna alle zone indicate nella fig. 7.11.1(a).

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

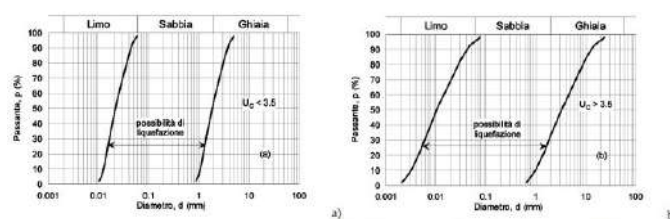


Fig. 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

4) MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO

Allo scopo di verificare la fattibilità dell'intervento in progetto e valutarne la compatibilità rispetto al contesto geologico-idrogeologico in cui si inserisce, lo scrivente ha effettuato, il giorno 10 ottobre 2025, 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 preliminare delle unità litotecniche in cui può essere suddiviso il volume significativo di terreno investigato.

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 cm² 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;
- indagine geofisica di superficie (trattazione specifica in **Allegato 2**) consistita in:
 - n. 1 prova MASW per la caratterizzazione del suolo sismico di fondazione (V_{seq}).

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 un modello geologico rappresentativo dell'assetto lito-stratigrafico di sito, nonché l'individuazione e caratterizzazione preliminare delle unità litotecniche interagenti con quanto in progetto.

4.1 Modello Geologico

- **Unità 0:** Profondità da 0.0 a 1.0/1.2 m circa, costituita da materiale antropico di riporto. Localmente (P6) essa è costituita da terreno vegetale spesso circa 0.40/0.50 m;
- **Unità 1:** Profondità da 1.0/1.2 (localmente da 0.40/0.50 m) a 2.0/2.2 metri circa, orizzonte costituito da materiale a comportamento geotecnico principalmente coesivo: limo argilloso. La porzione più superficiale di sottosuolo (circa primo metro di profondità) è soggetto a variazioni stagionali delle sue proprietà fisiche e geomeccaniche. Tale orizzonte è infatti sottoposto a ripetuti cicli di umattazione ed essiccamento (durante i periodi siccitosi si presenta sovraconsolidato) riguardanti principalmente la frazione argillosa del terreno, determinandone un decadimento delle sue proprietà geotecniche;
- **Unità 2:** A partire da 2.0/2.2 m di profondità dal p.c. si registra un netto miglioramento delle proprietà geotecniche del materiale riconducibile alla presenza di sedimenti a granulometria più grossolana (depositi ghiaioso sabbiosi) e a comportamento geotecnico prettamente granulare.

4.2 Modello Geotecnico

Allo scopo di offrire una caratterizzazione geomeccanica del materiale attraversato, di seguito si riporta il Modello Geotecnico, comprensivo dei parametri di riferimento.

		PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI							
		Descrizione	γ	Cu	ϕ	Ey	Ed	NSPT	Pz
			Peso di volume	Coesione non drenata	Angolo di resistenza al taglio	Modulo di Young	Modulo Edometrico	-	Profondità falda
Profondità m da p.c.		Unità di misura	T/mc	T/mq	°	Kg/cmq	Kg/cmq	-	m da p.c.
0.0 – 1.0/1.2 (0.4/0.5)	Unità 0	Riporto antropico (localmente terreno vegetale)	Caratterizzazione geotecnica non pertinente						
1.0/1.2 (0.4/0.5) – 2.0/2.2	Unità 1	copertura limoso-argillosa	1.65/ 1.70	3.0/ 4.0	-	50.0/ 70.0	40.0/ 60.0	4.0/ 6.0	
Oltre i 2.0/2.2	Unità 2	ghiaia sabbiosa	1.90	-	38.0	> 350.0	> 200.0	> 35.0	> 11.0*

* valore minimo da dati bibliografici

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

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

La verifica riportata costituisce uno strumento ulteriore per valutare la compatibilità geologica dell'intervento 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) supponendo condizioni drenate ed ipotizzando una fondazione superficiale con plinti aventi dimensioni di 2.5 x 2.5 m e posizionata a -2.3 m dal p.c.

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

5.1 Dati Generali

Coordinate Lat./Long.	44,995114/ 9,572095
Normativa	NTC 2018
Larghezza fondazione	2.5 m
Lunghezza fondazione	2.5 m
Profondità piano di posa	2.3 m
Altezza di incastro	2.3 m
Effetto sismico secondo	NTC 2018

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 ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.314	2.523	0.205
S.L.D.	50.0	0.382	2.567	0.224
S.L.V.	475.0	0.951	2.495	0.285
S.L.C.	975.0	1.236	2.473	0.29

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:	Stabilità dei pendii e Fondazioni
--------	-----------------------------------

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.3768	0.2	0.0077	0.0038
S.L.D.	0.4584	0.2	0.0093	0.0047
S.L.V.	1.1412	0.2	0.0233	0.0116
S.L.C.	1.4832	0.24	0.0363	0.0182

5.3 Stratigrafia Terreno

Spessore strato [m]	Peso unità di volume [Kg/m ³]	Peso unità di volume saturato [Kg/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coesione non drenata [Kg/cm ²]	Modulo Elastico [Kg/cm ²]	Modulo Edometrico [Kg/cm ²]	Poisson
1.2							
1.0	1700.0	1850.0	0.0	0.3	55.0	45.0	0.0
2.0	1900.0	2050.0	38.0	0.0	350.0	360.0	0.27
2.0	1900.0	2050.0	38.0	0.0	350.0	360.0	0.27
>1.0	1900.0	2050.0	38.0	0.0	350.0	360.0	0.27

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [Kg/cm ²]	N [Kg]	Mx [Kg·m]	My [Kg·m]	Hx [Kg]	Hy [Kg]	Tipo
1	A1+M1+R3	1.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
2	SISMA	1.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
3	S.L.E.	1.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio
4	S.L.D.	1.5	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. C 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)

PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

Peso unità di volume	2000.0 Kg/m ³
Peso unità di volume saturo	2150.0 Kg/m ³
Angolo di attrito	32.0 °
Coesione	0.0 Kg/cm ²

Fattore [Nq]	23.18
Fattore [Nc]	35.49
Fattore [Ng]	27.72
Fattore forma [Sc]	1.55
Fattore profondità [Dc]	1.27
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore forma [Sq]	1.53
Fattore profondità [Dq]	1.25
Fattore inclinazione carichi [Iq]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1.0
Fattore inclinazione base [Bq]	1.0
Fattore forma [Sg]	0.7
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 19.95 Kg/cm²

Costante di sottofondo 7.98 Kg/cm³

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

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 μ = Parametri elastici del terreno.

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

Poisson μ , profondità del piano di posa D ;

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	1.5 Kg/cm ²
Spessore strato	5.0 m
Profondità substrato roccioso	0.0 m
Modulo Elastico	300.0 Kg/cm ²
Coefficiente di Poisson	0.35
Coefficiente di influenza I1	0.27
Coefficiente di influenza I2	0.07
Coefficiente di influenza Is	0.3
Cedimento al centro della fondazione	3.42 mm
Coefficiente di influenza I1	0.13
Coefficiente di influenza I2	0.08
Coefficiente di influenza Is	0.17
Cedimento al bordo	0.95 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 1.5 Kg/cm²

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

Strato	Z (m)	Tensione (Kg/cm ²)	Dp (Kg/cm ²)	Metodo	Wc (cm)	Ws (cm)	Wt (cm)
3	3.25	0.526	0.946	Edometrico	0.7985	--	0.7985
4	5.2	0.896	0.312	Edometrico	0.2005	--	0.2005
5	6.7	1.181	0.157	Edometrico	0.0463	--	0.0463

Cedimento totale Wt = 1.045 cm

L'esame dei cedimenti evidenzia come questi ultimi, in base all'ipotesi fondazionale fatta e con un carico stimato di 1.5 Kg/cm², raggiungano un valore massimo totale pari a circa 14.0/15.0 mm di cui circa 10.0/11.0 mm nel medio e lungo periodo mentre circa 3.0/4.0 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 $\pm 20\%$ o $\pm 30\%$ rispetto a quanto stimato.

Occorre però considerare il fatto che il terreno del primo sottosuolo risulta essere già in parte consolidato per il fatto che i manufatti demoliti hanno gravato sui primi livelli di sottosuolo da decenni, portando allo smaltimento, almeno parziale, dei cedimenti che saranno quindi inferiori a quelli ipotizzati.

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

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

6) CONCLUSIONI

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

In particolare, il lavoro svolto ha consentito di constatare quanto segue:

- Le indagini geognostiche e geofisiche sito-specifiche hanno consentito di ricostruire una successione litostratigrafica in accordo con la bibliografia disponibile. Nel dettaglio, al disotto di una coltre superficiale di materiale antropico di riporto, è stata rilevata la presenza di depositi limoso-argillosi, di mediocri proprietà geotecniche, fino a profondità di circa 2.0/2.2 m da p.c. Seguono quindi depositi alluvionali ghiaioso-sabbiosi, caratterizzati da ottime proprietà geotecniche;
- Lo studio effettuato non ha rilevato la presenza di una falda prossima alla superficie, escludendo possibili problematiche legate a interazioni tra le acque di falda e le fondazioni di quanto in progetto;
- In base alle indagini geofisiche condotte è stato possibile ottenere un valore di V_{seq} pari a 418 m/s calcolato per un piano di posa fondazionale ubicato a 1.0 m da p.c. Tale valore di V_{seq} permette di definire un suolo di fondazione di categoria "B" secondo le vigenti NTC 2018.

Considerando quanto precedentemente esposto si ritiene opportuno consigliare l'adozione di alcuni interventi cautelativi ed accorgimenti costruttivi di normale uso nella zona:

- La tipologia fondazionale più idonea a conferire le migliori garanzie di stabilità per il futuro manufatto dovrà essere dimensionata in funzione dei reali carichi di esercizio ed in modo da trasmettere al sistema terreno-fondazione pressioni compatibili;
- Le opere fondazionali dovranno comunque essere poste ad una profondità tale da interessare i terreni granulari dell'Unità 2.
- Qualora i cedimenti attesi dovessero essere non compatibili e/o i carichi di esercizio dovessero risultare maggiori di quanto ipotizzato, si dovranno rivedere le caratteristiche delle strutture fondazionali e/o impiegare una differente tipologia di fondazione, da valutarsi in funzione dei reali carichi strutturali, così da assicurare le migliori garanzie di stabilità a quanto in progetto;
- Per quanto possibile cercare di mantenere asciutto il terreno di fondazione, avendo particolare cura per l'allontanamento delle acque reflue e di quelle meteoriche, impedendone l'infiltrazione in aderenza alle fondazioni del futuro manufatto, compromettendo nel tempo la stabilità dello stesso.

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

Treviso V.T. 14/10/2025

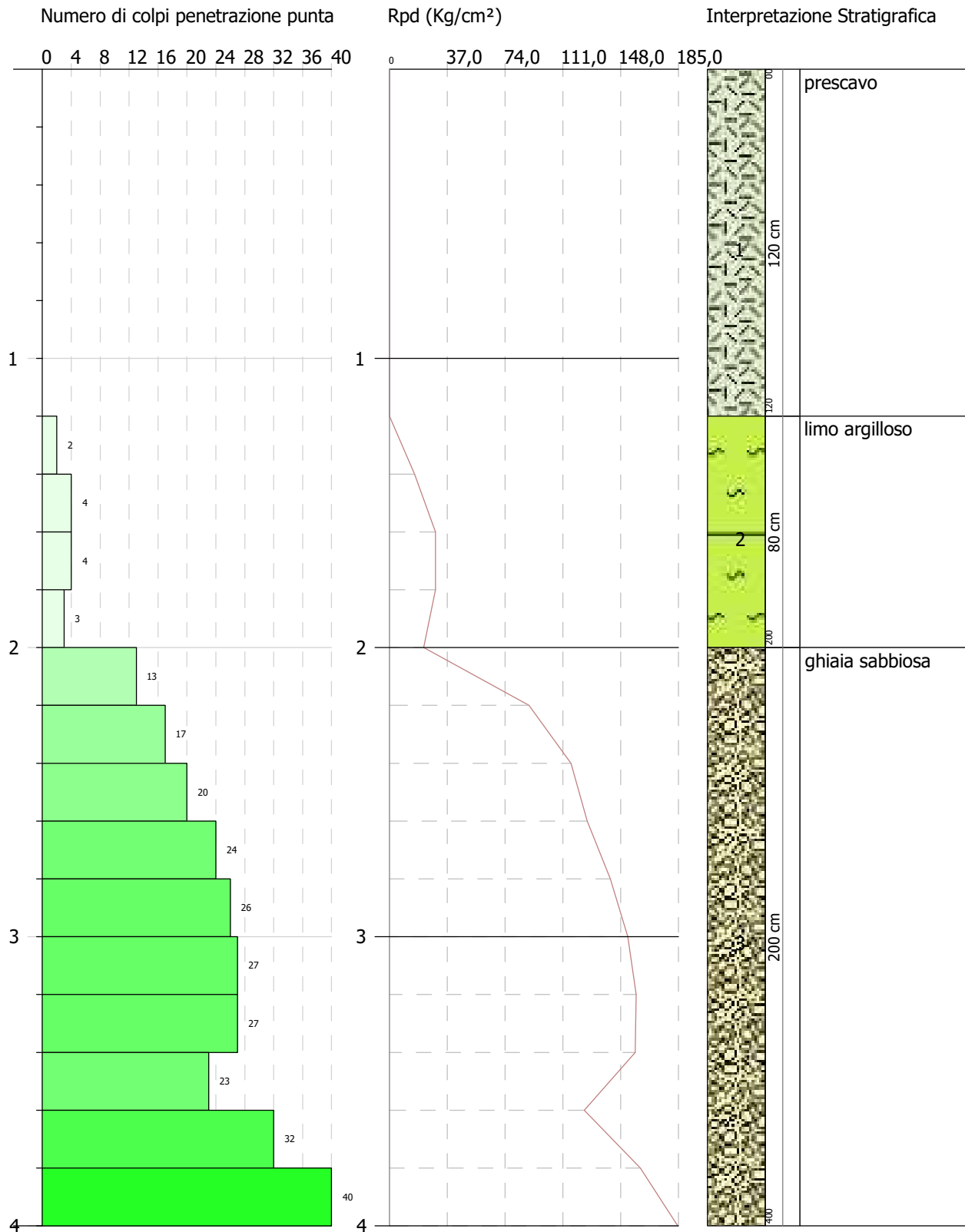
Geotest s.r.l.



Dott. Geologo Adriano Baldini

Allegato 1

Prove Penetrometriche Dinamiche



ESECUTORE INDAGINI:**GeoTest s.r.l.****COMMITTENTE: Spett. Steriltom Srl****STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P 1****TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (2) limo argilloso	4,78	1,20-2,00	Terzaghi-Peck	0,30

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (2) limo argilloso	4,78	1,20-2,00	Robertson (1983)	9,56

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (2) limo argilloso	4,78	1,20-2,00	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	50,55

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (2) limo argilloso	4,78	1,20-2,00	Apollonia	47,80

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (2) limo argilloso	4,78	1,20-2,00	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (2) limo argilloso	4,78	1,20-2,00	Meyerhof	1,75

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato (2) limo argilloso	4,78	1,20-2,00	Meyerhof	1,88

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,60	2,00-4,00	36,60	Skempton 1986	69,58

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,60	2,00-4,00	36,60	Sowers (1961)	38,25

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,60	2,00-4,00	36,60	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	432,58

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,60	2,00-4,00	36,60	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	201,24

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,60	2,00-4,00	36,60	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,60	2,00-4,00	36,60	Terzaghi-Peck 1948	1,76

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,60	2,00-4,00	36,60	Terzaghi-Peck 1948	2,09

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,60	2,00-4,00	36,60	(A.G.I.)	0,28

Modulo di deformazione a taglio dinamico

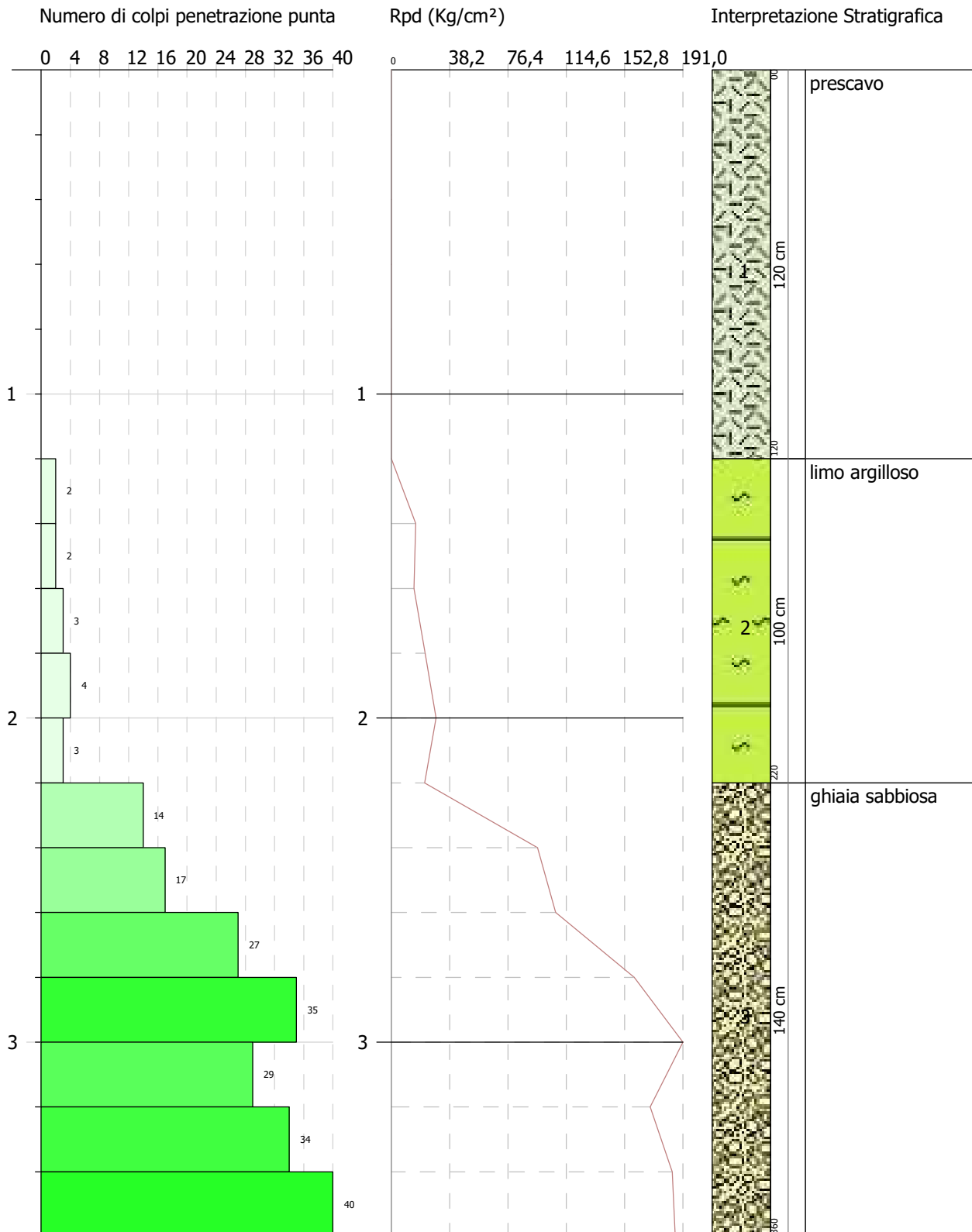
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm²)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,60	2,00-4,00	36,60	Ohsaki (Sabbie pulite)	1916,84

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

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K_0
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,60	2,00-4,00	36,60	Navfac 1971-1982	6,47

Q_c (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Q_c (Kg/cm ²)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,60	2,00-4,00	36,60	Robertson 1983	73,20



ESECUTORE INDAGINI:**GeoTest s.r.l.****COMMITTENTE: Spett. Steriltom Srl****STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P 2****TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (2) limo argilloso	4,12	1,20-2,20	Terzaghi-Peck	0,26

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (2) limo argilloso	4,12	1,20-2,20	Robertson (1983)	8,24

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (2) limo argilloso	4,12	1,20-2,20	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	43,81

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (2) limo argilloso	4,12	1,20-2,20	Apollonia	41,20

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (2) limo argilloso	4,12	1,20-2,20	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (2) limo argilloso	4,12	1,20-2,20	Meyerhof	1,71

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato (2) limo argilloso	4,12	1,20-2,20	Meyerhof	1,87

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	41,16	2,20-3,60	41,16	Skempton 1986	73,29

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	41,16	2,20-3,60	41,16	Sowers (1961)	39,52

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	41,16	2,20-3,60	41,16	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	486,39

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	41,16	2,20-3,60	41,16	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	221,57

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (3) ghiaia sabbiosa	41,16	2,20-3,60	41,16	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	41,16	2,20-3,60	41,16	Terzaghi-Peck 1948	1,79

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	41,16	2,20-3,60	41,16	Terzaghi-Peck 1948	2,11

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (3) ghiaia sabbiosa	41,16	2,20-3,60	41,16	(A.G.I.)	0,27

Modulo di deformazione a taglio dinamico

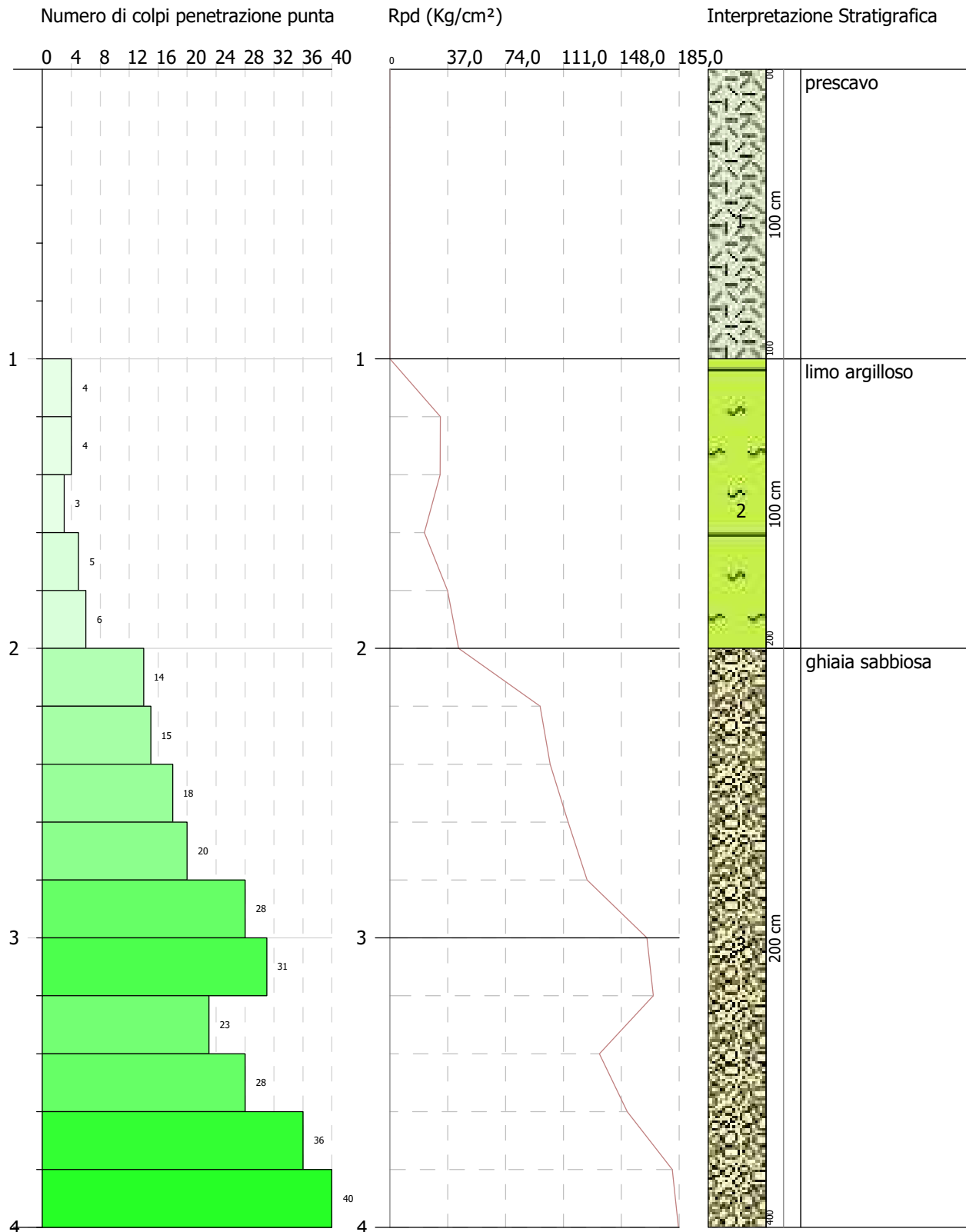
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	41,16	2,20-3,60	41,16	Ohsaki (Sabbie pulite)	2140,52

Coefficiente spinta a Riposo $K_0 = \sigma_{H0} / \sigma_{V0}$

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K_0
Strato (3) ghiaia sabbiosa	41,16	2,20-3,60	41,16	Navfac 1971-1982	7,03

Q_c (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Q_c (Kg/cm ²)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	41,16	2,20-3,60	41,16	Robertson 1983	82,32



ESECUTORE INDAGINI:**GeoTest s.r.l.****COMMITTENTE: Spett. Steriltom Srl****STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P 3****TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (2) limo argilloso	6,47	1,00-2,00	Terzaghi-Peck	0,40

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (2) limo argilloso	6,47	1,00-2,00	Robertson (1983)	12,94

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (2) limo argilloso	6,47	1,00-2,00	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	67,78

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (2) limo argilloso	6,47	1,00-2,00	Apollonia	64,70

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (2) limo argilloso	6,47	1,00-2,00	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (2) limo argilloso	6,47	1,00-2,00	Meyerhof	1,83

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato (2) limo argilloso	6,47	1,00-2,00	Meyerhof	1,89

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	37,19	2,00-4,00	37,19	Skempton 1986	70,07

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	37,19	2,00-4,00	37,19	Sowers (1961)	38,41

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	37,19	2,00-4,00	37,19	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	439,54

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	37,19	2,00-4,00	37,19	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	203,87

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (3) ghiaia sabbiosa	37,19	2,00-4,00	37,19	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	37,19	2,00-4,00	37,19	Terzaghi-Peck 1948	1,76

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	37,19	2,00-4,00	37,19	Terzaghi-Peck 1948	2,10

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (3) ghiaia sabbiosa	37,19	2,00-4,00	37,19	(A.G.I.)	0,28

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	37,19	2,00-4,00	37,19	Ohsaki (Sabbie pulite)	1945,87

Coefficiente spinta a Riposo $K_0 = \sigma_{vh} / \sigma_v$

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K_0
Strato (3) ghiaia sabbiosa	37,19	2,00-4,00	37,19	Navfac 1971-1982	6,55

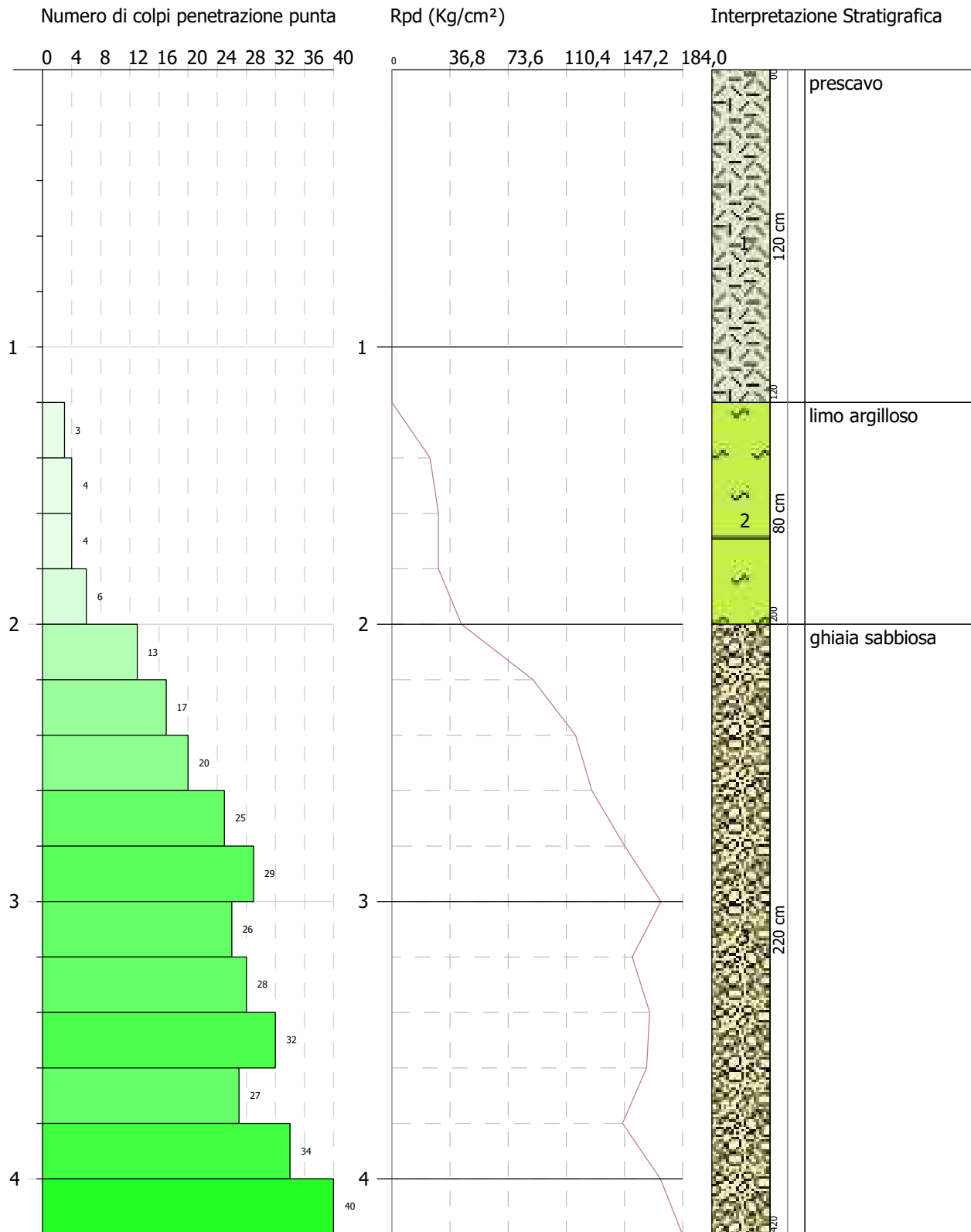
Q_c (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Q_c (Kg/cm ²)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	37,19	2,00-4,00	37,19	Robertson 1983	74,38

Committente: Spett. Steriltom Srl
Descrizione: Demolizione e ricostruzione di magazzini
Localita': Casaliggio - Gragnano T.se

13/10/2025

Scala 1:21



ESECUTORE INDAGINI:**GeoTest s.r.l.****COMMITTENTE: Spett. Steriltom Srl****STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P 4****TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (2) limo argilloso	6,25	1,20-2,00	Terzaghi-Peck	0,39

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (2) limo argilloso	6,25	1,20-2,00	Robertson (1983)	12,50

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (2) limo argilloso	6,25	1,20-2,00	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	65,54

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (2) limo argilloso	6,25	1,20-2,00	Apollonia	62,50

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (2) limo argilloso	6,25	1,20-2,00	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (2) limo argilloso	6,25	1,20-2,00	Meyerhof	1,82

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato (2) limo argilloso	6,25	1,20-2,00	Meyerhof	1,89

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,88	2,00-4,20	38,88	Skempton 1986	71,46

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,88	2,00-4,20	38,88	Sowers (1961)	38,89

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,88	2,00-4,20	38,88	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	459,48

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,88	2,00-4,20	38,88	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	211,40

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,88	2,00-4,20	38,88	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,88	2,00-4,20	38,88	Terzaghi-Peck 1948	1,77

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,88	2,00-4,20	38,88	Terzaghi-Peck 1948	2,10

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,88	2,00-4,20	38,88	(A.G.I.)	0,28

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,88	2,00-4,20	38,88	Ohsaki (Sabbie pulite)	

Coefficiente spinta a Riposo $K_0 = \sigma_{vh} / \sigma_v$

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K_0
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,88	2,00-4,20	38,88	Navfac 1971-1982	6,75

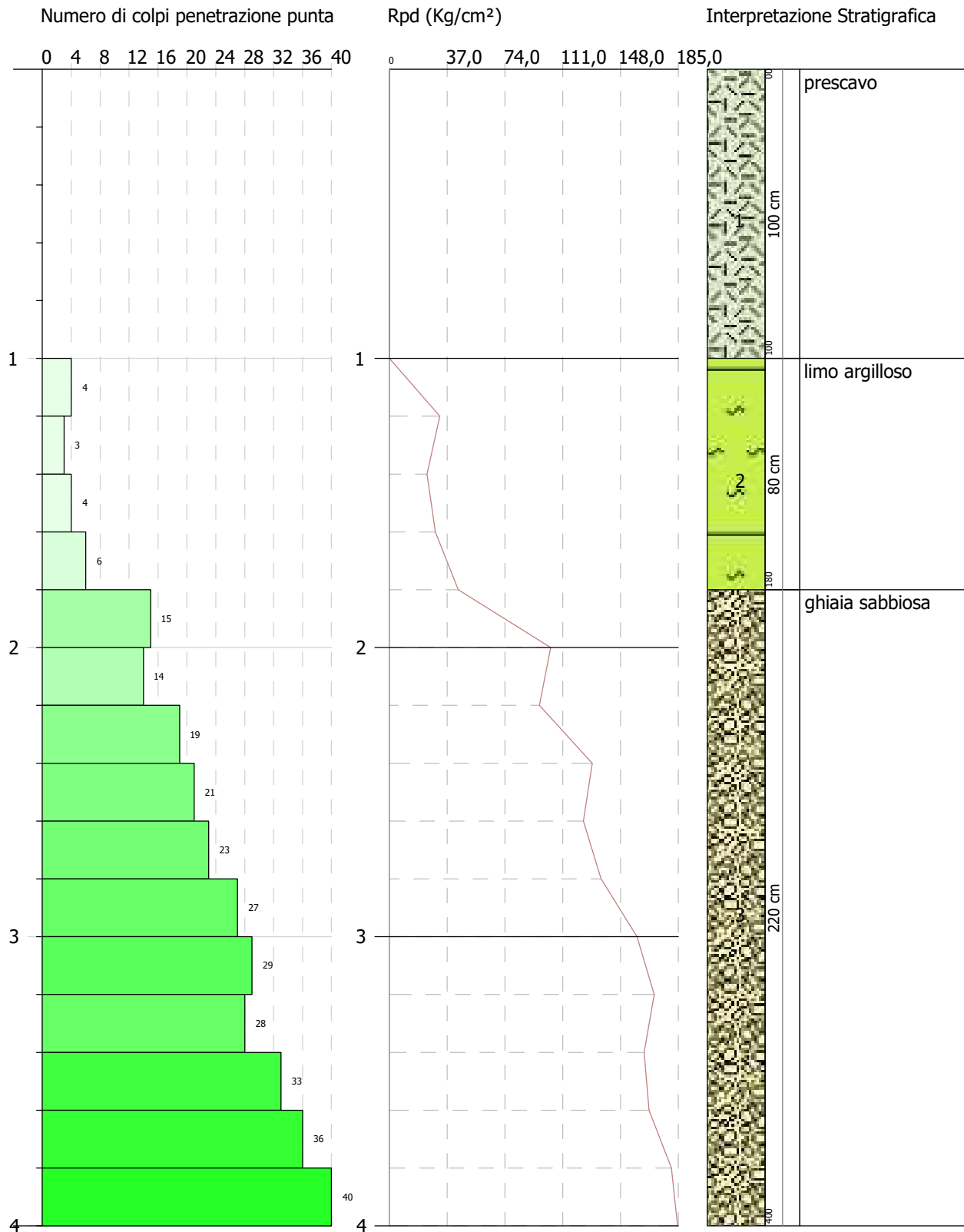
Q_c (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Q_c (Kg/cm ²)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,88	2,00-4,20	38,88	Robertson 1983	77,76

Committente: Spett. Steriltom Srl
Descrizione: Demolizione e ricostruzione di magazzini
Localita': Casaliggio - Gragnano T.se

13/10/2025

Scala 1:20



ESECUTORE INDAGINI:**GeoTest s.r.l.****COMMITTENTE: Spett. Steriltom Srl****STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P 5****TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (2) limo argilloso	6,25	1,00-1,80	Terzaghi-Peck	0,39

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (2) limo argilloso	6,25	1,00-1,80	Robertson (1983)	12,50

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (2) limo argilloso	6,25	1,00-1,80	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	65,54

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (2) limo argilloso	6,25	1,00-1,80	Apollonia	62,50

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (2) limo argilloso	6,25	1,00-1,80	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (2) limo argilloso	6,25	1,00-1,80	Meyerhof	1,82

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato (2) limo argilloso	6,25	1,00-1,80	Meyerhof	1,89

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,09	1,80-4,00	38,09	Skempton 1986	70,82

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,09	1,80-4,00	38,09	Sowers (1961)	38,67

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,09	1,80-4,00	38,09	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	450,16

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,09	1,80-4,00	38,09	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	207,88

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,09	1,80-4,00	38,09	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,09	1,80-4,00	38,09	Terzaghi-Peck 1948	1,77

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,09	1,80-4,00	38,09	Terzaghi-Peck 1948	2,10

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,09	1,80-4,00	38,09	(A.G.I.)	0,28

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,09	1,80-4,00	38,09	Ohsaki (Sabbie pulite)	1990,10

Coefficiente spinta a Riposo $K_0 = \sigma_{vh} / \sigma_v$

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K_0
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,09	1,80-4,00	38,09	Navfac 1971-1982	6,66

Q_c (Resistenza punta Penetrometro Statico)

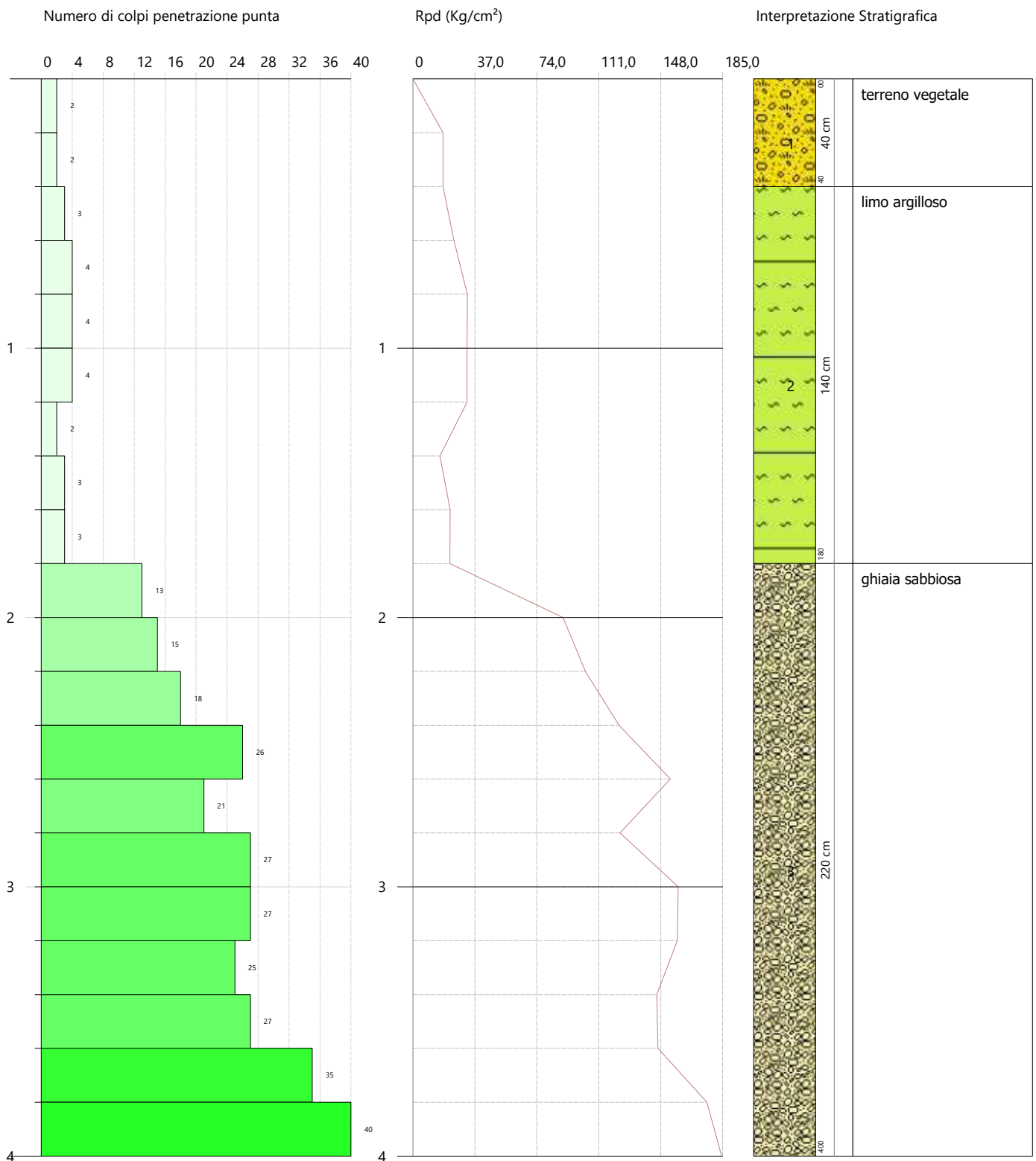
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Q_c (Kg/cm ²)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	38,09	1,80-4,00	38,09	Robertson 1983	76,18

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

Committente: Spett. Steriltom Srl
Descrizione: Demolizione e ricostruzione di magazzini
Localita': Casaliggio - Gragnano T.se

13/10/2025

Scala 1:23



ESECUTORE INDAGINI:

GeoTest s.r.l.

COMMITTENTE: Spett. Steriltom Srl

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P 6

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	2,94	0.00-0,40	Terzaghi-Peck	0,20
Strato (2) limo argilloso	4,84	0,40-1,80	Terzaghi-Peck	0,33

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	2,94	0.00-0,40	Robertson (1983)	5,88
Strato (2) limo argilloso	4,84	0,40-1,80	Robertson (1983)	9,68

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	2,94	0.00-0,40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	31,78
Strato (2) limo argilloso	4,84	0,40-1,80	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	51,16

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	2,94	0.00-0,40	Apollonia	29,40
Strato (2) limo argilloso	4,84	0,40-1,80	Apollonia	48,40

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) terreno vegetale	2,94	0.00-0,40	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (2) limo argilloso	4,84	0,40-1,80	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (1) terreno vegetale	2,94	0.00-0,40	Meyerhof	1,63
Strato (2) limo argilloso	4,84	0,40-1,80	Meyerhof	1,75

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato (1) terreno vegetale	2,94	0.00-0,40	Meyerhof	1,86
Strato (2) limo argilloso	4,84	0,40-1,80	Meyerhof	1,88

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,62	1,80-4,00	36,62	Skempton 1986	69,6

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,62	1,80-4,00	36,62	Sowers (1961)	38,25

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,62	1,80-4,00	36,62	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	432,82

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,62	1,80-4,00	36,62	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	201,33

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,62	1,80-4,00	36,62	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,62	1,80-4,00	36,62	Terzaghi-Peck 1948	1,76

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,62	1,80-4,00	36,62	Terzaghi-Peck 1948	2,09

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,62	1,80-4,00	36,62	(A.G.I.)	0,28

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,62	1,80-4,00	36,62	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	1128,09

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,62	1,80-4,00	36,62	Navfac 1971-1982	6,48

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (3) ghiaia sabbiosa	36,62	1,80-4,00	36,62	Robertson 1983	73,24

Allegato 2

Indagine Geofisica di Superficie

Indagine Geofisica

PROVA SISMICA MULTICANALE MASW

PROVA SISMICA MULTICANALE MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)

1.1 PREMESSA

Su incarico di Spett. Steriltom Srl, è stata eseguita in data 10 ottobre 2025, una indagine geofisica mediante il metodo di analisi spettrale delle onde di superficie (Rayleigh) con tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves, eseguita in Località Casaliggio, 90, presso il comune di Gragnano T.se (PC).

L'utilizzo di tale metodologia ha permesso di ricavare le velocità delle onde di taglio S, le quali hanno consentito il calcolo del valore del parametro V_{S30} , necessario per la definizione della categoria di suolo di fondazione come previsto da normativa vigente "Aggiornamento Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 17 Gennaio 2018).

1.2 CENNI METODOLOGICI

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

I **limiti teorici** del metodo MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli, orizzontali ed omogenei, quindi una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere appresentata dalla presenza di pendenze significative superiori a 20°. Si rammenta, in ogni caso, che la valutazione delle velocità e degli spessori dei singoli strati viene effettuata con un margine di incertezza, insita proprio nei metodi geofisici, che si aggira generalmente attorno al 10-20 %.

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

1. la prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale;
2. la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica;
3. la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , agendo sui parametri sotto elencati mediante loro modifica fino a raggiungere la sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato:
 - 3.1 spessore strati considerati (h_{iesimo});
 - 3.2 velocità delle onde di taglio (V_s) e delle onde di compressione (V_p) o, in alternativa alle velocità V_p , è possibile assegnare il coefficiente di Poisson (σ);
 - 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 12-24/2002 della "Ambrogeo"*, n° 24 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, computer portatile Toshiba.



Figura 1: Sismografo Echo 24/2002 Seismic UNIT Ambrogeo

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

La configurazione temporale di acquisizione è consistita in durata di acquisizione pari a 1002.3 msec e periodo di campionamento 0.131 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 7.3 versione Professional della Eliosof"* 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 7.3 versione Professional della Elicosof". In una prima fase è stata calcolata la velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale.

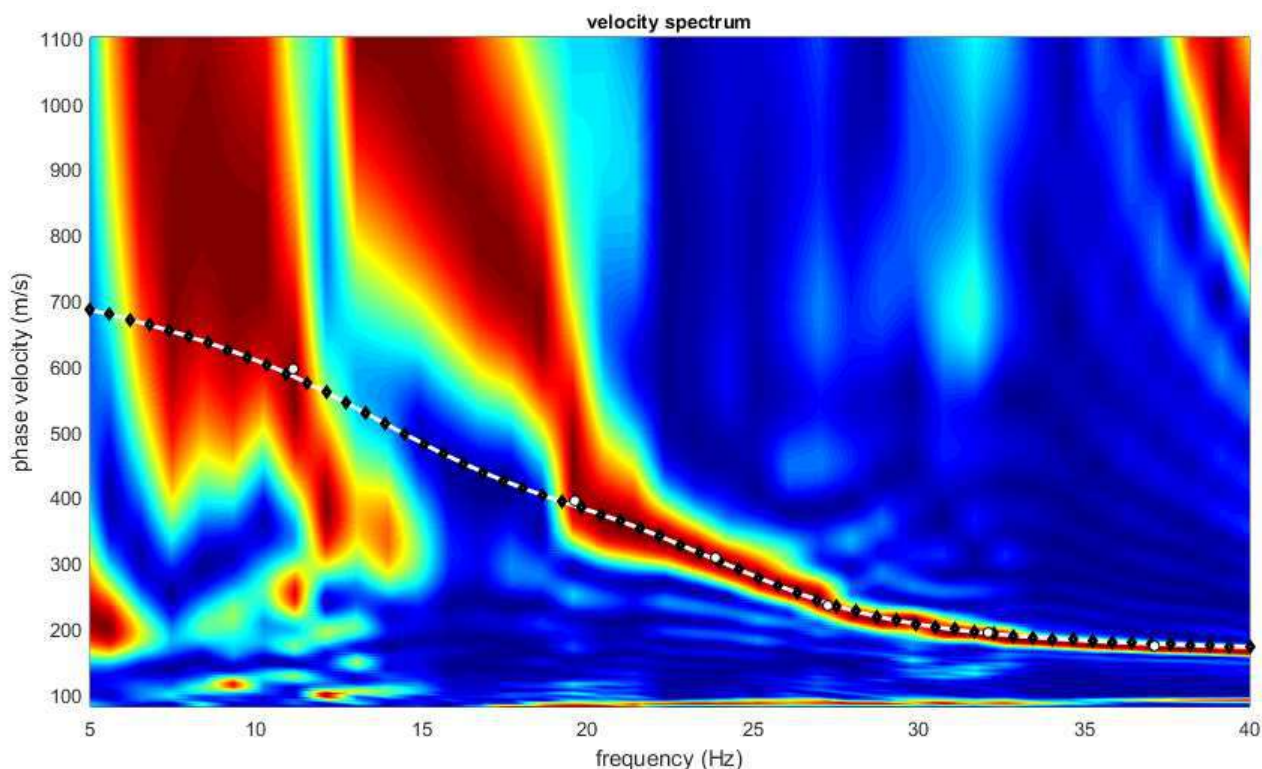


Figura 2: Grafico velocità di fase-frequenza e curva di dispersione dell'area d'interesse

Successivamente è stato definito il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente, per ciascun strato individuato, i seguenti parametri: spessore h , velocità delle onde di taglio V_s e di compressione V_p o, in alternativa, il coefficiente di Poisson (σ) 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.

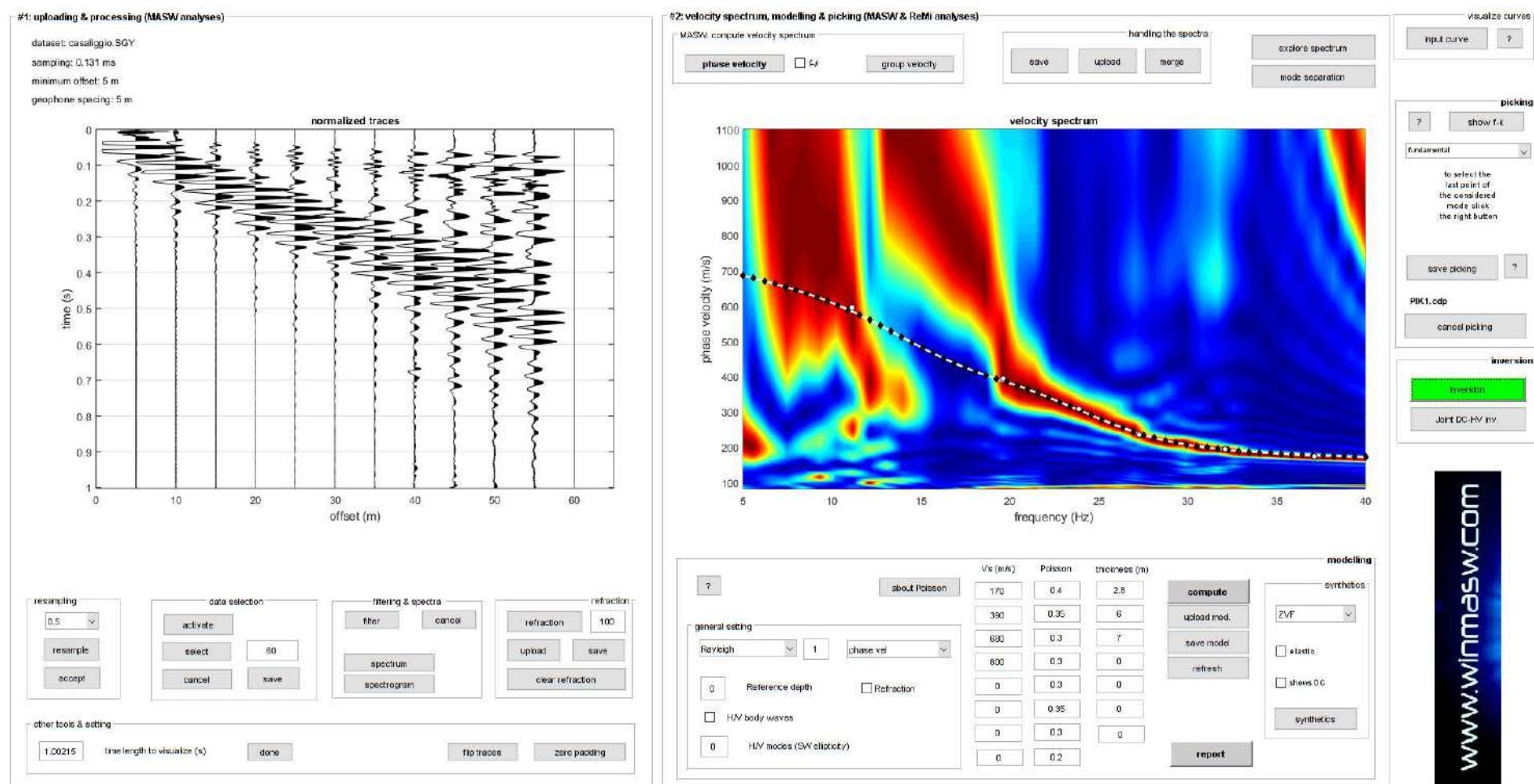
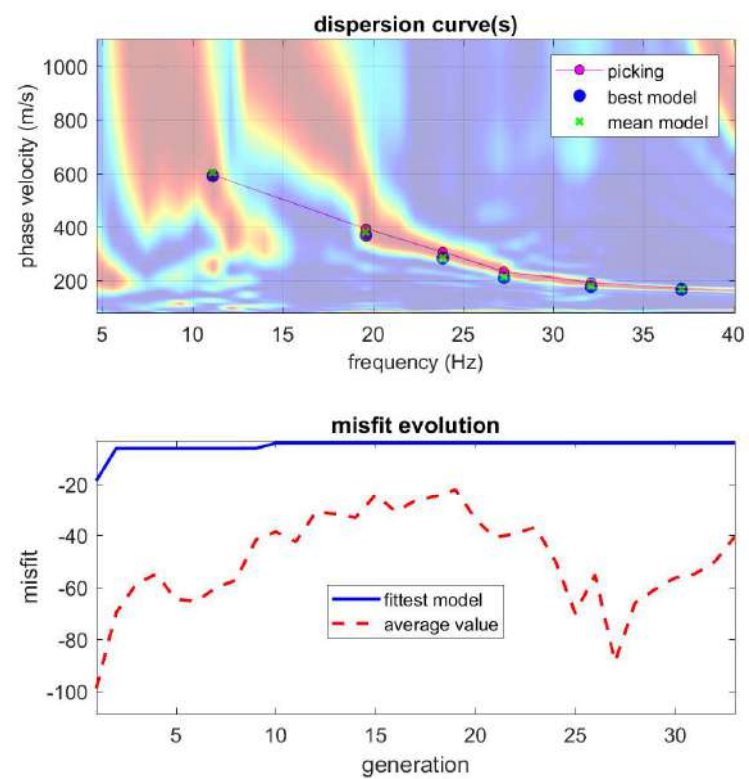
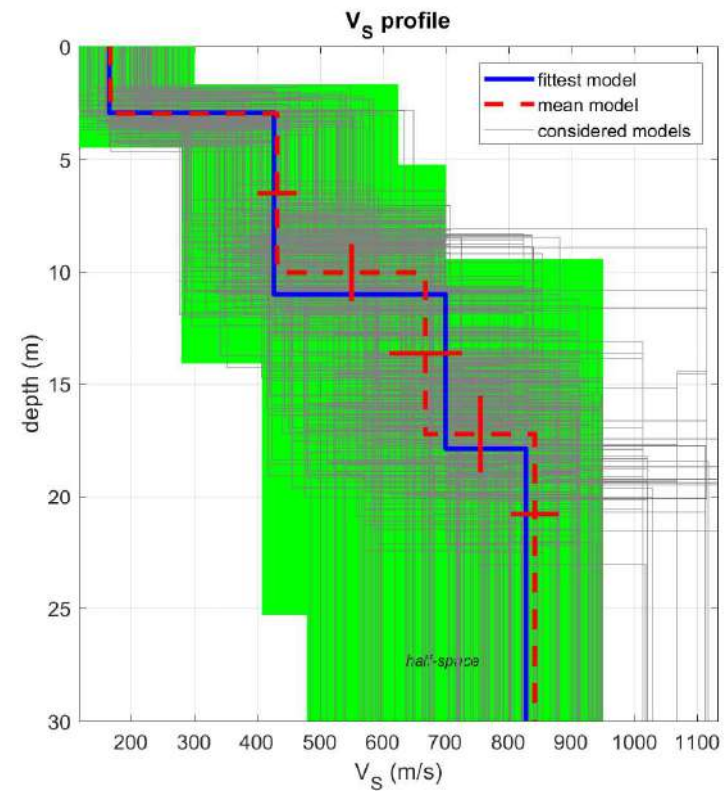


Figura 3: Sulla sinistra i dati di campagna e sulla destra lo spettro di velocità calcolato



www.winmasw.com



dataset: casaliggio.SGY
 dispersion curve: PIK1.cdp
 V_{s30} (best model): 490 m/s
 V_{s30} (mean model): 499 m/s

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

1.5 ANALISI DEI RISULTATI

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

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

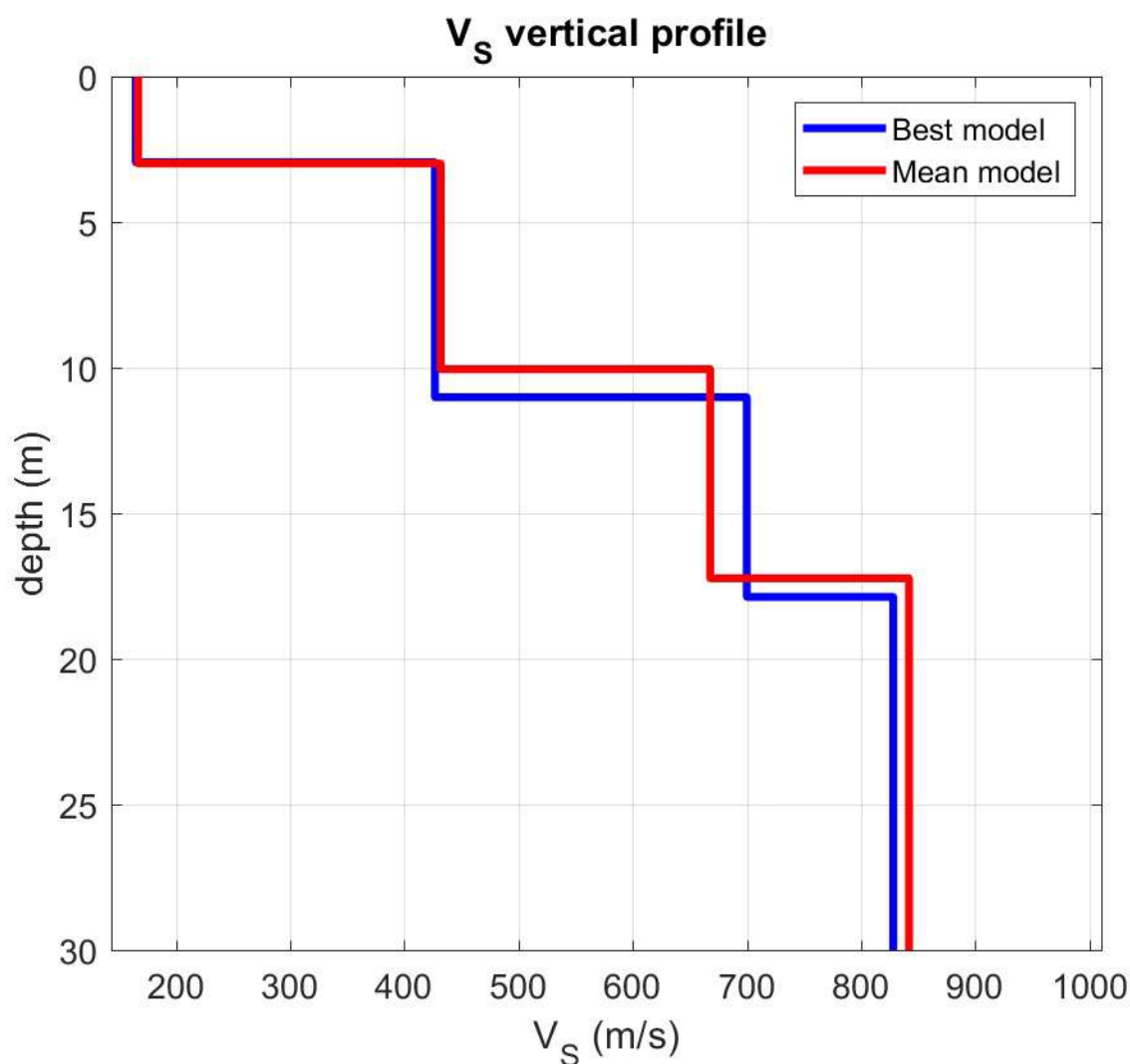


Figura 5: Profilo verticale di velocità delle onde "S" (V_S)

1.6 CONSIDERAZIONI INTERPRETATIVE CONCLUSIVE

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

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

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

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

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

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

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

$V_{s18, eq}$ (m / sec) = 385 calcolato al piano campagna (p.c.)

$V_{s17, eq}$ (m / sec) = 418 calcolato al piano fondazionale (p.f.) = - 1.0 m dal p.c.

Da quanto esposto la categoria del sottosuolo di fondazione è di tipo "B"



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

Su incarico di Spett. Steriltom Srl, è stata eseguita in data 10 ottobre 2025, una indagine geofisica mediante il metodo di analisi spettrale delle onde di superficie (Rayleigh) con tecnica MASW, in Località Casaliggio di Gragnano Trebbiense (PC).

Dall'esame del profilo verticale di velocità delle onde "S" (Vs) ottenuto, è stato possibile caratterizzare sismicamente l'area di studio, qualificando e quantificando le caratteristiche geosismiche dei terreni coinvolti. Il modello simo-stratigrafico restituito, ha mostrato un'apprezzabile correlatività con l'assetto geologico della zona evidenziando un modello geosismico di sito costituito da n. 4 sismostrati:

- Sismostrato superficiale con spessore di circa 2.5 – 3.0 m costituito da terreni a grana fine poco addensati che costituiscono l'areato superficiale;
- Fra 3 e 11 metri i valori aumentano collocandosi sui 420-430 m/s, segnalando la presenza di litotipi a medio-alto grado di addensamento. L'unità è correlabile a materiale di natura prevalentemente sabbioso-ghiaioso nel complesso discretamente addensato;
- A partire da circa 11.0 m fino a circa 18.0-20.0 m dal piano campagna (p.c.), si passa ad un terzo sismostrato, costituito da materiali ad elevato grado di addensamento. L'unità è correlabile a materiale di natura prevalentemente ghiaioso-sabbioso con possibile locale presenza di livelli cementati;
- Più in profondità i valori di velocità aumentano ulteriormente indicando materiale granulare molto addensato e la probabile presenza, nella successione ghiaiosa, di livelli cementati;
- Il valore di Vs eq calcolato considerando un piano di posa fondazionale posto a -1.0 m dal p.c. è 418 m/s corrispondente ad un suolo di fondazione di tipo **"B"**.

Trevozzo, 13 ottobre 2025

Geotest s.r.l.



Dott. Geol. Adriano Baldini