

RELAZIONE GEOLOGICA CON CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA

IMPIANTO DI PRODUZIONE DA FONTE SOLARE "TERRE DEL RENO" DA
INSTALLARE NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE)

00	01/07/2025	Prima emissione	DF	RM	RC
REV	DATA	DESCRIZIONE	BY	CHK	APP

"Il presente documento è di proprietà di Grid Shape s.r.l. – via Quattro Novembre, 2 – 35123 Padova (Italia). Tutti i diritti su questo documento, sulle immagini, sui disegni e sui testi sono riservati. È severamente vietato cedere, copiare, utilizzare e/o divulgare il presente documento e/o il suo contenuto a terzi. I trasgressori verranno perseguiti"



Grid Shape S.r.l. - Via IV Novembre, 2, Padova

**RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E
SISMICA PER LA REALIZZAZIONE DI UN CAMPO FOTOVOLTAICO
COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE)**



Commessa: 036–25

Data: 27/05/2025

Dott.Geol. Alberto Velicogna



Sommario

1.PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO.....	2
2.INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICHE	4
3.INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	5
3.1 SUBSIDENZA E MOVIMENTI DEL SUOLO	6
4.INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO GENERALE	7
6.AMBITO URBANISTICO – PRG.....	11
7.INDAGINE GEOGNOSTICA.....	12
7.1 Prove penetrometriche statiche.....	12
7.2 Prove penetrometriche dinamiche.....	14
7.3 Indagine di sismica M.A.S.W.	19
7.4 Indagine di sismica passiva H.V.S.R.	21
7.5 Calcolo della permeabilità in sito	24
8.CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	26
9.VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE	31
10.MODELLO GEOTECNICO	33
11.CONCLUSIONI	36
ALLEGATI.....	37

1.PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO

La presente relazione illustra i risultati di un'indagine geognostica eseguita al fine di valutare le caratteristiche geotecniche dei terreni che ospiteranno nuovi campi fotovoltaici ubicati nell'agro del comune di Terre del Reno (FE).

In questa relazione geologico-tecnica si caratterizzano i terreni da un punto di vista geotecnico, al fine di valutare la Capacità Portante ammissibile ed i cedimenti prevedibili secondo quanto prescritto dalle NTC 2018 "Norme tecniche per le Costruzioni" contenute dal D.M. 17.01.2018. e con la Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20 febbraio 2018 – Suppl. Ordinario n. 8: "Aggiornamento delle NTC di cui al D.M. 17 gennaio 2018".

Questa relazione, pertanto, seguendo i dettami della norma vigente e dello stato dell'arte è finalizzata alla costruzione del modello geologico, che è imprescindibile per la redazione del successivo modello geotecnico, facente parte della relazione d'opera geotecnica. Il presente documento si prefigge quindi di essere anche uno strumento tecnico d'ausilio per la definizione progettuale.

Il giorno 23.04.2025 si è effettuata una campagna di indagini mediante l'esecuzione di:

- n° 9 prove penetrometriche dinamiche DPSH
- n° 1 prove penetrometriche statica CPT
- n° 2 indagine geofisica con metodologia MASW
- n° 1 indagine geofisica con metodologia H.V.S.R.
- n° 3 prove di permeabilità tipo LEFRANC
- acquisizione ed analisi di bibliografia tecnica specifica
- elaborazione del presente documento

La caratteristica specifica di questo tipo di indagini è di essere di tipo preciso, diretto e locale; i dati acquisiti hanno un valore investigativo puntuale e possono essere raffrontati esclusivamente con altre prove analoghe a distanze limitrofe; qualsiasi altra estrapolazione non ha alcun valore geotecnico.

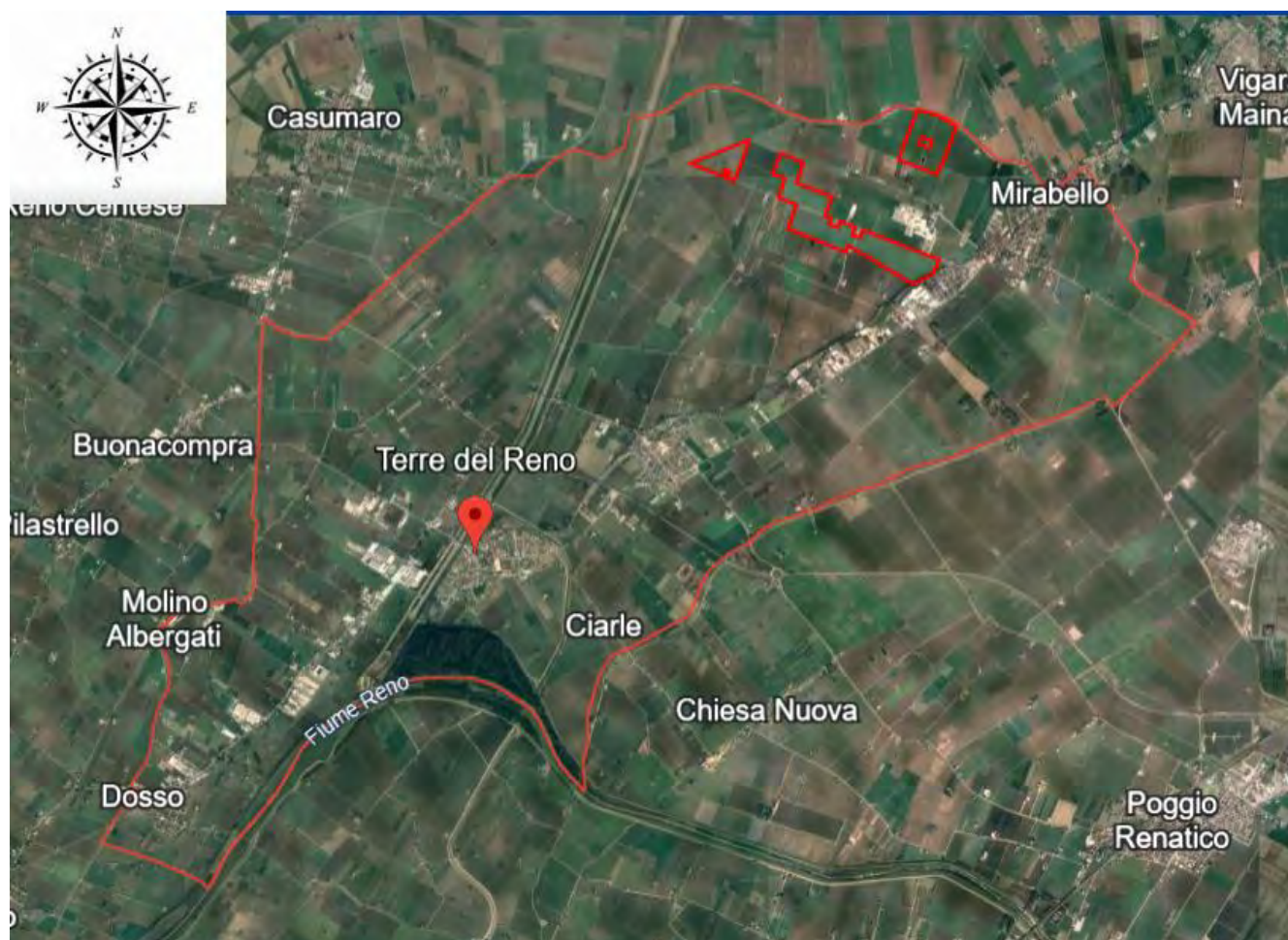


Figura 1 – Ubicazione del sito nel comune di Terre del Reno (FE)

Normativa di riferimento

D. Lgs. N. 4 del 16 gennaio 2008 in vigore dal 13 giugno 2008, recante importanti modifiche al D.Lgs 152/2006 in materia ambientale

Decreto Ministeriale 17.01.2018

Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.

Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007

Eurocodice 8 (1998)

Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture

Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)

Eurocodice 7.1 (1997)

Progettazione geotecnica – Parte I : Regole Generali . - UNI

Eurocodice 7.2 (2002)

Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI

Eurocodice 7.3 (2002)

Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita con prove in sito(2002). UNI

Leggi regionali in materia di pianificazione e di Vincolo Idrogeologico

Ordinanze Autorità di Bacino nazionale, regionale o interregionale

Piani Territoriali di coordinamento (Province)

Piano Strutturale e Regolam. Urbanistico

PUG-PRG-PSC-POC comune Terre Del Reno (FE)

2.INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICHE

Terre del Reno è un comune italiano sparso nella provincia di Ferrara in Emilia-Romagna, è stato istituito il 1° gennaio 2017 dalla fusione dei comuni di Mirabello e Sant'Agostino.

L'area in esame ricade nel territorio del ex comune di Mirabello ad Ovest del centro abitato in area a vocazione agricola e a bassa densità insediativa.

L'area d'interesse è interamente sviluppata in condizioni di pianura alluvionale e mostra quote topografiche comprese fra 7 e circa 13 m s.l.m.



Figura 2 – Perimetro area impianto – Google Earth

Catastralmente l'area dell'impianto in ambito comunale è così definita:

Foglio 2 mappali: 13-38-37-16

Foglio 6 mappali: 1-44-53-77-51-78-4-5-7-6-59-25-62-63-23-54-28-70-125-126-66-67-69-71-54-129-123-132-122-55-131-58-121-120-119-118-74-80

Foglio 7 mappali: 36-90-91-93-92-94-95-96-85-260

3.INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

L'area ricade all'interno del Foglio 76-FERRARA E 75 MIRANDOLA alla scala 1: 100.000 della Carta Geologica d'Italia.



Figura 3 – Stralcio dei Fogli 76-FERRARA e 75 MIRANDOLA, 1: 100.000 della Carta Geologica d'Italia

In questo settore della Pianura Padana affiorano esclusivamente sedimenti fluviali olocenici di derivazione appenninica. I sedimenti di età Pleistocenica, più antichi, sono ovunque sepolti mentre quelli più superficiali hanno età storica anche molto recente, in genere successiva al XV secolo d.C. I sedimenti di bassa pianura alluvionale sono stati depositi da fiumi di provenienza appenninica ed anche dal Po, che nel tempo hanno assai frequentemente cambiato corso, sia a causa di fattori di controllo esterni, in particolare quelli climatici e tettonici, sia per fattori interni alla dinamica fluviale. I canali fluviali, infatti, tendono spontaneamente, a divagare lateralmente, soprattutto in sistemi tendenzialmente pensili come quelli dell'area indagata. Questo insieme di concause comporta che la deposizione sedimentaria della pianura avvenga sia verticalmente, sia orizzontalmente, con il giustapporsi laterale di successivi corpi d'alveo. L'effetto di questa evoluzione è un complesso intreccio di corpi a tessitura prevalentemente sabbiosa, corrispondenti ad antichi alvei, e di sedimenti fini, limoso-argillosi, spesso ricchi in torbe e resti organici, corrispondenti ai depositi delle aree interfluviali. Questa evidenza si manifesta in superficie attraverso un articolato microrilievo, costituito dossi fluviali allungati e più o meno sinuosi e zone depresse interalvee.

Come è visibile dalla fig.3, l'area in esame è interessata principalmente da terreni di natura argillosa. La componente argillosa sabbiosa è maggiormente riscontrabile nelle aree a sud est vicino all'abitato di Mirabello.

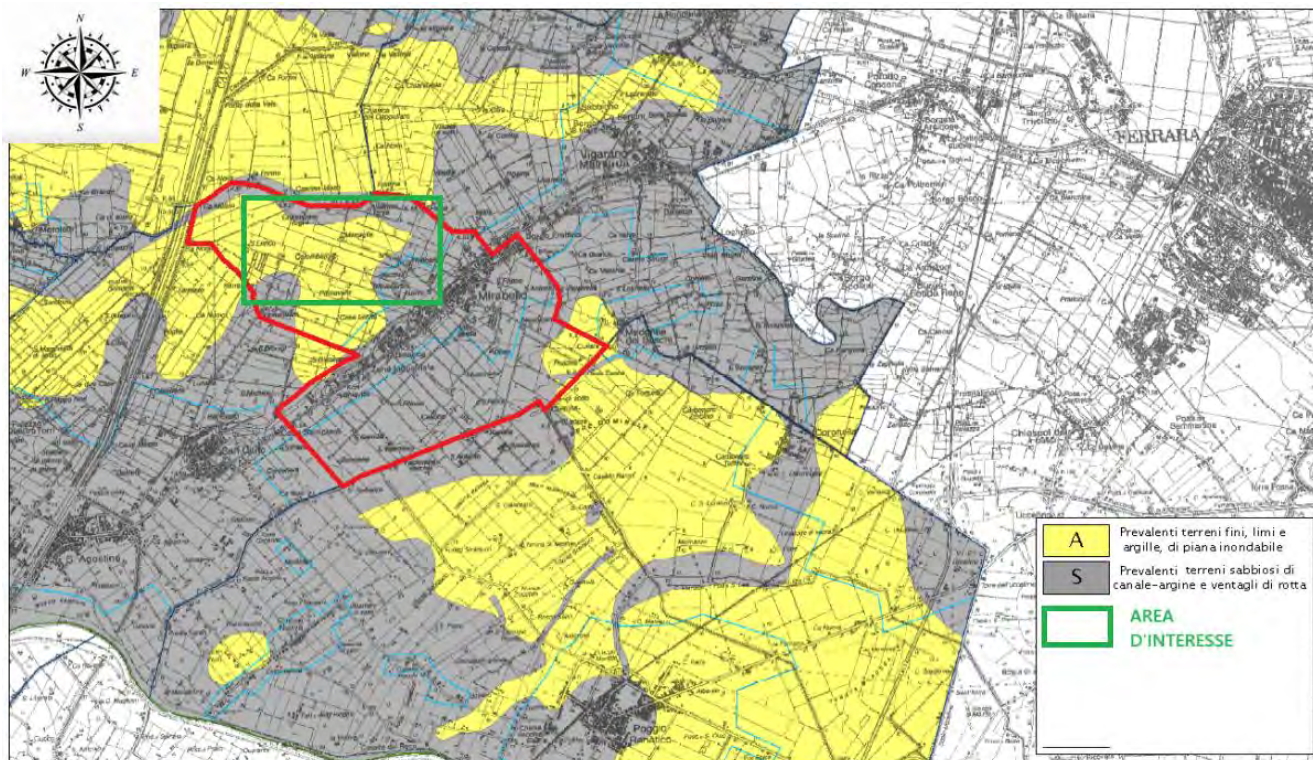


Figura 4 – Stralcio dalla carta geologica di superficie 1:100.000.

3.1 Subsidenza e movimenti del suolo

Come noto, la pianura alluvionale emiliano-romagnola è interessata da diffusi fenomeni di abbassamento del suolo, di origine in parte naturale. La costante subsidenza naturale ha permesso infatti l'accumulo di potenti successioni quaternarie, con tassi lateralmente fortemente variabili indotti sia dalla subsidenza di origine tettonica che dal graduale costipamento delle potenti successioni quaternarie, associata alla lenta espulsione di fluidi, come acqua e metano biogenico. La subsidenza naturale è stata nell'ultimo secolo fortemente accelerata da alterazioni antropiche, quali bonifiche idrauliche e, soprattutto, forti pompaggi dai corpi acquiferi sotterranei. Tali abbassamenti del suolo, inoltre, a causa delle basse pendenze, hanno ostacolato il deflusso delle acque superficiali, provocando diversi problemi nel corretto funzionamento della rete scolante gestita dai Consorzi di Bonifica. La fascia in cui ricade il territorio in esame, è soggetta ad un abbassamento naturale del suolo dell'ordine del metro al millennio, a cui si è sovrapposto, nel periodo tra gli anni '60 e '70, una componente "artificiale", legata all'estrazione di fluidi dal sottosuolo. Il territorio non registra comunque tassi di subsidenza molto elevati. Nel corso del 2016-2017, è stato realizzato il progetto "Rilievo della subsidenza nella Pianura EmilianoRomagnola", per aggiornare le conoscenze sui movimenti verticali del suolo rispetto ai rilievi precedenti. Lo studio ha messo in evidenza che nella provincia di Ferrara gli abbassamenti sono generalmente compatibili con una subsidenza di tipo

naturale. Rispetto al precedente rilievo si segnala solo un incremento subsidenziale in corrispondenza di Mirabello con massimi di circa 10 mm/anno.

4.INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO GENERALE

Idrografia e PAI

L'area in esame ricade nel distretto del Fiume Po. E' interessata da diversi coli e fossi ma l'elemento idrografico principale presente è il Canale Napoleonico che si trova ad ovest e corre a circa 600 m dal perimetro occidentale dell'area d'interesse.



Figura 5 – Stralcio della Carta dell'idrografia superficiale – ADBPo WebGis

I siti d'interesse risultano compresi all'interno del limite di fascia C e sono posizionati in aree allagabili a media pericolosità.

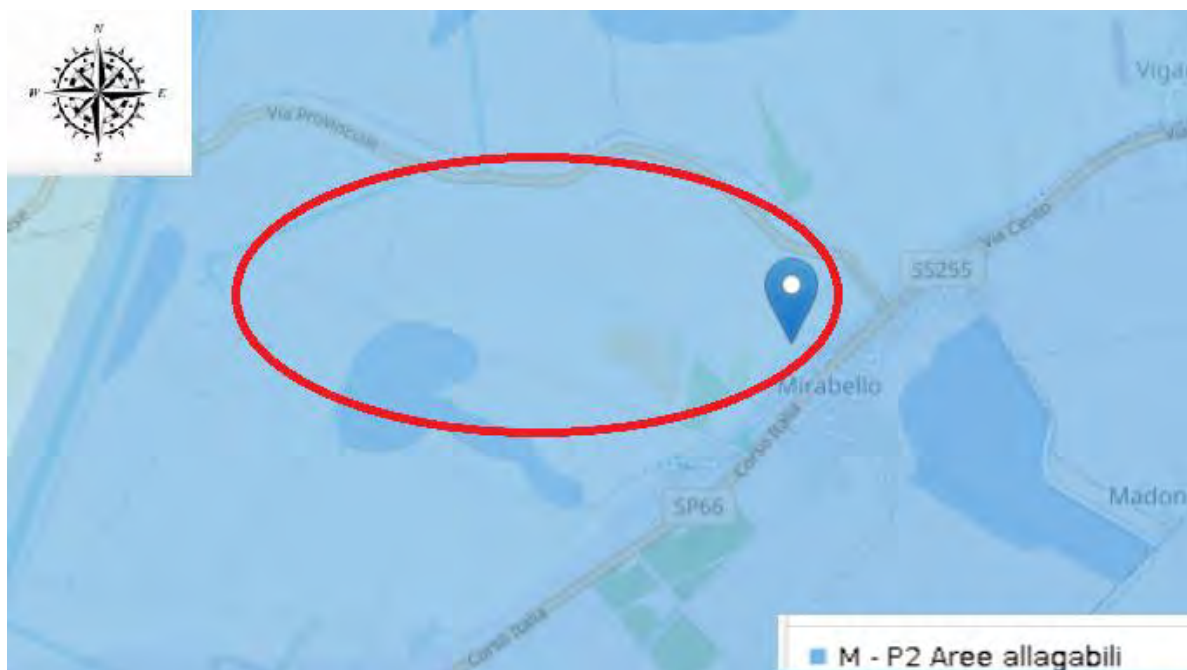


Figura 6 – Stralcio della Carta di pericolosità Alluvioni –PGRA ADBPo WebGis

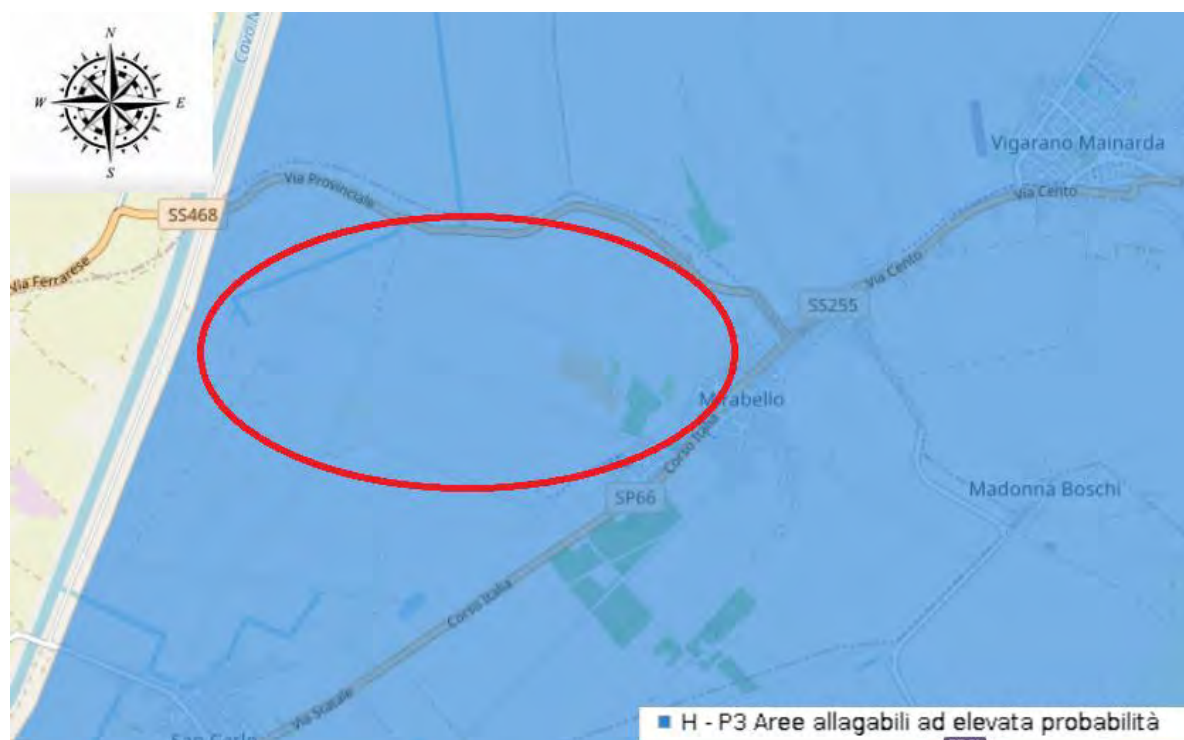


Figura 7 – Stralcio della Carta della Aree Allagabili – ADBPo WebGis

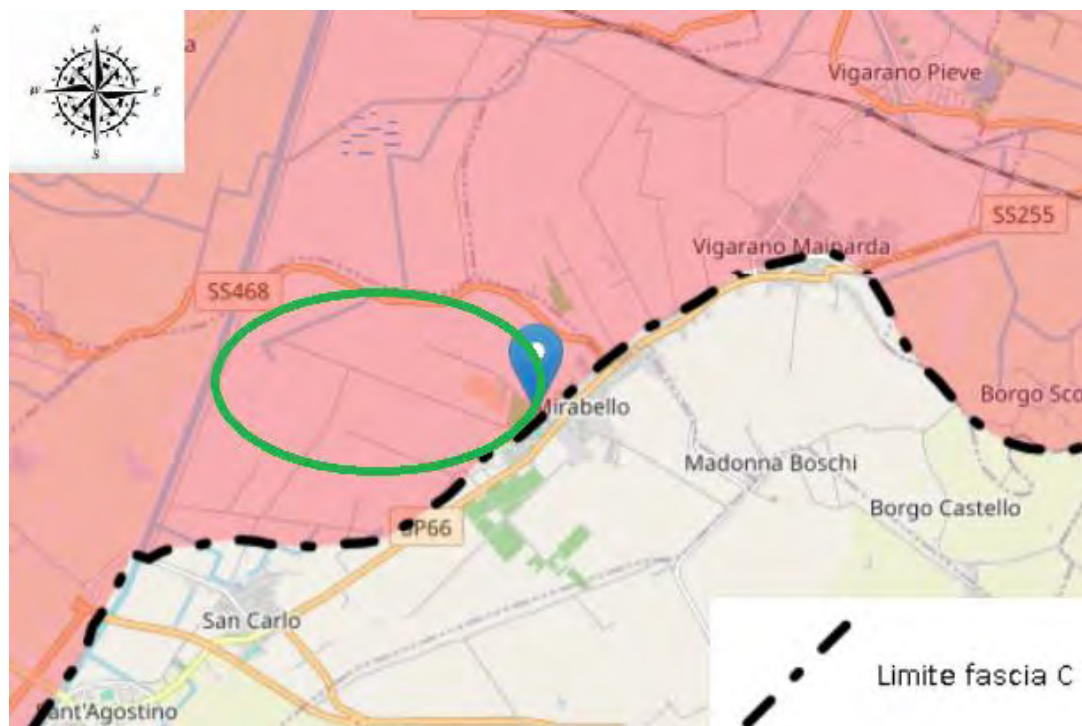


Figura 8 – Stralcio della Carta delle Fasce Fluviali – ADBPo WebGis

Idrogeologia

Per quanto riguarda l'assetto idrogeologico dell'area di Mirabello, gli studi post-sismici hanno confermato la presenza di un sottile corpo acquifero freatico, spesso meno di una decina di metri, sovrapposto ad un complesso sistema multifalda di acquiferi confinati, profondo alcune centinaia di metri.

Nel sottosuolo dell'area indagata, sono presenti diversi corpi acquiferi, formati da sabbie fluviali e deltizie, di provenienza sia appenninica che padana, separati tra loro da ingenti spessori di depositi fini impermeabili. I corpi acquiferi sono confinati dai prevalenti volumi di fanghi di piana alluvionale e piana costiera, ricchi di intervalli organici a bassissima permeabilità. Verso il basso, le falde dolci sono progressivamente sostituite da acque salmastre, spesso ricche di metano biogenico. L'emungimento idrico ha contribuito alla depressurizzazione degli acquiferi confinati, il che ha determinato l'accelerazione della subsidenza superficiale. Per le finalità dello studio correlate alla definizione della suscettibilità a liquefazione è di fondamentale importanza considerare i caratteri idrogeologici dei primi 20 m di sottosuolo, che nel caso in oggetto si trovano prevalentemente in condizioni di acquifero freatico. La falda libera, presente nei corpi sabbiosi di paleoalveo e ventaglio da rotta del Reno, è ovviamente soggetta a notevoli variazioni stagionali con fluttuazioni della superficie piezometrica anche dell'ordine di alcuni metri.

Gli studi pubblicati dalla Regione Emilia-Romagna nel "Rapporto sugli effetti della liquefazione osservati a Mirabello (Provincia di Ferrara)", indicano che l'acquifero freatico presenta uno spessore

limitato, compreso tra 6 e 12 m circa. Esso è costituito da sabbie medie e fini, nella sua parte inferiore, che passano a sabbie limose/limi sabbiosi verso l'alto, in particolare nei corpi depositi durante le fasi terminali di evoluzione degli alvei. Per determinare l'andamento della falda freatica la struttura regionale ha commissionato, tra giugno e luglio 2012, 9 sondaggi attrezzati con piezometro finestrato per tutto lo spessore dell'acquifero. In data 23 luglio 2012 è stata condotta una campagna di misure piezometriche che ha permesso di elaborare il deflusso generale della falda che risulta da SO verso NE.

Il flusso della freatica, proveniente da sud-ovest lungo il corpo di sabbie di riempimento di alveo, è ricaricato sia dalle precipitazioni meteoriche sia dalle infiltrazioni dall'attuale corso del fiume Reno e, in misure ridotta, dal Cavo Napoleonico e dal Canale Emiliano Romagnolo, essendo questi ultimi in gran parte rivestiti ed impermeabilizzati.

La profondità della falda è quindi maggiore nel corpo di paleoalveo, con valori di soggiacenza fino a 5,5 m, e minore nelle zone circostanti, verso nord - ovest e sud - est, fino ad arrivare a meno di 2 m dalla superficie topografica. Data la morfologia relativamente accentuata del corpo di paleoalveo, le aree in cui la falda mostra minore soggiacenza sono quindi quelle più depresse topograficamente.

6.AMBITO URBANISTICO – PRG

L'area in esame si colloca nell'agro del comune di Terre del Reno. I siti che ospiteranno il nuovo impianto si sviluppano in Ambito Agricolo.



Figura 9 – Stralcio deL PRG comunale – <https://sitcomuniweb.geographics.eu/>

I lotti che qui sono stati denominati A e B risultano in Zona Agricola E1 “Zona produzione agricola normale” (Art.45 delle NTA). L’area soprannominata lotto C ricade invece in Zona Agricola E3 “Zona a produzione agricola a vincolo parziale (art.47 delle NTA).

Il lotto B e C sono interessati anche dalla fascia di rispetto stradale e dalla fascia di rispetto delle linea elettrica aerea esistente.

7.INDAGINE GEOGNOSTICA

L'indagine geognostica di campagna è consistita in:

- n° 9 prove penetrometriche dinamiche DPSH
- n° 1 prove penetrometriche statica CPT
- n° 2 indagine geofisica con metodologia MASW
- n° 1 indagine geofisica con metodologia H.V.S.R.
- n° 3 prove di permeabilità tipo LEFRANC

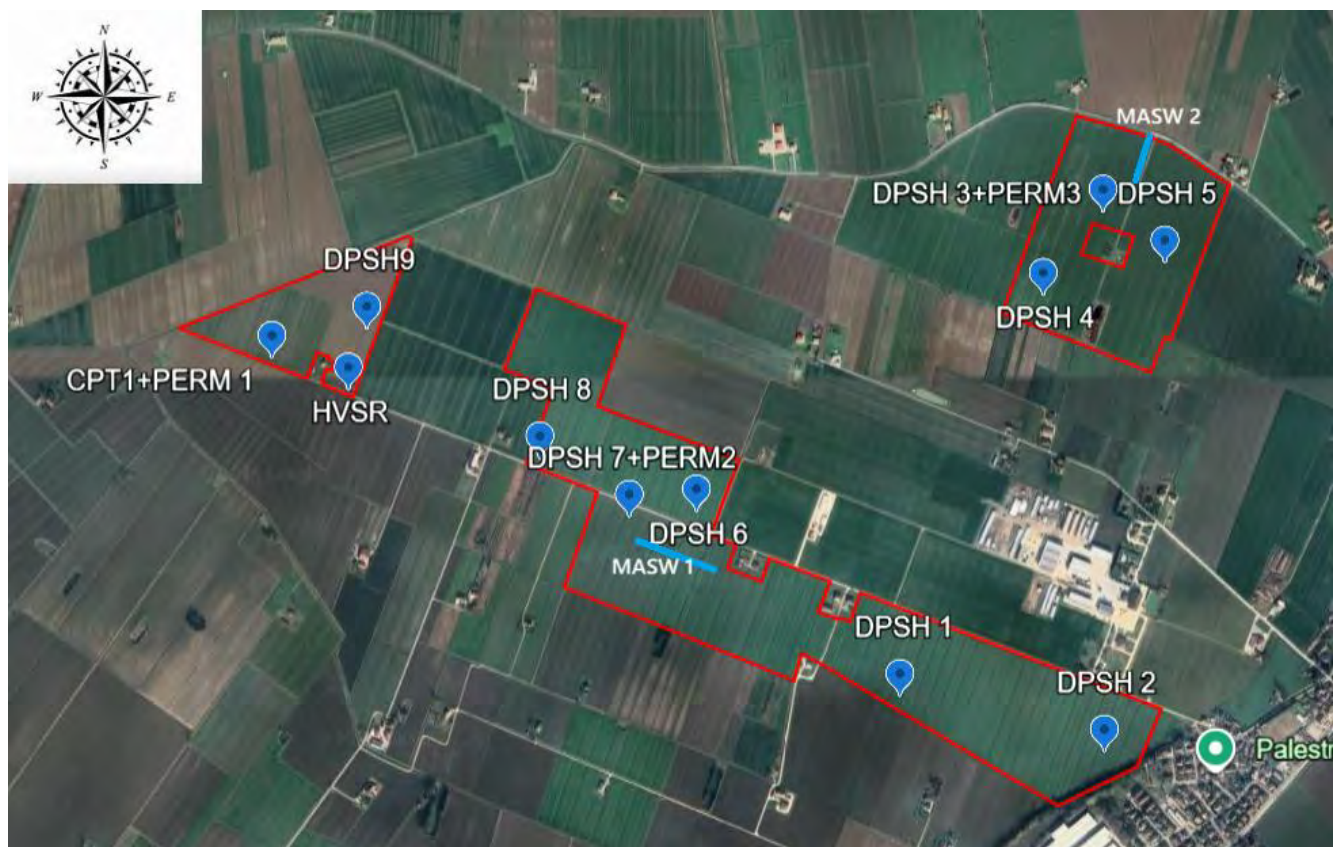


Figura 10 – Ubicazione delle prove

7.1 Prove penetrometriche statiche

La prova penetrometrica statica, o Cone Penetration Test (CPT), è una prova eseguita localmente nel sottosuolo (in situ) per il riconoscimento di massima del profilo stratigrafico/litologico (tipologia di terreni) e delle proprietà meccaniche del terreno. È indicata per i terreni sciolti a granulometria fine e media (argille, limi, sabbie, torbe). Uno dei principali vantaggi della CPT è la possibilità di ottenere dei

dati (quasi) continui lungo la verticale di indagine, con una sensibilità locale maggiore rispetto ad una prova penetrometrica dinamica continua.

Si distinguono due principali categorie di prova penetrometrica statica: prova con punta meccanica e prova con punta elettrica (con piezocono e piezocono sismico).

Nel nostro caso si è utilizzata la punta meccanica di tipo Begemann con manicotto scorrevole per la misura della resistenza laterale locale R_l . In questo caso la prova consiste nell' avanzamento di 4 cm del solo cono con spinta delle aste interne e misura di q_c , seguito dall'avanzamento di 4 cm del cono e del manicotto con misura di R_l . Segue infine l'avanzamento di 12 cm dell'intera punta per ritornare alla posizione iniziale senza misura. Lo sforzo per l'infissione della punta e del manicotto viene fornito da un dispositivo di spinta idraulico in genere da 10 o 20 t che agisce alternativamente sulla batteria di aste di spinta interne a sezione piena e sulle aste cave esterne, collegati in superficie ai due manometri di misura.

<i>N° prova</i>	<i>Profondità max da p.c. (m)</i>	<i>Profondità falda da p.c. (m)</i>
<i>P1</i>	<i>10</i>	<i>NON RILEVATA</i>



Figura 11 – Prova penetrometrica CPT1

7.2 Prove penetrometriche dinamiche

La prova penetrometrica dinamica consiste sostanzialmente nell'infissione nel terreno di una punta conica situata all'estremità di una batteria di aste, energizzata facendo cadere da un'altezza costante un maglio di peso standard. La misurazione del numero di colpi necessario all'avanzamento del sistema di aste di 20 cm, inserita in un programma di calcolo dedicato, fornisce uno degli elementi fondamentali per una corretta interpretazione geotecnica del sottosuolo.

Le prove vengono normalmente fino all'eventuale rifiuto (N spt maggiore di 35 colpi). In occasione di ogni prova viene verificato il livello di eventuali falde freatiche mediante freatimetro e/o misura diretta sulle aste di perforazione.

Nella tabella di seguito, viene riassunta la profondità massima raggiunta durante la prova:

<i>N° prova</i>	<i>Profondità max da p.c. (m)</i>	<i>Profondità falda da p.c. (m)</i>
<i>P1</i>	6.20	NON RILEVATA
<i>P2</i>	6.20	NON RILEVATA
<i>P3</i>	10.20	NON RILEVATA
<i>P4</i>	6.20	NON RILEVATA
<i>P5</i>	6.20	NON RILEVATA
<i>P6</i>	6.20	NON RILEVATA
<i>P7</i>	6.20	NON RILEVATA
<i>P8</i>	10.20	NON RILEVATA
<i>P9</i>	6.20	NON RILEVATA



Figura 12 – Prova penetrometrica DPHS 1



Figura 13 – Prova penetrometrica DPSH 2



Figura 14 – Prova penetrometrica DPSH 3



Figura 15 – Prova penetrometrica DPSH 4



Figura 16 – Prova penetrometrica DPSH 5



Figura 17 – Prova penetrometrica DPSH 6



Figura 18 – Prova penetrometrica DPSH 7



Figura 19 – Prova penetrometrica DPSH 8



Figura 20 – Prova penetrometrica DPSH 9

7.3 Indagine di sismica M.A.S.W.

Sono state eseguite n.2 indagini geofisiche MASW finalizzate:

- alla misura diretta della velocità equivalente delle onde di taglio V_{seq} e della relativa classificazione della categoria sismica di appartenenza dei terreni del sottosuolo;
- all'acquisizione di dati che contribuissero ad indagare sull'eventuale presenza di cavità sotterranee che fornissero maggiori informazioni sull'uniformità areale dei depositi presenti in situ.

Come detto nel precedente paragrafo, per la definizione dell'azione sismica di progetto si rende necessaria una valutazione, oltre che dei parametri relativi alla "Pericolosità Sismica di Base", anche degli effetti della "Risposta Sismica Locale", che dipendono, essenzialmente, dalle caratteristiche litostratigrafiche o morfologiche del sito. Queste ultime, infatti, risultano esercitare una diretta influenza sulla propagazione e sull'eventuale amplificazione delle onde sismiche nel sottosuolo. Secondo le procedure prescritte dalla normativa vigente tali effetti sono valutabili, con buona approssimazione, mediante l'individuazione della categoria di sottosuolo e della categoria topografica in cui ricade il sito di interesse.

Da dette categorie deriva poi la definizione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica, "SS" e "ST", stabiliti dalle stesse norme, che concorrono nella ricostruzione degli spettri di risposta elastici tipici del sito.

L'indagine MASW si svolge in tre fasi: acquisizione delle onde superficiali (ground roll), costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s .

Le prove MASW sono indispensabili per ricavare direttamente il parametro V_{seq} , richiesto dalla nuova normativa sismica, in maniera semplice e decisamente affidabile. Tramite questa prova vengono misurate le velocità sismiche delle onde superficiali a diverse frequenze. La variazione di velocità a diverse frequenze (dispersione) è imputabile prevalentemente alla stratificazione delle velocità delle onde S i cui valori sono ricavabili da una procedura di inversione numerica.

Per velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio si intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati nei primi metri di profondità dal piano di posa della fondazione, secondo la relazione:

Dove N è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore $h(\text{strato})$ e dalla velocità delle onde S $V_s(\text{strato})$.

Per H si intende la 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 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_{s30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le onde di superficie sono state generate con una mazza battente (sorgente sismica) da due punti di energizzazione e sono state registrate con 12 geofoni lungo uno stendimento di lunghezza di 33.0 m. Il modello sismico monodimensionale (V_s -profondità) che si è ricavato costituisce l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche sulla pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica).

Le prove sono state condotte utilizzando 12 canali di acquisizione lungo uno stendimento di 50 m con distanza di energizzazione pari a 6.0 m.

I risultati dell'indagine MASW sono riportati per esteso nel pertinente allegato.



Figura 21 – MASW 1



Figura 22 – MASW 2

7.4 Indagine di sismica passiva H.V.S.R.

La metodologia sismica HVSR (Horizontal to Vertical Spectrum Ratio) misura il rumore sismico ambientale che è presente ovunque sulla superficie terrestre, ed è prodotto dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, microterremoti, vento) e dall'attività antropica.

Il rumore sismico ambientale viene anche chiamato microtremore in quanto costituito da oscillazioni di piccolissima ampiezza se confrontate con quelle associate ai terremoti.

La denominazione di sismica passiva dipende dal fatto che il rumore non viene generato artificialmente, come nelle energizzazioni della sismica attiva, ma è presente naturalmente.

In qualsiasi luogo pianeggiante sono sempre presenti delle vibrazioni associate alle onde oceaniche con dei picchi a 0,14 e 0,07 Hz. A questo comportamento spettrale di “fondo”, sempre presente in varia forma, e soggetto a scarsissima attenuazione, si sovrappongono le sorgenti locali dovute alle attività antropiche (traffico, macchinari ecc..) e naturali.

L'effetto di queste sorgenti locali è soggetto ad attenuazioni quanto maggiori all'aumentare della frequenza e dovute all'assorbimento anelastico associato all'attrito interno delle rocce e dei terreni.

La metodologia HVSR è stata introdotta da Nakamura (1989) per la determinazione delle frequenze di risonanza dei terreni e la stima dell'amplificazione sismica locale, elementi di grande utilità per l'ingegneria sismica.

La frequenza fondamentale di risonanza (F) dello strato di terreno N è data dalla formula:

$$F = \frac{V_s}{4h}$$

in cui V_s è la velocità media delle onde S nello strato N ed h è lo spessore.

I risultati (grafici) visibili in allegato, sono stati ottenuti mediante impiego di un geofono triassiale Pasi integrato con sismografo GEA24 ed elaborati con software GeopsyLand: il segnale dei velocimetri (3) è acquisito in sito per un tempo pari a 20 minuti.

Per ciascuna delle 3 componenti del moto, il software esegue le seguenti elaborazioni:

- divide il tracciato acquisito in finestre di lunghezza L ;
- elimina il trend da ciascuna finestra;
- fa il “pad” di ciascuna finestra con degli zero;
- calcola la trasformata di Fourier (FFT) per ciascuna finestra;
- calcola lo spettro di ampiezza per ciascuna finestra;
- liscia lo spettro di ogni finestra secondo opportuno smoothing;
- calcola il rapporto spettrale HVSR ad ogni frequenza, per ciascuna finestra.

Il risultato dell'elaborazione della prova permette di esprimere il rapporto H/V in funzione della frequenza ottenendo, così, la frequenza di risonanza del sito.

Quest'ultima dipende dallo spessore H del sedimento e dalla velocità “media” (V_s) delle onde S nel sedimento.

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati. Questo, insieme ad una stima delle velocità è in grado di fornire previsioni sullo spessore h degli strati.

Conoscendo lo spessore H del sedimento è quindi possibile avere informazioni sulla velocità “media” delle Onde S. Alternativamente, conoscendo quest'ultima è possibile definire lo spessore H dello strato sedimentario.

Nel caso in esame la discreta conoscenza delle caratteristiche stratigrafiche del sito (Profilo stratigrafico da indagine MASW – cfr. allegati) consente, attraverso una procedura di inversione, di procedere all'interpretazione della stratigrafia del sito utilizzando le seguenti formule:

$$V_s = 4hV_s$$

Da cui

$$h = \frac{V_s}{4F}$$

La presenza del bedrock sismico rappresentato dal substrato roccioso magmatico intrusivo è accertata sia dalle evidenze geologiche (affioramenti) sia da quelle relative alla velocità delle onde di taglio (V_s) ottenuta dall'indagine MASW (cfr. allegato); l'incognita di interesse è evidentemente costituita dallo spessore dello strato di copertura, per quanto attiene alla velocità delle onde di taglio nel substrato metamorfico, può essere considerato come riferimento il valore di velocità ottenuto per il bedrock sismico dalle prove MASW.

Si rimanda nella apposita sezione degli allegati per l'esito dettagliato della prova.



Figura 23 – H.V.S.R.

7.5 Calcolo della permeabilità in sito

Riprendendo la normativa regionale si ricorda che la riduzione della permeabilità del suolo va calcolata facendo riferimento alla permeabilità naturale originaria del sito, ovvero alla condizione preesistente all'urbanizzazione, e non alla condizione urbanistica precedente l'intervento eventualmente già alterata rispetto alla condizione zero, preesistente all'urbanizzazione. Le misure di invarianza idraulica e idrologica si applicano alla sola superficie del lotto interessata dall'intervento comportante una riduzione della permeabilità del suolo rispetto alla sua condizione preesistente all'urbanizzazione e non all'intero lotto.

La permeabilità rappresenta l'attitudine di un deposito a farsi attraversare dall'acqua per effetto di un gradiente idraulico e rappresenta la resistenza che esso offre al flusso dell'acqua ed è definita dalla legge di Darcy attraverso il coefficiente di permeabilità, k , come: il volume d'acqua, in m^3 , che attraversa in moto laminare nell'unità di tempo (1s) l'unità di superficie ($1mq$) disposta ortogonalmente alla sua traiettoria, per effetto di un gradiente idraulico unitario, alla temperatura di 20° .

Il coefficiente di permeabilità ha le dimensioni di una velocità e si misura in m/s (o cm/s) e dipende in parte dal mezzo poroso, e dalla sua capacità di trasmettere il fluido, tramite la permeabilità intrinseca, k_p , e in parte dal fluido, e dalle sue proprietà fisiche, quali la densità, la viscosità, e quindi indirettamente la temperatura. Perciò a parità di mezzo il coefficiente di permeabilità dipende dal tipo di fluido e per uno stesso fluido dalla sua temperatura; nel caso specifico dei terreni la temperatura subisce piccole variazioni (localizzate soprattutto in corrispondenza degli strati più superficiali) per cui il coefficiente di permeabilità dipende dalle sole caratteristiche del mezzo. In tal senso può dipendere da molti fattori, tra i quali i più importanti sono:

- la dimensione e forma dei grani, e la granulometria (con particolare riferimento alla quantità, al tipo e alla distribuzione delle parti fini)
- lo stato di addensamento (ad esempio per terreni a granulometria uni-forme all'aumentare della densità relativa il coefficiente di permeabilità diminuisce).

La permeabilità del sottosuolo in corrispondenza dell'area di indagine è stata determinata mediante una prova di infiltrazione a carico variabile (LEFRANC). Tale prova è stata realizzata in foro di sondaggio spinto fino a 1.30 m dal p.c., il posizionamento di un tubo di rivestimento con diametro di 4,5 cm e immissione di acqua all'interno del tubo. L'immissione è stata realizzata in breve tempo; si è quindi provveduto a misurare gli abbassamenti di livello tramite freatimetro elettrico.

La misurazione è stata condotta in condizioni sature del terreno.

Il calcolo della permeabilità è stato effettuato con la formula:

$$k = \frac{A (h_2 - h_1)}{C (t_2 - t_1) * h_m}$$

dove:

k=coefficiente di permeabilità

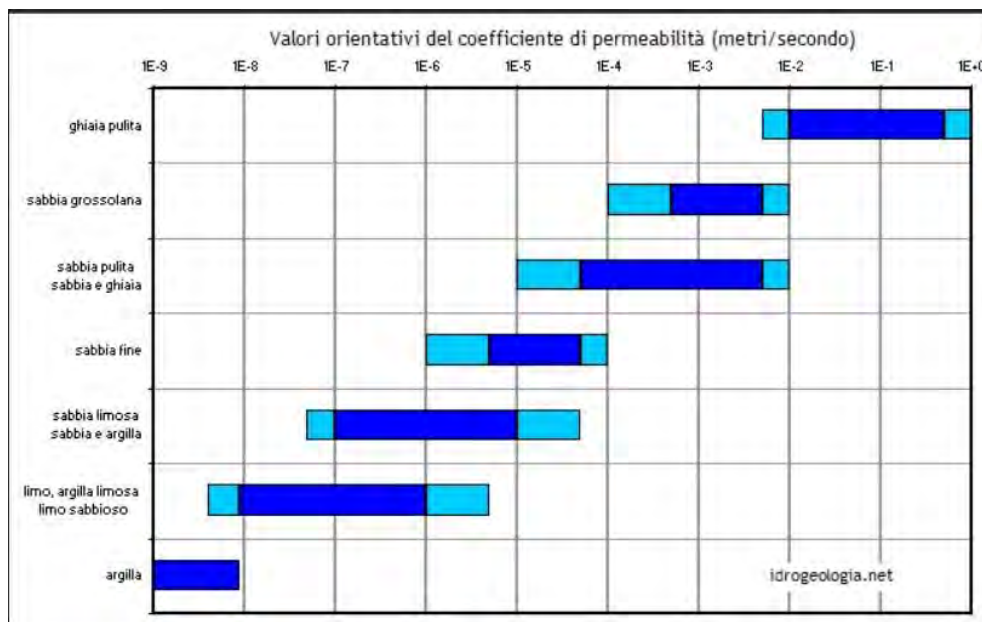
A= area filtrante (in m²)

t1, t2= tempi misurazione livello

h1, h2=livelli idrici

hm=altezza al tempo medio

C= coefficiente di forma (per L>>D, C=L)



Le prove di permeabilità sono state eseguite nei punti indicati in figura 9 alla profondità di – 1 m da piano campagna. Le permeabilità riscontrate risultano:

Perm1→k = 6.11 x 10⁻⁵ m/s

Perm2→k = 5.71 x 10⁻⁵ m/s

Perm3→k = 5.67 x 10⁻⁵ m/s

I dati relativi alle prove vengono riportati negli allegati al presente elaborato.

Il dato di permeabilità media risulta coerente con la stratigrafia superficiale del sito.

8.CARATTERIZZAZIONE SISMICA

La classificazione sismica del territorio nazionale e le normative tecniche per le costruzioni in zona sismica sono regolate dalle norme contenute nella O.P.C.M. n. 3274/2003 del 23.03.2003, pubblicata sulla G.U. n. 105 dell'8 Maggio 2003.

In tale quadro il comune di Terre del Reno ricade in zona sismica 3:

<i>Zona sismica</i>	<i>Fenomeni riscontrati</i>	<i>Accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni</i>
1	Zona con pericolosità sismica alta . Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.	$a_g \geq 0,25g$
2	Zona con pericolosità sismica media , dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti.	$0,15 \leq a_g < 0,25g$
3	Zona con pericolosità sismica bassa , che può essere soggetta a scuotimenti modesti.	$0,05 \leq a_g < 0,15g$
4	Zona con pericolosità sismica molto bassa . E' la zona meno pericolosa, dove le possibilità di danni sismici sono basse.	$a_g < 0,05g$

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio “sito dipendente” e non più tramite un criterio “zona dipendente”.

L'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche è la pericolosità sismica di base” del sito. La sismicità di base del sito è definibile in funzione del valore assunto dall'accelerazione massima attesa a_g su suolo rigido con superficie topografica orizzontale per eventi con tempo di ritorno di 475 anni e probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Ai fini delle Nuove Norme Tecniche (NTC) le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido

F_o = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

T_{c^*} = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione viene definita partendo dalla “pericolosità di base” del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

Sulla base dei dati direttamente acquisiti in campagna tramite indagine geofisica, il sito dove è stata condotta la M.A.S.W.1 ricade, per riscontro diretto, nella categoria di sottosuolo D, secondo la tab. 3.2.II delle NTC 2018, con caratteristiche di superficie topografica T1, secondo la tab. 3.2.IV delle NTC 2018.

$$V_{seq} = 168 \text{ m/sec}$$

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

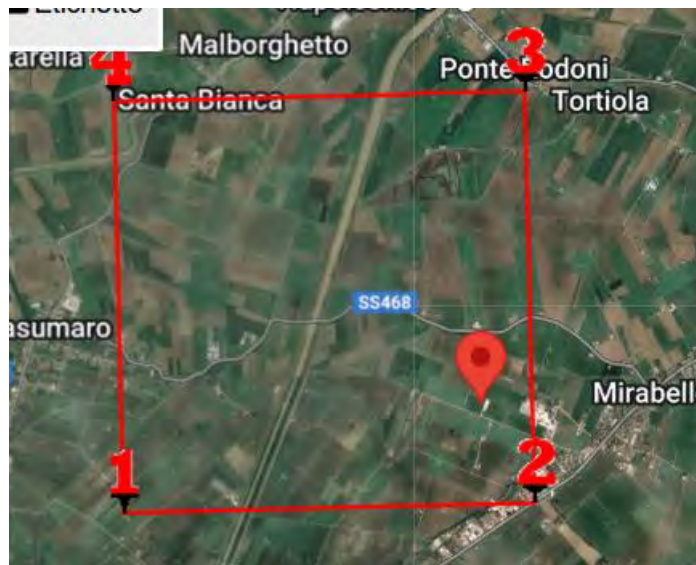
Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche

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

Tabella 3.2.V – Espressioni di S_s e di C_c

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
 D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

La V_n (Vita nominale) attesa dall'edificio: $V_n = 50$ anni. I dati sono stati processati con il software Geostru dedicato per la determinazione dei parametri sismici corretti. Vengono di seguito riportati i valori calcolati.



Stati limite

 Classe Edificio

I. Presenza occasionale di persone, edifici agricoli...

 Vita Nominale 50

 Interpolazione Media ponderata

CU = 0.7

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	F_o	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.038	2.556	0.253
Danno (SLD)	35	0.041	2.530	0.258
Salvaguardia vita (SLV)	332	0.125	2.584	0.270
Prevenzione collasso (SLC)	682	0.170	2.564	0.274
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	35			

Coefficienti sismici

 Tipo Stabilità dei pendii e fondazioni

☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m) 1 us (m) 0.1

 Cat. Sottosuolo D

 Cat. Topografica T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,80	1,80	1,80	1,75
CC Coeff. funz categoria	2,48	2,46	2,40	2,39
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²] 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.014	0.015	0.054	0.072
kv	0.007	0.007	0.027	0.036
Amax [m/s²]	0.676	0.732	2.207	2.922
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

il sito dove è stata condotta la M.A.S.W.2 ricade, per riscontro diretto, nella categoria di sottosuolo C, secondo la tab. 3.2.II delle NTC 2018, con caratteristiche di superficie topografica T1, secondo la tab. 3.2.IV delle NTC 2018.

$V_{seq} = 294 \text{ m/sec}$



Stati limite



Classe Edificio

I. Presenza occasionale di persone, edifici agricoli...



Vita Nominale

50



Interpolazione

Media ponderata

CU = 0.7

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	F_o	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.038	2.554	0.252
Danno (SLD)	35	0.041	2.530	0.258
Salvaguardia vita (SLV)	332	0.122	2.583	0.271
Prevenzione collasso (SLC)	682	0.166	2.564	0.274
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	35			

Coefficienti sismici



Tipo

Stabilità dei pendii e fondazioni



Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.



H (m)

1

us (m)

0.1



Cat. Sottosuolo

C



Cat. Topografica

T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,50	1,44
CC Coeff. funz categoria	1,65	1,64	1,62	1,61
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00



Acc.ne massima attesa al sito
[m/s²]

0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.011	0.012	0.044	0.058
kv	0.006	0.006	0.022	0.029
Amax [m/s ²]	0.556	0.600	1.797	2.351
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

il sito dove è stata condotta la prova di sismica passiva H.V.S.R. ricade, per riscontro diretto, nella categoria di sottosuolo C, secondo la tab. 3.2.II delle NTC 2018, con caratteristiche di superficie topografica T1, secondo la tab. 3.2.IV delle NTC 2018.

Vseq= 213 m/sec



Stati limite



Classe Edificio

I. Presenza occasionale di persone, edifici agricoli...



Vita Nominale

50



Interpolazione

Media ponderata

CU = 0.7

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.038	2.557	0.253
Danno (SLD)	35	0.041	2.532	0.258
Salvaguardia vita (SLV)	332	0.124	2.584	0.270
Prevenzione collasso (SLC)	682	0.170	2.564	0.274

Periodo di riferimento
per l'azione sismica:

35

Coefficienti sismici



Tipo

Stabilità dei pendii e fondazioni

☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)

1

us (m)

0.1



Cat. Sottosuolo

C



Cat. Topografica

T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,50	1,44
CC Coeff. funz categoria	1,65	1,64	1,62	1,61
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

☐ Acc.ne massima attesa al sito
[m/s²]

0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.011	0.012	0.045	0.059
kv	0.006	0.006	0.022	0.029
Amax [m/s²]	0.561	0.607	1.831	2.394
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

9. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

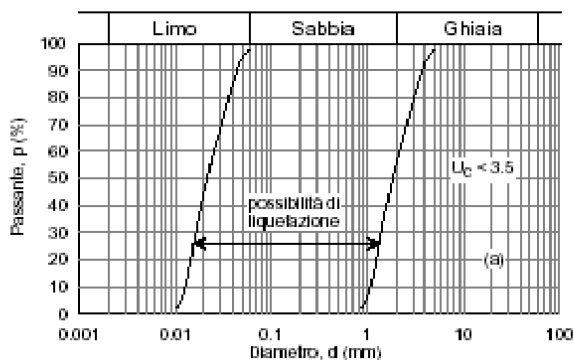
Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, sulla base della Tabella 3.2.II delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14/01/2008, le caratteristiche meccaniche dei terreni appena descritti, consentono di classificare, i profili stratigrafici come appartenenti alla categoria di suolo di fondazione tipo 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." e di tipo D "Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine a 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.". Tenuto conto del grado di sismicità della zona e della litologia presente in situ non si escludono fenomeni di liquefazione.

Vengono di seguito riportate le condizioni di Legge previste per l'esclusione della verifica:

7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. 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;
5. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.



L'area comunale è stata attenzionata dopo il terremoto del maggio 2012 poiché in essa si sono verificati fenomeni di liquefazione.

I siti in esame sono caratterizzati da forti spessori di argille e non presentano significativi corpi di sabbie fluviali nei primi 10 m di sottosuolo. Le sabbie fluviali possono essere presenti a maggiore profondità, comunemente associate alle unità sedimentatesi durante l'ultima glaciazione. Il significativo carico litostatico dovrebbe aiutare a contrastare il manifestarsi di fenomeni di liquefazione in superficie. Detto ciò, le aree in esame risultano comunque soggette a fenomeni di amplificazione del moto sismico in superficie.

Va invece segnalato che le zone prossime al centro abitato di Mirabello e prossime alla S.S.468 hanno subito fenomeni di liquefazioni durante il terremoto del 2012.

Quasi tutto il centro abitato di Mirabello, infatti, è formato da sabbie e limi di riempimento di canale e argine prossimale del Reno con sede di una significativa falda freatica. Questa fascia mostra nel primo sottosuolo spessi corpi granulari saturi ad elevato indice di liquefazione (valori puntuali di IL localmente anche superiori a 11). I notevoli gradienti topografici, legati alla presenza del dosso fluviale ed ai riporti arginali antropici, favoriscono l'insorgere di movimenti gravitativi di espansione laterale e franamento cosismici, come quelli verificatisi nel 2012. La fascia centrale, densamente abitata e attraversata dalla ex. SS 225 e dalla maggior parte delle infrastrutture, appare quindi la più problematica dal punto di vista del rischio da liquefazione. Questo rischio si riduce progressivamente lateralmente nei depositi da rotta e tracimazione, dati gli spessori ridotti ed i minori gradienti topografici.

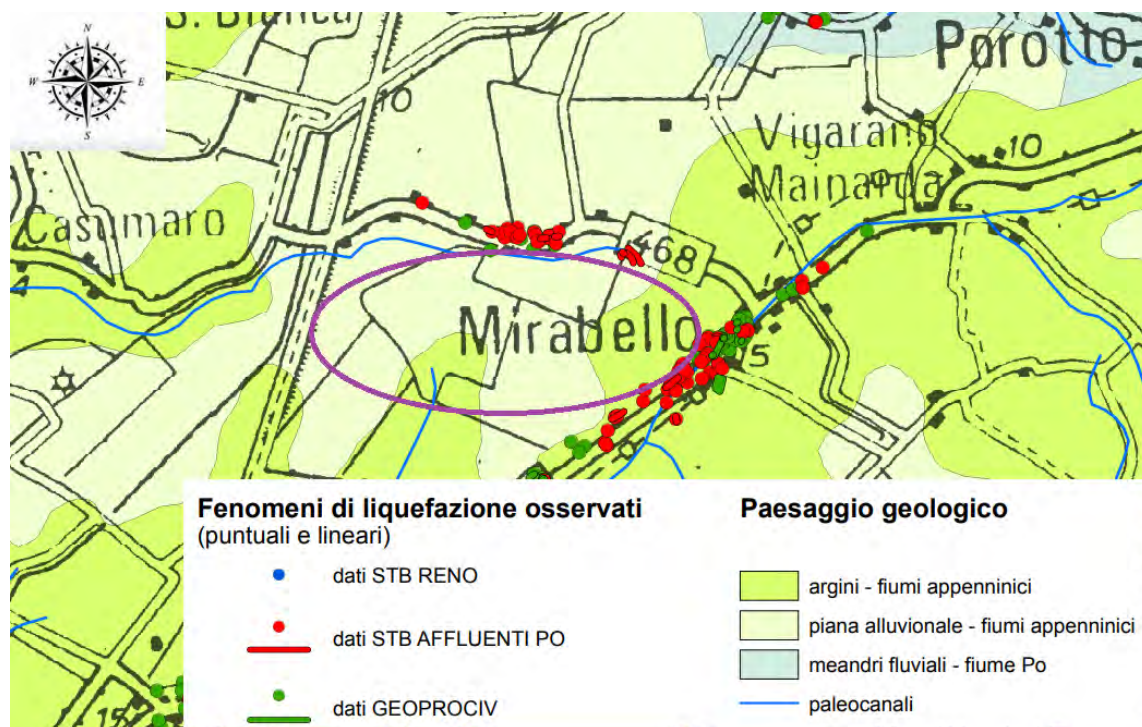


Figura 23 – Stralcio della Carta degli Effetti della Liquefazione dopo il terremoto 2012 – Regione Emilia-Romagna

In linea generale è possibile asserire che i siti che ospiteranno il nuovo impianto potrebbero subire fenomeni di liquefazioni nel caso in cui fossero presenti lenti sabbiose superficiali contenenti acqua. Le analisi condotte tramite prove penetrometriche hanno messo in luce solo litologie argillose e argilloso limose fino alla profondità di 10 m senza riscontro di acqua.

10.MODELLO GEOTECNICO

I dati acquisiti sono stati elaborati con l'ausilio del software di calcolo dedicato Fondazio per Windows (versione 6.55 del 2012) al fine di caratterizzare e parametrizzare gli aspetti geotecnici del sottosuolo investigato.

Si rinvia alle tabelle allegate per la ricostruzione di dettaglio del modello geotecnico del sottosuolo stesso.

Per modello geotecnico si intende uno schema rappresentativo delle condizioni stratigrafiche, del regime delle pressioni interstiziali e della caratterizzazione fisicomeccanica dei terreni e delle rocce comprese nel volume significativo, finalizzato all'analisi quantitativa di uno specifico problema geotecnico (da NTC – D.M. 17/01/2018).

Sulla base dei dati ottenuti dalle prove geognostiche, il terreno investigato può essere schematicamente suddiviso (NB: riferimento piano campagna), dal punto di vista geotecnico, in tre livelli stratigrafici aventi le caratteristiche geotecniche principali di seguito indicate.

Secondo quanto disposto dalle Norme Tecniche, tali parametri meccanici devono essere trattati in maniera statistica, adottando valori a cui sia associata una probabilità di superamento non superiore a 5% (2.3 – NTC2018), ottenendo parametri definiti “caratteristici”.

$$\text{Esempio: } \Phi_{\text{nominale (da prove)}} = \Phi_k \text{ (caratteristico)}$$

Nella tabella seguente vengono riportati i parametri riscontrati per le prove penetrometriche effettuate. In allegato tutti i risultati delle prove.

MODELLO GEOTECNICO GENERALE

<i>Ipotesi stratigrafica</i>	<i>Profondità (m)</i>	<i>Nspt di riferim. (*)</i>	<i>DR (%) (*)</i>	<i>Ø (°) (*)</i>	<i>Y_s (T/m3) (*)</i>	<i>Y (T/m3) (*)</i>	<i>Cu (Kpa) (*)</i>
Strato A	Da 0.0 m a 3.70 m circa	2	-	-	1.75	1.60	12.74
Strato B	Da 3.70 m circa a 7.20 m circa	6	-	-	1.85	1.65	37.24
Strato C	Da 7.20 m circa a 10 m circa	23	-	-	2.06	1.75	141.12

MODELLO GEOTECNICO AREA LIMITROFA ALL'ABITATO DI MIRABELLO (DPSH 1 E DPSH2)

<i>Ipotesi stratigrafica</i>	<i>Profondità (m)</i>	<i>Nspt di riferim. (*)</i>	<i>DR (%) (*)</i>	<i>Ø (°) (*)</i>	<i>Y_s (T/m3) (*)</i>	<i>Y (T/m3) (*)</i>	<i>Cu (Kpa) (*)</i>
Strato A	Da 0.0 m a 4.20 m circa	2	-	-	1.75	1.60	12.74
Strato B	Da 4.20 m circa a 6.20 m circa	3	-	-	1.78	1.63	37.24

dove:

NSPT = numero di colpi SPT correlati

(*) = vengono assunti cautelativamente come riferimento i valori medi minimi della campagna effettuata

Y (T/m3) = peso di volume del terreno

Y_s (T/m3) = peso di volume saturo del terreno

Ø (°) = angolo di attrito efficace

Cu (Kpa) = coesione non drenata

Al fine di rendere più chiara la situazione geologica-geotecnica e per riassumere quanto è stato scritto nei capitoli precedenti si è provveduto ad una ricostruzione, di massima, della probabile situazione stratigrafica usando come riferimento i dati raccolti attraverso le indagini dirette ed indirette effettuate in sito.

I dati ricavati dalle indagini svolte, indicano che l'area che ospiterà il nuovo impianto è interessata principalmente da terreni argillosi fino alla profondità di 10 m. E' possibile che esse possano essere

intercalate da lenti più sabbiose e/o limose ospitanti acqua di falda. Queste condizioni potrebbero essere riscontrabili nelle porzioni di aree più vicine al centro abitato di Mirabello.

<i>Ipotesi stratigrafica</i>	<i>Profondità (m)</i>	<i>Cu (Kpa) (*)</i>	<i>Descrizione</i>
Strato A	Da 0.0 m a 3.70 m circa	12.74	Argilla/argilla limosa
Strato B	Da 3.70 m circa a 7.20 m circa	37.24	Argilla
Strato C	Da 7.20 m circa a 10 m circa	141.12	Argilla più compatta

11.CONCLUSIONI

Nello svolgimento dell'incarico, il cui prodotto finale è la seguente relazione, si sono accertate le condizioni geologiche, geotecniche e sismiche del sito indagato.

Le risultanze principali sono le seguenti:

- I dati ricavati dalle indagini svolte, indicano che l'area che ospiterà il nuovo impianto è interessata principalmente da terreni argillosi fino alla profondità di 10 m. E' possibile che esse possano essere intercalate da lenti più sabbiose e/o limose ospitanti acqua di falda. Queste condizioni potrebbero essere riscontrabili nelle porzioni di aree più vicine al centro abitato di Mirabello.
- Durante le prove penetrometriche non è stata riscontrata la falda.
- Il terreno indagato ricade dal punto di vista sismico nella categoria di sottosuolo 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.") e di tipo D ("Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine a 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.")
- Le caratteristiche sismiche e quindi di risposta del sito agli eventuali eventi sismici sono quelle attese per siti analoghi;
- Le indagini sismiche hanno suffragato e contribuito a ricostruire in maniera univoca il modello geotecnico di cui sopra;
- Si ritiene che in fase esecutiva, particolare attenzione dovrà essere recepita dal progettista al fine di garantire costantemente la protezione dell'opera dai corsi d'acqua superficiali e garantire costantemente lo smaltimento delle acque meteoriche attraverso l'adozione di tutti i provvedimenti comunemente adottati (fossi di guardia, regimentazione a mezzo tubazioni ecc.); analoga cura dovrà essere posta nel confinamento dei lavori di scavo necessari.

Sulla base delle indagini effettuate e dei risultati analitici interpretativi, nel rispetto dei dati di caratterizzazione sopra riportati, da un punto di vista strettamente geologico, geomorfologico, geotecnico e idrologico, l'ipotesi strutturale di progetto appare congruente ed idonea alle condizioni del sito.

Serate, 27 Maggio 2025



BIBLIOGRAFIA

- Brinch-Hansen, J. [1970] "A Revised and Extended Formula for Bearing Capacity" The Danish Geotechnical Institute, Bull. n.28, Copenhagen.
- Burland, J.B. e Burbidge, M.C. (1984) "Settlement of Foundations on Sand and Gravel", Glasgow and West of Schotland Association, Centenary Literature
- Per la cartografia: <http://www.isprambiente.gov.it> (cartografia geologica)
- PUG-PRG-PSC-POC comune Terre Del Reno (FE)
- Sit Provincia di Ferrara
- Arpa Emilia-Romagna
- ADBPo web Gis

ALLEGATI

- Caratteristiche penetrometro
- Resistenze all'avanzamento riscontrate
- Parametri geotecnici terreno
- Risultati indagine MASW
- Risultati H.V.S.R.
- Risultati prove di permeabilità

PROVE PENETROMETRICHE MECCANICHE / ELETTRICHE

SCHEDA PENETROMETRO

riferimento **036-2025**

Committente: **Gridshape**
 Cantiere: **Nuovo impianto fotovoltaico**
 Località: **Terre del Reno (FE)**

TG63-200S

Pagani - Piacenza

Sigla	TG63-200S	Nominativo o sigla dello strumento
Beta eff.	1,12	Coefficiente Effettivo suggerito dal costruttore del penetrometro
M(massa)	63 kg	Massa del Maglio Battente agente sulla batteria di aste
H(maglio)	0,75 m	Altezza di caduta o corsa del maglio (toll. da 0.01m a 0.02m)
L(aste)	1,00 m	Lunghezza delle aste utilizzabili, variabile da 1.00m a 2.00m (toll. da 0.1% a 0.2%)
M(aste)	6,00 kg	Peso al metro lineare delle aste (N.B. indipendente dalla lunghezza delle aste)
M(sistema)		Massa del complesso asta di guida - testa di battuta
A(punta)	20,00 cm²	Area della superficie laterale del cono della punta
Alfa(punta)	90 °	Angolo di apertura della punta conica variabile tra 60° e 90°
Prf.(1°asta)	0,80 m	Profondità di giunzione della prima asta infissa
N	0,20 m	Penetrazione standard, tratto di penetrazione per quale sono necessari Nx colpi
Rivest.	Sì	Previsto uso di rivestimento delle aste o uso di fanghi
ø(punta)		Diametro della punta conica integra, cioè non soggetta ad usura (toll. da 0.3 a 0.5mm)
MaxCE%		Massima compressione elastica consentita rispetto alla penetrazione
L/DM		Rapporto tra la lunghezza e il diametro del maglio di battuta
D(tb)		Diametro della testa di battuta.
DEV(a)[<5m]		Deviazione massima delle aste dalla verticale nei primi 5.00 metri
DEV(a)[>5m]		Deviazione massima delle aste dalla verticale oltre i 5.00 metri
ECCmax(a)		Massima eccentricità consentita alle aste
Dest(aste)		Diametro esterno delle aste (toll. max 0.2mm)
Dint(aste)		Diametro interno delle aste cave (toll. da 0.2mm a 0.3mm)
Dmin(punta)		Minimo diametro consentito per la punta conica usurata
hcl(punta)		Altezza del cilindro alla base del cono della punta (toll. da 1.00mm a 2.00mm)
Ras(punta)		Rastremazione del cono nella parte alta
Hc(punta)		Altezza della parte conica della punta non soggetta ad usura (toll. da 0.1mm a 0.4mm)
RangeCP		Massimo numero di colpi utile
Spinta		Spinta nominale strumento

Lo sperimentatore:

Il direttore laboratorio: xxxxxx

Impianto fotovoltaico

LEGENDA VALORI DI RESISTENZA FATTORI DI CONVERSIONE

Strumento utilizzato:
TG63-200S - Pagani - Piacenza

Caratteristiche:

- punta conica meccanica $\varnothing$ 35.7 mm, area punta $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- punta conica meccanica angolo di apertura: $\alpha = 60^\circ$
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' ($\varnothing = 35.7 \text{ mm} - h = 133 \text{ mm} - A_m = 150 \text{ cm}^2$)
- velocità di avanzamento costante $V = 2 \text{ cm/sec}$ ($\pm 0,5 \text{ cm / sec}$)
- spinta max nominale dello strumento S_{max} variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione $CT = \text{SPINTA (Kg)} / \text{LETTURA DI CAMPAGNA}$
(dato tecnico legato alle caratteristiche del penetrometro utilizzato, fornito dal costruttore)

fase 1 - resistenza alla punta: $q_c \text{ (MPa)} = (L_1) \times CT / 10$

fase 2 - resistenza laterale locale: $f_s \text{ (kPa)} = [(L_2) - (L_1)] \times CT / 150$

fase 3 - resistenza totale : $R_t \text{ (kPa)} = (L_t) \times CT$

- Prima lettura = lettura di campagna durante l' infissione della sola punta (fase 1)
- Seconda lettura = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto (fase 2)
- Terza lettura = lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne (fase 3)

N.B. : la spinta $S \text{ (Kg)}$, corrispondente a ciascuna fase , si ottiene moltiplicando la corrispondente lettura di campagna L per la costante di trasformazione CT .

N.B. : causa la distanza intercorrente (20 cm circa) fra il centro del manicotto laterale e la punta conica del penetrometro , la resistenza laterale locale f_s viene computata 20 cm sopra la punta .

CONVERSIONI

1 kN (kiloNewton) = 1000 N $\approx$ 100 kg = 0,1 t

1 MN (megaNewton) = 1.000 kN = 1.000.000 N $\approx$ 100 t

1 kPa (kiloPascal) = 1 kN/m² = 0,001 MN/m² = 0,001 MPa $\approx$ 0,1 t/m² = 0,01 kg/cm²

1 MPa (megaPascal) = 1 MN/m² = 1.000 kN/m² = 1000 kPa $\approx$ 100 t/m² = 10 kg/cm²

1 kg/cm² = 10 t/m² $\approx$ 100 kN/m² = 100 kPa = 0,1 MN/m² = 0,1 MPa

1 t = 1000 kg $\approx$ 10 kN

LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE **CORRELAZIONI GENERALI**

Valutazioni in base al rapporto: $F = (q_c / f_s)$

Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977

Valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

$F = q_c / f_s$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F \leq 1470 \text{ kPa}$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$1470 \text{ kPa} < F \leq 2940 \text{ kPa}$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$2940 \text{ kPa} < F \leq 5880 \text{ kPa}$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 5880 \text{ kPa}$	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

**Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978),
ricavabili in base ai valori di q_c e di $FR = (f_s / q_c) \%$:**

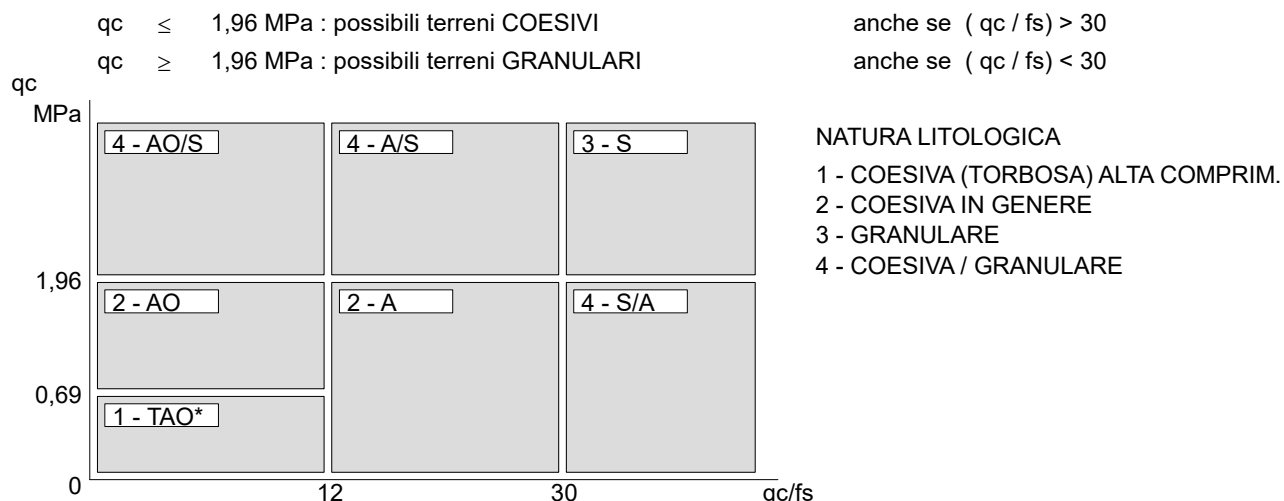
- AO	= argilla organica e terreni misti
- Att	= argilla (inorganica) molto tenera
- At	= argilla (inorganica) tenera
- Am	= argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac	= argilla (inorganica) consistente
- Acc	= argilla (inorganica) molto consistente
- ASL	= argilla sabbiosa e limosa
- SAL	= sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss	= sabbia sciolta
- Sm	= sabbia mediamente addensata
- Sd	= sabbia densa o cementata
- SC	= sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

- $1/3 \pm 1/2$ di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato (inalterato) , per depositi coesivi.

LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI SPECIFICHE TECNICHE

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto q_c / f_s (Begemann 1965 - A.G.I. 1977) prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :



PARAMETRI GEOTECNICI (validità orientativa) - simboli - correlazioni - bibliografia

- γ' = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [correlazioni : γ' - q_c - natura]
 (Terzaghi & Peck 1967 - Bowles 1982)
- σ'_{vo} = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno (valutata in base ai valori di γ')
- C_u = coesione non drenata (terreni coesivi) [correlazioni : C_u - q_c]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi) [correlazioni : OCR - C_u - σ'_{vo}]
 (Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983)
- E_u = modulo di deformazione non drenato (terreni coesivi) [correl. : E_u - C_u - OCR - I_p I_p = ind.plast.]
 E_{u50} - E_{u25} corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976)
- E' = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [correlazioni : E' - q_c]
 E'_{50} - E'_{25} corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza $F = 2 - 4$ rispettivamente)
 Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski ed altri 1983)
- M_o = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [correl. : M_o - q_c - natura]
 Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973)
- D_r = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati)
 [correlazioni : D_r - R_p - σ'_{vo} (Schmertmann 1976)]
- ϕ' = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C.) [correl. : ϕ' - D_r - q_c - σ'_{vo})
 ϕ'_{Ca} - Caquot (1948) ϕ'_{Ko} - Koppejan (1948)
 ϕ'_{DB} - De Beer (1965) ϕ'_{Sc} - Schmertmann (1978)
 ϕ'_{DM} - Durgunoglu & Mitchell (1975) (sabbie N.C.) ϕ'_{Me} - Meyerhof (1956 / 1976) (sabbie limose)
- $F.L.$ = fattore di liquefazione ($F.L.s$ = Sabbie Pulite, $F.L.l$ = Sabbie Limose)
- V_s = velocità di propagazione delle onde sismiche (Iyisan 1996)

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI	CPT	10
	riferimento	036-2025

Committente: Grid Shape	U.M.: MPa	Data esec.: 21/05/2025
Cantiere: Impianto fotovoltaico	Pagina: 1	Falda: Non rilevata
Località: Terre del rReno (FE)	Elaborato:	

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %
0,20	3,0	10,0		0,3	53,00	6	17,7								
0,40	3,0	11,0		0,3	53,00	6	17,7								
0,60	2,0	10,0		0,2	40,00	5	20,0								
0,80	7,0	13,0		0,7	153,00	5	21,9								
1,00	14,0	37,0		1,4	33,00	42	2,4								
1,20	8,0	13,0		0,8	33,00	24	4,1								
1,40	7,0	12,0		0,7	27,00	26	3,9								
1,60	15,0	19,0		1,5	80,00	19	5,3								
1,80	4,0	16,0		0,4	53,00	8	13,3								
2,00	6,0	14,0		0,6	87,00	7	14,5								
2,20	2,0	15,0		0,2	33,00	6	16,5								
2,40	12,0	17,0		1,2	60,00	20	5,0								
2,60	12,0	21,0		1,2	27,00	44	2,3								
2,80	7,0	11,0		0,7	40,00	18	5,7								
3,00	7,0	13,0		0,7	60,00	12	8,6								
3,20	3,0	12,0		0,3	60,00	5	20,0								
3,40	2,0	11,0		0,2	20,00	10	10,0								
3,60	8,0	11,0		0,8	27,00	30	3,4								
3,80	1,0	5,0		0,1	20,00	5	20,0								
4,00	6,0	9,0		0,6	20,00	30	3,3								
4,20	3,0	6,0		0,3	60,00	5	20,0								
4,40	1,0	10,0		0,1	47,00	2	47,0								
4,60	1,0	8,0		0,1	40,00	3	40,0								
4,80	4,0	10,0		0,4	40,00	10	10,0								
5,00	1,0	7,0		0,1	20,00	5	20,0								
5,20	1,0	4,0		0,1	27,00	4	27,0								
5,40	3,0	7,0		0,3	73,00	4	24,3								
5,60	1,0	12,0		0,1	47,00	2	47,0								
5,80	7,0	14,0		0,7	67,00	10	9,6								
6,00	1,0	11,0		0,1	80,00	1	80,0								
6,20	7,0	19,0		0,7	27,00	26	3,9								
6,40	3,0	7,0		0,3	47,00	6	15,7								
6,60	1,0	8,0		0,1	27,00	4	27,0								
6,80	1,0	5,0		0,1	40,00	3	40,0								
7,00	3,0	9,0		0,3	33,00	9	11,0								
7,20	4,0	9,0		0,4	33,00	12	8,3								
7,40	1,0	6,0		0,1	33,00	3	33,0								
7,60	1,0	6,0		0,1	47,00	2	47,0								
7,80	3,0	10,0		0,3	33,00	9	11,0								
8,00	6,0	11,0		0,6	47,00	13	7,8								
8,20	6,0	13,0		0,6	47,00	13	7,8								
8,40	4,0	11,0		0,4	20,00	20	5,0								
8,60	2,0	5,0		0,2	27,00	7	13,5								
8,80	10,0	14,0		1,0	47,00	21	4,7								
9,00	5,0	12,0		0,5	33,00	15	6,6								
9,20	1,0	6,0		0,1	33,00	3	33,0								
9,40	1,0	6,0		0,1	27,00	4	27,0								
9,60	3,0	7,0		0,3	33,00	9	11,0								
9,80	5,0	10,0		0,5	60,00	8	12,0								
10,00	4,0	13,0		0,4											

H = profondità L1 = prima lettura (punta) L2 = seconda lettura (punta + laterale) Lt = terza lettura (totale) CT =10,00 costante di trasformazione	qc = resistenza di punta fs = resistenza laterale calcolata alla stessa quota di qc F = rapporto Begemann (qc / fs) Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100	Lo sperimentatore: Il direttore laboratorio: xxxxxx
--	---	--

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI DI RESISTENZA

CPT

10

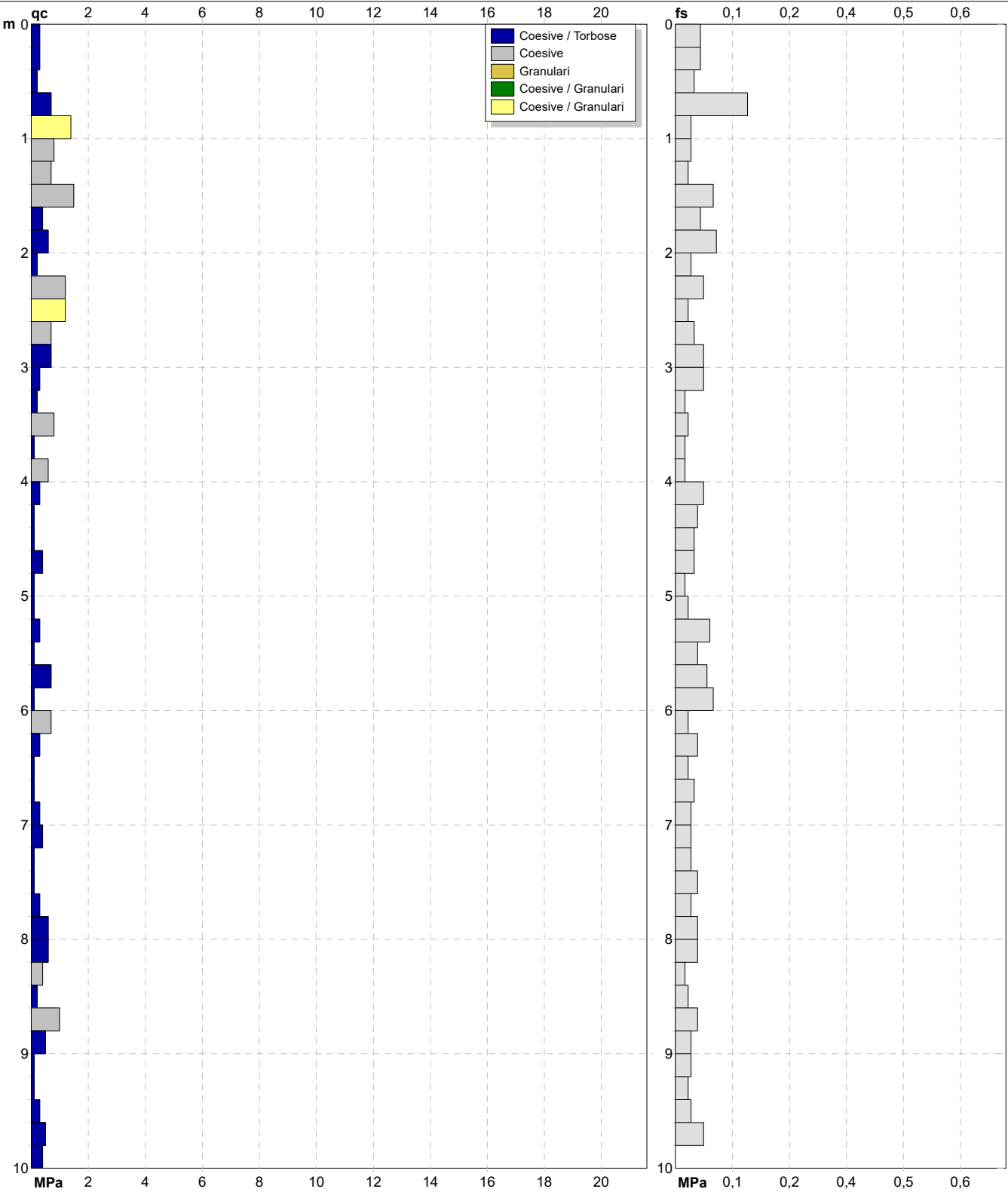
riferimento

036-2025

Committente: Grid Shape
Cantiere: Impianto fotovoltaico
Località: Terre del rReno (FE)

U.M.: MPa
Scala: 1:50
Pagina: 1
Elaborato:

Data eseg.: 21/05/2025
Quota inizio: Piano Campagna
Falda: Non rilevata



Penetrometro: TG63-200S
Responsabile: dr. Alberto Velicogna
Assistente:

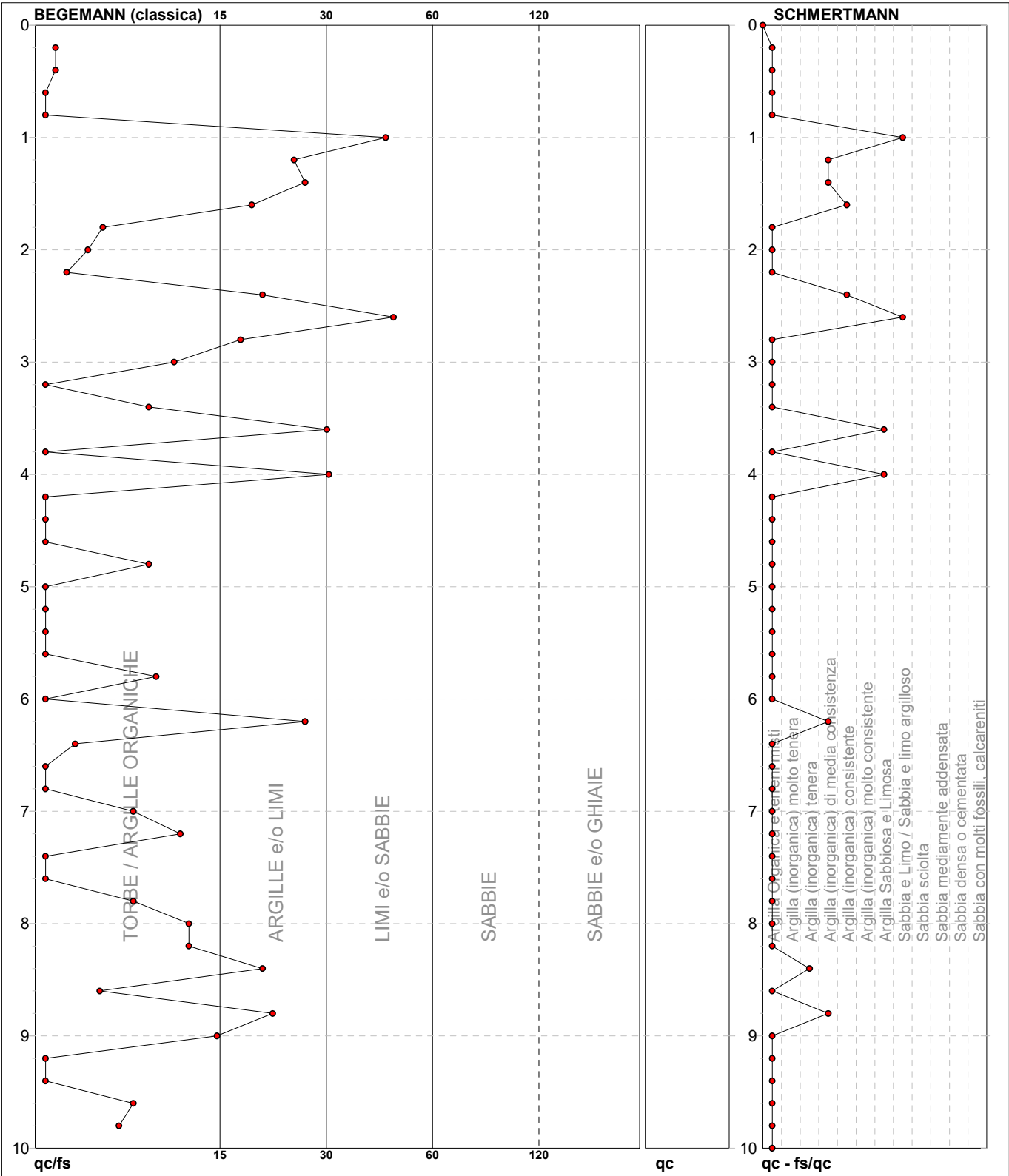
Corr.astine: kN/ml
Cod. punta:

Preforo: m
Lo sperimentatore:
Il direttore laboratorio: xxxxxx

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT	10
riferimento	036-2025

Committente: Grid Shape	U.M.: MPa	Data eseg.: 21/05/2025
Cantiere: Impianto fotovoltaico	Scala: 1:50	
Località: Terre del rReno (FE)	Pagina: 1	
	Elaborato:	Falda: Non rilevata



Torbe / Argille org. : 36 punti, 73,47%
Argille e/o Limi : 11 punti, 22,45%
Limi e/o Sabbie : 2 punti, 4,08%

Lo sperimentatore:
Il direttore laboratorio: xxxxxx

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA PARAMETRI GEOTECNICI	CPT	10
	riferimento	036-2025

Committente: Grid Shape	U.M.: MPa	Data esec.: 21/05/2025
Cantiere: Impianto fotovoltaico	Pagina: 1	
Località: Terre del rReno (FE)	Elaborato:	Falda: Non rilevata

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
Prof.	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'_{vo}	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	Sc	Ca	Ko	DB	DM	Me	FLs	FLI	E'50	E'25	Mo
m	U.M.			t/m³	kPa	m/s	kPa	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)			U.M.	U.M.	U.M.
0.20	0.3	5.7		1,85	3,6	84	14.7	36.1	0.6	0.9	0.4		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.40	0.3	5.7		1,85	7.3	84	14.7	15.2	0.6	0.9	0.4		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.60	0.2	5.0		1,85	10.9	72	9.8	5.5	0.6	0.9	0.3		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.80	0.7	4.6		1,85	14.5	115	34.3	18.4	1.4	2.1	1.0		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.00	1.4	42.4		1,85	18.1	150	62.4	29.4	10.6	15.9	4.7	46	37	31	28	26	35	26	--	--	2.3	3.4	4.1
1.20	0.8	24.2		1,85	21.8	121	39.2	13.1	6.7	10.0	3.4		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.40	0.7	25.9		1,85	25.4	115	34.3	9.1	6.0	9.0	3.2		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.60	1.5	18.8		1,85	29.0	154	65.3	17.3	11.1	16.7	4.9		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.80	0.4	7.5		1,85	32.6	93	19.6	3.3	1.8	2.7	0.6		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.00	0.6	6.9		1,85	36.3	109	29.4	4.8	1.9	2.8	0.9		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.20	0.2	6.1		1,85	39.9	72	9.8	1.1	1.3	1.9	0.3		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.40	1.2	20.0		1,85	43.5	141	56.0	8.6	10.3	15.5	4.4		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.60	1.2	44.4		1,85	47.1	141	56.0	7.8	11.4	17.1	4.4	17	33	26	23	21	29	26	--	--	2.0	2.9	3.5
2.80	0.7	17.5		1,85	50.8	115	34.3	3.8	14.3	21.4	3.2		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.00	0.7	11.7		1,85	54.4	115	34.3	3.5	2.9	4.4	1.0		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.20	0.3	5.0		1,85	58.0	84	14.7	1.1	1.9	2.9	0.4		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.40	0.2	10.0		1,85	61.6	72	9.8	0.6	1.3	1.9	0.3		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.60	0.8	29.6		1,85	65.3	121	39.2	3.3	18.3	27.4	3.4		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.80	0.1	5.0		1,85	68.9	55	4.9	0.2	0.6	1.0	0.1		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.00	0.6	30.0		1,85	72.5	109	29.4	2.0	16.4	24.6	2.8		31	20	17	16	25	26	--	--	1.0	1.5	1.8
4.20	0.3	5.0		1,85	76.1	84	14.7	0.8	1.9	2.9	0.4		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.40	0.1	2.1		1,85	79.8	55	4.9	0.2	0.6	1.0	0.1		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.60	0.1	2.5		1,85	83.4	55	4.9	0.2	0.6	1.0	0.1		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4.80	0.4	10.0		1,85	87.0	93	19.6	1.0	2.5	3.8	0.6		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.00	0.1	5.0		1,85	90.7	55	4.9	0.2	0.6	1.0	0.1		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.20	0.1	3.7		1,85	94.3	55	4.9	0.2	0.6	1.0	0.1		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.40	0.3	4.1		1,85	97.9	84	14.7	0.6	1.9	2.9	0.4		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.60	0.1	2.1		1,85	101.5	55	4.9	0.1	0.6	1.0	0.1		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.80	0.7	10.4		1,85	105.2	115	34.3	1.5	4.3	6.5	1.0		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.00	0.1	1.3		1,85	108.8	55	4.9	0.1	0.6	1.0	0.1		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.20	0.7	25.9		1,85	112.4	115	34.3	1.4	20.1	30.2	3.2		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.40	0.3	6.4		1,85	116.0	84	14.7	0.5	1.9	2.9	0.4		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.60	0.1	3.7		1,85	119.7	55	4.9	0.1	0.6	1.0	0.1		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.80	0.1	2.5		1,85	123.3	55	4.9	0.1	0.6	1.0	0.1		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.00	0.3	9.1		1,85	126.9	84	14.7	0.4	1.9	2.9	0.4		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.20	0.4	12.1		1,85	130.5	93	19.6	0.6	2.5	3.8	0.6		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.40	0.1	3.0		1,85	134.2	55	4.9	0.1	0.6	1.0	0.1		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.60	0.1	2.1		1,85	137.8	55	4.9	0.1	0.6	1.0	0.1		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.80	0.3	9.1		1,85	141.4	84	14.7	0.4	1.9	2.9	0.4		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.00	0.6	12.8		1,85	145.0	109	29.4	0.9	3.8	5.7	0.9		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.20	0.6	12.8		1,85	148.7	109	29.4	0.8	3.8	5.7	0.9		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.40	0.4	20.0		1,85	152.3	93	19.6	0.5	11.8	17.6	2.0		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.60	0.2	7.4		1,85	155.9	72	9.8	0.2	1.3	1.9	0.3		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8.80	1.0	21.3		1,85	159.5	132	49.0	1.4	28.7	43.1	3.9		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.00	0.5	15.2		1,85	163.2	101	24.5	0.6	14.7	22.1	2.5		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.20	0.1	3.0		1,85	166.8	55	4.9	0.1	0.6	1.0	0.1		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.40	0.1	3.7		1,85	170.4	55	4.9	0.1	0.6	1.0	0.1		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.60	0.3	9.1		1,85	174.0	84	14.7	0.3	1.9	2.9	0.4		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9.80	0.5	8.3		1,85	177.7	101	24.5	0.5	3.2	4.8	0.7		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10.00	0.4	--		1,85	181.3	93	--	--	--	--	--	--	31	14	10	10	25	25	--	--	0.7	1.0	1.2

LEGENDA SPECIFICHE TECNICHE PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

DIVERSE TIPOLOGIE DI PENETROMETRI DINAMICI

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ), misurando il numero di colpi N necessari.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti :

- peso massa battente M
- altezza libera caduta H
- punta conica : diametro base cono D , area base A (angolo di apertura α)
- avanzamento (penetrazione δ)
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici) .

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella più sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

DIVERSE TIPOLOGIE DI PENETROMETRI DINAMICI Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici

Tipo	Sigla di riferimento	massa battente	prof.max indagine
Leggero	DPL (Light)	$M \div 10$	8 m
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25 m
Pesante	DPH (Heavy)	$40 < M < 60$	25 m
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	$M > 60$	> 25 m

Per la visione delle caratteristiche tecniche dei penetrometri, si rimanda alla sezione EDITOR PENETROMETRI.

I PENETROMETRI dinamici in uso in Italia risultano essere i seguenti (non rientranti però nello Standard ISSMFE) :

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)

massa battente M = 30 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento $\delta \approx 10$ cm, punta conica ($\alpha \approx 60-90^\circ$), diametro D = 35.7 mm, area base cono A = 10 cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)

massa battente M = 20 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento $\delta \approx 10$ cm, punta conica ($\alpha \approx 60-90^\circ$), diametro D = 35.7 mm, area base cono A = 10 cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto

- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SCPT) (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)

massa battente M = 73 kg, altezza di caduta H = 0.75 m, avanzamento $\delta \approx 30$ cm, punta conica ($\alpha \approx 60^\circ$), diametro D = 50.8 mm, area base cono A = 20.27 cm² rivestimento : previsto secondo precise indicazioni

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)

massa battente M = 63.5 kg, altezza caduta H = 0.75 m, avanzamento $\delta \approx 20-30$ cm, punta conica ($\alpha \approx 60^\circ$), diametro D = 50.5 mm , area base cono A = 20 cm², rivestimento / fango bentonitico : talora previsto .

PROVE PENETROMETRICHE MECCANICHE / ELETTRICHE

SCHEDA PENETROMETRO

riferimento **036-2025**

Committente: **Gridshape**
 Cantiere: **Nuovo impianto fotovoltaico**
 Località: **Terre del Reno (FE)**

DPSH (S. Heavy)

DPSH (S. Heavy)

Sigla	DPSH (S. Heavy)	Minimativo o sigla dello strumento
Beta eff.	1,80	Coefficiente Effettivo suggerito dal costruttore del penetrometro
M(massa)	64 kg	Massa del Maglio Battente agente sulla batteria di aste
H(maglio)	0,75 m	Altezza di caduta o corsa del maglio (toll. da 0.01m a 0.02m)
L(aste)	1,00 m	Lunghezza delle aste utilizzabili, variabile da 1.00m a 2.00m (toll. da 0.1% a 0.2%)
M(aste)	8,00 kg	Peso al metro lineare delle aste (N.B. indipendente dalla lunghezza delle aste)
M(sistema)	30 kg	Massa del complesso asta di guida - testa di battuta
A(punta)	20,00 cm²	Area della superficie laterale del cono della punta
Alfa(punta)	90 °	Angolo di apertura della punta conica variabile tra 60° e 90°
Prf.(1°asta)	0,80 m	Profondità di giunzione della prima asta infissa
N	0,20 m	Penetrazione standard, tratto di penetrazione per quale sono necessari Nx colpi
Rivest.	Sì	Previsto uso di rivestimento delle aste o uso di fanghi
ø(punta)	50,50 mm	Diametro della punta conica integra, cioè non soggetta ad usura (toll. da 0.3 a 0.5mm)
MaxCE%	50,00 %	Massima compressione elastica consentita rispetto alla penetrazione
L/DM	2,00	Rapporto tra la lunghezza e il diametro del maglio di battuta
D(tb)	100,00 mm	Diametro della testa di battuta.
DEV(a)[<5m]	2,00 °	Deviazione massima delle aste dalla verticale nei primi 5.00 metri
DEV(a)[>5m]	1,00 °	Deviazione massima delle aste dalla verticale oltre i 5.00 metri
ECCmax(a)	0,02 mm	Massima eccentricità consentita alle aste
Dest(aste)	32,00 mm	Diametro esterno delle aste (toll. max 0.2mm)
Dint(aste)		Diametro interno delle aste cave (toll. da 0.2mm a 0.3mm)
Dmin(punta)	49,00 mm	Minimo diametro consentito per la punta conica usurata
hcl(punta)	50,50 mm	Altezza del cilindro alla base del cono della punta (toll. da 1.00mm a 2.00mm)
Ras(punta)	11,00 mm	Rastremazione del cono nella parte alta
Hc(punta)		Altezza della parte conica della punta non soggetta ad usura (toll. da 0.1mm a 0.4mm)
RangeCP	5 - 100	Massimo numero di colpi utile
Spinta	t	Spinta nominale strumento

Lo sperimentatore:

Il direttore laboratorio: xxxxxx

Nuovo impianto fotovoltaico

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA LETTURE DI CAMPAGNA PUNTA E/O TOTALE	DIN	1
	riferimento	036-2025

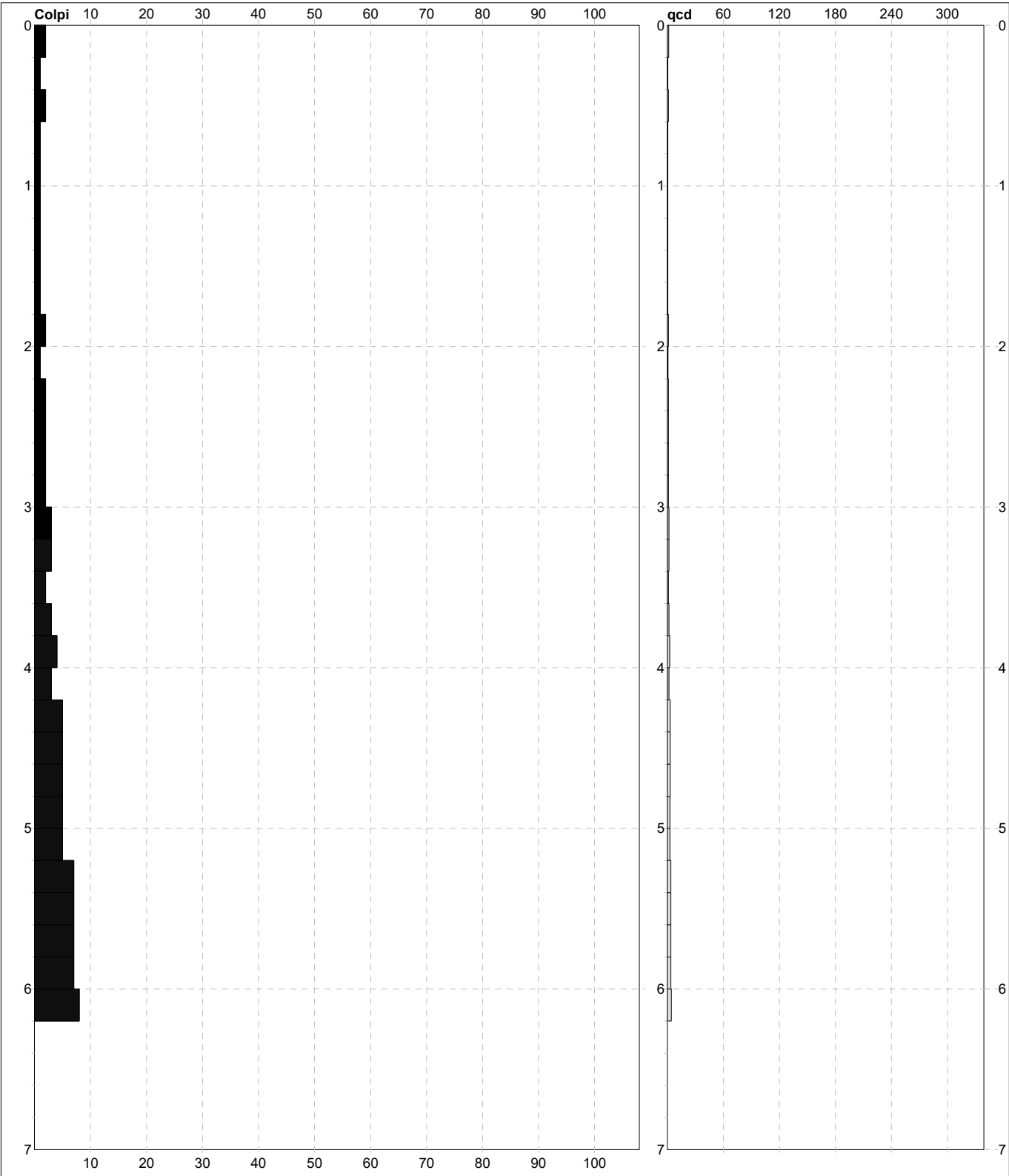
Committente: Gridshape	U.M.: MPa	Data esec.: 23/04/2025
Cantiere: Nuovo impianto fotovoltaico	Pagina: 1	Falda: Non rilevata
Località: Terre del Reno (FE)	Elaborato:	

H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd MN/m²	H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd MN/m²
0,20	1	2		1,5					
0,40	1	1		0,5					
0,60	2	2		1,0					
0,80	2	1		0,5					
1,00	2	1		0,5					
1,20	2	1		0,5					
1,40	2	1		0,5					
1,60	3	1		0,5					
1,80	3	1		0,5					
2,00	3	2		1,3					
2,20	3	1		0,6					
2,40	3	2		1,3					
2,60	4	2		1,3					
2,80	4	2		1,3					
3,00	4	2		1,2					
3,20	4	3		1,8					
3,40	4	3		1,8					
3,60	5	2		1,2					
3,80	5	3		1,8					
4,00	5	4		2,2					
4,20	5	3		1,7					
4,40	5	5		2,8					
4,60	6	5		2,8					
4,80	6	5		2,8					
5,00	6	5		2,6					
5,20	6	5		2,6					
5,40	6	7		3,7					
5,60	7	7		3,7					
5,80	7	7		3,7					
6,00	7	7		3,5					
6,20	7	8		4,0					

H = profondità L1 = prima lettura (colpi punta) L2 = seconda lettura (colpi rivestimento)	qcd = resistenza dinamica punta Asta = numero di asta impiegata	Lo sperimentatore: Il direttore laboratorio: xxxxxx
---	--	--

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMI COLPI / RESISTENZA	DIN	1
	riferimento	036-2025

Committente: Gridshape	Quota ass.: Piano Campagna	U.M.: MPa	Data esec.: 23/04/2025
Cantiere: Nuovo impianto fotovoltaico		Scala: 1:35	
Località: Terre del Reno (FE)		Pagina: 1	
		Elaborato:	Falda: Non rilevata



Responsabile: dr. Alberto Velicogna	Corr.astine: kN/ml	Preforo: m
Assistente:	Cod.ISTAT: 0	Lo sperimentatore:
		Il direttore laboratorio: xxxxxx

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUDDIVISIONE GEOTECNICA	DIN	1
	riferimento	036-2025

Committente: Gridshape	U.M.: MPa	Data esec.: 23/04/2025
Cantiere: Nuovo impianto fotovoltaico	Pagina: 1	Falda: Non rilevata
Località: Terre del Reno (FE)	Elaborato:	

PARAMETRI GENERALI

n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	rp MPa	qc MPa	Vs m/sec	G MPa	Q MPa	natura	descrizione
1	0,00 : 3,20	minimo	1	1,52	2	0,0.52	0,0.49	23	84	0,26	Coesiva	Argilla limosa sabbiosa
2	3,20 : 6,20	minimo	2	1,52	3	0,1.22	0,0.81	30	112	0,60	Coesiva	Argilla

	NATURA COESIVA	NATURA GRANULARE
--	-----------------------	-------------------------

n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kPa	Ysat t/m³	W %	e -	Mo MPa	Dr %	ϕ °	E' MPa	Ysat t/m³	Yd t/m³	Mo MPa	Liq. -
1	0,00 : 3,20	2	12,74	1,75	46,91	1,27	0,26	---	---	---	---	---	---	---
2	3,20 : 6,20	3	18,62	1,78	44,21	1,19	0,29	---	---	---	---	---	---	---

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA LETTURE DI CAMPAGNA PUNTA E/O TOTALE	DIN	2
	riferimento	036-2025

Committente: Gridshape	U.M.: MPa	Data esec.: 23/04/2025
Cantiere: Nuovo impianto fotovoltaico	Pagina: 1	Falda: Non rilevata
Località: Terre del Reno (FE)	Elaborato:	

H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd MN/m²	H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd MN/m²
0,20	1	1		0,7					
0,40	1	1		0,5					
0,60	2	1		0,5					
0,80	2	1		0,5					
1,00	2	1		0,5					
1,20	2	1		0,5					
1,40	2	1		0,5					
1,60	3	2		1,0					
1,80	3	1		0,5					
2,00	3	2		1,0					
2,20	3	2		1,0					
2,40	3	2		1,0					
2,60	4	2		1,0					
2,80	4	1		0,5					
3,00	4	3		1,5					
3,20	4	2		1,0					
3,40	4	2		1,0					
3,60	5	2		1,0					
3,80	5	2		1,0					
4,00	5	3		1,5					
4,20	5	2		1,0					
4,40	5	3		1,5					
4,60	6	2		1,0					
4,80	6	4		2,0					
5,00	6	6		3,0					
5,20	6	6		3,0					
5,40	6	7		3,5					
5,60	7	6		3,0					
5,80	7	6		3,0					
6,00	7	8		4,0					
6,20	7	7		3,5					

H = profondità L1 = prima lettura (colpi punta) L2 = seconda lettura (colpi rivestimento)	qcd = resistenza dinamica punta Asta = numero di asta impiegata	Lo sperimentatore: Il direttore laboratorio: xxxxxx
---	--	--

Committente: Gridshape

Quota ass.: Piano Campagna

U.M.: MPa

Data esec.: 23/04/2025

Cantiere: Nuovo impianto fotovoltaico

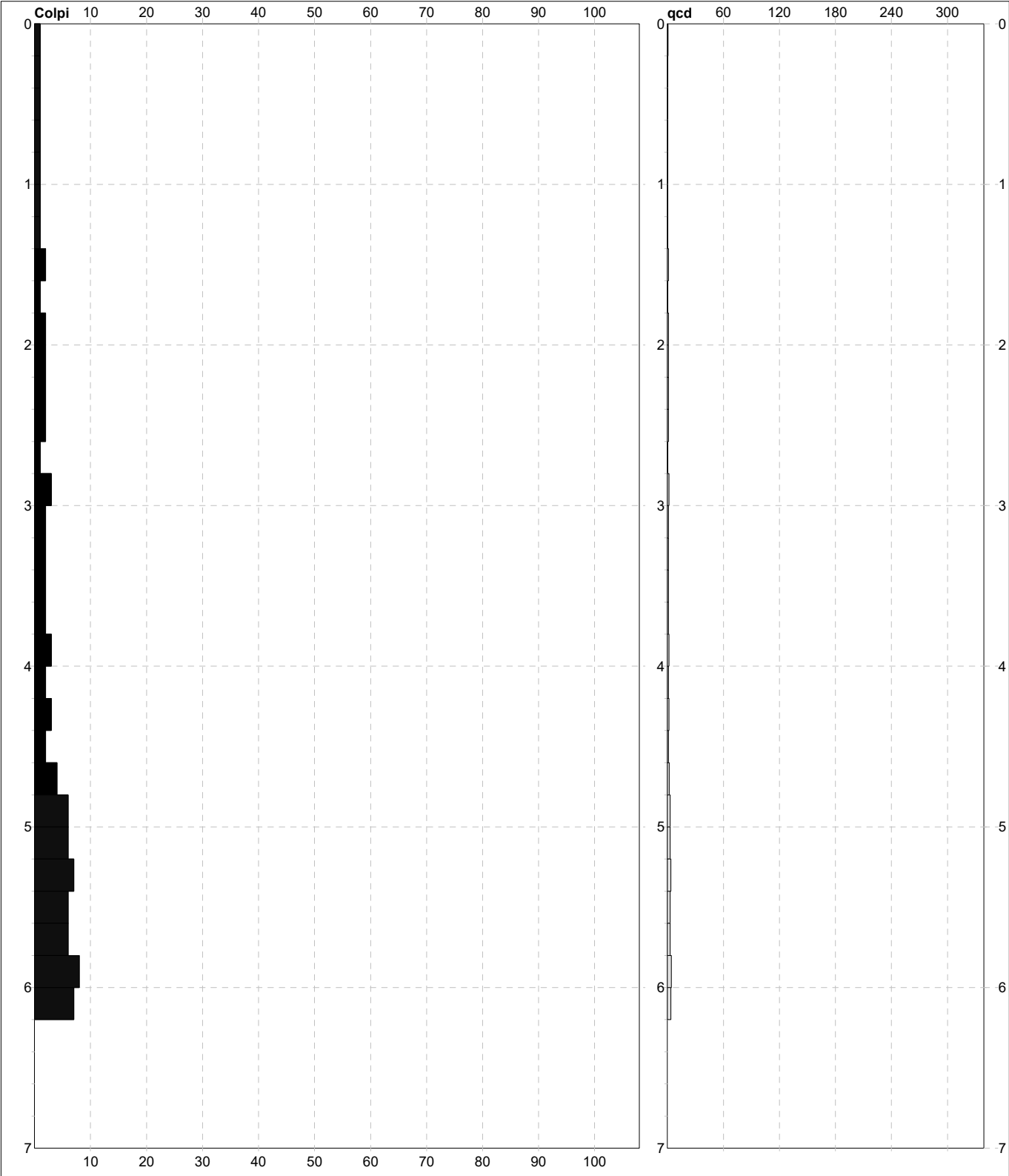
Scala: 1:35

Elaborato: 1

Falda: Non rilevata

Località: Terre del Reno (FE)

Pagina: 1



Responsabile: dr. Alberto Velicogna

Assistente:

Corr.astine: kN/ml

Cod.ISTAT: 0

Preforo: m

Lo sperimentatore:

Il direttore laboratorio: xxxxxx

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUDDIVISIONE GEOTECNICA	DIN	2
	riferimento	036-2025

Committente: Gridshape	U.M.: MPa	Data esec.: 23/04/2025
Cantiere: Nuovo impianto fotovoltaico	Pagina: 1	Falda: Non rilevata
Località: Terre del Reno (FE)	Elaborato:	

PARAMETRI GENERALI												
n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	rp MPa	qc MPa	Vs m/sec	G MPa	Q MPa	natura	descrizione
1	0,00 : 1,40	minimo	1	1,52	2	0,0.52	0,0.53	23	72	0,26	Coesiva	Argilla
2	1,40 : 4,80	minimo	1	1,52	2	0,0.52	0,0.43	23	96	0,26	Coesiva	Argilla limosa sabbiosa
3	4,80 : 6,20	minimo	6	1,52	9	0,3.09	0,2.29	64	139	1,52	Coesiva	Argilla

			NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE						
n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kPa	Ysat t/m³	W %	e -	Mo MPa	Dr %	ø °	E' MPa	Ysat t/m³	Yd t/m³	Mo MPa	Liq. -
1	0,00 : 1,40	2	12,74	1,75	46,91	1,27	0,26	---	---	---	---	---	---	---
2	1,40 : 4,80	2	12,74	1,75	46,91	1,27	0,26	---	---	---	---	---	---	---
3	4,80 : 6,20	9	54,88	1,89	34,00	0,92	0,45	---	---	---	---	---	---	---

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA LETTURE DI CAMPAGNA PUNTA E/O TOTALE	DIN	3
	riferimento	036-2025

Committente: Gridshape	U.M.: MPa	Data esec.: 23/04/2025
Cantiere: Nuovo impianto fotovoltaico	Pagina: 1	Falda: Non rilevata
Località: Terre del Reno (FE)	Elaborato:	

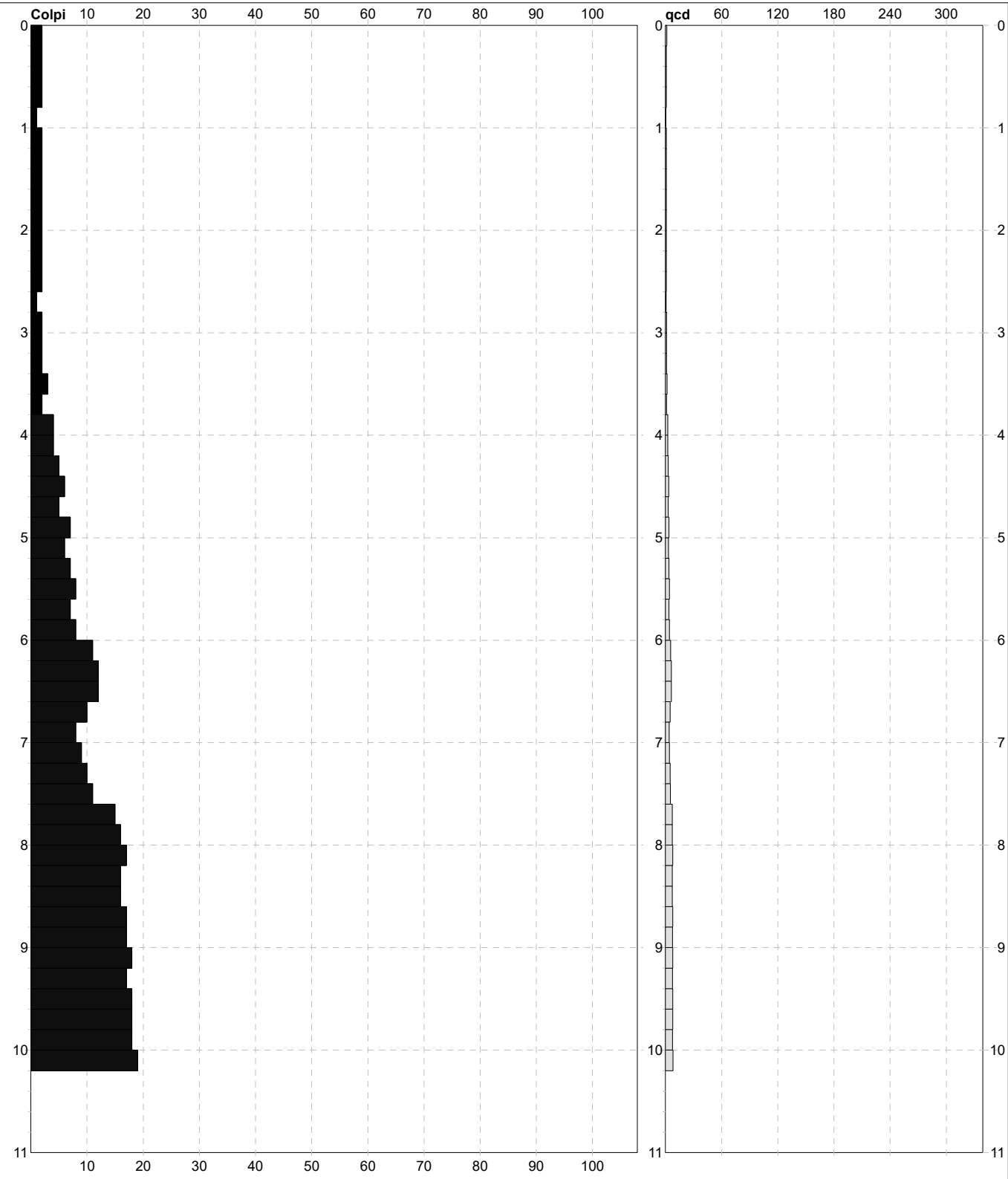
H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd MN/m²	H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd MN/m²
0,20	1	2		1,5					
0,40	1	2		0,8					
0,60	2	2		0,8					
0,80	2	2		0,8					
1,00	2	1		0,4					
1,20	2	2		0,8					
1,40	2	2		0,8					
1,60	3	2		0,8					
1,80	3	2		0,8					
2,00	3	2		0,8					
2,20	3	2		0,8					
2,40	3	2		0,8					
2,60	4	2		0,8					
2,80	4	1		0,6					
3,00	4	2		1,2					
3,20	4	2		1,2					
3,40	4	2		1,2					
3,60	5	3		1,8					
3,80	5	2		1,2					
4,00	5	4		2,2					
4,20	5	4		2,2					
4,40	5	5		2,8					
4,60	6	6		3,3					
4,80	6	5		2,8					
5,00	6	7		3,7					
5,20	6	6		3,1					
5,40	6	7		3,7					
5,60	7	8		4,2					
5,80	7	7		3,7					
6,00	7	8		4,0					
6,20	7	11		5,4					
6,40	7	12		5,9					
6,60	8	12		5,9					
6,80	8	10		5,0					
7,00	8	8		3,8					
7,20	8	9		4,2					
7,40	8	10		4,7					
7,60	9	11		5,2					
7,80	9	15		7,1					
8,00	9	16		7,2					
8,20	9	17		7,6					
8,40	9	16		7,2					
8,60	10	16		7,2					
8,80	10	17		7,6					
9,00	10	17		7,3					
9,20	10	18		7,7					
9,40	10	17		7,3					
9,60	11	18		7,7					
9,80	11	18		7,7					
10,00	11	18		7,4					
10,20	11	19		7,8					

H = profondità L1 = prima lettura (colpi punta) L2 = seconda lettura (colpi rivestimento)	qcd = resistenza dinamica punta Asta = numero di asta impiegata	Lo sperimentatore: Il direttore laboratorio: xxxxxx
---	--	--

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMI COLPI / RESISTENZA

DIN	3
riferimento	036-2025

Committente: Gridshape	Quota ass.: Piano Campagna	U.M.: MPa	Data esec.: 23/04/2025
Cantiere: Nuovo impianto fotovoltaico		Scala: 1:55	
Località: Terre del Reno (FE)		Pagina: 1	
		Elaborato:	Falda: Non rilevata



Responsabile: dr. Alberto Velicogna	Corr.astine: kN/ml	Preforo: m
Assistente:	Cod.ISTAT: 0	Lo sperimentatore:
		Il direttore laboratorio: xxxxxx

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUDDIVISIONE GEOTECNICA	DIN	3
	riferimento	036-2025

Committente: Gridshape	U.M.: MPa	Data esec.: 23/04/2025
Cantiere: Nuovo impianto fotovoltaico	Pagina: 1	Falda: Non rilevata
Località: Terre del Reno (FE)	Elaborato:	

PARAMETRI GENERALI												
n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	rp MPa	qc MPa	Vs m/sec	G MPa	Q MPa	natura	descrizione
1	0,00 : 3,80	minimo	1	1,52	2	0,0.43	0,0.49	23	87	0,21	Coesiva	Argilla limosa sabbiosa
2	3,80 : 7,60	minimo	4	1,52	6	0,2.32	0,1.53	49	131	1,14	Coesiva	Argilla
3	7,60 : 10,20	minimo	15	1,52	23	0,7.35	0,4.90	121	179	3,60	Coesiva	Argilla

			NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE						
n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kPa	Ysat t/m³	W %	e -	Mo MPa	Dr %	ø °	E' MPa	Ysat t/m³	Yd t/m³	Mo MPa	Liq. -
1	0,00 : 3,80	2	12,74	1,75	46,91	1,27	0,26	---	---	---	---	---	---	---
2	3,80 : 7,60	6	37,24	1,85	37,04	1,00	0,37	---	---	---	---	---	---	---
3	7,60 : 10,20	23	141,12	2,06	22,58	0,61	0,77	---	---	---	---	---	---	---

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA LETTURE DI CAMPAGNA PUNTA E/O TOTALE	DIN	4
	riferimento	036-2025

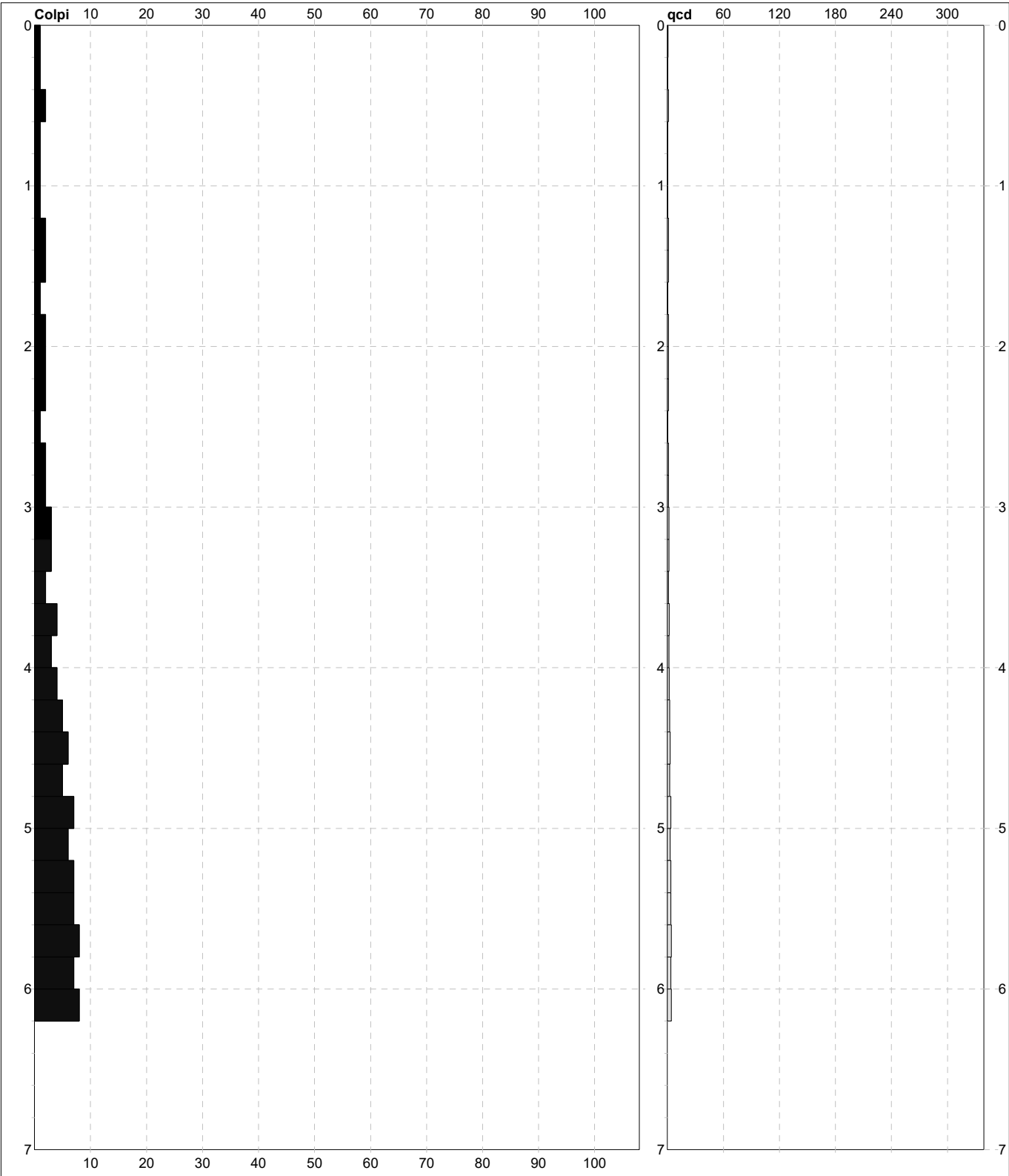
Committente: Gridshape	U.M.: MPa	Data esec.: 23/04/2025
Cantiere: Nuovo impianto fotovoltaico	Pagina: 1	Falda: da p.c.
Località: Terre del Reno (FE)	Elaborato:	

H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd MN/m²	H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd MN/m²
0,20	1	1		0,7					
0,40	1	1		0,5					
0,60	2	2		1,0					
0,80	2	1		0,5					
1,00	2	1		0,5					
1,20	2	1		0,5					
1,40	2	2		1,0					
1,60	3	2		1,0					
1,80	3	1		0,5					
2,00	3	2		1,0					
2,20	3	2		1,0					
2,40	3	2		1,0					
2,60	4	1		0,5					
2,80	4	2		1,0					
3,00	4	2		1,0					
3,20	4	3		1,5					
3,40	4	3		1,5					
3,60	5	2		1,0					
3,80	5	4		2,0					
4,00	5	3		1,5					
4,20	5	4		2,0					
4,40	5	5		2,5					
4,60	6	6		3,0					
4,80	6	5		2,5					
5,00	6	7		3,5					
5,20	6	6		3,0					
5,40	6	7		3,5					
5,60	7	7		3,5					
5,80	7	8		4,0					
6,00	7	7		3,5					
6,20	7	8		4,0					

H = profondità L1 = prima lettura (colpi punta) L2 = seconda lettura (colpi rivestimento)	qcd = resistenza dinamica punta Asta = numero di asta impiegata	Lo sperimentatore: Il direttore laboratorio: xxxxxx
---	--	--

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMI COLPI / RESISTENZA	DIN	4
	riferimento	036-2025

Committente: Gridshape	Quota ass.: Piano Campagna	U.M.: MPa	Data esec.: 23/04/2025
Cantiere: Nuovo impianto fotovoltaico		Scala: 1:35	
Località: Terre del Reno (FE)		Pagina: 1	Falda: da p.c.
		Elaborato:	



Responsabile: dr. Alberto Velicogna	Corr.astine: kN/ml	Preforo: m
Assistente:	Cod.ISTAT: 0	Lo sperimentatore:
		Il direttore laboratorio: xxxxxx

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUDDIVISIONE GEOTECNICA	DIN	4
	riferimento	036-2025

Committente: Gridshape	U.M.: MPa	Data esec.: 23/04/2025
Cantiere: Nuovo impianto fotovoltaico	Pagina: 1	
Località: Terre del Reno (FE)	Elaborato:	Falda: da p.c.

PARAMETRI GENERALI												
n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	rp MPa	qc MPa	Vs m/sec	G MPa	Q MPa	natura	descrizione
1	0,00 : 3,20	minimo	1	1,52	2	0,0.52	0,0.49	23	84	0,26	Coesiva	Argilla limosa sabbiosa
2	3,20 : 6,20	minimo	2	1,52	3	0,1.03	0,0.81	30	112	0,51	Coesiva	Argilla

			NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE						
n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kPa	Ysat t/m³	W %	e -	Mo MPa	Dr %	ø °	E' MPa	Ysat t/m³	Yd t/m³	Mo MPa	Liq. -
1	0,00 : 3,20	2	12,74	1,75	46,91	1,27	0,26	---	---	---	---	---	---	---
2	3,20 : 6,20	3	18,62	1,78	44,21	1,19	0,29	---	---	---	---	---	---	---

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA LETTURE DI CAMPAGNA PUNTA E/O TOTALE	DIN	5
	riferimento	036-2025

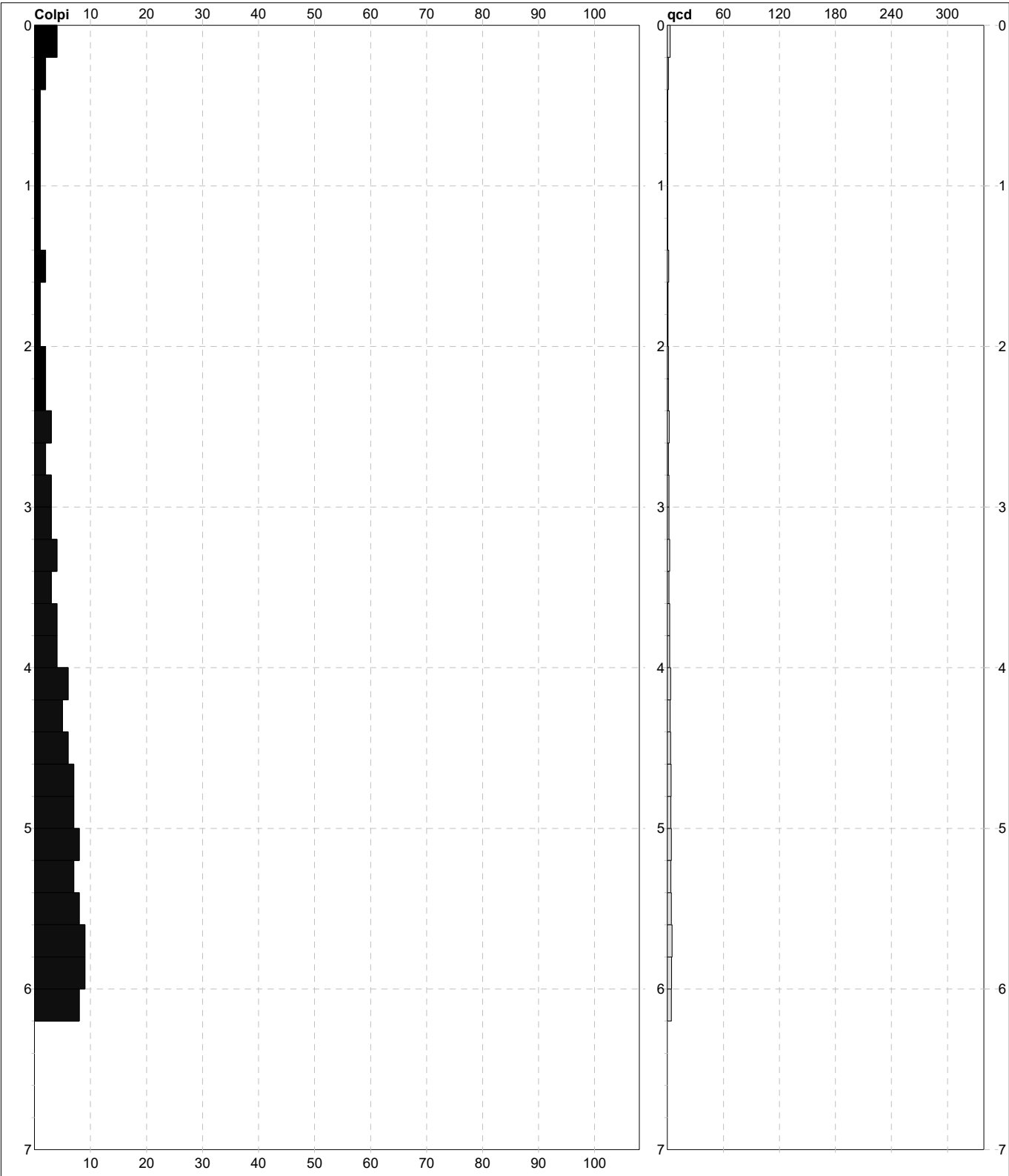
Committente: Gridshape	U.M.: MPa	Data esec.: 23/04/2025
Cantiere: Nuovo impianto fotovoltaico	Pagina: 1	Falda: Non rilevata
Località: Terre del Reno (FE)	Elaborato:	

H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd MN/m²	H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd MN/m²
0,20	1	4		2,9					
0,40	1	2		1,0					
0,60	2	1		0,5					
0,80	2	1		0,5					
1,00	2	1		0,5					
1,20	2	1		0,5					
1,40	2	1		0,5					
1,60	3	2		1,4					
1,80	3	1		0,7					
2,00	3	1		0,6					
2,20	3	2		1,3					
2,40	3	2		1,3					
2,60	4	3		1,9					
2,80	4	2		1,3					
3,00	4	3		1,8					
3,20	4	3		1,8					
3,40	4	4		2,4					
3,60	5	3		1,8					
3,80	5	4		2,4					
4,00	5	4		2,2					
4,20	5	6		3,3					
4,40	5	5		2,8					
4,60	6	6		3,3					
4,80	6	7		3,9					
5,00	6	7		3,7					
5,20	6	8		4,2					
5,40	6	7		3,7					
5,60	7	8		4,2					
5,80	7	9		4,7					
6,00	7	9		4,5					
6,20	7	8		4,0					

H = profondità L1 = prima lettura (colpi punta) L2 = seconda lettura (colpi rivestimento)	qcd = resistenza dinamica punta Asta = numero di asta impiegata	Lo sperimentatore: Il direttore laboratorio: xxxxxx
---	--	--

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMI COLPI / RESISTENZA	DIN	5
	riferimento	036-2025

Committente: Gridshape	Quota ass.: Piano Campagna	U.M.: MPa	Data esec.: 23/04/2025
Cantiere: Nuovo impianto fotovoltaico		Scala: 1:35	
Località: Terre del Reno (FE)		Pagina: 1	
		Elaborato:	Falda: Non rilevata



Responsabile: dr. Alberto Velicogna	Corr.astine: kN/ml	Preforo: m
Assistente:	Cod.ISTAT: 0	Lo sperimentatore:
		Il direttore laboratorio: xxxxxx

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUDDIVISIONE GEOTECNICA	DIN	5
	referimento	036-2025

Committente: Gridshape	U.M.: MPa	Data esec.: 23/04/2025
Cantiere: Nuovo impianto fotovoltaico	Pagina: 1	
Località: Terre del Reno (FE)	Elaborato:	Falda: Non rilevata

PARAMETRI GENERALI												
n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	rp MPa	qc MPa	Vs m/sec	G MPa	Q MPa	natura	descrizione
1	0,00 : 2,40	minimo	1	1,52	2	0,0.52	0,0.49	23	80	0,26	Coesiva	Argilla limosa sabbiosa
2	2,40 : 5,00	minimo	2	1,52	3	0,1.32	0,0.86	30	106	0,65	Coesiva	Argilla
3	5,00 : 6,20	minimo	7	1,52	11	0,3.82	0,2.67	74	144	1,87	Coesiva	Argilla

			NATURA COESIVA						NATURA GRANULARE					
n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kPa	Ysat t/m³	W %	e -	Mo MPa	Dr %	φ °	E' MPa	Ysat t/m³	Yd t/m³	Mo MPa	Liq. -
1	0,00 : 2,40	2	12,74	1,75	46,91	1,27	0,26	---	---	---	---	---	---	---
2	2,40 : 5,00	3	18,62	1,78	44,21	1,19	0,29	---	---	---	---	---	---	---
3	5,00 : 6,20	11	67,62	1,91	32,11	0,87	0,51	---	---	---	---	---	---	---

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA LETTURE DI CAMPAGNA PUNTA E/O TOTALE	DIN	6
	riferimento	036-2025

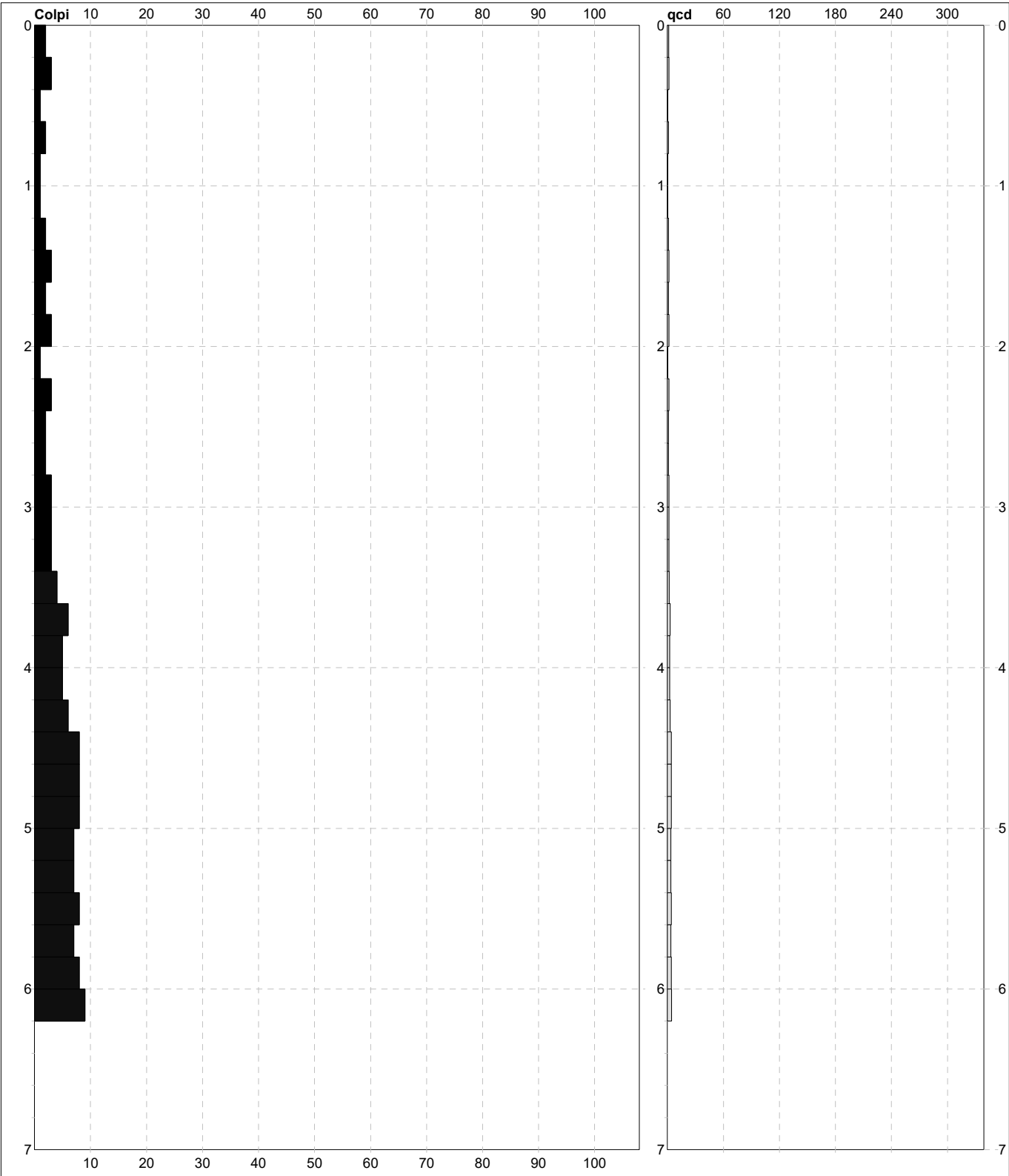
Committente: Gridshape	U.M.: MPa	Data esec.: 23/04/2025
Cantiere: Nuovo impianto fotovoltaico	Pagina: 1	Falda: Non rilevata
Località: Terre del Reno (FE)	Elaborato:	

H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd MN/m²	H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd MN/m²
0,20	1	2		1,5					
0,40	1	3		1,5					
0,60	2	1		0,5					
0,80	2	2		1,0					
1,00	2	1		0,5					
1,20	2	1		0,5					
1,40	2	2		1,0					
1,60	3	3		1,5					
1,80	3	2		1,0					
2,00	3	3		1,5					
2,20	3	1		0,5					
2,40	3	3		1,5					
2,60	4	2		1,0					
2,80	4	2		1,0					
3,00	4	3		1,5					
3,20	4	3		1,5					
3,40	4	3		1,5					
3,60	5	4		2,0					
3,80	5	6		3,0					
4,00	5	5		2,5					
4,20	5	5		2,5					
4,40	5	6		3,0					
4,60	6	8		4,0					
4,80	6	8		4,0					
5,00	6	8		4,0					
5,20	6	7		3,5					
5,40	6	7		3,5					
5,60	7	8		4,0					
5,80	7	7		3,5					
6,00	7	8		4,0					
6,20	7	9		4,5					

H = profondità L1 = prima lettura (colpi punta) L2 = seconda lettura (colpi rivestimento)	qcd = resistenza dinamica punta Asta = numero di asta impiegata	Lo sperimentatore: Il direttore laboratorio: xxxxxx
---	--	--

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMI COLPI / RESISTENZA	DIN	6
	riferimento	036-2025

Committente: Gridshape	Quota ass.: Piano Campagna	U.M.: MPa	Data esec.: 23/04/2025
Cantiere: Nuovo impianto fotovoltaico		Scala: 1:35	
Località: Terre del Reno (FE)		Pagina: 1	
		Elaborato:	Falda: Non rilevata



Responsabile: dr. Alberto Velicogna	Corr.astine: kN/ml	Preforo: m
Assistente:	Cod.ISTAT: 0	Lo sperimentatore:
		Il direttore laboratorio: xxxxxx

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUDDIVISIONE GEOTECNICA	DIN	6
	riferimento	036-2025

Committente: Gridshape	U.M.: MPa	Data esec.: 23/04/2025
Cantiere: Nuovo impianto fotovoltaico	Pagina: 1	
Località: Terre del Reno (FE)	Elaborato:	Falda: Non rilevata

PARAMETRI GENERALI

n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	rp MPa	qc MPa	Vs m/sec	G MPa	Q MPa	natura	descrizione
1	0,00 : 3,40	minimo	1	1,52	2	0,0.52	0,0.49	23	85	0,26	Coesiva	Argilla limosa sabbiosa
2	3,40 : 6,20	minimo	4	1,52	6	0,2.06	0,1.62	49	126	1,01	Coesiva	Argilla

	NATURA COESIVA	NATURA GRANULARE
--	-----------------------	-------------------------

n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kPa	Ysat t/m³	W %	e -	Mo MPa	Dr %	ϕ °	E' MPa	Ysat t/m³	Yd t/m³	Mo MPa	Liq. -
1	0,00 : 3,40	2	12,74	1,75	46,91	1,27	0,26	---	---	---	---	---	---	---
2	3,40 : 6,20	6	37,24	1,85	37,04	1,00	0,37	---	---	---	---	---	---	---

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA LETTURE DI CAMPAGNA PUNTA E/O TOTALE	DIN	7
	riferimento	036-2025

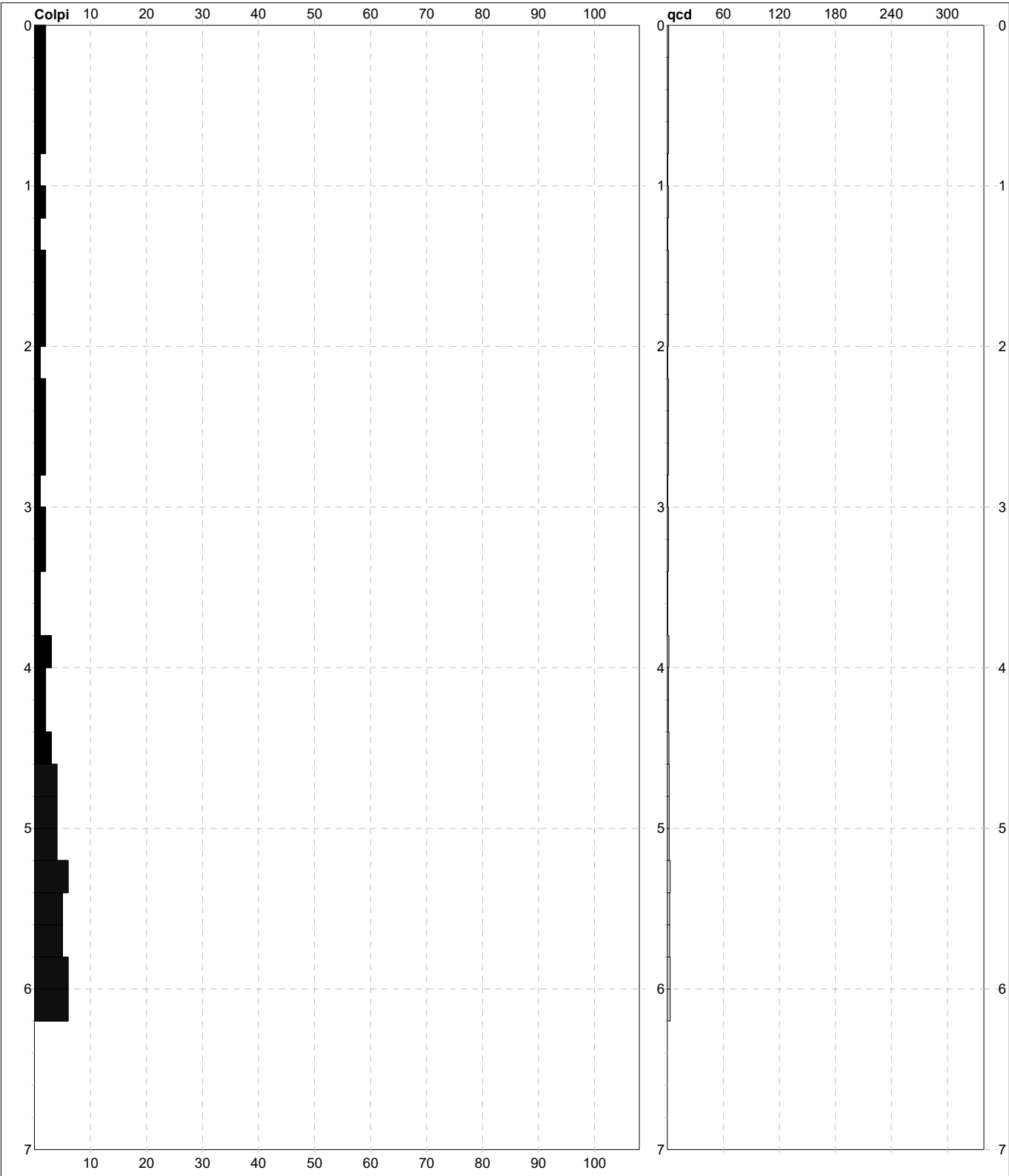
Committente: Gridshape	U.M.: MPa	Data esec.: 23/04/2025
Cantiere: Nuovo impianto fotovoltaico	Pagina: 1	Falda: Non rilevata
Località: Terre del Reno (FE)	Elaborato:	

H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd MN/m²	H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd MN/m²
0,20	1	2		1,5					
0,40	1	2		1,0					
0,60	2	2		1,0					
0,80	2	2		1,0					
1,00	2	1		0,5					
1,20	2	2		1,0					
1,40	2	1		0,5					
1,60	3	2		1,0					
1,80	3	2		1,0					
2,00	3	2		1,0					
2,20	3	1		0,5					
2,40	3	2		1,0					
2,60	4	2		1,0					
2,80	4	2		1,0					
3,00	4	1		0,5					
3,20	4	2		1,0					
3,40	4	2		1,0					
3,60	5	1		0,5					
3,80	5	1		0,5					
4,00	5	3		1,5					
4,20	5	2		1,0					
4,40	5	2		1,0					
4,60	6	3		1,5					
4,80	6	4		2,0					
5,00	6	4		2,0					
5,20	6	4		2,0					
5,40	6	6		3,0					
5,60	7	5		2,5					
5,80	7	5		2,5					
6,00	7	6		3,0					
6,20	7	6		3,0					

H = profondità L1 = prima lettura (colpi punta) L2 = seconda lettura (colpi rivestimento)	qcd = resistenza dinamica punta Asta = numero di asta impiegata	Lo sperimentatore: Il direttore laboratorio: xxxxxx
---	--	--

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMI COLPI / RESISTENZA	DIN	7
	riferimento	036-2025

Committente: Gridshape	Quota ass.: Piano Campagna	U.M.: MPa	Data esec.: 23/04/2025
Cantiere: Nuovo impianto fotovoltaico		Scala: 1:35	
Località: Terre del Reno (FE)		Pagina: 1	
		Elaborato:	Falda: Non rilevata



Responsabile: dr. Alberto Velicogna	Corr.astine: kN/ml	Preforo: m
Assistente:	Cod.ISTAT: 0	Lo sperimentatore:
		Il direttore laboratorio: xxxxxx

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUDDIVISIONE GEOTECNICA	DIN	7
	riferimento	036-2025

Committente: Gridshape	U.M.: MPa	Data esec.: 23/04/2025
Cantiere: Nuovo impianto fotovoltaico	Pagina: 1	
Località: Terre del Reno (FE)	Elaborato:	Falda: Non rilevata

PARAMETRI GENERALI												
n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	rp MPa	qc MPa	Vs m/sec	G MPa	Q MPa	natura	descrizione
1	0,00 : 4,60	minimo	1	1,52	2	0,0.52	0,0.46	23	91	0,26	Coesiva	Argilla limosa sabbiosa
2	4,60 : 6,20	minimo	4	1,52	6	0,2.06	0,1.53	49	129	1,01	Coesiva	Argilla

			NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE						
n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kPa	Ysat t/m³	W %	e -	Mo MPa	Dr %	ø °	E' MPa	Ysat t/m³	Yd t/m³	Mo MPa	Liq. -
1	0,00 : 4,60	2	12,74	1,75	46,91	1,27	0,26	---	---	---	---	---	---	---
2	4,60 : 6,20	6	37,24	1,85	37,04	1,00	0,37	---	---	---	---	---	---	---

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA LETTURE DI CAMPAGNA PUNTA E/O TOTALE	DIN	8
	riferimento	036-2025

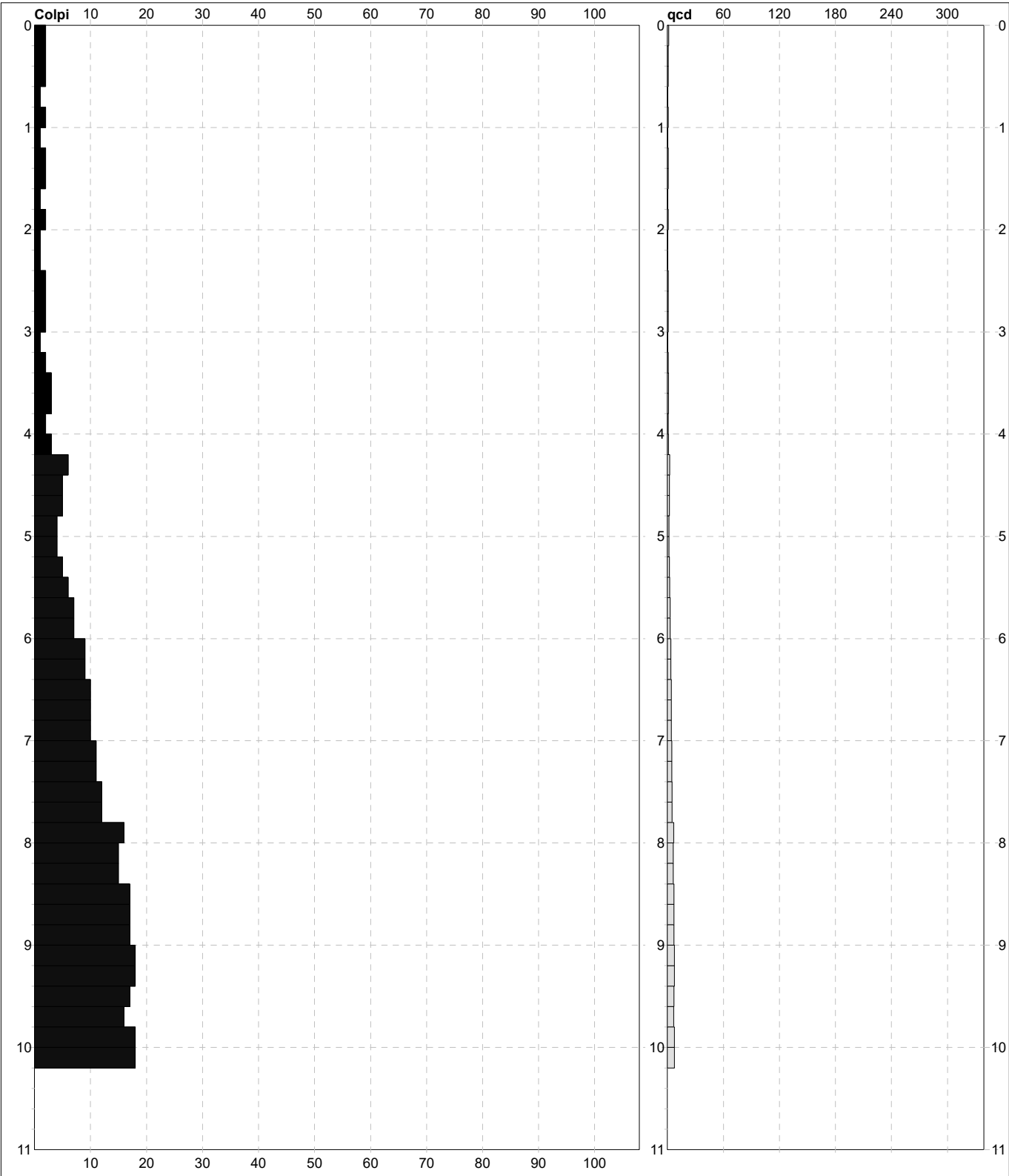
Committente: Gridshape	U.M.: MPa	Data esec.: 23/04/2025
Cantiere: Nuovo impianto fotovoltaico	Pagina: 1	Falda: Non rilevata
Località: Terre del Reno (FE)	Elaborato:	

H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd MN/m²	H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd MN/m²
0,20	1	2		1,5					
0,40	1	2		0,8					
0,60	2	2		0,8					
0,80	2	1		0,4					
1,00	2	2		0,8					
1,20	2	1		0,4					
1,40	2	2		0,8					
1,60	3	2		0,8					
1,80	3	1		0,4					
2,00	3	2		0,8					
2,20	3	1		0,4					
2,40	3	1		0,4					
2,60	4	2		0,8					
2,80	4	2		0,8					
3,00	4	2		0,8					
3,20	4	1		0,4					
3,40	4	2		0,8					
3,60	5	3		1,2					
3,80	5	3		1,2					
4,00	5	2		0,8					
4,20	5	3		1,2					
4,40	5	6		2,5					
4,60	6	5		2,0					
4,80	6	5		2,0					
5,00	6	4		1,6					
5,20	6	4		1,6					
5,40	6	5		2,0					
5,60	7	6		2,5					
5,80	7	7		2,9					
6,00	7	7		2,9					
6,20	7	9		3,7					
6,40	7	9		3,7					
6,60	8	10		4,1					
6,80	8	10		4,1					
7,00	8	10		4,1					
7,20	8	11		4,5					
7,40	8	11		4,5					
7,60	9	12		4,9					
7,80	9	12		4,9					
8,00	9	16		6,5					
8,20	9	15		6,1					
8,40	9	15		6,1					
8,60	10	17		6,9					
8,80	10	17		6,9					
9,00	10	17		6,9					
9,20	10	18		7,4					
9,40	10	18		7,4					
9,60	11	17		6,9					
9,80	11	16		6,5					
10,00	11	18		7,4					
10,20	11	18		7,4					

H = profondità L1 = prima lettura (colpi punta) L2 = seconda lettura (colpi rivestimento)	qcd = resistenza dinamica punta Asta = numero di asta impiegata	Lo sperimentatore: Il direttore laboratorio: xxxxxx
---	--	--

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMI COLPI / RESISTENZA	DIN	8
	riferimento	036-2025

Committente: Gridshape	Quota ass.: Piano Campagna	U.M.: MPa	Data esec.: 23/04/2025
Cantiere: Nuovo impianto fotovoltaico		Scala: 1:55	
Località: Terre del Reno (FE)		Pagina: 1	Falda: Non rilevata
		Elaborato:	



Responsabile: dr. Alberto Velicogna	Corr.astine: kN/ml	Preforo: m
Assistente:	Cod.ISTAT: 0	Lo sperimentatore:
		Il direttore laboratorio: xxxxxx

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUDDIVISIONE GEOTECNICA	DIN	8
	riferimento	036-2025

Committente: Gridshape	U.M.: MPa	Data esec.: 23/04/2025
Cantiere: Nuovo impianto fotovoltaico	Pagina: 1	Falda: Non rilevata
Località: Terre del Reno (FE)	Elaborato:	

PARAMETRI GENERALI												
n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	rp MPa	qc MPa	Vs m/sec	G MPa	Q MPa	natura	descrizione
1	0,00 : 4,20	minimo	1	1,52	2	0,0.43	0,0.46	23	89	0,21	Coesiva	Argilla limosa sabbiosa
2	4,20 : 7,80	minimo	4	1,52	6	0,1.70	0,1.45	49	132	0,84	Coesiva	Argilla
3	7,80 : 10,20	minimo	15	1,52	23	0,6.38	0,4.67	121	180	3,13	Coesiva	Argilla

			NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE						
n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kPa	Ysat t/m³	W %	e -	Mo MPa	Dr %	ϕ °	E' MPa	Ysat t/m³	Yd t/m³	Mo MPa	Liq. -
1	0,00 : 4,20	2	12,74	1,75	46,91	1,27	0,26	---	---	---	---	---	---	---
2	4,20 : 7,80	6	37,24	1,85	37,04	1,00	0,37	---	---	---	---	---	---	---
3	7,80 : 10,20	23	141,12	2,06	22,58	0,61	0,77	---	---	---	---	---	---	---

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA LETTURE DI CAMPAGNA PUNTA E/O TOTALE	DIN	9
	riferimento	036-2025

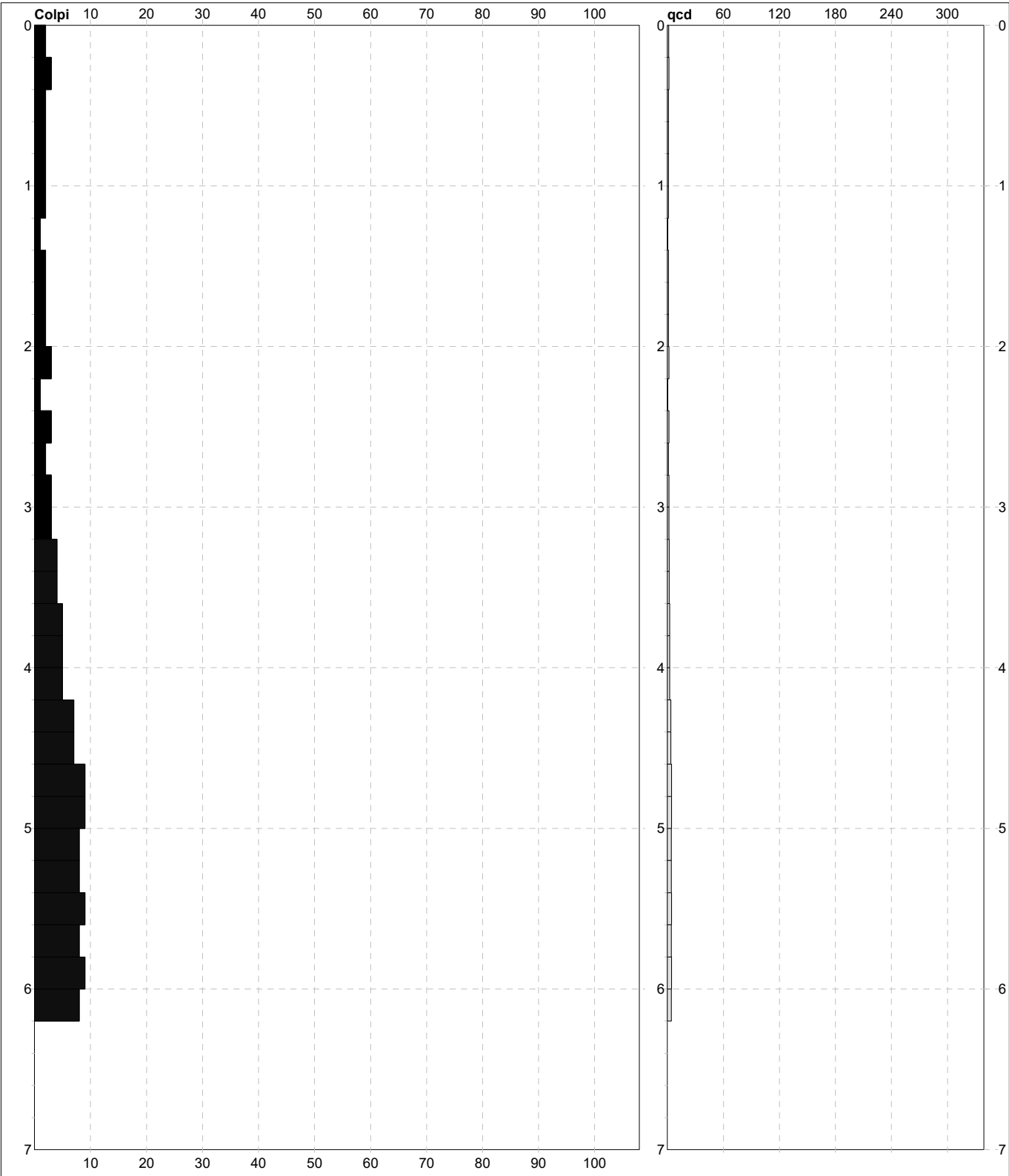
Committente: Gridshape	U.M.: MPa	Data esec.: 23/04/2025
Cantiere: Nuovo impianto fotovoltaico	Pagina: 1	Falda: Non rilevata
Località: Terre del Reno (FE)	Elaborato:	

H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd MN/m²	H m	Asta n°	L1 n°	L2 n°	qcd MN/m²
0,20	1	2		1,5					
0,40	1	3		1,5					
0,60	2	2		1,0					
0,80	2	2		1,0					
1,00	2	2		1,0					
1,20	2	2		1,0					
1,40	2	1		0,5					
1,60	3	2		1,0					
1,80	3	2		1,0					
2,00	3	2		1,0					
2,20	3	3		1,5					
2,40	3	1		0,5					
2,60	4	3		1,5					
2,80	4	2		1,0					
3,00	4	3		1,5					
3,20	4	3		1,5					
3,40	4	4		2,0					
3,60	5	4		2,0					
3,80	5	5		2,5					
4,00	5	5		2,5					
4,20	5	5		2,5					
4,40	5	7		3,5					
4,60	6	7		3,5					
4,80	6	9		4,5					
5,00	6	9		4,5					
5,20	6	8		4,0					
5,40	6	8		4,0					
5,60	7	9		4,5					
5,80	7	8		4,0					
6,00	7	9		4,5					
6,20	7	8		4,0					

H = profondità L1 = prima lettura (colpi punta) L2 = seconda lettura (colpi rivestimento)	qcd = resistenza dinamica punta Asta = numero di asta impiegata	Lo sperimentatore: Il direttore laboratorio: xxxxxx
---	--	--

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMI COLPI / RESISTENZA	DIN	9
	riferimento	036-2025

Committente: Gridshape	Quota ass.: Piano Campagna	U.M.: MPa	Data esec.: 23/04/2025
Cantiere: Nuovo impianto fotovoltaico		Scala: 1:35	
Località: Terre del Reno (FE)		Pagina: 1	
		Elaborato:	Falda: Non rilevata



Responsabile: dr. Alberto Velicogna	Corr.astine: kN/ml	Preforo: m
Assistente:	Cod.ISTAT: 0	Lo sperimentatore:
		Il direttore laboratorio: xxxxxx

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUDDIVISIONE GEOTECNICA	DIN	9
	riferimento	036-2025

Committente: Gridshape	U.M.: MPa	Data esec.: 23/04/2025
Cantiere: Nuovo impianto fotovoltaico	Pagina: 1	
Località: Terre del Reno (FE)	Elaborato:	Falda: Non rilevata

PARAMETRI GENERALI												
n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	rp MPa	qc MPa	Vs m/sec	G MPa	Q MPa	natura	descrizione
1	0,00 : 3,20	minimo	1	1,52	2	0,0.52	0,0.49	23	84	0,26	Coesiva	Argilla limosa sabbiosa
2	3,20 : 6,20	minimo	4	1,52	6	0,2.06	0,1.62	49	126	1,01	Coesiva	Argilla

			NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE						
n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kPa	Ysat t/m³	W %	e -	Mo MPa	Dr %	ø °	E' MPa	Ysat t/m³	Yd t/m³	Mo MPa	Liq. -
1	0,00 : 3,20	2	12,74	1,75	46,91	1,27	0,26	---	---	---	---	---	---	---
2	3,20 : 6,20	6	37,24	1,85	37,04	1,00	0,37	---	---	---	---	---	---	---

LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI SPECIFICHE TECNICHE

VALUTAZIONI STATISTICHE - CORRELAZIONI N / Nspt

Il sottosuolo indagato viene suddiviso in strati .

Previa definizione della profondità di ciascuno strato , il programma effettua (con riferimento al numero di colpi N) una serie di elaborazioni statistiche dei dati in memoria, valutando :

valore minimo m , massimo Max , media M, scarto quadratico medio s, valore medio/minimo $(M+m)^{1/2}$

media-scarto quadratico medio (M-s)

Ciò considerato , si potrà adottare il valore caratteristico VCA per N più adatto , a seconda delle esigenze, impostando uno dei valori elaborati sopracitati o un valore a scelta.

Successivamente , con riferimento al valore caratteristico assunto per il numero di colpi N , si potrà avviare un tentativo di correlazione con il numero di colpi Nspt della prova SPT : $Nspt = \beta N$ [ove per il coefficiente β si potrà introdurre un valore sperimentale a piacere (vedi note illustrative), ovvero il coefficiente teorico di energia β fornito dal programma] .

VALUTAZIONE RESISTENZA DINAMICA E COEFFICIENTE DI ENERGIA

La resistenza alla punta dinamica Rpd viene comunemente valutata in base alla formula Olandese :

$$Rpd = (M^2 H) / [A e (M + P)] \text{ ove :}$$

N = n. colpi per avanzamento δ Rpd = resist.dinam.punta [area A] M = massa battente [altezza caduta H]

e = avanzamento per colpo = δ/N P = peso tot. sistema battuta e aste ,

ovvero in base alla formula semplificata :

$$Rpd' = (M H) / (A e) = (M H) N / (A \delta) = Q N ,$$

ove : $Q = (M H) / (A \delta)$ = energia specifica teorica per colpo .

Ciò considerato, volendo riferire la prova in esame (N,Q) alla prova SPT (Nspt,Qspt),

dall'uguaglianza dei valori di resistenza dinamica relativi alle due prove, si ricava teoricamente :

$$Rpd' = Q N = Qspt Nspt \Rightarrow Nspt = N [Q/Qspt] = \beta N ,$$

ove il rapporto $\beta = Q/Qspt$ viene definito coefficiente teorico di energia della prova in esame ,

relativamente alla prova SPT ($Qspt = 7.83 \text{ kg/cm}^2 = 0.768 \text{ MPa}$) per $M = 63.5 \text{ kg}$, $H = 0.75 \text{ m}$, $D = 50.8 \text{ mm}$,

$A = 20.27 \text{ cm}^2$, $d = 0.30 \text{ m}$) .

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al valore del numero dei colpi SPT equivalente

prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :

Nspt -> Dr DENSITA' RELATIVA (Terreni granulari) - TERZAGHI & PECK (1948-1967)

Nspt -> ϕ' ANGOLO DI ATTRITO EFFICACE (Terreni granulari) - PECK-HANSON-THORBURN (1953-1974)

Nspt -> E' MODULO DI DEFORMAZIONE DRENATO (Terreni granulari) - D'APPOLONIA e altri (1970)

Nspt -> Cu COESIONE NON DRENATA (Terreni coesivi) - TERZAGHI & PECK (1948-1967)

Nspt -> Y PESO DI VOLUME

TERRENI GRANULARI (Terzaghi-Peck 1948/1967) [$e_{max} = 1$ $e_{min} = 1/3$ $G = 2.65$]

TERRENI COESIVI (Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967) [$p_{specifico} G = 2.70$]

Rpd -> Qd CAPACITA' PORTANTE DINAMICA Herminier, Tchong & Lebegue(1965)

F.L. = accelerazione al suolo che può causare liquefazione (terreni granulari)

(g = accelerazione gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976) [correlazioni : (A_{max}/g)]

Vs = velocità di propagazione delle onde sismiche (Iyisan 1996)

TERRE DEL RENO

Instrument: EXT-PASI_Gea24

Data format: 16 bit

Full scale [mV]: 179

Start recording: 23/04/2025 14:46:40 End recording: 23/04/2025 15:11:40

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST EST ; UP DO N

GPS data not available

Trace length: 0h25'00". Analyzed 100% trace (automatic window selection)

Sampling rate: 125 Hz

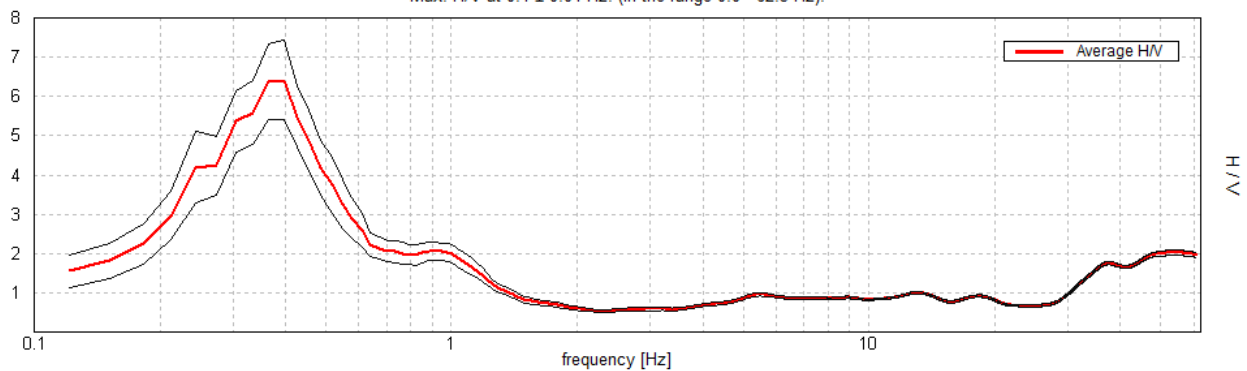
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

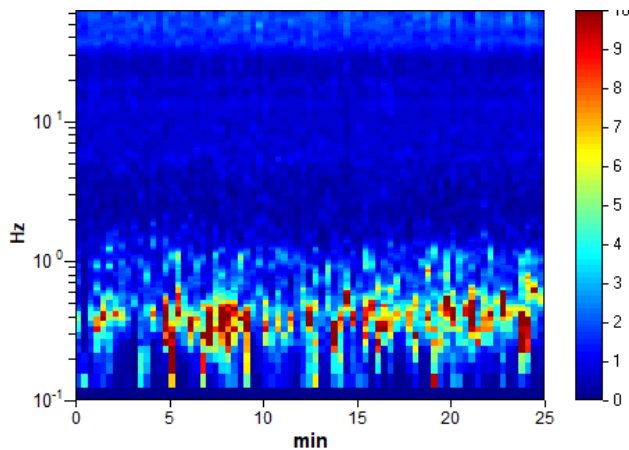
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

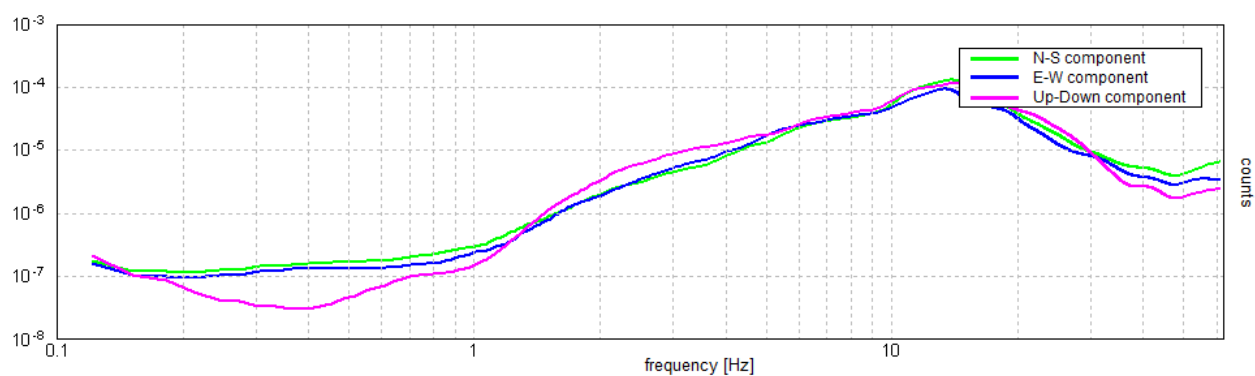
Max. H/V at 0.4 ± 0.04 Hz. (In the range 0.0 - 62.5 Hz).



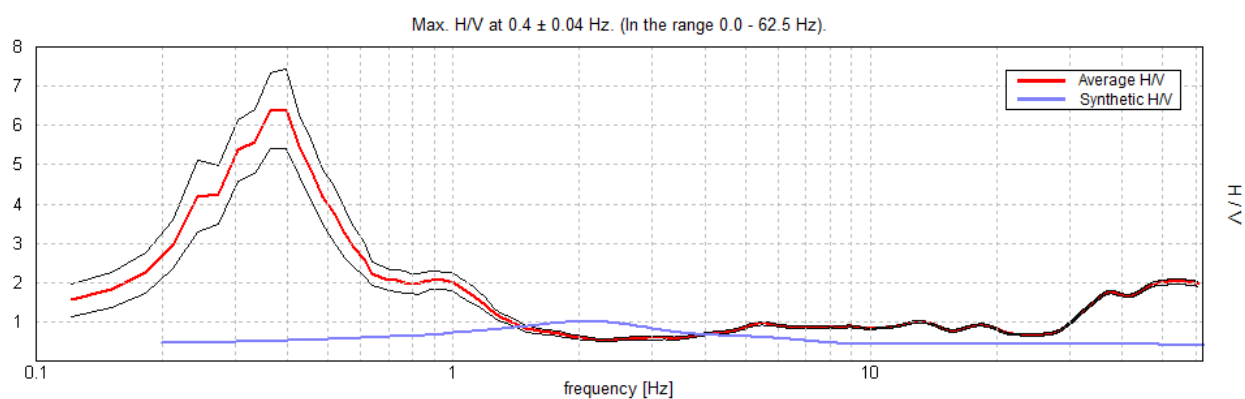
H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA

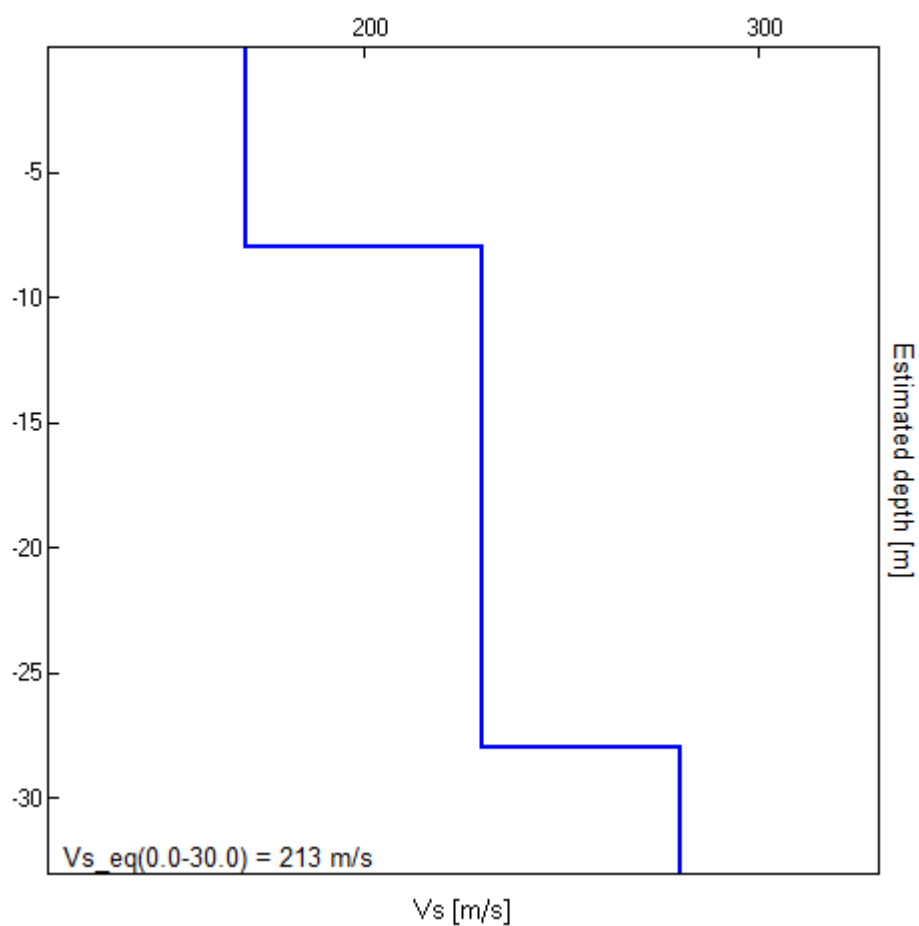


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
8.00	8.00	170	0.42
28.00	20.00	230	0.42
inf.	inf.	280	0.42

$$V_{s_eq}(0.0-30.0) = 213 \text{ m/s}$$



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

Max. H/V at 0.4 ± 0.04 Hz (in the range 0.0 - 62.5 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.40 > 0.50$		NO
$n_c(f_0) > 200$	$595.1 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 21 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.214 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	0.58 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$6.41 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.10396 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.04125 < 0.07935$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.9944 < 2.5$	OK	

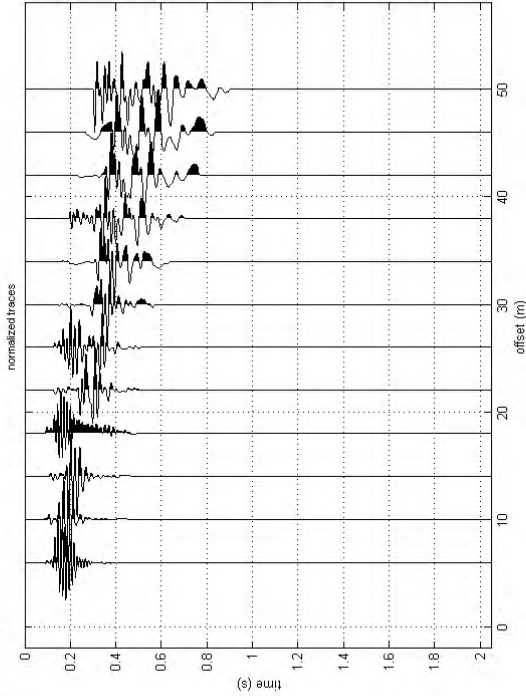
L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

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

#1: uploading & processing (MASW analyses)

dataset: 001.DAT
sampling: 0.125 ms
minimum offset: 8 m
geophone spacing: 4 m



resampling

1

resample

accept

data selection

activate

select

cancel

60

save

filtering & spectra

filter

cancel

0.50Hz

spectrum

spectrogram

refraction

refraction

upload

clear refraction

100

save

other tools & setting

Time length to visualize (s)

2.04787

done

flip traces

zero padding

#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW & RefM analyses)

MASW: compute velocity spectrum

phase velocity

☐

f/k

group velocity

save

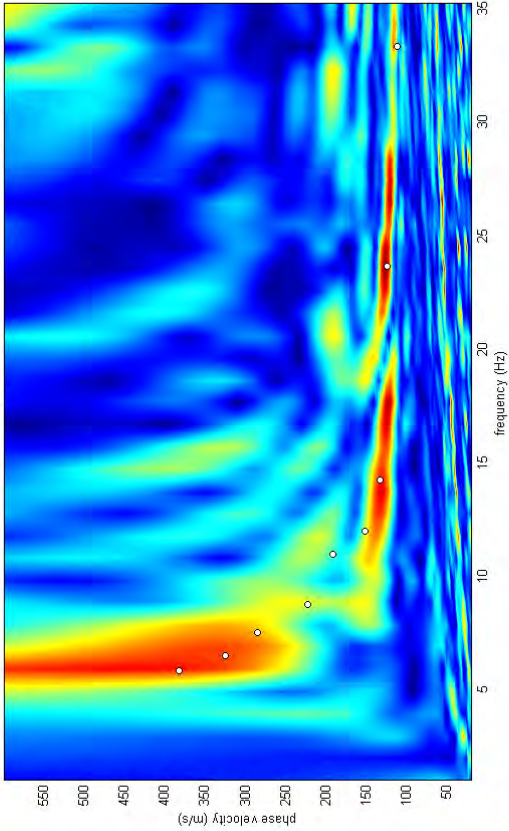
upload

merge

explore spectrum

mode separation

velocity spectrum



visualize curves

input curve

?

picking

?

show f/k

Fundamental

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

save picking

?

Terre del Reno (FE) masw 2 23

cancel picking

inversion

inversion

Joint DC-RV inv.

www.wimasw.com

modelling

synthetics

Z/V

elastic

☒

shows DC

synthetics

calculate

upload mod.

save model

refresh

rm models

report

Vs (m/s)

90

180

160

200

300

900

0

Poisson

0.35

0.35

0.35

0.35

0.35

0.35

0.35

thickness (m)

1

2

5

7

20

0

general setting

?

about Poisson

Rayleigh

3

phase vel

Refraction

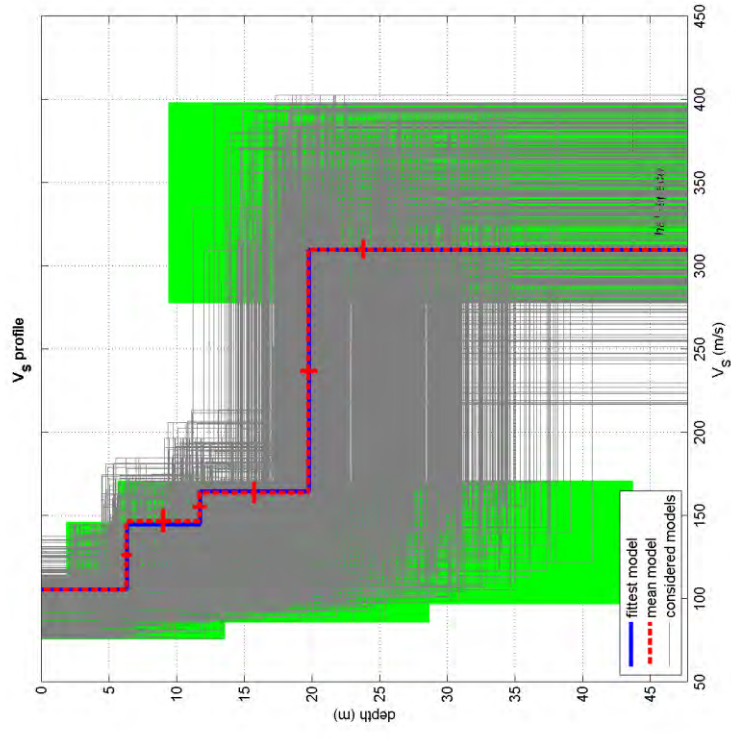
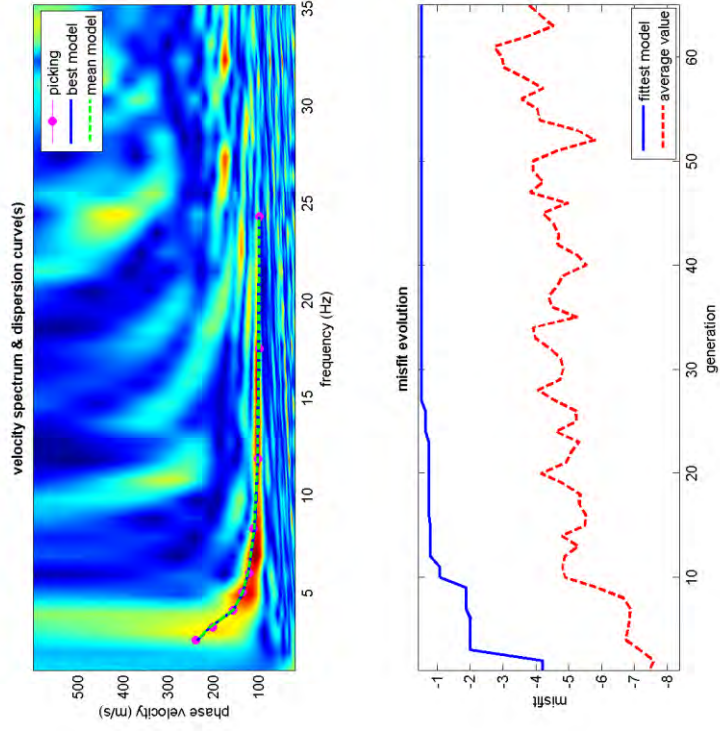
Reference depth

0

HVS

4

H/V modes



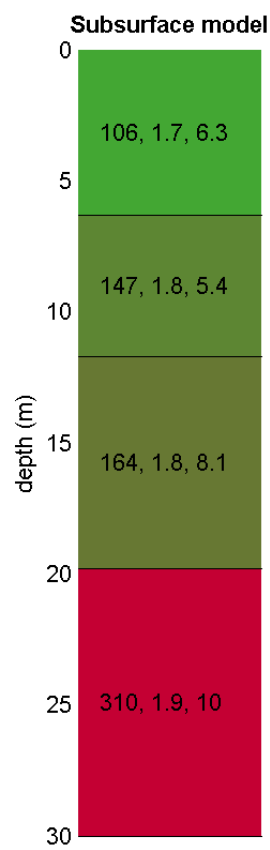
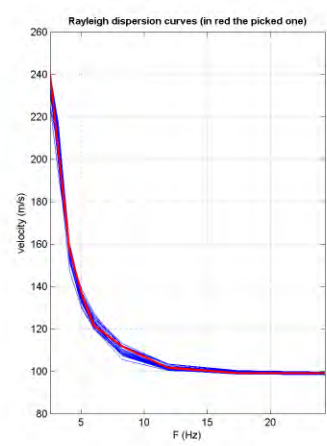
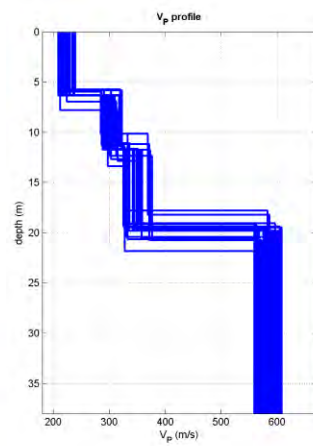
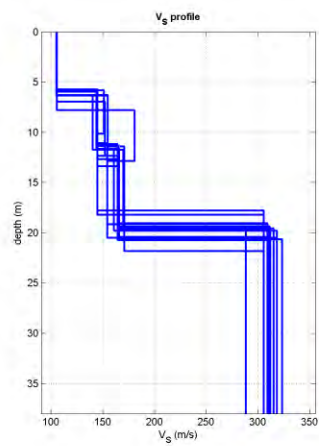
dataset: 001.DAT

dispersion curve: Terre del Reno (FE) masw 1 23.04.25.cdp

Vs30 (best model): 168 m/s

Vs30 (mean model): 168 m/s

www.winmasw.com



V_s density thickness
(m/s) (gr/cm^3) (m)

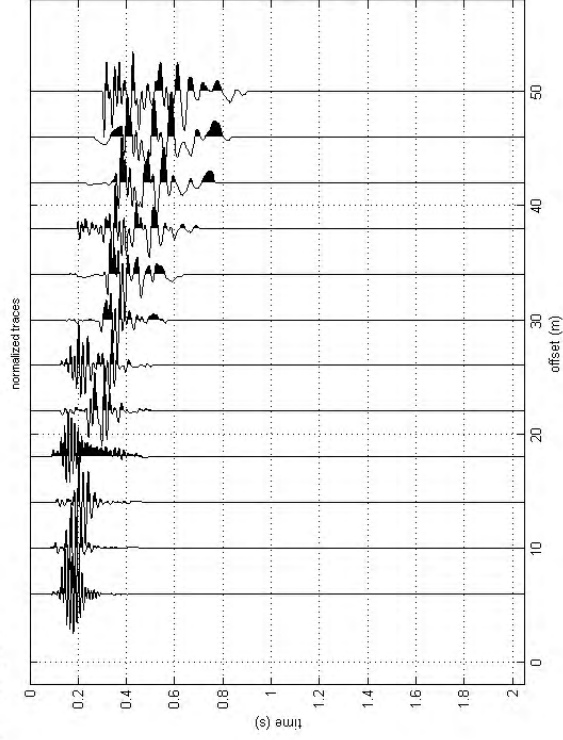
#1: uploading & processing (MASW analyses)

dataset: 001.DAT

sampling: 0.125 ms

minimum offset: 6 m

geophone spacing: 4 m



resampling

1

resample

accept

data selection

activate

select

cancel

60

save

filtering & spectra

filter

cancel

0-50Hz

spectrum

spectrogram

refraction

refraction

upload

save

clear refraction

100

other tools & setting

2.04787

Time length to visualize (s)

done

flip traces

zero padding

#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum

phase velocity

☐ f-k

group velocity

handling the spectra

save

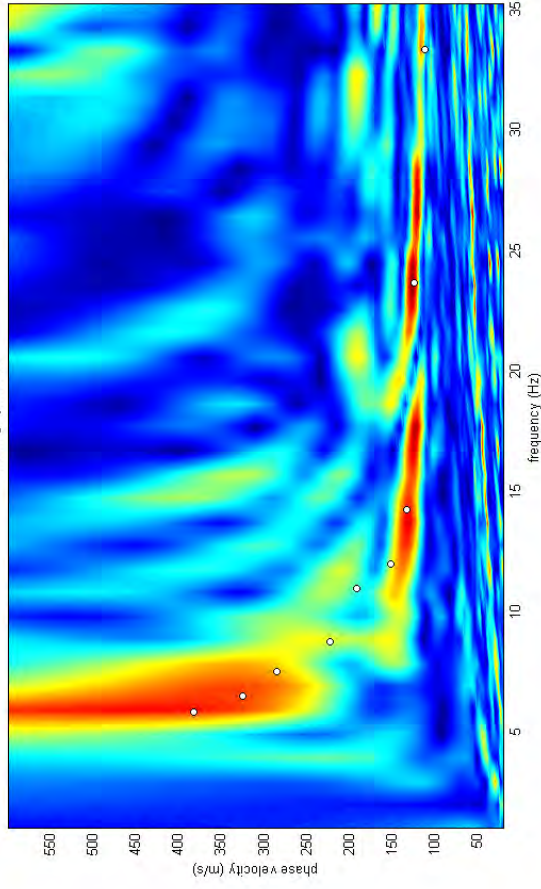
upload

merge

explore spectrum

mode separation

velocity spectrum



general setting

?

Rayleigh

0

Reference depth

3

phase vel

Refraction

HVSR

4

HV modes

about Poisson

Vs (m/s)

90

180

160

200

300

900

0

Poisson

0.35

0.35

0.35

0.35

0.35

0.35

0.35

thickness (m)

1

2

5

7

20

0

calculate

upload mod

save model

refresh

rnd models

report

modelling

synthetics

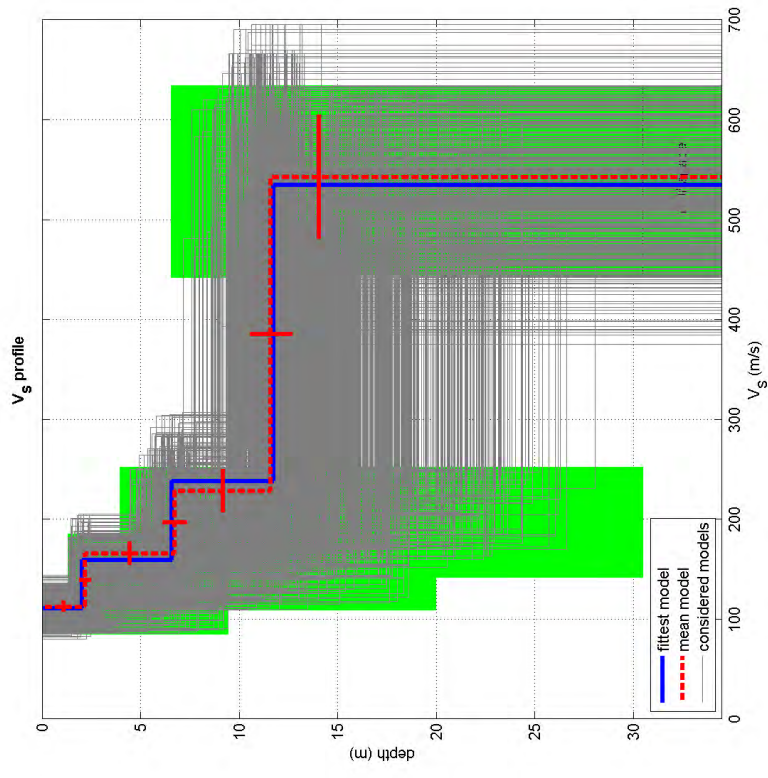
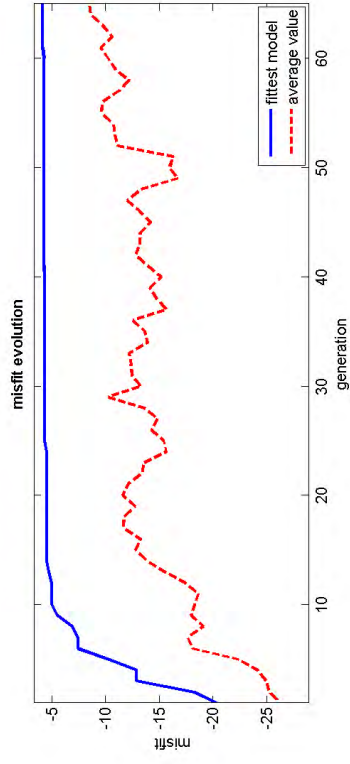
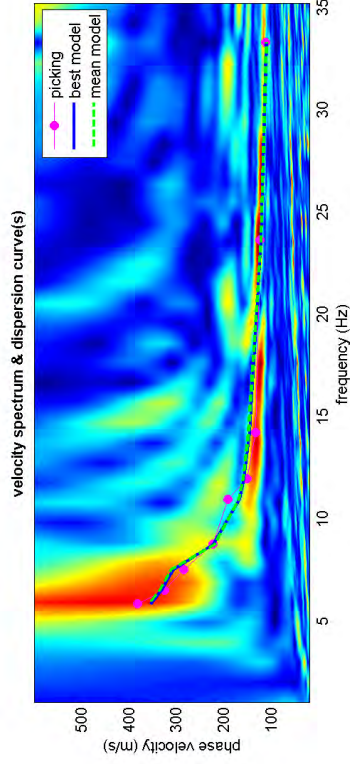
Z/VF

elastic

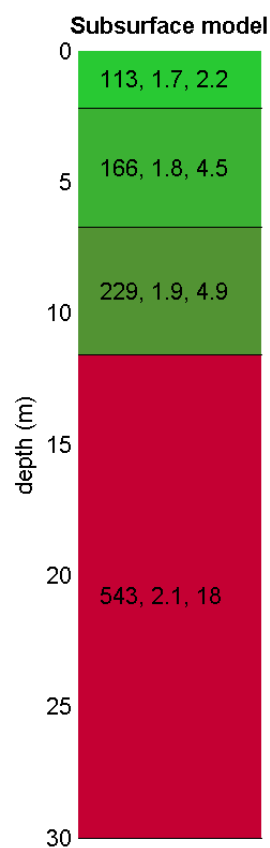
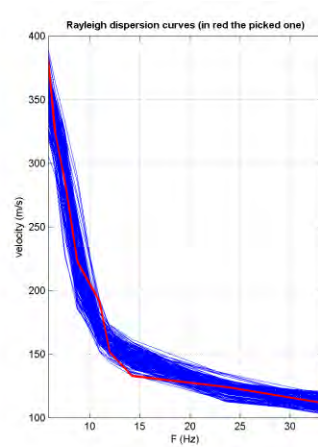
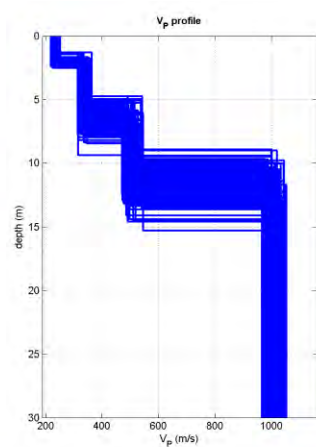
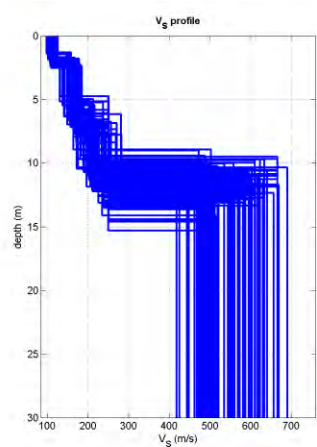
shows DC

synthetics

WWW.MASW.COM



dataset: 001.DAT
 dispersion curve: Terre del Reno (FE) masw 2 23.04.25.cdp
 V_{s30} (best model): 293 m/s
 V_{s30} (mean model): 294 m/s



V_s density thickness
(m/s) (gr/cm³) (m)

PROVA DI PERMEABILITA' A CARICO VARIABILE**Prova 1****Condizioni naturali**

COMMITTENTE	Gridshape
CANTIERE	Terre del Reno (FE)
DATA	23/04/2025

TEMPO	LETTURE	ABBASSAMENTI
secondi	m	m
0	0,000	1,600
30	0,120	1,480
60	0,140	1,460
90	0,160	1,440
120	0,180	1,420
150	0,190	1,410
180	0,210	1,390
210	0,220	1,380
240	0,230	1,370
270	0,240	1,360
300	0,250	1,350
330	0,270	1,330
360	0,280	1,320
390	0,290	1,310
420	0,300	1,300
450	0,300	1,300
480	0,310	1,290
510	0,320	1,280
540	0,330	1,270
570	0,340	1,260
600	0,350	1,250

Dati di campagna	m
PROFONDITA'	1,000
LUNGHEZZA RIVESTIMENTO	1,600
ALTEZZA TASCA FILTRANTE	0,100
DIAMETRO RIVESTIMENTO (esterno)	0,045

Formula adottata per calcolo permeabilità

$$k = \frac{A (h_2 - h_1)}{C (t_2 - t_1) \cdot h_m}$$

dove:

k=coefficiente di permeabilità

A= area filtrante (in m²)t₁, t₂= tempi misurazione livelloh₁, h₂=livelli idricih_m=altezza al tempo medio

C= coefficiente di forma (per L>>D, C=L)

Area filtrante (A) (mq)	0,01413
t ₁ (sec)	0
t ₂ (sec)	600
h ₁ (m)	1,60
h ₂ (m)	1,25
h _m (m)	1,35

COEFFICIENTE DI PERMEABILITA' k= 6,11E-05

PROVA DI PERMEABILITA' A CARICO VARIABILE**Prova 2****Condizioni naturali**

COMMITTENTE	Gridshape
CANTIERE	Terre del Reno (FE)
DATA	23/04/2025

TEMPO	LETTURE	ABBASSAMENTI
secondi	m	m
0	0,000	1,600
30	0,160	1,440
60	0,180	1,420
90	0,200	1,400
120	0,210	1,390
150	0,230	1,370
180	0,240	1,360
210	0,250	1,350
240	0,270	1,330
270	0,280	1,320
300	0,280	1,320
330	0,290	1,310
360	0,300	1,300
390	0,300	1,300
420	0,300	1,300
450	0,310	1,290
480	0,310	1,290
510	0,310	1,290
540	0,320	1,280
570	0,320	1,280
600	0,320	1,280

Dati di campagna	m
PROFONDITA'	1,000
LUNGHEZZA RIVESTIMENTO	1,600
ALTEZZA TASCA FILTRANTE	0,100
DIAMETRO RIVESTIMENTO (esterno)	0,045

Formula adottata per calcolo permeabilità

$$k = \frac{A (h_2 - h_1)}{C (t_2 - t_1) \cdot h_m}$$

dove:

k=coefficiente di permeabilità

A= area filtrante (in m²)t₁, t₂= tempi misurazione livelloh₁, h₂=livelli idricih_m=altezza al tempo medio

C= coefficiente di forma (per L>>D, C=L)

Area filtrante (A) (mq)	0,01413
t ₁ (sec)	0
t ₂ (sec)	600
h ₁ (m)	1,60
h ₂ (m)	1,28
h _m (m)	1,32

COEFFICIENTE DI PERMEABILITA' k= 5,71E-05

PROVA DI PERMEABILITA' A CARICO VARIABILE**Prova 3****Condizioni naturali**

COMMITTENTE	Gridshape
CANTIERE	Terre del Reno (FE)
DATA	23/04/2025

TEMPO	LETTURE	ABBASSAMENTI
secondi	m	m
0	0,000	1,600
30	0,140	1,460
60	0,160	1,440
90	0,180	1,420
120	0,200	1,400
150	0,210	1,390
180	0,230	1,370
210	0,240	1,360
240	0,260	1,340
270	0,270	1,330
300	0,270	1,330
330	0,280	1,320
360	0,290	1,310
390	0,290	1,310
420	0,300	1,300
450	0,300	1,300
480	0,310	1,290
510	0,310	1,290
540	0,310	1,290
570	0,320	1,280
600	0,320	1,280

Dati di campagna	m
PROFONDITA'	1,000
LUNGHEZZA RIVESTIMENTO	1,600
ALTEZZA TASCA FILTRANTE	0,100
DIAMETRO RIVESTIMENTO (esterno)	0,045

Formula adottata per calcolo permeabilità

$$k = \frac{A (h_2 - h_1)}{C (t_2 - t_1) \cdot h_m}$$

dove:

k=coefficiente di permeabilità

A= area filtrante (in m²)t₁, t₂= tempi misurazione livelloh₁, h₂=livelli idricih_m=altezza al tempo medio

C= coefficiente di forma (per L>>D, C=L)

Area filtrante (A) (mq)	0,01413
t ₁ (sec)	0
t ₂ (sec)	600
h ₁ (m)	1,60
h ₂ (m)	1,28
h _m (m)	1,33

COEFFICIENTE DI PERMEABILITA' k= 5,67E-05