

RELAZIONE GEOLOGICA CON CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA

IMPIANTO DI PRODUZIONE DA FONTE SOLARE "VIGARANO MAINARDA" DA
INSTALLARE NEL COMUNE DI VIGARANO MAINARDA (FE)

00	08/2025	Prima emissione	MP	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 VIGARNO MAINARDA (FE)**



Commessa: 053-25

Data: 12/08/2025

Dott. Geol. Alberto Velicogna



Sommario

1.PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO.....	2
2.INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICHE	4
2.1 INQUADRAMENTO DEL SITO IN ESAME.....	6
3.INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	7
3.1 SUBSIDENZA E MOVIMENTI DEL SUOLO	8
4.INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO GENERALE	10
6.AMBITO URBANISTICO – PRG.....	13
7.INDAGINE GEOGNOSTICA.....	13
7.1 Prove penetrometriche dinamiche.....	14
7.2 Indagine di sismica M.A.S.W.	19
7.3 Indagine di sismica passiva H.V.S.R.	21
7.4 Calcolo della permeabilità in sito	23
8.CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	26
9.VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE	29
10.MODELLO GEOTECNICO	30
11.CONCLUSIONI.....	32
ALLEGATI.....	33

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 un nuovo campo fotovoltaico ubicato nell'agro del comune di Vigarno Mainarda (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 31.07.2025 si è effettuata una campagna di indagini mediante l'esecuzione di:

- n° 8 prove penetrometriche dinamiche DPSH
- n° 1 indagine geofisica con metodologia M.A.S.W.
- n° 2 prove di permeabilità tipo LEFRANC
- n.°1 prova H.V.S.R.
- 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.

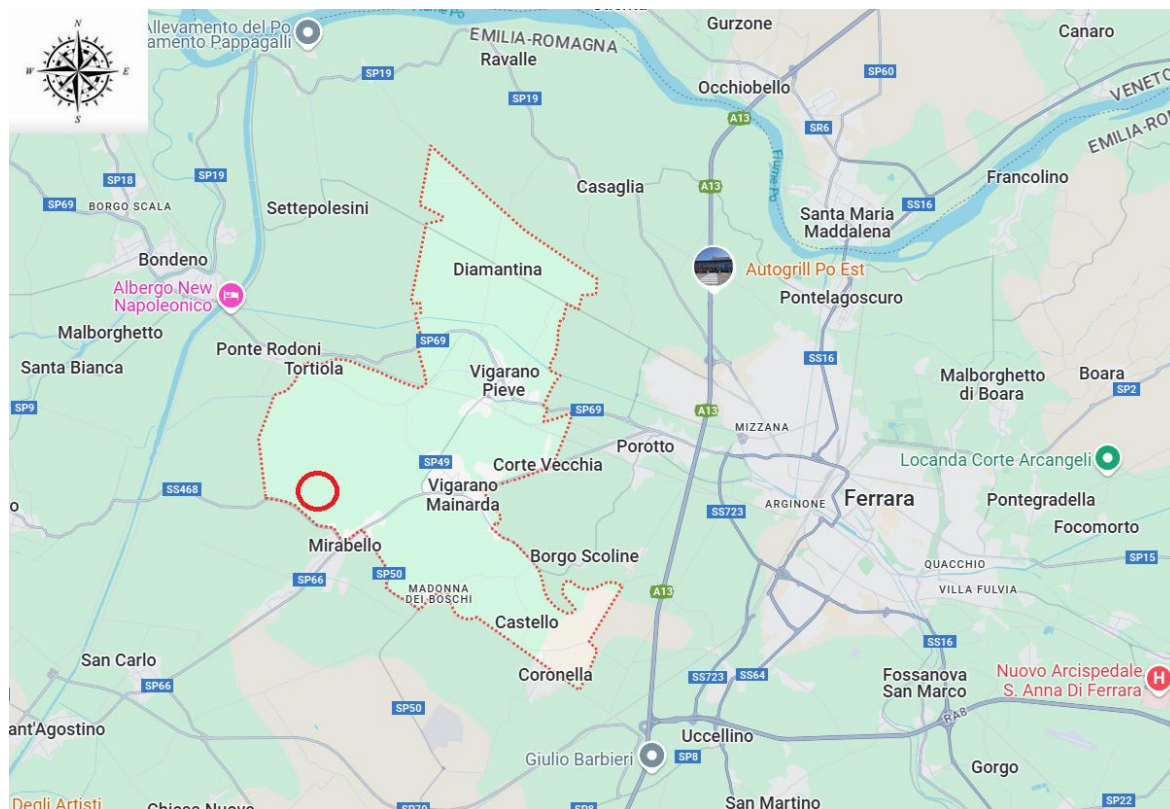


Figura 1 – Ubicazione del sito nel comune di Vigarno Mainarda (FE)

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

PSC-PSA comune Vigarno Mainarda in forma associata (FE)

2.INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICHE

L'Alto Ferrarese comprende sei comuni: Bondeno, Poggio Renatico, Cento, **Vigarano Mainarda**, Sant'Agostino e Mirabello (ordinati secondo la loro estensione), per una superficie territoriale complessiva pari a 413,42 kmq. Il territorio dell'Alto Ferrarese occupa la parte occidentale della Provincia di Ferrara. Il confine meridionale, che separa l'Alto Ferrarese dalla Provincia di Bologna, è costituito dal Fiume Reno; il limite settentrionale corrisponde in parte al territorio provinciale di Mantova (Lombardia) ed in parte al corso del Fiume Po, confine tra le Province di Ferrara e Rovigo (Veneto); il confine orientale è rappresentato dal Territorio Comunale di Ferrara mentre quello occidentale è ripartito tra i territori Provinciali di Mantova, Modena e Bologna (Fig. 2).

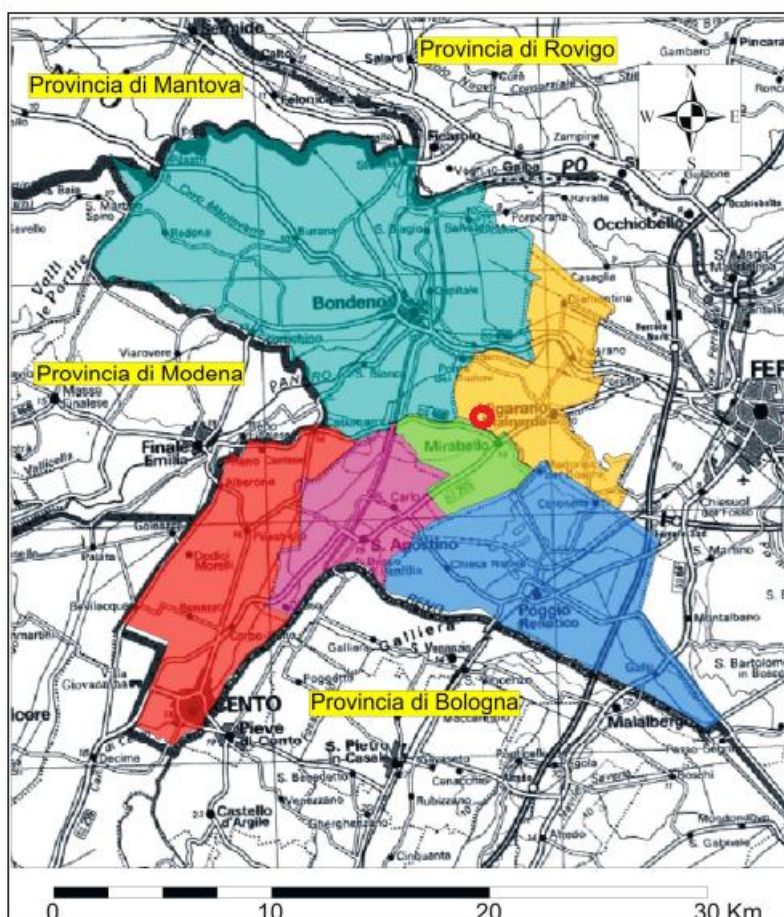


Figura 2 - I sei comuni dell'Alto Ferrarese

Il territorio comunale di Vigarano Mainarda è parte della porzione più orientale della Provincia di Ferrara e si sviluppa in un'area di bassa pianura alluvionale formata da depositi fluviali, sia di provenienza appenninica che padana. La parte centro-meridionale del territorio comunale è dominata da depositi del fiume Reno, mentre quella settentrionale è costituita da sedimenti di Po.

I corpi sedimentari affioranti a meridione sono di età recente, in quanto depositati dal Reno dopo il XV secolo, i sedimenti settentrionali sono invece più antichi e sono stati depositi dal I Po tra il periodo romano e quello medievale. La morfologia del territorio è caratterizzata da un articolato microrilievo, costituito da dossi fluviali e corpi di argine naturale che sfumano nei sedimenti di ampie depressioni interalvee. I terreni topograficamente più rilevati si rinvengono nelle aree centro-meridionali, con quote variabili tra i 16 ed i 10 m. Le aree settentrionali sono invece topograficamente depresse, con quote spesso prossime ai 4 m al di sopra il livello del mare. Particolarmente marcato appare il dosso dell'alveo del Reno, che, da Cento, procede sino a Vigarano Mainarda, per poi piegare a sud-est e successivamente aprirsi a formare un sistema di canali distributori di un delta interno, formatisi durante il XVII secolo, a partire dallo sfondamento arginale del 1604. Assai ben visibile appare anche il dosso fluviale del Po di età romana e medievale, che provenendo da Bondeno con direzione ovest-est, attraversa l'abitato di Vigarano Pieve e prosegue poi verso Ferrara. Questa struttura dossiva separa l'area meridionale, dominata dai depositi appenninici, da quella più settentrionale costituita da sedimenti del Po. Nel territorio di Vigarano, non si osservano forme legate a depositi fluviali di età preromana, in quanto tali sedimenti sono sempre sepolti nel sottosuolo.

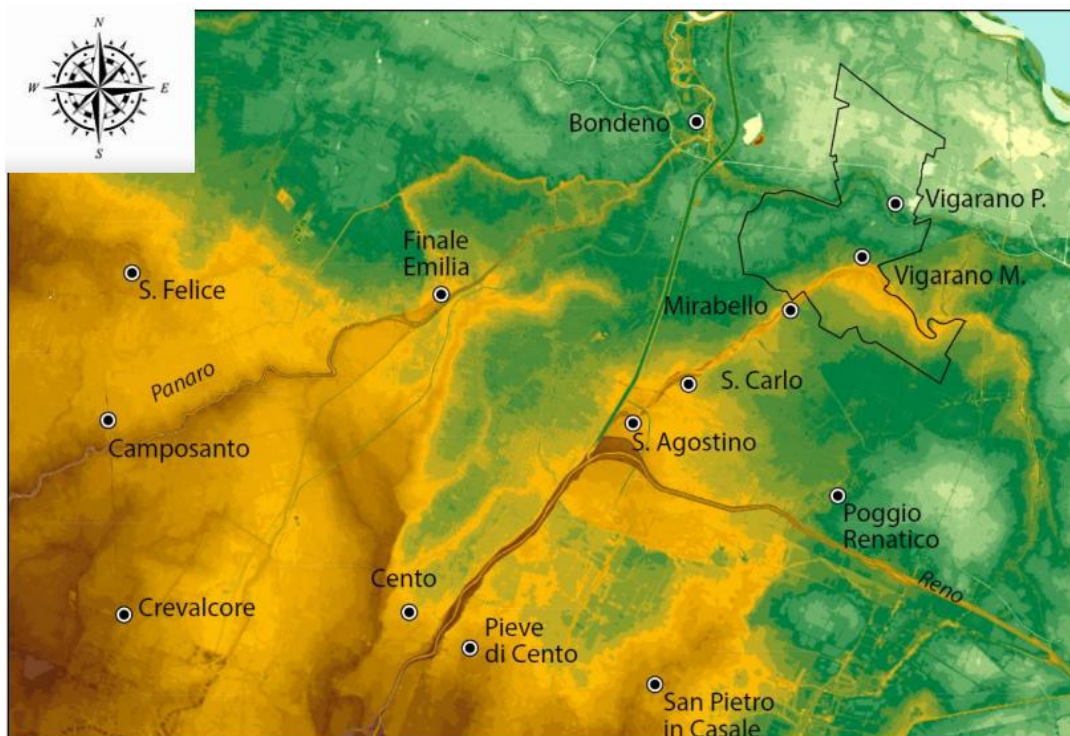


Figura 3 – Modello altimetrico LIDAR (dati Regione Emilia-Romagna). Estremamente evidenti appaiono il dosso del Reno allungato in direzione sudovest - nordest tra Mirabello e Vigarano Mainarda e il dosso fluviale del Po, di età romana e medievale, che attraversa Vigarano Pieve. Altrettanto evidenti risultano le depressioni interalvee (in verde) che caratterizzano le porzioni settentrionali del territorio comunale.

2.1 Inquadramento del sito in esame

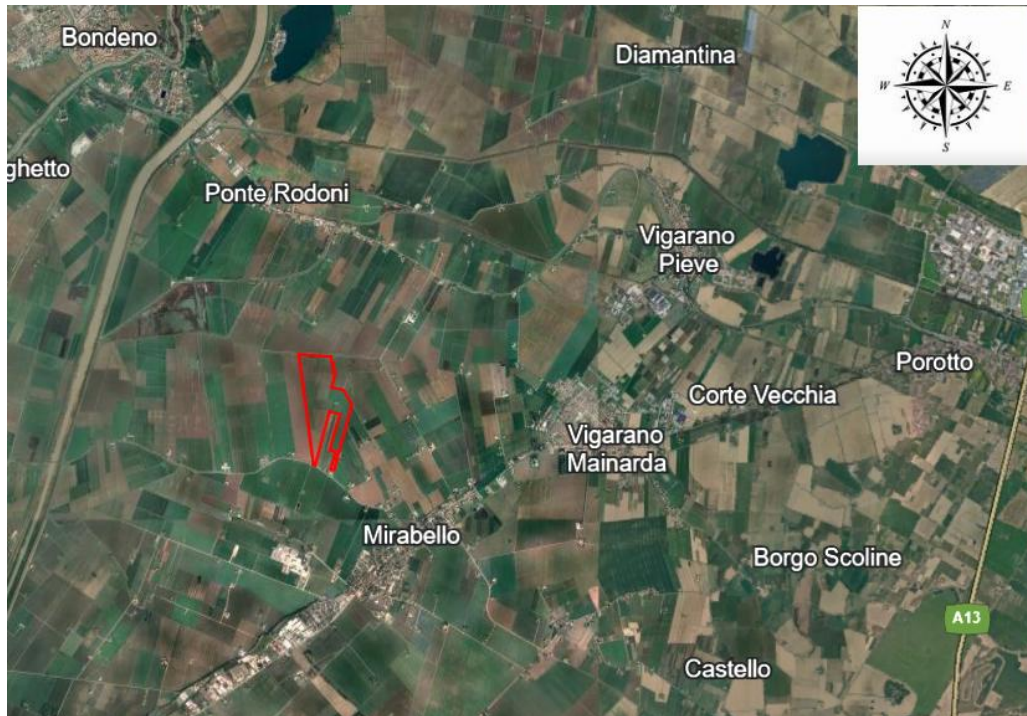


Figura 3 – Posizione e perimetro area impianto – Google Earth

Catastalmente l'area dell'impianto in ambito comunale è individuata al foglio 24.



Figura 3a – Inquadramento catastale - STIMATRIX

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

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



Figura 4 – Stralcio del foglio 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.

Territorio di Vigarano Mainarda: nella porzione centro settentrionale prevalgono sedimenti da argilloso-sabbiosi ad argilloso-limosi, mentre nella porzione centro meridionale prevalgono miscele ternarie di argillalimo-sabbia intercalate a miscele binare di ogni sorta; corpi sabbioso-argillosi sono presenti a Nord di Madonna Boschi ed ad Est di Vigarano Pieve.

Come è visibile dalla Fig.4, l'area in esame è interessata principalmente da terreni di natura alluvionale a componente argillosa.

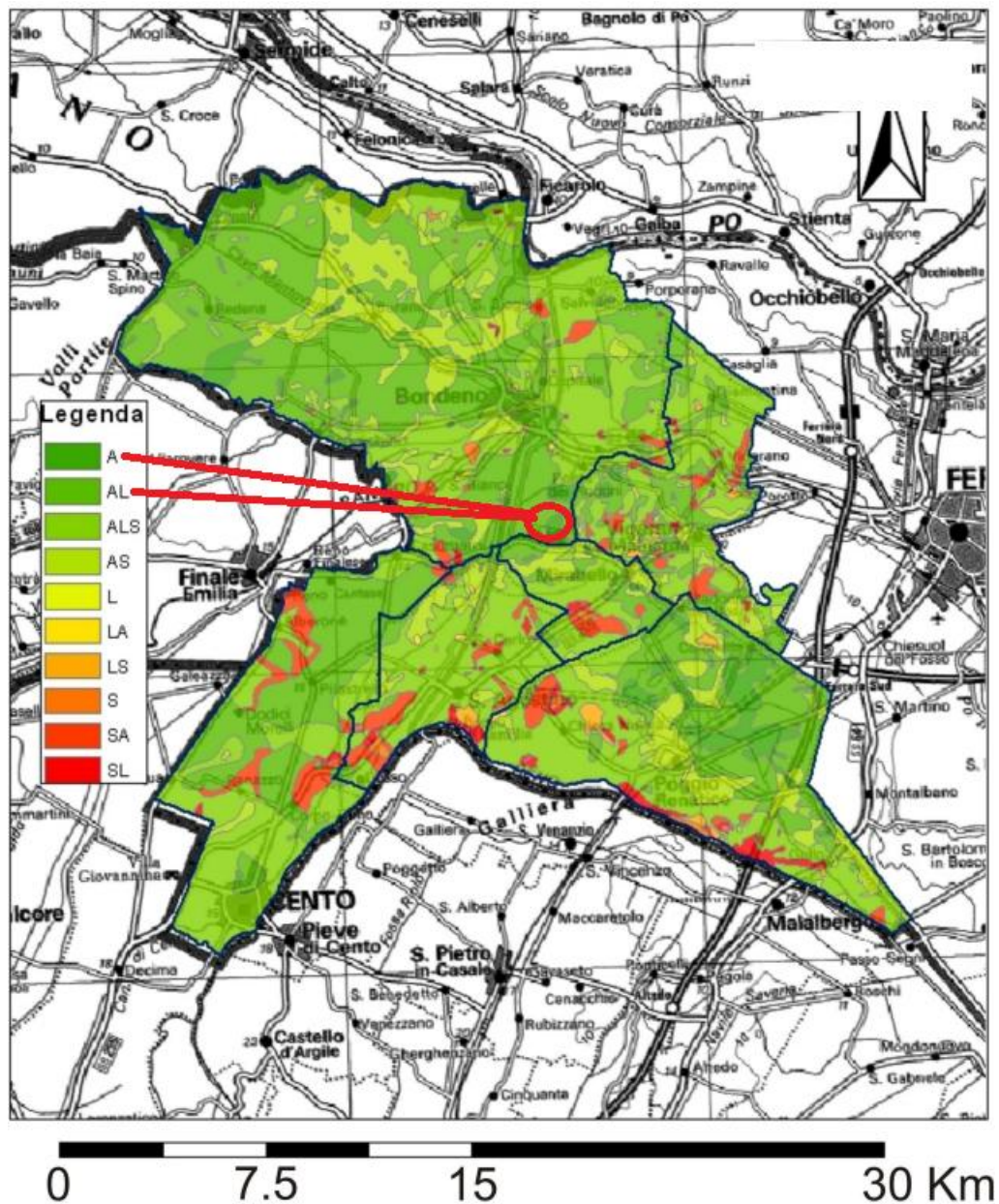


Figura 5 – Carta litologica dell’Alto Ferrarese (da Amministrazione Provinciale di Ferrara)

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. Il rilievo eseguito segnala che in corrispondenza dell'area in esame l'attività di subsidenza ha valori tra -2.5 e -5 mm/anno.

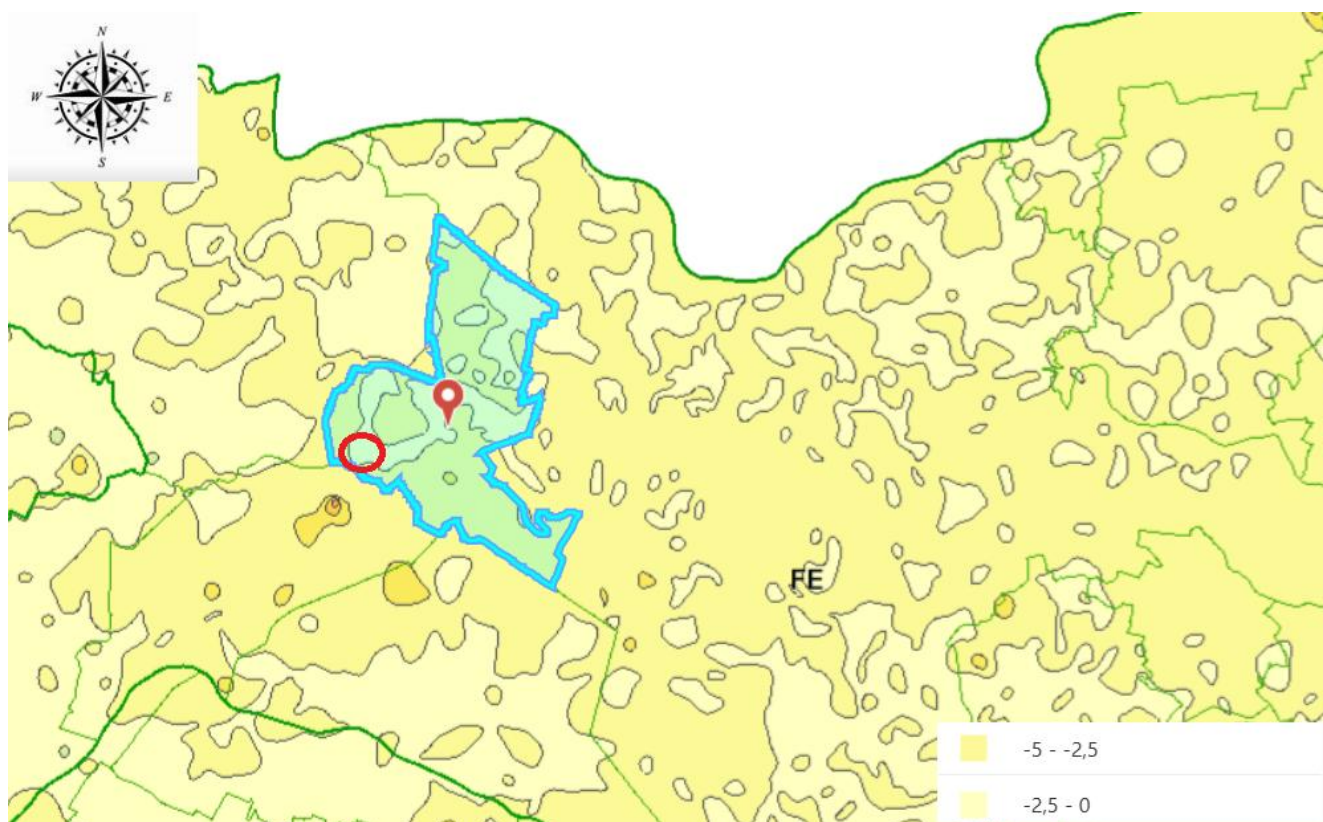


Figura 6 – Subsidenza periodo 2016-2021 – ARPAE Emilia-Romagna

4. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO GENERALE

Idrografia e PAI

L'area in esame ricade nel distretto del Fiume Po. E' interessata da diversi colli e fossi ma l'elemento idrografico principale presente è il Canale Napoleonico che si trova ad ovest e corre a circa 3 km dal perimetro occidentale dell'area d'interesse.

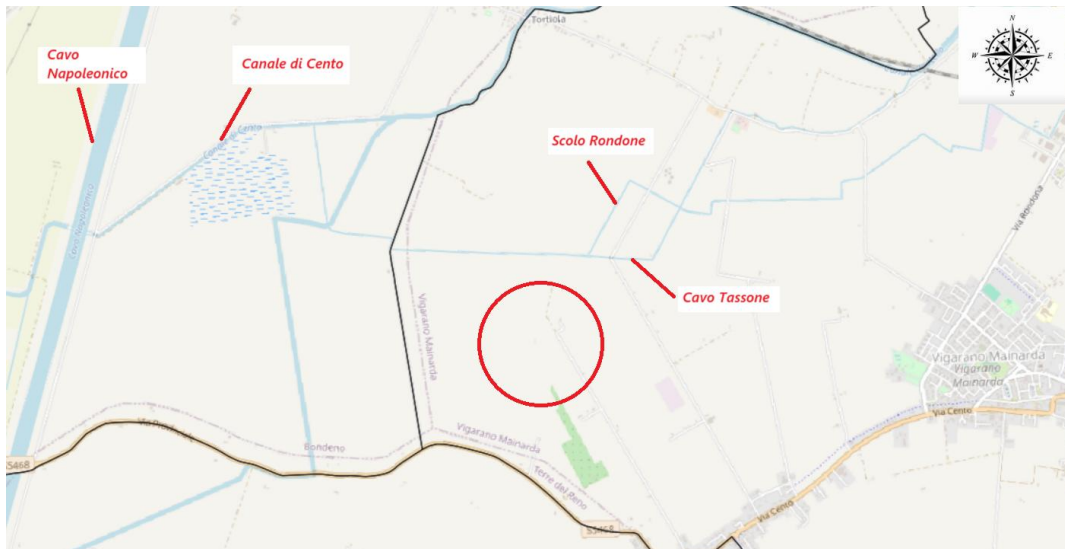


Figura 7 – Stralcio della Carta dell'idrografia superficiale – ADBPo WebGis

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

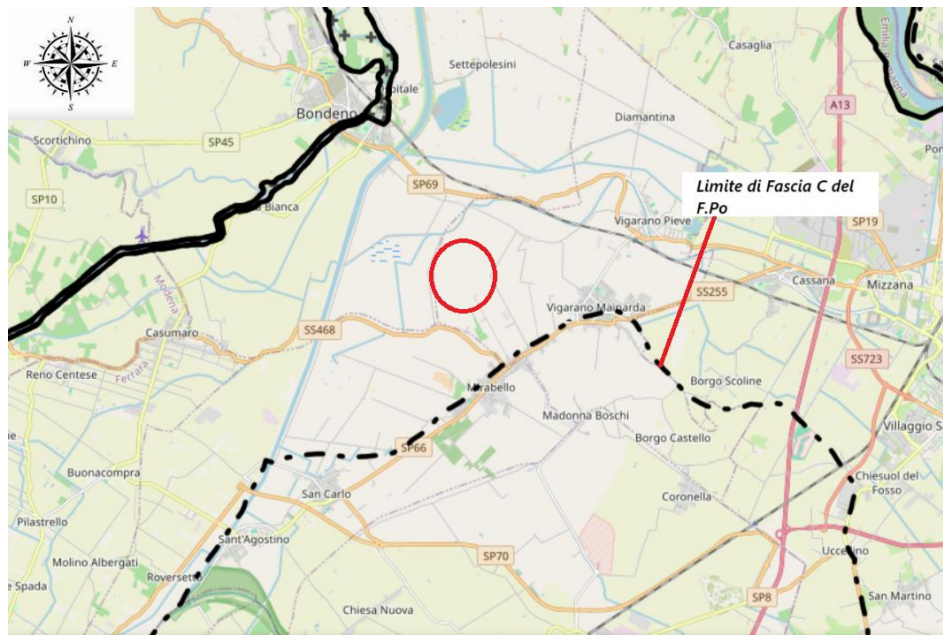


Figura 8 – Stralcio della Carta delle Fasce Fluviali – ADBPo WebGis



Figura 9 – Stralcio della Carta di pericolosità Alluvioni –PGRA ADBPo WebGis

Idrogeologia

Per quanto riguarda l’assetto idrogeologico dell’area in esame, gli studi 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 NO verso SE.

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.

Nell'area indagata la falda è stata riscontrata a circa -2,20 m dal piano campagna.

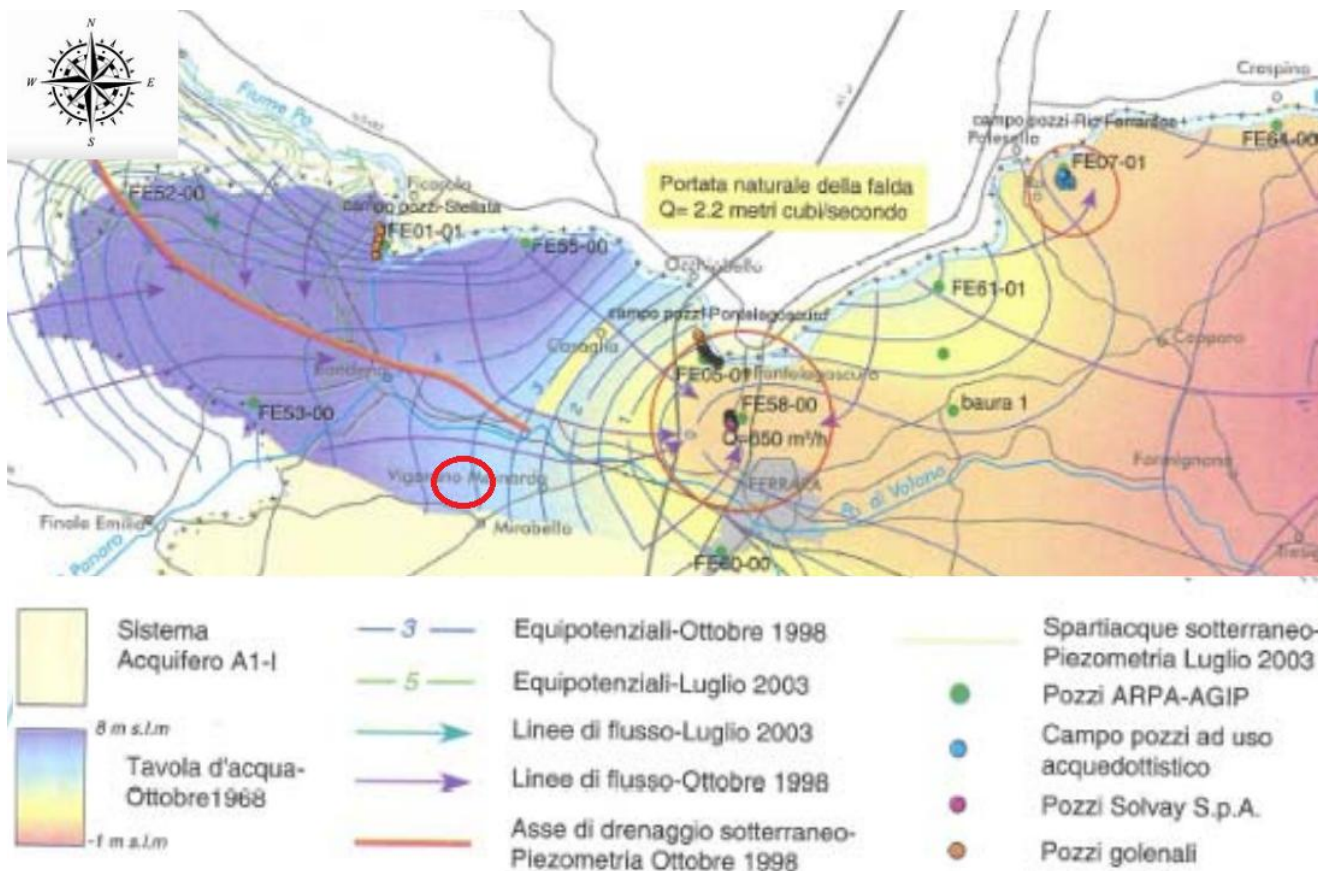


Figura 10 – Idrogeologia generale del ferrarese

6.AMBITO URBANISTICO – PRG

L'area in esame si colloca nell'agro del comune di Vigarno Mainarda. I siti che ospiteranno il nuovo impianto si sviluppano in Ambito Agricolo con suoli ad uso seminativo.

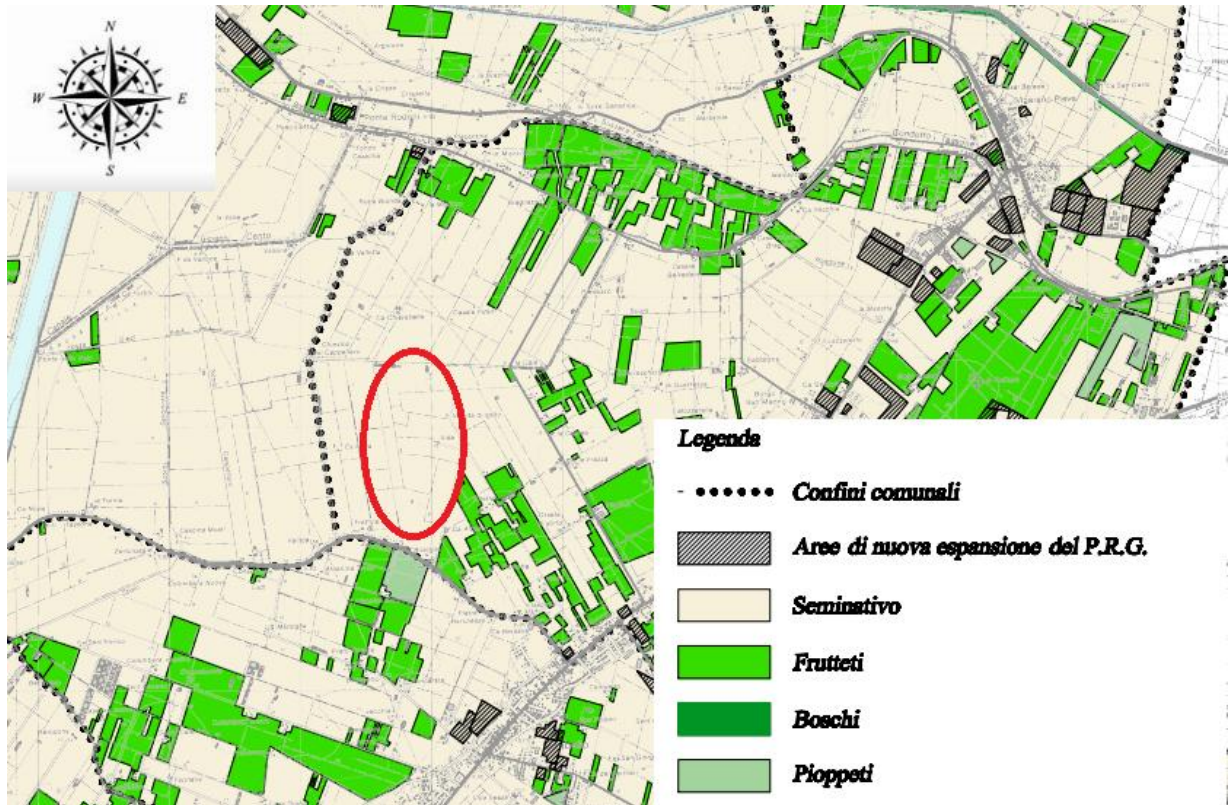


Figura 11 – Stralcio della Carta Uso Suoli Agricoli – PSC Associato dell'Alto Ferrarese

7.INDAGINE GEOGNOSTICA

L'indagine geognostica di campagna è consistita in:

- n° 8 prove penetrometriche dinamiche DPSH
- n° 1 indagine geofisica con metodologia M.A.S.W.
- n° 2 prove di permeabilità tipo LEFRANC
- n.°1 prova H.V.S.R.

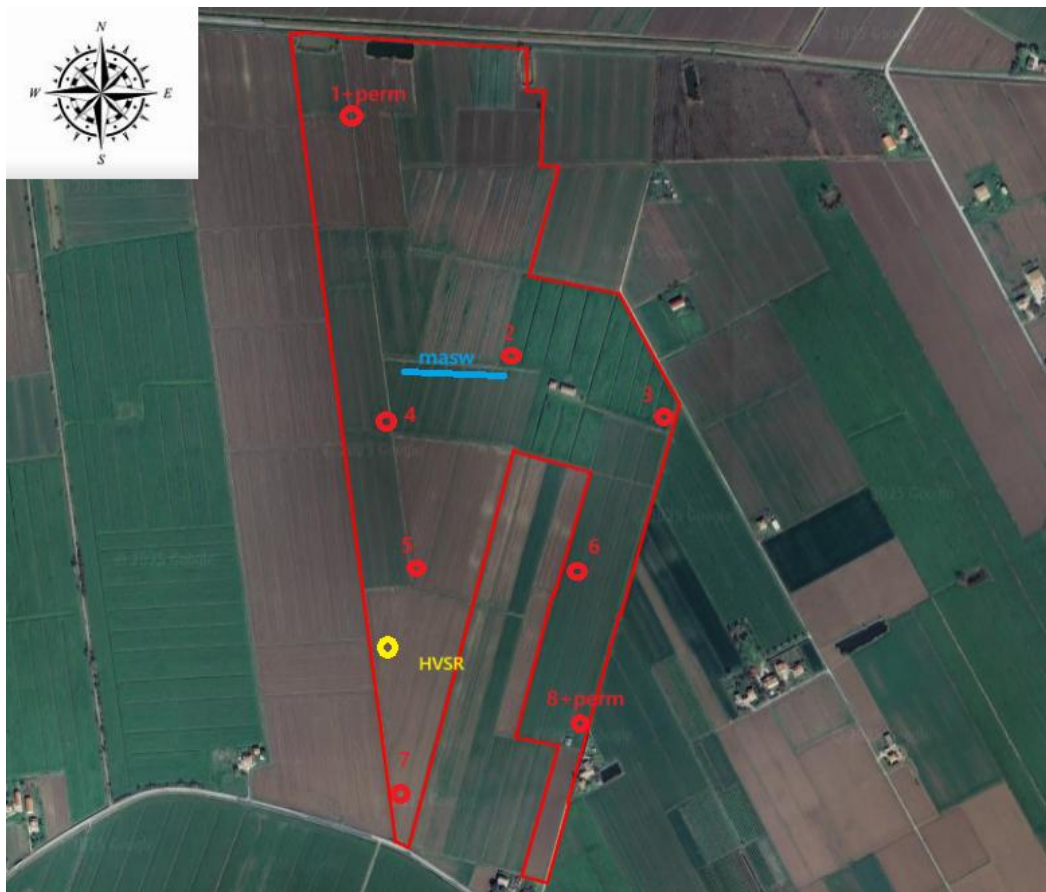


Figura 12 – Ubicazione delle prove

7.1 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:

N° prova	Profondità max da p.c. (m)	Profondità falda da p.c. (m)
P1	10.20	-2.20
P2	7.20	-2.20
P3	6.20	-2.20
P4	6.20	-2.20
P5	6.20	-2.20
P6	6.20	-2.20
P7	6.20	-2.20
P8	6.20	-2.20
P9	6.20	-2.20



Figura 13 – Prova penetrometrica DPSH 1



Figura 14 – Prova penetrometrica DPSH 2



Figura 15 – Prova penetrometrica DPSH 3



Figura 16 – Prova penetrometrica DPSH 4



Figura 17 – Prova penetrometrica DPSH 5



Figura 18 – Prova penetrometrica DPSH 6



Figura 19 – Prova penetrometrica DPSH 7



Figura 20 – Prova penetrometrica DPSH 8

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

E' stata eseguita n.1 indagine geofisica MASW finalizzata:

- 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 Vs.

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 Vs 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 (Vs-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

7.3 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

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

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



Figura 22 – H.V.S.R.

7.4 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 ($1m^2$) 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:

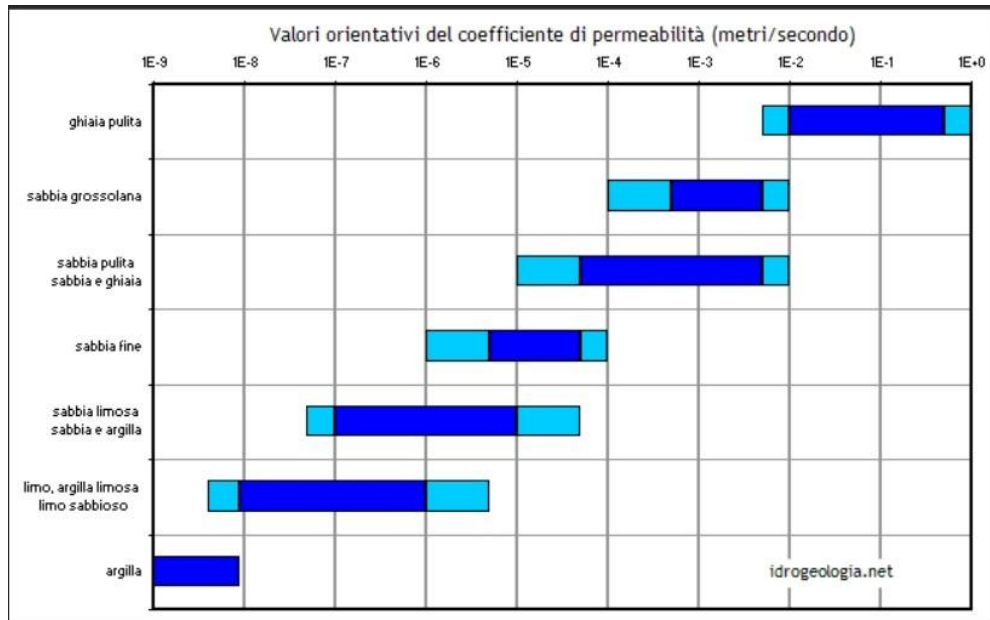
k =coefficiente di permeabilità

A = area filtrante (in m^2)

t_1, t_2 = tempi misurazione livello

h_1, h_2 =livelli idrici h_m =altezza al tempo medio

C = coefficiente di forma (per $L \gg D$, $C=L$)



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 → $k = 1.06 \times 10^{-4}$ m/s

Perm2 → $k = 8.31 \times 10^{-5}$ 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.



Figura 22a– Prova di permeabilità

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 Vigarno Mainarda ricade in zona sismica 3:

Zona sismica	Fenomeni riscontrati	Accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni
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. e l’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= 212 m/sec da M.A.S.W.

Vseq= 219 m/sec da H.V.S.R.


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	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_{eg}}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
 C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_{eg}}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_{eg}}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_{eg}}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

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	2.555	0.252
Danno (SLD)	35	0.041	2.531	0.258
Salvaguardia vita (SLV)	332	0.121	2.583	0.271
Prevenzione collasso (SLC)	682	0.165	2.565	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	1,45
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 $[m/s^2]$ 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.011	0.012	0.044	0.057
kv	0.006	0.006	0.022	0.029
Amax $[m/s^2]$	0.553	0.596	1.782	2.349
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

9.VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

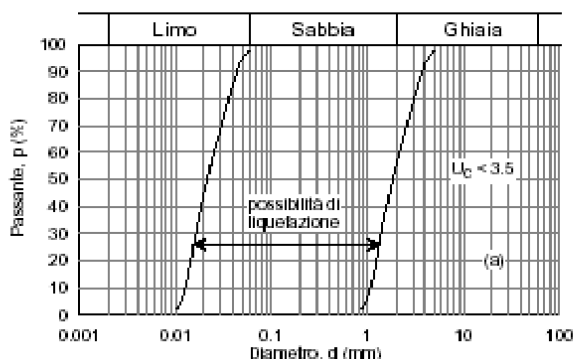
Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, sulla base della Tabella 3.2.II delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14/01/2008, le caratteristiche meccaniche dei terreni appena descritti, consentono di classificare, i profili stratigrafici come appartenenti alla categoria di suolo di fondazione tipo C " Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente con sistenti 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.." 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 90 e 451 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. Ciò è accaduto durante il terremoto del 2012 nell'area a sud, in adicenza alla S.S.468.

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 e sabbiose fino alla profondità di 10 m.

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".

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

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 (Kg/cm²) (*)</i>
Strato A	Da 0.0 m a 1.00 m circa	4	-	-	1.45	1.35	0.20
Strato B	Da 1.00 m circa a 4.00 m circa	1	-	-	1.68	-	0.06
Strato C	Da 4.00 m circa a 10 m circa	2	-	-	1.75	-	0.13

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 (Kg/cm²) = 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.

<i>Ipotesi stratigrafica</i>	<i>Profondità (m)</i>	<i>Cu (Kg/cm²) (*)</i>	<i>Descrizione</i>
Strato A	Da 0.0 m a 1.00 m circa	0.20	Terreno superficiale rimaneggiato argilloso
Strato B	Da 1.00 m circa a 4.00 m circa	0.06	Argilla limo sabbiosa
Strato C	Da 4.00 m circa a 10 m circa	0.13	Argilla

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. Durante le prove penetrometriche non è stata riscontrata la falda a circa -2.20 m dal piano campagna.
- Lo studio ha messo in evidenza che nella provincia di Ferrara gli abbassamenti sono generalmente compatibili con una subsidenza di tipo naturale. Il rilievo eseguito segnala che in corrispondenza dell'area in esame l'attività di subsidenza ha valori tra -2.5 e -5 mm/anno.
- I siti d'interesse risultano compresi all'interno del limite di fascia C e sono posizionati in aree allagabili ad elevata pericolosità.
- I siti che ospiteranno il nuovo impianto si sviluppano in Ambito Agricolo con suoli ad uso seminativo.
- Le prove di permeabilità Lefranc eseguite hanno restituito risultati compatibili con la litologia presente in situ: $k = 1.06 \times 10^{-4}$ m/s e $k = 8.31 \times 10^{-5}$ m/s.
- 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 con sistemi 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..")
- 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.

Serieate, 12 Agosto 2025



- 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

LEGENDA SPECIFICHE TECNICHE PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

DIVERSE TIPOLOGIE DI PENETROMETRI DINAMICI

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'ingfiere 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 piú 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 **053-2025**

Committente **Gridshape**
 Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
 Località **Vigarano Mainarda (FE)**

DPSH (S. Heavy)

DPSH (S. Heavy)

Sigla	DPSH (S. Heavy)	Denominativo o sigla dello strumento
Beta eff.	1.80	Coefficiente Effettivo suggerito dal costruttore del penetrometro
M(massa)	63.5 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

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

DIN

1

Riferimento

053-2025

Committente **Gridshape**
 Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
 Località **Vigarano Mainarda (FE)**

U.M.: **kg/cm²**

Data esec. **30/07/2025**

Pagina **1**
 Elaborato

Falda **-2.20 m** da p.c.

H m	asta n°	punta colpi	riv colpi	qcd kg/cm ²	H m	asta n°	punta colpi	riv colpi	qcd kg/cm ²
0.20	1	4		29.8					
0.40	1	4		16.7					
0.60	1	5		20.8					
0.80	1	3		12.5					
1.00	2	3		12.5					
1.20	2	2		8.3					
1.40	2	2		8.3					
1.60	2	2		8.3					
1.80	2	1		4.2					
2.00	3	2		8.3					
2.20	3	1		4.2					
2.40	3	1		4.2					
2.60	3	1		4.2					
2.80	3	1		4.2					
3.00	4	1		4.2					
3.20	4	1		4.2					
3.40	4	2		8.3					
3.60	4	2		8.3					
3.80	4	1		4.2					
4.00	5	3		12.5					
4.20	5	2		8.3					
4.40	5	2		8.3					
4.60	5	3		12.5					
4.80	5	4		16.7					
5.00	6	4		16.7					
5.20	6	4		16.7					
5.40	6	5		20.8					
5.60	6	5		20.8					
5.80	6	5		20.8					
6.00	7	5		20.8					
6.20	7	4		16.7					
6.40	7	6		25.0					
6.60	7	5		20.8					
6.80	7	7		29.2					
7.00	8	6		25.0					
7.20	8	8		33.3					
7.40	8	7		29.2					
7.60	8	7		29.2					
7.80	8	7		29.2					
8.00	9	7		29.2					
8.20	9	8		33.3					
8.40	9	7		29.2					
8.60	9	8		33.3					
8.80	9	7		29.2					
9.00	10	8		33.3					
9.20	10	9		37.5					
9.40	10	10		41.7					
9.60	10	10		41.7					
9.80	10	10		41.7					
10.00	11	11		45.8					
10.20	11	12		50.0					

H = profondità
 L1 = asta
 L2 = punta
 L3 = riv

qcd = Resistenza dinamica punta

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

DIN

1

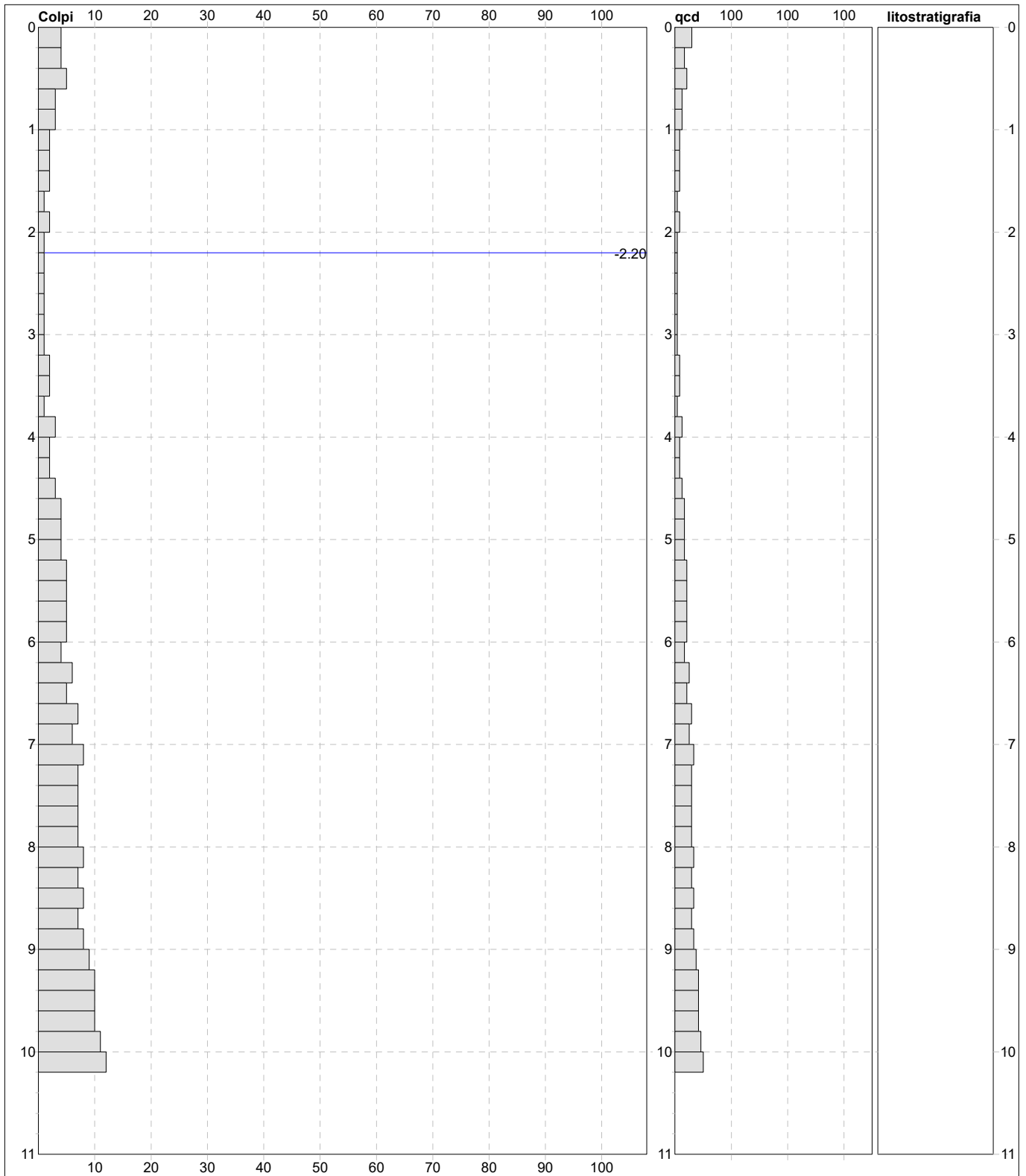
Riferimento

053-2025

Committente **Gridshape**
Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
Località **Vigarano Mainarda (FE)**

U.M.: **kg/cm²**
Scala: **1:55**
Pagina **1**
Elaborato

Data eseg. **30/07/2025**
Quota inizio : **Piano Campagna**
Falda **-2.20 m** da p.c.



Penetrometro: DPSH (S. Heavy) Massa Battente 63.50 kg Altezza caduta 0.75 m Avanzamento 0.20 m	sist.litologico: Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone Responsabile:: Dott. Alberto Velicogna Assistente::	preforo m Corr.astine: : kg/ml Cod.ISTAT: 0
--	--	--

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

SUDDIVISIONE GEOTECNICA

DIN
1

Riferimento

053-2025

 Committente **Gridshape**
 Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
 Località **Vigarano Mainarda (FE)**

 U.M.: **kg/cm²** Data esec. 30/07/2025
 Pagina 1
 Elaborato Falda -2.20 m da p.c.

PARAMETRI GENERALI

n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	qcd kg/cm ²	qc kg/cm ²	Vs m/sec	G kg/cm ²	Q kg/cm ²	natura	descrizione
1	0.00 : 1.00	minimo	3	1.47	4	13	11	32	127	0.63	Torbosa	Torba argillosa
2	1.00 : 3.80	minimo	1	1.30	1	4	5	14	81	0.21	Coesiva	Argilla limosa sabbiosa
3	3.80 : 10.20	minimo	2	0.95	2	8	7	23	112	0.42	Coesiva	Argilla

NATURA COESIVA

NATURA GRANULARE

n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kg/cm ²	Ysat t/m ³	W %	e -	Mo kg/cm ²	Dr %	ϕ °	E' kg/cm ²	Ysat t/m ³	Yd t/m ³	Mo kg/cm ²	Liq. -
1	0.00 : 1.00	4	0.20	1.45	103	2.78	26	---	---	---	---	---	---	---
2	1.00 : 3.80	1	0.06	1.68	56	1.52	22	---	---	---	---	---	---	---
3	3.80 : 10.20	2	0.13	1.75	47	1.27	25	---	---	---	---	---	---	---

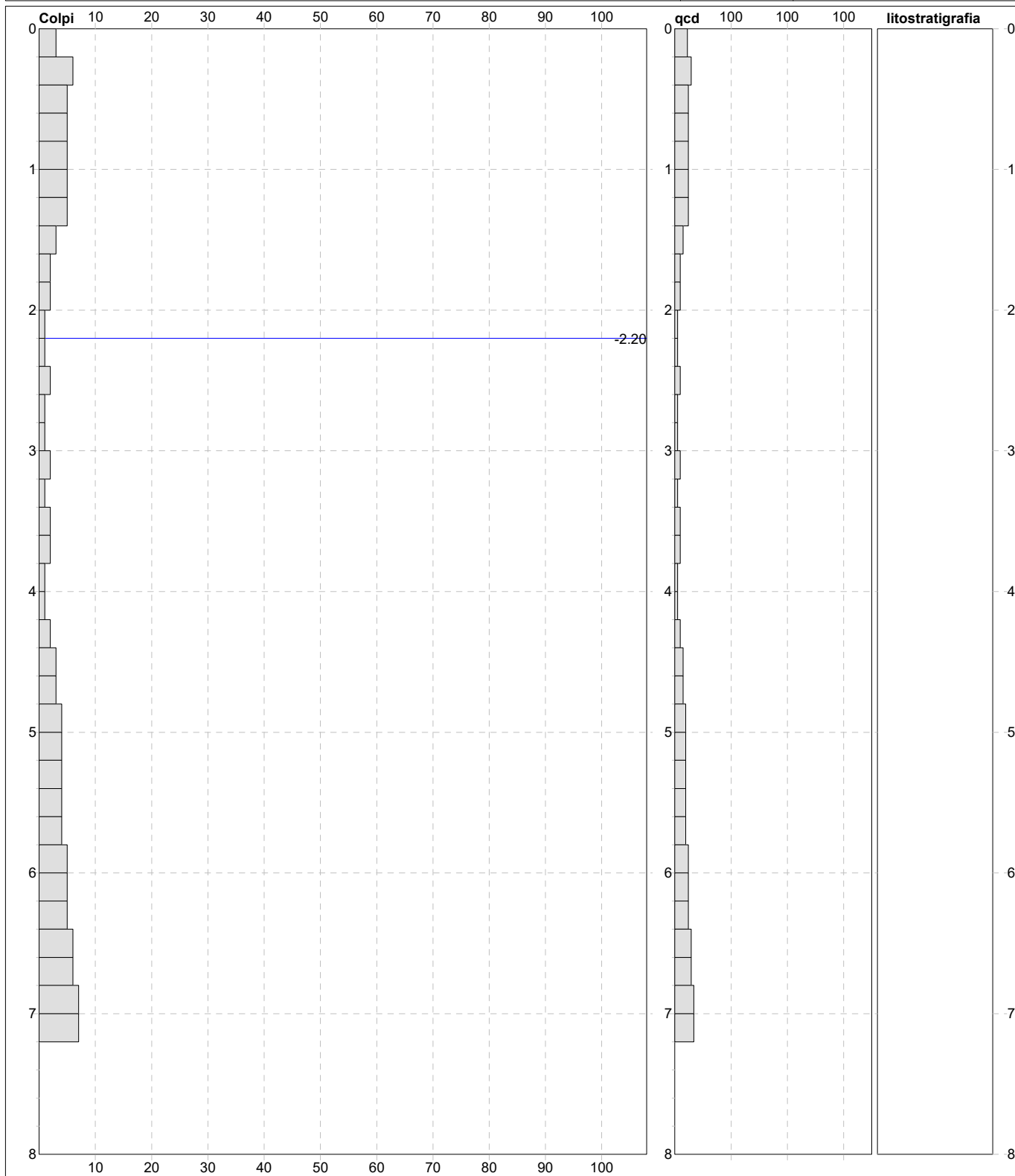
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

DIN **2**

Riferimento **053-2025**

Committente **Gridshape**
Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
Località **Vigarano Mainarda (FE)**

U.M.: **kg/cm²** Data eseg. **30/07/2025**
Scala: **1:40**
Pagina **1** Quota inizio: **Piano Campagna**
Elaborato Falda **-2.20 m** da p.c.



Penetrometro: DPSH (S. Heavy)	sist.litologico: Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone	preforo m
Massa Battente 63.50 kg	Responsabile:: Dott. Alberto Velicogna	Corr.astine: : kg/ml
Altezza caduta 0.75 m	Assistente::	Cod.ISTAT: 0
Avanzamento 0.20 m		

FON134

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

SUDDIVISIONE GEOTECNICA

DIN
2

Riferimento

053-2025

 Committente **Gridshape**
 Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
 Località **Vigarano Mainarda (FE)**

 U.M.: **kg/cm²**

Data esec. 30/07/2025

 Pagina 1
 Elaborato

Falda -2.20 m da p.c.

PARAMETRI GENERALI

n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	qcd kg/cm ²	qc kg/cm ²	Vs m/sec	G kg/cm ²	Q kg/cm ²	natura	descrizione
1	0.00 : 1.40	minimo	3	1.45	4	22	11	32	127	1.12	Torbosa	Torba argillosa
2	1.40 : 4.60	minimo	1	1.25	1	5	4	14	85	0.24	Coesiva	Argilla limosa sabbiosa
3	4.60 : 7.20	minimo	3	1.06	3	14	11	30	117	0.72	Coesiva	Argilla

NATURA COESIVA

NATURA GRANULARE

n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kg/cm ²	Ysat t/m ³	W %	e -	Mo kg/cm ²	Dr %	ϕ °	E' kg/cm ²	Ysat t/m ³	Yd t/m ³	Mo kg/cm ²	Liq. -
1	0.00 : 1.40	4	0.20	1.45	103	2.78	26	---	---	---	---	---	---	---
2	1.40 : 4.60	1	0.06	1.68	56	1.52	22	---	---	---	---	---	---	---
3	4.60 : 7.20	3	0.19	1.78	44	1.19	28	---	---	---	---	---	---	---

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

DIN **3**

Riferimento **053-2025**

Committente **Gridshape**
 Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
 Località **Vigarano Mainarda (FE)**

U.M.: **kg/cm²** Data esec. **30/07/2025**

Pagina **1**
 Elaborato

Falda **-2.20 m** da p.c.

H m	asta n°	punta colpi	riv colpi	qcd kg/cm ²	H m	asta n°	punta colpi	riv colpi	qcd kg/cm ²
0.20	1	5		37.2					
0.40	1	4		20.2					
0.60	1	4		20.2					
0.80	1	3		15.2					
1.00	2	4		20.2					
1.20	2	2		10.1					
1.40	2	3		15.2					
1.60	2	3		15.2					
1.80	2	3		15.2					
2.00	3	2		10.1					
2.20	3	2		10.1					
2.40	3	1		5.1					
2.60	3	1		5.1					
2.80	3	2		10.1					
3.00	4	2		10.1					
3.20	4	1		5.1					
3.40	4	2		10.1					
3.60	4	2		10.1					
3.80	4	1		5.1					
4.00	5	1		5.1					
4.20	5	2		10.1					
4.40	5	1		5.1					
4.60	5	3		15.2					
4.80	5	4		20.2					
5.00	6	3		15.2					
5.20	6	4		20.2					
5.40	6	4		20.2					
5.60	6	5		25.3					
5.80	6	5		25.3					
6.00	7	6		30.3					
6.20	7	5		25.3					

H = profondità
 L1 = asta
 L2 = punta
 L3 = riv

qcd = Resistenza dinamica punta

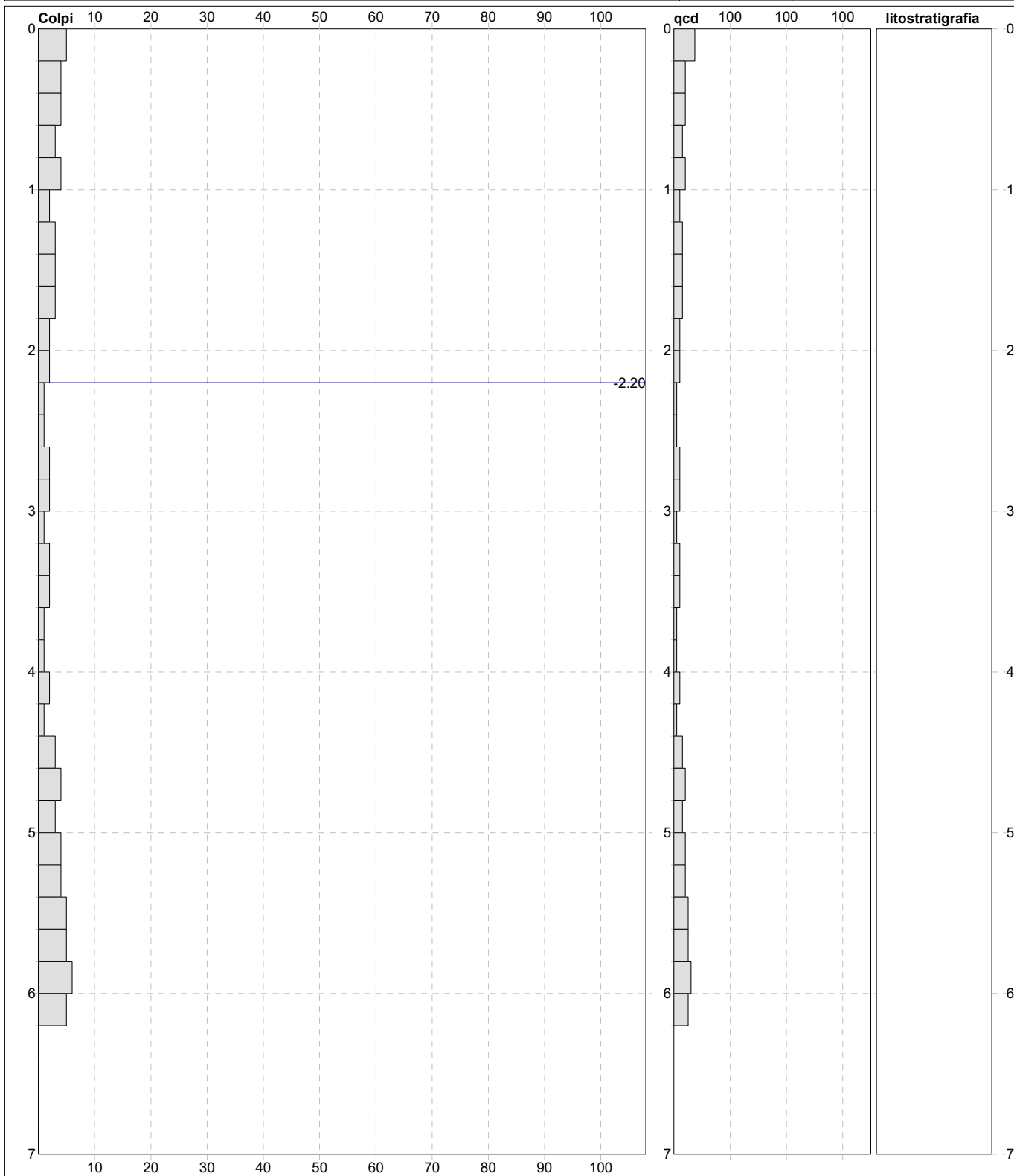
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

DIN 3

Riferimento **053-2025**

Committente **Gridshape**
Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
Località **Vigarano Mainarda (FE)**

U.M.: **kg/cm²** Data eseg. **30/07/2025**
Scala: **1:35**
Pagina **1** Quota inizio: **Piano Campagna**
Elaborato Falda **-2.20 m** da p.c.



Penetrometro: DPSH (S. Heavy)	sist.litologico: Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone	preforo m
Massa Battente 63.50 kg	Responsabile:: Dott. Alberto Velicogna	Corr.astine: : kg/ml
Altezza caduta 0.75 m	Assistente::	Cod.ISTAT: 0
Avanzamento 0.20 m		

FON134

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUDDIVISIONE GEOTECNICA

DIN
3

Riferimento

053-2025

 Committente **Gridshape**
 Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
 Località **Vigarano Mainarda (FE)**

 U.M.: **kg/cm²**

Data esec. 30/07/2025

 Pagina 1
 Elaborato

Falda -2.20 m da p.c.

PARAMETRI GENERALI

n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	qcd kg/cm ²	qc kg/cm ²	Vs m/sec	G kg/cm ²	Q kg/cm ²	natura	descrizione
1	0.00 : 1.00	minimo	3	1.47	4	15	11	32	127	0.76	Torbosa	Torba argillosa
2	1.00 : 4.60	minimo	1	1.26	1	5	5	14	83	0.26	Coesiva	Argilla limosa sabbiosa
3	4.60 : 6.20	minimo	3	1.09	3	15	11	30	115	0.76	Coesiva	Argilla

NATURA COESIVA

NATURA GRANULARE

n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kg/cm ²	Ysat t/m ³	W %	e -	Mo kg/cm ²	Dr %	ϕ °	E' kg/cm ²	Ysat t/m ³	Yd t/m ³	Mo kg/cm ²	Liq. -
1	0.00 : 1.00	4	0.20	1.45	103	2.78	26	---	---	---	---	---	---	---
2	1.00 : 4.60	1	0.06	1.68	56	1.52	22	---	---	---	---	---	---	---
3	4.60 : 6.20	3	0.19	1.78	44	1.19	28	---	---	---	---	---	---	---

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

DIN

4

Riferimento

053-2025

Committente **Gridshape**
 Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
 Località **Vigarano Mainarda (FE)**

U.M.: **kg/cm²**

Data esec. **30/07/2025**

Pagina **1**
 Elaborato

Falda **-2.20 m** da p.c.

H m	asta n°	punta colpi	riv colpi	qcd kg/cm ²	H m	asta n°	punta colpi	riv colpi	qcd kg/cm ²
0.20	1	3		22.3					
0.40	1	3		15.2					
0.60	1	4		20.2					
0.80	1	5		25.3					
1.00	2	3		15.2					
1.20	2	3		15.2					
1.40	2	3		15.2					
1.60	2	2		10.1					
1.80	2	2		10.1					
2.00	3	1		5.1					
2.20	3	1		5.1					
2.40	3	2		10.1					
2.60	3	1		5.1					
2.80	3	2		10.1					
3.00	4	1		5.1					
3.20	4	1		5.1					
3.40	4	1		5.1					
3.60	4	2		10.1					
3.80	4	3		15.2					
4.00	5	3		15.2					
4.20	5	2		10.1					
4.40	5	4		20.2					
4.60	5	4		20.2					
4.80	5	4		20.2					
5.00	6	5		25.3					
5.20	6	6		30.3					
5.40	6	6		30.3					
5.60	6	6		30.3					
5.80	6	6		30.3					
6.00	7	7		35.4					
6.20	7	7		35.4					

H = profondità
 L1 = asta
 L2 = punta
 L3 = riv

qcd = Resistenza dinamica punta

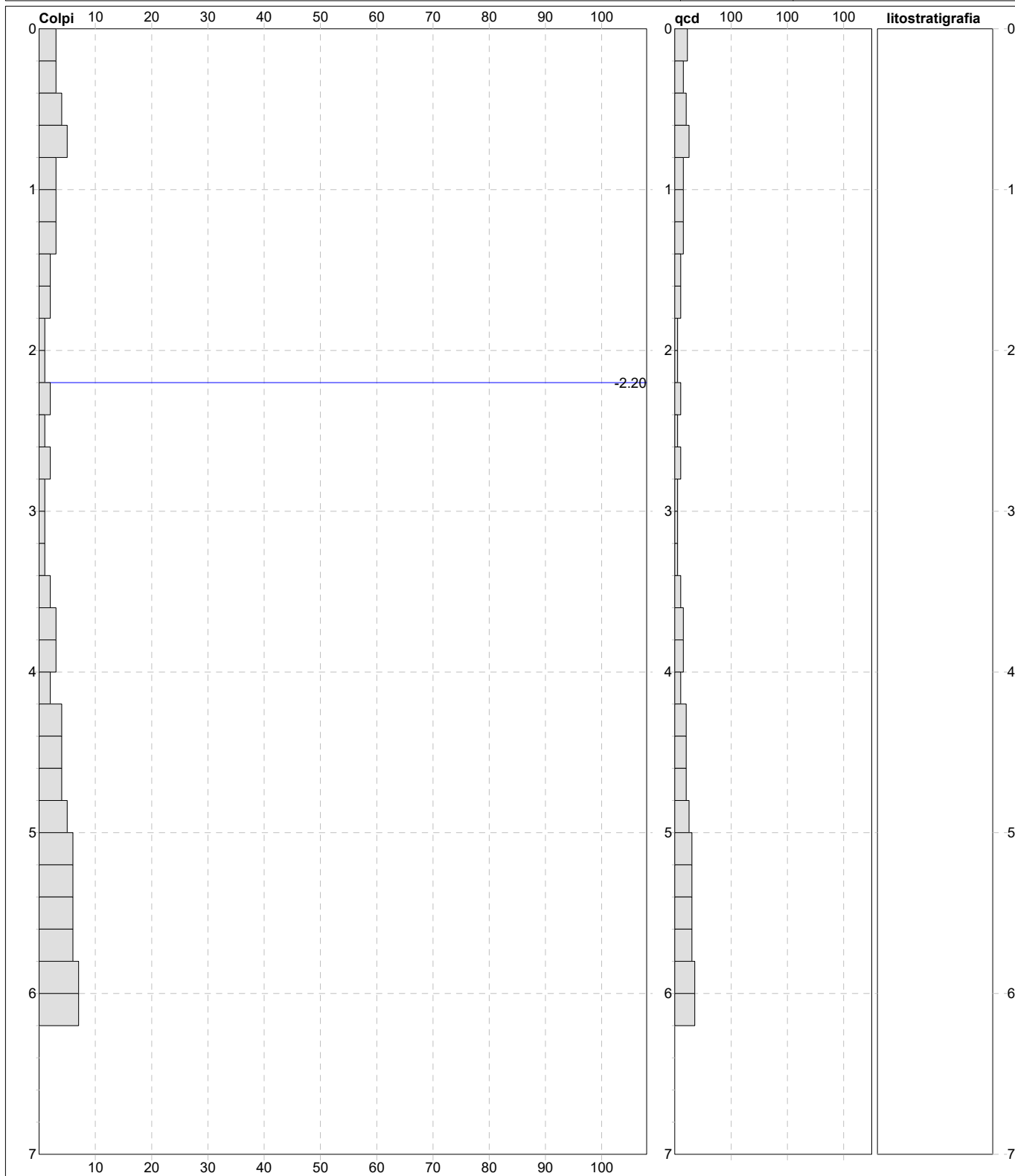
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

DIN **4**

Riferimento **053-2025**

Committente **Gridshape**
Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
Località **Vigarano Mainarda (FE)**

U.M.: **kg/cm²** Data eseg. **30/07/2025**
Scala: **1:35**
Pagina **1** Quota inizio: **Piano Campagna**
Elaborato Falda **-2.20 m** da p.c.



Penetrometro: DPSH (S. Heavy)	sist.litologico: Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone	preforo m
Massa Battente 63.50 kg	Responsabile:: Dott. Alberto Velicogna	Corr.astine: : kg/ml
Altezza caduta 0.75 m	Assistente::	Cod.ISTAT: 0
Avanzamento 0.20 m		

FON134

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUDDIVISIONE GEOTECNICA

DIN
4

Riferimento

053-2025

 Committente **Gridshape**
 Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
 Località **Vigarano Mainarda (FE)**

 U.M.: **kg/cm²**

Data esec. 30/07/2025

 Pagina 1
 Elaborato

Falda -2.20 m da p.c.

PARAMETRI GENERALI

n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	qcd kg/cm ²	qc kg/cm ²	Vs m/sec	G kg/cm ²	Q kg/cm ²	natura	descrizione
1	0.00 : 0.80	minimo	3	1.48	4	15	11	32	127	0.76	Torbosa	Torba argillosa
2	0.80 : 4.20	minimo	1	1.29	1	5	5	14	82	0.26	Coesiva	Argilla limosa sabbiosa
3	4.20 : 6.20	minimo	4	1.10	4	20	15	37	120	1.01	Coesiva	Argilla

NATURA COESIVA

NATURA GRANULARE

n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kg/cm ²	Ysat t/m ³	W %	e -	Mo kg/cm ²	Dr %	ϕ °	E' kg/cm ²	Ysat t/m ³	Yd t/m ³	Mo kg/cm ²	Liq. -
1	0.00 : 0.80	4	0.20	1.45	103	2.78	26	---	---	---	---	---	---	---
2	0.80 : 4.20	1	0.06	1.68	56	1.52	22	---	---	---	---	---	---	---
3	4.20 : 6.20	4	0.25	1.80	42	1.13	30	---	---	---	---	---	---	---

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

DIN

5

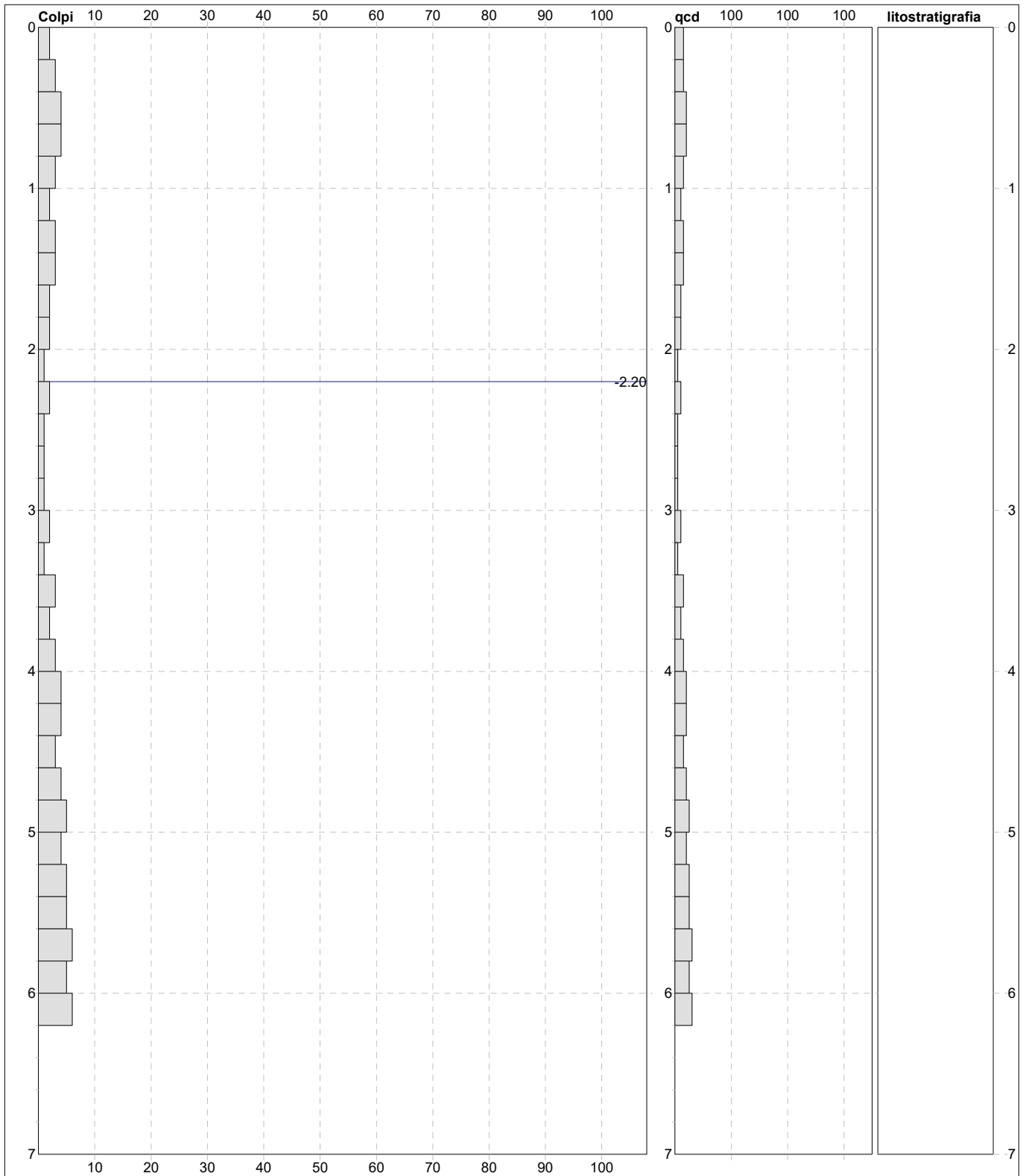
Riferimento

053-2025

Committente **Gridshape**
Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
Località **Vigarano Mainarda (FE)**

U.M.: **kg/cm²**
Scala: **1:35**
Pagina **1**
Elaborato

Data eseg. **30/07/2025**
Quota inizio : **Piano Campagna**
Falda **-2.20 m** da p.c.



Penetrometro: DPSH (S. Heavy)
Massa Battente 63.50 kg
Altezza caduta 0.75 m
Avanzamento 0.20 m

sist.litologico: Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone
Responsabile:: Dott. Alberto Velicogna
Assistente::

preforo m
Corr.astine: : kg/ml
Cod.ISTAT: 0

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

SUDDIVISIONE GEOTECNICA

DIN
5

Riferimento

053-2025

 Committente **Gridshape**
 Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
 Località **Vigarano Mainarda (FE)**

 U.M.: **kg/cm²**

Data esec. 30/07/2025

 Pagina 1
 Elaborato

Falda -2.20 m da p.c.

PARAMETRI GENERALI

n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	qcd kg/cm ²	qc kg/cm ²	Vs m/sec	G kg/cm ²	Q kg/cm ²	natura	descrizione
1	0.00 : 0.80	minimo	2	1.48	3	15	7	26	117	0.75	Torbosa	Torba argillosa
2	0.80 : 3.60	minimo	1	1.32	1	5	5	14	80	0.26	Coesiva	Argilla limosa sabbiosa
3	3.60 : 6.20	minimo	2	1.11	2	10	8	23	105	0.51	Coesiva	Argilla

NATURA COESIVA

NATURA GRANULARE

n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kg/cm ²	Ysat t/m ³	W %	e -	Mo kg/cm ²	Dr %	ϕ °	E' kg/cm ²	Ysat t/m ³	Yd t/m ³	Mo kg/cm ²	Liq. -
1	0.00 : 0.80	3	0.15	1.43	111	3.00	23	---	---	---	---	---	---	---
2	0.80 : 3.60	1	0.06	1.68	56	1.52	22	---	---	---	---	---	---	---
3	3.60 : 6.20	2	0.13	1.75	47	1.27	25	---	---	---	---	---	---	---

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

DIN

6

Riferimento

053-2025

Committente **Gridshape**
 Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
 Località **Vigarano Mainarda (FE)**

U.M.: **kg/cm²**

Data esec. **30/07/2025**

Pagina **1**
 Elaborato

Falda **-2.20 m** da p.c.

H m	asta n°	punta colpi	riv colpi	qcd kg/cm ²	H m	asta n°	punta colpi	riv colpi	qcd kg/cm ²
0.20	1	8		59.6					
0.40	1	5		25.3					
0.60	1	5		25.3					
0.80	1	4		20.2					
1.00	2	3		15.2					
1.20	2	2		10.1					
1.40	2	2		10.1					
1.60	2	1		5.1					
1.80	2	2		10.1					
2.00	3	1		5.1					
2.20	3	1		5.1					
2.40	3	1		5.1					
2.60	3	2		10.1					
2.80	3	1		5.1					
3.00	4	2		10.1					
3.20	4	2		10.1					
3.40	4	2		10.1					
3.60	4	2		10.1					
3.80	4	3		15.2					
4.00	5	2		10.1					
4.20	5	3		15.2					
4.40	5	4		20.2					
4.60	5	5		25.3					
4.80	5	5		25.3					
5.00	6	4		20.2					
5.20	6	5		25.3					
5.40	6	6		30.3					
5.60	6	6		30.3					
5.80	6	5		25.3					
6.00	7	7		35.4					
6.20	7	8		40.5					

H = profondità
 L1 = asta
 L2 = punta
 L3 = riv

qcd = Resistenza dinamica punta

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

DIN

6

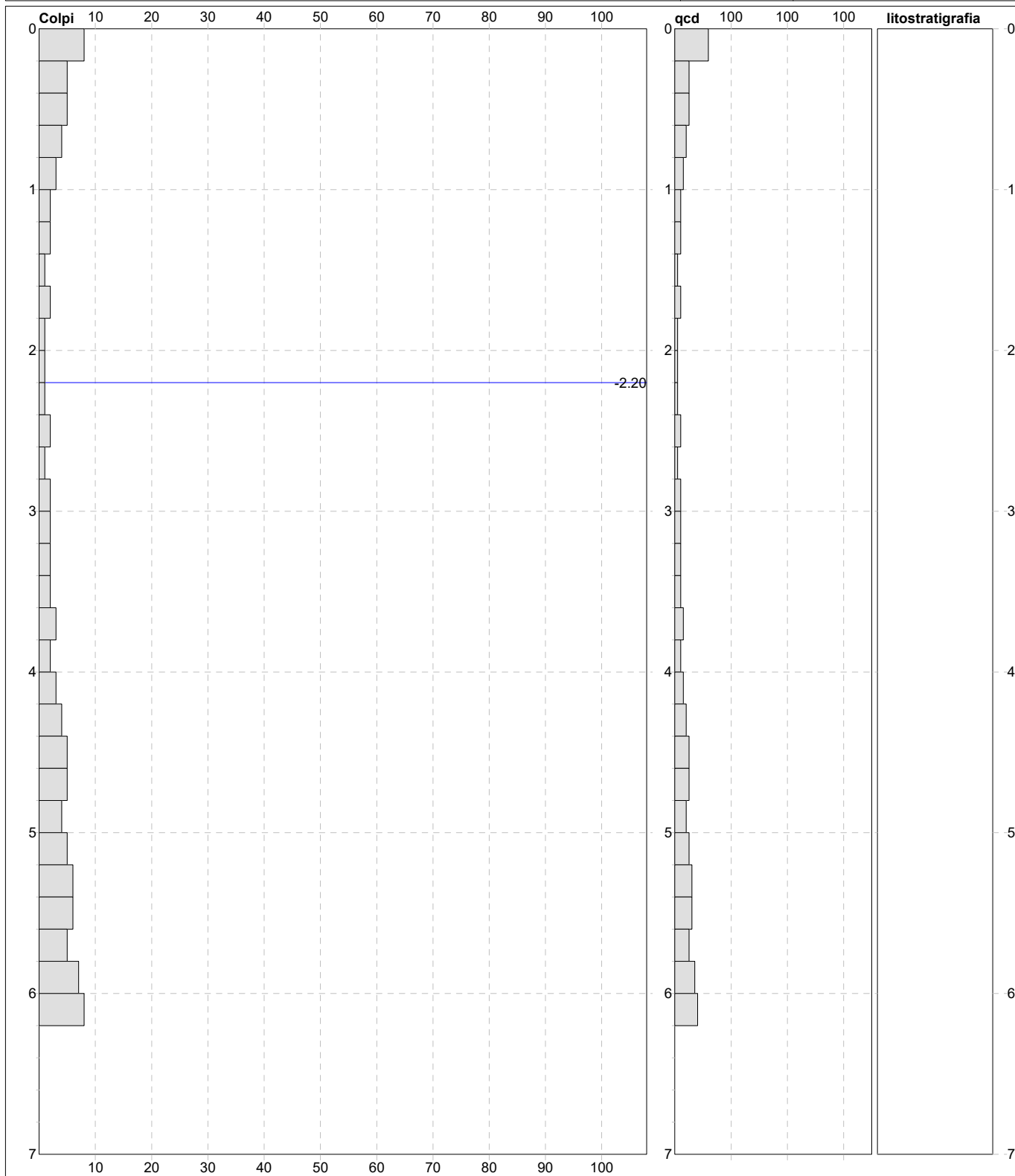
Riferimento

053-2025

Committente **Gridshape**
Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
Località **Vigarano Mainarda (FE)**

U.M.: **kg/cm²**
Scala: **1:35**
Pagina **1**
Elaborato

Data eseg. **30/07/2025**
Quota inizio: **Piano Campagna**
Falda **-2.20 m** da p.c.



Penetrometro: DPSH (S. Heavy) Massa Battente 63.50 kg Altezza caduta 0.75 m Avanzamento 0.20 m	sist.litologico: Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone Responsabile:: Dott. Alberto Velicogna Assistente::	preforo m Corr.astine: : kg/ml Cod.ISTAT: 0
--	--	--

FON134

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUDDIVISIONE GEOTECNICA

DIN
6

Riferimento

053-2025

 Committente **Gridshape**
 Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
 Località **Vigarano Mainarda (FE)**

 U.M.: **kg/cm²**

Data esec. 30/07/2025

 Pagina 1
 Elaborato

Falda -2.20 m da p.c.

PARAMETRI GENERALI

n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	qcd kg/cm ²	qc kg/cm ²	Vs m/sec	G kg/cm ²	Q kg/cm ²	natura	descrizione
1	0.00 : 1.00	minimo	3	1.47	4	15	11	32	127	0.76	Torbosa	Torba argillosa
2	1.00 : 4.00	minimo	1	1.29	1	5	5	14	82	0.26	Coesiva	Argilla limosa sabbiosa
3	4.00 : 6.20	minimo	3	1.11	3	15	11	30	113	0.76	Coesiva	Argilla

NATURA COESIVA

NATURA GRANULARE

n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kg/cm ²	Ysat t/m ³	W %	e -	Mo kg/cm ²	Dr %	ϕ °	E' kg/cm ²	Ysat t/m ³	Yd t/m ³	Mo kg/cm ²	Liq. -
1	0.00 : 1.00	4	0.20	1.45	103	2.78	26	---	---	---	---	---	---	---
2	1.00 : 4.00	1	0.06	1.68	56	1.52	22	---	---	---	---	---	---	---
3	4.00 : 6.20	3	0.19	1.78	44	1.19	28	---	---	---	---	---	---	---

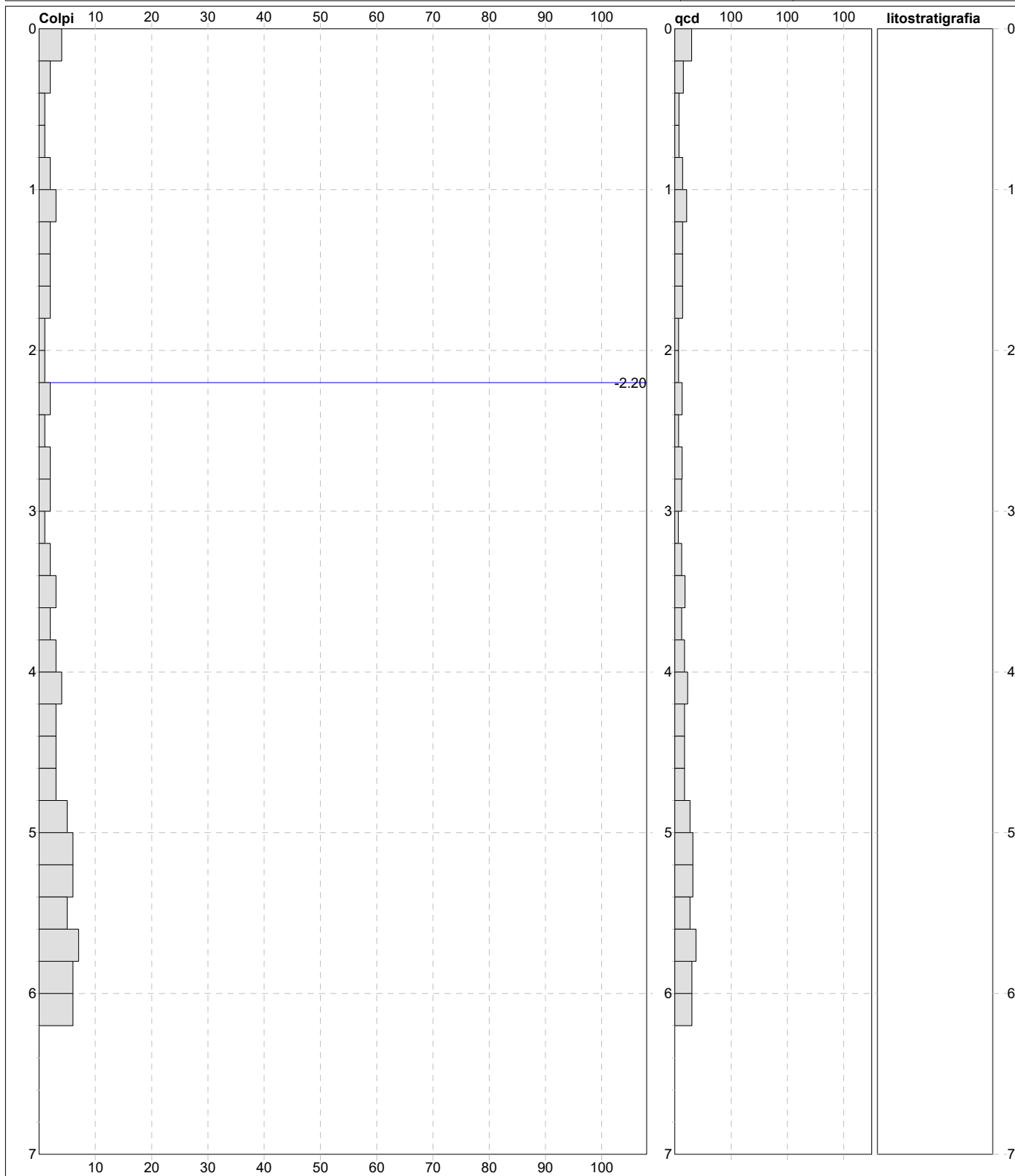
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

DIN **7**

Riferimento **053-2025**

Committente **Gridshape**
Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
Località **Vigarano Mainarda (FE)**

U.M.: **kg/cm²** Data eseg. **01/08/2025**
Scala: **1:35**
Pagina **1** Quota inizio: **Piano Campagna**
Elaborato Falda **-2.20 m** da p.c.



Penetrometro: DPSH (S. Heavy)
Massa Battente 63.50 kg
Altezza caduta 0.75 m
Avanzamento 0.20 m

sist.litologico: Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone
Responsabile:: Dott. Alberto Velicogna
Assistente::

preforo m
Corr.astine: : kg/ml
Cod.ISTAT: 0

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

SUDDIVISIONE GEOTECNICA

DIN
7

Riferimento

053-2025

 Committente **Gridshape**
 Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
 Località **Vigarano Mainarda (FE)**

 U.M.: **kg/cm²**

Data esec. 01/08/2025

 Pagina 1
 Elaborato

Falda -2.20 m da p.c.

PARAMETRI GENERALI

n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	qcd kg/cm ²	qc kg/cm ²	Vs m/sec	G kg/cm ²	Q kg/cm ²	natura	descrizione
1	0.00 : 1.20	minimo	1	1.46	1	7	4	12	85	0.37	Torbosa	Torba argillosa
2	1.20 : 4.00	minimo	1	1.28	1	6	5	14	82	0.30	Coesiva	Argilla limosa sabbiosa
3	4.00 : 6.20	minimo	3	1.11	3	17	11	30	113	0.85	Coesiva	Argilla

NATURA COESIVA

NATURA GRANULARE

n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kg/cm ²	Ysat t/m ³	W %	e -	Mo kg/cm ²	Dr %	ϕ °	E' kg/cm ²	Ysat t/m ³	Yd t/m ³	Mo kg/cm ²	Liq. -
1	0.00 : 1.20	1	0.05	1.28	192	5.18	18	---	---	---	---	---	---	---
2	1.20 : 4.00	1	0.06	1.68	56	1.52	22	---	---	---	---	---	---	---
3	4.00 : 6.20	3	0.19	1.78	44	1.19	28	---	---	---	---	---	---	---

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

DIN

8

Riferimento

053-2025

Committente **Gridshape**
 Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
 Località **Vigarano Mainarda (FE)**

U.M.: **kg/cm²**

Data esec. 01/08/2025

Pagina 1
 Elaborato

Falda -2.20 m da p.c.

H m	asta n°	punta colpi	riv colpi	qcd kg/cm ²	H m	asta n°	punta colpi	riv colpi	qcd kg/cm ²
0.20	1	3		22.3					
0.40	1	3		15.2					
0.60	1	4		20.2					
0.80	1	3		15.2					
1.00	2	3		15.2					
1.20	2	2		10.1					
1.40	2	2		10.1					
1.60	2	2		10.1					
1.80	2	2		10.1					
2.00	3	2		10.1					
2.20	3	1		5.1					
2.40	3	2		10.1					
2.60	3	2		10.1					
2.80	3	1		5.1					
3.00	4	2		10.1					
3.20	4	2		10.1					
3.40	4	2		10.1					
3.60	4	2		10.1					
3.80	4	2		10.1					
4.00	5	3		15.2					
4.20	5	3		15.2					
4.40	5	3		15.2					
4.60	5	4		22.7					
4.80	5	5		28.3					
5.00	6	4		21.4					
5.20	6	5		26.7					
5.40	6	6		32.1					
5.60	6	5		26.7					
5.80	6	6		32.1					
6.00	7	6		30.3					
6.20	7	7		35.4					

H = profondità
 L1 = asta
 L2 = punta
 L3 = riv

qcd = Resistenza dinamica punta

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

DIN

8

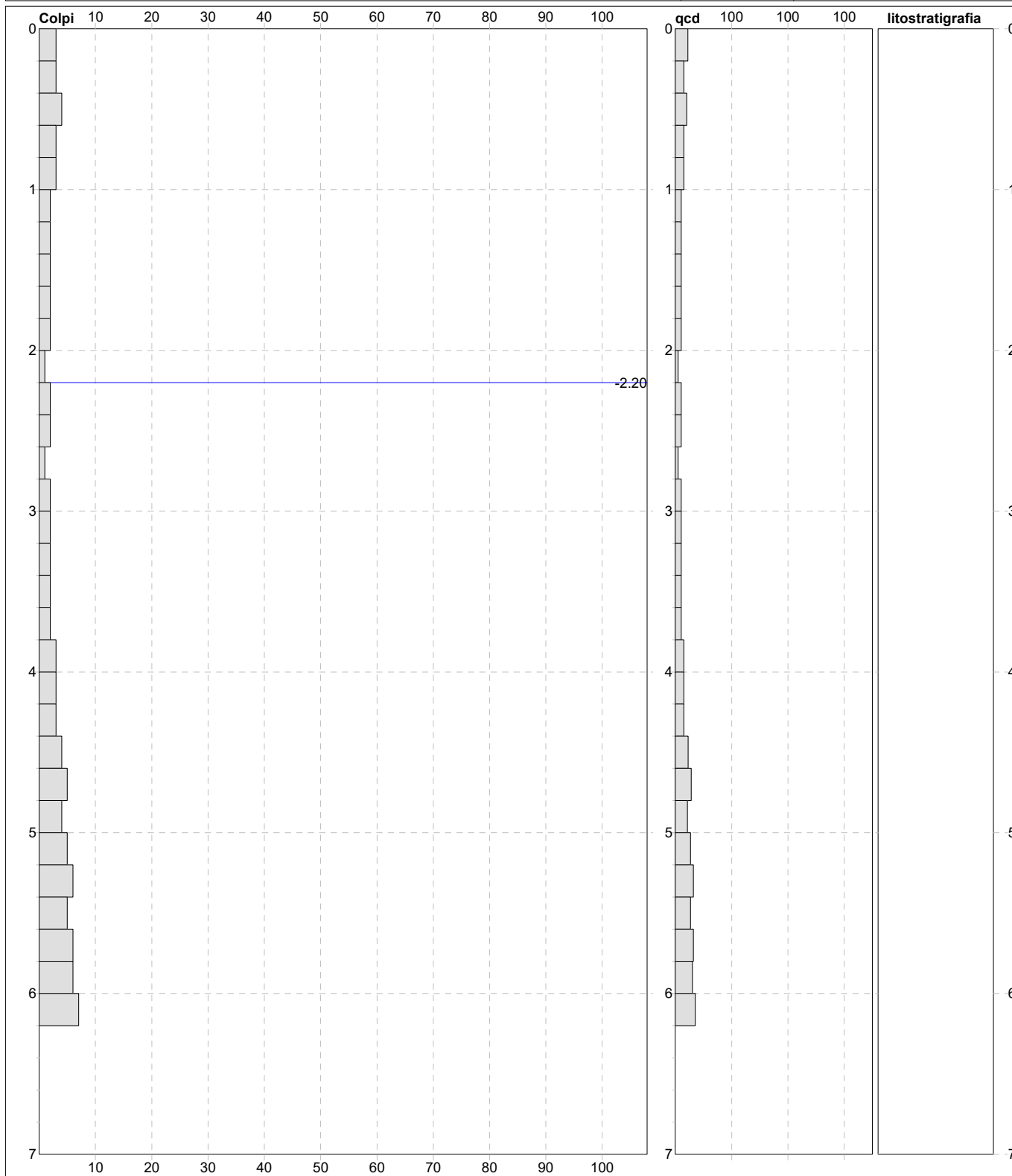
Riferimento

053-2025

Committente **Gridshape**
Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
Località **Vigarano Mainarda (FE)**

U.M.: **kg/cm²**
Scala: **1:35**
Pagina **1**
Elaborato

Data eseg. **01/08/2025**
Quota inizio : **Piano Campagna**
Falda **-2.20 m** da p.c.



Penetrometro: DPSH (S. Heavy) Massa Battente 63.50 kg Altezza caduta 0.75 m Avanzamento 0.20 m	sist.litologico: Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone Responsabile:: Dott. Alberto Velicogna Assistente::	preforo m Corr.astine: : kg/ml Cod.ISTAT: 0
--	--	--

FON134

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUDDIVISIONE GEOTECNICA

DIN
8

Riferimento

053-2025

 Committente **Gridshape**
 Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
 Località **Vigarano Mainarda (FE)**

 U.M.: **kg/cm²**

Data esec. 01/08/2025

 Pagina 1
 Elaborato

Falda -2.20 m da p.c.

PARAMETRI GENERALI

n°	profondità m	statistica	VCA colpi	β -	Nspt colpi	qcd kg/cm ²	qc kg/cm ²	Vs m/sec	G kg/cm ²	Q kg/cm ²	natura	descrizione
1	0.00 : 4.40	minimo	1	1.31	1	5	5	14	80	0.26	Coesiva	Argilla limosa sabbiosa
2	4.40 : 6.20	minimo	4	1.08	4	21	15	37	120	1.07	Coesiva	Argilla

NATURA COESIVA

NATURA GRANULARE

n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kg/cm ²	Ysat t/m ³	W %	e -	Mo kg/cm ²	Dr %	ϕ °	E' kg/cm ²	Ysat t/m ³	Yd t/m ³	Mo kg/cm ²	Liq. -
1	0.00 : 4.40	1	0.06	1.68	56	1.52	22	---	---	---	---	---	---	---
2	4.40 : 6.20	4	0.25	1.80	42	1.13	30	---	---	---	---	---	---	---

LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI SPECIFICHE TECNICHE

VALUTAZIONI STATISTICHE - CORRELAZIONI N / N_{spt}

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 N_{spt} della prova SPT : $N_{spt} = \beta N$ [ove per il coefficiente β si potrà introdurre un valore sperimentale a piacere (vedi note illustrative), ovvero il coefficiente teorico di energia β_t fornito dal programma] .

VALUTAZIONE RESISTENZA DINAMICA E COEFFICIENTE DI ENERGIA

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

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

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

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

ovvero in base alla formula semplificata :

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

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

Ciò considerato, volendo riferire la prova in esame (N,Q) alla prova SPT (N_{spt},Q_{spt}),

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

$$qcd = Q N = Q_{spt} N_{spt} \Rightarrow N_{spt} = N [Q/Q_{spt}] = \beta_t N ,$$

ove il rapporto $\beta_t = Q/Q_{spt}$ viene definito coefficiente teorico di energia della prova in esame ,
relativamente alla prova SPT ($Q_{spt} = 7.83 \text{ kg/cm}^2 = 0.768 \text{ MPa}$) 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 :

N_{spt} -> Dr DENSITA' RELATIVA (Terreni granulari) - TERZAGHI & PECK (1948-1967)

N_{spt} -> θ' ANGOLO DI ATTRITO EFFICACE (Terreni granulari) - OWASAKI & IWASAKI (1959)

N_{spt} -> E' MODULO DI DEFORMAZIONE DRENATO (Terreni granulari) - D'APPOLONIA e altri (1970)

N_{spt} -> Cu COESIONE NON DRENATA (Terreni coesivi) - TERZAGHI & PECK (1948-1967)

N_{spt} -> 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]

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

δ TENSIONE LITOSTATICA al centro del banco

N_{spt} -> Vs VELOCITA' ONDE S di propagazione delle onde sismiche (Idriss 1996)

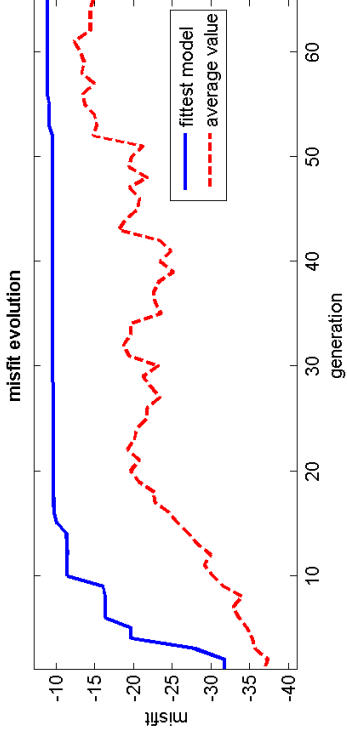
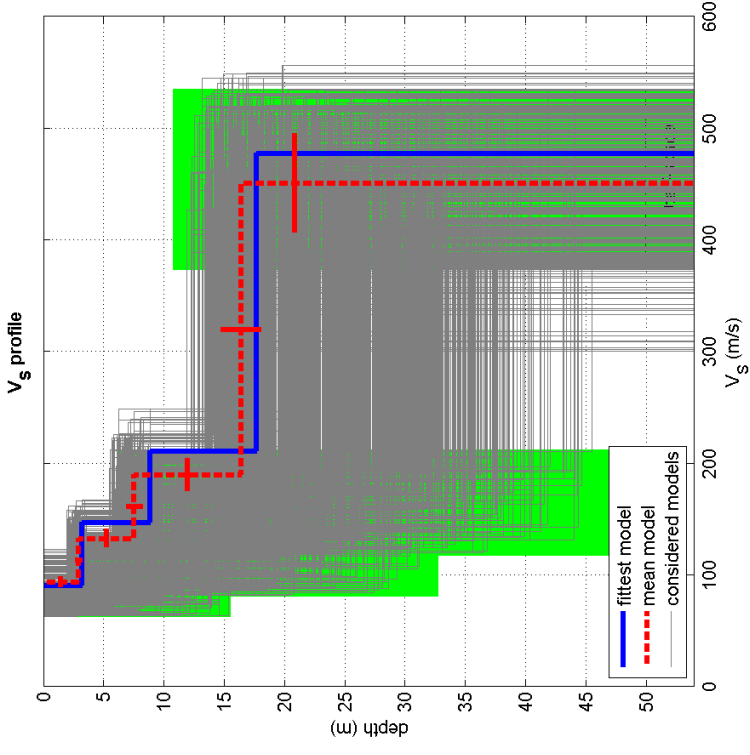
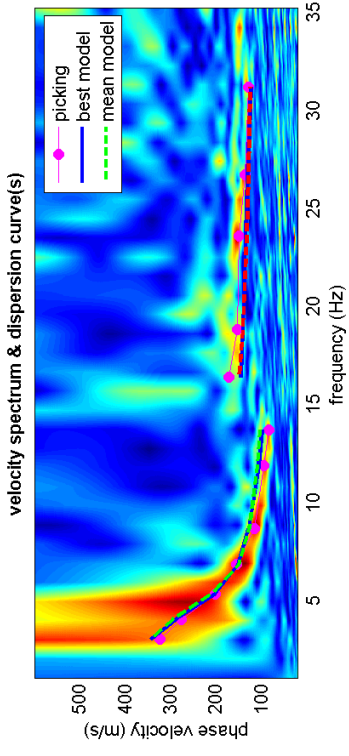
N_{spt} -> G MODULO DI TAGLIO DINAMICO $G = A \times N_{spt}^B$ (Ohsaki & Iwasaki mod.)

N_{spt} -> MO MODULO DEFORMAZIONE Coesivo e Granulare (Begemann 1974)

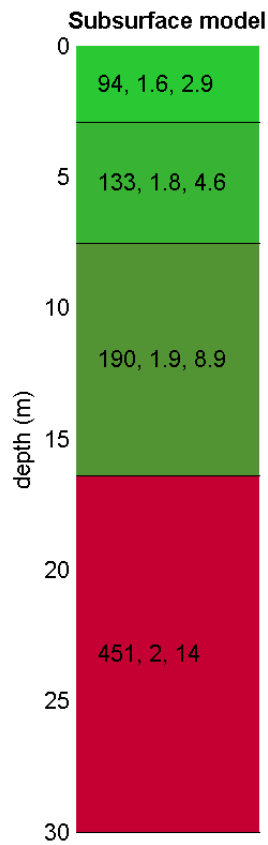
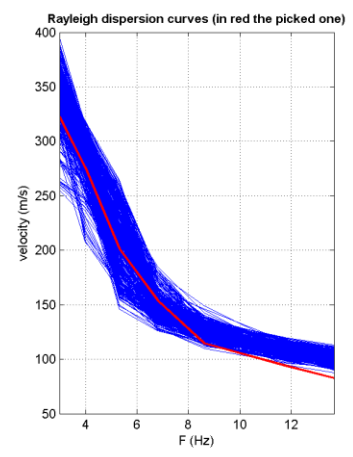
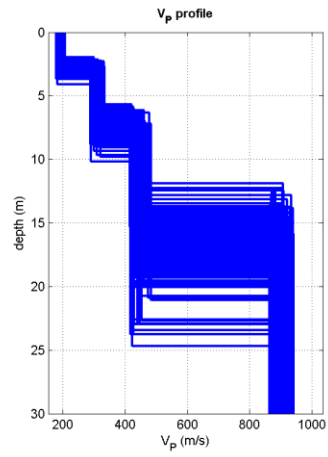
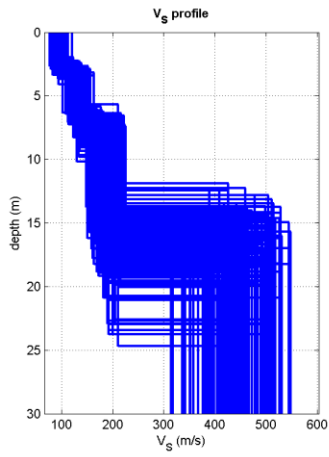
F.L. FATTORE DI LIQUEFAZIONE [NON ATTIVO]

accelerazione al suolo che può causare liquefazione (terreni granulari)

(g = accelerazione gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976) [correlazioni : (Amax/g)]



dataset: 2025-07-31_4-27_048.dat
 dispersion curve: Vigarano Mainarda (FE) 31.07.25.cdp
 Vs30 (best model): 212 m/s
 Vs30 (mean model): 210 m/s



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

VIGARANO MAINARDA,

Instrument: EXT-PASI_Gea24

Data format: 16 bit

Full scale [mV]: 179

Start recording: 31/07/2025 12:59:14 End recording: 31/07/2025 13:19:14

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

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 93% trace (automatic window selection)

Sampling rate: 125 Hz

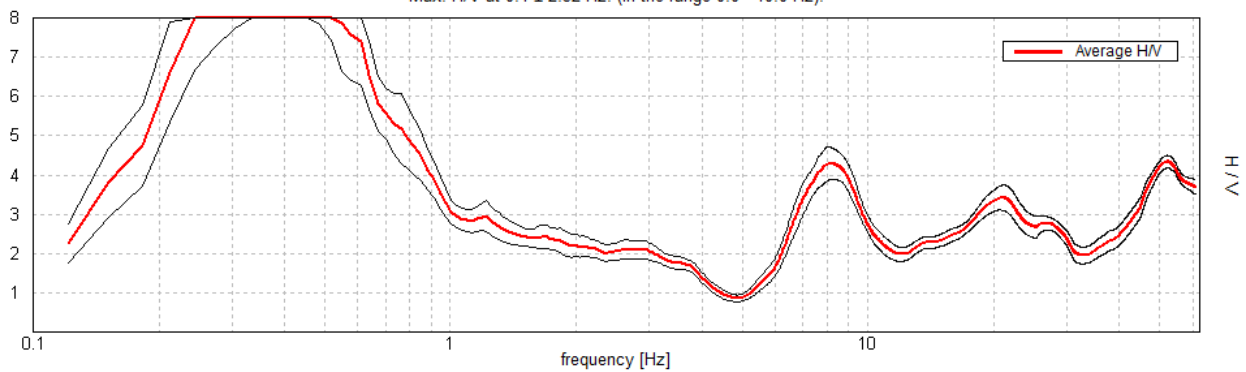
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

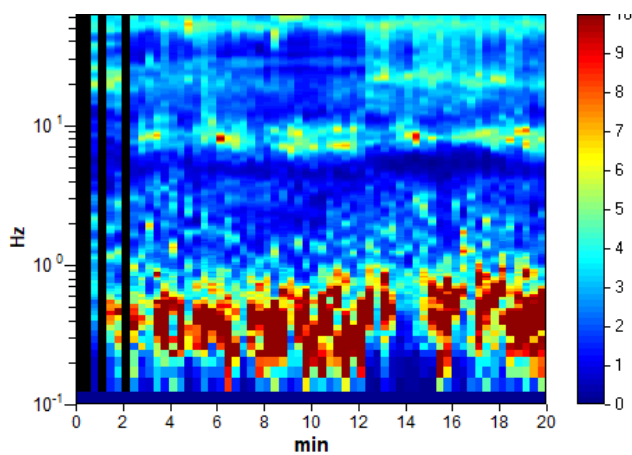
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

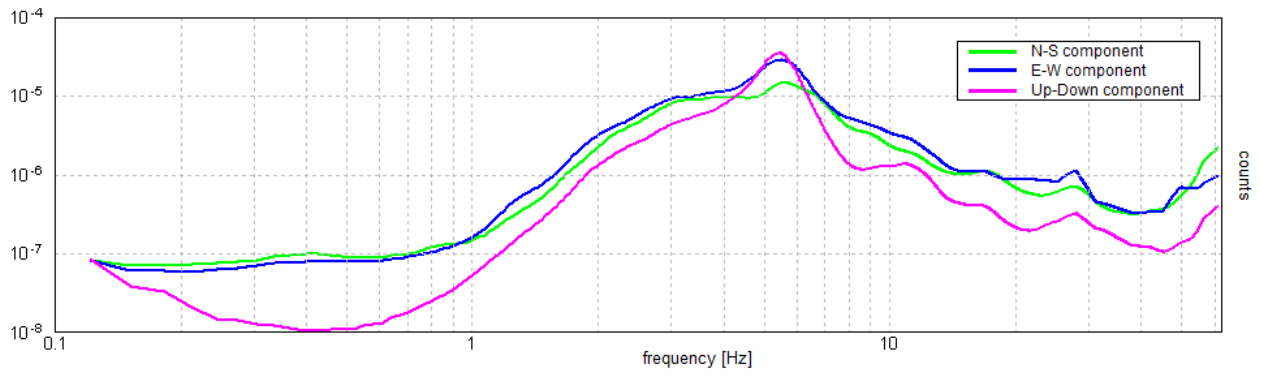
Max. H/V at 0.4 ± 2.52 Hz. (In the range 0.0 - 40.0 Hz).



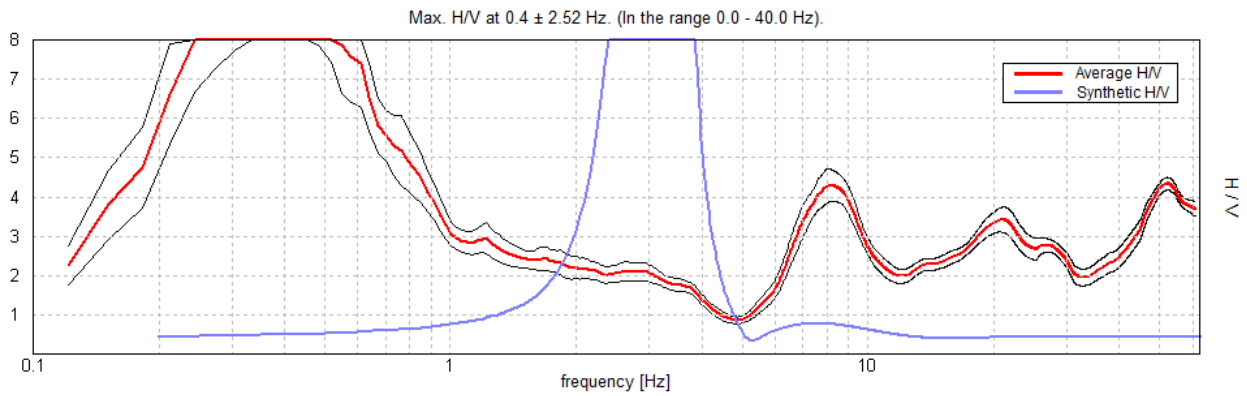
H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA

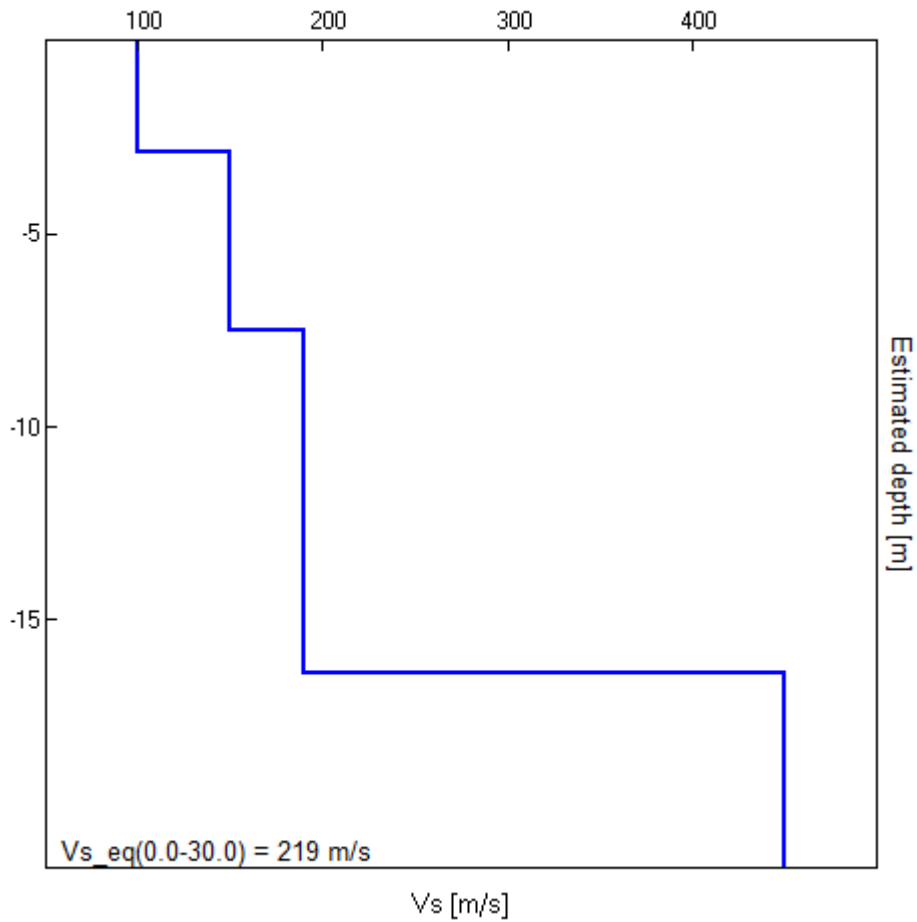


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.90	2.90	100	0.42
7.50	4.60	150	0.42
16.40	8.90	190	0.42
inf.	inf.	450	0.42

$Vs_{eq}(0.0-30.0) = 219$ 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 ± 2.52 Hz (in the range 0.0 - 40.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	0.40 > 0.50		NO
$n_c(f_0) > 200$	444.3 > 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 $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.183 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	0.702 Hz	OK	
$A_0 > 2$	11.33 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 6.34297 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	2.51644 < 0.07935		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.7992 < 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

PROVA DI PERMEABILITA' A CARICO VARIABILE
Condizioni terreno naturali

Prova 1

COMMITTENTE	Gridshape s.r.l.
CANTIERE	Vigarano Mainarda (FE)
DATA	01/08/2025

TEMPO secondi	LETTURE m	ABBASSAMENTI m
0	0.000	1.910
30	0.180	1.730
60	0.220	1.690
90	0.250	1.660
120	0.270	1.640
150	0.300	1.610
180	0.320	1.590
210	0.350	1.560
240	0.370	1.540
270	0.390	1.520
300	0.420	1.490
330	0.440	1.470
360	0.460	1.450
390	0.470	1.440
420	0.490	1.420
450	0.500	1.410
480	0.520	1.390
510	0.530	1.380
540	0.540	1.370
570	0.550	1.360
600	0.560	1.350

Tempo di svuotamento: -

Dati di campagna	m
PROFONDITA'	1.500
LUNGHEZZA RIVESTIMENTO	1.910
ALTEZZA TASCA FILTRANTE	0.100
DIAMETRO RIVESTIMENTO (esterno)	0.045

Formula adottata per calcolo permeabilità

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

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)

Area filtrante (A) (mq)	0.01413
t ₁ (sec)	0
t ₂ (sec)	420
h ₁ (m)	1.91
h ₂ (m)	1.42
h _m (m)	1.56

COEFFICIENTE DI PERMEABILITA' k= 1.06E-04

PROVA DI PERMEABILITA' A CARICO VARIABILE
Condizioni terreno naturali

Prova 2

COMMITTENTE	Gridshape s.r.l.
CANTIERE	Vigarano Mainarda (FE)
DATA	01/08/2025

TEMPO secondi	LETTURE m	ABBASSAMENTI m
0	0.000	1.910
30	0.120	1.790
60	0.160	1.750
90	0.190	1.720
120	0.220	1.690
150	0.240	1.670
180	0.270	1.640
210	0.290	1.620
240	0.300	1.610
270	0.320	1.590
300	0.340	1.570
330	0.360	1.550
360	0.370	1.540
390	0.390	1.520
420	0.400	1.510
450	0.420	1.490
480	0.430	1.480
510	0.450	1.460
540	0.460	1.450
570	0.480	1.430
600	0.490	1.420

Tempo di svuotamento: -

Dati di campagna	m
PROFONDITA'	1.500
LUNGHEZZA RIVESTIMENTO	1.910
ALTEZZA TASCA FILTRANTE	0.100
DIAMETRO RIVESTIMENTO (esterno)	0.045

Formula adottata per calcolo permeabilità

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

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)

Area filtrante (A) (mq)	0.01413
t ₁ (sec)	0
t ₂ (sec)	420
h ₁ (m)	1.91
h ₂ (m)	1.51
h _m (m)	1.62

COEFFICIENTE DI PERMEABILITA' k= 8.31E-05