



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

**RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E
SISMICA PER LA REALIZZAZIONE DI UN CAMPO FOTOVOLTAICO**

GAVELLO - COMUNE DI BONDENO (FE)



Commessa: 077-25

Data: 21/11/2025

Dott.Geol. Alberto Velicogna



Sommario

1.PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO	2
2.INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO	4
2.1 INQUADRAMENTO DEL SITO IN ESAME.....	6
3.INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	9
3.1 SUBSIDENZA E MOVIMENTI DEL SUOLO	12
4.INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO GENERALE	14
6.AMBITO URBANISTICO ED ANALISI PGRA	19
7.INDAGINE GEOGNOSTICA.....	23
7.1 <i>Prove penetrometriche dinamiche</i>	24
7.2 <i>Indagine di sismica M.A.S.W.</i>	28
7.3 <i>Indagine di sismica passiva H.V.S.R.</i>	30
7.4 <i>Calcolo della permeabilità in sito</i>	32
8.CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	35
9.VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE	38
9.1 VERIFICA DI FI – FATTORE DI SICUREZZA	40
10.MODELLO GEOTECNICO	44
11.CONCLUSIONI.....	46
ALLEGATI.....	48

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 con potenza 116'310,480 KWp, ubicato nell'agro del comune di Bondeno in frazione di Gavello (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 6.11.2025 si è effettuata una campagna di indagini mediante l'esecuzione di:

- n° 10 prove penetrometriche dinamiche DPSH
- n° 1 indagine geofisica con metodologia M.A.S.W.
- n° 1 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.

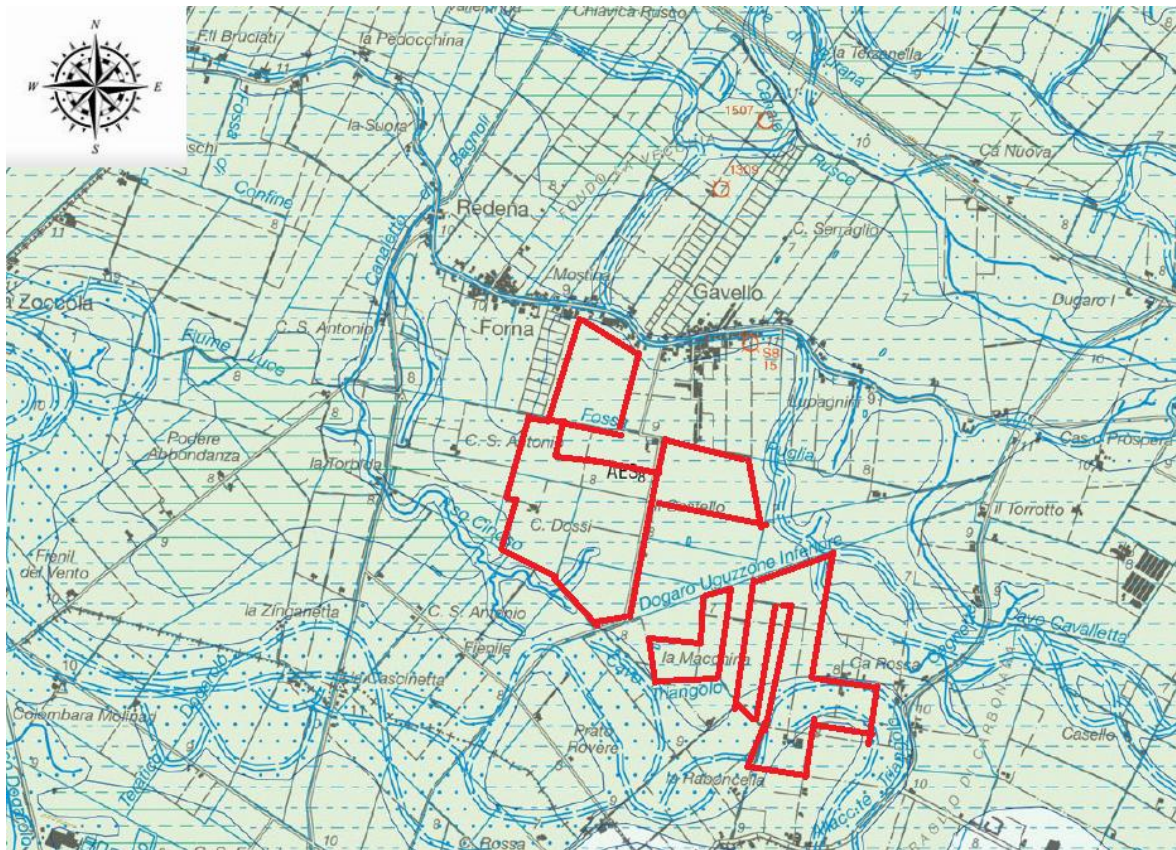


Figura 1 – Ubicazione del sito nel comune di Bondeno (FE)

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

PSA – Piano Strutturale Comunale Associato

PSC - comune Bondeno (FE)

2.INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO

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

Da un primo esame della carta altimetrica, si evince che l'orografia dell'Alto Ferrarese (Fig. 3) è caratterizzata dalla totale collocazione in pianura; l'altitudine è compresa tra un massimo di 23.35 m s.l.m. (nel Comune di Cento) ed un minimo di 4.4 m s.l.m. (nel Comune di Bondeno). Il dislivello per tutto il territorio dell'Alto Ferrarese è pari a circa 19 metri e, se si eccettua la porzione meridionale del Comune di Cento, è valutabile in non più di 10 metri.

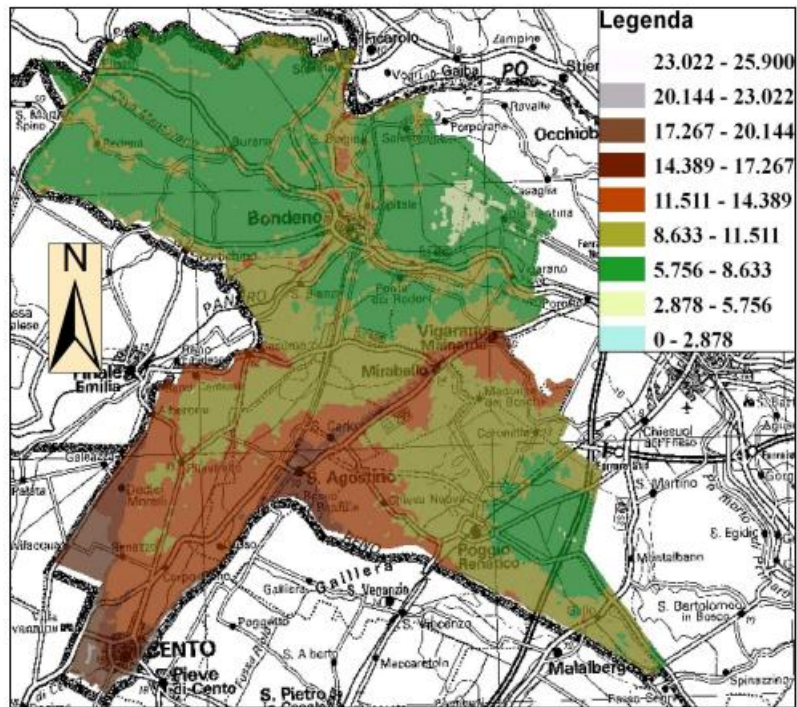


Figura 3 – Particolare del Modello Altimetrico Digitale (TIN) per l'Alto Ferrarese

Dalla carta altimetrica è inoltre possibile localizzare con una certa facilità gli antichi corsi dei principali fiumi che hanno solcato queste terre, ora espressi come paleoalvei dossivi e ben riconoscibili sulla carta. In particolare, sono evidenti il corso dal paleo-Reno che dal territorio centese si dirigeva verso il paleoalveo del Po di Ferrara, l'area di divagazione del paleo-Reno presente in prossimità dell'abitato di Sant'Agostino ed infine i dossi imputabili ai paleo-Po di diverse epoche (Poazzo e Po di Ferrara) che si sviluppano nell'area in cui oggi scorre il Fiume Panaro. Altrettanto evidenti, sulla carta altimetrica, sono le zone depresse degli antichi intercatini, un tempo paludose e ripetutamente oggetto di interventi di risistemazione e bonifica. Le più importanti sono l'area della Diamantina al confine tra i territori comunali di Bondeno e di Vigarano Mainarda e l'area della Sammartina all'estremità orientale del comune di Poggio Renatico.

L'Alto Ferrarese è per la gran parte interessato da subsidenza di scarsa entità se si eccettuano l'area della Sammartina ed il Comune di Cento. Infatti, nell'area della Sammartina sono rilevabili notevoli velocità di abbassamento anche se, dall'ultimo confronto si segnala un generale rallentamento del fenomeno (abbassamenti intorno a 1 cm/anno). Si suppone che l'entità del fenomeno sia essenzialmente legata agli abbassamenti indotti nella falda freatica per fini di bonifica. Diversa è invece la causa dell'abbassamento sul territorio del comune di Cento, con una punta di circa 2.8 cm/anno al confine con la provincia di Bologna, riconducibile alla forte subsidenza che interessa la conoide alluvionale del Reno.

2.1 Inquadramento del sito in esame

L'area che ospiterà il nuovo impianto si colloca ad ovest del centro abitato di Bondeno in area pianeggiante ed agricola.

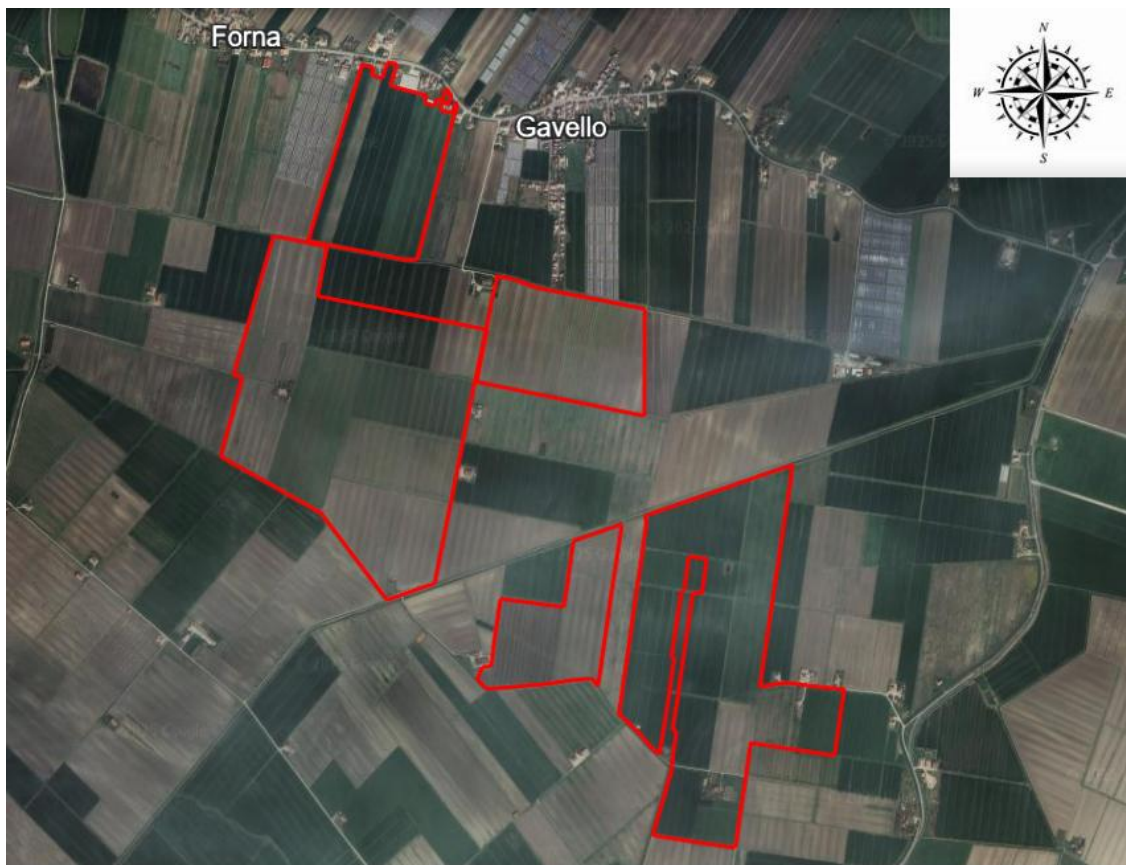
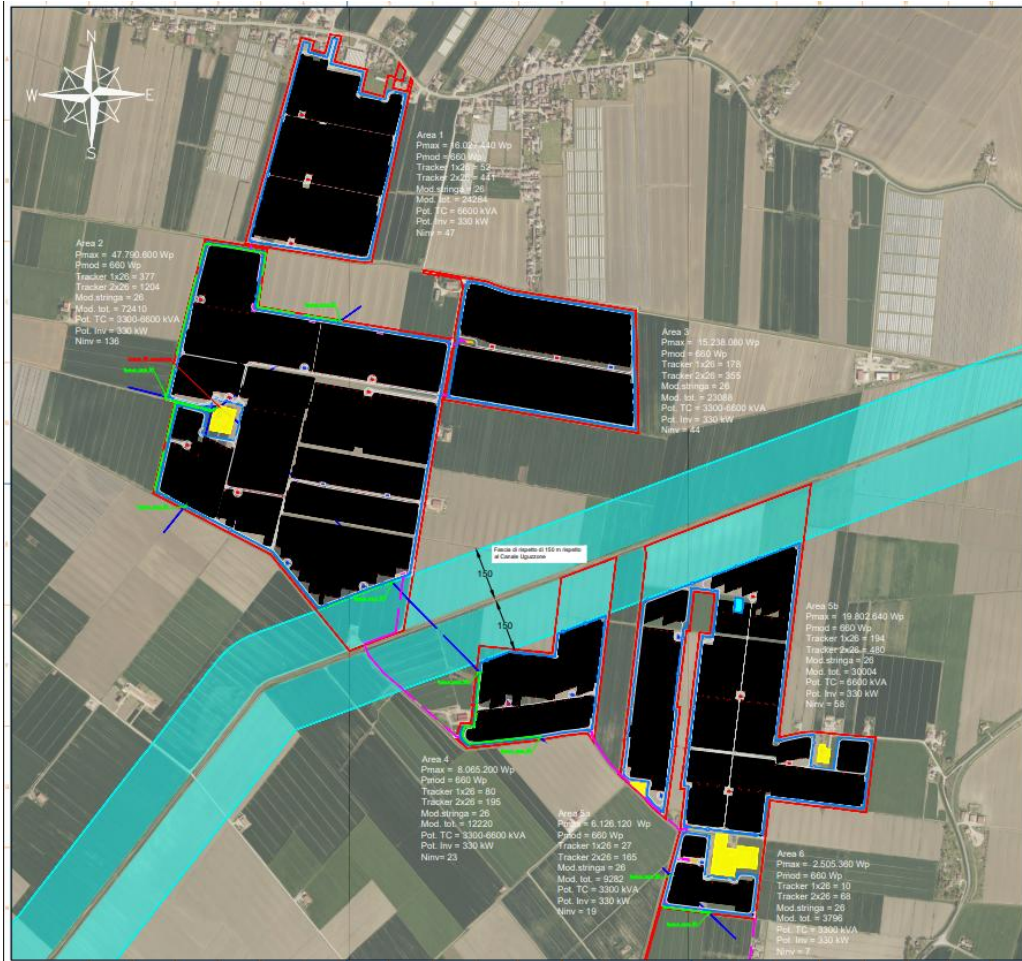


Figura 4 – Posizione e perimetro area impianto – Google Earth

L'area totale che verrà interessata dalla costruzione del nuovo impianto fotovoltaico è di circa 180,33 ettari suddivisa in singole aree con le seguenti denominazioni e superfici totali:

ID	SUPERFICIE TOTALE [mq]
AREA 1	222,399.4
AREA 2	684,756.1
AREA 3	210,689.5
AREA 4	149,687.1
AREA 5a	131,760.8
AREA 5b	345,266.5
AREA 6	58,772.9



BONDENO GAVELLO:

Modulo FV	CS6.2-66TB 660 Wp. bifacciale
N° complessivo di moduli:	175.084
Stringa:	26 moduli in serie
n° Stringhe:	6734 stringhe
Inverter	HUAWEI SUN2000-330KTL-H1
N° complessivo di inverter:	334
Spazio tra strutture (direz. N-S)	0,35 m
Pitch:	6 m
Potenza nominale AC	100.200.000 W
Potenza nominale DC	115.555.440 Wp
N° tracker 1P 1x26	918
N° tracker 1P 2x26	2908
Cabine di trasformazione (tipologia A)	HUAWEI JUPITER-3000 K-H1
Potenza nominale cabina di trasformazione (tipologia A)	3300 kVA @40°C
N° cabine di trasformazione (tipologia A)	10
Cabine di trasformazione (tipologia B)	HUAWEI JUPITER-6000 K-H1
Potenza nominale cabina di trasformazione (tipologia B)	6600 kVA @40°C
N° cabine di trasformazione (tipologia B)	16

LEGENDA	
	Macero
	Confine catastale di impianto
	Mappali esclusi dal perimetro catastale di impianto
	Recinzione
	Area di mitigazione ambientale
	Viabilità interna di progetto
	Cancello accesso
	Cabine di trasformazione tipo A (Huawei Jupiter 3300 kVA)
	Cabine di trasformazione tipo B (Huawei Jupiter 6600 kVA)
	Cabina con quadri di raccolta 36 kV
	Cabine magazzino
	Strutture fotovoltaiche
	Inverter di stringa
	Linea MT aerea esistente
	Linea MT interrata di progetto
	Linea 36 kV

Figura 5 – Layout con suddivisione delle aree

Le aree possono essere individuate alle seguenti coordinate geografiche:

Area 1

Lat: 44°54'44" N
Long: 11°17'18" E
Alt: 10 m s.l.m.

Area 2:

Lat: 44°54'17" N
Long: 11°17'18" E
Alt: 7 m s.l.m.

Area 3:

Lat: 44°54'24" N
Long: 11°17'47" E
Alt: 9 m s.l.m.

Area 4:

Lat: 44°53'50" N
Long: 11°17'44" E
Alt: 7 m s.l.m.

Area 5a:

Lat: 44°53'52" N
Long: 11°18'03" E
Alt: 7 m s.l.m.

Area 5b:

Lat: 44°53'50" N
Long: 11°18'38" E
Alt: 7 m s.l.m.

Area 6:

Lat: 44°53'32" N
Long: 11°18'09" E
Alt: 9 m s.l.m.

3.INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

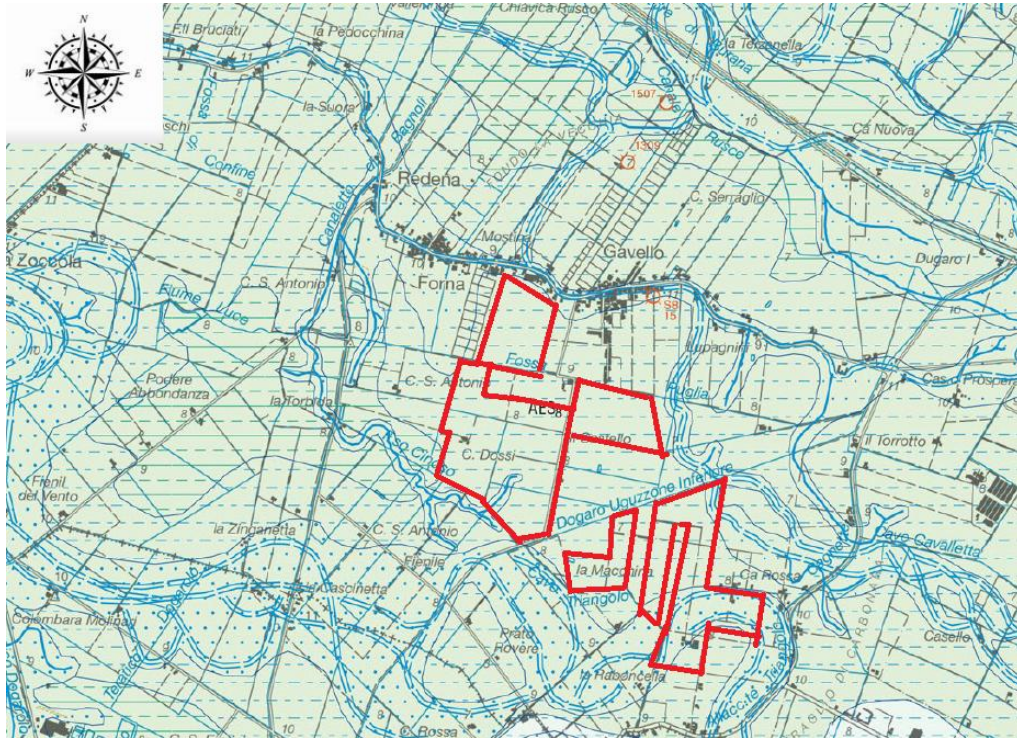
Il contesto geologico in cui si inserisce l'area in esame è stato definito mediante consultazione di cartografica esistente. Tale operazione ha avuto l'intento di ricostruire, a livello generale, la disposizione delle formazioni geologiche presenti nell'area di intervento, per disporre di preliminari informazioni sulla probabile natura tessiturale dei terreni superficiali. In generale l'assetto geologico dell'Emilia-Romagna è il risultato dei movimenti crostali che, a partire dal Terziario, hanno coinvolto due placche continentali: il blocco sardo-corso da una parte e la microplacca Padano-Adriatica dall'altra. Questo movimento ha condotto all'orogenesi dell'Appennino Settentrionale, avvenuta nel Terziario, e alla successiva formazione dell'avanfossa padana, chiusa a nord dalla catena alpina meridionale (Sudalpino), già sollevatasi a partire dall'era Mesozoica.



Il progressivo riempimento del bacino marino, fino alle condizioni di continentalità, avviene attraverso eventi tettonico-sedimentari separati nel tempo da periodi di forte subsidenza bacinale. Queste

alternanze di eventi sono testimoniate da numerose superfici di discontinuità stratigrafica che “marcano” le diverse fasi ed affiorano sul margine appenninico. La fase deposizionale di riferimento è rappresentata dal Supersistema Emiliano –Romagnolo (AES), o Allogruppo Emiliano-Romagnolo, che viene descritta come “Depositi alluvionali, deltizi, litorali e marini organizzati in successioni cicliche di vario ordine gerarchico.

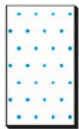
L’area ricade all’interno del Foglio 184 MIRANDOLA alla scala 1: 50.000 della Carta Geologica d’Italia – progetto CARG



PIANA ALLUVIONALE

Depositi di canale ad alta sinuosità, di argine e rotta fluviale

Sabbie medio-grossolane in corpi sedimentari a base erosiva, localmente amalgamati su sabbie più antiche, tendenza granulometrica *fining-upward* e rare intercalazioni limoso-argillose. Passano gradualmente verso l’alto ad argille limose per uno spessore totale > 10 m. Transizione laterale ad alternanze di sabbie medio-fini e limi argilloso-sabbiosi in strati da centimetrici a decimetrici e a sabbie da medie a fini, localmente limose, con tendenza granulometrica *fining-upward* o *coarsening-upward*. Spessore < 10 m. Questi depositi compongono un paleo-reticolo idrografico con canali ad elevata sinuosità, barre di meandro con superfici di accrezione laterale dalla forma arcuata e meandri abbandonati, che ospitano stretti corpi argillosi lenticolari (*clay plug*). Localmente, da questi canali fluviali si diparte un fitto reticolo di canali con estensione laterale di alcuni metri e *pattern* distributivo (canali di rotta).



Depositi di piana inondabile

Limi e limi argillosi, mediamente consolidati, variamente pedogenizzati, di colore marrone scuro, nocciola o grigio-verde. Presenti patine rossastre da ossidi ed idrossidi di ferro e manganese, concrezioni carbonatiche e rari resti di radici. Spessore < 13 m.



subsistema di Ravenna

Comprende depositi di ambiente alluvionale, deltizio-litorale e marino marginale organizzati in un ciclo trasgressivo-regressivo riconducibile all’innalzamento eustatico post-glaciale e alla successiva fase, ancora in corso, di stazionamento alto del mare. Nell’area del Foglio è composto unicamente da depositi alluvionali riferibili a sistemi di canale-argine-rotta fluviale, ad alta (canali meandriiformi) o bassa-media sinuosità e ad ambienti di piana inondabile e palude. Il limite basale è un paleosuolo correlabile su scala regionale, che definisce il limite Pleistocene-Olocene, o il brusco contatto tra depositi fluviali pleistocenici di *channel belt* e sedimenti olocenici di piana inondabile poco drenata o palude. Il limite superiore coincide col piano topografico ed è caratterizzato da suoli a basso grado di alterazione, parzialmente decarbonatati, con locale affioramento di resti archeologici dell’Età del Bronzo, del Ferro e Romana. Nelle aree in cui affiorano depositi di età post-Romana, la parte superiore del subsistema coincide con l’unità di Modena. Lo spessore varia tra circa 10 e 20 m.



AES₈

OLOCENE - ATTUALE

Figura 6 – Stralcio del foglio 184 MIRANDOLA, 1: 50.000 della Carta Geologica d’Italia – progetto CARG

I depositi presenti in situ appartengono al Subsistema di Ravenna (AES8) che comprende sia depositi limosi e limo argillosi sia locali sabbie medio grossolane.

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.

Caratteristiche litologiche dei depositi superficiali

L'analisi della Carta della litologia di superficie, fornita dall'Amministrazione Provinciale di Ferrara e riprodotta in Fig. 7, rappresenta le caratteristiche superficiali dei terreni che costituiscono lo strato che va da circa 10 cm fino a 80 cm di profondità dal piano campagna. Sostanzialmente nel territorio in esame dominano in affioramento le litologie composte da miscele binarie e ternarie di sabbia, limo e argilla.

Nell'area in esame i sedimenti argilloso-limosi prevalgono e ricoprono quasi completamente la porzione occidentale comunale.

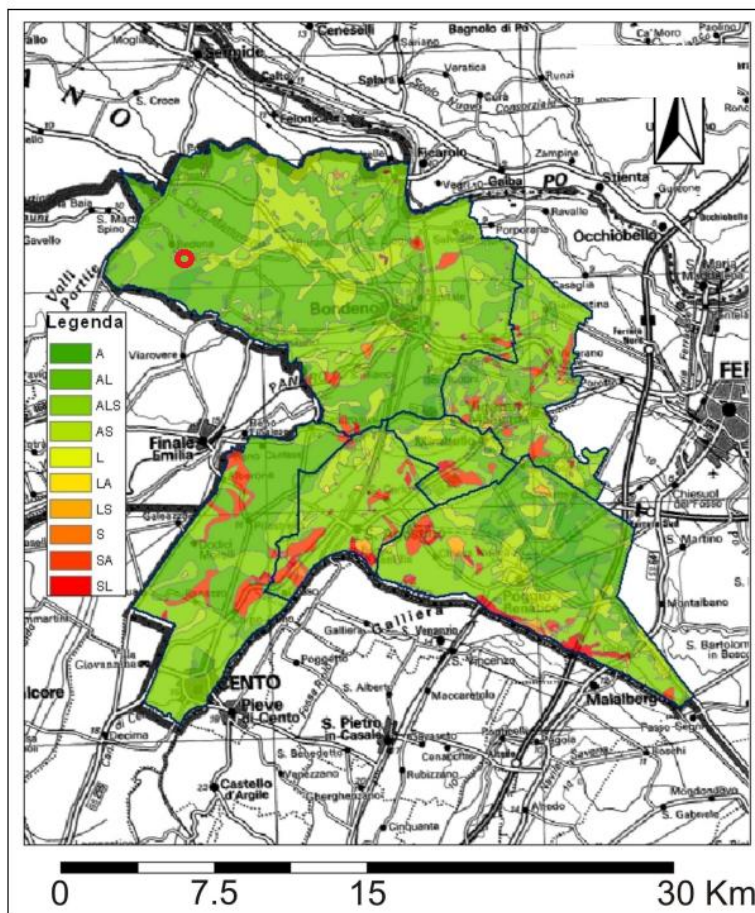


Figura 7 - Carta litologica dell'Alto Ferrarese (da Amministrazione Provinciale di Ferrara)

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 0 e -2.5 mm/anno.

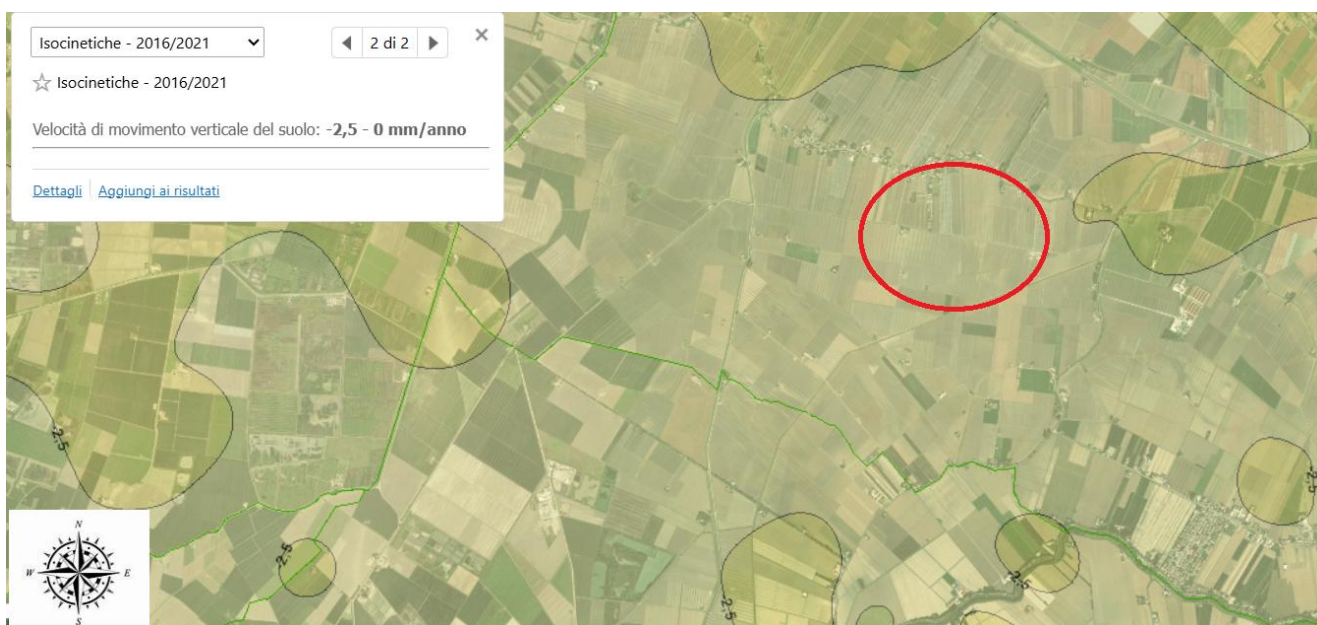


Figura 8 – Subsidenza periodo 2016-2021 – ARPAE Emilia-Romagna

4. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO GENERALE

Idrografia

L'idrografia di Bondeno, in provincia di Ferrara, è fortemente caratterizzata dalla bonifica e da un complesso sistema di canali artificiali.

L'area è attraversata da una diffusa e gerarchizzata rete di canali di chiara origine antropica.

L'idrografia di Bondeno è quindi un esempio di un paesaggio plasmato dall'uomo per la gestione delle acque e la prevenzione degli allagamenti, con una rete di canali che supporta l'agricoltura e garantisce l'invarianza idraulica del territorio.

La gestione dei regimi idrici e dei livelli dell'acqua è strettamente regolata e curata dal Consorzio di Bonifica di Pianura Ferrarese (e storicamente dal Consorzio della Bonifica Burana).

L'area in esame dal punto di vista idrografico rientra nella porzione settentrionale del sottobacino idrografico del Delta del Po. (Fig. 9) In epoca olocenica e storica l'area oggetto di studio era interessata da una fitta rete idrografica i cui corsi d'acqua erano liberi di espandere le proprie acque di piena nelle zone circostanti: nelle sponde naturali dell'alveo e nelle aree immediatamente circostanti (aree di più alta energia idrodinamica) erano depositati i materiali più grossolani trasportati in sospensione, mentre i sedimenti più fini si distribuivano lontano, nelle aree situate tra un alveo e l'altro (acque di esondazione caratterizzate da bassa energia di trasporto). Nel sottosuolo si rinvenivano alternanze di strati sabbiosi, talora ghiaiosi, permeabili con strati limoso – argillosi poco permeabili o impermeabili variamente ondulati.

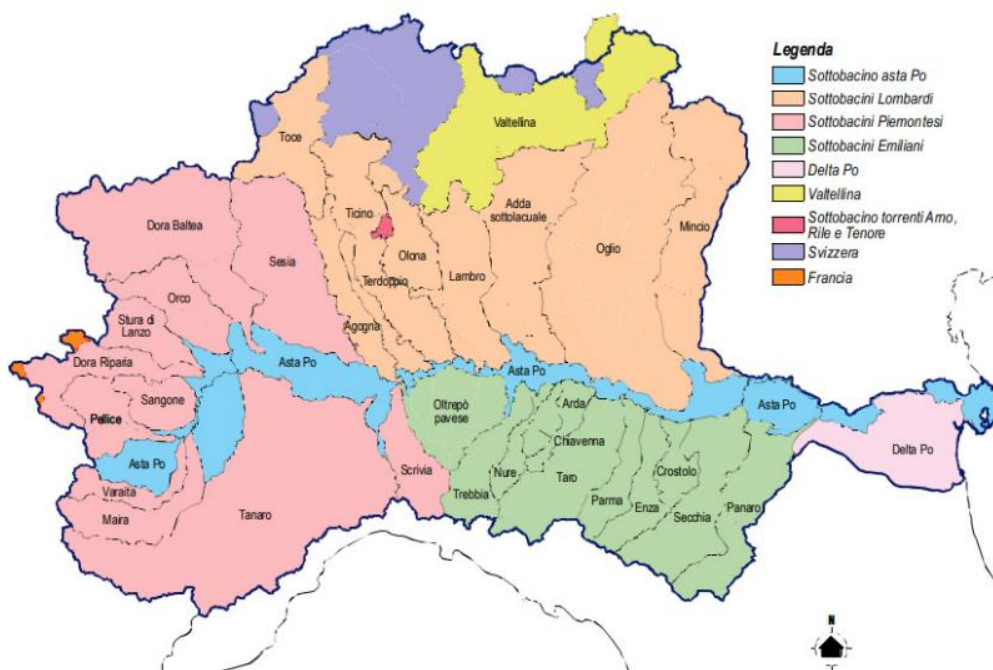


Figura 9 – Delimitazione dei principali sottobacini Idrografici del bacino del Fiume Po.



Figura 10 – Idrografia superficiale dell'area in esame

A nord delle aree che ospiteranno il nuovo impianto scorre il Canale Burana.

Canale Burana: Il Canale di Burana è una delle più importanti arterie idrauliche artificiali della Pianura Padana, con un ruolo fondamentale nella bonifica del territorio tra le province di Mantova, Modena e Ferrara.

Il canale ha origine in Lombardia, all'altezza di Poggio Rusco (MN), e scorre sul versante destro del Fiume Po, attraversando la pianura modenese fino ad arrivare in provincia di Ferrara.

Il suo percorso è definito da un complesso sistema di bonifica gestito dal Consorzio della Bonifica Burana (con sede a Modena e uffici anche a Bondeno e Mirandola).

Ad ovest delle aree d'interesse scorrono il Canale Bagnoli Rusco e la Fossa Reggiana.

La Fossa Reggiana e il Canale Bagnoli Rusco sono entrambi componenti essenziali e interconnessi del complesso sistema idraulico di bonifica che governa la Bassa Pianura Padana, in particolare nelle province di Modena e Ferrara.

Essi sono canali gestiti principalmente dal Consorzio della Bonifica Burana.

Canale Bagnoli Rusco (Il Collettore): questa denominazione composita si riferisce al vasto reticolo idraulico che ha origine nell'area del Poggio Rusco (MN) ed include il Canale di Bagnoli (attivo in particolare nella zona di Finale Emilia) come uno dei suoi maggiori affluenti o collettori di scolo.

Il loro flusso confluisce nel Canale Collettore di Burana, l'arteria principale che attraversa la Bassa Modenese e arriva a Bondeno (FE), dove, tramite la Botte Napoleonica, passa sotto il Fiume Panaro per scaricare nel Po di Volano.

Fossa Reggiana (Il Sottosistema): è uno dei principali collettori di scolo del sistema Burana che drena le acque da una vasta area della pianura modenese (e, come il nome suggerisce, storicamente anche da territori più vicini al confine con Reggio Emilia).

La Fossa Reggiana è deputata alla raccolta delle acque meteoriche e superficiali in particolare nei comuni della Bassa, come Mirandola (MO), dove sono documentati interventi di manutenzione del Consorzio Burana.

La Fossa Reggiana riversa le sue acque in altri canali maggiori, che a loro volta le convogliano verso il Collettore di Burana. Il suo bacino (chiamato talvolta Area sottesa dal Canale Bagnoli - Dogaro Uguzzone - Fossa Reggiana) forma un'unica unità funzionale per lo scolo in quella parte della pianura.

Come è ben visibile dalla fig.5, le aree 1-2-3 sono separate dal Canale Uguzzone dalle aree 4-5-6.

Ad est del centro abitato principale di Bondeno scorre il *Fiume Panaro*. Il Panaro che è l'ultimo affluente di destra del Po che dopo aver attraversato la pianura modenese, giunge a Bondeno dove riceve il Naviglio di Modena (a Bomporto, prima di Bondeno) e successivamente sfocia nel fiume Po in località Stellata di Bondeno.

Idrogeologia

Gli acquiferi del settore della pianura bolognese-ferrarese in oggetto, possono essere ricompresi nell'ambito delle unità della bassa pianura (Figura 17). I materiali a granulometria maggiore (ghiaie e sabbie grossolane) sono assenti; in corrispondenza dei dossi fluviali e dei paleo alvei sepolti, si rinvencono lenti di sabbie per lo più fini e di limi sabbiosi. La permeabilità dei materiali non è mai elevata e le velocità di flusso, per i bassi gradienti, sono sempre fortemente limitate. In superficie sono presenti lembi di falde sospese per lo più alimentate da corsi d'acqua ormai pensili e dall'infiltrazione delle acque meteoriche. Aree di locale saturazione dei terreni più superficiali, sin quasi al piano di campagna, si rinvencono in corrispondenza delle aree vallive di bonifica recente. Le falde acquifere in senso proprio, cioè capaci di trasmettere quantità apprezzabili di acqua, si trovano a profondità variabile in depositi di paleo-alvei confinati e quindi con acque in pressione e con l'alimentazione che avviene da monte seguendo queste vie preferenziali. Nell'area in oggetto la falda freatica superficiale non stata riscontrata.

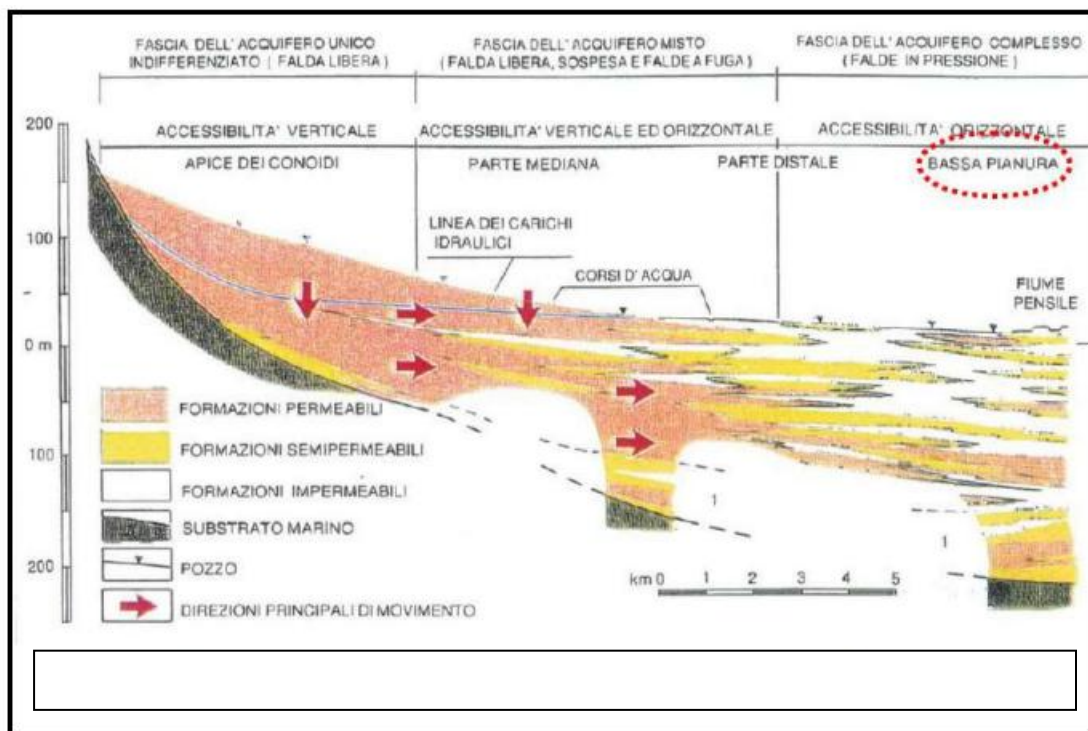


Figura 17 – Schema delle falde della pianura bolognese-ferrarese

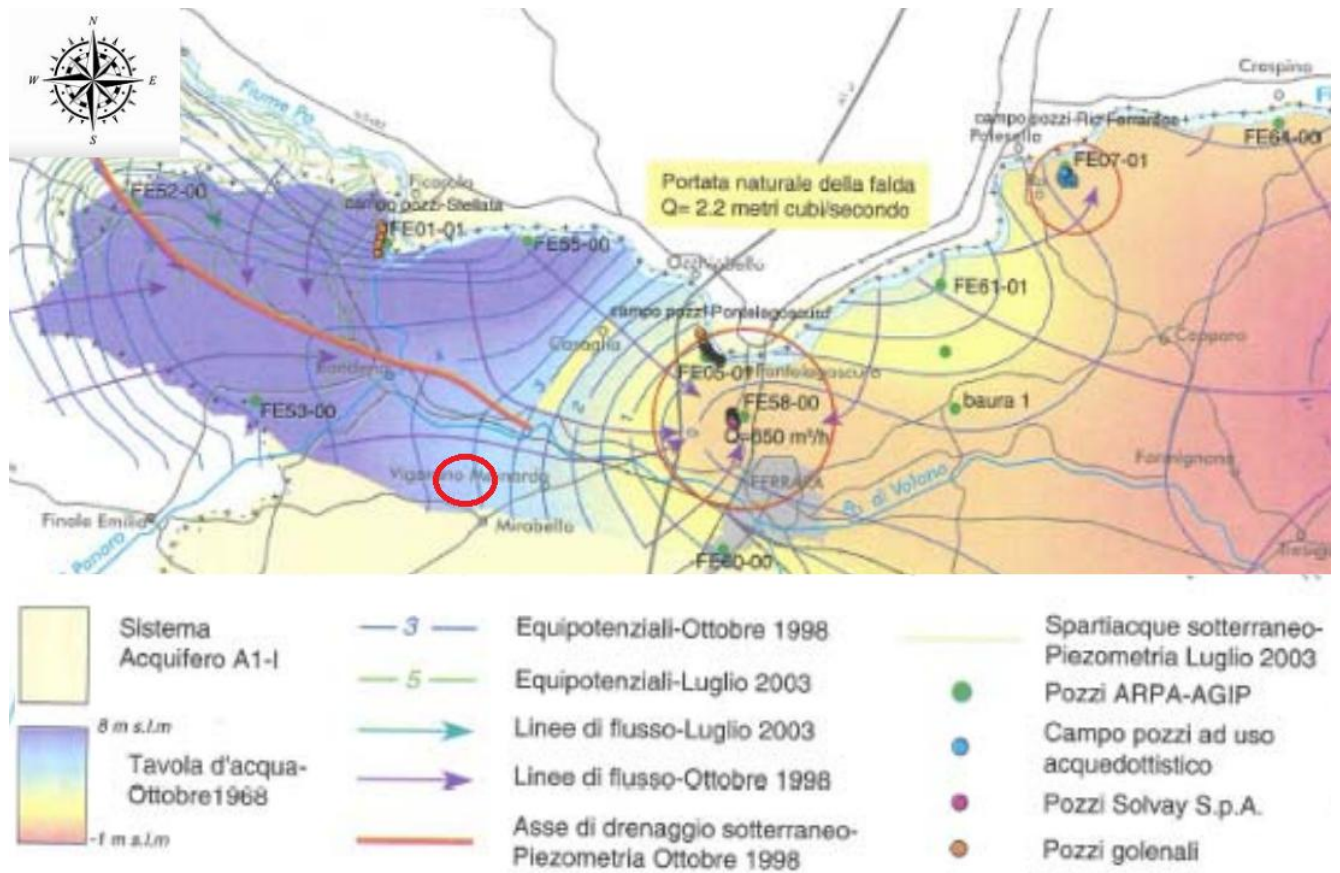


Figura 18 – Idrogeologia generale del ferrarese

6.AMBITO URBANISTICO ED ANALISI PGRA

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

Analisi del PGRA per le aree d'interesse.

Il Piano di gestione del rischio di alluvioni (PGRA) è previsto dalla Direttiva comunitaria 2007/60/CE (cd. 'Direttiva Alluvioni') ed è stato recepito nell'ordinamento legislativo italiano con D. Lgs. n. 49/2010. Il PGRA costituisce, inoltre, lo stralcio del Piano di bacino distrettuale, previsto dall'art. 65 del D.Lgs. 152/06, in materia di alluvioni.

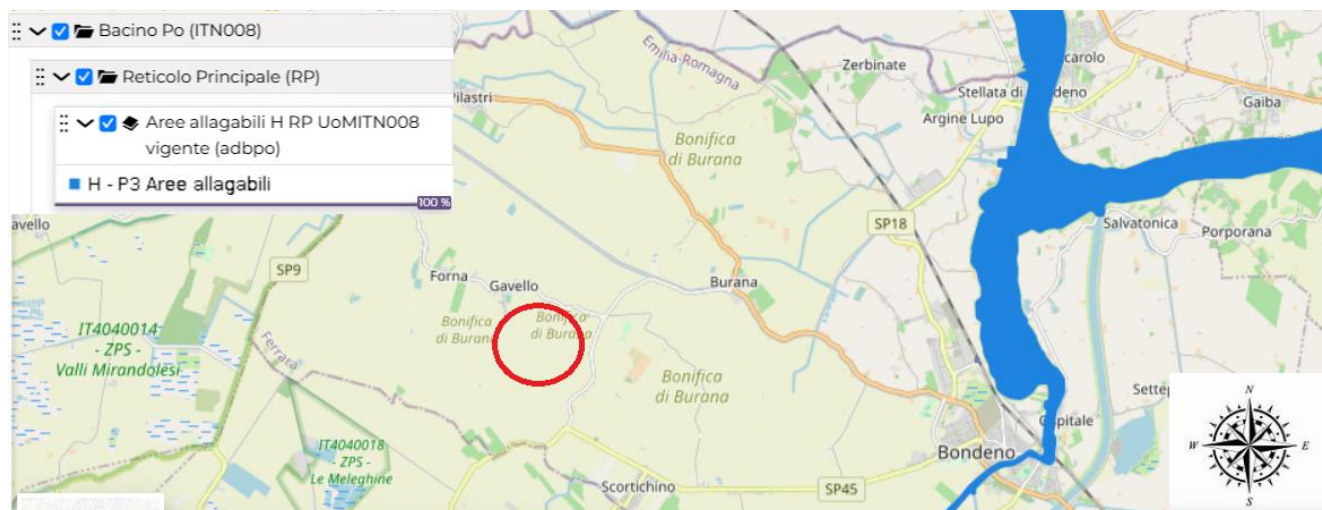


Figura 11 – Aree allagabili con eventi frequenti ad opera del reticolo principale

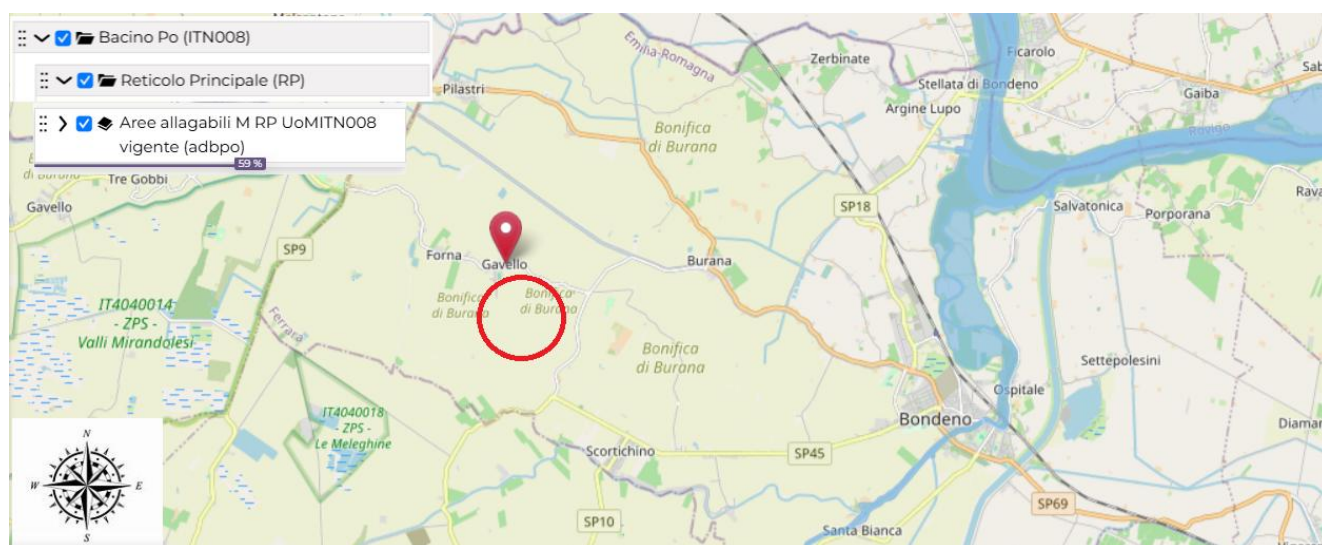


Figura 12 - Aree allagabili con eventi poco frequenti ad opera del reticolo principale

Dallo stralcio della carta di Fig.11 e 12, i siti d'interesse risultano esterni alle aree con classe di pericolosità alta e media rispettivamente per alluvioni frequenti (Tempi di ritorno 20-50) e per quelli poco frequenti (Tempi di ritorno >100 anni)

I siti in esame rientrano tra le aree interessate da alluvioni rare (Tempo di ritorno >300 anni)

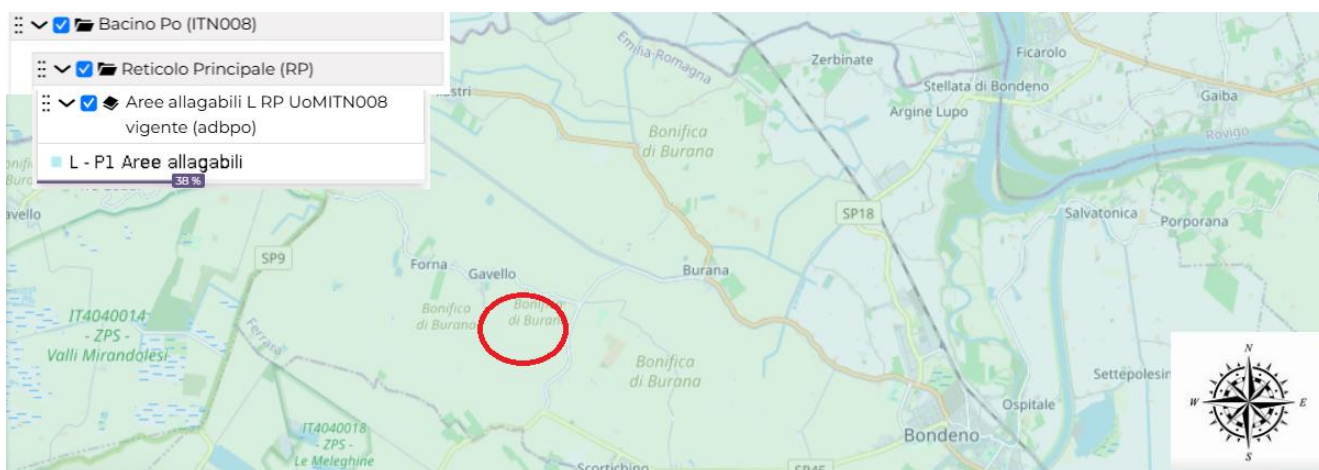


Figura 13 - Aree allagabili con eventi rari ad opera del reticolo principale

Per quanto riguarda il reticolo idrico secondario, i siti sottoelencati e inseriti in fig.14 rientrano tra quelli a pericolosità alta per allagamenti ad opera di alluvioni frequenti:

- parte dell'area 1
- tutta l'area 2
- parte dell'area 3
- parte dell'area 5b

rimango esterne:

- area 4
- area 5a



Figura 14 - Aree allagabili con eventi frequenti ad opera del reticolo secondario

Tutte i siti che ospiteranno il nuovo impianto rientrano tra le aree allagabili con media probabilità per alluvioni poco frequenti. (Fig.15)



Figura 15 - Aree allagabili con eventi poco frequenti ad opera del reticolo secondario



Figura 16 – Classi di Rischio idraulico distretto Po 2020

Classi di rischio idraulico:

- Area 1 → moderato e medio
- Area 2 → medio con rischio elevato per le abitazioni all'interno del perimetro dell'area
- Area 3 → moderato e medio
- Area 4 → moderato
- Area 5a → moderato
- Area 5b → moderato e medio con rischio elevato per le abitazioni all'interno del perimetro dell'area
- Area 6 → moderato con rischio medio per le abitazioni all'interno del perimetro dell'area

Si segnala inoltre, la presenza della fascia di rispetto di 150 m per il canale Uguzzone (fig.5) che divide le aree 1-2-3 da quelle 4-5-6.

7.INDAGINE GEOGNOSTICA

L'indagine geognostica di campagna è consistita in:

n° 10 prove penetrometriche dinamiche DPSH

n° 1 indagine geofisica con metodologia M.A.S.W.

n° 1 prove di permeabilità tipo LEFRANC

n.°1 prova H.V.S.R.

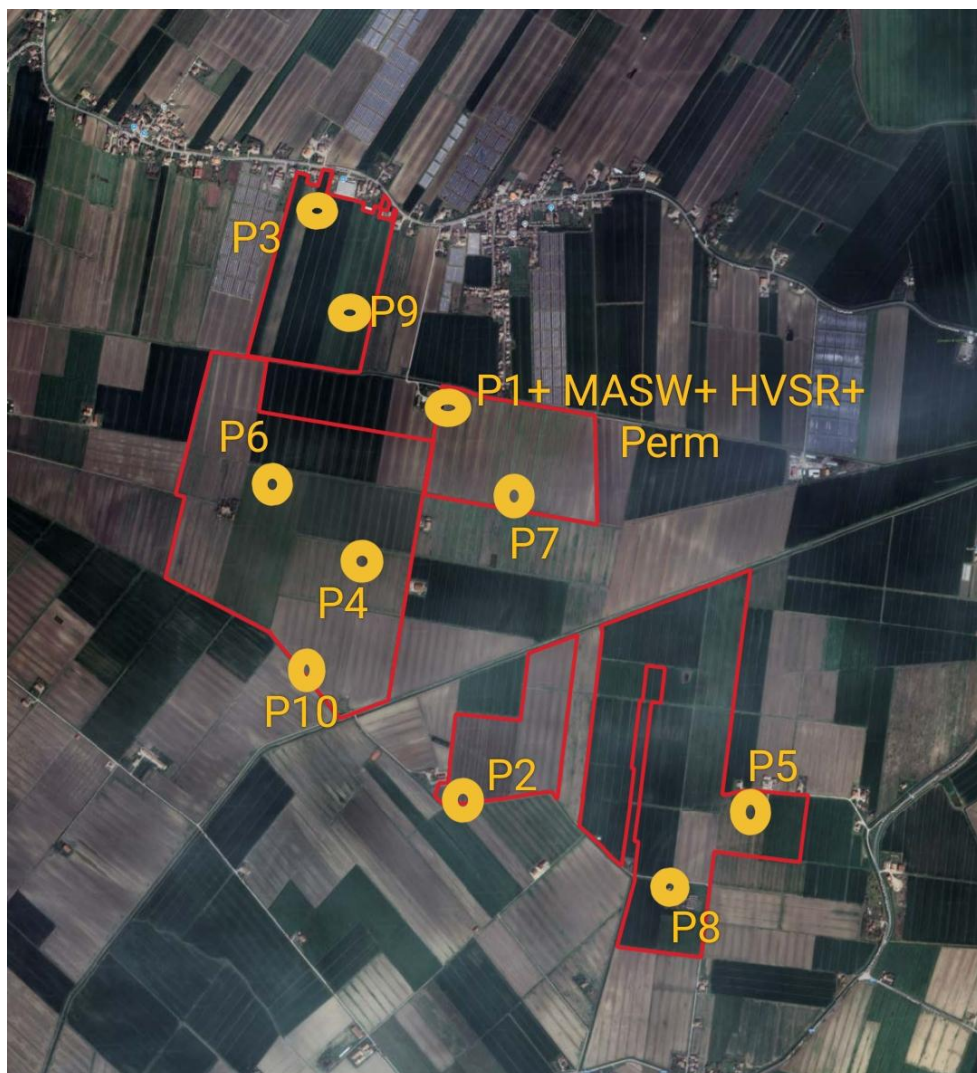


Figura 17 – Ubicazione delle prove

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:

<i>N° prova</i>	<i>Profondità max da p.c. (m)</i>	<i>Profondità falda da p.c. (m)</i>
<i>P1</i>	<i>13.20</i>	<i>Non trovata</i>
<i>P2</i>	<i>6.20</i>	<i>Non trovata</i>
<i>P3</i>	<i>6.20</i>	<i>Non trovata</i>
<i>P4</i>	<i>6.20</i>	<i>Non trovata</i>
<i>P5</i>	<i>6.20</i>	<i>Non trovata</i>
<i>P6</i>	<i>6.20</i>	<i>Non trovata</i>
<i>P7</i>	<i>6.20</i>	<i>Non trovata</i>
<i>P8</i>	<i>6.20</i>	<i>Non trovata</i>
<i>P9</i>	<i>6.20</i>	<i>Non trovata</i>
<i>P10</i>	<i>6.20</i>	<i>Non trovata</i>

Seguono alcune foto delle prove penetrometriche.



Figura 18 – Prova penetrometrica DPSH 1



Figura 19 – Prova penetrometrica DPSH 2



Figura 20 – Prova penetrometrica DPSH 3



Figura 21 – Prova penetrometrica DPSH 4



Figura 22 – Prova penetrometrica DPSH 5



Figura 23 – Prova penetrometrica DPSH 6

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 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 24 – 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 indagini 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 25 – 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:

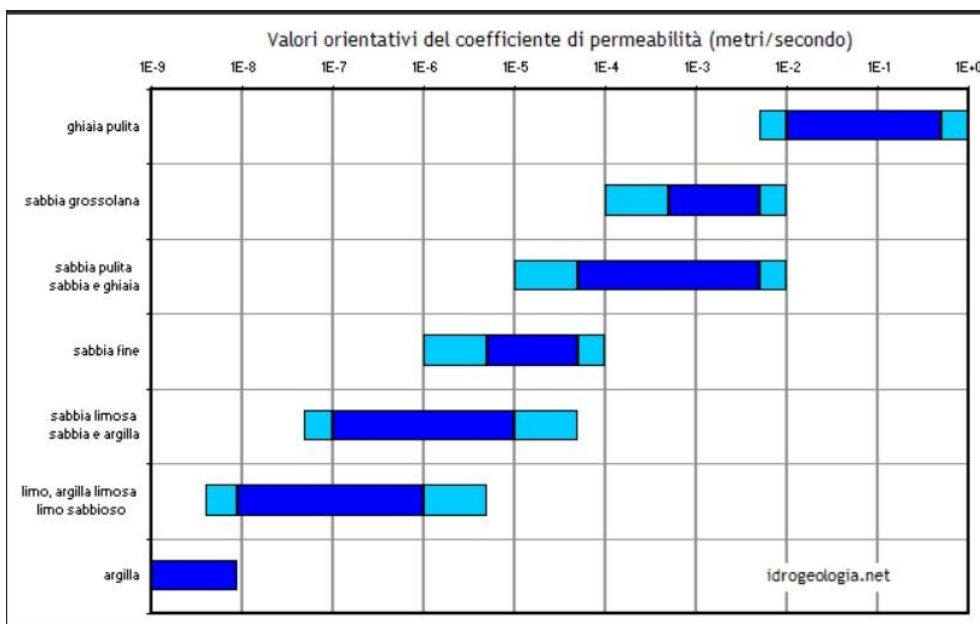
k=coefficiente di permeabilità

A= area filtrante (in m²)

t1, t2= tempi misurazione livello

h1, h2=livelli idrici hm=altezza al tempo medio

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



La prova di permeabilità è stata eseguita in adiacenza alla prova penetrometrica P1 a – 1,5 m da piano campagna. La permeabilità riscontrata risulta:

Perm→k = 7,24 x 10⁻⁴ m/s

I dati relativi alla prova vengono riportati negli allegati al presente elaborato.

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



Figura 26– 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 Bondeno 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_0 = 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= 243 m/sec da M.A.S.W.

Vseq= 240 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	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
 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 Vn (Vita nominale) attesa dall'edificio: Vn = 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	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.028	2.514	0.217
Danno (SLD)	35	0.030	2.522	0.230
Salvaguardia vita (SLV)	332	0.059	2.698	0.342
Prevenzione collasso (SLC)	682	0.072	2.752	0.363

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	1,50
CC Coeff. funz categoria	1,74	1,71	1,50	1,47
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	0.009	0.009	0.018	0.022
kv	0.004	0.004	0.009	0.011
Amax [m/s ²]	0.417	0.441	0.872	1.064
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200

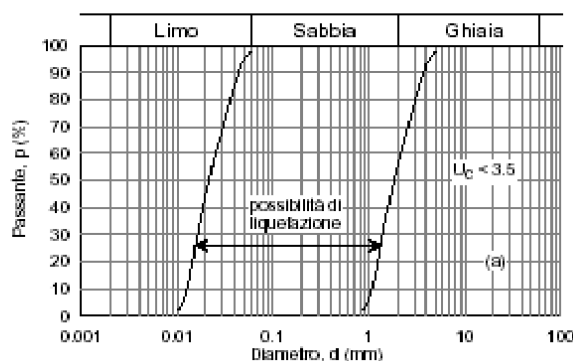
9.VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

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.". 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 $U_c > 3,5$.



Durante la campagna di prove penetrometriche non è stata rilevata alcuna falda. La litologia attraversata fino a circa 13,20 m risulta argillosa e argillosa limosa; tuttavia, è possibile trovare falde superficiali laddove sono presenti depositi sabbiosi e sabbiosi limosi costituenti dossi e paleoalvei.

Strutture geomorfologiche presenti nell'area d'interesse posizionate prevalentemente a nord delle aree che ospiteranno il nuovo impianto.

L'analisi dei dati bibliografici relativi a pozzi per acqua, penetrometrie e sondaggi indicano che è possibile riscontrare sull'intera area falde superficiali alle profondità - 1,5 m e -3,5 m dal piano campagna.

Pertanto, nonostante non si siano avuti riscontri diretti della presenza di una falda con la campagna d'indagini appena condotta, si procederà cautelativamente alla verifica della liquefazione dei terreni presenti nell'area 1 (nord) e area 6 (sud).

Si ricorda che tale verifica può essere validata o meno solo ed esclusivamente tramite analisi di laboratorio che possano determinare il quantitativo di materiale fine presente nel campione di terreno rappresentativo del livello stratigrafico che si vuole analizzare ed in particolare, tramite analisi granulometriche, stabilire se i terreni rientrano all'interno del fuso granulometrico potenzialmente liquefacibile.

9.1 Verifica di FI – Fattore di sicurezza

FI=R/T → fattore di sicurezza o potenziale di liquefazione

R=resistenza al taglio normalizzato

T= sforzo di taglio normalizzato

FI<1.25 → terreno liquefacibile

FI>1,25→terreno non liquefacibile

Verifica per contenuto di frazione fine argillosa < 5% (situazione peggiore)- AREA 1

Profondità falda al piano campagna (STIMATO DA BIBLIOGRAFIA): - 2 m

Accelerazione sismica del sito in condizioni di salvaguardia della vita (SLV): 0.10 g

Metodo empirico di Seed e Idriss Versione semplificata proposta dal GNDT-CNR

Relazione per il calcolo di FI:

$$FI = \frac{tl/s'o}{rd/s'o} = \frac{0,26 * (0.16 * Na^{0.5} + (0.21 * Na^{0.5})^{14})}{0,65 * A/g * so/s'o * (1 - 0.01z)}$$

Profondità falda dal p.c. metri

2.00

	z	Y	Yimm.	zw	so	Uo	s'o	Nspt	DNf	Na	A/g	tl/s'o	rd/s'o	FI
A	3.00	1.36	1.75	1.00	4.47	1.00	3.47	2	0	1.89	0.10	0.057	0.080	0.715
											0.15		0.120	0.477
											0.25		0.200	0.286
B	6.20	1.56	1.83	4.20	10.81	4.20	6.61	5	0	3.76	0.10	0.081	0.096	0.836
											0.15		0.145	0.557
											0.25		0.241	0.334

Dove:

z	=	Profondità d'indagine		Valori di A/g
Y	=	Peso di volume naturale del terreno	0.10	= Sisma non catastrofico
Yimm.	=	Peso di volume immerso	0.15	= Sisma medio
zw	=	Terreno immerso in falda	0.25	= Zona sismica
so	=	Tensione vert. tot. alla profondità z		
Uo	=	Pressione neutra		
s'o	=	Tensione verticale efficace		
Nspt	=	N.ro colpi Nspt		
DNf	=	Fattore funzione della granulometria		
Na	=	Fattore di calcolo pari a 1.7/ s'o + 0.7*Nspt + DNf		
A/g	=	Accelerazione sismica		
tl/s'o	=	Numeratore delle frazione - resistenza del terreno normalizzata		
rd/s'o	=	Denominatore delle frazione - tensione tangenziale ciclica normalizzata		
FI	=	Potenziale di liquefazione - Fattore di sicurezza		

Strato A → potenzialmente liquefacibile poiché $FI < 1.25$ infatti $FI = 0.715$

Strato B → potenzialmente liquefacibile poiché $FI < 1.25$ infatti $FI = 0.836$

Verifica per contenuto di frazione fine argillosa tra 5% e 10%

Profondità falda al piano campagna: - 2 m

Accelerazione sismica del sito in condizioni di salvaguardia della vita (SLV): 0.10 g

		Profondità falda dal p.c. metri		2.00											
	z	Y	Yimm.	zw	so	Uo	s'o	Nspt	DNf	Na	A/g	tl/s'o	rd/s'o	FI	
A	3.00	1.36	1.75	1.00	4.47	1.00	3.47	2	3	4.89	0.10	0.092	0.080	1.150	
											0.15		0.120	0.767	
											0.25		0.200	0.460	
B	6.20	1.56	1.83	4.20	10.81	4.20	6.61	5	3	6.76	0.10	0.108	0.096	1.122	
											0.15		0.145	0.748	
											0.25		0.241	0.449	

Strato A → potenzialmente liquefacibile poiché $FI < 1.25$ infatti $FI = 0.150$

Strato B → potenzialmente liquefacibile poiché $FI < 1.25$ infatti $FI = 0.122$

Verifica per contenuto di frazione fine argillosa >10%

Profondità falda al piano campagna: - 2 m

Accelerazione sismica del sito in condizioni di salvaguardia della vita (SLV): 0.10 g

		Profondità falda dal p.c. metri		2.00											
	z	Y	Yimm.	zw	so	Uo	s'o	Nspt	DNf	Na	A/g	tl/s'o	rd/s'o	FI	
	3.00	1.36	1.75	1.00	4.47	1.00	3.47	2	5	6.89	0.10	0.109	0.080	1.366	
											0.15		0.120	0.911	
											0.25		0.200	0.547	
	6.20	1.56	1.83	4.20	10.81	4.20	6.61	5	5	8.76	0.10	0.123	0.096	1.280	
											0.15		0.145	0.853	
											0.25		0.241	0.512	

Strato A → NON liquefacibile poiché $FI > 1.25$ infatti $FI = 1.366$

Strato B → NON liquefacibile poiché $FI > 1.25$ infatti $FI = 1.280$

Verifica per contenuto di frazione fine argillosa < 5% (situazione peggiore)- AREA 6

Profondità falda al piano campagna (STIMATO DA BIBLIOGRAFIA): - 2 m

Accelerazione sismica del sito in condizioni di salvaguardia della vita (SLV): 0.10 g

Metodo empirico di Seed e Idriss
Versione semplificata proposta dal GNDT-CNR

Relazione per il calcolo di FI:

$$FI = \frac{tl/s'o}{rd/s'o} = \frac{0,26 * (0.16 * Na^{0.5} + (0.21 * Na^{0.5})^{14})}{0,65 * A/g * so/s'o * (1 - 0.01z)}$$

Profondità falda dal p.c. metri 2.00

	z	Y	Yimm.	zw	so	Uo	s'o	Nspt	DNf	Na	A/g	tl/s'o	rd/s'o	FI
A	0.40	1.35	1.35	- 1.60	0.54	- 1.60	2.14	2	0	2.19	0.10	0.062	0.016	3.780
											0.15		0.024	2.520
B											0.25		0.041	1.512
	3.60	1.36	1.75	1.60	5.52	1.60	3.92	2	0	1.83	0.10	0.056	0.087	0.651
											0.15		0.130	0.434
C											0.25		0.216	0.260
	6.20	1.55	1.85	4.20	10.87	4.20	6.67	6	0	4.45	0.10	0.088	0.096	0.914
											0.15		0.144	0.609
											0.25		0.240	0.366

Dove:

z	=	Profondità d'indagine		Valori di A/g
Y	=	Peso di volume naturale del terreno	0.10	= Sisma non catastrofico
Yimm.	=	Peso di volume immerso	0.15	= Sisma medio
zw	=	Terreno immerso in falda	0.25	= Zona sismica
so	=	Tensione vert. tot. alla profondità z		
Uo	=	Pressione neutra		
s'o	=	Tensione verticale efficace		
Nspt	=	N.ro colpi Nspt		
DNf	=	Fattore funzione della granulometria		
Na	=	Fattore di calcolo pari a 1.7/ s'o + 0.7*Nspt + DNf		
A/g	=	Accelerazione sismica		
tl/s'o	=	Numeratore delle frazione - resistenza del terreno normalizzata		
rd/s'o	=	Denominatore delle frazione - tensione tangenziale ciclica normalizzata		
FI	=	Potenziale di liquefazione - Fattore di sicurezza		

Strato A →NON liquefacibile poiché FI>1.25 infatti FI=3.780

Strato B→ potenzialmente liquefacibile poiché FI<1.25 infatti FI=0.651

Strato C→ potenzialmente liquefacibile poiché FI<1.25 infatti FI=0.914

Verifica per contenuto di frazione fine argillosa tra 5% e 10%

Profondità falda al piano campagna: - 2 m

Accelerazione sismica del sito in condizioni di salvaguardia della vita (SLV): 0.10 g

Profondità falda dal p.c. metri 2.00

	z	Y	Yimm.	zw	so	Uo	s'o	Nspt	DNf	Na	A/g	tl/s'o	rd/s'o	FI
A	0.40	1.35	1.35	- 1.60	0.54	- 1.60	2.14	2	3	5.19	0.10	0.095	0.016	5.816
											0.15		0.024	3.877
											0.25		0.041	2.326
B	3.60	1.36	1.75	1.60	5.52	1.60	3.92	2	3	4.83	0.10	0.091	0.087	1.056
											0.15		0.130	0.704
											0.25		0.216	0.423
C	6.20	1.55	1.85	4.20	10.87	4.20	6.67	6	3	7.45	0.10	0.114	0.096	1.183
											0.15		0.144	0.789
											0.25		0.240	0.473

Strato A →NON liquefacibile poiché FI>1.25 infatti FI=5.816

Strato B→ potenzialmente liquefacibile poiché FI<1.25 infatti FI=1.056

Strato C→ potenzialmente liquefacibile poiché FI<1.25 infatti FI=1.183

Verifica per contenuto di frazione fine argillosa >10%

Profondità falda al piano campagna: - 2 m

Accelerazione sismica del sito in condizioni di salvaguardia della vita (SLV): 0.10 g

Profondità falda dal p.c. metri 2.00

	z	Y	Yimm.	zw	so	Uo	s'o	Nspt	DNf	Na	A/g	tl/s'o	rd/s'o	FI
A	0.40	1.35	1.35	- 1.60	0.54	- 1.60	2.14	2	5	7.19	0.10	0.112	0.016	6.849
											0.15		0.024	4.566
											0.25		0.041	2.740
B	3.60	1.36	1.75	1.60	5.52	1.60	3.92	2	5	6.83	0.10	0.109	0.087	1.257
											0.15		0.130	0.838
											0.25		0.216	0.503
C	6.20	1.55	1.85	4.20	10.87	4.20	6.67	6	5	9.45	0.10	0.128	0.096	1.337
											0.15		0.144	0.892
											0.25		0.240	0.535

Strato A →NON liquefacibile poiché FI>1.25 infatti FI=6.849

Strato B→ NON liquefacibile poiché FI>1.25 infatti FI=1.257

Strato C→ NON liquefacibile poiché FI>1.25 infatti FI=1.337

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".

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

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>γ_s (T/m³) (*)</i>	<i>γ (T/m³) (*)</i>	<i>Cu (Kg/cm³) (*)</i>
Strato A	Da 0.0 m a 4.80 m circa	2	8	21	1.75	1.36	0.13
Strato B	Da 4.80 m circa a 8.60 m circa	8	-	-	1.87	1.40	0.50
Strato C	Da 8.60 m circa a 13.20 m circa	26	-	-	2.09	1.65	1.63

dove:

NSPT = numero di colpi SPT correlati

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

γ (T/m³) = peso di volume del terreno

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

ϕ (°) = angolo di attrito efficace

c_u (Kg/cmq) = 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>Ipotesi stratigrafica</i>	<i>Profondità (m)</i>	<i>c_u (Kg/cmq) (*)</i>	<i>c_u (Kg/cmq) (*)</i>	<i>Descrizione</i>
Strato A	Da 0.0 m a 4.80 m circa	21	0.13	Terreno argillosa limo sabbioso
Strato B	Da 4.80 m circa a 8.60 m circa	-	0.50	Argilla
Strato C	Da 8.60 m circa a 13.20 m circa	-	1.65	Argilla 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.

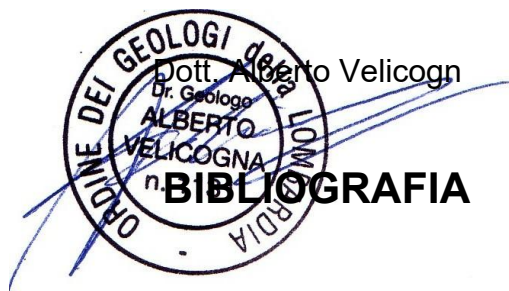
Le risultanze principali sono le seguenti:

- L'area in esame si colloca nell'agro del comune di Bondeno. I siti che ospiteranno il nuovo impianto si sviluppano in ambito agricolo con suoli ad uso seminativo e colture orticole.
- I dati ricavati dalle indagini svolte, indicano che l'area che ospiterà il nuovo impianto è interessata principalmente da terreni argillosi. E' possibile che essi possano essere intercalati da lenti più sabbiose e/o limose ospitanti acqua di falda. Durante le prove penetrometriche non è stata riscontrata la falda.
- I depositi presenti in situ appartengono al Subsistema di Ravenna (AES8) che comprende sia depositi limosi e limo argillosi sia locali sabbie medio grossolane.
- Lo studio ha messo in evidenza che nella provincia di Ferrara gli abbassamenti sono generalmente compatibili con una subsidenza di tipo naturale. In corrispondenza dell'area in esame l'attività di subsidenza ha valori tra 0 e -2.5 mm/anno.
- I siti d'interesse risultano esterni alle aree con classe di pericolosità alta e media rispettivamente per alluvioni frequenti (Tempi di ritorno 20-50 anni) e per quelli poco frequenti (Tempi di ritorno >100 anni)
- Per quanto riguarda il reticolo idrografico secondario, i siti sottoelencati rientrano tra quelli a pericolosità alta per allagamenti ad opera di alluvioni frequenti:
 - parte dell'area 1
 - tutta l'area 2
 - parte dell'area 3
 - parte dell'area 5b
 - rimango esterne:
 - area 4
 - area 5a
- Tutte i siti che ospiteranno il nuovo impianto rientrano tra le aree allagabili con media probabilità per alluvioni poco frequenti.
- Classi di rischio idraulico:
 - Area 1 → moderato e medio
 - Area 2 → medio con rischio elevato per le abitazioni all'interno del perimetro dell'area
 - Area 3 → moderato e medio
 - Area 4 → moderato

- Area 5a → moderato
- Area 5b → moderato e medio con rischio elevato per le abitazioni all'interno del perimetro dell'area
- Area 6 → moderato con rischio medio per le abitazioni all'interno del perimetro dell'area
- La prova di permeabilità Lefranc eseguita ha restituito risultati compatibili con la litologia presente in situ: $k = 7.24 \times 10^{-4}$ m/s
- Durante la campagna di prove penetrometriche non è stata rilevata alcuna falda. La litologia attraversata fino a circa 13,20 m risulta argillosa e argillosa limosa/sabbiosa; tuttavia, è possibile trovare falde superficiali laddove sono presenti depositi sabbiosi e sabbiosi limosi costituenti dossi e paleoalvei, strutture geomorfologiche presenti nell'area d'interesse posizionate prevalentemente a nord delle aree che ospiteranno il nuovo impianto.
- 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 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..")
- 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.

Seriate, 21 Novembre 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)
- PSC comune Bondeno (FE)
- Microzonazione sismica Bondeno
- 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 **077-2025**

Committente **Gridshape**
 Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
 Località **Bondeno (FE)**

DPSH (S. Heavy)

DPSH (S. Heavy)

Sigla	DPSH (S. Heavy)	Descrittivo 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 cm ²	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

077-2025

 Committente **Gridshape**
 Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
 Località **Bondeno (FE)**

 U.M.: **kg/cm²** Data esec. **06/11/2025**
 Pagina **1**
 Elaborato **Falda**

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	1		4.2					
0.40	1	2		3.4					
0.60	1	3		5.1					
0.80	1	5		8.5					
1.00	2	4		6.8					
1.20	2	4		6.8					
1.40	2	3		5.1					
1.60	2	2		3.4					
1.80	2	3		5.1					
2.00	3	2		3.4					
2.20	3	2		3.4					
2.40	3	2		3.4					
2.60	3	1		1.7					
2.80	3	1		1.7					
3.00	4	1		1.7					
3.20	4	1		1.7					
3.40	4	3		5.1					
3.60	4	2		3.4					
3.80	4	2		3.4					
4.00	5	3		5.1					
4.20	5	3		5.1					
4.40	5	4		6.8					
4.60	5	4		6.8					
4.80	5	4		6.8					
5.00	6	5		8.5					
5.20	6	5		8.5					
5.40	6	6		10.2					
5.60	6	6		10.2					
5.80	6	8		13.6					
6.00	7	8		13.6					
6.20	7	8		13.6					
6.40	7	9		15.3					
6.60	7	10		17.0					
6.80	7	9		15.3					
7.00	8	10		17.0					
7.20	8	9		15.3					
7.40	8	10		17.0					
7.60	8	10		17.0					
7.80	8	11		18.8					
8.00	9	11		18.8					
8.20	9	11		18.8					
8.40	9	13		22.2					
8.60	9	15		25.6					
8.80	9	18		30.7					
9.00	10	17		29.0					
9.20	10	18		30.7					
9.40	10	18		30.7					
9.60	10	25		42.6					
9.80	10	21		35.8					
10.00	11	21		35.8					
10.20	11	18		30.7					
10.40	11	20		34.1					
10.60	11	19		32.4					
10.80	11	20		34.1					
11.00	12	19		32.4					
11.20	12	17		29.0					
11.40	12	17		29.0					
11.60	12	18		30.7					
11.80	12	18		30.7					
12.00	13	19		32.4					
12.20	13	19		32.4					
12.40	13	19		32.4					
12.60	13	20		34.1					
12.80	13	20		34.1					
13.00	14	19		32.4					
13.20	14	20		34.1					

H = profondità qcd = Resistenza dinamica punta
 L1 = asta
 L2 = punta
 L3 = riv

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

DIN

1

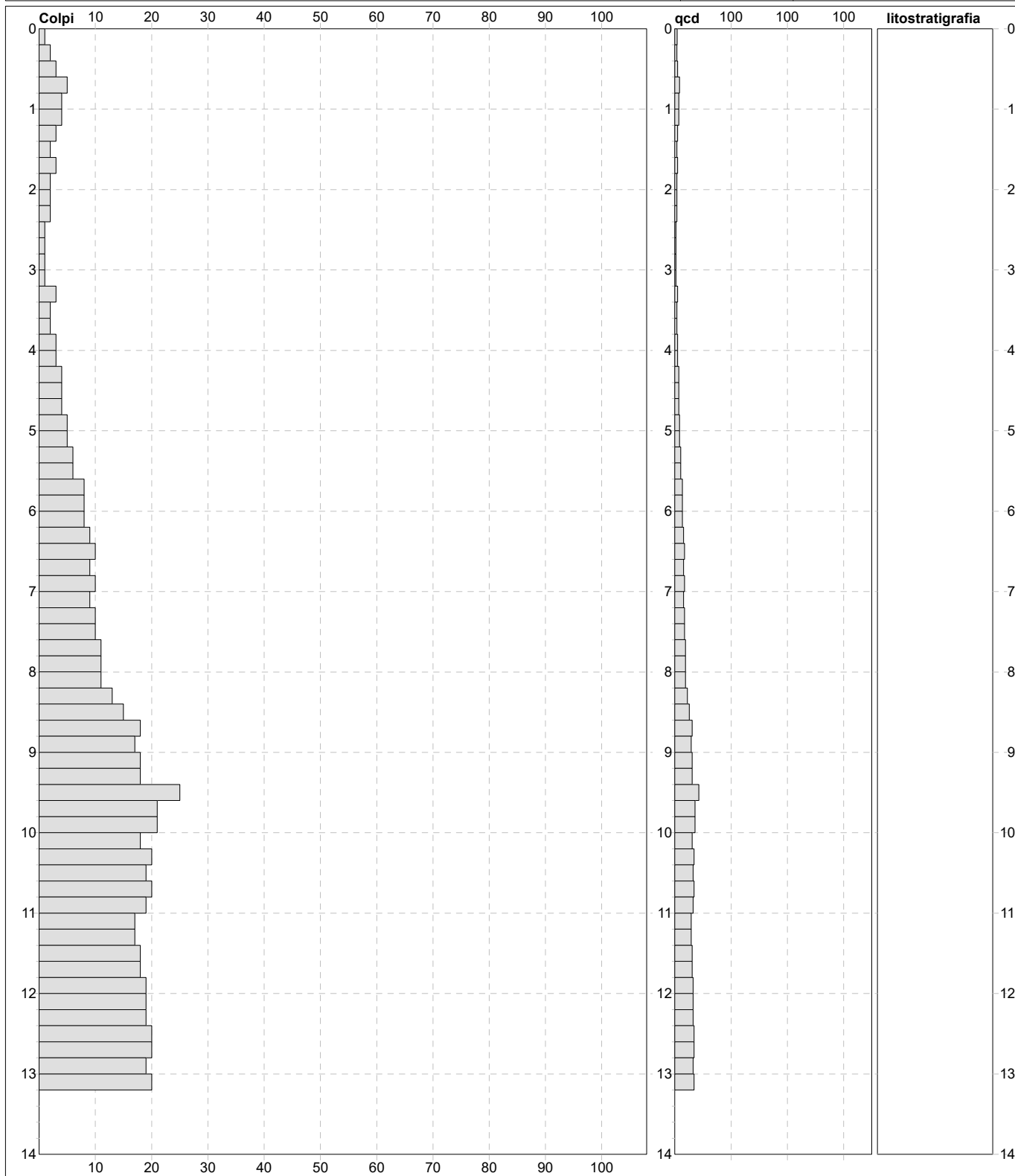
Riferimento

077-2025

Committente **Gridshape**
Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
Località **Bondeno (FE)**

U.M.: **kg/cm²**
Scala: **1:70**
Pagina **1**
Elaborato

Data esec. **06/11/2025**
Quota inizio: **Piano Campagna Falda**



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
1

Riferimento

077-2025

 Committente **Gridshape**
 Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
 Località **Bondeno (FE)**

 U.M.: **kg/cm²**

Data esec. 06/11/2025

 Pagina 1
 Elaborato

Falda

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 : 4.80	minimo	1	1.52	2	2	6	100	21	0.09	Coes./Gran.	Argilla limosa sabbiosa
2	4.80 : 8.60	minimo	5	1.52	8	9	18	59	142	0.43	Coesiva	Argilla
3	8.60 : 13.20	minimo	17	1.52	26	29	50	132	191	1.45	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 : 4.80	2	0.13	1.75	47	1.27	25	8	21	207	1.85	1.36	34	---
2	4.80 : 8.60	8	0.50	1.87	35	0.94	41	---	---	---	---	---	---	---
3	8.60 : 13.20	26	1.63	2.09	21	0.56	81	---	---	---	---	---	---	---

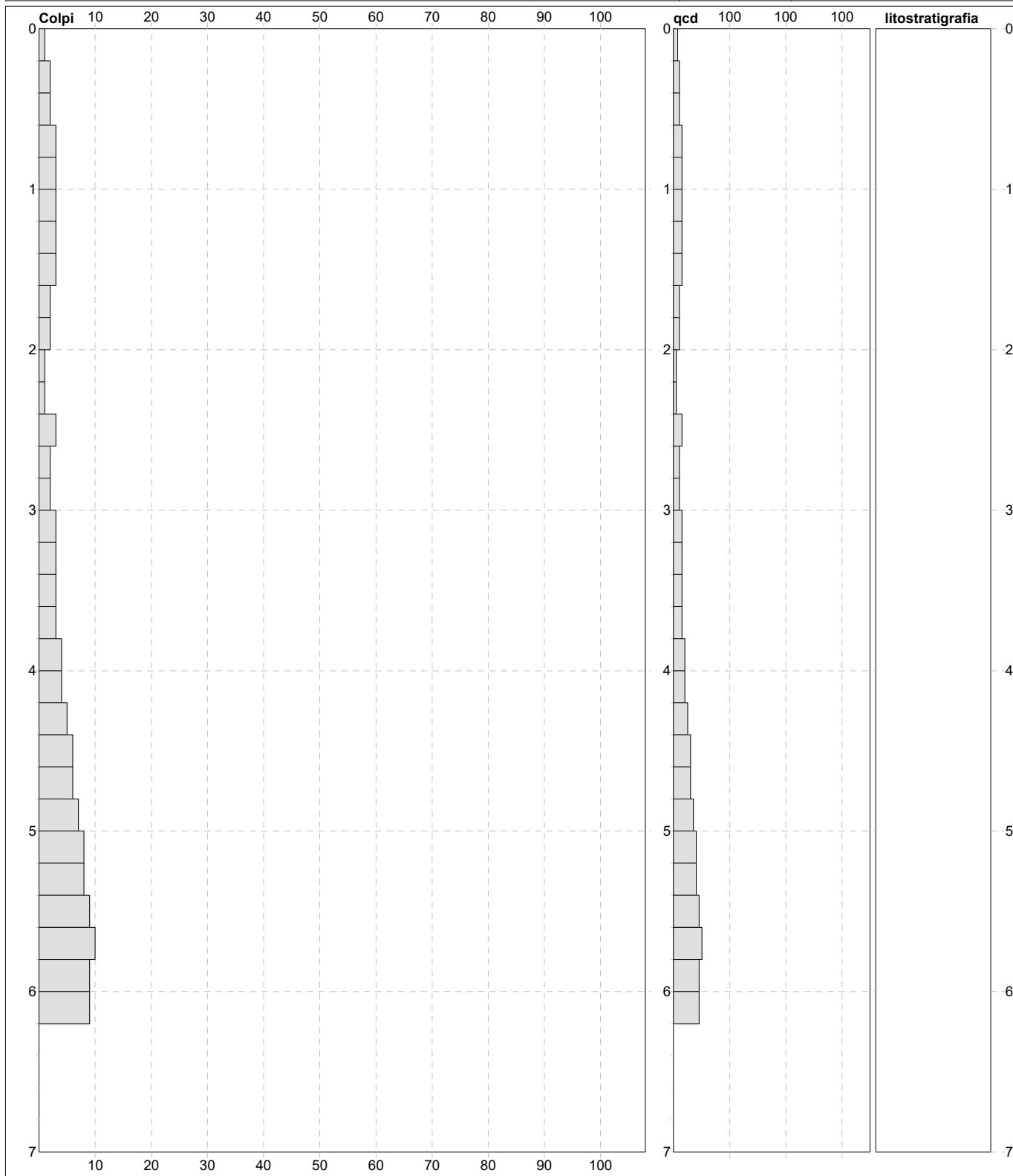
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

DIN **2**

Riferimento **077-2025**

Committente **Gridshape**
Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
Località **Bondeno (FE)**

U.M.: **kg/cm²** Data eseg. **06/11/2025**
Scala: **1:35**
Pagina **1** Quota inizio: **Piano Campagna**
Elaborato Falda



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 **077-2025**

Committente **Gridshape**
 Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
 Località **Bondeno (FE)**

U.M.: **kg/cm²** Data esec. **06/11/2025**
 Pagina **1**
 Elaborato Falda

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 : 4.20	minimo	1	1.52	2	5	6	97	21	0.26	Coes./Gran.	Argilla limosa sabbiosa
2	4.20 : 6.20	minimo	5	1.52	8	25	19	59	135	1.27	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 : 4.20	2	0.13	1.75	47	1.27	25	8	21	207	1.85	1.36	34	---
2	4.20 : 6.20	8	0.50	1.87	35	0.94	41	---	---	---	---	---	---	---

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

DIN

3

Riferimento

077-2025

Committente **Gridshape**
 Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
 Località **Bondeno (FE)**

U.M.: **kg/cm²** Data esec. **06/11/2025**
 Pagina **1**
 Elaborato **Falda**

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	1		7.4					
0.40	1	1		5.1					
0.60	1	2		10.1					
0.80	1	2		10.1					
1.00	2	1		5.1					
1.20	2	2		10.1					
1.40	2	1		5.1					
1.60	2	2		10.1					
1.80	2	1		5.1					
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	2		10.1					
3.20	4	4		20.2					
3.40	4	3		15.2					
3.60	4	4		20.2					
3.80	4	5		25.3					
4.00	5	5		25.3					
4.20	5	4		20.2					
4.40	5	6		30.3					
4.60	5	6		30.3					
4.80	5	7		35.4					
5.00	6	7		35.4					
5.20	6	8		40.5					
5.40	6	8		40.5					
5.60	6	9		45.5					
5.80	6	8		40.5					
6.00	7	9		45.5					
6.20	7	8		40.5					

H = profondità qcd = Resistenza dinamica punta
 L1 = asta
 L2 = punta
 L3 = riv

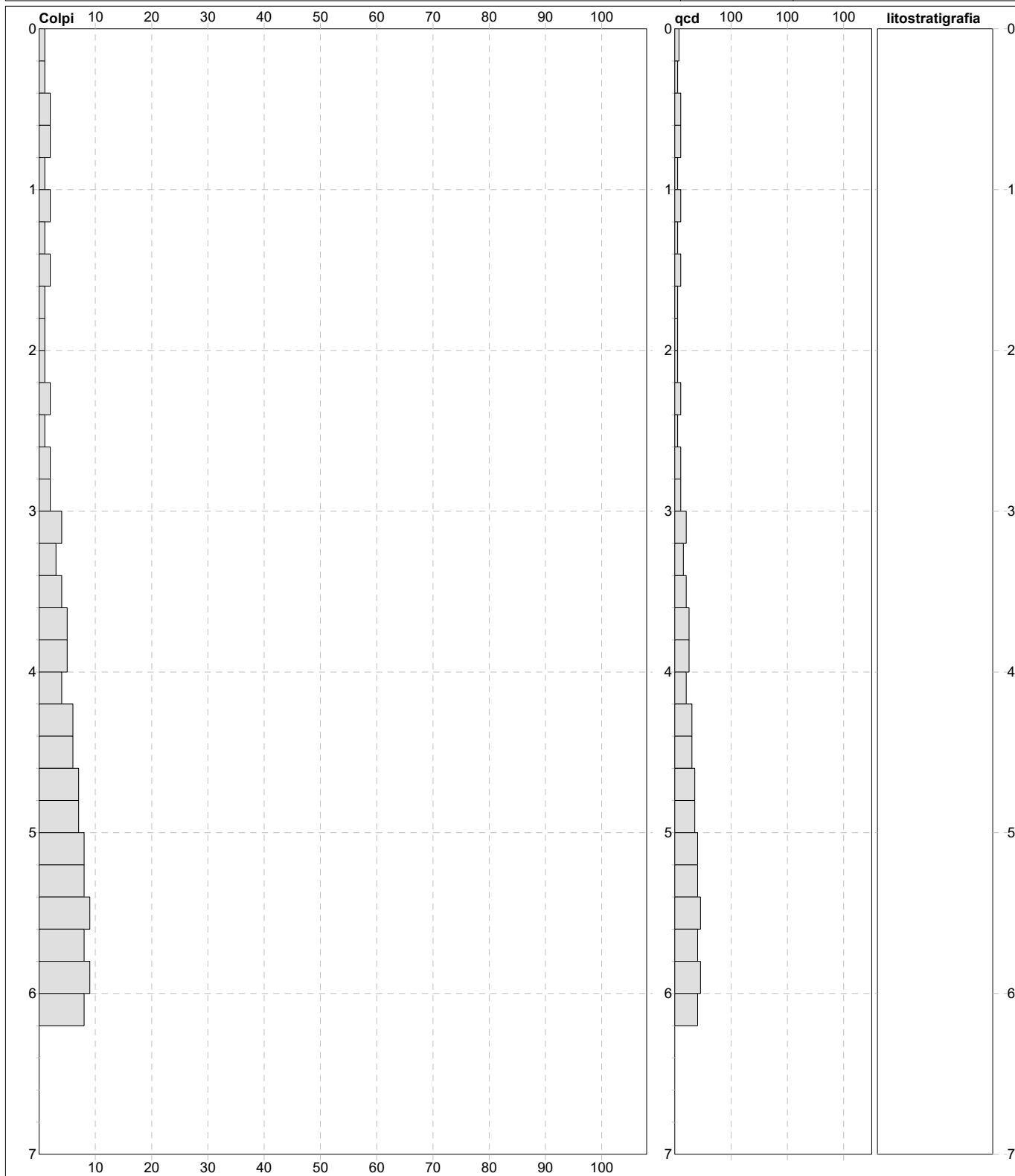
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

DIN **3**

Riferimento **077-2025**

Committente **Gridshape**
Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
Località **Bondeno (FE)**

U.M.: **kg/cm²** Data eseg. **06/11/2025**
Scala: **1:35**
Pagina **1** Quota inizio: **Piano Campagna**
Elaborato Falda



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
3

Riferimento

077-2025

 Committente **Gridshape**
 Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
 Località **Bondeno (FE)**

 U.M.: **kg/cm²** Data esec. 06/11/2025
 Pagina 1
 Elaborato Falda

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 : 3.00	minimo	1	1.52	2	5	6	91	21	0.26	Coes./Gran.	Argilla limosa sabbiosa
2	3.00 : 6.20	minimo	3	1.52	5	15	12	43	121	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 : 3.00	2	0.13	1.75	47	1.27	25	8	21	207	1.85	1.36	34	---
2	3.00 : 6.20	5	0.31	1.83	39	1.06	33	---	---	---	---	---	---	---

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

DIN

4

Riferimento

077-2025

Committente **Gridshape**
 Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
 Località **Bondeno (FE)**

U.M.: **kg/cm²** Data esec. **06/11/2025**
 Pagina **1**
 Elaborato **Falda**

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	2		14.9					
0.40	1	5		25.3					
0.60	1	4		20.2					
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	1		5.1					
2.00	3	1		5.1					
2.20	3	1		5.1					
2.40	3	1		5.1					
2.60	3	1		5.1					
2.80	3	1		5.1					
3.00	4	1		5.1					
3.20	4	1		5.1					
3.40	4	2		10.1					
3.60	4	1		5.1					
3.80	4	2		10.1					
4.00	5	2		10.1					
4.20	5	2		10.1					
4.40	5	3		15.2					
4.60	5	3		15.2					
4.80	5	3		15.2					
5.00	6	3		15.2					
5.20	6	4		20.2					
5.40	6	5		25.3					
5.60	6	6		30.3					
5.80	6	5		25.3					
6.00	7	6		30.3					
6.20	7	7		35.4					

H = profondità qcd = Resistenza dinamica punta
 L1 = asta
 L2 = punta
 L3 = riv

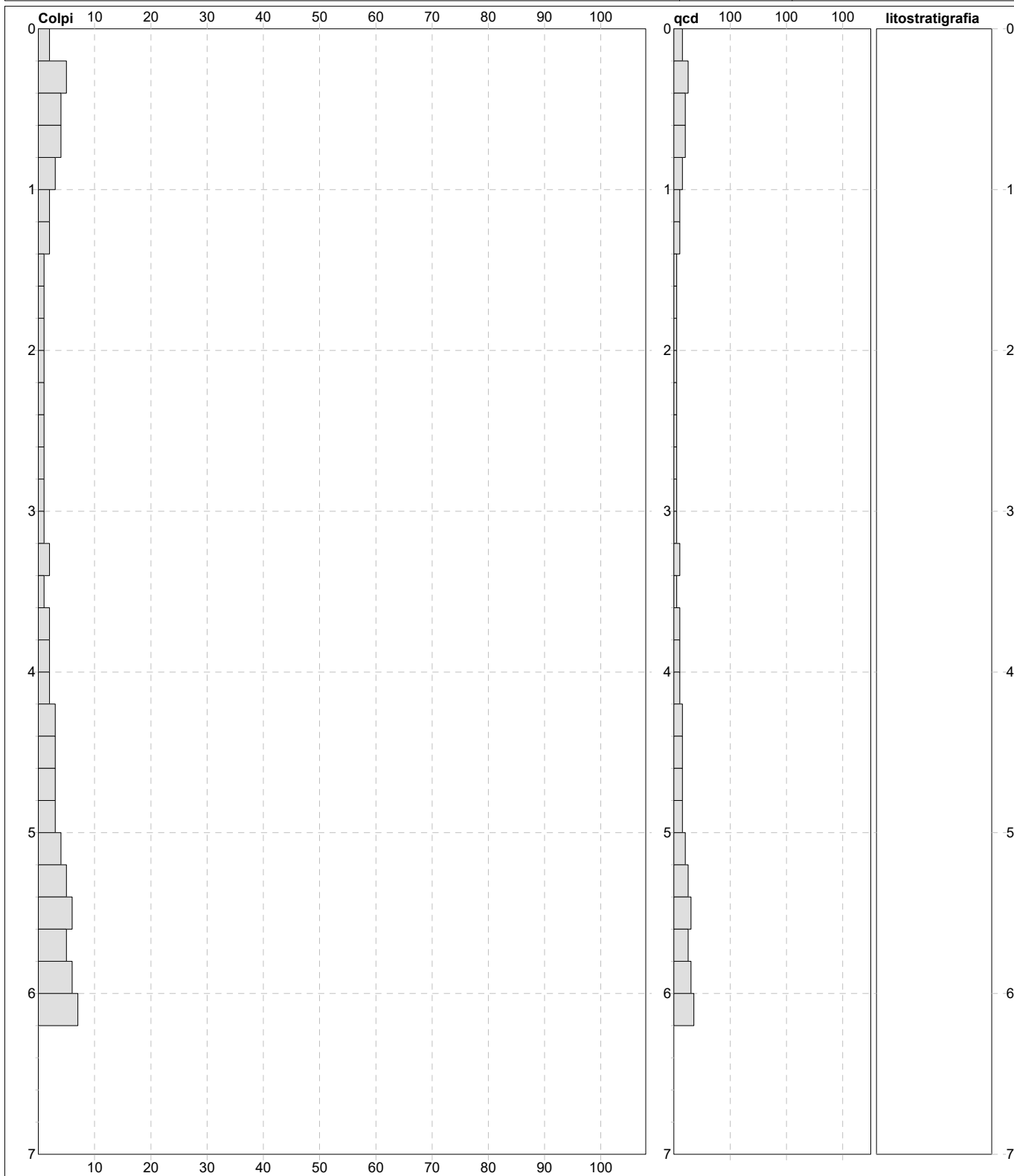
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

DIN 4

Riferimento **077-2025**

Committente **Gridshape**
Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
Località **Bondeno (FE)**

U.M.: **kg/cm²** Data eseg. **06/11/2025**
Scala: **1:35**
Pagina **1** Quota inizio: **Piano Campagna**
Elaborato Falda



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
4

Riferimento

077-2025

 Committente **Gridshape**
 Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
 Località **Bondeno (FE)**

 U.M.: **kg/cm²**

Data esec. 06/11/2025

 Pagina 1
 Elaborato

Falda

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 : 5.00	minimo	1	1.52	2	5	6	100	21	0.26	Coes./Gran.	Argilla limosa sabbiosa
2	5.00 : 6.20	minimo	4	1.52	6	20	15	49	130	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 : 5.00	2	0.13	1.75	47	1.27	25	8	21	207	1.85	1.36	34	---
2	5.00 : 6.20	6	0.38	1.85	37	1.00	36	---	---	---	---	---	---	---

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

DIN

5

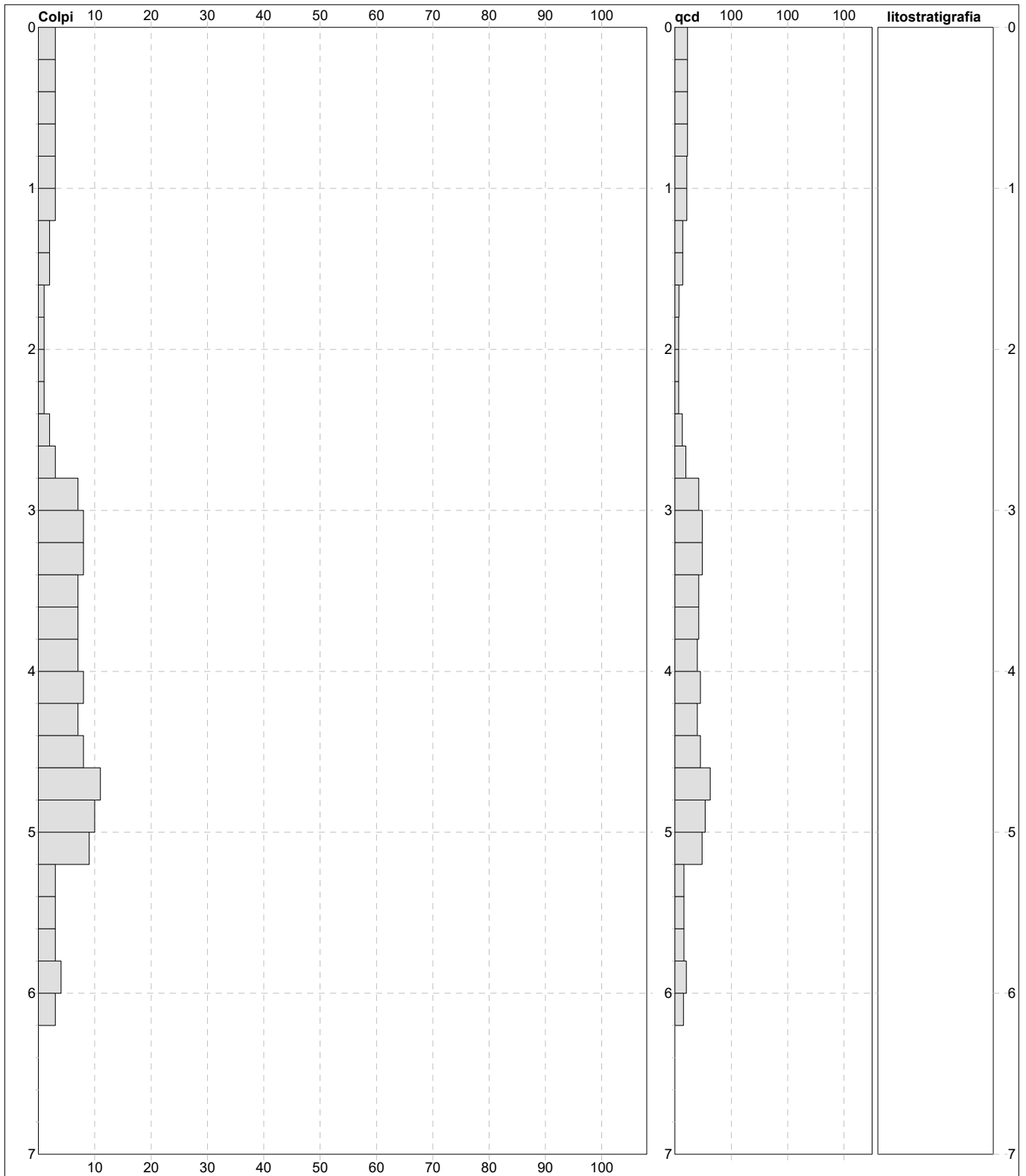
Riferimento

077-2025

Committente **Gridshape**
Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
Località **Bondeno (FE)**

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

Data eseg. **06/11/2025**
Quota inizio: **Piano Campagna Falda**



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

077-2025

 Committente **Gridshape**
 Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
 Località **Bondeno (FE)**

 U.M.: **kg/cm²** Data esec. 06/11/2025
 Pagina 1
 Elaborato Falda

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 : 2.80	minimo	1	1.52	2	6	6	90	21	0.32	Coes./Gran.	Argilla limosa sabbiosa
2	2.80 : 6.20	minimo	3	1.52	5	15	12	43	121	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 : 2.80	2	0.13	1.75	47	1.27	25	8	21	207	1.85	1.36	34	---
2	2.80 : 6.20	5	0.31	1.83	39	1.06	33	---	---	---	---	---	---	---

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

DIN

6

Riferimento

077-2025

Committente **Gridshape**
 Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
 Località **Bondeno (FE)**

U.M.: **kg/cm²** Data esec. **06/11/2025**
 Pagina **1**
 Elaborato **Falda**

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	1		7.4					
0.40	1	2		10.1					
0.60	1	4		20.2					
0.80	1	3		15.2					
1.00	2	3		15.2					
1.20	2	3		15.2					
1.40	2	2		10.1					
1.60	2	1		5.1					
1.80	2	1		5.1					
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	3		15.2					
3.20	4	6		30.3					
3.40	4	5		25.3					
3.60	4	7		35.4					
3.80	4	6		30.3					
4.00	5	6		30.3					
4.20	5	7		35.4					
4.40	5	8		40.5					
4.60	5	7		35.4					
4.80	5	7		35.4					
5.00	6	6		30.3					
5.20	6	7		35.4					
5.40	6	8		40.5					
5.60	6	7		35.4					
5.80	6	9		45.5					
6.00	7	6		30.3					
6.20	7	5		25.3					

H = profondità qcd = Resistenza dinamica punta
 L1 = asta
 L2 = punta
 L3 = riv

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

DIN

6

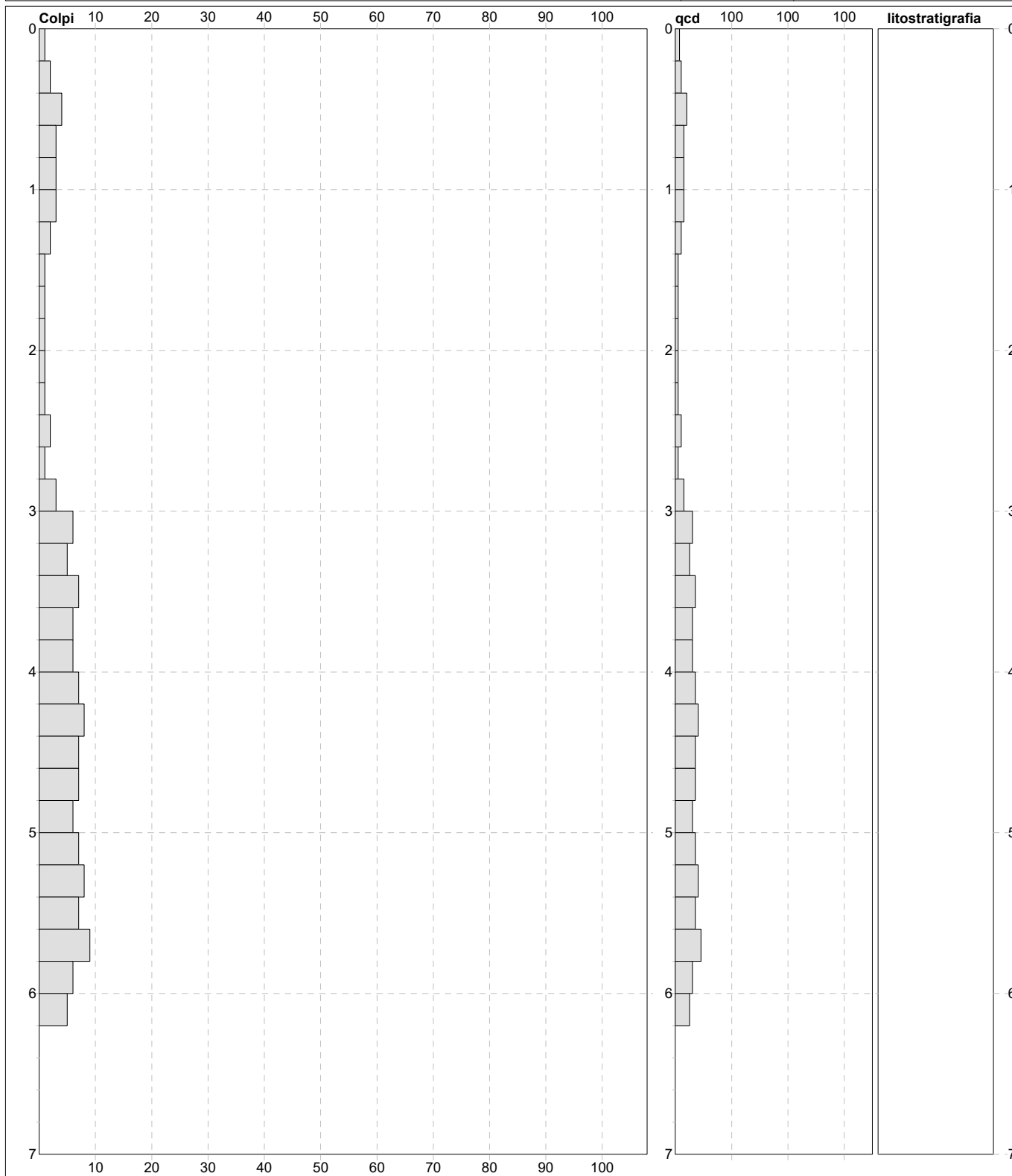
Riferimento

077-2025

Committente **Gridshape**
Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
Località **Bondeno (FE)**

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

Data eseg. **06/11/2025**
Quota inizio: **Piano Campagna Falda**



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
6

Riferimento

077-2025

 Committente **Gridshape**
 Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
 Località **Bondeno (FE)**

 U.M.: **kg/cm²**

Data esec. 06/11/2025

 Pagina 1
 Elaborato

Falda

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 : 3.00	minimo	1	1.52	2	5	6	91	21	0.26	Coes./Gran.	Argilla limosa sabbiosa
2	3.00 : 6.20	minimo	5	1.52	8	25	20	59	132	1.27	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 : 3.00	2	0.13	1.75	47	1.27	25	8	21	207	1.85	1.36	34	---
2	3.00 : 6.20	8	0.50	1.87	35	0.94	41	---	---	---	---	---	---	---

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

DIN

7

Riferimento

077-2025

Committente **Gridshape**
 Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
 Località **Bondeno (FE)**

U.M.: **kg/cm²** Data esec. **06/11/2025**
 Pagina **1**
 Elaborato **Falda**

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	2		14.9					
0.40	1	2		10.1					
0.60	1	3		15.2					
0.80	1	4		20.2					
1.00	2	3		15.2					
1.20	2	3		15.2					
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	3		15.2					
3.00	4	4		20.2					
3.20	4	3		15.2					
3.40	4	3		15.2					
3.60	4	3		15.2					
3.80	4	4		20.2					
4.00	5	3		15.2					
4.20	5	5		25.3					
4.40	5	6		30.3					
4.60	5	6		30.3					
4.80	5	7		35.4					
5.00	6	8		40.5					
5.20	6	9		45.5					
5.40	6	9		45.5					
5.60	6	8		40.5					
5.80	6	10		50.6					
6.00	7	9		45.5					
6.20	7	8		40.5					

H = profondità qcd = Resistenza dinamica punta
 L1 = asta
 L2 = punta
 L3 = riv

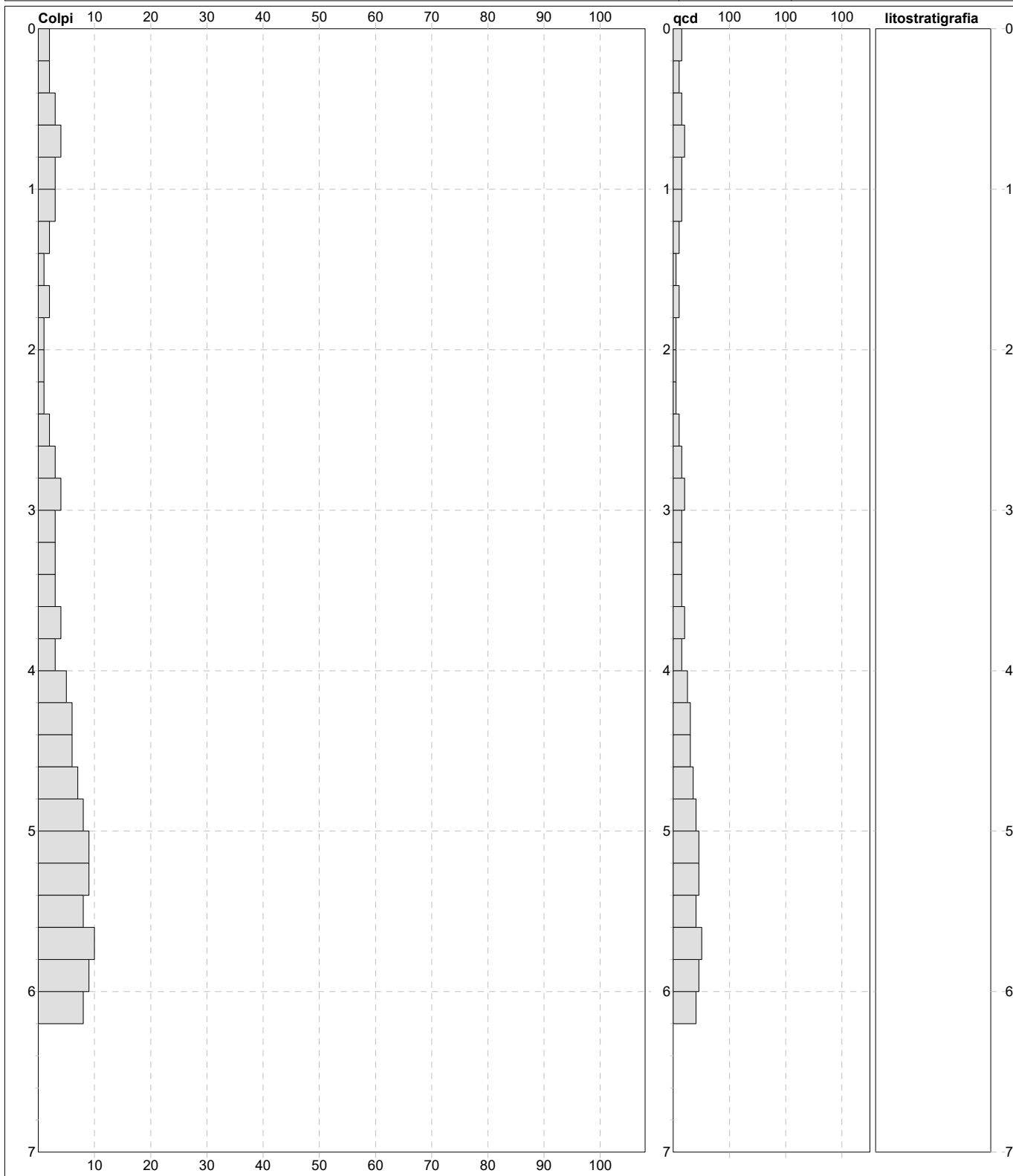
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

DIN **7**

Riferimento **077-2025**

Committente **Gridshape**
Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
Località **Bondeno (FE)**

U.M.: **kg/cm²** Data eseg. **06/11/2025**
Scala: **1:35**
Pagina **1** Quota inizio: **Piano Campagna**
Elaborato Falda



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

077-2025

 Committente **Gridshape**
 Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
 Località **Bondeno (FE)**

 U.M.: **kg/cm²**

Data esec. 06/11/2025

 Pagina 1
 Elaborato

Falda

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 : 4.00	minimo	1	1.52	2	5	6	96	21	0.26	Coes./Gran.	Argilla limosa sabbiosa
2	4.00 : 6.20	minimo	5	1.52	8	25	19	59	134	1.27	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 : 4.00	2	0.13	1.75	47	1.27	25	8	21	207	1.85	1.36	34	---
2	4.00 : 6.20	8	0.50	1.87	35	0.94	41	---	---	---	---	---	---	---

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

DIN

8

Riferimento

077-2025

Committente **Gridshape**
 Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
 Località **Bondeno (FE)**

U.M.: **kg/cm²** Data esec. **06/11/2025**
 Pagina **1**
 Elaborato **Falda**

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	1		7.4					
0.40	1	2		10.1					
0.60	1	4		20.2					
0.80	1	3		15.2					
1.00	2	4		20.2					
1.20	2	3		15.2					
1.40	2	3		15.2					
1.60	2	3		15.2					
1.80	2	4		20.2					
2.00	3	2		10.1					
2.20	3	1		5.1					
2.40	3	1		5.1					
2.60	3	1		5.1					
2.80	3	1		5.1					
3.00	4	2		10.1					
3.20	4	3		15.2					
3.40	4	3		15.2					
3.60	4	3		15.2					
3.80	4	5		25.3					
4.00	5	4		20.2					
4.20	5	6		30.3					
4.40	5	6		30.3					
4.60	5	8		40.5					
4.80	5	7		35.4					
5.00	6	8		40.5					
5.20	6	9		45.5					
5.40	6	8		40.5					
5.60	6	10		50.6					
5.80	6	9		45.5					
6.00	7	10		50.6					
6.20	7	10		50.6					

H = profondità qcd = Resistenza dinamica punta
 L1 = asta
 L2 = punta
 L3 = riv

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

DIN

8

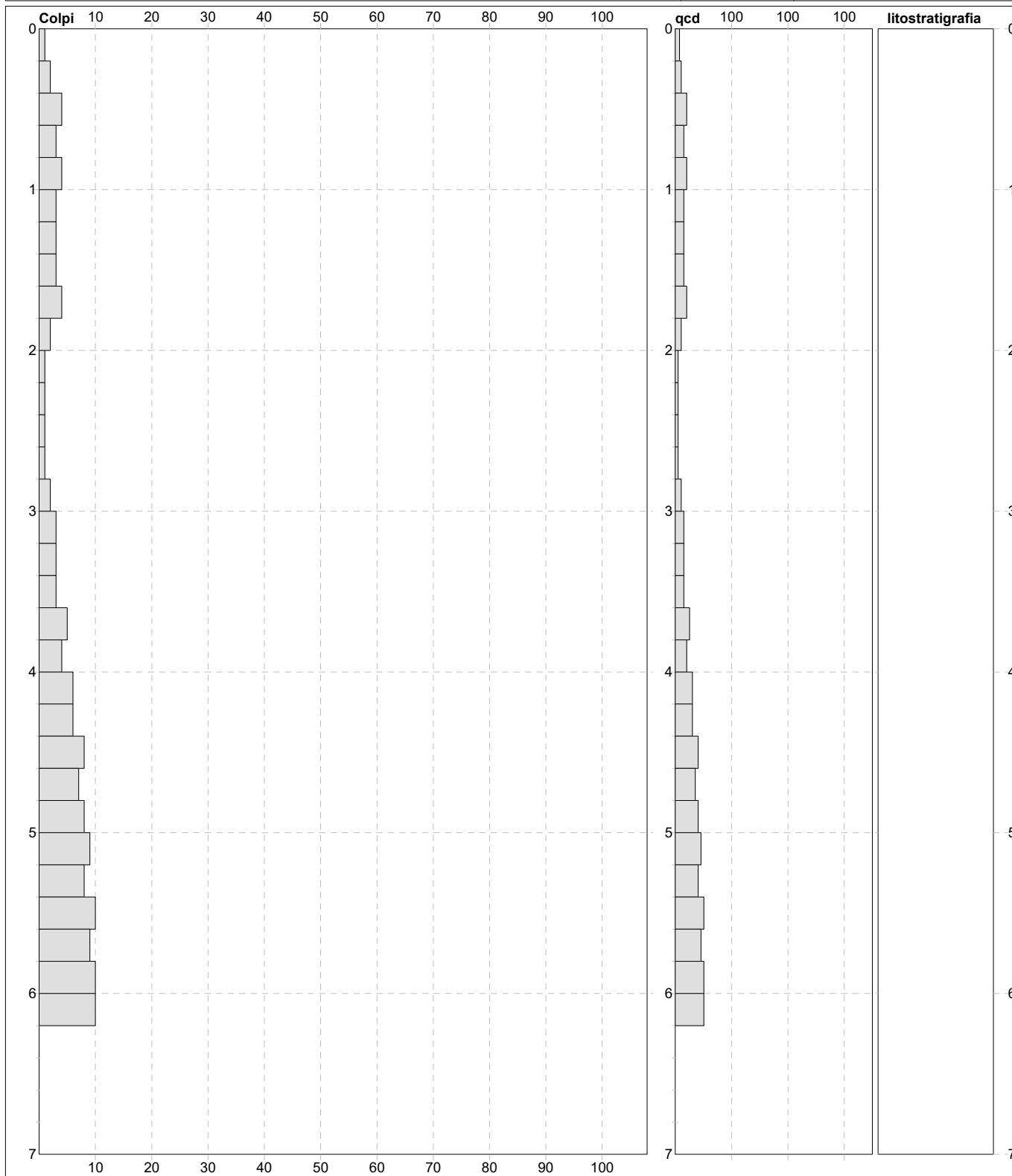
Riferimento

077-2025

Committente **Gridshape**
Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
Località **Bondeno (FE)**

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

Data eseg. **06/11/2025**
Quota inizio: **Piano Campagna Falda**



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
8

Riferimento

077-2025

 Committente **Gridshape**
 Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
 Località **Bondeno (FE)**

 U.M.: **kg/cm²**

Data esec. 06/11/2025

 Pagina 1
 Elaborato

Falda

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 : 0.40	minimo	1	1.52	2	7	4	20	104	0.37	Torbosa	Torba argillosa
2	0.40 : 3.60	minimo	1	1.52	2	5	6	96	21	0.26	Coes./Gran.	Argilla limosa sabbiosa
3	3.60 : 6.20	minimo	4	1.52	6	20	16	49	127	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 : 0.40	2	0.10	1.35	143	3.86	21	---	---	---	---	---	---	---
2	0.40 : 3.60	2	0.13	1.75	47	1.27	25	8	21	207	1.85	1.36	34	---
3	3.60 : 6.20	6	0.38	1.85	37	1.00	36	---	---	---	---	---	---	---

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

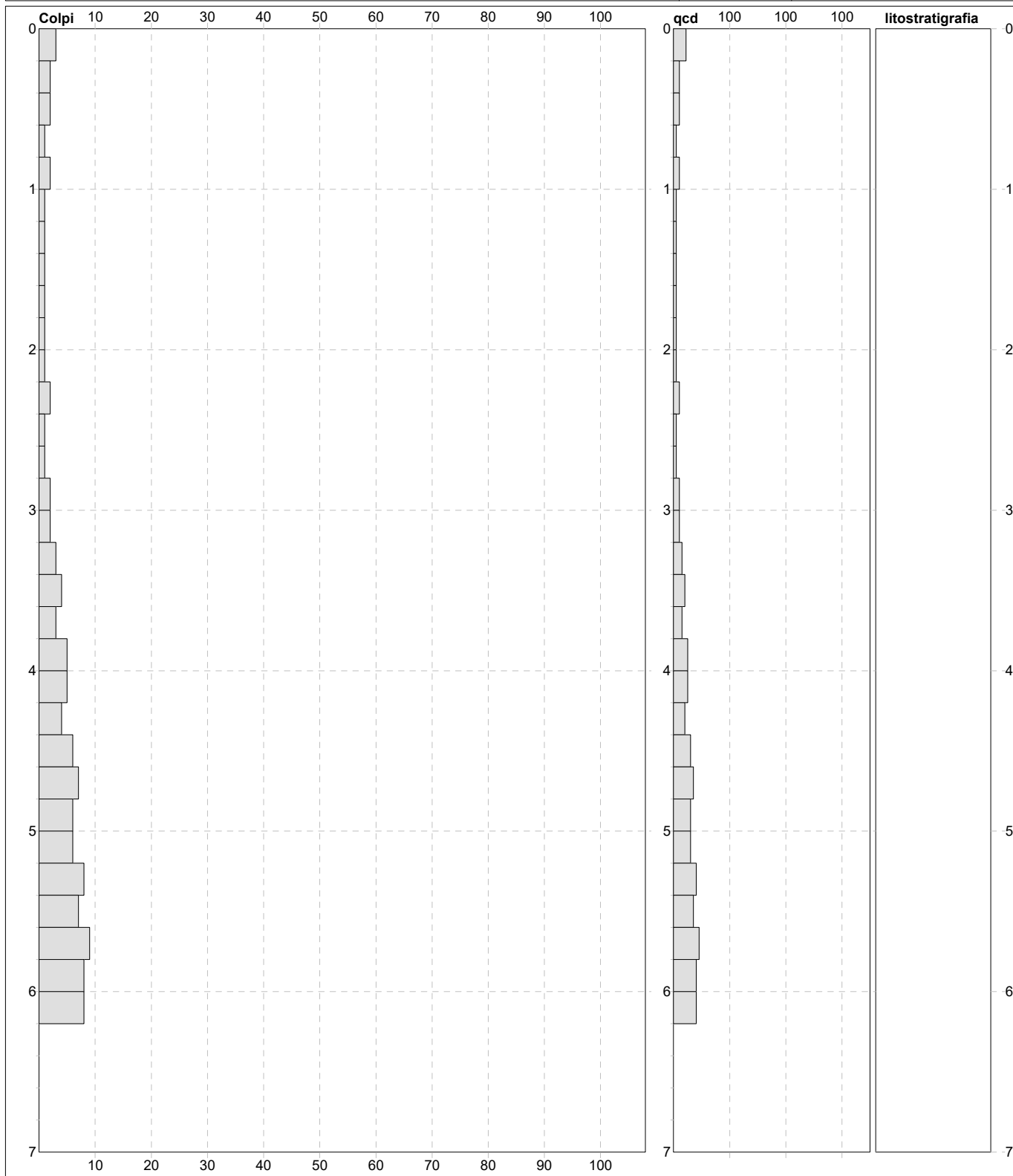
DIN 9

Riferimento **077-2025**

Committente **Gridshape**
Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
Località **Bondeno (FE)**

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

Data eseg. **06/11/2025**
Quota inizio: **Piano Campagna Falda**



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 9

Riferimento **077-2025**

Committente **Gridshape**
Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
Località **Bondeno (FE)**

U.M.: **kg/cm²** Data esec. **06/11/2025**
Pagina **1**
Elaborato **Falda**

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 : 3.20	minimo	1	1.52	2	5	6	92	21	0.26	Coes./Gran.	Argilla limosa sabbiosa
2	3.20 : 6.20	minimo	3	1.52	5	15	12	43	122	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 : 3.20	2	0.13	1.75	47	1.27	25	8	21	207	1.85	1.36	34	---
2	3.20 : 6.20	5	0.31	1.83	39	1.06	33	---	---	---	---	---	---	---

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

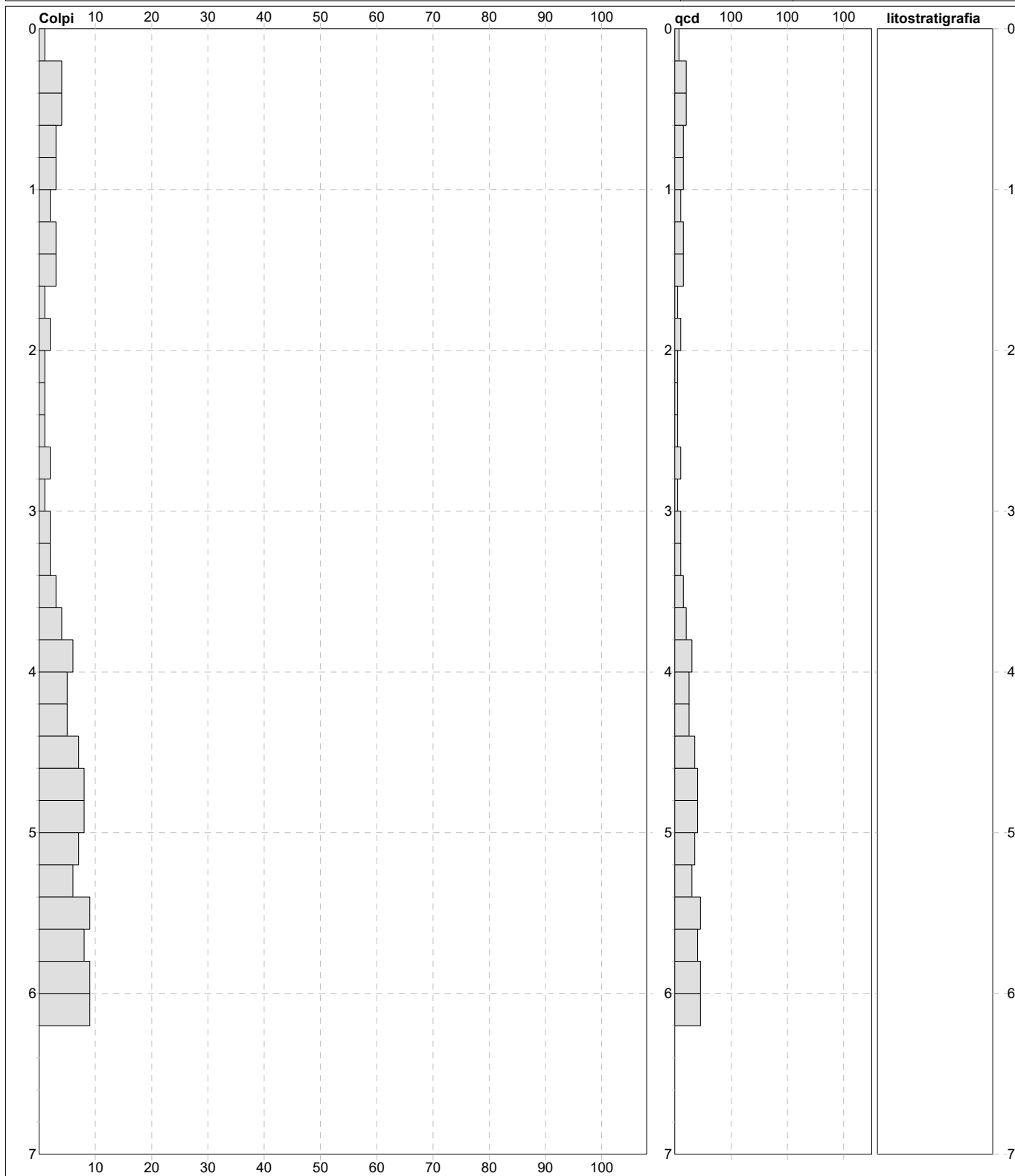
DIN 10

Riferimento **077-2025**

Committente **Gridshape**
Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
Località **Bondeno (FE)**

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

Data esec. **06/11/2025**
Quota inizio: **Piano Campagna Falda**



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 10

Riferimento **077-2025**

Committente **Gridshape**
Cantiere **Nuovo impianto fotovoltaico**
Località **Bondeno (FE)**

U.M.: **kg/cm²** Data esec. **06/11/2025**
Pagina **1**
Elaborato **Falda**

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 : 3.60	minimo	1	1.52	2	5	6	94	21	0.26	Coes./Gran.	Argilla limosa sabbiosa
2	3.60 : 6.20	minimo	4	1.52	6	20	16	49	127	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 : 3.60	2	0.13	1.75	47	1.27	25	8	21	207	1.85	1.36	34	---
2	3.60 : 6.20	6	0.38	1.85	37	1.00	36	---	---	---	---	---	---	---

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 battuta 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 kg/cm² = 0.768 MPa) per M = 63.5 kg, H = 0.75 m, D = 50.8 mm, A = 20.27 cm², d = 0.30 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)]

BONDENO 061125,

Instrument: EXT-PASI_Gea24

Data format: 16 bit

Full scale [mV]: 179

Start recording: 06/11/2025 11:23:39 End recording: 06/11/2025 11:43:39

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

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 90% trace (automatic window selection)

Sampling rate: 125 Hz

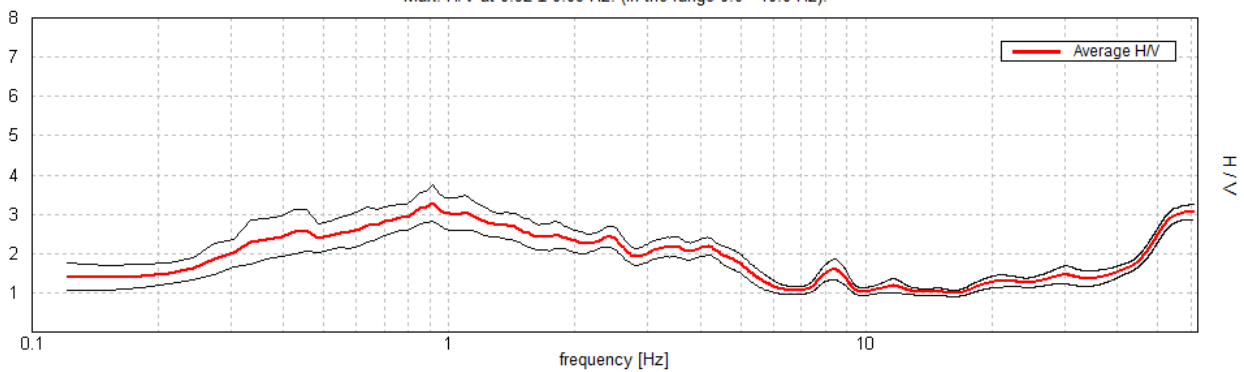
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

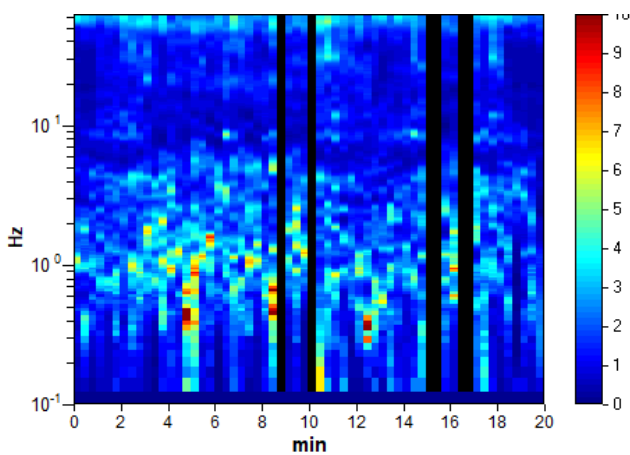
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

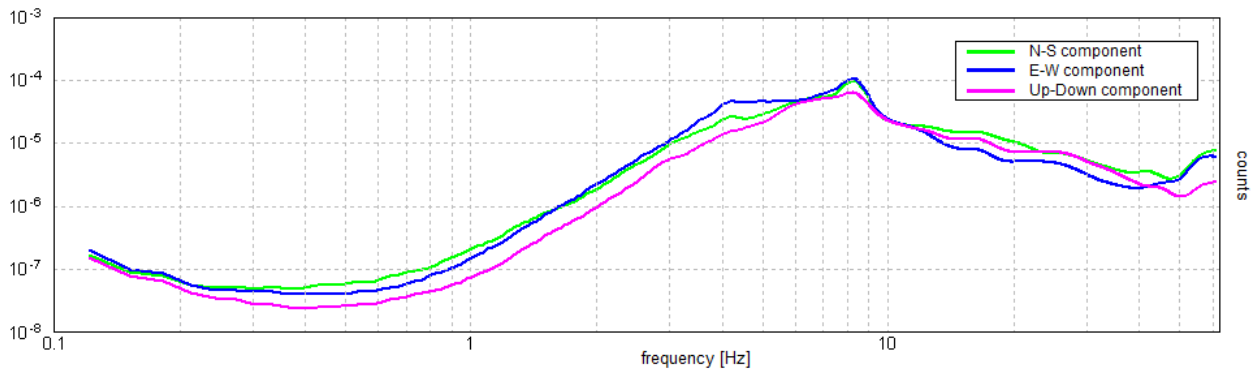
Max. H/V at 0.92 ± 0.09 Hz. (In the range 0.0 - 40.0 Hz).



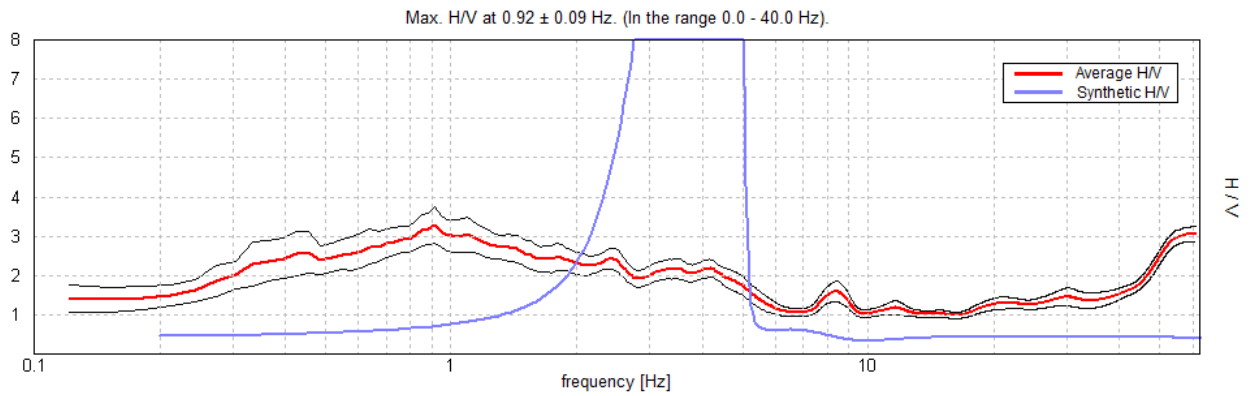
H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA

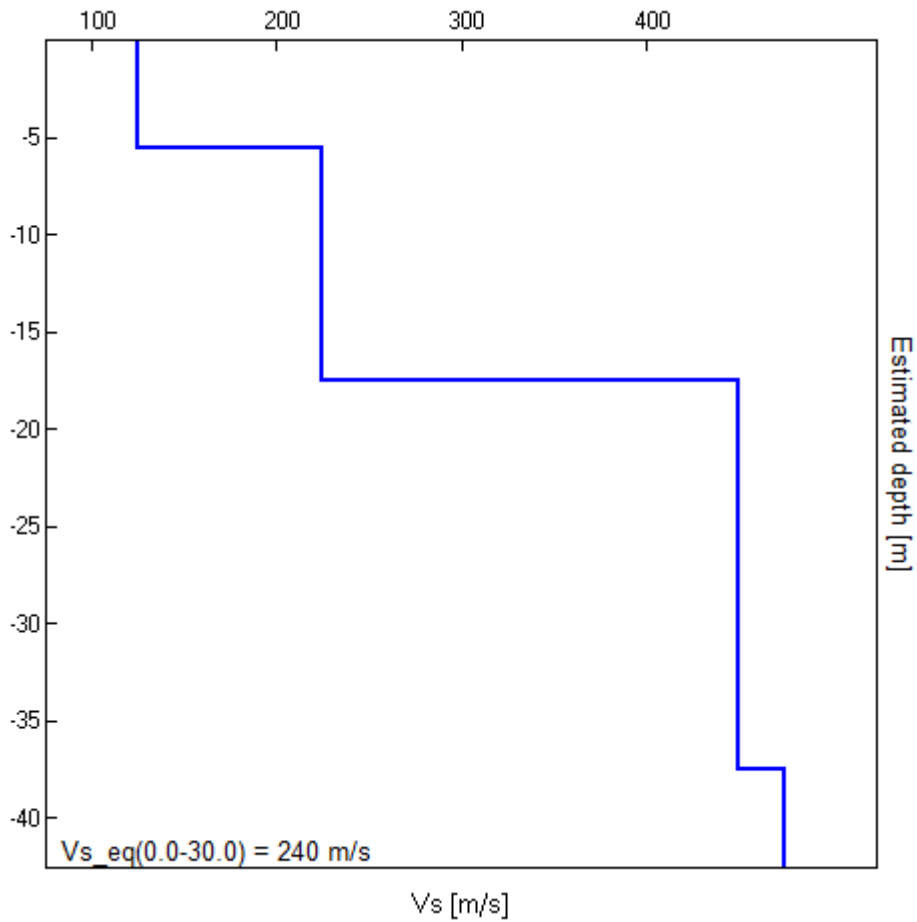


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
5.50	5.50	125	0.42
17.50	12.00	225	0.42
37.50	20.00	450	0.42
inf.	inf.	475	0.42

$V_{s_eq}(0.0-30.0) = 240$ m/s



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

Max. H/V at 0.92 ± 0.09 Hz (in the range 0.0 - 40.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.92 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$988.8 > 200$	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 46 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

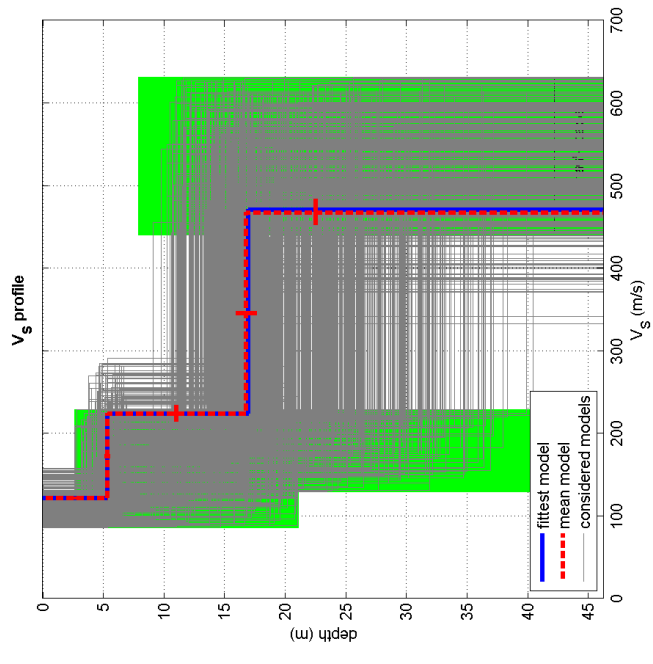
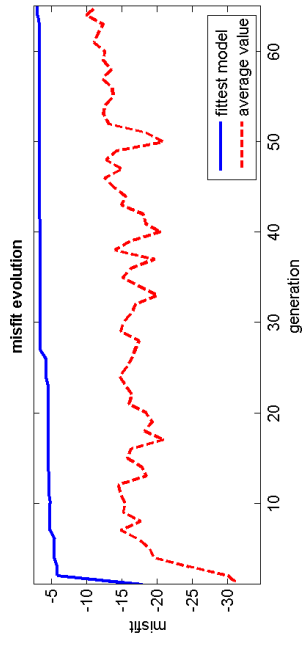
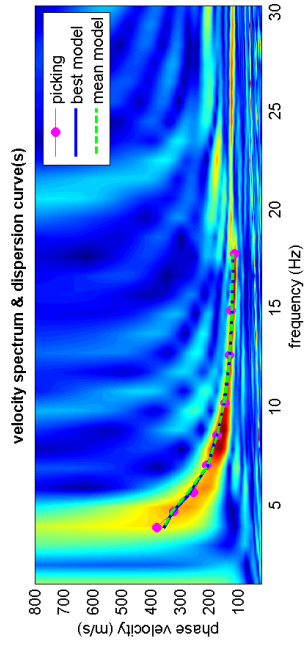
[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.244 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$3.28 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0958 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.0877 < 0.13733$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4558 < 2.0$	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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

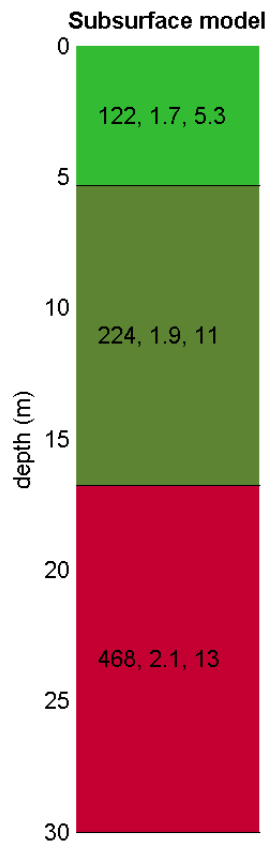
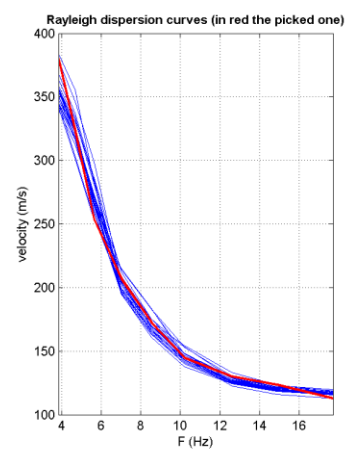
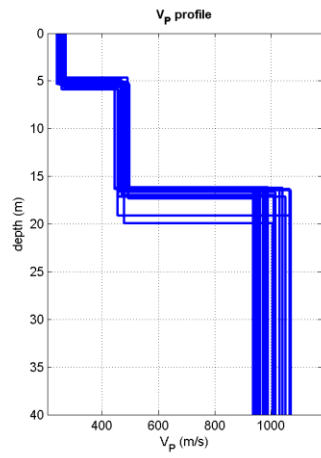
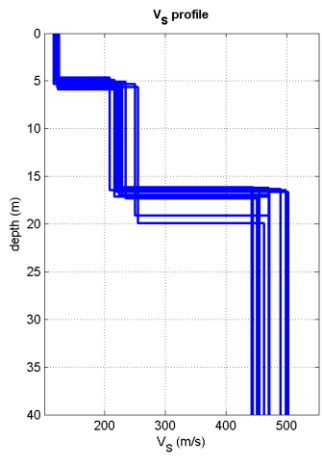
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

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



dataset: 2025-11-06_1_0-29_108.dat
 dispersion curve: Bondeno (FE) 06.11.25.cdp
 V_{s30} (best model): 243 m/s
 V_{s30} (mean model): 244 m/s





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

PROVA DI PERMEABILITA' A CARICO VARIABILE
Condizioni terreno naturali

Prova 1

COMMITTENTE	Gridshape s.r.l.
CANTIERE	Bandeno (FE)
DATA	06/11/2025

TEMPO secondi	LETTURE m	ABBASSAMENTI m
0	0.000	1.910
30	0.660	1.250
60	0.980	0.930
90	1.180	0.730
120	1.290	0.620
150	1.360	0.550
180	1.390	0.520
210	1.420	0.490
240	1.430	0.480
270	1.430	0.480
300	1.440	0.470
330	1.440	0.470
360	1.440	0.470
390	1.440	0.470
420	1.440	0.470
450	1.440	0.470
480	1.450	0.460
510	1.450	0.460
540	1.450	0.460
570	1.450	0.460
600	1.445	0.465

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)	600
h ₁ (m)	1.91
h ₂ (m)	0.47
h _m (m)	0.47

COEFFICIENTE DI PERMEABILITA' k= 7.24E-04