



# COMUNE DI FOGGIA



## PROGETTO DEFINITIVO

### PROGETTO IMPIANTO DI PRODUZIONE ENERGIA ELETTRICA DA FONTE RINNOVABILE DI TIPO FOTOVOLTAICO UTILITY SCALE

Committente:

**Green Genius Italy Utility 13 s.r.l.**

Corso Giuseppe Garibaldi, 49  
20121 Milano (MI)



**StudioTECNICO**  
**Ing. Marco G Balzano**

Via Canello Rotto, 3  
70125 BARI | Italy  
+39 331.6794367  
www.ingbalzano.com



Spazio Riservato agli Enti:

REV	DATA	ESEGUITO	VERIFICA	APPROV	DESCRIZ
R0	15/03/2021	Ing. Perrini	Geol. De Giorgio	MBG	Prima Emissione

Numero Commessa:

**SV450**

Data Elaborato:

**15/03/2021**

Revisione:

**R0**

Titolo Elaborato:

**Relazione Geotecnica**

Progettista:

**ing. Marco G. Balzano**

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bari n.9341  
Professionista Antincendio Elenco Ministero degli Interni BA09341101837  
Consulente Tecnico d'Ufficio (CTU) Tribunale Bari

Elaborato:

**V.02**

## Sommario

1. PREMESSA.....	2
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
3. UBICAZIONE DELL'AREA .....	4
4. INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE .....	6
5. ESECUZIONE DELLA PROVA PENETROMETRICA DINAMICA (DINAMIC PROBING SUPER HEAVY) 7	
6. RISULTATI DELLA PROVA PENETROMETRICA .....	9
7. ANALISI DEI RISULTATI E DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOTECNICO GENERALE DEL SITO.....	12
8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....	21

## 1. Premessa

La presente relazione geotecnica, redatta dalla sottoscritta Ing. Arch. Marianna Perrini a seguito dell'incarico conferito alla GeoMoniTek S.r.l. dalla I.S.E.I.C.O s.r.l., integra la documentazione a corredo del *Progetto per la Realizzazione di impianto fotovoltaico Utility Scale* da realizzare su due lotti posizionati nel territorio comunale di Foggia, su cui verranno installati pannelli fotovoltaici e denominato "SV450". L'iniziativa nello specifico, prevede la realizzazione di un impianto fotovoltaico destinato alla produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili.

Lo studio è stato esteso anche alle aree interessate dalla realizzazione delle opere connesse e delle infrastrutture indispensabili alla perfetta funzionalizzazione dell'impianto su indicato, ossia l'elettrodotto di collegamento e la sottostazione di servizio.

A tal riguardo il presente documento fornisce un'analisi geotecnica dei terreni costituenti i siti oggetto di studio e delle aree circostanti, orientata alla definizione del *Modello geotecnico del Sottosuolo* su cui graveranno i carichi di progetto ed installate le relative fondazioni.

A tal proposito, si è proceduto all'acquisizione, elaborazione ed articolazione di dati geologici rivenienti dalla relazione geologica redatta per il progetto e integrata da indagine diretta realizzata per implementare i caratteri geotecnici delle litologie presenti e consistita nell'esecuzione di una prova penetrometrica spinta fino ad una profondità di 6 metri dal piano campagna.

In relazione alla finalità dello studio quindi, le attività sono state articolate sviluppando il seguente programma:

- analisi della bibliografia esistente;
- realizzazione di n.1 prova penetrometrica.

## 2. Normativa di riferimento

Nella redazione della presente relazione è stata presa in considerazione la vigente normativa tecnica italiana, ed in particolare, le seguenti disposizioni:

- D.M. 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”.
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- D.M. 14.01.2008 – “Norme Tecniche per le Costruzioni”.
- D.M. 11.03.1988 - “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”, applicabile per le costruzioni di tipo 1 e 2 e Classe d'uso I e II.



### 3. Ubicazione dell'area

L'area interessata dall'opera in parola è situata nella zona settentrionale del Comune di Foggia (Fg), nell'area interna del Tavoliere delle Puglie.

Nelle seguenti immagini si riporta la cartografia di riferimento con ubicazione dell'area interessata dalle opere:

- Stralcio della Carta Topografica d'Italia IGMI: F°164 IV SO "Borgo Duanera La Rocca" e F°164 III NO "Foggia": fonte: [www.pcn.minambiente.it](http://www.pcn.minambiente.it) (fig.1a);
- Immagine satellitare anno 2016; fonte: [www.sit.puglia.it](http://www.sit.puglia.it) (fig.1b).
- Carta Tecnica Regionale elemento 408033 della Regione Puglia (fig.1c).

Inoltre il sito ricade nel Foglio 408 "Foggia" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000.

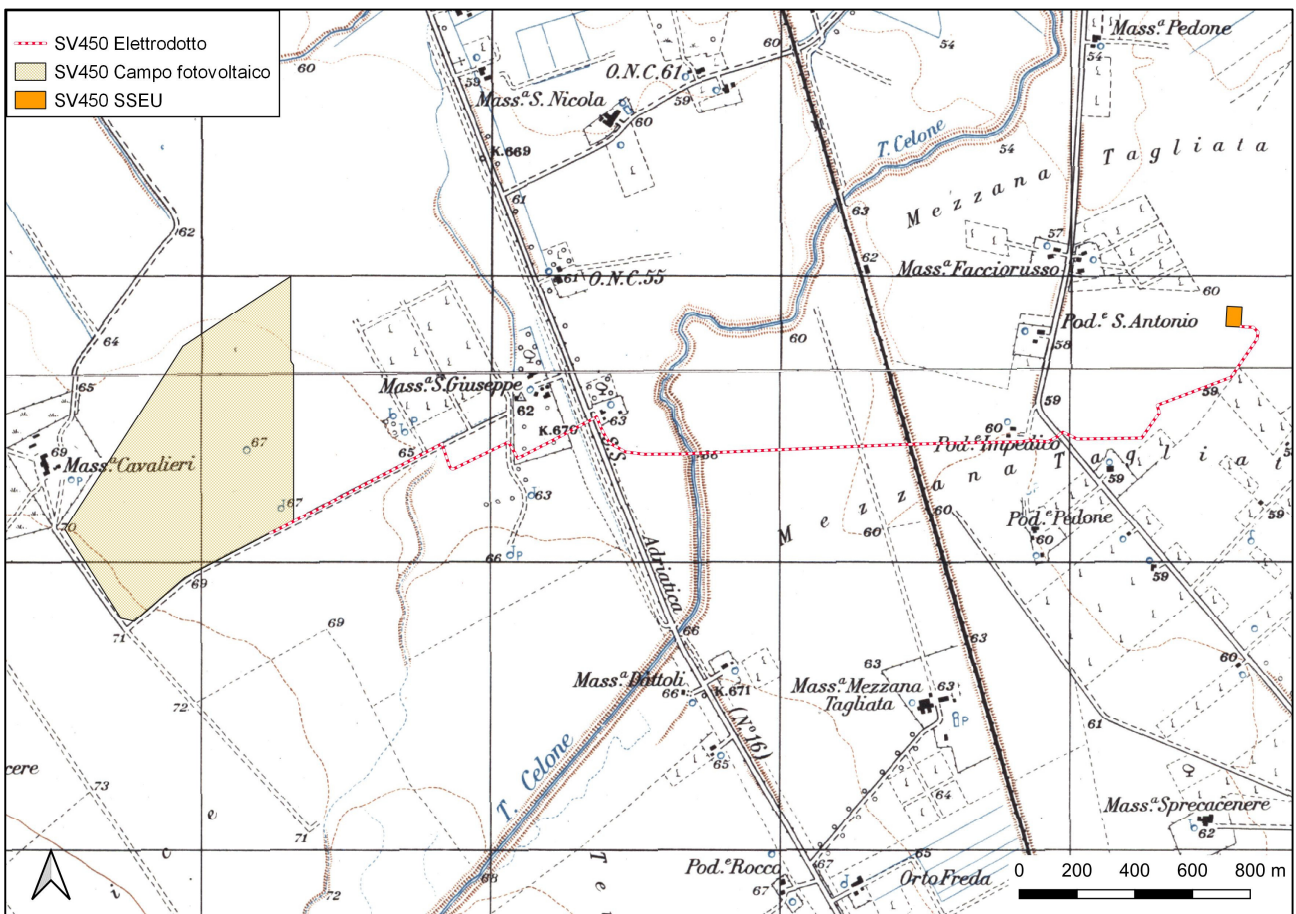


Fig. 1a - Stralcio delle Tavole IGMI F°164 IV SO "Borgo Duanera La Rocca" e F°164 III NO "Foggia". Fonte: [www.pcn.minambiente.it](http://www.pcn.minambiente.it).

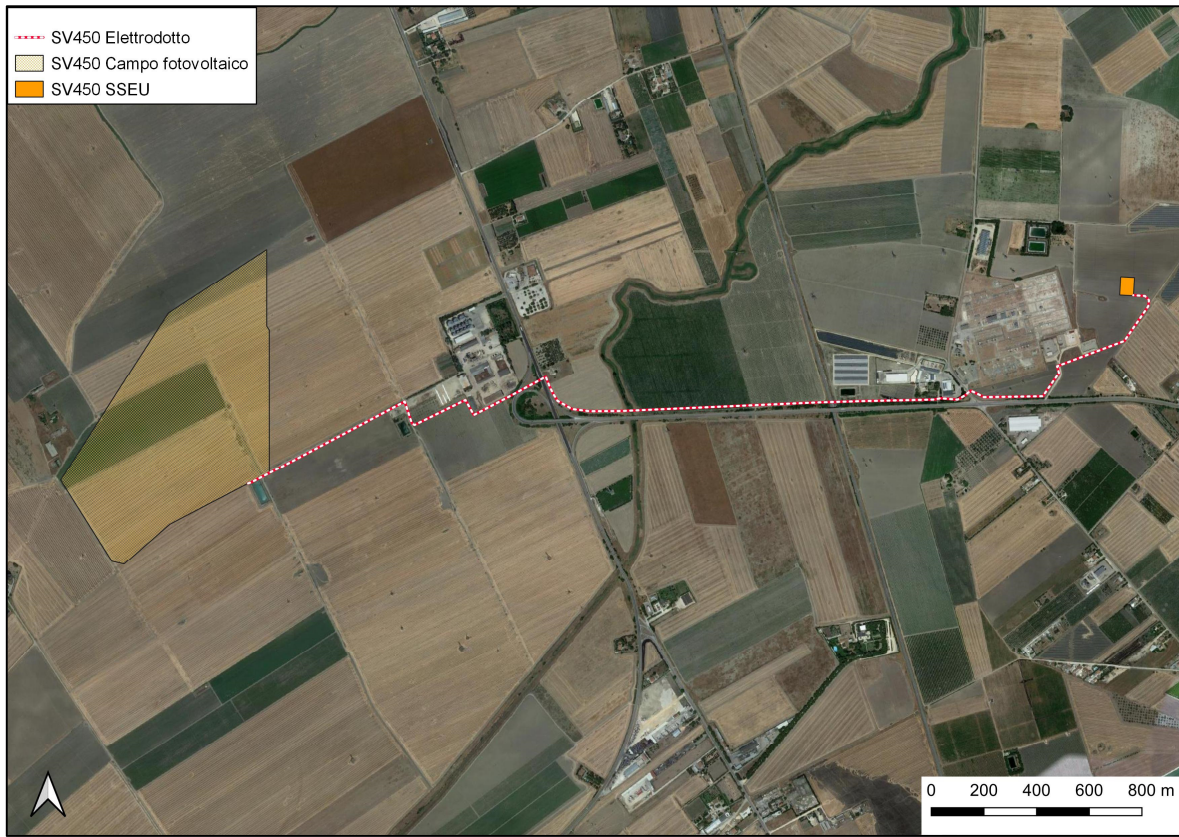


Figura 1b - Ubicazione del sito su Immagine satellitare del 2015. Fonte: [www.sit.puglia.it](http://www.sit.puglia.it)

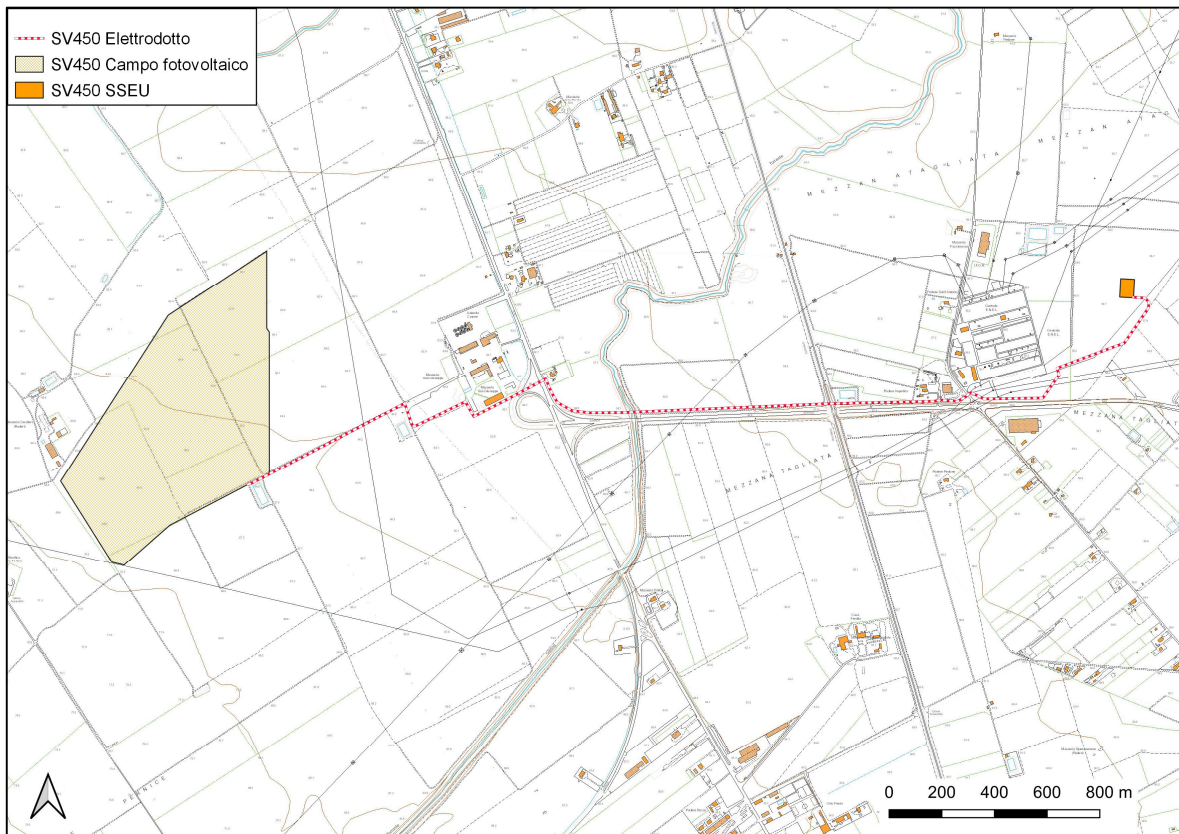


Figura 1c - Ubicazione del sito su CTR Regionale. Fonte: [www.sit.puglia.it](http://www.sit.puglia.it)



#### 4. Indagini geognostiche eseguite

Per la definizione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali e la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni oggetto dell'intervento in progetto, è stata eseguita, dal dott. Dario Fischetto iscritto all'Ordine Regionale dei Geologi di Puglia con il N° 475 con studio in Brindisi (BR) al Corso Garibaldi civ. 27, una campagna di indagine geognostica (D.M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni"), consistente nella realizzazione di n° 1 Prova Penetrometrica Dinamica Super Pesante (DYNAMIC PROBING SUPER HEAVY), nel territorio comunale di Foggia (FG), la cui ubicazione è definita dalle coordinate geografiche di seguito riportate:

**Lat.: 41.501459 N - Long.: 15.510526 E**

L'ubicazione dell'indagine è inoltre illustrata nella seguente figura.



Figura 2 – Ubicazione dell'indagine penetrometrica

## 5. Esecuzione della prova penetrometrica dinamica (dynamic probing super heavy)

Per la definizione delle caratteristiche geotecniche dei depositi presenti nel sito di indagine, è stata eseguita una campagna di indagine di prospezione geologica dei terreni a mezzo di N° 1 Prova Penetrometrica Dinamica Superpesante (Dynamic Probing Super Heavy) all'interno della sagoma di ingombro delle opere in progetto.

La prova penetrometrica dinamica consiste nel misurare la resistenza alla penetrazione di una punta conica, infissa per battitura nel terreno, per mezzo di un idoneo dispositivo di percussione, secondo una procedura standardizzata.

Le prove in sito sono state effettuate utilizzando un penetrometro dinamico modello DPSH63-73 della GEO DEEP DRILL, con attrezzatura superpesante DPSH (peso massa battente  $M \geq 60$  kg), eseguite secondo lo standard DIN 4094 (la prova consiste nell'infiggere la punta conica nel terreno, per tratti consecutivi di 20 cm, misurando il numero di colpi N20 necessari).

<b>Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH63-73 GEO DEEP DRILL</b>	
Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,4 Kg
Altezza di caduta libera	0,75 m
Peso sistema di battuta	5,00 Kg
Diametro punta conica	50,46 mm
Area di base punta	20,00 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6,30 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,80 m
Avanzamento punta	0,20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1,504
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60°

La resistenza opposta dal terreno alla punta conica viene correlata alle caratteristiche fisico-meccaniche e portanti del terreno, consentendo inoltre di riconoscere, con buona approssimazione, la stratigrafia del sottosuolo; il tutto fino alla profondità a cui la resistenza del terreno è tale da non permetterne più l'infissione (rigetto della punta).

Per il riconoscimento ed il calcolo delle più significative caratteristiche fisico-meccaniche del terreno di fondazione, sono state elaborate le norme relative al penetrometro superpesante medio italiano usato per le prove (DPSH63-73 GEO DEEP DRILL).

Attraverso la nota "Formula degli Olandesi", di seguito riportata, si è ricavato la resistenza dinamica alla punta (altrimenti detta resistenza di rottura dinamica alla punta) (Rpd), parametro caratteristico dello stato di addensamento di un terreno incoerente e della consistenza di un terreno coesivo.

$$Rpd = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]} [kg/cmq]$$

Dove:

Rpd = resistenza dinamica punta;

A = 10 cmq (sezione della punta conica);

e = infissione media per colpo ( $10 / N$ ) = 10/N cm (con N corrispondente al n° di colpi per ogni approfondimento di 10 cm);

M = peso massa battente (maglio) pari a 30 Kg

H = altezza caduta massa battente pari a 20 cm;

P = peso totale aste e sistema battuta pari a 14,9 kg (2,9 Kg/m peso delle aste + 12 Kg peso dell'incudine).

La resistenza dinamica alla punta ( $R_{pd}$ ) è correlata alla pressione ammissibile specifica sull'interstrato ( $Q_{ad}$  altrimenti detta portanza) (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20 ÷ 22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4.

$$Q_{ad} = \frac{R_{pd}}{[20 \div 22]} [kg / cmq]$$

Dall'elaborazione delle risultanze delle prove penetrometriche dinamiche, attraverso l'utilizzo del software Dynamic Probing versione 2020.26.5.999 ci si è ricavati i principali parametri fisico meccanici che caratterizzano il modello geotecnico dei depositi indagati.

## 6. Risultati della prova penetrometrica

I risultati di sito della prova **DINAMIC PROBING SUPER HEAVY N° 1** realizzata sono riportati nella seguente tabella.

Strumento utilizzato: **DPSH63-73 GEO DEEP DRILL (superpesante)**

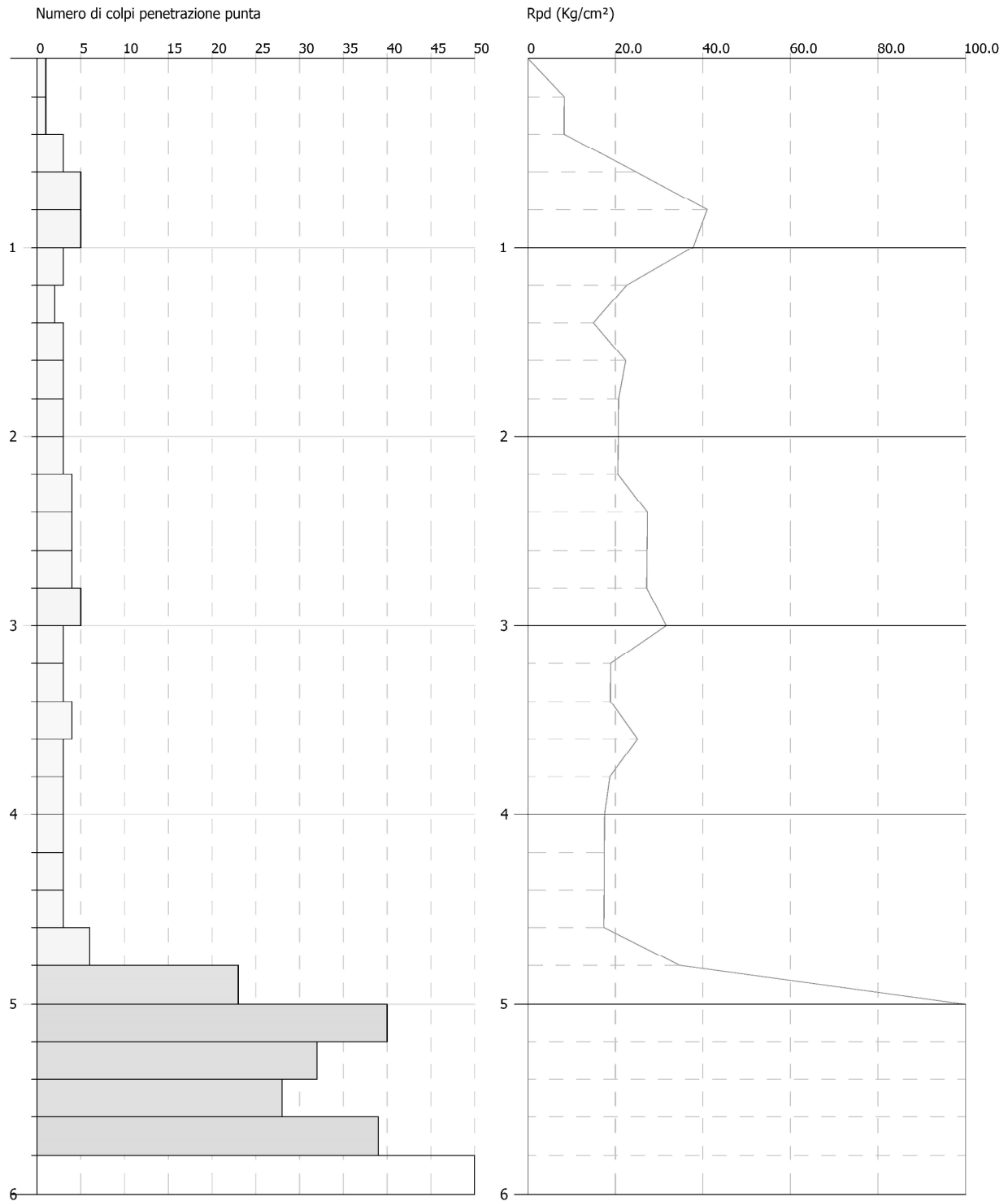
Prova eseguita in data: **05/03/2021**

Profondità prova: **6,00 mt**

Falda (profondità dal p.c.): **NON RILEVATA**

Tipo elaborazione nr. colpi **Medio**

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.20	1	0.855	8.31	9.72	0.42	0.49
0.40	1	0.851	8.27	9.72	0.41	0.49
0.60	3	0.847	24.69	29.15	1.23	1.46
0.80	5	0.843	40.98	48.59	2.05	2.43
1.00	5	0.840	37.75	44.95	1.89	2.25
1.20	3	0.836	22.55	26.97	1.13	1.35
1.40	2	0.833	14.97	17.98	0.75	0.90
1.60	3	0.830	22.37	26.97	1.12	1.35
1.80	3	0.826	22.29	26.97	1.11	1.35
2.00	3	0.823	20.65	25.09	1.03	1.25
2.20	3	0.820	20.58	25.09	1.03	1.25
2.40	4	0.817	27.34	33.45	1.37	1.67
2.60	4	0.814	27.24	33.45	1.36	1.67
2.80	4	0.811	27.14	33.45	1.36	1.67
3.00	5	0.809	31.61	39.09	1.58	1.95
3.20	3	0.806	18.91	23.46	0.95	1.17
3.40	3	0.803	18.84	23.46	0.94	1.17
3.60	4	0.801	25.05	31.27	1.25	1.56
3.80	3	0.798	18.73	23.46	0.94	1.17
4.00	3	0.796	17.53	22.02	0.88	1.10
4.20	3	0.794	17.48	22.02	0.87	1.10
4.40	3	0.791	17.43	22.02	0.87	1.10
4.60	3	0.789	17.38	22.02	0.87	1.10
4.80	6	0.787	34.67	44.04	1.73	2.20
5.00	23	0.685	108.98	159.10	5.45	7.95
5.20	40	0.583	161.31	276.69	8.07	13.83
5.40	32	0.631	139.68	221.35	6.98	11.07
5.60	28	0.679	131.54	193.68	6.58	9.68
5.80	39	0.577	155.73	269.77	7.79	13.49
6.00	50	0.575	188.19	327.01	9.41	16.35



Nelle seguenti immagini invece, si riportano alcuni momenti durante l'esecuzione della prova





Figura 3 – Immagini durante la realizzazione della prova



## 7. Analisi dei risultati e definizione del modello geotecnico generale del sito

I risultati della prova eseguita sono stati elaborati per la definizione del modello geotecnico specifico della zona in cui è stata realizzata l'indagine. Sono stati infatti accorpate in intervalli "geotecnicamente" confrontabili i risultati specifici degli avanzamenti dei 20 cm lungo la verticale stratigrafica e definito quindi il modello geotecnico.

Nelle tabelle seguenti vengono illustrate le analisi compiute e sintetizzato il modello geotecnico di riferimento per il sito di indagine.

### MODELLO GEOTECNICO SPT N° 1

Profondità prova: **6,00 mt**  
Falda: **non rinvenuta**

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.20	1	0.855	8.31	9.72	0.42	0.49
0.40	1	0.851	8.27	9.72	0.41	0.49
0.60	3	0.847	24.69	29.15	1.23	1.46
0.80	3	0.843	24.59	29.15	1.23	1.46
1.00	3	0.840	22.65	26.97	1.13	1.35
1.20	3	0.836	22.55	26.97	1.13	1.35
1.40	3	0.833	22.46	26.97	1.12	1.35
1.60	3	0.830	22.37	26.97	1.12	1.35
1.80	3	0.826	22.29	26.97	1.11	1.35
2.00	3	0.823	20.65	25.09	1.03	1.25
2.20	3	0.820	20.58	25.09	1.03	1.25
2.40	3	0.817	20.50	25.09	1.03	1.25
2.60	3	0.814	20.43	25.09	1.02	1.25
2.80	3	0.811	20.36	25.09	1.02	1.25
3.00	3	0.809	18.97	23.46	0.95	1.17
3.20	3	0.806	18.91	23.46	0.95	1.17
3.40	3	0.803	18.84	23.46	0.94	1.17
3.60	3	0.801	18.78	23.46	0.94	1.17
3.80	3	0.798	18.73	23.46	0.94	1.17
4.00	3	0.796	17.53	22.02	0.88	1.10
4.20	3	0.794	17.48	22.02	0.87	1.10
4.40	3	0.791	17.43	22.02	0.87	1.10
4.60	3	0.789	17.38	22.02	0.87	1.10
4.80	3	0.787	17.33	22.02	0.87	1.10
5.00	10	0.785	54.30	69.17	2.72	3.46
5.20	10	0.783	54.16	69.17	2.71	3.46
5.40	10	0.781	54.03	69.17	2.70	3.46
5.60	10	0.779	53.89	69.17	2.69	3.46
5.80	10	0.777	53.77	69.17	2.69	3.46
6.00	50	0.575	188.19	327.01	9.41	16.35

In considerazione delle risultanze delle indagini svolte ed illustrate in precedenza, tenuto altresì conto del modello geologico inserito nella relazione geologica, sono stati definiti i principali parametri fisico meccanici che caratterizzano il modello geotecnico dei depositi indagati, come di seguito riportati:

LITOLOGIA (ORIZZONTE)	PROFONDITA' dal P.C. (mt)	PARAMETRI GEOTECNICI	CORRELAZIONE	VALORE
TERRENO VEGETALE (ORIZZONTE 1)	0,00 ÷ 0,40	=	=	=
DEPOSITO LIMOSO DEBOLMENTE SABBIOSO (ORIZZONTE 2)	0,04 ÷ 4,80	NSPT	=	4,51
		Coesione (C)	[Terzaghi-Peck]	0 (Kg/cm <sup>2</sup> )
		Angolo di attrito	[Sower 1961]	28°
		Modulo Elastico (di Young)	[Schmertmann (1978)]	36,08 Kg/cm <sup>2</sup>
		Modulo Edometrico	[Menzenbach e Malcev]	53,97 (Kg/cm <sup>2</sup> )
		Modulo di Poisson	A.G.I.	0,34
		Classificazione AGI (1977)	AGI (1977)	POCO ADDENSATO
		Peso unità di volume naturale ( $\gamma$ )	[Terzaghi-Peck 1948-1967]	1,41 (t/mc)
		Peso unità di volume saturo ( $\gamma_s$ )	[Terzaghi-Peck 1948-1967]	1,88 (t/mc)
		Coefficiente spinta a Riposo $K_0 = \sigma_H / \sigma_V$	[Navfac 1971-1982]	0,87
		Falda profondità dal p.c.	=	NON RILEVATA
DEPOSITO SABBIOSO LIMOSO CON PRESENZA DI TROVANTI E LIVELLI GHIAIOSI (ORIZZONTE 3)	4,80 ÷ 6,00	NSPT	=	15,04
		Coesione (C)	[Terzaghi-Peck]	0 (Kg/cm <sup>2</sup> )
		Angolo di attrito	[Sower 1961]	32°
		Modulo Elastico (di Young)	[Schmertmann (1978)]	120,32 (Kg/cm <sup>2</sup> )
		Modulo Edometrico	[Menzenbach e Malcev]	91,24 (Kg/cm <sup>2</sup> )
		Modulo di Poisson	A.G.I.	0,32
		Classificazione AGI (1977)	AGI (1977)	DA MODERATAMENTE AD ADDENSATO
		Peso unità di volume naturale ( $\gamma$ )	[Terzaghi-Peck 1948-1967]	1,54 (t/mc)
		Peso unità di volume saturo ( $\gamma_s$ )	[Terzaghi-Peck 1948-1967]	1,96 (t/mc)
		Coefficiente spinta a Riposo $K_0 = \sigma_H / \sigma_V$	[Navfac 1971-1982]	3,13
		Falda superficiale dal p.c.	=	NON RILEVATA

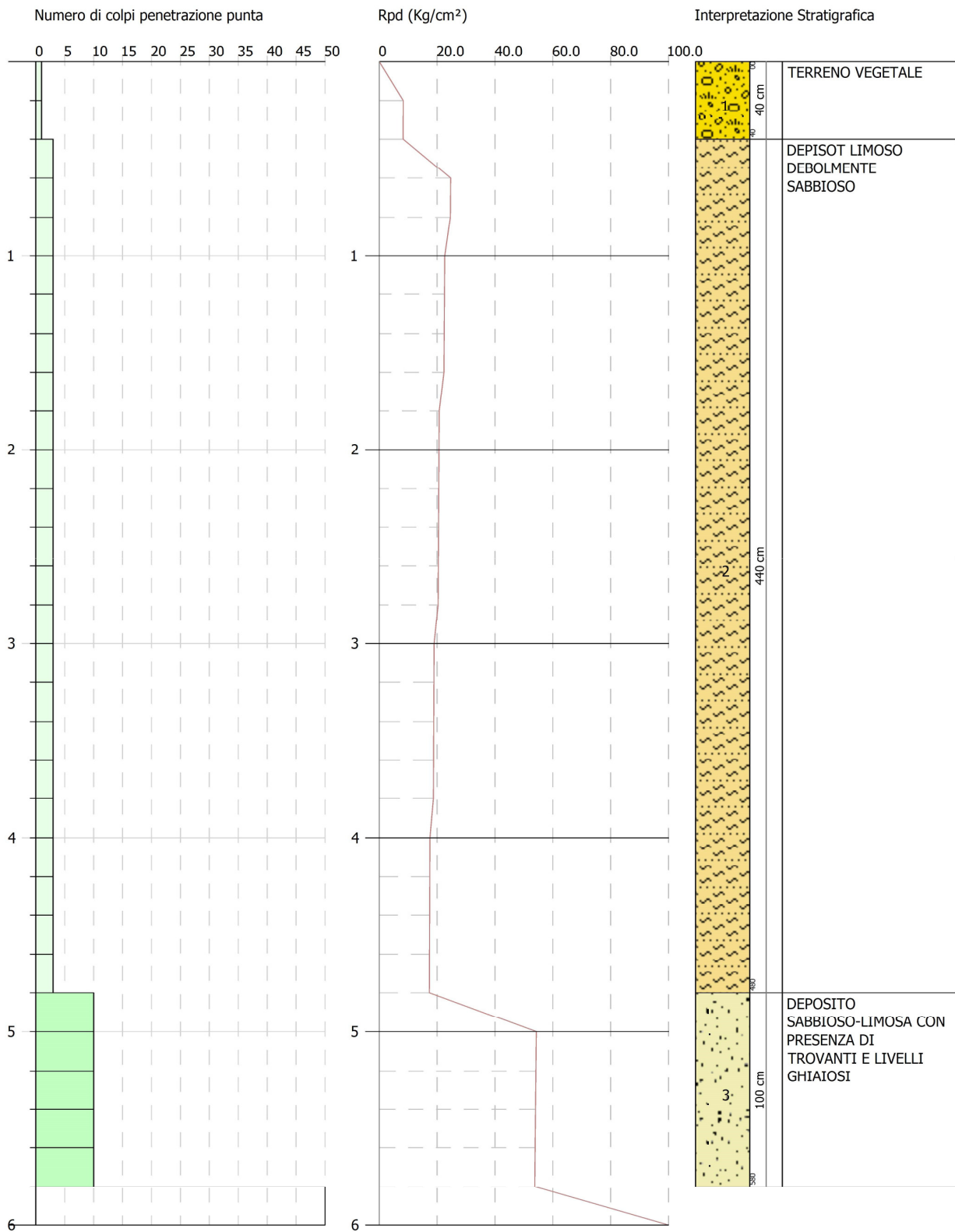
Le fondazioni in corrispondenza del campo fotovoltaico saranno realizzate in corrispondenza dell'unità B (orizzonte 2), caratterizzato dai seguenti parametri geotecnici.  $K_w = 0.71 \text{ kg/cm}^2$ .

Strato	profondità	Peso unità di volume	$k_{1x}$	$k_{1y}$	$k_{1z}$	Angolo di attrito	Coesione non drenata	Coesione efficace	Modulo Edometrico (*)	Modulo elastico (**)
	[m da p.c.]	[N/cm <sup>3</sup> ]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[°]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Deposito limoso sabbioso	0.4 - 4.8	0.013827	3.5	3.5	10.60	28	0	0	5.29 - 60	209

Le fondazioni in corrispondenza della sottostazione di servizio invece, saranno caratterizzate dai seguenti parametri geotecnici.  $K_w = 0.71 \text{ kg/cm}^2$ .

Strato	profondità	Peso unità di volume	$k_{1x}$	$k_{1y}$	$k_{1z}$	Angolo di attrito	Coesione non drenata	Coesione efficace	Modulo Edometrico (*)	Modulo elastico (**)
	[m da p.c.]	[N/cm <sup>3</sup> ]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[N/cm <sup>2</sup> ]	[°]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Deposito limoso sabbioso	0.4 - 5.0	0.013827	3.5	3.5	10.60	28	0	0	5.29 - 60	283.90 - 1499

(\*) da prova penetrometrica - (\*\*) da prova geofisica riportata nella relazione geologica



Nel seguito si specifica la metodologia seguita per la definizione dei parametri indicati in tabella.

### Correlazione con N<sub>spt</sub>

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N<sub>spt</sub> ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N<sub>spt</sub>. Il passaggio viene dato da:

$$N_{SPT} = \beta_t \cdot N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q<sub>spt</sub> è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M	peso massa battente.
M'	peso aste.
H	altezza di caduta.
A	area base punta conica.
d	passo di avanzamento.

### Valutazione resistenza dinamica alla punta R<sub>pd</sub>

Formula Olandesi

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

R <sub>pd</sub>	resistenza dinamica punta (area A).
e	infissione media per colpo (□/ N).
M	peso massa battente (altezza caduta H).
P	peso totale aste e sistema battuta.

### Calcolo di (N<sub>1</sub>)<sub>60</sub>

(N<sub>1</sub>)<sub>60</sub> è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \text{ con } CN = \sqrt{(Pa/\sigma_{vo})} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa} \quad (\text{Liao e Whitman 1986})$$

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot (ER/60) \cdot C_S \cdot C_r \cdot C_d$$

ER/60	rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.
C <sub>S</sub>	parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
C <sub>d</sub>	funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
C <sub>r</sub>	parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

## **Metodologia di Elaborazione.**

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981).

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e della resistenza alla punta.

## **Valutazioni statistiche e correlazioni**

### **Elaborazione Statistica**

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

#### **Media**

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Media minima**

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Massimo**

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Minimo**

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Scarto quadratico medio**

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Media deviata**

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Media (+ s)**

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Media (- s)**

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Distribuzione normale R.C.**

Il valore di  $N_{SPT,k}$  viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove  $\sigma_{N_{spt}}$  è la deviazione standard di  $N_{spt}$

#### **Distribuzione normale R.N.C.**

Il valore di  $N_{spt,k}$  viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di  $N_{spt}$  distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove  $n$  è il numero di letture.

#### **Pressione ammissibile**

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immersione  $d = 1$  m.

#### **Correlazioni geotecniche terreni incoerenti**

##### **Liquefazione**

Permette di calcolare utilizzando dati  $N_{spt}$  il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi). Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se  $N_{spt}$  dello strato considerato risulta inferiore a  $N_{spt}$  critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

#### **Correzione $N_{spt}$ in presenza di falda**

$$N_{spt\ corretto} = 15 + 0.5 \cdot (N_{spt} - 15)$$

$N_{spt}$  è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

#### **Angolo di Attrito**

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956) - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof (1956) - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers (1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda e < 7 m per terreni in falda)  $\square > 5$  t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
- Malcev (1964) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m e per valori di angolo di attrito < 38° ).

- Schmertmann (1977)- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da  $D_r$  %.
- Shioi-Fukuni (1982) - ROAD BRIDGE SPECIFICATION, Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova  $> 8$  m sopra falda e  $> 15$  m per terreni in falda)  $\square > 15$  t/mq.
- Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONALE RAILWAY, Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof.  $> 8$  m sopra falda e  $> 15$  m per terreni in falda)  $s > 15$  t/mq.
- Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo  $< 5\%$  a profondità  $< 5$  m e con (%) di limo  $> 5\%$  a profondità  $< 3$  m.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

#### **Densità relativa (%)**

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie  $D_r$  viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di  $D_r$  % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC , metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di  $D_r$  % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

#### **Modulo Di Young ( $E_y$ )**

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .
- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia.
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

#### **Modulo Edometrico**

- Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia
- Buisman-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

#### **Stato di consistenza**

- Classificazione A.G.I. 1977

#### **Peso di Volume**

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

#### **Peso di volume saturo**

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

#### **Modulo di poisson**

- Classificazione A.G.I.

#### **Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)**

- Seed-Idriss (1978-1981) . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio  $t$  e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

#### **Velocità onde di taglio $V_s$ (m/s)**

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

#### **Modulo di deformazione di taglio (G)**

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

#### **Modulo di reazione ( $K_0$ )**

- Navfac (1971-1982) - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

#### **Resistenza alla punta del Penetrometro Statico ( $Q_c$ )**

- Robertson (1983) -  $Q_c$

### **Correlazioni geotecniche terreni coesivi**

#### **Coesione non drenata**

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA (1983).
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con  $N_{spt} < 8$  , argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948).  $C_u$  (min-max).
- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi, tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività  $> 5$ , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche  $< 10$  colpi, per resistenze penetrometriche  $> 10$  l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità, ( $C_u$ - $N_{spt}$ -grado di plasticità).
- Schmertmann (1975),  $C_u$  (Kg/cmq) (valori medi), valida per argille e limi argillosi con  $N_c = 20$  e  $Q_c/N_{spt} = 2$ .
- Schmertmann (1975),  $C_u$  (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .



- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata  $C_u$  (Kg/cm<sup>2</sup>), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni (1982), valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

#### **Resistenza alla punta del Penetrometro Statico ( $Q_c$ )**

- Robertson (1983) -  $Q_c$

#### **Modulo Edometrico-Confinato ( $M_o$ )**

- Stroud e Butler (1975),- per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970), correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - $M_o$  (Eed) (Kg/cm<sup>2</sup>)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto  $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$ ).
- Buisman- Sanglerat, valida per argille compatte ( $N_{spt} < 30$ ) medie e molli (  $N_{spt} < 4$ ) e argille sabbiose ( $N_{spt} = 6-12$ ).

#### **Modulo Di Young ( $E_\gamma$ )**

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P.  $> 15$ .
- D'Appollonia ed altri (1983), correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

#### **Stato di consistenza**

- Classificazione A.G.I. 1977.

#### **Peso di Volume**

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

#### **Peso di volume saturo**

- Meyerhof ed altri.

## 8. Considerazioni conclusive

I risultati delle indagini compiute hanno permesso di definire il modello geotecnico generale del sito in cui sarà realizzato l'impianto fotovoltaico, la cui verticale è costituita da un'alternanza di depositi limosi, sabbiosi, silteosi e argillosi con differenti gradi di coesione a cui si intercalano lenti e livelli di ghiaie.

In particolare, escludendo la coltre di alterazione superficiale, nei primi 4.8 metri di profondità, sono presenti depositi limosi debolmente sabbioso poco addensati, ma idonee alla posa delle fondazioni di progetto.

Risulta infine da evidenziare che, se pur il sito di progetto è inserito in un contesto all'apparenza omogeneo dal punto di vista litologico, le caratteristiche e le proprietà geotecniche degli strati manifestano anisotropie sia orizzontali che verticali, complicando notevolmente la modellazione sito specifica, che potrebbe variare nello spessore e nella profondità in cui si incontrano detti livelli.

Alberobello, 15.03.2021

Ing. Arch. Marianna Perrini

