

| | | |
|---|--|--------------------------------------|
| PROPONENTE SIG PROJECT ITALY 1 S.r.l. Via Borgogna 8, 20122 Milano p. iva e cod. fiscale 11503980960 email: Info@suninvestmentgroup.com pec: sigproject@legalmail.it |  | COD. ELABORATO R15_GEO |
| ELABORAZIONI BLE ENGINEERING S.r.l. Sede legale: Viale Cappiello 50, 81100 - Caserta P.IVA 04659450615 | | PAGINE |

**PROGETTO DEFINITIVO
IMPIANTO AGROFOTOVOLTAICO DENOMINATO "CASTEL VOLTURNO 2"
LOCALIZZATO NEL COMUNE DI CASTEL VOLTURNO (CE)
DELLA POTENZA DI 55,26 MW**

2022.I.G.CAM 005

| | |
|--|---|
| OGGETTO VIA IMPIANTO FOTOVOLTAICO | TITOLO ELABORATO RELAZIONE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E DI MODELLAZIONE SISMICA |
|--|---|

| | |
|--|---|
| PROGETTAZIONE BLE ENGINEERING S.r.l. ING. GIOVANNI CAROZZA ORDINE ING. PROV. DI CASERTA N.155 Sede legale: Viale Cappiello 50, 81100 - Caserta P.IVA 04659450615 | GRUPPO DI PROGETTAZIONE Ing. Giovanni Cinà Ing. Giuseppe Esposito Ing. Antonio De Sano Dott. Antonella Pellegrino Dott. Geol. Ferdinando M. Musto |
|--|---|

| Nome documento | Revisione nr. | Del | Prodotto da | Approvato da |
|----------------|---------------|-------------|-------------|--------------|
| | | Agosto 2022 | | |

Disegni, calcoli, specifiche e tutte le altre informazioni contenute nel presente documento sono di proprietà della BLE S.r.l. Al ricevimento di questo documento la stessa diffida pertanto di riprodurlo, in tutto o in parte, e di rivelarne il contenuto in assenza di esplicita autorizzazione.

COMUNE DI CASTEL VOLTURNO

(PROVINCIA DI CASERTA)

RELAZIONE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E DI MODELLAZIONE SISMICA

IMPIANTO AGROFOTOVOLTAICO DENOMINATO "CASTEL VOLTURNO
2" LOCALIZZATO NEL COMUNE DI CASTEL VOLTURNO (CE), DELLA
POTENZA DI 55,26 MW

COMMITTENTE
SIG Project Italy 1 S.r.l.

IL TECNICO
DOTT. GEOL. FERDINANDO MARIA
MUSTO



The image shows a handwritten signature in black ink over a circular purple stamp. The stamp contains the text: "REGIONE CAMPANIA", "DOTT. GEOL. FERDINANDO MARIA MUSTO", "178", and "Regione Campania".

Premessa

Nella presente relazione si riportano i risultati dello studio geologico e sismico inerente l'area per il progetto di un "impianto agrovoltaiico da 55,26 MW denominato Castel Volturno 2", ricadente nel Comune di Castel Volturno (CE, per conto della società Sig Project Italy S.r.l.

Le conoscenze litostratigrafiche dell'area sono state desunte oltre che dalla letteratura scientifica anche dai numerosi dati in nostro possesso nonché dalla relazione geologica per lo studio del Piano Urbanistico Comunale del Comune di Castel Volturno (CE).

A tal fine è stata programmata e svolta una campagna di indagini in sito che ci ha consentito di pervenire ad una migliore caratterizzazione geotecnica dei terreni attraverso prove in sito "D.P.S.H." e alla caratterizzazione sismica attraverso indagine geofisica "MASW" in ottemperanza al D.M 17/01/2018.

Le indagini sono state eseguite dalla società Trivel Sondaggi s.r.l. con sede in Crispano (NA) Autorizzata dal Ministero Infrastrutture e dei Trasporti con Decreto di Autorizzazione Ministero Infrastrutture N. 1271 del 08/02/2011 per il rilascio di certificati per indagini geognostiche, prelievo campioni e prove in sito di cui all'art. 59 del D.P.R. n. 380/2001 - Circolare n. 7619/STC del 08 Settembre 2010.

L'area oggetto di studio ricade nella Carta Tecnica Regionale n.429121 e – n.429122 della Regione Campania. **(Fig. 1)**

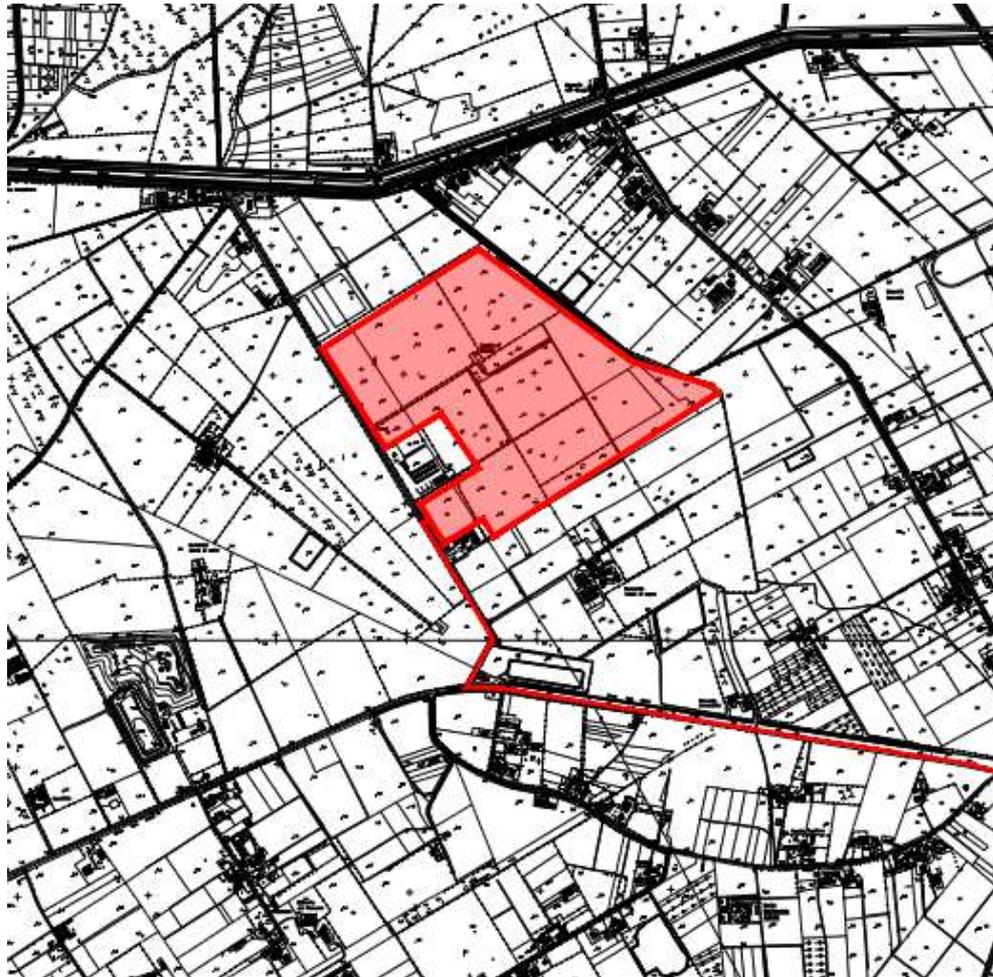


Fig. 1 – Stralcio planimetrico della Carta Tecnica Regionale n. 429121 “Casella di Bortolotto”– riproduzione fotostatica dalla scala 1:5000

Inquadramento Geologico

Il territorio comunale di Castel Volturno, si estende su una piana alluvionale caratterizzata dalla presenza del corso del Fiume Volturno e da una serie di canali di bonifica dei Regi Lagni.

Tale piana si presenta con una morfologia subpianeggiante, lievemente in pendenza (circa 0.5%) da nord verso il corso del Volturno ed il mare, con quote altimetriche che non superano i 3 m s.l.m.

Il reticolo idrografico è molto sviluppato e per lo più canalizzato e si articola soprattutto secondo rami paralleli al corso del F. Volturno e perpendicolari alla linea di costa (direzione ENE -WSW).

Dal punto di vista geologico-strutturale la piana del Volturno, corrisponde ad un graben impostatosi nel Pliocene superiore sui terreni carbonatici mesozoici, di cui il monte Massico rappresenta un margine in affioramento). La ricostruzione degli eventi geologici che sono intervenuti a caratterizzare quest'area va inquadrata nell'ambito dell'evoluzione della Piana Campana a cui geograficamente appartiene, pertanto verranno sinteticamente descritti i principali eventi sedimentari e tettonici che ne hanno caratterizzato la genesi.

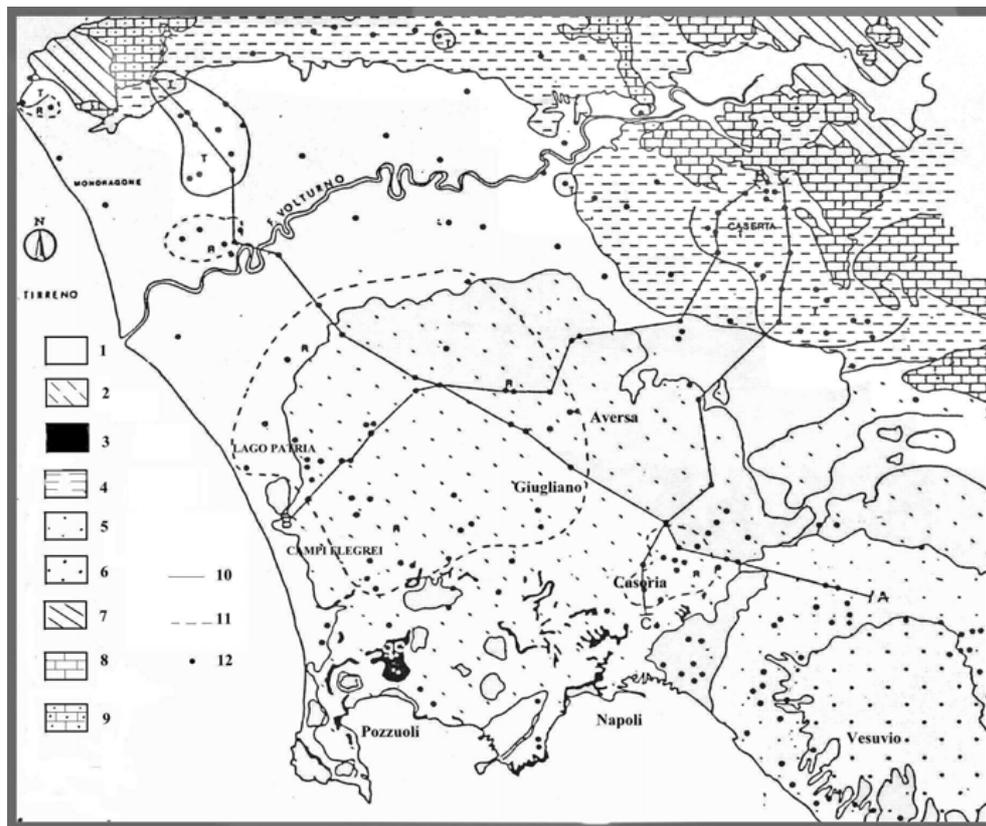
La Piana Campana rappresenta, strutturalmente, un esteso graben delimitato a NW dal M. Massico, a NE dai Monti di Caserta, di Avella e di Nola ed a SE dai Monti Lattari. Tale graben si è individuato probabilmente tra il Pliocene sup. ed il Quaternario ed è stato soggetto ad ulteriori approfondimenti in seguito alla successive fasi neotettoniche.

Ai bordi della Piana si osservano faglie orientate NE-SW e NW-SE, delimitanti i massicci carbonatici, che costituiscono le strutture marginali del

graben. Le faglie bordiere hanno agito almeno in due fasi durante il Quaternario, generando complessivamente rigetti verticali dell'ordine di 5.000 m.

A queste strutture recenti sono connessi anche i fenomeni vulcanici dei Campi Flegrei, del Somma-Vesuvio e del Roccamonfina. Le zone vulcaniche sono ubicate laddove le faglie hanno determinato il maggiore rigetto e quindi il massimo sprofondamento.

Le successive fasi tettoniche hanno provocato un ulteriore ribassamento di tutto il graben, in speciale modo nella zona compresa tra i Campi Flegrei ed il Vesuvio. Questi prodotti piroclastici, sono costituiti essenzialmente, per gli spessori tecnicamente significativi, dal Tufo Grigio Campano o “Ignimbrite Campana” originatosi circa 30mila anni fa, ed in sommità da terreni sciolti quali pozzolane, pomici, sabbie, lave e brecce vulcaniche. Detti materiali sono variamente stratificati ed a volte humificati. I materiali sciolti, essendo facilmente erodibili, possono essere stati asportati e risedimentati dagli agenti esogeni, cosicchè possono oggi presentarsi rimaneggiati. I prodotti vesuviani recenti, costituiscono esili livelli alla sommità della serie stratigrafica e sono rappresentati da cineriti sabbiose, e da un sottile strato di pomici, depositati dalle grandi eruzioni Pliniane del Vesuvio (79 d.c. ed anter.).



Legenda:

- 1) Alluvioni recenti; 2) Piroclastiti recenti dei Campi Flegrei; 3) Tufo giallo; 4) Tufo grigio; 5) Piroclastiti del Somma Vesuvio; 6) Lave e piroclastiti del Somma Vesuvio; 7) Arenarie, argille e marne mioceniche; 8) Calcari e dolomie della piattaforma Campano-Lucana; 9) Calcari e dolomie della piattaforma Abruzzese- Campana; 10) Travertino presente nel sottosuolo; 11) Lave a piccola profondità; 12) Perforazioni;

Fig. 2 – Schema geologico della Piana Campana (da Ortolani & Aprile, 1985)

Inquadramento idrogeologico

La struttura e la stratigrafia del sottosuolo del territorio di Castel Volturno presentano caratteristiche di complessità peculiari delle aree vulcaniche, a causa delle frequenti variazioni, (laterali e in verticale) della granulometria dei vari orizzonti eruttivi e del loro grado di addensamento e/o litificazione.

Nelle aree di pianura la ricostruzione dello schema di circolazione idrica sotterranea si basa su rilevamento di quote piezometriche in fori di sondaggio, alla luce delle stratigrafie del sottosuolo e della collocazione del sito di interesse rispetto a strutture idrogeologiche limitrofe. Queste infatti possono rappresentare altrettanti bacini di alimentazione ai quali far riferimento per l'interpretazione del "disegno" piezometrico locale.

In base a quanto descritto nella letteratura specializzata (Corniello et alii, 1998; Esposito L. 1998) nel sottosuolo della Piana Campana (ove è ubicato l'abitato di Capua) è presente una falda idrica sotterranea alimentata per gran parte da travasi provenienti dalle strutture carbonatiche che bordano la piana con una circolazione idrica che dai massicci carbonatici defluisce verso il mare.

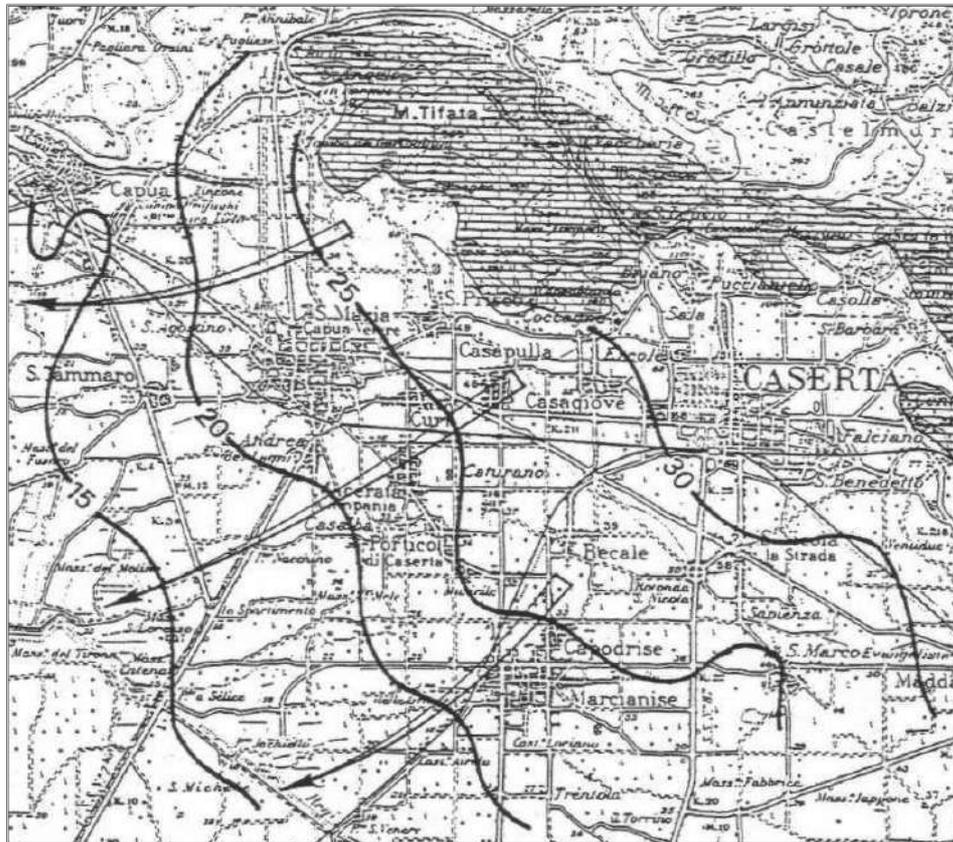


Fig. 3: Linee di deflusso e iso-piezometriche della Piana Campana nell'area interessata

Dai dati piezometrici pubblicati dai vari autori, la quota piezometrica della falda rinvenuta nel sottosuolo di Capua è di circa 15 metri s.l.m. Essa tende a digradare dove si hanno quote topografiche più basse.

Stato dei luoghi

L'area in oggetto della presente relazione ricade nel territorio comunale di Castel Volturno e più precisamente al margine dell'agglomerato urbano in un'area a vocazione agricola.

L'area si presenta morfologicamente pianeggiante ed è posta ad una quota di circa 2.00 metri. s.l.m.

Dal rilevamento di superficie, esteso ad una porzione ampia di territorio all'area di interesse, non si rilevano tracce di condizioni di instabilità o di fenomeni di dissesto e/o forme di erosione accelerata in atto, per cui il lotto in questione, allo stato attuale, può essere considerato morfologicamente stabile.

Il lotto in oggetto è contraddistinto catastalmente dalle particelle 5061 -5085 – 22 – 23- 24 – 51 – 52 – 53 -55 del Foglio n. 3 del Comune di Castel Volturno (CE). **Fig. 4**

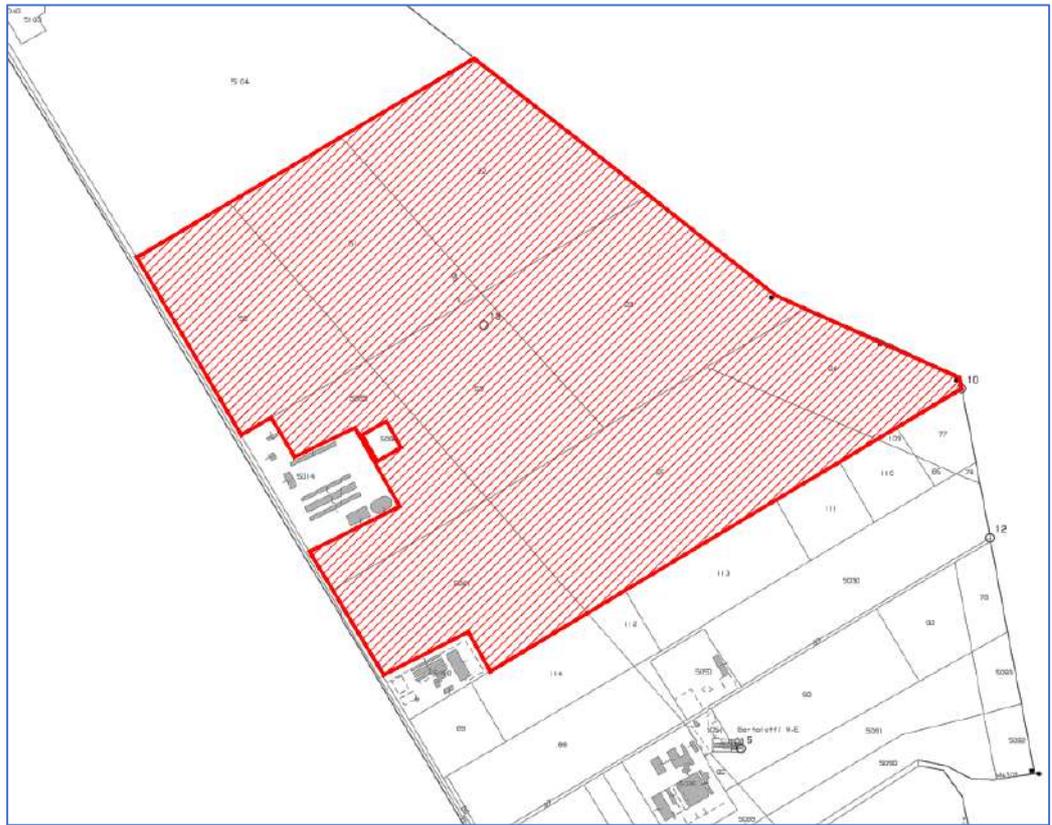
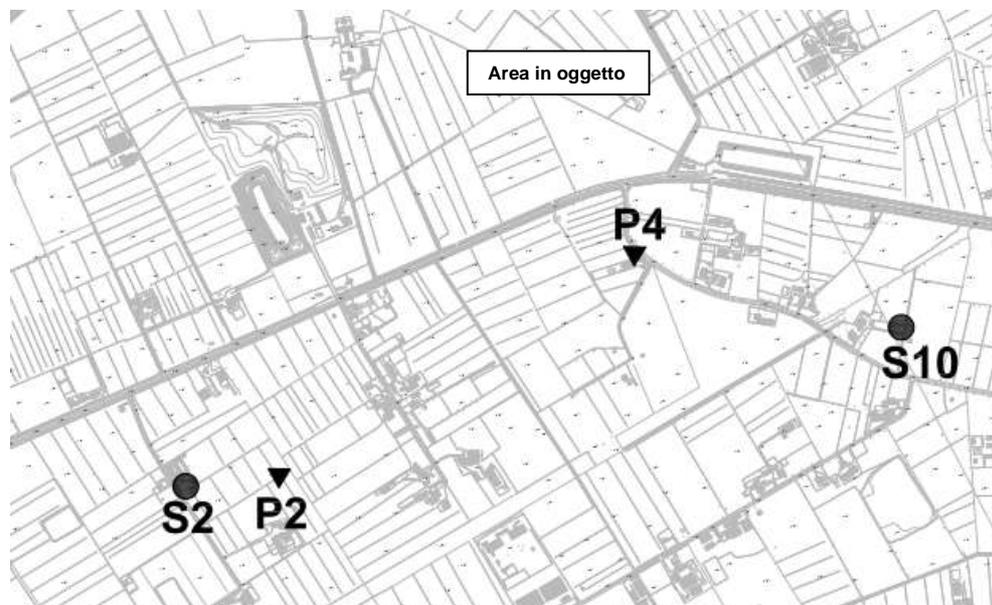


Fig. 4 – Stralcio catastale del Foglio n. 3 particelle n. 5061 -5085 – 22 – 23- 24 – 51 – 52 – 53 -55 del Comune di Castel Volturno – (riproduzione fotostatica)

Caratteri litostratigrafici dei terreni

Allo scopo di avere elementi utili per la descrizione della stratigrafia dei litotipi formanti il substrato dell'area in oggetto, sono stati esaminati i sondaggi eseguiti durante la campagna di indagini per la redazione del PUC.

Dall'elaborato cartografico – Allegato L.2.4 - planimetria con ubicazione delle Indagini, si evidenzia che nelle strette vicinanze dell'area in oggetto ricade il sondaggio S2.



La successione stratigrafica presente nella zona d'interesse, desunta

dal sondaggio S2 è caratterizzata dalla presenza di materiale argilloso-limoso quale:

da 0.00 a 0.50 m = terreno vegetale

da 0.50 a 7.70 m = materiale argilloso-limoso

da 7.70 a 8.80 m = sabbia debolmente limosa poco addensata

da 8.80 a 13.70 m = alternanza di argilla sabbiosa-limosa da poco consistente a moderata consistenza

da 13.70 a 16.20 m = torba

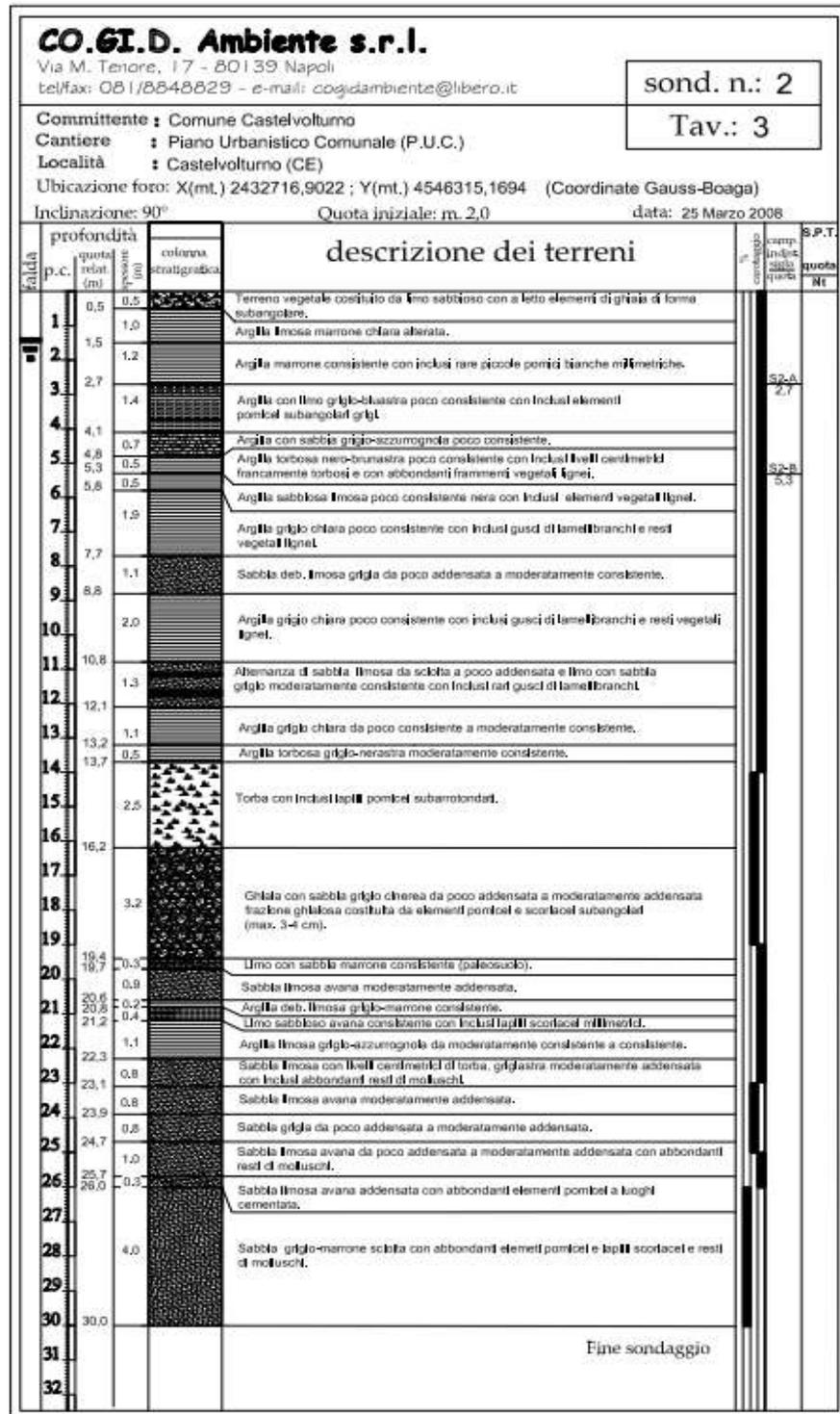
da 16.20 a 19.40 m = ghiaia con sabbia

da 19.40 a 19.70 m = limo-sabbioso

da 19.70 a 30.00 m = alternanza di strati sabbioso-limoso

Nel corso del sondaggio si è rilevata la falda ad una profondità di circa -1.30 metri dal piano campagna alla data del sondaggio (marzo 2006).

Di seguito si riporta la stratigrafia allegata al PUC.



PAI (Piano Assetto Idrogeologico) Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale

L'area in studio rientra nell'area di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale (ex AdB Liri-Garigliano-Volturno) ed è quindi sottoposta alle direttive del Piano Assetto Idrogeologico.

Dalla cartografia del Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale nonché la Tav.11 B.1 (Piano stralcio difesa alluvioni - Piano stralcio per l'assetto idrogeologico "Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Meridionale) allegata al PUC, si desume che il lotto rientra nella zonizzazione di "area retroarginale". **Fig. 5**

Invece, sempre dall'analisi della cartografia allegata, consultabile anche on-line, si evidenzia che l'area in oggetto di studio non ricade all'interno delle perimetrazioni interessate da Rischio e Pericolosità Idraulica e da Rischio Frana. **Fig. 5**



legenda

 reticolo idrografico

 bacini lacustri

Autorità di Bacino dei fiumi Liri-Garigliano e Volturno
progetto di variante al piano stralcio di difesa dalle alluvioni del Basso Volturno
(ex art. 17 Legge 183/1989 - art. 12 Legge 493/1993)

Carta della Zonazione ed individuazione degli squilibri
zonizzazione

 fascia A

 area retroarginale

Fig. 5 — Stralcio della tav. 11 B.1 del PUC - Piano stralcio difesa alluvioni - Piano stralcio per l'assetto idrogeologico "Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Meridionale"

Indagini in sito

E' stata programmata e svolta una campagna di indagini in sito che ci ha consentito di pervenire ad una migliore caratterizzazione fisico-meccanica e sismica dei litotipi presenti nell'area in oggetto di studio.

Sono state eseguite le seguenti indagini:

- n° 1 prova penetrometrica dinamica pesante DPSH eseguita con Penetrometro Pagani TG63-200 dotato di massa battente di peso 63.5 Kg; altezza di caduta 75 cm; punta conca di diametro $\Phi = 50.5$ mm e apertura di 90°; lunghezza aste 1.00 metri; peso aste 6.31 Kg/m.

Foto 1

- n° 1 profilo sismico tipo M.A.S.W. (multichannel analysis of surface waves) utilizzando 24 geofoni da 4,5 Hz ed un acquisitore digitale multicanale della SARA Electronic Instruments S.r.l. di Perugia, modello DOREMI. ***Foto 2***



Foto 1

Foto 1: Ubicazione prova DPSH



Foto 2

Foto 2: Ubicazione prova MASW

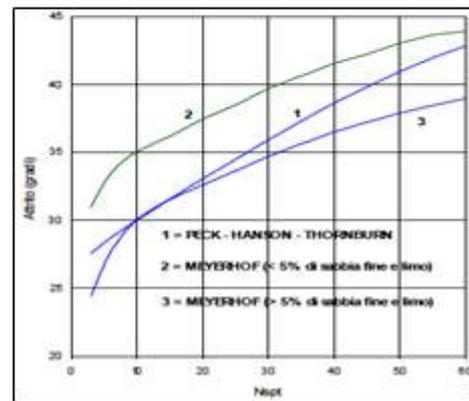
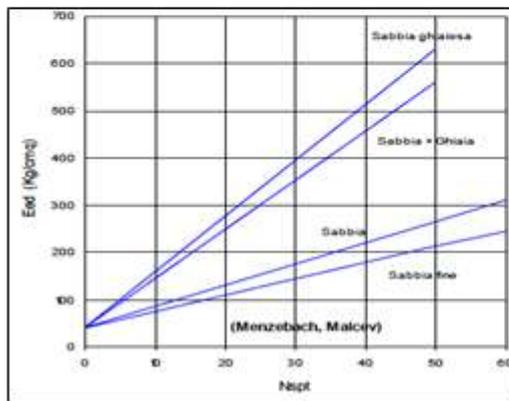
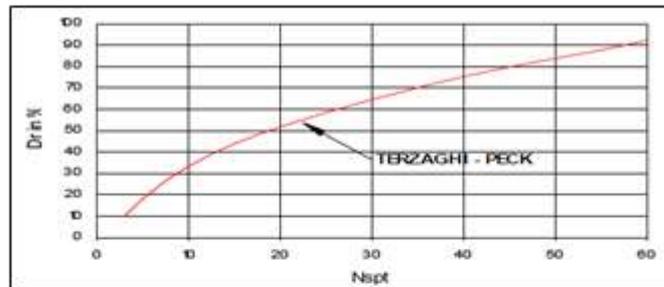
Caratterizzazione geotecnica e modello del sottosuolo

Le proprietà meccaniche dei terreni in oggetto sono state valutate sulla base dei risultati della prova penetrometrica dinamica continua del tipo pesante (D.P.S.H) eseguite nell'area (vedi certificato prova riportato in appendice). La prova ha raggiunto la profondità di -6.80 metri dal piano campagna.

Per la trasformazione del numero di colpi misurati in campagna N_{20} della prova DPSH al numero di colpi N_{SPT} , valore usato successivamente per l'elaborazione delle correlazioni empiriche esistenti in letteratura dei parametri geotecnici, è stato utilizzato il coefficiente correzione sulla base della litologia riscontrata e della modalità esecutiva della prova. In particolare, nel caso in esame è stato utilizzato correlazioni proposte in letteratura, che suggerisce il seguente valore:

$$N_{SPT} / N_{20} = 1$$

I valori N_{SPT} sono stati utilizzati per le correlazioni dell'angolo di attrito mediante l'abaco di Meyerhof per depositi sabbiosi con percentuali di limo superiori al 5%, l'abaco di Terzaghi-Peck per la densità relativa e Menzebach-Malcev per i valori del modulo edometrico.



La caratterizzazione geotecnica di seguito proposta consiste quindi nella formulazione di un modello geomeccanico dei terreni, tale da ricondurre la situazione naturale a schemi facilmente utilizzabili per i calcoli di progetto.

I valori ottenuti dalla prova, opportunamente elaborati al computer con apposito programma, ci hanno permesso di schematizzare e caratterizzare il sottosuolo in vari strati, così come di seguito riportato in tabella:

| Strato | NSPT | Prof. Strato (m) | Φ (°) | Dr (%) | Ed (Kg/cmq) | γ (T/mc) |
|--------|------|------------------|------------|--------|-------------|-----------------|
| 1 | | 8.00 | 23.8 | 36.4 | 27 | 1.2 |

Si consiglia di adottare, a vantaggio della sicurezza, un valore nullo per la coesione, allorquando viene utilizzato nei calcoli geotecnici perché nelle “piroclastiti” il valore della coesione o pseudocoazione si riduce o si annulla in presenza di acqua.

Verifica alla liquefazione

Con il termine di liquefazione si intende riferirsi alla perdita di resistenza dei terreni saturi sotto sollecitazioni statiche o dinamiche, in conseguenza delle quali il terreno raggiunge una condizione di fluidità pari a quella delle masse viscosi. Ciò avviene solitamente nei depositi di sabbie sciolte fin quando sotto l'azione di carichi applicati o da forze idrodinamiche, la pressione dell'acqua nei pori aumenta progressivamente fino ad uguagliare la pressione totale di confinamento, cioè quando gli sforzi efficaci, da cui dipende la resistenza al taglio, si riducono a zero.

Quindi i fenomeni di liquefazione sono da riferire ai terreni granulari in condizioni sature sottoposti a sforzi di taglio tali da azzerare la resistenza di attrito tra le particelle.

La resistenza che un deposito sabbioso saturo oppone alla liquefazione viene definita attraverso un coefficiente di sicurezza.

Tale coefficiente di sicurezza (F_s) è definito dal rapporto tra la capacità di resistenza alla liquefazione e la domanda di resistenza alla liquefazione.

$$F_s = CRR/CRS$$

Pertanto, in un deposito, se la tensione tangenziale ciclica (CSR) prodotta da un sisma è maggiore della resistenza tangenziale del terreno (CRR) il deposito non sarà liquefacibile.

Il fattore F_s definisce la propensione o meno del terreno sabbioso saturo a liquefare.

Il termine CRR (Cyclic Resistance Ratio), si ricava dai risultati delle prove in sito, mentre, il parametro CRS (Cyclic Stress Ratio), è stimato sulla base di considerazioni teoriche ed empiriche, dalle caratteristiche del terreno, alla magnitudo e accelerazione di picco in superficie.

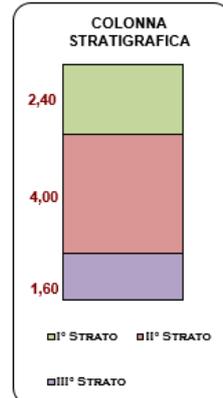
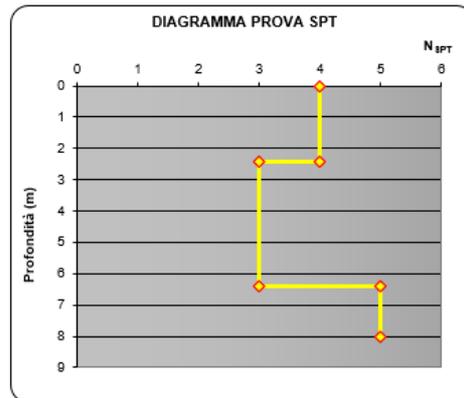
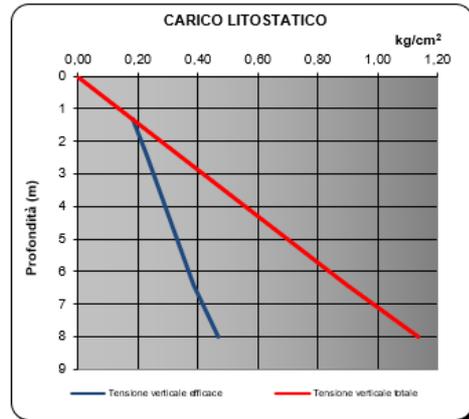
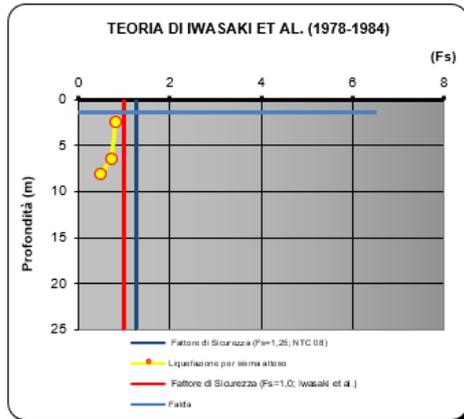
Pertanto per stimare il fattore di sicurezza F_s occorre determinare separatamente le due variabili CRS e CRR.

L'area in oggetto è caratterizzata da terreni di natura sabbiosa-limosa e la presenza della falda ad una profondità di circa -1.30 m dal p.c. La verifica a liquefazione dei terreni è stata effettuata per i terreni compresi presenti fino alla profondità di -8.00 metri dal p.c. tramite l'utilizzo dei metodi semplificati (Iwasaki et al. (1984) utilizzando i valori della prova penetrometrica dinamica eseguita nell'area e riportata in appendice.

Il sottosuolo è stato suddiviso in quattro strati:

| PROFONDITA' z(m) | SPESSORE h(m) | N medio |
|------------------|---------------|---------|
| da 0.00 a -2.40 | 2.40 | 4 |
| da 2.40 a -6.40 | 4.00 | 3 |
| da 6.40 a -8.00 | 1.60 | 5 |

Dall'elaborazione eseguita, secondo il metodo semplificato (Iwasaki et al. (1984) considerando la presenza della falda ad una profondità di -1.30 m dal p.c., sono stati elaborati con il software "*Liquefaction of soil*" al Volume Liquefazione dei terreni – EPC Editore.



| VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE | | | | | RISULTATI: | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|-----------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| (da prove dinamiche SPT) | | | | | 1° Strato | 2° Strato | 3° Strato | | | |
| Metodo di Iwasaki et al. (1978-1984) | | | | | Spessore | 2,4 | 4 | 1,6 | | |
| FORMULE: | | | | | | | | | | |
| $CRR = 0.0882 \cdot \sqrt{[N_{SPT}^*/(\sigma'_{vo} + 0.7)] + 0.225 \cdot \log_{10}(0.35/d_{50})}$ | | | | | A) per $0.04 \leq d_{50} \leq 0.6$ | | | | | |
| $CRR = 0.0882 \cdot \sqrt{[N_{SPT}^*/(\sigma'_{vo} + 0.7)]} - 0.05$ | | | | | B) per $0.60 < d_{50} \leq 1.5$ | | | | | |
| $CSR = 0.65 \cdot (\sigma_{max}/g) \cdot (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo}) \cdot r_d \cdot (1/MSF)$ | | | | | $M_w =$ | 6,8 | CSR | 0,220 | 0,332 | 0,345 |
| r_d | | | | | | | | 0,98 | 0,95 | 0,94 |
| $1,0 < F_s = CRR/CSR$ | | | | | $M_w =$ | 6,8 | F_s | 0,826 | 0,713 | 0,476 |
| | | | | | | | | Liquefacibile | Liquefacibile | Liquefacibile |
| $1,25 < F_s = CRR/CSR$ | | | | | $M_w =$ | 6,8 | $F_s (NTC 08)$ | 0,826 | 0,713 | 0,476 |
| | | | | | | | | Liquefacibile | Liquefacibile | Liquefacibile |
| RISCHIO di Liquefazione (Iwasaki et al., 1978) | | | | | Molto Alto | | | | | |
| PROBABILITA' di Liquefazione (Juang et al., 2001) [P_L (%)] | | | | | 0,40 | | | | | |
| SUSCETTIBILITA' di Liquefazione (Juang et al., 2001) | | | | | Eguale possibilità | | | | | |
| | | | | | Eguale possibilità | | | | | |
| | | | | | Molto probabile | | | | | |
| Committente: Impianto Agrovoltaico da 55,26 MW denominato Castel Volturno Riferimento: SIG Project Italy 1 Località: Castel Volturno Prov.: CE Oggetto: Studio Geologico | | | | | STRATIGRAFIA 3 | | | | | |

Dall'analisi eseguita, secondo il metodo Iwasaki et al. 1984, si ricava che i terreni presentano un rischio di liquefazione.

Modellazione Sismica

Valutazione sismica del V_{Seq} e caratterizzazione categoria di sottosuolo

Ai sensi del D.M. 17/01/2018 è stata eseguita una indagine geofisica per la caratterizzazione sismica del sito al fine di stimare il valore del V_{Seq} inerente il profilo stratigrafico dei litotipi presenti nel sottosuolo.

A tale scopo sono stata effettuata le seguente indagine:

- n° 1 profilo sismico tipo *M.A.S.W.* (multichannel analysis of surface waves)

Dall'interpretazione della prova eseguita si è proceduto a mediare il valore sui primi 30 metri di terreno utilizzando la seguente formula:

$$V_{Seq} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_i}}$$

ove:

h_i = Spessore in metri dello strato *i*-esimo
 V_i = Velocità dell'onda di taglio *i*-esima
 N = Numero di strati

ottenendo il seguente valore:

$$V_{Seq} = 292.00 \text{ m/s}$$

- ✚ Pertanto il suolo di fondazione viene classificato alla **Categoria C** : Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti con la profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi 180 m/s e 360 m/s.

In appendice si riporta la relazione completa “*Modellazione Sismica, la metodologia adottata e la procedura tecnico-esecutiva.*”

Conclusioni

In relazione alla situazione geologica e morfologica dell'area, nonché ai rilievi ed alle indagini eseguite, si consiglia al progettista di fare una prima valutazione sulla scorta dei dati riportati nella presente relazione tenendo conto delle modalità prescritte per le costruzioni ricadenti in zona sismica, e della classificazione del sottosuolo assimilato alla Categoria "C" ai sensi del D.M. 17/01/2018.

Inoltre dalla disamina della cartografia si evince che:

- l'area non ricade all'interno delle perimetrazione PAI di zone soggette a rischio frana e rischio idraulico;
- l'area non ricade all'interno delle perimetrazione PAI di zone soggette a pericolosità da frana e pericolosità idraulica;

ed in virtù di quanto evidenziato si ritiene che l'area in oggetto, non presenta aspetti di incompatibilità idrogeologica che possano pregiudicare l'opera in oggetto.

Castel Volturno lì Agosto 2022

Il Consulente:
(Dott. Ferdinando Maria Musto)



Bibliografia

A.G.I. (1977): Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle Indagini Geotecniche.

Baldi G., Superbo S. (1983): Parametri dinamici da prove in situ. Politecnico di Torino – Atti dell’Istituto di Scienze delle Costruzioni.

Peli G. (1997): Geotecnica pratica delle fondazioni dirette. Casa editrice nuove Ricerche – Ancona.

Croce A. (1954): Sulla compressibilità delle pozzolane quali terreni di fondazione. Geotecnica anno 1964 n.1

Pasqualini E. (1983): Standard Penetration Test – Politecnico di Torino – Atti dell’Istituto di Scienze delle Costruzioni.

Sangerlat G. (1965): Le penetrometre et la reconnaissance des sols. Dunod Editeur Paris.

Bellucci F. et alii (1992): *Idrogeologia della Piana a N-E di Napoli*. Mem Soc. Geol. It, 45

Bellucci F. (1994): *Nuove conoscenze stratigrafiche sui depositi vulcanici del sottosuolo del settore meridionale della Piana Campana.*. Boll. Soc. Geol. It.

Bellucci F. (1998): *Nuove conoscenze stratigrafiche sui depositi effusivi ed esplosivi nel sottosuolo dell’area del Somma-Vesuvio*. Boll. Soc. Geol. It.

Bowles J.E. (1982): Foundation analysis and design. 3rd Ed. Mc Graw Hill Int. Book Co.

Esposito Libera (1996): *Studio delle modalità di contaminazione chimica nell’acquifero alluvionale a prevalente componente piroclastica del settore sud-orientale della Piana Campana*. Tesi di dottorato di ricerca – Ferrara 1996

Civita M., de Medici G.B. et alii (1973): *Carta idrogeologica della Campania Nord-occidentale e relativa memoria illustrativa*. Atti 2° Conv. Int. Acque Sott. Palermo

Sebastiano G. Monaco, Liquefazione dei terreni – EPC Editore

Corniello A, D. Ducci (1977): La carta del rischio di inquinamento delle risorse idriche sotterranee. Un esempio in Piana Campana. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale.

Viggiani C. (1989): Appunti di tecnica delle fondazioni. Napoli

<https://www.distrettoappenninomeridionale.it>

Autorità di Bacino della Regione Campania Centrale:
<http://www.adbcampaniacentrale.it/> - <http://www.difesa-suolo.regione.campania.it/>

APPENDICE

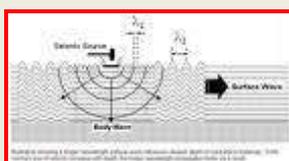
- *Modellazione Sismica*
(Masw -Multichannel Analysis of Surface Waves)

- *Tabulato prova penetrometrica statica (C.P.T) eseguita dalla*
società Trivel Sondaggi s.r.l. con sede in Crispano (NA)
Autorizzata dal Ministero Infrastrutture e dei Trasporti con
Decreto di Autorizzazione Ministero Infrastrutture N. 1271 del
08/02/2011 per il rilascio di certificati per indagini geognostiche,
prelievo campioni e prove in sito di cui all'art. 59 del D.P.R. n.
380/2001 - Circolare n. 7619/STC dell'8 Settembre 2010.

Caratterizzazione sismica dei suoli con metodo

Masw

(Multichannel Analysis of Surface Waves)



ORDINE DEI GEOL. CAMPANIE
Dr. Geol.
Ferdinando Maria
MUSTO
128
Regione Campania

| | |
|-------------|---|
| Committente | SIG Project Italy 1 |
| Cantiere | Impianto Agrovoltaico da 55,26 MW denominato Castel Volturno2 |
| Comune | Castel Volturno (CE) |

INDICE

| | <i>Pagina</i> |
|------------------------------------|---------------|
| + -INDICE..... | 1 |
| + -PREMESSA..... | 2 |
| + -INDAGINE SISMICA MASW..... | 3 |
| + -STRUMENTAZIONE IMPIEGATA | 5 |
| + -METODOLOGIA OPERATIVA | 6 |
| + -METODOLOGIA INTERPRETATIVA..... | 7 |
| + -ELABORATI MASW..... | 9 |
| + -PROFILO DI IN SITO | 14 |
| + -RISULTATI FINALI..... | 15 |
| + -APPENDICE..... | 16 |

PREMESSA

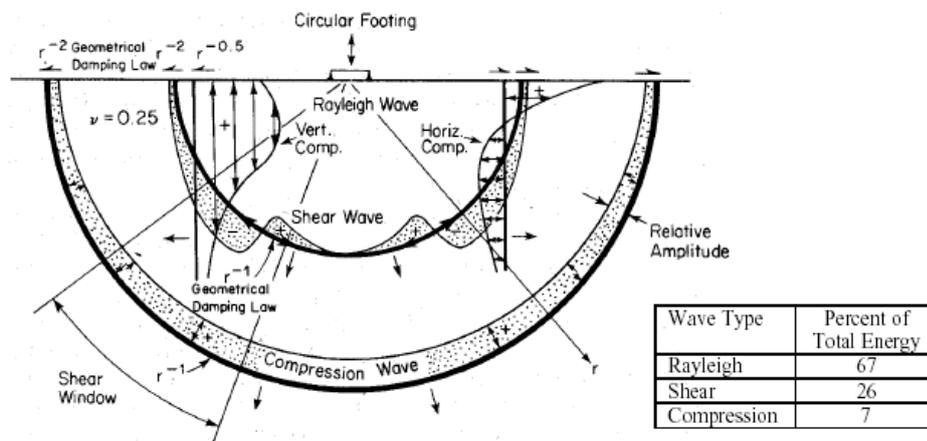
Nella presente relazione si riportano i risultati dell'indagine geofisica eseguita nell'area per determinare il valore del $V_{S_{eq}}$, ai sensi del D.M. 17 Gennaio 2018 e succ. mod. ed integr., inerente il progetto di caratterizzazione sismica del sito nel Comune di Castel Volturno (CE) per la realizzazione di un "Impianto Agrovoltaico da 55,26 MW denominato Castel Volturno 2".

A tale scopo è stata effettuata la seguente indagine:

✚ n° 1 profilo sismico tipo *M.A.S.W.* (multichannel analysis of surface waves).

INDAGINE SISMICA M.A.S.W.

Il rilievo geofisico MASW (multichannel analysis of surface waves) è utilizzato per la determinazione dei profili verticali della velocità delle onde di taglio (V_s) tramite inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh effettuata con *algoritmi generici*



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

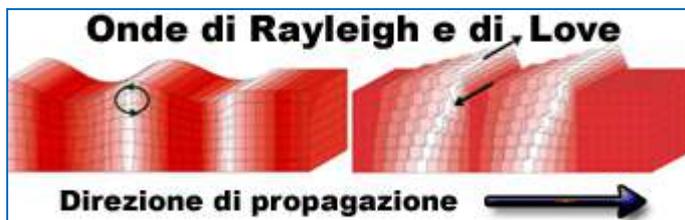


Figura 1: Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh.

In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki K. And Richards, P.G., 1980) o, detto in

maniera equivalente, la velocità di fase (o di gruppo) ,apparente, delle onde Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.

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

Con il metodo Masw, quindi, le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori che consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz , quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo e fino a spingersi ai -30m-50m, in funzione della rigidità del suolo.

Alla fine della nostra indagine Masw e alla sua successiva elaborazione, saremmo quindi in grado di fornire il profilo di velocità delle onde di taglio V_s oltre i 30m. di profondità e di individuare il tipo di suolo sismico in base alla normativa DM 17 Gennaio 2018.

STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

L'indagine è stata eseguita utilizzando un acquisitore digitale multicanale della SARA

Electronic Instruments S.r.l. di Perugia, modello DOREMI, con processore Pentium IV esterno, display VGA a colori in LCD-TFT 15". Computer portatile a supporto, trattamento del segnale a 16 bit, trattamento di dati Floating Point 32 bit, supporto di memorizzazione mediante Hard-Disk da 40 Gb, con funzione di incremento multiplo del segnale ed opzione per l'inversione di polarità, attivazione di filtri "passa alto", "passa basso" e "notch" in acquisizione o post-acquisizione; inoltre, i guadagni sono selezionabili da software manualmente per ogni canale o in modo automatico e le acquisizioni sono automaticamente registrate sullo strumento. Il trigger è dato da un geofono starter esterno, con possibilità di pre-trigger (0-10 ms).

Sono stati utilizzati 24 ricevitori (geofoni) da 4,5 Hz capaci di misurare il campo di moto della direzione verticale, e come sorgente energizzante, una massa battente (martello) da 5 Kg battuta su una piastra metallica.



Figura 2: ESEMPIO DI STENDIMENTO SISMICO

METODOLOGIA OPERATIVA

Acquisire un set di dati per l'indagine MASW non è troppo diverso da una comune acquisizione per un'indagine a rifrazione (o riflessione). E' sufficiente effettuare uno stendimento di geofoni allineati con la sorgente ed utilizzare una sorgente ad impatto verticale (martello).

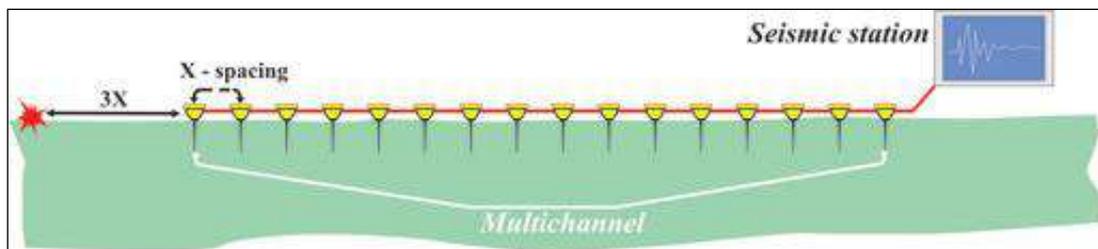


Figura 3: Schema di acquisizione dei segnali sismici con metodo Masw

Il profilo MASW è stato eseguito utilizzando n° 24 geofoni allineati sul terreno con un'interdistanza di 2 metri; i punti di scoppio sono stati posizionati ad una delle estremità del profilo a distanze di 2,00 m, 5,00 m e 8,00 m dal geofono n° 1. La scelta dei tre scoppi è stata effettuata per avere la certezza di generare la dispersione delle onde superficiali a prescindere dai differenti litotipi presenti nel sottosuolo dell'area investigata.

METODOLOGIA INTERPRETATIVA

Il software *MASW 2007 dell'Ing. Vitantonio Roma* consente di analizzare dati sismici (*common-shot gathers* acquisiti in campagna) in modo tale da poter ricavare il profilo verticale della V_s (velocità delle onde di taglio).

Tale risultato è ottenuto tramite inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh, determinate tramite la tecnica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves).

La procedura si sviluppa in quattro operazioni svolte in successione::

- ✚ Fase 1: inserimento della curva apparente di dispersione sperimentale del terreno o determinazione della stessa a partire dalle tracce misurate in sito
- ✚ Fase 2: simulazione numerica della curva apparente di dispersione del terreno a partire da un profilo di velocità delle onde di taglio V_s di primo tentativo (profilo iniziale)
- ✚ Fase 3: determinazione del profilo di velocità finale delle onde di taglio V_s , che rende ottimale la sovrapposizione della curva apparente di dispersione sperimentale e della curva apparente di dispersione simulata numericamente
- ✚ Fase 4: caratterizzazione geotecnica sismica e determinazione del tipo di suolo sulla base del profilo di velocità finale delle onde di taglio V_s .

Il software MASW è caratterizzato dai seguenti aspetti:

- ✚ Consente di considerare i modi superiori (fino a 50 modi) delle onde di Rayleigh.
- ✚ Consente di eseguire sia una ricerca manuale sia una ricerca automatica del profilo di velocità delle onde di taglio V_s .
- ✚ Consente di elaborare le tracce misurate per determinare la curva di dispersione sperimentale.
- ✚ Consente di calcolare la V_{seq} del sito esaminato.
- ✚ Consente di stimare un errore del profilo di velocità V_s sulla base del grado di incertezza dei dati misurati in sito.
- ✚ Consente di analizzare siti inversamente dispersivi con forti contrasti di rigidità tra i diversi strati di terreno e/o roccia.

- ✚ Consente di considerare l'influenza della falda.
- ✚ Consente di mantenere costanti le velocità V_s di alcuni strati e di variare le V_s degli altri strati del profilo stratigrafico.

Il software utilizzato è quindi in grado di fornire risultati molto più attendibili rispetto a quelli ottenibili con altre metodologie , fornendoci così maggiori garanzie sui parametri necessari a rilevare il profilo stratigrafico della porzione di terreno investigata.

PROVA SISMICA VsEQ METODO MASW

ELABORATI M.A.S.W.

Calcoli e grafici software Masw2007 Ing. Roma Vitantonio

PROVA SISMICA VsEQ METODO MASW

VISUALIZZAZIONE FORMA D'ONDA

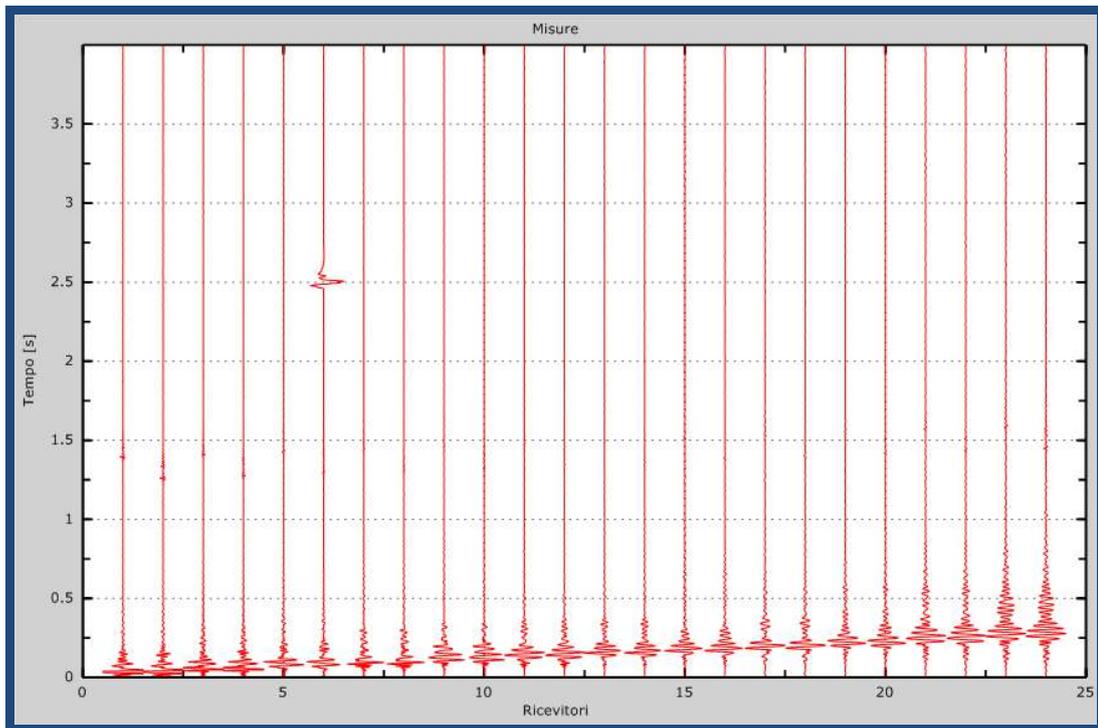
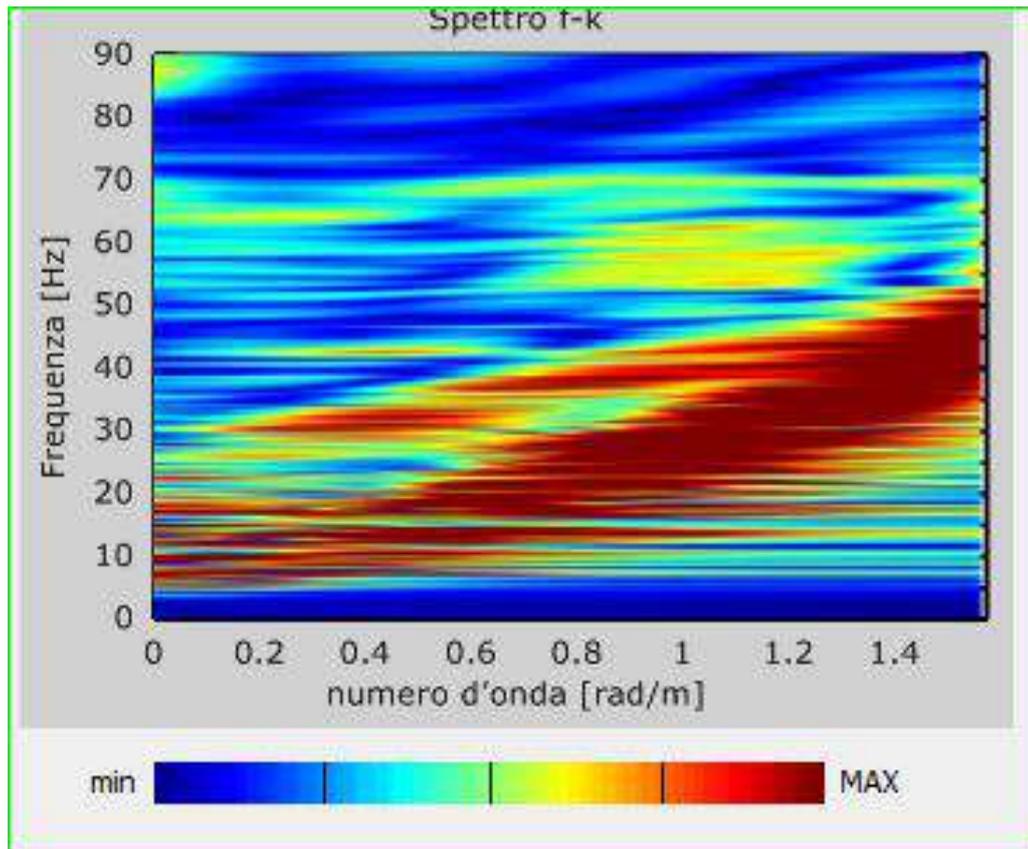


Figura 4: Tracce acquisite in sito – tempo di campionamento 3.5 ms – cons. fino a 24 ricevitori

| | |
|-------------|--|
| Committente | SIG Project Italy 1 |
| Cantiere | Impianto Agrovoltaiico da 55,26 MW denominato Castel Volturno2 |
| Comune | Castel Volturno (CE) |

PROVA SISMICA VsEQ METODO MASW
VISUALIZZAZIONE SPETTRO F-K

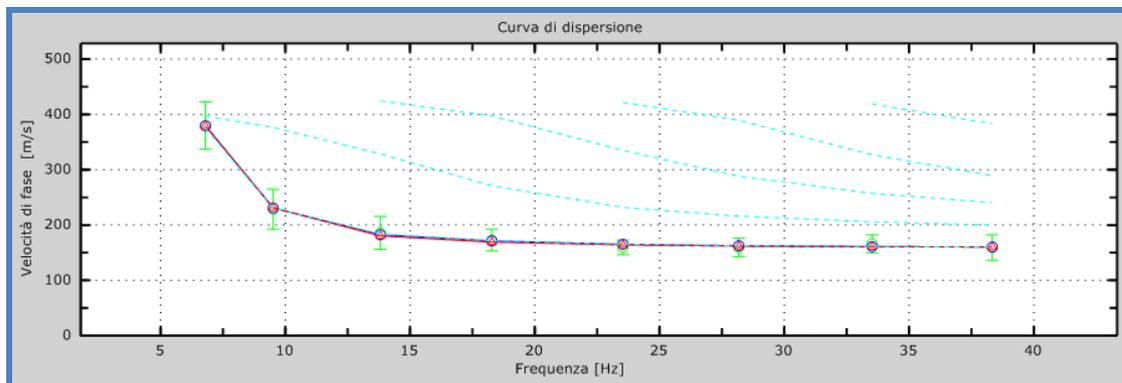


| | |
|-------------|--|
| Committente | SIG Project Italy 1 |
| Cantiere | Impianto Agrovoltaiico da 55,26 MW denominato Castel Volturno2 |
| Comune | Castel Volturno (CE) |

PROVA SISMICA VsEQ METODO MASW

CURVA DI DISPERSIONE

(CURVA MULTIMODALE: MODI DI RAYLEIGH-APPARENTE EFFETTIVA)



Errore tra curva apparente e curva sperimentale:2%

Errore tra curva effettiva e sperimentale: 2%

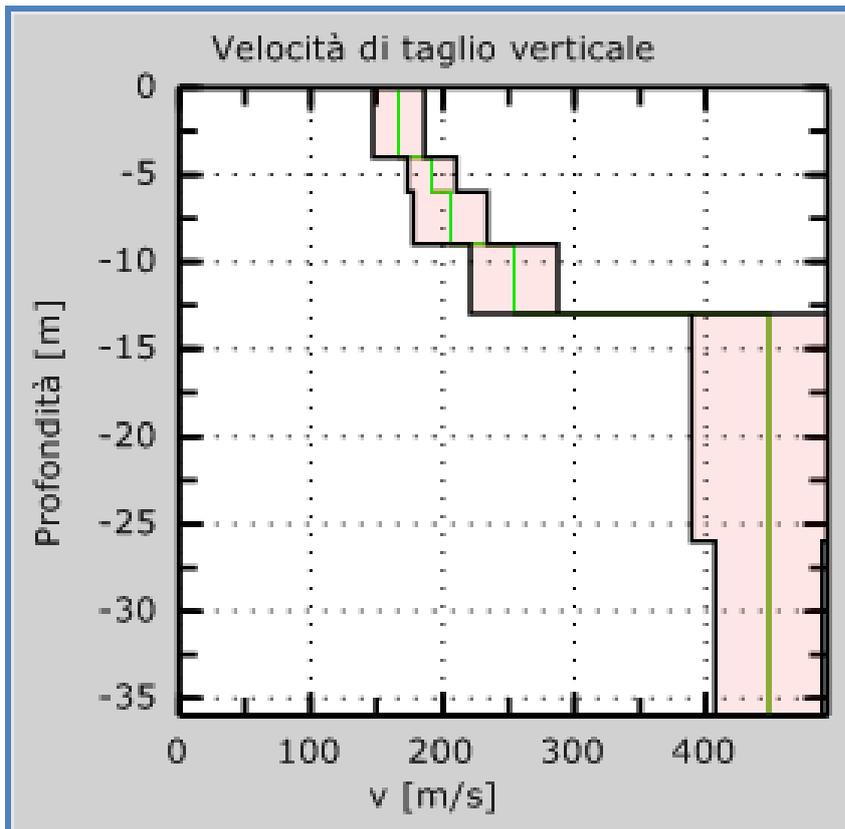
Figura 6:Velocita' numeriche :punti sperimentali (verde) - modi di Rayleigh (ciano)- curva apparente (blu)- curva numerica Figura (rossa)

| | |
|-------------|--|
| Committente | SIG Project Italy 1 |
| Cantiere | Impianto Agrovoltaiico da 55,26 MW denominato Castel Volturno2 |
| Comune | Castel Volturno (CE) |

PROVA SISMICA VsEQ METODO MASW

GRAFICO VELOCITA' ONDE S

Profilo di velocità dell'onda S con la profondità



Calcolo profilo di incertezza : **0.5 sigma**

Figura 7: Profilo di velocità Vs iniziale e finale rappresentati graficamente e riportate numericamente nella pagina successiva.

| | |
|-------------|--|
| Committente | SIG Project Italy 1 |
| Cantiere | Impianto Agrovoltaiico da 55,26 MW denominato Castel Volturno2 |
| Comune | Castel Volturno (CE) |

PROVA SISMICA VsEQ METODO MASW

PROFILO IN SITO

Sono stati individuati n.5 sismostrati principali alle seguenti profondità e alle rispettive velocità delle onde S. :

| PROFONDITA' z(m) | SPESSORE h(m) | Vs (m/s) |
|------------------|---------------|----------|
| - 4 | 4 | 167 |
| da - 4 a - 6 | 2 | 192 |
| da - 6 a - 9 | 3 | 206 |
| da - 9 a - 13 | 4 | 254 |
| da - 13 a - 35 | 22 | 448 |

Gli spessori rilevati e le relative velocità delle onde S hanno portato alla seguente determinazione della V_{SEQ} a partire dal piano di riferimento: $z = 0$

| | | | |
|---------------|------------------|------------|------------|
| VsEQ = | 30 | 292 | m/s |
| | $\Sigma h_i/V_i$ | | |

| | |
|-------------|--|
| Committente | SIG Project Italy 1 |
| Cantiere | Impianto Agrovoltaiico da 55,26 MW denominato Castel Volturno2 |
| Comune | Castel Volturno (CE) |

PROVA SISMICA VsEQ METODO MASW

Risultati Finali

Piano di riferimento z=0 [m] 0
Vseq [m/s].....292
La normativa applicata è il DM 17 gennaio 2018

Il sito appartiene alle classi A, B, C, D, E (alluvionale, ghiaia, sabbia, limo, argilla, roccia).

Categoria di suolo tipo : C

| | |
|-------------|--|
| Committente | SIG Project Italy 1 |
| Cantiere | Impianto Agrovoltaiico da 55,26 MW denominato Castel Volturno2 |
| Comune | Castel Volturno (CE) |

APPENDICE

Tipo di suolo

- ✚ Tipo 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.

- ✚ Tipo 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 di valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

- ✚ Tipo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti con la profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi 180 m/s e 360 m/s.

- ✚ Tipo 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 m/s e 180 m/s.

- ✚ Tipo 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

PROVA PENETROMETRICA

| | |
|---------------------|---|
| Committente: | SIG PROJECT ITALY |
| Riferimento: | Impianto agrovoltaiico da 55,26 MW |
| Località: | Castel Volturno (CE) |
| Commessa: | 134-22 |

| | |
|--|------------------------------|
| Modello Penetrometro: | PAGANI TG 63-200 DPSH |
| Normativa: | DIN 4094 |
| Peso massa battente (kg): | 63.500 |
| Peso accessori (kg): | 0.630 |
| Peso di ogni asta (kg): | 6.310 |
| Lunghezza aste (cm): | 100 |
| Area della punta (cm²): | 20.43 |
| Angolo di apertura della punta (°): | 90 |
| Altezza di caduta (cm): | 75 |
| Intervallo di penetrazione (cm): | 20 |
| Coefficiente di sicurezza: | 3.00 |
| Coefficiente di correlazione: | 1.47 |

Il Direttore
 DOTT. GEOL. ROSARIO GUIDA



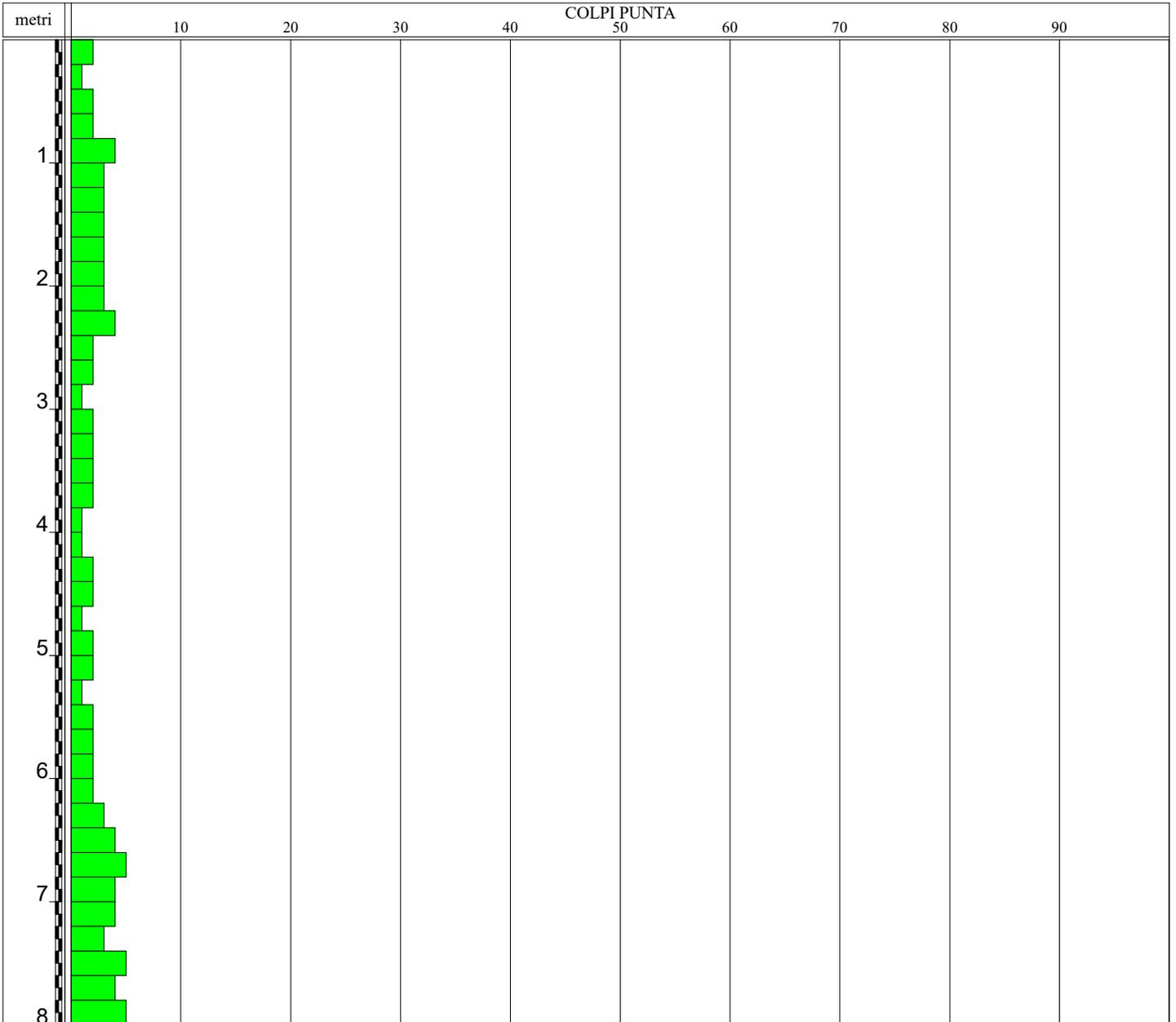
| | | |
|-------------------------------------|--|------------------|
| Certificato n° 00313 del 24/06/2022 | Verbale di accettazione n° 0137 del 24/06/2022 | Commessa: 134-22 |
|-------------------------------------|--|------------------|

| | |
|---|------------------------|
| Committente: SIG PROJECT ITALY | Prova n°: DPSH-199-22 |
| Riferimento: Impianto agrovoltaiico da 55,26 MW | Data prova: 24/06/2022 |
| Località: Castel Volturno (CE) | Quota: |
| Attrezzatura: PAGANI TG 63-200 DPSH | Coord.: |

SCALA 1 :50

PROVA PENETROMETRICA - DPSH-199-22

Pagina 1/2



Il Direttore
 DOTT. GEOL. ROSARIO GUIDA

| | | |
|---|---|-------------------------|
| Certificato n° 00313 del 24/06/2022 | Verbale di accettazione n° 0137 del 24/06/2022 | Commessa: 134-22 |
| Committente: SIG PROJECT ITALY | | Prova n°: DPSH-199-22 |
| Riferimento: Impianto agrovoltaiico da 55,26 MW | | Data prova: 24/06/2022 |
| Località: Castel Volturno (CE) | | Quota: |
| Attrezzatura: PAGANI TG 63-200 DPSH | | Coord.: |

PROVA PENETROMETRICA - DPSH-199-22

Pagina 2/2

| Profondità m | Colpi punta |
|-----------------|-------------|
| 0.20 | 2 |
| 0.40 | 1 |
| 0.60 | 2 |
| 0.80 | 2 |
| 1.00 | 4 |
| 1.20 | 3 |
| 1.40 | 3 |
| 1.60 | 3 |
| 1.80 | 3 |
| 2.00 | 3 |
| 2.20 | 3 |
| 2.40 | 4 |
| 2.60 | 2 |
| 2.80 | 2 |
| 3.00 | 1 |
| 3.20 | 2 |
| 3.40 | 2 |
| 3.60 | 2 |
| 3.80 | 2 |
| 4.00 | 1 |
| 4.20 | 1 |
| 4.40 | 2 |
| 4.60 | 2 |
| 4.80 | 1 |
| 5.00 | 2 |
| 5.20 | 2 |
| 5.40 | 1 |
| 5.60 | 2 |
| 5.80 | 2 |
| 6.00 | 2 |
| 6.20 | 2 |
| 6.40 | 3 |
| 6.60 | 4 |
| 6.80 | 5 |
| 7.00 | 4 |
| 7.20 | 4 |
| 7.40 | 3 |
| 7.60 | 5 |
| 7.80 | 4 |
| 8.00 | 5 |

Il Direttore
 DOTT. GEOL. ROSARIO GUIDA



| | | |
|---|--|------------------------|
| Certificato n° 00313 del 24/06/2022 | Verbale di accettazione n° 0137 del 24/06/2022 | Commessa: 134-22 |
| Committente: SIG PROJECT ITALY | | Prova n°: DPSH-199-22 |
| Riferimento: Impianto agrovoltaiico da 55,26 MW | | Data prova: 24/06/2022 |
| Località: Castel Volturno (CE) | | Quota: |
| Attrezzatura: PAGANI TG 63-200 DPSH | | Coord.: |

PROVA PENETROMETRICA - DPSH-199-22

Allegato

