

Relazione Geotecnica

Parco Agrivoltaico di potenza nominale pari a 78 MWp denominato
"IUDICA" sito nei Comuni di Aidone, Ramacca e Castel di Iudica
Località "Cacocciola" e "Belmontino Sott.no"

PROPONENTE:



Energia Pulita Italiana 2 s.r.l.

Rev00	<i>Integrazione documentale</i>	Data ultima elaborazione: 16/05/2023
Redatto		Approvato
Dott. Geol. Francesco PETRALIA		ENERLAND ITALIA s.r.l.
	Codice Elaborato	Oggetto
	IUDICA-PDR16	PROGETTO DEFINITIVO

TEAM ENERLAND:

Ing. Annamaria PALMISANO
Dott.ssa Ilaria CASTAGNETTI
Ing. Emanuele CANTERINO
Dott. Claudio BERTOLLO
Dott. Guglielmo QUADRIO
Dott. Agr. Patrick VASTA

Professionista incaricato (timbro e firma)
Dott. Geol. Francesco Petralia



Relazione Geologica e Geomorfologica

Parco Agrivoltaico di potenza nominale pari a 78 MWp denominato "IUDICA" sito nei Comuni di Aidone, Ramacca e Castel di Iudica Località "Cacocciola" e "Belmontino Sott.no"

INDICE GENERALE

1.PREMESSA.....	2
2.ANALISI DEI RISULTATI DELLE INDAGINI GEOFISICHE.....	3
4.PROVE DI PERMEABILITÀ.....	12
5.ANALISI DEI RISULTATI DELLE PROVE PENETROMETRICHE.....	13
6.CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	15

1. PREMESSA

Relativamente al progetto di impianto agrivoltaico denominato "IUDICA", di potenza complessiva 78 MWp posizionato a terra, sito nei Comuni di Aidone, Ramacca e Castel di Iudica Località "Cacocciola" e "Belmontino Sott.no", in data 10/02/2022 è stata presentata agli Enti preposti alla valutazione del progetto una Relazione Geologica che includeva l'inquadramento geografico e geologico-strutturale, i risultati del rilevamento geologico di campagna con relativa cartografia, i caratteri geomorfologici, l'inquadramento idrogeologico e sismico.

Energia Pulita Italiana 2 s.r.l.

Nell'ambito della procedura di Valutazione di Impatto Ambientale, in data 22/02/2023 da parte della Commissione Tecnica PNRR-PNIEC del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica è stato richiesto di integrazione le conoscenze geologiche come segue:

"Tale relazione geologica e geomorfologica dovrà essere predisposta facendo un'analisi non solo dell'area vasta di intervento, ma un'analisi specifica delle 4 macroaree indicando per ciascuno di queste, le indagini svolte e i risultati ottenuti almeno:

- *per le prove penetrometriche riportando una tabella riassuntiva con la profondità di indagine; il riscontro della presenza della falda; caratteristiche stratigrafiche;*
- *indicare la permeabilità dei terreni dell'area di impianto;*
- *verifica della stabilità dei pendii che dettagli la portanza del terreno considerando anche il peso dei pannelli, evidenziando eventuali criticità e azioni di mitigazione."*

Per ottemperare alle richieste dell'Ente, sono state proposte le seguenti indagini geognostiche:

- n. 27 prove penetrometriche dinamiche continue DPM30 a 10 metri o a rifiuto, che hanno consentito di definire una mappatura dell'andamento degli strati, degli spessori di copertura vegetale, e di ottenere i parametri geotecnici dei terreni attraversati;
- n. 05 prove di permeabilità in pozzetto a carico variabile nella parte più superficiale dei terreni, al disotto della copertura vegetale;
- n. 08 indagini geofisiche di tipo geoelettrico tomografico ERT 2D (Electrical Resistivity, utile per definire eventuale presenza, profondità e andamento della falda idrica nonché degli strati del terreno.

Facendo riferimento alla suddetta relazione per quanto riguarda l'inquadramento del modello geologico, all'allegato rapporto tecnico del Dott. Geol. Salvatore Alloro sulle indagini geofisiche e geognostiche eseguite e relativo schema della loro ubicazione, si riassumono nel presente elaborato i risultati delle indagini e si fornisce un quadro geotecnico di riferimento per le opere di progetto.

2. ANALISI DEI RISULTATI DELLE INDAGINI GEOFISICHE

Energia Pulita Italiana 2 s.r.l.

Le indagini geofisiche, consistenti in 8 prospezioni geoelettriche tomografiche (ERT), sono state eseguite dalla ditta del Dott. Geol. Salvatore Alloro, al cui rapporto tecnico si rimanda per la descrizione e la metodologia delle indagini.

Conoscendo l'andamento della resistività del terreno è possibile, in prima approssimazione, individuare le zone in cui è maggiore la presenza di acqua, in quanto tale parametro ne è notevolmente influenzato. Nella tabella in Figg. 1 e 2 si può notare come i valori più bassi in assoluto si riscontrano in presenza di acqua salata, dove gli ioni disciolti facilitano il propagarsi delle cariche elettriche. Nella roccia lapidea intatta, con pochi sistemi di discontinuità e poco persistenti, il valore della resistività aumenta. Nelle sabbie, nei limi e nelle argille vi è una graduale diminuzione della resistività, dovuta alla diminuzione dei vuoti interstiziali con il diminuire della granulometria, dato che corrisponde ad un sostanziale aumento della continuità elettrica.

	Intervallo di resistività (Ωm)							
	Norinelli 1996	Musset 2003	Telford 1990	Loke 2004	Peltoniemi 1998	Ward 1990	Baldi & Rossi 1991 (Depositi alluvionali secchi)	Baldi & Rossi 1991 (Depositi alluvionali saturi in acqua dolce)
Argille	1-120	1-100	1-100	1-100	30-70	3-40	/	/
Limi	/	/	10 - 800	10 - 800	80-200	/	/	/
Sabbie	100-1000	500- 5000	10-800	/	500-1000	/	20-80	25-50
Ghiaie	/	100- 5000	/	/	1000-2000	/	/	/
Argille e sabbia	/	/	30-215	/	/	50-300	/	/
Ghiaie e sabbia	/	/	/	/	/	200-5000	80-200	50-80

Fig. 1: Intervalli di resistività dei terreni sciolti secondo diversi autori.

litotipo	Resistività (Ωm)	Porosità (%)
Acqua	10-100	-
Acqua di mare	0.2-0.3	-
Sabbie sciolte secche	1000	30-50
Sabbie sciolte sature in acqua dolce	80-150	30-50
Limi saturi in acqua dolce	15-50	10-30
Argille in acqua dolce	5-20	-
Argille in acqua salata	1-2	-
Ghiaie asciutte	>1000	10-40
Ghiaie sature in acqua dolce	150-300	10-40
Calcarli	500-2000	2-25
Dolomie	1000-5000	2-20
Marne	10-100	10-60
Graniti	10000-50000	<1
Basalti	20-2000	<1
Mattoni asciutti	3000-10000	3-10
Mattoni saturi	100-1000	3-10

Fig. 2: Tabella dei valori di resistività dei terreni in funzione della porosità.

Energia Pulita Italiana 2 s.r.l.

Sulla base dei risultati ottenuti, dalle tomografie elettriche di seguito riportate (Figg. 3-10), fino alla profondità investigata (70 m circa), è emersa la presenza di una fascia a bassa resistività (tra 0,5 e 20 $\Omega \cdot m$) nei primi 20 metri di profondità e valori gradualmente crescenti verso il basso, non essendovi alcuna evidenza della presenza di falde freatiche libere ovvero anche in sacche. Si nota tuttavia superficialmente, entro i primi metri di spessore della copertura, un brusco calo della resistività localizzato in sacche sub-circolari (nelle due dimensioni), probabilmente connesso alla canalizzazione superficiale di acque meteoriche, nuclei o lenti a minore resistività che possono indicare la presenza zone di accumulo o piccole falde sospese, ritenute però di scarso interesse estrattivo data la natura dei terreni. Il valore di resistività si rialza velocemente con la profondità, salvo poi ridiscendere, in alcuni casi, a profondità superiore ai 50 m.

Tale interpretazione è anche in linea con l'assenza di pozzi in zona che viene in parte minimizzata nell'approvvigionamento idrico dalla presenza di vasche di accumulo artificiale significativamente diffuse.

Le figure seguenti, che riportano il modello georesistivo con il logaritmo della resistività, vengono commentate nelle didascalie.

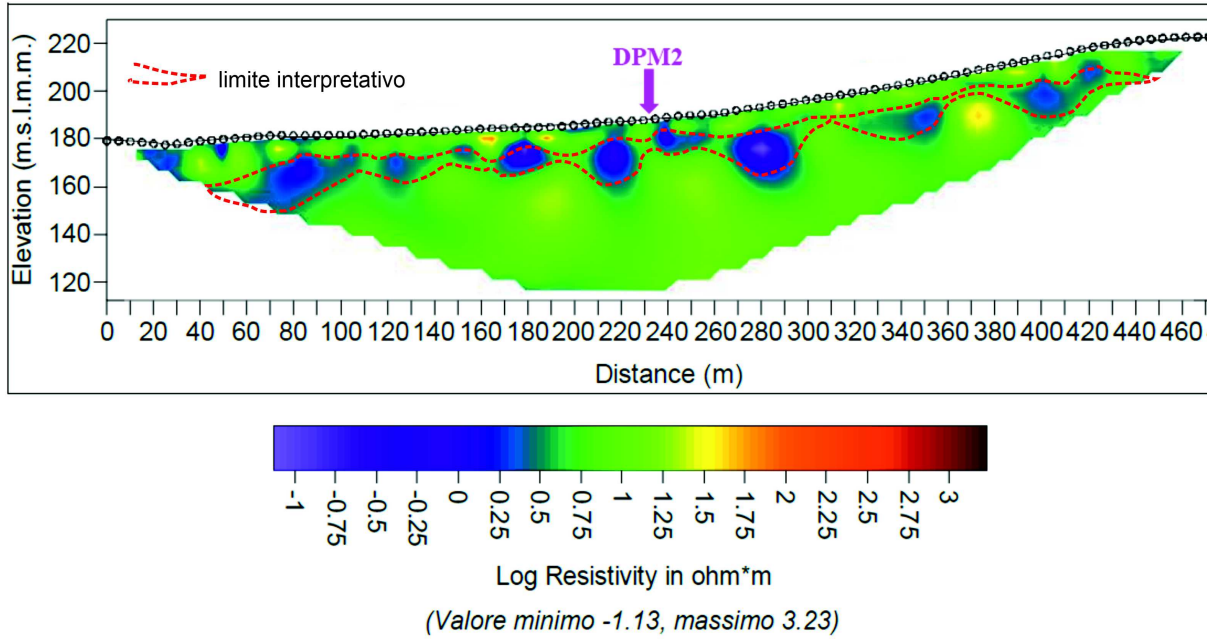


Fig. 3: ERT 1 - Area 4 (EST) impianto 11 - Sono presenti dei nuclei discontinui a bassa resistività ad una profondità compresa tra i 10 e i 30 metri interpretabili come zone di accumulo in corrispondenza di livelli argillosi.

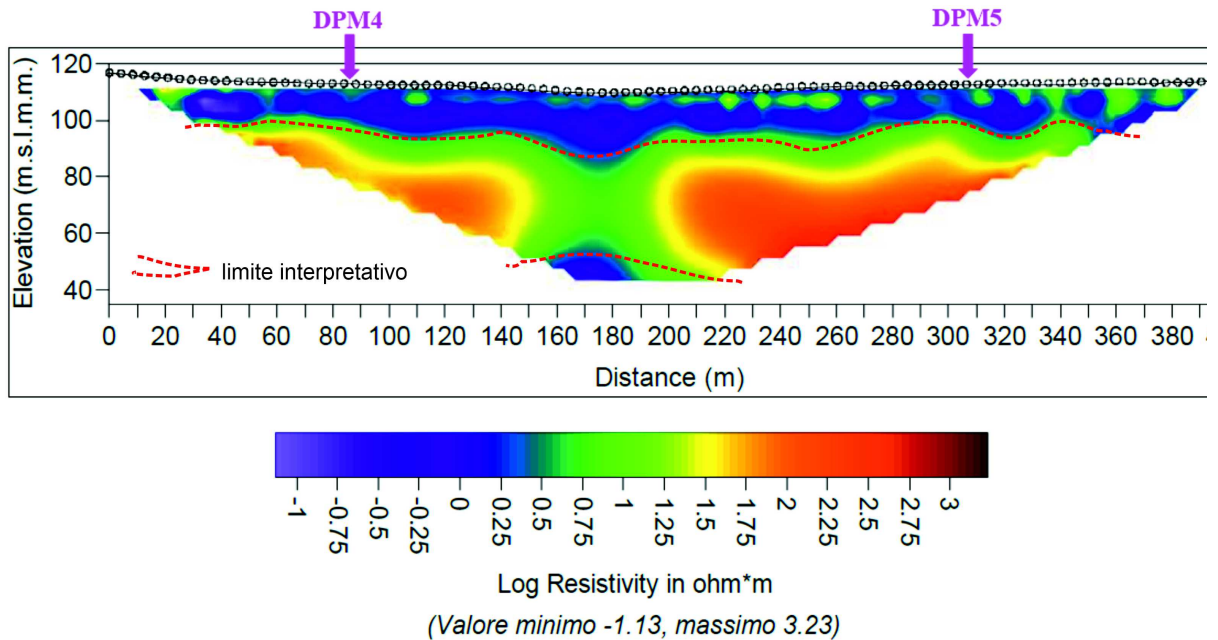


Fig. 4: ERT 2 - Area 3 (EST) impianto 03 OVEST – Su questo profilo lo strato superficiale, spesso circa 20 metri può essere associato alla presenza di argille, seguite in profondità da terreni più resistivi, mentre è ipotizzabile la presenza di una falda a profondità di 50/60 metri, dove la resistività accusa una brusca diminuzione.

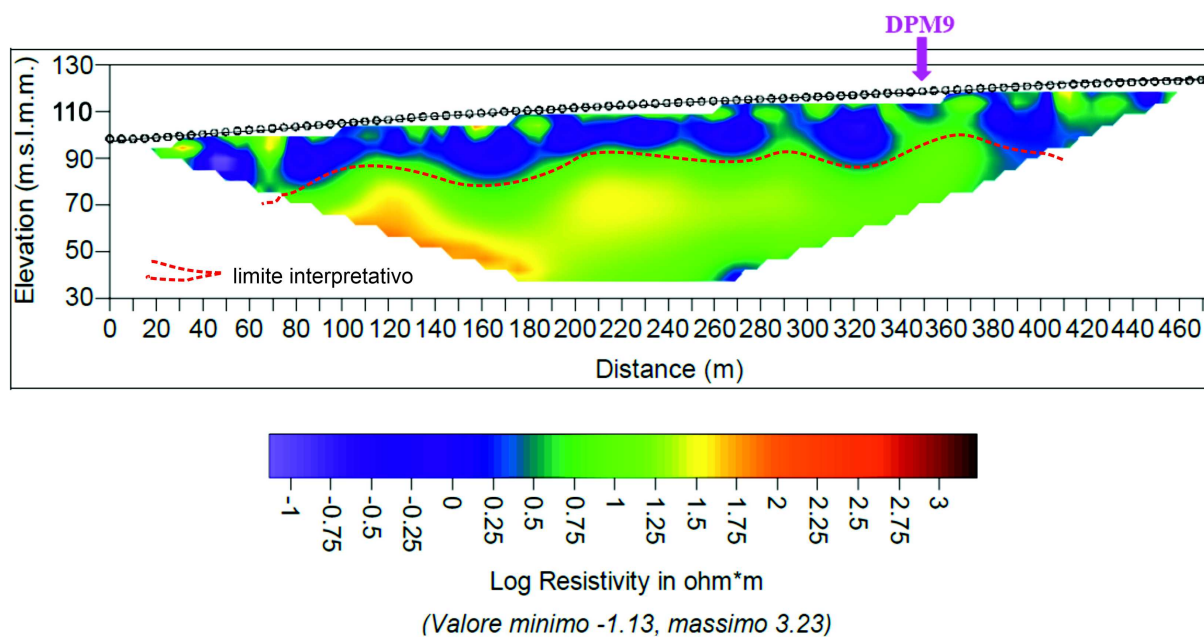


Fig. 5: ERT 3 - Area 3 (EST) impianto 03 EST – Anche in questo profilo lo strato superficiale, spesso circa 20 metri, può essere associato alla presenza di argille, seguite in profondità da terreni più resistivi. Non vi sono evidenze della presenza di un falda acquifera.

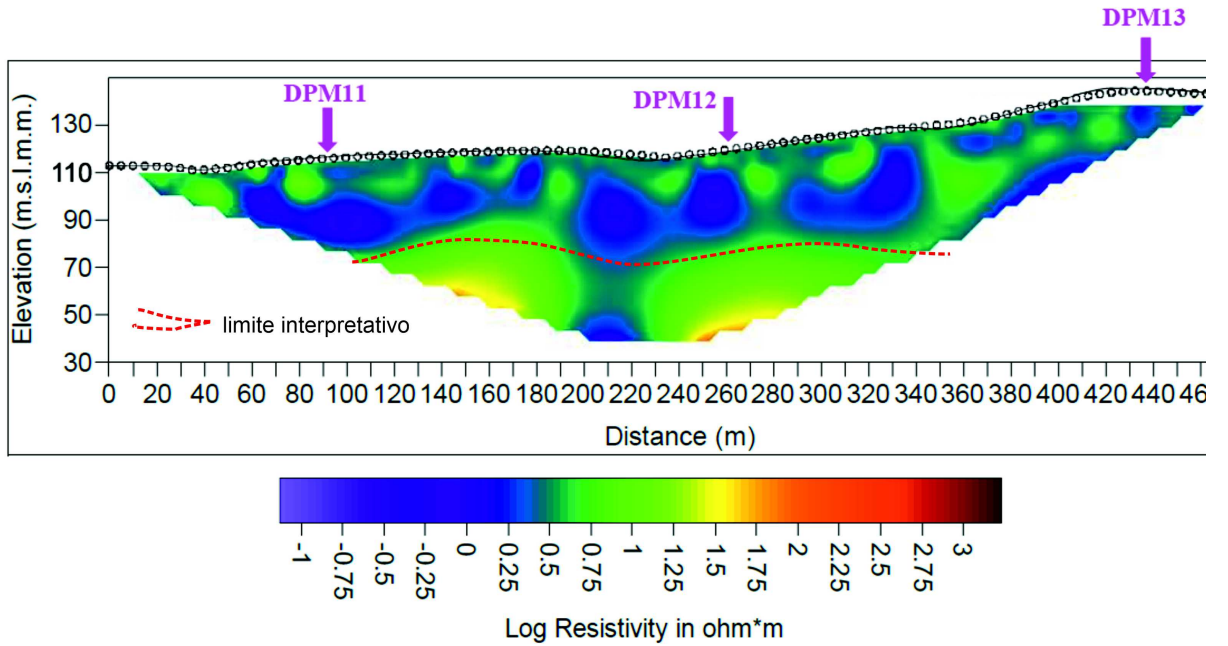


Fig. 6: ERT 4 - Area 2 (CENTR.) impianto 22 - Su questo profilo lo strato superficiale argilloso è spesso circa 40 metri. Non vi sono evidenze della presenza di una falda acquifera.

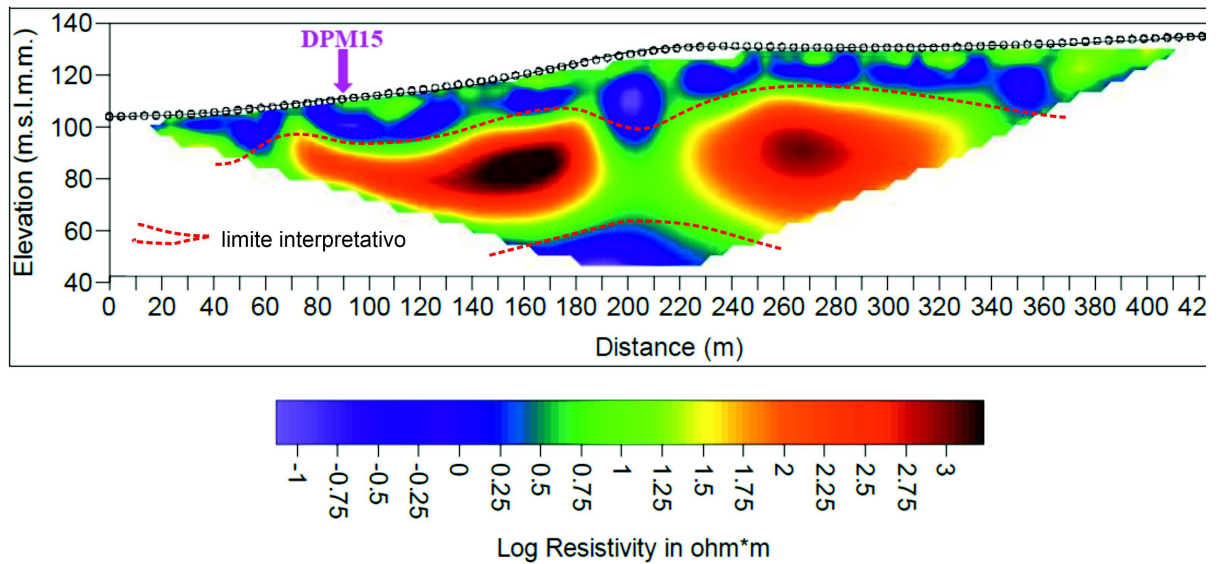


Fig. 7: ERT 5 - Area 2 (CENTRO) impianto 13 - In questo profilo lo strato superficiale, spesso circa 20 metri può essere associato alla presenza di argille, seguite in profondità da terreni più resistivi, mentre è ipotizzabile la presenza di una falda, o terreni argillosi, a profondità di circa 60 metri, dove la resistività accusa una brusca diminuzione.

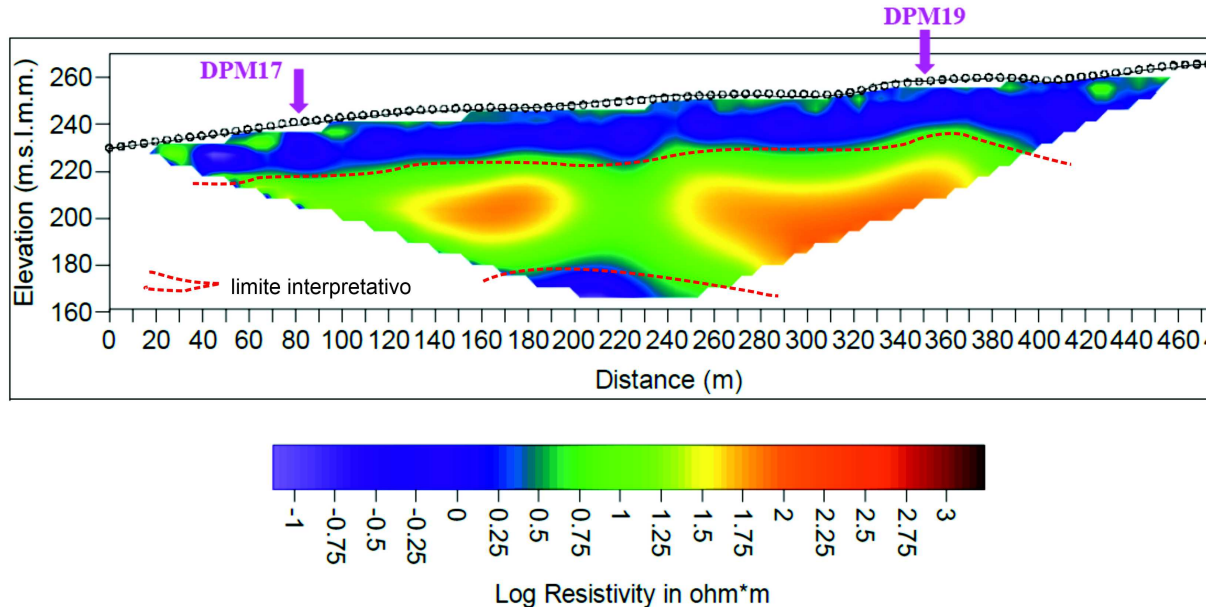


Fig. 8: ERT 6 - Area 1 (OVEST) impianto Santonocito-Aidone Nord - Lo strato superficiale, spesso circa 20 metri può essere associato alla presenza di argille, seguite in profondità da terreni più resistivi, mentre è ipotizzabile la presenza di una falda, o terreni argillosi, a profondità di circa 60 metri, dove la resistività accusa una brusca diminuzione.

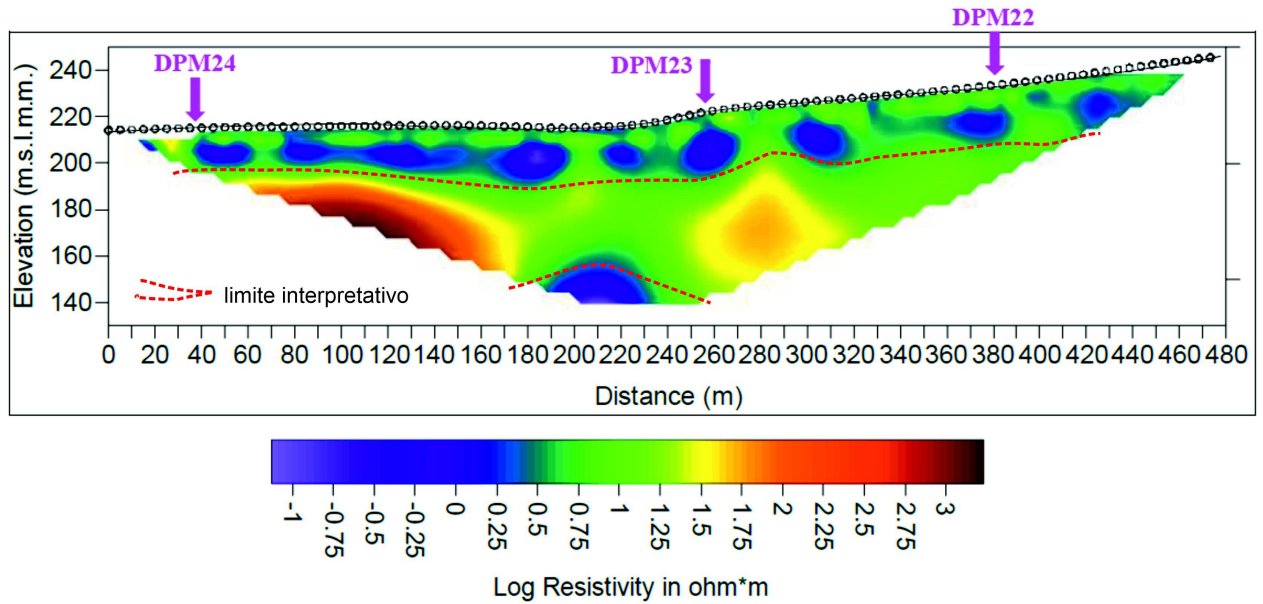


Fig. 9: ERT 7 - Area 1 (OVEST) impianto Santonocito-Aidone Centro – In questo profilo sono presenti dei nuclei discontinui a bassa resistività ad una profondità compresa tra i 10 e i 20 metri, interpretabili come zone di accumulo in corrispondenza di livelli argillosi. In profondità si riscontrano terreni più resistivi, mentre è ipotizzabile la presenza di una falda, o terreni argillosi, a profondità di circa 50 metri, dove la resistività accusa una brusca diminuzione.

Energia Pulita Italiana 2 s.r.l.

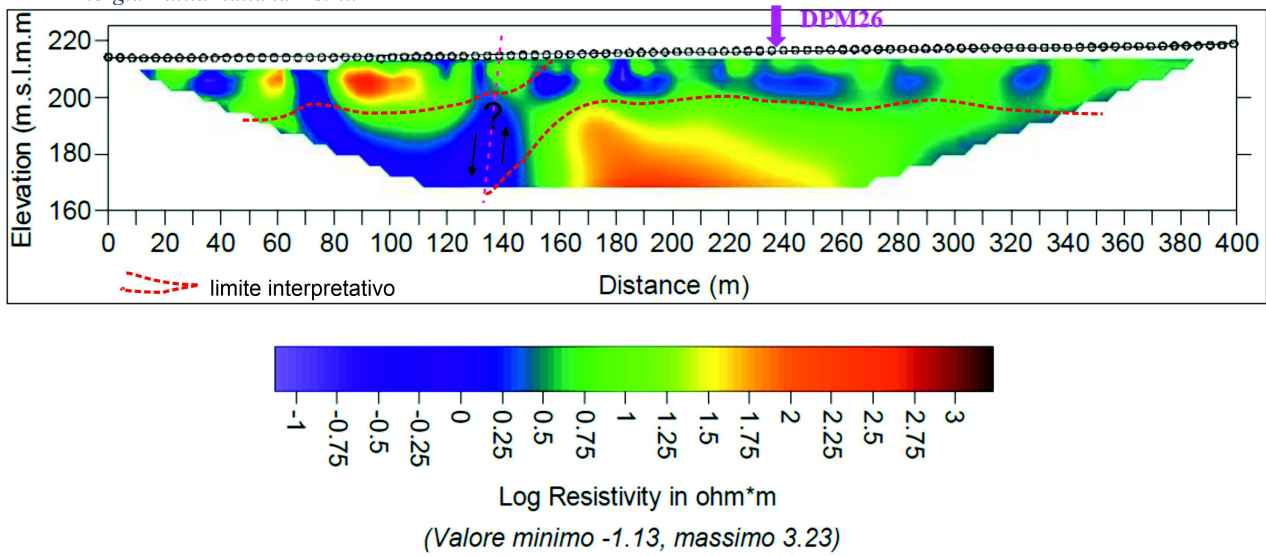


Fig. 10: ERT 8 - Area 1 (OVEST) impianto Santonocito-Aidone Sud – Questo profilo, orientato NE-SW, presenta a destra (lato SW) dei nuclei discontinui a bassa resistività ad una profondità intorno ai 15 metri dal p.c. interpretabili come zone di accumulo in corrispondenza di livelli argillosi mentre in profondità si riscontrano terreni più resistivi. La parte sinistra del profilo (lato NE) presenta invece resistività più elevate in superficie e più basse in profondità. Questo andamento potrebbe far pensare alla presenza di una faglia ovvero alla presenza di un limite formazionale.

3.

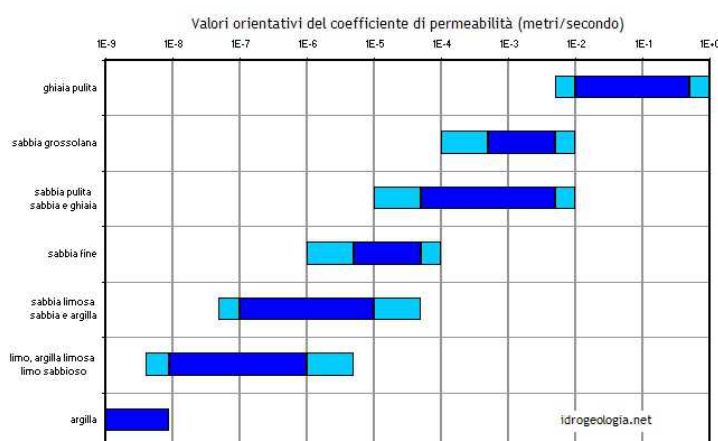
4. PROVE DI PERMEABILITÀ

Le prove di permeabilità, di tipo a pozzetto a carico variabile, hanno dato per la porzione più superficiale del terreno valori del coefficiente di permeabilità K dell'ordine di 10^{-6} m/s, tale dato è in generale accordo con quanto anticipato sulla relazione geologica generale che si basava esclusivamente sui dati bibliografici.

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva dei risultati ottenuti:

PERMEABILITA'		
K	cm/s	m/s
PP1	0,000445	4,45E-06
PP2	0,000433	4,33E-06
PP3	0,000188	1,88E-06
PP4	0,000281	2,81E-06
PP5	0,000242	2,42E-06

Come si può osservare dalla sottostante tabella, i valori di K misurati corrispondono a quelli generalmente riscontrati in limi, argille-limose e limi-sabbiosi.



5. ANALISI DEI RISULTATI DELLE PROVE PENETROMETRICHE

Le prove penetrometriche hanno consentito di avere un quadro generale della resistenza dei terreni fino ai 10 metri di profondità dal p.c. e, grazie alle correlazioni empiriche tra N_{SPT} e le caratteristiche geotecniche, del peso dell'unità di volume e della coesione drenata C_u .

Nonostante numerose indagini siano andate a rifiuto prima del raggiungimento della profondità massima di infissione, data la natura del progetto l'attenzione sarà posta nei risultati ottenuti nei primi 3 o 4 metri di profondità.

In quasi tutti i lotti di terreno indagati, al disotto di uno spessore di terreno variabile tra 30 cm e alcuni metri, è stata incontrata una formazione rocciosa che non ha consentito l'avanzamento delle aste. Apparentemente soltanto nei due lotti più meridionali dell'Area Ovest (Impianto Santonocito-Aidone) l'indagine è andata a rifiuto per avere incontrato terreni molto consistenti e non roccia.

Si faccia in ogni caso riferimento al rapporto tecnico di indagine per i valori completi alle varie profondità, di seguito si riportano delle tabelle riassuntive per i vari lotti di progetto con le caratteristiche scelte per le valutazioni finali relative soltanto allo strato superficiale del terreno di interesse progettuale.

Area Ovest, Impianto Santonocito-Aidone, Lotto Sud.

DPM25, DPM26

$$C_u = 0,45 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\gamma = 1,82 \text{ t/m}^3$$

DPM27

$$C_u = 0,24 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\gamma = 1,69 \text{ t/m}^3$$

Energia Pulita Italiana 2 s.r.l.

Area Ovest, Impianto Santonocito-Aidone, Lotto Centro.

DPM23, DPM24

$$Cu = 0,55 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\gamma = 1,9 \text{ t/m}^3$$

DPM22

$$Cu = 1,03 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\gamma = 2,06 \text{ t/m}^3$$

Area Ovest, Impianto Santonocito-Aidone, Lotto Nord.

DPM17, DPM18, DPM19, DPM20

$$Cu = 0,34 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\gamma = 1,77 \text{ t/m}^3$$

DPM21

$$Cu = 0,88 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\gamma = 2,0 \text{ t/m}^3$$

Area Centro, Impianto 13 (Sud)

DPM14, DPM15, DPM16

$$Cu = 0,63 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\gamma = 1,94 \text{ t/m}^3$$

Area Centro, Impianto 22 (Nord)

DPM11, DPM12, DPM13

$$Cu = 0,72 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\gamma = 1,97 \text{ t/m}^3$$

Energia Pulita Italiana 2 s.r.l.

Area Est (Sud), Impianto 03 (Est)

DPM6, DPM7, DPM8, DPM9, DPM10

$$Cu = 0,76 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\gamma = 1,96 \text{ t/m}^3$$

Area Est (Sud), Impianto 03 (Ovest)

DPM4, DPM5

$$Cu = 0,38 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\gamma = 1,85 \text{ t/m}^3$$

Area Est (Nord), Impianto 11

DPM1, DPM2, DPM3

$$Cu = 0,71 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\gamma = 1,95 \text{ t/m}^3$$

Per ogni lotto di terreno, i valori della resistenza penetrometrica a 2 metri di profondità sono stati plottati nella Carta delle Proprietà Geotecniche allegata.

6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Dai risultati delle prove di permeabilità risulta che ci troviamo in presenza di terreni a bassa permeabilità, con K dell'ordine dei 10^{-6} m/s. In terreni coesivi le sovrappressioni interstiziali si dissipano lentamente nel tempo con il procedere della consolidazione.

Pertanto in questo tipo di terreni occorrerebbe procedere alle verifiche della capacità portante a breve termine (in condizioni non drenate) ed a lungo termine (condizioni drenate), tuttavia il valore più basso di pressione limite viene dalla verifica a breve termine, poiché al termine del processo di consolidazione l'incremento delle

Energia Pulita Italiana 2 s.r.l.

tensioni efficaci avrà prodotto un incremento della resistenza al taglio. L'analisi sarà pertanto condotta in condizioni NON drenate.

La formula di Terzaghi di tipo trinomio per il calcolo della pressione limite è la seguente:

$$q_{lim} = N_c c + N_q q_0 + N_\gamma \frac{1}{2} \gamma B$$

dove N_c , N_q ed N_γ sono i fattori di capacità portante, ossia coefficienti adimensionali funzioni dell'angolo di resistenza al taglio del terreno; $q_0 = \gamma D$ e D è la profondità della fondazione, mentre B è la sua larghezza.

Per una verifica in tensioni totali, non drenate, abbiamo che:

$$c = C_u; \varphi = 0; \gamma = \gamma_{TOT}$$

$$N_c = 5,7; N_q = 1; N_\gamma = 0$$

Il calcolo si riduce pertanto alla seguente:

$$q_{lim} = 5,7 \cdot C_u + \gamma D$$

Considerando una profondità di infissione di 2 metri e sostituendo i valori ottenuti dalle prove penetrometriche alla suddetta equazione si otterranno i seguenti risultati per la q_{lim} nei diversi lotti di terreno:

- *Area Ovest, Impianto Santonocito-Aidone, Lotto Sud:* $4,75 < q_{lim} < 6,10 \text{ t/m}^2$

Energia Pulita Italiana 2 s.r.l.

- *Area Ovest, Impianto Santonocito-Aidone, Lotto Centro:* $7,01 < q_{lim} < 9,97 \text{ t/m}^2$
- *Area Ovest, Impianto Santonocito-Aidone, Lotto Nord:* $5,49 < q_{lim} < 9,03 \text{ t/m}^2$
- *Area Centro, Impianto 13 (Sud):* $q_{lim} = 7,45 \text{ t/m}^2$
- *Area Centro, Impianto 22 (Nord):* $q_{lim} = 8,06 \text{ t/m}^2$
- *Area Est (Sud), Impianto 03 (Est):* $q_{lim} = 8,25 \text{ t/m}^2$
- *Area Est (Sud), Impianto 03 (Ovest):* $q_{lim} = 5,85 \text{ t/m}^2$
- *Area Est (Nord), Impianto 11:* $q_{lim} = 7,94 \text{ t/m}^2$

Infine, dalla carta Geotecnica di dettaglio, nella quale sono riportate le curve di interpolazione del Vs 30 (i valori del Vs 30 derivano dalla carta di interpolazione statistica del Vs 30 d'Italia con maglia di 50 m, *Mori, F., Mendicelli, A., Moscatelli, M., Romagnoli, G., Peronace, E., Naso, G. A new Vs30 map for Italy based on the seismic microzonation dataset (2020) Engineering Geology, 275, art. no. 105745*) si desume una categoria di suolo compresa tra "C" e "B" secondo le NTC 2018, tuttavia pare opportuno in questa fase assumere cautelativamente una categoria "C", che potrà essere convalidata in fase esecutiva tramite indagini MASW, ovvero "*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*".

Energia Pulita Italiana 2 s.r.l.

In ogni caso questa attribuzione di categoria di suolo secondo il Vs30 mappato rimane in generale accordo con i dati delle prove penetrometriche che hanno incontrato, superati i primi metri di terreno, materiali molto consistenti e roccia.

Qualora, sulla base delle scelte progettuali, le capacità portanti del terreno risultassero troppo basse, occorrerà aumentare la profondità di infissione dei pali, tenendo presente che nella maggior parte dei terreni investigati potrà essere necessario l'impiego di una trivella per attestarsi nelle bancate rocciose.

Catania, 16/05/2023

Dott. Geol. Francesco Petralia



ALLEGATI TECNICI

- IUDICA-IAR10.1_RELAZIONE_INDAGINI_IN_SITU
- IUDICA-IAR10.2_ALL.1-Planimetrie con ubicazione delle indagini eseguite
- IUDICA-IAR10.3_ALL.2-Stima dei parametri geotecnici ottenuti dalle prove in situ
- IUDICA-IAR10.4_ALL.3_Risultati_Tomografie_Elettriche_ERT_2D

ALLEGATI CARTOGRAFICI

- IUDICA-IAT37_Inquadramento idrologico generale
- IUDICA-IAT25-R1_Geologia_generale
- IUDICA-IAT26-R1_Geologia_Geomorfologia di dettaglio
- IUDICA-IAT38_Geotecnica_Dettaglio
- IUDICA-PDR16.1_All.1_Parametri_Geotecnici