



REGIONE SICILIA

PROVINCIA DI ENNA



Progetto per la realizzazione di un impianto agrivoltaico da 36,7696 MW sito nel Comune di Enna (AV)

Località "Mulinello" denominato Enna 3



COMMITTENTE

Enna 3 PV s.r.l.

Via Alessandro Manzoni, 43 - 20121 Milano
p.iva 16647271002

PROGETTAZIONE



HORUS Green Energy Investment
Viale Parioli n. 10
00197 Roma



FDGL s.r.l.
Via Ferriera n. 39
83100 Avellino
www.fdgl.it

Progettista:
Ing. Fabrizio Davide



Geologo:
Dott. Geol. Davide Mazza

PROGETTO DEFINITIVO

Elaborato:

DEF.REL.02 - Relazione geologica

COMUNE DI ENNA

SCALA

-

DATA

11/2022

FORMATO STAMPA
A4

REDATTO

APPROVATO

DESCRIZIONE E REVISIONE DOCUMENTO

DATA:

REV.N°

Sommario

PREMESSA	2
GEOLOGIA DEL SOTTOSUOLO.....	3
CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE ED IDROGRAFICHE	5
CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE	7
VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE	8
INDAGINI IN SITO E MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO	8
MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO COSTRUZIONE	9
INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI	10
SISMICITA' DELL'AREA	12
CONCLUSIONI	14

Allegati

1. Ubicazione indagini;
2. Certificati indagini geotecniche;
3. Report indagine geofisica.

PREMESSA

La presente relazione è a corredo del progetto proposto da Enna 3 PV S.r.l. per la realizzazione di un impianto agrovoltaico da 36,77 MWp, e le relative opere di connessione, nel comune nel Comune di Enna (EN), alla località “Mulinello” (Figura 1).

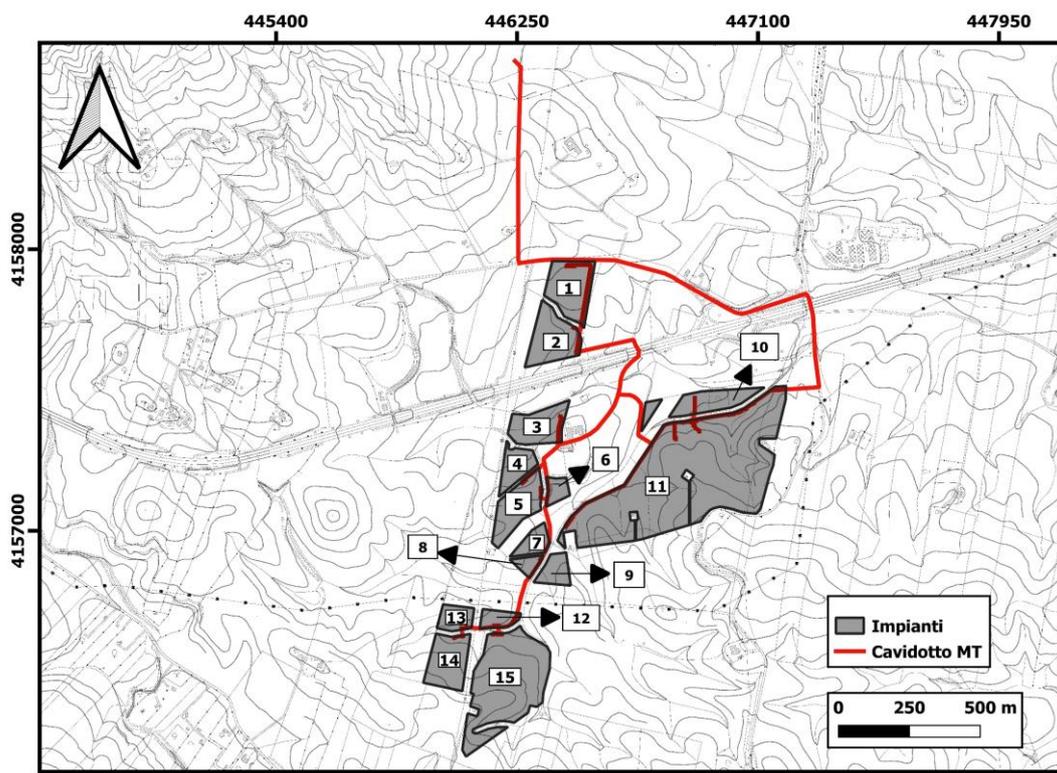


Figura 1: Inquadramento area di studio su base cartografica CTR. Le etichette indicano i relativi sottocampi. Il poligono senza etichetta rappresenta il deposito. Coordinate in WGS84 – UTM 33N.

Le aree oggetto di studio ricadono interamente all'interno del territorio di competenza dell'Autorità di Bacino (A.d.B.) del Distretto Idrografico della Sicilia. Tale studio, quindi, è stato effettuato tenendo conto delle seguenti norme ed in ottemperanza alla normativa vigente relativa alla progettazione in zone sismiche:

- D.M n° 42 del 17/01/2018: “Aggiornamento Norme Tecniche per le costruzioni”;

- Circolare n° 7 del 21/01/2019: “*Istruzioni per l’Applicazione dell’Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni di cui al decreto Ministeriale 17/01/2018*”;
- Norme di Attuazione relative al Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico dell’Autorità di Bacino del Distretto Idrografico della Sicilia;

Per il presente studio, si è proceduto, per una conoscenza esatta del sito esaminato, a:

- Un puntuale rilevamento geologico esteso ad un’ampia area circostante;
- Indagini geognostiche e geofisiche svolte in prossimità delle aree di interesse, allegato n. 1, che sono consistite in:
 - n. 3 indagini geotecniche quali prove penetrometriche di tipo DPSH, allegato n.2;
 - n. 1 prospezione sismica di superficie con metodologia MASW, allegato n.3;
- Consultazione di diverse carte tematiche e documenti presenti in letteratura scientifico-tecnica.

GEOLOGIA DEL SOTTOSUOLO

Dagli studi condotti nell’area di interesse risulta che i siti esaminati sono caratterizzati da terreni ben inquadrati nel contesto geologico regionale ed in particolare in quello tettonico-stratigrafico dell’Orogene Appeninico-Maghrebide.

Ai fini della ricostruzione della storia evolutiva dell’area di studio è necessario sottolineare che la genesi dell’Appeninico-Maghrebide è collocabile a cavallo tra il Mesozoico ed il Paleogene. Procedendo da Nord-Est verso Sud-Ovest, si rinvenivano la Piattaforma Iblea (anche detta piattaforma esterna o foreland), il Bacino Imerese, la Piattaforma Panomide (anche detta piattaforma interna o hinterland) ed in fine il Cuneo di accrezione Sicilide. Questi domini paleogeografici hanno dato vita alle principali unità stratigrafico-strutturali che oggi formano l’impalcatura orogenica Appeninico-Maghrebide. A partire dal Miocene Inferiore, le unità del Bacino Sicilide, sono state successivamente coinvolte dal fronte orogenico che è successivamente e gradualmente migrato verso Sud-Est andando a

coinvolgere gli altri domini paleogeografici. Tale migrazione fu causata dalla convergenza Africa-Europa che a partire dal Cretacico Superiore ha causato la chiusura dei rami oceanici della Neotetide. Man mano che il fronte orogenico è avanzato tuttavia le varie unità stratigrafiche si sono sovrapposte. Tale cinematica evolutiva ha fatto sì che le unità tettoniche ad oggi rinvenibili in appennino vengano classificate in “*Unità pre-orogene*”, “*Unità sin-orogene*” e “*Unità post-orogene*”. Tettonicamente parlando dunque l’attuale struttura Appeninico-Maghrebide va interpretata come un complesso sistema di *duplex*, con accavallamenti di unità tettoniche (*over-thrust*) derivanti da *domini* paleogeografici interni su unità più esterne, a loro volta sovrascorse su unità ancora più esterne. Tale *tettonica a thrust* è stata accompagnata e seguita da faglie trascorrenti e da faglie dirette.

In tale contesto, un rilevamento geolitologico di dettaglio, esteso necessariamente ad una area più vasta, ha permesso di distinguere i tipi litologici presenti nell’area di interesse. Il rilevamento eseguito, ha rappresentato inoltre lo strumento di base su cui sono state articolate tutte le considerazioni successivamente esposte.

Il substrato dei rilievi collinari (Figura 2) sui quali dovranno sorgere gli impianti, nonché le relative opere accessorie, è formato prevalentemente dai depositi evaporitici appartenenti alla Formazione di Terravecchia (Tortoniano Inferiore – Messiniano Superiore).

Tali terreni sono composti da marne argillose di colore grigio-azzurro intercalate con sabbie ed arenarie ed a livelli conglomeratici ricoperti in superficie da depositi eluvio-colluviali (Olocene).

Nella parte settentrionale dell’area di studio invece i depositi Miocenici sono ricoperti in discordanza stratigrafica dalle alluvioni terrazzate Oloceniche.

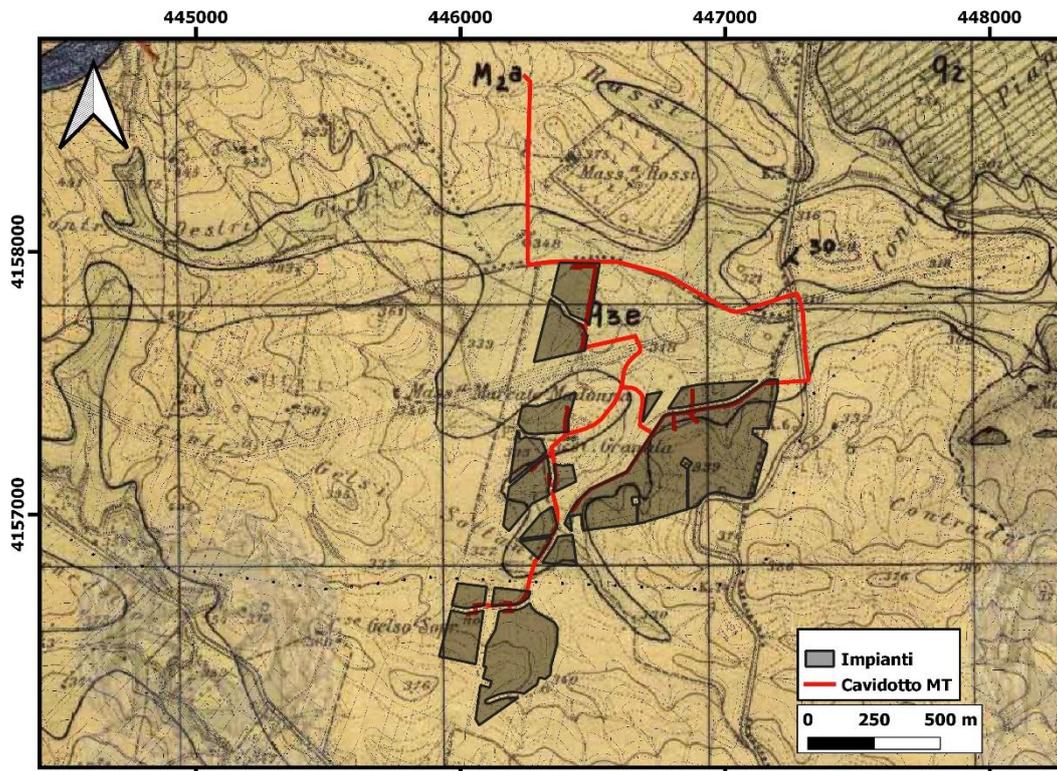


Figura 2: Carta geologica redatta dall'Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici (APAT). La sigla M2A identifica la Formazione di Terravecchia mentre q3e i depositi alluvionali. Coordinate in WGS84 – UTM 33N.

CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE ED IDROGRAFICHE

L'area oggetto di studio è ubicata a Nord-Est del territorio comunale di Enna, all'interno della Valle del Calderari. L'areale che ospiterà gli impianti e le relative opere si presenta prevalentemente sub-pianeggiante con pendenze comprese tra i 5° ed i 10° e si sviluppa in sinistra idrografica dell'omonimo torrente. Le quote topografiche non superano mai i 400 m.s.l.m. Nonostante le blande pendenze le incisioni secondarie ad opera di aste torrentizie, appartenenti al bacino idrografico del Fiume Dittaino, risultano essere più o meno ben sviluppate. (Figura 3).

Nel complesso, l'area è caratterizzata da una facies morfologica la cui configurazione risulta condizionata dal raccordo dei depositi miocenici con i depositi alluvionali oloceni. Laddove sono i primi ad affiorare, la loro natura determina un elevato deflusso superficiale delle acque meteoriche durante gli eventi piovosi di

media ed elevata intensità. Il prevalente ruscellamento delle acque piovane ha permesso lo sviluppo non soltanto di un sistema di drenaggio lineare a carattere prevalentemente torrentizio, ma anche il verificarsi di intensi fenomeni di erosione areale (*sheet erosion*).

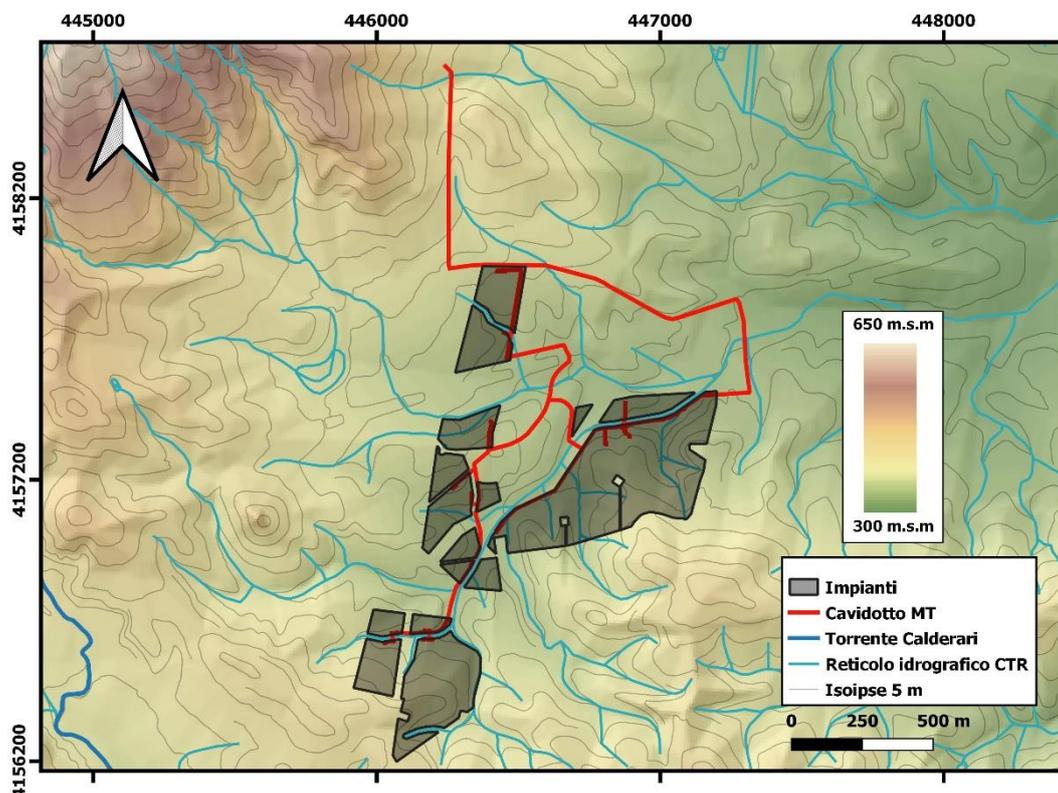


Figura 3: Carta topografica con reticolo idrografico. Coordinate in WGS84 – UTM 33N.

All'atto dei sopralluoghi, la zona esaminata e quelle limitrofe risultavano esenti da fenomeni di dissesto sia superficiale che profondo e nella sua globalità erano in possesso di un buon equilibrio geostatico. Nell'ambito della cartografia del rischio da frana, prodotta per il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico da parte della già citata Autorità di Bacino del Distretto Idrografico della Sicilia, le zone dove dovranno sorgere gli impianti, non risultano essere perimetrare in aree a pericolosità geomorfologica e/o idraulica così come non risultano essere stati individuati, nell'ambito della cartografia IFFI, movimenti franosi. I fenomeni riportati nella cartografia di piano nelle aree circostanti a quelle di interesse fanno riferimento

prevalentemente a fenomeni di dissesto dovuti ad erosione accelerata o a deformazioni superficiali lente (Figura 4).

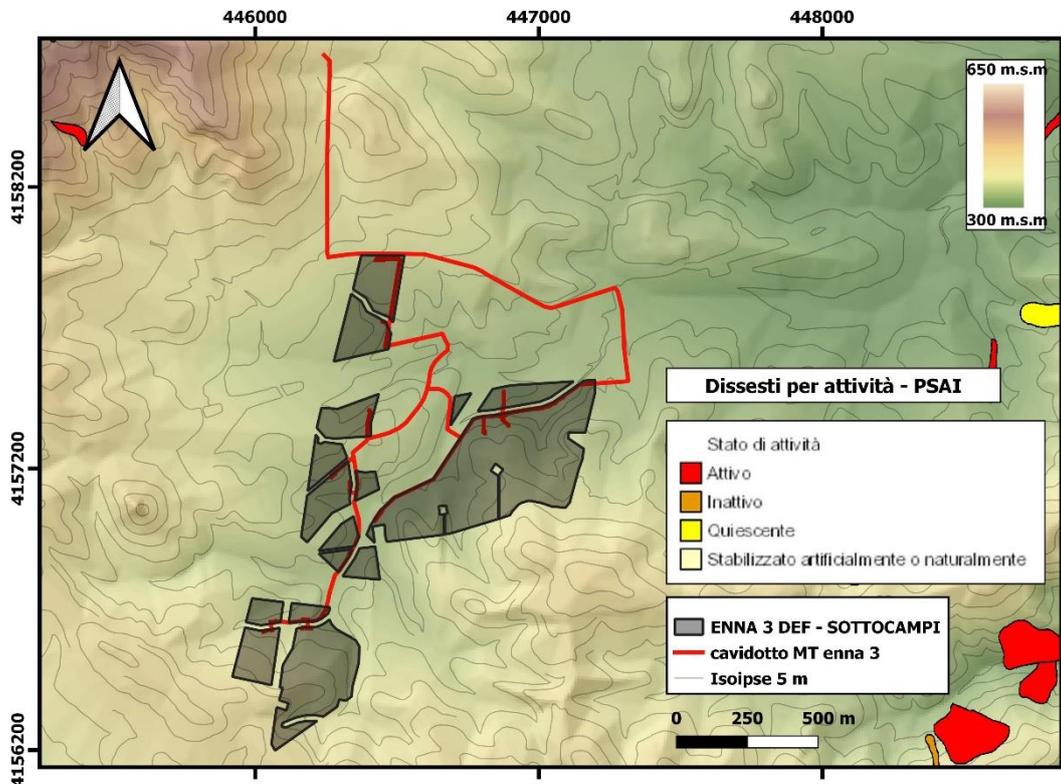


Figura 4: Carta distribuzione dei fenomeni franosi descritti secondo il P.S.A.I. e classificati secondo il livello di attività. Coordinate in WGS84 – UTM 33N.

CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

Laddove il substrato è rappresentato dai terreni marnosi ed argillosi della Formazione di Terravecchia, la loro presenza limita fortemente lo sviluppo di un importante circolazione sotterranea, la quale tende dunque unicamente ad instaurarsi laddove i termini sabbiosi-arenacei della stessa formazione geologica tendono a giustapporsi a quelli argillosi-marnosi. Questi ultimi infatti tendono a fungere da “impermeabile relativo” portando alla creazione di effimeri corpi idrici superficiali intraformazionali di natura stagionale.

In questo contesto il complesso idrogeologico dunque presenta un grado di permeabilità relativa basso e con una tipologia di permeabilità quasi completamente

per porosità. Solo localmente, laddove è preponderante il contenuto marnoso, la permeabilità risulta essere per fratturazione ed assume un livello medio.

Differentemente invece, nelle aree in cui sono i depositi alluvionali ad essere prevalenti, la permeabilità (per porosità) dei terreni assume un grado medio-elevato sebbene l'assetto stratigrafico, e dunque idrogeologico, tipico degli acquiferi alluvionali risulta essere molto variabile sia verticalmente che orizzontalmente in funzione delle matrici dei terreni prevalenti.

VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

Al paragrafo 7.11.3.4 del DM del 17/01/18 viene definita la stabilità del sito di costruzione rispetto alla liquefazione indotta da eventi sismici.

La verifica alla stessa, con riferimento al modello geologico del sottosuolo descritto nel paragrafo successivo ed in assenza di falda, è stata omessa secondo quanto prescritto dalle suddette norme.

INDAGINI IN SITO E MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO

Le analisi eseguite nell'area, con un puntuale rilevamento geologico di trincee geologiche e di affioramenti presenti, con le indagini eseguite, allegati n.1, e con lo studio di carte tematiche e documenti presenti in letteratura scientifico-tecnica hanno permesso di stimare la stratigrafia dei terreni presenti e la loro caratterizzazione geotecnica (Tabella 1 e 2).

Il modello geotecnico relativo ai sottocampi 1 e 2, quello relativo ai sottocampi 3-11-12-13-14-15 e quello relativo ai sottocampi 4-5-6-7-8-9-10 risulta essere differente e dunque sono stati trattati separatamente. Ipotizzando tuttavia per entrambi un piano fondale per lo più superficiale, la concettualizzazione dei suddetti si è basata seguendo un approccio cautelativo ed assumendo come modelli di riferimento quelli tale per cui le indagini penetrometriche hanno registrato i valori più scadenti.

Ciononostante, con riferimento alla Figure 1 e 2, considerato che i sottocampi 4, 5, 10 e 11 sorgeranno in aree di raccordo tra i depositi miocenici e quelli alluvionali e considerato inoltre la variabilità stratigrafica e dunque geotecnica che potrebbe riscontrarsi all'interno dello stesso sottocampo, previo consulto con il progettista, in

fase di progettazione esecutiva sarebbe opportuno realizzare ulteriori indagini al fine di concettualizzare modelli geotecnici più robusti.

Tabella 1: Modello geotecnico ipotizzato relativo ai sottocampi 1-2.

n°	H1	H2	NATURA INCOERENTE			NATURA COESIVA			Litologia					
			Nspt	Vs	G	Dr	ϕ'	Ed		Ysat	Y	Cu	Ed	Ysat
1	0,00	1,00	6	82	-	59	21	40	1,89	1,82	0,26	65	1,89	Terreno agrario e coltre detritica
2	1,00	6,40	11	137	-	57	26	49	2,14	1,97	0,70	108	2,14	Limo sabbioso con intercalazioni ghiaiose

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

DR % = densità relativa ϕ' (°) = angolo di attrito efficace Ed (kg/cm²) = modulo edometrico
 Cu (kg/cm²) = coesione non drenata Ysat, Y (t/m³) = peso di volume saturo e naturale (rispettivamente) del terreno
 Vs (m/sec) = Velocità onde di taglio G (kg/cm²) = Modulo di taglio dinamico

Tabella 2: Modello geotecnico ipotizzato relativo ai sottocampi 4-5-6-7-8-9-10.

n°	H1	H2	NATURA INCOERENTE			NATURA COESIVA			Litologia					
			Nspt	Vs	G	Dr	ϕ'	Ed		Ysat	Y	Cu	Ed	Ysat
1	0,00	3,60	5	102	-	48	20	-	1,88	1,77	0,33	55	1,88	Limo debolmente argilloso
2	3,60	7,40	14	150	-	-	23	-	2,12	1,93	0,69	145	2,12	Limo Argilloso

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

DR % = densità relativa ϕ' (°) = angolo di attrito efficace Ed (kg/cm²) = modulo edometrico
 Cu (kg/cm²) = coesione non drenata Ysat, Y (t/m³) = peso di volume saturo e naturale (rispettivamente) del terreno
 Vs (m/sec) = Velocità onde di taglio G (kg/cm²) = Modulo di taglio dinamico

Tabella 3: Modello geotecnico ipotizzato relativo ai sottocampi 3-11-12-13-14-15.

n°	H1	H2	NATURA INCOERENTE			NATURA COESIVA			Litologia					
			Nspt	Vs	G	Dr	ϕ'	Ed		Ysat	Y	Cu	Ed	Ysat
1	0,00	0,80	2	62	-	29	17	-	1,85	1,62	0,09	17	1,85	Terreno agrario e coltre detritica
2	0,80	7,40	12	134	-	-	23	-	2,11	1,94	0,74	121	2,11	Limo Argilloso

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

DR % = densità relativa ϕ' (°) = angolo di attrito efficace Ed (kg/cm²) = modulo edometrico
 Cu (kg/cm²) = coesione non drenata Ysat, Y (t/m³) = peso di volume saturo e naturale (rispettivamente) del terreno
 Vs (m/sec) = Velocità onde di taglio G (kg/cm²) = Modulo di taglio dinamico

MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO COSTRUZIONE

Per la modellazione sismica del sito di costruzione è stata effettuata n.1 prospezione sismica di tipo M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh).

La tecnica MASW è attendibile fino a profondità pari alla metà della lunghezza dello stendimento effettuato ed ha permesso di individuare il profilo di velocità delle onde

di taglio orizzontali V_s fino allo spessore del substrato sismico e di classificare sismicamente il suolo secondo la normativa vigente (D.M. 17 gennaio 2018).

Gli elaborati relativi alle prove effettuate sono riportati nell'allegato n.2.

INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI

Le indagini sismiche effettuate, considerando il sito di interesse in Categoria topografica T1 (superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$), hanno fornito risultati che collocano i terreni oggetto d'indagine in **categoria C** del D.M. 17 Gennaio 2018. La $V_{s,eq}$ è risultata essere pari a **296 m/s**.

Questo valore è stato ricavato, come da normativa, dalla relazione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

Dove h_i e $V_{s,i}$ indicano rispettivamente lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo per un totale di N strati presenti fino alla profondità del substrato (H) al di sotto del piano fondale. Substrato è definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

In Tabella 3 è riportata la schematizzazione geosismica del sito.

Tabella 4: Profilo verticale 1D delle VS dei dati da tecniche MASW.

Profondità di base sismostrato (m)	V_s (m/s)
1,3	85
3,2	105
30	394

In Figura 5 è riportato il profilo di velocità delle onde di taglio. I dati sono stati confrontati con indagini geognostiche puntuali.

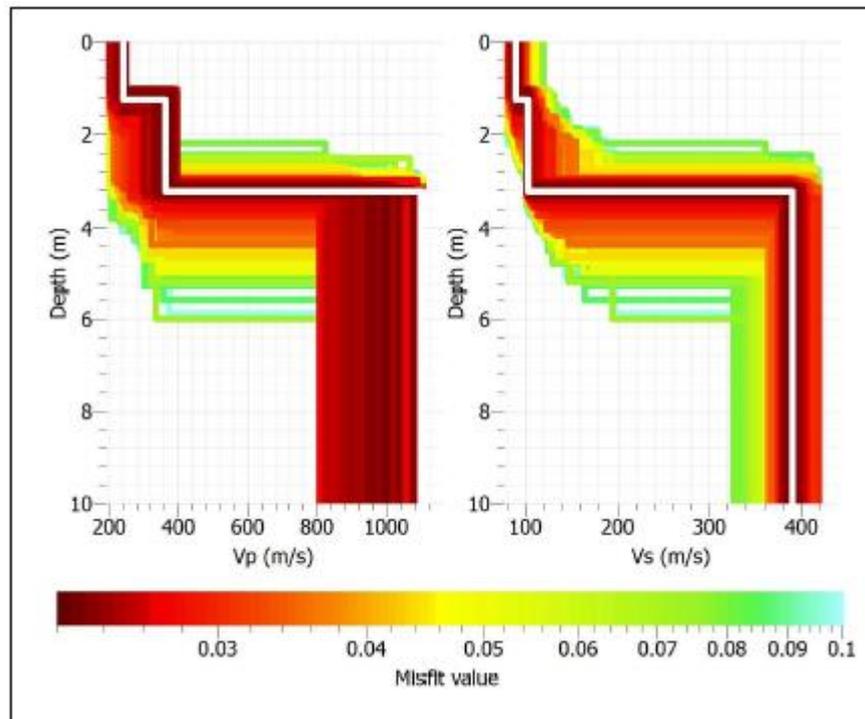


Figura 5: andamento delle Vp e delle Vs in funzione della profondità. In bianco il modello con la migliore attendibilità.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, il D.M. 17 Gennaio 2018 definisce 5 categorie di profilo stratigrafici del suolo di fondazioni. Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle NTC 2018.

In Figura 6 vengono riportate le categorie dei suoli di fondazione espresse nel suddetto decreto.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Figura 6: Tabella suoli di fondazione secondo D.M. 17 Gennaio 2018.

SISMICITA' DELL'AREA

Con il Decreto del Dirigente generale del DRPC Sicilia 11 marzo 2022, n. 64 è stata resa esecutiva la nuova classificazione sismica dei Comuni della Regione Siciliana, redatta con i criteri dell'Ordinanza PCM 28 aprile 2006, n. 3519, la cui proposta è stata condivisa dalla Giunta Regionale con la Deliberazione 24 febbraio 2022, n. 81. A seguito di tale riclassificazione il territorio comunale di **Enna** è stato classificato in **zona sismica 2** con valore di accelerazione orizzontale massima (a_g) pari a 0.25g (Figura 7).

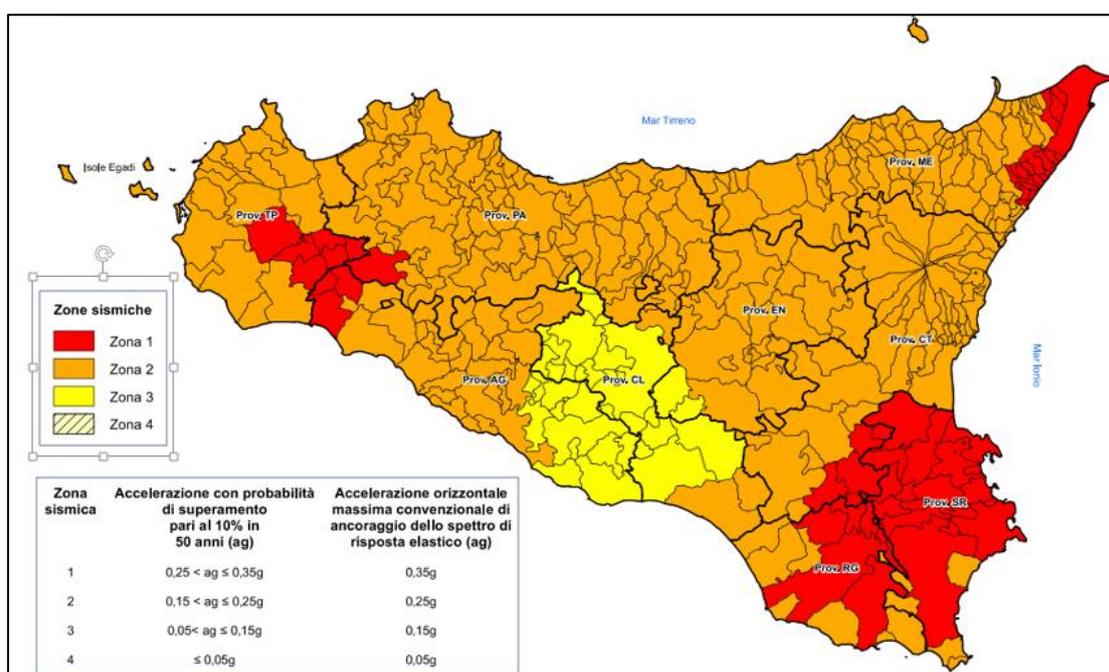


Figura 7: Classificazione sismica del 2022 dei comuni della Regione Sicilia.

Invece, la mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica disponibile on-line sul sito dell'INGV di Milano (Figura 8), redatta secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17/01/2018), indica che l'area di interesse rientra nelle celle contraddistinte da valori di a_g di riferimento da un minimo di 0.075g ad un massimo di 0.100g.

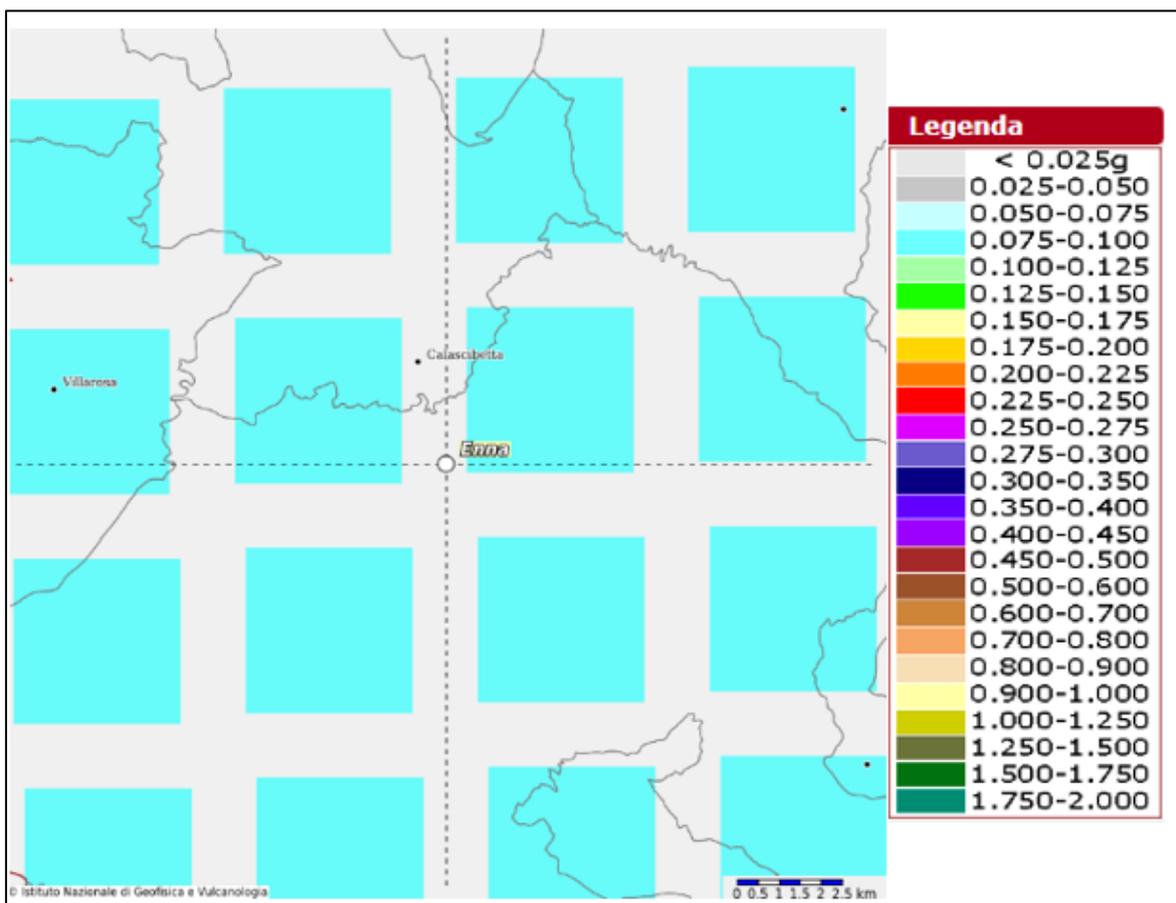


Figura 8: mappa della pericolosità sismica redatta dall'INGV di Milano secondo le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17/01/2018); punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 5%; percentile 50.

CONCLUSIONI

Considerata l'estensione areale delle opere di progetto, un quadro senza dubbio più robusto del modello geologico e geotecnico del sottosuolo è possibile realizzarlo solo attraverso ulteriori indagini geognostiche e sismiche.

Quanto detto trova pieno riscontro se consideriamo che i sottocampi 4, 5, 10 e 11 sorgeranno in aree di raccordo tra i depositi miocenici e quelli alluvionali. Considerata la variabilità stratigrafica, nonché geotecnica, che potrebbe riscontrarsi tra i terreni all'interno dello stesso sottocampo, in fase di progettazione esecutiva sarebbe opportuno realizzare ulteriori indagini al fine di concettualizzare modelli geotecnici più robusti.

Tuttavia, i dati tecnici proposti nei paragrafi precedenti risultano essere sufficienti per dipingere un primo quadro descrittivo utile ai fini progettuali.

In virtù di quanto sino ad ora detto è possibile affermare che, allo stato attuale delle conoscenze, non sussistono particolari problemi geologici.

Al netto delle prescrizioni riportate, il progetto nel suo complesso risulta pienamente fattibile e compatibile dal punto di vista geologico ed idrogeologico con le attuali condizioni del territorio in cui andrà a collocarsi.

Tanto dovevasi per incarico ricevuto.

Atripalda (AV), Novembre 2022

il geologo

Dott. Geol. Davide Mazza

445400

Allegato 1

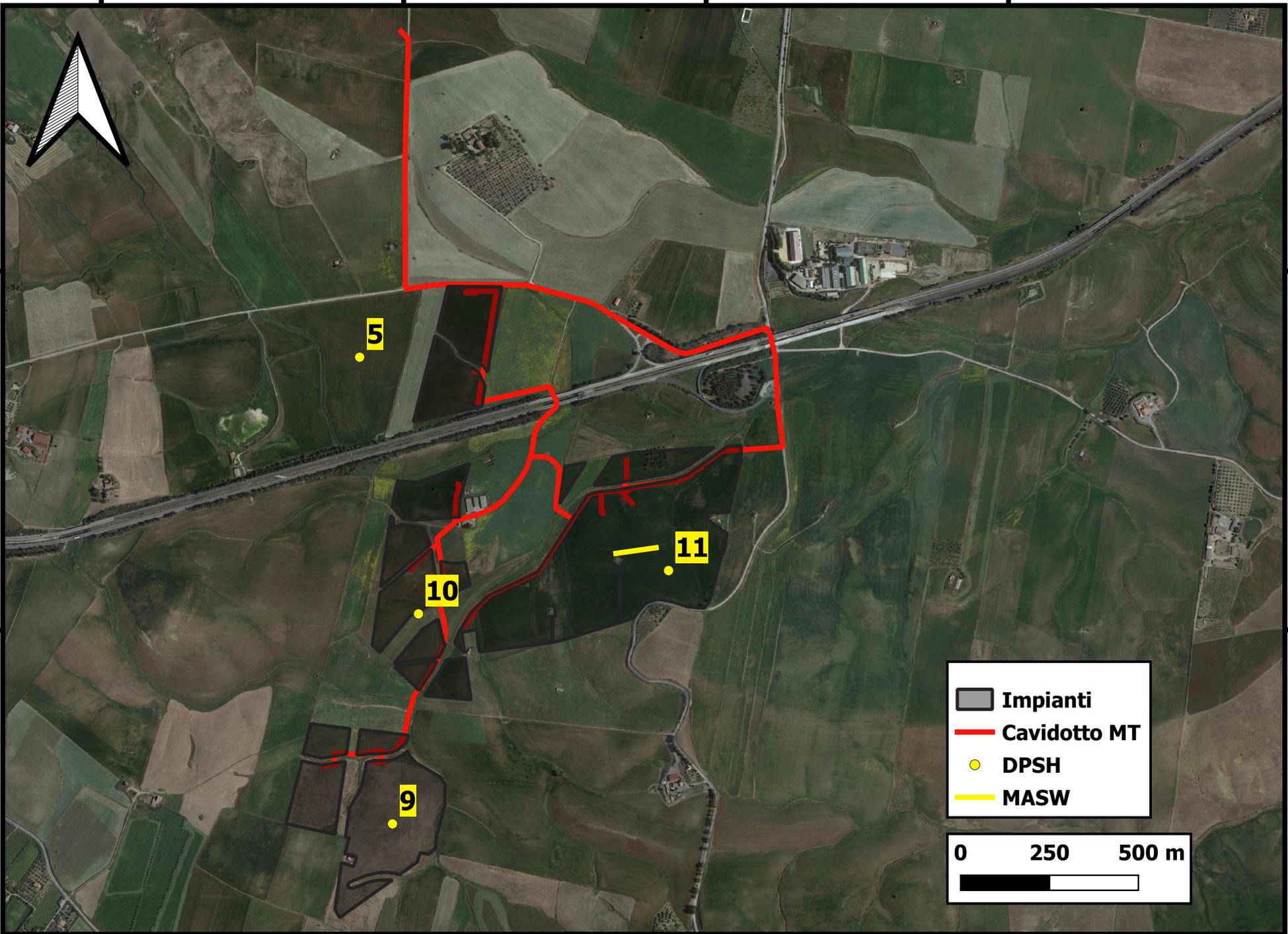
446250

447100

447950

4158000

4157000



-  Impianti
-  Cavidotto MT
-  DPSH
-  MASW



WGS 84 - UTM 33 N



Autorizzato ai sensi del DPR 06/06/01 n. 380 art. 59 - n. prot. 5594 del 25/06/2010

OGGETTO DEI LAVORI

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO DI POTENZA PARI A 36,77 MW DA REALIZZARSI NEL COMUNE DI ENNA (EN), ALLA LOCALITÀ MULINELLO, DENOMINATO ENNA 3

COMMITTENTE

FDGL s.r.l.

RAPPORTO DI PROVA 224-226 2022

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH



Il tecnico
Dott. Geol. Antonio Ardagna



Il tecnico
Dott. Geol. Antonio Mendolia

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE
(DYNAMIC PROBING)
DPSH – DPM (... sept ecc.)

Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di “catalogare e parametrizzare” il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M
- altezza libera caduta H
- punta conica: diametro base cono D , area base A (angolo di apertura α)
- avanzamento (penetrazione) δ
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL)
- tipo MEDIO (DPM)
- tipo PESANTE (DPH)
- tipo SUPERPESANTE (DPSH)

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof.max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
 massa battente $M = 30$ kg, altezza di caduta $H = 0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica

($\alpha=60-90^\circ$), diametro D 35.7 mm, area base cono $A=10 \text{ cm}^2$ rivestimento / fango bentonitico :
talora previsto;

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
massa battente $M = 20 \text{ kg}$, altezza di caduta $H=0.20 \text{ m}$, avanzamento $\delta = 10 \text{ cm}$, punta conica
($\alpha= 60-90^\circ$), diametro D 35.7 mm, area base cono $A=10 \text{ cm}^2$ rivestimento / fango bentonitico :

talora previsto;

- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)
massa battente $M = 73 \text{ kg}$, altezza di caduta $H=0.75 \text{ m}$, avanzamento $\delta=30 \text{ cm}$, punta conica
($\alpha = 60^\circ$),
diametro D = 50.8 mm, area base cono $A=20.27 \text{ cm}^2$ rivestimento: previsto secondo precise
indicazioni;

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)
massa battente $M=63.5 \text{ kg}$, altezza caduta $H=0.75 \text{ m}$, avanzamento $\delta=20-30 \text{ cm}$, punta conica
conica ($\alpha =$
 $60^\circ-90^\circ$) diametro D = 50.5 mm, area base cono $A = 20 \text{ cm}^2$, rivestimento / fango bentonitico :
talora previsto.

Correlazione con N_{spt}

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_{spt} ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{spt} . Il passaggio viene dato da:

$$N_{spt} = \beta_t N$$

Dove:

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

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{spt} 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;

δ = passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd}

Formula Olandese

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

R_{pd} = resistenza dinamica punta (area A);

- e = infissione media per colpo (δ/N);
 M = peso massa battente (altezza caduta H);
 P = peso totale aste e sistema battuta.

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 delle 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.

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 mt. ed immersione $d = 1$ mt..

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

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 mt.; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 mt. per terreni sopra falda e < 8 mt. 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 mt. sopra falda e < 7 mt. per terreni in falda) $\sigma > 5$ 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 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.

Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONAL 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 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.

Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt.

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 Gamma

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

Peso di volume saturo

- Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948-1967. Correlazione valida per peso specifico del materiale pari a circa $\gamma = 2,65$ t/mc e per peso di volume secco variabile da 1,33 (Nspt = 0) a 1,99 (Nspt = 95)

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 τ 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/sec)

- 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 Nspt <8 , argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.

Terzaghi-Peck (1948). *Cu 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 , (Cu-Nspt-grado di plasticità).

Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con $N_c=20$ e $Q_c/N_{spt}=2$.

Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .

Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata Cu (Kg/cmq), 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/cmq)-, 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_Y)

- 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

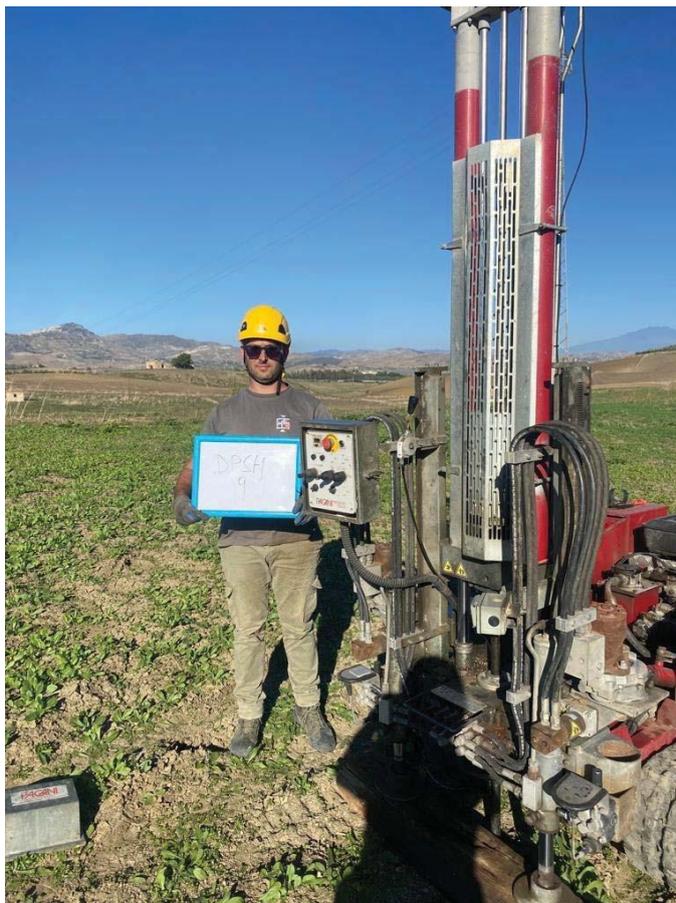
Peso di Volume Gamma

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

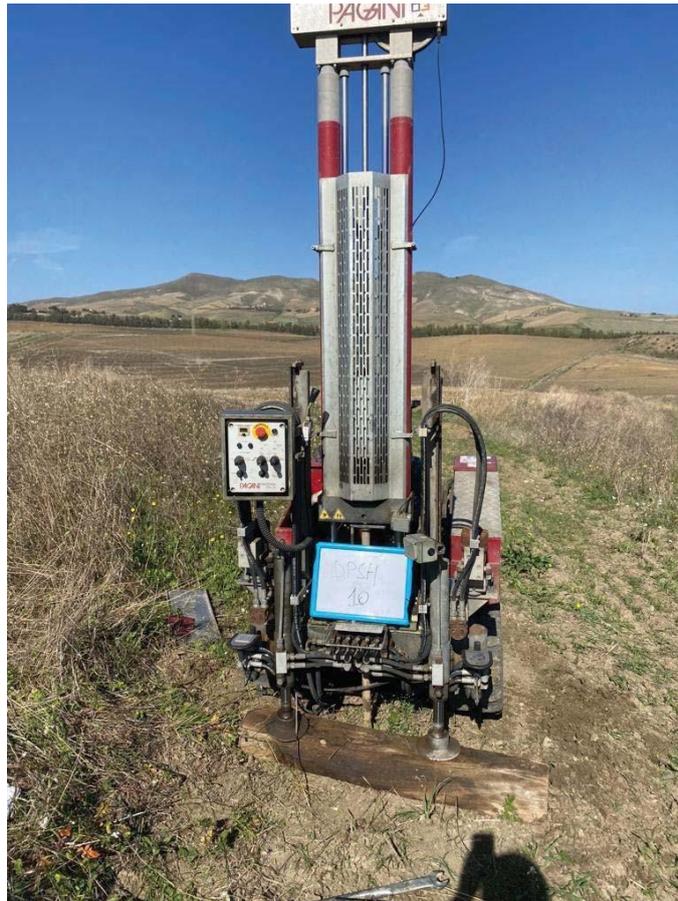
Peso di volume saturo

- Correlazione Bowles (1982), Terzaghi-Peck (1948-1967), valida per condizioni specifiche: peso specifico del materiale pari a circa $G=2,70$ (t/mc) e per indici dei vuoti variabili da 1,833 ($N_{spt}=0$) a 0,545 ($N_{spt}=28$)

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



DPSH_09



DPSH_10

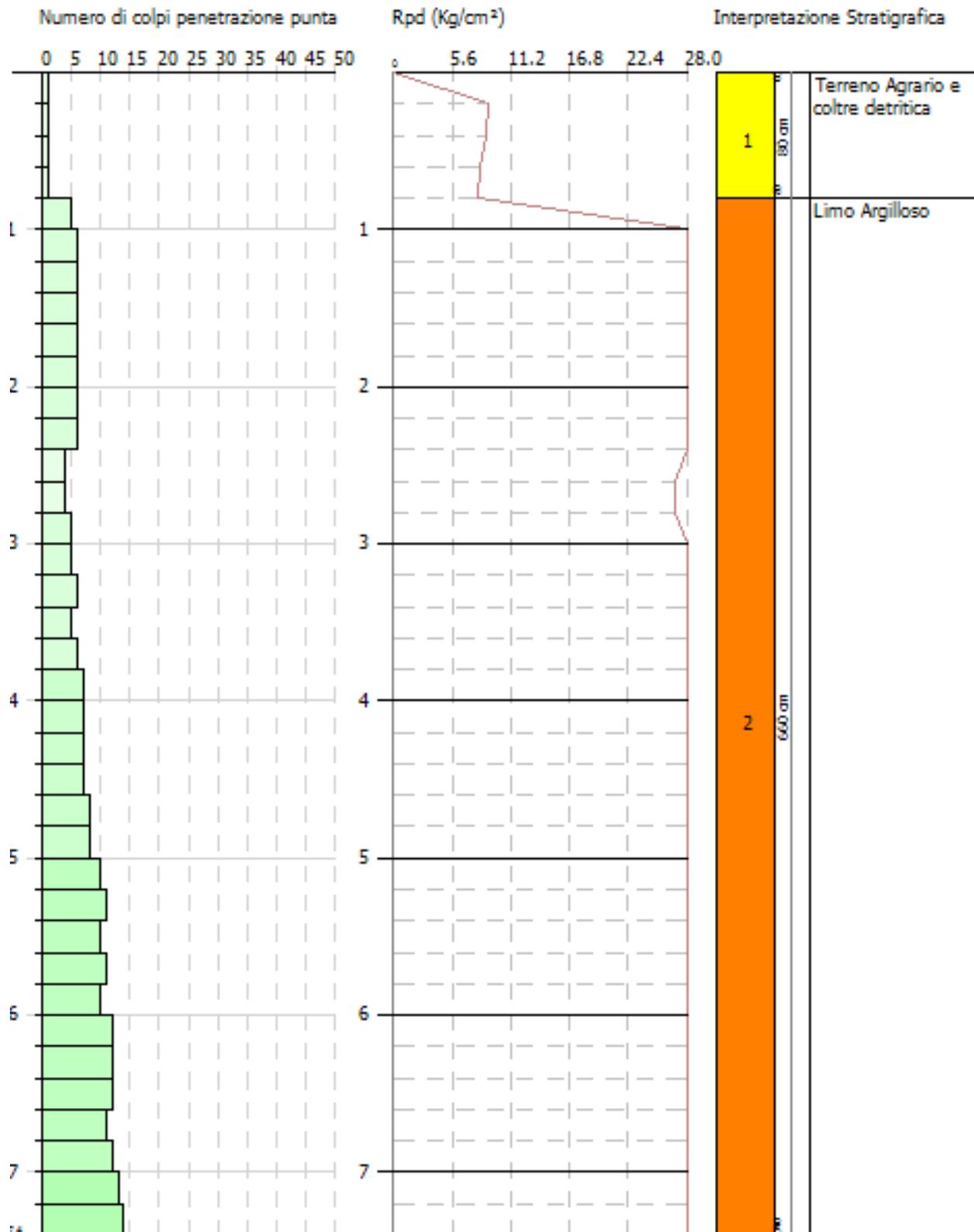


DPSH_11

Committente:
 Descrizione:
 Localita':

24/11/2022

Scala 1:37



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH_09-**ENNA 3**

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	1.47	0.00-0.80	Terzaghi-Peck	0.09
Strato (2) Limo Argilloso	11.76	0.80-7.40	Terzaghi-Peck	0.74

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	1.47	0.00-0.80	Robertson (1983)	2.94
Strato (2) Limo Argilloso	11.76	0.80-7.40	Robertson (1983)	23.52

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	1.47	0.00-0.80	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	16.79
Strato (2) Limo Argilloso	11.76	0.80-7.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	121.74

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	1.47	0.00-0.80	Apollonia	14.70
Strato (2) Limo Argilloso	11.76	0.80-7.40	Apollonia	117.60

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	1.47	0.00-0.80	A.G.I. (1977)	PRIVO DI CONSISTENZA
Strato (2)	11.76	0.80-7.40	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Limo Argilloso				
----------------	--	--	--	--

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (t/m ³)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	1.47	0.00-0.80	Meyerhof	1.62
Strato (2) Limo Argilloso	11.76	0.80-7.40	Meyerhof	1.94

Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (t/m ³)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	1.47	0.00-0.80	Meyerhof	1.85
Strato (2) Limo Argilloso	11.76	0.80-7.40	Meyerhof	2.11

Velocita' onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	1.47	0.00-0.80	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	61.27
Strato (2) Limo Argilloso	11.76	0.80-7.40	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	137.58

TERRENI INCOERENTI

Densita' relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densita' relativa (%)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	1.47	0.00-0.80	1.47	Meyerhof 1957	29.19
Strato (2) Limo Argilloso	11.76	0.80-7.40	11.76	Meyerhof 1957	59.1

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	1.47	0.00-0.80	1.47	Meyerhof (1956)	16.42
Strato (2) Limo Argilloso	11.76	0.80-7.40	11.76	Meyerhof (1956)	23.06

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	1.47	0.00-0.80	1.47	Bowles (1982) Sabbia Media	---
Strato (2) Limo Argilloso	11.76	0.80-7.40	11.76	Bowles (1982) Sabbia Media	133.80

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	1.47	0.00-0.80	1.47	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	30.48
Strato (2) Limo Argilloso	11.76	0.80-7.40	11.76	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	51.62

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	1.47	0.00-0.80	1.47	Classificazione A.G.I	SCIOLTO
Strato (2) Limo Argilloso	11.76	0.80-7.40	11.76	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	1.47	0.00-0.80	1.47	(A.G.I.)	0.35
Strato (2) Limo Argilloso	11.76	0.80-7.40	11.76	(A.G.I.)	0.33

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	1.47	0.00-0.80	1.47	Ohsaki (Sabbie pulite)	93.37
Strato (2) Limo Argilloso	11.76	0.80-7.40	11.76	Ohsaki (Sabbie pulite)	659.32

Velocita' onde di taglio

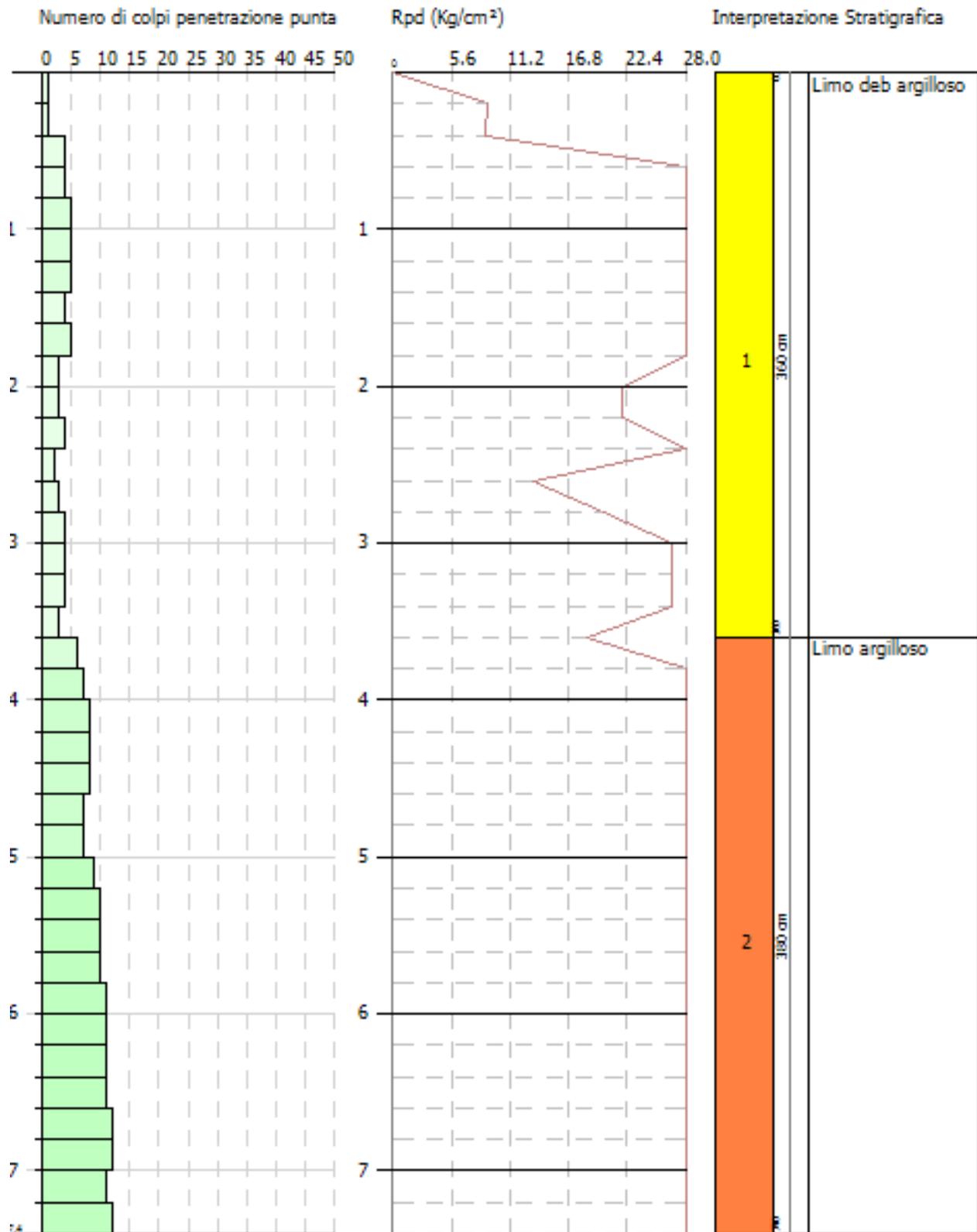
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	1.47	0.00-0.80	1.47	Ohta & Goto (1978) Limi	61.27
Strato (2) Limo Argilloso	11.76	0.80-7.40	11.76	Ohta & Goto (1978) Limi	137.58

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	1.47	0.00-0.80	1.47	Navfac 1971-1982	0.14
Strato (2) Limo Argilloso	11.76	0.80-7.40	11.76	Navfac 1971-1982	2.47

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	1.47	0.00-0.80	1.47	Robertson 1983	2.94
Strato (2) Limo Argilloso	11.76	0.80-7.40	11.76	Robertson 1983	23.52



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH_10- **ENNA 3**

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (1) Limo deb argilloso	5.23	0.00-3.60	Terzaghi-Peck	0.33
Strato (2) Limo argilloso	14.01	3.60-7.40	Terzaghi-Peck	0.69

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) Limo deb argilloso	5.23	0.00-3.60	Robertson (1983)	10.46
Strato (2) Limo argilloso	14.01	3.60-7.40	Robertson (1983)	28.02

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) Limo deb argilloso	5.23	0.00-3.60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	55.14
Strato (2) Limo argilloso	14.01	3.60-7.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	144.69

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) Limo deb argilloso	5.23	0.00-3.60	Apollonia	52.30
Strato (2) Limo argilloso	14.01	3.60-7.40	Apollonia	140.10

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) Limo deb argilloso	5.23	0.00-3.60	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Strato (2) Limo argilloso	14.01	3.60-7.40	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (t/m ³)
Strato (1) Limo deb argilloso	5.23	0.00-3.60	Meyerhof	1.77
Strato (2) Limo argilloso	14.01	3.60-7.40	Meyerhof	1.93

Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (t/m ³)
Strato (1) Limo deb argilloso	5.23	0.00-3.60	Meyerhof	1.88
Strato (2) Limo argilloso	14.01	3.60-7.40	Meyerhof	2.12

Velocita' onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
Strato (1) Limo deb argilloso	5.23	0.00-3.60	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	102.02
Strato (2) Limo argilloso	14.01	3.60-7.40	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	150.09

TERRENI INCOERENTI

Densita' relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densita' relativa (%)
Strato (1) Limo deb argilloso	5.23	0.00-3.60	5.23	Meyerhof 1957	47.58
Strato (2) Limo argilloso	14.01	3.60-7.40	14.01	Meyerhof 1957	59.82

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Limo deb argilloso	5.23	0.00-3.60	5.23	Meyerhof (1956)	19.69
Strato (2) Limo argilloso	14.01	3.60-7.40	14.01	Meyerhof (1956)	23.0

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (1) Limo deb argilloso	5.23	0.00-3.60	5.23	Bowles (1982) Sabbia Media	---
Strato (2) Limo argilloso	14.01	3.60-7.40	14.01	Bowles (1982) Sabbia Media	145.05

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (1) Limo deb argilloso	5.23	0.00-3.60	5.23	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	38.21
Strato (2) Limo argilloso	14.01	3.60-7.40	14.01	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	56.24

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) Limo deb argilloso	5.23	0.00-3.60	5.23	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (2) Limo argilloso	14.01	3.60-7.40	14.01	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) Limo deb argilloso	5.23	0.00-3.60	5.23	(A.G.I.)	0.34
Strato (2) Limo argilloso	14.01	3.60-7.40	14.01	(A.G.I.)	0.33

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (1) Limo deb argilloso	5.23	0.00-3.60	5.23	Ohsaki (Sabbie pulite)	307.83
Strato (2) Limo argilloso	14.01	3.60-7.40	14.01	Ohsaki (Sabbie pulite)	777.26

Velocita' onde di taglio

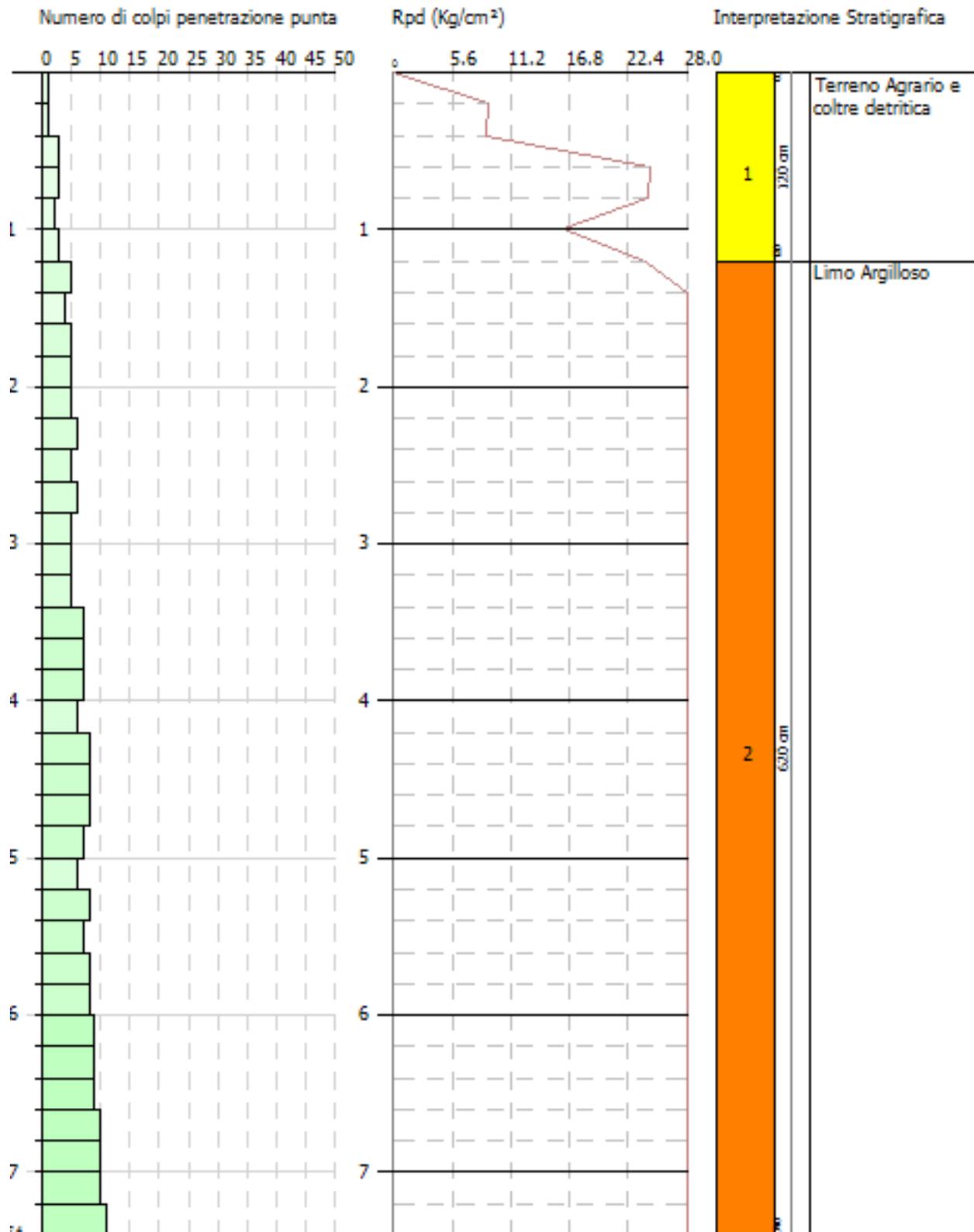
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
Strato (1) Limo deb argilloso	5.23	0.00-3.60	5.23	Ohta & Goto (1978) Limi	102.02
Strato (2) Limo argilloso	14.01	3.60-7.40	14.01	Ohta & Goto (1978) Limi	150.09

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (1) Limo deb argilloso	5.23	0.00-3.60	5.23	Navfac 1971-1982	1.04
Strato (2) Limo argilloso	14.01	3.60-7.40	14.01	Navfac 1971-1982	2.93

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) Limo deb argilloso	5.23	0.00-3.60	5.23	Robertson 1983	10.46
Strato (2) Limo argilloso	14.01	3.60-7.40	14.01	Robertson 1983	28.02



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH_11- **ENNA 3**

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	3.19	0.00-1.20	Terzaghi-Peck	0.20
Strato (2) Limo Argilloso	10.38	1.20-7.40	Terzaghi-Peck	0.70

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	3.19	0.00-1.20	Robertson (1983)	6.38
Strato (2) Limo Argilloso	10.38	1.20-7.40	Robertson (1983)	20.76

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	3.19	0.00-1.20	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	34.33
Strato (2) Limo Argilloso	10.38	1.20-7.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	107.66

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	3.19	0.00-1.20	Apollonia	31.90
Strato (2) Limo Argilloso	10.38	1.20-7.40	Apollonia	103.80

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	3.19	0.00-1.20	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (2) Limo Argilloso	10.38	1.20-7.40	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (t/m ³)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	3.19	0.00-1.20	Meyerhof	1.67
Strato (2) Limo Argilloso	10.38	1.20-7.40	Meyerhof	1.93

Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (t/m ³)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	3.19	0.00-1.20	Meyerhof	1.86
Strato (2) Limo Argilloso	10.38	1.20-7.40	Meyerhof	2.11

Velocita' onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	3.19	0.00-1.20	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	75.76
Strato (2) Limo Argilloso	10.38	1.20-7.40	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	135.89

TERRENI INCOERENTI

Densita' relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densita' relativa (%)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	3.19	0.00-1.20	3.19	Meyerhof 1957	41.96
Strato (2) Limo Argilloso	10.38	1.20-7.40	10.38	Meyerhof 1957	55.03

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	3.19	0.00-1.20	3.19	Meyerhof (1956)	19.31
Strato (2) Limo Argilloso	10.38	1.20-7.40	10.38	Meyerhof (1956)	22.67

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	3.19	0.00-1.20	3.19	Bowles (1982) Sabbia Media	---
Strato (2) Limo Argilloso	10.38	1.20-7.40	10.38	Bowles (1982) Sabbia Media	126.90

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	3.19	0.00-1.20	3.19	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	34.02
Strato (2) Limo Argilloso	10.38	1.20-7.40	10.38	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	48.79

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	3.19	0.00-1.20	3.19	Classificazione A.G.I	SCIOLTO
Strato (2) Limo Argilloso	10.38	1.20-7.40	10.38	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	3.19	0.00-1.20	3.19	(A.G.I.)	0.35
Strato (2) Limo Argilloso	10.38	1.20-7.40	10.38	(A.G.I.)	0.33

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	3.19	0.00-1.20	3.19	Ohsaki (Sabbie pulite)	193.41
Strato (2) Limo Argilloso	10.38	1.20-7.40	10.38	Ohsaki (Sabbie pulite)	586.33

Velocita' onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	3.19	0.00-1.20	3.19	Ohta & Goto (1978) Limi	75.76
Strato (2) Limo Argilloso	10.38	1.20-7.40	10.38	Ohta & Goto (1978) Limi	135.89

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	3.19	0.00-1.20	3.19	Navfac 1971-1982	0.56
Strato (2) Limo Argilloso	10.38	1.20-7.40	10.38	Navfac 1971-1982	2.18

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	3.19	0.00-1.20	3.19	Robertson 1983	6.38
Strato (2) Limo Argilloso	10.38	1.20-7.40	10.38	Robertson 1983	20.76

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH_05-ENNA 2

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	6.17	0.00-1.00	Terzaghi-Peck	0.26
Strato (2) Limo Sabbioso con intercalazioni Ghiaiose	10.35	1.00-6.40	Terzaghi-Peck	0.70

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	6.17	0.00-1.00	Robertson (1983)	12.34
Strato (2) Limo Sabbioso con intercalazioni Ghiaiose	10.35	1.00-6.40	Robertson (1983)	20.70

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	6.17	0.00-1.00	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	64.72
Strato (2) Limo Sabbioso con intercalazioni Ghiaiose	10.35	1.00-6.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	107.36

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	6.17	0.00-1.00	Apollonia	61.70
Strato (2) Limo Sabbioso con intercalazioni Ghiaiose	10.35	1.00-6.40	Apollonia	103.50

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	6.17	0.00-1.00	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Strato (2) Limo Sabbioso con intercalazioni Ghiaiose	10.35	1.00-6.40	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (t/m ³)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	6.17	0.00-1.00	Meyerhof	1.82
Strato (2) Limo Sabbioso con intercalazioni Ghiaiose	10.35	1.00-6.40	Meyerhof	1.97

Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (t/m ³)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	6.17	0.00-1.00	Meyerhof	1.89
Strato (2) Limo Sabbioso con intercalazioni Ghiaiose	10.35	1.00-6.40	Meyerhof	2.14

Velocita' onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	6.17	0.00-1.00	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	81.99
Strato (2) Limo Sabbioso con intercalazioni Ghiaiose	10.35	1.00-6.40	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	131.94

TERRENI INCOERENTI

Densita' relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densita' relativa (%)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	6.17	0.00-1.00	6.17	Meyerhof 1957	58.65
Strato (2) Limo Sabbioso con intercalazioni Ghiaiose	10.35	1.00-6.40	10.35	Meyerhof 1957	56.76

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	6.17	0.00-1.00	6.17	Meyerhof (1965)	20.99
Strato (2) Limo Sabbioso con intercalazioni Ghiaiose	10.35	1.00-6.40	10.35	Meyerhof (1965)	25.96

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	6.17	0.00-1.00	6.17	Bowles (1982) Sabbia Media	---
Strato (2) Limo Sabbioso con intercalazioni Ghiaiose	10.35	1.00-6.40	10.35	Bowles (1982) Sabbia Media	126.75

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	6.17	0.00-1.00	6.17	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	40.14
Strato (2) Limo Sabbioso con	10.35	1.00-6.40	10.35	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	48.72

intercalazioni Ghiaiose					
-------------------------	--	--	--	--	--

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	6.17	0.00-1.00	6.17	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (2) Limo Sabbioso con intercalazioni Ghiaiose	10.35	1.00-6.40	10.35	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	6.17	0.00-1.00	6.17	(A.G.I.)	0.34
Strato (2) Limo Sabbioso con intercalazioni Ghiaiose	10.35	1.00-6.40	10.35	(A.G.I.)	0.33

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	6.17	0.00-1.00	6.17	Ohsaki (Sabbie pulite)	359.57
Strato (2) Limo Sabbioso con intercalazioni Ghiaiose	10.35	1.00-6.40	10.35	Ohsaki (Sabbie pulite)	584.73

Velocita' onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	6.17	0.00-1.00	6.17	Ohta & Goto (1978) Limi	81.99
Strato (2) Limo Sabbioso	10.35	1.00-6.40	10.35	Ohta & Goto (1978) Limi	131.94

con intercalazioni Ghiaiose					
-----------------------------------	--	--	--	--	--

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	6.17	0.00-1.00	6.17	Navfac 1971-1982	1.26
Strato (2) Limo Sabbioso con intercalazioni Ghiaiose	10.35	1.00-6.40	10.35	Navfac 1971-1982	2.18

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) Terreno Agrario e coltre detritica	6.17	0.00-1.00	6.17	Robertson 1983	12.34
Strato (2) Limo Sabbioso con intercalazioni Ghiaiose	10.35	1.00-6.40	10.35	Robertson 1983	20.70



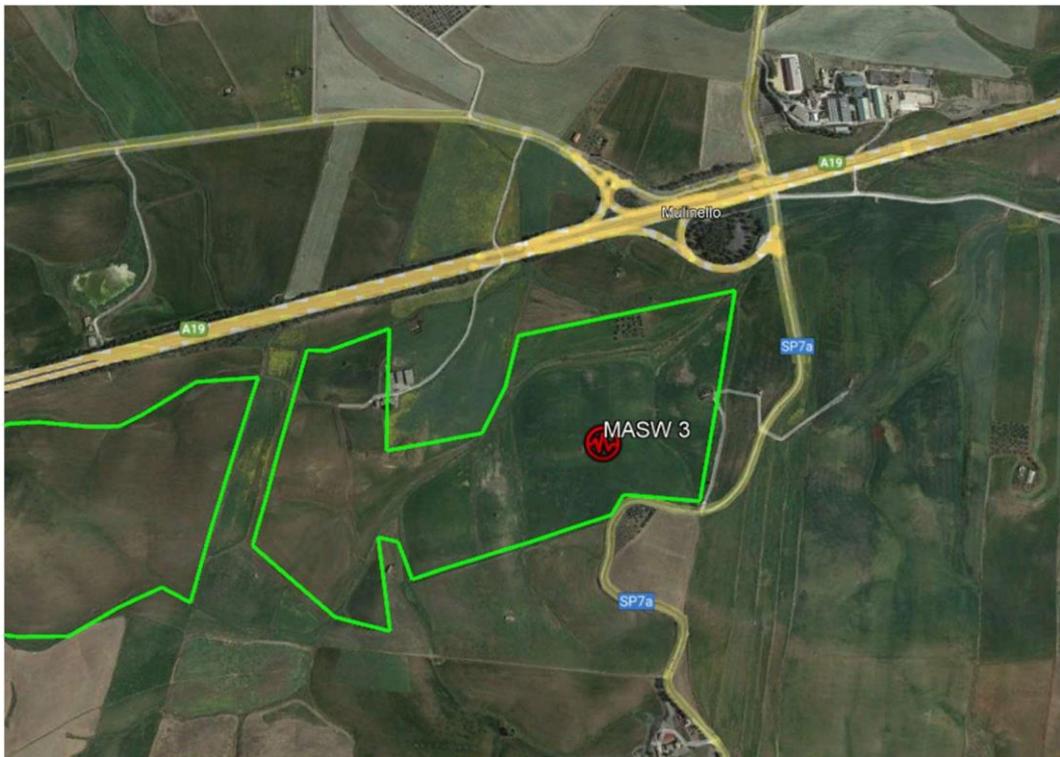
Allegato 3

Elaborato	RAPPORTO TECNICO MASW
Ubicazione	Località Mulinello, Enna (EN),
Oggetto	Progetto per la realizzazione di un impianto agrovoltaico di potenza pari a 36,77 MW denominato ENNA 3

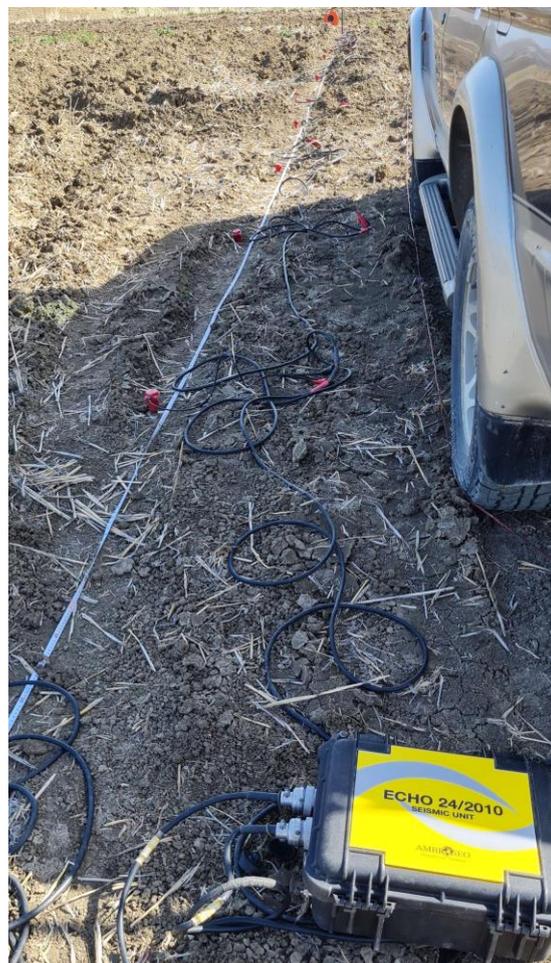
Il responsabile delle indagini:





Ubicazione MASW



Documentazione Fotografica

Indice

Premessa

Il metodo MASW

Strumentazione e parametri di acquisizione

Software di elaborazione ed analisi

Dati sperimentali

interpretazione dati sperimentali

Calcolo della V_{eq} delle onde

S e calcolo parametri Elastici

1. PREMESSA

Lo scopo dell'indagine MASW è ricostruire, per il sito di progetto, un modello monodimensionale di velocità delle onde S, al fine di stimare gli effetti sismici di sito e definire l'azione sismica di progetto. Il modello di velocità delle onde S consente infatti di conoscere l'incidenza delle locali condizioni topografiche e stratigrafiche e correggere la pericolosità sismica di base (O.P.C.M. 3274 e s.m.i; D.M. 14.09.2005; D.M. 14.01.2008 e D.M. 17/01/2018).

2. IL METODO MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), messo a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999), è una tecnica di indagine non invasiva per la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s studiando, attraverso un array di sensori, le caratteristiche di propagazione e dispersione delle onde di Rayleigh.

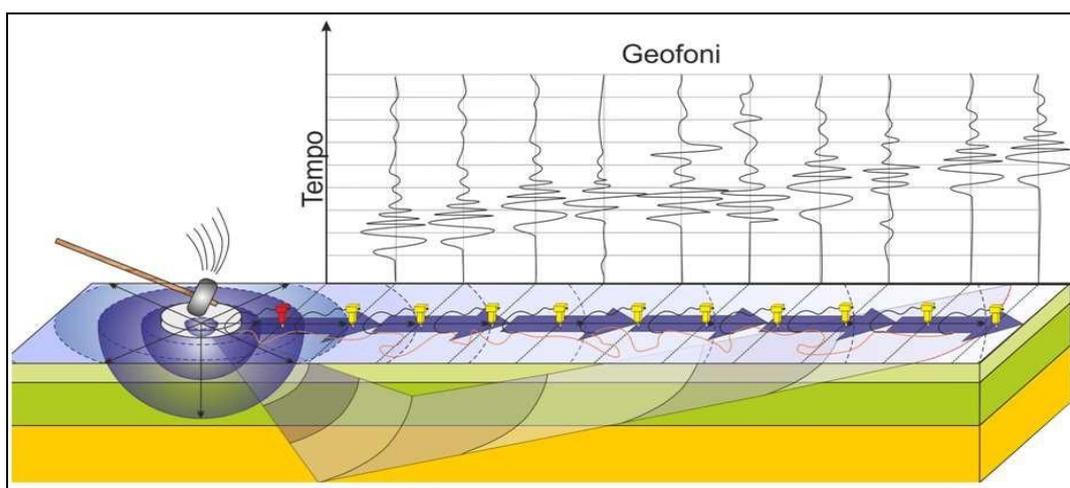


Figura 2: Array per acquisizione MASW

Nelle prospezioni sismiche per le quali si utilizzano le onde di tipo P, la maggior parte dell'energia sismica totale generata si propaga come onde superficiali di tipo Rayleigh. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente in frequenza di queste onde è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) e quindi da una diversa lunghezza d'onda. Questa proprietà si chiama dispersione e può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Per ottenere un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_s), dall'analisi della modalità di propagazione delle onde di Rayleigh bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore.

La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a rifrazione. La procedura MASW si realizza attraverso una fase di acquisizione dei dati sperimentali, di successiva elaborazione ed Estrazione della curva di dispersione sperimentale, si conclude con l'inversione della curva di dispersione e la stima dei parametri del modello verticale di velocità V_s .

3. STRUMENTAZIONE E PARAMETRI DI ACQUISIZIONE

Per l'acquisizione dei dati sperimentali MASW (figura 5) è stato utilizzato un sismografo ECHO 12/24 della Ambrogeo, accoppiato a 24 geofoni verticali da 4,5 Hz, mentre per l'energizzazione è stata utilizzata una massa battente da 10 Kg con un piattello metallico per l'accoppiamento con il terreno.



Figura 3: Foto strumentazione utilizzata

Di seguito in tabella vengono riportati i parametri scelti per l'acquisizione dei dati sperimentali:

PARAMETRI D'ACQUISIZIONE

Numero di ricevitori	Distanza intergeofonica	Finestra di acquisizione	Distanza shot / 1° geofono	Sampling
12÷24	2.00 m	1.00 s	-8, -4, -2, +48, +50, +52 (m)	0.956 ms

4. SOFTWARE DI ELABORAZIONE ED ANALISI

I dati sperimentali sono stati analizzati con il software GEOPSY, l'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "phase velocity-frequency (c-f)" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica.

Le curve di dispersione sperimentali, ottenute dal picking dei massimi di densità spettrale, sono state invertite utilizzando il software DINVER, questo software risolve il problema inverso attraverso il Neighbourhood Algorithm, appartenente alla classe degli algoritmi genetici, ed utilizza una tecnica di discretizzazione del mezzo a strati omogenei piani e paralleli.

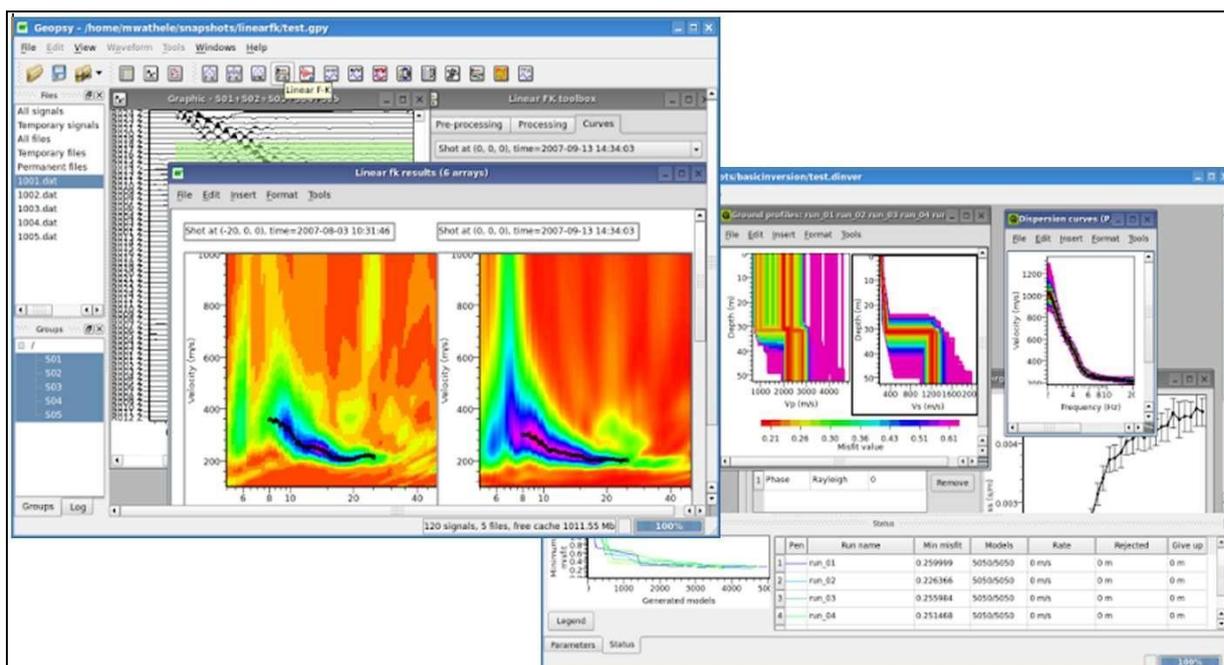


Figura 4: software open-source Geopsy e dinver (Wathelet M. et al.)

5. Interpretazione dati

Sullo spettro di velocità normalizzato di figura 6 è possibile distinguere il modo fondamentale di propagazione delle onde di Rayleigh dominante nell'intervallo di frequenza 5÷25Hz, quindi risulta possibile eseguirne il picking.

Dall'inversione della curva di dispersione sperimentale, viene ottenuto il modello verticali di velocità delle onde S e P di figura 7, il modello che presenta il miglior accordo (minima deviazione standard) tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione calcolata come risposta del modello sintetico (figura 8) è caratterizzato da un misfit del 2.00% circa e la tabella 1 ne riassume i principali parametri fisici.

MODELLO				
Strato	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Spessore (m)	Profondità tetto (m)
1	240	85	1.30	0.00
2	355	105	1.90	-1.30
3	1050	394	>26.8	-3.20

Tabella 1: Modello 1D di velocità delle onde S.

6. Calcolo della Velocità equivalente delle onde S ($V_{S,eq}$)

Per il calcolo della $V_{S,eq}$ si fa riferimento all'espressione 3.2.1, definita al paragrafo 3.2.2 del D.M. 17.01.2018

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i:1}^n \frac{H}{V_i}}$$

Dove:

H è la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

H_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo,

N rappresenta il numero di strati presenti.

Quindi utilizzando l'espressione 3.2.2 e considerando il modello sismico monodimensionale descritto in tabella 1, il quale presenta una profondità del substrato >30 m, si ottiene:

$$V_{S,eq} = 30 / 0.101 = 296 \text{ m/s}$$

Che corrisponde ad una categoria di sottosuolo di tipo **C**

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

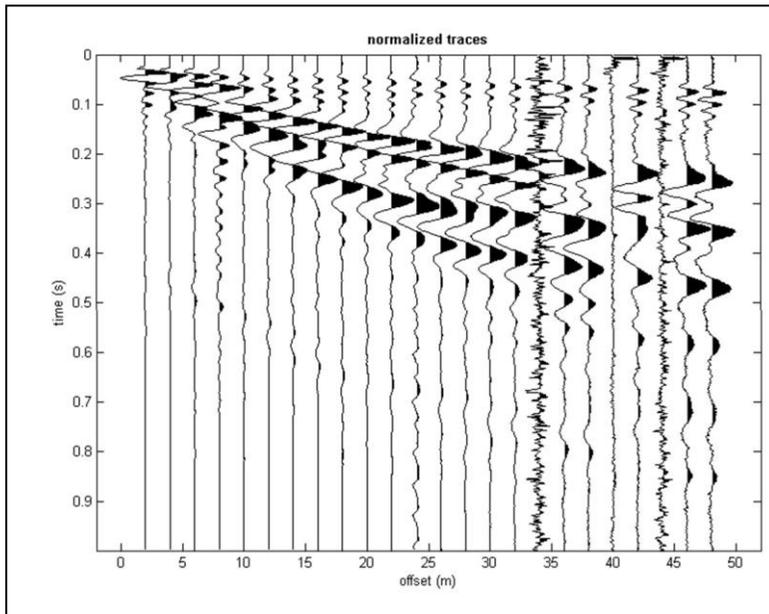


Figura 5: Tracce sperimentali

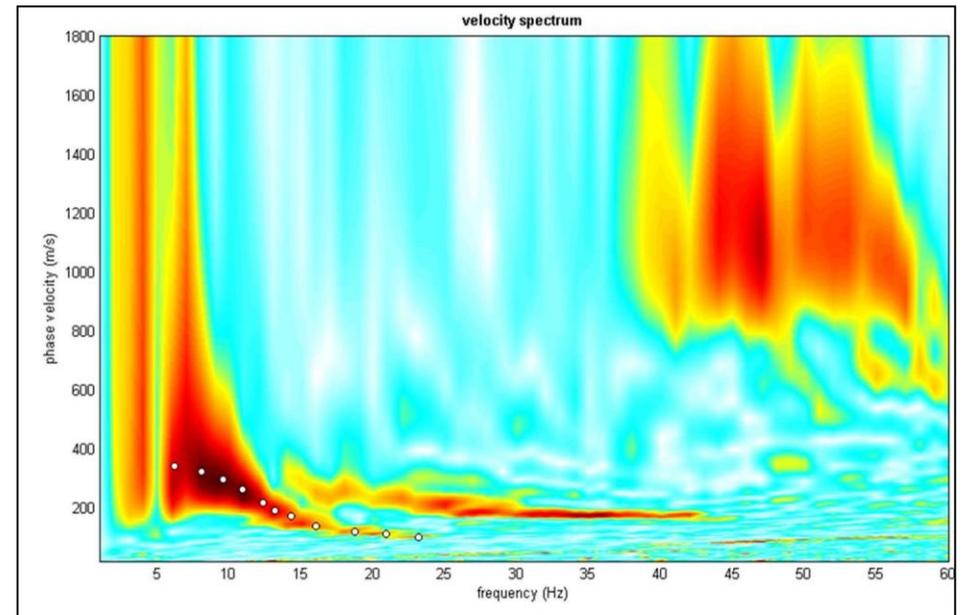


Figura 6: Spettro di velocità norm. e picking della curva di dispersione (punti bianchi)

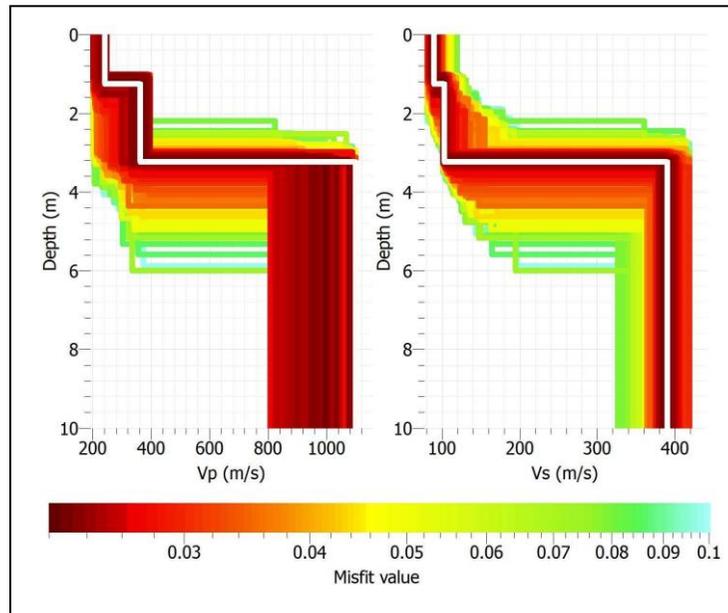


Figura 7: modelli 1D di velocità delle onde S e P (misfit max 10%), in bianco il modello con il miglior fit (best model)

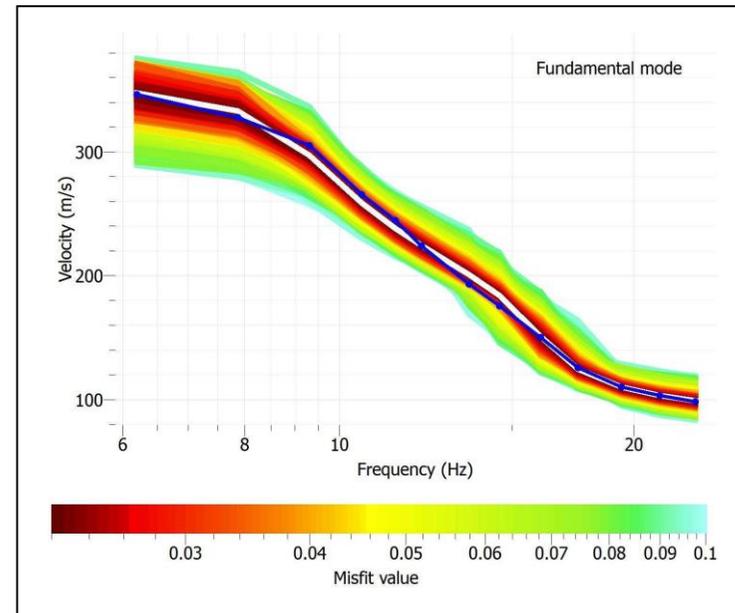


Figura 8: Confronto tra la curva di sperimentale (curva blu) e le curve di dispersione calcolate con misfit max 10%, in bianco quella relativa al best model

7. Calcolo parametri elastici

Sulla base dei valori di velocità delle onde S stimati dall'indagine sismica, sulla base dei valori di densità dei terreni indagati riportati nella relazione geologica e/o ricavati dalla letteratura e nell'ipotesi di comportamento di tipo elastico-lineare (bassi livelli di deformazione) dei terreni indagati è possibile sfruttare le leggi della teoria dell'elasticità e stimare i seguenti parametri:

- Modulo di taglio (G);
- Modulo di elasticità dinamico (Ed);
- Coefficiente di Poisson (ν) (estrapolato da letteratura tecnico-scientifica);
- Rigidità sismica (R);
- Periodo fondamentale dello strato (T);
- Frequenza fondamentale dello strato (f)

<i>Strati</i>	<i>S</i> (m)	<i>Vs</i> (m/s ²)	<i>Vp</i> (m/s ²)	<i>G</i> (MPa)	<i>Ed</i> (MPa)	ν	<i>R</i> (KN/m ³)*m/s ²
S1	1.30	85	240	11.78	33.66	0.42	1360
S2	1.90	105	355	20.22	58.74	0.45	1890
S3	>26.80	394	1050	316.48	897.59	0.411	7880

Tabella 2: parametri elastici del modello