



REGIONE PUGLIA

Provincia di FOGGIA

BOVINO E TROIA



OGGETTO

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI BOVINO E TROIA IN LOCALITA' SERRONE E CONVEGNA

COMMITTENTE

Q-ENERGY RENEWABLES S.r.l.

Via Vittor Pisani, 8/a - 20124 Milano (MI)
PEC: q-energyrenewablesrl@legalmail.com
P.IVA: 12448130968

PROGETTAZIONE

Codice Commessa PHEEDRA: 22_04_EO_BVN



PHEEDRA S.r.l. Via Lago di Nemi, 90
74121 - Taranto
Tel. 099.7722302 - Fax 099.9870285
e-mail: info@pheedra.it - web: www.pheedra.it

Dott. Ing. Angelo Micolucci

Dott. Geol. Antonio Mattia Fusco



1	Luglio 2022	PRIMA EMISSIONE	MS	AM	VS
REV.	DATA	ATTIVITA'	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

OGGETTO DELL'ELABORATO

**RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA
E STUDIO DI COMPATIBILITA' IDROGEOLOGICA**

FORMATO	SCALA	CODICE DOCUMENTO					NOME FILE	FOGLI
		SOC.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.		
A4	-	BVN	CIV	REL	023	01	BVN-CIV-REL-023_01	

INDICE

PREMESSA	2
INDIVIDUAZIONE DEL SITO.....	4
GEOLOGIA REGIONALE	7
CARATTERI GEOMORFOLOGICI	10
Categorie topografiche	10
Rischio Sismico dei Comuni di Indagine.....	11
CARATTERI GEOLOGICI.....	13
INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	18
COMPATIBILITÀ CON IL PAI	20
Norme tecniche di attuazione del PAI	24
INDAGINE GEOGNOSTICA.....	27
<i>Prove penetrometriche dinamiche continue (DPSH)</i>	<i>27</i>
<i>Sismica a rifrazione.....</i>	<i>30</i>
<i>Sismica con metodologia Masw.....</i>	<i>32</i>
Pericolosità sismica del sito	35
VERIFICA DEGLI STATI ULTIMI (SLU).....	36
CONCLUSIONI.....	42

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

Dott. Geol. Antonio Mattia Fusco - Via Malta, 29

74020 Maruggio (TA) tel 349 4228478 E-mail fusco_antonio_mattia@yahoo.it

PREMESSA

Su incarico di Q-Energy Renewables S.r.l., il sottoscritto, nel mese di luglio 2022, ha eseguito dei rilievi in campo ed uno studio geologico, morfologico ed idrogeologico di supporto ad un progetto di *REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO NEL COMUNE DI BOVINO E TROIA IN LOCALITÀ SERRONE E CONVEGNA*, costituito da 7 aerogeneratori, della potenza nominale complessiva di 42,0 MW.

Il lavoro in oggetto è stato eseguito in ottemperanza al D.M. 17.01.2018 e si è articolato nel seguente modo:

- a) un rilievo geo-morfologico finalizzato alla ricostruzione delle caratteristiche litologiche e stratigrafiche dell'area interessata dal progetto e censimento di tutte le forme morfologiche di particolare interesse paesaggistico;
- b) rilievo idrogeologico dell'area;
- c) consultazione delle cartografie che meglio permettano di inquadrare il contesto vincolistico dell'area, da un punto di vista idraulico e geomorfologico e quindi studio di compatibilità con il PAI.

Per quanto riguarda la caratterizzazione sismica e meccanica dell'area, curate dalla società Geoprove s.r.l., sono state condotte delle indagini geognostiche consistite in:

- una prova penetrometrica dinamica DPSH;
- un profilo sismico a rifrazione;

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

Dott. Geol. Antonio Mattia Fusco - Via Malta, 29

74020 Maruggio (TA) tel 349 4228478 E-mail fusco_antonio_mattia@yahoo.it

- un'indagine sismica di superficie con metodologia Masw per il calcolo delle Vs, eq.

Di esse è stato predisposto specifico elaborato, che costituisce allegato alla presente relazione.

Al termine di tali indagini è stata redatta la presente relazione geologico-tecnica che, avvalendosi di tutti i risultati acquisiti, ha consentito di ricostruire il modello geologico e sismico dell'area interessata dall'intervento e di valutare la compatibilità del progetto alla luce della perimetrazione di tipo PG1 di parte dell'area in esame.

INDIVIDUAZIONE DEL SITO

L'area indagata è ubicata nei territori comunali di Bovino e Troia.

La quota topografica è variabile da 380 a 260 m s.l.m.; la morfologia è pianeggiante, degradante verso nord.

Gli aerogeneratori sono individuati dalle seguenti coordinate

Aerogeneratore	E	N
WTG 01	530051	4575953
WTG 02	530591	4576046
WTG 03	530560	4573440
WTG 04	530713	4572218
WTG 05	530717	4570886
WTG 06	529653	4571878
WTG 07	529116	4572049

La cabina di raccolta è localizzabile alle seguenti coordinate baricentriche: 41343889 N,015255556 E)

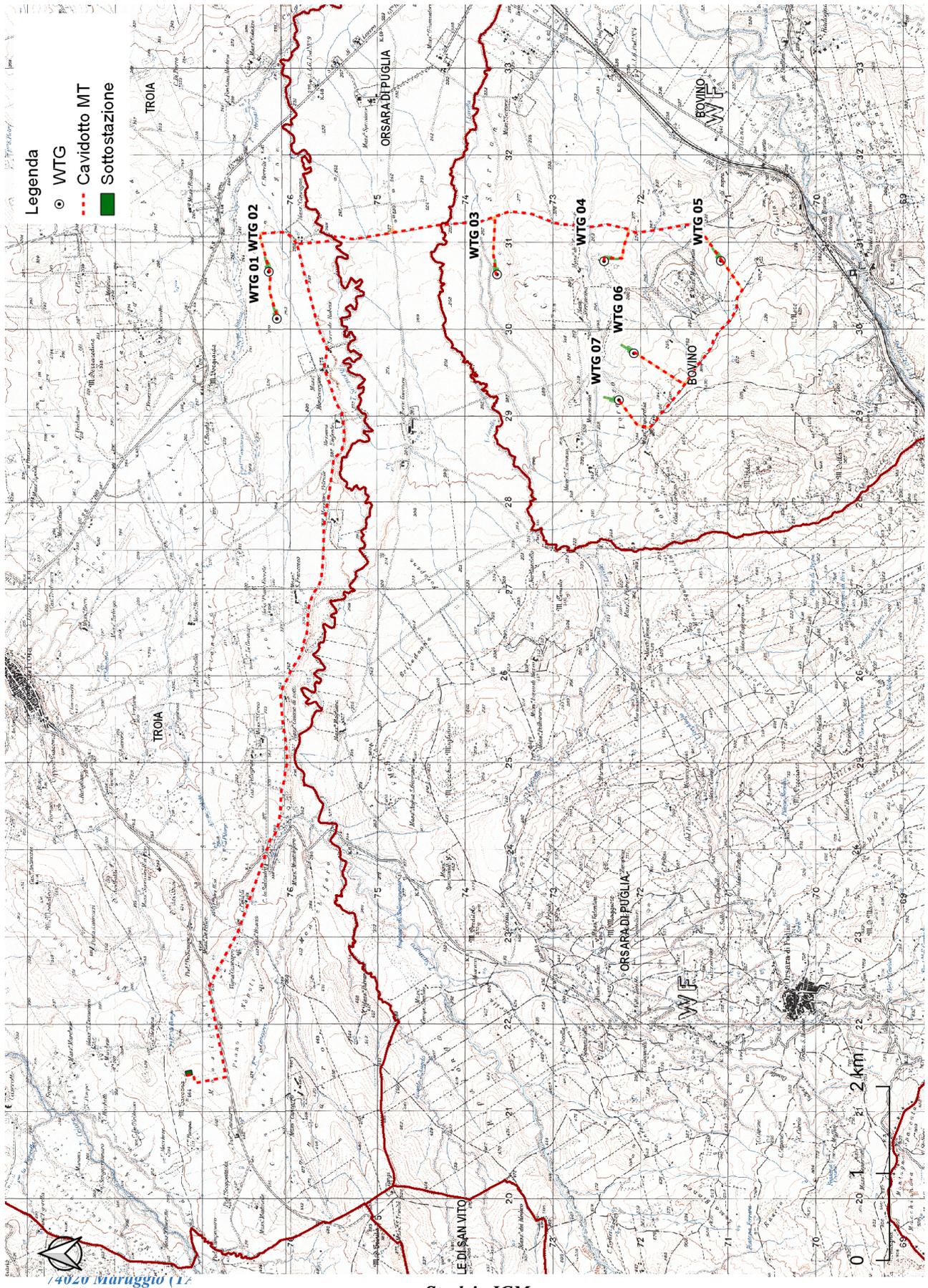
La Sottostazione 30/150 kV è localizzabile alle seguenti coordinate: (412038N,0151520E).

La stazione RTN 380/150 kV è invece localizzabile alle seguenti coordinate: (412033N,0151523E).



Area di indagine, immagine da Google Earth ®

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA E STUDIO DI COMPATIBILITÀ CON IL PAI A SUPPORTO DI UN PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO IN LOCALITÀ SERRONE E CONVEGNA NEI COMUNI DI BOVINO E TROIA



14020 Maruggio (1)

Stralcio IGM

GEOLOGIA REGIONALE

La Puglia presenta un territorio vario e caratterizzato da sei regioni con caratteristiche fisiche differenti: il Promontorio del Gargano, le Murge, le Serre Salentine, il Tavoliere delle Puglie e l'Appennino Dauno che rappresenta l'area oggetto di studio.

L'Appennino Dauno, costituisce l'unica area del territorio pugliese con caratteri montuosi.

In questo settore di catena, si distinguono: la parte più orientale caratterizzata dalla presenza di una tranquilla successione di sedimenti marini appartenenti al ciclo di sedimentazione Plio-Pleistocenico e la parte occidentale costituita da sedimenti fliscioidi che hanno subito una tettonica di traslazione.

I depositi fliscioidi sono rappresentati da termini essenzialmente argillosi (Formazione delle Argille Varicolori scagliose propriamente dette), insieme a termini molassici (di età miocenica) e argilloso-marnoso-calcarei (Flysh della Daunia).

La Formazione delle Argille Varicolori hanno un'età compresa fra il Cretaceo superiore e il Miocene inferiore. Sono depositi argillosi caratterizzati da successioni di sottili strati di argilliti rossastre, verdastre o grigie, con intercalati strati, di vario spessore, di calcilutiti, di calcareniti, di arenarie di vario tipo, di siltiti e di marne e a luoghi sono presenti anche strati di calcari selciferi e di diaspri.

Il contatto tra le Argille Varicolori e le altre unità fliscioidi dell'Appennino Dauno sono sempre di natura tettonica, infatti l'assetto a pieghe risulta interrotto da numerose superfici di faglia e di frattura. Gli

strati argillitici mostrano infatti, un aspetto scaglioso con giacitura prevalentemente caotica e gli strati litoidi (calcareniti, arenarie, ecc.) risultano frantumati in blocchi di varia dimensione, in parte inglobati nella massa argillosa caoticizzata.

L'ambiente di sedimentazione è di bacino eugeosinclinale caratterizzato da eventi torbiditici vista l'alloctonia delle masse.

Lo spessore della formazione è di difficile determinazione e varia da luogo a luogo, la potenza massima è comunque intorno a 200 metri

Il termine sommitale della formazione è caratterizzato dalla presenza di argille bentonitiche di età oligo-miocenica e son visibili in affioramento tra Castelnuovo Monterotaro e Motta Montecorvino (FG).

Nel territorio comunale di Anzano di Puglia si evidenziano inoltre affioramenti gessosi di esigua estensione, rari nella regione. Sono depositi lenticolari miocenici di ambiente lagunare costituiti da gesso macro e microcristallini. In genere sono rinvenibili nelle zone di sedimentazione ma a volte sono alloctoni spostati da frane più recenti o da fenomeni olistostromici più antichi.

Il ciclo sedimentario del pliocene inferiore-medio, trasgressivo in affioramento sul Miocene in facies di flysh, è rappresentato da marne argillose con conglomerati e molasse macrofossilifere ed è presente nella zona orientale del Sub-appennino Dauno. Segue verso l'alto un complesso di marne argillose grigio-azzurre poco stratificate.

Il ciclo sedimentario più recente, del Pliocene superiore-Pleistocene, è rappresentato da un livello basale trasgressivo di molasse e da marne argillose azzurre; a chiusura del ciclo si ritrova un livello sommitale regressivo di sabbie e conglomerati.

Le marne argillose azzurre spesso infatti si rinvengono sottoposte a depositi più recenti costituiti da conglomerati e da argille sabbiose quaternarie che possono raggiungere spessori anche di una ventina di metri.

Inoltre, lo stesso deposito argilloso plio-pleistocenico può essere talvolta costituito, nella parte più superficiale, da argilla alterata di colore giallastro.

L'ambiente deposizionale di questo deposito marnoso-argilloso è prevalentemente neritico.

I livelli sommitali regressivi di chiusura, appartenenti alla formazione dei Conglomerati di Campomarino del Postcalabriano-Calabriano terminale, sono depositi di ambiente marino o continentale e spesso non chiaramente delimitabili dalle coperture fluviolacustri costituite prevalentemente da ghiaie più o meno cementate, argille sabbiose, sabbie e calcari pulverulenti di colore bianco.

Dal punto di vista tettonico l'Appennino Dauno può essere sommariamente suddiviso in due zone : quella orientale con assetto tettonico tranquillo di avampaese in cui i sedimenti plio-pleistocenici costituiscono una blanda monoclinale orientata NNO-SSE.

La zona occidentale si contrappone alla precedente per la sua tettonica disturbata. E' infatti interessata da un sistema di faglie inverse e da uno di faglie normali, entrambe orientate NNO-SSE secondo le direttrici tettoniche appenniniche. Nella parte centro-meridionale dell'area si evidenziano strutture sinclinaloidi depresse, separate per lo più tramite faglie dalle zone più innalzate.

E' presente inoltre un sistema di faglie normali alle precedenti, ad orientamento garganico (OSO-ENE), che rigetta le faglie longitudinali.

CARATTERI GEOMORFOLOGICI

L'area ricade nel Fg 174 "Ariano Irpino" e 163 "Lucera" della Carta Geologica d'Italia 1:100.000.

Il territorio è situato lungo la direttrice che unisce Campania e Puglia e costituisce l'ultimo settore a sud della catena appenninica: l'Appennino Dauno.

La morfologia dell'area interessata dall'impianto è di tipo collinare, sebbene l'installazione degli aerogeneratori è prevista su aree pianeggianti.

Le quote variano da 380 a 260 m s.l.m. con una morfologia degradante verso nord.

Il paesaggio è condizionato dalla presenza di fiumi e torrenti.

Le forme morfologiche ed idrogeologiche evidenti nell'area sono infatti i corsi d'acqua e le ripe fluviali; tuttavia l'installazione degli aerogeneratori è prevista ad una distanza di rispetto da tali emergenze.

L'espressione idrogeologica principale è rappresentata dal Torrente Cervaro che tuttavia dista oltre un km dal più vicino aerogeneratore.

Altre espressioni idrografiche più modeste distano comunque oltre 150 metri dai più vicini aerogeneratori.

Categorie topografiche

Le categorie topografiche individuate dal Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018, recante "Norme Tecniche per le costruzioni" sono le seguenti:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

NTC 2017 – Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

L'area di interesse ricade nella categoria T1 di Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Rischio Sismico dei Comuni di Indagine

La **classificazione sismica** del territorio nazionale ha introdotto **normative tecniche** specifiche per le costruzioni di edifici, ponti ed altre opere in aree geografiche caratterizzate dal medesimo rischio sismico.

In basso è riportata la **zona sismica** per i territori di indagine, indicata nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale della Puglia n. 153 del 2.03.2004.

Bovino

Zona sismica 1	Zona con pericolosità sismica alta. Indica la zona più pericolosa dove possono verificarsi fortissimi terremoti.
---------------------------------	---

Troia

Zona sismica 2	Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi forti terremoti.
---------------------------------	---

I criteri per l'aggiornamento della mappa di **pericolosità sismica** sono stati definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima su suolo rigido o pianeggiante **ag**, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

<i>Zona sismica</i>	<i>Fenomeni riscontrati</i>	<i>Accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni</i>
1	Zona con pericolosità sismica alta . Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.	$ag \geq 0,25g$
2	Zona con pericolosità sismica media , dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti.	$0,15 \leq ag < 0,25g$
3	Zona con pericolosità sismica bassa , che può essere soggetta a scuotimenti modesti.	$0,05 \leq ag < 0,15g$
4	Zona con pericolosità sismica molto bassa . E' la zona meno pericolosa, dove le possibilità di danni sismici	$ag < 0,05g$

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

Dott. Geol. Antonio Mattia Fusco - Via Malta, 29

74020 Maruggio (TA) tel 349 4228478 E-mail fusco_antonio_mattia@yahoo.it

sono basse.	
-------------	--

CARATTERI GEOLOGICI

Dal punto di vista morfo-strutturale la Puglia è suddivisa in tre settori allungati in senso appenninico: il settore di avampaese, il settore di avanfossa ed il settore di catena, ed è proprio in quest'ultimo che ricade la zona oggetto di studio.

Lo stile tettonico dell'Appennino Dauno è diversificato e sostanzialmente riconducibile a due zone geologiche: l'area occidentale e quella orientale (nella quale ricade la zona in esame).

La zona occidentale è stata oggetto di eventi tettonici che hanno determinato una morfologia di rilievo, interessata da un sistema di faglie orientate prevalentemente NNO-SSE secondo le direttrici tettoniche appenniniche. E' costituita da terreni fliscioidi, essenzialmente sedimenti argillosi alloctoni che hanno subito la tettonica traslativa.

I sedimenti della zona orientale costituiscono una monoclinale caratteristica di un settore di avampaese; sono depositi marini riferibili al ciclo di sedimentazione del plio-pleistocene.

E' difficile l'individuazione delle formazioni geologiche in quanto l'intensa attività tettonica ha modellato la natura litologica della zona.

Nell'area oggetto di studio sono state pertanto individuate le seguenti litologie, procedendo dal basso verso l'alto:

- argille e marne grigie e varicolori;
- breccie, calcareniti alternate a marne ed argille di vario colore;

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

Dott. Geol. Antonio Mattia Fusco - Via Malta, 29

74020 Maruggio (TA) tel 349 4228478 E-mail fusco_antonio_mattia@yahoo.it

- sabbie ed arenarie con livelli di puddinghe ed argille sabbiose;
- argille ed argille sabbiose;
- depositi fluviali;
- alluvioni recenti.

Nell'area interessata dall'impianto si rinvengono in affioramento per la maggiorparte i depositi sabbiosi e limosi. Cinque aerogeneratori saranno installato su questi depositi pliocenici.

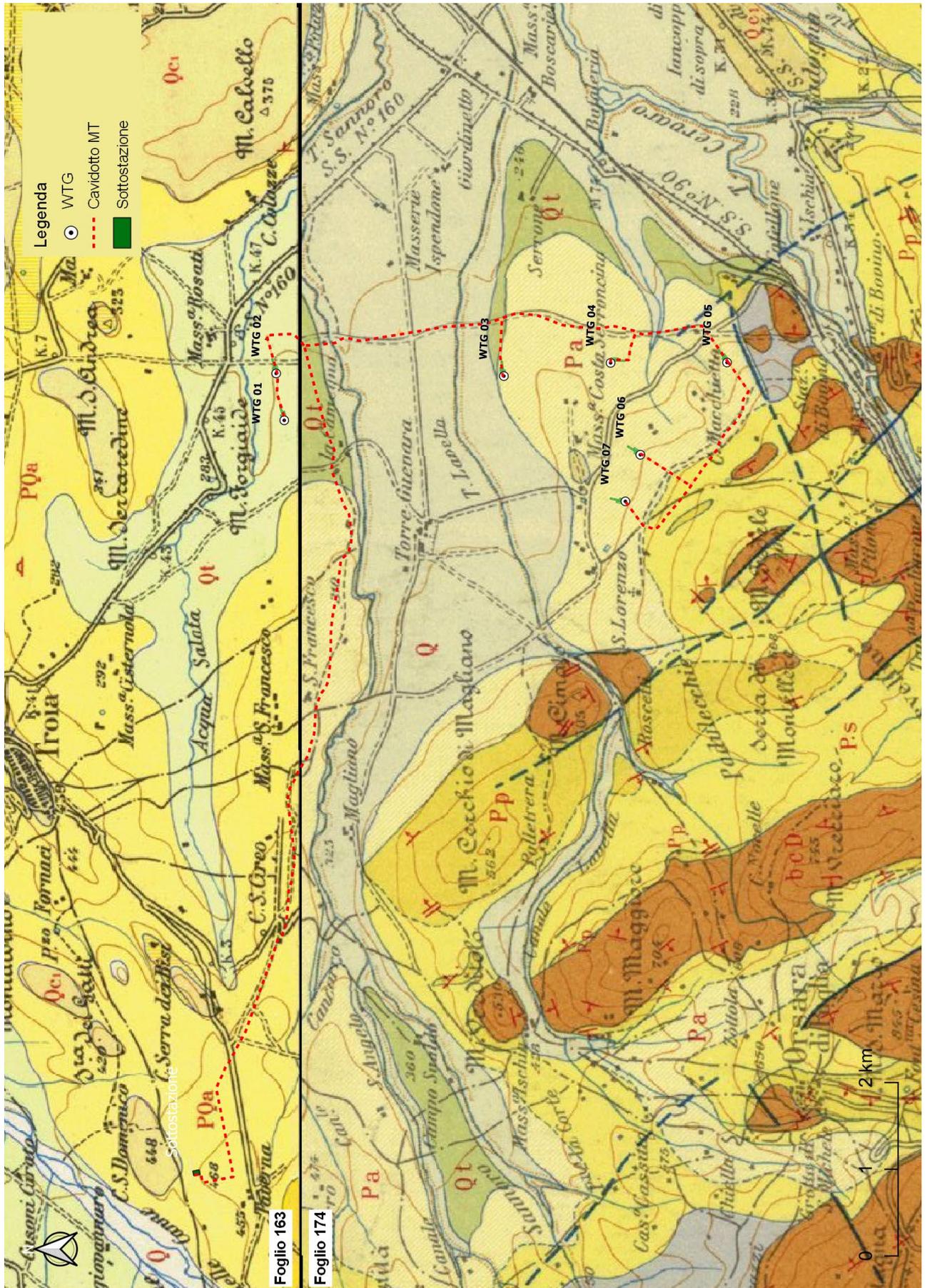
L'istallazione degli aerogeneratori nn. 1 e 2 è prevista invece su depositi fluviali sabbioso-conglomeratici.

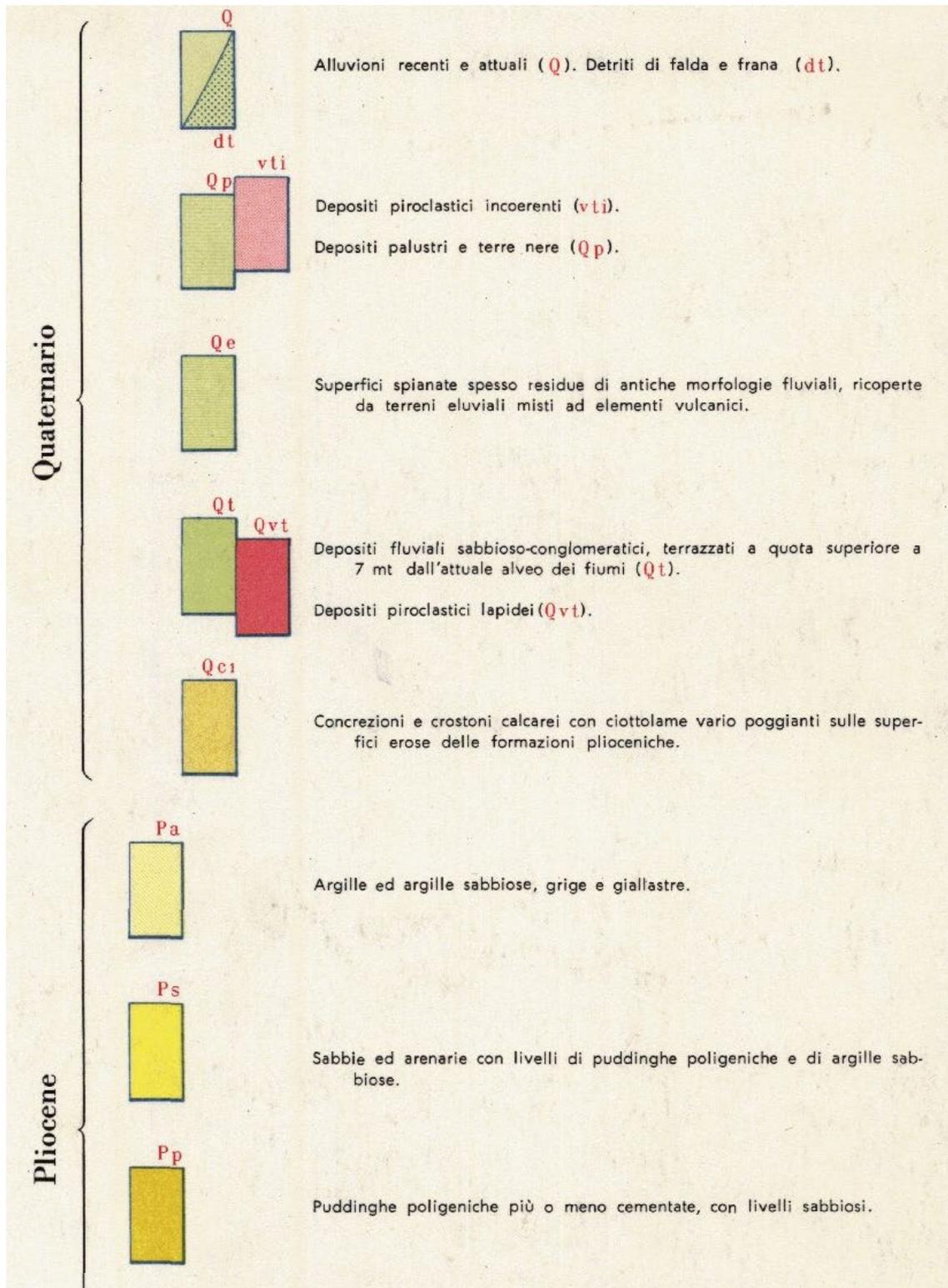
Si tratta di conglomerati con ciottoli di medie e grandi dimensioni a volte fortemente cementati e con intercalazioni di sabbie ed arenarie. Il ciottolame è poligenico, la matrice è sabbiosa, gli elementi arenacei e calcarei di dimensioni variabili. Tale formazione ciottolosa generalmente poco compatta, si presenta solo localmente fortemente cementata in puddinga.

Lungo le aste fluviali si riconoscono i sedimenti del Quaternario che derivano da una rielaborazione dei sedimenti Pliocenici. Sono in genere depositi conglomeratici formati da materiali litoidi e raramente argillosi.

Sono Alluvioni recenti ed attuali: si tratta di depositi conglomeratici formati da materiali litoidi, o assai più raramente argillosi; i ciottoli sono in generale di piccole e medie dimensioni. Queste puddinghe derivano dalla rielaborazione di conglomerati pliocenici o di età più antica oppure dalla distruzione degli interstrati arenaci, marnosi, calcarei e calcarenitici del flysh. Per quanto riguarda lo spessore massimo degli accumuli alluvionali dei principali corsi d'acqua esso non dovrebbe superare l'ordine di alcune decine di metri.

Non rappresentano il terreno fondale di alcun aerogeneratore.





STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

Dott. Geol. Antonio Mattia Fusco - Via Malta, 29

74020 Maruggio (TA) tel 349 4228478 E-mail fusco_antonio_mattia@yahoo.it

INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

La geologia regionale dell'Appennino Dauno e le vicissitudini tettoniche succedutesi nel tempo non hanno permesso la costituzione di acquiferi sotterranei.

Nella zona la permeabilità dei litotipi presenti è variabile e spesso è interrotta dai livelli argillosi e dalle numerose discontinuità tettoniche.

La circolazione idrica si esplica in prevalenza in superficie con una ben sviluppata rete idrografica.

I termini alti della serie pleistocenica sono di natura permeabile (sabbie e conglomerati) e quindi adatti ad immagazzinare acqua.

Modeste sorgenti, che danno luogo a piccoli corsi d'acqua sgorgano al contatto delle formazioni ciottolose e sabbiose della parte alta della serie plio-pleistocenica con le argille marnose sottostanti.

I rilievi di superficie eseguiti nell'area non hanno rilevato alcuna falda superficiale, tuttavia non si esclude che esistano dei livelli anche discontinui, laddove si rinvenivano livelli impermeabili che fungano da letto della stessa.

Si tratta di piccole falde a carattere stagionale, che risentono del regime pluviometrico dell'area.

Tuttavia la profondità di rinvenimento diminuisce man mano che ci si avvicina alle aste fluviali, verso le quali le acque della falda superficiale drenano.

Lo studio idrogeologico ed idrologico ha inoltre permesso di individuare i bacini idrografici che interessano l'area di studio.

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

Dott. Geol. Antonio Mattia Fusco - Via Malta, 29

74020 Maruggio (TA) tel 349 4228478 E-mail fusco_antonio_mattia@yahoo.it

L'area è interessata da una complessa e fitta rete idrografica. Il sistema idrografico, è incentrato su un grande corso d'acqua: il fiume Cervaro, a sud dell'area indagata, ad oltre un km dal più vicino aerogeneratore.

L'area è inoltre caratterizzata da un'estesa rete di corsi d'acqua minori, nonché numerose sorgenti.

COMPATIBILITÀ CON IL PAI

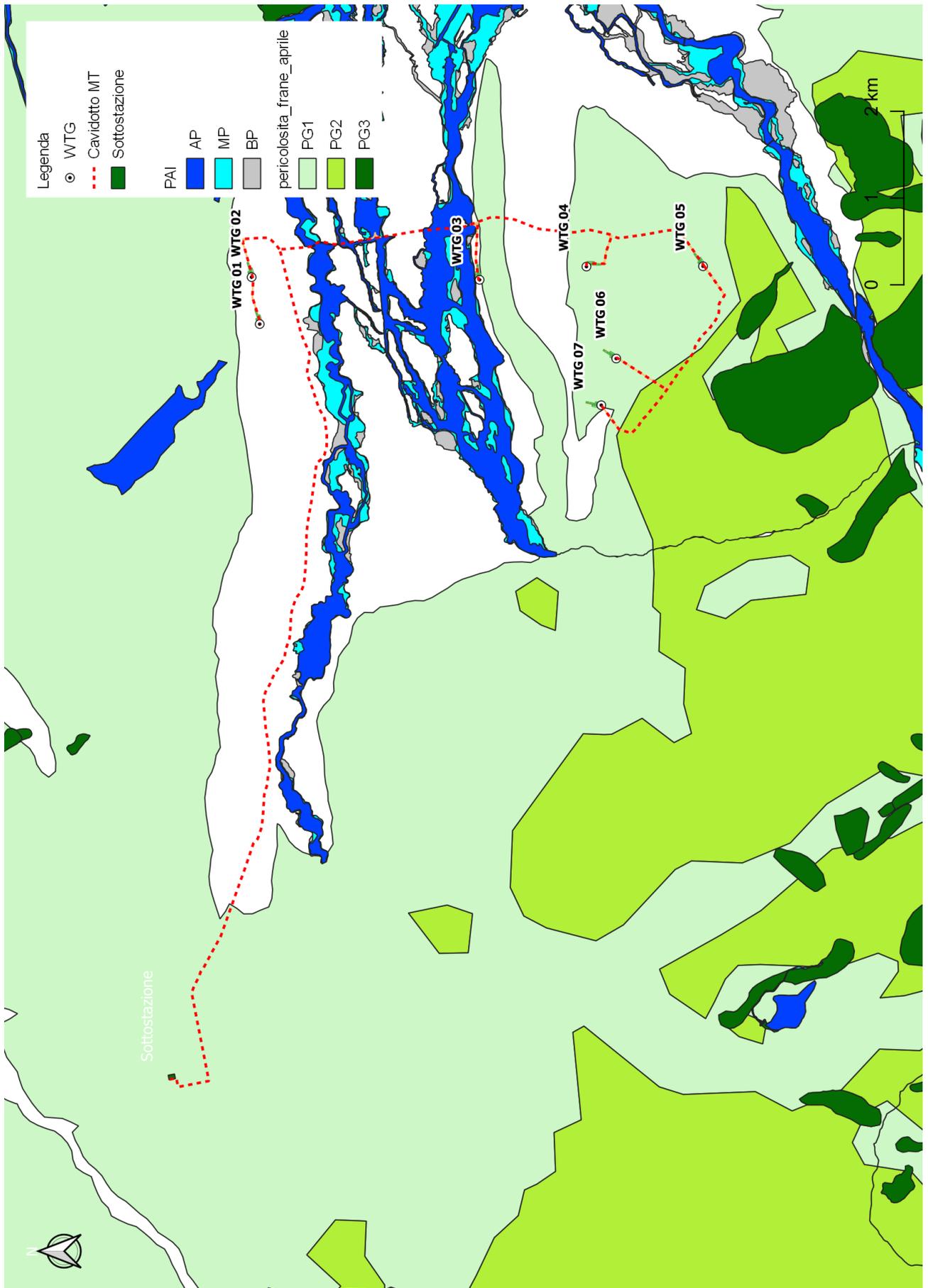
Il Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) dell'Autorità di Bacino Distretto dell'Appennino Meridionale, è finalizzato al miglioramento delle condizioni di regime idraulico e della stabilità geomorfologia necessario a ridurre gli attuali livelli di pericolosità e a consentire uno sviluppo sostenibile del territorio nel rispetto degli assetti naturali, della loro tendenza evolutiva e delle potenzialità d'uso.

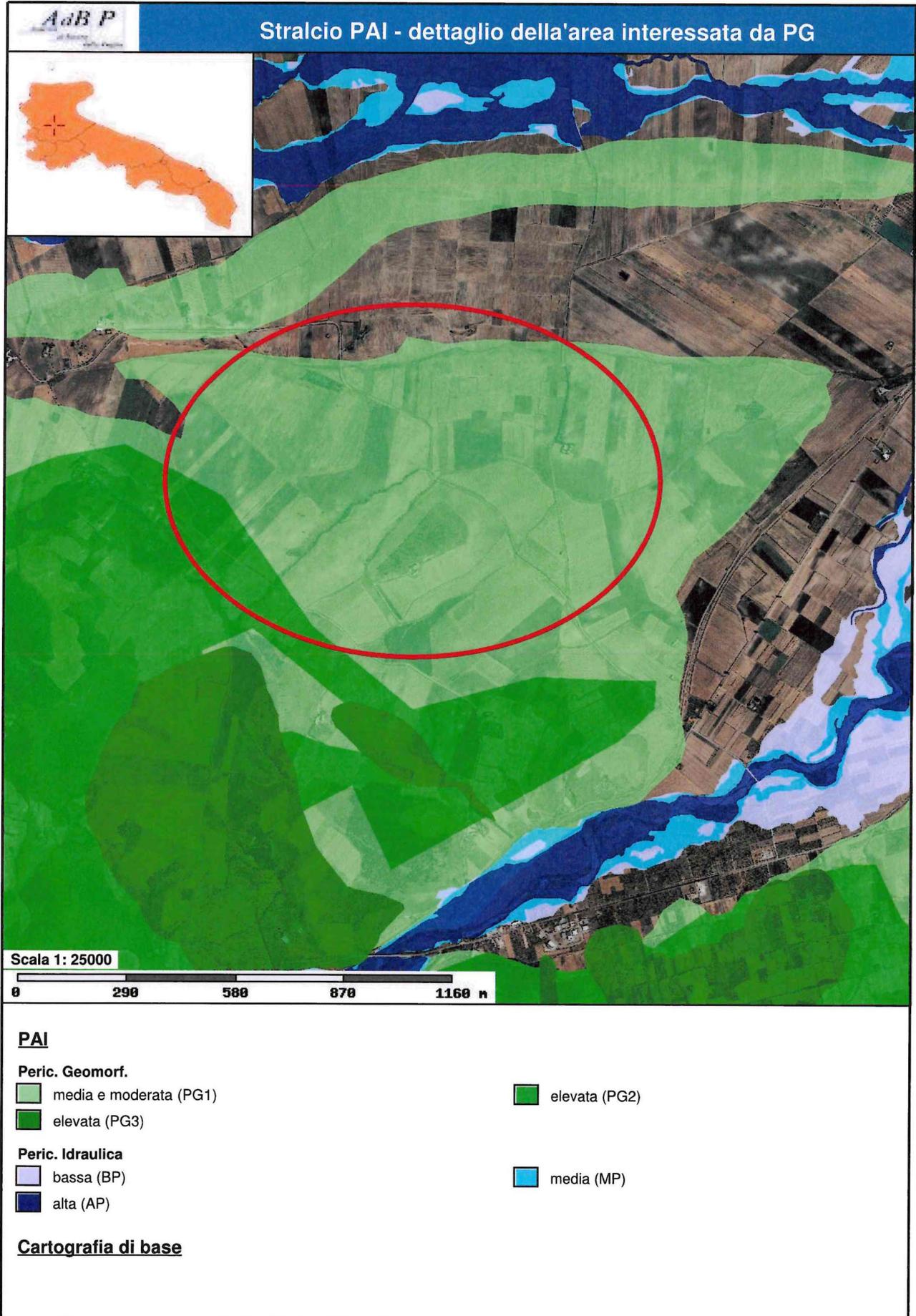
Il PAI ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo ricadente nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino Distretto dell'Appennino Meridionale.

Alla luce della nuova normativa, l'area interessata dall'intervento ***non ricade in alcuna area a pericolosità idraulica*** (si rimanda alla cartografia allegata).

Dalla stessa cartografia emerge invece che l'area interessata dall'intervento ***risulta perimetrata a pericolosità geomorfologia*** (PG1, PG2, PG3).

Nel dettaglio si ha che gli aerogeneratori WTG 04, WTG 05, WTG 06 e WTG 07 ricadono in un'area perimetrata a pericolosità geomorfologica di tipo PG1.





Norme tecniche di attuazione del PAI

Il Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Puglia (PAI) è finalizzato al miglioramento delle condizioni di regime idraulico e della stabilità geomorfologica necessario a ridurre gli attuali livelli di pericolosità e a consentire uno sviluppo sostenibile del territorio nel rispetto degli assetti naturali, della loro tendenza evolutiva e delle potenzialità d'uso.

Il PAI costituisce Piano Stralcio del Piano di Bacino, ai sensi dall'articolo 17 comma 6 ter della Legge 18 maggio 1989, n. 183, ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo ricadente nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia.

In relazione alle condizioni geomorfologiche, il Piano riconosce delle aree a pericolosità geomorfologica molto elevata, elevata e quindi aree a pericolosità PG3, PG2 e PG1.

L'area oggetto di studio ricade in un'area perimetrata, per pericolosità da frana, a pericolosità geomorfologica media e moderata di tipo PG1.

Nell'articolo 11 – Disposizioni generali – si cita che nelle aree a pericolosità geomorfologica, tutte le nuove attività e i nuovi interventi devono essere tali da:

a) migliorare o comunque non peggiorare le condizioni di sicurezza del territorio e di difesa del suolo;

- b) non costituire in nessun caso un fattore di aumento della pericolosità geomorfologica;
- c) non compromettere la stabilità del territorio;
- d) non costituire elemento pregiudizievole all'attenuazione o all'eliminazione definitiva della pericolosità geomorfologica esistente;
- e) non pregiudicare la sistemazione geomorfologica definitiva né la realizzazione degli interventi previsti dalla pianificazione di bacino o dagli strumenti di programmazione provvisoria e urgente;
- f) garantire condizioni adeguate di sicurezza durante la permanenza di cantieri mobili, in modo che i lavori si svolgano senza creare, neppure temporaneamente, un significativo aumento del livello di pericolosità;
- g) limitare l'impermeabilizzazione superficiale del suolo impiegando tipologie costruttive e materiali tali da controllare la ritenzione temporanea delle acque anche attraverso adeguate reti di regimazione e di drenaggio;
- h) rispondere a criteri di basso impatto ambientale facendo ricorso, laddove possibile, all'utilizzo di tecniche di ingegneria naturalistica.

Nell'articolo 15 – *Interventi consentiti nelle aree a pericolosità geomorfologica media e moderata (P.G.1)* – si cita che nelle aree a pericolosità geomorfologica elevata (P.G.1) sono consentiti tutti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio purché l'intervento garantisca la sicurezza, non determini condizioni di instabilità e non modifichi negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici nell'area e nella zona potenzialmente interessata dall'opera e dalle sue pertinenze.

Data la natura geologico-stratigrafica dell'area saranno realizzate molto probabilmente delle fondazioni profonde.

Si esclude pertanto che l'intervento possa, in qualche modo, alterare il naturale deflusso delle acque sia sotterranee, considerando che la falda non è continua (laddove si rinviene è ad una profondità di oltre 5.0 metri), o il naturale deflusso delle acque meteoriche poiché, data la buona capacità di assorbimento delle sabbie che si rinvencono sull'area, le stesse vengono assorbite.

Inoltre data la tipologia fondazionale sarà ridotta al minimo l'impermeabilizzazione.

L'installazione non prevede, scavi o livellamento della roccia; il tutto avverrà nel rispetto dell'orografia dell'area e dell'equilibrio morfologico esistente senza alcuno sbancamento.

In sostanza l'intervento non determina alcun aumento del livello di pericolosità, non determina condizioni di instabilità e non modifica negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici nell'area né nelle zone circostanti.

Come si evince dalla cartografia allegata un tratto del cavidotto sarà realizzato in un'area a pericolosità di tipo PG2, si tratta tuttavia di un piccolo scavo per la posa del cavidotto interrato che sarà seguito al ripristino dello stato dei luoghi senza apportare modifiche impattanti, non costituendo in nessun caso un fattore di aumento della pericolosità geomorfologica né comprometterlo la stabilità del territorio

INDAGINE GEOGNOSTICA

L'indagine è stata effettuata in conformità al D.M. 17.01.2018 ed è stata finalizzata alla raccolta di tutti i dati qualitativi e quantitativi occorrenti per la previsione del comportamento dell'opera dopo la realizzazione dell'intervento.

L'indagine ha mirato alla caratterizzazione meccanica e sismica del terreno fondale ed è consistita nell'esecuzione di:

- ✓ una prova penetrometrica dinamica DPSH;
- ✓ un profilo sismico a rifrazione;
- ✓ un'indagine sismica di superficie con metodologia Masw per il calcolo delle Vs, eq.

Di essa è stato predisposto specifico elaborato.

Prove penetrometriche dinamiche continue (DPSH)

Come si può leggere nell'elaborato ***indagini geognostiche*** nell'area in esame è stata eseguita una prova DPSH della profondità di circa 4.20 metri utilizzando un penetrometro DPSH mod. TG 63-200 PAGANI

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

La successione litostratigrafica ricostruita con la prova è la seguente:

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

Dott. Geol. Antonio Mattia Fusco - Via Malta, 29

74020 Maruggio (TA) tel 349 4228478 E-mail fusco_antonio_mattia@yahoo.it

Prova penetrometrica n. 1:

- da 0.00 m a 0.60 m terreno vegetale
- da 0.60 m a 2.20 m sabbie limose
- da 2.20 m a 4.20 m ghiaie

Le indagini non hanno rilevato alcuna falda superficiale.



I parametri geotecnici delle *Sabbie limose* dedotti dalla prova penetrometrica sono risultati i seguenti:

Densità relativa	(%)	63.89
Angolo di attrito	(°)	29.2

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

Dott. Geol. Antonio Mattia Fusco - Via Malta, 29

74020 Maruggio (TA) tel 349 4228478 E-mail fusco_antonio_mattia@yahoo.it

Modulo di Young	(kg/cmq)	-
Modulo edometrico	(kg/cmq)	43.28
Classificazione AGI		Poco Addensato
Coazione	(kg/cmq)	0.0
Peso di volume	(gr/cmc)	1.65
Modulo di Poisson		0.34
Modulo di def. a taglio	(kg/cmq)	442.81

I parametri geotecnici delle **Ghiaie** i seguenti:

Densità relativa	(%)	100
Angolo di attrito	(°)	41.0
Modulo di Young	(kg/cmq)	320.70
Modulo edometrico	(kg/cmq)	128.40
Classificazione AGI		Addensato
Coazione	(kg/cmq)	0.0
Peso di volume	(gr/cmc)	2.23
Modulo di Poisson		0.26
Modulo di def. a taglio	(kg/cmq)	2528.50

Sismica a rifrazione

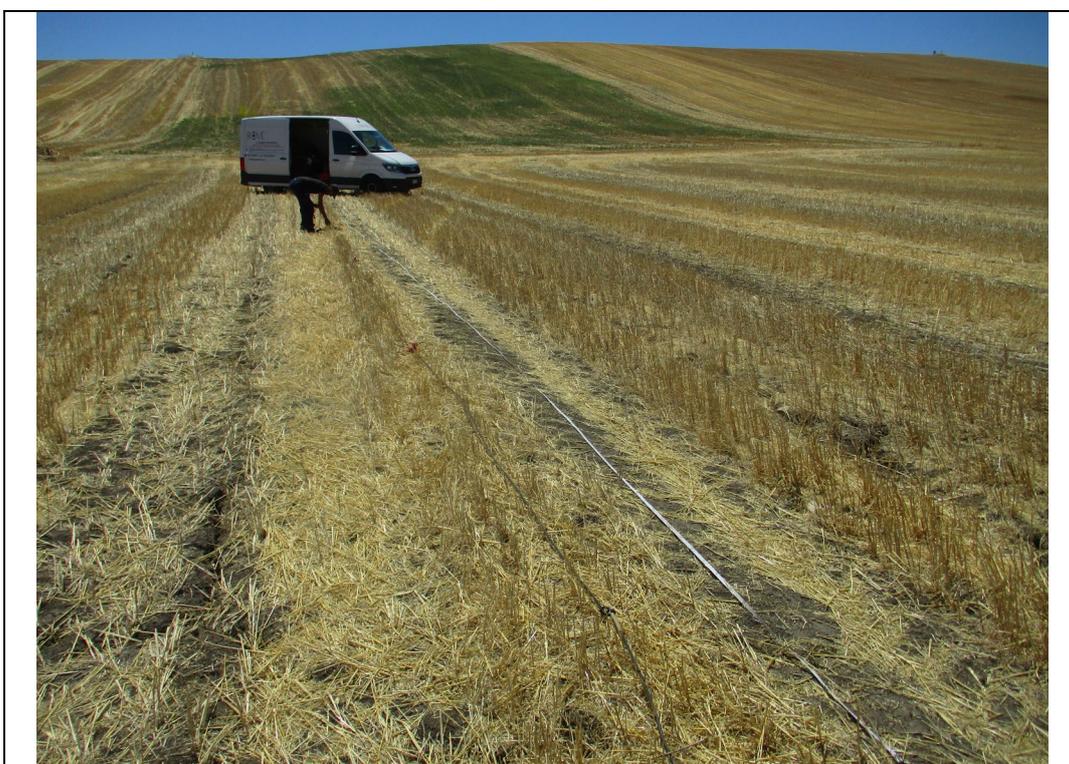
La sismica a rifrazione consiste nel provocare delle onde sismiche che si propagano nei terreni con velocità che dipendono dalle caratteristiche di elasticità degli stessi.

Il profilo sismico è stato eseguito adottando una distanza tra i geofoni di 4 metri.

L'energizzazione è stata ottenuta utilizzando una mazza battente del peso di 5 kg che batte su una piastra rettangolare.

Le onde così generate sono state registrate con un sismografo a 12 canali della GEOMETRICS mod Geode, il quale consente di ottenere le misurazioni dei tempi di arrivo delle onde sismiche che si propagano nel sottosuolo.

Il profilo sismico a rifrazione, di lunghezza pari a 44 metri, ha evidenziato un modello a due sismostrati. In affioramento si rinviene del terreno vegetale che presenta una velocità V_p di 400 m/sec ed uno spessore di circa 1.5 metri, segue un substrato caratterizzato da una velocità V_p di 1000 m/sec, da ricondurre a ghiaie.



Esecuzione indagine sismica a rifrazione

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

Dott. Geol. Antonio Mattia Fusco - Via Malta, 29

74020 Maruggio (TA) tel 349 4228478 E-mail fusco_antonio_mattia@yahoo.it

Sismica con metodologia Masw

Le prove MASW sono molto utili per ricavare il parametro V_{seq} , richiesto dalla nuova normativa sismica, in maniera semplice ed economica ma decisamente affidabile.

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva (non è necessario eseguire perforazioni o scavi), che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Le NTC18 effettuano la classificazione del sottosuolo in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_i \frac{h_i}{n V_{S,i}}}$$

Con: h_i spessore dell' i -esimo strato; $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato; N numero di strati; H 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 $V_{S,30}$,

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

Dott. Geol. Antonio Mattia Fusco - Via Malta, 29

74020 Maruggio (TA) tel 349 4228478 E-mail fusco_antonio_mattia@yahoo.it

ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Dalle indagini Masw eseguite è stato ricavato l'andamento delle V_s e da qui calcolato il valore della $V_{s,eq}$.

L'indagine è stata effettuata in corrispondenza dell'aerogeneratore WTG 04 restituendo il seguente valore di V_{s30} & $V_{s,eq} = 310$ m/s.



Esecuzione indagine sismica a rifrazione

CATEGORIE DI SOTTOSUOLO

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

Dott. Geol. Antonio Mattia Fusco - Via Malta, 29

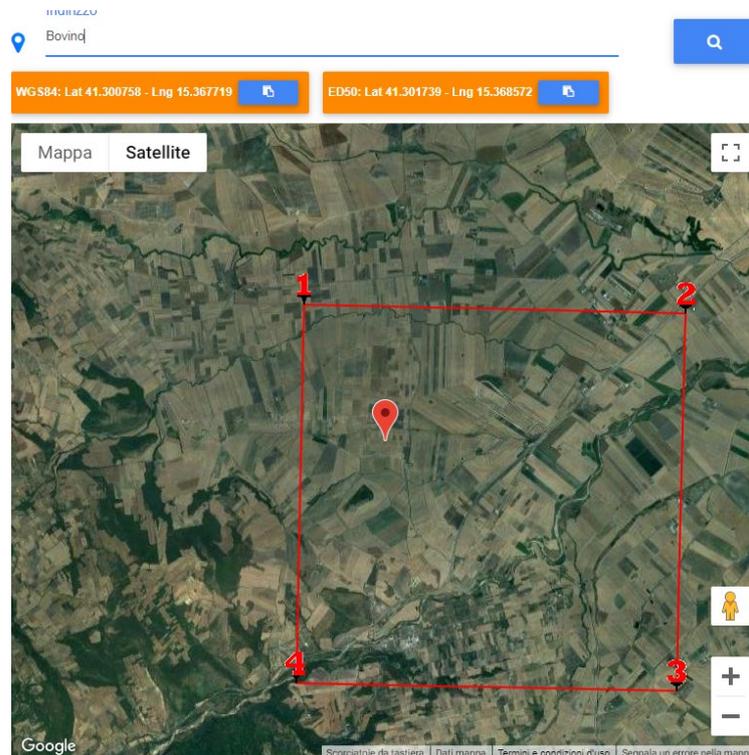
74020 Maruggio (TA) tel 349 4228478 E-mail fusco_antonio_mattia@yahoo.it

Le categorie di sottosuolo individuate dal Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018, recante “Norme Tecniche per le costruzioni” sono le seguenti:

- 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.

Alla luce dei risultati ottenuti si ha che il suolo di fondazione rientra nella **categoria C** con valori di V_{seq} compresi tra 180 e 360 m/sec; la litologia risulta perciò costituita da **Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti**.

Pericolosità sismica del sito



STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

Dott. Geol. Antonio Mattia Fusco - Via Malta, 29

74020 Maruggio (TA) tel 349 4228478 E-mail fusco_antonio_mattia@yahoo.it

Stati limite

Classe Edificio

IV. Funzioni pubbliche o strategiche importanti...

Vita Nominale: 200

Interpolazione: Media ponderata

CU = 2

Stato Limite	Tr [anni]	a _g [g]	F _o	Tc* [s]
Operatività (SLO)	241	0.122	2.507	0.420
Danno (SLD)	402	0.152	2.530	0.427
Salvaguardia vita (SLV)	2475	0.327	2.453	0.448
Prevenzione collasso (SLC)	2475	0.327	2.453	0.448
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	400			

Coefficienti sismici

Muri di sostegno NTC 2008

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): 1 us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: C

Cat. Topografica: T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,47	1,22	1,22
CC Coeff. funz categoria	1,40	1,39	1,37	1,37
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]: 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.044	0.054	0.124	0.124
kv	0.022	0.027	0.062	0.062
Amax [m/s²]	1.788	2.193	3.909	3.909
Beta	0.240	0.240	0.310	0.310

VERIFICA DEGLI STATI ULTIMI (SLU)

Nelle verifiche di sicurezza devono essere presi in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo, sia a breve sia a lungo termine.

Gli stati limite ultimi delle fondazioni superficiali si riferiscono allo sviluppo di meccanismo di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono la fondazione stessa.

Nel caso di fondazioni posizionate su o in prossimità di pendii naturali o artificiali deve essere effettuata la verifica anche con riferimento alla condizione di stabilità globale del pendio includendo nelle verifiche le azioni trasmesse dalle fondazioni.

Le verifiche devono essere effettuate almeno nei confronti dei seguenti stati limite:

SLU di tipo geotecnico

- *collasso per carico limite*
- *collasso per scorrimento sul piano di posa*
- *stabilità globale*

SLU di tipo strutturale

- *raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali*

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$R_d \geq E_d$$

Dove E_d = valore di progetto delle azioni o effetto dell'azione

R_d = valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico
(terreno)

La verifica di detta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti:

- per le azioni (A1 e A2)
- per i parametri geotecnici (M1 e M2)
- per le resistenze (R1, R2, R3)

Azioni

Il valore di progetto (E_d) delle azioni si calcola moltiplicando le azioni per i coefficienti della tabella 1

Tabella 1: Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

CARICHI	EFFETTO	COEFFICIENTE PARZIALE	EQU	(A1)	(A2)
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0.9	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G2}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3

Resistenze

Il valore di progetto della resistenza R_d può essere determinato:

- a) in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale γ_M specificato nella successiva Tab. 6.2.II e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali relativi a ciascun tipo di opera;
- b) in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati di prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;
- c) sulla base di misure dirette su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera.

Tabella 2: Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

Dott. Geol. Antonio Mattia Fusco - Via Malta, 29

74020 Maruggio (TA) tel 349 4228478 E-mail fusco_antonio_mattia@yahoo.it

Tangente dell'angolo resistenza al taglio	$\tan \phi^k$	ϕ^k	1.0	1.25
Coesione efficace	c^k	γc^k	1.0	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γc_{u}	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	γ	$\gamma\gamma$	1.0	1.0

Per gli ammassi rocciosi e per i terreni a struttura complessa, nella valutazione della resistenza caratteristica occorre tener conto della natura e delle caratteristiche geometriche e di resistenza delle discontinuità strutturali. Il valore di progetto della resistenza si ottiene, per il caso (a), applicando al valore caratteristico della resistenza unitaria al taglio t_R un coefficiente parziale $\gamma_{tR} = 2,0$ (M1) e $\gamma_{tR} = 1,25$ (M2) oppure procedendo come previsto ai punti b) e c) di cui sopra.

Approccio 1

Si basa sul concetto dei coefficienti di sicurezza parziale e considera due famiglie di combinazioni (una combinazione di tipo strutturale STR “scenario A1+M1+R1” e una combinazione di tipo Geotecnico GEO, “scenario A2+M2+R2” generalmente con le seguenti modalità:

- **combinazione 1 (A1+M1+ R1) combinazione di tipo strutturale STR**
- **combinazione 2 (A2+M2+R2) combinazione di tipo geotecnico GEO**

dove

A = coefficiente di amplificazione dei carichi;

M = coefficiente di riduzione dei parametri geotecnici;

R = coefficiente di riduzione delle resistenze (portanza, scorrimento ecc..)

La prima combinazione è generalmente più severa nei confronti del dimensionamento strutturale delle opere a contatto con il terreno, mentre la seconda combinazione è generalmente più severa nei riguardi del dimensionamento geotecnico.

Approccio 2

In questo tipo di approccio è prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali che nelle verifiche geotecniche:

(A1 + M1 + R3) (STRU-GEO)

In questo tipo di combinazione vengono incrementati le azioni permanenti e variabili (A1) con i coefficienti parziali sulle azioni, vengono lasciate inalterate le caratteristiche di resistenza del terreno (M1), mentre la resistenza (R3) assume valori ridotti o invariati in relazione al tipo di verifica (GEO-STR).

Nelle verifiche effettuate con l'approccio 2 che siano finalizzate al dimensionamento strutturale (STR), il coefficiente γ_R non deve essere portato in conto.

In definitiva, la norma dà la facoltà di scegliere in alternativa l'Approccio 1 verificando entrambe le combinazioni, oppure l'approccio 2 – combinazione unica.

La verifica di stabilità globale deve essere effettuata secondo l'Approccio 1: combinazione 2: (A2+M2+R2) tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nella tabella 1 e nella 3 per le azioni e i parametri geotecnici e dei coefficienti parziali γ_R delle resistenze (tab. 4).

Le rimanenti verifiche (rottura per carico limite e per scorrimento) devono essere effettuate tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 1 , 2 e 3 seguendo almeno uno dei due approcci:

Tabella 3: Coefficienti e al variare di $\tan\theta$, dove $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{k_h}{1-k_v}\right)$

$\tan\theta$	FATTORI DI CAPACITÀ PORTANTE			COEFFICIENTI RIDUTTIVI		
	N_{qE}	$N_{\gamma E}$	N_{cE}	e_q	e_γ	e_c
0	16.51	23.76	26.86	1.00	1.00	1.00
0.807	12.86	15.34	20.55	0.78	0.65	0.77
0.176	9.84	9.45	15.31	0.60	0.40	0.57
0.268	7.30	5.36	10.90	0.44	0.23	0.41
0.364	5.12	2.61	7.14	0.31	0.11	0.27
0.466	3.21	0.88	3.83	0.19	0.04	0.14
0.577	1.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00

Tabella 4: Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1.0$	$\gamma_R = 1.8$	$\gamma_R = 2.3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1.0$	$\gamma_R = 1.1$	$\gamma_R = 1.1$

Tabella 5: Parametri caratteristici di progetto

Parametro al quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_m	
	Sabbia limosa	
	M1	M1
Tan ϕ'	29.2	24.1

C'	0.0	0.0
γ	16.5	16.5

$\text{Tan } \phi' =$ tangente dell'angolo di resistenza al taglio ($^{\circ}$);
 $\gamma =$ peso dell'unità di volume (kN/mc); $c' =$ coesione efficace (kPa).

Parametro al quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_m	
	<i>ghiaia</i>	
	M1	M1
$\text{Tan } \phi'$	41.0	34.8
C'	0.0	0.0
γ	22.3	22.3

$\text{Tan } \phi' =$ tangente dell'angolo di resistenza al taglio ($^{\circ}$);
 $\gamma =$ peso dell'unità di volume (kN/mc); $c' =$ coesione efficace (kPa).

CONCLUSIONI

Nel mese di luglio 2022, su incarico di Q-Energy Renewables S.r.l., il sottoscritto, ha eseguito dei rilievi in campo ed uno studio geologico, morfologico ed idrogeologico di supporto ad un progetto di *REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO NEL COMUNE DI BOVINO E TROIA IN LOCALITA' SERRONE E CONVEGNA*, costituito da 7 aerogeneratori, della potenza nominale complessiva di 42,0 MW.

Lo studio geo-idro-morfologico di superficie ha permesso di osservare che la morfologia dell'area interessata dall'impianto è di tipo collinare; le

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

Dott. Geol. Antonio Mattia Fusco - Via Malta, 29

74020 Maruggio (TA) tel 349 4228478 E-mail fusco_antonio_mattia@yahoo.it

quote variano da 380 a 260 m s.l.m. con una morfologia degradante verso nord.

Il paesaggio è condizionato dalla presenza di fiumi e torrenti.

Le forme morfologiche ed idrogeologiche evidenti nell'area sono infatti i corsi d'acqua e le ripe fluviali; tuttavia l'installazione degli aerogeneratori è prevista ad una distanza di rispetto da tali emergenze.

L'espressione idrogeologica principale è rappresentata dal Torrente Cervaro che tuttavia dista oltre un km dal più vicino aerogeneratore.

Altre espressioni idrografiche più modeste distano comunque oltre 150 metri dai più vicini aerogeneratori.

Nell'area interessata dall'impianto si rinvencono in affioramento per la maggior parte i depositi sabbiosi e limosi. Cinque aerogeneratori saranno installati su questi depositi pliocenici.

L'installazione degli aerogeneratori nn. 1 e 2 è prevista invece su depositi fluviali sabbioso-conglomeratici.

I rilievi di superficie e le indagini eseguite nell'area non hanno rilevato alcuna falda superficiale, tuttavia non si esclude che esistano dei livelli anche discontinui, laddove si rinvencono livelli impermeabili che fungano da letto della stessa.

Si tratta di piccole falde a carattere stagionale, che risentono del regime pluviometrico dell'area.

Dalla consultazione della cartografia redatta dal Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) dell'Autorità di Bacino Distretto dell'Appennino Meridionale emerge che l'area interessata dall'intervento *risulta perimetrata a pericolosità geomorfologia* (PG1) per ciò che

concerne l'area in cui ricadono gli aerogeneratori WTG 04, WTG 05, WTG 06 e WTG 07.

Nell'articolo 15 – ***Interventi consentiti nelle aree a pericolosità geomorfologica media e moderata (P.G.1)*** – si cita che nelle aree a pericolosità geomorfologica elevata (P.G.1) sono consentiti tutti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio purché l'intervento garantisca la sicurezza, non determini condizioni di instabilità e non modifichi negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici nell'area e nella zona potenzialmente interessata dall'opera e dalle sue pertinenze.

Data la natura geologico-stratigrafica dell'area saranno realizzate molto probabilmente delle fondazioni profonde.

L'installazione non prevede, scavi o livellamento della roccia; il tutto avverrà nel rispetto dell'orografia dell'area e dell'equilibrio morfologico esistente senza alcuno sbancamento.

In sostanza ***l'intervento non determina alcun aumento del livello di pericolosità, non determina condizioni di instabilità e non modifica negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici nell'area né nelle zone circostanti.***

Come si evince dalla cartografia allegata un tratto del cavidotto sarà realizzato in un'area a pericolosità di tipo PG2, si tratta tuttavia di un piccolo scavo per la posa del cavidotto interrato che sarà seguito al ripristino dello stato dei luoghi senza apportare modifiche impattanti, non costituendo in nessun caso un fattore di aumento della pericolosità geomorfologica né compromettendo la stabilità del territorio

L'indagine geognostica è consistita nell'esecuzione di:

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

Dott. Geol. Antonio Mattia Fusco - Via Malta, 29

74020 Maruggio (TA) tel 349 4228478 E-mail fusco_antonio_mattia@yahoo.it

- una prova penetrometrica dinamica DPSH;
- un profilo sismico a rifrazione;
- un'indagine sismica di superficie con metodologia Masw per il calcolo delle Vs, eq.

Esse hanno permesso di ricostruire la seguente successione stratigrafica: mascherate da una debole copertura di terreno vegetale si rinvencono dapprima delle sabbie limose, di modesta potenza e poi le ghiaie; le **Sabbie limose** sono caratterizzate da:

Densità relativa	(%)	63.89
Angolo di attrito	(°)	29.2
Modulo di Young	(kg/cmq)	-
Modulo edometrico	(kg/cmq)	43.28
Classificazione AGI		Poco Addensato
Coesione	(kg/cmq)	0.0
Peso di volume	(gr/cmc)	1.65
Modulo di Poisson		0.34
Modulo di def. a taglio	(kg/cmq)	442.81

I parametri geotecnici delle **Ghiaie** sono:

Densità relativa	(%)	100
Angolo di attrito	(°)	41.0
Modulo di Young	(kg/cmq)	320.70

Modulo edometrico	(kg/cmq)	128.40
Classificazione AGI		Addensato
Coesione	(kg/cmq)	0.0
Peso di volume	(gr/cmc)	2.23
Modulo di Poisson		0.26
Modulo di def. a taglio	(kg/cmq)	2528.50

I parametri caratteristici di progetto risultano:

Parametro al quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_m	
	Sabbia limosa	
	M1	M1
Tan ϕ'	29.2	24.1
C'	0.0	0.0
γ	16.5	16.5

Tan ϕ' = tangente dell'angolo di resistenza al taglio (°);
 γ = peso dell'unità di volume (kN/mc); c' = coesione efficace (kPa).

Parametro al quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_m	
	ghiaia	
	M1	M1
Tan ϕ'	41.0	34.8
C'	0.0	0.0
γ	22.3	22.3

Tan ϕ' = tangente dell'angolo di resistenza al taglio (°);
 γ = peso dell'unità di volume (kN/mc); c' = coesione efficace (kPa).

STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA

Dott. Geol. Antonio Mattia Fusco - Via Malta, 29

74020 Maruggio (TA) tel 349 4228478 E-mail fusco_antonio_mattia@yahoo.it

La categoria sismica dell'area in esame rientra nella C di ***Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti*** avendo ottenuto un valore di V_{seq} di 310 m/sec.

In fase di progetto esecutivo, come richiesto dal D.M. 17.01.2018, saranno poi eseguite ulteriori indagini puntuali di approfondimento, sondaggi geognostici, prelievo di campioni ed analisi di laboratorio in corrispondenza di ciascun aerogeneratore.

Maruggio, Luglio 2022

Il Geologo

Dott. Antonio Mattia FUSCO



LABORATORIO MATERIALI DA COSTRUZIONE
LABORATORIO TERRE E ROCCE
INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE

GEOPROVE S.R.L.

COMUNI DI BOVINO E TROIA (Provincia di FOGGIA)

COMMITTENTE: PHEEDRA S.R.L.

DOTT. ANGELO MICOLUCCI

INDAGINI GEOFISICHE PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO

Ruffano, luglio 2022

IL DIRETTORE TECNICO
Dott. Geol. Marcello DE DONATIS



Autorizzazione ministeriale ad effettuare e certificare prove su materiali da costruzione DM 275 del 12 giugno 2018.

Autorizzazione ministeriale ad effettuare e certificare prove su terre, rocce e prove in sito DM 278 del 14 giugno 2018.



ISO 14001:2015, n. SA 00014/19
OHSAS 18001:2007, n. SA 00015/19



SOA 05208 II Livello



Organismo di Certificazione
AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE CERTIFICATO
UNI EN ISO 9001



GEOPROVE S.R.L. P. IVA 03940580750 • Capitale Sociale € 500.000,00 • Iscrizione alla CCIAA 255978

Sede Legale e Laboratorio Terre e Rocce Via Il Giugno 2, 73049 Ruffano (LE) • Laboratorio Materiali Via Benedetto Falcone snc ZI 73049 Ruffano (LE) •

Unità Locale Via Olanda, Zona Industriale Surbo, 73010 Lecce (LE) • Telefono e Fax 0833 692992 • Cell. 329 359 9093 | www.geoprove.eu • info@geoprove.eu

INDICE

PREMESSA.....	2
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA	3
INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE.....	7
SISMICA CON METODOLOGIA MASW	9

PREMESSA

Nel mese di Luglio 2022, su incarico del dott. Ing. Angelo Micolucci di Pheedra s.r.l., la Geoprove Srl di Ruffano ha eseguito delle indagini geognostiche e geofisiche su un'area situata nei Comuni di *BOVINO e TROIA in località Serrone e Convegna* dove è in progetto la realizzazione di un impianto eolico.

Come richiesto dalla committenza sono stati pertanto eseguiti:

- n. 1 prova penetrometrica dinamica continua;
- n. 1 indagine sismica a rifrazione;
- n. 1 indagine sismica Masw per l'individuazione della categoria sismica del suolo di fondazione.

Al termine delle indagini è stata redatta la presente relazione ai sensi del D.M. 17.01.2018.

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA

Nell'area in esame è stata eseguite a una prove DPSH della profondità di circa 4.20 metri.

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

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.

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)
- avanzamento (penetrazione) d

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella più 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)

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

Nella presente indagine è stato utilizzato un penetrometro DPSH mod. TG 63-200 PAGANI

I dati penetrometrici sono stati successivamente elaborati secondo le più assodate metodologie in uso, arrivando ad associare a ciascuna prova una colonna geotecnica interpretativa (vedi grafico allegato).

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

La successione litostratigrafica ricostruita con la prova è la seguente:

Prova penetrometrica n. 1:

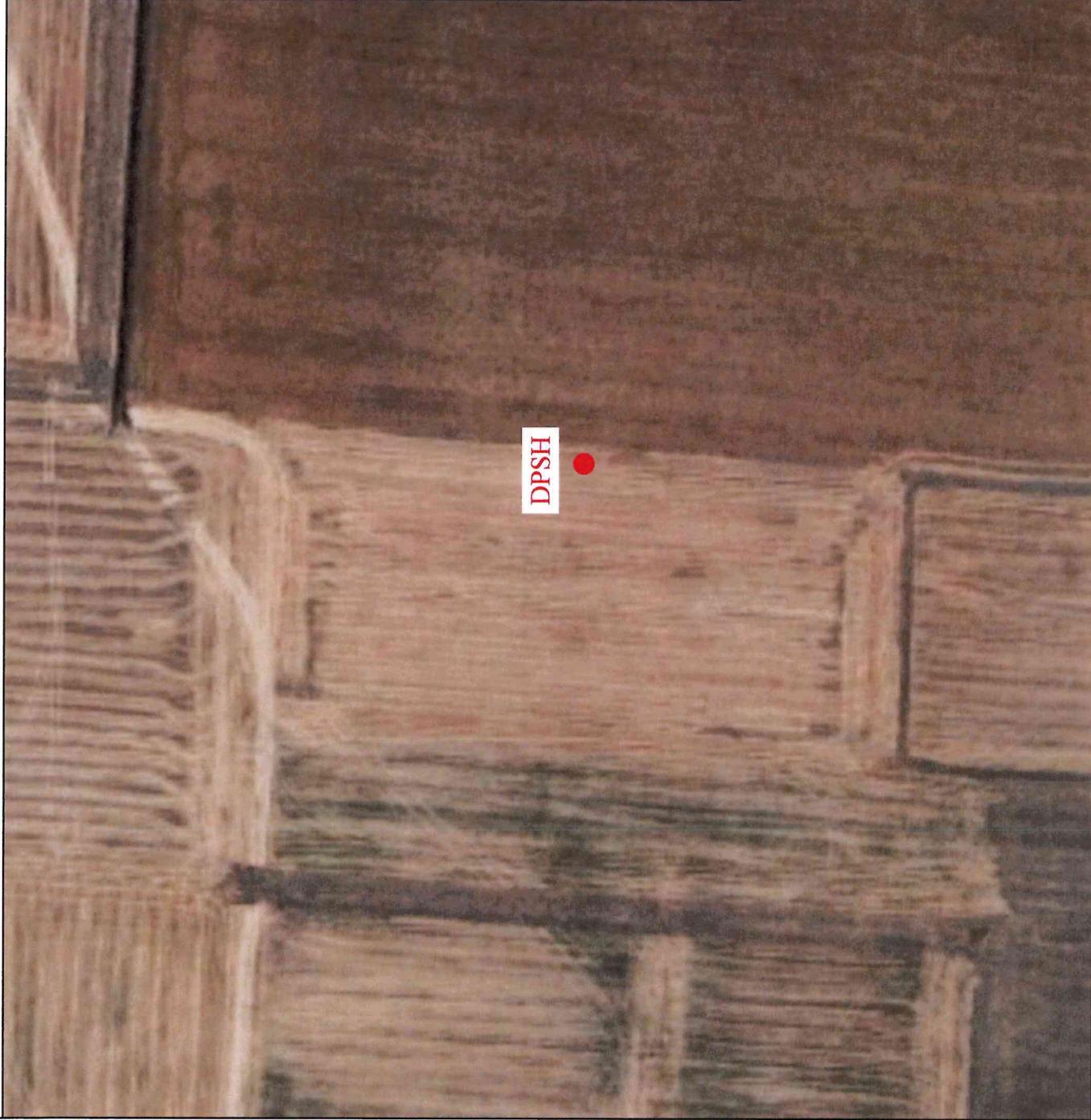
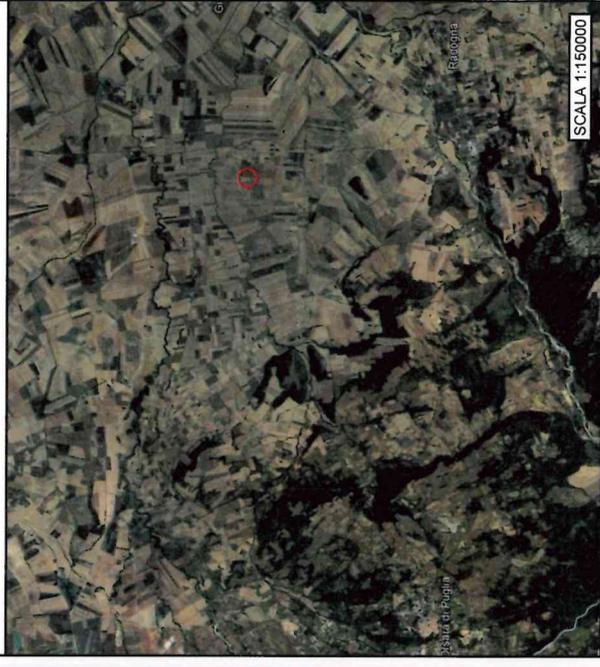
- da 0.00 m a 0.60 m terreno vegetale
- da 0.60 m a 2.20 m sabbie limose
- da 2.20 m a 4.20 m ghiaie

Le indagini non hanno rilevato alcuna falda superficiale.

UBICAZIONE INDAGINE PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA DPSH

LEGENDA:

- Prova penetrometrica dinamica continua DPSH
- Area indagata

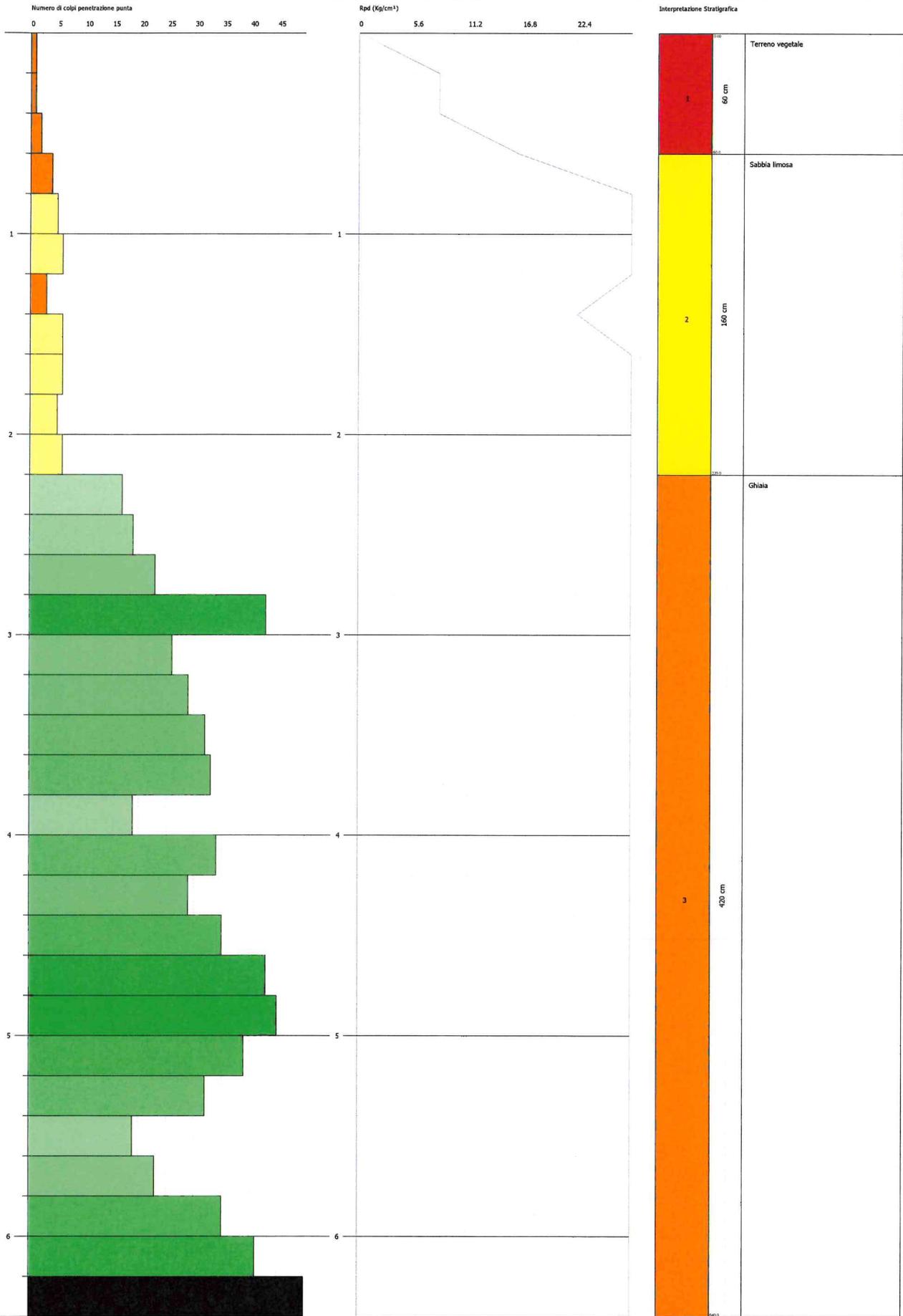


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
 Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Committente: Q-energy Renewables Srl
 Descrizione: Realizzazione di un impianto eolico
 Località: Serrone e Convegna - Comune di Bovino e Trosia

Data: 17/07/2022

Scala: 1:27





Esecuzione prova DPHS

Si allegano tabulati con numero di colpi effettivi (N20) in funzione della profondità; l'elaborazione con programma di calcolo "Dynamic Probing" della GeoStru Software s.a.s. è allegato in calce.

I parametri geotecnici delle *Sabbie limose* dedotti dalla prova penetrometrica sono risultati i seguenti:

Densità relativa	(%)	63.89
Angolo di attrito	(°)	29.2
Modulo di Young	(kg/cmq)	-
Modulo edometrico	(kg/cmq)	43.28
Classificazione AGI		Poco Addensato

Coesione	(kg/cmq)	0.0
Peso di volume	(gr/cmc)	1.65
Modulo di Poisson		0.34
Modulo di def. a taglio	(kg/cmq)	442.81

I parametri geotecnici delle **Ghiaie** dedotti dalla prova penetrometrica sono risultati i seguenti:

Densità relativa	(%)	100
Angolo di attrito	(°)	41.0
Modulo di Young	(kg/cmq)	320.70
Modulo edometrico	(kg/cmq)	128.40
Classificazione AGI		Addensato
Coesione	(kg/cmq)	0.0
Peso di volume	(gr/cmc)	2.23
Modulo di Poisson		0.26
Modulo di def. a taglio	(kg/cmq)	2528.50

INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE

La sismica a rifrazione consiste nel provocare delle onde sismiche che si propagano nei terreni con velocità che dipendono dalle caratteristiche di elasticità degli stessi. In presenza di particolari strutture, possono essere rifratte e ritornare in superficie, dove, tramite appositi sensori (geofoni), posti a distanza nota dalla sorgente lungo la linea retta, si misurano i tempi di arrivo delle onde longitudinali (onde P), al fine di determinare la velocità (V_p) con cui tali onde coprono le distanze tra la sorgente ed i vari ricevitori.

I dati, così ottenuti, si riportano su diagrammi cartesiani aventi in ascissa le distanze e in ordinata i tempi dei primi arrivi dell'onda proveniente dalla sorgente. In questo modo si ottengono delle curve (dromocrone) che, in base ad una metodologia interpretativa basata essenzialmente sulla legge di Snell, ci permettono di determinare la velocità di propagazione delle onde e le costanti elastiche dei terreni attraversati.

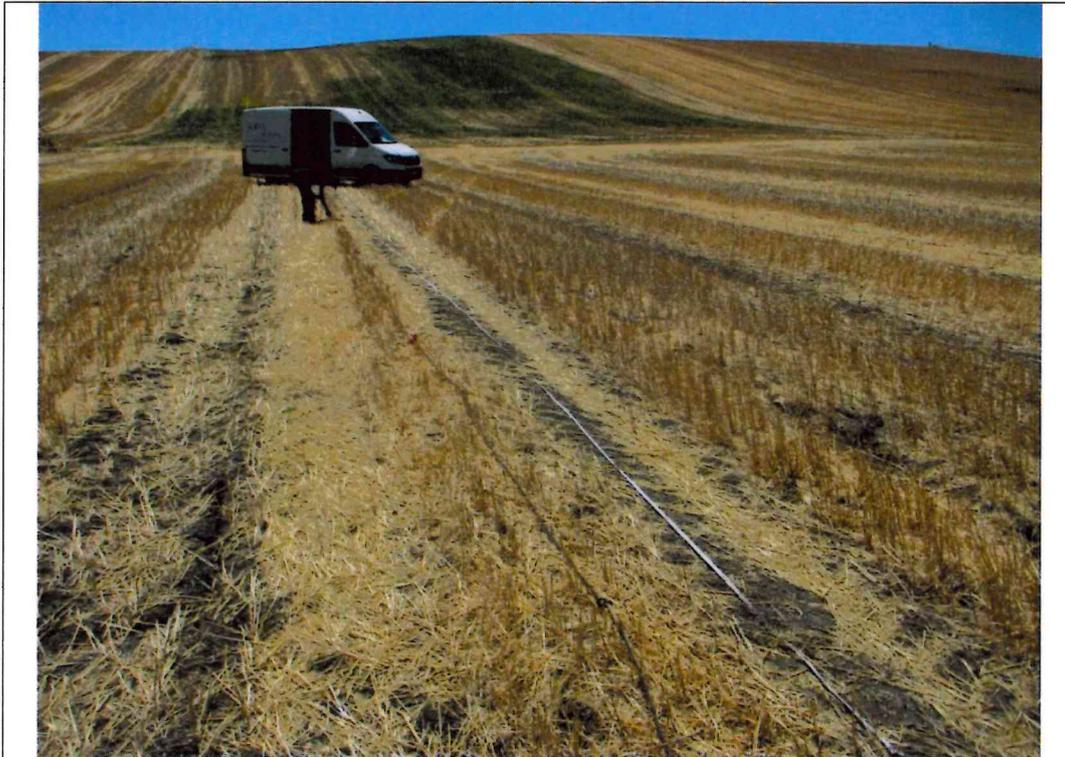
Il profilo sismico è stato eseguito adottando una distanza tra i geofoni di 4 metri.

L'energizzazione è stata ottenuta utilizzando una mazza battente del peso di 5 kg che batte su una piastra rettangolare.

Le onde così generate sono state registrate con un sismografo a 12 canali della GEOMETRICS mod Geode, il quale consente di ottenere le misurazioni dei tempi di arrivo delle onde sismiche che si propagano nel sottosuolo.

L'interpretazione dei dati di campagna è stata eseguita tramite l'applicazione congiunta e computerizzata del metodo di Palmer e delle intercette.

Il profilo sismico a rifrazione, di lunghezza pari a 44 metri, ha evidenziato un modello a due sismostrati. In affioramento si rinviene del terreno vegetale che presenta una velocità V_p di 400 m/sec ed uno spessore di circa 1.5 metri, segue un substrato caratterizzato da una velocità V_p di 1000 m/sec, da ricondurre a ghiaie.

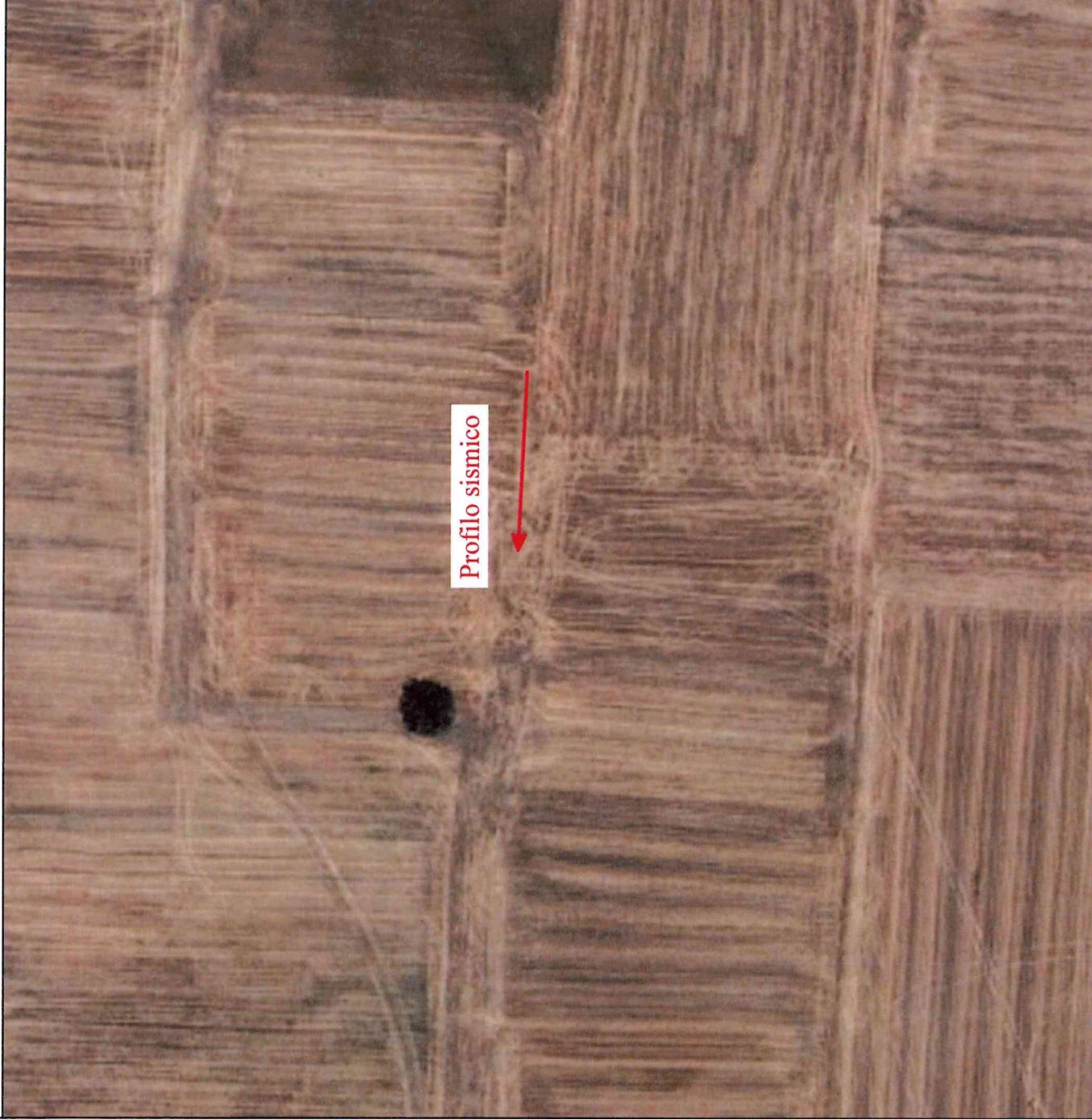
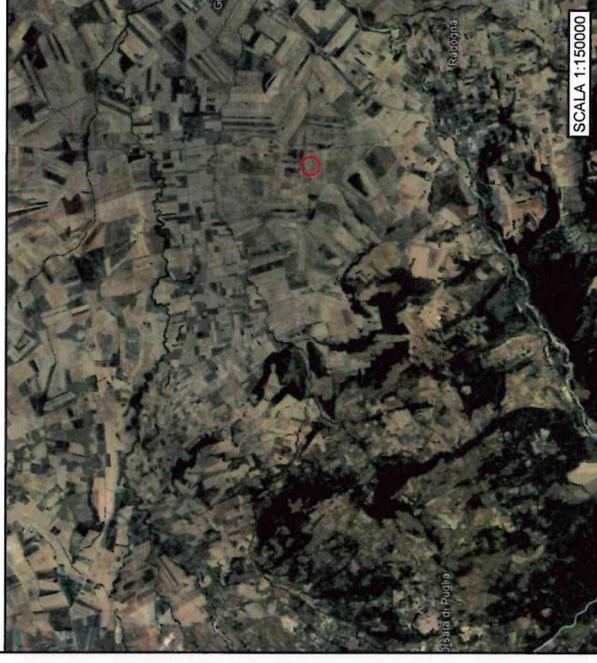


Esecuzione indagine sismica a rifrazione

UBICAZIONE INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE

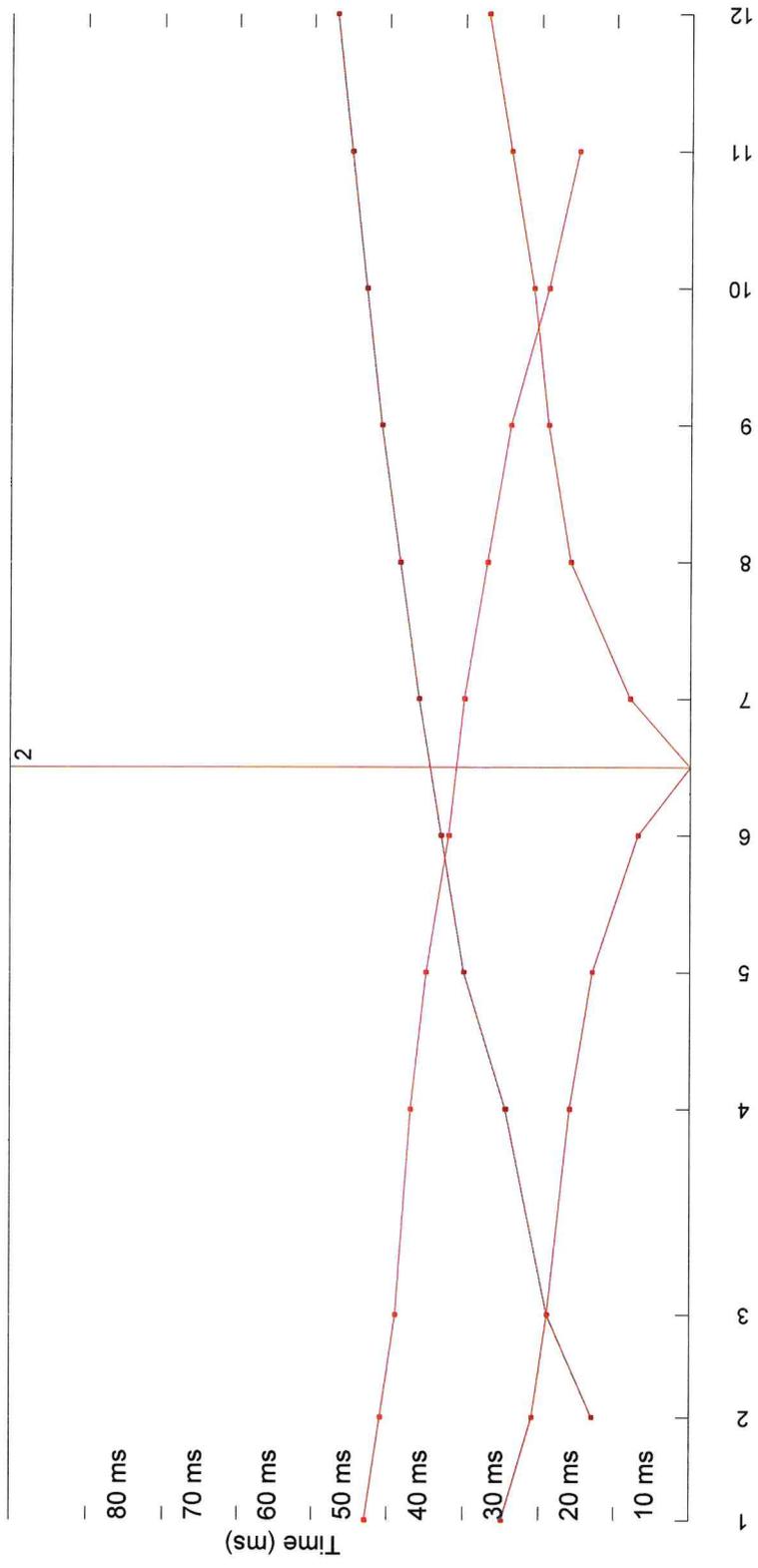
LEGENDA:

-  Profilo sismico a rifrazione
-  Area indagata



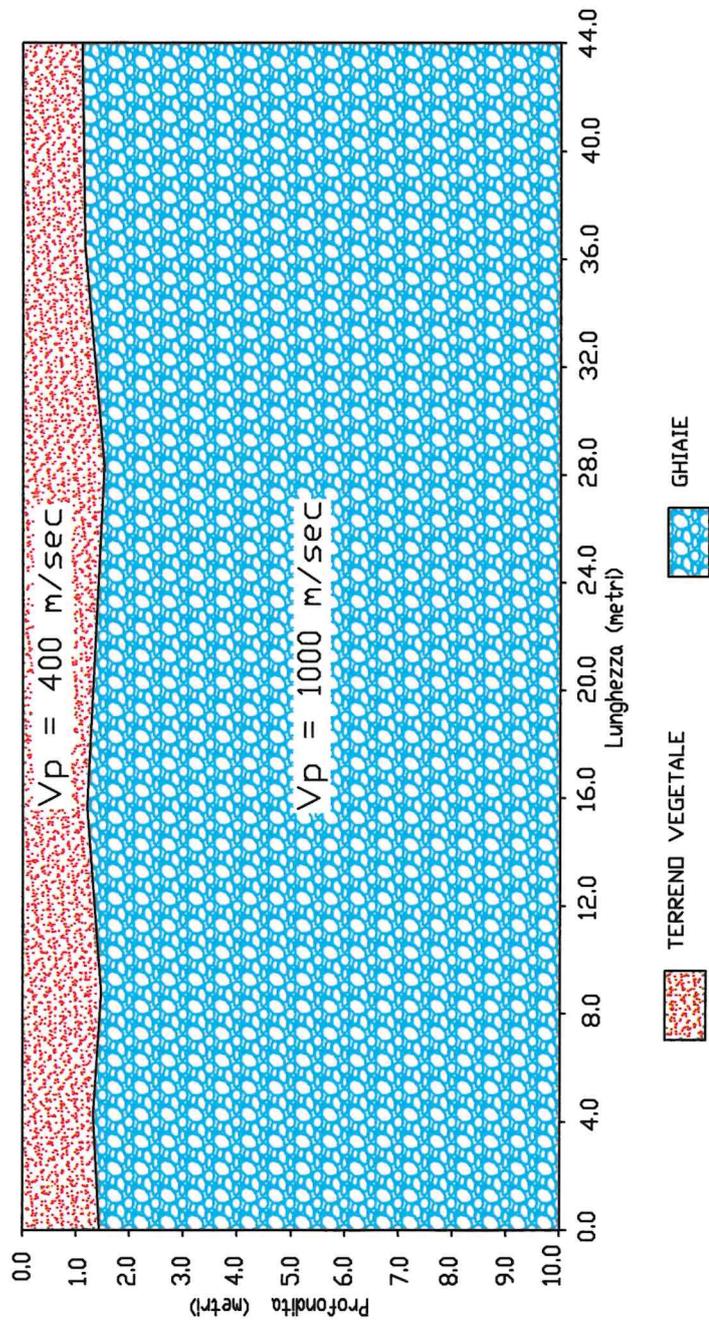
Profilo 1-1';

Località: Bovino (Fg);



Calcoli d'epaisseur

PROFILLO SISMICO A RIFRAZIONE
LOCALITA': BOVINDO c/o AEROGENERATORE WTG 04



SISMICA CON METODOLOGIA MASW

Per individuare la categoria sismica del suolo di fondazione è stata eseguita una indagine di sismica con metodologia MASW.

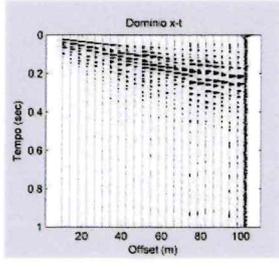
Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva (non è necessario eseguire perforazioni o scavi), che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. Le onde superficiali di Rayleigh, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni (da 4.5 Hz) e vengono successivamente analizzate attraverso complesse tecniche computazionali basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.

La metodologia per la realizzazione di una indagine sismica MASW prevede almeno i seguenti passi:

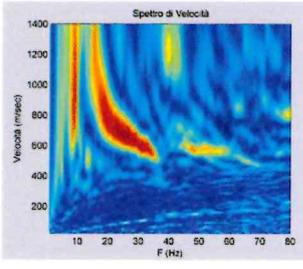
- Acquisizioni multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale (maglio battente su piastra in alluminio), lungo uno stendimento rettilineo di sorgente-geofoni
- Estrazione dei modi dalle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh;
- Inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali delle VS.

Prima parte: determinazione curva di dispersione **Determinazione Spettro di Velocità**

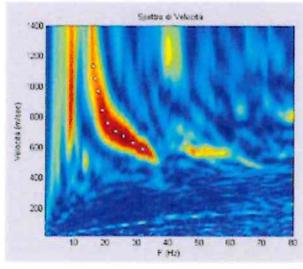
A) Caricamento dati



B) Calcolo spettro di velocità



C) Picking della curva di dispersione

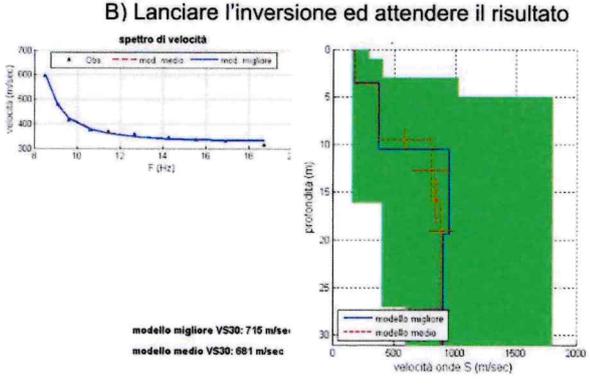


Seconda parte: inversione della curva di dispersione **Inversione delle Curve di Dispersione**

A) Fissare parametri di inversione



B) Lanciare l'inversione ed attendere il risultato



modello migliore VS30: 716 m/sec
modello medio VS30: 681 m/sec

Gli algoritmi genetici rappresentano un tipo di procedura di ottimizzazione appartenente alla classe degli algoritmi euristici (o anche global-search methods o soft computing).

Rispetto ai comuni metodi di inversione lineare basati su metodi del gradiente (matrice Jacobiana), queste tecniche di inversione offrono un'affidabilità del risultato di gran lunga superiore per precisione e completezza.

I comuni metodi lineari forniscono infatti soluzioni che dipendono pesantemente dal modello iniziale di partenza che l'utente deve necessariamente fornire. Per la natura del problema (inversione delle curve di dispersione), la grande quantità di minimi locali porta infatti ad attrarre il

modello iniziale verso un minimo locale che può essere significativamente diverso da quello reale (o globale).

In altre parole, i metodi lineari richiedono che il modello di partenza sia già di per sé vicinissimo alla soluzione reale. In caso contrario il rischio è quello di fornire soluzioni erranee.

Gli algoritmi genetici (come altri analoghi) offrono invece un'esplorazione molto più ampia delle possibili soluzioni.

Le NTC18 effettuano la classificazione del sottosuolo in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_i \frac{h_i}{n V_{S,i}}}$$

Con: h_i spessore dell' i -esimo strato; $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato; N numero di strati; H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS 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.

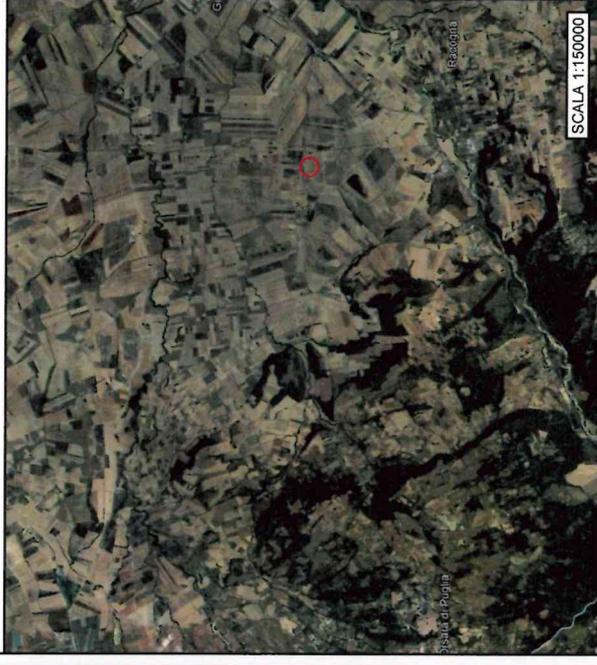
Dalle indagini Masw eseguite è stato ricavato l'andamento delle V_s e da qui calcolato il valore della $V_{S,eq}$.

L'indagine è stata effettuata in corrispondenza dell'aerogeneratore WTG 04 restituendo il seguente valore di V_{S30} & $V_{S,eq} = 310$ m/s che fa rientrare il suolo di fondazione nella categoria sismica C.

UBICAZIONE INDAGINE SISMICA TIPO MASW

LEGENDA:

-  Profilo sismico tipo MASW
-  Area indagata

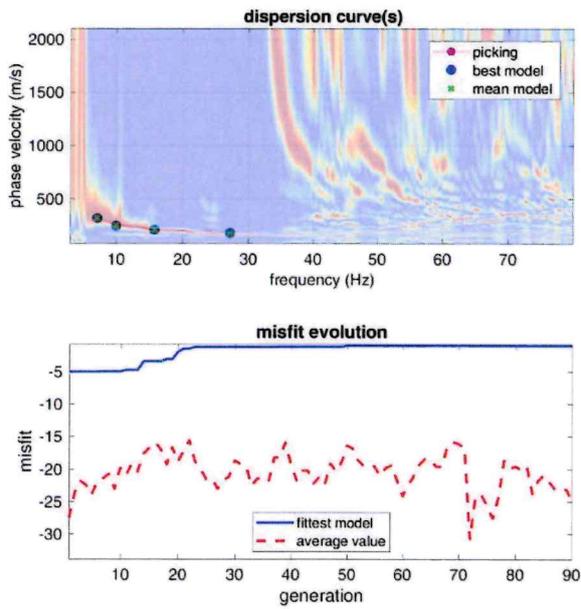


Profilo MASW

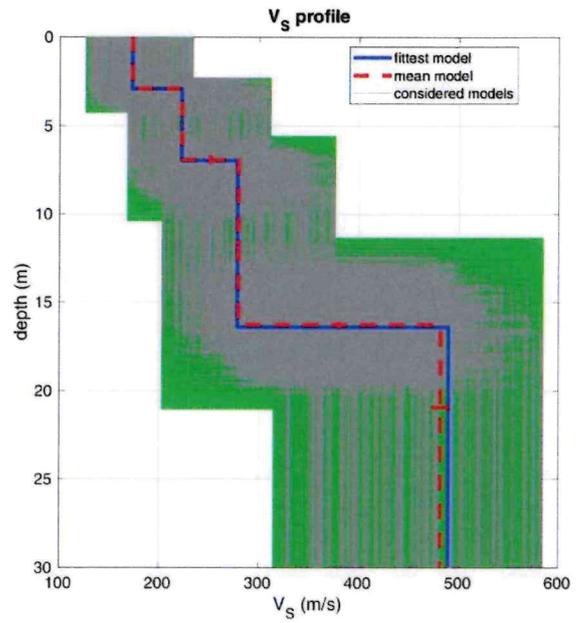


SCALA 1:1500

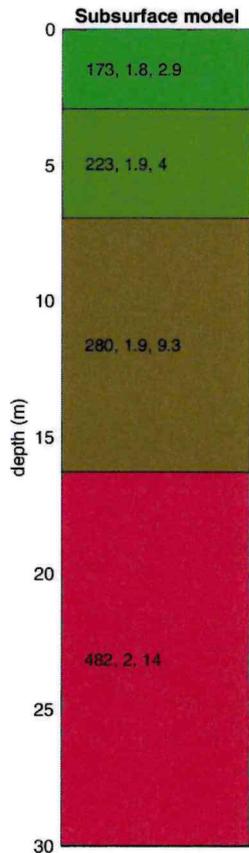
MASW 1



www.winmasw.com



dataset: 00000871.sgy
 dispersion curve: p.cdp
 Vs30 & VsE (best model): 310 310 m/s
 Vs30 & VsE (mean model): 310 310 m/s



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



Esecuzione indagine sismica a rifrazione

Le categorie di sottosuolo individuate dal Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018, recante “Norme Tecniche per le costruzioni” sono le seguenti:

- 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.

13

- 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.

Ruffano, luglio 2022

IL GEOLOGO

dr. Marcello DE DONATIS



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Q-energy Renewables Srl Descrizione: Realizzazione di un impianto eolico Località: Serrone e Convegna - Comune di Bovino e Troia	
---	--

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63.5 Kg
Altezza di caduta libera	0.75 m
Peso sistema di battuta	8 Kg
Diametro punta conica	50.46 mm
Area di base punta	20 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6.3 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.80 m
Avanzamento punta	0.20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1.504
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

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

Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infingere 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 $A=10$ cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;
- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
massa battente $M = 20$ kg, altezza di caduta $H=0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha= 60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10$ cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;
- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)
massa battente $M = 73$ kg, altezza di caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=30$ cm, punta conica ($\alpha = 60^\circ$), diametro $D = 50.8$ mm, area base cono $A=20.27$ cm² rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;
- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)
massa battente $M=63.5$ kg, altezza caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=20-30$ cm, punta conica conica ($\alpha = 60^\circ-90^\circ$) diametro $D = 50.5$ mm, area base cono $A = 20$ cm², 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:

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

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 Olandesi

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

R_{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.

Calcolo di $(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60}$ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

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

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

ER/60 rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.
 C_s parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
 C_d funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
 C_r parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Metodologia di Elaborazione.

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

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

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

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

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,

-
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
 - i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e 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.

Distribuzione normale R.C.

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

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

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

Distribuzione normale R.N.C.

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

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

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

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

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati N_{spt} il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi o siltosi). 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

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

N_{spt} è il valore medio nello strato

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

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956) - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof (1956) - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers (1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda e < 7 m per terreni in falda) $\sigma > 5$ 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 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONALE RAILWAY, Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $s > 15$ t/mq.
- Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 m e con (%) di limo > 5% a profondità < 3 m.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

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

Modulo Di Young (E_y)

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

Modulo Edometrico

Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia

- Buismann-Sanglerat, correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume

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

Peso di volume saturo

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

- Seed-Idriss (1978-1981) . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio 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/s)

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

Modulo di deformazione di taglio (G)

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

Modulo di reazione (K_o)

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

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA (1983).
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con $N_{spt} < 8$, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.

- Terzaghi-Peck (1948). C_u (min-max).
- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi , tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5 , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità , (C_u - N_{spt} -grado di plasticità).
- Schmertmann (1975), C_u (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con $N_c = 20$ e $Q_c/N_{spt} = 2$.
- Schmertmann (1975), C_u (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata C_u (Kg/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 $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$).
- Buismann- 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

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

Peso di volume saturo

- Meyerhof ed altri.

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato...DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Prova eseguita in data 17/07/2022

Profondità prova 6.40 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.20	1	0.855	8.31	9.72	0.42	0.49
0.40	1	0.851	8.27	9.72	0.41	0.49
0.60	2	0.847	16.46	19.44	0.82	0.97
0.80	4	0.843	32.78	38.87	1.64	1.94
1.00	5	0.840	37.75	44.95	1.89	2.25
1.20	6	0.836	45.11	53.94	2.26	2.70
1.40	3	0.833	22.46	26.97	1.12	1.35
1.60	6	0.830	44.75	53.94	2.24	2.70
1.80	6	0.826	44.57	53.94	2.23	2.70
2.00	5	0.823	34.42	41.82	1.72	2.09
2.20	6	0.820	41.15	50.18	2.06	2.51
2.40	17	0.767	109.07	142.18	5.45	7.11
2.60	19	0.764	121.44	158.90	6.07	7.95
2.80	23	0.711	136.85	192.36	6.84	9.62
3.00	43	0.609	204.63	336.19	10.23	16.81
3.20	26	0.706	143.52	203.28	7.18	10.16
3.40	29	0.703	159.49	226.74	7.97	11.34
3.60	32	0.651	162.84	250.19	8.14	12.51
3.80	33	0.648	167.30	258.01	8.36	12.90
4.00	19	0.746	104.04	139.47	5.20	6.97
4.20	34	0.644	160.65	249.57	8.03	12.48
4.40	29	0.691	147.18	212.87	7.36	10.64
4.60	35	0.639	164.23	256.91	8.21	12.85
4.80	43	0.587	185.31	315.63	9.27	15.78
5.00	45	0.585	182.10	311.27	9.11	15.56
5.20	39	0.583	157.28	269.77	7.86	13.49
5.40	32	0.631	139.68	221.35	6.98	11.07
5.60	19	0.729	95.83	131.43	4.79	6.57
5.80	23	0.677	107.75	159.10	5.39	7.95
6.00	35	0.625	143.18	228.91	7.16	11.45
6.20	41	0.574	153.84	268.15	7.69	13.41
6.40	70	0.572	261.88	457.81	13.09	22.89

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlazione con Nspt	NSPT	Descrizione
0.6	1.33	12.96		0	0.0	0.0	0.0	1.5	2	Terreno vegetale
2.2	5.12	45.58	Incoerente	0	1.65	1.9	0.13	1.5	7.7	Sabbia limosa
6.4	32.67	237.62	Incoerente	0	2.23	2.16	0.73	1.5	49.14	Ghiaia

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

TERRENI INCOERENTI I

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (2) Sabbia limosa	7.7	0.60-2.20	7.7	Meyerhof 1957	63.89
Strato (3) Ghiaia	49.14	2.20-6.40	49.14	Meyerhof 1957	100

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (2) Sabbia limosa	7.7	0.60-2.20	7.7	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	29.2
Strato (3) Ghiaia	49.14	2.20-6.40	49.14	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	41.04

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (2) Sabbia limosa	7.7	0.60-2.20	7.7	Bowles (1982) Sabbia Media	---
Strato (3) Ghiaia	49.14	2.20-6.40	49.14	Bowles (1982) Sabbia Media	320.70

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (2) Sabbia limosa	7.7	0.60-2.20	7.7	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	43.28
Strato (3) Ghiaia	49.14	2.20-6.40	49.14	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	128.40

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione e AGI
Strato (2) Sabbia limosa	7.7	0.60-2.20	7.7	Classificazione e A.G.I.	POCO ADDENSATO
Strato (3) Ghiaia	49.14	2.20-6.40	49.14	Classificazione e A.G.I.	ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
Strato (2) Sabbia limosa	7.7	0.60-2.20	7.7	Meyerhof et al.	1.65
Strato (3) Ghiaia	49.14	2.20-6.40	49.14	Meyerhof et al.	2.23

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
Strato (2) Sabbia limosa	7.7	0.60-2.20	7.7	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.90
Strato (3) Ghiaia	49.14	2.20-6.40	49.14	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.16

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (2) Sabbia limosa	7.7	0.60-2.20	7.7	(A.G.I.)	0.34
Strato (3) Ghiaia	49.14	2.20-6.40	49.14	(A.G.I.)	0.26

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (2) Sabbia limosa	7.7	0.60-2.20	7.7	Ohsaki (Sabbie pulite)	442.81
Strato (3) Ghiaia	49.14	2.20-6.40	49.14	Ohsaki (Sabbie pulite)	2528.50

Velocità onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (2) Sabbia limosa	7.7	0.60-2.20	7.7	Ohta & Goto (1978) Limi	103.92
Strato (3) Ghiaia	49.14	2.20-6.40	49.14	Ohta & Goto (1978) Limi	177.83

Coefficiente spinta a Riposo $K_0 = \sigma_H / P_0$

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K_0
Strato (2) Sabbia limosa	7.7	0.60-2.20	7.7	Navfac 1971-1982	1.60
Strato (3) Ghiaia	49.14	2.20-6.40	49.14	Navfac 1971-1982	8.06