

# REGIONE PUGLIA

## Provincia di Foggia

### COMUNE DI APRICENA



OGGETTO

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO  
NEL COMUNE DI APRICENA IN LOCALITA' TRIFONE - SERRILLO

COMMITTENTE

## WIND ENERGY APRICENA S.r.l.

Via Caravaggio, 125 - 65125 Pescara (PE)  
P.IVA: 02315340683

Codice Commessa PHEEDRA: 20\_26\_EO\_APR



**PHEEDRA**  
Our passion, your expression.

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

PROGETTAZIONE

Dott. Ing. Angelo Micolucci



Dott. Geol. Antonio Mattia Fusco



1	Maggio 2021	PRIMA EMISSIONE	MS	AM	VS
REV.	DATA	ATTIVITA'	REDATTO	VERIFICATO	APROVATO

OGGETTO DELL'ELABORATO

## RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

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

## INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE.....	6
3. SISMICITÀ DEL TERRITORIO.....	11
4. INDAGINI GEOGNOSTICHE E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	21
5. COMPATIBILITÀ CON LA PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA (PG1).....	35
6. CONCLUSIONI.....	38

### **ALLEGATI:**

- Elaborazione prova penetrometrica mediante software della Geostru

## **1. PREMESSA**

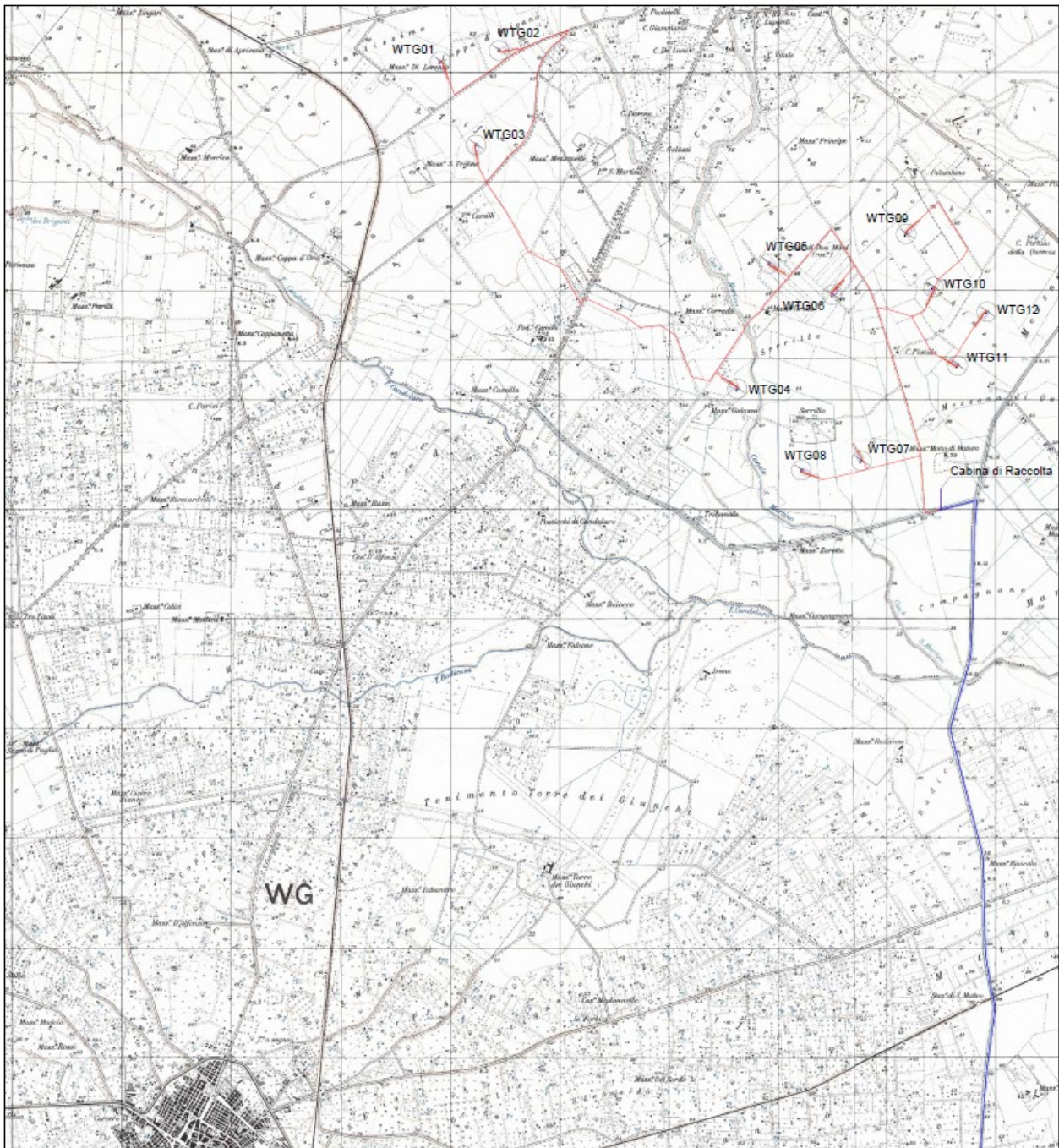
Lo scrivente Dott. Antonio Mattia Fusco, iscritto all'Ordine dei Geologi Puglia al n.587, su incarico affidatogli dalla Società d'ingegneria – Pheedra s.r.l. per conto della società proponente ha eseguito il seguente studio nell'ambito del **PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI APRICENA IN LOCALITA' "TRIFONE – SERRILLO"**. Il progetto riguarda la realizzazione di un impianto eolico composto da 12 aerogeneratori ognuno da 5,5 MW da installare nel comune di Apricena (FG) in località "Trifone - Serrillo" con opere di connessione ricadenti oltre che nel medesimo comune anche nei comuni di San Severo (FG), commissionato dalla società Wind Energy Apricena Srl.

Gli aerogeneratori sono elettricamente suddivisi in gruppi funzionali denominati sottocampi. All'interno di ciascun sottocampo gli aerogeneratori sono connessi tra loro mediante una connessione in entra-esce.

L'energia viene trasportata, tramite dei cavi MT, dai sottocampi fino alla Cabina di Raccolta e da questa fino alla Sottostazione elettrica lato utente ubicata nel Comune di San Severo, nelle immediate vicinanze della Stazione Elettrica Terna SPA di San Severo.

La connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale dell'impianto eolico per una potenza in immissione di 66 MW avverrà mediante collegamento AT all'ampliamento della SE 380/150 kV di San Severo, previo potenziamento/rifacimento della linea 150 kV "CP S. Severo – Rignano – Foggia" così come da STMG codice pratica 202000502.

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL  
COMUNE DI APRICENA IN LOCALITA' "TRIFONE – SERRILLO" (FG)**



**Stralcio IGM con indicazione area di studio**



Stralcio IGM con indicazione area di studio

Nei paragrafi che seguono sarà illustrata la situazione litostratigrafica locale, con la definizione dell'origine e natura dei litotipi, il loro stato di alterazione e fratturazione e la loro degradabilità, nonché i lineamenti morfologici della zona. Lo studio geologico si è svolto in ottemperanza al D.M. del 11/03/1988,

all'ordinanza del presidente del consiglio dei Ministri n°3274 del 20/03/2003 e alle disposizioni dettate dal nuovo Norme Tecniche sulle Costruzioni D.M. del 17/01/2018 al fine di ricostruire un modello geologico e geotecnico atto a fornire i caratteri stratigrafici, litologici del sito.

Per lo svolgimento di tale relazione, preliminarmente è stato effettuato un rilevamento geologico di dettaglio è stata consultata la cartografia dell'area e si è fatto riferimento alle informazioni di carattere bibliografico disponibile per la zona oggetto di studio.

***Inoltre il modello geologico preliminarmente è stato supportato da una serie di indagini specifiche di tipo indiretto:***

Le indagini sono consistite in:

- N° 2 profili sismici a rifrazione, uno in corrispondenza della sottostazione e uno nell'area di impianto;
- N° 1 prova penetrometrica dinamica;
- N° 1 profilo sismico passivo, con metodologia Masw.

## **2. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE**

L'area in parola ricade nel foglio 155 "San Severo" della Carta Geologica d'Italia, scala 1:100.000. e foglio 156 "San Marco in Lamis"

Dal punto di vista geostrutturale, a scala regionale, l'area di studio appartiene al dominio della Avanfossa Adriatica nel tratto che risulta compreso tra i monti della daunia ed il promontorio del Gargano.

L'Avanfossa, bacino adiacente ed in parte sottoposto al fronte esterno della Catena appenninica, si è formata a partire dal Pliocene inferiore per progressivo colmamento di una depressione tettonica allungata NW-SE, da parte di sedimenti clastici; questo processo, sia pure con evidenze diacroniche, si è concluso alla fine del Pleistocene con l'emersione dell'intera area.

Dal punto di vista geologico il sottosuolo del suddetto territorio è parte integrante dei terreni quaternari sommitali che formano la pianura della Capitanata, costituiti da depositi continentali e marini e depositi alluvionali terrazzati, formati da ghiaie, sabbie e argille.

Tali depositi, con assetto sub-orizzontale, sono il risultato dello smantellamento delle falde tettoniche dell'Appennino Dauno e della sedimentazione nella fossa Bradanica avvenuta dapprima in ambiente marino (quindi con grande uniformità areale dei terreni) poi in condizioni di emersione con la deposizione di terreni a continuità orizzontale più limitata e locale; a quest' ultima modalità di sedimentazione sono da imputare la formazione di lenti a granulometria diversa nell'ambito di una stessa sequenza sedimentaria.

L'area interessata dal progetto è interessata dalle seguenti formazioni geologiche, dal basso verso l'alto e quindi dalle formazioni più antiche alle più recenti:

( **qQ** ) *Conglomerati di Campomarino*; formati da lenti e letti di ghiaie, più o meno cementate, talvolta con sabbie a stratificazione incrociata ed intercalazioni di argille verdastre.

La formazione non sempre è facilmente distinguibile da (f11). Lo spessore è dell'ordine di 15-20 m. Più elevato in prossimità della costa.

( **f11-4** ) *depositi fluvio-lacustri*; dati da terrazzi alluvionali di diverso ordine posti a quote decrescenti sull'attuale alveo del Torrente Fortore, costituiti da coperture di ghiaie, sabbie e argille variamente sovrapposte. Nei depositi dei terrazzi del IV ordine prevale la componente limo argillosa. Lo spessore varia dal metro ad alcune decine di metri.

( **a** ) *Depositi alluvionali recenti; ghiaie sabbie e argille dei fondovalle attuali.*

( **Qe** ) *Sabbie di spiaggia rimaneggiate dal vento (dune).*

( **Q** ) *Sabbie e ghiaie delle spiagge attuali.*

**qQ** - *Conglomerati di Campomarino: Ghiaie e conglomerati di ambiente marino o continentale; non sempre chiaramente delimitabili da fl<sup>1</sup>. Post-calabriano - Calabriano terminale.*

Sono costituiti da lenti e letti di ghiaie, più o meno cementate, talvolta con livelli di conglomerati compatti. A luoghi sono presenti sabbie a stratificazione incrociata ed intercalazioni di argille verdastre.

La natura litologica dei costituenti è molto varia, trattandosi di materiale proveniente dalle formazioni appenniniche: prevalgono i ciottoli di calcari marnosi di arenarie e, localmente, di cristallino. L'arrotondamento degli elementi è notevole ed abbastanza pronunciato è il grado di appiattimento, specie dei ciottoli di medie dimensioni.

Il passaggio alle sottostanti Sabbie di Serracapriola è normalmente concordante o con lieve discordanza angolare nelle zone più interne. Lo spessore è più elevato (15-20 m) nella zona prossima alla costa; qui si osservano gli affioramenti più evidenti corrispondenti alla vecchia scarpata d'abrasione marina, specie nei pressi di Termoli, Campomarino e Marina di Fantine.

La natura del sedimento e la locale presenza, nei livelli inferiori, di fossili marini, fa ritenere che la formazione rappresenti la fase finale della repressione calabriana e l'inizio del successivo alluvionamento.

I Conglomerati di Campomarino presentano localmente un arrossamento superficiale per alterazione; avendo una natura litologica analoga a fl<sup>1</sup> non sono chiaramente delimitabili da quest'ultima formazione, nelle zone ove fl<sup>1</sup> non presenta evidenti caratteri di terrazzamento fluviale.

**fl<sup>4</sup>** - *Alluvioni prevalentemente limoso-argillose del IV ordine di terrazzi.*

Si tratta di limi, argille e sabbie Provenienti essenzialmente dall'erosione dei sedimenti plio-pleistocenici; nella parte alta del F. Fortore a questo materiale fine s'intercalano lenti di ciottoli grossolani di provenienza appenninica. Lo spessore supera i 10 m; solo raramente (lungo il F. Fortore) si osserva la base della formazione costituita da sabbie, localmente poggianti sulla superficie erosa delle argille di Montesecco.



Le alluvioni terrazzate indicate con fl<sup>4</sup> costituiscono ripiani elevati al massimo di una decina di metri rispetto agli alvei attuali; verso il mare però tale valore decresce progressivamente fino ad annullarsi.

a – *Ghiaie, sabbie e argille di fondovalle attuali.*

dt – *Detrito di falda e frana.*

Le alluvioni attuali, distinte soprattutto lungo il corso dei fiumi Biferno e Fortore, sono costituite da depositi con elementi di dimensioni molto eterogenee con prevalenza di detriti fini. L'erosione laterale crea, nella zona a monte, una scarpata molto evidente rispetto al ripiano formato dai depositi indicati come fl<sup>4</sup>, nei quali l'alveo è normalmente inciso. Falde di detrito sono frequenti e ampie nell'angolo di SO del foglio.

p – *Depositi palustri.*

Sono stati riconosciuti dei depositi limoso-torbosi di origine palustre, che si sviluppano nelle zone più depresse attorno al lago di Lesina. In essi si rinvenivano lamellibranchi dulcicoli, tra cui prevalentemente *Cardium*.

Q<sup>e</sup> – *Sabbie di spiaggia rimaneggiate dal vento.*

Q – *Sabbie e ghiaie delle spiagge attuali.*

I depositi sabbiosi costieri sono stati distinti in due formazioni, una corrispondente alla spiaggia attuale e l'altra retrostante, disposta su di una ampia fascia, costituita da sabbie rimaneggiate da azioni eoliche; in quest'ultima è possibile riconoscere la presenza di allineamenti subparalleli di dune; la duna più alta (Colle di Arena, in prossimità della foce del F. Fortore) si eleva di alcuni metri sulle circostanti alluvioni del fiume.

Tali formazioni sono, nel complesso, correlabili con un ciclo sedimentario di tipo regressivo, cioè rappresentative di un'evoluzione da ambienti di sedimentazione marini ad ambienti di transizione ed infine ad ambienti continentali. In particolare le Argille di Montesecco sono riferibili ad ambienti marini di età Pliocene medio – Calabriano?; Le Sabbie di Serracapriola sono riferibili ad ambienti litorali e la loro età è del Pliocene sup.? – Calabriano; I sedimenti pleistocenici delle coperture fluvio-lacustri e delle alluvioni, distribuite in almeno quattro ordini di terrazzi sospesi a varie quote sul fondovalle attuale, sono riferibili ad ambienti di deposizione continentali. Essi affiorano con ampie estensioni, soprattutto in sinistra idrografica del fiume Fortore. Infine sono

## PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI APRICENA IN LOCALITA' "TRIFONE – SERRILLO" (FG)

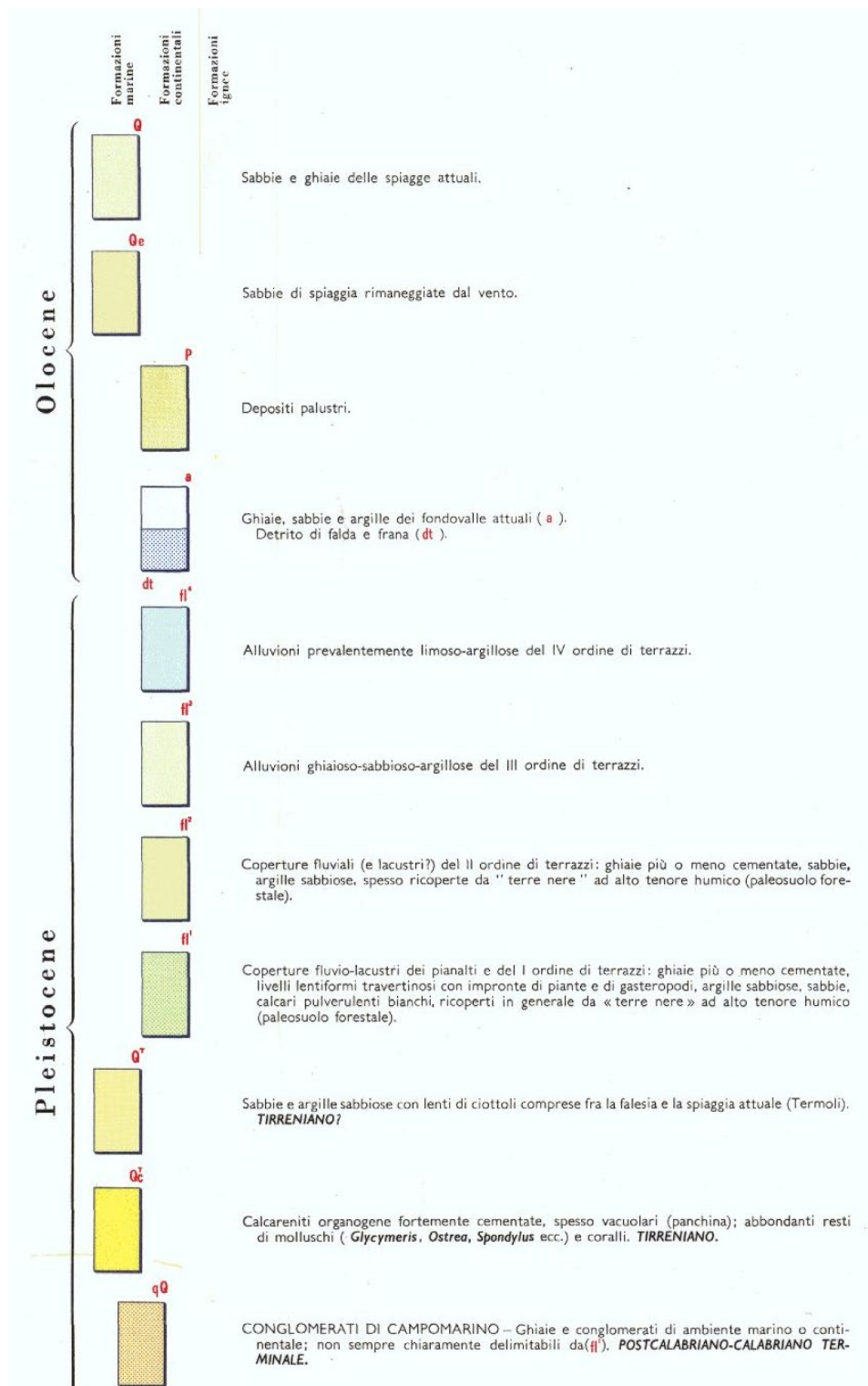
presenti i depositi alluvionali recenti ed attuali, che occupano l'attuale piana e l'alveo del corso d'acqua principale, nonché i sedimenti delle spiagge attuali, a luoghi rimaneggiati dal vento (dune).

### STRALCIO DEI FOGLI 155 e 156 DELLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA



PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL  
 COMUNE DI APRICENA IN LOCALITA' "TRIFONE – SERRILLO" (FG)

LEGENDA



### 3. SISMICITÀ DEL TERRITORIO

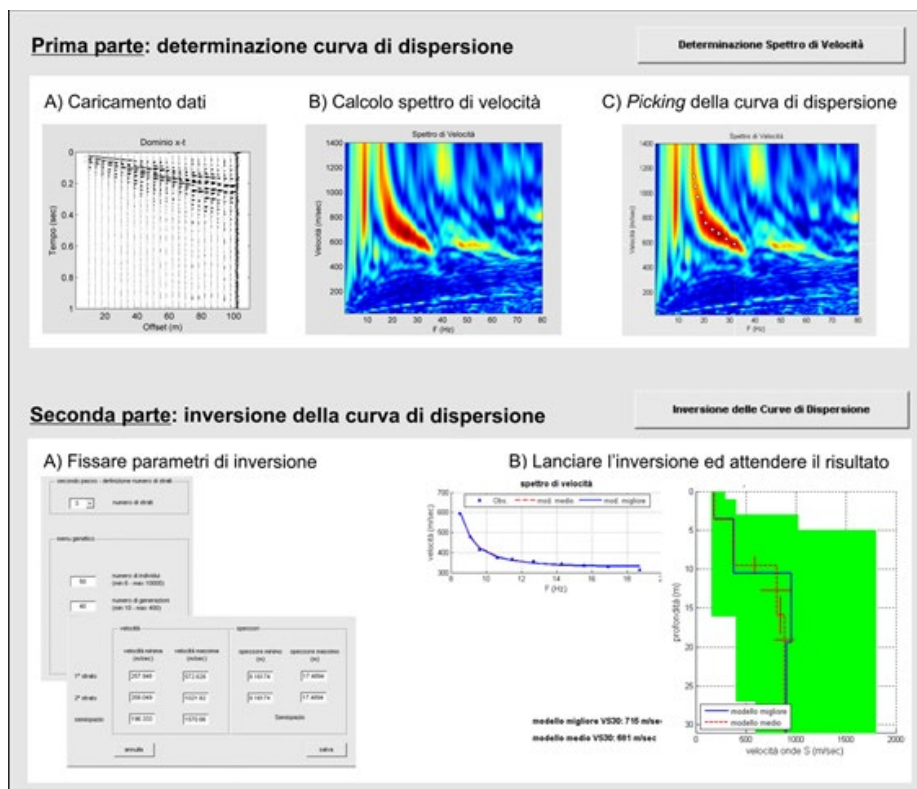
Per individuare la categoria sismica del suolo di fondazione è stata eseguita una indagine di sismica con metodologia MASW.

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 Vs, 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.



### **3.1 Categorie di suolo di fondazione**

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, **VS,eq (in m/s), definita dall'espressione:**

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

*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.*

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.

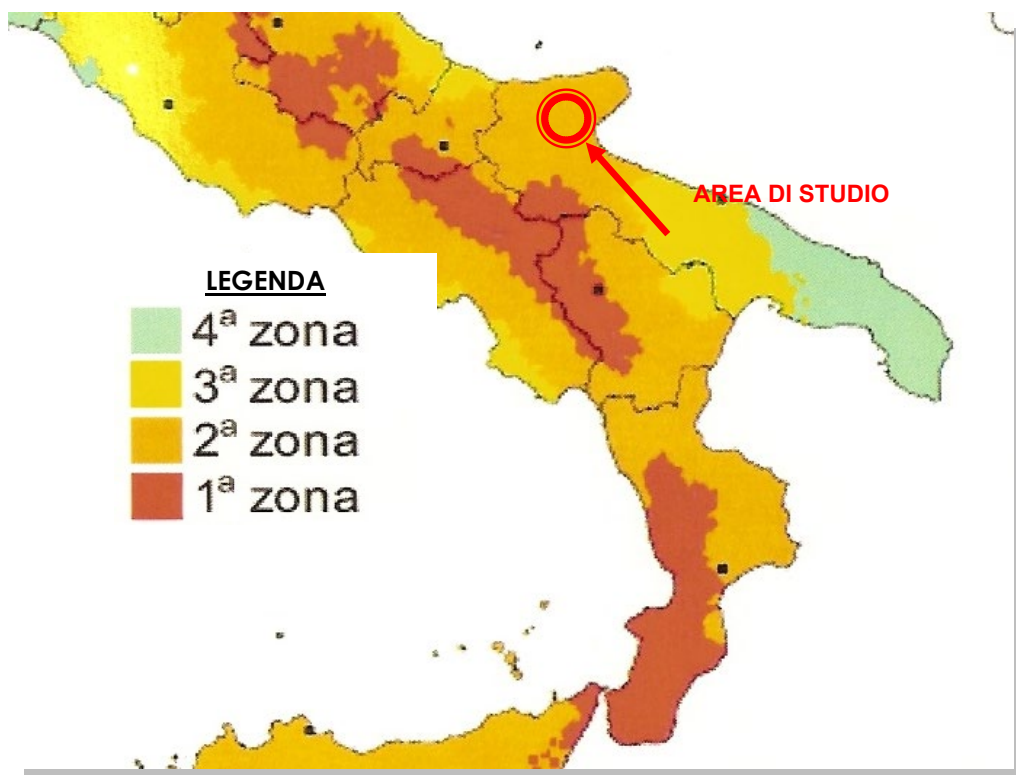
### 3.2 Calcolo dell'azione sismica

#### Zone sismiche

Ai fini dell'applicazione di queste norme, il territorio nazionale viene suddiviso in zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore del parametro  $a_g$  = accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A (definito al punto 3.1), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. I valori di  $a_g$ , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità  $g$ , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono, salvo più accurate determinazioni, che possono portare a differenze comunque non superiori al 20% dell'accelerazione per le zone 1 e 2 e non superiori a 0.05g nelle altre zone:

Zona	Valore di $a_g$
1	0,35g
2	0,25g
3	0.15g
4	0,05g

Secondo la nuova classificazione sismica dei comuni italiani il territorio di Apricena e San Severo, rientrano nelle "**Zone sismiche 2**". (Cfr. Carta Zone



### **Descrizione dell'azione sismica**

Il modello di riferimento per la descrizione del moto sismico in un punto della superficie del suolo è costituito dallo spettro di risposta elastico di cui al punto successivo. Qualora siano eseguite determinazioni più accurate del moto sismico atteso, è consentito utilizzare spettri specifici per il sito purché le ordinate di tali spettri non risultino in nessun punto del campo di periodi di interesse inferiori all'80% delle ordinate dello spettro elastico standard applicabile in relazione alla categoria di suolo.

Per applicazioni particolari, il moto del suolo può essere descritto mediante accelerogrammi.

Il moto orizzontale è considerato composto da due componenti ortogonali indipendenti, caratterizzate dallo stesso spettro di risposta.

In mancanza di documentata informazione specifica, la componente verticale del moto sismico si considera rappresentata da uno spettro di risposta elastico diverso da quello delle componenti orizzontali.

### **Spettro di risposta elastico**

Lo spettro di risposta elastico è costituito da una forma spettrale (spettro normalizzato), considerata indipendente dal livello di sismicità, moltiplicata per il valore della accelerazione massima ( $a_g S$ ) del terreno che caratterizza il sito.

Lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle espressioni seguenti:

$$\begin{aligned} 0 \leq T < T_B & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left( 1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right) \\ T_B \leq T < T_C & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \\ T_C \leq T < T_D & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right) \\ T_D \leq T & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right) \end{aligned} \quad (3.2)$$

nelle quali  $S$  rappresenta il fattore che tiene conto del profilo stratigrafico del suolo di fondazione;

Per strutture con fattore di importanza  $\gamma > 1$ , erette sopra o in vicinanza di pendii con inclinazione  $> 15^\circ$  e dislivello superiore a circa 30 metri, l'azione sismica dell'equazione (2.2) dovrà essere incrementata moltiplicandola per un coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$ .



In assenza di studi specifici si potranno utilizzare per  $S_T$  i seguenti valori:

- a)  $S_T = 1,2$  per siti in prossimità del ciglio superiore di pendii scoscesi isolati;
- b)  $S_T = 1,4$  per siti prossimi alla sommità di profili topografici aventi larghezza in cresta molto inferiore alla larghezza alla base e pendenza media  $>30^\circ$ ;
- c)  $S_T = 1,2$  per siti del tipo b) ma con pendenza media inferiore.

Il prodotto  $S \cdot S_T$  può essere assunto non superiore a 1.6.

$\eta$  fattore che tiene conto di un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente  $\xi$  diverso da 5 ( $\eta=1$  per  $\xi=5$ ), essendo  $\xi$  espresso in percentuale:

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \quad 3.3$$

T periodo di vibrazione dell'oscillatore semplice;

$T_B, T_C, T_D$  periodi che separano i diversi rami dello spettro, dipendenti dal profilo stratigrafico del suolo di fondazione.

I valori di  $T_B, T_C, T_D$  e S da assumere, salvo più accurate determinazioni, per le componenti orizzontali del moto e per le categorie di suolo di fondazione definite al punto 3.1, sono riportati nella Tabella 3.1.

**Tabella 3.1**-Valori dei parametri nelle espressioni (3.2) dello spettro di risposta elastico delle componenti orizzontali.

Categoria suolo	S	$T_B$	$T_C$	$T_D$
A	1,0	0,15	0,40	2,0
B, C, E	1,25	0,15	0,50	2,0
D	1,35	0,20	0,80	2,0

Lo spettro di risposta elastico della componente verticale è definito dalle espressioni seguenti:

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad S_{ve}(T) = 0,9a_g \cdot S \cdot \left( 1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 3,0 - 1) \right) \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_{ve}(T) = 0,9a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 3,0 \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_{ve}(T) = 0,9a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 3,0 \left( \frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & \quad S_{ve}(T) = 0,9a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 3,0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned} \quad (3.4)$$

con i valori dei parametri che definiscono la forma spettrale riportati in tabella 3.2.

**Tabella 3.2** - Valori dei parametri dello spettro di risposta elastico della componente verticale.

Categoria suolo	S	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	T <sub>D</sub>
A, B, C, D, E	1,0	0,05	0,15	1,0

Lo spettro di risposta elastico dello spostamento potrà ottenersi per trasformazione diretta dello spettro di risposta elastico delle accelerazioni, usando la seguente espressione:

$$S_{D_e}(T) = S_e(T) \left( \frac{T}{2\pi} \right)^2 \quad (3.5)$$

Gli spettri sopra definiti potranno essere applicati per periodi di vibrazione che non eccedono 4,0 s. Per periodi superiori lo spettro dovrà essere definito da appositi studi.

Nei casi in cui non si possa valutare adeguatamente l'appartenenza del profilo stratigrafico del suolo di fondazione ad una delle categorie di cui al punto 2.1, ed escludendo comunque i profili di tipo S1 e S2, si adotterà in generale la categoria D o, in caso di incertezza di attribuzione tra due categorie, la condizione più cautelativa.

### **Spostamento e velocità del terreno**

I valori dello spostamento e della velocità orizzontali massimi del suolo ( $d_g$ ) e ( $v_g$ ) sono dati dalle seguenti espressioni:

$$d_g = 0,025 S T_C T_D a_g \quad (3.6)$$

$$v_g = 0,16 S T_C a_g$$

### 3.3 Azione sismica valutata secondo il D.M. 17 Gennaio 2018

Con il D.M. del 17 Gennaio 2018 è stato approvato il testo aggiornato delle Norme tecniche per le costruzioni. Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ . In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

Nell'area oggetto di studio è stata eseguita un'indagine sismica con metodologia Masw per il calcolo delle  $V_{s, eq}$ .

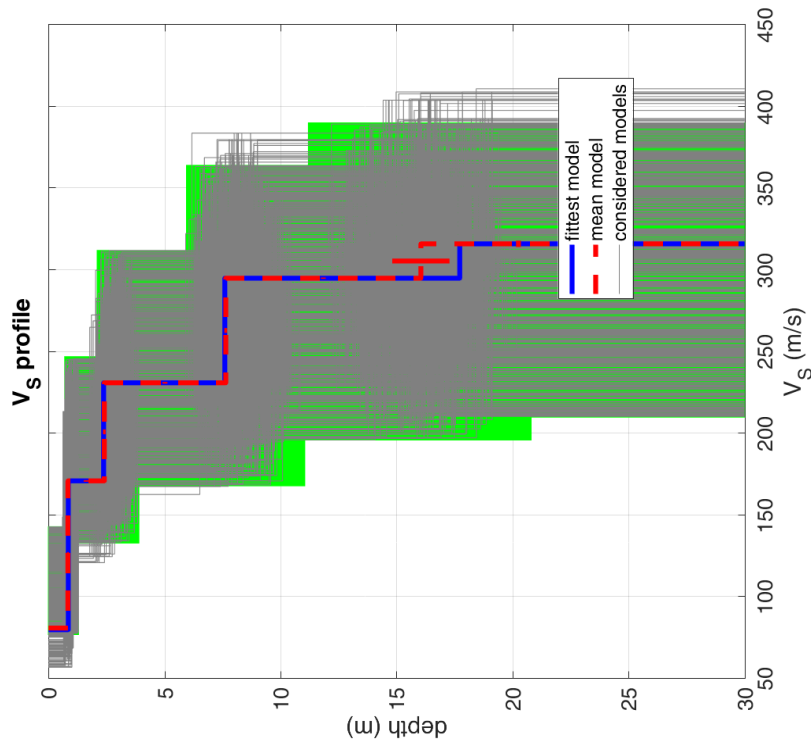
Tale indagine è stata eseguita sullo stesso stendimento di sismica a rifrazione.

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.

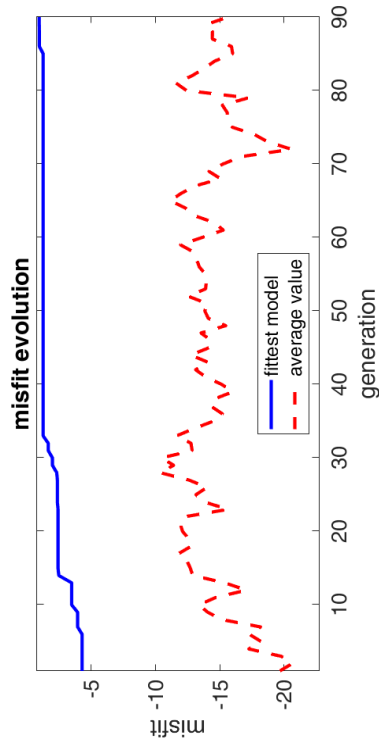
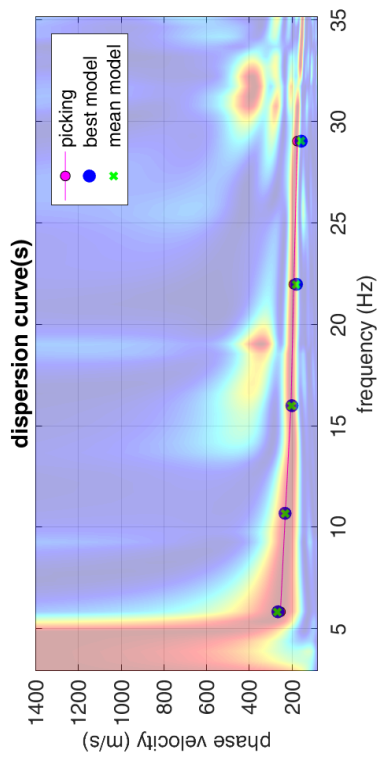
Nel caso in esame la  **$V_{s, eq}$**  calcolata è pari a **261 m/sec** che fa rientrare il suolo di fondazione nella **categoria sismica C**.



Aerogeneratore in corrispondenza del quale è stata eseguita l'indagine Masw



dataset: 00000000647.sg2  
 dispersion curve: Masw1  
 Vs30 & VsE (best model): 260 260 m/s  
 Vs30 & VsE (mean model): 261 261 m/s



#### **4. INDAGINI GEOGNOSTICHE E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA**

La raccolta dei dati dei principali parametri geotecnici, si è basata sull'analisi proveniente dalla campagna d'indagine geognostica effettuata sul sito e costituita da una serie di indagini di tipo indiretto.

I terreni sono interessati dalla realizzazione delle 12 torri eoliche oltre alle opere di connessione rappresentate dalla sottostazione di trasformazione e dai cavidotti

Le indagini che hanno mirato alla ricostruzione della successione stratigrafica dell'area ed alla caratterizzazione geotecnica dei litotipi investigati sono consistite in:

- N° 2 profili sismici a rifrazione, uno in corrispondenza della sottostazione e uno nell'area di impianto;
- N° 1 prova penetrometrica dinamica continua spinta fino ad una profondità di 3.60 metri.

La prova penetrometrica ha anche rappresentato un valido strumento di taratura per le indagini sismiche

#### **4.1 Profili sismici 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.

I profili sismici sono stati eseguiti adottando una distanza tra i geofoni di 3 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.

#### **Analisi dei risultati:**

##### **Profilo sismico n. 1**

*Il profilo sismico a rifrazione, di lunghezza pari a 33 metri, ha evidenziato un modello a due sismostrati. In affioramento si rinviene del terreno vegetale che presenta una velocità  $V_p$  di 300 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 depositi alluvionali.*

##### **Profilo sismico eseguito in corrispondenza della sottostazione (San Severo)**

*Il profilo sismico a rifrazione, di lunghezza pari a 33 metri, ha evidenziato un modello a due sismostrati. In affioramento si rinviene del terreno vegetale che presenta una velocità  $V_p$  di 300 m/sec ed uno spessore di circa 1.4-1.5 metri,*


*segue un substrato caratterizzato da una velocità  $V_p$  di 900 m/sec, da ricondurre a depositi alluvionali.*

**Si allegano:**

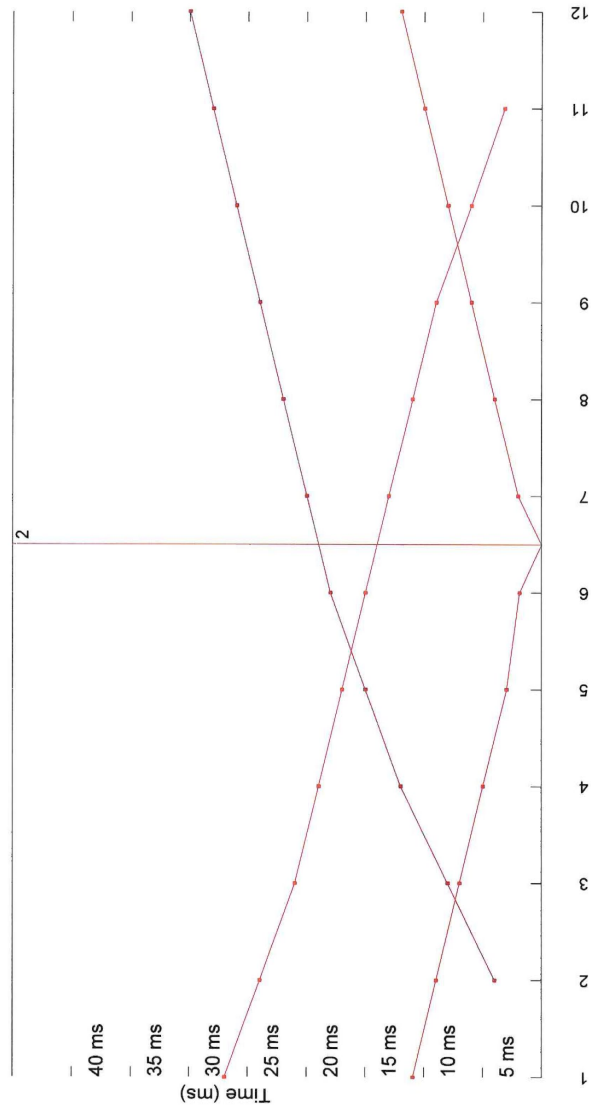
- **Ubicazione indagini;**
- **Dromocrone;**
- **Sezioni sismo stratigrafiche**





 Aerogeneratore in corrispondenza del quale è stato eseguito il profilo sismico a rifrazione

Profilo 1-1'; Impianto eolico Apricena (Fg);

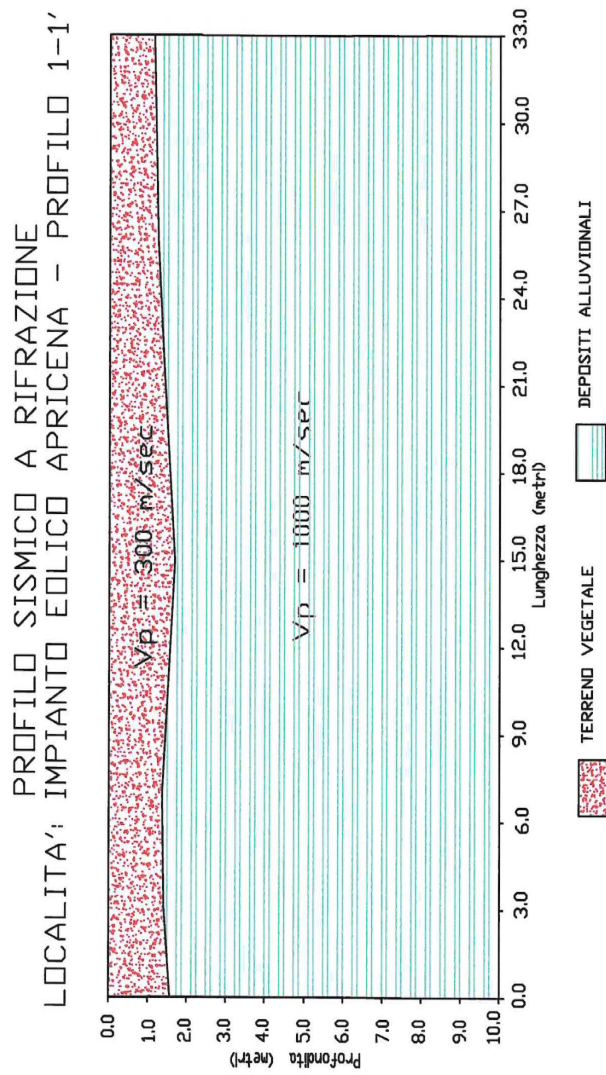


Calculs d'épaisseur


C:\Users\Marcello\Documents\foggia eolico2.ws5

WINSISM 11

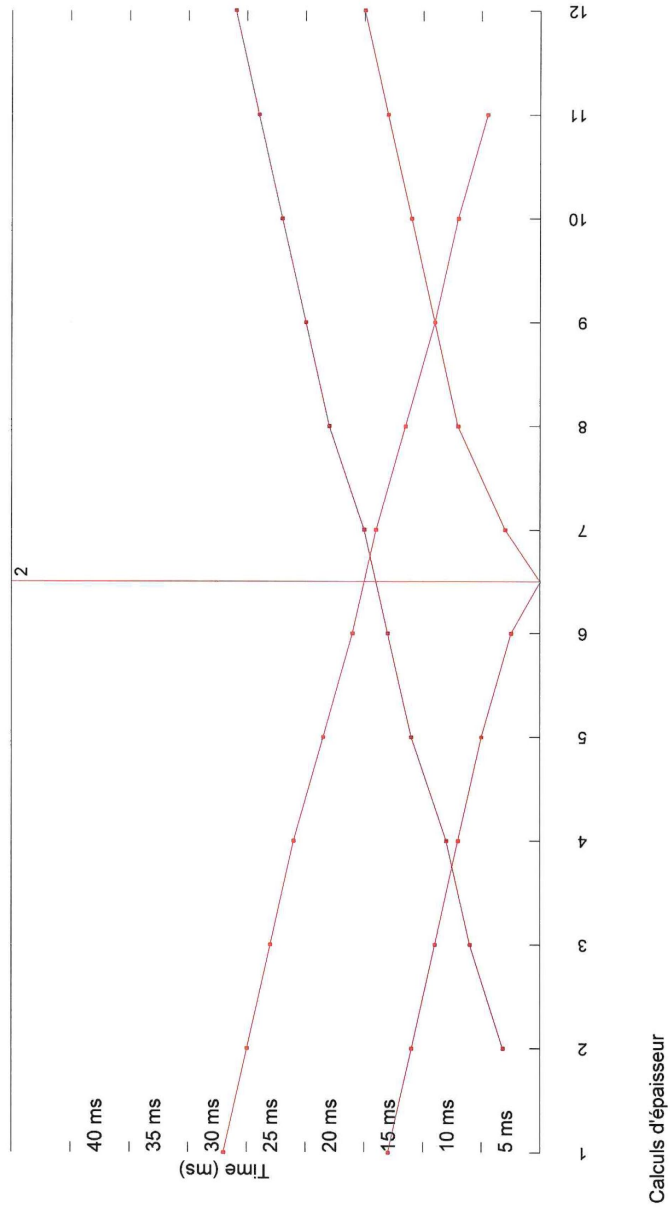
16/05/2021 19:25:06





 Sottostazione in corrispondenza della quale è stato eseguito il profilo sismico a rifrazione

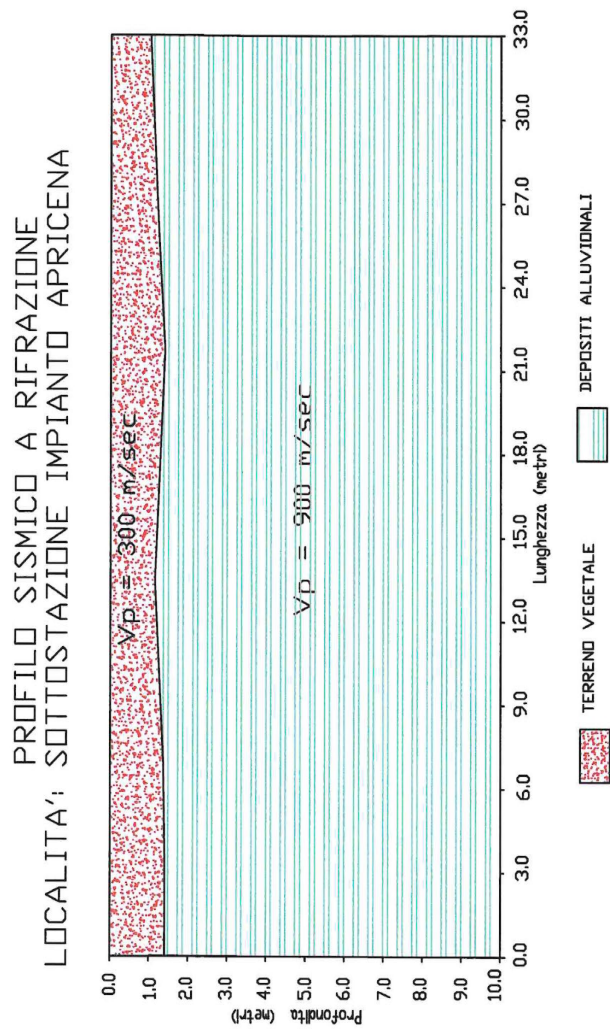
Sottostazione impianto Apricena



16/05/2021 19:28:48

WINSISM 11

C:\Users\Marcello\Documents\Ippoglia eolico2.ws5



## **4.2 Prova penetrometrica dinamica continua**

Il sondaggio penetrometrico dinamico consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica battendo sulle aste con un maglio a caduta libera e contando il numero di colpi necessari all'avanzamento della punta, di successive quantità costanti.

La prova è stata eseguita con un penetrometro TG 63-200 della PAGANI, le cui caratteristiche tecniche sono di seguito riportate:

- Maglio a caduta libera Kg 63.5
- Aste in acciaio speciale  $\square = 50.8$  mm; L = 100 cm; Kg = 4.6
- Punta conica della superficie 20.43 cm<sup>2</sup>;
- Altezza di caduta libera maglio 75 cm.

***Dalla prova è stata ricostruita la seguente successione litostratigrafia:***

- **da 0.00 m a 1.60 m**                      **Terreno vegetale**
- **da 1.60 m a 3.60 m**                      **Depositi alluvionali**

I parametri geotecnici del litotipo fondale, depositi alluvionali, dedotti dalla prova penetrometrica sono risultati i seguenti:

Densità relativa	(%)	100
Angolo di attrito	(°)	41
Modulo di Young	(kg/cmq)	329
Modulo edometrico	(kg/cmq)	132
Classificazione AGI		Molto Addensato
Coesione	(kg/cmq)	0.0
Peso di volume	(gr/cmc)	2.24
Modulo di Poisson		0.25
Modulo di def. a taglio	(kg/cmq)	2617

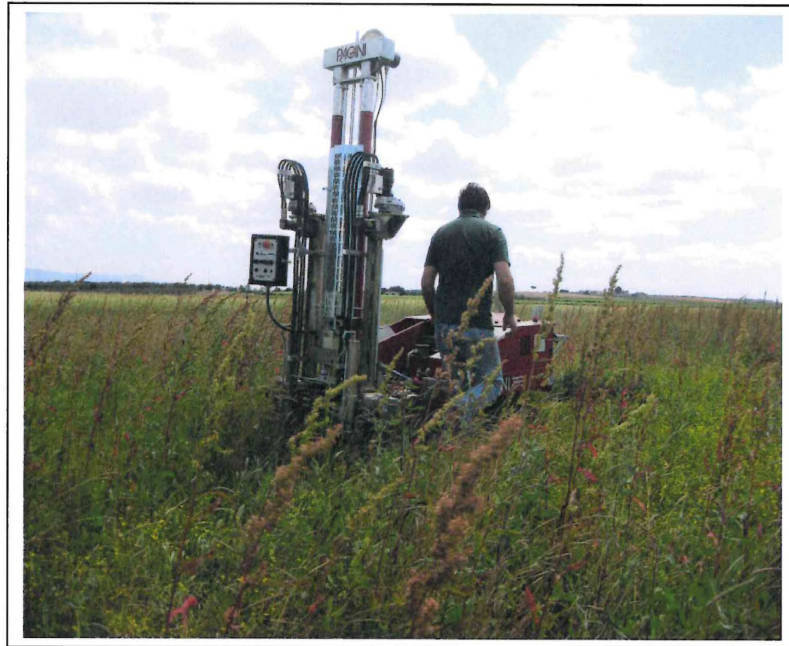
Si allegano:

- Ubicazione indagine
- documentazione fotografica;
- istogramma penetrometrico;
- elaborazione dei dati acquisiti in campo mediante software della geostru  
(riportata in calce alla relazione)





● Prova penetrometrica in corrispondenza dell'aerogeneratore n. 2



Esecuzione prova penetrometrica

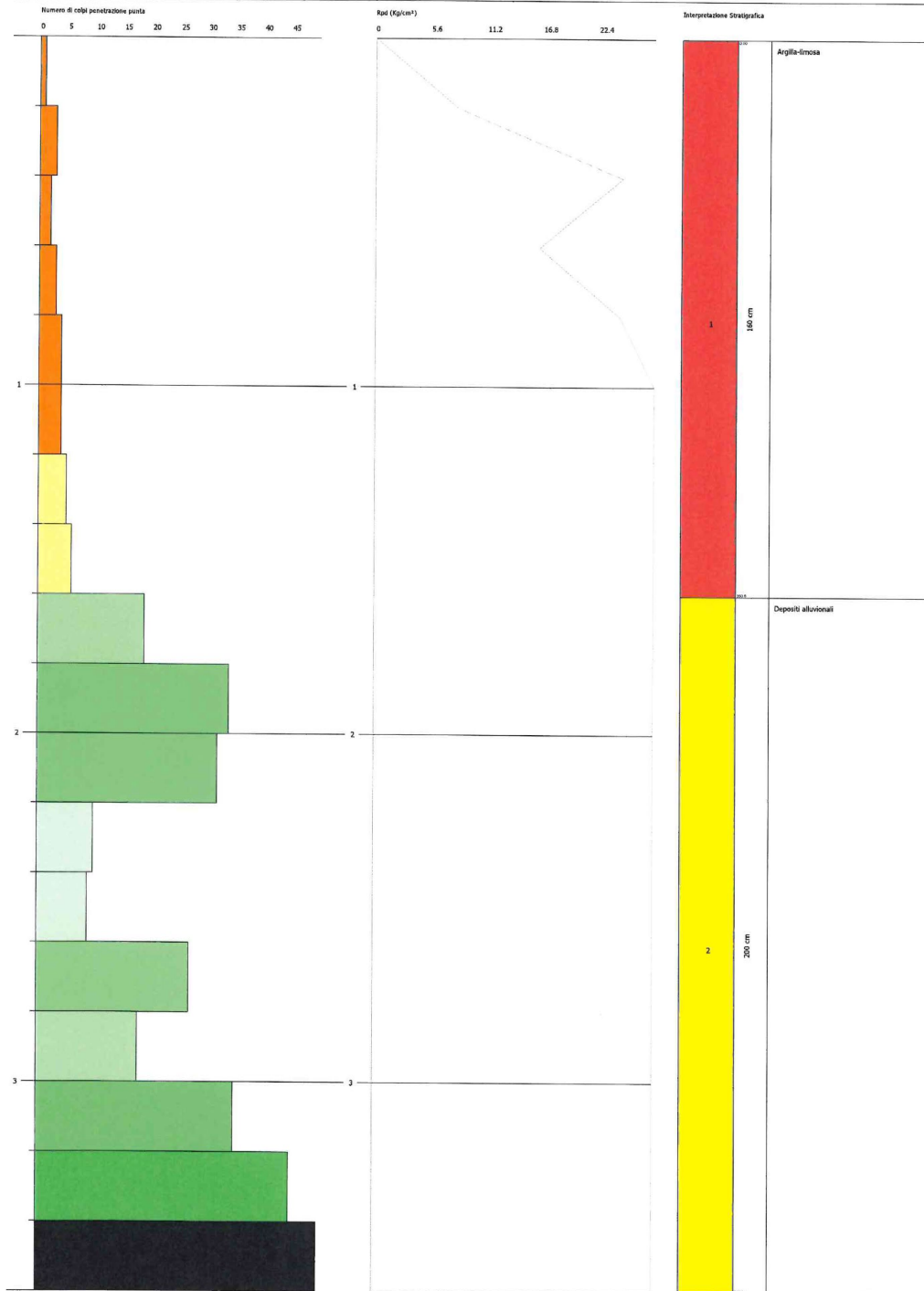
# PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI APRICENA IN LOCALITA' "TRIFONE – SERRILLO" (FG)

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

Committente:  
Descrizione: Impianto eolico  
Località: Apricena (FG)

Data: 16/05/2021

Scala: 1:10



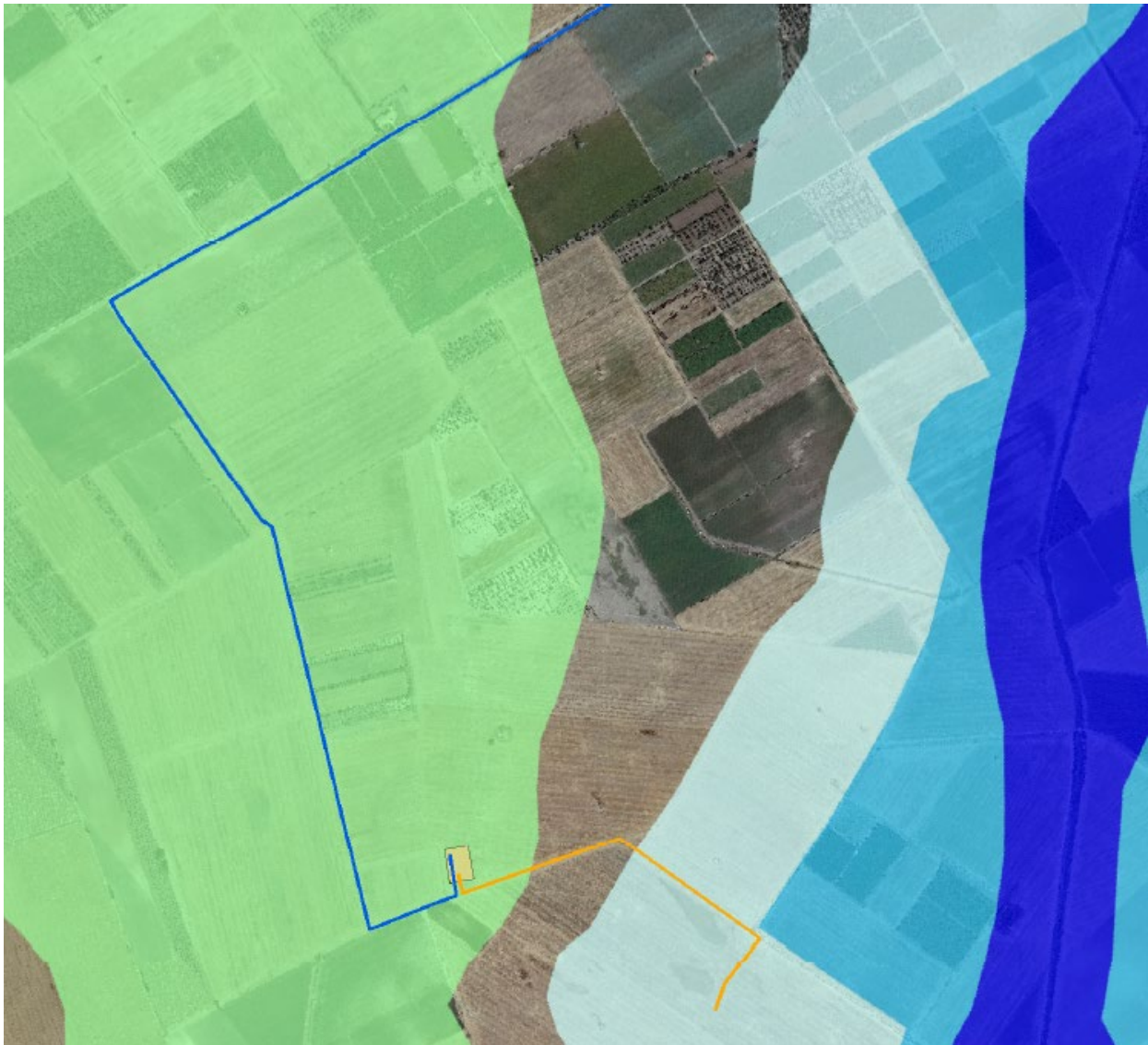
## 5. COMPATIBILITÀ CON LA PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA (PG1)

L'area interessata dall'intervento di progetto ed i territori ad essa circostanti, sono caratterizzati da una morfologia molto blanda.










Le opere in progetto rientrano solo in parte nelle aree a pericolosità geomorfologica ed in particolare la porzione a sud dell'intervento in progetto è interessata dalla realizzazione delle opere di connessione (Cavidotti Esterni dall'area impianto), e dalla sottostazione elettrica.

Alcune porzioni infatti **(Cfr. Allegati - Stralcio Cartografia PAI e Ubicazione Intervento di Progetto)** rientrano nelle aree a **Pericolosità Geomorfologica (PG1)** ovvero **Media e Moderata (PG1)**.

*(Cfr. stralcio foto aere PAI)*



## LEGENDA

- Aerogeneratore
-  Area spazzata
-  Piazzola aerogeneratore
-  Cavidotto di connessione
-  Cavidotto esterno
-  Viabilità da adeguare
-  Viabilità da creare
-  Cavidotto AT
-  Cabina Elettrica
-  Sottostazione Elettrica 150/380 kV

### Aree a Pericolosità PG1

Dal punto di vista morfologico generale le aree interessate dalla realizzazione del cavidotto, sono definibili come zone di versante di rialzi costituenti il paesaggio che nel complesso risulta essere di bassa collina, con topografia blandamente ondulata che si colloca, nello specifico, in un contesto morfologico generale di origine fluviolacustre.

Le aree esaminate fungono in generale da spartiacque superficiali delineando le geometrie dei vari bacini idrografici che recapitano a fondovalle (negli impluvi naturali).

I processi attivi di evoluzione e rimodellamento morfologico (che si attuano essenzialmente ad opera degli agenti esogeni naturali e della gravità) si svolgono in forma marginale o addirittura nulla (**per l'assenza di gradienti topografici ed idraulici significativi e scarsità di circolazioni attive delle acque meteoriche**).

Si specifica che in corrispondenza delle aree di interesse è da escludere la presenza di fenomeni erosivi, sia di tipo lineare sia di tipo areale.

**È altresì da escludere, in tali aree, la presenza di fenomeni di soliflusso o creep generalizzato relativamente alle porzioni più superficiali di terreno nelle aree studiate.**

La natura litologica, prevalentemente composta da elementi litoidi in matrice anidra talvolta cementata, dei terreni presenti ostacola, nelle aree di interesse, lo sviluppo di processi erosivi attivi; pertanto il risultato è che ci si trova di fronte ad una morfologia caratterizzata, in generale, da profili topografici arrotondati e regolari.

In conclusione le aree studiate, entro il volume significativo ed ai fini dei singoli interventi, cavidotto e sottostazione elettrica, possono definirsi stabili.

Nelle aree a pericolosità geomorfologica media (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'installazione dalle opere di connessione e dalle sue pertinenze.

## **6. CONCLUSIONI**

Il presente studio è riferito ad un'area interessata da un progetto per la **PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO NEL COMUNE DI APRICENA.**

Il progetto riguarda la realizzazione di un impianto eolico composto da 12 aerogeneratori ognuno da 5,5 MW da installare nei comuni di Apricena e San Severo (FG) in località "Trifone - Serrillo" con opere di connessione ricadenti oltre che nel medesimo comune anche nel comune di San Severo (FG), commissionato dalla società Wind Energy Apricena Srl.

***Gli aerogeneratori saranno collegati tra di loro mediante un cavidotto in media tensione interrato che collegherà l'impianto alla sottostazione elettrica ricadente in territorio di San Severo (FG)***

Dal rilevamento geologico di dettaglio, dai dati bibliografici e dall'analisi di indagini geognostiche eseguite, sono stati riconosciuti affioramenti di materiale di origine alluvionale e residuale che si distingue in due zone morfologicamente differenti. Tale contesto geomorfologico favorisce l'accumularsi di tali terreni ricoprendo quasi per intero il bacino.

I dati acquisiti attraverso l'esecuzione della campagna di indagini geognostiche hanno permesso di ricostruire un modello geologico adeguato alle esigenze ingegneristiche dei progettisti per ciò che concerne il terreno di fondazione interessato dalla posa in opera delle fondazioni delle opere previste in progetto.

Lo studio geologico si è svolto in ottemperanza al D.M. del 11/03/1988, all'ordinanza del presidente del consiglio dei Ministri n°3274 del 20/03/2003 e alle disposizioni dettate dal nuovo Norme Tecniche sulle Costruzioni D.M. del 17/01/2018 al fine di ricostruire un modello geologico e geotecnico.

***Le indagini eseguite hanno permesso di redigere un modello geologico e geotecnico e sismico medio per le aree interessate dal per l'installazione dei 12 generatori, delle opere di connessione e della sottostazione elettrica di trasformazione***

*E' stato rilevato come il piano campagna su cui insisteranno le strutture di sostegno dell'impianto fotovoltaico è rappresentato per la totalità del sito da terreno vegetale per uno spessore variabile da 1.4 a 1.6 metri, segue un substrato da ricondurre a depositi alluvionali.*

Indagini sismiche e prova penetrometrica hanno permesso di rilevare una certa uniformità lito-stratigrafica in tutta l'area studiata e di ricostruire la seguente successione stratigrafica:

Dalla prova è stata ricostruita la seguente successione litostratigrafica:

- da 0.00 m a 1.60 m                      Terreno vegetale
- da 1.60 m a 3.60 m                      Depositi alluvionali

I parametri geotecnici del litotipo fondale, depositi alluvionali, dedotti dalla prova penetrometrica sono risultati i seguenti:

Densità relativa	(%)	100
Angolo di attrito	(°)	41
Modulo di Young	(kg/cmq)	329
Modulo edometrico	(kg/cmq)	132
Classificazione AGI		Molto Addensato
Coesione	(kg/cmq)	0.0
Peso di volume	(gr/cmc)	2.24
Modulo di Poisson		0.25
Modulo di def. a taglio	(kg/cmq)	2617

Dal punto di vista della risposta sismica locale del sito la  $V_{S30}$  è stata calcolata con la seguente espressione:

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

Nel caso in esame la  $V_s, eq$  calcolata è pari a **261 m/sec** che fa rientrare il suolo di fondazione nella **categoria sismica C**.

**Categoria 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.**



Le opere in progetto rientrano solo in parte nelle aree a pericolosità geomorfologica ed in particolare la porzione a sud dell'intervento in progetto è interessata dalla realizzazione delle opere di connessione, (Cavidotti Esterni dall'area impianto), e dalla sottostazione elettrica.

Alcune porzioni infatti **(Cfr. Allegati - Stralcio Cartografia PAI e Ubicazione Intervento di Progetto)** rientrano nelle aree a **Pericolosità Geomorfologica (PG1)** ovvero **Media e Moderata (PG1)**.

In conclusione le aree studiate, entro il volume significativo ed ai fini dei singoli interventi, cavidotto e sottostazione elettrica, possono definirsi stabili.

*Nelle aree a pericolosità geomorfologica media (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'installazione dalle opere di connessione e dalle sue pertinenze.*

**ALLEGATI:**

- Elaborazione prova penetrometrica mediante software della Geostru



## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente:  
Descrizione: Impianto eolico  
Località: Apricena (Fg);

### 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 <sup>2</sup>
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'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi  $\delta$ ) 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  $\alpha$ );
- avanzamento (penetrazione)  $\delta$  ;
- 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  $A=10$  cm<sup>2</sup> 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  $A=10$  cm<sup>2</sup> 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  $A=20.27$  cm<sup>2</sup> 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  $A = 20$  cm<sup>2</sup>, 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.

---

$\delta$  passo di avanzamento.

### Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

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

Rpd resistenza dinamica punta (area A).  
e infissione media per colpo ( $\delta/N$ ).  
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 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***

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

$N_{spt}$  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

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

---

### ***Stato di consistenza***

- Classificazione A.G.I. 1977

### ***Peso di Volume***

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

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

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

### ***Modulo di poisson***

- Classificazione A.G.I.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- Robertson (1983) -  $Q_c$

## **Correlazioni geotecniche terreni coesivi**

### ***Coesione non drenata***

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

- Terzaghi-Peck (1948).  $C_u$  (min-max).
- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi , tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività  $> 5$ , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche  $< 10$  colpi, per resistenze penetrometriche  $> 10$  l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità , ( $C_u$ - $N_{spt}$ -grado di plasticità).
- Schmertmann (1975),  $C_u$  (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con  $N_c = 20$  e  $Q_c/N_{spt} = 2$ .
- Schmertmann (1975),  $C_u$  (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata  $C_u$  (Kg/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 16/05/2021

Profondità prova 3.60 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.20	1	0.855	8.31	9.72	0.42	0.49
0.40	3	0.851	24.80	29.15	1.24	1.46
0.60	2	0.847	16.46	19.44	0.82	0.97
0.80	3	0.843	24.59	29.15	1.23	1.46
1.00	4	0.840	30.20	35.96	1.51	1.80
1.20	4	0.836	30.07	35.96	1.50	1.80
1.40	5	0.833	37.44	44.95	1.87	2.25
1.60	6	0.830	44.75	53.94	2.24	2.70
1.80	19	0.776	132.60	170.81	6.63	8.54
2.00	34	0.673	191.42	284.35	9.57	14.22
2.20	32	0.670	179.34	267.63	8.97	13.38
2.40	10	0.817	68.34	83.63	3.42	4.18
2.60	9	0.814	61.29	75.27	3.06	3.76
2.80	27	0.711	160.65	225.81	8.03	11.29
3.00	18	0.759	106.77	140.73	5.34	7.04
3.20	35	0.656	179.51	273.65	8.98	13.68
3.40	45	0.603	212.30	351.83	10.61	17.59
3.60	110	0.601	516.77	860.03	25.84	43.00

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tension e efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1.6	3.5	32.28		0	0.0	0.0	0.0	1.5	5.26	Argilla-limoso
3.6	33.9	273.37	Incoerente	0	2.24	2.15	0.22	1.5	50.99	Depositi alluvionali

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1****TERRENI INCOERENT I**

## Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (2) Depositi alluvionali	50.99	1.60-3.60	50.99	Meyerhof 1957	100

## Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (2) Depositi alluvionali	50.99	1.60-3.60	50.99	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	41.57

## Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) Depositi alluvionali	50.99	1.60-3.60	50.99	Bowles (1982) Sabbia Media	329.95

## Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) Depositi alluvionali	50.99	1.60-3.60	50.99	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	132.20

## Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (2) Depositi alluvionali	50.99	1.60-3.60	50.99	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

## Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
Strato (2) Depositi alluvionali	50.99	1.60-3.60	50.99	Meyerhof et al.	2.24

## Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
Strato (2) Depositi alluvionali	50.99	1.60-3.60	50.99	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.15

## Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (2) Depositi alluvionali	50.99	1.60-3.60	50.99	(A.G.I.)	0.25

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) Depositi alluvionali	50.99	1.60-3.60	50.99	Ohsaki (Sabbie pulite)	2617.88

Velocità onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (2) Depositi alluvionali	50.99	1.60-3.60	50.99	Ohta & Goto (1978) Limi	162.41

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

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	$K_0$
Strato (2) Depositi alluvionali	50.99	1.60-3.60	50.99	Navfac 1971-1982	8.32

$Q_c$  ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	$Q_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) Depositi alluvionali	50.99	1.60-3.60	50.99	Robertson 1983	101.98



---

## Indice

1.PROVA ... Nr.1	10
1.1.Densità relativa	11
1.2.Angolo di resistenza al taglio	11
1.3.Modulo di Young	11
1.4.Modulo Edometrico	11
1.5.Classificazione AGI	11
1.6.Peso unità di volume	11
1.7.Peso unità di volume saturo	11
1.8.Modulo di Poisson	11
1.9.Modulo di deformazione a taglio dinamico	12
1.10.Velocità onde di taglio	12
1.11.Coefficiente spinta a Riposo $K_0 = \sigma_H / \sigma_V$	12
1.12. $Q_c$ ( Resistenza punta Penetrometro Statico)	12
Indice	13