



Regione Puglia  
 Provincia di Foggia  
 Provincia di Barletta-Andria-Trani



Impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica composto da n.7 aerogeneratori con potenza totale installata pari a 49 MW e relative opere connesse denominato "Ofanto" sito nei Comuni di Cerignola (FG) e Trinitapoli (BT)

Titolo:

DIV4NO6\_RelazioneGeotecnica e Modellazione Sismica  
 RELAZIONE GEOTECNICA E MODELLAZIONE SISMICA DEL PROGETTO DEFINITIVO

Numero documento:

Commissa	Fase	Tipo doc.	Prog. doc.	Rev.
2 3 4 3 0 5	D	R	0 1 1 2	0 0

Proponente:

**FRI-ELOFANTO**

**FRI-EL OFANTO S.r.l.**

Piazza del Grano 3, I-39100 Bolzano (BZ)

fri-el.ofanto@legalmail.it

Cod. Fisc./Part. Iva 03076540214

PROGETTO DEFINITIVO

Progettazione:



**PROGETTO ENERGIA S.R.L.**

Via Cardito, 202 | 83031 | Ariano Irpino (AV)

Tel. +39 0825 891313

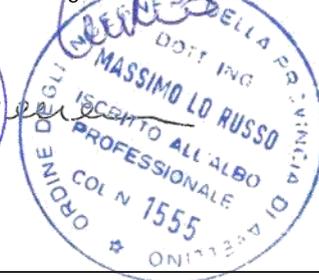
www.progettoenergia.biz | info@progettoenergia.biz

SERVIZI DI INGEGNERIA INTEGRATI  
 INTEGRATED ENGINEERING SERVICES



Geologo:  
 Dott. Antonio Petriccione

Progettista:  
 Ing. Massimo Lo Russo



Sul presente documento sussiste il DIRITTO di PROPRIETA'. Qualsiasi utilizzo non preventivamente autorizzato sarà perseguito ai sensi della normativa vigente

REVISIONI	N.	Data	Descrizione revisione	Redatto	Controllato	Approvato
	00	19.07.2023	EMMISSIONE PER AUTORIZZAZIONE	M. SAMMARTINO	G. RIELLO	A.PETRICCIONE

**INDICE**

1	PREMESSA .....	3
1.1	UBICAZIONE E CARATTERISTICHE DELL'INTERVENTO.....	3
1.2	ARTICOLAZIONE DEL LAVORO .....	5
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO GENERALE.....	6
2.1	GEOLOGICO E STRUTTURALE.....	6
2.2	GEOLOGIA DEL SITO DI PROGETTO.....	7
3	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	13
3.1	DEFINIZIONE DEL PIANO DI INDAGINI DA ESEGUIRE .....	13
3.2	PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE PESANTI DPSH .....	13
3.2.1	GENERALITA'.....	13
3.2.2	CARATTERISTICHE.....	14
3.2.3	INTERPRETAZIONE.....	15
3.3	INDAGINE SISMICA MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES).....	17
3.3.1	ANALISI MULTICANALE DELLE ONDE SUPERFICIALI.....	19
3.3.2	STRUMENTAZIONE ADOPERATA.....	20
3.3.3	DISPOSIZIONI E CARATTERISTICHE DELLO STENDIMENTO.....	21
4	MODELLAZIONE SISMICA .....	22
4.1	CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	22
4.2	RISULTATI INDAGINI SISMICHE MASW .....	25
4.3	ANALISI DEL SUOLO DI FONDAZIONE.....	27
4.4	CONDIZIONI TOPOGRAFICHE.....	28
5	MODELLIZZAZIONE GEOTECNICA.....	29
5.1	INDAGINI GEOTECNICHE .....	29
5.1.1	INTERPRETAZIONE PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE PESANTI DPSH.....	29
5.2	MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO E VALORI CARATTERISTICI ADOTTATI .....	33
5.3	STABILITÀ DELL'AREA.....	34
5.4	POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE.....	34
6	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....	37

**ALLEGATI:**

- *Stralcio topografico IGM con individuazione dell'area in esame Scala 1:25.000*
- *Stralcio Carta Geologica area in esame Scala 1:100.000*
- *Planimetria con l'ubicazione delle indagini geognostiche Scala 1: 25.000*
- *Stratigrafia "tipo" sondaggio geognostico eseguito dal sottoscritto in aree limitrofe al sito in esame*
- *Certificati prove penetrometriche dinamiche pesanti DPSH*
- *Elaborati indagini sismiche Masw*

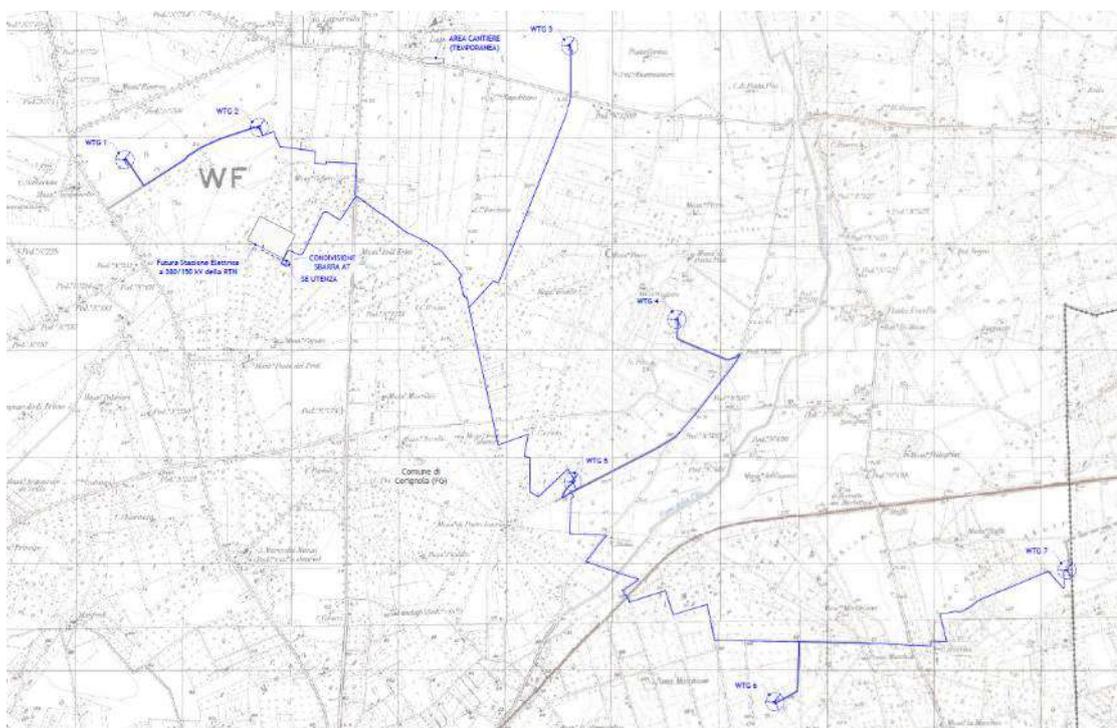
## 1 PREMESSA

Scopo del presente documento è la redazione dello studio per valutare in via preliminare i caratteri geologici e geomorfologici dell'area in esame nonché il proprio comportamento sismico e le caratteristiche geotecniche dei terreni, finalizzato all'ottenimento dei permessi necessari alla costruzione ed esercizio di un impianto di produzione di energia rinnovabile da fonte eolica denominato "Ofanto", costituito da n° 7 aerogeneratori, per una potenza massima complessiva di 49 MW, nei comune di Cerignola (FG) e Trinitapoli (BT) con relative opere connesse ed infrastrutture indispensabili nei comune di Cerignola (FG) e Trinitapoli (BT), collegato alla Rete Elettrica Nazionale mediante connessione con uno stallo a 150 kV in antenna su una futura Stazione Elettrica a 380/150 kV della RTN da collegare in entra – esce alla linea RTN a 380 kV "Foggia – Palo del Colle", ubicata nel comune Cerignola (FG).

### 1.1 UBICAZIONE E CARATTERISTICHE DELL'INTERVENTO

Il progetto prevede la realizzazione di un impianto di produzione energia rinnovabile da fonte eolica, costituito da n° 7 aerogeneratori per una potenza totale pari a 49,00 MW realizzato nei comune di Cerignola (FG) e Trinitapoli (BT) con relative opere connesse ed infrastrutture indispensabili nei comune di Cerignola (FG) e Trinitapoli (BT), collegato alla Rete Elettrica Nazionale mediante connessione con uno stallo a 150 kV in antenna su una futura Stazione Elettrica a 380/150 kV della RTN da collegare in entra – esce alla linea RTN a 380 kV "Foggia – Palo del Colle", ubicata nel comune Cerignola (FG).

Si riporta di seguito stralcio della corografia dell'area di impianto:



Corografia di inquadramento con individuazione del parco eolico e delle opere connesse in esame

Si riportano di seguito le coordinate in formato UTM (WGS84), con i fogli e le particelle in cui ricade la fondazione degli aerogeneratori:

AEROGENERATORE	COORDINATE AEROGENERATORE UTM (WGS84) - FUSO 33		Identificativo catastale		
	Long. E [m]	Lat. N [m]	Comune	Foglio	Particella
WTG 01	573.377	4.580.616	Cerignola (FG)	77	12
WTG 02	574.629	4.580.919	Cerignola (FG)	77	12
WTG 03	577.530	4.581.686	Cerignola (FG)	32	90
WTG 04	578.533	4.579.117	Cerignola (FG)	66	19
WTG 05	577.558	4.577.593	Cerignola (FG)	120	271-316- 318
WTG 06	579.448	4.575.524	Cerignola (FG)	131	414-426
WTG 07	582.170	4.576.762	Cerignola (FG)	128	163

Nello specifico, il progetto prevede:

- n. 7 aerogeneratori, ciascuno con potenza massima di 7,00 MW, rotore tripala a passo variabile, diametro massimo pari a 170 m e altezza complessiva massima fuori terra pari a 200 m;
- viabilità di accesso, con carreggiata di larghezza pari a 5,00 m;
- n. 7 piazzole di costruzione, necessarie per accogliere temporaneamente sia i componenti delle macchine che i mezzi necessari al sollevamento dei vari elementi, di dimensioni di circa 3.500 mq;
- rete di elettrodotto interrato a 30 kV di collegamento interno fra gli aerogeneratori;
- rete di elettrodotto interrato costituito da dorsali a 30 kV di collegamento tra gli aerogeneratori e la Stazione elettrica di Utenza 150/30 kV;
- una Stazione Elettrica di Utenza di Trasformazione 150/30 kV completa di relative apparecchiature ausiliarie (quadri, sistemi di controllo e protezione, trasformatore ausiliario), ubicata all'interno del comune di Cerignola (FG);
- L'Impianto di utenza per la connessione, nel dettaglio costituito dallo stallo di trasformazione allocato all'interno della stazione elettrica di utenza, sbarra di condivisione, stallo destinato alla connessione verso la RTN ed un elettrodotto interrato a 150 kV di collegamento tra lo stallo destinato alla connessione verso la RTN e lo stallo arrivo cavo AT ubicato all'interno della futura Stazione Elettrica a 380/150 kV della RTN da collegare in entra – esce alla linea RTN a 380 kV "Foggia – Palo del Colle" ubicata nel comune di Cerignola (FG).
- L'impianto di rete per la connessione condiviso con altri produttori, ubicato all'interno della futura Stazione Elettrica a 380/150 kV della RTN da collegare in entra – esce alla linea RTN a 380 kV "Foggia – Palo del Colle";
- area cantiere temporanea.

Dal punto di vista cartografico, l'area in esame ricade nei Fogli n° 164 "FOGGIA", n° 165 "TRINITAPOLI", n° 175 "CERIGNOLA", n° 176 "BARLETTA" della carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 e nei quadranti 164-II-SE Tressanti, 165-III-SO Stazione di Candida, 175-I-NE Cerignola, 176-IV-NO San Ferdinando di Puglia della carta IGM in scala 1:25.000.

Dal punto di vista degli scenari di rischio idrogeologico, l'intero impianto attraversa il territorio di competenza dell'Autorità di bacino della Puglia.

## 1.2 ARTICOLAZIONE DEL LAVORO

L'indagine è stata articolata, previa consultazione del progetto, nelle seguenti fasi:

1. Rilevamento delle caratteristiche geomorfologiche e geolitologiche di superficie integrato dalla lettura della carta geologica d'Italia fogli n° 164 "FOGGIA", n° 165 "TRINITAPOLI", n° 175 "CERIGNOLA", n° 176 "BARLETTA", foglio N° 422 "Cerignola" in scala 1:50.000, foglio nel quali ricade cartograficamente l'area in esame.
2. Analisi della cartografia a corredo del piano stralcio per l'assetto idrogeologico (carta degli scenari di rischio Adb Puglia – (Carta Idrogeomorfologica Regione Puglia)
3. Reperimento e interpretazione di una serie di indagini geognostiche, geotecniche e sismiche eseguite nelle aree adiacenti alle zone che ospiteranno il parco eolico in esame e raccolta di dati bibliografici.
4. Consultazione di indagini geognostiche ubicate nelle vicinanze del sito in esame.
5. Esecuzione di una campagna di indagini geognostiche consistenti in:
  - *N. 2 prove penetrometriche dinamiche pesanti DPSH*
  - *N. 2 indagini sismiche di superficie di tipo M.A.S.W.*

## 2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO GENERALE

### 2.1 GEOLOGICO E STRUTTURALE

L'area oggetto del presente studio ricade nei fogli n° 164 "FOGGIA", n° 165 "TRINITAPOLI", n° 175 "CERIGNOLA", n° 176 "BARLETTA", della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 e nel foglio N° 422 "Cerignola" in scala 1:50.000 della Carta Geologica d'Italia (Ispra).

In particolare, dei quattro domini geologici dell'Italia meridionale (avampaese Apulo, avanfossa Adriatica, Monti della Daunia, arco Calabro-Peloritano), la Puglia, intesa come regione, ricade nei primi tre.

Geograficamente essi sono rappresentati da:

- *Avampaese Apulo: rappresentato da tre settori (Gargano, Murge e Salento);*
- *Avanfossa Adriatica: piana del Tavoliere e depositi del Pliocene Sup-Pleistocene inf.;*
- *Catena Appenninica: Monti della Daunia.*

In Puglia le falde della catena appenninica sono rappresentate in modo abbastanza limitato dai Monti della Daunia. La catena, nel suo movimento verso NE, creò una flessura della crosta antistante e facente parte della Placca Africana. Più precisamente, la crosta direttamente a contatto con la catena in avanzamento subì un forte ribassamento (subsidenza) creando la cosiddetta area di "avanfossa": nel caso della regione Puglia questa è rappresentata dall'avanfossa Adriatica, che prende il nome di Fossa Bradanica nel tratto apulo-lucano. La zona di avanfossa inizialmente era occupata da un bacino di mare profondo, che via via si riempì di sedimenti provenienti dalla catena in avanzamento. Attualmente la Fossa Bradanica è una valle in cui scorrono i fiumi appenninici i quali continuano a scaricare nello Ionio i sedimenti provenienti dall'Appennino. Il mar Ionio è quindi la parte sommersa della Fossa Bradanica.

Dopo la zona di subsidenza, la crosta di fronte alla catena si inarcò in modo blando a formare un'ampia piega: tale struttura si presuppone che determinò la formazione di strutture distensive, ovvero faglie dirette. Questa è l'area di avampaese di un sistema orogenico, che nel nostro caso è rappresentato dall'avampaese Apulo. Questa zona inarcata, in passato (dal Giurassico in poi), costituì una piattaforma a sedimentazione carbonatica di mare poco profondo bordata da scogliere coralline.

Il Tavoliere di Puglia coincide attualmente col tratto dell'avanfossa Adriatica delimitato dalla catena Appenninica e dall'avampaese Apulo. Esso costituisce una vasta pianura plio-pleistocenica, dolcemente degradante verso il Mare Adriatico, delimitata a sud-est dal Fiume Ofanto, ad ovest dalla zona collinare che va da Ascoli Satriano ad Apricena, a Nord-Est dal Torrente Candelaro che separa la pianura dal Promontorio del Gargano. Il Tavoliere può ritenersi la naturale continuazione verso settentrione della Fossa Bradanica.

Mentre la parte della catena appenninica è rappresentata dal Subappennino Dauno, costituito prevalentemente da successioni terziarie di sedimenti argilloso - marnoso - arenacei con carattere di flysch, il Tavoliere delle Puglie costituisce la parte dell'avanfossa. Quest'elemento strutturale si delineò a partire dal Pliocene quando una costante subsidenza, seguita alla fase tettonica tardo - messiniana, portò alla formazione di un bacino sedimentario allungato parallelamente alla piattaforma carbonatica apula il cui margine esterno fu dislocato in blocchi ed assunse una conformazione "a gradinata".

La fossa subì ulteriori deformazioni a seguito dell'attività medio - pliocenica che, facendo migrare il fronte appenninico, indusse l'accavallamento di sedimenti di facies di flysch sui depositi infra - pliocenici della fossa stessa.

La subsidenza presumibilmente continuò durante tutto il Pleistocene inferiore-medio e solo successivamente si presuppone ci sia stata un'inversione di tendenza.

Le successioni dell'avanfossa sono riferibili a due distinti cicli sedimentari separati da una lacuna stratigrafica. L'intera area del Tavoliere è ricoperta da depositi quaternari, in prevalenza di facies alluvionale. Tra questi depositi prevale, al centro, un banco

di argilla marnosa, di probabile origine lagunare, ricoperta a luoghi da lenti di conglomerati e da straterelli di calcare evaporitico (crosta).

Sotto l'argilla si rinviene in generale un deposito clastico sabbioso-ghiaioso cui fa da basamento impermeabile il complesso delle argille azzurre pliocenico-calabriere che costituiscono il ciclo sedimentario più recente delle argille subappenniniche. Queste, trasgressive sulle argille azzurre infra medio-plioceniche (ciclo più antico) o sui terreni in facies di flysh a cui si addossano nella parte alta occidentale, costituiscono i principali affioramenti argillosi della regione.

I depositi argillosi di entrambi i cicli sono indicativi di una facies neritica e mostrano d'essersi originati in un bacino lentamente subsidente. Sono costituiti da argille marnose più o meno siltoso-sabbiose e da marne argillose di color grigio-azzurro o giallastro, con giacitura generalmente suborizzontale. La potenza di questi depositi varia sensibilmente da punto a punto con spessori massimi dell'ordine di centinaia di metri.

Il ciclo argilloso plio-pleistocenico a luoghi poggia, in continuità di sedimentazione, su depositi calcarenitici trasgressivi sul basamento mesozoico.

Le argille sub-appennine grigio-azzurre formano lembi discontinui, anche se talora vasti, venuti a giorno laddove l'erosione ha asportato la copertura post-calabriana. Spesso al di sotto di quest'ultima, le argille giacciono a pochi metri di profondità.

I sedimenti post-calabrieri sono essenzialmente di origine continentale e poggiano generalmente in discordanza sui sottostanti depositi marini. Si tratta per lo più di depositi ghiaioso-sabbiosi alternati a strati di materiale fino, di facies deltizia e/o fluvio-lacustre. Nella parte settentrionale dell'area, infine, affiorano i calcari mesozoici che caratterizzano una zona di retroscogliera. Nel complesso l'area in esame si colloca in una porzione di avanfossa poco deformato compreso fra l'Appennino Meridionale e l'Avampese Apulo-Garganico, nella quale affiorano diffusamente depositi quaternari marini e continentali che poggiano su un substrato costituito dai carbonati meso-cenozoici largamenti affioranti nelle vicine Murge e nel Gargano.

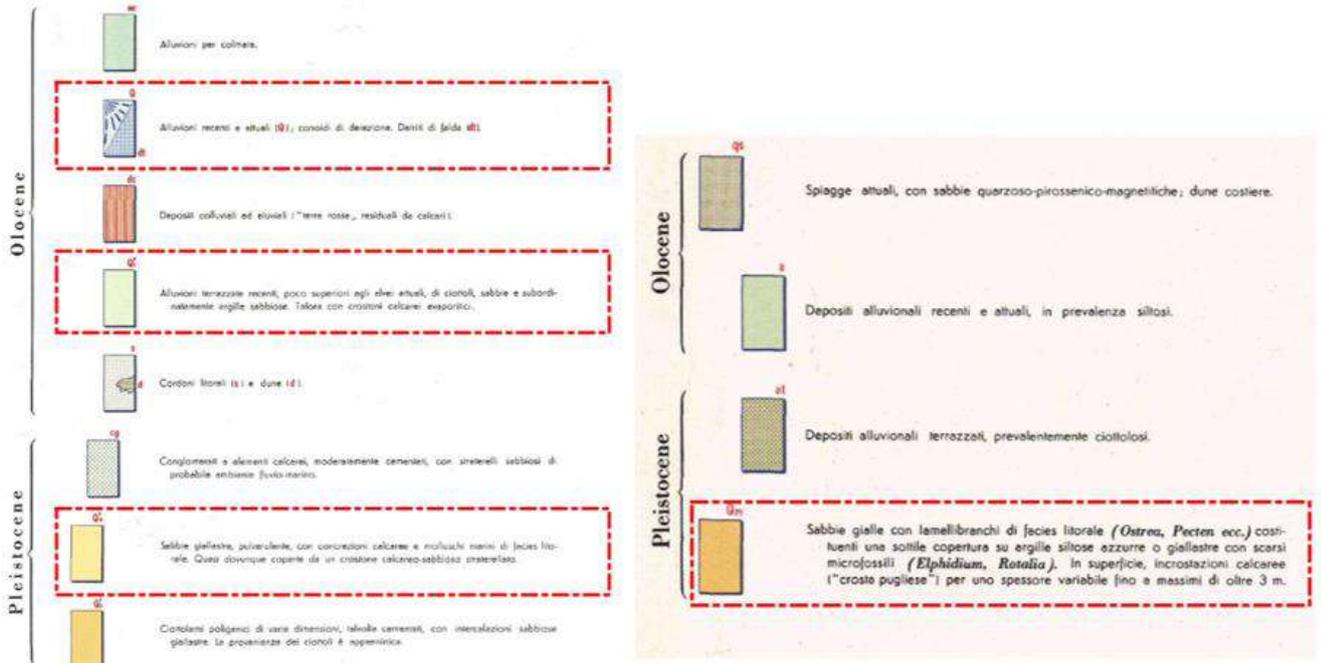
## 2.2 GEOLOGIA DEL SITO DI PROGETTO

Dalla consultazione della carta geologica fogli n° 164 "FOGGIA", n° 165 "TRINITAPOLI", n° 175 "CERIGNOLA", n° 176 "BARLETTA", della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 e nel foglio N° 422 "Cerignola" in scala 1:50.000 della Carta Geologica d'Italia (Ispra) è emerso che:

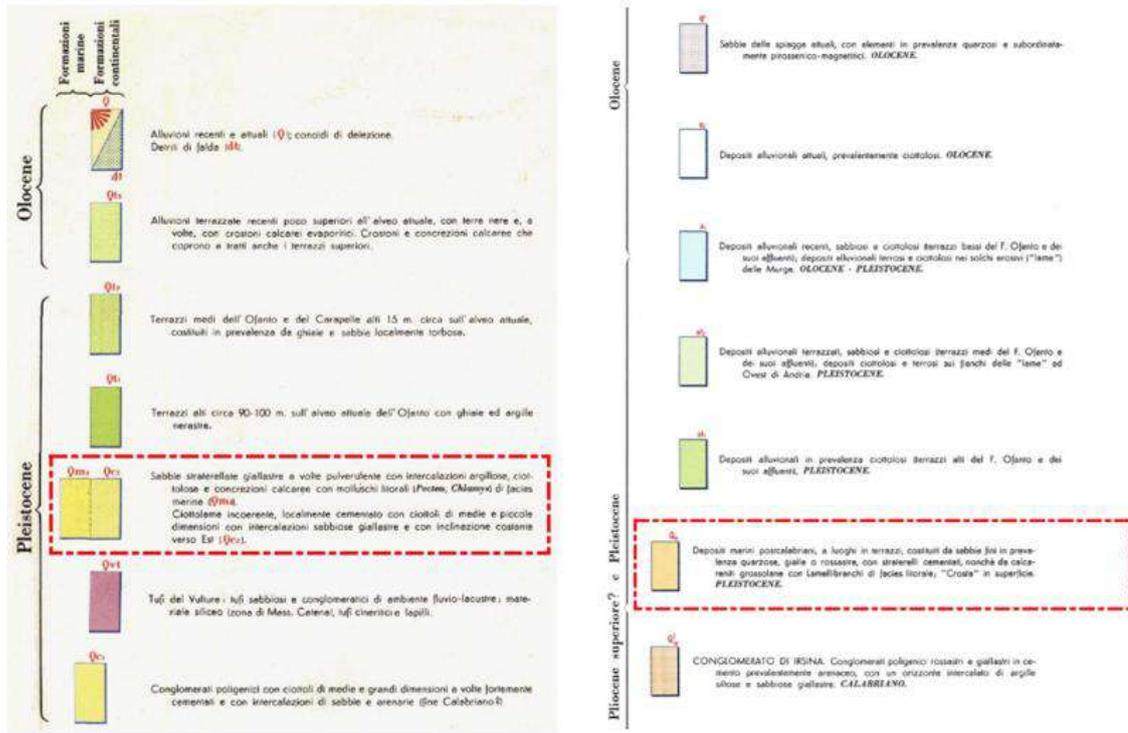
- *Gli aerogeneratori **WTG 01 – WTG 02 – WTG 04 – WTG 05 e WTG 06 e parte del cavidotto di progetto** sorgeranno in corrispondenza di depositi per lo più sabbiosi, straterellati, di colore giallastro a volte polverulenti, con concrezioni calcaree e molluschi litorali (*Pecten, Chlamys*) di facies marina quasi sempre ricoperti da un crostone calcareo-sabbioso straterellato.*
- *L'aerogeneratore **WTG 03 e parte del cavidotto di progetto** sorgeranno in corrispondenza di depositi terrazzati costituiti da alluvioni recenti, per lo più ciottoli, sabbie e subordinatamente argille sabbiose, talora con intercalazioni di crostoni calcarei evaporitici.*
- *L'aerogeneratore **WTG 07 e parte del cavidotto di progetto** sorgeranno in corrispondenza di depositi per lo più sabbiosi di colore giallastro con lamellibranchi di facies litorale costituenti una sottile copertura poggiate su argille siltose azzurre o giallastre con scarsi microfossili. In superficie essi rinvencono incrostazioni calcaree ("crosta pugliese") per uno spessore variabile fino a massimi di oltre 3 metri).*



Stralcio carta geologica scala 1:100.000 fogli n° 164 "FOGGIA", n° 165 "TRINITAPOLI",  
 n° 175 "CERIGNOLA", n° 176 "BARLETTA" con indicazione area in esame



Legenda Carta Geologica d'Italia Fogli n° 164 "FOGGIA", n° 165 "TRINITAPOLI"



Legenda carta geologica Fogli n° 175 "CERIGNOLA", n° 176 "BARLETTA"

Anche dalla consultazione della carta geologica Foglio 422 "Cerignola" in scala 1.50.000, è emerso che l'area in esame è caratterizzata dalla presenza di depositi recenti che vanno dal Pleistocene inferiore all'Olocene.

In particolare essa si caratterizza per la presenza delle **sabbie di Torre Quarto (STQ)**.

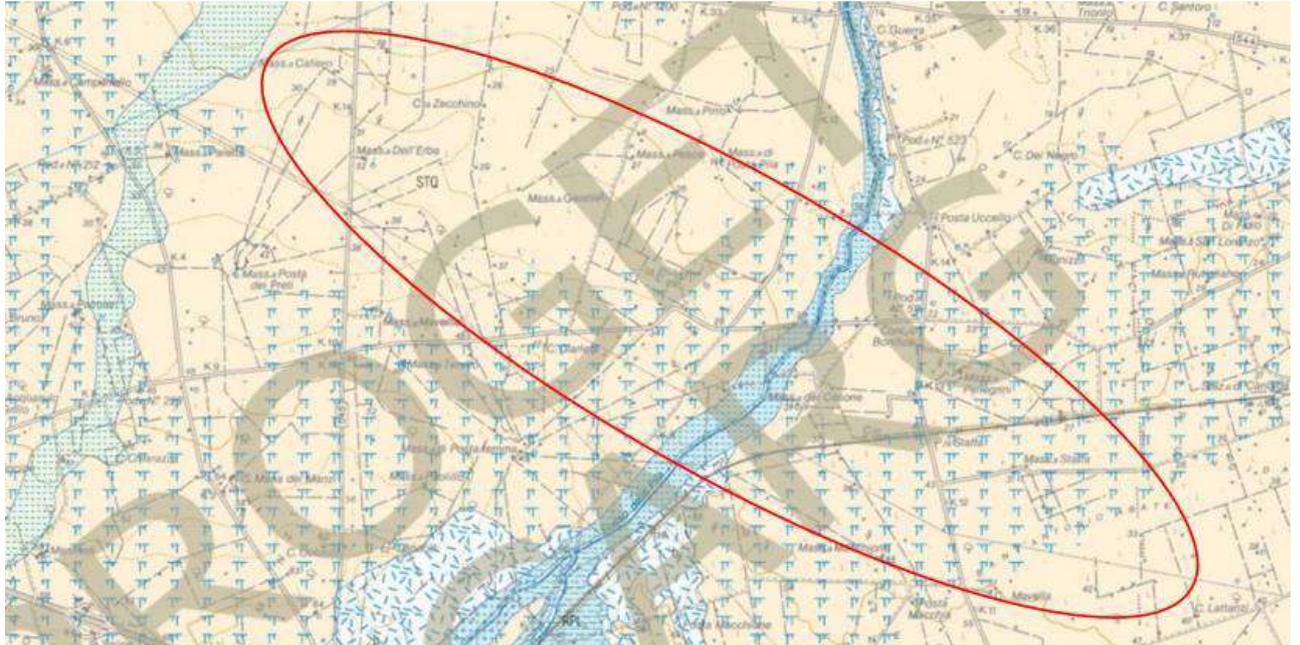
Si tratta prevalentemente di sabbie di colore giallastro, in genere poco cementate, in strati di spessore variabile da pochi centimetri fino a 50 centimetri, con intercalazioni arenitiche, marnose e argilloso-siltose; raramente sono presenti orizzonti costituiti da ciottoli di piccole dimensioni in abbondante matrice sabbiosa.

Gli spessori, desumibili da dati di perforazioni eseguite dal sottoscritto, nelle immediate vicinanze dell'area in esame, sono compresi fra i 10.00 e i 18.00 metri.

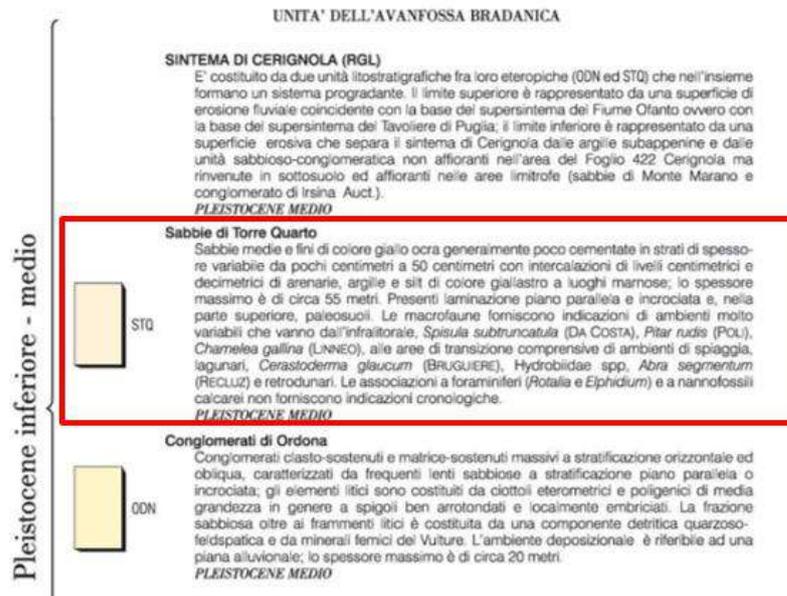
Tali depositi sono mantellati da sabbie limose di colore marroncino chiaro/beige con presenza diffusa di concrezioni calcaree biancastre di spessore variabile da 5 a 10/20 centimetri e con rara presenza di inclusi litici calcarei di dimensioni fino a 1 centimetro.

Infine, dalla consultazione delle stratigrafie di alcuni sondaggi geognostici eseguiti dal sottoscritto in aree praticamente adiacenti al sito in esame, i depositi sabbiosi limosi suddetti poggiano su materiali coesivi, argilloso limoso sabbiosi di colore variabile da beige/verdastro a beige/azzurrognolo, parzialmente alterati, moderatamente consistenti con intercalazioni di livelli sabbiosi alterati e di colore arancio.

Di seguito si riporta lo stralcio della carta geologica in scala 1:50.000 con indicazione dell'area in esame e una stratigrafia "tipo" desunta dalle perforazioni eseguite.

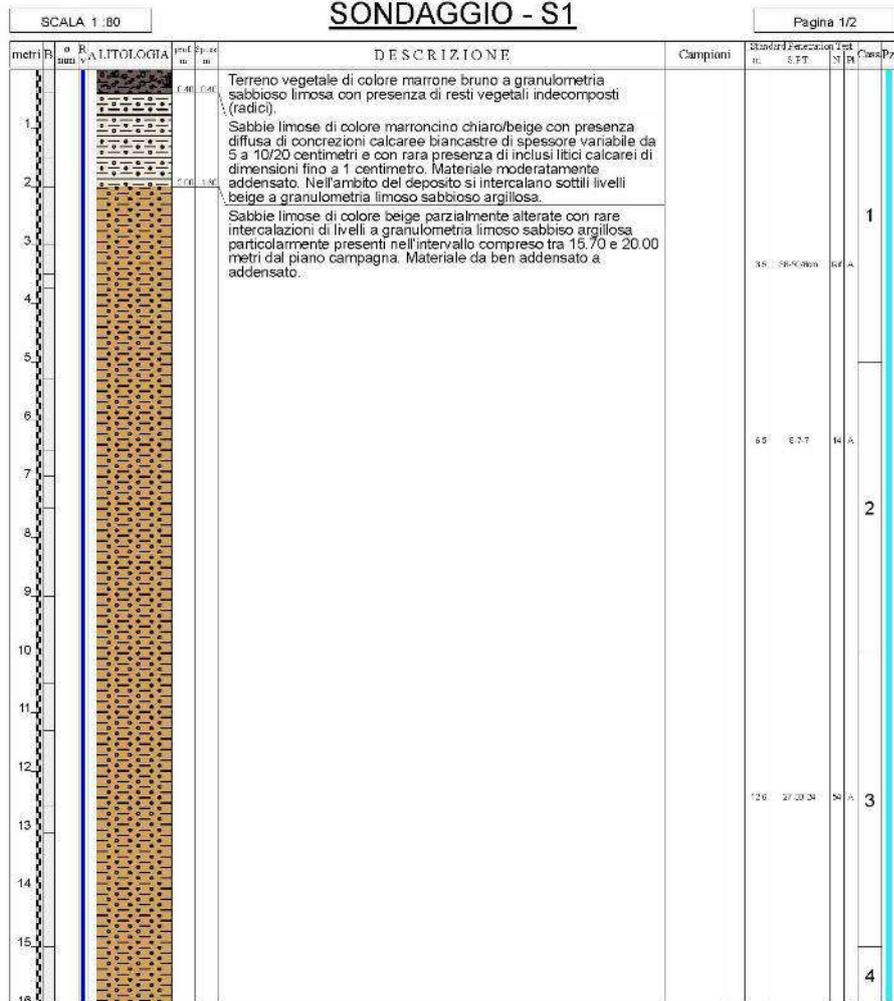


Stralcio carta geologica scala 1:50.000 Foglio 422 "Cerignola" con indicazione area in esame

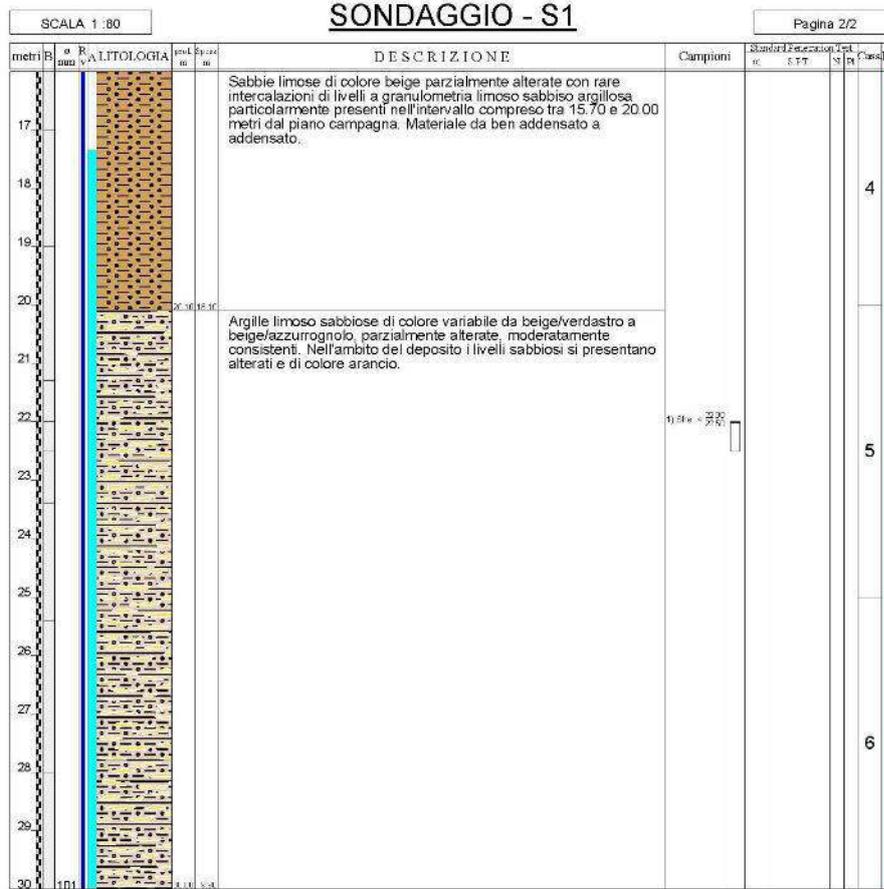


Legenda carta geologica scala 1:50.000 Foglio 422 "Cerignola"

Committente:	Sondaggio: S1
Riferimento:	Data: 08/07/2021
Coordinate:	Quota: 30 m s.l.m.
Perforazione: Carotaggio Continuo	



Committente:	Sondaggio: S1
Riferimento:	Data: 08/07/2021
Coordinate:	Quota: 30 m s.l.m.
Perforazione: Carotaggio Continuo	



Stratigrafia "tipo" con i litotipi presenti nell'area in esame  
 Sondaggio S1 - Lat. 41.370292 Long. 15.903005

### 3 INDAGINI GEOGNOSTICHE

#### 3.1 DEFINIZIONE DEL PIANO DI INDAGINI DA ESEGUIRE

Considerata l'entità dell'intervento, le conoscenze geologiche pregresse e le indagini geognostiche eseguite dal sottoscritto in zone limitrofe all'area di interesse, per la caratterizzazione geotecnica e sismica dell'area in esame è stata eseguita la seguente campagna di indagini geognostiche e geofisiche consistente in:

- N. 2 prove penetrometriche dinamiche pesanti DPSH spinte fino al rifiuto strumentale, attestatosi alla profondità di 0.90 m (DPSH 01) e 1.20 m (DPSH 02) dal locale piano campagna
- N. 2 indagini sismiche MASW

In allegato si riporta la planimetria in scala 1:25.000 con l'ubicazione delle indagini geognostiche eseguite.

#### 3.2 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE PESANTI DPSH

##### 3.2.1 GENERALITA'

La campagna di indagini geognostiche ha previsto l'esecuzione di N. 2 prove penetrometriche dinamiche pesanti DPSH spinte fino al raggiungimento del rifiuto strumentale, attestatosi alla profondità di 0.90 m (DPSH 01) e 1.20 m (DPSH 02) dal locale piano campagna.

Esse sono state eseguite con il Penetrometro Dinamico Pesante Pluristandard della Pagani TG 63-200 KN.



Prova penetrometrica dinamica pesante DPSH 01



Prova penetrometrica dinamica pesante DPSH 02

Esse consistono nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensioni standard, infissa per battitura nel terreno, per mezzo di un idoneo dispositivo di percussione.

La prova fornisce una valutazione qualitativa e quantitativa del grado di addensamento e di consistenza dei terreni attraversati. Le informazioni fornite dalle prove sono di tipo continuo poiché le misure di resistenza alla penetrazione vengono eseguite durante tutta l'infissione.

Il campo di utilizzazione della prova è molto vasto, viene infatti eseguita in tutti i tipi di terreno sia coesivo che granulare (dalle argille alle ghiaie).

### 3.2.2 CARATTERISTICHE

La prova viene eseguita con attrezzatura e modalità standard EMILIA 30 appresso descritte:

- *il maglio ha un peso  $Q = 63.50$  Kg;*
- *l'altezza di caduta del maglio è costante ed è pari ad  $H = 75$  cm;*
- *peso testa, guida, ecc.  $q=15$  Kg*
- *lunghezza aste  $L=1.00$  metri*
- *peso delle aste  $6.00$  Kg/m*
- *diametro delle aste  $\phi=32$  mm*
- *angolo di apertura della punta  $\phi=60^\circ$*
- *diametro della base della punta conica  $D=50.5$  mm*
- *Area della punta  $20$  cm<sup>2</sup>*

- *la registrazione dei colpi N avviene ogni qual volta il gruppo di infissione ha un abbassamento nel terreno pari a 30 cm;*
- *Energia specifica del colpo 7.9375 Kg/cm<sup>2</sup>*
- *Coefficiente di correlazione con l'NSPT 1.01*

### 3.2.3 INTERPRETAZIONE

Diagrammando su un grafico cartesiano il numero di colpi Nscpt in funzione della profondità, è possibile individuare strati caratterizzati da un numero di colpi pressoché simile determinando una stratigrafia geotecnica dei terreni attraversati.

Mediando i valori della resistenza all'avanzamento del gruppo di infissione, rilevati nell'ambito di ognuno degli strati così individuati, si possono ricavare le caratteristiche geotecniche dei terreni che li compongono. In particolare, attraverso opportune formule di correlazione (riportate nel paragrafo seguente), si ricavano una serie di parametri identificativi: la resistenza alla punta del penetrometro statico ( $R_p$ ), la resistenza a rottura non drenata che, opportunamente correlata, permette di quantificare l'angolo di attrito interno medio ( $\phi$ ) e la coesione non drenata ( $C_u$ ), il modulo edometrico ( $E_{ed}$ ) che fornisce le indicazioni sulla compressibilità dei terreni, la densità relativa ( $D_r$ ) per la determinazione dello stato di addensamento dei terreni. Le caratteristiche geotecniche dei vari strati individuati vengono riportate, per ogni prova, in una tabella riassuntiva insieme al grafico e al listato del numero di colpi misurati ogni 30 cm.

Nel grafico che segue è riportato l'andamento del numero di colpi (n) in funzione della profondità.

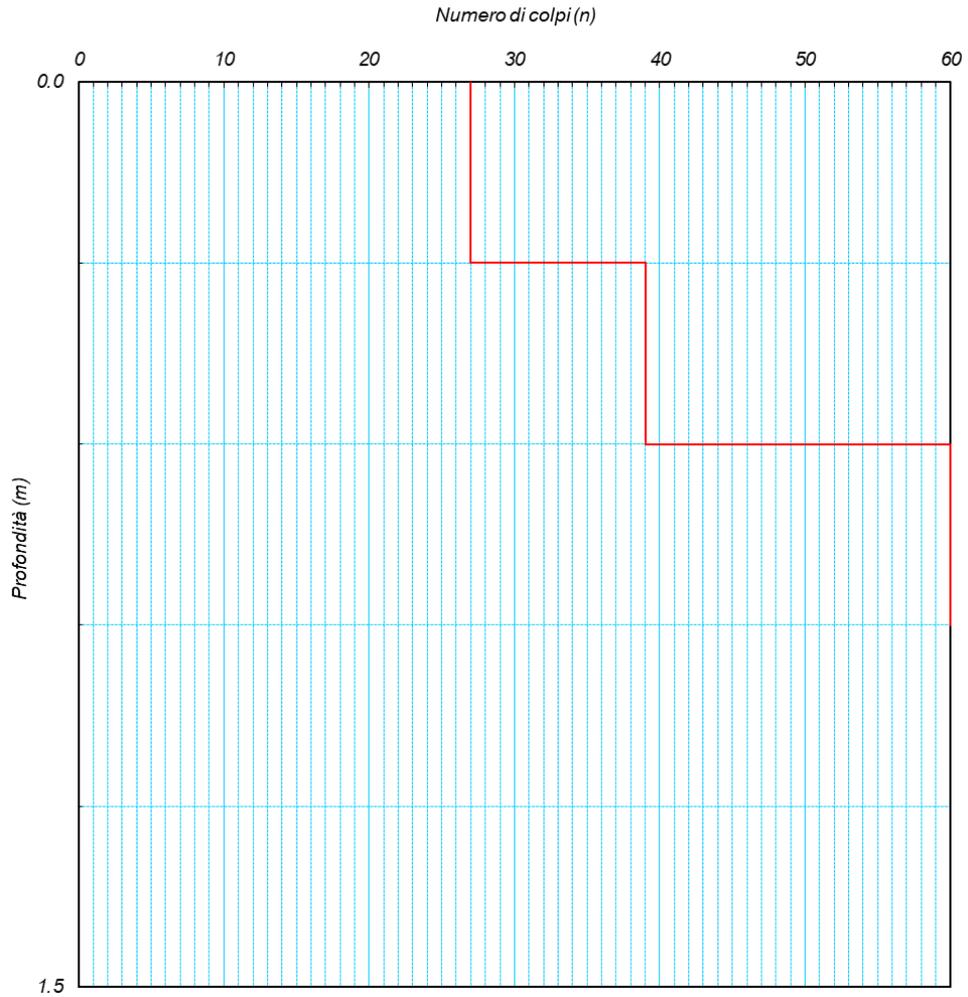


Grafico N.colpi/profondità prova pnetrometrica DPSH 01\_WTG 01

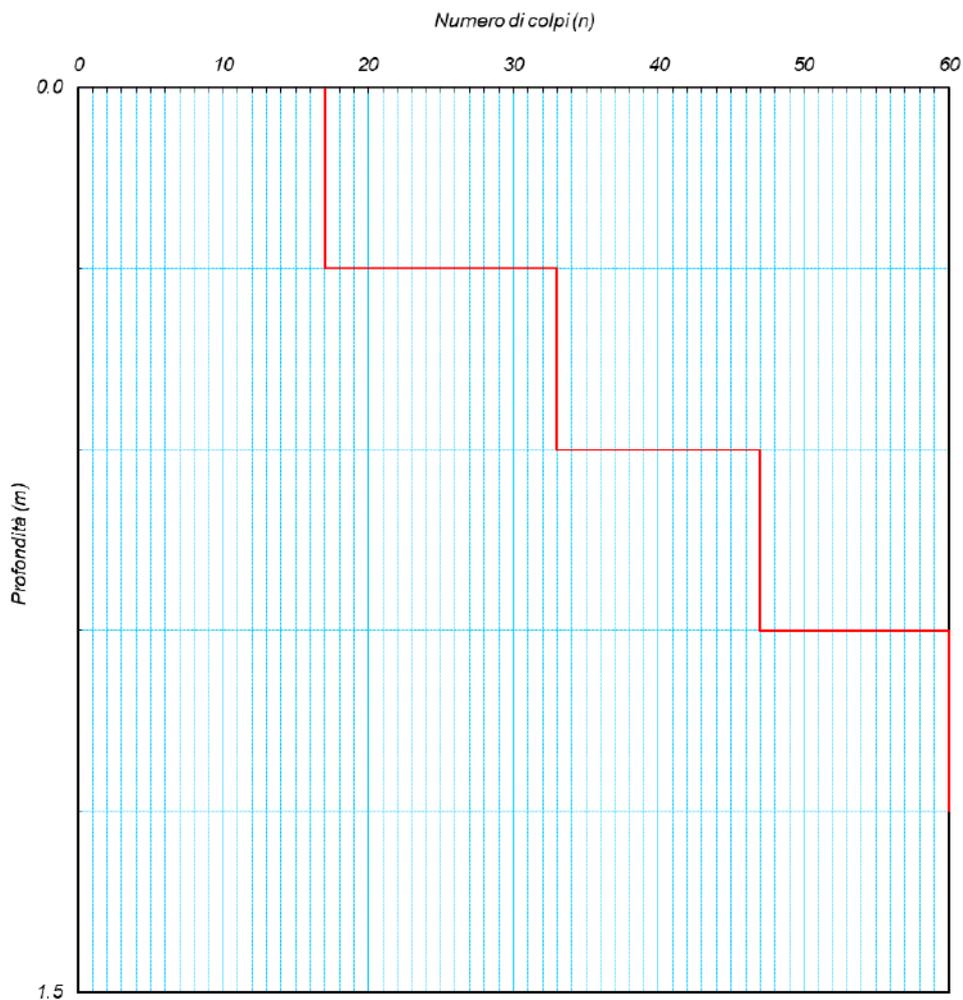


Grafico N.colpi/profondità prova pnetrometrica DPSH 02\_WTG 03

**3.3 INDAGINE SISMICA MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)**

Nel corso della campagna di indagini geognostiche sono state eseguite N. 2 indagini sismiche di superficie di tipo M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde superficiali di Rayleigh).

Tale indagine è stata condotta con il triplice scopo di individuare gli spessori dei litotipi caratterizzanti l'area, individuarne le caratteristiche sismostratigrafiche e di classificare sismicamente il suolo dell'area oggetto di studi per ottemperare alla normativa antisismica (D.M. 17/01/18).



*Indagine sismica di superficie Masw M1*



*Indagine sismica di superficie Masw M2*

**3.3.1 ANALISI MULTICANALE DELLE ONDE SUPERFICIALI**

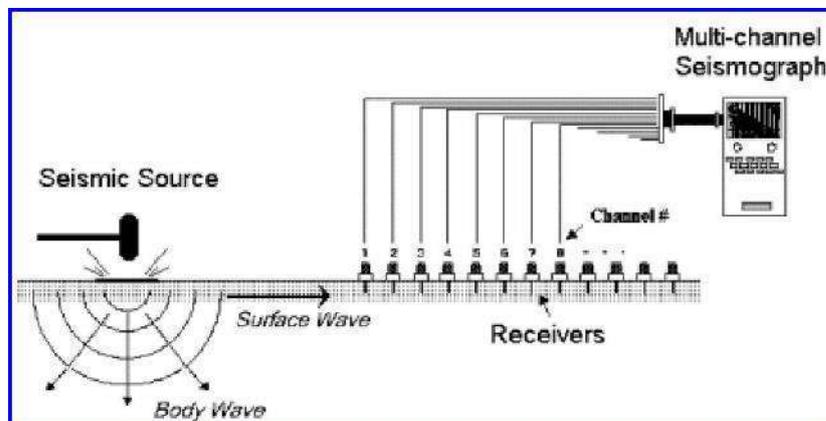
Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

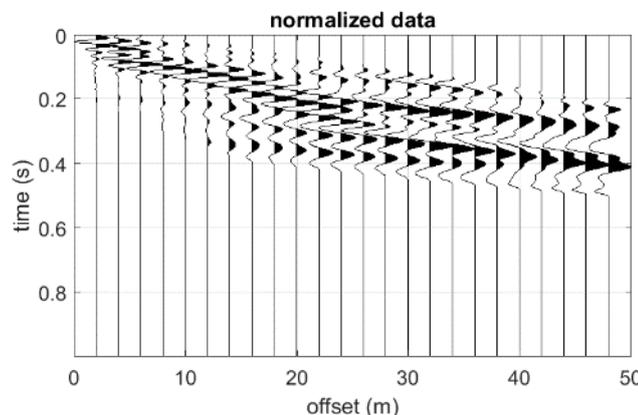
La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intera procedura per una MASW consiste di 4 passi fondamentali:

1. *Acquisizioni multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale (mazza battente su piastra o fucile sismico), lungo uno stendimento rettilineo di sorgentegeofoni;*

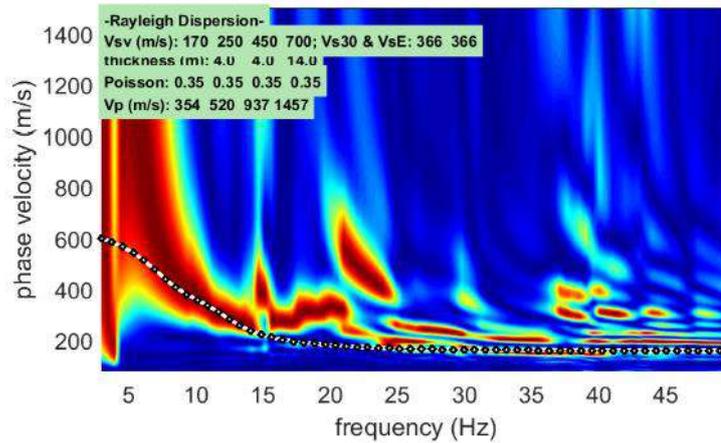


*Schema di acquisizione dei segnali sismici con metodo MASW.*

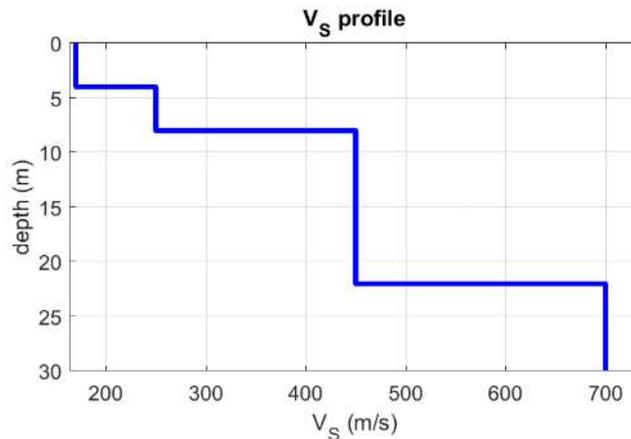


*Segnali sismici acquisiti dai geofoni lungo uno stendimento tipo.*

2. *Estrazione del modo fondamentale ed eventualmente, se presenti, dei modi superiori dalle curve di dispersione delle velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh;*



- Esempio di curva di dispersione: velocità di fase in funzione della frequenza delle onde superficiali di Rayleigh
3. Inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle Vs (un profilo verticale per ogni curva di dispersione, posizionato nel punto medio di ogni stendimento geofonico);
  4. Ricostruzione di una sezione (modello 2D) delle Vs dei terreni con approccio multicanale (con almeno due acquisizioni dei segnali, ovvero due spostamenti lungo la linea dello stendimento).



Esempio di modello di velocità delle onde di taglio Vs ottenuto dalla curva di dispersione delle velocità di fase delle onde di Rayleigh attraverso l'inversione di un modello multistrato del terreno

### 3.3.2 STRUMENTAZIONE ADOPERATA

La strumentazione geosismica utilizzata comprende:

- Sismografo Pasi 16S24P basato su un processore Windows XP con 24 canali di registrazione simultanea a 24 bit, con filtri passa basso, passa alto ed a taglio di frequenza, memorizzazione delle onde registrate su un disco rigido interno di 60 GB, possibilità di interfaccia con stampante, tastiera e mouse esterno.



Sismografo Pasi 16S24

- 24 geofoni del tipo elettromagnetico a bobina mobile che consentono di convertire in segnali elettrici gli spostamenti che si verificano nel terreno, con risposta lineare a partire dalla frequenza di 4.5 Hz e relativo cavo di collegamento;



Geofono

- massa battente e cannoncino sismico per l'energizzazione del terreno;

### 3.3.3 DISPOSIZIONI E CARATTERISTICHE DELLO STENDIMENTO

Lo stendimento è stato eseguito disponendo 24 geofoni da 4.50 Hz ad una distanza di 2 metri uno dall'altro, per una lunghezza complessiva di 46 metri di stendimento. La sorgente energizzante è stata posta ad una distanza pari a 2 metri dal primo geofono. In prima analisi si esegue una energizzazione con piastra metallica impattata da una mazza da 10 kg, per la verifica della risposta dei terreni, dei guadagni da impostare sui vari canali e per verificare se le impostazioni relative al passo di campionamento, il tempo di registrazione, ecc. siano adeguate ai terreni presenti nel sottosuolo. Successivamente, l'energizzazione si esegue generalmente con l'ausilio di un fucile sismico che utilizza cartucce calibro 8 industriali; questo permette di avere un'energia nettamente superiore al rumore ambientale e rende più chiare e leggibili le tracce registrate.

## 4 MODELLAZIONE SISMICA

### 4.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA

Le norme per le costruzioni in zona sismica (Ordinanza del O.P.C.M. 3274 e Decreto 14 settembre 2005), avevano suddiviso il territorio nazionale in zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore del parametro  $a_g$  = accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A. I valori convenzionali di  $a_g$ , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità  $g$ , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale erano riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ed assumono i valori riportati nella Tabella che segue:

Zona	Valore di $a_g$
1	0.35 g
2	0.25 g
3	0.15 g
4	0.05 g

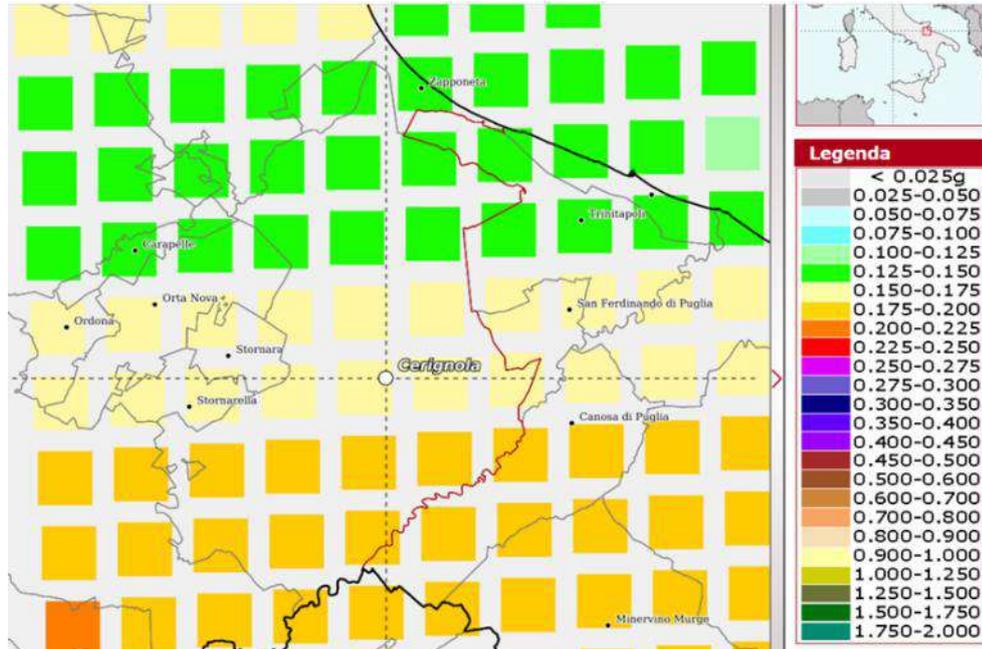
I comuni di Cerignola (FG) e Trinitapoli (BT), con Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale della Puglia n. 153 del 2.03.2004 vennero classificati di **categoria 2**.

Con l'entrata in vigore del D.M. 17/01/2018 e ancor prima del D.M. 14/01/2008, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". Quindi per la stima della pericolosità sismica di base, si determinano le coordinate geografiche del sito di interesse, si sceglie la maglia di riferimento, e si ricavano i valori dei parametri spettrali come media pesata dei valori corrispondenti ai vertici della maglia (forniti in allegato al D.M. 17.01.2018), moltiplicati per le distanze dal punto.

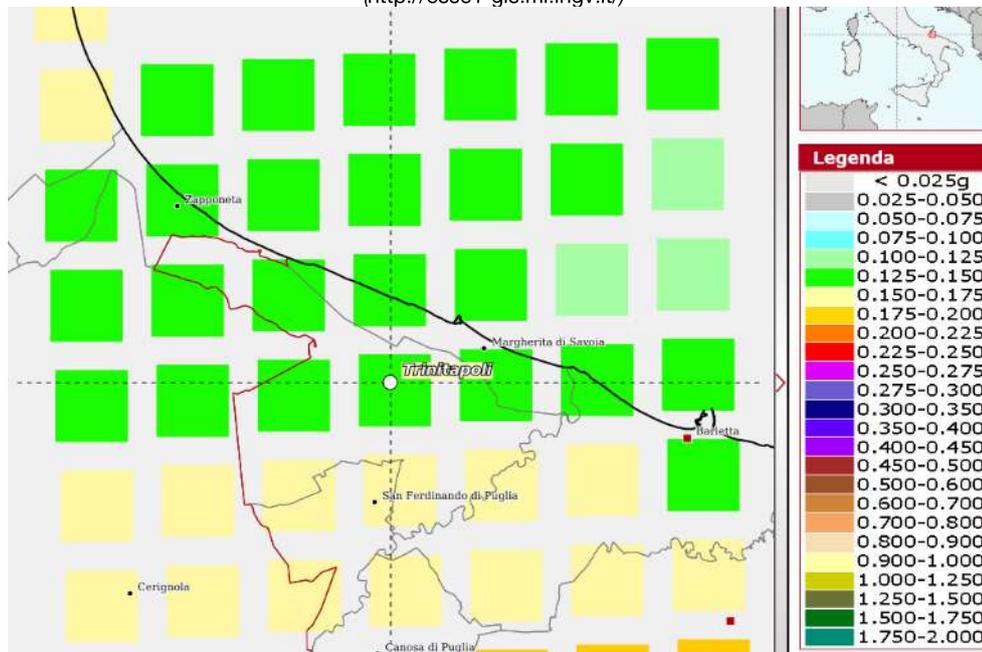
Le nuove Norme Tecniche per le costruzioni del 2008 forniscono, per l'intero territorio nazionale, i parametri da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica. Tali parametri sono forniti in corrispondenza dei nodi, posti ad una distanza massima di 10 km, all'interno di un reticolo che copre l'intero territorio nazionale. I valori forniti di  $a_g$ ,  $T_r$ ,  $F_o$  e  $T_c$  da utilizzare per la risposta sismica del sito sono riferiti al substrato, inteso come litotipo con  $V_s > 800$  m/sec.

Tale griglia è costituita da 10.751 nodi (distanziati di non più di 10 km) e copre l'intero territorio nazionale ad esclusione delle isole (tranne Sicilia, Ischia, Procida e Capri) dove, con metodologia e convenzioni analoghe vengono forniti parametri spettrali costanti per tutto il territorio (tabella 2 nell'allegato B del D.M. 14 gennaio 2008).

Di seguito si riporta la mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, per i comuni di Cerignola e Trinitapoli, nei quali ricadono i 7 aerogeneratori da installare e le opere annesse.



Comune di Cerignola (FG) Aerogeneratori WTG01, WTG02, WTG03, WTG04, WTG05, WTG06 e WTG07  
 Mappa di pericolosità sismica e relativa legenda con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni  
 (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)



Comune di Trinitapoli (BT) Opere connesse al parco eolico  
 Mappa di pericolosità sismica e relativa legenda con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni  
 (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)

Secondo le mappe di pericolosità sismica del territorio nazionale, per il sito in esame l'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico ag varia tra 0.150 e 0.175 g per il comune di Cerignola (g espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi) - ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005) e 0.125 e 0.150 g per il comune di Trinitapoli (BT), (g espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi) - ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005).

La disaggregazione dei valori di  $a_g$  con la medesima probabilità di eccedenza, mostra come il contributo percentualmente maggiore alla pericolosità sismica di base per il parco eolico in esame, sia determinato da sismi con **magnitudo massima attesa pari a 5.79** con epicentri individuati ad una distanza  $>$  di 12 km per il comune di Cerignola e sismi con **magnitudo massima attesa pari a 6.02** con epicentri individuati ad una distanza  $>$  di 23 km per il comune di Trinitapoli (BT).

L'azione sismica sulle costruzioni viene dunque valutata a partire dalla "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido, con superficie topografica orizzontale (categoria A nelle NTC). La "pericolosità sismica di base" costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. Come anzi detto, essa, in un generico sito viene descritta in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale, sopra definito, in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno TR ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, nei modi precisati dalle NTC, per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale. Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione di tre parametri:  $a_g$  accelerazione orizzontale massima del terreno;  $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;  $T_c$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale. Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno TR considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo ad:

- $a_g$  il valore previsto dalla pericolosità sismica,
- $F_0$  e  $T_c$  i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento, previste dalle NTC, scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica (la condizione di minimo è impostata operando ai minimi quadrati, su spettri di risposta normalizzati ad uno, per ciascun sito e ciascun periodo di ritorno).

Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare: la vita di riferimento VR della costruzione, le probabilità di superamento nella vita di riferimento PVR, associate a ciascuno degli stati limite considerati. Si possono così individuare, partendo dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

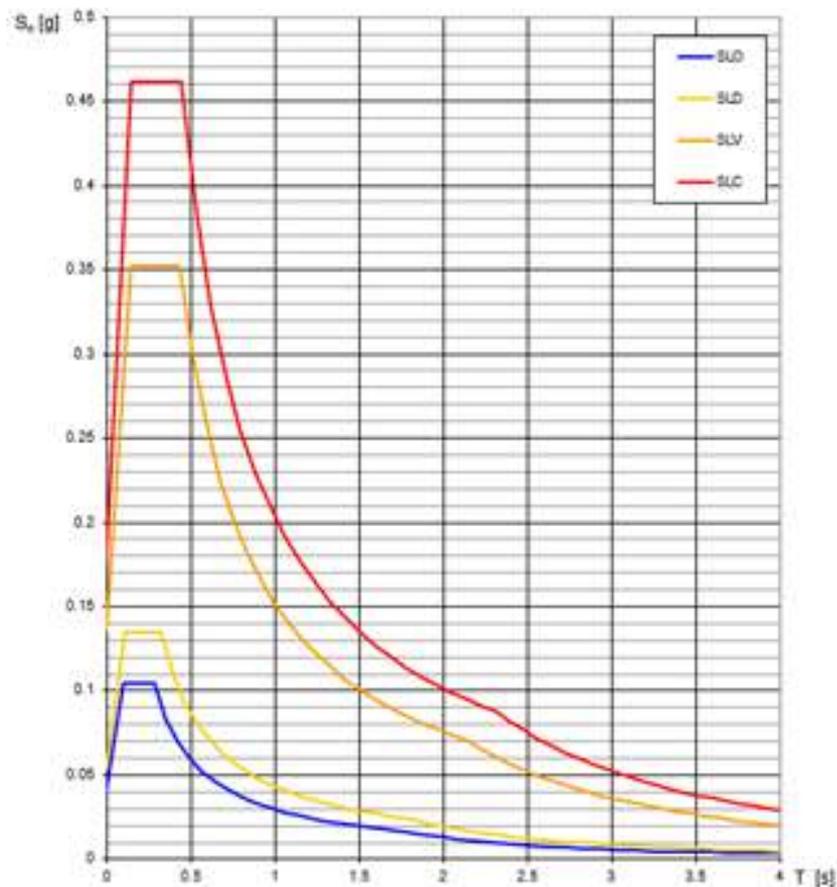
Considerando che le aree di sedime che ospiteranno i futuri aerogeneratori appartengono alla categoria sismica C e alla categoria topografica T1, si riportano i valori di tali parametri ai vari stati limite previsti dalla normativa, (SLO stato limite di operatività, SLD stato limite di danno, SLV stato limite di salvaguardia della vita, SLC stato limite di prevenzione del collasso), calcolati all'interno del settore in cui verranno realizzati gli aerogeneratori WTG 01, WTG 02, WTG 03, WTG 04, WTG 05, WTG 06, WTG 07.

**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  associati a ciascuno SL**

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	30	0.042	2.514	0.282
SLD	50	0.053	2.549	0.322
SLV	475	0.136	2.597	0.431
SLC	975	0.179	2.577	0.440

Gli stessi valori sono di seguito riportati sotto forma di grafico

**Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite**



Grafici spettri di risposta per i diversi stati limite

**4.2 RISULTATI INDAGINI SISMICHE MASW**

I risultati delle indagini sismiche MASW, riportati negli allegati sia in forma numerica che grafica presentano velocità delle onde di taglio compatibili con le litologie presenti.

Il valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$ , è definito dall'espressione:

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

dove  $h_i$  e  $V_{si}$  sono gli spessori e le velocità delle onde di taglio dei singoli strati e  $H$  è la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s. Quando la profondità  $H$  del substrato è superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{Seq}$  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. Per la prova MASW M1, eseguita nelle aree limitrofe che ospiteranno l'aerogeneratore WTG 01, il  $V_{s,eq}$  calcolato a partire del piano campagna risulta pari a 253 m/s.

Profondità (m)		Velocità	Spess/Veloc
Da	a	(m/sec)	$H_i/V_i$
0.00	13.00	220	0.0591
13.00	28.00	280	0.0536
28.00	38.00	330	0.0303
38.00	40.00	450	0.0044

Tabella delle velocità rilevate dal MASW M1\_WTG 01

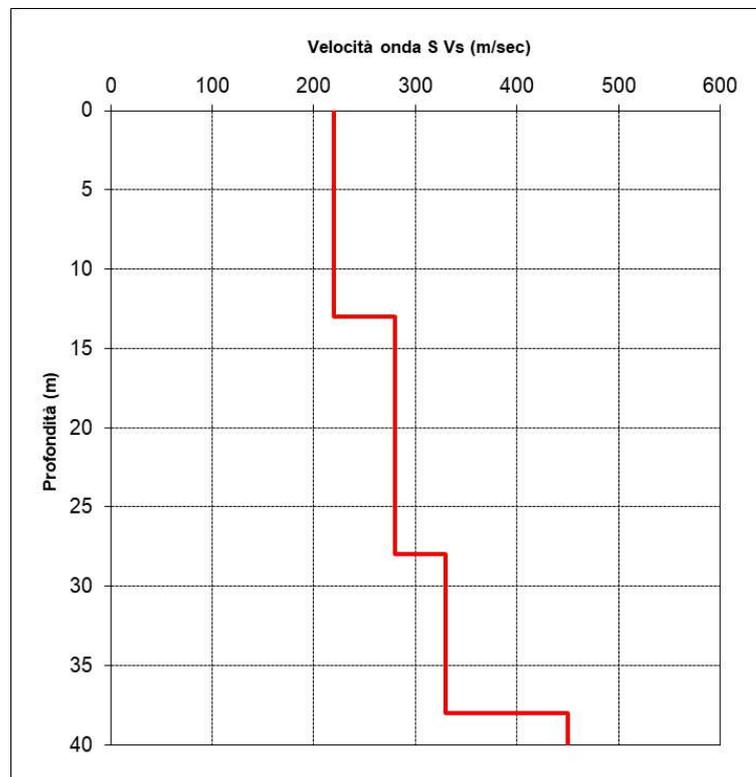


Grafico velocità-profondità dal MASW M1\_WTG 01

Per la prova MASW M2, eseguita nelle aree limitrofe che ospiteranno l'aerogeneratore WTG 03, il  $V_{s,eq}$  calcolato a partire del piano campagna risulta pari a 298 m/s.

Profondità (m)		Velocità	Spess/Veloc
Da	a	(m/sec)	Hi/Vi
0.00	8.00	300	0.0267
8.00	13.00	360	0.0139
13.00	23.00	250	0.0400
23.00	35.00	350	0.0343

Tabella delle velocità rilevate dal MASW M2\_WTG 03

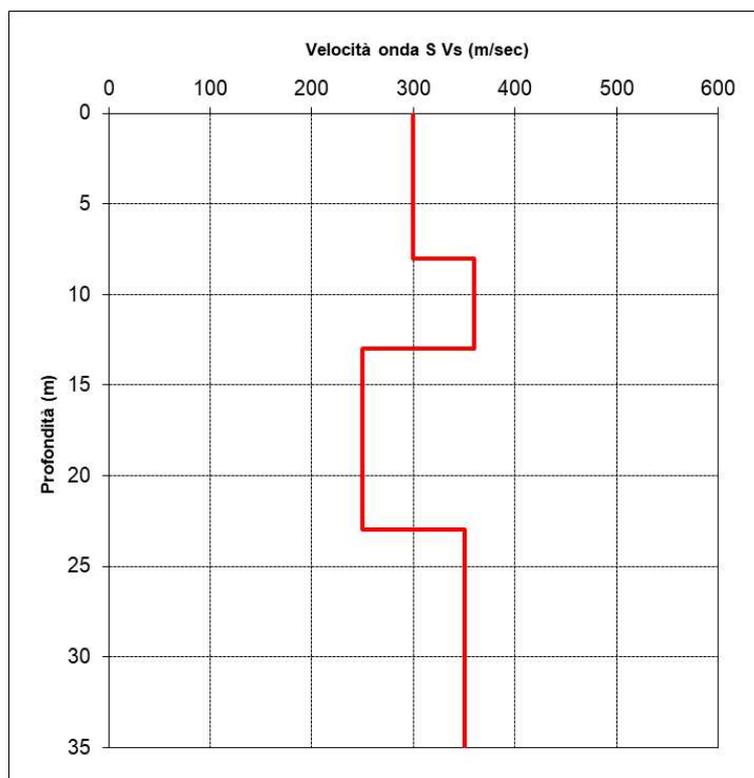


Grafico velocità-profondità dal MASW M2\_WTG 03

**4.3 ANALISI DEL SUOLO DI FONDAZIONE**

Per la caratterizzazione sismica dell'area interessata dalla realizzazione dell'impianto eolico e delle opere connesse sono state eseguite n° 2 indagini sismiche di tipo MASW, dalle quali emerge che le velocità delle onde di taglio sono compatibili con le litologie presenti con valori di Vs,eq attribuibili alla categoria di suolo C.

Il valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VS,eq, è definita dall'espressione:

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

dove hi e Vsi sono gli spessori e le velocità delle onde di taglio dei singoli strati e H è la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s. Quando la profondità H del substrato è superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio VS,eq è definita dal parametro VS,30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

**Tab. 3.2.II –** *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>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.</i>
E	<i>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.</i>

*Categorie di sottosuolo sismico per l'approccio semplificato*

**Tab. 3.2.IV –** *Espressioni di  $S_s$  e di  $C_c$*

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

*Espressioni di  $S_s$  e  $C_c$*

#### 4.4 CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

La norma citata, per la risposta sismica del sito, stabilisce 4 categorie, in relazione alle caratteristiche topografiche dell'area in esame. Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale, mentre per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

- 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  $i > 30^\circ$

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se presentano altezze maggiori di 30 m.

Per ciò che concerne l'area in studio, considerando che il parco eolico ricoprirà un'area più o meno estesa caratterizzata da morfologie sostanzialmente subpianeggianti con deboli pendenze dell'ordine dei  $4^\circ$ - $5^\circ$ ; di conseguenza, il coefficiente topografico da adottare è quello relativo alla categoria topografica T1.

## 5 MODELLIZZAZIONE GEOTECNICA

### 5.1 INDAGINI GEOTECNICHE

Dalle conoscenze pregresse e dal modello geologico risultante dell'area di studio, oltre al reperimento di una serie di indagini geognostiche realizzate nel corso degli anni in aree limitrofe al sito in esame e su terreni con caratteristiche simili, è stata eseguita una campagna di indagini, consistita in:

- *N. 2 prove penetrometriche dinamiche pesanti DPSH spinte fino al rifiuto strumentale, attestatosi alla profondità di 0.90 m (DPSH 01) e 1.20 m (DPSH 02) dal locale piano campagna*

Pertanto, sono state consultate una serie di indagini geognostiche in sito e prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati prelevati nell'ambito delle stesse formazioni geologiche che caratterizzano l'intero impianto eolico.

Inoltre, la massiccia raccolta di dati bibliografici rappresentativi dell'area in esame e delle principali litologie affioranti ha rappresentato un valido e ulteriore strumento per la definizione dei parametri geotecnici locali.

In particolare, l'area di sedime che interesserà il parco eolico, sostanzialmente è riconducibile a depositi costituiti principalmente da depositi per lo più sabbiosi, straterellati, di colore giallastro a volte polverulenti, con concrezioni calcaree quasi sempre ricoperti da un crostone calcareo-sabbioso straterellato (aerogeneratori WTG 01 – WTG 02 – WTG 04 – WTG 05 e WTG 06).

L'aerogeneratore WTG 03 sorgerà in corrispondenza di depositi terrazzati costituiti da alluvioni recenti, per lo più ciottoli, sabbie e subordinatamente argille sabbiose, talora con intercalazioni di crostoni calcarei evaporitici, mentre l'aerogeneratore WTG 07 sorgerà in corrispondenza di depositi per lo più sabbiosi di colore giallastro poggianti su argille siltose azzurre o giallastre, mantellati da sottili incrostazioni calcaree ("crosta pugliese") per uno spessore variabile fino a massimi di oltre 3 metri).

#### 5.1.1 INTERPRETAZIONE PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE PESANTI DPSH

Per la caratterizzazione geotecnica delle aree che ospiteranno l'impianto eolico e le opere accessorie, sono state prese in considerazione le prove penetrometriche dinamiche pesanti DPSH eseguite.

Le prove sono state spinte fino al raggiungimento del rifiuto strumentale, attestatosi alla profondità di 0.90 m (DPSH 01) e 1.20 m (DPSH 02) dal locale piano campagna.

Di seguito si riportano i grafici N.Colpi/ Profondità delle prove.

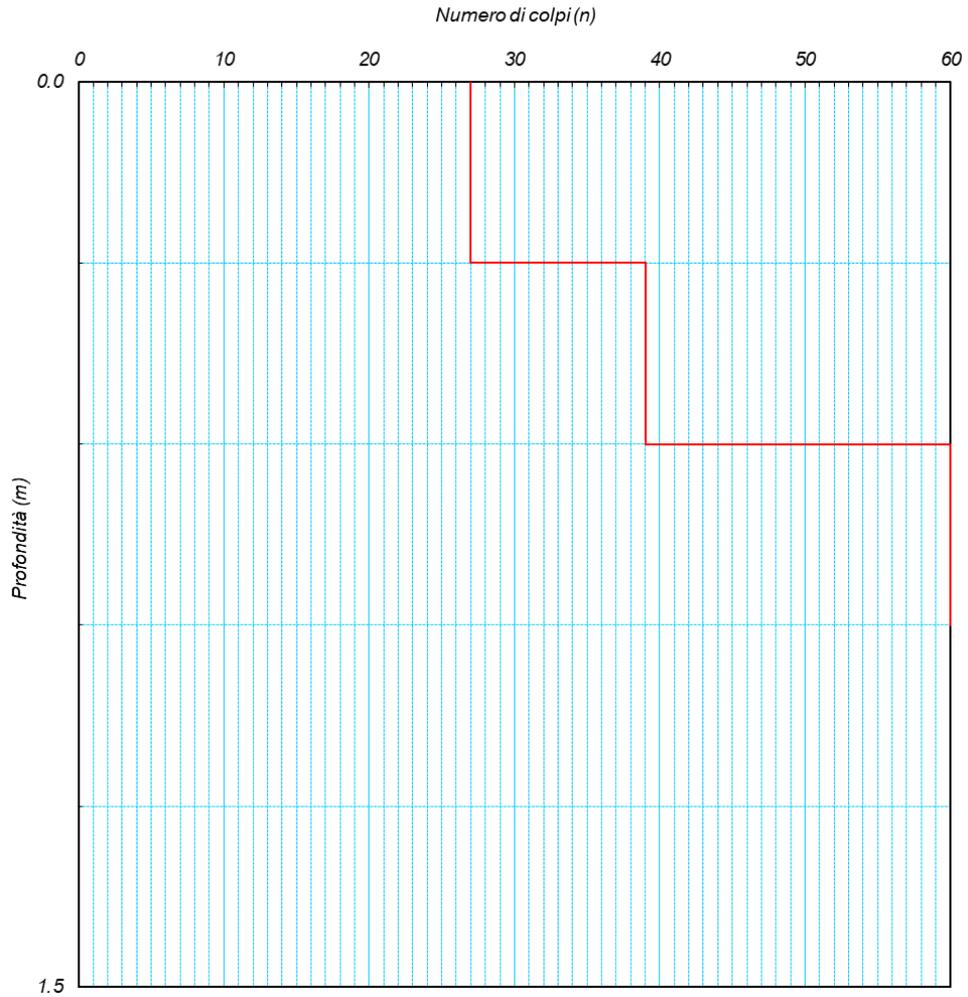


Grafico N.colpi/profondità prova pnetrometrica DPSH 01\_WTG 01

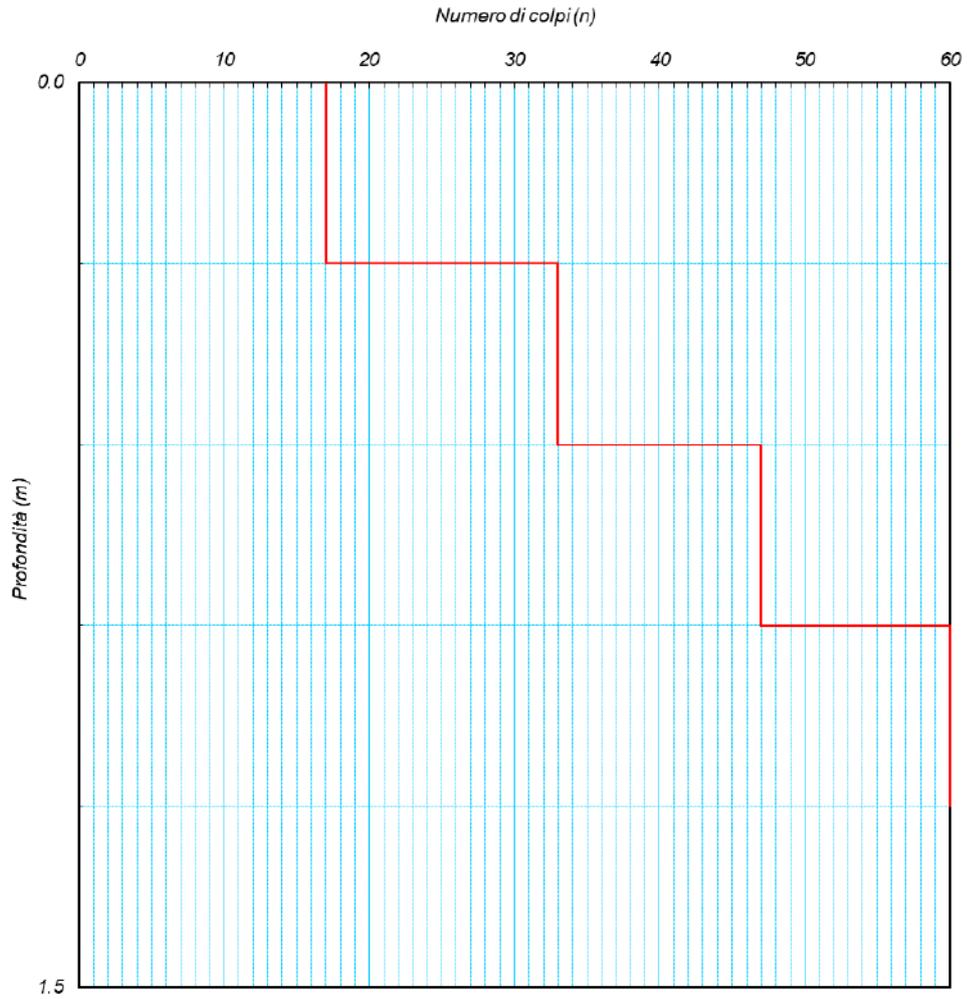


Grafico N.colpi/profondità prova penetrometrica DPSH 02\_WTG 03

Si riporta la tabella dei parametri geotecnici ricavati:

**Prova (n): DPSH 01**

**STRATIGRAFIA INTERPRETATIVA**

**DATI GENERALI**

Strato (n)	1	2
Profondità iniziale (m)	0.00	0.60
Profondità finale (m)	0.60	0.90
Potenza dello strato (m)	0.60	0.30
Peso di volume attribuito (g/cm <sup>3</sup> )	1.60	1.80
Pressione vert efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.10	0.16
Media numero colpi (N)	33	50
Media resist. alla Punta (Kg/cm <sup>2</sup> )	93.00	210.00

**PARAMETRI GEOTECNICI TERRENI DI NATURA GRANULARE**

Angolo di attrito (°)	>38	>38
Densità relativa (%)	100	100
Mod. di deformazione (Kg/cm <sup>2</sup> )	279	630
Mod. taglio dinamico (Kg/cm <sup>2</sup> )	29	48
Stato di addensamento	D	M D

**PARAMETRI GEOTECNICI TERRENI DI NATURA COESIVA**

Coesione non dren. (Kg/cm <sup>2</sup> )	4.65	10.49
Modulo edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )	204.00	462.00
Grado di sovracons. OCR (-)	120.97	107.94
Mod. di taglio dinam. (t/m <sup>2</sup> )	21.408	29.602
Stato di consistenza	D	D

**LEGENDA**

**Terreni di natura granulare - Stato di addensamento**

*M S= Molto sciolto, S=Sciolto, M=Medio, D=Denso, M D=Molto Denso*

**Terreni di natura coesiva - Stato di consistenza**

*M=Molle, T=Tenero, Med=Medio, C=Compatto, M C=Molto Compatto, D=Duro*

*Tabella parametri geotecnici prova penetrometrica DPSH 01\_WTG 01*

**Prova (n): DPSH 02**

**STRATIGRAFIA INTERPRETATIVA**

**DATI GENERALI**

Strato (n)	1	2
Profondità iniziale (m)	0.00	0.90
Profondità finale (m)	0.90	1.20
Potenza dello strato (m)	0.90	0.30
Peso di volume attribuito (g/cm <sup>3</sup> )	1.60	1.80
Pressione vert efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.14	0.22
Media numero colpi (N)	32	60
Media resist. alla Punta (Kg/cm <sup>2</sup> )	102.00	220.00

**PARAMETRI GEOTECNICI TERRENI DI NATURA GRANULARE**

Angolo di attrito (°)	38	>38
Densità relativa (%)	100	100
Mod. di deformazione (Kg/cm <sup>2</sup> )	306	660
Mod. taglio dinamico (Kg/cm <sup>2</sup> )	43	64
Stato di addensamento	D	M D

**PARAMETRI GEOTECNICI TERRENI DI NATURA COESIVA**

Coesione non dren. (Kg/cm <sup>2</sup> )	5.09	10.99
Modulo edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )	224.00	484.00
Grado di sovracons. OCR (-)	58.94	56.53
Mod. di taglio dinam. (t/m <sup>2</sup> )	20.900	34.126
Stato di consistenza	D	D

**LEGENDA**

**Terreni di natura granulare - Stato di addensamento**

*M S= Molto sciolto, S=Sciolto, M=Medio, D=Denso, M D=Molto Denso*

**Terreni di natura coesiva - Stato di consistenza**

*M=Molle, T=Tenero, Med=Medio, C=Compatto, M C=Molto Compatto, D=Duro*

*Tabella parametri geotecnici prova penetrometrica DPSH 02\_WTG 03*

Entrambe le prove penetrometriche hanno confermato la presenza dei depositi sabbioso limosi di colore beige, con valori del numero di colpi compatibili con le litologie presenti, testimoniando dunque la presenza di terreni dotati di caratteristiche geotecniche da buone ad ottime sin dai primi metri di profondità.

**5.2 MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO E VALORI CARATTERISTICI ADOTTATI**

Dall'analisi delle conoscenze dello scrivente, dal modello geologico e dalle indagini geotecniche in sito opportunamente eseguite, unitamente alle indagini reperite nelle immediate vicinanze, è stato possibile definire le caratteristiche geotecniche del sottosuolo interessato dagli aerogeneratori.

Di seguito si riporta la tabella con i parametri geotecnici medi individuati per l'area di sedime che ospiterà gli aerogeneratori in esame.

TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI DEI TERRENI PRESENTI NEL SOTTOSUOLO PARCO EOLICO "OFANTO"									
Prof. della falda: > 15.00 m dal p.c.									
Profondità dal piano campagna. (m)		Descrizione litologica (Formazione)	Peso di volume naturale	Peso di volume saturo	Angolo di attrito Picco	Angolo di attrito Residuo	Coesione drenata	Coesione non drenata	Modulo edometrico
da	a		g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	(°)		Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
0.00	2.50/5.00	Sabbie limose di colore marroncino chiaro/beige con presenza diffusa di concrezioni calcaree biancastre di spessore variabile da 5 a 10/20 centimetri e con rara presenza di inclusi litici calcarei di dimensioni fino a 1 centimetro. Materiale moderatamente addensato. <b>(1)</b>	1.80	1.90	32	/	0.00	2.00	180
2.50/5.00	18.00/20.00	Sabbie limose di colore beige parzialmente alterate con rare intercalazioni di livelli a granulometria limoso sabbioso argilloso. Materiale da addensato a ben addensato. <b>(2)</b>	1.90	2.00	34	/	0.00	4	250
18.00/20.00	30.00	Argille limoso sabbiose di colore variabile da beige/verdastro a beige/azzurrognolo, parzialmente alterate, moderatamente consistenti. <b>(3)</b>	2.00	2.10	18	/	0.25	2.50	70

Tabella parametri geotecnici area di impianto degli aerogeneratori  
 WTG 01, 02, WTG 03, WTG 04, WTG 05, WTG 06, WTG 07

**5.3 STABILITÀ DELL'AREA**

Dal rilevamento geomorfologico eseguito è emerso che gli aerogeneratori in progetto ricadono tutte in aree stabili; pertanto, considerato che la franosità è funzione delle caratteristiche geotecniche, litologiche, idrogeologiche e morfologiche e dipende, quindi, da parametri quali litologia, angolo di attrito interno, contenuto d'acqua, coesione, giacitura dei terreni e, soprattutto, pendenza dei versanti, si può asserire che l'area in esame attualmente si presenta stabile.

Per quanto riguarda il percorso del cavidotto si sottolinea che esso attraversa aree sostanzialmente stabili e si sviluppa a partire dalla stazione utente, ubicata nel comprensorio comunale di Cerignola, proseguendo lungo una superficie praticamente subpianeggiante in direzione nord ovest sud est per poi collegarsi agli aerogeneratori.

Dall'analisi della carta degli scenari di rischio dell'autorità di bacino della Puglia è emerso che il cavidotto in esame attraversa una piccola area cartografata a pericolosità geomorfologica PG1.

Pertanto, in fase esecutiva, particolare attenzione deve essere posta alla regimentazione delle acque meteoriche per evitare che, il loro ruscellamento selvaggio e la loro infiltrazione negli strati più superficiali possa innescare fenomeni di instabilità.

Nelle successive fasi progettuali dovranno essere eseguite specifiche indagini geognostiche e geotecniche puntuali, con lo scopo di valutare e analizzare attentamente le caratteristiche geotecniche del caso.

**5.4 POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE**

Per liquefazione di un terreno si intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi. Se si esprime la resistenza al taglio attraverso la relazione di Coulomb:

$$\tau = c + (\sigma_{v0} - u) \tan \varphi$$

dove:

$c$  = coesione del terreno

$\sigma_{v0}$  = pressione litostatica totale agente alla profondità d'indagine

$u$  = pressione interstiziale dell'acqua

$\varphi$  = angolo di resistenza al taglio del terreno,

È evidente che la grandezza " $\tau$ " si può annullare solo nel caso in cui siano verificate le condizioni:

a)  $c = 0$ ;

b)  $(\sigma_{v0} - u) = 0$ ;

il caso  $\varphi = 0$  non ha importanza pratica, perché può verificarsi solo in terreni coesivi in condizioni non drenate, dove però la condizione " $c=0$ " non può ovviamente verificarsi).

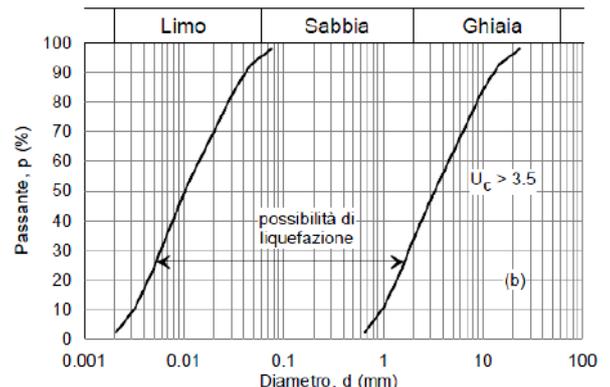
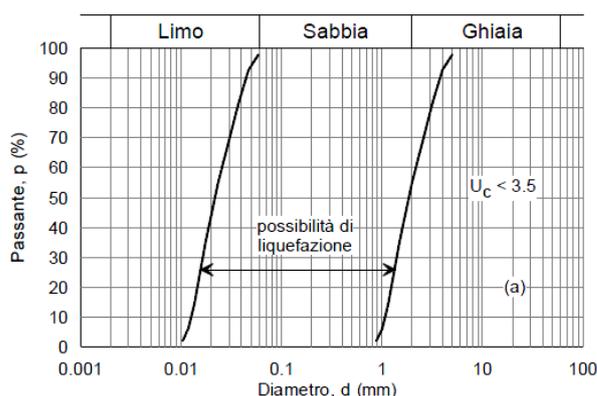
La condizione a) vieta che il fenomeno della liquefazione possa verificarsi in terreni coesivi o incoerenti ma con una significativa frazione argillosa o limosa plastica.

La condizione b) si verifica, quando la pressione interstiziale uguaglia la pressione totale esercitata ad una data profondità dalla colonna di terreno sovrastante e dagli eventuali sovraccarichi presenti in superficie ( $\sigma_{v0} = u$ ). In definitiva il fenomeno della liquefazione si può manifestare preferibilmente in depositi sciolti non coesivi posti sotto falda, in seguito ad eventi che producono un forte aumento della pressione interstiziale dell'acqua.

Il D.M. 17/01/2018 Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018), richiede di effettuare la verifica a liquefazione nel caso in cui siano presenti, nel sottosuolo indagato, terreni granulari saturi (sabbie e sabbie limose) predisposti al fenomeno della liquefazione in caso di sisma.

Nelle stesse NTC è riportato che la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura che segue: (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .



*Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione*

Alla luce di queste considerazioni, dall'analisi di tutti i dati presi in considerazione è emerso che i terreni che rappresentano l'area in esame sono riconducibili principalmente a depositi per lo più sabbiosi, straterellati, di colore giallastro a volte polverulenti, con concrezioni calcaree, poggianti su depositi argilloso limosi.

Tuttavia, nel corso delle indagini geognostiche non è emersa la presenza di alcuna superficie piezometrica sino alla profondità massima investigata; ciò nonostante le caratteristiche granulometriche e litologiche degli strati superficiali permettono l'infiltrazione di acqua di precipitazione meteorica favorendo una circolazione sub- superficiale agevolata dalla presenza alla base di terreni impermeabili come le argille grigio-azzurre.

Da quanto su esposto, quindi, è possibile riscontrare la presenza di piccole falde acquifere a contatto tra le argille di base e depositi sabbioso-ghiaiosi.

Pertanto, in questo primo approccio potrebbe escludersi la verifica a liquefazione in caso di evento sismico; ciò nonostante la possibilità o meno di esclusione verrà valutata caso per caso nelle successive fasi esecutive.

## 6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Scopo del presente documento è la redazione dello studio per valutare in via preliminare i caratteri geologici e geomorfologici dell'area in esame nonché il proprio comportamento sismico e le caratteristiche geotecniche dei terreni, finalizzato all'ottenimento dei permessi necessari alla costruzione ed esercizio di un impianto di produzione di energia rinnovabile da fonte eolica denominato "Ofanto", costituito da n° 7 aerogeneratori, per una potenza massima complessiva di 49 MW, nei comune di Cerignola (FG) e Trinitapoli (BT) con relative opere connesse ed infrastrutture indispensabili nei comune di Cerignola (FG) e Trinitapoli (BT), collegato alla Rete Elettrica Nazionale mediante connessione con uno stallo a 150 kV in antenna su una futura Stazione Elettrica a 380/150 kV della RTN da collegare in entra – esce alla linea RTN a 380 kV "Foggia – Palo del Colle", ubicata nel comune Cerignola (FG).

Dal punto di vista cartografico, l'area in esame ricade nei Fogli n° 164 "FOGGIA", n° 165 "TRINITAPOLI", n° 175 "CERIGNOLA", n° 176 "BARLETTA" della carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 e nei quadranti 164-II-SE Tressanti, 165-III-SO Stazione di Candida, 175-I-NE Cerignola, 176-IV-NO San Ferdinando di Puglia della carta IGM in scala 1:25.000.

Dal punto di vista degli scenari di rischio idrogeologico, l'intero impianto attraversa il territorio di competenza dell'Autorità di bacino della Puglia.

Dalla consultazione della carta geologica fogli n° 164 "FOGGIA", n° 165 "TRINITAPOLI", n° 175 "CERIGNOLA", n° 176 "BARLETTA", della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 e nel foglio N° 422 "Cerignola" in scala 1:50.000 della Carta Geologica d' Italia (Ispra) è emerso che:

- *Gli aerogeneratori **WTG 01 – WTG 02 – WTG 04 – WTG 05 e WTG 06 e parte del cavidotto di progetto** sorgeranno in corrispondenza di depositi per lo più sabbiosi, straterellati, di colore giallastro a volte polverulenti, con concrezioni calcaree e molluschi litorali (*Pecten, Chlamys*) di facies marina quasi sempre ricoperti da un crostone calcareo-sabbioso straterellato.*
- *L'aerogeneratore **WTG 03 e parte del cavidotto di progetto** sorgeranno in corrispondenza di depositi terrazzati costituiti da alluvioni recenti, per lo più ciottoli, sabbie e subordinatamente argille sabbiose, talora con intercalazioni di crostoni calcarei evaporitici.*
- *L'aerogeneratore **WTG 07 e parte del cavidotto di progetto** sorgeranno in corrispondenza di depositi per lo più sabbiosi di colore giallastro con lamellibranchi di facies litorale costituenti una sottile copertura poggiate su argille siltose azzurre o giaallastre con scarsi microfossili. In superfici esi rinvencono incrostazioni calcaree ("crosta pugliese") per uno spessore variabile fino a massimi di oltre 3 metri).*

Dalla consultazione della carta geologica Foglio 422 "Cerignola" in scala 1.50.000, è emerso che l'area in esame è caratterizzata dalla presenza di depositi recenti che vanno dal Pleistocene inferiore all'Olocene.

In particolare essa si caratterizza per la presenza delle **sabbie di Torre Quarto (STQ)**.

Si tratta prevalentemente di sabbie di colore giallastro, in genere poco cementate, in strati di spessore variabile da pochi centimetri fino a 50 centimetri, con intercalazioni arenitiche, marnose e argilloso-siltose; raramente sono presenti orizzonti costituiti da ciottoli di piccole dimensioni in abbondante matrice sabbiosa.

Gli spessori, desumibili da dati di perforazioni eseguite dal sottoscritto, nelle immediate vicinanze dell'area in esame, sono compresi fra i 10.00 e i 18.00 metri.

Tali depositi sono mantellati da sabbie limose di colore marroncino chiaro/beige con presenza diffusa di concrezioni calcaree biancastre di spessore variabile da 5 a 10/20 centimetri e con rara presenza di inclusi litici calcarei di dimensioni fino a 1 centimetro.

Infine, dalla consultazione delle stratigrafie di alcuni sondaggi geognostici eseguiti dal sottoscritto in aree praticamente adiacenti al sito in esame, i depositi sabbiosi limosi suddetti poggiano su materiali coesivi, argilloso limoso sabbiosi di colore variabile da beige/verdastro a beige/azzurrognolo, parzialmente alterati, moderatamente consistenti con intercalazioni di livelli

sabbiosi alterati e di colore arancio.

Dalla conoscenza dell'assetto geologico-stratigrafico dell'area e dal monitoraggio piezometrico eseguito all'interno di alcuni piezometri installati nel corso di precedenti campagne di indagini geognostiche in aree limitrofe, il livello piezometrico della falda locale si attesta sempre ad una profondità superiore ai 15.00 metri dal locale piano campagna.

Ciò nonostante, nelle successive fasi esecutive verranno predisposte le indagini geognostiche più appropriate atte a determinare caso per caso la presenza e la quota di rinvenimento o meno della superficie piezometrica e le caratteristiche idrogeologiche specifiche dei terreni che costituiranno i piani di posa delle opere in esame.

Dalla distribuzione areale e dalla notevole estensione territoriale delle opere in progetto è emerso che il futuro parco eolico attraversa i territori di competenza dell'Autorità di bacino della Puglia.

In particolare, dalla consultazione della cartografia tematica è emerso che nessun aerogeneratore ricade in aree interessate rischio idrogeologico e/o pericolosità geomorfologica.

Per quanto riguarda le opere accessorie si evidenzia che parte del tracciato del cavidotto, attraversa tratti cartografati come aree a pericolosità geomorfologica media e moderata PG1.

Per la caratterizzazione sismica dell'area interessata dalla realizzazione dell'impianto eolico e delle opere connesse sono state eseguite n. 2 indagini sismiche di superficie di tipo Masw, dalle quali emerge che le velocità delle onde di taglio sono compatibili con le litologie presenti con valori di  $V_{seq}$  attribuibili alle categorie di suolo C, con valori di  $V_{s,eq}$  calcolato a partire del piano campagna pari a 253 m/s per la prova MASW M1\_WTG\_01, eseguita nelle aree limitrofe che ospiteranno l'aerogeneratore WTG 01 e valori di  $V_{s,eq}$  calcolato a partire del piano campagna pari a 298 m/s per la prova MASW M2\_WTG\_03, eseguita nelle aree limitrofe che ospiteranno l'aerogeneratore WTG 03.

Per la caratterizzazione geotecnica delle aree che ospiteranno i futuri aerogeneratori, è stata eseguita la seguente campagna di indagini geognostiche:

- *N. 2 prove penetrometriche dinamiche pesanti DPSH spinte fino al rifiuto strumentale, attestatosi alla profondità di 0.90 m (DPSH 01) e 1.20 m (DPSH 02) dal locale piano campagna*

In particolare, l'area di sedime che interesserà il parco eolico, sostanzialmente è riconducibile a depositi costituiti principalmente da depositi per lo più sabbiosi, straterellati, di colore giallastro a volte polverulenti, con concrezioni calcaree quasi sempre ricoperti da un crostone calcareo-sabbioso straterellato (aerogeneratori WTG 01 – WTG 02 – WTG 04 – WTG 05 e WTG 06).

L'aerogeneratore WTG 03 sorgerà in corrispondenza di depositi terrazzati costituiti da alluvioni recenti, per lo più ciottoli, sabbie e subordinatamente argille sabbiose, talora con intercalazioni di crostoni calcarei evaporitici, mentre l'aerogeneratore WTG 07 sorgerà in corrispondenza di depositi per lo più sabbiosi di colore giallastro poggiati su argille siltose azzurre o giallastre, mantellati da sottili incrostazioni calcaree ("crosta pugliese") per uno spessore variabile fino a massimi di oltre 3 metri).

Dall'analisi delle conoscenze dello scrivente, dal modello geologico e dalle indagini geotecniche in sito opportunamente eseguite, unitamente alle indagini reperite nelle immediate vicinanze, è stato possibile definire le caratteristiche geotecniche del sottosuolo interessato dagli aerogeneratori.

Di seguito si riporta la tabella con i parametri geotecnici medi individuati per l'area di sedime che ospiterà gli aerogeneratori in esame.

<b>TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI DEI TERRENI PRESENTI NEL SOTTOSUOLO PARCO EOLICO "OFANTO"</b>									
Prof. della falda: > 15.00 m dal p.c.									
Profondità dal piano campagna. (m)		Descrizione litologica (Formazione)	Peso di volume naturale	Peso di volume saturo	Angolo di attrito Picco	Angolo di attrito Residuo	Coesione drenata	Coesione non drenata	Modulo edometrico
da	a		g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	(°)		Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
0.00	2.50/5.00	Sabbie limose di colore marroncino chiaro/beige con presenza diffusa di concrezioni calcaree biancastre di spessore variabile da 5 a 10/20 centimetri e con rara presenza di inclusi litici calcarei di dimensioni fino a 1 centimetro. Materiale moderatamente addensato. <b>(1)</b>	1.80	1.90	32	/	0.00	2.00	180
2.50/5.00	18.00/20.00	Sabbie limose di colore beige parzialmente alterate con rare intercalazioni di livelli a granulometria limoso sabbioso argillosa. Materiale da addensato a ben addensato. <b>(2)</b>	1.90	2.00	34	/	0.00	4	250
18.00/20.00	30.00	Argille limoso sabbiose di colore variabile da beige/verdastro a beige/azzurrognolo, parzialmente alterate, moderatamente consistenti. <b>(3)</b>	2.00	2.10	18	/	0.25	2.50	70

Tabella parametri geotecnici area di impianto degli aerogeneratori  
 WTG 01, 02, WTG 03, WTG 04, WTG 05, WTG 06, WTG 07

Dal rilevamento geomorfologico eseguito è emerso che gli aerogeneratori in progetto ricadono tutte in aree stabili; pertanto, considerato che la franosità è funzione delle caratteristiche geotecniche, litologiche, idrogeologiche e morfologiche e dipende, quindi, da parametri quali litologia, angolo di attrito interno, contenuto d'acqua, coesione, giacitura dei terreni e, soprattutto, pendenza dei versanti, si può asserire che l'area in esame attualmente si presenta stabile.

Per quanto riguarda il percorso del cavidotto si sottolinea che esso attraversa aree sostanzialmente stabili e si sviluppa a partire dalla stazione utente, ubicata nel comprensorio comunale di Cerignola, proseguendo lungo una superficie praticamente subpianeggiante in direzione nord ovest sud est per poi collegarsi agli aerogeneratori.

Dall'analisi della carta degli scenari di rischio dell'autorità di bacino della Puglia è emerso che il cavidotto in esame attraversa una piccola area cartografata a pericolosità geomorfologica PG1.

Pertanto, in fase esecutiva, particolare attenzione deve essere posta alla regimentazione delle acque meteoriche per evitare che, il loro ruscellamento selvaggio e la loro infiltrazione negli strati più superficiali possa innescare fenomeni di instabilità.

Nelle successive fasi progettuali dovranno essere eseguite specifiche indagini geognostiche e geotecniche puntuali, con lo scopo di valutare e analizzare attentamente le caratteristiche geotecniche del caso.

Per ciò che riguarda la possibilità o meno che i terreni investigati possano essere interessati da fenomeni di liquefazione in caso di evento sismico, dall'analisi di tutti i dati presi in considerazione è emerso che i terreni che rappresentano l'area in esame sono riconducibili principalmente a depositi per lo più sabbiosi, straterellati, di colore giallastro a volte polverulenti, con concrezioni calcaree, poggianti su depositi argilloso limosi.

Tuttavia, nel corso delle indagini geognostiche non è emersa la presenza di alcuna superficie piezometrica sino alla profondità massima investigata; ciò nonostante le caratteristiche granulometriche e litologiche degli strati superficiali permettono l'infiltrazione di acqua di precipitazione meteorica favorendo una circolazione sub- superficiale agevolata dalla presenza alla base di terreni impermeabili come le argille grigio-azzurre.

Da quanto su esposto, quindi, è possibile riscontrare la presenza di piccole falde acquifere a contatto tra le argille di base e

depositi sabbiosi.

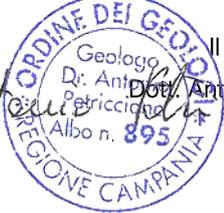
Ciò nonostante, in questo primo approccio potrebbe escludersi la verifica a liquefazione in caso di evento sismico e la possibilità o meno di esclusione verrà valutata caso per caso nelle successive fasi esecutive nel corso delle quali verranno predisposte le indagini geognostiche più appropriate atte a determinare le caratteristiche idrogeologiche dei terreni che costituiranno le fondazioni delle opere in esame.

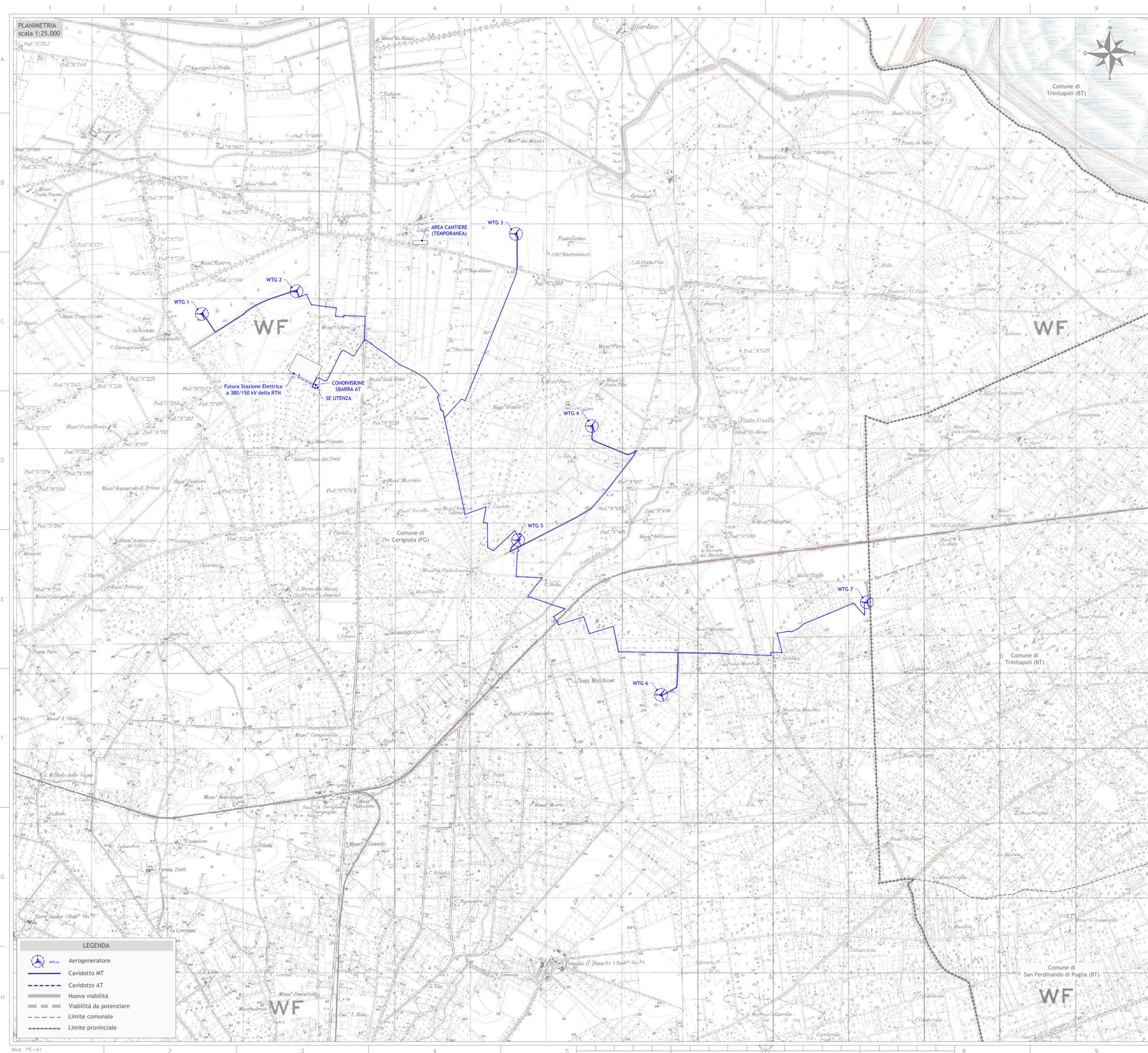
In definitiva vista la morfologia, la strutturazione geologica dell'area in studio, si può asserire che questi offrono sufficienti garanzie ai fini della loro utilizzazione e quindi, tenuto conto di tutte le indicazioni riportate nella presente, non esiste alcuna controindicazione circa la fattibilità di quanto previsto nell'ipotesi progettuale.

Si rimanda alle fasi progettuali successive la predisposizione di una campagna geognostica puntuale atta a determinare i parametri geotecnici dei terreni che costituiranno le fondazioni delle opere in esame

Tanto dovevasi per l'incarico ricevuto.

Castel Morrone, 19/07/2023

  
Il Geologo  
Dot. Antonio Petriccione  




PLANIMETRIA  
scala 1:25.000



**LEGENDA**

	Aerogeneratore
	Cavidotto MT
	Cavidotto AT
	Nuova viabilità
	Viabilità da potenziare
	Limite comunale
	Limite provinciale



Regione Puglia  
Provincia di Foggia  
Provincia di Barletta-Andria-Trani




Impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica composto da n.7 aerogeneratori con potenza totale installata pari a 49 MW e relative opere connesse denominato "Ofanto" sito nei Comuni di Cerignola (FG) e Trinitapoli (BT)

Titolo

DIV4N06\_ElaboratoGrafico\_0\_01  
COROGRAFIA DI INQUADRAMENTO

Scala	Formato Stampa
1:25.000	A1
	Foglio
	1 di 1

PROGETTO DEFINITIVO

Proponente

**FRI-ELOFANTO**  
FRI-EL OFANTO S.r.l.  
Piazza del Grano 3, I-39100 Bolzano (BZ)  
fri-el.ofanto@legalmail.it  
Cod. Fisc./Part. Iva 03076540214

**Geo.Amb.**  
Studio di geologia applicata  
Dott. Antonio Petriccione

Dott. Geol. Antonio Petriccione  
Via delle Costare, 15 - 81020  
Castel Morrone Caserta  
Tel. e Fax 0823399115/961 3483850177

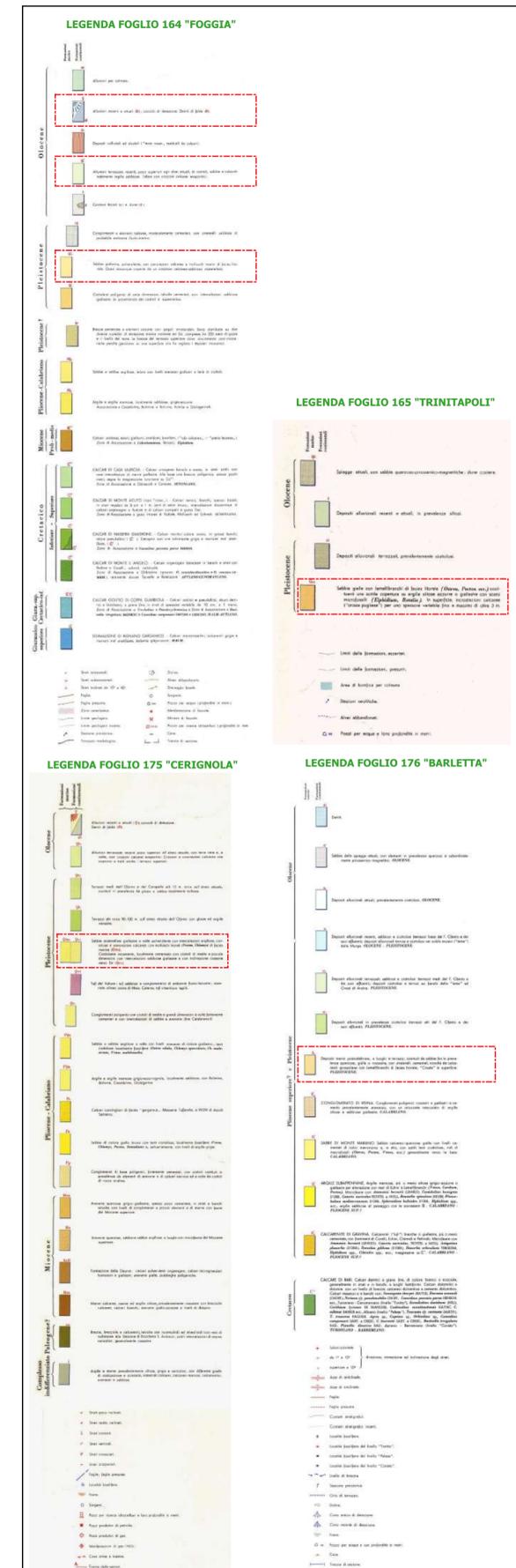
Il Geologo



Sul presente elaborato sussiste il DIRITTO DI PROPRIETA'. Qualsiasi utilizzo non preventivamente autorizzato sarà perseguito ai sensi della normativa vigente.

Rev.	Data	Descrizione revisione	Redato	Controllato	Approvato

**CARTA GEOLOGICA D'ITALIA SCALA 1.100.000 FOGLIO 164 "FOGGIA"  
 FOGLIO 165 "TRINITAPOLI" - FOGLIO 175 "CERIGNOLA" - FOGLIO 176 "BARLETTA"**



**CARTA GEOLOGICA D'ITALIA  
 SCALA 1.100.000 FOGLIO 164 "FOGGIA"  
 FOGLIO 165 "TRINITAPOLI"  
 FOGLIO 175 "CERIGNOLA"  
 FOGLIO 176 "BARLETTA"  
 CON INDIVIDUAZIONE AREA IN ESAME**

COMMITTENTE: FRI-EL OFANTO s.r.l.

OGGETTO: Impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica composto da n.7 aerogeneratori con potenza totale installata pari a 49 MW e relative opere connesse denominato "Ofanto" sito nel Comune di Cerignola (FG) e Trinitapoli (BT)

**CARTA GEOLOGICA D'ITALIA  
 SCALA 1.100.000 FOGLIO 164 "FOGGIA"  
 FOGLIO 165 "TRINITAPOLI"  
 FOGLIO 175 "CERIGNOLA"  
 FOGLIO 176 "BARLETTA"  
 CON INDIVIDUAZIONE AREA IN ESAME**

**LEGENDA**

Area in esame



**PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE**



**PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE CON INDIVIDUAZIONE AREA IN ESAME**

COMMITTENTE: FRI-EL OFANTO s.r.l.

OGGETTO: Impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica composto da n.7 aerogeneratori con potenza totale installata pari a 49 MW e relative opere connesse denominato "Ofanto" sito nel Comune di Cerignola (FG) e Trinitapoli (BT)

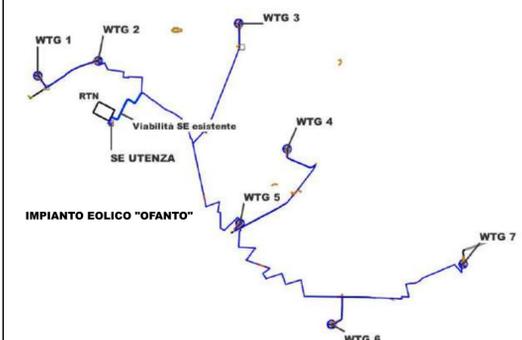
PLANIMETRIA CON UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE  
 Scala 1:25.000

**LEGENDA**

Indagini geognostiche eseguite

 Prova penetrometrica dinamica pesante DPSH

 Indagine sismica Masw



IL GEOLOGO  
 Dott. Antonio Petriccione



Scala 1:25.000

Committente:	Sondaggio: S1
Riferimento:	Data: 08/07/2021
Coordinate:	Quota: 30 m s.l.m.
Perforazione: Carotaggio Continuo	

SCALA 1:80

## SONDAGGIO - S1

Pagina 1/2

metri	B	σ mm	R v	A	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	Campioni	Standard Penetration Test					
										m	S.P.T.	N	Pt	Cass	Pz
1						0.40	0.40	Terreno vegetale di colore marrone bruno a granulometria sabbioso limosa con presenza di resti vegetali indecomposti (radici).							
2						2.00	1.60	Sabbie limose di colore marroncino chiaro/beige con presenza diffusa di concrezioni calcaree biancastre di spessore variabile da 5 a 10/20 centimetri e con rara presenza di inclusi litici calcarei di dimensioni fino a 1 centimetro. Materiale moderatamente addensato. Nell'ambito del deposito si intercalano sottili livelli beige a granulometria limoso sabbioso argillosa.							1
3								Sabbie limose di colore beige parzialmente alterate con rare intercalazioni di livelli a granulometria limoso sabbioso argillosa particolarmente presenti nell'intervallo compreso tra 15.70 e 20.00 metri dal piano campagna. Materiale da ben addensato a addensato.		3.5	38-50/8cm	Rif	A		
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
															4





Aut. Min. n. 154 del 19/04/11 esecuzione e certificazione di indagini geognostiche, prel. di campioni e prove in sito di cui all'art. 59 DPR. 380/01

## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE (D.P.S.H.)

Standard utilizzato: Emilia (30) [peso maglio Kg 63.5, volata cm 75, area punta cmq 20, angolo di apertura della punta 60°]

Committente: FRI-EL Ofanto s.r.l.

Id Int. 160 / 23

Cantiere: Impianto eolico "Ofanto" - Cerignola (FG)

Coordinate lat. e long.: N41.371600 / E15.879670 Data esecuz. prova: 14/07/2023

Prova (n): DPSH 01 Certificato n° 0400/23 del 19/07/2023

### VALORI MISURATI IN SITU CON PENETROMETRO DINAMICO PESANTE

Prof. (m)	Colpi (N)								
0.30	27								
0.60	39								
0.90	60								

IL RESPONSABILE DI SITO  
Dott. Geol. Mauro Sammartino

IL RESPONSABILE DI SITO

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO  
Dott. Geol. Giuseppe Rello



Aut. Min. n. 154 del 19/04/11 esecuzione e certificazione di indagini geognostiche, prel. di campioni e prove in sito di cui all'art. 59 DPR. 380/01

## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE (D.P.S.H.)

Standard utilizzato: Emilia (30) [peso maglio Kg 63.5, volata cm 75, area punta cmq 20, angolo di apertura della punta 60°]

Committente: FRI-EL Ofanto s.r.l.

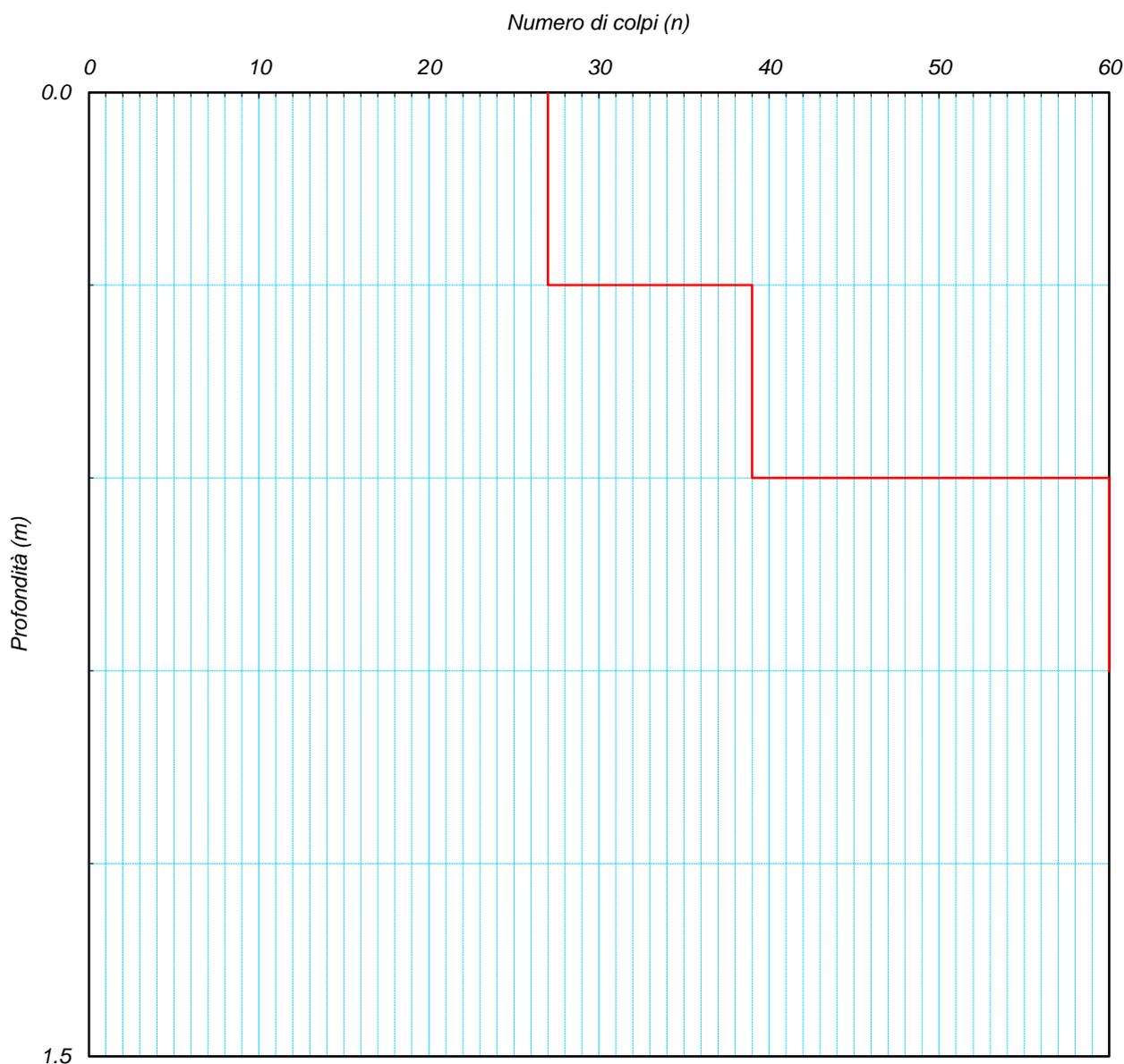
Id Int. 160 / 23

Cantiere: Impianto eolico "Ofanto" - Cerignola (FG)

Coordinate lat. e long.: N41.371600 / E15.879670 Data esecuz. prova: 14/07/2023

Prova (n): **DPSH 01** Certificato n° **0400/23** del 19/07/2023

GRAFICO NUMERO DI COLPI



IL RESPONSABILE DI SITO

**IL RESPONSABILE DI SITO**  
Dott. Geol. Mauro Sammarino

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

Dott. Geol. Giuseppe Riello

Aut. Min. n. 154 del 19/04/11 esecuzione e certificazione di indagini geognostiche, prel. di campioni e prove in sito di cui all'art. 59 DPR. 380/01

## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE (D.P.S.H.)

Standard utilizzato: Emilia (30) [peso maglio Kg 63.5, volata cm 75, area punta cmq 20, angolo di apertura della punta 60°]

Committente: FRI-EL Ofanto s.r.l.

Id Int. 160 / 23

Cantiere: Impianto eolico "Ofanto" - Cerignola (FG)

Coordinate lat. e long.: N41.378580 / E15.928060 Data esecuz. prova: 14/07/2023

Prova (n): DPSH 02 Certificato n° 0401/23 del 19/07/2023

### VALORI MISURATI IN SITU CON PENETROMETRO DINAMICO PESANTE

Prof. (m)	Colpi (N)								
0.30	17								
0.60	33								
0.90	47								
1.20	60								

IL RESPONSABILE DI SITO  
Dott. *Stefano*

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO  
Dott. Geol. Giuseppe Rello



Aut. Min. n. 154 del 19/04/11 esecuzione e certificazione di indagini geognostiche, prel. di campioni e prove in sito di cui all'art. 59 DPR. 380/01

## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE (D.P.S.H.)

Standard utilizzato: Emilia (30) [peso maglio Kg 63.5, volata cm 75, area punta cmq 20, angolo di apertura della punta 60°]

Committente: FRI-EL Ofanto s.r.l.

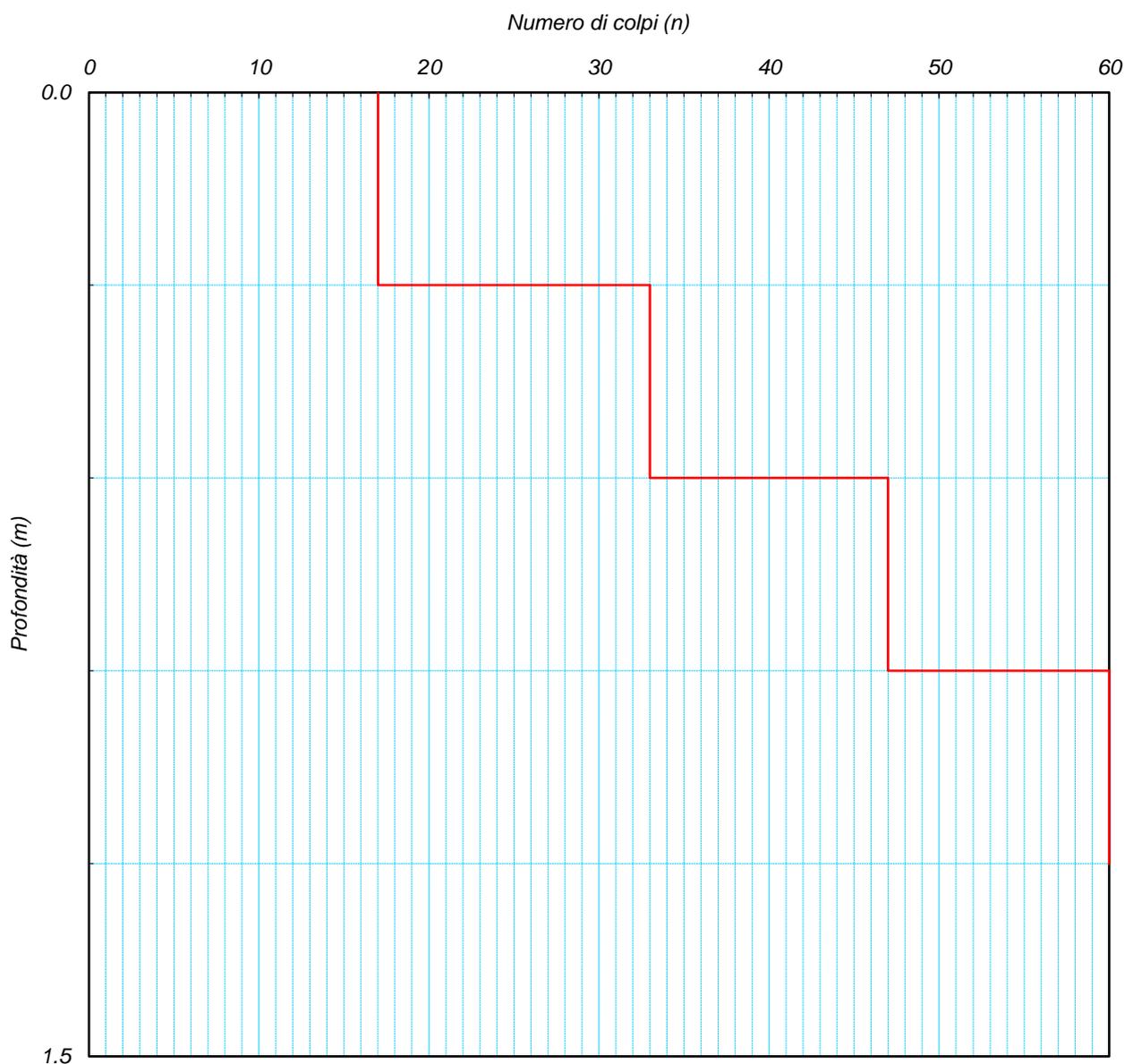
Id Int. 160 / 23

Cantiere: Impianto eolico "Ofanto" - Cerignola (FG)

Coordinate lat. e long.: N41.378580 / E15.928060 Data esecuz. prova: 14/07/2023

Prova (n): **DPSH 02** Certificato n° **0401/23** del 19/07/2023

GRAFICO NUMERO DI COLPI



IL RESPONSABILE DI SITO  
IL RESPONSABILE DI SITO  
Dott. Geol. Mauro Sammartino

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO  
Dott. Geol. Giuseppe Riello



## PROVA SISMICA Vs,eq METODO MASW

Committente: FRI-EL Ofanto s.r.l.

Protocollo n.: 160/23

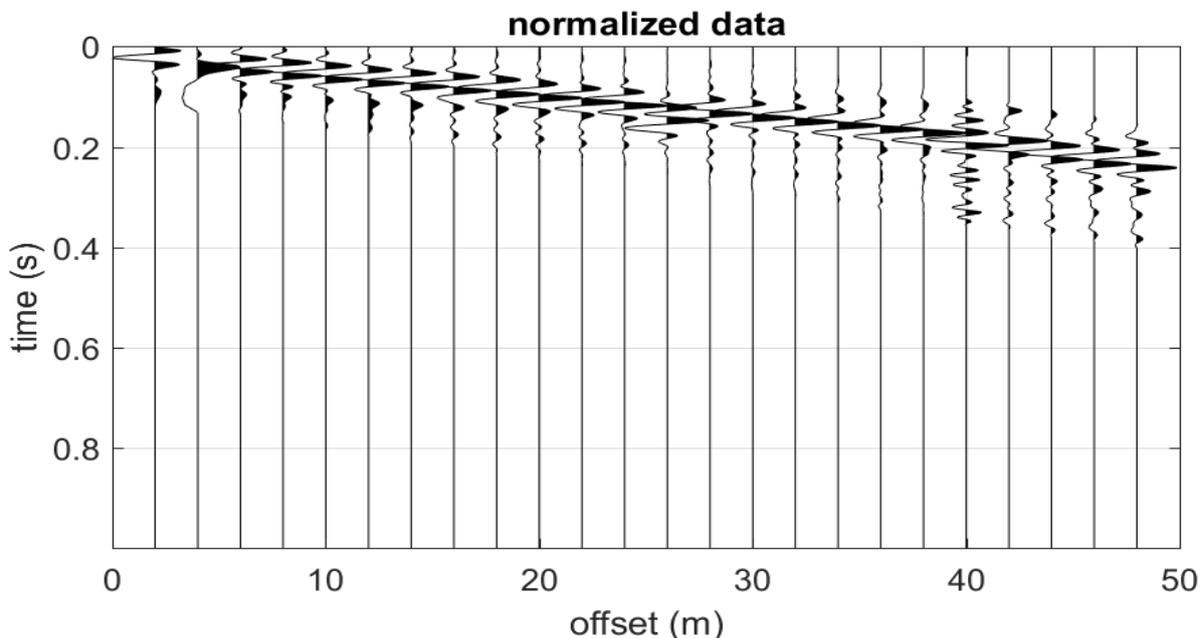
Cantiere: Impianto eolico "Ofanto" - Cerignola (FG)

Data esecuzione prova: 14/07/2023

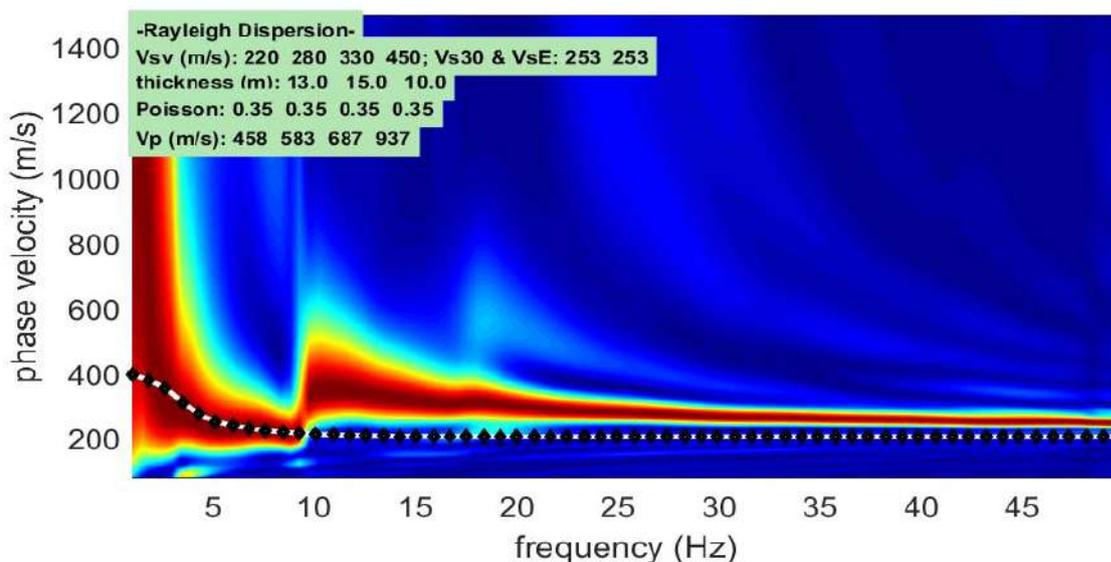
Prova MASW: M1\_WTG 01

Data emissione certificato: 19/07/2023

### Registrazione di campagna delle tracce



### Analisi delle frequenze e curva di dispersione calcolata dal modello del terreno



IL RESPONSABILE DEL SETTORE

Dott. Geol. Carmencita Ventrone

**INGE s.r.l.**

Via Taverna Vecchia, 19  
81020 Castel Morrone (CE)  
Tel/Fax 0823399115 Cell. 3483850177 - 3486033921

## PROVA SISMICA Vs,eq METODO MASW

**Committente:** FRI-EL Ofanto s.r.l.

**Protocollo n.:** 160/23

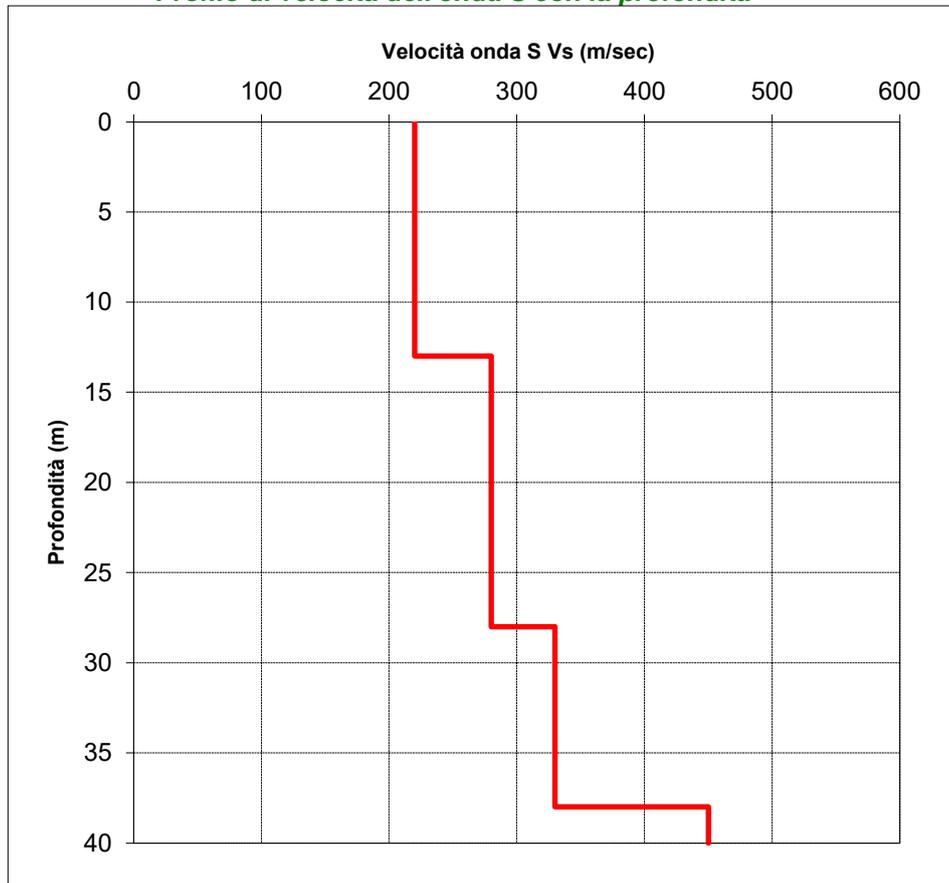
**Cantiere:** Impianto eolico "Ofanto" - Cerignola (FG)

**Data esecuzione prova:** 14/07/2023

**Prova MASW:** M1\_WTG 01

**Data emissione certificato:** 19/07/2023

### Profilo di velocità dell'onda S con la profondità



### Calcolo del Vs,eq

Profondità (m)		Velocità	Spess/Veloc
Da	a	(m/sec)	Hi/Vi
0.00	13.00	220	0.0591
13.00	28.00	280	0.0536
28.00	38.00	330	0.0303
38.00	40.00	450	0.0044

**VALORE DI Vs,eq CALCOLATO (m/s)**  
**253**

**Categoria di sottosuolo**  
**C**



**IL RESPONSABILE DEL SETTORE**

Dott. Geol. Carmencita Ventrone

## PROVA SISMICA Vs,eq METODO MASW

Committente: FRI-EL Ofanto s.r.l.

Protocollo n.: 160/23

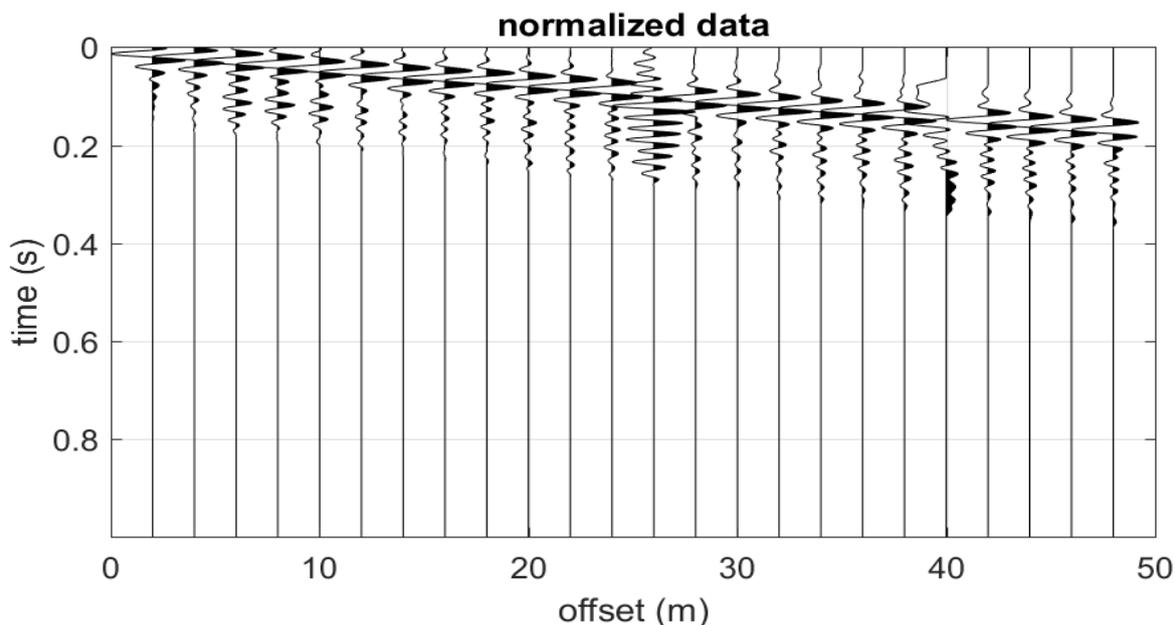
Cantiere: Impianto eolico "Ofanto" - Cerignola (FG)

Data esecuzione prova: 14/07/2023

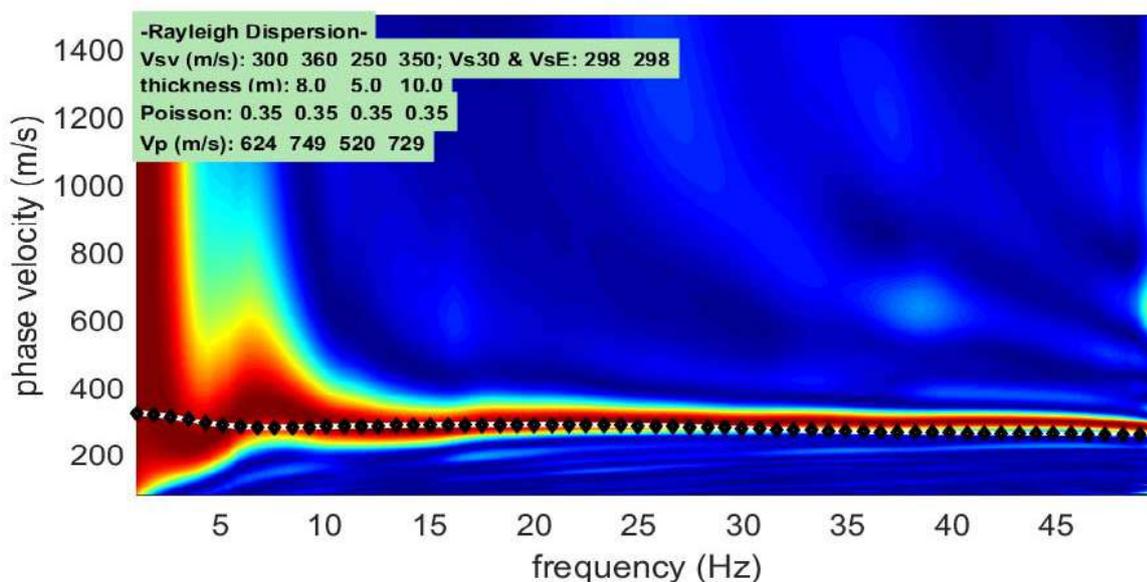
Prova MASW: M2\_WTG 03

Data emissione certificato: 19/07/2023

### Registrazione di campagna delle tracce



### Analisi delle frequenze e curva di dispersione calcolata dal modello del terreno



IL RESPONSABILE DEL SETTORE

Dott. Geol. Carmencita Ventrone

INGE s.r.l.

Via Taverna Vecchia, 19  
81020 Castel Morrone (CE)  
Tel/Fax 0823399115 Cell. 3483850177 - 3486033921

ATTICO SDA SpA  
Attestazione n. 1974/23/09 del 03/08/2005  
Categoria OS21 Class. I



## PROVA SISMICA Vs,eq METODO MASW

**Committente:** FRI-EL Ofanto s.r.l.

**Protocollo n.:** 160/23

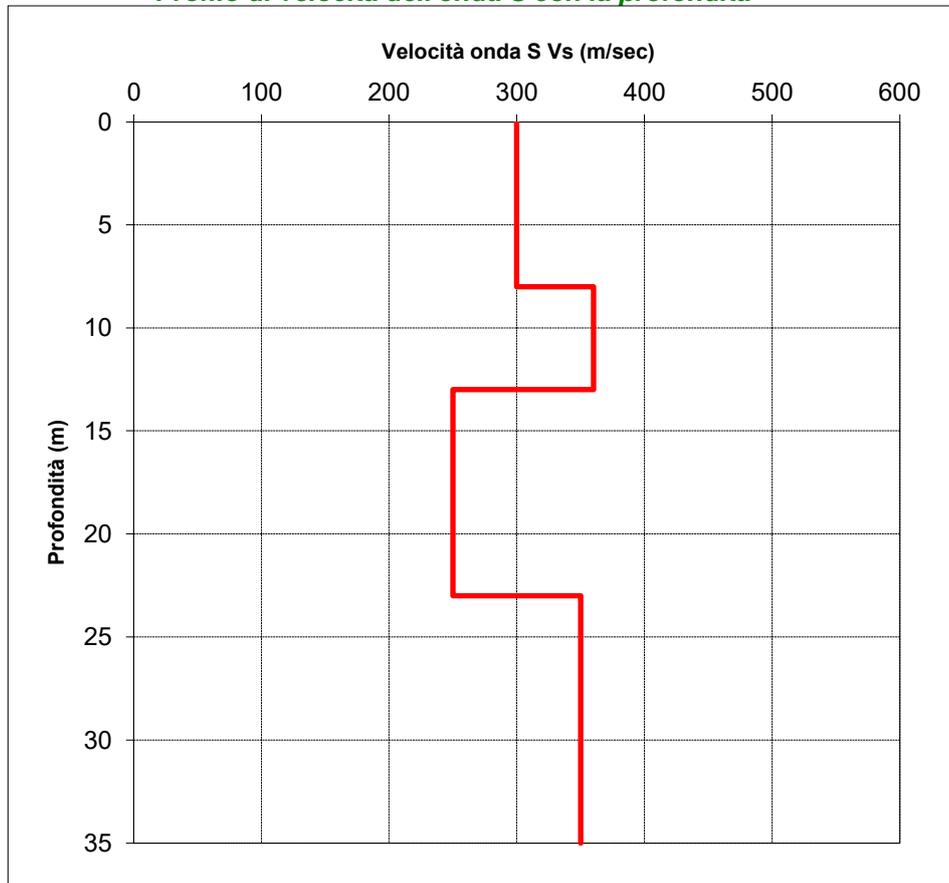
**Cantiere:** Impianto eolico "Ofanto" - Cerignola (FG)

**Data esecuzione prova:** 14/07/2023

**Prova MASW:** M2\_WTG 03

**Data emissione certificato:** 19/07/2023

### Profilo di velocità dell'onda S con la profondità



### Calcolo del Vs,eq

Profondità (m)		Velocità	Spess/Veloc
Da	a	(m/sec)	Hi/Vi
0.00	8.00	300	0.0267
8.00	13.00	360	0.0139
13.00	23.00	250	0.0400
23.00	35.00	350	0.0343

**VALORE DI Vs,eq CALCOLATO (m/s)**  
**298**

**Categoria di sottosuolo**  
**C**



**IL RESPONSABILE DEL SETTORE**

Dott. Geol. Carmencita Ventrone

**INGE s.r.l.**

Via Taverna Vecchia, 19  
81020 Castel Morrone (CE)

Tel/Fax 0823399115 Cell. 3483850177 - 3486033921