

Comune di  
Brindisi



REGIONE PUGLIA



Comune di  
Mesagne (BR)



Committente:

**RWE**

RWE RENEWABLES ITALIA S.R.L.  
via Andrea Doria, 41/G - 00192 Roma  
P.IVA/C.F. 06400370968

Titolo del Progetto:

**PARCO EOLICO "MONDONUOVO"**

Documento:

**PROGETTO DEFINITIVO**

N° Documento:

**PEMN-P14**

ID PROGETTO:	<b>PEMN</b>	DISCIPLINA:	<b>S</b>	TIPOLOGIA:		FORMATO:	<b>A4</b>
--------------	-------------	-------------	----------	------------	--	----------	-----------

Elaborato:

**RELAZIONE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA**

FOGLIO:		SCALA:		Nome file:	PEMN-P14_Relazione_geologica_idrogeologica_sismica_rev01		
---------	--	--------	--	------------	--	--	--

Progettazione:



**Geol. Giuseppe Masillo**

Rev:	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
00	08/07/2019	PRIMA EMISSIONE	GEMSA	GEMSA	ECRI
01	16/03/2020	REVISIONE	GEMSA	GEMSA	RWE

## **INDICE**

1	PREMESSA	2
2	CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DEI LITOTIPI AFFIORANTI	3
3	CARATTERISTICHE STRATIGRAFICHE DI DETTAGLIO VERIFICATE CON INDAGINI IN SITU	11
3.1	Saggi con escavatore leggero	11
3.2	Stratigrafia dell'area vasta sulla base dei sondaggi e di dati disponibili	11
3.3	Modello Geologico nell'area della Cabina elettrica in C.da Cerrito	16
4	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI LITOTIPI AFFIORANTI CHE INTERESSANO L'IMPIANTO (AEROGENERATORI, CABINA ELETTRICA)	20
5	INDAGINE SISMICA CON LA METODOLOGIA "MASW"	22
5.1	Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche	27
6	FALDA FREATICA	30
7	CARATTERISTICHE DI PORTANZA DEI TERRENI DI FONDAZIONE DELLE AREE DEL PARCO EOLICO	31
7.1	Prova penetrometrica dinamica	31
8	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE E PRESCRIZIONI PER LA PROGETTAZIONE GEOTECNICA ED I CALCOLI STRUTTURALI.	33

## 1      **PREMESSA**

Il presente studio è stato finalizzato alla caratterizzazione litologico-sedimentologica e sismica, per definire le caratteristiche meccaniche delle rocce di sedime di un'area interessata dalla realizzazione di un PARCO EOLICO COSTITUITO DA N.11 AEROGENERATORI MOD. V162-6.0MW in loc.ta' MONDONUOVO, nel Comune di Mesagne (BR).

Lo studio è finalizzato altresì a determinare la *categoria di sottosuolo* ai sensi del Testo unico "Norme Tecniche per le costruzioni" D.M. 14/01/2008, ultimo aggiornamento con DECRETO 17 gennaio 2018 del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI.

Il Testo unico definisce le procedure con cui effettuare una modellazione geologica e geotecnica del sito interessato da opere interagenti con i terreni e rocce. Perciò in ottemperanza alle prescrizioni del suddetto decreto sono state svolte delle indagini per la caratterizzazione dell'area in oggetto, per la definizione del modello geologico del terreno, per la definizione delle caratteristiche geotecniche, definizione dei caratteri stratigrafici, litologici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici. ***Il programma delle indagini è stato articolato come segue:***

- Consultazione dei dati geotecnici stratigrafici e idrogeologici relativi a indagini eseguite dallo scrivente su tutto il territorio di Mesagne;
- Rilievo geologico e geomorfologico speditivi;
- Elaborazione geotecnica dei parametri ricavati in base alla tipologia delle strutture che si intendono realizzare.

In particolare l'indagine eseguita e' stata mirata alla definizione delle successioni stratigrafiche e dei rapporti intercorrenti tra i vari litotipi che direttamente o indirettamente condizionano le opere in progetto, individuando in particolare:

- la stratigrafia dell'area e l'eventuale spessore dei terreni di copertura da sbancare;
- presenza o meno di falda d'acqua superficiale.
- le caratteristiche meccaniche e la capacità portante del banco di fondazione;
- categoria del suolo e  $V_{s30}$  determinata mediante l'esecuzione di n.11 MASW in corrispondenza di ogni aerogeneratore, da parte di GEOPROVE SRL di RUFFANO (LE).

Lo scopo ultimo è quello di inquadrare le strutture in elevazione ed interrato (elettrodotti interrati, sottostazione di trasferimento dell'energia, strutture fondali delle torri eoliche e strutture eoliche) rispetto alla stratigrafia del sottosuolo.

Esso è articolato come segue:

- ✓ Consultazione della documentazione bibliografica storica esistente;
- ✓ Consultazione di indagini sismiche e geognostiche eseguite dallo scrivente sul territorio del Comune di Mesagne.

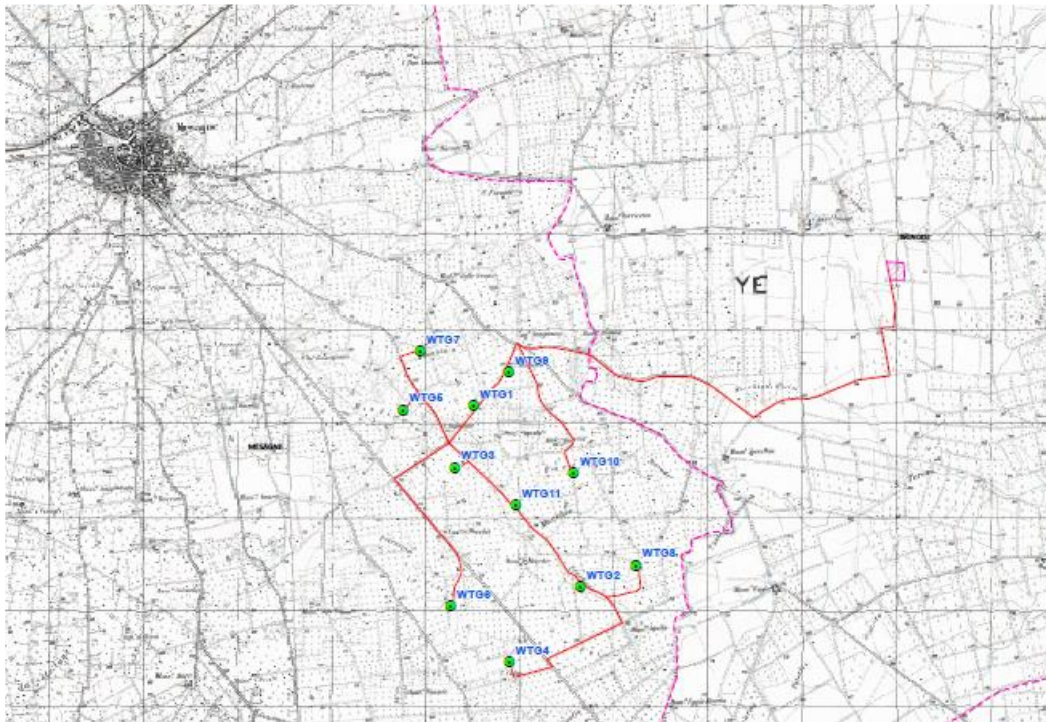


Fig.1 Area dell'Impianto Eolico "Mondonuovo"

## 2 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DEI LITOTIPI AFFIORANTI

Nell'elaborazione del Modello Geologico, si è avuto modo di sottolineare come il piano campagna di buona parte dell'area, circa l'80% di quella in progetto, sia condizionato dall'affioramento di sedimenti sabbiosi sciolti più o meno limosi e passanti, verso il basso a marcatamente argillosi.

Le altre litologie interessanti il territorio in esame sono le Calcareniti appartenenti ai *Depositi Marini Terrazzati* e alla formazione delle *Calcareniti di Gravina*, ed infine i Calcari appartenenti alla formazione dei *Calcari di Altamura* (questi ultimi 2 litotipi non affiorano direttamente nell'area, ma giacciono a profondità variabili).

Parco Eolico "Mondonuovo" – Progetto Definitivo  
 Relazione geologica, idrogeologica e sismica

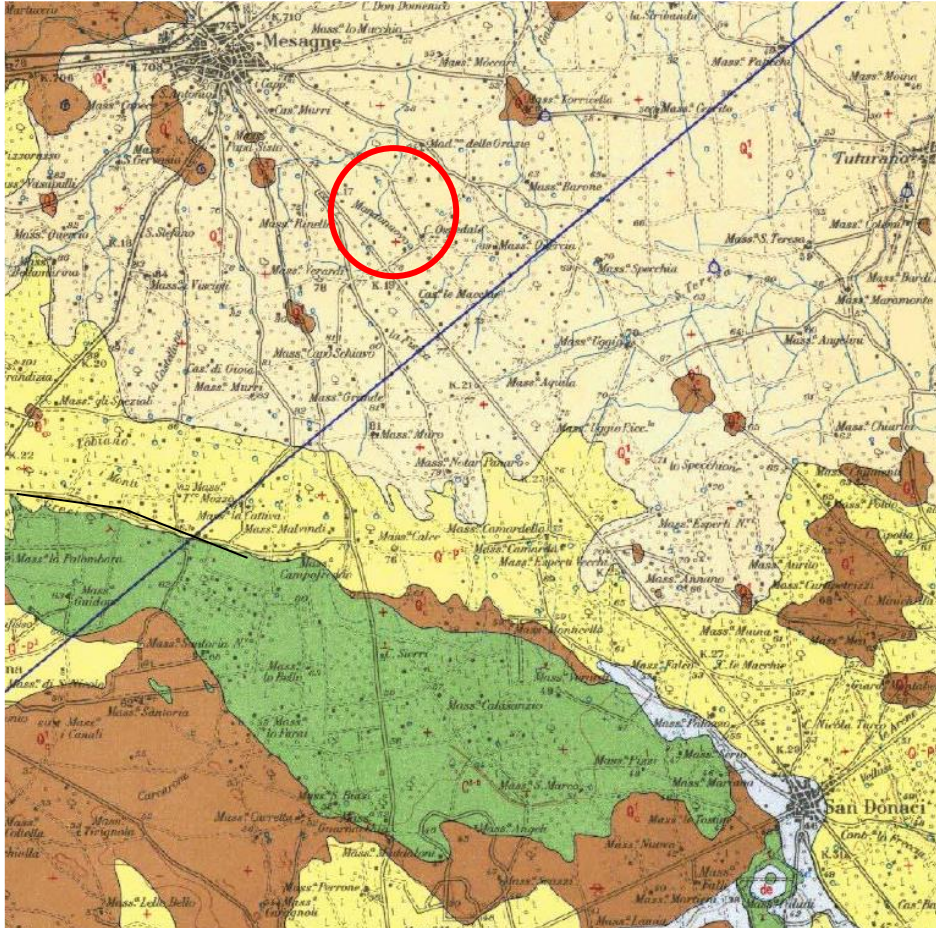
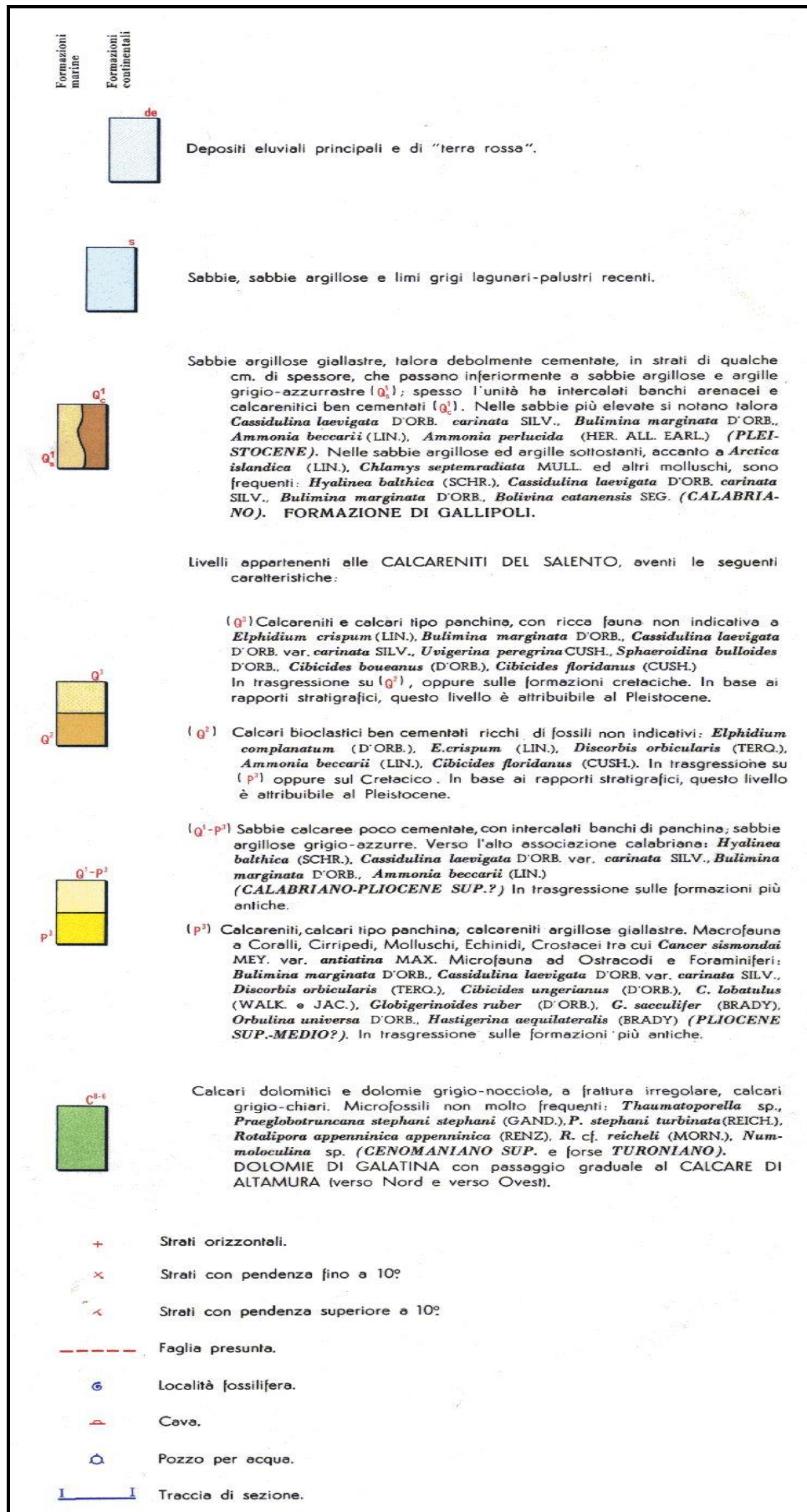


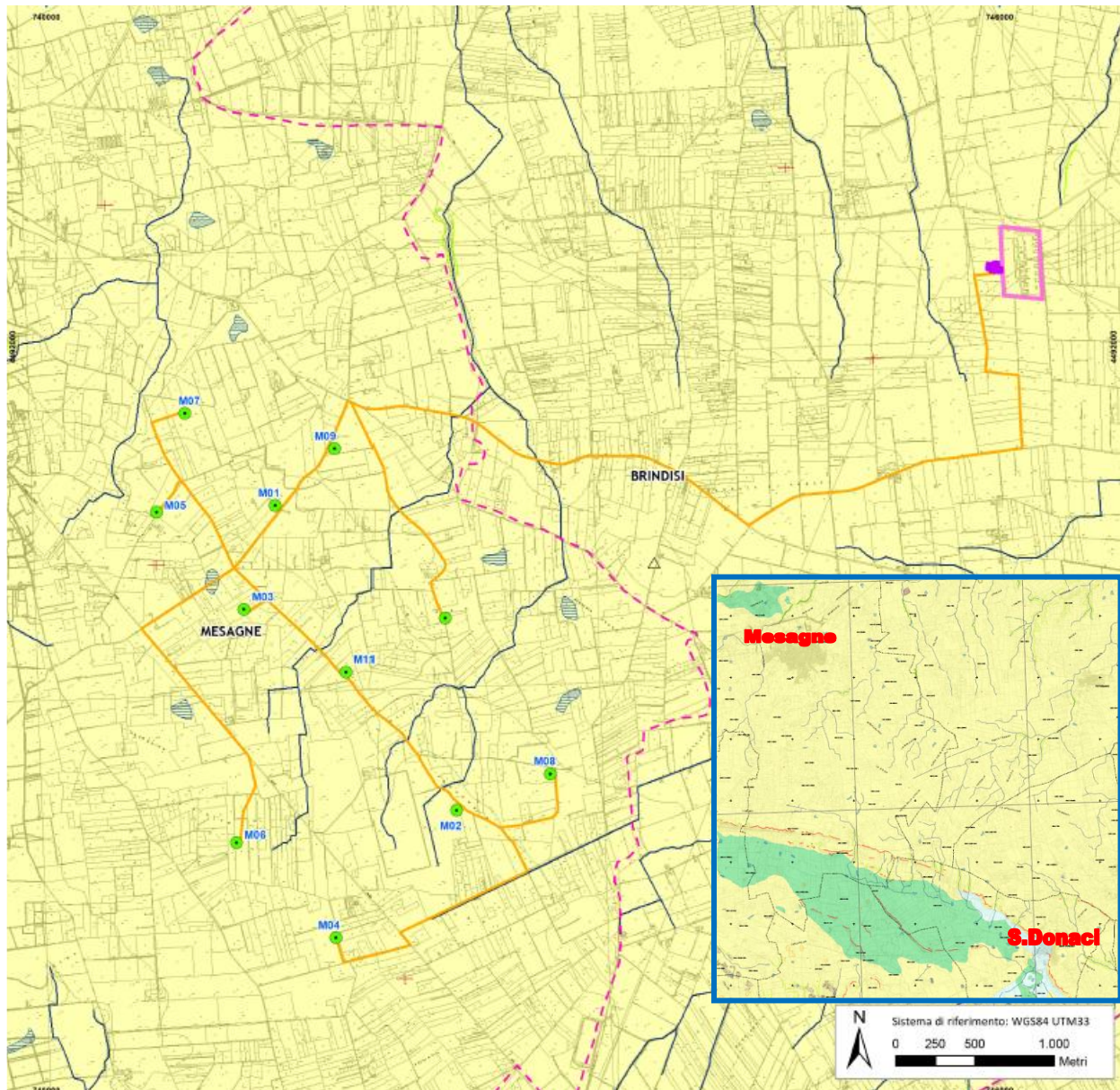
Fig.2 – Area del parco eolico inquadrato su Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000








Parco Eolico "Mondonuovo" – Progetto Definitivo  
Relazione geologica, idrogeologica e sismica



**Legenda della Carta Geologica d'Italia.**











**Fig.3 – Carta geologica e legenda (da Carta Idrogeomorfologica -AdB Puglia)**

- |  |  |   |
|--|--|---|
|  Aerogeneratori |  Sottostazione  |  Limiti comunali |
|  Cavidotto      |  Stazione Terna |   |

## LEGENDA

### ELEMENTI GEOLOGICO-STRUTTURALI

#### Litologia del substrato

	Rocce prevalentemente calcaree o dolomitiche
	Rocce evaporitiche (carbonatiche, anidritiche o gessose)
	Rocce prevalentemente marnose, marnoso-pelittiche e pelittiche
	Rocce prevalentemente arenitiche (arenarie e sabbie)
	Rocce prevalentemente ruditiche (ghiaie e conglomerati)
	Rocce costituite da alternanze
	Depositi sciolti a prevalente componente pelittica e/o sabbiosa
	Depositi sciolti a prevalente componente ghiaiosa

**Per meglio comprendere i motivi per i quali è stato preso come riferimento il sondaggio geognostico profondo svolto dallo scrivente presso la Stazione TERNA di S.Donaci** (circa 7Km a sud dell'area interessata), vanno comprese dapprima le condizioni geologiche dell'area vasta che va dalla costa adriatica fino al lineamento geomorfologico denominato "Limite dei Greci".

Il Limite dei Greci (**vedi Fig.4**), oltre ad identificare un limite territoriale storico-archeologico-culturale, di fatto è lo spartiacque idrografico tra le aree sud e nord della Provincia, ed è probabilmente anche la separazione tra due bacini di sedimentazione pleistocenici. Quello a nord in particolare va dal Limite dei Greci verso il mare Adriatico. La sedimentazione dei limi sabbiosi passanti in profondità a limi argillosi e poi ad argille ((che oggi ritroviamo a profondità variabili 3-5m (Mass.Albanesi), 6-7m (Mesagne-C.da S.Antonio), a 7m nell'Area PIP di Mesagne, a 3m presso la cabina TERNA di S.Donaci)) indica che si trattava di un bacino di sedimentazione profondo, tale da permettere da sedimentazione di argille azzurre, che man mano che il mare si è ritirato (regressione) sono passate ad argille giallastre fino a lasciare il posto alla sedimentazione di sabbie limose e talora calcareniti organogene poco diagenizzate. Pertanto a voler schematizzare una sezione geologica più di dettaglio si ottiene la seguente situazione stratigrafica:



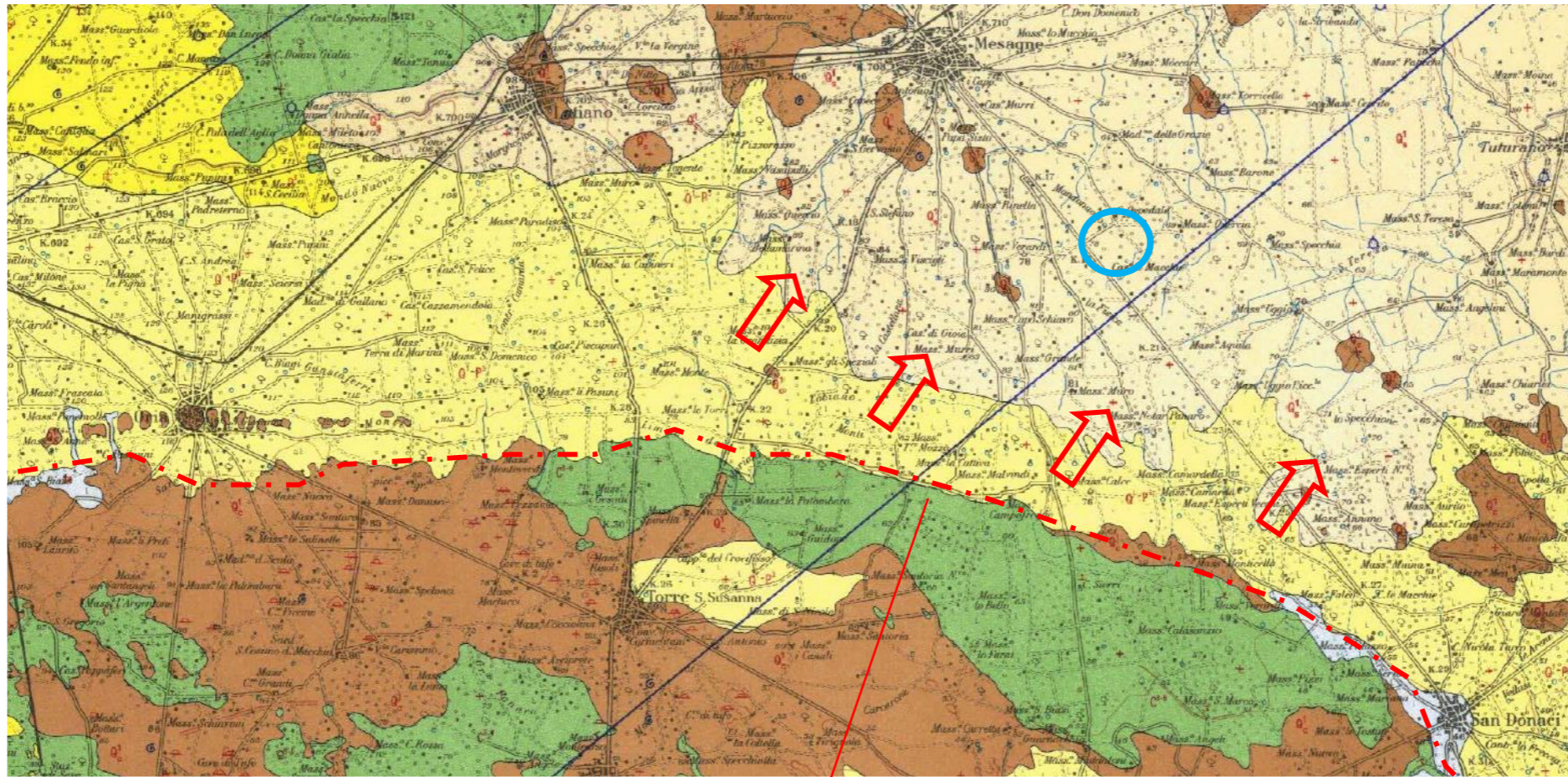



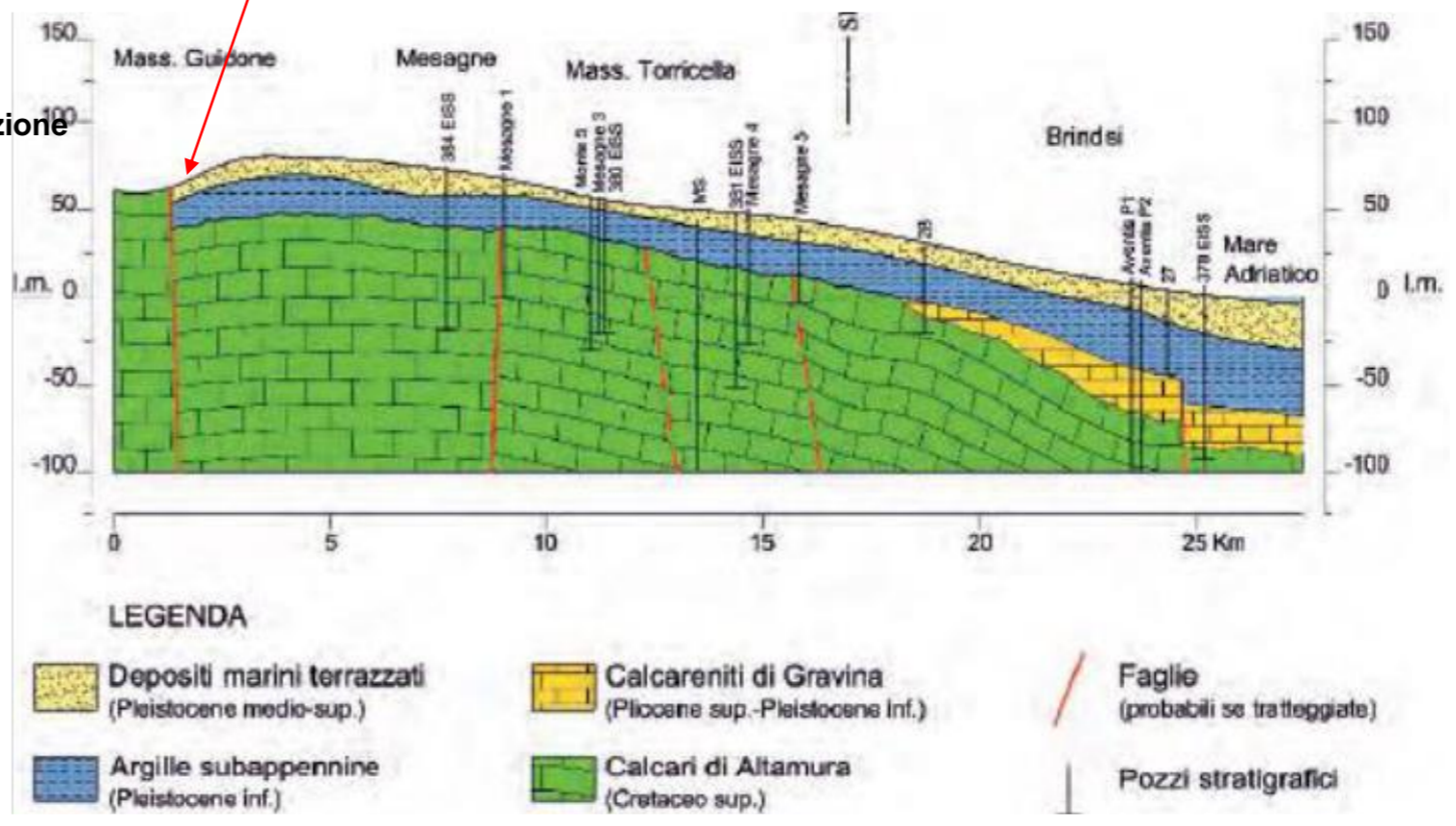


Fig.4 – Carta geologica riportante il gradino morfologico “Limite dei Greci” (in rosso tratteggiato)

-  Parco eolico
-  Spartiacque idrogeologico e limite bacino di sedimentazione
-  Andamento dell'antico bacino di sedimentazione pleistocenico



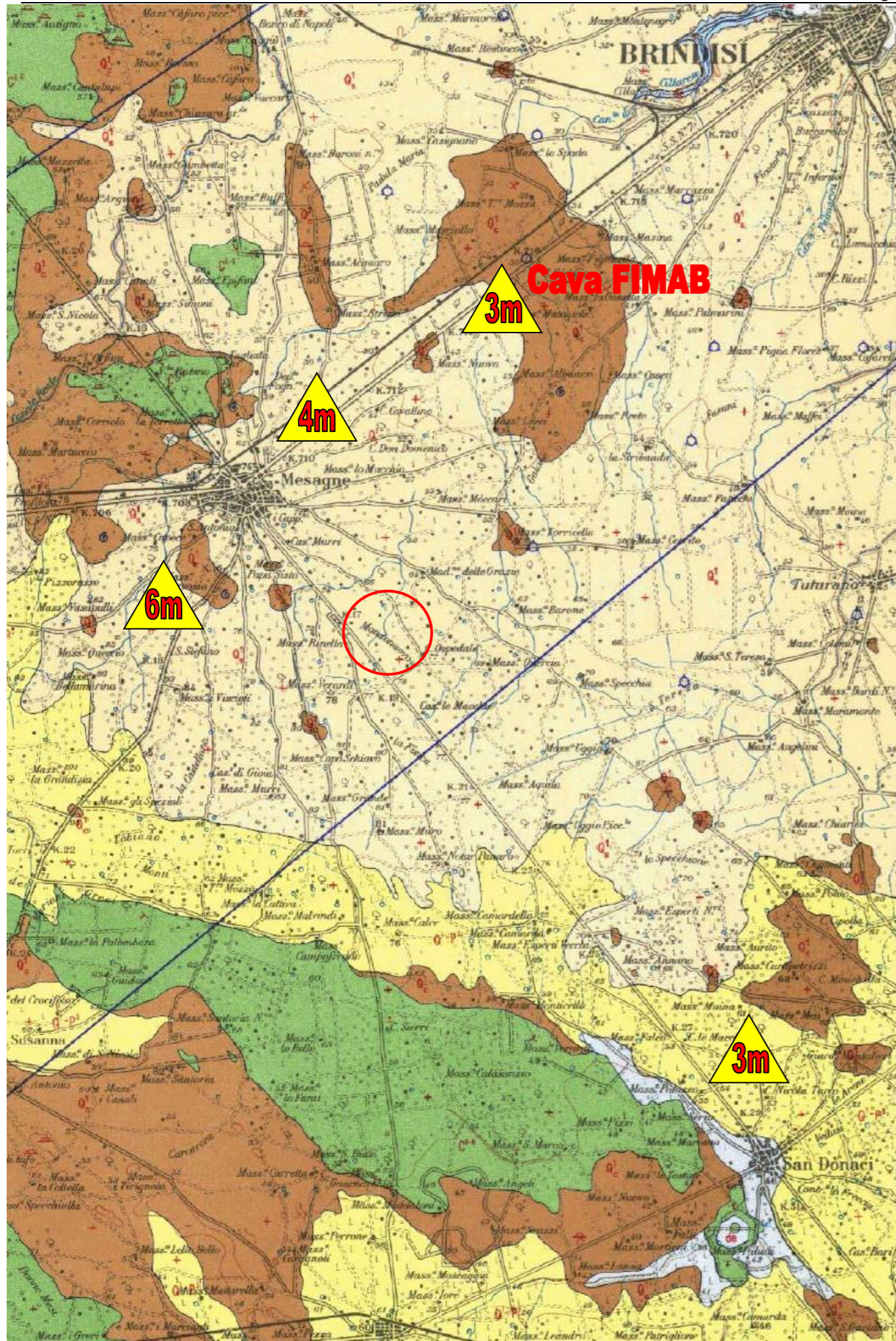
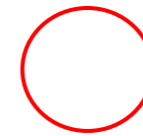


Fig.5 ANDAMENTO DEL TETTO DEI LIMI ARGILLOSI NELL'AREA VASTA (profondità in metri)

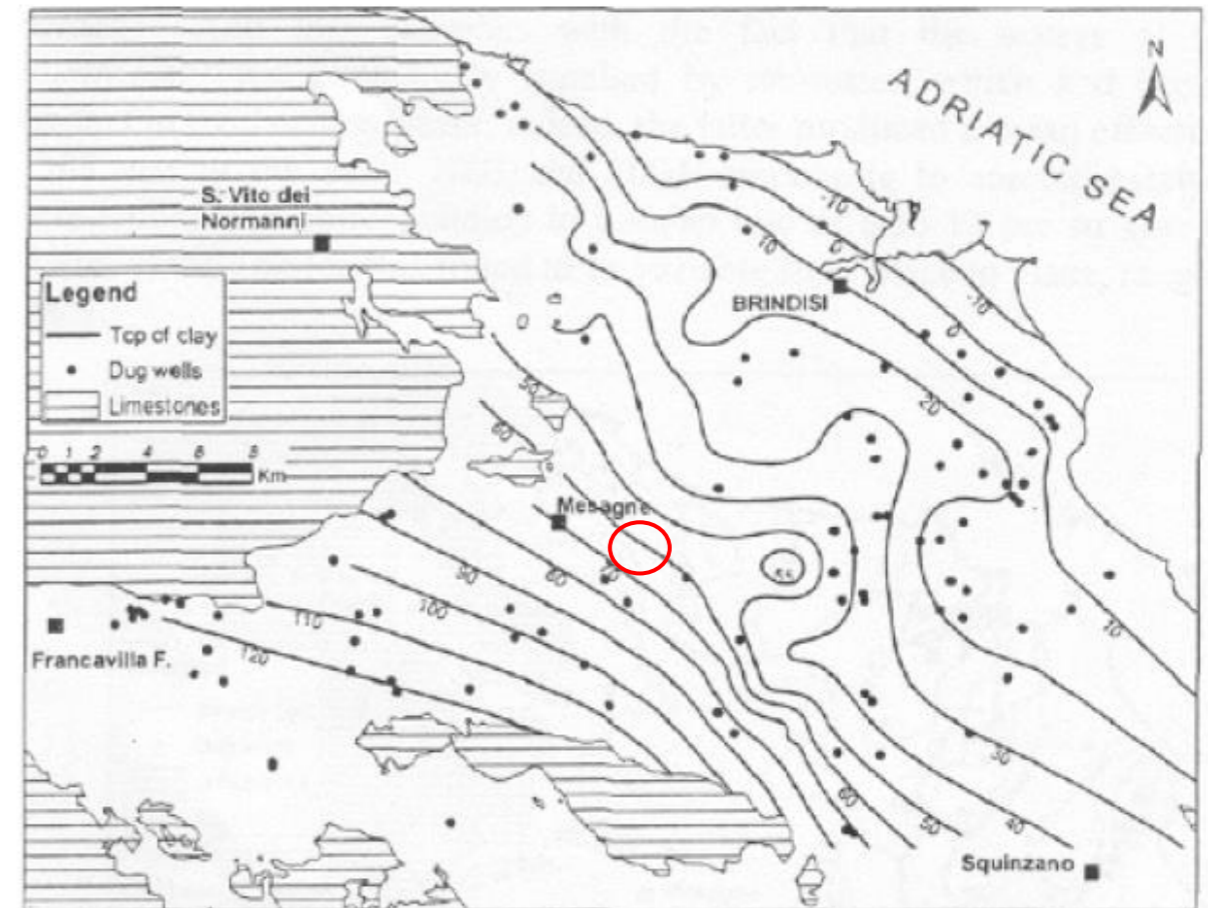


area del Parco Eolico



Sondaggi effettuati per opere varie (Stazione TERNA, Ampliamento area PIP Mesagne, Realizzazione Residenza per Anziani, Cava di argille FIMAB srl)

In particolare i dati stratigrafici e geologici disponibili, permettono agevolmente di definire il Modello Geologico.



Quote altimetriche s.l.m. del tetto delle Argille Subappennine (da Lopez et Al., 2005).

**CPR TERNA-S.DONACI**

### 3 CARATTERISTICHE STRATIGRAFICHE DI DETTAGLIO VERIFICATE CON INDAGINI IN SITU

#### 3.1 Saggi con escavatore leggero

Nell'area in cui ricade il progetto del Parco Eolico Mondonuovo, sono stati osservati una serie di saggi per scavi svolti a vario titolo dallo scrivente. Tale metodo di indagine diretto ha previsto l'utilizzo di un escavatore gommato (Terna CATERPILLAR) che nei punti indicati in planimetria ha eseguito scavi di profondità media 1 - 2,5 m. Attraverso tali scavi si sono potute effettuare le seguenti osservazioni:

- Spessore strato superficiale interessante la posa in opera dei cavidotti interrati;
- Stato di addensamento ed alterazione dello strato suddetto con verifica della presenza di acqua;
- Prelievo di campioni rimaneggiati per studio visivo e verifica con pocket-penetrometer.

I saggi effettuati hanno evidenziato le caratteristiche stratigrafiche riportate in allegato. Sostanzialmente affiorano terreni sabbiosi più o meno coerenti, a luoghi vi è presenza di strati di panchina. In conclusione trattasi di terreni a medio-alta scavabilità.

Per quanto riguarda la permeabilità, essi sono per la maggior parte mediamente permeabili ed in piccola parte poco permeabili, pertanto in occasione di eventi meteorici insistenti, le aree interessate dagli accessi stradali soprattutto interpoderali, diventano impraticabili.

Necessiterà pertanto definire un piano, in fase esecutiva, per il consolidamento dei sottofondi stradali di accesso ai suoli interessati sia dal trasporto, che dallo scavo dei cavidotti e non ultimo alle aree in cui saranno posizionati gli aerogeneratori.

#### 3.2 Stratigrafia dell'area vasta sulla base dei sondaggi e di dati disponibili

Il sondaggio profondo effettuato il giorno 11.06.2011 nell'area interessata dalla **CPR S.DONACI**, ha permesso di individuare la seguente stratigrafia fino a 45 m di profondità:

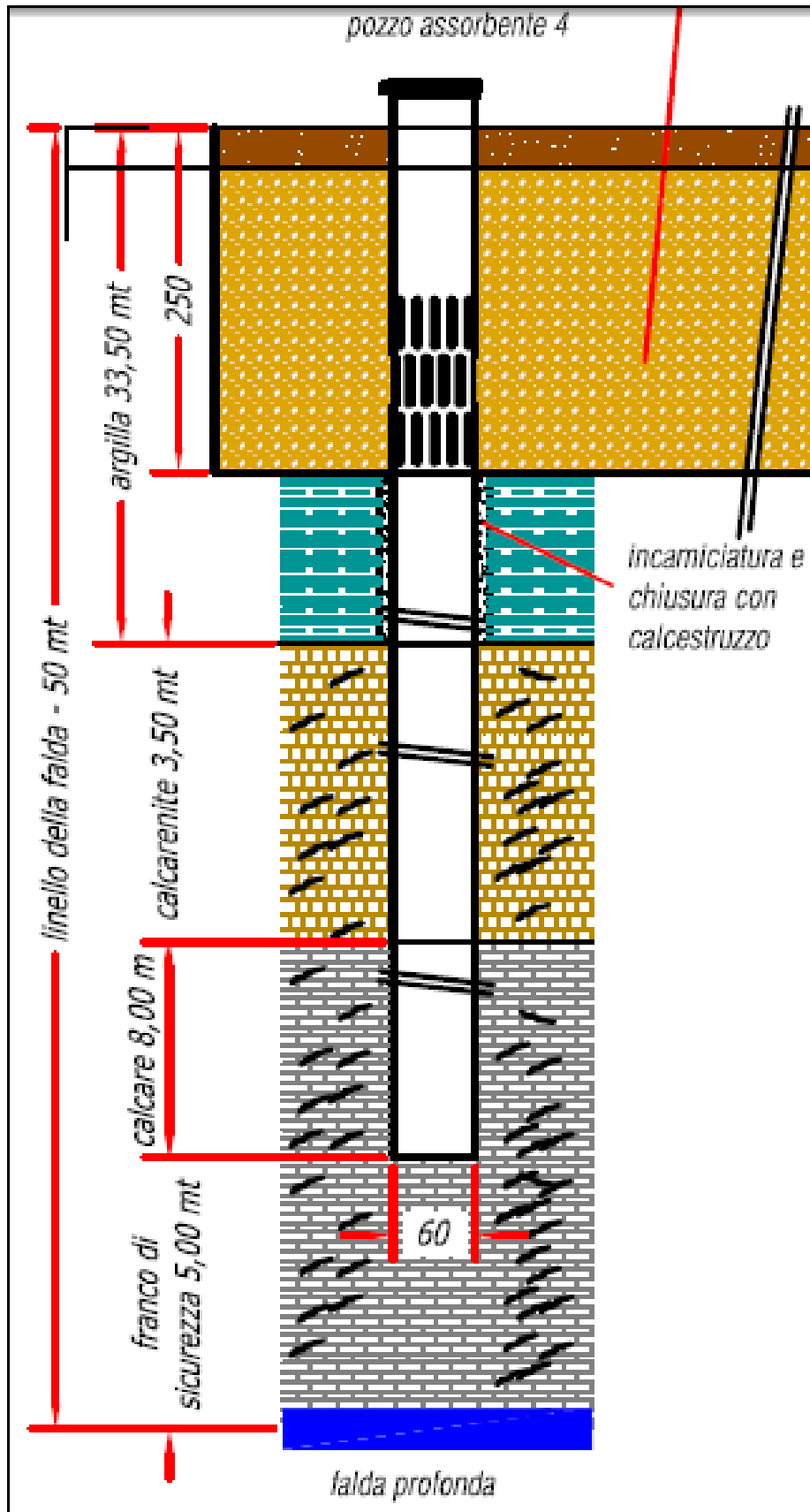
<b>Tab.1</b>	
<b>0,00 – 0,50 m</b>	terreno vegetale con sabbie giallastre e presenza di ciottolate.

<b>0,50 – 3,00m</b>	sabbie argillose alternate a strati più consolidati di sabbie giallastre, con falda idrica superficiale.
<b>3,00 - 33,5 m</b>	argille sabbiose di colore giallastro, passante ad argilla grigio azzurra (man mano che si procede verso il basso, aumenta la percentuale di argilla).
<b>33,5 – 39,0 m</b>	Calcarenite giallastra a grana fine, non uniformemente distribuita e poco cementata.
<b>39,0 – 45,0 m</b>	Calcare grigio giallastro.



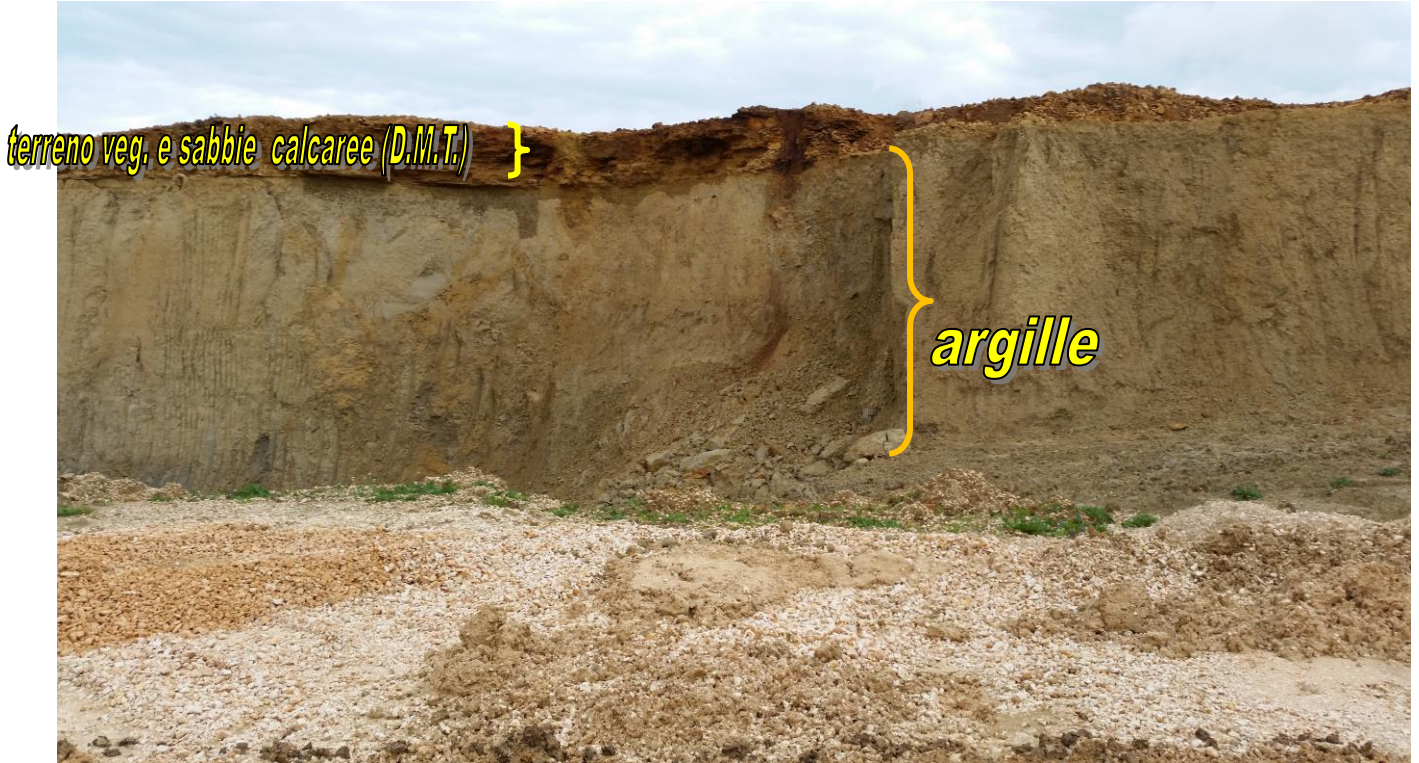
***Sondaggio a carotaggio continuo eseguito dallo scrivente presso la CPR TERNA di S.Donaci nei pressi di Via Mesagne.***

Questo sondaggio ha permesso di individuare la reale stratigrafia in tutto il bacino di sedimentazione della Piana di Brindisi che a seconda delle località varia i vari spessori di qualche metro, fermo restando lo schema generale che è quello della Tab.1.



Schema geologico per la realizzazione di un pozzo assorbente

SITUAZIONE STRATIGRAFICA DI C.DA ALBANESI



Il modello stratigrafico è il seguente:

0,0 – 1,0 m

terreno vegetale;

<b>1,0 – 3,0 m</b>	<b>sabbie e sabbie limose + arenarie a luoghi in esigui spessori cementati, di colore giallo paglierino (strato cosiddetto "di panchina") appartenenti ai D.M.T.;</b>
<b>3,0 – 15,0 m</b>	<b>argille da gialle a grigio-azzurre;</b>
<b>15,0 – 16,5 m</b>	<b>calcarenite di Gravina;</b>
<b>16,5 – 17,0 m</b>	<b>paleosuolo costituito da uno strato di terra rossa molto compatto, diagenizzato, impermeabile;</b>
<b>oltre 17,00 m</b>	<b>calcari cretacici molto compatti e di colore biancastro.</b>



**In particolare i dati stratigrafici e geologici disponibili, permettono agevolmente di definire il Modello Geologico dell'area al disotto delle strutture costituenti il parco eolico in Loc.Mondonuovo.**

### **3.3 Modello Geologico nell'area della Cabina elettrica in C.da Cerrito**

I dati in possesso dello scrivente e/o acquisiti da lavori svolti nei pressi della Stazione Elettrica di C.da Cerrito indicano la seguente stratigrafia al disotto delle strutture da realizzarsi per la Cabina di trasformazione. Si fa presente che i dati si riferiscono a progetti già eseguiti per lo sviluppo di impianti per la produzione di energia elettrica da fonti alternative.

Le indagini svolte nei pressi della Stazione Elettrica TERNA a cura del Dott.Pomes per il progetto di impianto fotovoltaico di Rete Verde 19 srl, ha restituito il seguente Modello Geologico:

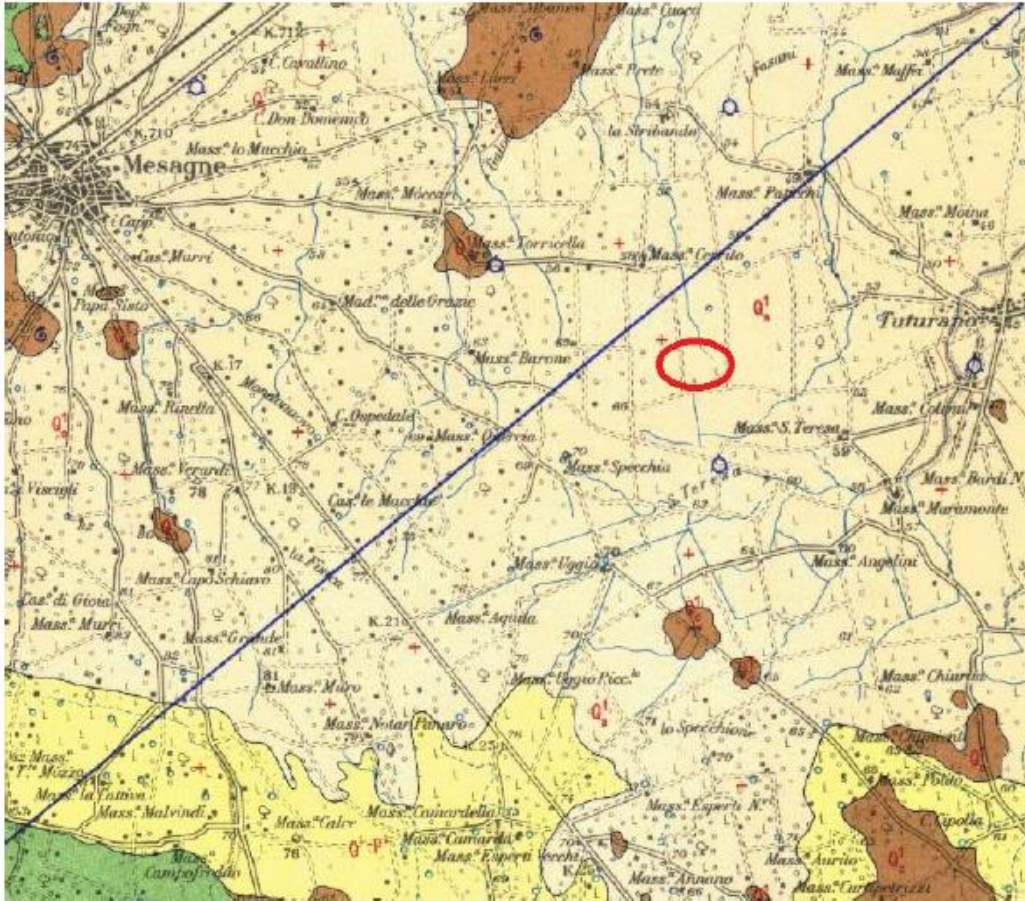


Figura 3.2: stralcio Carta Geologica d'Italia F° 203 “BRINDISI” scala 1:100.000. **de-** depositi eluviali principali e di terra rossa; **Q<sub>1s</sub>** – sabbie argillose giallastre, talora debolmente cementate, in strati di qualche cm di spessore, che passano inferiormente a sabbie argillose e argille grigio azzurre; **Q<sub>1c</sub>** – banchi arenaci e calcarenitico ben cementati (PLEISTOCENE); **C<sup>8-6</sup>** – calcari dolomitici e dolomie grigio nocciola, a frattura irregolare, calcari grigio chiari (CENOMANIANO sup.) ○ area in studio

spessore	litologia
0,00 -1,00	Terreno vegetale limoso con sabbia ed argilla, di colore marrone scuro con presenza di resti vegetali
1,00 – 1,70m	Arenaria
2,50 – 7,50 m	Alternanza di livelli sabbiosi e livelli calcarenitici compatti
7,50 – 10,00 m	Sabbie debolmente limose a grana fine.

Tale profondità è sufficiente per la definizione del modello geologico al disotto delle strutture della Cabina da realizzare e per la modellazione delle fondazioni.

**Riassumendo:**

<b>MODELLO GEOLOGICO LOC.MONDONUOVO (PARCO EOLICO)</b>		
<b>Spessore in metri</b>	<b>litologia</b>	<b>descrizione</b>
<b>0,50</b>		terreno vegetale con sabbie giallastre e presenza di ciottolate.
<b>3</b>		sabbie argillose alternate a strati più consolidati di sabbie giallastre, con falda idrica superficiale
<b>33,5</b>		argille sabbiose di colore giallastro, passante ad argilla grigio azzurra (man mano che si procede verso il basso, aumenta la percentuale di argilla).
<b>39</b>		Calcarenite giallastra a grana fine, non uniformemente distribuita e poco cementata.
<b>45</b>		Calcarea

<b>MODELLO GEOLOGICO LOC.CERRITO (CABINA ELETTRICA)</b>		
<b>Spessore in metri</b>	<b>litologia</b>	<b>descrizione</b>
<b>1,00</b>		Terreno vegetale limoso con sabbia ed argilla, di colore marrone scuro con presenza di resti vegetali
<b>1,70</b>		Arenaria
<b>7,50</b>		Alternanza di livelli sabbiosi e livelli calcarenitici compatti
<b>10,00</b>		Sabbie debolmente limose a grana fine.

#### 4 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI LITOTIPI AFFIORANTI CHE INTERESSANO L'IMPIANTO (AEROGENERATORI, CABINA ELETTRICA)

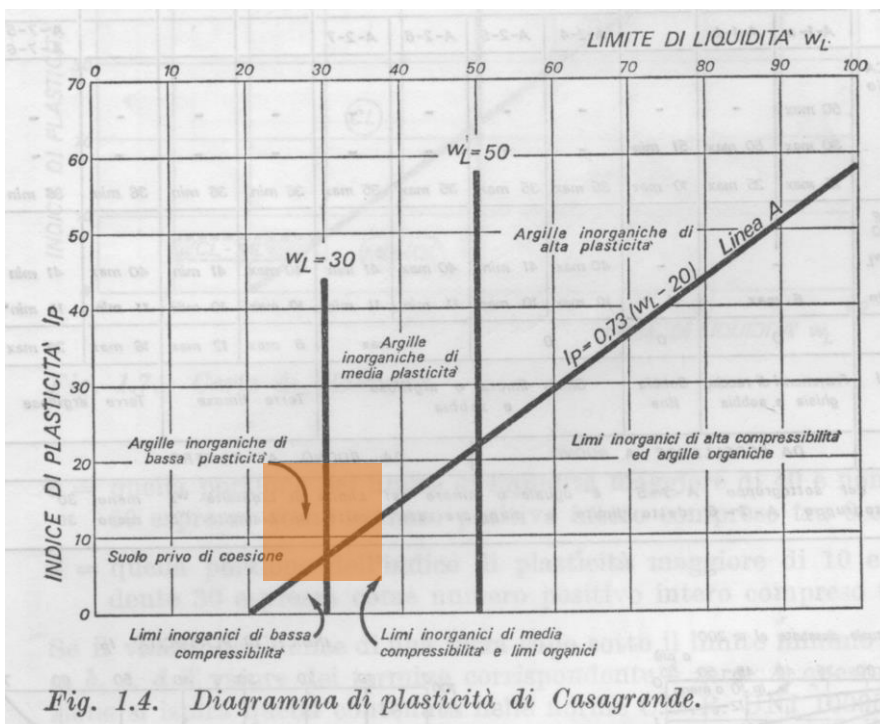
##### Parco eolico

I dati seguenti sono stati ricavati da prove di laboratorio svolte su campioni prelevati per gli stessi litotipi per una indagine svolta nei pressi dell'area in studio dallo scrivente.

Ai fini della caratterizzazione geotecnica dei depositi terrigeni, le sabbie trasgressive sono classificabili, sotto l'aspetto granulometrico, come sabbie limose.

Il peso specifico delle particelle mostra valori variabili tra 2,65 e 2,77 g/cm<sup>3</sup>, mentre il peso secco varia tra 1,45 e 1,80 g/cm<sup>3</sup>.

I valori dei limiti di consistenza indicano bassa plasticità, essendo il L.L. variabile tra 21,85% e 41,3%; il L.P. variabile tra 13,4% e 27,5%; l'I.P. variabile tra 2,5% e 22,8%. Il contenuto naturale d'acqua "w" ha un valore variabile tra 17,21% e 32,47%, quindi in generale supera di poco il valore del limite plastico.



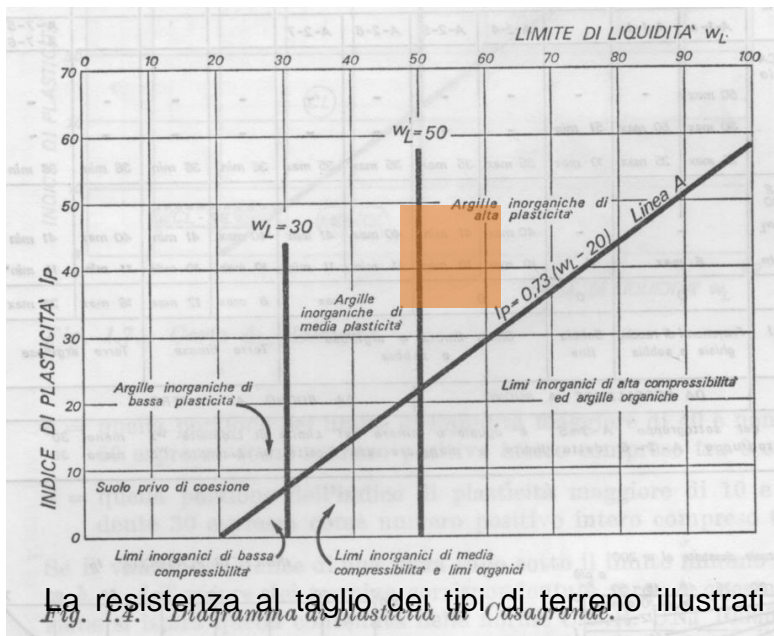
Area in cui ricadono i campioni di sabbie limose analizzati.

Fig. 1.4. Diagramma di plasticità di Casagrande.

Il secondo litotipo, sulla base delle prove effettuate, e' stato classificato come terreno limoso-argilloso di colore grigio-azzurrognolo, con intercalazioni sabbiose. Questo presenta valori del peso specifico delle particelle variabile tra 2,67 e 2,70 g/cm<sup>3</sup>, mentre il peso secco ha un valore variabile tra 1,41 e 1,76 g/cm<sup>3</sup>.

Il limite liquido ha un valore variabile tra 28,2 e 49,7%, il limite plastico varia tra 21 e 25,44%, mentre l'indice di plasticità è variabile tra 7,1 e 29,31%.

I dati ottenuti indicano una plasticità medio bassa. Il contenuto naturale d'acqua varia tra 19 e 31,8%, poco al di sotto del limite plastico.



Area in cui ricadono i campioni di argilla analizzati.

La resistenza al taglio dei tipi di terreno illustrati è stata esaminata e studiata in laboratorio mediante prove di rottura per taglio diretto.

Come si osserva dai dati elencati, per tutti i tipi di terreno sottoposti a prove di laboratorio, si hanno valori di resistenza complessivamente abbastanza omogenei.

Sabbie	Angolo di attrito □□	Tra 24,27 e 27,1
	Coesione	Tra 0,07 e 0,175
Argille	Angolo di attrito □	Tra 19,47 e 26,20
	Coesione	Tra 0,165 e 0,31

Si può osservare che nelle sabbie vi è la costante presenza di apprezzabili valori di coesione, indicanti lo stato di lieve cementazione delle stesse, anche quando la

frazione limosa risulta più ridotta.

### **Cabina elettrica C.da Cerrito**

Per la definizione delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni ci si è serviti delle prove geognostiche svolte in situ (SPT) e prove di laboratorio eseguite sulla componente sabbiosa del deposito arenaceo-calcareo-sabbioso.

Viste le caratteristiche stratigrafiche riscontrate si considerano utili, ai fini di un possibile piano di fondazione, il livello che ingloba il livello arenaceo e quello costituito dall'alternanza di livelli sabbiosi e calcarenitici compatti (Panchina). Questo ultimo, data la natura litoide degli strati arenaci, presenta caratteristiche meccaniche più che buone. Per una maggiore sicurezza, si assimila la strato di Panchina ad un deposito sabbioso compatto granulare interessato dalla falda idrica superficiale.

Di seguito si riportano le caratteristiche fisico-meccaniche del deposito arenaceo-calcareo-sabbioso ricavate, come accennato, dalle numerose indagini svolte su terreni simili alla componente sabbiosa del deposito. Considerare tali valori ai fini dei calcoli geotecnici non fa che migliorare la sicurezza in fase progettuale.

Umidità naturale (%)	21,79
Peso di Volume (gr/cm <sup>3</sup> )	1,78
Peso specifico ass. (gr/cm <sup>3</sup> )	2,70
Indice dei vuoti (%)	0,66
Grado di saturazione (%)	88,41
Angolo d'attrito	32°
Coesione c (Kg/cm <sup>2</sup> )	0

## **5 INDAGINE SISMICA CON LA METODOLOGIA "MASW"**

### **Località Mondonuovo**

L'indagine geofisica sull'area sita in località "Mondonuovo" nel territorio di Mesagne, ha restituito le seguenti risultanze (Cfr.Allegati).

L'analisi dei microtremori viene effettuata utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione (a geofono singolo) disposta sul terreno con array lineare, da 12 a 48 geofoni; per ottenere una buona risoluzione in termine di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni con bassa frequenza di risonanza (4-14 Hz raccomandati), è indispensabile allungare il tempo di registrazione (15-30s) rispetto alla sismica a rifrazione tradizionale.

Si possono così registrare onde di superficie il cui contenuto in frequenza copre un range da 25-30 Hz fino a 2 Hz che, in condizioni ottimali, offre una dettagliata ricostruzione dell'andamento delle Vs relativamente ai primi cento metri di profondità.

Si tratta di una modellazione del sottosuolo mediante l'analisi delle onde di Rayleigh.

<b>INDAGINE SISMICA MASW</b> <b>(loc.tà Mondonuovo-Mesagne-BR)</b>			
$V_{Seq} = \frac{H}{\sum_i^n \frac{h_i}{V_{S,i}}}$			
N° MASW	V <sub>seq</sub> (m/s)	<b>Categoria di sottosuolo</b> (Tab. 3.2.II del Decreto 17 gennaio 2018)	<b>Stratigrafia</b>
M1	369	B	Non è stato individuato un substrato sismico a profondità < 30.0m
M2	275	C	Non è stato individuato un substrato sismico a profondità < 30.0m
M3	323	C	Non è stato individuato un substrato sismico a profondità < 30.0m
M4	281	C	Non è stato individuato un substrato sismico a profondità < 30.0m



M5	371	B	Non è stato individuato un substrato sismico a profondità < 30.0m
M6	305	C	Non è stato individuato un substrato sismico a profondità < 30.0m
M7	370	B	Non è stato individuato un substrato sismico a profondità < 30.0m
M8	287	C	Non è stato individuato un substrato sismico a profondità < 30.0m
M9	383	B	Non è stato individuato un substrato sismico a profondità < 30.0m
M10	295	C	Non è stato individuato un substrato sismico a profondità < 30.0m
M11	329	C	Non è stato individuato un substrato sismico a profondità < 30.0m

Per rilevare onde sismiche trasversali, anche la sorgente energizzante deve generare onde a prevalente componente di taglio.

Per tale motivo è stato utilizzato un sismografo della Geometrics "modello GEODE" con geofoni da 4.5 Hz.

Recenti studi hanno consentito di creare un modello matematico anche per trattare le onde S, cercando di godere del vantaggio della elevata energia associata a questo tipo di propagazione.

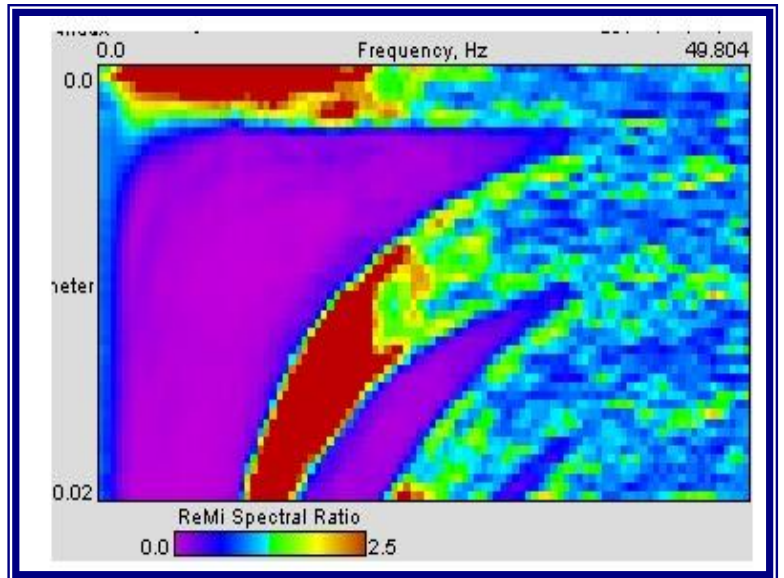
L'analisi delle onde S viene eseguita mediante la trattazione spettrale del sismogramma, cioè a seguito di una trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del segnale. In questo dominio, detto dominio trasformato, è semplice andare a separare il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale, come onde P, propagazione in aria, ecc.

L'osservazione dello spettro consente di notare che l'onda S si propaga a velocità variabile a seconda della frequenza dell'onda stessa, questo fenomeno è detto dispersione, ed è caratteristico di questo tipo di onde.

La teoria sviluppata suggerisce di caratterizzare tale fenomeno mediante una funzione detta curva di dispersione, che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda. Tale curva è facilmente estraibile dallo spettro del segnale poiché essa approssimativamente posa sui massimi del valore assoluto dello spettro.

L'elaborazione del segnale consiste, nell'operare una trasformata bidimensionale "slowness-frequency"(p-f) che analizza l'energia di propagazione del rumore in

entrambe le direzioni della linea sismica e nel rappresentarne lo spettro di potenza su un grafico p-f (fig.4).



**Fig.4 Esempio di spettro di potenza p-f.**

Nell'immagine di figura 4 è possibile un riconoscimento visivo delle onde di Rayleigh, che hanno carattere dispersivo.

A questo punto l'operatore, in maniera arbitraria ed in base all'esperienza, esegue

un "picking"

(fig.2)

attribuendo ad un certo numero di punti una o più slowness ( $p$  o  $1/\text{velocità di fase}$ ) per alcune frequenze.

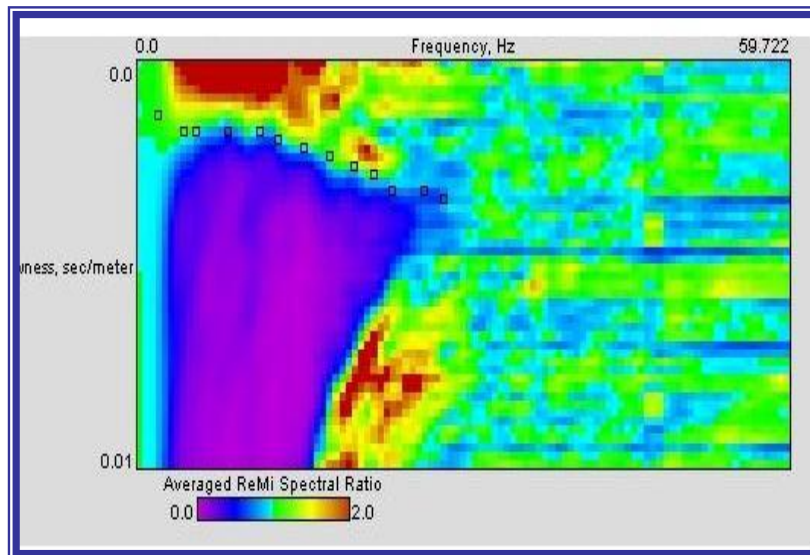
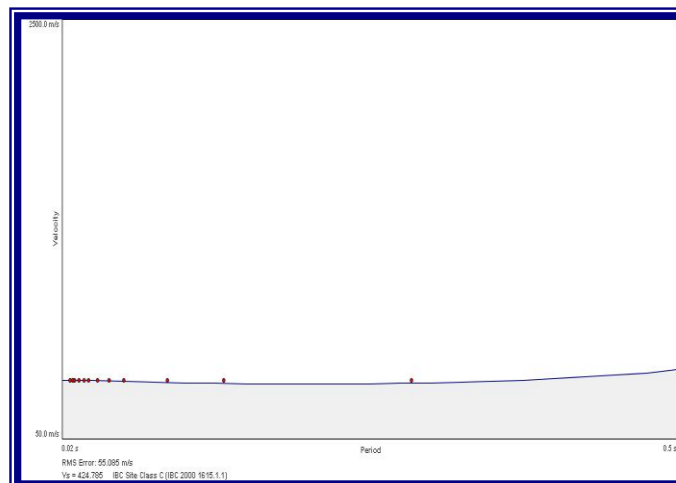


Fig. 5 Esempio di picking

Tali valori vengono in seguito plottati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello diretto.

La curva di dispersione in realtà può non essere così facile da estrarre, questo perché dipende molto dalla pulizia dei dati e da quanto disturbano gli altri segnali presenti nel sismogramma. Ecco perché questa fase in realtà deve essere considerata una interpretazione, e per questo i migliori software di analisi di dati ReMi, consentono di modificare anche manualmente la curva di dispersione per soddisfare le esigenze dell'utente più esperto.

I dati selezionati dall'immagine p-f vengono plottati su un diagramma, nel quale compare anche una curva di dispersione calcolata a partire da un modello di Vs che è modificabile dall'interprete. Variando il numero di strati, la loro velocità e la densità nel modello, la curva di dispersione calcolata viene adattata fino a farla aderire il più possibile a quella sperimentale ottenuta con il picking (fig.6).



**Fig.6: Modellizzazione diretta interattiva: curva di dispersione calcolata (grigio) e curva sperimentale con picking (puntinato rosso).**

La curva di dispersione calcolata, approssimativamente coincidente con la curva sperimentale, viene associata ad un modello sintetico.

Questa delicata seconda fase di interpretazione è comunemente detta fase di inversione, e dipendentemente dal software usato può anch'essa avvenire in maniera automatica e/o manuale.

Entrambe le due fasi di interpretazione, per quanto debbano seguire le linee guida dettate dalla teoria, devono rigorosamente essere controllate accuratamente dall'utente poiché non è possibile affidarsi completamente ad un sistema automatico che lavora alla ricerca della soluzione matematicamente migliore.

### **5.1 Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche**

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella **Tab. 3.2.11 del DECRETO 17 gennaio 2018**, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio VS. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità VS per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.

I valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua 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:

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

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.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

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. Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

**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</i> 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	<i>Deposit</i> 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	<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>

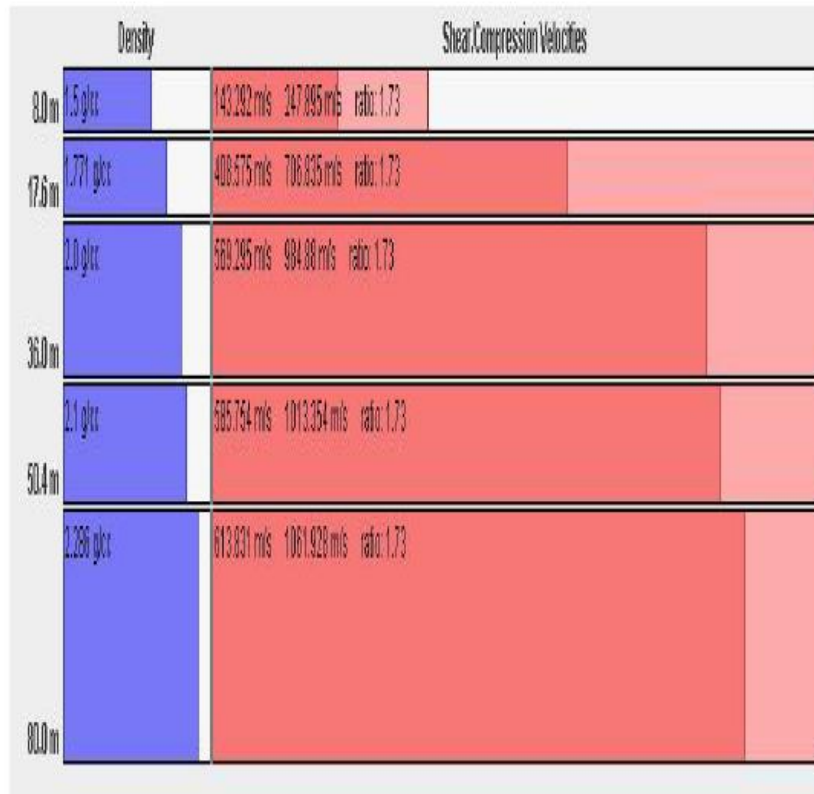
In riferimento alla normativa Nazionale antisismica, trattandosi di un'opera rientrante nella categoria, (come recita la normativa) degli: *“edifici ed opere infrastrutturali di interesse regionale rilevanti in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso”*, le norme tecniche della progettazione dovranno essere quelle previste per le opere ricadenti in zona sismica di **categoria 4**, ossia con accelerazione di ancoraggio dello spettro di risposta elastico di **0,05g**.

Come si evince dalla seguente Tabella 3, ciascuna zona è individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo  $a_g$ , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [ $a_g/g$ ]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [ $a_g/g$ ]
1	> 0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

**Tabella 3**

### CABINA ELETTRICA DA REALIZZARE - Loc.Cerrito



Shear-Wave Velocity Profile from SeisOpt ReMi Software Analysis

$$V_{s30} = 489.88 \text{ m/sec}$$

## 6 FALDA FREATICA

Nel territorio interessato si rilevano due falde d'acqua: quella **superficiale freatica** e quella **profonda carsica**. La falda superficiale è alimentata dalle acque meteoriche d'infiltrazione superficiale, mentre quella carsica trova alimentazione in un più vasto bacino idrografico che è quello dei massicci calcarei.

La prima, di modesta portata, localizzata nei sedimenti sabbioso conglomeratici e calcarenitici di copertura circola a pelo libero ad una profondità compresa tra i -3e i -5m; la seconda, molto più consistente, si localizza invece nel basamento carbonatico ad una profondità di -80m dal piano campagna.

In particolare la falda freatica superficiale si localizza sempre nelle sabbie e conglomerati di copertura, la cui potenza massima in alcuni punti del territorio è

dell'ordine dei 10m, e si rinviene, nell'area in oggetto, ad una profondità dal piano campagna sempre modesta (4,5m), con la direttrice prevalente di deflusso verso NE e con cadente piezometrica media pari a 0.8°/00. A causa della modesta profondità di rinvenimento di tale falda, poiché in progetto sono previsti seminterrati, le strutture fondazionali e perimetrali dell'opera da realizzarsi potranno trovarsi a contatto o sommerse dall'acqua di falda. Di conseguenza il progettista dovrà tener conto della situazione idrogeologica locale.

La percentuale d'acque meteoriche che si infiltra nel terreno, dipende da una serie di fattori quali:

- morfologia, geologia, tipo di manto vegetale, pendenze, pavimentazioni, cementazioni, coperture, ecc...

Nel caso in esame si può valutare in 20-30% delle precipitazioni medie annue

## **7 CARATTERISTICHE DI PORTANZA DEI TERRENI DI FONDAZIONE DELLE AREE DEL PARCO EOLICO**

### **7.1 Prova penetrometrica dinamica**

Durante l'esecuzione di un sondaggio geognostico sotto la Direzione dello scrivente, nel Comune di Mesagne, sono state eseguite due prove SPT durante l'esecuzione di un sondaggio geognostico a carotaggio continuo, nei litotipi analoghi a quelli che affiorano nell'area di realizzazione del Parco Eolico: sabbie limose e argille.

La prova S.P.T. si effettua per intervalli di 45 cm, misurando il numero di colpi, sul fondo foro opportunamente pulito. Si tratta di una prova a percussione con un campionatore di forma e dimensioni standard (tipo Raymond), attraverso il quale, in base al numero dei colpi (N) necessari alla penetrazione di 45 cm, misurati separatamente in tre tratti di 15 cm ciascuno, è stato possibile valutare orientativamente lo stato di consistenza dei terreni.

La percussione avviene secondo le modalità contenute nella norma ASTM n° D 1586/67.



Il valore di N<sub>spt</sub> è dato dalla somma dei colpi misurati nel secondo e terzo tratto di 15 cm, quando il numero di colpi supera 50 la prova viene sospesa, rappresentando tale valore il rifiuto.

Per le prove è stato usato un campionatore di lunghezza 711 mm, diametro esterno di 50.8 mm, diametro interno 34.9 mm ed un dispositivo di guida e di sgancio automatico del maglio, di peso 30 kg, che ha assicurato una corsa a caduta libera di 20 cm.

I risultati delle prove eseguite (che si leggono anche sulla stratigrafia allegata) sono riassunte nella seguente tabella:

	<b>Profondità dal p.c. (m.)</b>	<b>Nspt</b>	<b>Litotipo</b>
Prova 1	mt 2.00 a mt 2.15 mt 2.15 a mt 2.30 mt 2.30 a mt 2.45	(8) 12 <u>16</u> <b>28</b>	sabbie limose
Prova 2	mt 6.00 a mt 6.15 mt 6.15 a mt 6.30 mt 6.30 a mt 6.45	(6) 11 <u>13</u> <b>24</b>	argille

A

Attraverso i dati ottenuti dai sondaggi penetrometrici effettuati nell'area di interesse (Vedi planimetria) sono stati costruiti i diagrammi riportati in allegato. Estrapolando i dati è stato calcolato empiricamente il valore della resistenza alla punta tramite la formula dell'energia dinamica (Sanglerat, Mitchell & Gardner):

$$R_d = M^2 \times H / A \times E \times (M + P)$$

dove:

$R_d$  = resistenza dinamica alla punta

$M$  = Peso del maglio (30kg)

$A$  = Superficie punta (10 cm<sup>2</sup>)

$E$  = Profondità di infissione per colpo (cm)

$P$  = Peso delle aste (2.4 kg)

$H$  = Altezza di caduta (20 cm)

Sostituendo nella formula i valori ottenuti dall'interpretazione grafica otteniamo un valore medio di resistenza dinamica. Da questi valori che rappresentano i valori medi ottenuti durante le prove effettuate possiamo ricavare il carico ammissibile del litotipo fondale  $R_d$  per un coefficiente di sicurezza pari a 20.

Sondaggio	litologia	PROFONDITA'	N° Colpi	Intervallo di prova considerato	Profondita' di infissione per colpo (E)	Resistenza alla punta	Coefficiente di sicurezza	Q amm
				(cm)	(cm)	(Kg/cm <sup>2</sup> )		(Kg/cm <sup>2</sup> )
						$R_q = M^2 \times H / A \times E \times (M + P)$		
SPT 1	sabbie	2-2,45	28	60	2,1	26,44	20	1,32
SPT 2	argille	6-6,45	24	60	2,5	22,22	20	1,11

Le caratteristiche fisico-meccaniche del deposito arenaceo-calcarenitico-sabbioso per l'area di Loc.Cerrito invece sono le seguenti:

Umidità naturale (%)	21,79
Peso di Volume (gr/cm <sup>3</sup> )	1,78
Peso specifico ass. (gr/cm <sup>3</sup> )	2,70
Indice dei vuoti (%)	0,66
Grado di saturazione (%)	88,41
Angolo d'attrito	32°
Coesione c (Kg/cm <sup>2</sup> )	0

## 8 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE E PRESCRIZIONI PER LA PROGETTAZIONE GEOTECNICA ED I CALCOLI STRUTTURALI.

La presente relazione è riferita ai terreni affioranti nelle aree dove sorgerà il Parco Eolico "MONDONUOVO" e della CABINA ELETTRICA in Loc.Cerrito.

**Parco eolico Loc.Mondonuovo**

I dati geotecnici acquisiti mediante sondaggi geognostici svolti dallo scrivente e da altri lavori svolti nelle stesse aree per altri analoghi progetti, e le indagini geologiche effettuate, hanno dato le seguenti indicazioni:

- circa l'80% dell'intera area interessata è condizionata dall'affioramento di sedimenti sabbiosi sciolti più o meno limosi e passanti, verso il basso a marcatamente argillosi.
- Una porzione piuttosto estesa è interessata dalla presenza della falda superficiale profondità variabile da -3 a -5 m dal p.c. Il livello della falda superficiale è soggetto a frequenti oscillazioni a causa di emungimenti e/o immissioni nel sottosuolo, scarse precipitazioni o precipitazioni abbondanti.

L'attenzione sarà perciò rivolta essenzialmente ai depositi di sabbie limose giallastre e alle Argille le quali hanno caratteristiche meccaniche intrinseche scadenti e problematiche, a causa della loro plasticità, scarsa permeabilità, elevato coefficiente di ritiro, elevato coefficiente di ritenzione idrica.

Pertanto i terreni suddetti, implicano alle strutture in elevazione assestamenti e/o cedimenti in corso di esercizio che dovranno essere studiati più' in dettaglio nella fase che precede la progettazione esecutiva, mediante l'esecuzione delle seguenti investigazioni:

- Sondaggi geognostici a carotaggio continuo (almeno uno in prossimità' di ogni installazione);
- Prove di laboratorio geotecnico:
  - Prove di classificazione (limiti di consistenza, peso specifico dei granuli, granulometria)
  - Prove per la determinazione delle caratteristiche meccaniche (resistenza al taglio, compressibilità e consolidazione );
- Profili sismici a rifrazione
- Prove SPT nei singoli fori di sondaggio a varie profondità' (in numero di almeno n.3 per sondaggio), al fine di avere una scala di variabilità' delle caratteristiche portanti dei vari orizzonti stratigrafici;
- Sismica down-hole per la determinazione delle velocità' sismiche  $V_{s30}$ ;

- Prove di carico su pali di fondazione (almeno uno in fase preliminare alla realizzazione delle palificate).

### **Cabina elettrica Loc.Cerrito**

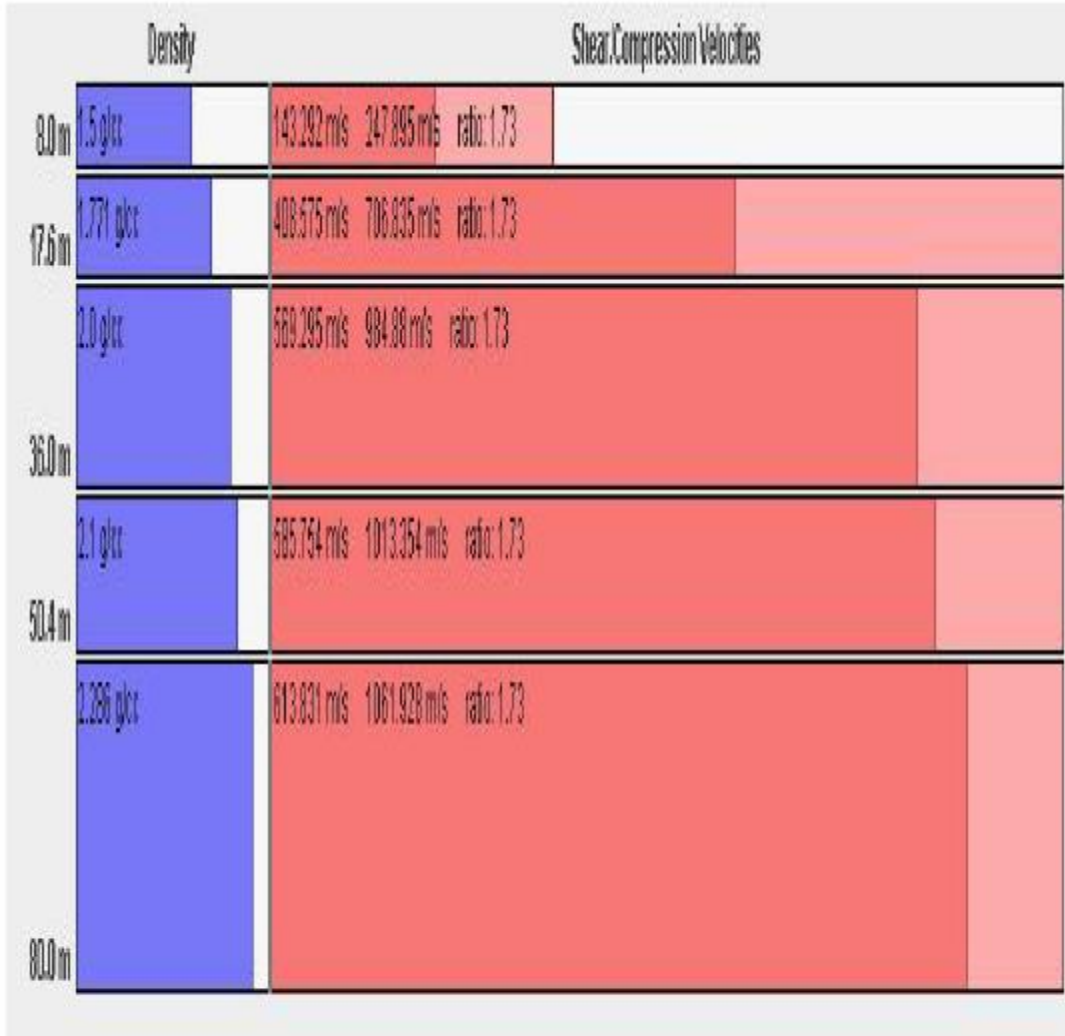
Viste le caratteristiche stratigrafiche riscontrate si considerano utili, ai fini di un possibile piano di fondazione, il livello che ingloba il livello arenaceo e quello costituito dall'alternanza di livelli sabbiosi e calcarenitici compatti (Panchina). Questo ultimo, data la natura litoide degli strati arenaci, presenta caratteristiche meccaniche più che buone. Per una maggiore sicurezza, si assimila la strato di Panchina ad un deposito sabbioso compatto granulare interessato dalla falda idrica superficiale.

Valgono però le considerazioni fatte in precedente e cioè che prima della progettazione esecutiva delle opere vanno effettuate indagini di dettaglio e di laboratorio geotecnico.

**Dott.Geol.Giuseppe MASILLO**

**ALLEGATI: PROVE MASW**

**CABINA ELETTRICA DA REALIZZARE - Loc.Cerrito**



Shear-Wave Velocity Profile from SeisOpt ReMi Software Analysis

$$V_{s30} = 489.88 \text{ m/sec}$$

## **PARCO EOLICO – Loc.Mondonuovo**