

REGIONE  
MOLISE



PROVINCIA  
CAMPOBASSO



COMUNE  
GUGLIONESI



## IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36,00 MW

RICHIEDENTE

**V-RIDIUM WIND MOLISE 4 S.r.l.**

Viale Giorgio Ribotta, 21  
00144 Roma (RM)  
P. IVA: 16673791006



Titolo Elaborato:

**RELAZIONE GEOLOGICA**

Codice Progetto:

**ITW2MB**

Sviluppo progetto:

**NRG PLUS ITALIA S.r.l.**

Piazza Ettore Troilo, 27  
65127 Pescara (PE)  
e-mail: mdedonno@nrgplus.global

**BELL FIX PLUS S.r.l.**

Via Tancredi Normanno, 13  
72023 Mesagne (BR)  
e-mail: elettrico@bellfixplus.it

Codice Elaborato:

**R.07**



Progettazione:

Timbro e firma:

**Dott. Geol. Francesco CALDARONE**

Ordine Geologi Puglia n. 507  
Corso Umberto I, 85 - 72100 Brindisi (BR)  
[fcaldarone@pec.epap.it](mailto:fcaldarone@pec.epap.it)  
[geol.caldarone@gmail.com](mailto:geol.caldarone@gmail.com)  
cell. +39 347 1832322 - tel. +39 0831 524967



Scala N.A. in A4

Data	Revisione	DESCRIZIONE	Elaborazione	Verifica e controllo
24.11.2023	0	PRIMA EMISSIONE	Geol. Francesco CALDARONE	ing. Maurizio DE DONNO
REVISIONI				

## Indice

	Pag.
1 Premessa .....	2
2 Collocazione geografica dell'area .....	3
3 Inquadramento morfologico e strutturale .....	6
4 Inquadramento geologico .....	10
4.1 "Complesso delle argille varicolori" PA .....	10
4.2 "Sabbie argillose giallastre" Pa.....	10
4.3 "Sabbie grossolane giallastre" PQs .....	10
4.4 "Conglomerati dei terrazzi marini" qc .....	11
5 Inquadramento idrogeologico .....	13
6 Indagini eseguite .....	15
6.1 Profilo sismico a rifrazione .....	15
6.2 Profilo sismico con metodologia MASW .....	16
7 Geolitologia e idrogeologia dell'area interessata dall'impianto .....	18
7.1 Geolitologia e caratteristiche tecniche dei terreni .....	18
8 Caratterizzazione sismica: individuazione della categoria di suolo a mezzo indagine sismica con la metodologia MASW .....	22
8.1 Classificazione sismica .....	22
8.2 Indagine sismica con metodologia MASW.....	23
8.3 Categoria del suolo di fondazione .....	24
9 Conclusioni.....	28

## Allegati

RELAZIONE CONCLUSIVA DELLE ATTIVITA' DI INDAGINE IN SITO

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.07

## 1 PREMESSA

La Società V-RIDIUM WIND MOLISE 4 S.r.l. (nel seguito "Proponente"), intende realizzare, in area agricola del Comune di Guglionesi (CB), un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica (nel seguito "impianto eolico") costituito da n. 6 aerogeneratori (WTG) tripala ad asse orizzontale di marca VESTAS, modello V150-6.0 MW ciascuno della potenza di 6,0 MW, per una potenza complessiva di 36,00 MW.

A tal fine ha affidato allo scrivente l'incarico per la redazione della Relazione Geologica. L'impianto sarà collegato in antenna a 36 kV con la sezione a 36 kV di una nuova Stazione di trasformazione 380/150/36 kV della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) (nel seguito "S.E. RTN") da inserire in entra-esce sulla linea RTN a 380 kV "Larino-Gissi".

Lo studio ha per obiettivo quello di definire le componenti litostratigrafiche e idrogeologiche che caratterizzano il sito stesso e l'area in cui esso ricade con l'individuazione delle caratteristiche fisiche dei terreni.

Al fine di ricostruire l'assetto litostratigrafico dell'area oggetto di studio e di una sua caratterizzazione geotecnica, si è proceduto:

- al rilevamento geologico di campagna di dettaglio;
- all'analisi di dati in possesso dello scrivente;
- all'analisi di dati e informazioni desunte da letteratura tecnica;
- all'esecuzione di un piano di investigazione costituito da
  - indagini indirette:
    - o n.6 profili sismici a rifrazione;
    - o n.6 profili sismici con metodologia MASW per caratterizzazione sismica con individuazione delle  $V_{s,eq}$ .

Questo studio rimanda ad un successivo piano di indagini da realizzare nell'ambito del progetto esecutivo e che preveda l'esecuzione nel punto di impianto dell'aerogeneratore di adeguate indagini in sito (sondaggi a carotaggio continuo fino a opportune profondità non inferiori a 20-30 m) e prove di laboratorio geotecnico su campioni, possibilmente indisturbati, da prelevare nel corso dei suddetti sondaggi.

Si fornisce, inoltre, un inquadramento geologico e morfologico-strutturale dei luoghi, si identificano le formazioni ed i litotipi presenti in sito, le caratteristiche geostrutturali del sottosuolo e le caratteristiche idrogeologiche anche in riferimento alla natura e collocazione della falda acquifera. I dati raccolti hanno consentito di caratterizzare in maniera soddisfacente i terreni coinvolti, salvo poi verificarne l'esatta corrispondenza prima dell'inizio dei lavori.

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.07

Le prospezioni geofisiche (indagine sismica passiva con metodologia MASW) sono state finalizzate all'individuazione della categoria di suolo come previsto dalle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 17.01.2018).

La presente è stata redatta in ottemperanza alle disposizioni dettate dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. del 17.01.2018.

## 2 COLLOCAZIONE GEOGRAFICA DELL'AREA

I centri abitati di Montenero di Bisaccia (CB), Montecilfone (CB), Petacciato (CB) e Guglionesi (CB), si trovano rispettivamente a circa 3,8 km, a 3,9 km a sud, a 5,0 km ed a 4,7 km dagli aerogeneratori ad essi più prossimi.

L'impianto eolico ricade in zona agricola, sul Foglio 154 della Carta d'Italia I.G.M. scala 1:25.000, Tav. I N.E. "S. Giacomo degli Schiavoni".

L'impianto eolico sarà realizzato su terreni identificati catastalmente come di seguito:

PIANO PARTICELLARE				
AEROGENERATORE	Comune	Provincia	Foglio	Particella
WTG 01	Guglionesi	CB	39	8
WTG 02	Guglionesi	CB	35	68
WTG 03	Guglionesi	CB	35	22
WTG 04	Guglionesi	CB	23	56
WTG 05	Guglionesi	CB	24	51
WTG 06	Guglionesi	CB	25	46

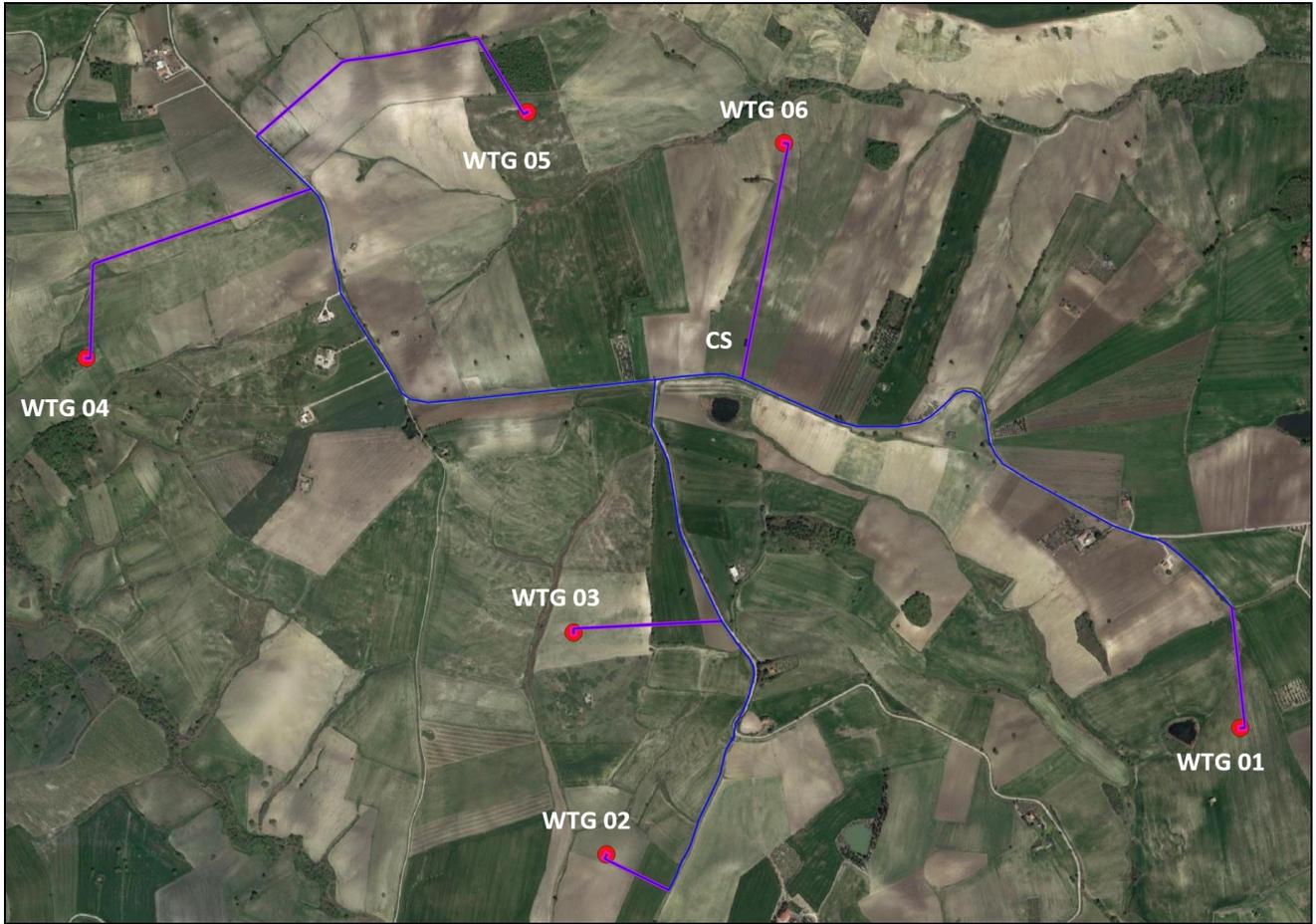
*Tab.1 - Piano particellare*

I singoli aerogeneratori sono individuati alle coordinate geografiche:

	Coordinate geografiche	
Aerogeneratore WTG 01	41°56'37.29"N	14°51'58.84"E
Aerogeneratore WTG 02	41°56'26.54"N	14°50'47.84"E
Aerogeneratore WTG 03	41°56'45.24"N	14°50'44.11"E
Aerogeneratore WTG 04	41°57'8.28"N	14°49'49.44"E
Aerogeneratore WTG 05	41°57'29.08"N	14°50'38.82"E
Aerogeneratore WTG 06	41°57'26.52"N	14°51'7.60"E

*Tab.2 -Localizzazione degli aerogeneratori di progetto*

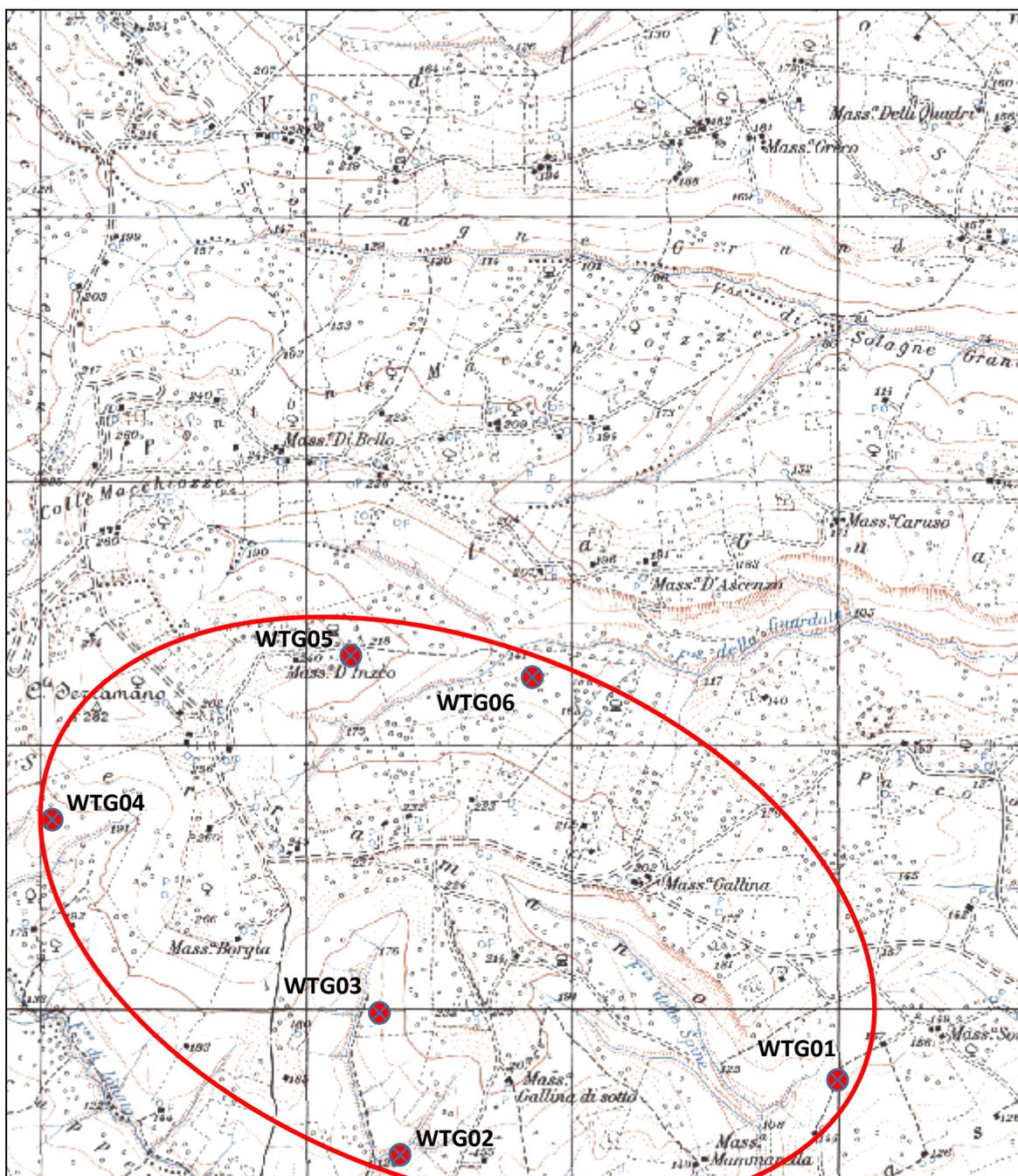
Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.07



**Figura 1 - Inquadramento territoriale delle opere su base ortofotografica**

## FIG. 2 - COROGRAFIA

Estratto del foglio 154 - Tav. "S. Giacomo degli Schiavoni" - Carta d'Italia I.G.M. - scala 1:25.000



UBICAZIONE DELLE AREE DI IMPIANTO

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.07

### 3 INQUADRAMENTO MORFOLOGICO E STRUTTURALE<sup>1</sup>

Le aree di impianto ricadono nel comune di Guglionesi (CB) il quale è posto, in s.s., alla quota 369 m s.l.m.

Spingendosi verso la costa adriatica a sud del Fiume Trigno, la caratteristica morfologica predominante è data da una serie di dossi collinari, di poche centinaia di metri di quota sul livello del mare, e dai fianchi dolcemente modellati, scendenti al fondo di vaste valli prive di asperità.

Ad est dei rilievi calcarei, si estende, sino al litorale adriatico, una fascia di terreni terziari e quaternari larga in media 40-50 Km. Il carattere di relativa plasticità proprio di tali terreni che assumono, di preferenza, un assetto tettonico di tipo plicativo, ha fatto del Molise una regione relativamente dolce dal punto di vista morfologico.

Talora, però, improvvisi e netti, visibili a distanza, si ergono, sparsi un po' dovunque e di preferenza alla sommità dei colli più blandamente modellati, dei costoni rocciosi a pareti subverticali, ultimi scarsi frammenti della più rigida coltre oligomiocenica, residui sfuggiti a quella intesa azione erosiva che gli agenti atmosferici hanno esercitata potentemente.

E' su questi picchi che sovente sono abbarbicati paesi e piccoli centri abitati.

Il Fiume Trigno compie, entro i limiti del foglio, un percorso di circa 44 Km, e riceve una serie di affluenti, sia da sinistra che da destra, di non grande portata.

Il bacino imbrifero del Trigno interessa, entro i confini del foglio «Larino», una superficie media di circa 720 Km<sup>2</sup>.

Le restanti due parti del territorio in esame sono morfologicamente più dolci e regolari della precedente.

La parte centrale, compresa tra il Fiume Trigno ed il Biferno, è la più uniforme e contiene i minori dislivelli relativi.

Il foglio «Larino», è quindi compreso in una regione di media collina, i cui massimi rilievi si trovano ad ovest ed a nord-ovest, mentre vaste aree pianeggianti sono situate in prevalenza nel settore nordorientale. La sua area è solcata da SO a NE, dai due più importanti fiumi, il Trigno ed il Biferno ed è dominata dai costoni rocciosi di Colle S. Silvestro e di Monte Pizzuto.

#### TETTONICA

L'attuale configurazione geologica dell'area è contraddistinta da terreni miocenici e pliocenici cui sedimenti sono dolcemente immergenti verso NE ed E.

<sup>1</sup> A. Balboni – Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia Scala 1:100.000 – Foglio 154 Larino

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.07

Le condizioni strutturali delle formazioni affioranti nel foglio «Larino» sono piuttosto complesse: da un lato, troviamo pieghe più o meno pronunciate, regolari od asimmetriche, e, dall'altro, una serie di faglie dirette ed inverse, a rigetto variabile e con piani di scorrimento diversamente orientati. Le tracce, però, risultano allineate secondo due direzioni preferenziali, tra loro incrociantesi quasi ad angolo retto.

L'andamento della rete idrografica, assai spesso, è impostata lungo linee di più facile erodibilità (faglie o assi delle pieghe).

Nei complessi calcarci, più rigidi, si manifesta, al contrario, una tettonica disgiuntiva.

#### PIEGHE

Gli assi delle pieghe principali sono, di regola, disposti secondo una direttrice comune, orientata da NNO a SSE. La piega più importante per la sua continuità, anche se faglie trasversali ne interrompono, talora, il regolare andamento, è quella sviluppantesi nella porzione meridionale del foglio verso l'angolo orientale. Questa, dai Tre Colli raggiunge Serre dopo l'interruzione causata dal gruppo di faglie della Pietra del Sanguine, e si sposta verso il Convento San Nazario ed il Monte Peloso, raggiungendo il fiume Biferno.

Più a nord si osservano la sinclinale di Cerro del Rucolo, la anticlinale dei colli di San Michele e del Monte di Larino, e la sinclinale della Difesa e del Vallone Fontanelli.

E' interessante notare una caratteristica regionale: sul fondo delle pieghe sinclinaliche è impostata la maggior parte degli affluenti dei fiumi principali: il loro corso pertanto, si sviluppa parallelamente agli assi delle pieghe stesse.

Le principali aste fluviali, invece, (e segnatamente il Treste, Trigno, il Biferno ed il Cigno), scorrono in senso trasversale alle pieghe: seguendo le linee di più facile erodibilità, rappresentate dalle maggiori faglie.

Nella parte nord-orientale del foglio, le pieghe diventano sempre più blande e con raggio di curvatura così grande, che i terreni da esse interessati sembrano aver subito solo dei sollevamenti verticali.

#### FAGLIE

Si osservano due sistemi principali di dislocazione, uno orientato da SO a NE, l'altro diretto circa da SSE a NNO.

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.07

Le faglie principali si dispongono secondo la prima direzione - anti-appenninica - e sono quelle che, per lunghi tratti almeno, hanno preparato la strada al Trigno, al Biferno ed al Cigno, ed a qualche altro corso d'acqua di minore importanza.

Le faglie minori (anche se più numerose) sono orientate, invece, da SSE a NNO.

Gli aerogeneratori secondo progetto risulteranno posti alle seguenti quote altimetriche:

AEROGENERATORE	QUOTA ALTIMETRICA (m)
WTG 01	148
WTG 02	141
WTG 03	174
WTG 04	185
WTG 05	222
WTG 06	159

**Tab.3 – Quote altimetriche punti di impianto degli aerogeneratori di progetto**

La *Carta della pericolosità da frana e da valanga* redatta nell'ambito del *Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del Biferno e minori*, evidenzia che l'area di studio è interessata da aree a Pericolosità da moderata a estremamente elevata. Per tale ragione la collocazione degli aerogeneratori di progetto ha tenuto in considerazione questa circostanza e gli stessi sono stati collocati in aree nelle quali lo studio non ha ravvisato alcuna pericolosità (cfr Fig. 3).

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.07

PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO DEL BIFERNO E MINORI  
**FIG. 3 - CARTA DELLA PERICOLOSITÀ DA FRANA E DA VALANGA - ASSETTO DI VERSANTE**



**Legenda**

● Aerogeneratori

- PF1
- PF2
- PF3

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.07

#### 4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Sulla base del rilevamento geologico condotto nell'area in esame, con riferimento alla cartografia ufficiale (cfr. Carta Geologica d'Italia 1:100.000 - Foglio 154 "Larino"), è possibile ricostruire come segue la successione stratigrafica presente.

L'area in questione è caratterizzata dalla presenza di depositi recenti che vanno dal Miocene al Pliocene.

All'interno del foglio interessato, nell'intorno del sito, si evidenzia una serie di formazioni stratigrafiche, così deposte<sup>2</sup>:

##### 4.1 "Complesso delle argille varicolori" PA

Si tratta di un complesso "insieme indifferenziato". Elemento predominante è l'argilla, spesso qualche migliaio di metri, alla cui costruzione, oltre ai minerali argillosi, partecipano una mica di tipo sericitico ed, inoltre, quarzo e feldspati. Caratterizzati da policromia, si passa da un rosso scuro ad un rosa, ad un grigio, ad un verde, ad un blu o azzurro e ad un giallo. Altra caratteristica è la scagliosità.

Le argille inglobano, di frequente, tipi litologici diversi quali ad esempio le arenarie brune (silicee), a granulometria variabile, sabbie biancastre, quarzoso-micacee, grossolane.

Possono presentarsi intercalazioni di calcari marnosi sottilmente stratificati, di spessore modesto, solitamente colorati di verde.

Non è possibile determinarne la potenza.

Queste intercalazioni favoriscono i movimenti franosi, perché al contatto tra le masse più rigide ed il sovrastante materiale plastico si possono originare, in presenza d'acqua, delle superfici di slittamento.

Nella parte più alta si passa ad una "scaglia rosata" marnosa, che mostra un'alternanza di strati di marne più o meno calcaree con potenza variabile tra pochi centimetri e 25-30.

Questo complesso è riferibile al Paleogene.

##### 4.2 "Sabbie argillose giallastre" Pa

Si tratta di sabbie argillose chiare, argille azzurre, argille marnose biancastre con macro e microfauna del Pliocene medio e superiore.

##### 4.3 "Sabbie grossolane giallastre" PQs

Si tratta di sabbie grossolane giallastre e sabbie stratificate a grana media passanti gradualmente verso il basso ad argille sabbiose grigio-giallastre.

<sup>2</sup> A. Balboni – Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia Scala 1:100.000 – Foglio 154 Larino

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.07

Sono attribuite al Calabriano.

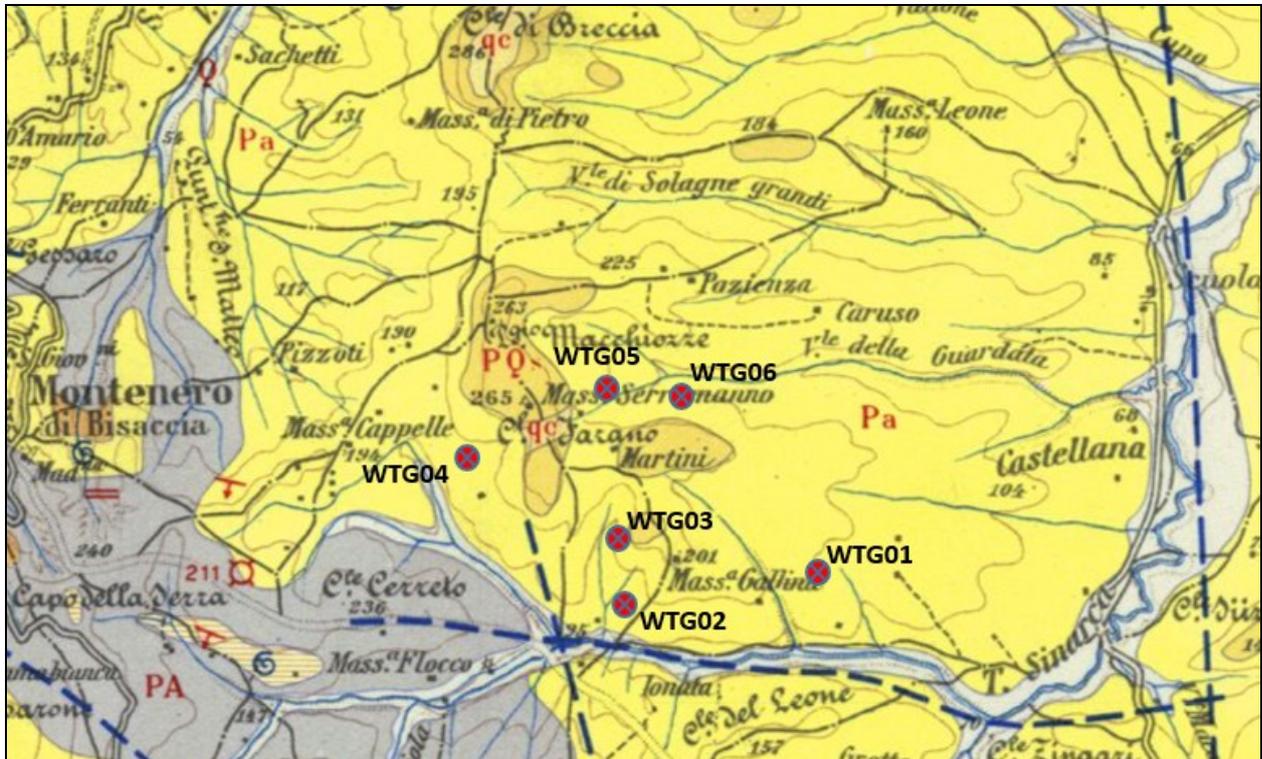
#### **4.4 “Conglomerati dei terrazzi marini” qc**

Sono caratterizzate da elementi calcarei grandi e medi, grossolanamente stratificati, con lenti e letti di sabbie giallastre talora ghiaiose e con concrezioni biancastre, fossilifere per la presenza di molluschi marini.

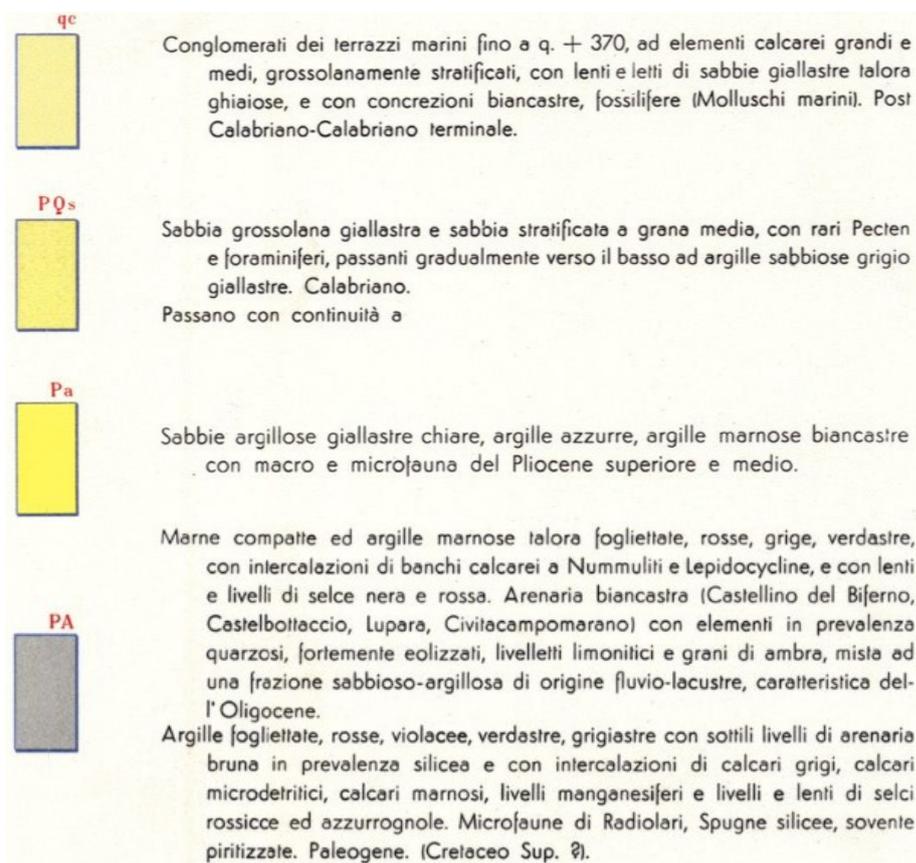
L'età attribuita è Calabriano-Calabriano terminale.

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.07

FIG. 4 - CARTA GEOLOGICA



 AEROGENERATORI



Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.07

## 5 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO<sup>3</sup>

Per quanto riguarda l'idrologia sotterranea, il comprensorio del foglio «Larino» riveste scarsa importanza.

La bassa permeabilità dei terreni non permette l'instaurarsi di falde acquifere di notevole interesse.

Le sorgenti, per quanto siano numerose, non danno che eccezionalmente portate abbondanti. Esse hanno di regola carattere di estrema variabilità, risentendo dei caratteri oscillatori delle precipitazioni regionali. Nei periodi estivi parecchie si riducono a dei modesti gemitivi, quando addirittura non si prosciugano totalmente per lunghi periodi di tempo. Le sorgenti sono ubicate, in prevalenza, al contatto tra la serie calcarea miocenica e il sottostante complesso prevalentemente argilloso. Quivi si rinvencono le maggiori portate e si concentra il maggior quantitativo di emungimenti.

La Fig. 5 riporta la CARATTERIZZAZIONE CORPI IDRICI SOTTERRANEI – TAV. T3 redatta nell'ambito del Piano di Tutela delle Acque della Regione Molise, dalla quale si evince che l'area in esame non ricade in nessun Complesso idrogeologico. La stessa evidenzia la presenza di sorgenti e sorgenti captate, ma non all'interno dell'area oggetto di studio.

Nel corso delle indagini eseguite, alle quote indagate, non sono state individuate evidenze che possano indicare la presenza di una falda freatica. Ciononostante, non si esclude la possibilità di una presenza di modeste falde superficiali sospese, anche a carattere stagionale, in stretta connessione con il regime pluviometrico.

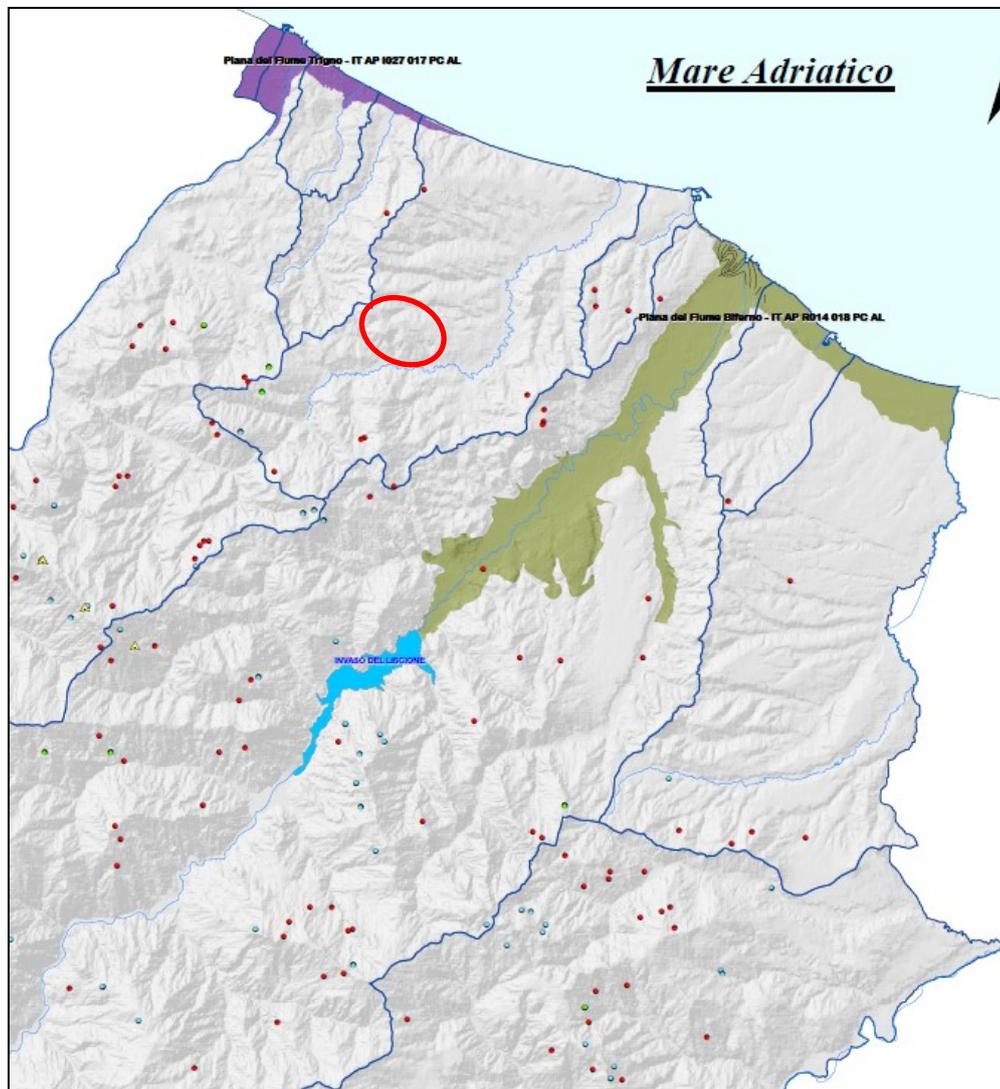
Nel corso dei sondaggi a carotaggio continuo che andranno eseguiti per il progetto esecutivo verranno verificate le quote di attestazione dei livelli statici delle falde riscontrate.

<sup>3</sup> A. Balboni – Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia Scala 1:100.000 – Foglio 154 Larino

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.07

FIG. 5 – CARATTERIZZAZIONE CORPI IDRICI SOTTERRANEI – TAV. T3

Piano di Tutela delle Acque della Regione Molise



**Legenda**

- corsi d'acqua
- invasi
- limiti regionali
- limiti di bacino
- ▲ campi pozzi
- sorgenti
- sorgenti captate
- sorgenti stagionali

 **UBICAZIONE DEL SITO OGGETTO DEL PRESENTE STUDIO**

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.07

## 6 INDAGINI ESEGUITE

Come affermato in premessa, per il riconoscimento delle caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni di fondazione sono state eseguite (dalla GEOPROVE S.r.l., nel mese di luglio 2023) le seguenti indagini indirette:

- n.6 profili sismici a rifrazione;
- n.6 profili sismici con metodologia MASW per caratterizzazione sismica con individuazione delle  $V_{s,eq}$ .

### 6.1 Profilo sismico a rifrazione

Per la ricostruzione stratigrafica e sismostratigrafica dell'area e per la caratterizzazione meccanica dei litotipi che si rinvencono nell'area interessata dalla realizzazione dell'impianto eolico sono stati eseguiti n.6 profili sismici a rifrazione (SR1, SR2, SR3, SR4, SR5, SR6) ognuno con uno stendimento di lunghezza pari a 33 m.

La sismica a rifrazione consente di valutare, sulla base della misura delle velocità di propagazione delle onde elastiche, le caratteristiche strutturali e di deformabilità dei terreni. Inoltre, permette di delimitare le coperture presenti (depositi eluvio-colluviali, materiale di riporto, ecc.).

L'indagine si basa sulla registrazione dei tempi di arrivo ad una serie di geofoni delle onde elastiche longitudinali generate da impatti sulla superficie del terreno.

Quando le onde sismiche incidono su di una superficie di discontinuità elastica (ovvero una superficie che separa due mezzi sovrapposti aventi natura e proprietà elastiche differenti) si verificano fenomeni di rifrazione e di riflessione. I raggi rifratti possono ritornare in superficie per cui, noti i tempi di percorrenza tra sorgente sonora e geofono, nonché la distanza tra questi due, è possibile calcolare la velocità di propagazione delle onde longitudinali in ciascun "mezzo sismico" attraversato e da questa risalire anche alle costanti elastiche.

L'elaborazione del profilo sismico è avvenuta mediante apposito algoritmo delle sezioni sismografiche. Tale metodo permette di individuare anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche, con un elevato potere risolutivo offrendo la possibilità di ricostruire stratigraficamente situazioni complesse, non risolvibili con differenti tecniche di indagine.

L'apparecchiatura adottata per l'esecuzione delle prospezioni è rappresentata da un sismografo 12 canali della Geometrics (Sismografo Modulare GEODE), costituito da una serie di geofoni di bassa frequenza regolarmente spazati lungo un determinato stendimento e da un sistema che registra l'istante di partenza del treno d'onda ed i tempi di arrivo delle onde a ciascun geofono. L'energizzazione del terreno è stata ottenuta per mezzo di una massa battente del peso di 5 Kg.

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.07

L'analisi dei sismogrammi ha consentito di ricavare i tempi di primo arrivo delle onde sismiche longitudinali tramite i quali sono stati ricavati i diagrammi distanza-tempo (dromocrone) utilizzati sia per il calcolo analitico delle velocità di propagazione delle onde elastiche, sia per l'interpretazione della struttura sotterranea e l'elaborazione della corrispondente sezione sismo-stratigrafica.

Per maggiori dettagli inerenti la tecnica utilizzata e la determinazione dei moduli elastici e delle caratteristiche meccaniche dei litotipi indagati si rimanda alla *Relazione conclusiva delle attività di indagine in sito* in *Allegati* al presente lavoro.

## **6.2 Profilo sismico con metodologia MASW**

Per la presentazione dell'indagine sismica con metodologia MASW si rimanda al Cap. 8 ed alla *Relazione conclusiva delle attività di indagine in sito* in *Allegati*.

**FIG. 6 - ORTOFOTO CON UBICAZIONE INDAGINI**



**Legenda**

**SR**    Profilo sismico tomografico a rifrazione

**MASW**

Profilo sismico con metodologia MASW

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.07

## 7 GEOLITOLOGIA E IDROGEOLOGIA DELL'AREA INTERESSATA DALL'IMPIANTO

### 7.1 Geolitologia e caratteristiche tecniche dei terreni

I profili sismici eseguiti in sito hanno permesso di ricostruire un modello che mette in evidenza i rapporti tra i diversi sismostrati in base ai tempi di arrivo delle onde sismiche.

In particolare i profili eseguiti, della lunghezza di 33 m ciascuno, hanno permesso di ricostruire un medesimo modello a due sismostrati:

- Il profilo sismico tomografico a rifrazione SR1, eseguito in corrispondenza dell'aerogeneratore di progetto WTG 01, ha segnalato la presenza nel sottosuolo di due sismostrati, il primo con uno spessore medio di circa 1,4 m caratterizzato da una velocità  $V_p$  di 300 m/s; il secondo, con una potenza di strato la cui litologia non varia fino alla profondità cui si è spinta la rilevazione strumentale del segnale, caratterizzato da una velocità media  $V_p$  di 600 m/s.
- Il profilo sismico tomografico a rifrazione SR2, eseguito in corrispondenza dell'aerogeneratore di progetto WTG 02, ha segnalato la presenza nel sottosuolo di due sismostrati, il primo con uno spessore medio di circa 2,0 m caratterizzato da una velocità  $V_p$  di 300 m/s; il secondo, con una potenza di strato la cui litologia non varia fino alla profondità cui si è spinta la rilevazione strumentale del segnale, caratterizzato da una velocità media  $V_p$  di 800 m/s.
- Il profilo sismico tomografico a rifrazione SR3, eseguito in corrispondenza dell'aerogeneratore di progetto WTG 03, ha segnalato la presenza nel sottosuolo di due sismostrati, il primo con uno spessore medio di circa 1,6 m caratterizzato da una velocità  $V_p$  di 300 m/s; il secondo, con una potenza di strato la cui litologia non varia fino alla profondità cui si è spinta la rilevazione strumentale del segnale, caratterizzato da una velocità media  $V_p$  di 700 m/s.
- Il profilo sismico tomografico a rifrazione SR4, eseguito in corrispondenza dell'aerogeneratore di progetto WTG 04, ha segnalato la presenza nel sottosuolo di due sismostrati, il primo con uno spessore medio di circa 1,3 m caratterizzato da una velocità  $V_p$  di 300 m/s; il secondo, con una potenza di strato la cui litologia non varia fino alla profondità cui si è spinta la rilevazione strumentale del segnale, caratterizzato da una velocità media  $V_p$  di 600 m/s.
- Il profilo sismico tomografico a rifrazione SR5, eseguito in corrispondenza dell'aerogeneratore di progetto WTG 05, ha segnalato la presenza nel

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.07

sottosuolo di due sismostrati, il primo con uno spessore medio di circa 1,2 m caratterizzato da una velocità  $V_p$  di 300 m/s; il secondo, con una potenza di strato la cui litologia non varia fino alla profondità cui si è spinta la rilevazione strumentale del segnale, caratterizzato da una velocità media  $V_p$  di 700 m/s.

- Il profilo sismico tomografico a rifrazione SR6, eseguito in corrispondenza dell'aerogeneratore di progetto **WTG 06**, ha segnalato la presenza nel sottosuolo di due sismostrati, il primo con uno spessore medio di circa 1,2 m caratterizzato da una velocità  $V_p$  di 300 m/s; il secondo, con una potenza di strato la cui litologia non varia fino alla profondità cui si è spinta la rilevazione strumentale del segnale, caratterizzato da una velocità media  $V_p$  di 800 m/s.

I profili sismici eseguiti in sito hanno consentito di ricostruire le sequenze stratigrafiche di massima, di seguito riportate, che si rinvencono nel sottosuolo.

Le quote indicate sono da considerarsi quali medie tra quelle emerse dall'osservazione delle singole sezioni sismostratigrafiche.

**Colonna stratigrafica SR1 (aerogeneratore WTG 01)**

0,00 m ÷ 1,40 m	terreno vegetale;
1,40 m ÷ prof. non indagata	sabbie limoso-argillose.

**Colonna stratigrafica SR2 (aerogeneratore WTG 02)**

0,00 m ÷ 2,00 m	terreno vegetale;
2,00 m ÷ prof. non indagata	sabbie limoso-argillose.

**Colonna stratigrafica SR3 (aerogeneratore WTG 03)**

0,00 m ÷ 1,60 m	terreno vegetale;
1,60 m ÷ prof. non indagata	sabbie limoso-argillose.

**Colonna stratigrafica SR4 (aerogeneratore WTG 04)**

0,00 m ÷ 1,30 m	terreno vegetale;
1,30 m ÷ prof. non indagata	sabbie limoso-argillose.

**Colonna stratigrafica SR5 (aerogeneratore WTG 05)**

0,00 m ÷ 1,20 m	terreno vegetale;
1,20 m ÷ prof. non indagata	sabbie limoso-argillose.

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.07

### Colonna stratigrafica SR6 (aerogeneratore WTG 06)

0,00 m ÷ 1,20 m	terreno vegetale;
1,20 m ÷ prof. non indagata	sabbie limoso-argillose.

Per le ricostruzioni delle sezioni sismostratigrafiche si rimanda alla *Relazione conclusiva delle attività di indagine in sito* in *Allegati*.

Le caratteristiche fisiche e geomeccaniche dei livelli individuati con i profili sismici, riportate all'interno della *Relazione conclusiva delle attività di indagine in sito* in *Allegati*, mostrano parametri meccanici discretamente omogenei, a parità di livello, nelle prove eseguite su terreni appartenenti alla medesima formazione.

Per quanto riguarda i cavidotti, i suoi passaggi interrati interesseranno il primo sismostrato (terreno vegetale) e, tutt'al più, la parte superiore del secondo sismostrato (sabbie limoso-argillose).

Nella Fig. 7 si riporta la colonna stratigrafica con i due livelli individuati nei profili sismici a rifrazione eseguiti da SR1 a SR6. Le quote riportate rappresentano le quote medie dei contatti individuati nelle diverse prove.

Nella tabella seguente vengono riportati i principali moduli e parametri desunti dalla misurazione delle velocità Vs e Vp nel corso dei profili sismici tomografici a rifrazione (cfr *Relazione conclusiva delle attività di indagine in Allegati*):

Strato	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	$\phi$ (°)	C (kg/cmq)	$\gamma$ (gr/cmc)	E (Kg/cmq)	$\eta$
1	300	150	23	0.00	1.40	50	0.40
2	600-800	250	27	0.02	2.00	117	0.36

Vp = vel. longit.; Vs = vel trasv.;  $\phi$  = angolo di attrito; C = coesione efficace;  
 $\gamma$  = peso per unità di volume; E = modulo elastico statico;  $\eta$  = coefficiente di poisson

**Tab. 4 – Parametri geotecnici e moduli correlati a Vp e Vs**



Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.07

## 8 CARATTERIZZAZIONE SISMICA: INDIVIDUAZIONE DELLA CATEGORIA DI SUOLO A MEZZO INDAGINE SISMICA CON LA METODOLOGIA MASW

### 8.1 Classificazione sismica

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 marzo 2003, pubblicata in G.U. n. 105 del 8-5-2003 - Suppl. Ordinario n.72, stabilisce che in prima applicazione, sino alle deliberazioni delle Regioni, le zone sismiche sono individuate sulla base del documento "Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale", elaborato dal Gruppo di Lavoro costituito sulla base della risoluzione della Commissione Nazionale di Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi nella seduta del 23 aprile 1997.

Tale "Proposta" individua le nuove zone sismiche (quattro) nelle quali è suddiviso l'intero territorio nazionale, classificando sismicamente ciascun comune in una delle quattro zone e comparando detta nuova classificazione con quella previgente. In proposito, si evidenzia che l'ordinanza 3274/03 attribuisce alle singole Regioni la facoltà di introdurre o meno l'obbligo della progettazione antisismica per quelle costruzioni da edificare sui rispettivi territori in zona sismica classificata 4 e per quegli edifici ed opere strategiche e rilevanti ai fini della protezione civile e dell'eventuale collasso degli stessi, da realizzare ex novo, di cui al DPCM 21/10/2003.

L'esercizio di tale ultima facoltà è consentito, grazie alle tante proroghe succedutesi, fino all'emanazione del D.M. 14/01/2008 "Approvazione delle nuove Norme Tecniche per le costruzioni" dove al comma 4 viene precisato che *"le indicazioni di cui ai punti precedenti non operano per le verifiche tecniche e le nuove progettazioni degli interventi relativi agli edifici di interesse strategico ed a particolari opere infrastrutturali..."*. Dall'entrata in vigore del decreto, la progettazione dovrà essere elaborata esclusivamente sulla base delle nuove norme tecniche dallo stesso approvate.

La Regione Molise ha recepito l'Ordinanza 3274/03 con la Legge Regionale n.13 del 2004, provvedendo alla riclassificazione sismica del territorio regionale molisano, operata estrapolando dall'Allegato A all'ordinanza 3274/03 i comuni molisani ivi classificati, riservandosi di provvedere definitivamente alla predetta riclassificazione sismica, successivamente all'intervenuta elaborazione della nuova mappa nazionale del rischio sismico a cura della competente Amministrazione statale. La riclassificazione sismica è stata aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale del Molise del 2 agosto 2006 n. 1171.

Secondo la suddetta riclassificazione il comune di Guglionesi ricade in zona sismica 3 (Zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti).

Per il sito oggetto del presente studio, la caratterizzazione sismica è stata eseguita con la modalità riportata nel paragrafo seguente.

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.07

## 8.2 Indagine sismica con metodologia MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$ , sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni nel caso specifico) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o, detto in maniera equivalente, la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo; onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW utilizzato è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo (tramite energizzazione con mazza battente allineata all'array geofonico) e misurate da uno stendimento lineare di sensori. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5-10 Hz e 70-100 Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30-50m, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

La metodologia utilizzata consiste in quattro fasi:

- acquisizione dei dati di campagna energizzando a più riprese e alternativamente ai due estremi dello stendimento geofonico;
- determinazione dello spettro di velocità sperimentale dal campo di moto acquisito nel dominio spazio-tempo lungo lo stendimento;
- calcolo della curva di dispersione attraverso il *picking* o la modellazione diretta;
- inversione della curva di dispersione per l'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$  e il parametro  $V_{s,eq}$ .

L'attrezzatura e la strumentazione utilizzata per l'indagine MASW sono costituite da:

- ✓ un sistema di energizzazione ad impatto verticale per le onde di Rayleigh costituito da una mazza battente verticalmente su piastra metallica posta direttamente sul piano di campagna per la generazione di onde Rayleigh;

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.07

- ✓ un sistema di ricezione costituito da 12 geofoni verticali;
- ✓ un sistema di acquisizione dati: costituito da un sismografo e da un notebook PC Windows XP con software di acquisizione dati;
- ✓ un sistema di trigger: consistente in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e di produrre un impulso che viene inviato a un sensore collegato al sistema di acquisizione dati.

### 8.3 Categoria del suolo di fondazione

Grazie alla tecnica descritta precedentemente è stato possibile giungere all'individuazione della categoria del sottosuolo per l'area indagata.

Nell'intorno di ciascun punto nel quale è prevista l'allocazione degli aerogeneratori è stato eseguito n.1 profilo di lunghezza pari a 33 m, per un totale di n.6 profili, di seguito denominati da **MASW1 a MASW6 (in corrispondenza degli aerogeneratori da WTG 01 a WTG 6).**

La  $V_{s,eq}$  è stata calcolata con la seguente espressione:

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

Da tale relazione sono emersi i seguenti valori di  $V_{s,eq}$ .

**MASW1: 270 m/s;**

**MASW2: 264 m/s;**

**MASW3: 341 m/s;**

**MASW4: 316 m/s;**

**MASW5: 281 m/s;**

**MASW6: 296 m/s;**

Per ogni categoria del suolo (A-B-C-D-E) è fissata una descrizione litostratigrafica, con ad essa associati i parametri di riferimento geotecnici e sismici.

Ai fini della definizione delle azioni sismiche secondo le nuove "Norme Tecniche per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni" il profilo stratigrafico dei terreni permette di classificare le zone oggetto di indagini come appartenenti a differenti categorie sismiche:

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.07

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

In questo lavoro i valori di  $V_{s,eq}$  ottenuti sono prossimi al valore soglia tra la categoria B e C; difatti, in base all'analisi dei profili sismici e delle correlazioni relative, si attribuiscono ai suoli di fondazione le seguenti categorie:

- **da MASW1 a MASW6 (in corrispondenza degli aerogeneratori da WTG 01 a WTG 06)**

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

Come premesso, con l'“Ordinanza” n° 3274 del 20 marzo 2003 della “Presidenza del Consiglio dei Ministri” sono state emanate le norme che definiscono i criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche ai sensi dell'Art. n° 93, 1g del Decreto Legislativo 112/1998 ai fini della formazione e dell'aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone da parte delle Regioni, ai sensi dell'Art. 94, 2a del medesimo decreto.

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.07

L' "Ordinanza Ministeriale" è stata recepita con la Legge Regionale n.13 del 2004 prima e, successivamente, con la Delibera della Giunta Regionale del Molise del 2 agosto 2006 n. 1171.

Sulla base di tale norma il comune di Guglionesi ricade in zona sismica 3 (Zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti):

Sulla base delle recenti disposizioni previste dalle "Norme Tecniche per le Costruzioni" (17/01/2018) si definiscono, per l'opera in progetto, i seguenti parametri sismici:

Lotto ricadente nel comune di Guglionesi

Codice ISTAT: 070029

Coordinate sito progetto

Longitudine = 14.847670°E;

Latitudine = 41.950474°N.

Nodi intorno al sito: 28103 28325 28326 28104

Vita nominale dell'opera: VN = 50 anni.

Classe d'uso: III

Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  per i periodi di ritorno TR associati a ciascun Stato Limite:

Periodo di ritorno $T_r$ (anni)		Parametri di pericolosità sismica		
		$a_g$ (g/10)	$F_0$ (adim)	$T_c^*$ (sec)
SLD	45	0.50359992	2.47001470	0.32207852
SLD	75	0.61786907	2.53298108	0.34558765
SLV	712	1.42147255	2.60247067	0.41091137
SLC	1462	1.79209944	2.59797803	0.43243595

**Tab. 5 – Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  per i Periodi di ritorno TR associati a ciascun Stato Limite**

Dai valori ottenuti è possibile ricavare gli spettri da utilizzare per l'analisi sismica della struttura.

Dove: SL = Stato Limite considerato;  $T_r$  = Tempo di ritorno (anni);  $a_g$  = Accelerazione orizzontale massima al sito;  $F_0$  = 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.

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.07

<b>Popolazione residente</b>	<b>4.881</b>
<b>Densità per Km<sup>2</sup> (Istat 2017)</b>	<b>48,35</b>
<b>Zona sismica (D.G.R. Molise n.1172/2006)</b>	<b>3</b>

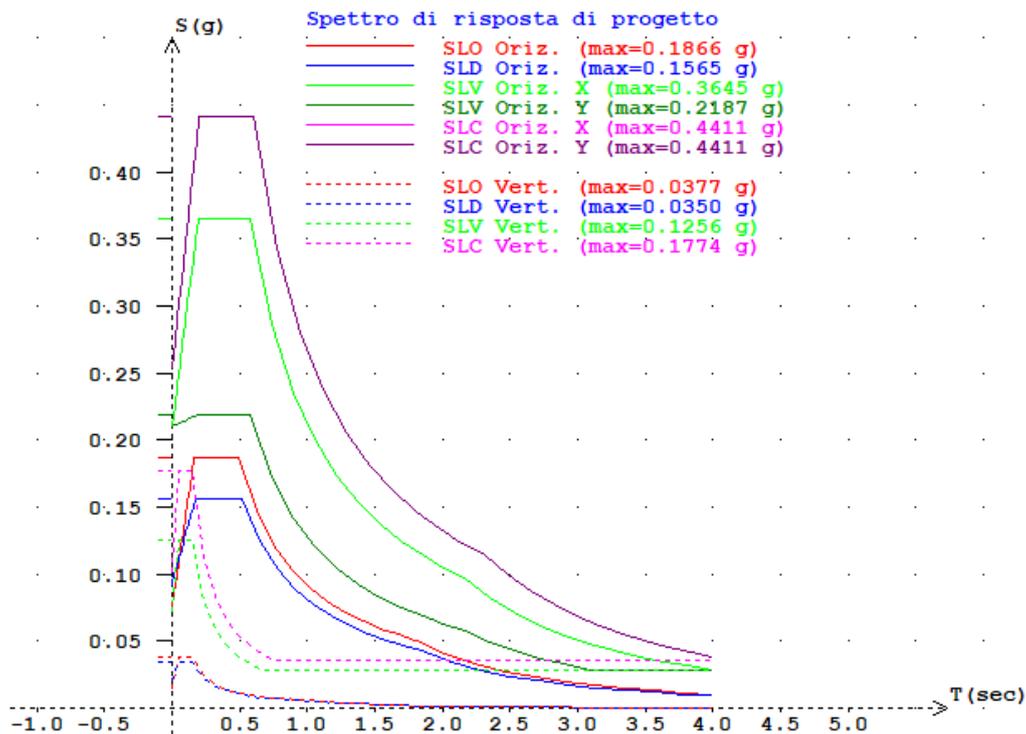


Fig. 8 - Spettri di risposta sismica di progetto - Guglionesi (CB)

Le elaborazioni riportate sono state effettuate con il software *Spettri ver. 2.3* della *Ingegneria Soft.com*.

Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.07

## 9 CONCLUSIONI

La Società V-RIDIUM WIND MOLISE 4 S.r.l. (nel seguito "Proponente"), intende realizzare, in area agricola del Comune di Guglionesi (CB), un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica (nel seguito "impianto eolico") costituito da n. 6 aerogeneratori (WTG) tripala ad asse orizzontale di marca VESTAS, modello V150-6.0 MW ciascuno della potenza di 6,0 MW, per una potenza complessiva di 36,00 MW.

A tal fine ha affidato allo scrivente l'incarico per la redazione della Relazione Geologica. L'impianto sarà collegato in antenna a 36 kV con la sezione a 36 kV di una nuova Stazione di trasformazione 380/150/36 kV della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) (nel seguito "S.E. RTN") da inserire in entra-esce sulla linea RTN a 380 kV "Larino-Gissi".

La ricostruzione dell'assetto litostratigrafico dell'area oggetto di studio e la sua caratterizzazione geologica sono stati ottenuti per mezzo di:

- rilevamento geologico di campagna di dettaglio;
- analisi di dati in possesso dello scrivente;
- analisi di dati e informazioni desunte da letteratura tecnica;
- esecuzione di un piano di investigazione costituito da
  - indagini indirette:
    - o n.6 profili sismici a rifrazione;
    - o n.6 profili sismici con metodologia MASW per caratterizzazione sismica con individuazione delle Vs,eq.

Lo studio ha evidenziato che:

- la successione stratigrafica dei terreni in sito può essere ricostruita nel seguente modo:

### **Colonna stratigrafica SR1 (aerogeneratore WTG 01)**

0,00 m ÷ 1,40 m	terreno vegetale;
1,40 m ÷ prof. non indagata	sabbie limoso-argillose.

### **Colonna stratigrafica SR2 (aerogeneratore WTG 02)**

0,00 m ÷ 2,00 m	terreno vegetale;
2,00 m ÷ prof. non indagata	sabbie limoso-argillose.

### **Colonna stratigrafica SR3 (aerogeneratore WTG 03)**

0,00 m ÷ 1,60 m	terreno vegetale;
1,60 m ÷ prof. non indagata	sabbie limoso-argillose.



Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.07

- Secondo la Delibera della Giunta Regionale del Molise del 2 agosto 2006 n. 1171, il comune di Guglionesi ricade in zona sismica 3 (Zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti).

Durante l'esecuzione degli scavi è necessaria l'adozione di strutture di sostegno partendo dal presupposto che le azioni dovute al terreno, all'acqua ed ai sovraccarichi anche transitori devono essere calcolate e composte in modo da pervenire di volta in volta alle condizioni più sfavorevoli.

Dovendo sempre supporre un certo grado di imprevedibilità che è proprio delle formazioni geolitologiche, il progettista e/o direttore dei lavori deve verificare, in fase esecutiva, la rispondenza tra quanto previsto e l'effettiva situazione riscontrata, differendo, in caso contrario, le soluzioni progettuali sulla scorta di ulteriori indagini.

**Questo studio rimanda ad un successivo piano di indagini da realizzare nell'ambito del progetto esecutivo e che preveda l'esecuzione nel punto di impianto dell'aerogeneratore di adeguate indagini in sito (sondaggi a carotaggio continuo fino a opportune profondità non inferiori a 20-30 m) e prove di laboratorio geotecnico su campioni, possibilmente indisturbati, da prelevare nel corso dei suddetti sondaggi.**

Brindisi, novembre 2023

dott. geol. Francesco Caldarone




Codice Progetto	Oggetto	Codice Elaborato
ITW2MB	IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW	R.07

## ALLEGATI

COMUNE DI GUGLIONESI  
PROVINCIA DI CAMPOBASSO  
REGIONE MOLISE

IMPIANTO EOLICO DI POTENZA PARI A 36 MW

RELAZIONE CONCLUSIVA DELLE ATTIVITA' DI INDAGINE IN SITU

COMMITTENTE: V-RIDIUM WIND MOLISE 4 S.R.L.



Dott. Marcello De Donatis

Dott. Geol.  
DE DONATIS  
MARCELLO  
N. 350

Luglio 2023

## ***INDICE***

<i>PREMESSA</i> .....	2
<i>INDAGINE GEOGNOSTICA</i> .....	3
<i>Profili sismici a rifrazione</i> .....	4
<i>Sismica con metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)</i> .....	25

## **PREMESSA**

Nel mese di luglio 2023, la Società Geoprove S.r.l. di Ruffano, eseguiva delle indagini allo scopo di ricostruire il modello geologico-stratigrafico e di caratterizzare meccanicamente e sismicamente un'area interessata dal progetto situato nel Comune di Montenero di Bisaccia.

La campagna d'indagini è stata effettuata in conformità al D.M. 17.01.2018 ed è stata finalizzata alla raccolta di dati qualitativi e quantitativi occorrenti per la previsione del comportamento dell'opera in rapporto alle caratteristiche del terreno.

Sono stati pertanto eseguiti:

- n.6 profili sismici a rifrazione;
- n.6 profili sismici con metodologia MASW.

## **INDAGINE GEOGNOSTICA**

L'indagine è stata effettuata in conformità al D.M. 17.01.2018 ed è stata finalizzata alla raccolta di dati qualitativi e quantitativi di supporto alla progettazione.

L'indagine è consistita nell'esecuzione di:

- n.6 profili sismici a rifrazione;
- n.6 profili sismici con metodologia MASW.

---

## ***Profili sismici a rifrazione***

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

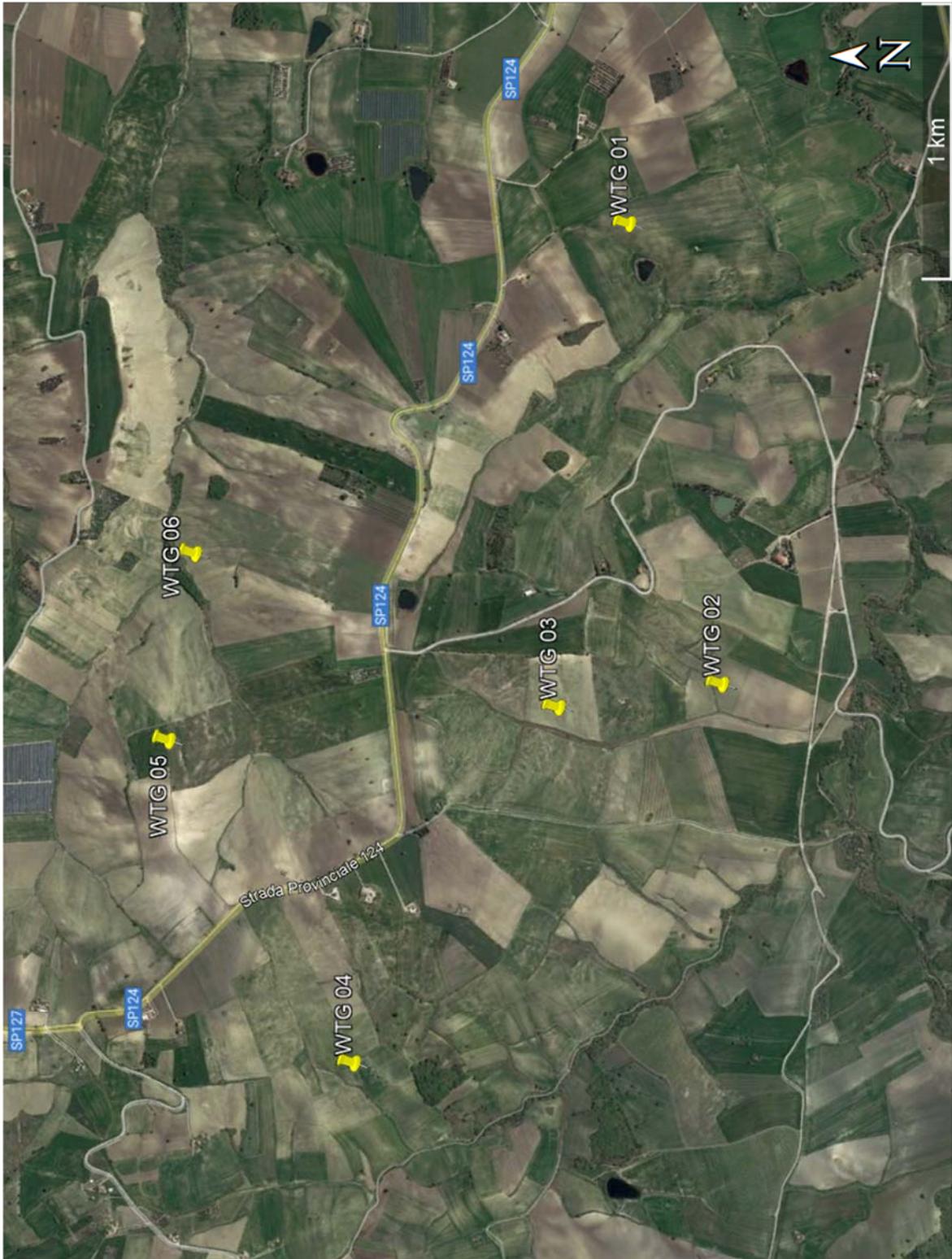
I dati così ottenuti si riportano su diagrammi cartesiani aventi in ascissa le distanze e in ordinata i tempi dei primi arrivi dell'onda proveniente dalla sorgente. In questo modo si ottengono delle curve (dromocrone) che, in base ad una metodologia interpretativa basata essenzialmente sulla legge di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

I profili sismici sono stati eseguiti adottando una distanza tra i geofoni di 3 metri; in totale sono stati eseguiti 6 profili così come riportati nella planimetria seguente.

L'energizzazione è stata ottenuta utilizzando una massa battente del peso di 5 kg ed una piastra rettangolare.

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

Per quanto riguarda l'interpretazione dei dati di campagna, essa è stata eseguita tramite l'applicazione congiunta e computerizzata del metodo di Palmer e delle intercette.



Ubicazione indagini sismiche

**Profilo sismico WTG 01** Coordinate geografiche :

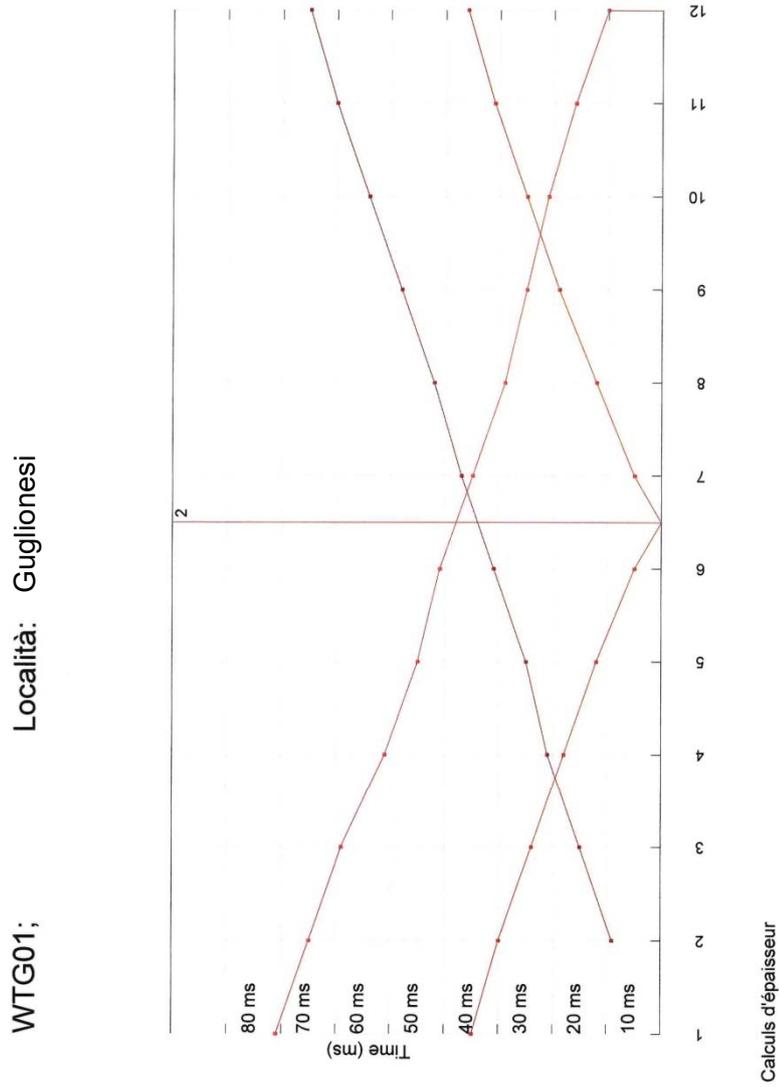
Latitudine : 41.943693°

Longitudine : 14.866343°

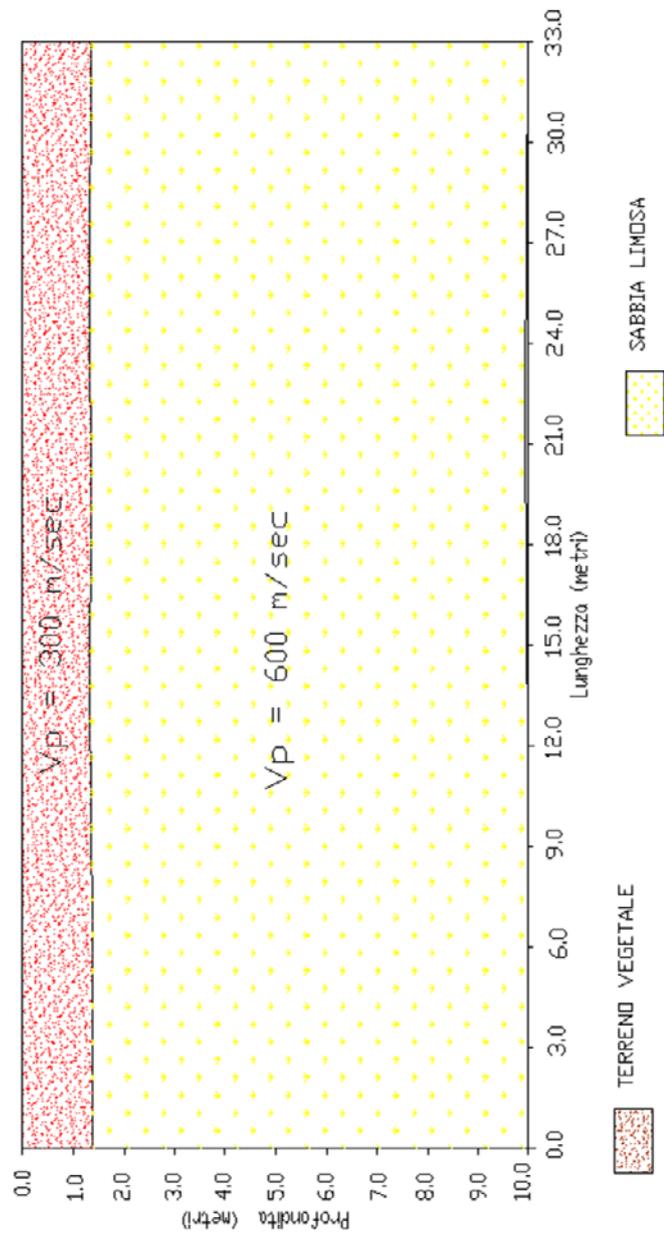
Il profilo sismico a rifrazione 1-1' ha permesso di ricostruire un modello a due sismostrati: in affioramento, per uno spessore massimo di circa 1.4 metri si rinviene il primo sismostrato che caratterizzato da una velocità  $V_p$  di 300 m/sec è riconducibile a terreno vegetale; segue il secondo sismostrato che ha restituito delle velocità di  $V_p$  di 600 m/sec; tali velocità sono da attribuire ad una litologia caratterizzata da sabbie limoso-argillose.



*Esecuzione profilo sismico a rifrazione 1*



PROFILLO SISMICO A RIFRAZIONE WTG 01



**Profilo sismico WTG 02** Coordinate geografiche :

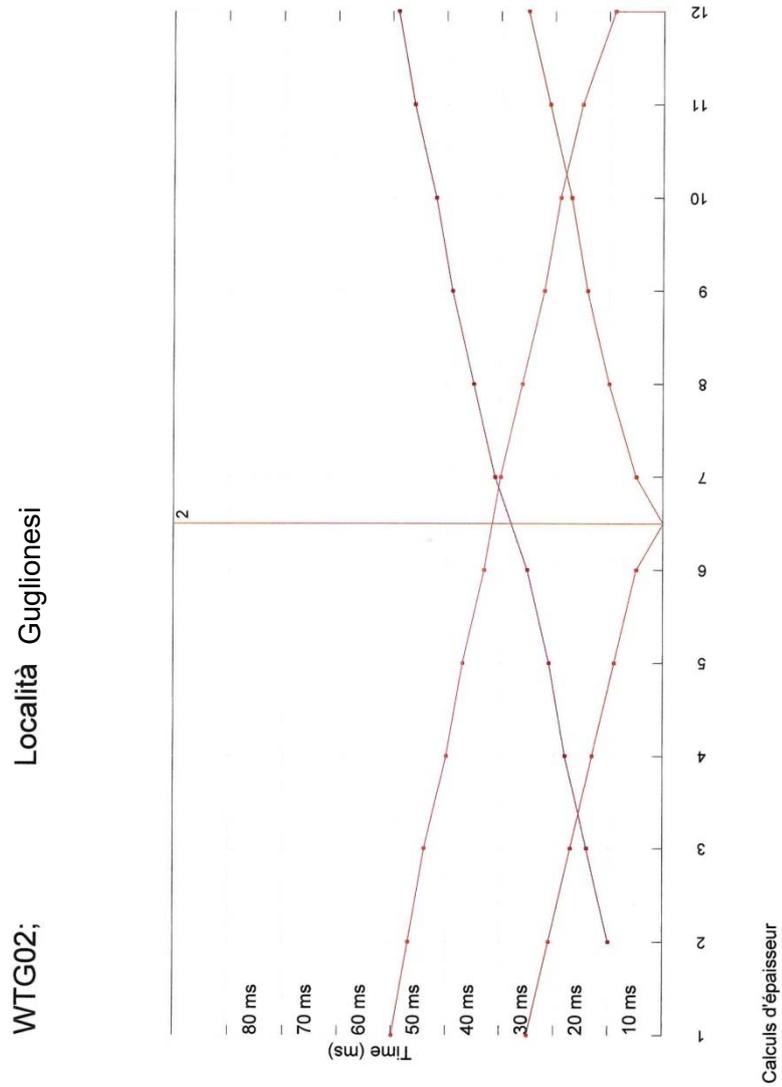
Latitudine : 41.940705°

Longitudine : 14.846622°

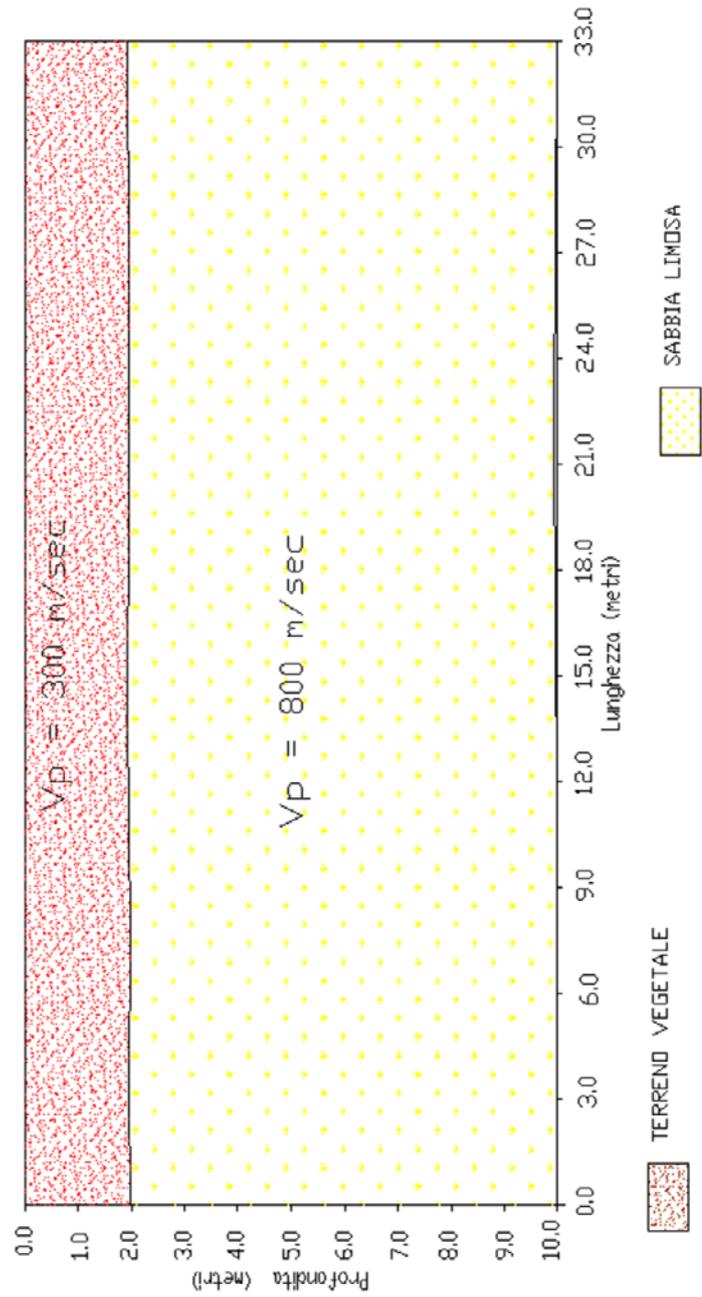
Il profilo sismico a rifrazione 2-2' ha permesso di ricostruire un modello a due sismostrati: in affioramento, per uno spessore massimo di circa 2.0 metri si rinviene il terreno vegetale al quale seguono sabbie limoso-argillose caratterizzate da una velocità  $V_p$  di 800 m/sec .



*Esecuzione profilo sismico a rifrazione 2*



PROFILLO SISMICO A RIFRAZIONE WTG 02



**Profilo sismico WTG 03** Coordinate geografiche :

Latitudine : 41.945899°

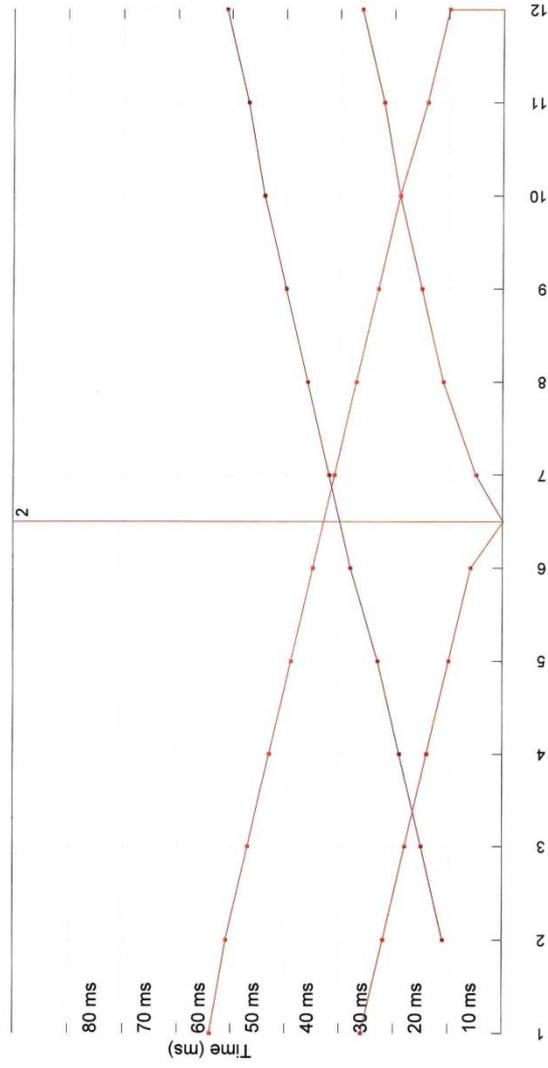
Longitudine : 14.845587°

Il profilo sismico a rifrazione 3.-3' ha permesso di ricostruire un modello a due sismostrati: in affioramento, per uno spessore massimo di circa 1.6 metri si rinviene il primo sismostrato che caratterizzato da una velocità  $V_p$  di 300 m/sec è riconducibile a terreno vegetale; segue il secondo sismostrato che ha restituito delle velocità di  $V_p$  di 700 m/sec; tali velocità sono da attribuire ad una litologia caratterizzata da sabbie limoso-argillose.



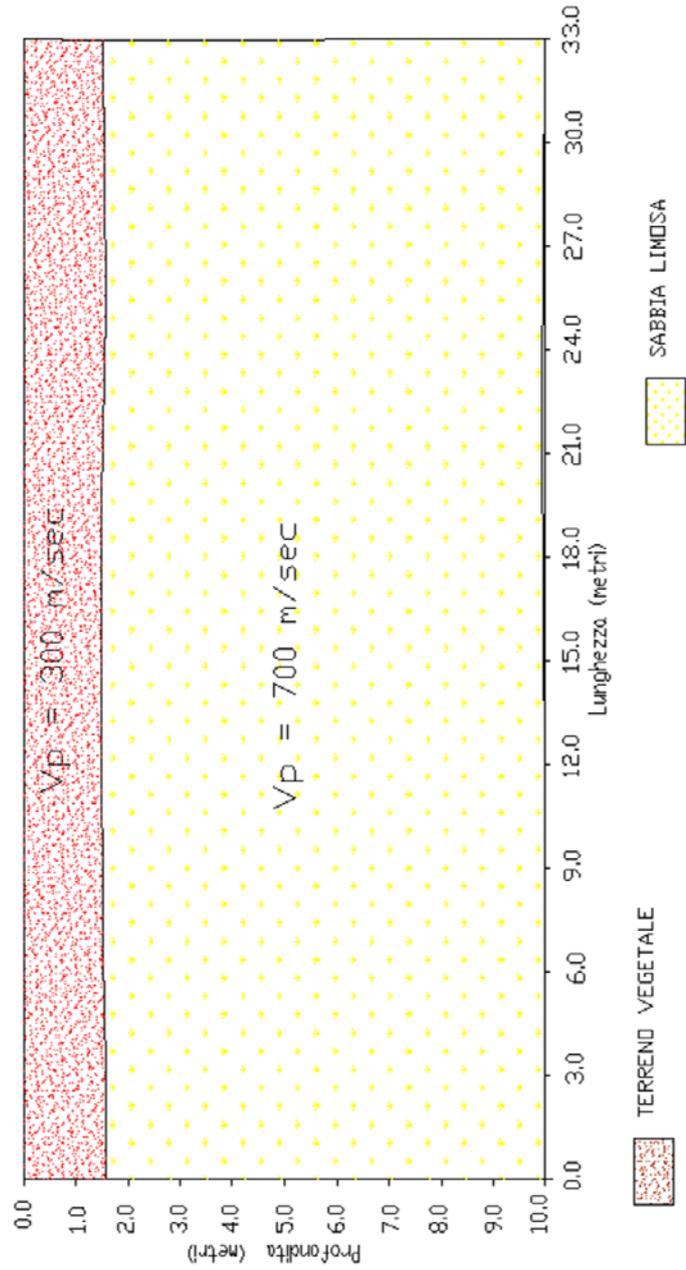
*Esecuzione profilo sismico a rifrazione 3*

WTG03; Località: Guglionesi



Calculus of thickness

PROFILLO SISMICO A RIFRAZIONE WTG 03



**Profilo sismico WTG 04** Coordinate geografiche :

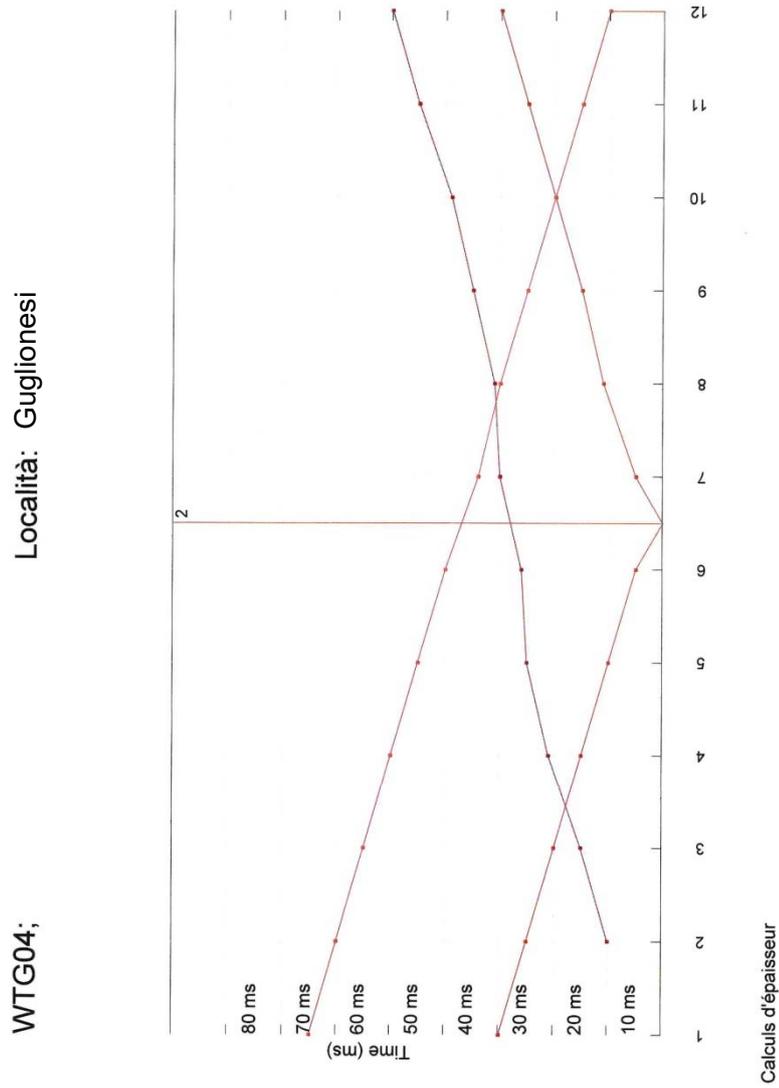
Latitudine : 41.952301°

Longitudine : 14.830400°

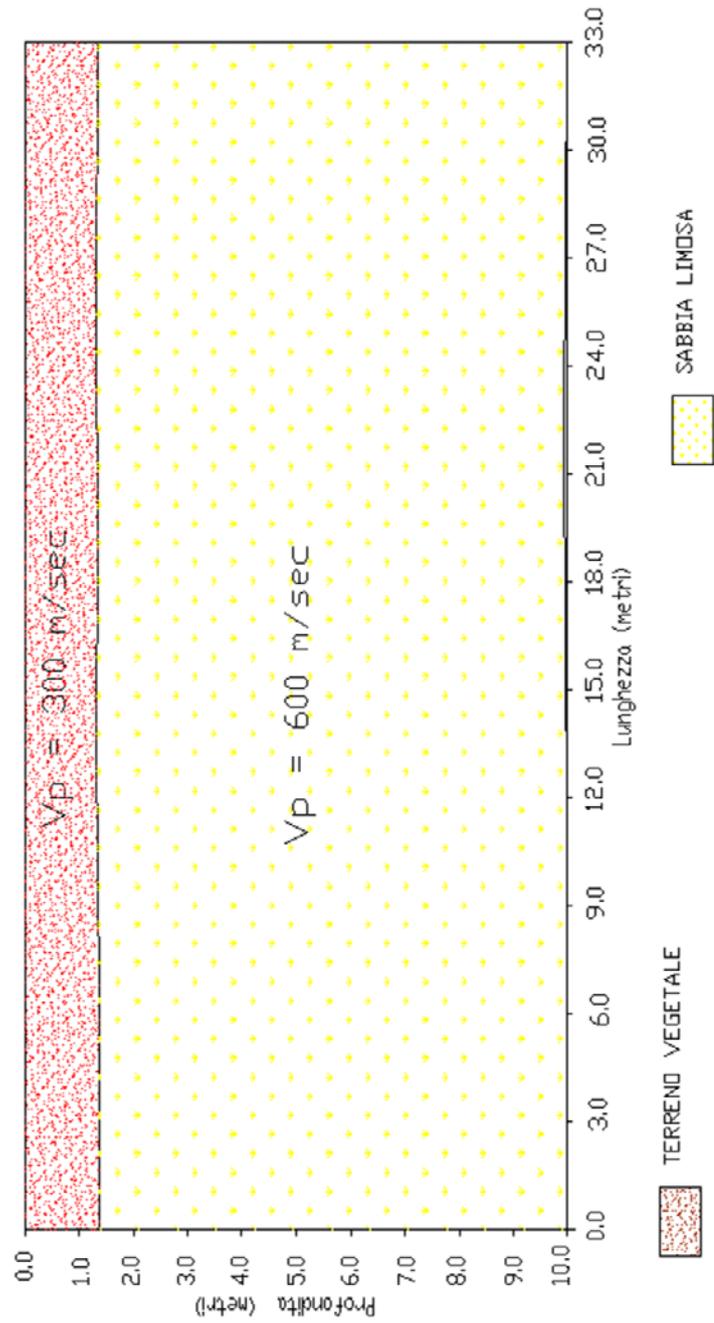
Il profilo sismico a rifrazione 4-4' ha permesso di ricostruire un modello a due sismostrati: in affioramento, per uno spessore massimo di circa 1.3 metri si rinviene il terreno vegetale con una velocità  $V_p$  di 300 m/sec; segue il secondo sismostrato che ha restituito delle velocità di  $V_p$  di 600 m/sec da attribuire ad una litologia caratterizzata da sabbie limoso-argillose.



*Esecuzione profilo sismico a rifrazione 4*



PROFILLO SISMICO A RIFRAZIONE WTG 04



**Profilo sismico WTG 05** Coordinate geografiche :

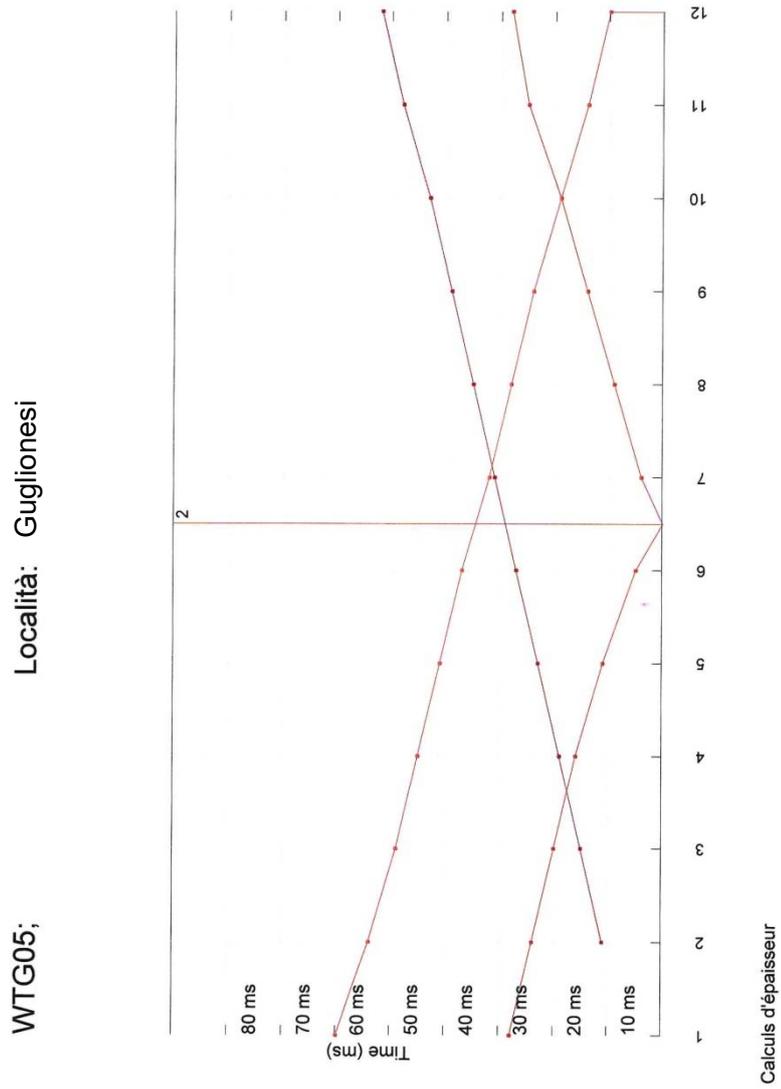
Latitudine : 41.958078°

Longitudine : 14.844344°

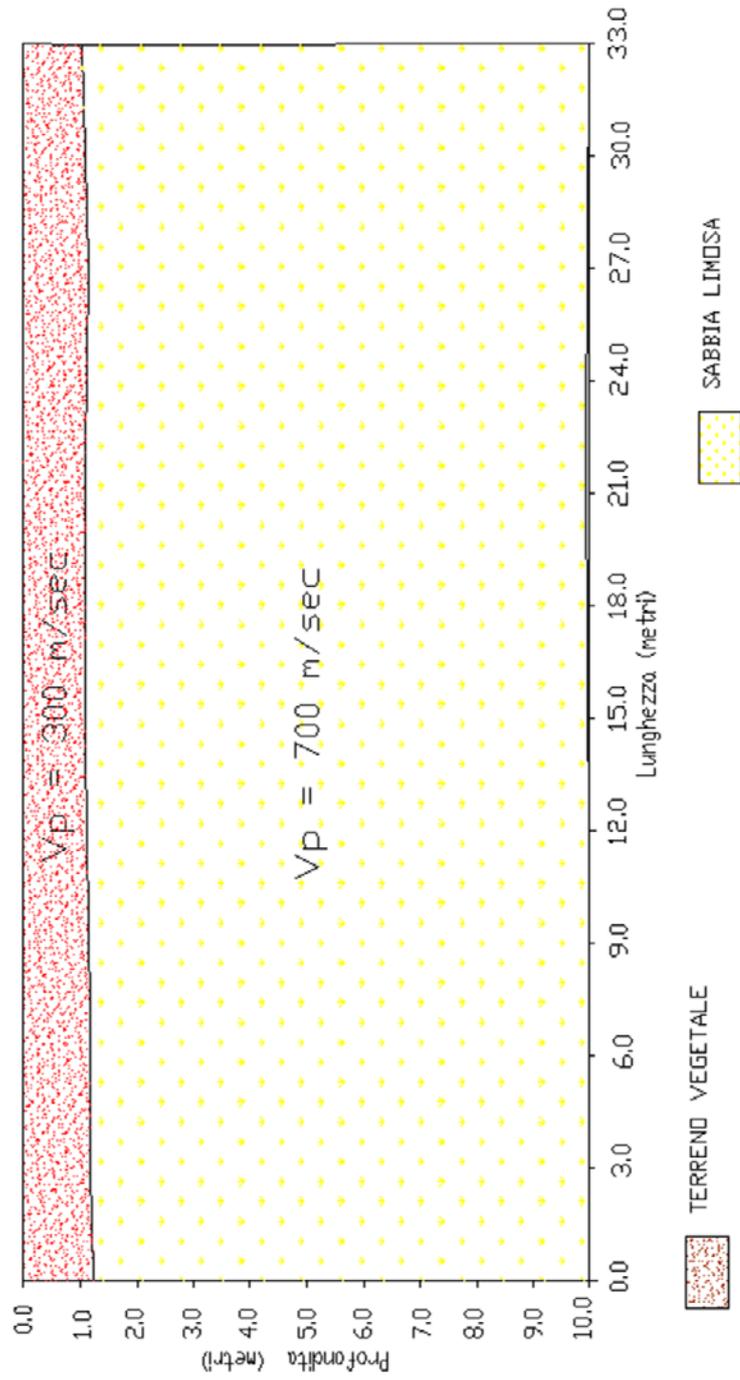
Il profilo sismico a rifrazione 5-5' ha permesso di ricostruire un modello a due sismostrati: in affioramento, per uno spessore massimo di circa 1.2 metri si rinviene il primo sismostrato che caratterizzato da una velocità  $V_p$  di 300 m/sec è riconducibile a terreno vegetale; segue il secondo sismostrato che ha restituito delle velocità di  $V_p$  di 700 m/sec, litologia caratterizzata da sabbie limoso-argillose.



*Esecuzione profilo sismico a rifrazione 5*



PROFILLO SISMICO A RIFRAZIONE WTG 05



**Profilo sismico WTG 06** Coordinate geografiche :

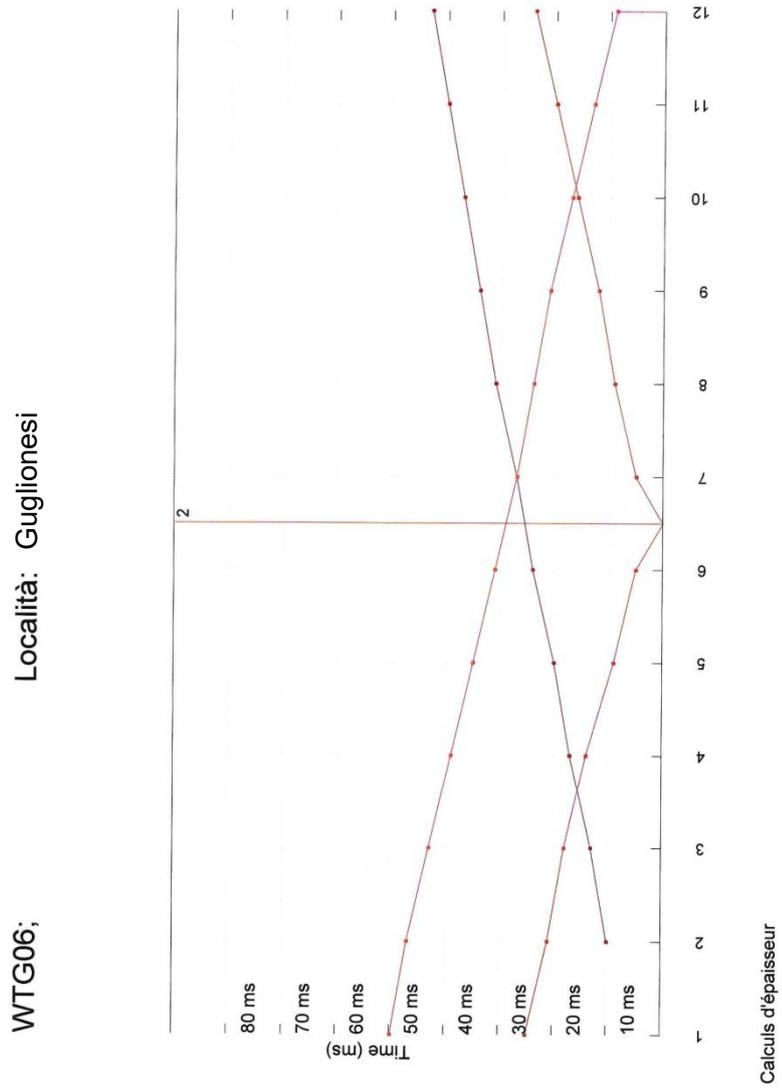
Latitudine : 41.955900°

Longitudine : 14.852700°

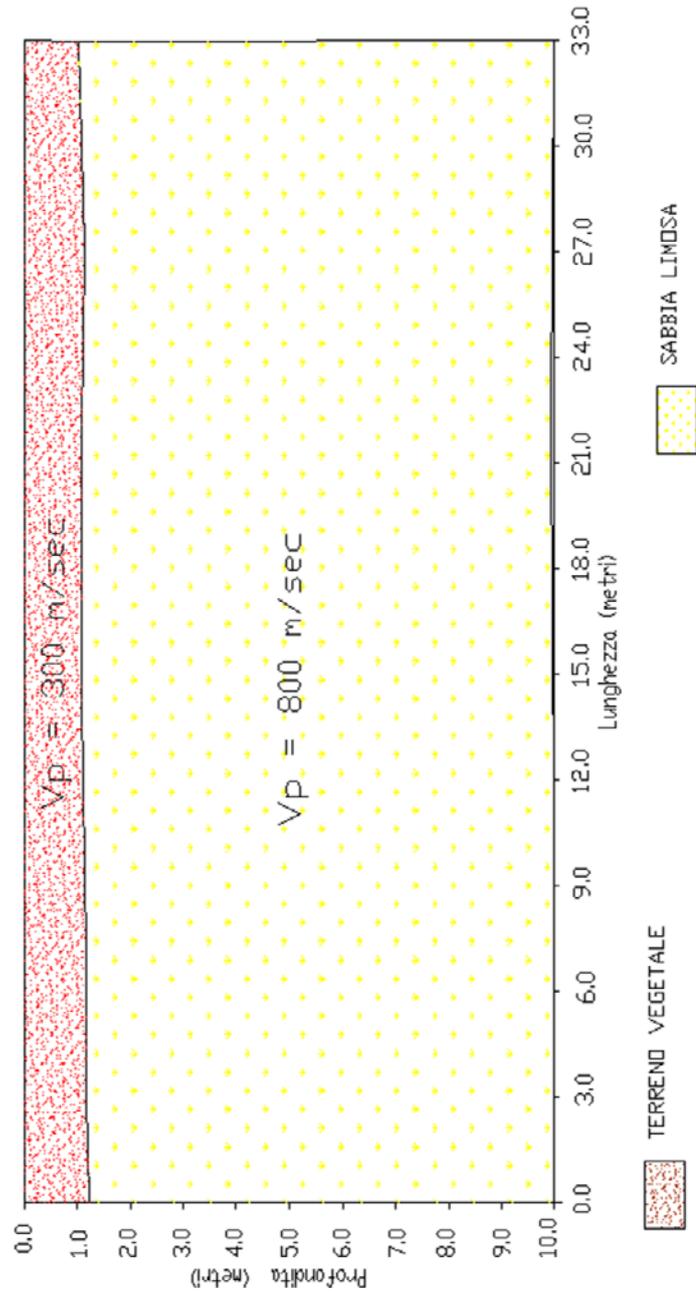
Il profilo sismico a rifrazione 6-6' ha permesso di ricostruire un modello a due sismostrati: in affioramento, con  $V_p$  di 300 m/sec si rinviene il primo sismostrato riconducibile a terreno vegetale; segue, alla profondità di 1.2 metri, il secondo sismostrato che ha restituito delle velocità di  $V_p$  di 800 m/sec da attribuire a sabbie limoso-argillose.



*Esecuzione profilo sismico a rifrazione 6*



PROFILLO SISMICO A RIFRAZIONE WTG 06



Dalla misurazione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$ , si è risaliti ai seguenti parametri.

Strato	$V_p$ (m/sec)	$V_s$ (m/sec)	$\phi$ (°)	C (kg/cmq)	$\gamma$ (gr/cm <sup>3</sup> )	E (Kg/cmq)	$\eta$
1	300	150	23	0.00	1.40	50	0.40
2	600-800	250	27	0.02	2.00	117	0.36

$V_p$  = vel. longit.;  $V_s$  = vel trasv.;  $\phi$  = angolo di attrito; C = coesione efficace;  
 $\gamma$  = peso per unità di volume; E = modulo elastico statico;  $\eta$  = coefficiente di poisson

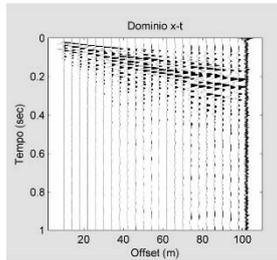
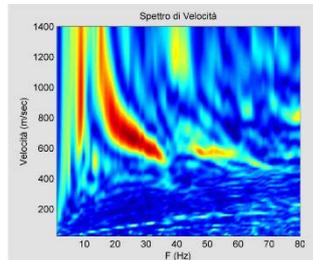
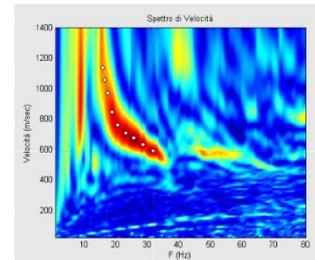
### ***Sismica con metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)***

Per individuare la categoria sismica del suolo di fondazione dell'area investigata sono state eseguite delle indagini sismiche con metodologia MASW.

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

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

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

**Prima parte: determinazione curva di dispersione****Determinazione Spettro di Velocità****A) Caricamento dati****B) Calcolo spettro di velocità****C) Picking della curva di dispersione****Seconda parte: inversione della curva di dispersione****Inversione delle Curve di Dispersione****A) Fissare parametri di inversione**

secondo passo - definizione numero di strati

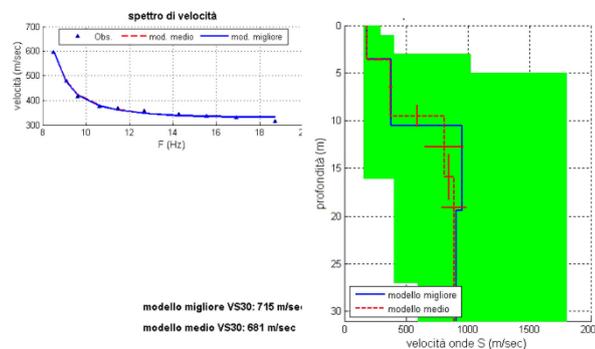
numero di strati:

menu genetico

numero di individui (min 6 - max 10000):

numero di generazioni (min 10 - max 400):

	velocità minima (m/sec)	velocità massima (m/sec)	spessore minimo (m)	spessore massimo (m)
1° strato	257.948	572.628	0.16174	17.4894
2° strato	298.049	1021.62	0.16174	17.4894
semispazio	196.333	1570.66	Semispazio	

**B) Lanciare l'inversione ed attendere il risultato**

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

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

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

---

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

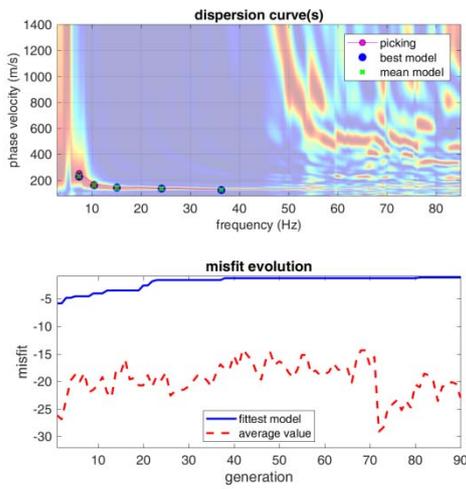
In altre parole, i metodi lineari richiedono che il modello di partenza sia già di per sé vicinissimo alla soluzione reale. In caso contrario il rischio è quello di fornire soluzioni erranee.

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

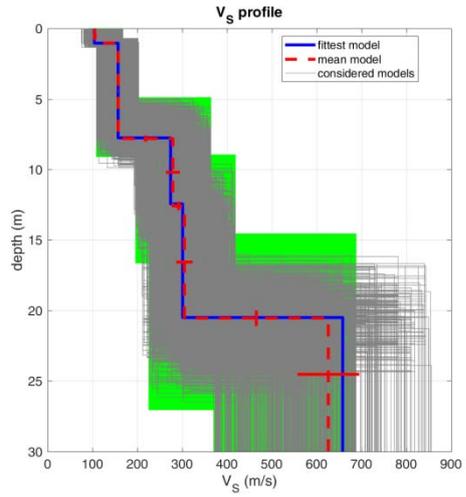
La  $V_{s_{eq}}$  è stata calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s_{eq}} = \frac{H}{\sum h_i/V_i}$$

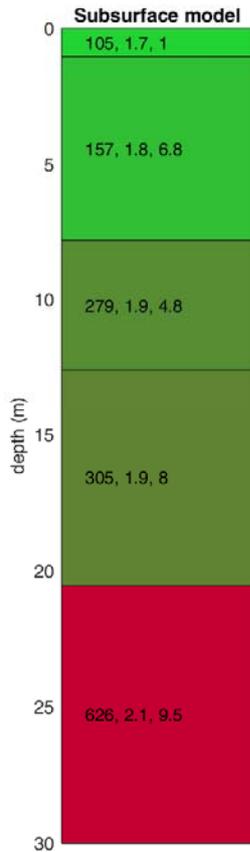
## Profilo sismico Masw 1



[www.wlmmasw.com](http://www.wlmmasw.com)

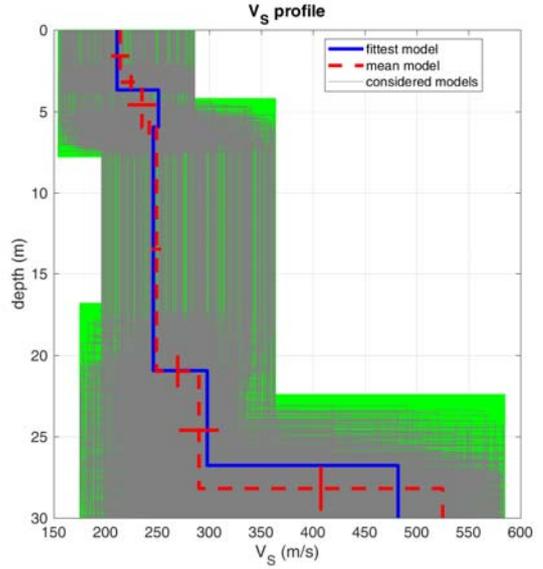
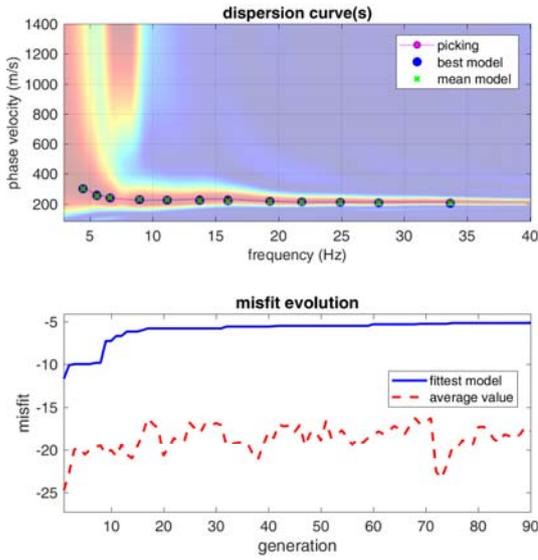


dataset: 81.dat  
 dispersion curve: p.cdp  
 Vs30 & VsE (best model): 270 270 m/s  
 Vs30 & VsE (mean model): 270 270 m/s



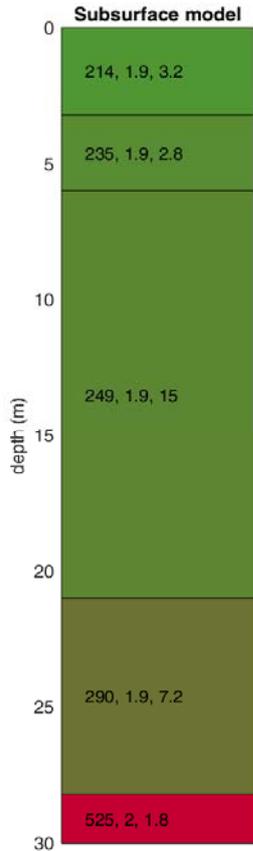
V<sub>s</sub> density thickness  
 (m/s) (g/cm<sup>3</sup>) (m)

## Profilo sismico Masw 2



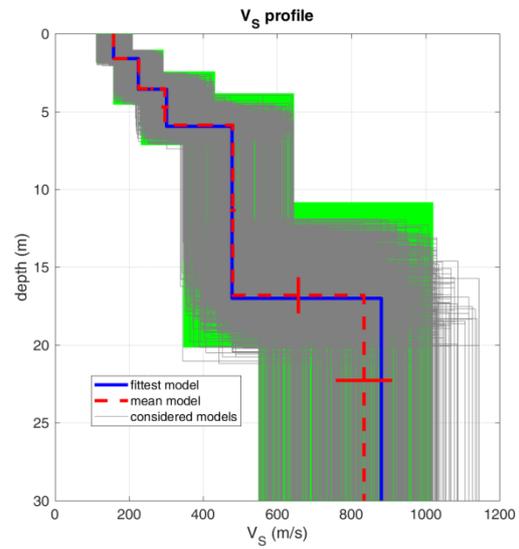
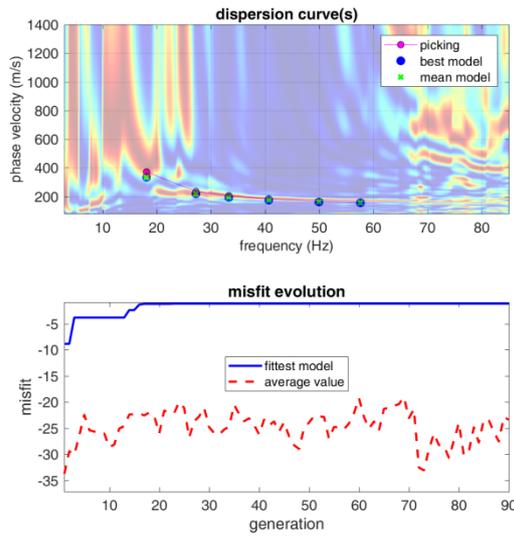
[www.winmasw.com](http://www.winmasw.com)

dataset: 622.dat  
 dispersion curve: Masw2.cdp  
 Vs30 & VsE (best model): 264 264 m/s  
 Vs30 & VsE (mean model): 260 260 m/s



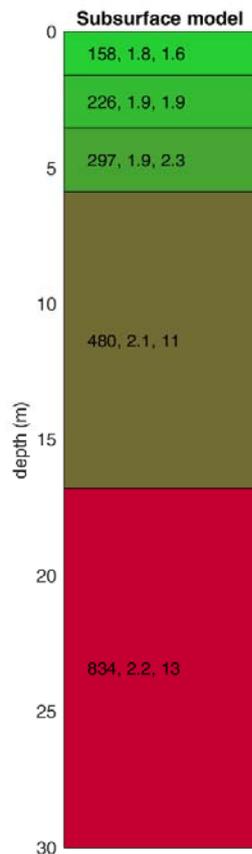
V<sub>s</sub> density thickness  
 (m/s) (gr/cm<sup>3</sup>) (m)

## Profilo sismico Masw 3



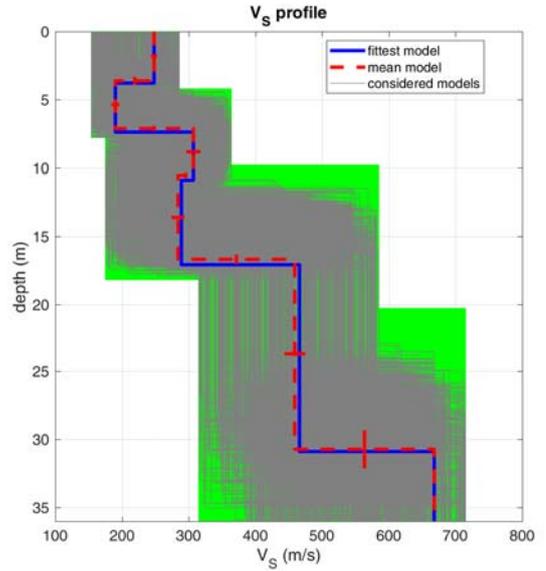
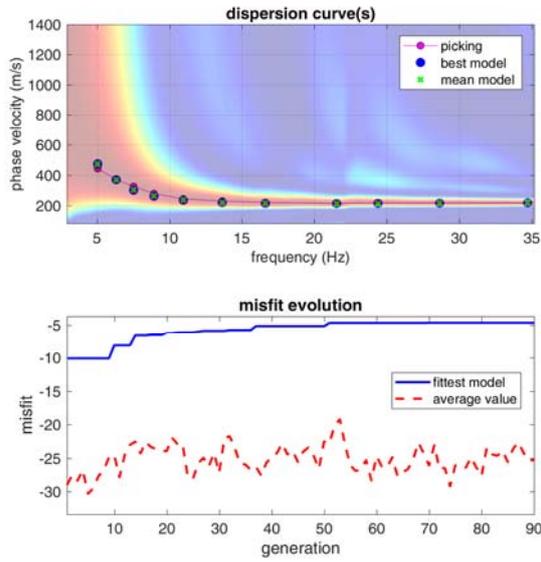
dataset: 69.dat  
 dispersion curve: p.cdp  
 Vs30 & VsE (best model): 464 341 m/s  
 Vs30 & VsE (mean model): 460 340 m/s

[www.wlmmasw.com](http://www.wlmmasw.com)

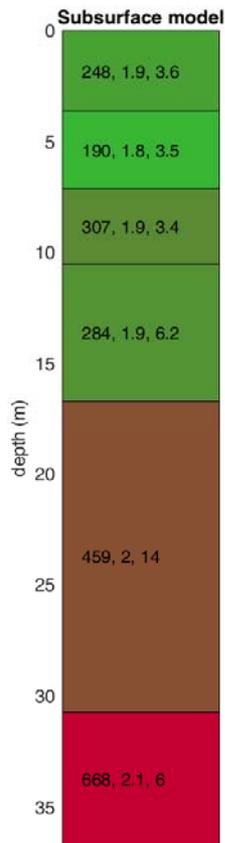


V<sub>s</sub> density thickness  
 (m/s) (gr/cm<sup>3</sup>) (m)

## Profilo sismico Masw 4

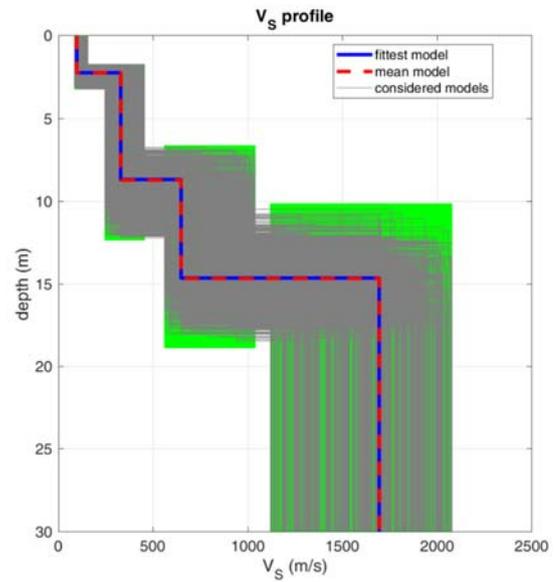
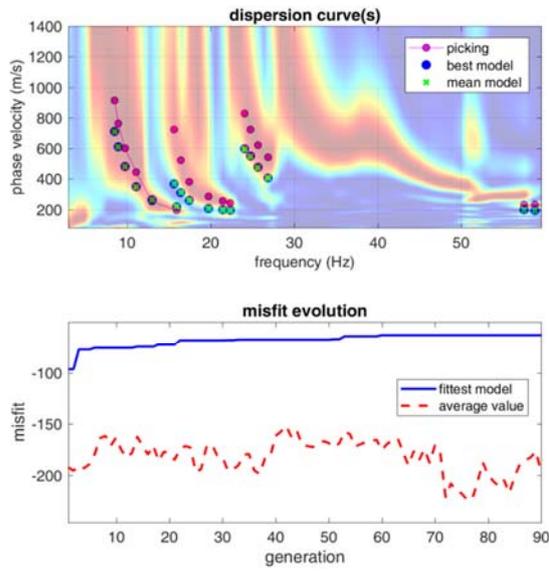


dataset: 619.dat  
 dispersion curve: Masw.dcp  
 Vs30 & VsE (best model): 316 316 m/s  
 Vs30 & VsE (mean model): 316 316 m/s



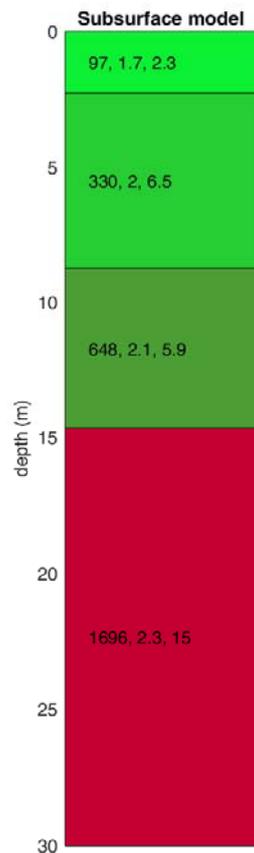
V <sub>s</sub>	density	thickness
(m/s)	(gr/cm <sup>3</sup> )	(m)

## Profilo sismico Masw 5



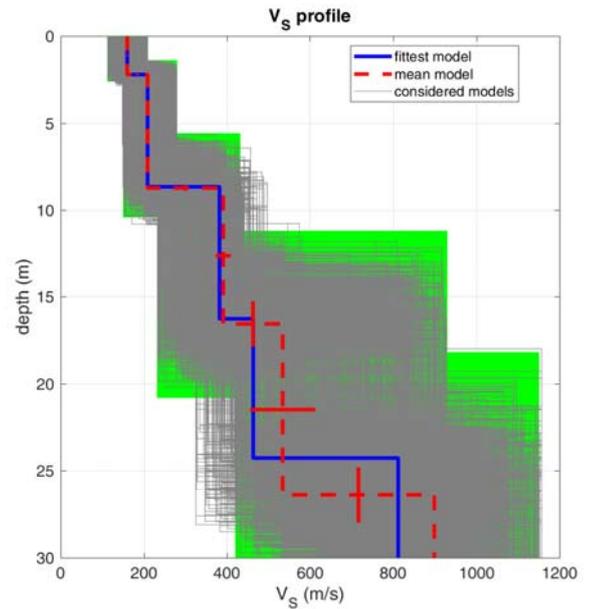
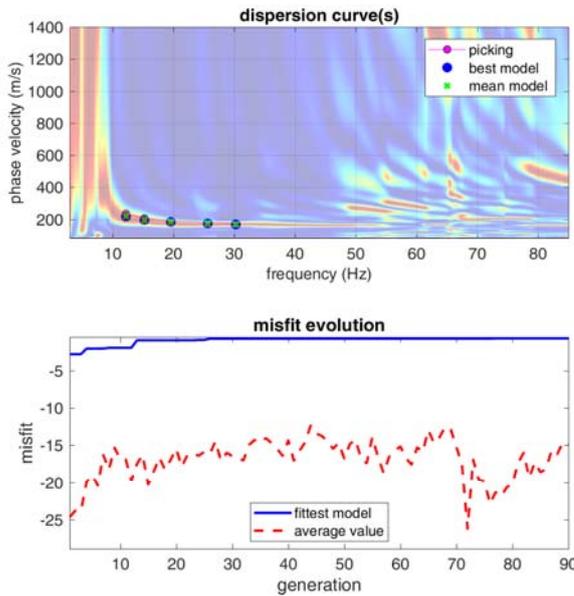
dataset: 00000585.sg2  
 dispersion curve: Masw.cdp  
 Vs30 & VsE (best model): 491 281 m/s  
 Vs30 & VsE (mean model): 491 281 m/s

[www.winmasw.com](http://www.winmasw.com)

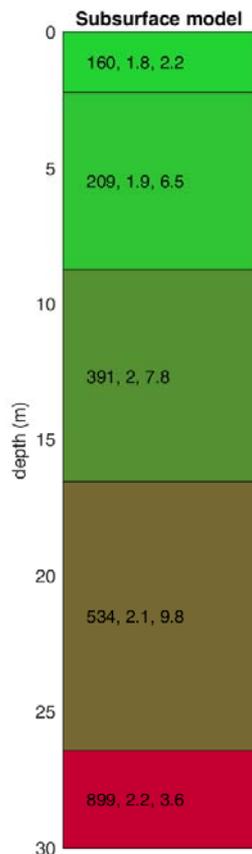


V<sub>s</sub> density thickness  
 (m/s) (gr/cm<sup>3</sup>) (m)

## Profilo sismico Masw 6



dataset: 72.dat  
 dispersion curve: p.cdp  
 Vs30 & VsE (best model): 337 296 m/s  
 Vs30 & VsE (mean model): 343 316 m/s



V<sub>s</sub> density thickness  
 (m/s) (gr/cm<sup>3</sup>) (m)

---

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

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

---

Alla luce di quanto detto, avendo ottenuto un valore di  $V_{seq}$  di:

**Masw 1 = 270 m/sec**

**Masw 2 = 264 m/sec**

**Masw 3 = 341 m/sec**

**Masw 4 = 316 m/sec**

**Masw 5 = 281 m/sec**

**Masw 6 = 296 m/sec**

Il sottosuolo in corrispondenza dei profili Masw rientra nella categoria C con valori di velocità equivalenti compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Ruffano, luglio 2023

**IL DIRETTORE TECNICO**

Dott. Geol. Marcello DE DONATIS

