



REGIONE PUGLIA  
 PROVINCIA DI BARI  
 COMUNE DI GRAVINA IN PUGLIA



AUTORIZZAZIONE UNICA EX D.LGS. 387/2003

Progetto Definitivo  
 Parco eolico "Monte Marano" e opere connesse

TITOLO ELABORATO

**Relazione Geologica**

CODICE ELABORATO

COMMESSA	FASE	ELABORATO	REV.
F0433	A	R03	A

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione

SCALA

1:5000/2.000

DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
luglio 2021	prima emissione	Giacomino	GDS	GMA

PROPONENTE

**FRI-EL**

**FRI-EL S.p.A.**

Piazza della Rotonda 2  
 00186 Roma (RM)  
 fri-elspa@legalmail.it  
 P. Iva 01652230218  
 Cod. Fisc. 07321020153

PROGETTAZIONE



**F4 ingegneria srl**

via Di Giura - Centro Direzionale, 85100 Potenza  
 Tel: +39 0971 1 944 797 - Fax: +39 0971 5 54 52  
 www.f4ingegneria.it - f4ingegneria@pec.it

**Dott. Geol. Maurizio Giacomino**

via Lucana 337, 75100 Matera  
 mauriziogiacomino@gmail.com



Società certificata secondo la norma UNI-EN ISO 9001:2015 per l'erogazione di servizi di ingegneria nei settori: civile, idraulica, acustica, energia, ambiente (settore IAF: 34).



## INDICE

1. Premessa .....	1
2. Piano Stralcio Difesa Rischio Idrogeologico. ....	3
3. Inquadramento Geologico Regionale.....	4
3.1 GEOLOGIA DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO.....	6
4. Tettonica .....	8
5. Geomorfologia.....	9
6. Idrogeologia ed idrologia. ....	10
7. Campagna di indagini geognostiche .....	11
7.1 INADGINE SISMICA – MASW. ....	11
7.1.1 MASW 01.....	13
7.1.2 MASW 02.....	13
7.1.2 MASW 03.....	13
7.1.4 MASW 04.....	13
7.1.5 MASW 05.....	14
7.1.6 MASW 06.....	14
7.2 INADGINE SISMICA – SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P E SH. ....	14
7.2.1 Sism ST01:.....	15
7.2.2 Sism ST02:.....	16
7.2.3 Sism ST03:.....	17
7.2.4 Sism ST04:.....	18
7.2.5 Sism ST05:.....	18
7.2.6 Sism ST06:.....	19
7.3 sondaggi meccanici consultati. ....	20
8. Considerazioni sulla Sismicità dell'aera .....	22
8.1 PARAMETRI SISMICI DELL'AREA DEL PARCO EOLICO IN PROGETTO .....	22
8.2 MICROZONAZIONE SISMICA DELL'AREA DEL PARCO EOLICO IN PROGETTO.....	24
9. Considerazioni sui terreni di fondazione delle torri eoliche .....	25
9.1 PARAMETRI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO.....	31
9.2 Parametri caratteristici .....	32
9.3 Parametri di progetto .....	32
10. Considerazioni sul percorso del cavidotto. ....	33
11. Analisi di stabilità di versante .....	34
12. Considerazioni conclusive.....	35
<b>REPORT DI FINE CAMPAGNA GEOGNOSTIC .....</b>	<b>38</b>

# 1. Premessa

Su incarico conferitomi dalla Società F4 Ingegneria SrL, è stata condotta una Campagna di Indagini Geognostica, al fine di accertare le condizioni geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, sismiche e geotecniche dei terreni presenti a ovest dell'abitato di Gravina in P. (BA) dove si intende realizzare un parco eolico composto da n. 12 aerogeneratori con annesse piste e piazzole di stoccaggio.

La stessa società (Fri-El SpA) nella stessa zona, nell'anno 2012 ha costruito altri aerogeneratori, e in tale occasione fece eseguire indagini geognostiche che sono state consultate per la redazione del presente studio.

Le indagini dirette consultate sono sicuramente adottabili per il presente lavoro e la loro ubicazione è riportata nell'elaborato A16.A7 "Carta Ubicazione Indagini" con quelle realizzata di recente, come i n. 6 Stendimenti sismici a rifrazione eseguiti in Onde P e Sh e con tecnica MASW.

L'esame delle caratteristiche sopra descritte, permette di esprimere una serie di considerazioni sui terreni di sedime interessati dalla costruzione degli aerogeneratori in modo da valutare il loro comportamento in relazione con le strutture di fondazione.

L'acquisizione dei dati tiene conto della vigente normativa tecnica, quale: il D.M. 11.03.1988, la L.R. n.38 del 06/08/1997, la L.R. 9/2011 sulla caratterizzazione sismica dei terreni e il D.M. 17 gennaio 2018 (Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni), inoltre, rispetta le norme dell'Autorità di Bacino della Puglia riguardanti le Aree a Rischio Idrogeologico.

L'indagine completa, estesa anche alle aree circostanti, è consistita in rilievi geologici e geomorfologici di superficie, in indagini geognostiche in sito sia eseguite direttamente sia e consultate e nella verifica della pericolosità geologica, geomorfologica ed idrogeologica dell'area.

I parametri fisico meccanici dei terreni interessati dalle strutture in progetto sono stati ottenuti dalle indagini indirette eseguite nell'area, quali:

- n. 9 Sondaggi Meccanici a Carotaggio Continuo con prelievo di campioni sottoposti ad analisi geotecniche di laboratorio.
- n. 6 stendimenti sismici a rifrazione eseguiti con tecnica MASW ubicati nell'area di sedime degli aerogeneratori in progetto.
- n.6 stendimenti sismici a rifrazione in Onde P e SH ubicati sempre nell'area di sedime degli aerogeneratori in progetto;

L'ubicazione di tutte le indagini eseguite è riportata nell'Allegato "Carta Ubicazione Indagini" mentre l'intero lavoro si compone dei seguenti elaborati descrittivi e cartografici, quali:

- Relazione Geologico Tecnica con Report di fine Campagna Geognostica
- Carta ubicazione indagini (Area Parco) Scala 1:5000
- Carta ubicazione indagini (Cavidotto e Sottostazione) Scala 1:5000
- Carta Geologica (Area Parco) Scala 1:5000
- Carta Geologica (Cavidotto e Sottostazione) Scala 1:5000
- Carta Geomorfologica (Area Parco) Scala 1:5000
- Carta Geomorfologica (Cavidotto e Sottostazione) Scala 1:5000
- Carta Idrogeologica (Area Parco) Scala 1:5000
- Carta Idrogeologica (Cavidotto e Sottostazione) Scala 1:5000
- Profili Geologici Scala 1:5000/2000
- Carta della Microzonazione Sismica (Area Parco) Scala 1:5000
- Carta della Microzonazione Sismica (Cavidotto e Sottostazione) Scala 1:5000
- Carta Finale di Sintesi della Criticità e Pericolosità Geologica, Geomorfologica e Idrogeologica (Area Parco) Scala 1:5000
- Carta Finale di Sintesi della Criticità e Pericolosità Geologica, Geomorfologica e Idrogeologica (Cavidotto e Sottostazione) Scala 1:5000

## 2. Piano Stralcio Difesa Rischio Idrogeologico.

L'area interessata dall'installazione dei n. 12 nuovi aerogeneratori ricade nel Comune di Gravina in P. con l'intero percorso del cavidotto.

Il piano stralcio per la difesa dal rischio idrogeologico vigente, redatto ed adottato dall'Autorità di Bacino della Basilicata, riporta nella zona di stretto interesse varie aree a rischio idrogeologico di natura Geomorfologica (frane, erosione accelerata, smottamenti ecc.).

Tali aree sono riportate nell'elaborato Carta Geomorfologica e nell'elaborato Carta di Sintesi Finale della Criticità e Pericolosità Geologica e Geomorfologica in cui si evince l'interazione del progetto con aree a vincolo.

Tutti gli aerogeneratori sono ubicati in aree pianeggianti o a distanza di sicurezza da aree soggette a vincolo idrogeologico e aree soggette a verifica idrogeologica. Solo in n. tre punti il percorso del cavidotto incontra aree vincolate; due sono lungo la Strada Provinciale della "Valle Pentecchia", mentre uno è lungo il percorso per raggiungere l'aerogeneratore GIP8.

Per le prime due interferenze il cavidotto sarà realizzato lungo il tracciato stradale, l'ultimo tratto, invece, interesserà un'area a vincolo idrogeologico basso "R1" e sarà realizzata lungo il tracciato di una strada di progetto realizzata dalla stessa società FRI-EL per collegare un aerogeneratore costruito nel 2012.

### 3. Inquadramento Geologico Regionale

La configurazione geologica dell'area compresa tra Basilicata e Puglia è il risultato di imponenti deformazioni tettoniche che hanno determinato accavallamenti e traslazioni di masse rocciose e terregene, anche di notevoli proporzioni, da Ovest verso Est, verso l'Avanpaese Apulo.

L'azione di tali forze orogeniche riflette l'attuale assetto geo-strutturale rilevabile in superficie e, ad esse, sono da imputare la complessità dei rapporti geometrici tra le diverse unità litostratigrafiche.

A grande scala la regione può essere inquadrata, dal punto di vista geologico-strutturale,

nell'ambito del sistema orogenico appenninico, riconoscibile nel settore dell'Italia meridionale che si estende dal margine tirrenico a quello adriatico.

I tre domini del sistema orogenico sono: **la Catena** rappresentata dall'Appennino Campano-Lucano, **l'Avanfossa** rappresentata dall'Avanfossa Adriatica e **l'Avanpaese** rappresentata dalla regione Apulo-Garganica

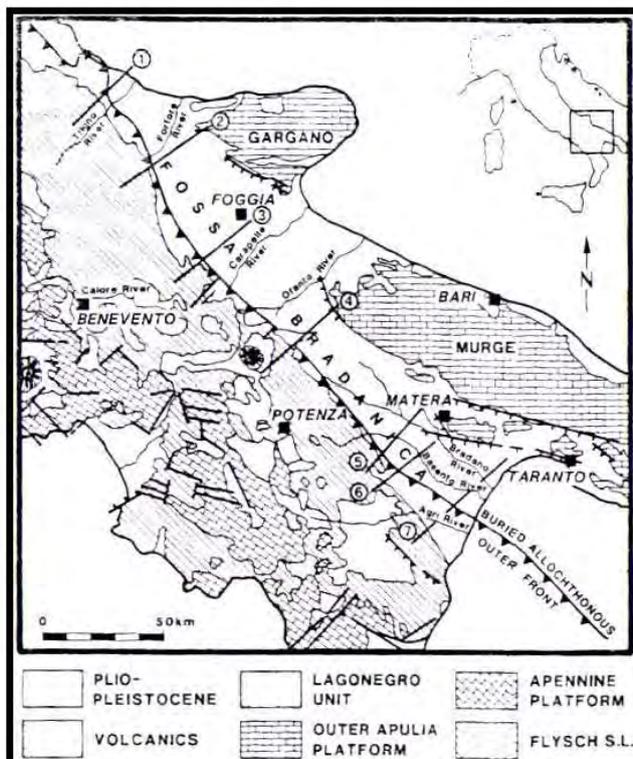


Fig. A - Unità strutturali principali del settore dell'Italia meridionale che si estende dal Tirreno all'Adriatico

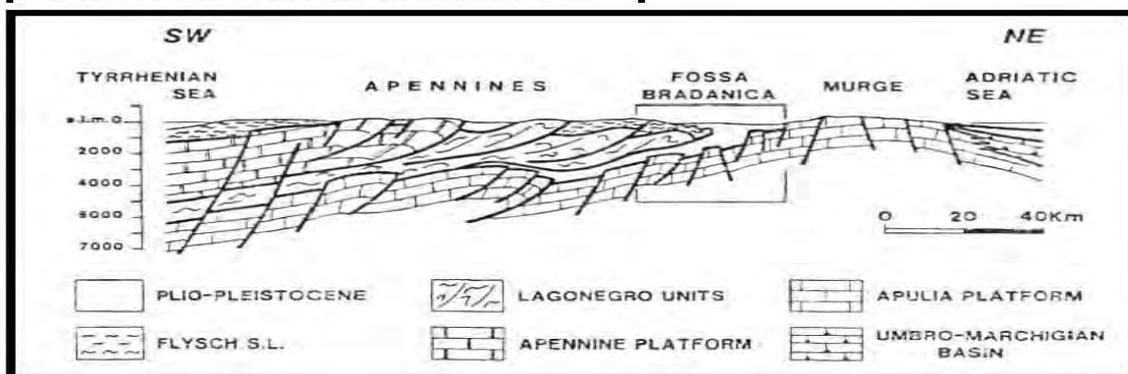


Fig. B - Sezione verticale del sistema Catena-Avanfossa-Avanpaese dell'Appennino Meridionale

Le caratteristiche geologiche, morfologiche e tettoniche attuali della regione, possono essere quindi interpretate come il risultato complessivo degli sconvolgimenti tettonici, che a più riprese, ma soprattutto nella fase miocenica/pleistocenica dell'orogenesi appenninica, hanno interessato le unità geologiche preesistenti, e della continua evoluzione paleogeografia che i tre domini del sistema orogenico appenninico, risultanti da tali sconvolgimenti, hanno subito nel tempo.

I modelli evolutivi proposti dai diversi autori, si presentano diversi tra loro nel fornire una spiegazione delle diverse fasi della genesi appenninica, è comunque ormai comunemente accettato che il sistema orogenico appenninico si sia formato a partire dall'Oligocene Superiore-Miocene inferiore, dal progressivo accavallamento da ovest verso est, dovuto a compressione, di unità stratigrafico-strutturali mesozoico-paleogeniche e di unità sinorogeniche di Avanfossa.

I terreni affioranti nelle aree racchiuse nella parte nord-est del Foglio n.187 “Melfi” della Carta Geologica d'Italia scala 1:100000 sono attribuibili al ciclo deposizionale plio-pleistocenico noto in letteratura come Ciclo di sedimentazione dell'Avanfossa Bradanica, serie trasgressiva e regressiva sui Calcari Cretacei di Altamura e sul Flysch della Catena Appenninica.

L'Avanfossa Bradanica è un elemento strutturale situato tra le Murge e gli Appennini; più precisamente per Avanfossa Bradanica s'intende il tratto di Avanfossa plio-quadernaria a sud del Fiume Ofanto mentre quello a nord è denominato Avanfossa Periadriatica.

I lati della serie di sedimentazione murgiano e appenninico differiscono solo per i termini di apertura: sul primo troviamo **le Calcareniti di Gravina** in discordanza angolare sui calcari cretacei di Altamura, con una notevole corrispondenza tra litologia e morfologia; sul secondo vi sono il Sabbione di Garaguso e i Conglomerati e Arenarie di Oppido Lucano, due formazioni del tutto analoghe, anche se in letteratura sono riportate con nomi differenti. Poiché il territorio di Gravina ricade nella zona sud-occidentale del foglio n.188, zona più prossima all'Avanpaese Apulo, allora il termine di apertura della serie sedimentaria della fossa Bradanica è costituito dalle Calcareniti di Gravina.

La formazione delle **Calcareniti di Gravina** è costituita essenzialmente da rocce calcaree detritiche a grana media, formate da granuli delle dimensioni delle sabbie e prevalentemente di natura calcarea, immersi in legante (cemento) di calcite macrocristallina o in una matrice calcarea microcristallina (micrite).

Le **Argille Subappennine** costituiscono la gran parte del riempimento dell'Avanfossa Bradanica, esse sono di colore grigio-azzurre, costituite da quasi tutti i minerali argillosi, ricche in microfossili, con rapporto bentos/plancton elevato indicativo di un ambiente di sedimentazione di piattaforma continentale, dove giungevano abbondanti apporti clastici molto fini. L'età è riferibile al Pleistocene Inferiore.

In continuità di sedimentazioni con le Argille Subappennine troviamo le **Sabbie di Monte Marano** formazione clastica sabbiosa silicatico-calcareo calcareo-silicatica con strutture sedimentarie come lamine incrociate bioturbazioni, lenti di ghiaia indicative di ambiente marino-litorale. Le scarse faune permettono di datarla Pleistocene inferiore. Il passaggio da argille a sabbie indica l'evoluzione da ambiente di piattaforma a nefritico-litorale.

Le Sabbie di Monte Marano passano poi gradualmente al **Conglomerato d'Irsina** che presenta anch'esso le caratteristiche di deposito litorale nefritico per gran parte del suo spessore e continentale nella parte più alta. La parte marina è stata evidenziata grazie alla presenza nelle lenti sabbiose di faune marine, oltre che dalla stratificazione incrociata, mentre quella continentale dalla colorazione della matrice che da gialla passa a rossastra (ossidi di ferro). L'origine appenninica del conglomerato è messa in evidenza dal fatto che esso è poligenico. Alcuni dei ciottoli sono addirittura policiclici, di fatto il grado di arrotondamento e alterazione varia. Vi sono elementi pliocenici derivanti da conglomerati del Miocene i quali in alcuni casi derivano a loro volta da conglomerati cretacei. Anche il Conglomerato d'Irsina, per la sua posizione stratigrafica, è databile al Pleistocene inferiore, in esso infatti mancano i minerali vulcanici presenti invece nei depositi marini terrazzati del Pleistocene medio. Datazioni assolute del monte Vulture hanno dato risultati di 7-800000 anni fa, proprio al passaggio tra Pleistocene inferiore e medio.

### 3.1 GEOLOGIA DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO.

Nell'area oggetto di studio e nelle zone limitrofe, come riportato nella Carta Geologica in scala 1:5000 e schematizzato nell'elaborato Profili geologici, affiorano, dal basso verso l'alto in ordine stratigrafico i seguenti litotipi:

- ❖ Argille di Gravina: Argille più o meno siltose o sabbiose di colore grigio-azzurro con fossili marini. Fanno seguito in concordanza di sedimentazione e a luoghi in eteropia di facies alle Calcareni di Gravina sul lato murgiano e con i Sabbioni di Garaguso sul lato appenninico.
- ❖ Sabbie di Monte Marano: Sabbia limosa debolmente argillosa di colore giallastro a luoghi rossastra a granulometria medio fine, intercalati ad essa ci sono: livelli sparsi di arenaria con spessori da centimetraci a decimetrici di colore dal grigiastro al giallastro; lenti ciottolose e conglomeratiche con spessori da decimetrici a metrici, i cui ciottoli si presentano di medie e grandi dimensioni, eterogenici, da sub-arrotondati ad appiattiti; livelli limoso-sabbiosi e infine, frequenti straterelli di calcare polverulento e concrezioni calcaree che si presentano nel complesso nodulari. Possiamo ascrivere questi sedimenti alla Formazione Geologica nota in lettura come Sabbie di Monte Marano.

- ❖ Sabbie dello Staturò: Sabbie fini quarzoso –micacee con lenti conglomeratiche a stratificazione incrociata. Mancano le concrezioni calcaree caratteristiche delle sabbie di monte marano di cui sono coese, ma presentano abbondanti miche che fanno pensare ad una deposizione alluvionale. Il loro spessore nella zona varia da una 15 di metri a qualche decimetro e sono sovrapposta a luoghi da conglomerati di sedimentazione continentale.
- ❖ Conglomerati poligenici immersi in scarsa matrice sabbiosa di colore rossastro con lenti di colore ocraceo.
- ❖ Nella Valle Pentecchia e lungo i tratti degli affluenti principali del Torrente Gravina di Matera affiorano i depositi alluvionali attuali e recenti composti da limi sabbiosi e sabbioso-argillosi ri-venienti dall'erosione dei depositi plio-pleistocenici circostanti.

## 4. Tettonica

I sollevamenti tettonici che hanno interessato l'Avanfossa Bradanica sono iniziati alla fine del Pleistocene inferiore e proseguiti fino ai giorni nostri; gli elementi che permettono di determinarlo sono due: il primo è che il Conglomerato d'Irsina si è depositato nel Pleistocene inferiore (assenza in esso dei prodotti vulcanici del Vulture, 700.000 anni fa), quindi la sedimentazione nella gran parte dell'Avanfossa Bradanica si è conclusa proprio allora; il secondo elemento è la presenza di una serie di faglie inverse associate anche a pieghe che pongono a contatto terreni della catena Appenninica con quelli dell'Avanfossa Bradanica. Si tratta di faglie compressive che hanno generato un piccolo raccorciamento associato ad un sollevamento; queste faglie sono un indizio dell'ultima fase compressiva avutasi al margine esterno della catena appenninica. Sono comunque faglie che non interessano mai i depositi marini terrazzati del litorale ionico, permettendo la datazione delle stesse al Pleistocene inferiore.

Tra i vari sollevamenti che hanno interessato l'Avanfossa Bradanica quello della zona di Palazzo S.G./Banzi assume un'importanza particolare, in quanto ha determinato l'interruzione del corso dell'attuale torrente Basentello provocando la formazione di un lago (Lago di "Venosa-Matinelle"), Nell'area di stretto interesse, la spinta dovuta all'avanzamento del fronte appenninico ha portato al sollevamento dell'intera area con la migrazione verso est-nord est della valle del Fiume Bradano e quella dei suoi affluenti fino alla cattura del torrente Basentello, ormai troncato dal sollevamento della zona di Palazzo S.G. e con un bacino imbrifero ridotto.

Nella zona di stretto interesse e in generale nella parte occidentale dell'Avanfossa Bradanica, nei terreni di chiusura del ciclo sedimentario dell'Avanfossa Bradanica, non sono presenti indici di grossi movimenti tettonici, quali faglie, pieghe o sovrascorrimenti, ma solo piccole fratture determinate dal sollevamento generale descritto in precedenza.

## 5. Geomorfologia

L'area oggetto di studio comprende le spianate di sedimentazione per regressione marina presenti a ovest dell'abitato di Gravina, dove in affioramento si trovano terreni granulari appartenenti ai depositi argillosi e sabbiosi di chiusura del Ciclo Sedimentario dell'Avanfossa Bradanica (Argille subappennine) sovrapposte dalle sabbie di Monte Marano (deposito sedimentario intermedio del ciclo di chiusura dell'Avanfossa Bradanica) e dai depositi continentali di chiusura del ciclo sedimentario, quali: Sabbie dello Staturo e Conglomerati continentali.

L'intera spianata è interrotta a sud-ovest dall'ampia valle del Torrente Basentello che poco più avanti convoglia le sue acque nel Fiume Bradano.

L'intera spianata per regressione marina, è interrotta da fossi che costituiscono le testate del Torrente Gravina di Matera che come il Torrente Basentello confluisce nel Fiume Bradano.

I fossi principali presentano valli ampie sui cui versanti, nella parte alta affiorano terreni sabbiosi ghiaiosi e sabbioso limosi, mentre nella parte media e bassa affiorano le Argille Subappennine.

Su tutti i pianori dove verranno ubicate le macchine eoliche, tali terreni risultano stabili, solo lungo i versanti argillosi si instaurano fenomeni di instabilità sia superficiale che profonda.

Tutti gli aerogeneratori sono ubicati a distanza di versanti soggetti ad instabilità dovuta ad intensa erosione.

Nell'allegato Carta Geomorfologica sono indicati le aree soggette ad erosione sia superficiale che profonda oltre a altre indicazioni delle forme geomorfologiche.

## 6. Idrogeologia ed idrologia.

Le acque di precipitazione che raggiungono il suolo sono ripartite in aliquota di scorrimento superficiale, e d'infiltrazione nel sottosuolo, secondo il grado di permeabilità dei terreni affioranti.

Nel caso specifico della zona del Parco Eolico "Monte Marano" le caratteristiche granulometriche e litologiche degli strati superficiali permettono l'infiltrazione di acqua di precipitazione meteorica favorendo una circolazione di acqua nel sottosuolo, consentendo in tal modo l'accumulo di acqua di falda.

Tali accumuli si rinvencono solo dove affiorano terreni granulari dei depositi alluvionali i quali poggiano direttamente sulle argille grigio-azzurre impermeabili che fanno da letto alle falde.

Dai rilievi di superficie e dai dati di bibliografia è emerso che la falda acquifera che interessa i pianori di stretto interesse, si trova ad una profondità di circa 25.0 m ed è trattenuta alla base dalla formazione argillosa impermeabile.

Nell'elaborato Carta Idrogeologica sono evidenziati i terreni a vario grado di permeabilità ed i loro rapporti stratigrafici.

L'idrologia superficiale dell'area di stretto interesse è rappresentata da fossi poco profondi a fondo piatto che incidono i terreni della piana di sedimentazione marina di chiusura del ciclo sedimentario dell'Avanfossa Bradanica.

Tali fossi formano un reticolo dendritico che termina nel collettore principale rappresentato dal Fiume Bradano. Gran parte dell'anno i fossi sono in secca mentre si riattivano in occasione delle stagioni autunnali ed invernali quando la piovosità della zona aumenta notevolmente.

## 7. Campagna di indagini geognostiche

La campagna di indagini geognostiche è stata strutturata in relazione alla natura dei litotipi affioranti ed ha visto l'esecuzione di prove indirette che hanno interessato le aree di sedime degli aerogeneratori in progetto.

Le indagini indirette sono consistite in n. 6 Stendimenti sismici a Rifrazione eseguiti con tecnica MASW e altrettanti stendimenti eseguiti in Onde P e SH per la verifica stratigrafica dei primi metri di sottosuolo, inoltre, è stata consultata una campagna di indagini geognostica che la stessa società appaltante (Fri-El SpA) nel 2012 ha eseguito nell'area per la realizzazione di n. 23 aerogeneratori.

Di tale campagna geognostica sono consultati n. 9 Sondaggi Meccanici a Carotaggio Continuo con prelievo di campioni indisturbati sottoposti ad analisi geotecniche di laboratorio i cui dati sono riportati in coda alla presente relazione nella sezione Report di Fine Campagna Geognostica.

La loro ubicazione è indicata nell'allegato Carta Ubicazione Indagini Geognostiche in scala 1:5000, mentre tutti i dati e gli elaborati grafici e descrittivi rivenienti da tali indagini sono riportate nella sezione Report di fine campagna geognostica.

Di seguito, invece, si riporta una breve descrizione dei risultati ottenuti.

### 7.1 INADGINE SISMICA – MASW.

Tenendo conto delle caratteristiche geolitologiche dell'area indagata, l'indagine geognostica mediante sismica MASW si rileva particolarmente utile poiché consente di indagare in dettaglio i primi 30 metri dal piano campagna e fornisce utili informazioni sullo spessore e sulla consistenza dei litotipi presenti.

La correlazione con le altre indagini, eseguite nell'ambito della stessa campagna, consente inoltre di definire i rapporti di giacitura, ed i caratteri geotecniche di massima, degli stessi.

Per quel che riguarda i parametri di acquisizione ci si è attenuti alle seguenti specifiche tecniche:

- utilizzo di 24 canali e distanza intergeofonica pari a 2,5 metri e scoppio a 5 mt dal primo ricevitore.
- utilizzo di una massa battente da 8 Kg..

Tale indagine si è resa necessaria in ottemperanza all'Ordinanza P.C.M. n.3274 del 20 marzo 2003 e del D.M. 17 Gennaio 2018, che attribuisce alle diverse località del Territorio Nazionale un

valore di scuotimento sismico di riferimento espresso in termini di incremento dell'accelerazione al suolo e propone l'adozione di un sistema di caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del suolo mediante cinque (A – B – C – D – E) categorie di suolo sulla base della velocità delle onde di taglio nei primi 30 metri di terreno ( $V_{seq}$ ).

Per tale ragione nel presente lavoro è stato applicato il metodo di prospezione sismica del tipo M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) che attraverso lo studio delle Onde Superficiali registrate in campagna, permette di determinare la  $V_s$  nei primi 30 metri di profondità.

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle Onde superficiali.

Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali. La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

L'intero processo comprende tre passi successivi: L'acquisizione delle onde superficiali (ground roll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle  $V_s$ .

Per ottenere un profilo  $V_s$  bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

Pel l'esecuzione delle indagini in oggetto è stato impiegato il seguente apparato di acquisizione:

- Sismografo a 24 canali - modello Echo 12/24 2002 Seismic unit;
- Computer portatile Acer Treavel Mate 220, Processore da 1.13 Ghz;
- N.2 Cavi Geofonici a 12 Takes-out con spaziatura 5 m;
- N.24 Geofoni verticali a 4,5 hz (OYO Geospace);
- Distanza intergeofonica 2,5 m;

- Utilizzo di una massa battente da 8 Kg.

L'interpretazione dei dati è stata effettuata analiticamente e con calcolo automatico utilizzando un Computer portatile Acer Treavel Mate 220, Processore da 1.13 Ghz. e software winMASW 2018 PRO della ELIOSOFT.

In coda alla presente nella sezione Report di fine Campagna Geognostica sono riportate, foto, sismogramma e spettro di velocità, profilo verticale onde S ricavate dalle indagini eseguite, mentre di seguito si riporta la descrizione dei dati ottenuti.

#### **7.1.1 MASW 01**

Per lo stendimento MASW01, il valore equivalente di  $V_s$  calcolato pari a **443** m/sec, colloca i litotipi presenti nella **Categoria di sottosuolo 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.**

In esso, fino alla profondità di 30,0 mt dal p.c. non è stato intercettato il badrock sismico.

#### **7.1.2 MASW 02**

Per lo stendimento MASW02, il valore equivalente di  $V_s$  calcolato pari a **452** m/sec, colloca i litotipi presenti nella **Categoria di sottosuolo 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.**

In esso, fino alla profondità di 30,0 mt dal p.c. non è stato intercettato il badrock sismico.

#### **7.1.2 MASW 03**

Per lo stendimento MASW03, il valore equivalente di  $V_s$  calcolato pari a **365** m/sec, colloca i litotipi presenti nella **Categoria di sottosuolo 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.**

In esso, fino alla profondità di 30,0 mt dal p.c. non è stato intercettato il badrock sismico.

#### **7.1.4 MASW 04**

Per lo stendimento MASW04, il valore equivalente di  $V_s$  calcolato pari a **435** m/sec, colloca i litotipi presenti nella **Categoria di sottosuolo 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.*

In esso, fino alla profondità di 30,0 mt dal p.c. non è stato intercettato il badrock sismico.

#### **7.1.5 MASW 05**

Per lo stendimento MASW05, il valore equivalente di  $V_s$  calcolato pari a **363** m/sec, colloca i litotipi presenti nella **Categoria di sottosuolo 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.*

In esso, fino alla profondità di 30,0 mt dal p.c. non è stato intercettato il badrock sismico.

#### **7.1.6 MASW 06**

Per lo stendimento MASW06, il valore equivalente di  $V_s$  calcolato pari a **256** m/sec, colloca i litotipi presenti nella **Categoria di sottosuolo 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.*

In esso, fino alla profondità di 30,0 mt dal p.c. non è stato intercettato il badrock sismico.

### **7.2 INADGINE SISMICA – SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P E SH.**

Tenendo conto delle caratteristiche geolitologiche dell'area indagata, l'indagine geognostica mediante sismica a rifrazione, utilizzando i parametri su indicati, si rileva particolarmente utile poiché consente di indagare in dettaglio i primi 15 metri dal piano campagna e fornisce utili informazioni a carattere areale sullo spessore e sulla consistenza dei litotipi presenti.

La correlazione con le altre indagini, eseguite nell'ambito della stessa campagna, consente inoltre di definire i rapporti di giacitura, ed i caratteri geotecnica di massima, degli stessi.

Le prospezioni sismiche a rifrazione sono tra le indagini geofisiche più diffuse ed utilizzate grazie all'elevato contenuto di informazioni che possono fornire sul sottosuolo, in alternativa o ad integrazione dei classici metodi di indagine diretta (perforazioni di sondaggio).

Il metodo consiste nel generare onde elastiche longitudinali in un punto del terreno e di rilevarne il loro arrivo in altri punti per poter ricostruire, attraverso lo studio dei percorsi e delle velocità, la disposizione geometrica dei litotipi presenti al di sotto della sezione indagata.

Il fondamento teorico di tale applicazione risiede nel fatto che la velocità e le direzioni di propagazione dei raggi sismici generati sono strettamente dipendenti dalle caratteristiche fisico-

meccaniche dei diversi materiali attraversati e dalla presenza di eventuali superfici di discontinuità separati litotipi a diverso comportamento dal punto di vista elasto-meccanico.

Da un'attenta interpretazione delle curve che si ottengono nei grafici in cui sono riportati, per i diversi geofoni (sensori), i tempi di arrivo delle onde sismiche e le rispettive distanze dal punto di energizzazione, è possibile ricostruire l'andamento in profondità dei differenti orizzonti rifrattori.

Tale ricostruzione è stata realizzata utilizzando il metodo di elaborazione GRM (Metodo Reciproco Generalizzato; Palmer, 1980) che, rispetto ai comuni metodi di interpretazione consente di ricavare la profondità dal p.c. dei vari rifrattori al di sotto di ogni singolo geofono, fornendo così con estremo dettaglio l'andamento geometrico dei vari orizzonti rifrattori indagati, anche alla presenza di situazioni geologiche complesse e articolate.

Pel l'esecuzione delle indagini in oggetto è stato impiegato il seguente apparato di acquisizione:

- Sismografo a 24 canali - modello Geode della Geometrics;
- Computer portatile Acer Treavel Mate 220, Processore da 1.13 Ghz;
- N°2 Cavi Geofonici da 12 Geofoni (OYO Geospace);
- Utilizzo di una massa battente da 8 Kg.

Il modello sismico a rifrazione permette la costruzione di dromocrone (tempi verso distanze) dalle quali è possibile calcolare velocità e profondità di interfacce profonde.

I tempi rifratti si riferiscono ad onde sismiche che incidono con "angolo critico" le superfici di separazione di due mezzi a velocità differenti (ad esempio  $V_2$  e  $V_1$  con  $V_2 > V_1$ ). Queste onde possono propagarsi lungo tale interfaccia e tornare in superficie fornendo informazioni sugli spessori, variazioni degli stessi, sulle velocità dei due mezzi e sulla pendenza dell'interfaccia.

L'interpretazione dei dati è stata effettuata analiticamente e con calcolo automatico utilizzando un Computer portatile Acer Treavel Mate 220, Processore da 1.13 Ghz. e software IXRefrax della Interpex Limited.

Di seguito sono descritti sinteticamente i risultati delle prove eseguite; per un esame dettagliato delle stesse si rimanda in allegato A16a26 "Relazione di Fine Campagna".

### **7.2.1 Sism ST01:**

Nel profilo sismico Sism ST01 sono stati riconosciuti tre orizzonti significativi con differenti caratteristiche elasto-meccaniche.

Dai valori di velocità di propagazione delle onde P, è stato possibile ricavare la sismostruttura del sottosuolo investigato, identificando tre sismostrati, ciascuno caratterizzato da un determinato valore medio di velocità delle onde di compressione. Assimilando tali valori di velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area, in prima analisi, è stato ricostruito il seguente assetto litostratigrafico, evidenziando come i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:

- **Sismostrato A:** terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ciottolosa, mediamente consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 419 m/sec per una profondità media di circa -2,30 mt da pc;
- **Sismostrato B:** deposito di natura sabbioso-limosa, consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 902 m/sec per una profondità media di circa -7,00 mt da pc;
- **Sismostrato C:** deposito di natura limosa sabbioso-argillosa, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1212 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -15 mt da pc).

### Stendimento ST01

Sismostrato Profondità media (mt da pc)	V <sub>P</sub> (m/sec)	V <sub>S</sub> (m/sec)	$\gamma$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\mu$	E <sub>y</sub> (MPa)	G <sub>0</sub> (MPa)	M <sub>0</sub> (MPa)	$\lambda$ (MPa)
A (0,00÷2,30)	419	211	1,61	0,33	191	72	187	139
B (2,30÷7,00)	902	345	1,86	0,41	626	221	1218	1071
C (7,00÷15,00 $\approx$ )	1212	413	1,97	0,43	964	336	2446	2222

Sismostrato Profondità media (mt da pc)	R (tonn/m <sup>2</sup> s)	E <sub>d</sub> (MPa)
A (0,00÷2,30)	339	317
B (2,30÷7,00)	641	1466
C (7,00÷15,00 $\approx$ )	813	2645

Riepilogo delle caratteristiche elasto-meccaniche degli strati identificati dalle indagini geofisiche in situ per lo stendimento sismico ST01

### 7.2.2 Sism ST02:

Nel profilo sismico Sism ST02 sono stati riconosciuti tre orizzonti significativi con differenti caratteristiche elasto-meccaniche.

Dai valori di velocità di propagazione delle onde P, è stato possibile ricavare la sismostruttura del sottosuolo investigato, identificando tre sismostrati, ciascuno caratterizzato da un determinato valore medio di velocità delle onde di compressione. Assimilando tali valori di velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area, in prima analisi, è stato ricostruito il seguente assetto litostratigrafico, evidenziando come i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:

- **Sismostrato A:** terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ciottolosa, mediamente consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 498 m/sec per una profondità media di circa -1,60 mt da pc;
- **Sismostrato B:** deposito di natura sabbioso-limosa, consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 755 m/sec per una profondità media di circa -7,80 mt da pc;

- **Sismostrato C:** deposito di natura limosa sabbioso-argillosa, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1330 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -15 mt da pc).

### Stendimento ST02

Sismostrato Profondità media (mt da pc)	$V_P$ (m/sec)	$V_S$ (m/sec)	$\gamma$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\mu$	$E_y$ (MPa)	$G_0$ (MPa)	$M_0$ (MPa)	$\lambda$ (MPa)
A (0,00÷1,60)	498	185	1,66	0,41	161	67	336	298
B (1,60÷7,80)	755	388	1,80	0,32	716	271	665	484
C (7,80÷15,00 $\approx$ )	1330	439	2,00	0,43	1109	385	3024	2767

Sismostrato Profondità media (mt da pc)	R (tonn/m <sup>2</sup> s)	$E_d$ (MPa)
A (0,00÷1,60)	307	447
B (1,60÷7,80)	698	1028
C (7,80÷15,00 $\approx$ )	878	3188

Riepilogo delle caratteristiche elasto-meccaniche degli strati identificati dalle indagini geofisiche in situ per lo stendimento sismico ST02

### 7.2.3 Sism ST03:

Nel profilo sismico Sism ST03 sono stati riconosciuti tre orizzonti significativi con differenti caratteristiche elasto-meccaniche.

Dai valori di velocità di propagazione delle onde P, è stato possibile ricavare la sismostruttura del sottosuolo investigato, identificando tre sismostrati, ciascuno caratterizzato da un determinato valore medio di velocità delle onde di compressione. Assimilando tali valori di velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area, in prima analisi, è stato ricostruito il seguente assetto litostratigrafico, evidenziando come i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:

- **Sismostrato A:** terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ciottolosa, mediamente consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 507 m/sec per una profondità media di circa -1,80 mt da pc;
- **Sismostrato B:** deposito di natura sabbioso-limosa, consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 923 m/sec per una profondità media di circa -8,90 mt da pc;
- **Sismostrato C:** deposito di natura limosa sabbioso-argillosa, molto consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1416 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -15 mt da pc)).

### Stendimento ST03

Sismostrato Profondità media (mt da pc)	$\bar{V}_P$ (m/sec)	$\bar{V}_S$ (m/sec)	$\bar{\gamma}$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\mu$	$E_y$ (MPa)	$G_0$ (MPa)	$M_0$ (MPa)	$\lambda$ (MPa)
A (0,00÷1,80)	507	154	1,67	0,44	115	40	376	350
B (1,80÷8,90)	923	293	1,87	0,44	464	161	1379	1272
C (8,90÷15,00 $\approx$ )	1416	369	2,02	0,46	805	275	3683	3500

Sismostrato Profondità media (mt da pc)	R (tonn/m <sup>2</sup> s)	$E_d$ (MPa)
A (0,00÷1,80)	307	447
B (1,80÷8,90)	698	1028
C (8,90÷15,00 $\approx$ )	878	3188

Riepilogo delle caratteristiche elasto-meccaniche degli strati identificati dalle indagini geofisiche in situ per lo stendimento sismico ST03

<b>A</b> (0,00÷1,80)	257	462
<b>B</b> (1,80÷8,90)	547	1534
<b>C</b> (8,90÷15,00≈)	745	3610

#### **7.2.4 Sism ST04:**

Nel profilo sismico Sism ST04 sono stati riconosciuti tre orizzonti significativi con differenti caratteristiche elasto-meccaniche.

Dai valori di velocità di propagazione delle onde P, è stato possibile ricavare la sismostruttura del sottosuolo investigato, identificando tre sismostrati, ciascuno caratterizzato da un determinato valore medio di velocità delle onde di compressione. Assimilando tali valori di velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area, in prima analisi, è stato ricostruito il seguente assetto litostratigrafico, evidenziando come i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:

- **Sismostrato A:** terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ciottolosa, mediamente consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 523 m/sec per una profondità media di circa -1,80 mt da pc;
- **Sismostrato B:** deposito di natura sabbioso-limoso, consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 826 m/sec per una profondità media di circa -8,60 mt da pc;
- **Sismostrato C:** deposito di natura limosa sabbioso-argillosa, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1119 m/sec sino a fine indagine (≈-15 mt da pc)

#### **Stendimento ST04**

<b>Sismostrato</b> Profondità media (mt da pc)	$\bar{V}_p$ (m/sec)	$\bar{V}_s$ (m/sec)	$\gamma$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\mu$	$E_y$ (MPa)	$G_0$ (MPa)	$M_0$ (MPa)	$\lambda$ (MPa)
<b>A</b> (0,00÷1,80)	523	203	1,68	0,41	195	69	367	321
<b>B</b> (1,80÷8,60)	826	376	1,83	0,37	709	259	904	731
<b>C</b> (8,60÷15,00≈)	1119	415	1,94	0,42	949	334	1984	1761

<b>Sismostrato</b> Profondità media (mt da pc)	<b>R</b> (tonn/m <sup>2</sup> s)	<b>E<sub>d</sub></b> (MPa)
<b>A</b> (0,00÷1,80)	341	493
<b>B</b> (1,80÷8,60)	688	1228
<b>C</b> (8,60÷15,00≈)	805	2256

Riepilogo delle caratteristiche elasto-meccaniche degli strati identificati dalle indagini geofisiche in situ per lo stendimento sismico ST04

#### **7.2.5 Sism ST05:**

Nel profilo sismico Sism ST05 sono stati riconosciuti tre orizzonti significativi con differenti caratteristiche elasto-meccaniche.

Dai valori di velocità di propagazione delle onde P, è stato possibile ricavare la sismostruttura del sottosuolo investigato, identificando tre sismostrati, ciascuno caratterizzato da un determinato valore medio di velocità delle onde di compressione. Assimilando tali valori di velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area, in prima analisi, è stato ricostruito il seguente assetto litostratigrafico, evidenziando come i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:

- **Sismostrato A:** terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ciottolosa, poco consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 381 m/sec per una profondità media di circa -2,00 mt da pc;
- **Sismostrato B:** deposito di natura sabbioso-limoso, consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1064 m/sec per una profondità media di circa -7,20 mt da pc;
- **Sismostrato C:** deposito di natura limosa sabbioso-argillosa, molto consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1434 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ 15 mt da pc)

### Stendimento ST05

Sismostrato Profondità media (mt da pc)	$\bar{V}_p$ (m/sec)	$\bar{V}_s$ (m/sec)	$\gamma$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\mu$	$E_y$ (MPa)	$G_0$ (MPa)	$M_0$ (MPa)	$\lambda$ (MPa)
A (0,00÷2,00)	381	145	1,58	0,41	94	33	185	163
B (2,00÷7,20)	1064	293	1,91	0,45	478	164	1944	1834
C (7,20÷15,00 $\approx$ )	1434	384	2,02	0,46	871	298	3757	3558

Sismostrato Profondità media (mt da pc)	R (tonn/m <sup>2</sup> s)	$E_d$ (MPa)
A (0,00÷2,00)	229	261
B (2,00÷7,20)	559	2040
C (7,20÷15,00 $\approx$ )	775	3771

Riepilogo delle caratteristiche elasto-meccaniche degli strati identificati dalle indagini geofisiche in situ per lo stendimento sismico ST04

### 7.2.6 Sism ST06:

Nel profilo sismico Sism ST06 sono stati riconosciuti tre orizzonti significativi con differenti caratteristiche elasto-meccaniche.

Dai valori di velocità di propagazione delle onde P, è stato possibile ricavare la sismostruttura del sottosuolo investigato, identificando tre sismostrati, ciascuno caratterizzato da un determinato valore medio di velocità delle onde di compressione. Assimilando tali valori di velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area, in prima analisi, è stato ricostruito il seguente assetto litostratigrafico, evidenziando come i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:

- **Sismostrato A:** terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ciottolosa, poco consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 302 m/sec per una profondità media di circa -2,60 mt da pc;
- **Sismostrato B:** deposito di natura sabbioso-limosa, consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1033 m/sec per una profondità media di circa -7,60 mt da pc;
- **Sismostrato C:** deposito di natura limosa sabbioso-argillosa, molto consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1475 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$  15 mt da pc).

### Stendimento ST06

Sismostrato Profondità media (mt da pc)	$\bar{V}_p$ (m/sec)	$\bar{V}_s$ (m/sec)	$\gamma$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\mu$	$E_y$ (MPa)	$G_0$ (MPa)	$M_0$ (MPa)	$\lambda$ (MPa)
<b>A</b> (0,00÷2,60)	302	120	1,51	0,40	61	22	109	94
<b>B</b> (2,60÷7,60)	1033	181	1,90	0,47	185	62	1944	1903
<b>C</b> (7,60÷15,00 $\approx$ )	1475	225	2,04	0,48	307	103	4301	4232

Sismostrato Profondità media (mt da pc)	R (tonn/m <sup>2</sup> s)	$E_d$ (MPa)
<b>A</b> (0,00÷2,60)	181	165
<b>B</b> (2,60÷7,60)	343	1923
<b>C</b> (7,60÷15,00 $\approx$ )	459	3917

Riepilogo delle caratteristiche elasto-meccaniche degli strati identificati dalle indagini geofisiche in situ per lo stendimento sismico ST04

Con:

$\bar{V}_p$ = velocità media onde di compressione;  
 $\bar{V}_s$ = velocità media onde di taglio;  
 $\gamma$ = Peso unità di volume naturale;  
 $\mu$ = coefficiente di Poisson;  
 $E_y$ = modulo di Young;  
 $G_0$ = modulo di taglio;

$M_0$ = modulo di compressibilità volumetrica;  
 $\lambda$ = coefficiente di Lamé;  
R= rigidità sismica;  
 $E_d$ = modulo edometrico.

### 7.3 SONDAGGI MECCANICI CONSULTATI.

Nel 2012 la società appaltante FRI-EL S.p.A. ha fatto eseguire, per la realizzazione di un parco eolico nella stessa area di stretto interesse, una campagna di indagini geognostiche composta da n. 23 sondaggi geognostici eseguiti a carotaggio continuo con prelievo di campioni sottoposta ad analisi geotecniche di laboratorio, molte indagini sismiche eseguite in onde P e Sh e con tecnica Masw e anche prove penetrometriche.

Della campagna geognostica consultata molte indagini sono state prese in considerazione poiché eseguite in condizioni geologiche e geomorfologiche molto simili a quelle delle zone di ubicazione dei nuovi aerogeneratori in progetto.

Nel sezione Report di fine Campagna, riportata in coda alla presente, sono allegate le stratigrafie dei sondaggi utili alla definizione dei rapporti stratigrafici e i parametri geotecnici ottenuti dalle

prove di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati prelevati; mentre, l'ubicazione di tali indagini consultate è riportata nell'allegata planimetria Ubicazioni Indagini.

## 8. Considerazioni sulla Sismicità dell'aera

### 8.1 PARAMETRI SISMICI DELL'AREA DEL PARCO EOLICO IN PROGETTO

La vecchia normativa sulla individuazione delle zone sismiche, OPCM n. 3274/2003 e s.m.i., dispone che l'abitato di Gravina in P. sia classificato come zona sismica di 3<sup>a</sup> categoria con un grado di sismicità  $S=6$  a cui compete una accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico **ag** pari a **0.15**.

Il suolo di fondazione, in base alla indagini indirette eseguite e consultate, può essere associato per quasi tutti gli aerogeneratori, alla categoria di suolo "B" – "*Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensati o di argille di media consistenza*". I valori del  $V_{seq}$ , della categoria di terreno "B", sono compresi tra 360 e 800 m/sec.

Solo le indagini eseguite presso l'aerogeneratore GIP11 ha mostrato velocità delle onde di taglio misurate con tecnica MASW inferiore a 360 m/s associando i terreni di fondazione alla categoria di suolo "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*".

Dall'inversione delle onde di taglio emerge che in tutte le indagini condotte non è stato intercettato entro i primi 30 mt di profondità il badrock sismico.

Di seguito si riportano i Parametri sismici di tutti e quattro gli stati limite (NTC), relativi alla macrozona sismica comprendente le aree di sedime delle pale eoliche in progetto, considerando in maniera cautelativa, quelle ubicate su versanti con pendenze tali da ricadere nella cat. topografica T2 anche se la maggior parte delle aree di sedime delle torri in progetto presenta pendenze tali da ricadere nella cat. topografica "T1".

Coordinate Macrozona Sismica - Sito di riferimento

Sito 1	ID: 33009	Lat: 40,8510	Lon: 16,2663	Distanza: 4206,200
Sito 2	ID: 33010	Lat: 40,8493	Lon: 16,3323	Distanza: 1968,825
Sito 3	ID: 33232	Lat: 40,7993	Lon: 16,3301	Distanza: 4590,988
Sito 4	ID: 33231	Lat: 40,8010	Lon: 16,2641	Distanza: 5907,124

## PARAMETRI SISMICI DELLE ZONE DI UBICAZIONE DEGLI AEROGENERATORI T1, T3 e T4

Categoria sottosuolo: B  
Periodo di riferimento: 50 anni

Categoria topografica: T2  
Coefficiente cu: 1

### Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %  
Tr:30 [anni]  
ag: 0,038 g  
Fo: 2,526  
Tc\*: 0,270 [s]

### Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %  
Tr: 50 [anni]  
ag: 0,048 g  
Fo: 2,501  
Tc\*: 0,318[s]

### Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %  
Tr: 475 [anni]  
ag: 0,115 g  
Fo: 2,6260  
Tc\*: 0,443 [s]

### Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %  
Tr: 975 [anni]  
g: 0,147 g  
Fo: 2,633  
Tc\*: 0,518 [s]

### COEFFICIENTI SISMICI

#### SLO:

Ss: 1,200  
Cc: 1430  
St: 1,200  
Kh: 0,010  
Kv: 0,005  
Amax: 0.533  
Beta: 0,180

#### SLD:

Ss: 1,200  
Cc: 1,380  
St: 1,200  
Kh: 0,012  
Kv: 0,006  
Amax: 0.671  
Beta: 0,180

#### SLV:

Ss: 1,200  
Cc: 1,290  
St: 1,200  
Kh: 0,040  
Kv: 0,020  
Amax: 1.631  
Beta: 0,240

#### SLC:

Ss: 1,190  
Cc: 1,250  
St: 1,200  
Kh: 0,051  
Kv: 0,025  
Amax: 2.077  
Beta: 0,240

## PARAMETRI SISMICI DELLE ZONE DI UBICAZIONE DELL'AEROGENERATORE T2

Categoria sottosuolo: C  
Periodo di riferimento: 50 anni

Categoria topografica: T2  
Coefficiente cu: 1

### Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %  
Tr:30 [anni]  
ag: 0,038 g  
Fo: 2,526  
Tc\*: 0,270 [s]

### Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %  
Tr: 50 [anni]  
ag: 0,048 g  
Fo: 2,501  
Tc\*: 0,318[s]

### Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %  
Tr: 475 [anni]  
ag: 0,115 g  
Fo: 2,626  
Tc\*: 0,443 [s]

### Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %  
Tr: 975 [anni]  
ag: 0,147 g  
Fo: 2,633  
Tc\*: 0,518 [s]

### COEFFICIENTI SISMICI

#### SLO:

Ss: 1,500  
Cc: 1,620  
St: 1,200  
Kh: 0,012  
Kv: 0,006  
Amax: 0.667  
Beta: 0,180

#### SLD:

Ss: 1,500  
Cc: 1,530  
St: 1,200  
Kh: 0,015  
Kv: 0,008  
Amax: 0.839  
Beta: 0,180

#### SLV:

Ss: 1,500  
Cc: 1,370  
St: 1,200  
Kh: 0,050  
Kv: 0,025  
Amax: 2.038  
Beta: 0,240

#### SLC:

Ss: 1,470  
Cc: 1,300  
St: 1,200  
Kh: 0,062  
Kv: 0,031  
Amax: 2.544  
Beta: 0,240

## 8.2 MICROZONAZIONE SISMICA DELL'AREA DEL PARCO EOLICO IN PROGETTO

Nella progettazione di nuove opere o di interventi su opere esistenti, gli studi di Microzonazione Sismica evidenziano la presenza di fenomeni di possibile amplificazione dello scuotimento sismico atteso legati alle caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche dell'area e di fenomeni di instabilità e deformazione permanente che possono essere attivati dal sisma.

Gli studi di Microzonazione Sismica, quindi, possono offrire elementi conoscitivi utili per la progettazione di opere, con differente incisività in funzione del livello di approfondimento e delle caratteristiche delle opere stesse, indirizzando alla scelta delle indagini di dettaglio.

Nel presente studio è stato eseguito un approfondimento di I° livello, mappando l'intera zona circostante l'area di sedime del parco eolico in progetto in zone a suscettibilità sismica differente.

Come riportato nell'elaborato Carta della Microzonazione Sismica in scala 1:5.000, l'area di sedime del parco eolico in progetto è diviso in n. 4 zone sismiche differenti: due classificate **Zone Stabili (b) suscettibili di amplificazioni locali**, mentre le altre due sono state classificate **Zona suscettibili di instabilità (c) in cui gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del terreno** come l'instabilità di versante.

Tutti gli aerogeneratori in progetto saranno ubicati in zona stabili (b) suscettibili di amplificazione locale, e precisamente in zone classificate "Mz-b-1" (Zona di attenzione per amplificazione del moto sismico dovuto alla presenza di terreni granulari su versanti da poco a mediamente inclinati) e in zone classificate "Mz-b-2" (Zona di attenzione per amplificazione del moto sismico dovuto alla presenza di terreni granulari su versanti da mediamente a molto inclinati).

Le zone suscettibili di instabilità per la presenza di aree instabili "Mz-c-2" saranno interessate in tre punti dal passaggio del cavidotto che collega i vari aerogeneratori; due sono ubicate lungo la Strada Provinciale della "Valle Pentecchia", mentre uno è lungo il percorso per raggiungere l'aerogeneratore GIP8.

Per le prime due interferenze il cavidotto sarà realizzato lungo il tracciato stradale, l'ultimo tratto, invece, interesserà un'area a vincolo idrogeologico basso "R1" e dunque un'area soggetta ad amplificazione sismica locale, e sarà realizzata lungo il tracciato di una strada di progetto realizzata dalla stessa società FRI-EL SpA per collegare un aerogeneratore costruito nel 2012.

## 9. Considerazioni sui terreni di fondazione delle torri eoliche

Il parco eolico in progetto è composto da n. 12 aerogeneratori disposti nella piana di sedimentazione per regressione marina dove affiorano terreni quaternari di natura argillosa limosa appartenenti al ciclo di chiusura di sedimentazione dell'Avanfossa Bradanica (Argille di gravina, Sabbie di Monte Marano e Conglomerati di Irsina) sovrapposti parzialmente da terreni granulari di sedimentazione continentale effetti di sedimentazione in mare poco profondo in regressione verso l'attuale linea di costa ionica.

La notevole estensione dell'area del parco, implica una variabilità nella litologia delle aree di ubicazione degli aerogeneratori e di conseguenza una variabilità dei parametri geotecnici dei terreni di sedime delle opere in progetto.

Per una migliore classificazione di tali terreni, di seguito si riporta uno schema geotecnico dei terreni affioranti, distinto in n. 5 zone di sedime degli aerogeneratori in progetto con relative indicazioni schematiche della principali caratteristiche geotecniche.

### **ZONA 1 – AREA DEGLI AEROGENERATORI: GIP1-GIP2-GIP3-GIP4**

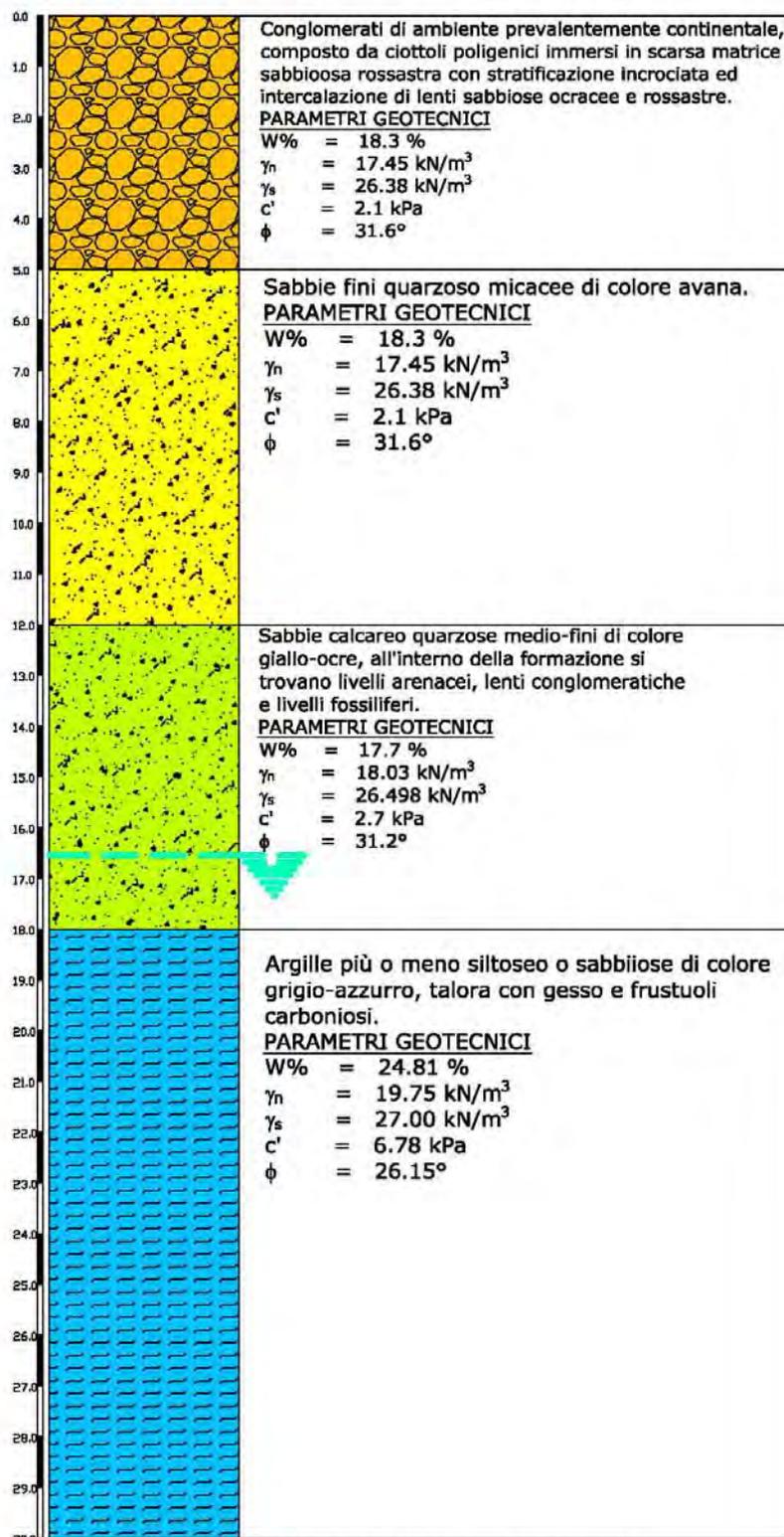
La zona in cui saranno ubicati gli aerogeneratori GIP1, GIP2, GIP3 e GIP 4 è la parte esterna della spianata di sedimentazione per regressione marina, al limite con la scarpata dell'ampia valle del Torrente Basentello.

Ai bordi di questa spianata affiorano ancora i conglomerati continentali rossastri che ricoprono a tratti le sabbie dello statuto sempre di ambiente di sedimentazione continentale.

Al di sotto affiorano le Sabbie di Monte Marano e le Argille subappennine che costituiscono il basamento dell'intera piana di sedimentazione.

Di seguito si riporta lo schema geotecniche dei terreni affioranti con indicazione della profondità della falda e la classificazione del terreno in senso sismico

## SCHEMA GEOTECNICO TORRI GIP 1, GIP 2, GIP 3 e GIP 4



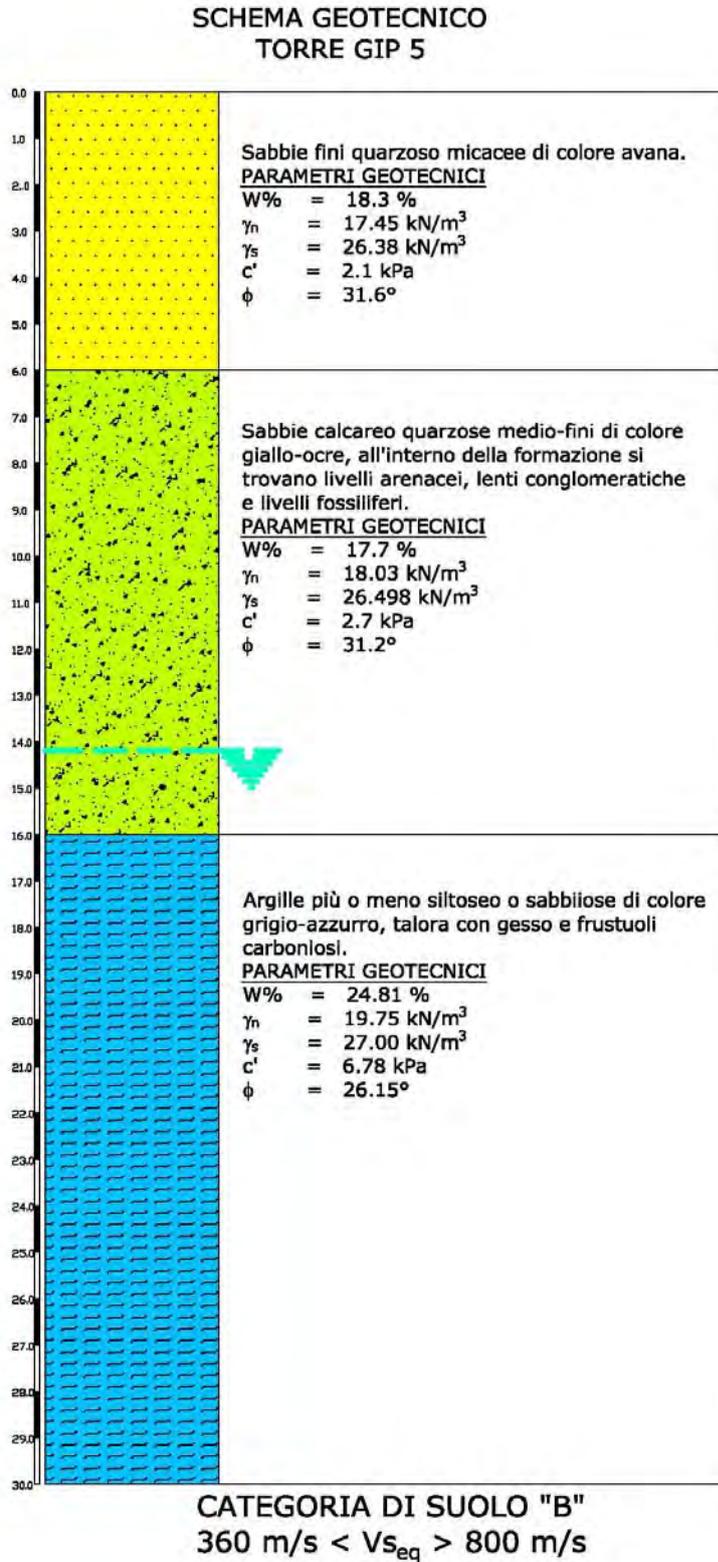
**CATEGORIA DI SUOLO "B"**  
 **$360 \text{ m/s} < V_{s_{eq}} > 800 \text{ m/s}$**

“Schema geotecnico dei terreni di sedime delle torri eoliche in progetto GIP1, GIP2, GIP3 e GIP4.”

## ZONA 2 – AREA DEGLI AEROGENERATORI: GIP5

Nella parte più interna della spianata per sedimentazione marina, cioè la parte più distante della Valle del Torrente Basentello e più vicina alla Valle “Pentecchia” in affioramento non si trovano

più i conglomerati continentali superficiali, dunque la stratigrafia è simile a quella precedente ma manca la copertura parziale delle Sabbie dello Staturo.



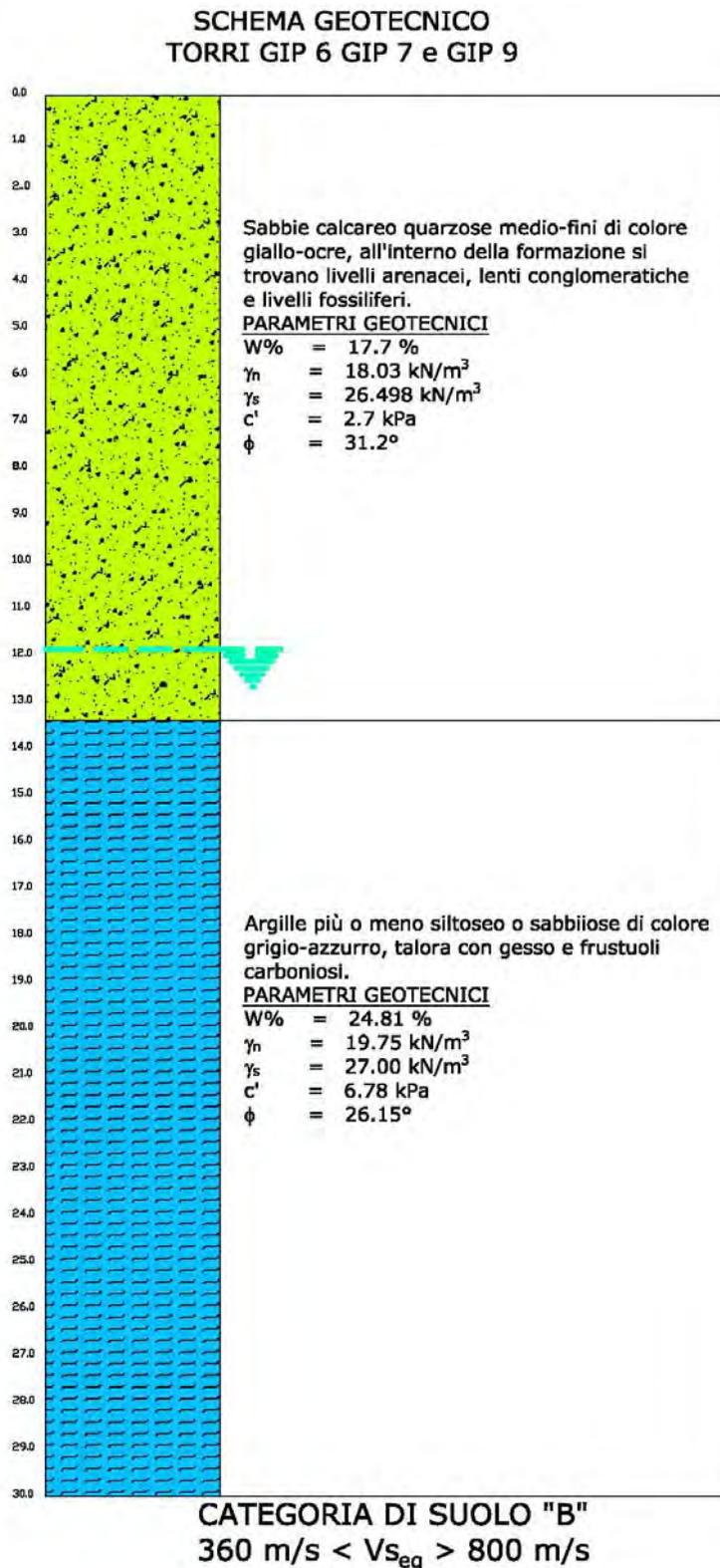
“Schema geotecnico dei terreni di sedime delle torri eoliche in progetto GIP5.”

### ZONA 3 – AREA DEGLI AEROGENERATORI: GIP6-GIP7-GIP9

Nella parte più bassa dei versanti poco inclinati che caratterizzano la valle “Pentecchia” saranno ubicate le torri eoliche GIP6, GIP7 e GIP9.

I terreni di sedime di tali Torri sono costituiti dalle Sabbie di monte Marano su cui l’erosione su-

perficiale ha completamente eroso i depositi di sedimentazione continentale come le Sabbie dello Staturo e i conglomerati continentali.

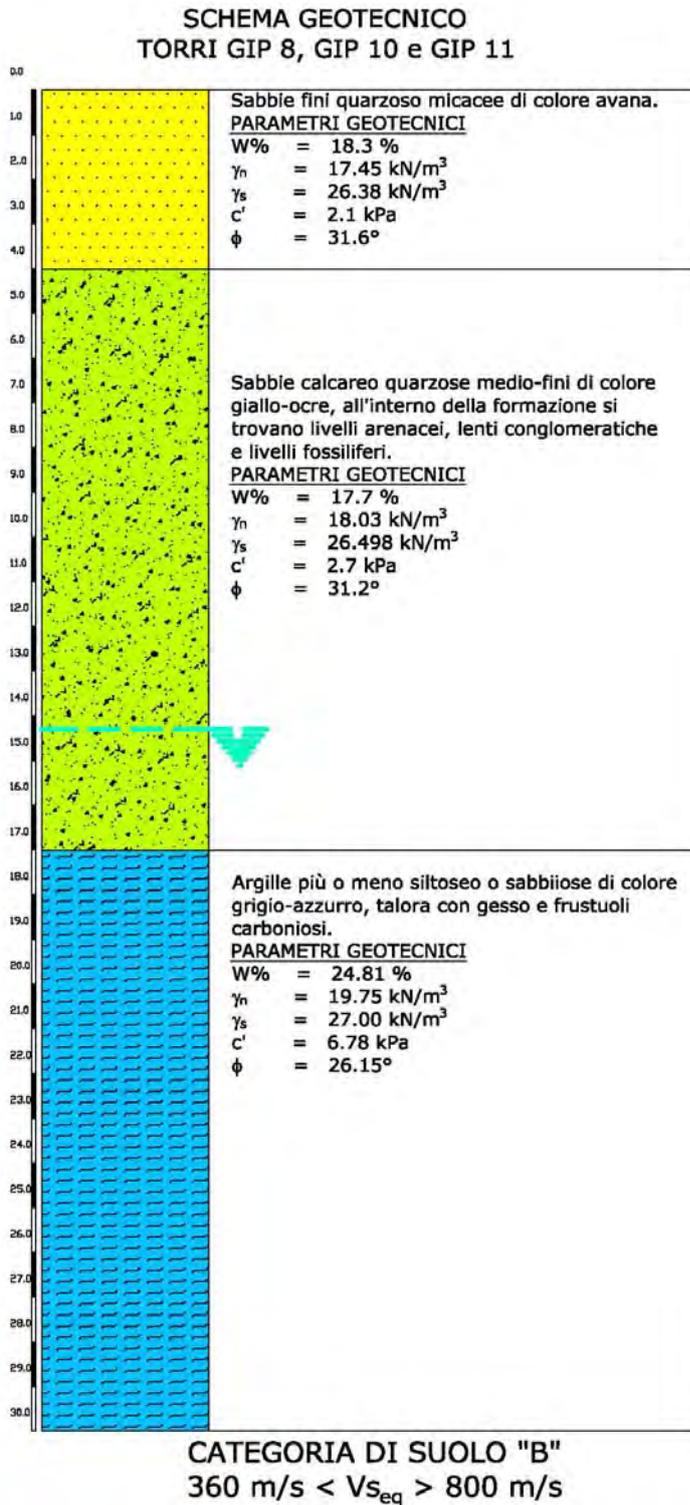


“Schema geotecnico dei terreni di sedime delle torri eoliche in progetto GIP6, GIP7 e GIP9.”

**ZONA 4 – AREA DEGLI AEROGENERATIRI: GIP8-GIP10-GIP11**

Gli aerogeneratori Gip 8, GIP 10 e GIP 11, saranno nella parte mediana dei versanti prospicienti la Gravina di Matera, infatti i terreni di sedime sono interessati dalla presenza sui sedimenti marini (Sabbie di Monte Marano e Argille Subappennine) dei sedimenti continentali come le Sabbie dello

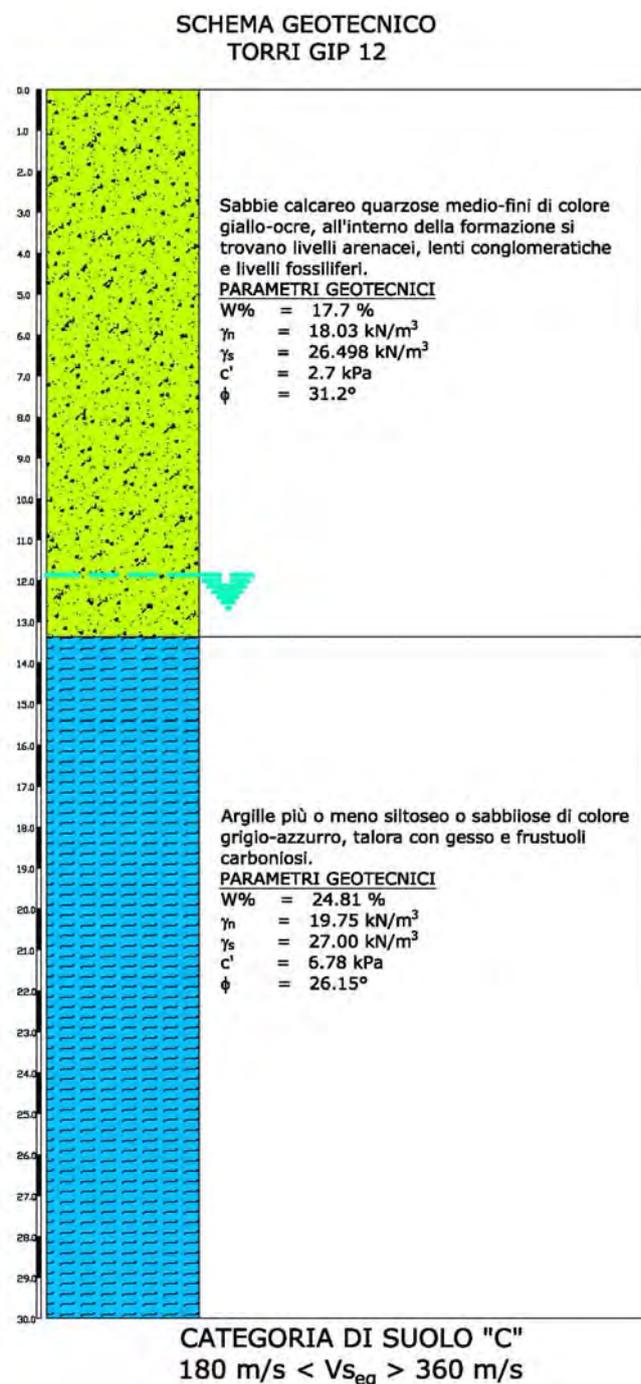
Staturò, molto simile alla stratigrafia del GIP 5, ma disposti su versanti sempre poco inclinati, ma vergenti verso l’ampia valle della Gravina di Matera.



“Schema geotecnico dei terreni di sedime delle torri eoliche in progetto GIP8, GIP10 e GIP11.”

## ZONA 5– AREA DEGLI AEROGENERATORI: GIP12

L'ultimo aerogeneratore GIP 12 sarà ubicato sul versante destro della Gravina di Matera che solca la parte sud-occidentale della città di Gravina di Puglia.



Anche in questo caso mancano completamente i sedimenti continentali e i terreni di sedime degli aerogeneratori sono composti direttamente dai sedimenti marini come le Sabbie di Monte Marano.

La differenza con le torri eoliche che presentano la stessa stratigrafia sta solo nel fatto che nella zona i terreni sono risultati appartenenti alla categoria di suolo "C"

*"Schema geotecnico dei terreni di sedime delle torri eoliche in progetto GIP12.*

Negli schemi geotecnici riportati precedentemente sono indicato i parametri geotecnici di riferimento, parametri che in relazione alle indagini eseguite a quelle consultate e a quelli indicati nella bibliografia ufficiale sono stati, per tutti i terreni interessati dalle opere in progetto, schematizzati nel paragrafo seguente.

## 9.1 PARAMETRI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO

### - Valori medi ( $V_m$ ) dei terreni conglomeratici e sabbiosi sommitali di sedimentazione continentale

<input type="checkbox"/> Contenuto naturale di acqua	$W = 6,24 \%$
<input type="checkbox"/> Peso di volume naturale	$\gamma_n = 19,92 \text{ kN/m}^3$
<input type="checkbox"/> Peso Specifico	$\gamma_s = 26,17 \text{ kN/m}^3$
<input type="checkbox"/> Coesione	$c = 0,66 \text{ kPa}$
<input type="checkbox"/> Angolo di attrito interno	$\phi = 34,16^\circ$

### - Valori medi ( $V_m$ ) dei terreni sabbiosi di sedimentazione continentale “Sabbie dello Staturo”

<input type="checkbox"/> Contenuto naturale di acqua	$W = 18,30 \%$
<input type="checkbox"/> Peso di volume naturale	$\gamma_n = 17,45 \text{ kN/m}^3$
<input type="checkbox"/> Peso Specifico	$\gamma_s = 26,38 \text{ kN/m}^3$
<input type="checkbox"/> Coesione	$c = 2,1 \text{ kPa}$
<input type="checkbox"/> Angolo di attrito interno	$\phi = 31,6^\circ$

### - Valori medi ( $V_m$ ) dei terreni sabbiosi di sedimentazione marina “Sabbie di Monte Marano”

<input type="checkbox"/> Contenuto naturale di acqua	$W = 17,70 \%$
<input type="checkbox"/> Peso di volume naturale	$\gamma_n = 18,03 \text{ kN/m}^3$
<input type="checkbox"/> Peso Specifico	$\gamma_s = 26,49 \text{ kN/m}^3$
<input type="checkbox"/> Coesione	$c = 2,7 \text{ kPa}$
<input type="checkbox"/> Angolo di attrito interno	$\phi = 31,2^\circ$

### - Valori medi ( $V_m$ ) dei terreni argilloso-limosi di sedimentazione marina “Argille Subappennine”

<input type="checkbox"/> Contenuto naturale di acqua	$W = 24,81 \%$
<input type="checkbox"/> Peso di volume naturale	$\gamma_n = 19,75 \text{ kN/m}^3$
<input type="checkbox"/> Peso Specifico	$\gamma_s = 27,00 \text{ kN/m}^3$
<input type="checkbox"/> Coesione	$c = 6,78 \text{ kPa}$
<input type="checkbox"/> Angolo di attrito interno	$\phi = 26,15^\circ$

Il D.M. 17 Gennaio 2018 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” prevede per la definizione del grado di sicurezza di una struttura relativamente alla possibilità di rottura del terreno di fondazione, un approccio di semiprobabilistico, o di I livello, adottando il concetto di stato limite ultimo (SLU). Pertanto dai valori medi ( $V_m$ ) dei parametri del terreno si passa a valori caratteristici  $V_k$ , come richiesto dalle verifiche allo SLU e allo SLE.

## 9.2 PARAMETRI CARATTERISTICI

In prima approssimazione i valori caratteristici di  $c'$  e  $\phi'$  sono determinabili con le seguenti relazioni:

- (1)  $\phi'_k = \phi'_m (1+X \cdot V_\phi)$
- (2)  $c'_k = c'_m (1+X \cdot V_c)$
- (3)  $C_{uk} = C_{um} (1+X \cdot V_{Cu})$

Secondo le NTC 2018 il valore caratteristico può essere valutato con un approccio di tipo Bayesiano anche nelle condizioni in cui non sia presente nessun valore di prove disponibile. In questo caso il valore caratteristico  $X_k$  del parametro ricercato, secondo Cherubini e Orr (1999) è ottenuto dalla seguente relazione

$$X_k = X_m \cdot (1-CV/2)$$

con

$$X_m = (a+4b+c)/6$$

$$CV = (c-a) / (a+4b+c)$$

dove :

a = valore minimo stimato

b = valore più probabile

c = valore massimo stimato

## 9.3 PARAMETRI DI PROGETTO

I valori dei parametri di progetto  $\phi'$  e  $c'$  si ottengono in relazione alla Combinazione Azioni/Resistenze dividendo i valori caratteristici per un coefficiente riduttivo parziale secondo quanto indicato nella Tabella 6.2.II delle NTC.

In pratica, in problemi connessi al raggiungimento dello stato limite ultimo SLU del terreno, Combinazione 2 Approccio 1 (A2+M2+R2), i valori di progetto  $V_d$  di pertinenza geotecnica (M2) si ottengono come indicato nella tabella:

**Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

L'utilizzo dei parametri di progetto  $V_d$  avviene esclusivamente nell' Approccio 1 Combinazione 2 (A2-M2-R2) relativa al raggiungimento dello Stato Limite Ultimo (SLU).



## 11. Analisi di stabilità di versante

I n. 12 aerogeneratori sono ubicati in zone pianeggianti o poco inclinati lontani da versanti la cui pendenza necessita di essere investigata tramite l'esecuzione di verifiche di stabilità di versante.

Pertanto, per le caratteristiche morfologiche delle aree interessate dell'ubicazione degli aerogeneratori e delle strade di progetto non è necessario eseguire delle verifiche specifiche.

## 12. Considerazioni conclusive

I lavori in progetto prevedono la costruzione di n. 12 aerogeneratori disposti in alto a spianate per sedimentazione marina o blande collinette composta alla base da argille subappennine sovrapposta dalle Sabbie di Monte Marano a loro volta parzialmente ricoperte in alto alle colline o alle spianate dalle sabbie “Sabbie dello Staturò” e dai conglomerati rossastri di sedimentazione continentale.

Tali opere trasmettono al terreno di fondazione un discreto carico unitario; pertanto, allo scopo di assicurare una buona stabilità del complesso terreno-fondazione, in relazione agli scarichi a livello d'imposta, le strutture fondali dovranno assolvere a vari compiti quali:

- avere una sufficiente superficie di contatto;
- avere una sufficiente sezione inerziale;
- avere adeguata rigidità tale da assorbire eventuali cedimenti.

La verifica delle fondazione deve necessariamente tenere conto dei fattori inerenti la stabilità dell'opera; composizione geotecnica dell'area di sedime; portanza del terreno; geologia della zona direttamente interessata e quella delle zone circostanti; stato di addensamento; compressibilità del terreno; permeabilità; falda acquifera; distribuzione nel terreno delle tensioni indotte; spessore dello strato reagente; zonazione sismica; consolidazione; condizioni orografiche e geomorfologiche; stabilità del versante; assetto intrafissurale del terreno di sedime.

L'ubicazione degli aerogeneratori, riportata in tutti gli elaborati cartografici, evidenzia l'ottima disposizione delle stesse in relazione alla litologia dei terreni affioranti e alla geomorfologia delle zone interessate, infatti, esse ricadono tutte su terreni con discrete caratteristiche geotecniche e poste ad una distanza di sicurezza da scarpate di versanti che potrebbero essere interessate da fenomeni di instabilità superficiale.

Dal punto di vista sismico, i terreni del sito indagato appartengono alla categoria “B” del suolo di fondazione, solo nella zona degli aerogeneratori GIP11 e GIP12 i terreni ricadono nella categoria di suolo “C”, inoltre, sulla base delle indagini eseguite si è riscontrata nei primi 30,0 mt di profondità l'assenza del badrock sismico.

In conclusione, dalle risultanze ottenute riportate nella presente relazione, sulla base degli elementi a disposizione derivanti dai dati fisici e meccanici ottenuti nella campagna di indagine eseguita, dai rilievi geologici e geomorfologici di superficie, considerando altresì le discrete qualità portanti

Studio Tecnico di Geologia – Dott. Maurizio Giacomino

Via Dei Messapi, 66 – 75100 Matera

Tel/fax 08351970214 e-mail: mauriziogiacomino@gmail.com

del terreno, si evince che l'area in esame, da un punto di vista geologico-tecnico è idonea come terreno di fondazione e, pertanto, si formula parere positivo per la realizzazione del parco eolico in progetto.

Matera 3 luglio 2020

Il Geologo

Dott. Maurizio Giacomino



**REPORT DI FINE  
CAMPAGNA  
GEOGNOSTICA**

**INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE**

**MAGGIO 2021**



## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITU</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE INDIRECTE: PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE (ONDE P)</b>	<b>3</b>
2.1.1	ACQUISIZIONE ED INTERPRETAZIONE DEI DATI	5
2.1.2	STENDIMENTO SISMICO ST01	6
2.1.3	STENDIMENTO SISMICO ST02	8
2.1.4	STENDIMENTO SISMICO ST03	9
2.1.5	STENDIMENTO SISMICO ST04	10
2.1.6	STENDIMENTO SISMICO ST05	12
2.1.7	STENDIMENTO SISMICO ST06	13
<b>2.2</b>	<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE INDIRECTE: PROSPEZIONI SISMICHE MASW</b>	<b>14</b>
2.2.1	ACQUISIZIONE ED INTERPRETAZIONE DEI DATI	15
2.2.2	STENDIMENTO SISMICO MASW01	16
2.2.3	STENDIMENTO SISMICO MASW02	18
2.2.4	STENDIMENTO SISMICO MASW03	20
2.2.5	STENDIMENTO SISMICO MASW04	22
2.2.6	STENDIMENTO SISMICO MASW05	24
2.2.7	STENDIMENTO SISMICO MASW06	26
<b>2.3</b>	<b>CLASSIFICAZIONE DEL SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE</b>	<b>28</b>
<b>2.4</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE ELASTO-MECCANICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE</b>	<b>29</b>

## ALLEGATI AL TESTO

<b>TAVOLA A. 1</b>	UBICAZIONE INDAGINI IN SITU	(SCALA 1: 2.000)
<b>TAVOLA A. 2</b>	SEZIONI STRATIGRAFICHE INTERPRETATIVE-ONDE P	(SCALA 1: 200)



## 1 PREMESSA

Su incarico conferitomi dal **Geol. Maurizio GIACOMINO**, con studio in Via Lucana n° 337 nel Comune di Matera (MT), è stata redatta la seguente relazione a seguito del concludersi delle indagini geognostiche realizzate nell'ambito del progetto definitivo di "Realizzazione di un Parco Eolico da Ubicare in Agro del Comune di Venosa (PZ)". Le aree interessate dall'intervento sono localizzate nella zona Nord-Est dell'ambito amministrativo del Comune di Venosa (PZ) ed in parte nella zona Nord-Ovest dell'ambito amministrativo del Comune di Montemilone (PZ), così come riportato in allegato alla **Tavola A. 1 "Ubicazione Indagini in Situ"**. La campagna di indagini geognostiche (**Tavola A. 1 "Ubicazione Indagini in Situ"**), di tipo indirette, ha visto la realizzazione di:

- **N° 6 Prospezioni Sismiche a Rifrazione** in onde P per la ricostruzione del modello sismostratigrafico e la determinazione delle principali grandezze elasto-meccaniche dei terreni investigati;
- **N° 6 Prospezioni Sismiche MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves) in onde di Rayleigh per la caratterizzazione sismica e la definizione della categoria di sottosuolo come da normativa in materia antisismica vigente.

Il presente studio, volto a definire le caratteristiche litologico-stratigrafiche e sismiche del sito, è stato condotto in osservanza della normativa tecnica vigente in materia e in particolare: DM 17 Gennaio 2018 (Aggiornamento delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni"), Circolare 21 Gennaio 2019 n° 7 (Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni"), Circolare 2 Febbraio 2009 n° 617, prescrizioni AGI 1997, OPCM 3274/03 e successive modifiche (DGR 153/04, OPCM 3519/06) nonché tenendo in debito conto le "Linee Guida per Indagini Geofisiche" redatte a cura dell'Associazione Società di Geofisica Italiana.

In seguito alle prove summenzionate ed alle elaborazioni condotte, sono stati redatti i seguenti elaborati cartografici allegati alla presente relazione:

<b>TAVOLA A. 1</b>	UBICAZIONE INDAGINI IN SITU	(SCALA 1: 2.000)
<b>TAVOLA A. 2</b>	SEZIONI STRATIGRAFICHE INTERPRETATIVE-ONDE P	(SCALA 1: 200)



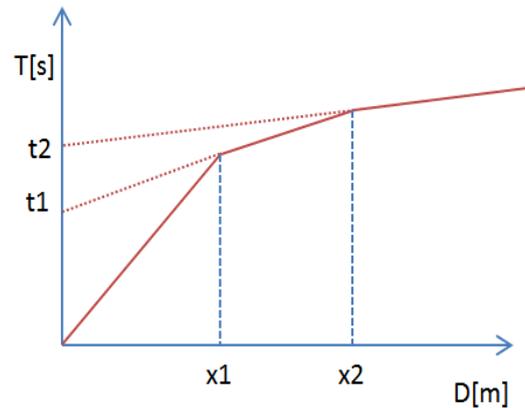
## 2 INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITU

Per la ricostruzione del modello geologico-stratigrafico del sito e la parametrizzazione geomeccanica del volume significativo di terreno relativo all'intervento si è fatto riferimento alle informazioni fornite dall'esecuzione n° 6 prospezioni sismiche a rifrazione in onde P e n° 6 prospezioni sismiche MASW le cui posizioni sono riportate in allegato alla **Tavola A. 1 "Ubicazione Indagini in Situ"**. Le prove sono state realizzate nelle immediate vicinanze dei futuri siti di realizzazione degli impianti eolici in progetto e, in accordo con la committenza, in maniera tale da investigare il terreno di sedime cercando un giusto compromesso tra la profondità massima di investigazione e gli spazi fisici a disposizione.

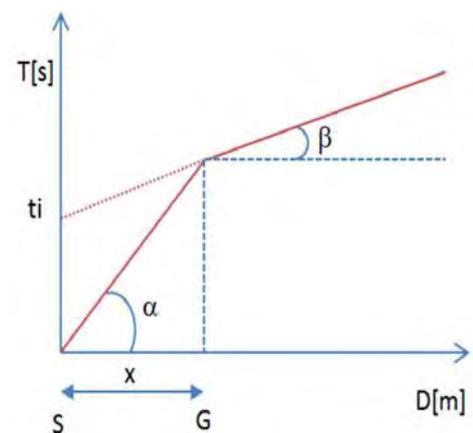
### 2.1 Indagini Geognostiche Indirette: Prospezioni Sismiche a Rifrazione (Onde P)

Le indagini di sismica a rifrazione (P e/o S), consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). Altro scopo è quello di tarare e vincolare l'altro metodo di indagine (MASW) per tutto lo spessore investigato dall'indagine sismica, contribuendo a diminuire l'incertezza sulla determinazione delle velocità delle onde sismiche  $V_s$ . La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione tradizionale è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti. Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda  $\lambda$ , comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell. Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore. La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde  $\lambda$ , equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza  $\vartheta_i$  mentre quello formato tra il raggio

rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione  $\vartheta_r$ . La formula matematica è:  $v_2 \sin\vartheta_i = v_1 \sin\vartheta_r$ . Dove  $v_1$  e  $v_2$  sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità. Per  $v_1 > v_2$  si ha che  $\vartheta_i > \vartheta_r$  e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per  $v_1 < v_2$  si ha che  $\vartheta_i < \vartheta_r$  ed esiste un angolo limite d'incidenza per cui  $\vartheta_r = 90^\circ$  ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'angolo limite è definito come:  $\vartheta_i \arcsin (v_1 / v_2)$ .



Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo  $T$  dato dalla relazione:  $T = x_i / V_1$ , dove  $x_i$  è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione. L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità  $V_1$  del primo mezzo come:  $V_1 = 1/\tan\alpha$ . I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette. La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo  $t_i$  che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione. Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi. Infine, dalla conoscenza dei tempi  $t_i$  è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:



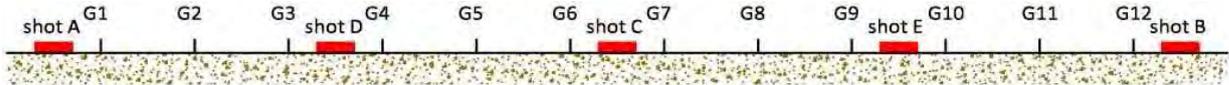
$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left( t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1V_{(i-2)}} \right)$$

### 2.1.1 Acquisizione ed Interpretazione dei Dati

Le indagini sono state condotte utilizzando la seguente strumentazione:

- Sismografo con 24 canali, della ditta "PASI Srl" modello GEA24 con acquisizione computerizzata dei dati mediante laptop;
- Sorgente di energizzazione costituita da un maglio del peso di 10 Kg battente verticalmente su piastra rettangolare in alluminio posta direttamente sul piano campagna per la generazione prevalentemente di onde P e secondariamente di onde  $S_v$ ;
- n. 12 geofoni verticali del tipo elettromagnetico a bobina mobile a massa sospesa, con frequenza di acquisizione pari a 4,5 Hz.

La distanza intergeofonica è stata posta pari a 4 mt per tutti gli stendimenti realizzati, denominati di seguito rispettivamente ST01, ST02, ST03, ST04, ST05 e ST06, con punti di battuta A e B poste a 5 mt rispettivamente dal 1° e dal 12° geofono, in posizione esterna allo stendimento, la battuta C posta al centro dello stendimento (fra il 6° e il 7° geofono), mentre le altre due battute intermedie D ed E poste rispettivamente tra 3° e 4° geofono e tra il 9° e il 10° geofono come riportato in **Figura 1**:



**Figura 1**-Configurazione geometrica dello stendimento sismico a rifrazione

In fase di acquisizione dei sismogrammi è stato applicato un filtro passa alto, con frequenza di taglio pari a 10 Hz, per una migliore ricezione dei segnali. L'elaborazione dei dati è stata eseguita secondo la procedura descritta schematicamente di seguito:

- Inserimento delle geometrie mediante il software EasyRefract (distanze fra geofoni e posizioni dei punti di scoppio);
- Applicazione di un filtro "low-pass" per la lettura ottimale dei primi arrivi eliminando le frequenze di disturbo;
- *Picking* dei primi arrivi;
- Definizione delle dromocrone;
- Calcolo dromocrone traslate;
- Definizione del modello sismostratigrafico.

Bisogna precisare che, l'elaborazione dei dati di sismica a rifrazione rappresentano l'andamento dei sismostrati lungo la sezione corrispondente al profilo in superficie, ed il modello sismostratigrafico che ne deriva rappresenta l'interpretazione degli stessi sismostrati in funzione della geologia del sito, ottenuto

correlando le velocità medie di ciascun sismostrato con i dati geologici noti e le loro velocità sismiche caratteristiche. Ai fini della corretta interpretazione dei risultati dell'indagine sismica è importante puntualizzare che:

- I sismostrati non sono necessariamente associabili a litotipi ben definiti, ma sono rappresentativi di livelli con simili caratteristiche elastiche, in cui le onde sismiche si propagano con la stessa velocità;
- La risoluzione del metodo è funzione della profondità d'indagine e la risoluzione diminuisce con la profondità: considerato uno strato di spessore  $h$  ubicato a profondità  $z$  dal piano campagna, in generale non è possibile individuare sismostrati in cui  $h < 0,25 * z$ ;
- Nelle indagini superficiali, le onde di taglio, meno veloci, arrivano in un tempo successivo, per cui il segnale registrato sarà la risultante delle onde S con le onde P e quindi la lettura dei tempi di arrivo delle onde S può risultare meno precisa della lettura dei tempi di arrivo delle onde P;
- I terreni esaminati possono ricoprire un ampio campo delle velocità sismiche, in relazione alla presenza di materiale di riporto, di terreno vegetale e di acqua di falda nonché ai vari gradi di stratificazione, carsificazione e di fratturazione dell'ammasso roccioso.

Di seguito sono stati riportati, in **Tabella 1**, i valori di velocità delle onde sismiche di compressione P tipici di alcuni litotipi ricorrenti.

Litotipo	V <sub>p</sub> (m/sec)	Litotipo	V <sub>p</sub> (m/sec)
Areato superficiale	300-800	Calcere cristallino	5700-6400
Argille	1100-2900	Piroclastiti coerenti (tufo)	750-2450
Sabbia asciutta	200-1000	Piroclastiti incoerenti (pozzolana)	350-1000
Sabbie umida	600-1800	Arenaria	1400-4500
Terreni alluvionali sciolti	400-2100	Granito, Monzonite, Granodiorite, Gabbro, Diabase, Basalto	4000-6000
Acqua	1400-1500	Anidride	3500-5500
Calcere fratturato	700-4200	Gesso	1800-4000
Calcere compatto	2800-6400	Gneiss e scisti	3500-7500

**Tabella 1**-Valori di velocità tipiche delle onde di compressione P (da "Le indagini geofisiche per lo studio del sottosuolo" di Carrara-Rapolla-Roberti, "Il manuale del geologo" di Cassadio-Elmi)

### 2.1.2 Stendimento Sismico ST01

Lo stendimento è stato realizzato su di un'area destinata a seminativo agricolo, senza variazioni altimetriche significative, per una estensione totale della linea sismica pari a 44 mt così come si può osservare in **Fotografia 1, 2, 3 e 4**. Per l'interpretazione litostratigrafica dell'indagine di sismica a rifrazione si faccia riferimento in allegato alla **Tavola A. 2 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"**.



**Fotografia 1**-Visione verso Sud-Est dello stendimento sismico ST01



**Fotografia 2**-Visione verso Nord-Ovest dello stendimento sismico ST01



**Fotografia 3**-Sismografo PASI modello GEA24



**Fotografia 4**-Geofono verticale

Dai valori di velocità di propagazione delle onde P, è stato possibile ricavare la sismostruttura del sottosuolo investigato, identificando tre sismostrati, ciascuno caratterizzato da un determinato valore medio di velocità delle onde di compressione. Assimilando tali valori di velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area, in prima analisi, è stato ricostruito il seguente assetto litostratigrafico, evidenziando come i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:

1. **Sismostrato A:** terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ciottolosa, mediamente consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 419 m/sec per una profondità media di circa -2,30 mt da pc;
2. **Sismostrato B:** deposito di natura sabbioso-limosa, consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 902 m/sec per una profondità media di circa -7,00 mt da pc;

3. **Sismostrato C:** deposito di natura limosa sabbioso-argillosa, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1212 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -15 mt da pc).

### 2.1.3 Stendimento Sismico ST02

Lo stendimento è stato realizzato su di un'area destinata a seminativo agricolo, con variazione altimetrica tra il primo e l'ultimo geofono di circa 1,00 mt, per una estensione totale della linea sismica pari a 44 mt così come si può osservare in **Fotografia 5, 6, 7 e 8**. Per l'interpretazione litostratigrafica dell'indagine di sismica a rifrazione si faccia riferimento in allegato alla **Tavola A. 2 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"**.



**Fotografia 5** - Visione verso Est dello stendimento sismico ST02



**Fotografia 6** - Visione verso Ovest dello stendimento sismico ST02



**Fotografia 7** - Sismografo PASI modello GEA24



**Fotografia 8** - Geofono verticale

Dai valori di velocità di propagazione delle onde P, è stato possibile ricavare la sismostruttura del sottosuolo investigato, identificando tre sismostrati, ciascuno caratterizzato da un determinato valore medio di velocità delle onde di compressione. Assimilando tali valori di velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area, in prima analisi, è stato ricostruito il seguente assetto litostratigrafico, evidenziando come i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:

1. **Sismostrato A:** terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ciottolosa, mediamente consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 498 m/sec per una profondità media di circa -1,60 mt da pc;
2. **Sismostrato B:** deposito di natura sabbioso-limosa, consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 755 m/sec per una profondità media di circa -7,80 mt da pc;
3. **Sismostrato C:** deposito di natura limosa sabbioso-argillosa, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1330 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -15 mt da pc).

#### 2.1.4 Stendimento Sismico ST03

Lo stendimento è stato realizzato su di un'area destinata a seminativo agricolo, senza variazioni altimetriche significative, per una estensione totale della linea sismica pari a 44 mt così come si può osservare in **Fotografia 9, 10, 11 e 12**. Per l'interpretazione litostratigrafica dell'indagine di sismica a rifrazione si faccia riferimento in allegato alla **Tavola A. 2 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"**.



**Fotografia 9**-Visione verso Sud-Est dello stendimento sismico ST03



**Fotografia 10**-Visione verso Nord-Ovest dello stendimento sismico ST03



Fotografia 11-Sismografo PASI modello GEA24



Fotografia 12-Geofono verticale

Dai valori di velocità di propagazione delle onde P, è stato possibile ricavare la sismostruttura del sottosuolo investigato, identificando tre sismostrati, ciascuno caratterizzato da un determinato valore medio di velocità delle onde di compressione. Assimilando tali valori di velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area, in prima analisi, è stato ricostruito il seguente assetto litostratigrafico, evidenziando come i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:

1. **Sismostrato A:** terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ciottolosa, mediamente consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 507 m/sec per una profondità media di circa -1,80 mt da pc;
2. **Sismostrato B:** deposito di natura sabbioso-limosa, consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 923 m/sec per una profondità media di circa -8,90 mt da pc;
3. **Sismostrato C:** deposito di natura limosa sabbioso-argillosa, molto consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1416 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -15 mt da pc).

#### 2.1.5 Stendimento Sismico ST04

Lo stendimento è stato realizzato su di un'area destinata a seminativo agricolo, senza variazione altimetriche significative, per una estensione totale della linea sismica pari a 44 mt così come si può osservare in **Fotografia 13, 14, 15 e 16**. Per l'interpretazione litostratigrafica dell'indagine di sismica a rifrazione si faccia riferimento in allegato alla **Tavola A. 2 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"**.



**Fotografia 13**-Visione verso Sud-Est dello stendimento sismico ST04



**Fotografia 14**-Visione verso Nord-Ovest dello stendimento sismico ST04



**Fotografia 15**-Sismografo PASI modello GEA24



**Fotografia 16**-Geofono verticale

Dai valori di velocità di propagazione delle onde P, è stato possibile ricavare la sismostruttura del sottosuolo investigato, identificando tre sismostrati, ciascuno caratterizzato da un determinato valore medio di velocità delle onde di compressione. Assimilando tali valori di velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area, in prima analisi, è stato ricostruito il seguente assetto litostratigrafico, evidenziando come i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:

1. **Sismostrato A:** terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ciottolosa, mediamente consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 523 m/sec per una profondità media di circa -1,80 mt da pc;
2. **Sismostrato B:** deposito di natura sabbioso-limosa, consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 826 m/sec per una profondità media di circa -8,60 mt da pc;

3. **Sismostrato C:** deposito di natura limosa sabbioso-argillosa, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1119 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -15 mt da pc).

#### 2.1.6 Stendimento Sismico ST05

Lo stendimento è stato realizzato su di un'area destinata a seminativo agricolo, con variazione altimetrica tra il primo e l'ultimo geofono di circa 2,20 mt, per una estensione totale della linea sismica pari a 44 mt così come si può osservare in **Fotografia 17, 18, 19 e 20**. Per l'interpretazione litostratigrafica dell'indagine di sismica a rifrazione si faccia riferimento in allegato alla **Tavola A. 2 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"**.



**Fotografia 17**-Visione verso Sud-Est dello stendimento sismico ST05



**Fotografia 18**-Visione verso Nord-Ovest dello stendimento sismico ST05



**Fotografia 19**-Sismografo PASI modello GEA24



**Fotografia 20**-Geofono verticale

Dai valori di velocità di propagazione delle onde P, è stato possibile ricavare la sismostruttura del sottosuolo investigato, identificando tre sismostrati, ciascuno caratterizzato da un determinato valore medio di velocità delle onde di compressione. Assimilando tali valori di velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area, in prima analisi, è stato ricostruito il seguente assetto litostratigrafico, evidenziando come i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:

1. **Sismostrato A:** terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ciottolosa, poco consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 381 m/sec per una profondità media di circa -2,00 mt da pc;
2. **Sismostrato B:** deposito di natura sabbioso-limosa, consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1064 m/sec per una profondità media di circa -7,20 mt da pc;
3. **Sismostrato C:** deposito di natura limosa sabbioso-argillosa, molto consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1434 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -15 mt da pc).

#### 2.1.7 Stendimento Sismico ST06

Lo stendimento è stato realizzato su di un'area destinata a seminativo agricolo, con variazione altimetrica tra il primo e l'ultimo geofono di circa 2,20 mt, per una estensione totale della linea sismica pari a 44 mt così come si può osservare in **Fotografia 21, 22, 23 e 24**. Per l'interpretazione litostratigrafica dell'indagine di sismica a rifrazione si faccia riferimento in allegato alla **Tavola A. 2 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"**.



**Fotografia 21**-Visione verso Sud-Est dello stendimento sismico ST06



**Fotografia 22**-Visione verso Nord-Ovest dello stendimento sismico ST06



Fotografia 23-Sismografo PASI modello GEA24



Fotografia 24-Geofono verticale

Dai valori di velocità di propagazione delle onde P, è stato possibile ricavare la sismostruttura del sottosuolo investigato, identificando tre sismostrati, ciascuno caratterizzato da un determinato valore medio di velocità delle onde di compressione. Assimilando tali valori di velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area, in prima analisi, è stato ricostruito il seguente assetto litostratigrafico, evidenziando come i relativi spessori subiscono delle leggere variazioni lungo la sezione sismica:

1. **Sismostrato A:** terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ciottolosa, poco consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 302 m/sec per una profondità media di circa -2,60 mt da pc;
2. **Sismostrato B:** deposito di natura sabbioso-limosa, consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1033 m/sec per una profondità media di circa -7,60 mt da pc;
3. **Sismostrato C:** deposito di natura limosa sabbioso-argillosa, molto consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1475 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -15 mt da pc).

## 2.2 Indagini Geognostiche Indirette: Prospezioni Sismiche 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 terreno. 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 di tipo dispersive (fenomeno della dispersione geometrica), cioè onde con diverse frequenze si propagano con diverse velocità di fase (o di gruppo) apparente (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) ovvero 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

alla specificità che le onde ad alta frequenza hanno di propagarsi negli strati più superficiali, fornendo quindi informazioni sulla parte più alta del terreno, mentre le onde a bassa frequenza, propagandosi negli strati più profondi, restituiscono indicazioni sulla parte più bassa del terreno. Il metodo MASW è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del terreno (energizzazione con mazza battente parallelamente all'array) e misurate da un array lineare di geofoni. 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 terreno, generalmente compreso nei primi 30÷50 mt, in funzione della rigidità del terreno e della caratteristica della sorgente.

### 2.2.1 Acquisizione ed Interpretazione dei Dati

Per il caso in esame, è stato utilizzato un sismografo a 24 canali, della ditta PASI Srl modello GEA24 con acquisizione computerizzata dei dati e una sorgente ad impatto verticale per la generazione di onde Rayleigh rilevate da 12 geofoni aventi frequenza pari a 4,5 Hz con una spaziatura di 4 mt per tutti gli stendimenti, denominati di seguito rispettivamente MASW01, MASW02, MASW03, MASW04, MASW05 e MASW06, considerando le stesse linee utilizzate per le

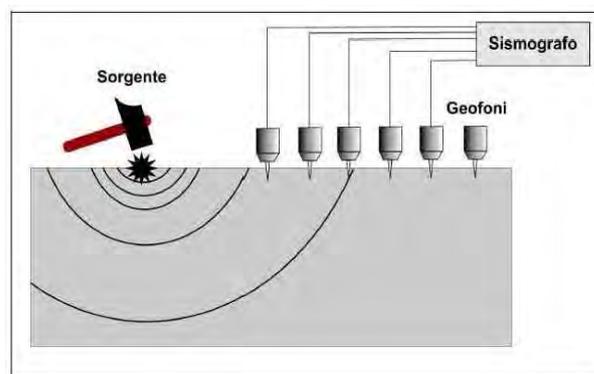


Figura 2-Schema realizzativo indagine MASW (Onde di Rayleigh)

acquisizioni delle indagini di sismica a rifrazione. Sono stati effettuati, per ogni singola indagine, n 4 battute per l'acquisizione dei sismogrammi utilizzando degli offset minimi rispettivamente a -5 mt e -10 mt dal 1° geofono e +5 mt e +10 mt dal 12° geofono. L'intervallo di campionamento è stato pari a 1 ms (millisecondo) con un tempo di registrazione di 2 secondi. Lo schema organizzativo della prova è riportata in **Figura 2**, mentre per l'ubicazione dei profili sismici si faccia riferimento in allegato alla **Tavola A. 1 "Ubicazione Indagini in Situ"**. La procedura adottata per ricostruire la distribuzione delle onde di taglio nel terreno ( $V_s$ ) può essere così descritta:

- 1) Acquisizione dei sismogrammi contenenti le onde di superficie (onde di Rayleigh con componente verticale) per un intervallo di tempo sufficiente e un'adeguata frequenza di campionamento;
- 2) Processing dei sismogrammi acquisiti individuando le onde di superficie utili alla costruzione dello spettro di velocità ed individuazione delle curve di dispersione;
- 3) Inversione dei dati usando un modello di terreno che permetta di ricavare un profilo monodimensionale della velocità delle onde S ed ulteriori parametri in funzione della profondità compatibile con il contesto geologico in esame. Tale inversione avviene attraverso l'utilizzo di

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

Per il trattamento e l'analisi dei dati acquisiti in situ si è utilizzato il software "WinMASW 3C" release 7.1 della Eliosoft Srl.

### 2.2.2 Stendimento Sismico MASW01

Considerando le n 4 acquisizioni realizzate per la prova, si è scelto di trattare quella che presentava un rapporto segnale/rumore superiore, di conseguenza, per la determinazione del profilo verticale della velocità media delle onde S, si è selezionato il set di dati relativamente allo *shot* effettuato a -5 mt dal 1° geofono (**Figura 3**) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (**Figura 4**).

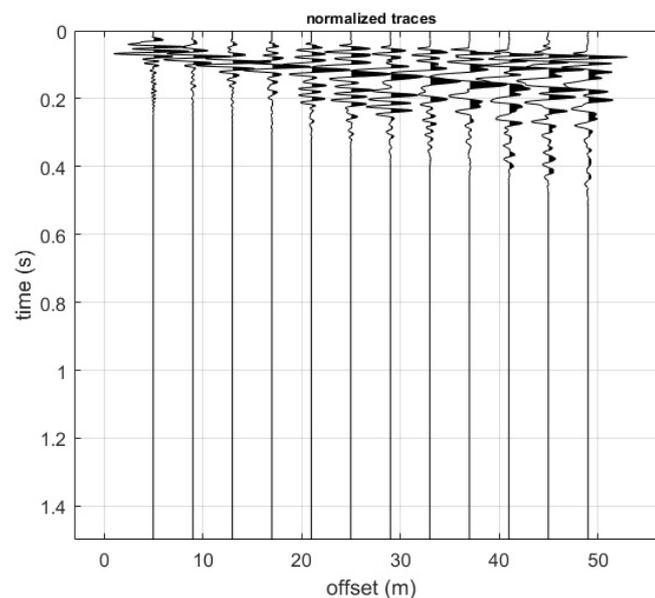


Figura 3-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

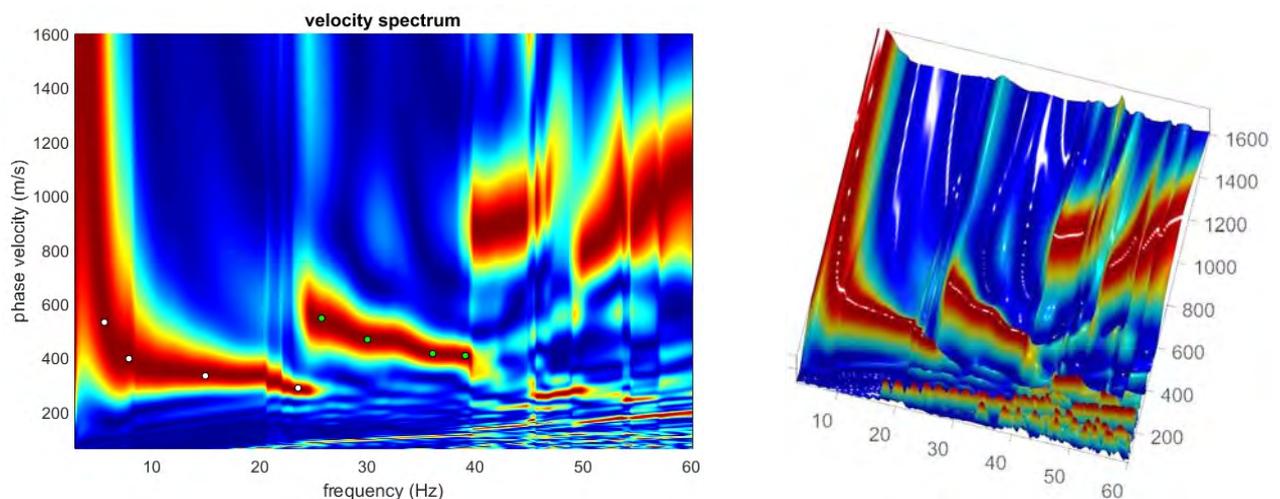


Figura 4-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

## 2. Indagini Geognostiche in Situ

L'analisi dello spettro "frequenza-velocità di fase" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio  $V_S$  in funzione della profondità (Figura 5). Si precisa infine che, il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità derivata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione (circa 22,00 mt da inizio stendimento sismico). Di seguito si riporta lo spettro di velocità sul quale è stata riportata la curva di dispersione "piccata" (picking pallini fucsia), la curva di dispersione del "modello migliore" (pallini blu) e del "modello medio" (croci verdi), Figura 7, rispetto a tutti i modelli testati durante il processo di inversione, Figura 6. Viene riportato, inoltre, il grafico inerente il "misfit evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, Figura 8.

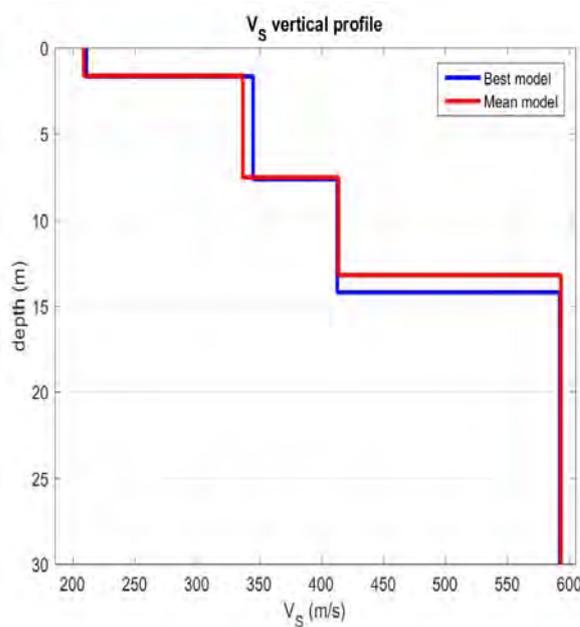


Figura 5-Profilo  $V_{S, equ} = 443$  m/sec calcolato a partire dal piano campagna

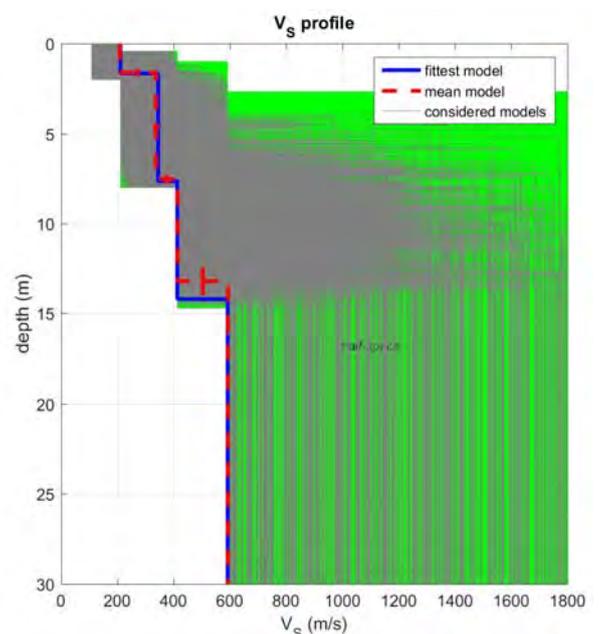


Figura 6-Modelli testati durante il processo di inversione

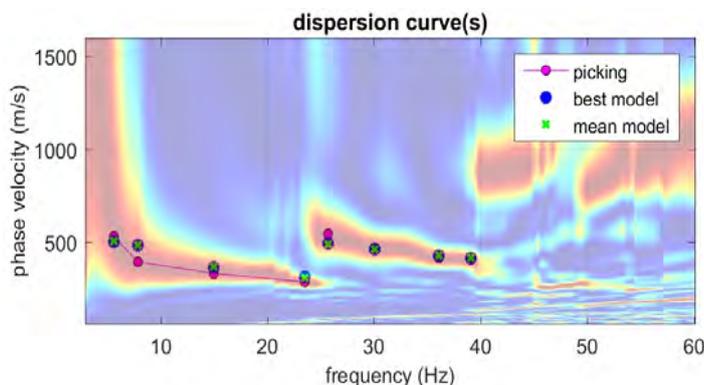


Figura 7-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)

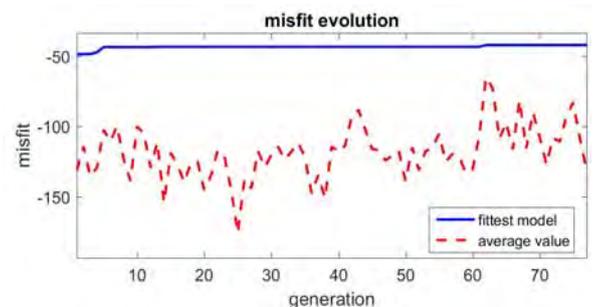
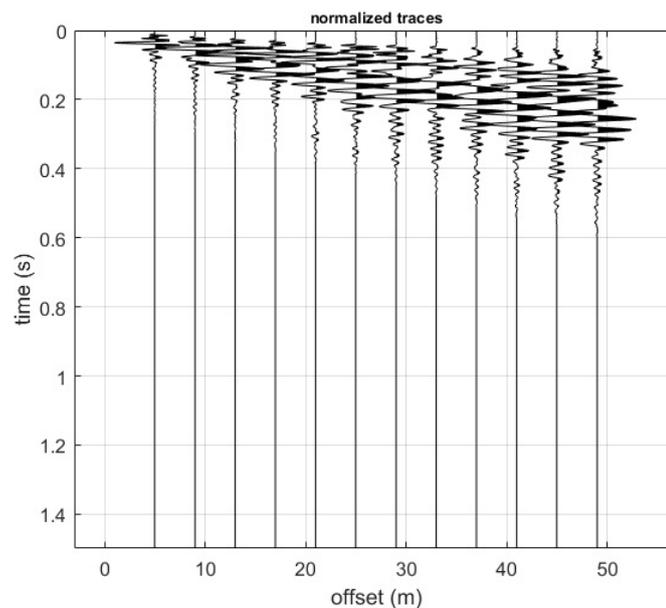


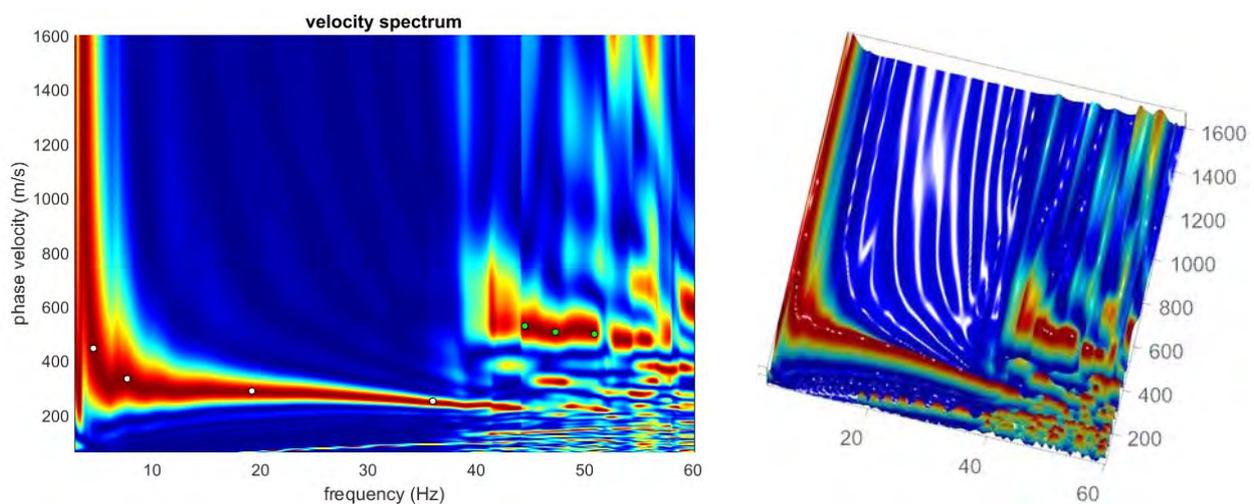
Figura 8-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

### 2.2.3 Stendimento Sismico MASW02

Considerando le n 4 acquisizioni realizzate per la prova, si è scelto di trattare quella che presentava un rapporto segnale/rumore superiore, di conseguenza, per la determinazione del profilo verticale della velocità media delle onde S, si è selezionato il set di dati relativamente allo *shot* effettuato a +5 mt dal 12° geofono (**Figura 9**) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (**Figura 10**).



**Figura 9**-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

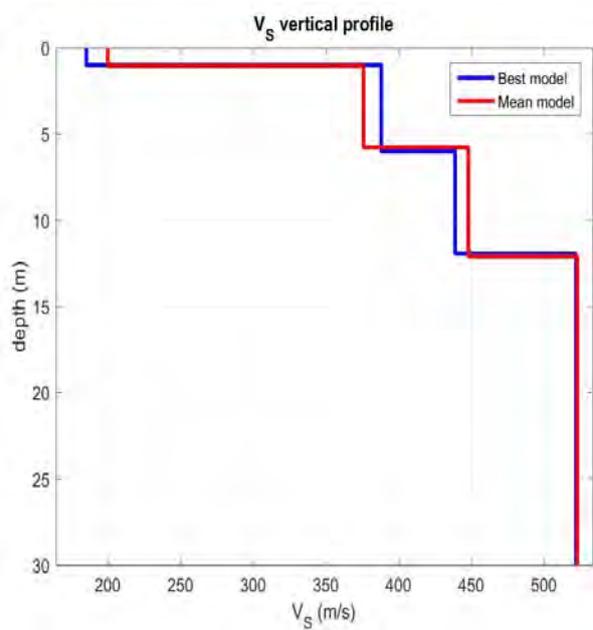


**Figura 10**-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

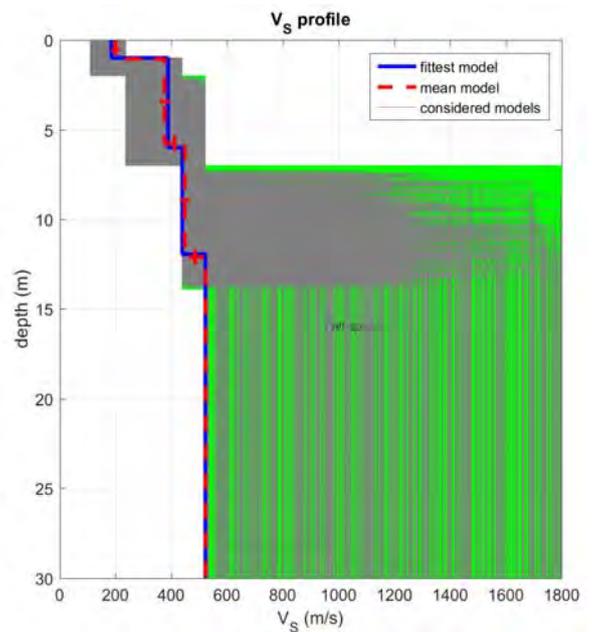
L'analisi dello spettro "frequenza-velocità di fase" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio

## 2. Indagini Geognostiche in Situ

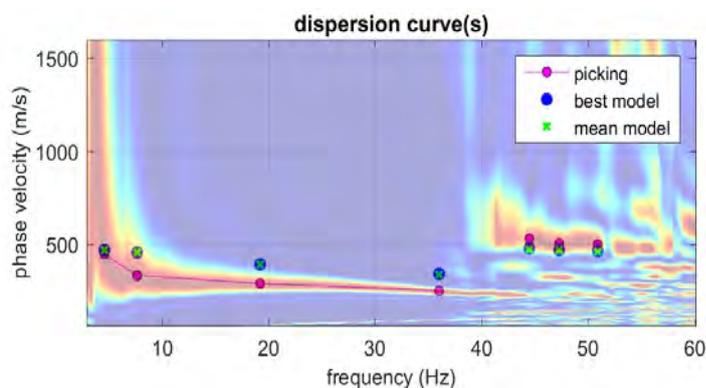
$V_s$  in funzione della profondità (**Figura 11**). Si precisa infine che, il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità derivata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione (circa 22,00 mt da inizio stendimento sismico). Di seguito si riporta lo spettro di velocità sul quale è stata riportata la curva di dispersione "piccata" (picking pallini fucsia), la curva di dispersione del "modello migliore" (pallini blu) e del "modello medio" (croci verdi), **Figura 13**, rispetto a tutti i modelli testati durante il processo di inversione, **Figura 12**. Viene riportato, inoltre, il grafico inerente il "misfit evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, **Figura 14**.



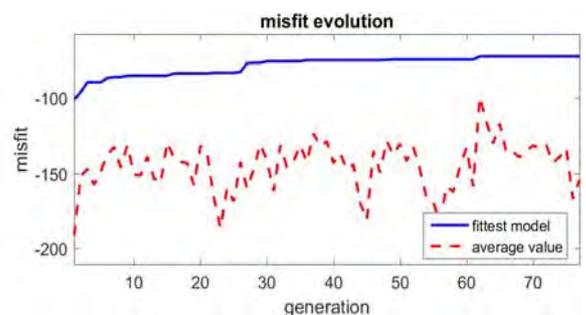
**Figura 11**-Profilo  $V_{s, equ} = 452$  m/sec calcolato a partire dal piano campagna



**Figura 12**-Modelli testati durante il processo di inversione



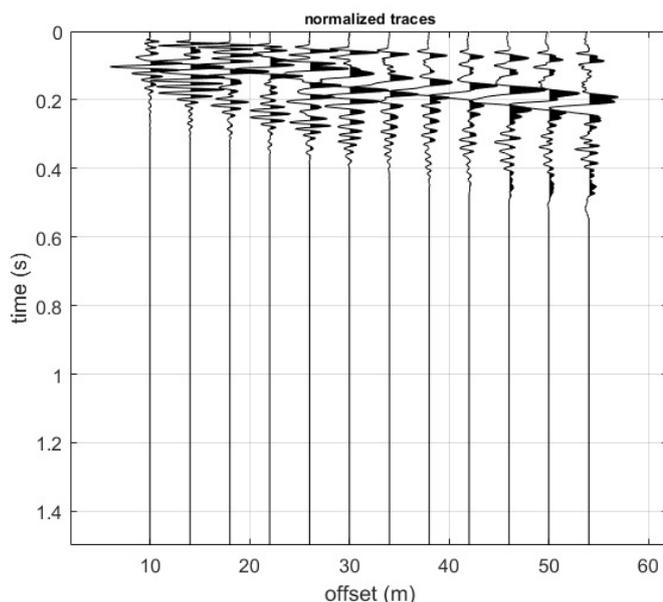
**Figura 13**-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)



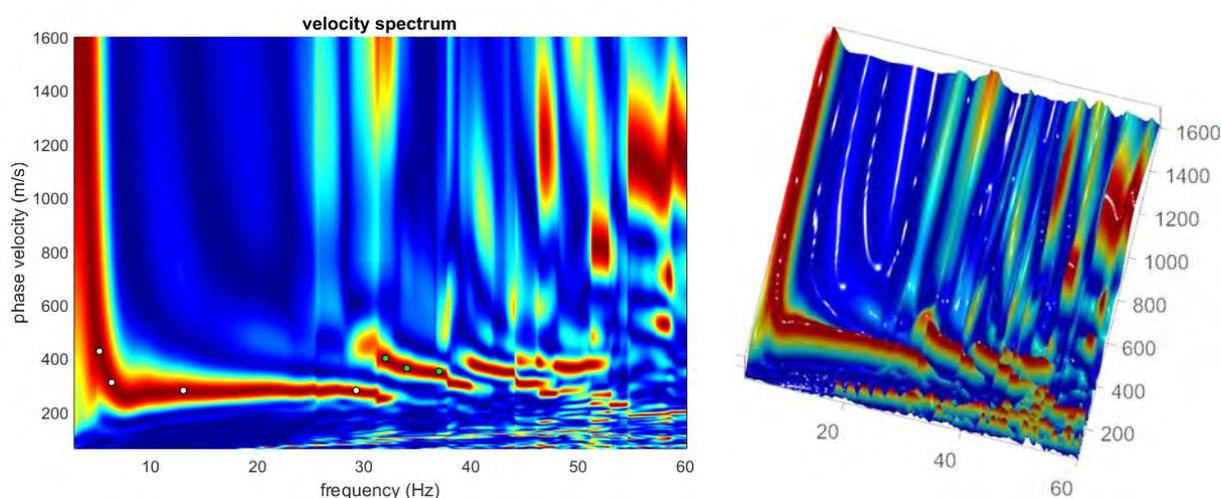
**Figura 14**-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

### 2.2.4 Stendimento Sismico MASW03

Considerando le n 4 acquisizioni realizzate per la prova, si è scelto di trattare quella che presentava un rapporto segnale/rumore superiore, di conseguenza, per la determinazione del profilo verticale della velocità media delle onde S, si è selezionato il set di dati relativamente allo *shot* effettuato a +10 mt dal 12° geofono (**Figura 15**) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (**Figura 16**).



**Figura 15**-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

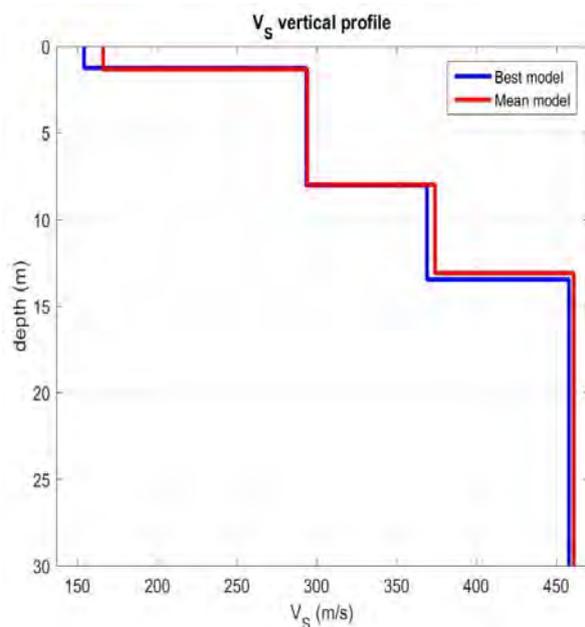


**Figura 16**-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

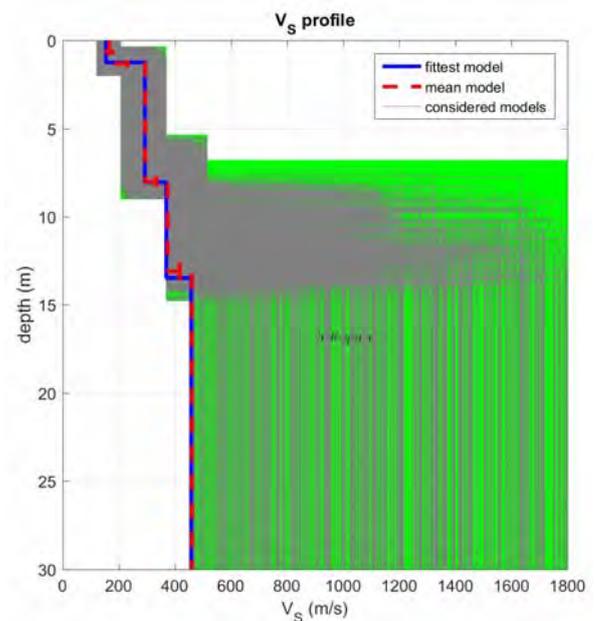
L'analisi dello spettro "frequenza-velocità di fase" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio

## 2. Indagini Geognostiche in Situ

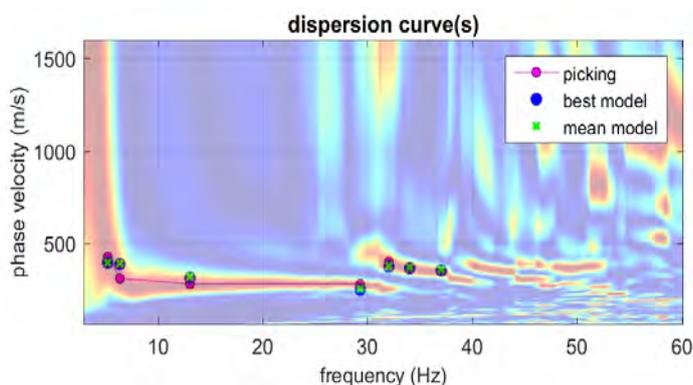
$V_s$  in funzione della profondità (**Figura 17**). Si precisa infine che, il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità derivata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione (circa 22,00 mt da inizio stendimento sismico). Di seguito si riporta lo spettro di velocità sul quale è stata riportata la curva di dispersione "piccata" (picking pallini fucsia), la curva di dispersione del "modello migliore" (pallini blu) e del "modello medio" (croci verdi), **Figura 19**, rispetto a tutti i modelli testati durante il processo di inversione, **Figura 18**. Viene riportato, inoltre, il grafico inerente il "misfit evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, **Figura 20**.



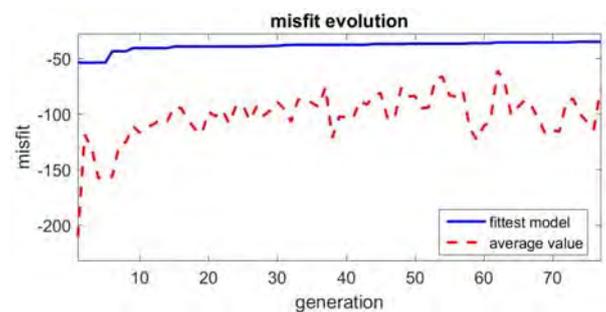
**Figura 17**-Profilo  $V_{s, equ} = 365$  m/sec calcolato a partire dal piano campagna



**Figura 18**-Modelli testati durante il processo di inversione



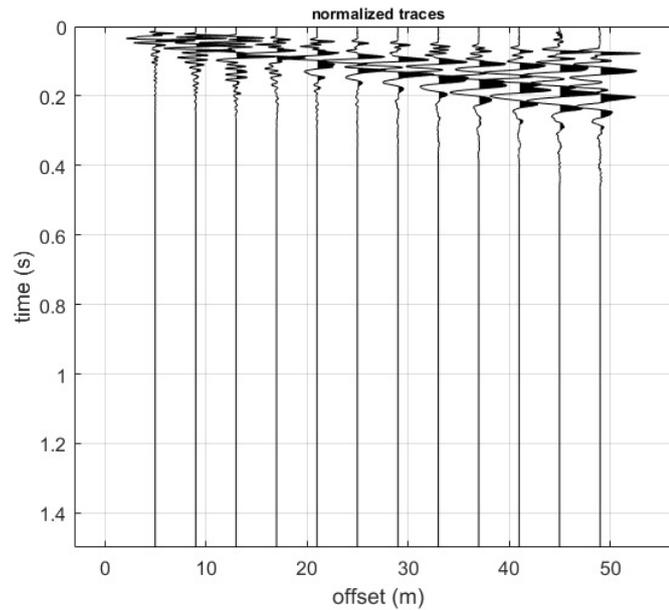
**Figura 19**-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)



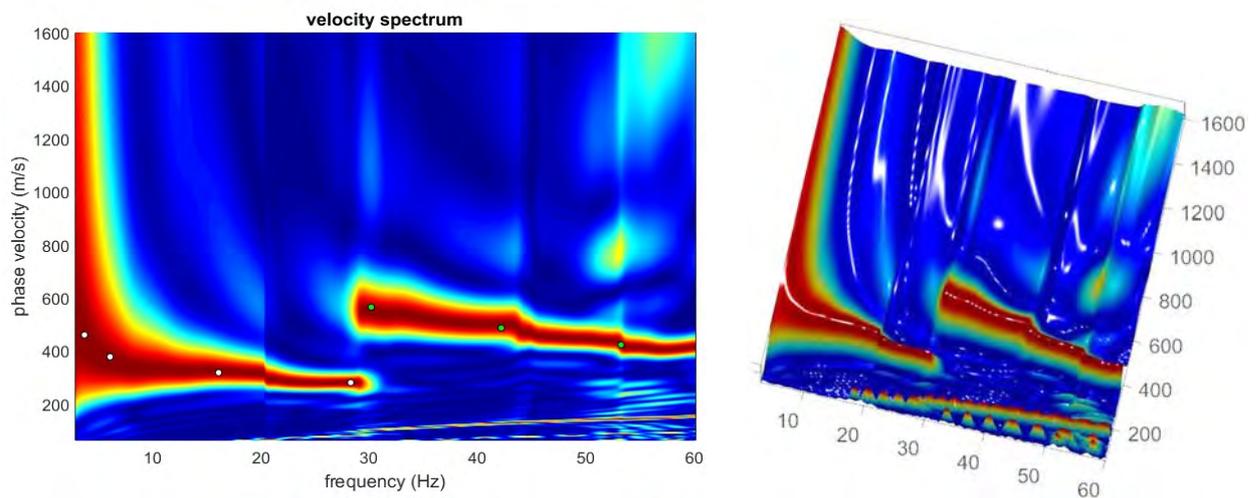
**Figura 20**-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

### 2.2.5 Stendimento Sismico MASW04

Considerando le n 4 acquisizioni realizzate per la prova, si è scelto di trattare quella che presentava un rapporto segnale/rumore superiore, di conseguenza, per la determinazione del profilo verticale della velocità media delle onde S, si è selezionato il set di dati relativamente allo *shot* effettuato a -5 mt dal 1° geofono (**Figura 21**) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (**Figura 22**).



**Figura 21**-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

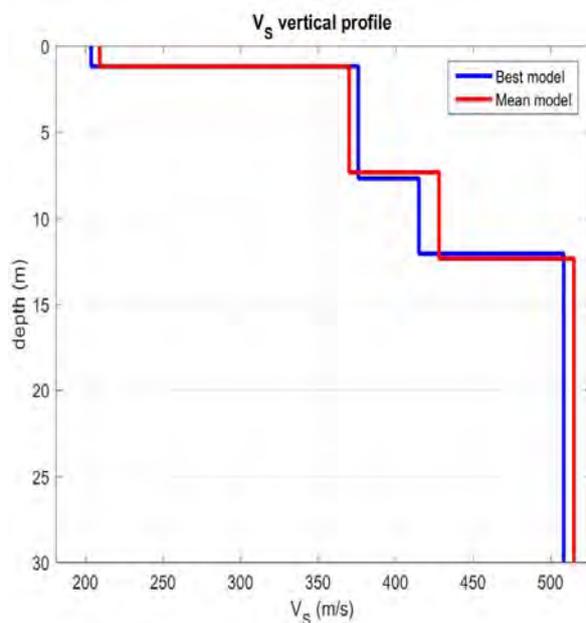


**Figura 22**-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

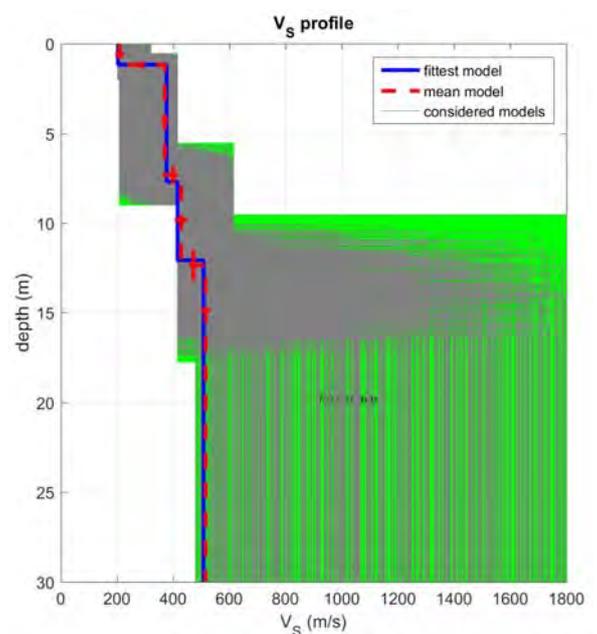
L'analisi dello spettro "*frequenza-velocità di fase*" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio

## 2. Indagini Geognostiche in Situ

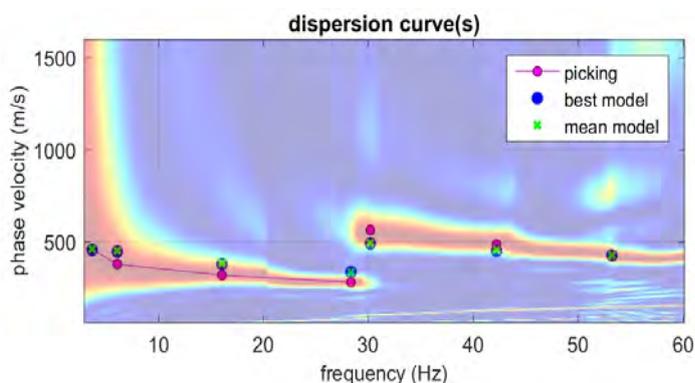
$V_s$  in funzione della profondità (**Figura 23**). Si precisa infine che, il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità derivata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione (circa 22,00 mt da inizio stendimento sismico). Di seguito si riporta lo spettro di velocità sul quale è stata riportata la curva di dispersione "piccata" (picking pallini fucsia), la curva di dispersione del "modello migliore" (pallini blu) e del "modello medio" (croci verdi), **Figura 25**, rispetto a tutti i modelli testati durante il processo di inversione, **Figura 24**. Viene riportato, inoltre, il grafico inerente il "misfit evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, **Figura 26**.



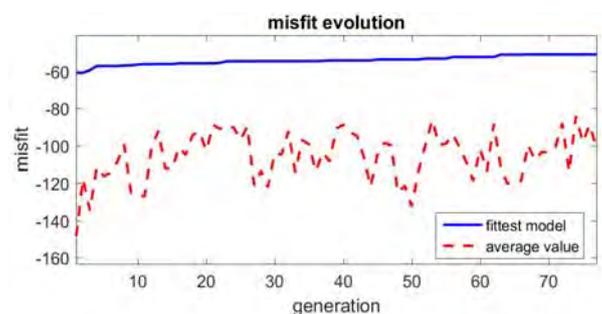
**Figura 23**-Profilo  $V_{s, equ} = 435$  m/sec calcolato a partire dal piano campagna



**Figura 24**-Modelli testati durante il processo di inversione



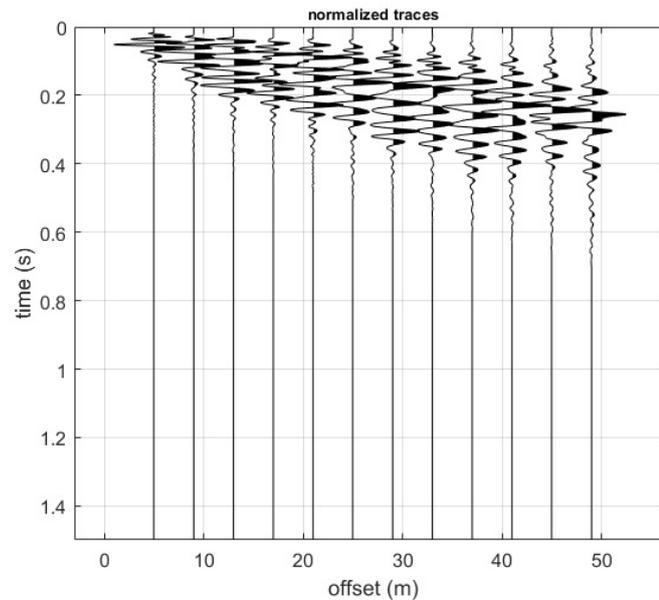
**Figura 25**-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)



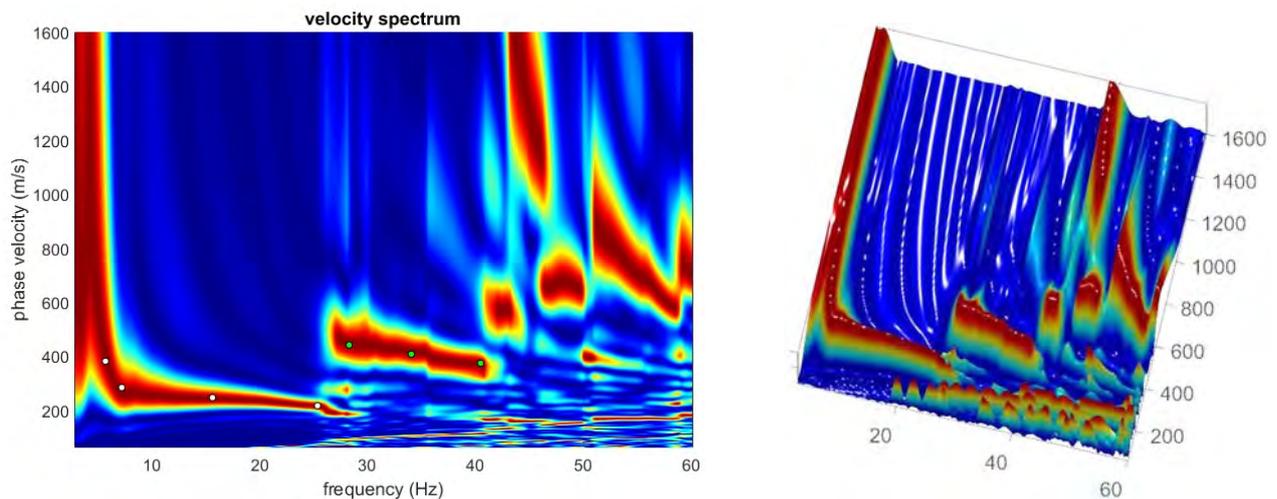
**Figura 26**-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

### 2.2.6 Stendimento Sismico MASW05

Considerando le n 4 acquisizioni realizzate per la prova, si è scelto di trattare quella che presentava un rapporto segnale/rumore superiore, di conseguenza, per la determinazione del profilo verticale della velocità media delle onde S, si è selezionato il set di dati relativamente allo *shot* effettuato a -5 mt dal 1° geofono (**Figura 27**) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (**Figura 28**).



**Figura 27**-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

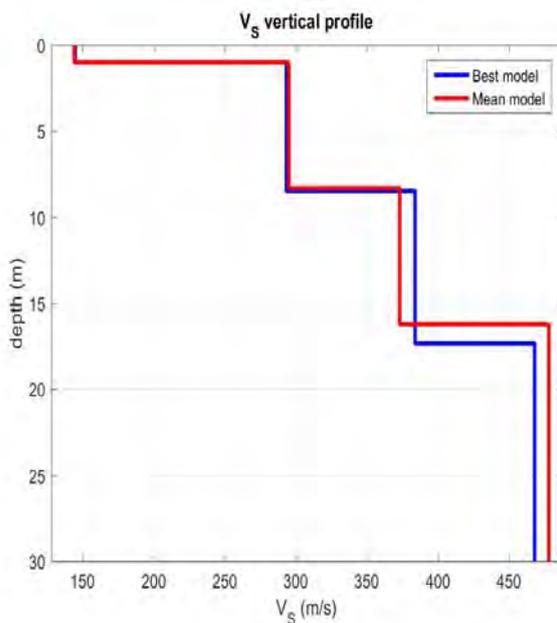


**Figura 28**-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

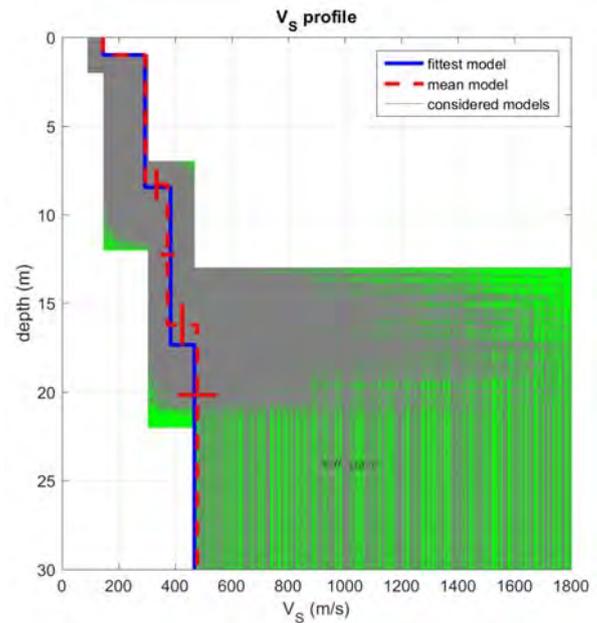
L'analisi dello spettro "frequenza-velocità di fase" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio

## 2. Indagini Geognostiche in Situ

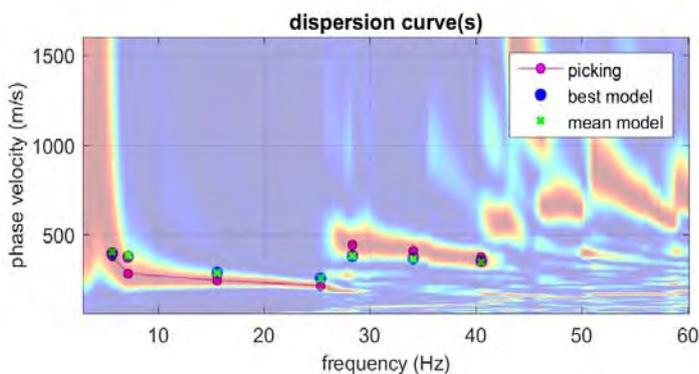
$V_s$  in funzione della profondità (**Figura 29**). Si precisa infine che, il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità derivata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione (circa 22,00 mt da inizio stendimento sismico). Di seguito si riporta lo spettro di velocità sul quale è stata riportata la curva di dispersione "piccata" (picking pallini fucsia), la curva di dispersione del "modello migliore" (pallini blu) e del "modello medio" (croci verdi), **Figura 31**, rispetto a tutti i modelli testati durante il processo di inversione, **Figura 30**. Viene riportato, inoltre, il grafico inerente il "misfit evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, **Figura 32**.



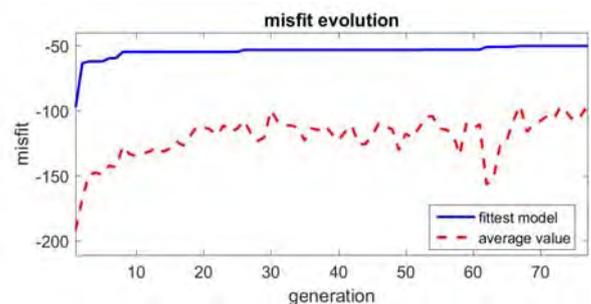
**Figura 29**-Profilo  $V_s$ ,  $v_{s, equ} = 363$  m/sec calcolato a partire dal piano campagna



**Figura 30**-Modelli testati durante il processo di inversione



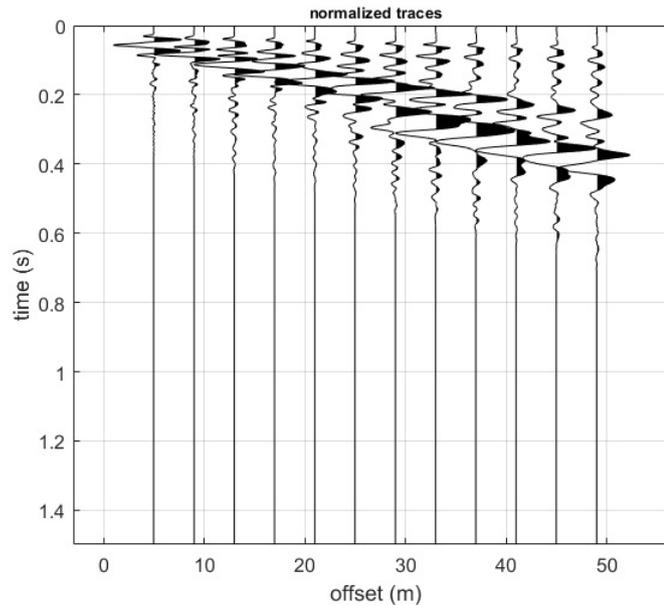
**Figura 31**-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)



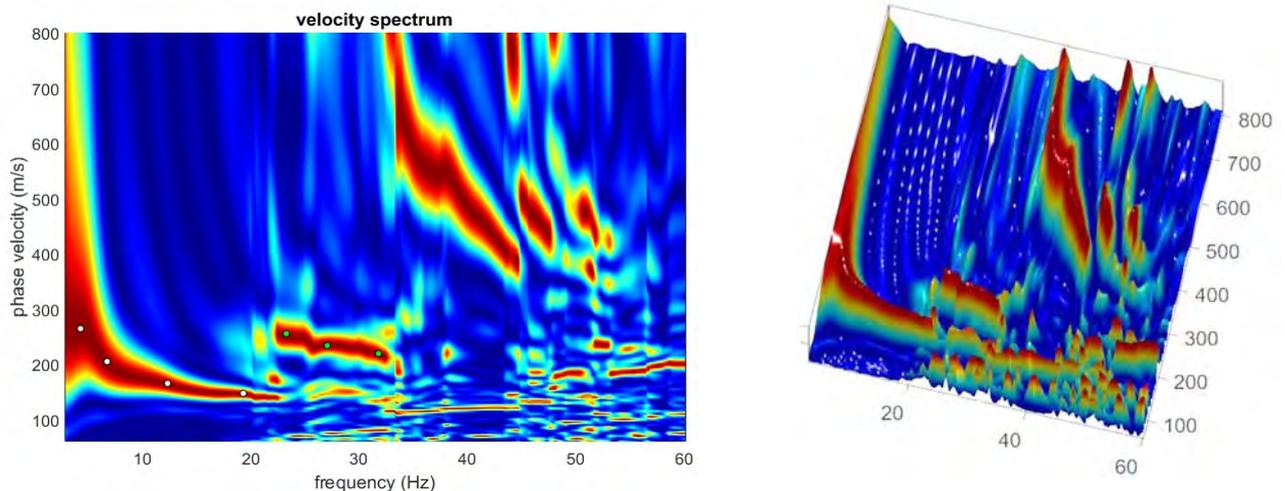
**Figura 32**-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

### 2.2.7 Stendimento Sismico MASW06

Considerando le n 4 acquisizioni realizzate per la prova, si è scelto di trattare quella che presentava un rapporto segnale/rumore superiore, di conseguenza, per la determinazione del profilo verticale della velocità media delle onde S, si è selezionato il set di dati relativamente allo *shot* effettuato a -5 mt dal 1° geofono (**Figura 33**) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (**Figura 34**).



**Figura 33**-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

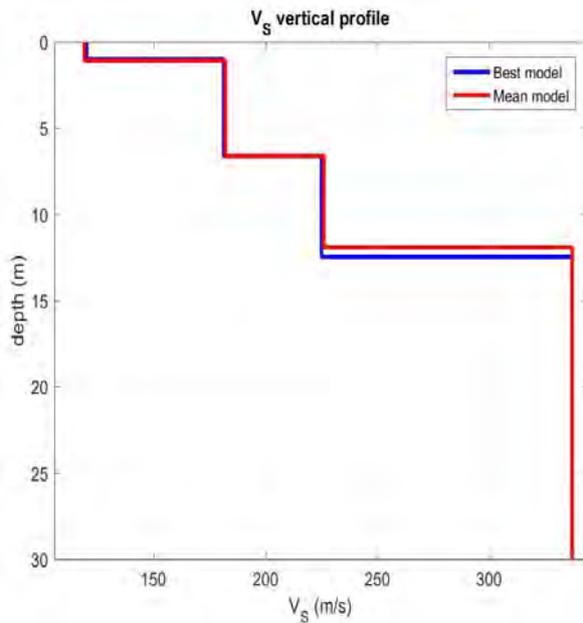


**Figura 34**-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

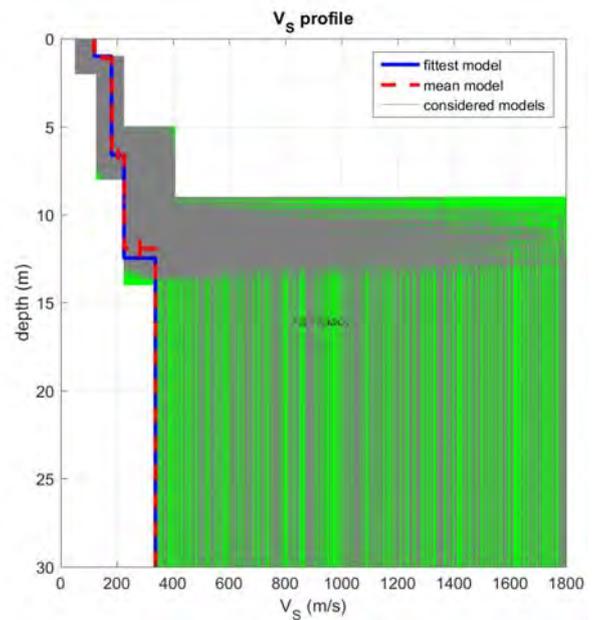
L'analisi dello spettro "*frequenza-velocità di fase*" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio  $V_S$  in funzione della profondità (**Figura 35**). Si precisa infine che, il modello del sottosuolo e di conseguenza

## 2. Indagini Geognostiche in Situ

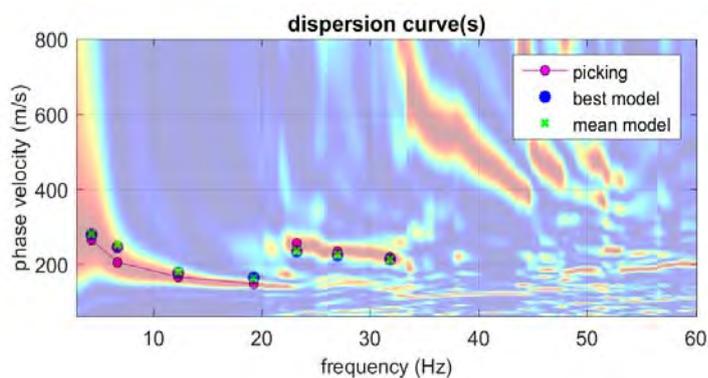
anche l'inversione di velocità derivata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione (circa 22,00 mt da inizio stendimento sismico). Di seguito si riporta lo spettro di velocità sul quale è stata riportata la curva di dispersione "piccata" (picking pallini fucsia), la curva di dispersione del "modello migliore" (pallini blu) e del "modello medio" (croci verdi), **Figura 37**, rispetto a tutti i modelli testati durante il processo di inversione, **Figura 36**. Viene riportato, inoltre, il grafico inerente il "misfit evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, **Figura 38**.



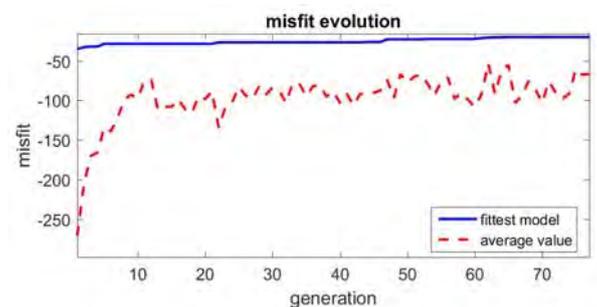
**Figura 35**-Profilo  $V_{s, equ} = 256$  m/sec calcolato a partire dal piano campagna



**Figura 36**-Modelli testati durante il processo di inversione



**Figura 37**-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)



**Figura 38**-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

### 2.3 Classificazione del Sottosuolo di Fondazione

Sulla base delle risultanze delle indagini MASW condotte nelle aree oggetto di studio, il sottosuolo di fondazione è stato classificato ai sensi delle normative che attualmente regolano il settore (Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recepita dalla Regione Puglia nel marzo 2004 DGR Puglia n° 153, e dalle modifiche allo stesso portate dal Consiglio dei ministri con ordinanza n° 3431 del 03/05/2005, DM 17/01/2018). Si rammenta che le "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" individuano n. 5 categorie di sottosuolo e precisamente:

<b>Categoria A</b>	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>Categoria B</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
<b>Categoria C</b>	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
<b>Categoria D</b>	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 m/s e 180 m/s
<b>Categoria E</b>	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 30m

Le indagini MASW hanno consentito la stima dei valori delle velocità delle onde sismiche di taglio e, da queste, il calcolo della  $V_s$  equivalente risultante, applicando la seguente formula:

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

Con:

- $h_i$  spessore (in mt) dell' $i$ -esimo strato;
- $V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato;
- $N$  numero di strato;
- $H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiori a 800 m/s.



Per lo stendimento MASW01, il valore equivalente di  $V_s$  calcolato pari a **443** m/sec, colloca i litotipi presenti nella **Categoria di sottosuolo 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.**

Per lo stendimento MASW02, il valore equivalente di  $V_s$  calcolato pari a **452** m/sec, colloca i litotipi presenti nella **Categoria di sottosuolo 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.**

Per lo stendimento MASW03, il valore equivalente di  $V_s$  calcolato pari a **365** m/sec, colloca i litotipi presenti nella **Categoria di sottosuolo 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.**

Per lo stendimento MASW04, il valore equivalente di  $V_s$  calcolato pari a **435** m/sec, colloca i litotipi presenti nella **Categoria di sottosuolo 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.**

Per lo stendimento MASW05, il valore equivalente di  $V_s$  calcolato pari a **363** m/sec, colloca i litotipi presenti nella **Categoria di sottosuolo 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.**

Per lo stendimento MASW06, il valore equivalente di  $V_s$  calcolato pari a **256** m/sec, colloca i litotipi presenti nella **Categoria di sottosuolo 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.**

## 2.4 Caratterizzazione Elasto-Meccanica dei terreni di Fondazione

In base alle indicazioni ricavate dalle prove geofisiche, si riportano le tabelle riassuntive delle principali caratteristiche elasto-meccaniche dei sismostrati individuati per i siti d'interesse come risultato dalle indagini svolte e specificando che tali valori devono essere intesi come valori medi. I valori delle  $V_s$  sono stati ricavati in modo indiretto dalle prove sismiche MASW. Le determinazioni dei moduli elastici (**dinamici**), eseguite mediante tali metodologie sismiche, sono riferibili a volumi significativi di terreno in condizioni relativamente indisturbate a differenza delle prove geotecniche di laboratorio che, pur raggiungendo un

## 2. Indagini Geognostiche in Situ

elevato grado di sofisticazione ed affidabilità, soffrono della limitazione di essere puntuali, cioè relative ad un modesto volume di roccia e/o terreno. I moduli elastici sismici ottenuti, possono essere correlati ai normali moduli statici attraverso un fattore di riduzione (ad es. *Rzhevsky et alii*, 1971,  $E_{din} = 8,3 * E_{stat} + 0,97$ ) semplicemente evidenziando che si riferiscono, in virtù delle energie movimentate dall'indagine e del conseguente basso livello di deformazione raggiunto, ad un modulo statico tangente iniziale.

• **Stendimento ST01**

Sismostrato	$\bar{V}_p$	$\bar{V}_s$	$\gamma$	$\mu$	$E_y$	$G_0$	$M_0$	$\lambda$
Profondità media (mt da pc)	(m/sec)	(m/sec)	(gr/cm <sup>3</sup> )		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A (0,00÷2,30)	419	211	1,61	0,33	191	72	187	139
B (2,30÷7,00)	902	345	1,86	0,41	626	221	1218	1071
C (7,00÷15,00≈)	1212	413	1,97	0,43	964	336	2446	2222

Sismostrato	R	$E_d$
Profondità media (mt da pc)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
A (0,00÷2,30)	339	317
B (2,30÷7,00)	641	1466
C (7,00÷15,00≈)	813	2645

**Tabella 2**-Riepilogo delle caratteristiche elasto-meccaniche degli strati identificati dalle indagini geofisiche in situ per lo stendimento sismico ST01

• **Stendimento ST02**

Sismostrato	$\bar{V}_p$	$\bar{V}_s$	$\gamma$	$\mu$	$E_y$	$G_0$	$M_0$	$\lambda$
Profondità media (mt da pc)	(m/sec)	(m/sec)	(gr/cm <sup>3</sup> )		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A (0,00÷1,60)	498	185	1,66	0,41	161	67	336	298
B (1,60÷7,80)	755	388	1,80	0,32	716	271	665	484
C (7,80÷15,00≈)	1330	439	2,00	0,43	1109	385	3024	2767

Sismostrato	R	$E_d$
Profondità media (mt da pc)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
A (0,00÷1,60)	307	447
B (1,60÷7,80)	698	1028
C (7,80÷15,00≈)	878	3188

**Tabella 3**-Riepilogo delle caratteristiche elasto-meccaniche degli strati identificati dalle indagini geofisiche in situ per lo stendimento sismico ST02



- **Stendimento ST03**

Sismostrato	$\bar{V}_p$	$\bar{V}_s$	$\gamma$	$\mu$	$E_y$	$G_0$	$M_0$	$\lambda$
Profondità media (mt da pc)	(m/sec)	(m/sec)	(gr/cm <sup>3</sup> )		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A (0,00÷1,80)	507	154	1,67	0,44	115	40	376	350
B (1,80÷8,90)	923	293	1,87	0,44	464	161	1379	1272
C (8,90÷15,00≈)	1416	369	2,02	0,46	805	275	3683	3500

Sismostrato	R	$E_d$
Profondità media (mt da pc)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
A (0,00÷1,80)	257	462
B (1,80÷8,90)	547	1534
C (8,90÷15,00≈)	745	3610

**Tabella 4**-Riepilogo delle caratteristiche elasto-meccaniche degli strati identificati dalle indagini geofisiche in situ per lo stendimento sismico ST03

- **Stendimento ST04**

Sismostrato	$\bar{V}_p$	$\bar{V}_s$	$\gamma$	$\mu$	$E_y$	$G_0$	$M_0$	$\lambda$
Profondità media (mt da pc)	(m/sec)	(m/sec)	(gr/cm <sup>3</sup> )		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A (0,00÷1,80)	523	203	1,68	0,41	195	69	367	321
B (1,80÷8,60)	826	376	1,83	0,37	709	259	904	731
C (8,60÷15,00≈)	1119	415	1,94	0,42	949	334	1984	1761

Sismostrato	R	$E_d$
Profondità media (mt da pc)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
A (0,00÷1,80)	341	493
B (1,80÷8,60)	688	1228
C (8,60÷15,00≈)	805	2256

**Tabella 5**-Riepilogo delle caratteristiche elasto-meccaniche degli strati identificati dalle indagini geofisiche in situ per lo stendimento sismico ST04



- **Stendimento ST05**

Sismostrato	$\bar{V}_p$	$\bar{V}_s$	$\gamma$	$\mu$	$E_y$	$G_0$	$M_0$	$\lambda$
Profondità media (mt da pc)	(m/sec)	(m/sec)	(gr/cm <sup>3</sup> )		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A (0,00÷2,00)	381	145	1,58	0,41	94	33	185	163
B (2,00÷7,20)	1064	293	1,91	0,45	478	164	1944	1834
C (7,20÷15,00≈)	1434	384	2,02	0,46	871	298	3757	3558

Sismostrato	R	$E_d$
Profondità media (mt da pc)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
A (0,00÷2,00)	229	261
B (2,00÷7,20)	559	2040
C (7,20÷15,00≈)	775	3771

**Tabella 6**-Riepilogo delle caratteristiche elasto-meccaniche degli strati identificati dalle indagini geofisiche in situ per lo stendimento sismico ST05

- **Stendimento ST06**

Sismostrato	$\bar{V}_p$	$\bar{V}_s$	$\gamma$	$\mu$	$E_y$	$G_0$	$M_0$	$\lambda$
Profondità media (mt da pc)	(m/sec)	(m/sec)	(gr/cm <sup>3</sup> )		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A (0,00÷2,60)	302	120	1,51	0,40	61	22	109	94
B (2,60÷7,60)	1033	181	1,90	0,47	185	62	1944	1903
C (7,60÷15,00≈)	1475	225	2,04	0,48	307	103	4301	4232

Sismostrato	R	$E_d$
Profondità media (mt da pc)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
A (0,00÷2,60)	181	165
B (2,60÷7,60)	343	1923
C (7,60÷15,00≈)	459	3917

**Tabella 7**-Riepilogo delle caratteristiche elasto-meccaniche degli strati identificati dalle indagini geofisiche in situ per lo stendimento sismico ST06

Con:

$\bar{V}_p$ = velocità media onde di compressione;

$M_0$ = modulo di compressibilità volumetrica;

$\bar{V}_s$ = velocità media onde di taglio;

$\lambda$ = coefficiente di Lamé;



2. Indagini Geognostiche in Situ

$\gamma$ = Peso unità di volume naturale;

R= rigidità sismica;

$\mu$ = coefficiente di Poisson;

$E_d$ = modulo edometrico.

$E_y$ = modulo di Young;

$G_0$ = modulo di taglio;

Noci (BA), Giugno 2021

Il Geologo

(Dr. Fedele Massimiliano COLUCCI)

605710

606110



4523530

4523530

Nord (mt)

4523130

4523130



605710

606110

Est (mt)

# Tavola A. 1 "Ubicazione Indagini in Situ" Sito GIP1

## Legenda

 Stendimento sismico  
(ST01= 44,00 ml)

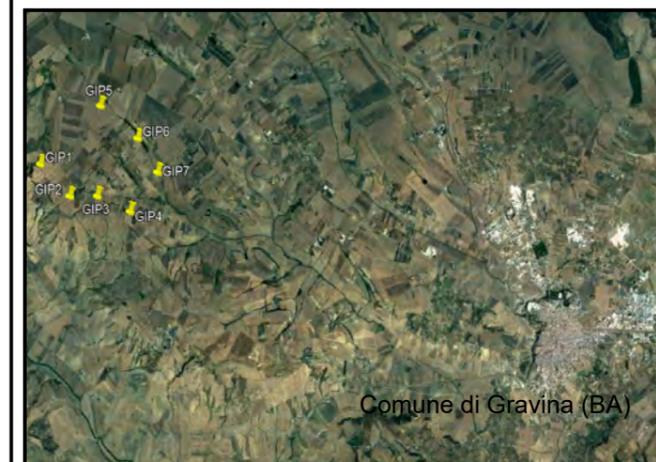
 Gn  
Geofono

 Battuta per indagine MASW

 Impianto eolico GIP1

Sistema di riferimento: UTM WGS84 33T

Base cartografica: Carta Tecnica Regionale (SIT-Regione Puglia)



Scala 1: 2.000



606510

606910

Nord (mt)

4522930

4522930

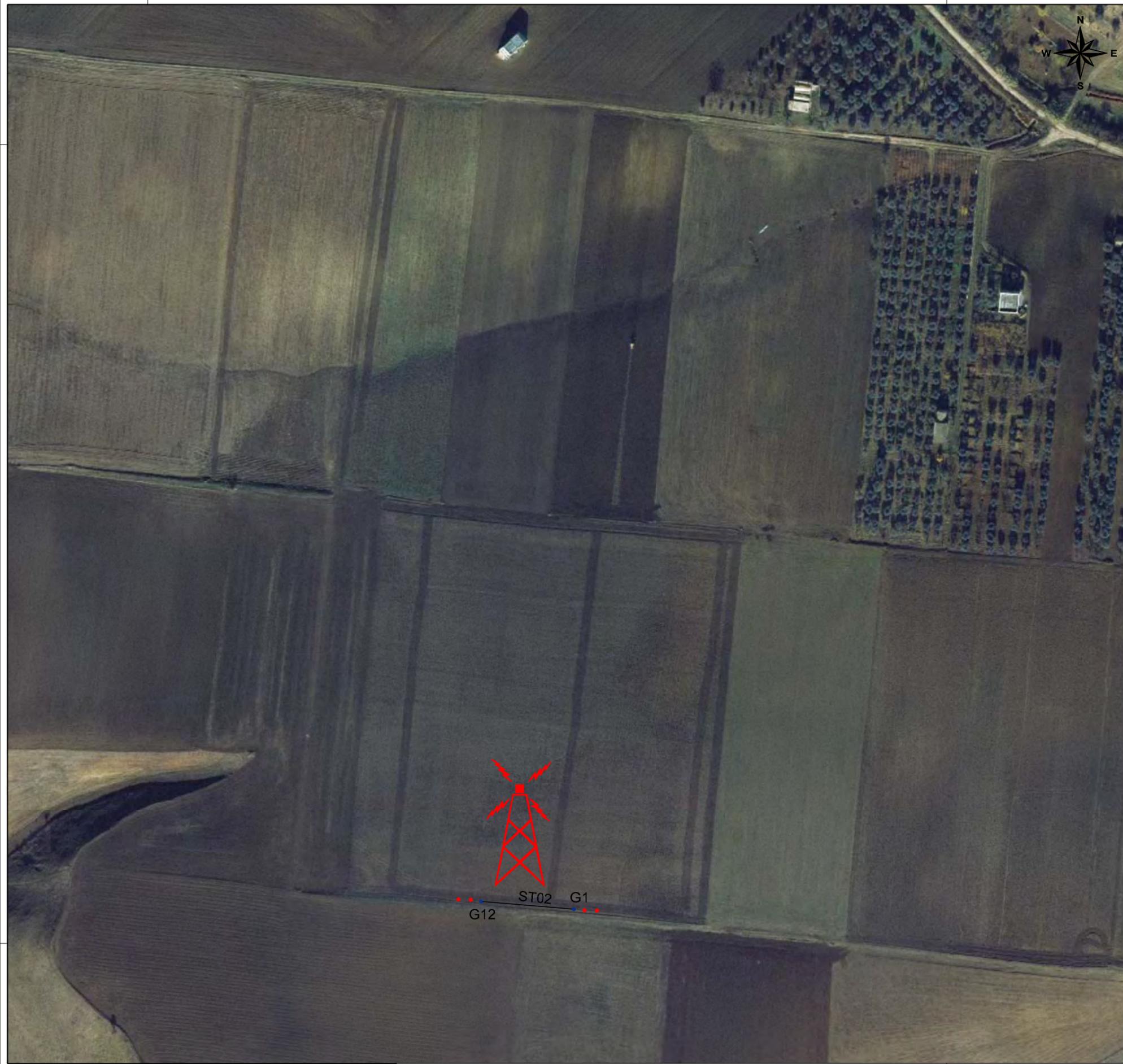
4522530

4522530

606510

606910

Est (mt)



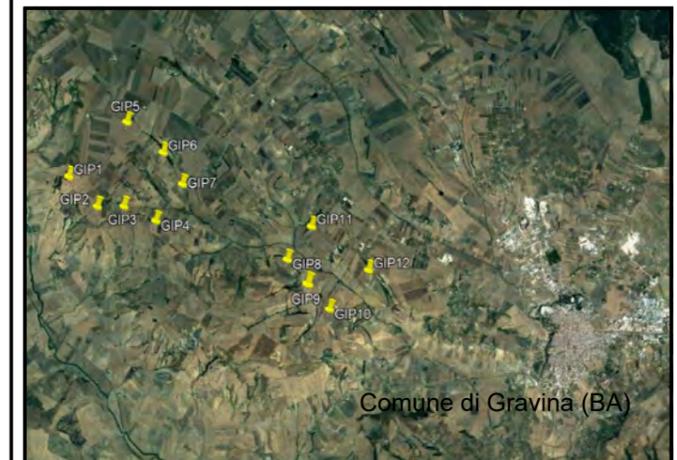
# Tavola A. 1 "Ubicazione Indagini in Situ" Sito GIP2

## Legenda

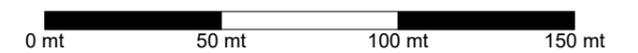
-  Stendimento sismico (ST02= 44,00 ml)
-  Gn Geofono
-  Battuta per indagine MASW
-  Impianto eolico GIP2

Sistema di riferimento: UTM WGS84 33T

Base cartografica: Carta Tecnica Regionale (SIT-Regione Puglia)



Scala 1: 2.000



608140

608540

4522530

4522530

Nord (mt)

4522130

4522130

608140

608540

Est (mt)



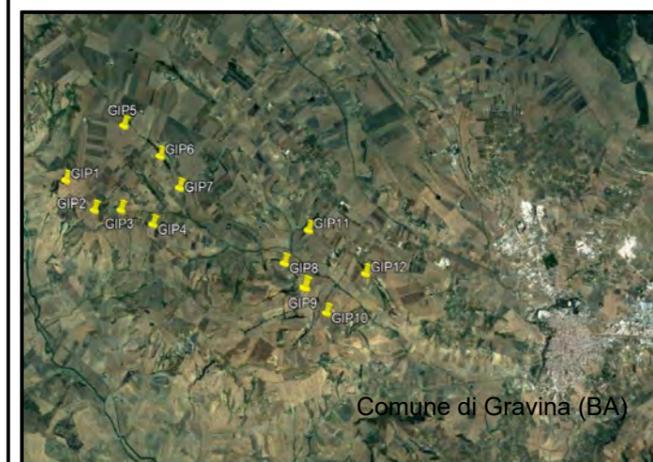
# Tavola A. 1 "Ubicazione Indagini in Situ" Sito GIP4

## Legenda

-  Stendimento sismico (ST03= 44,00 ml)
-  Gn Geofono
-  Battuta per indagine MASW
-  Impianto eolico GIP4

Sistema di riferimento: UTM WGS84 33T

Base cartografica: Carta Tecnica Regionale (SIT-Regione Puglia)



Scala 1: 2.000



612920

613320

4520380

4520380

Nord (mt)

4519980

4519980

612920

613320

Est (mt)



G1 ST04 G12

# Tavola A. 1 "Ubicazione Indagini in Situ" Sito GIP10

## Legenda

 Stendimento sismico  
(ST04= 44,00 ml)

 Gn  
Geofono

 Battuta per indagine MASW

 Impianto eolico GIP10

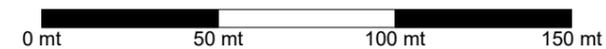
Sistema di riferimento: UTM WGS84 33T

Base cartografica: Carta Tecnica Regionale (SIT-Regione Puglia)



Comune di Gravina (BA)

Scala 1: 2.000



608220

608620

4524130

4524130

Nord (mt)

4523730

4523730

608220

608620

Est (mt)



### Tavola A. 1 "Ubicazione Indagini in Situ" Sito GIP6

#### Legenda

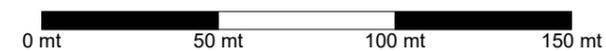
-  Stendimento sismico (ST05= 44,00 ml)
-  Gn Geofono
-  Battuta per indagine MASW
-  Impianto eolico GIP6

Sistema di riferimento: UTM WGS84 33T

Base cartografica: Carta Tecnica Regionale (SIT-Regione Puglia)



Scala 1: 2.000



612420

612820

4522380

4522380

Nord (mt)

4521980

4521980

612420

612820

Est (mt)



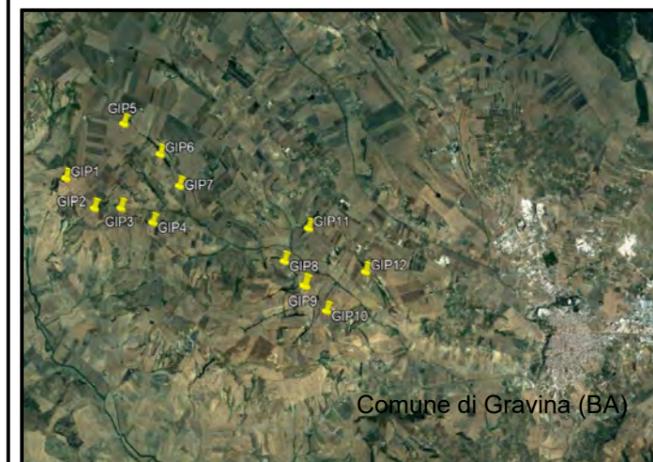
Tavola A. 1  
 "Ubicazione Indagini in Situ"  
 Sito GIP11

Legenda

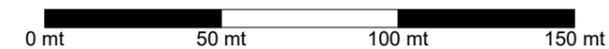
-  Stendimento sismico (ST06= 44,00 ml)
-  Gn Geofono
-  Battuta per indagine MASW
-  Impianto eolico GIP11

Sistema di riferimento: UTM WGS84 33T

Base cartografica: Carta Tecnica Regionale (SIT-Regione Puglia)



Scala 1: 2.000



Sezione Stratigrafica - Stendimento ST01 - Onde P

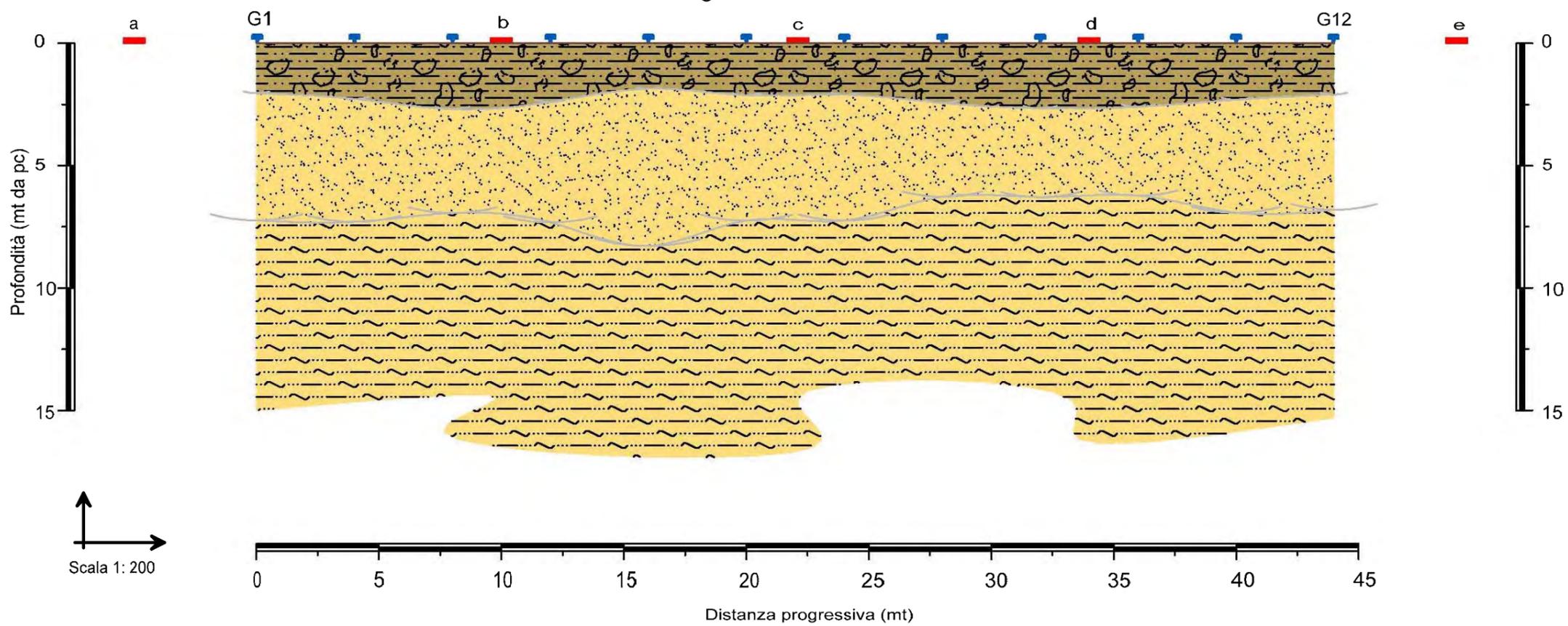
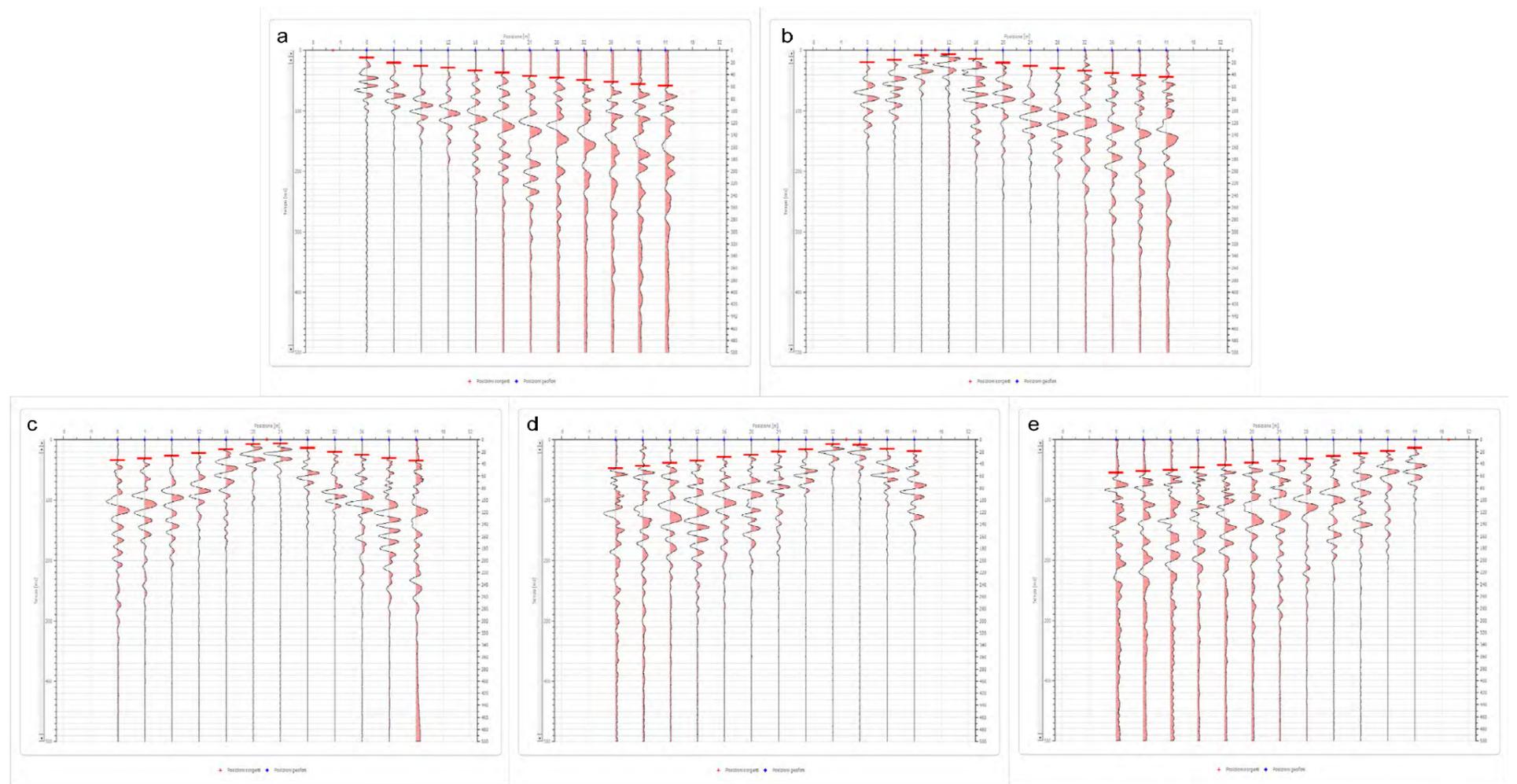


Tavola A. 2  
"Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"  
Stendimento ST01

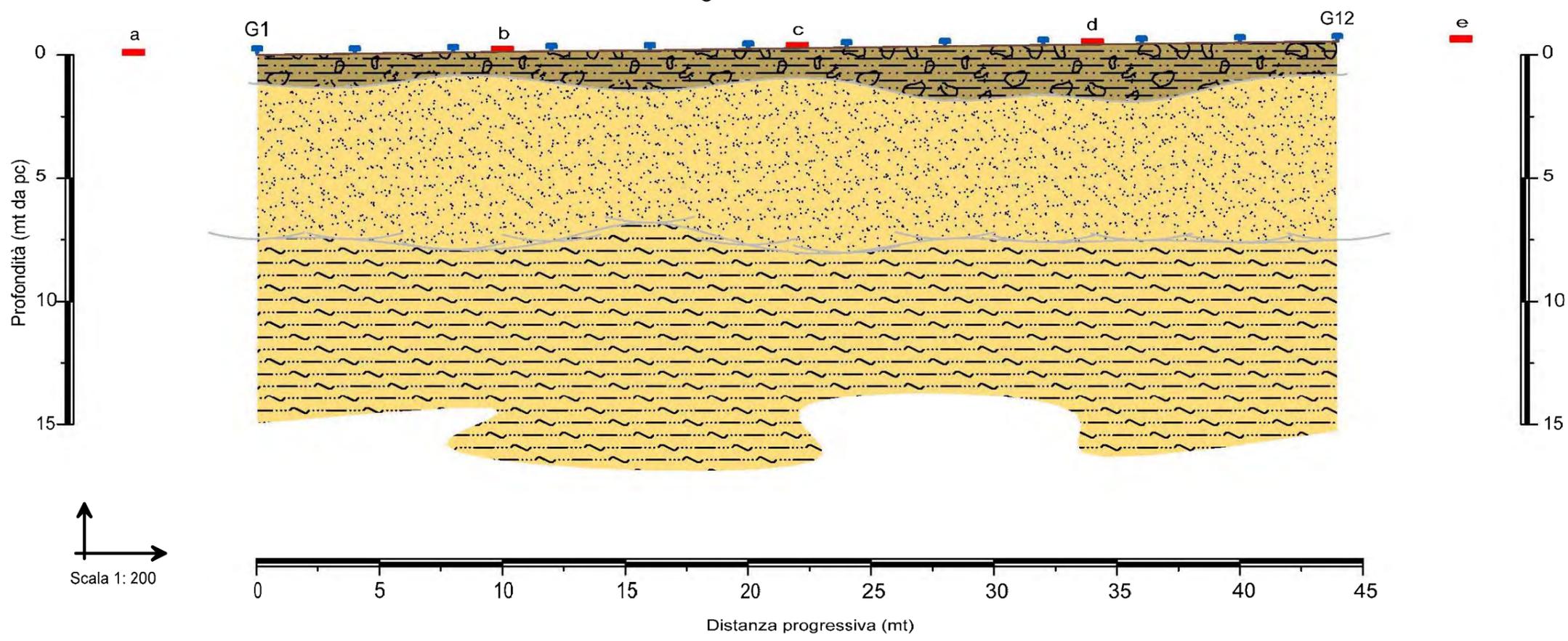
Legenda

-  Terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ciottolosa, mediamente consistente  
 $V_p = 419$  m/sec
-  Deposito di natura sabbioso-limosa, consistente  
 $V_p = 902$  m/sec
-  Deposito di natura limosa sabbioso-argillosa, ben consistente  
 $V_p = 1212$  m/sec
-  Geofono
-  Punto di energizzazione

Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi



Sezione Stratigrafica - Stendimento ST02 - Onde P



Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi

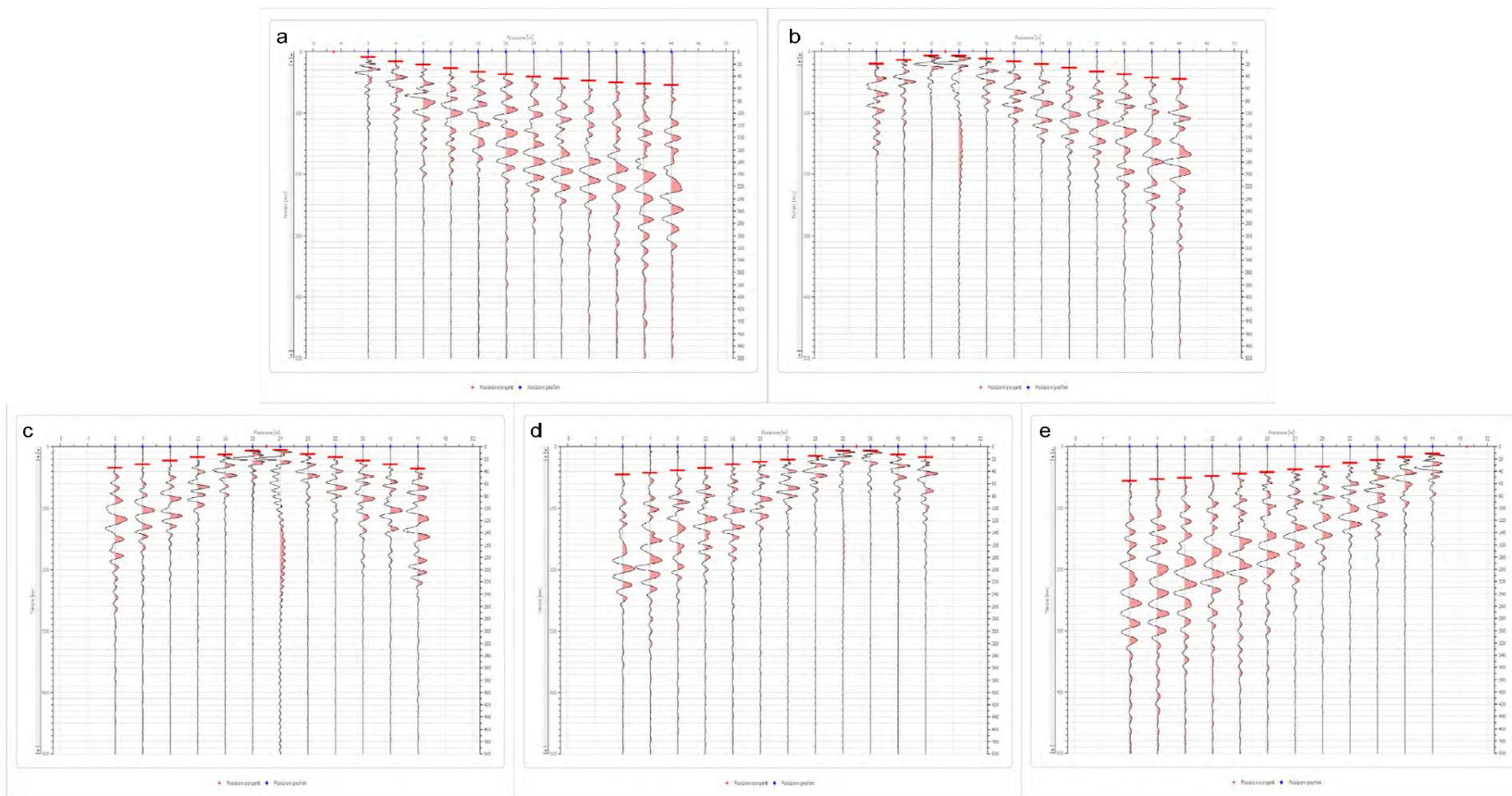


Tavola A. 2

"Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"  
Stendimento ST02

Legenda

-  Terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ciottolosa, mediamente consistente  
 $V_p = 498$  m/sec
-  Deposito di natura sabbioso-limosa, consistente  
 $V_p = 755$  m/sec
-  Deposito di natura limosa sabbioso-argillosa, ben consistente  
 $V_p = 1330$  m/sec
-  Geofono
-  a Punto di energizzazione

Sezione Stratigrafica - Stendimento ST03 - Onde P

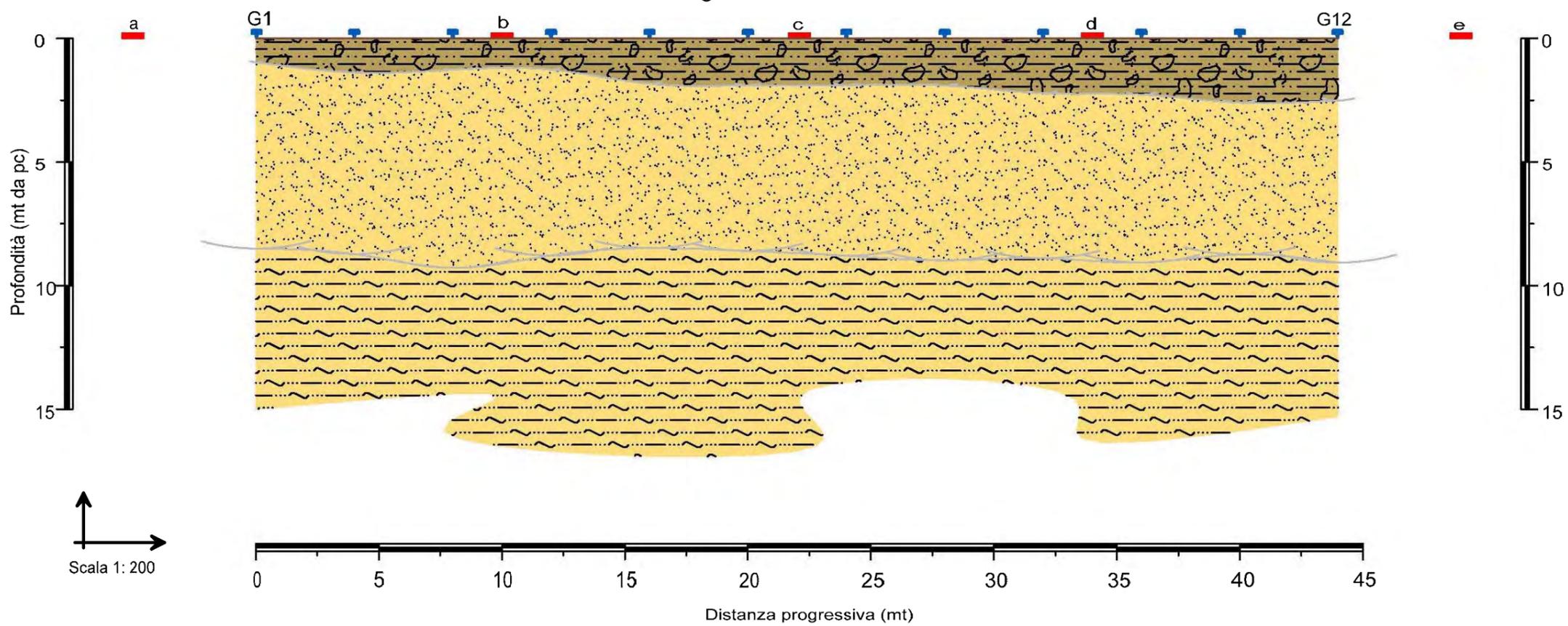
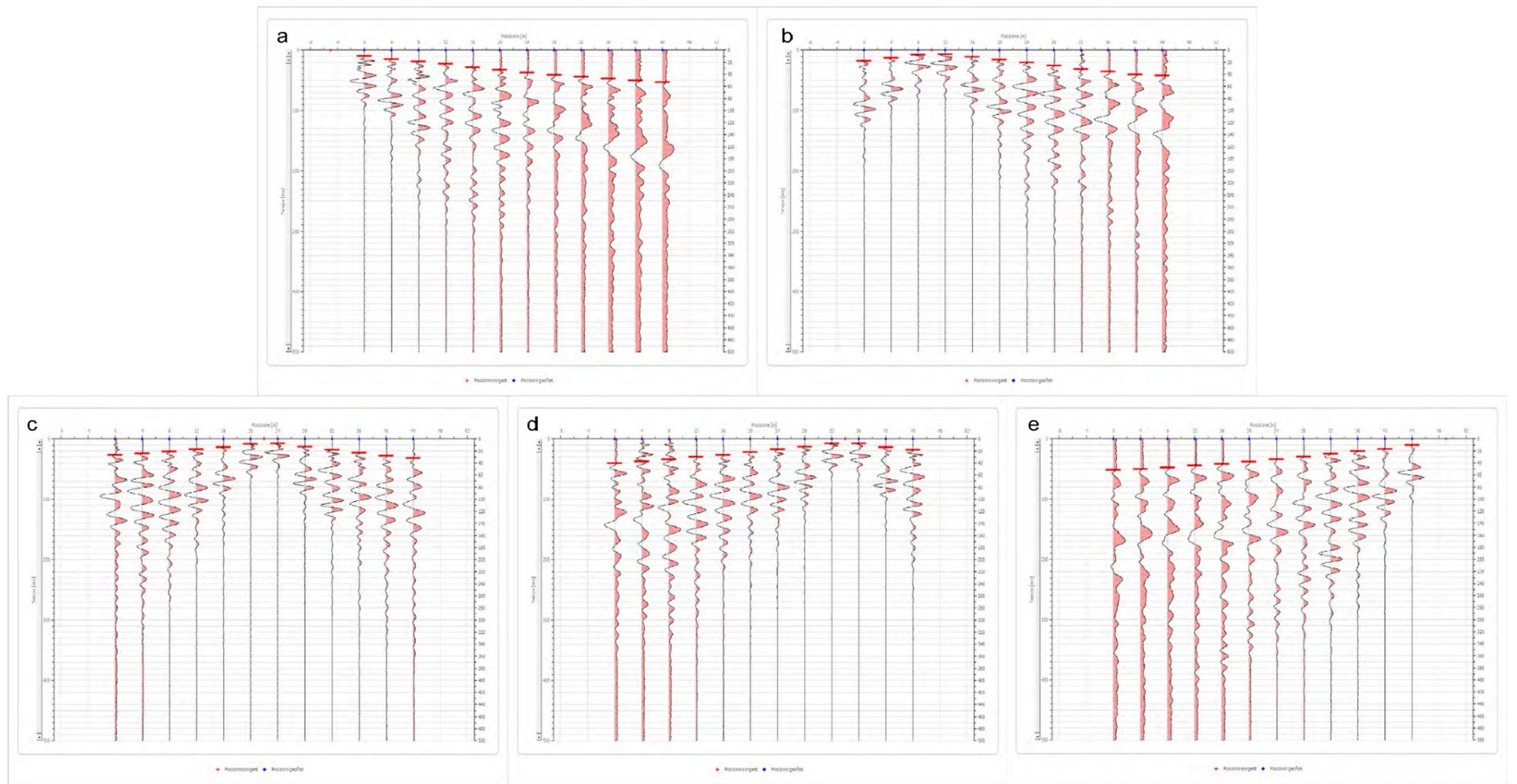


Tavola A. 2  
"Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"  
Stendimento ST03

Legenda

-  Terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ciottolosa, mediamente consistente  
 $V_p = 507$  m/sec
-  Deposito di natura sabbioso-limosa, consistente  
 $V_p = 923$  m/sec
-  Deposito di natura limosa sabbioso-argillosa, molto consistente  
 $V_p = 1416$  m/sec
-  Geofono
-  a Punto di energizzazione

Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi



Sezione Stratigrafica - Stendimento ST04 - Onde P

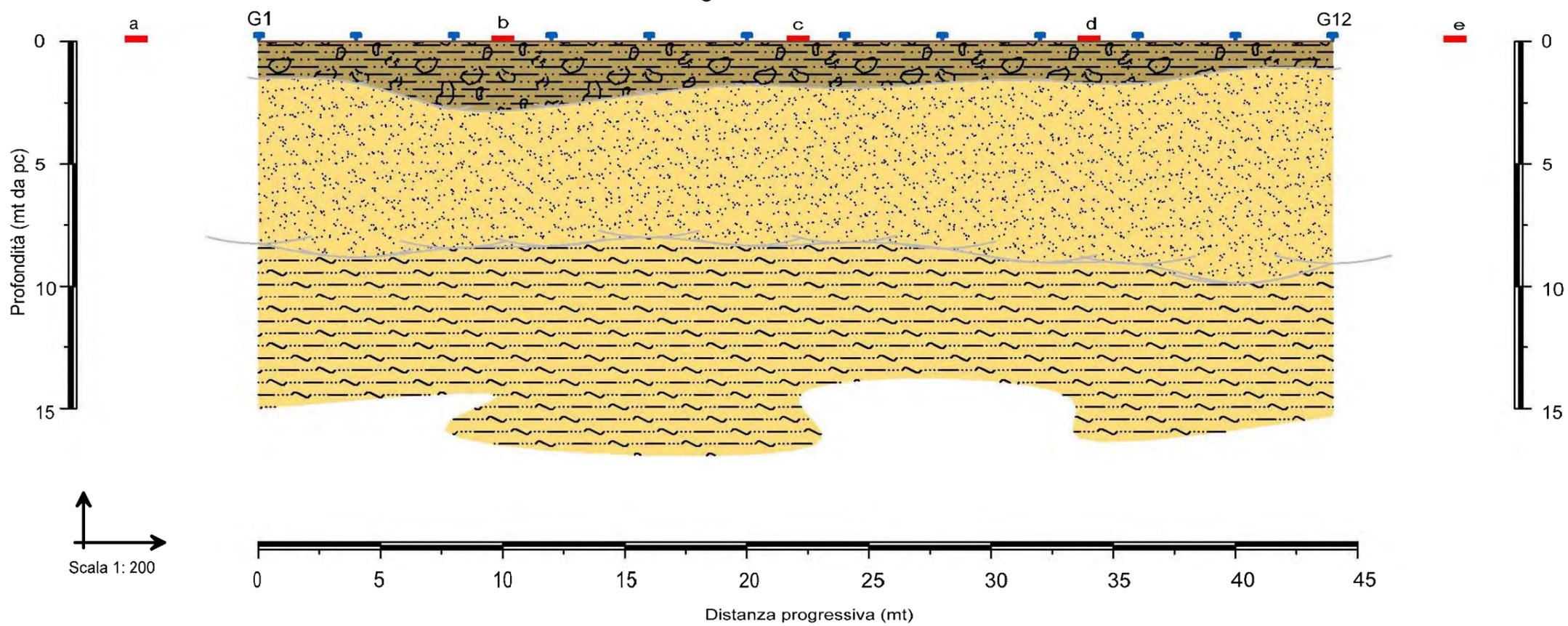
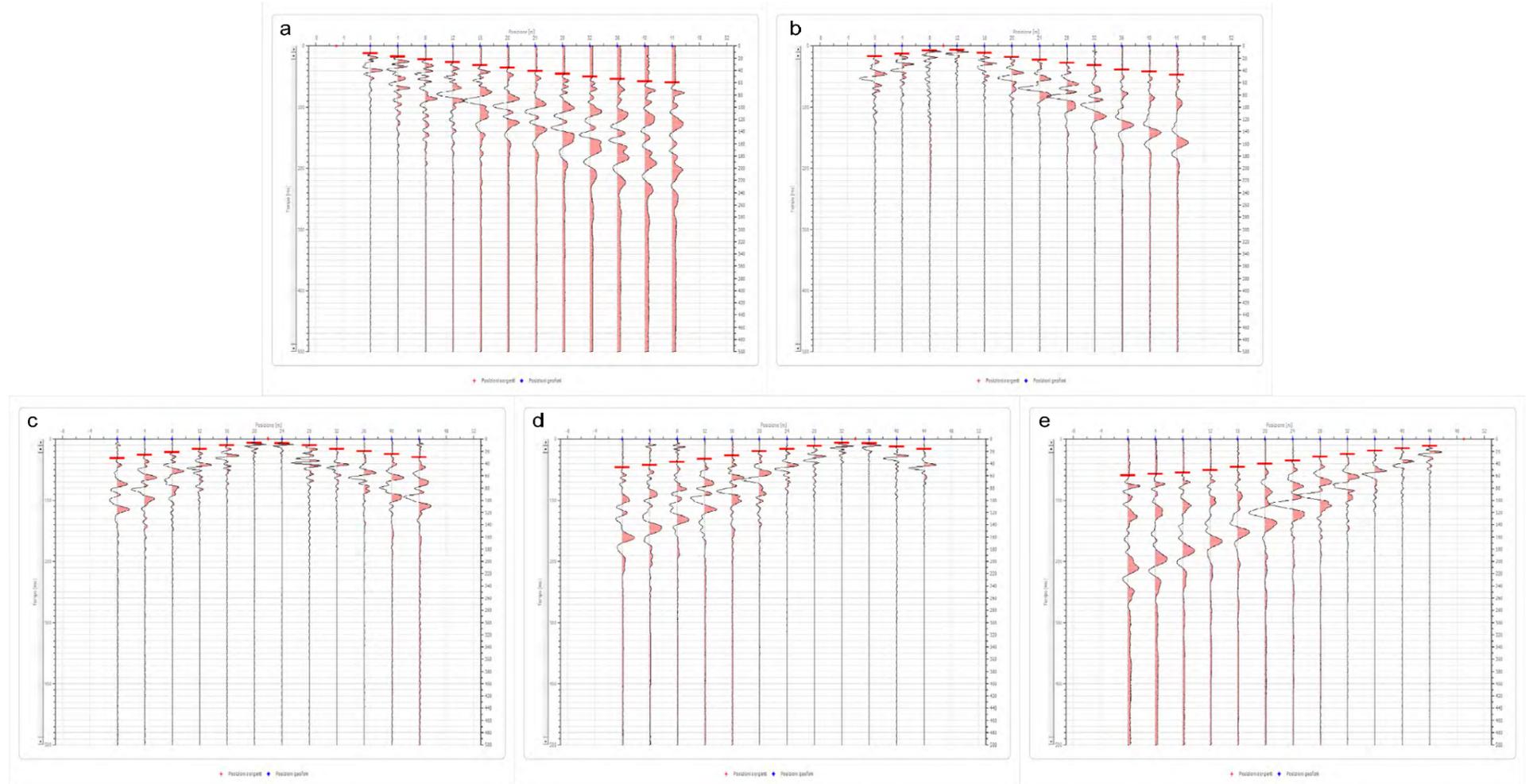


Tavola A. 2  
"Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"  
Stendimento ST04

Legenda

-  Terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ciottolosa, mediamente consistente  
 $V_p = 523$  m/sec
-  Deposito di natura sabbioso-limosa, consistente  
 $V_p = 826$  m/sec
-  Deposito di natura limosa sabbioso-argillosa, ben consistente  
 $V_p = 1119$  m/sec
-  Geofono
-  Punto di energizzazione

Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi



Sezione Stratigrafica - Stendimento ST05 - Onde P

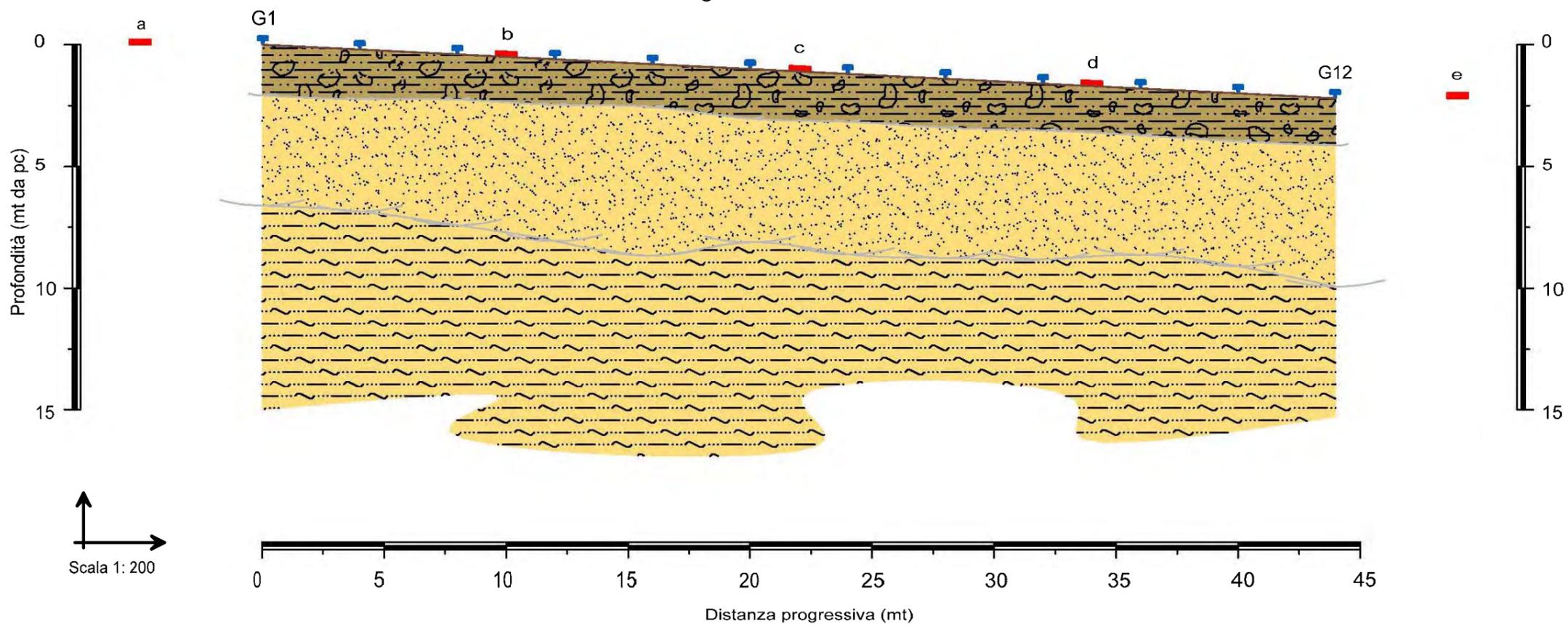
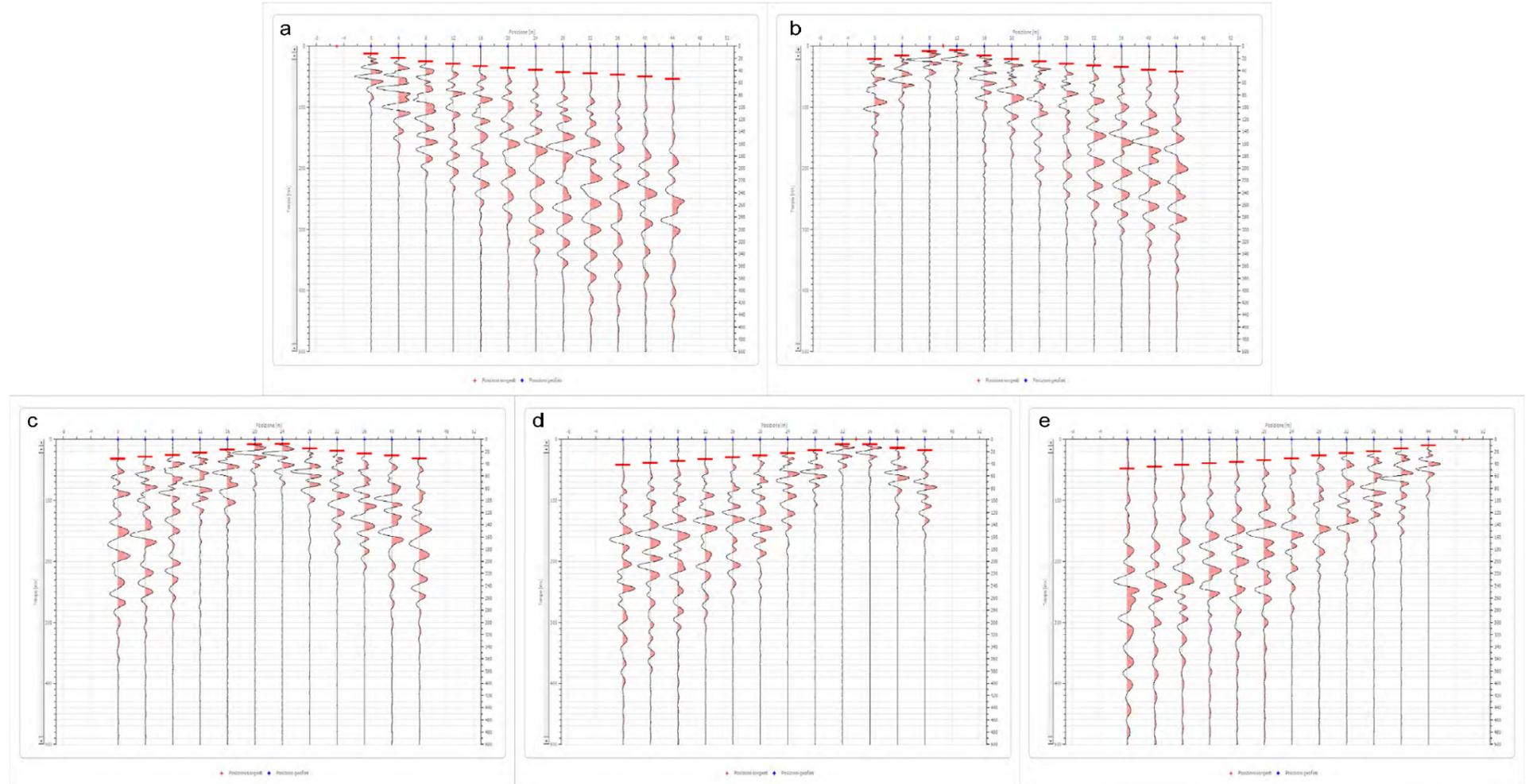


Tavola A. 2  
"Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"  
Stendimento ST05

Legenda

-  Terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ciottolosa, poco consistente  
 $V_p = 381$  m/sec
-  Deposito di natura sabbioso-limosa, consistente  
 $V_p = 1064$  m/sec
-  Deposito di natura limosa sabbioso-argillosa, molto consistente  
 $V_p = 1434$  m/sec
-  Geofono
-  Punto di energizzazione

Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi



Sezione Stratigrafica - Stendimento ST06 - Onde P

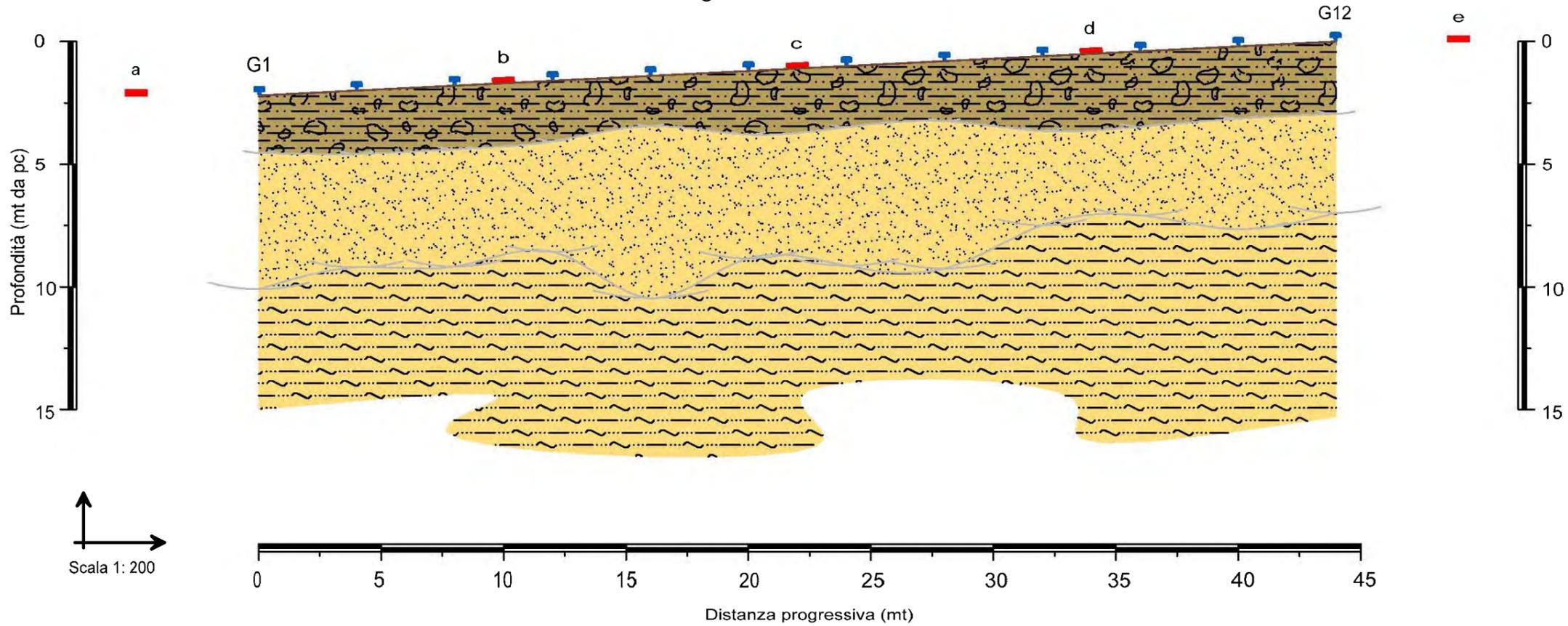
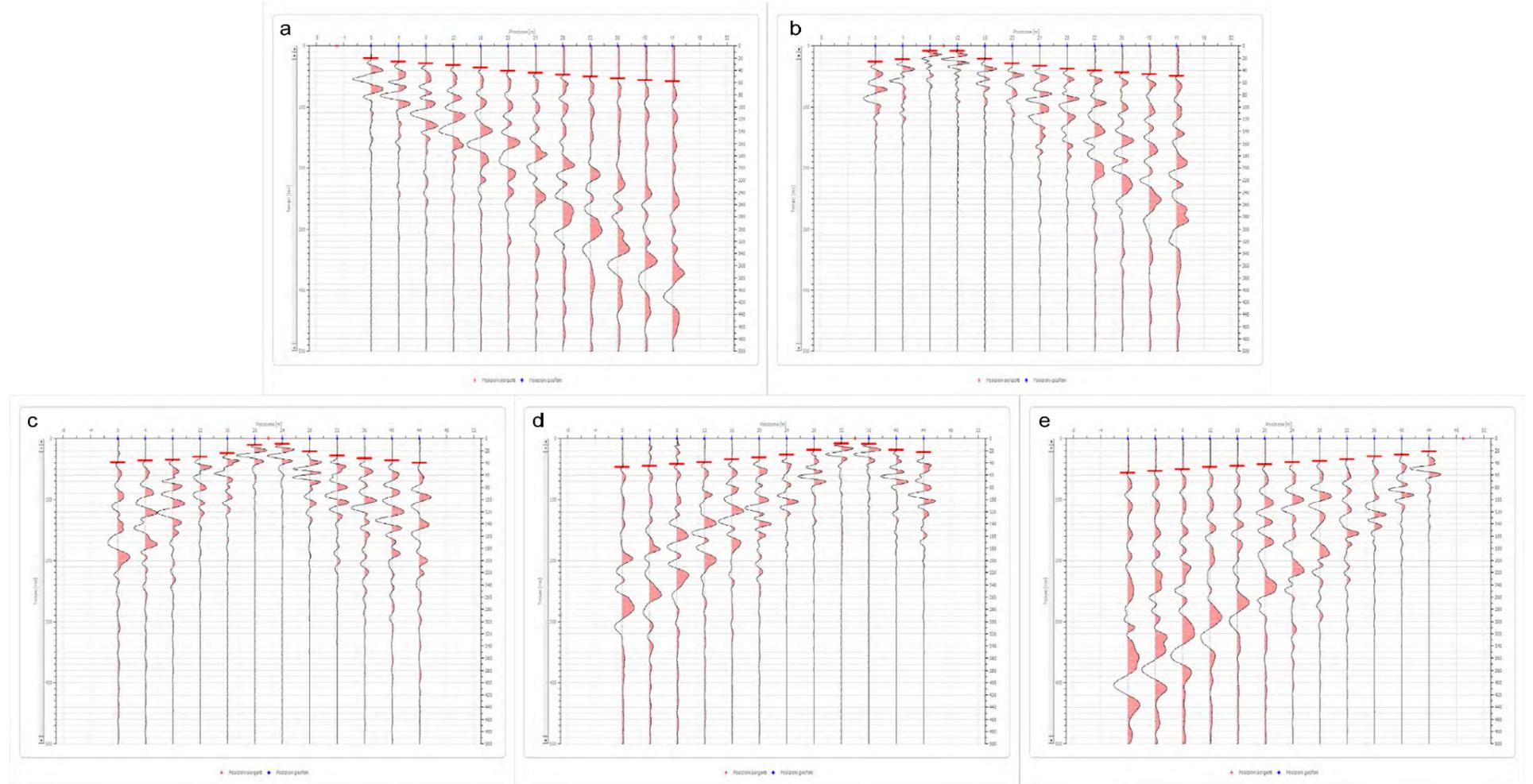


Tavola A. 2  
"Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"  
Stendimento ST06

Legenda

-  Terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ciottolosa, poco consistente  
 $V_p = 302$  m/sec
-  Deposito di natura sabbioso-limosa, consistente  
 $V_p = 1033$  m/sec
-  Deposito di natura limosa sabbioso-argillosa, molto consistente  
 $V_p = 1475$  m/sec
-  Geofono
-  Punto di energizzazione

Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi



# **INDAGINI GEOGNOSTICHE CONSULATE**

**MAGGIO 2012**

## REGIONE PUGLIA

COMUNI: Gravina in Puglia e Poggiorsini (BA)

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO  
PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA  
COSTITUITO DA 24 AEROGENERATORI DA 3 MW



---

Elaborato: **CAMPAGNA DI INDAGINI GEOGNOSTICHE  
E RELATIVO RAPPORTO GEOLOGICO**

---

Data: **Giugno 2012**

---

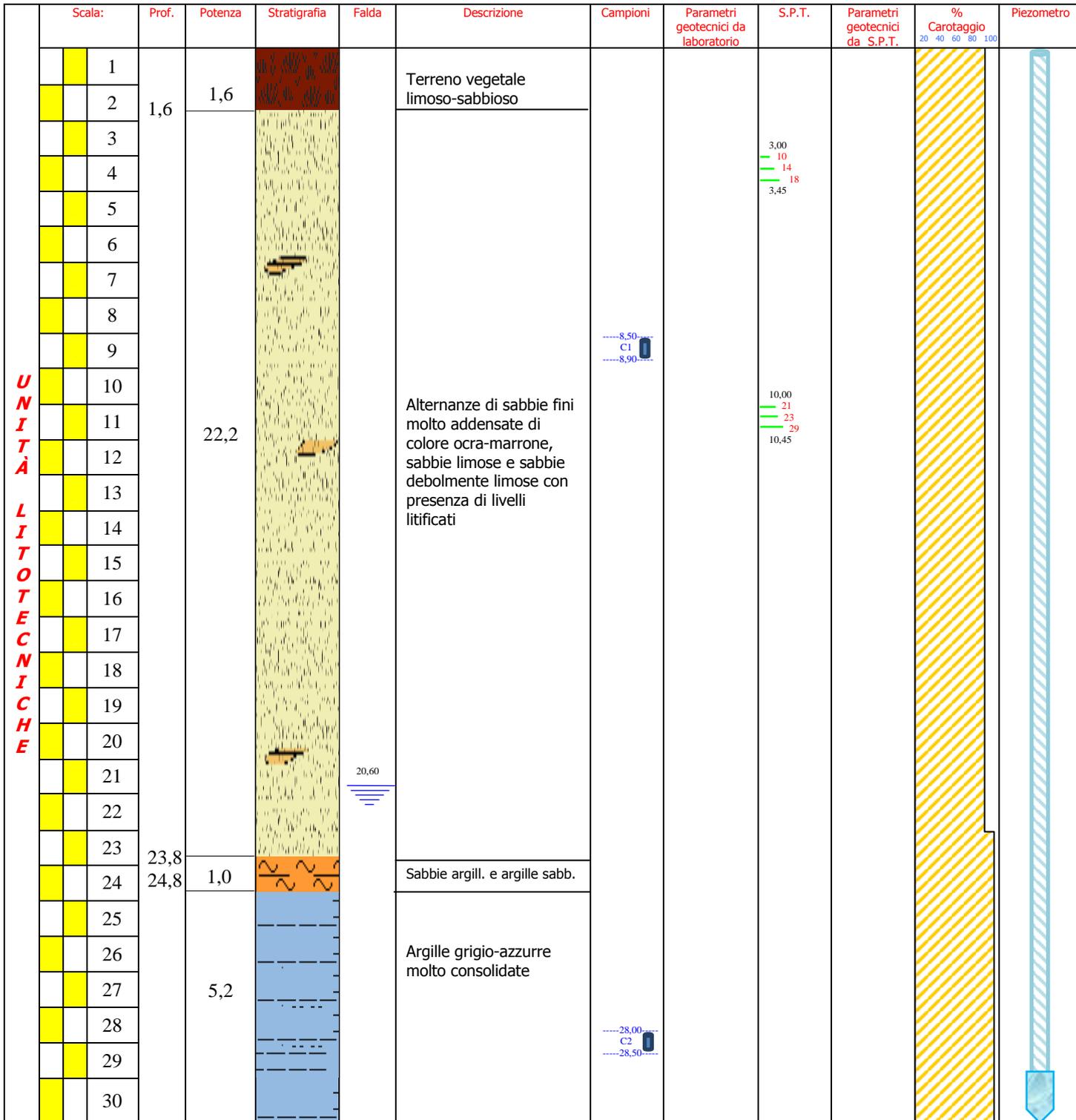
Committente:  
**NUOVA ENERGIA srl**

Consulenza geologica:  
**DMP S.r.l.**  
**GeoService**  
Strada Bari-Modugno-Toritto, 65  
70132 Bari

Geologo:  
**Dott. Michele Valerio**



Committente:	Nuova Energia S.r.l.	Sondaggio:	TORRE 12
Cantiere:	Parco eolico costituito da 24 aerogeneratori	Direzione lavori geognostici:	DMP Srl GeoService
Località:	Comuni di Gravina in Puglia e Poggiorsini	Coordinate:	2632644 E - 4519237 N
Data inizio:	19/03/2012	Data fine:	20/03/2012



<b>Committente:</b>	Nuova Energia srl
<b>Cantiere:</b>	Parco eolico da 24 aerogeneratori
<b>Località':</b>	Gravina in Puglia

**Sondaggio:** **S12**

**Data esecuzione** 19-20/03/2012

**Campioni**

<b>Sond.</b>	<b>S12</b>		
	<b>8,50</b>	<b>C1</b>	Sabbia argillosa con limo moderatamente addensata di colore giallastro
	<b>28,00</b>	<b>C2</b>	Limo con argilla e sabbia poco consistente di colore grigio
<b>Prof.:</b>	30,00 m		

**S.P.T.**

Sond. T1	Prof. m	Colpi			N.S.P.T.	Ic	Cu Kg/cm2	φ °	Med kg/cm2	Natura-Consistenza
		15	30	45						
	<b>3,00</b>	10	14	18	32		36	93	ADDENSATO	
	<b>10,00</b>	21	23	29	56		43	142	MOLTO ADDENS.	

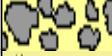
**Falda**

Sond.	1°	2°	3°	4°	Piez.
<b>S12</b>	F.S.				m
Data	20/03	19/04	07/06		
Prof	22,10	20,60	rotto		30,00

F.S.: misura effettuata a fine sondaggio

**Note:** Macchina perforatrice: Casagrande Mod.C6 130CV - Ditta perforazioni: Trivelfond di Amatore  
Sondaggio verticale D101 mm, a rotazione e carotaggio continuo.  
Attrezzato con tubo piezometrico D60 mm fino a f.f.

Committente:	Nuova Energia S.r.l.	Sondaggio:	TORRE 13
Cantiere:	Parco eolico costituito da 24 aerogeneratori	Direzione lavori geognostici:	DMP Srl GeoService
Località:	Comuni di Gravina in Puglia e Poggiorsini	Coordinate:	2632348 E - 4519080 N
Data inizio:	20/03/2012	Data fine:	21/03/2012

	Scala:	Prof.	Potenza	Stratigrafia	Falda	Descrizione	Campioni	Parametri geotecnici da laboratorio	S.P.T.	Parametri geotecnici da S.P.T.	% Carotaggio 20 40 60 80 100	Piezometro
	1	0,7	0,7			Terreno vegetale						
	2	3,0	2,3			Sabbia fine con ghiaia						
	3	3,3	1,0			Sabbia fine poco addensata						
	4	4,5	1,2			Sabbie e ghiaie			3,00 11 18 22 3,45			
	5											
	6											
	7						---8,50--- C1 ---9,00---					
	8											
	9					Sabbie fini addensate color beige con presenza di livelli arenacei e sabbiosi-debolmente limosi						
	10											
	11		12,2							10,30 25 38 rif		
	12									10,75		
	13											
	14											
	15											
	16											
	17	16,7										
	18											
	19											
	20					Alternanze di sabbie fini addensate con argille sabbiose e livelli arenacei						
	21											
	22											
	23		3,2									
	24											
	25											
	26											
	27	26,9										
	28											
	29		3,1			Argille grigio-azzurre molto consolidate	---28,20--- C2 ---28,50---					
	30											

UNITÀ LITOTECNICHE

<b>Committente:</b>	Nuova Energia srl
<b>Cantiere:</b>	Parco eolico da 24 aerogeneratori
<b>Località':</b>	Gravina in Puglia

**Sondaggio:** S13

**Data esecuzione** 20-21/03/2012

Campioni

<b>Sond.</b>	<b>S13</b>		
	<b>8,50</b>	<b>C1</b>	Sabbia limosa poco addensata di colore giallastro
	<b>28,00</b>	<b>C2</b>	Argilla con limo poco consistente di colore grigio
<b>Prof.:</b>	30,00 m		

S.P.T.

Sond. T1	Prof. m	Colpi			N.S.P.T.	Ic	Cu kg/cm2	φ °	Med kg/cm2	Natura-Consistenza
		15	30	45						
	<b>3,00</b>	11	18	22	40		39	109	ADDENSATO	
	<b>10,30</b>	25	38	rif.	88		52	208	MOLTO ADDENS.	

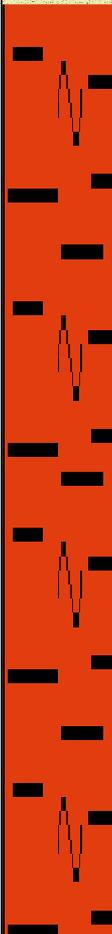
Falda

Sond.	1°	2°	3°	4°	Piez.
<b>S13</b>	F.S.				m
Data	21/03	19/04	07/06		
Prof	25,15	N.R.	N.R.		30,00

F.S.: misura effettuata a fine sondaggio

<b>Note:</b>	Macchina perforatrice: Casagrande Mod.C6 130CV - Ditta perforazioni: Trivelfond di Amatore Sondaggio verticale D101 mm, a rotazione e carotaggio continuo. Attrezzato con tubo piezometrico D60 mm fino a f.f.
--------------	--

Committente:	Nuova Energia S.r.l.	Sondaggio:	TORRE 14
Cantiere:	Parco eolico costituito da 24 aerogeneratori	Direzione lavori geognostici:	DMP Srl GeoService
Località:	Comuni di Gravina in Puglia e Poggiorsini	Coordinate:	2632042 E - 4519038 N
Data inizio:	21/03/2012	Data fine:	22/03/2012

Scala:	Prof.	Potenza	Stratigrafia	Falda	Descrizione	Campioni	Parametri geotecnici da laboratorio	S.P.T.	Parametri geotecnici da S.P.T.	% Carotaggio 20 40 60 80 100	Piezometro
1	2,2	2,2			Terreno vegetale						
2					Sabbia fine beige poco addensata						
3	3,7	1,9			Alternanze di sabbie fini molto addensate color ocra-marrone, sabbie limose ed argille sabbiose. Presenza di livelli argilloso calcignei di colore biancastro	-----8,50 C1 -----9,00		3,00 13 19 22 3,45			
4											
5	19,5					-----17,90 		10,00 21 28 35 10,45			
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22	23,2				Argille grigio-azzurre	-----21,60 C1 -----22,00					
23											
24	6,8										
25											
26											
27											
28											
29											
30											

UNITÀ LITOTECNICHE

<b>Committente:</b>	Nuova Energia srl
<b>Cantiere:</b>	Parco eolico da 24 aerogeneratori
<b>Località':</b>	Gravina in Puglia

**Sondaggio:** S14

**Data esecuzione** 21-22/03/2012

Campioni

<b>Sond.</b>	<b>S14</b>		
	<b>8,50</b>	<b>C1</b>	Sabbia limosa poco addensata di colore giallastro
	<b>21,60</b>	<b>C2</b>	Limo con sabbia argillosa moderatamente consistente di colore giallastro
<b>Prof.:</b>	30,00 m		

S.P.T.

Sond. T1	Prof. m	Colpi			N.S.P.T.	Ic	Cu kg/cm <sup>2</sup>	φ °	Med kg/cm <sup>2</sup>	Natura-Consistenza
		15	30	45						
	<b>3,00</b>	13	19	22	41		39	111	ADDENSATO	
	<b>10,00</b>	21	28	35	63		45	156	MOLTO ADDENS.	

Falda

Sond.	1°	2°	3°	4°	Piez.
<b>S14</b>	F.S.				m
Data	22/03	19/04	07/06		
Prof	18,37	17,50	17,90		30,00

F.S.: misura effettuata a fine sondaggio

<b>Note:</b>	Macchina perforatrice: Casagrande Mod.C6 130CV - Ditta perforazioni: Trivelfond di Amatore Sondaggio verticale D101 mm, a rotazione e carotaggio continuo. Attrezzato con tubo piezometrico D60 mm fino a f.f.
--------------	--

Committente:	Nuova Energia S.r.l.	Sondaggio:	TORRE 15
Cantiere:	Parco eolico costituito da 24 aerogeneratori	Direzione lavori geognostici:	DMP Srl GeoService
Località:	Comuni di Gravina in Puglia e Poggiorsini	Coordinate:	2631644 E - 4519314 N
Data inizio:	22/03/2012	Data fine:	23/03/2012

	Scala:	Prof.	Potenza	Stratigrafia	Falda	Descrizione	Campioni	Parametri geotecnici da laboratorio	S.P.T.	Parametri geotecnici da S.P.T.	% Carotaggio 20 40 60 80 100	Piezometro
<b>UNITÀ LITOTECNICHE</b>	1	1,2	1,2			Terreno vegetale limoso-sabbioso						
	2					Limi sabbiosi marrone-rossastro						
	3											
	4											
	5											
	6											
	7											
	8	9,0	7,8				----7,50---- CI ----8,00----	3,00 5 8 10 3,45				
	9											
	10											
	11	20,0			18,30 	Alternanze di sabbie fini, limi argillosi e argille limose di colore beige, con presenza di livelli litificati	----21,00---- CI ----21,50----	10,00 17 24 10,45				
	12					Presenza di livelli arenitico-cineritici fino a f.f. in alternanza con argille sabbiose e sabbie fini						
	13											
	14											
	15											
	16											
	17											
	18											
	19											
	20											
	21											
	22											
	23											
	24											
	25											
	26											
	27											
	28											
	29											
	30											

<b>Committente:</b>	Nuova Energia srl
<b>Cantiere:</b>	Parco eolico da 24 aerogeneratori
<b>Località':</b>	Gravina in Puglia

**Sondaggio:** S15

**Data esecuzione** 22-23/03/2012

Campioni

<b>Sond.</b>	<b>S15</b>		
	<b>7,50</b>	<b>C1</b>	Da 7,50 m a 7,80 m limo argilloso sabbioso poco consistente di colore marrone scuro - Da 7,80 m a 8,00 m sabbia argillosa con limo moderatamente addensata di colore marrone scuro
	<b>21,00</b>	<b>C2</b>	Sabbia argillosa con limo moderatamente addensata di colore giallastro
<b>Prof.:</b>	30,00 m		

S.P.T.

Sond. T1	Prof. m	Colpi			N.S.P.T.	Ic	Cu Kg/cm2	φ °	Med Kg/cm2	Natura-Consistenza
		15	30	45						
	<b>3,00</b>	5	8	10	18		1,2		82	MOLTO CONSIST.
	<b>10,00</b>	17	27	24	51			42	132	MOLTO ADDENS.

Falda

Sond.	1°	2°	3°	4°	Piez.
<b>S15</b>	F.S.				m
Data	23/03	19/04	07/06		
Prof	18,65	18,30	rotto		30,00

F.S.: misura effettuata a fine sondaggio

<b>Note:</b>	Macchina perforatrice: Casagrande Mod.C6 130CV - Ditta perforazioni: Trivelfond di Amatore Sondaggio verticale D101 mm, a rotazione e carotaggio continuo. Attrezzato con tubo piezometrico D60 mm fino a f.f.
--------------	--

Committente:	Nuova Energia S.r.l.	Sondaggio:	TORRE 18
Cantiere:	Parco eolico costituito da 24 aerogeneratori	Direzione lavori geognostici:	DMP Srl GeoService
Località:	Comuni di Gravina in Puglia e Poggiorsini	Coordinate:	2630600 E - 4519237 N
Data inizio:	23/03/2012	Data fine:	26/03/2012

Scala:	Prof.	Potenza	Stratigrafia	Falda	Descrizione	Campioni	Parametri geotecnici da laboratorio	S.P.T.	Parametri geotecnici da S.P.T.	% Carotaggio 20 40 60 80 100	Piezometro
1	1,2	1,2			Terreno vegetale limoso-sabbioso						
2		1,0			Limi sabbiosi						
3	2,2	11,0			Sabbie da fini a finissime di colore beige	C1 -8,20 -8,70	3,45 13 20 23 3,90				
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10	13,2	16,8			Alternanze di sabbie fini addensate, limi sabbiosi ed argille sabbiose di colore beige. Presenza di livelli arenitici di spessore di pochi cm dai 25 m	C2 -20,50 -20,80	10,00 33 10,30 rif				
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											

UNITÀ LITOTECNICHE

<b>Committente:</b>	Nuova Energia srl
<b>Cantiere:</b>	Parco eolico da 24 aerogeneratori
<b>Località':</b>	Gravina in Puglia

**Sondaggio:** S18

**Data esecuzione** 23-26/03/2012

Campioni

<b>Sond.</b>	<b>S18</b>		
	8,20	C1	Sabbia limosa moderatamente addensata di colore giallastro
	20,50	C2	Sabbia limosa moderatamente addensata di colore marrone chiaro-giallastro
<b>Prof.:</b>	30,00 m		

S.P.T.

Sond. T1	Prof. m	Colpi			N.S.P.T.	Ic	Cu kg/cm2	φ °	Med kg/cm2	Natura-Consistenza
		15	30	45						
	3,45	13	20	23	43		40	115	ADDENSATO	
	10,00	33	rif.		100		56	232	MOLTO ADDENS.	

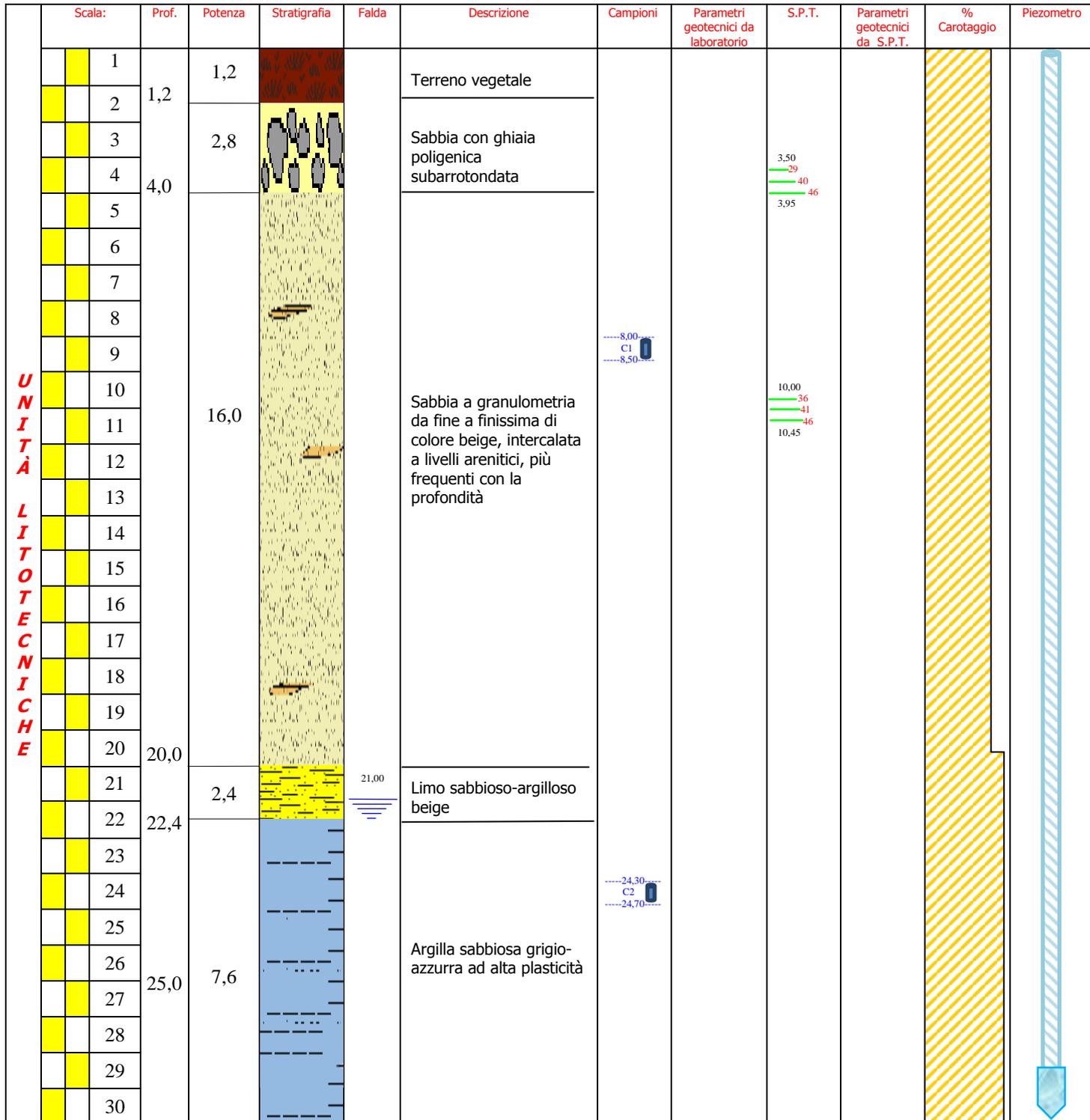
Falda

Sond.	1°	2°	3°	4°	Piez.
S18	F.S.				m
Data	26/03	19/04	07/06		
Prof	n.r.	n.r.	n.r.		30,00

F.S.: misura effettuata a fine sondaggio

<b>Note:</b>	Macchina perforatrice: Casagrande Mod.C6 130CV - Ditta perforazioni: Trivelfond di Amatore Sondaggio verticale D101 mm, a rotazione e carotaggio continuo. Attrezzato con tubo piezometrico D60 mm fino a f.f.
--------------	--

Committente:	Nuova Energia S.r.l.	Sondaggio:	TORRE 20
Cantiere:	Parco eolico costituito da 24 aerogeneratori	Direzione lavori geognostici:	DMP Srl GeoService
Località:	Comuni di Gravina in Puglia e Poggiorsini	Coordinate:	2631135 E - 4520250 N
Data inizio:	21/03/2012	Data fine:	22/03/2012



UNITÀ LITOTECNICHE

8,00  
C1  
8,50

24,30  
C2  
24,70

21,00

<b>Committente:</b>	Nuova Energia srl
<b>Cantiere:</b>	Parco eolico da 24 aerogeneratori
<b>Località':</b>	Gravina in Puglia

**Sondaggio:** S20

**Data esecuzione** 21-22/03/2012

Campioni

<b>Sond.</b>	<b>S20</b>		
	8,00	C1	Limo argilloso con sabbia poco consistente di colore giallastro
	24,30	C2	Argilla limosa poco consistente di colore grigio
<b>Prof.:</b>	30,00 m		

S.P.T.

Sond. T1	Prof. m	Colpi			N.S.P.T.	Ic	Cu kg/cm2	φ °	Med kg/cm2	Natura-Consistenza
		15	30	45						
	3,50	29	40	46	86		52	204	MOLTO ADDENS.	
	10,00	36	41	46	87		52	206	MOLTO ADDENS.	

Falda

Sond.	1°	2°	3°	4°	Piez.
<b>S20</b>	F.S.				m
Data	22/03	19/04	07/06		
Prof	19,50	19,90	21,00		30,00

F.S.: misura effettuata a fine sondaggio

<b>Note:</b>	Macchina perforatrice: CMV Mk 600 - Ditta perforazioni: Sices srl di Fatigato Sondaggio verticale D101 mm, a rotazione e carotaggio continuo. Attrezzato con tubo piezometrico D60 mm fino a f.f.
--------------	---

Committente:	Nuova Energia S.r.l.	Sondaggio:	TORRE 21
Cantiere:	Parco eolico costituito da 24 aerogeneratori	Direzione lavori geognostici:	DMP Srl GeoService
Località:	Comuni di Gravina in Puglia e Poggiorsini	Coordinate:	2631594 E - 4520464 N
Data inizio:	30/03/2012	Data fine:	02/04/2012

	Scala:	Prof.	Potenza	Stratigrafia	Falda	Descrizione	Campioni	Parametri geotecnici da laboratorio	S.P.T.	Parametri geotecnici da S.P.T.	% Carotaggio 20 40 60 80 100	Piezometro					
		1	0,9	0,9			Terreno veget. limoso-sabbioso										
	2	2,9	2,0			Sabbie fini di colore beige											
	3																
	4																
	5	12,9				Sabbie da fini a finissime di colore beige con presenza di livelli limoso-argillosi più frequenti nel passaggio alle argille sottostanti.			3,10 13 17 10 3,55								
	6																
	7																
	8																
	9																
	10																
	11											---9,50--- C1 ---10,00---			10,00 14 29 35		
	12																
	13																
	14																
	15	15,8															
	16																
	17																
	18																
	19																
	20																
	21	14,2				Argille grigio-azzurre molto plastiche, a luoghi argilloso-sabbiose.											
	22																
	23																
	24																
	25																
	26																
	27																
	28																
	29																
	30																

UNITÀ LITOTECNICHE

<b>Committente:</b>	Nuova Energia srl
<b>Cantiere:</b>	Parco eolico da 24 aerogeneratori
<b>Località':</b>	Gravina in Puglia

**Sondaggio:** S21

**Data esecuzione** 30/03-02/04/2012

Campioni

<b>Sond.</b>	<b>S21</b>		
	9,50	C1	Sabbia limosa moderatamente addensata di colore giallastro
	20,50	C2	Argilla limosa poco consistente di colore grigio
<b>Prof.:</b>	30,00 m		

S.P.T.

Sond. T1	Prof. m	Colpi			N.S.P.T.	Ic	Cu kg/cm2	φ °	Med kg/cm2	Natura-Consistenza
		15	30	45						
	3,10	13	17	10	27		56	82	MODER. ADDENS.	
	10,00	14	29	35	64		60	158	MOLTO ADDENS.	

Falda

Sond.	1°	2°	3°	4°	Piez.
S21	F.S.				m
Data	02/04	19/04	07/06		
Prof	n.r.	n.r.	rotto		30,00

F.S.: misura effettuata a fine sondaggio

<b>Note:</b>	Macchina perforatrice: CMV Mk 600 - Ditta perforazioni: Sices srl di Fatigato Sondaggio verticale D101 mm, a rotazione e carotaggio continuo. Attrezzato con tubo piezometrico D60 mm fino a f.f.
--------------	---

Committente:	Nuova Energia S.r.l.	Sondaggio:	TORRE 25
Cantiere:	Parco eolico costituito da 24 aerogeneratori	Direzione lavori geognostici:	DMP Srl GeoService
Località:	Comuni di Gravina in Puglia e Poggiorsini	Coordinate:	2630901 E - 4520872 N
Data inizio:	27/03/2012	Data fine:	28/03/2012

Scala:	Prof.	Potenza	Stratigrafia	Falda	Descrizione	Campioni	Parametri geotecnici da laboratorio	S.P.T.	Parametri geotecnici da S.P.T.	% Carotaggio 20 40 60 80 100	Piezometro	
1	1,3	1,3			Terreno vegetale limoso-sabbioso							
2												
3					Sabbie da fini a finissime di colore beige. Presenza di trovanti arenitici alla base della formazione			3,50 23 36 40 3,95				
4												
5												
6												
7		21,0										
8												
9							---7,50--- C1 ---7,80---					
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23	22,3				Argille grigio-azzurre compatte ad elevato contenuto fossilifero							
24				24,00								
25												
26							---25,00--- C2 ---25,50---					
27		7,7										
28												
29												
30												

UNITÀ LITOTECNICHE

<b>Committente:</b>	Nuova Energia srl
<b>Cantiere:</b>	Parco eolico da 24 aerogeneratori
<b>Località':</b>	Gravina in Puglia

**Sondaggio:** S25

**Data esecuzione** 27-28/03/2012

Campioni

<b>Sond.</b>	<b>S25</b>		
	7,50	C1	Argilla limosa moderatamente consistente di colore marrone chiaro
	25,00	C2	Argilla limosa moderatamente consistente di colore grigio-azzurro
<b>Prof.:</b>	30,00 m		

S.P.T.

Sond. T1	Prof. m	Colpi			N.S.P.T.	Ic	Cu Kg/cm2	φ °	Med kg/cm2	Natura-Consistenza
		15	30	45						
	3,50	23	36	40	76		49	183	MOLTO ADDENS.	
	10,00	19	43	rif.	93		54	218	MOLTO ADDENS.	

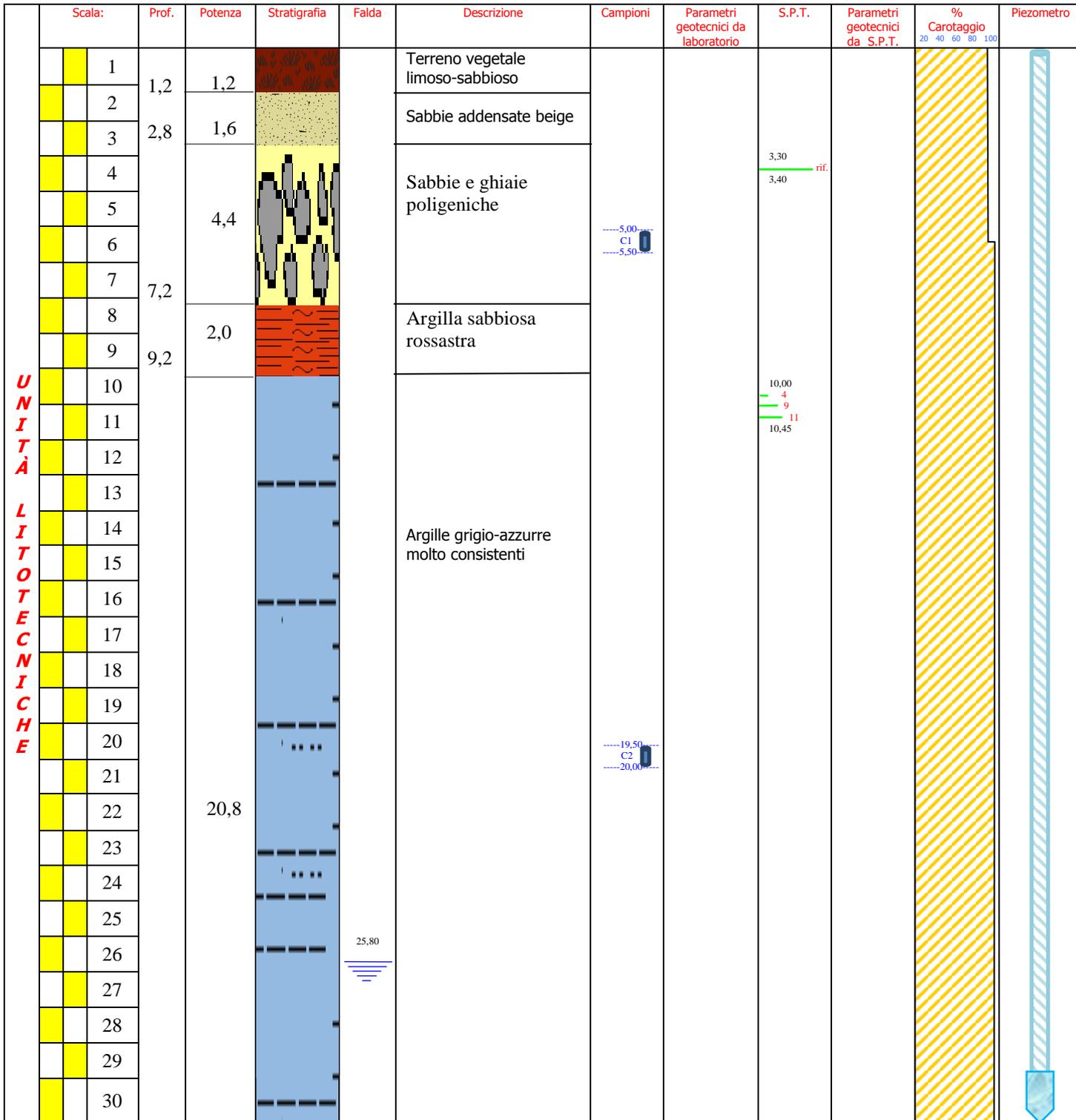
Falda

Sond.	1°	2°	3°	4°	Piez.
<b>S25</b>	F.S.				m
Data	28/03	19/04	07/06		
Prof	23,70	24,10	24,00		30,00

F.S.: misura effettuata a fine sondaggio

<b>Note:</b>	Macchina perforatrice: CMV Mk 600 - Ditta perforazioni: Sices srl di Fatigato Sondaggio verticale D101 mm, a rotazione e carotaggio continuo. Attrezzato con tubo piezometrico D60 mm fino a f.f.
--------------	---

Committente:	Nuova Energia S.r.l.	Sondaggio:	TORRE 33
Cantiere:	Parco eolico costituito da 24 aerogeneratori	Direzione lavori geognostici:	DMP Srl GeoService
Località:	Comuni di Gravina in Puglia e Poggiorsini	Coordinate:	2629352 E - 4522028 N
Data inizio:	27/03/2012	Data fine:	28/03/2012



UNITÀ LITOTECNICHE

<b>Committente:</b>	Nuova Energia srl
<b>Cantiere:</b>	Parco eolico da 24 aerogeneratori
<b>Località':</b>	Gravina in Puglia

**Sondaggio:** **S33**

**Data esecuzione** 27-28/03/2012

**Campioni**

<b>Sond.</b>	<b>S33</b>		
	5,00	C1	Ghiaia con sabbia limosa sciolta di colore brunastro
	19,50	C2	Argilla limosa poco consistente di colore grigio-azzurro
<b>Prof.:</b>	30,00 m		

**S.P.T.**

Sond. T1	Prof. m	Colpi			N.S.P.T.	Ic	Cu Kg/cm2	φ °	Med kg/cm2	Natura-Consistenza
		15	30	45						
	3,30	rif.			100		56	232	MOLTO ADDENS.	
	10,00	4	9	11	20	1,35		91	MOLTO CONSIST.	

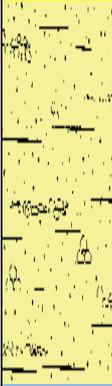
**Falda**

Sond.	1°	2°	3°	4°	Piez.
<b>S33</b>	F.S.				m
Data	28/03	19/04	07/06		
Prof	25,53	25,60	25,80		30,00

F.S.: misura effettuata a fine sondaggio

**Note:** Macchina perforatrice: Casagrande Mod.C6 130CV - Ditta perforazioni: Trivelfond di Amatore  
Sondaggio verticale D101 mm, a rotazione e carotaggio continuo.  
Attrezzato con tubo piezometrico D60 mm fino a f.f.

Committente:	Nuova Energia S.r.l.	Sondaggio:	TORRE 35
Cantiere:	Parco eolico costituito da 24 aerogeneratori	Direzione lavori geognostici:	DMP Srl GeoService
Località:	Comuni di Gravina in Puglia e Poggiorsini	Coordinate:	2627974 E - 4523270 N
Data inizio:	03/04/2012	Data fine:	04/04/2012

	Scala:	Prof.	Potenza	Stratigrafia	Falda	Descrizione	Campioni	Parametri geotecnici da laboratorio	S.P.T.	Parametri geotecnici da S.P.T.	% Carotaggio 20 40 60 80 100	Piezometro		
	1	0,6	0,6			Terreno vegetale								
	2	1,7	1,1			Argille calcigne miste a sabbia e clasti calcarenitici								
	3													
	4	4,9	3,2			Sabbie da fini a finissime di colore beige con livelli arenitici-cineritici			3,50 13 29 rif 3,95					
	5													
	6								-----5,00 C1 -----5,50					
	7	7,9				Alternanze di livelli sabbiosi, sabbioso-limosi e limosi								
	8													
	9													
	10													
	11	13,0				Argille grigio-azzurre limoso-sabbiose molto plastiche ad alto contenuto fossilifero. Con la profondità diminuisce la frazione sabbiosa.			10,00 12 11 12 10,45					
	12													
	13													
	14													
	15													
	16													
	17						16,50							
	18													
	19													
	20													
	21	17,0				Argille grigio-azzurre limoso-sabbiose molto plastiche ad alto contenuto fossilifero. Con la profondità diminuisce la frazione sabbiosa.								
	22													
	23													
	24													
	25													
	26													
	27								-----26,50 C2 -----27,00					
	28													
	29													
	30													

UNITÀ LITOTECNICHE

<b>Committente:</b>	Nuova Energia srl
<b>Cantiere:</b>	Parco eolico da 24 aerogeneratori
<b>Località':</b>	Gravina in Puglia

**Sondaggio:** S35

**Data esecuzione** 03-04/04/2012

Campioni

<b>Sond.</b>	<b>S35</b>		
	5,00	C1	Sabbia con limo moderatamente addensata di colore giallastro
	26,50	C2	Argilla limosa poco consistente di colore grigio
<b>Prof.:</b>	30,00 m		

S.P.T.

Sond. T1	Prof. m	Colpi			N.S.P.T.	Ic	Cu kg/cm2	φ °	Med kg/cm2	Natura-Consistenza
		15	30	45						
	3,50	13	29	rif.	79		50	189	MOLTO ADDENS.	
	10,00	12	11	12	23	1,55		105	MOLTO CONSIST.	

Falda

Sond.	1°	2°	3°	4°	Piez.
<b>S35</b>	F.S.				m
Data	04/04	19/04	07/06		
Prof	15,50	16,90	16,50		30,00

F.S.: misura effettuata a fine sondaggio

<b>Note:</b>	Macchina perforatrice: CMV Mk 600 - Ditta perforazioni: Sices srl di Fatigato Sondaggio verticale D101 mm, a rotazione e carotaggio continuo. Attrezzato con tubo piezometrico D60 mm fino a f.f.
--------------	---

**I.P.G. s.n.c. – Istituto Prove Geotecniche**

Di Santo Marcello, Celia Domenico, Soleri Sergio, Valenza Massimiliano  
Via Orto Matera n° 21 Castrolibero (CS) Tel -Fax 0984 465174 –  
E-Mail: ipg2004@libero.it www.ipg2004.it

**AZIENDA CON SISTEMA DI  
GESTIONE QUALITÀ UNI EN ISO  
9001:2008**

**Certificazione Ufficiale - Prove di laboratorio sui terreni  
Autorizzazione Ministero Infrastrutture e Trasporti  
Decreto N. 8014/09-12-2009 (D.P.R. 380/01)**

**Indagine: Parco eolico da realizzarsi nei Comuni di  
Gravina - Poggiorsini**

**Committente: DMP S.r.l. GeoService**

**TABELLE RIASSUNTIVE DELLE PROVE DI LABORATORIO**

<b>Sondaggio Campione</b>	<b>Prof. m dal p.c.</b>	<b>W %</b>	<b><math>\gamma_n</math> kN/m<sup>3</sup></b>	<b><math>\gamma_s</math> kN/m<sup>3</sup></b>	<b>C (kPa)</b>	<b><math>\phi</math></b>	<b>LIMITI</b>	<b>Descrizione visiva del campione</b>
<b>S12 C1</b>	8.50-8.90	18.36	17.09	26.44	1.74	32.42	WL (%) = 26.58 WP (%) = 22.46 IP (%) = 4.13	Sabbia con Limo Argillosa moderatamente addensata di colore giallastro.
<b>S12 C2</b>	28.00-28.50	22.64	20.20	26.86	8.96	28.17	WL (%) = 30.68 WP (%) = 22.73 IP (%) = 7.95	Limo con Argilla con Sabbia poco consistente di colore grigio.
<b>S13 C1</b>	8.50-9.00	7.30	15.16	26.29	1.51	32.67	-	Sabbia Limosa poco addensata di colore giallastro.
<b>S13 C2</b>	28.20-28.50	24.45	20.09	27.03	7.03	26.51	WL (%) = 37.60 WP (%) = 25.48 IP (%) = 12.12	Argilla con Limo poco consistente di colore grigio.
<b>S14 C1</b>	8.50-9.00	8.18	15.20	26.28	1.80	32.42	-	Sabbia Limosa poco addensata di colore giallastro.
<b>S14 C2</b>	21.60 –22.00	20.79	19.82	26.36	15.30	29.92	WL (%) = 27.14 WP (%) = 21.93 IP (%) = 5.21	Limo con Sabbia Argillosa moderatamente consistente di colore giallastro.
<b>S15 C1</b>	7.50-8.00 (prove eseguite da 7.50-7.80)	17.89	20.39	26.90	3.51	28.93	WL (%) = 26.00 WP (%) = 21.72 IP (%) = 4.28	Da 7.50 m a 7.80 m Limo Argilloso Sabbioso poco consistente di colore marrone scuro. Da 7.80 m a 8.00 m Sabbia con Limo Argillosa moderatamente addensata di colore marrone scuro.

S15 C2	21.00-21.50	24.42	19.64	26.33	7.71	32.72	WL (%) = 26.49 WP (%) = 24.69 IP (%) = 1.80	Sabbia con Limo Argillosa moderatamente addensata di colore giallastro.
S20 C1	8.00 – 8.50	22.30	19.79	26.71	15.54	29.91	WL (%) = 24.45 WP (%) = 20.52 IP (%) = 3.92	Limo con Sabbia Argilloso poco consistente di colore giallastro.
S20 C2	24.30-24.70	22.36	20.34	26.97	2.46	24.40	WL (%) = 35.08 WP (%) = 22.91 IP (%) = 12.17	Argilla Limosa poco consistente di colore grigio.
S28 C1	8.00 – 8.50	23.29	18.84	26.93	12.63	27.14	WL (%) = 39.51 WP (%) = 27.32 IP (%) = 12.19	Limo Argilloso Sabbioso moderatamente consistente di colore giallastro.
S28 C2	20.00-20.50	27.11	19.36	27.09	2.89	25.31	WL (%) = 37.43 WP (%) = 27.51 IP (%) = 9.92	Argilla Limosa poco consistente di colore grigio.

<b>Sondaggio Campione</b>	<b>Prof. m dal p.c.</b>	<b>W %</b>	<b><math>\gamma_n</math> kN/m<sup>3</sup></b>	<b><math>\gamma_s</math> kN/m<sup>3</sup></b>	<b>C (kPa)</b>	<b><math>\phi</math></b>	<b>LIMITI</b>	<b>Descrizione visiva del campione</b>
S18 C1	8.20-8.70	11.78	15.86	26.27	2.02	32.86	-	Sabbia Limosa moderatamente addensata di colore giallastro.
S18 C2	20.50-20.80	21.70	17.48	26.20	1.03	32.53	-	Sabbia Limosa moderatamente addensata di colore marrone chiaro-giallastro.
<b>S21 C1</b>	9.50-10.00	18.63	17.61	26.23	1.76	32.42	-	Sabbia Limosa moderatamente addensata di colore giallastro.
<b>S21 C2</b>	20.50-21.00	27.38	18.97	26.97	2.57	25.27	WL (%) = 38.78 WP (%) = 28.32 IP (%) = 10.45	Argilla Limosa poco consistente di colore grigio.
<b>S25 C1</b>	7.50 - 8.00	25.91	19.04	26.91	7.07	26.46	WL (%) = 49.28 WP (%) = 32.23 IP (%) = 17.06	Argilla Limosa moderatamente consistente di colore marrone chiaro.
<b>S25 C2</b>	25.00-25.50	24.19	19.56	27.03	13.96	26.22	WL (%) = 38.52 WP (%) = 25.37 IP (%) = 13.15	Argilla Limosa moderatamente consistente di colore grigio-azzurro.
S30 C1	9.50 - 10.00	27.41	18.70	27.07	10.64	20.71	WL (%) = 50.16 WP (%) = 34.63 IP (%) = 15.53	Argilla Limosa moderatamente consistente di colore giallastro (presenza di intercalazioni sabbiose)

S30 C2	25.50-26.00	23.64	20.05	27.05	3.49	26.57	WL (%) = 33.16 WP (%) = 24.32 IP (%) = 8.84	Argilla Limosa poco consistente di colore grigio.
S33 C1	5.00 – 5.50	6.32	19.92	26.17	0.66	34.16	-	Ghiaia con Sabbia Limosa sciolta di colore brunastro
S33 C2	19.50-20.00	27.91	19.53	27.09	7.33	25.71	WL (%) = 29.95 WP (%) = 22.54 IP (%) = 7.41	Argilla Limosa poco consistente di colore grigio-azzurro.
S35 C1	5.00 – 5.50	17.84	19.64	26.34	3.78	31.02	-	Sabbia con Limo moderatamente addensata di colore giallastro.
S35 C2	26.50–27.00	24.74	19.65	27.03	5.15	26.81	WL (%) = 36.75 WP (%) = 25.53 IP (%) = 11.22	Argilla Limosa poco consistente di colore grigio.
S52 C1	5.00 – 5.50	23.47	19.80	27.06	4.47	27.70	WL (%) = 38.19 WP (%) = 24.74 IP (%) = 13.45	Argilla Limosa poco consistente di colore grigio.
S52 C2	20.30–20.50	25.41	19.52	27.01	8.64	26.97	WL (%) = 43.95 WP (%) = 28.21 IP (%) = 15.74	Argilla Limosa poco consistente di colore grigio.
S56 C1	5.00 – 5.50	21.75	19.08	26.18	4.30	30.92	-	Sabbia Limosa poco addensata di colore marrone chiaro.
S56 C2	20.00-20.50	23.24	19.81	27.04	7.66	28.49	WL (%) = 30.20 WP (%) = 24.17 IP (%) = 6.03	Argilla Limosa poco consistente di colore grigio.