



REGIONE PUGLIA  
CITTA' METROPOLITANA DI BARI  
COMUNI DI GRAVINA IN PUGLIA E ALTAMURA



# AUTORIZZAZIONE UNICA EX D.LGS. 387/2003

## Progetto Definitivo Parco eolico "Silvium" e opere connesse

TITOLO ELABORATO

**Relazione geologica**

CODICE ELABORATO

COMMESSA	FASE	ELABORATO	REV.
F0477	A	R03	A

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione

SCALA

DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
gennaio 2022	prima emissione	Giacomino	GMA	GDS

PROPONENTE



**wpd Silvium s.r.l.**

Corso d'Italia 83  
00198 Roma (RM)  
Tel: +39 06 960 353 01  
wpdsilviumsrl@legalmail.it  
P.IVA. 16496431004

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. Maurizio Giacomino**

Via del Ginepro, 23, 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 .....	12
7.1 INADGINE SISMICA – MASW. ....	12
7.1.1 MASW 01.....	14
7.1.2 MASW 02.....	14
7.1.2 MASW 03.....	14
7.1.4 MASW 04.....	14
7.1.5 MASW 05.....	15
7.1.6 MASW 06.....	15
7.2 CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI DI FONDAZIONE.....	15
7.3 INADGINE SISMICA – SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P E SH. ....	17
7.3.1 Sism ST01: .....	18
7.3.2 Sism ST02: .....	19
7.3.3 Sism ST03: .....	20
7.3.4 Sism ST04: .....	20
7.3.5 Sism ST05: .....	21
7.3.6 Sism ST06: .....	22
7.3 sondaggi meccanici consultati. ....	23
8. Considerazioni sulla Sismicità dell'aera .....	24
8.1 PARAMETRI SISMICI DELL'AREA DEL PARCO EOLICO IN PROGETTO .....	24
8.2 MICROZONAZIONE SISMICA DELL'AREA DEL PARCO EOLICO IN PROGETTO.....	26
9. Considerazioni sui terreni di fondazione delle torri eoliche .....	28
9.1 PARAMETRI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO.....	28
9.2 Parametri caratteristici .....	29
9.3 Parametri di progetto .....	30
10. Considerazioni sul percorso del cavidotto. ....	31
11. Analisi di stabilità di versante .....	32
12. Considerazioni conclusive.....	33

# 1. Premessa

Su incarico conferitomi dalla Società F4 Ingegneria S.r.l., è stata condotta una Campagna di Indagine Geognostica, al fine di accertare le condizioni geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, sismiche e geotecniche dei terreni presenti a sud-est dell’abitato di Gravina in P. (BA) dove si intende realizzare un parco eolico composto da n. 6 aerogeneratori con annesse piste e piazzole di stoccaggio.

Gli aerogeneratori saranno ubicati nei pressi del confine comunale tra l’agro di Gravina in località “Selva di Gravina” e l’agro di Altamura di località “Lama di Nebbia”, proprio in quest’ultima località, di recente, è stato progettato un altro parco eolico composto da n. 12 aerogeneratori, la cui indagini geognostiche sono state consultate per la redazione del presente studio.

L’ubicazione delle indagini dirette eseguite per il presente lavoro è riportata nell’elaborato “T01-“Carta Ubicazione Indagini” ed è composta da n. 6 Stendimenti sismici a rifrazione eseguiti in Onde P e Sh e n. 6 stendimenti eseguiti 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. 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;
  - n. 4 Sondaggi Meccanici a Carotaggio Continuo con prelievo di campioni sottoposti ad analisi geotecniche di laboratorio consultati dal indagini pregresse, quali, quella eseguita per

l'ammodernamento del tratto della SS n. 99 Matera-Altamura, strada che attraversa il parco eolico ubicato in agro di Altamura e costeggia l'area di stretto interesse e quella eseguita per la riqualificazione del Borgo Venusio, borgo presente a sud dell'area di stretto interesse.

L'ubicazione di tutte le indagini eseguite è riportata nell'Allegato T01 "Carta Ubicazione Indagini" mentre l'intero lavoro si compone dei seguenti elaborati descrittivi e cartografici, quali:

- R03 Relazione Geologico Tecnica
- R04 Report di fine Campagna Geognostica
- T01 Carta ubicazione indagini Scala 1:5.000
- T02 Carta Geologica Scala 1:5.000
- T03 Carta Geomorfologica Scala 1:5.000
- T04 Carta Idrogeologica Scala 1:5.000
- T05 Profili Geologici Scala 1:2.000/1.000
- T06 Carta della Microzonazione Sismica Scala 1:5000
- T07 Carta Finale di Sintesi della Criticità e Pericolosità Geologica e Geomorfologica Scala 1:5000



## 2. Piano Stralcio Difesa Rischio Idrogeologico.

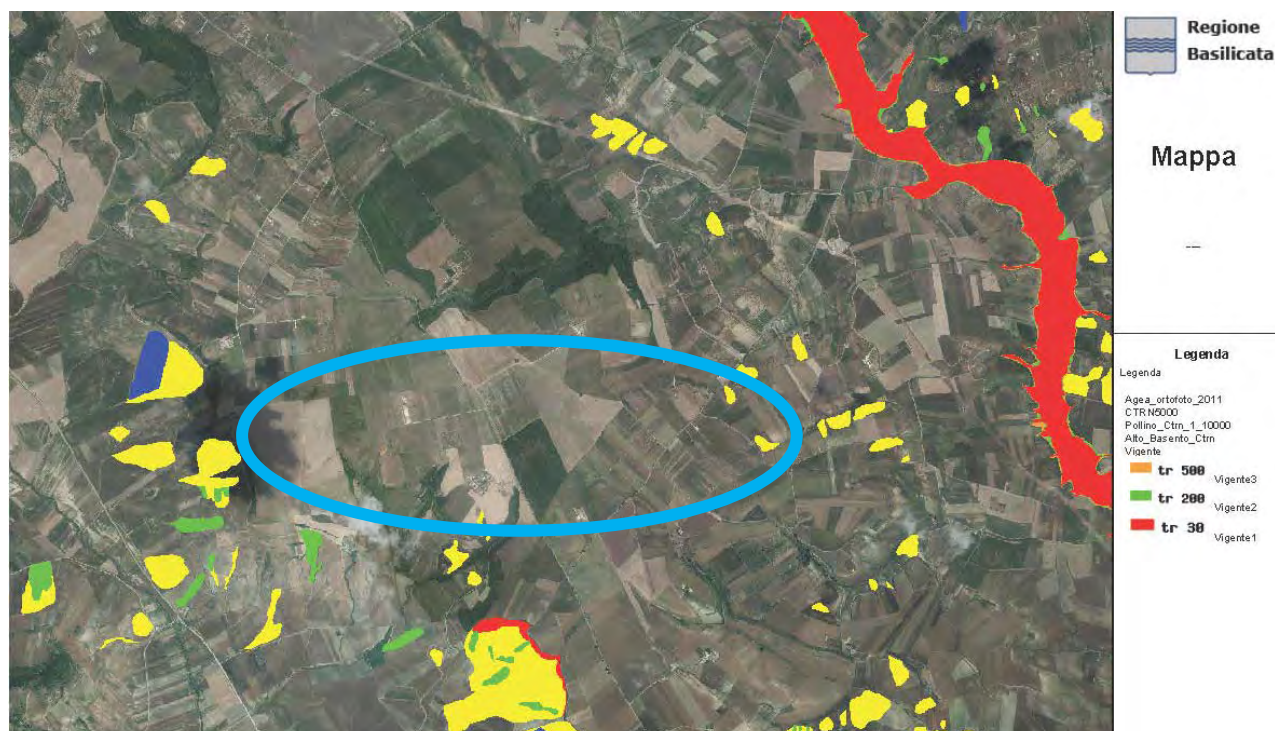
L'area interessata dall'installazione dei n. 6 nuovi aerogeneratori ricade nel Comune di Gravina in P. (BA) e precisamente in località "Selva di Gravina" ubicata nei pressi del confine comunale di Altamura.

Essa ricade nell'ambito dell'Autorità di Bacino della Basilicata, attualmente facente parte dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale, che ha redatto il piano stralcio (PAI) per la difesa dal rischio idrogeologico vigente.

Nella zona di sterro interesse vi sono alcune aree vincolate per a Rischio Idrogeologico, ma mancano, poiché lontane, le aree alluvionabili per esondazione di fiumi soggette a alluvioni calcolate con tempi di ritorno  $T=30$ ,  $T=200$  e  $T=500$  anni.

Le aree vincolate per Rischio Idrogeologico per presenza di movimenti franosi non interessano le aree di sedime degli aerogeneratori in progetto, anzi sono ubicate a distanza da essi tanto da non interferire nemmeno con le aree di ubicazione delle piste e delle piazzole di stoccaggio.

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, mentre, di seguito si riporta uno stralcio della Carta del Rischio Idrogeologico con indicazione dell'area di ingombro del parco eolico in progetto.



### 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 ter-rigene, 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

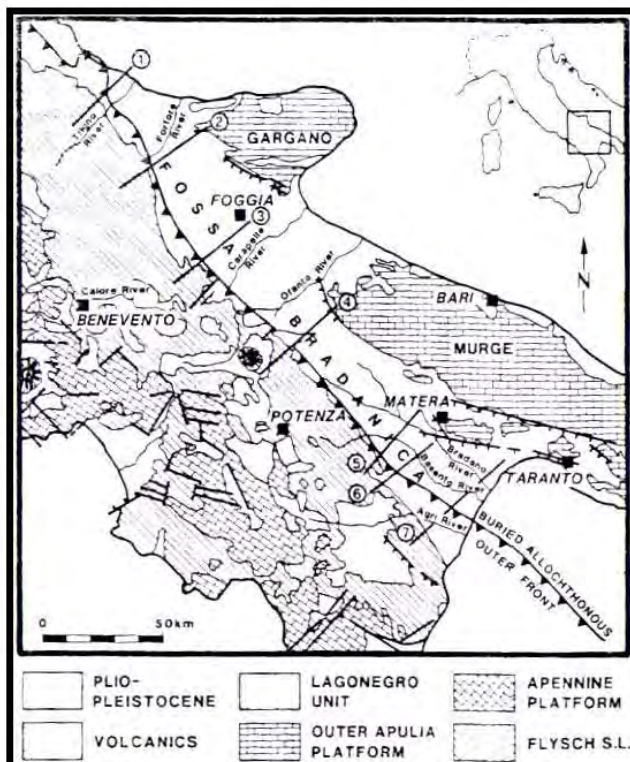


Fig. A - Unità strutturali principali del settore dell'Italia meridionale che si estende dal Tirreno all'Adriatico

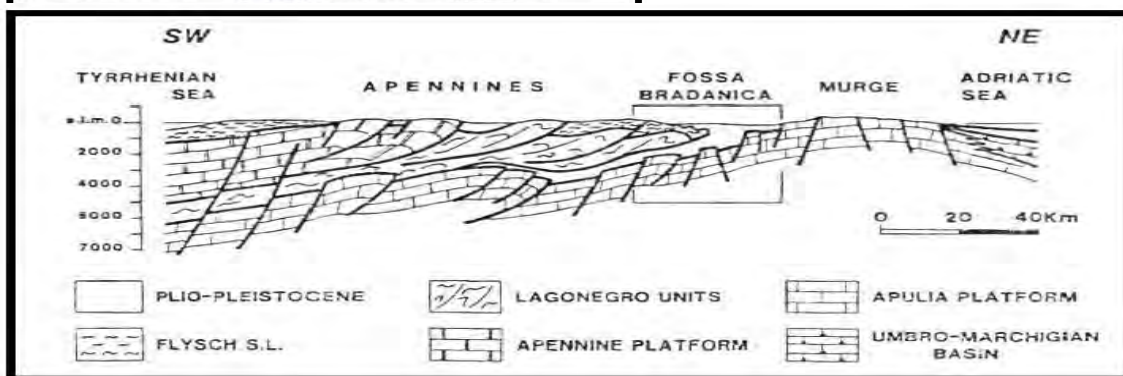


Fig. B - Sezione verticale del sistema Catena-Avanfossa-Avanpaese dell'Appennino Meridionale

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 fatti 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.

Nella piana di sedimentazione per regressione marina presente tra la valle del Torrente "Gravina" e quella del Torrente "Gravina di Matera", dove sarà ubicato il parco eolico in progetto, non affiorano i terreni di chiusura del ciclo sedimentario quali i Conglomerati D'Irsina, ma al loro posto, senza soluzione di continuità e spesso in eteropia di facies, affiorano di ambiente continentale fluvio-lacustri composti da:

- Argille Calcigne: argille;
- Sabbie dello Statuto;
- Puddinghe poligeniche;
- Depositi Alluvionali Terrazzati

### 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:

- ❖ 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.

- ❖ Argille Calcigne: argille e marne siltose con intercalazioni calcaree.
- ❖ 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 o puddinghe poligeniche generalmente cementate con ciottoli anche di rocce cristalline.
- ❖ Nei pressi delle valli dei torrenti “Gravina” e “Gravina di Matera” affiorano i depositi alluvionali attuali e recenti composti da limi sabbiosi e sabbioso-argillosi rivenienti 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 prima del torrente Basentello e man mano degli altri affluenti tra cui il Torrente Gravina e quello "Gravina di Matera", entrambi rivenienti dalla dorsale murgiana che a poca distanza emerge dai terreni quaternari in gradoni dislocati da grandi faglie con grossi rigetti.

In tale area 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 sud-est 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: Argille Calcigne, Sabbie dello Staturo e Conglomerati continentali.

L'intera spianata è interrotta a sud-ovest dall'ampia valle del Torrente Gravina che poco più avanti convoglia le sue acque nel Fiume Bradano e a nord-est dall'ampia valle del Torrente Gravina di Matera che più a valle dopo aver solcato, formando meandri incassati, l'Horst calcareo di Matera confluisce sempre nel fiume Bradano.

L'intera spianata per regressione marina, è interrotta da fossi che con un reticolo dendritico confluiscono nei due torrenti.

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

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.

In generale, l'intera zona è caratterizzata da una rete idrografica superficiale scarsamente sviluppata, trattasi di fossi scavati dai fenomeni di erosione superficiale delle acque meteoriche, privi di deflussi perenni. Nella gran parte dell'areale considerato, le acque sono regimate da impluvi poco incisi, con fianchi ampi e privi di scarpate, che convogliano le acque di ruscellamento nelle opere di regimazione presenti lungo la viabilità esistente, e quelle connesse alla regimazione del Torrente Gravina.

L'installazione dei nuovi aerogeneratori non interferirà con il reticolo idrografico esistente.

In merito alla circolazione idrica sotterranea, nell'area oggetto di studio non sono presenti falde che possono interagire con le opere in progetto.

La falda idrogeologicamente importante nell'areale è rappresentata dall'acquifero carsico, che si sviluppa esclusivamente nelle fratture o in cavità carsiche del complesso calcareo-dolomitico, de-



fluisce verso il mare in direzione N-NE secondo direttrici preferenziali caratterizzate da parametri idrodinamici complessi.

L'acquifero qui descritto si rinviene a profondità di oltre 300.0 metri dal piano campagna.

Dalla conoscenza dell'assetto geologico-stratigrafico dell'area e dalle prove geognostiche, si è misurato il livello piezometrico della falda locale che si attesta ad una profondità tale da non interferire con le opere in progetto.

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

I terreni affioranti nella zona interessata possono essere suddivisi in base al grado e tipo di permeabilità, così descritti:

- Terreni con permeabilità primaria per porosità con grado da mediamente a molto permeabili; a questo gruppo appartengono tutti i terreni dei depositi alluvionali attuali e recenti di natura ciottoloso sabbiosa.
- Terreni con permeabilità primaria per porosità con grado da mediamente a poco permeabili; a questo gruppo sono stati associati i depositi alluvionali terrazzati, i depositi alluvionali terrazzati fluvio-lacustri e i depositi sabbiosi della Formazione delle Sabbie di M. Marano.
- Terreni praticamente impermeabili; lieve permeabilità nella parte alta della formazione per presenza di sottili intercalazioni sabbiose. Questo gruppo è rappresentato dalle Argille Calcigne.

## 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, sono state consultate due campagne di indagini geognostiche eseguite nelle immediate vicinanze dell'area di stretto interesse, quale: quella eseguita per l'adeguamento della SS n. 99 Matera-Altamura e quella eseguita per la realizzazione di un parco eolico in località "Lama di Nebbia"

Di tale campagna geognostica sono consultati n. 2 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.

Di seguito, invece, si riporta una breve descrizione dei risultati ottenuti dalla indagini indirette eseguite nelle n.6 aree di sedime delle torri eoliche in progetto.

### 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 **364** 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 bedrock sismico.

#### **7.1.2 MASW 02**

Per lo stendimento MASW02, il valore equivalente di  $V_s$  calcolato pari a **493** 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 **383** 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 **474** 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 **395** 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 **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.

### **7.2 CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI 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>	<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>
<b>Categoria C</b>	Depositati 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>	Depositati 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 VS 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, eseguito nelle vicinanze della torre eolica in progetto GR01, il valore equivalente di  $V_s$  calcolato pari a 364 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, eseguito nelle vicinanze della torre eolica in progetto GR02, il valore equivalente di  $V_s$  calcolato pari a 493 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, eseguito nelle vicinanze della torre eolica in progetto GR03, il valore equivalente di  $V_s$  calcolato pari a 383 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, eseguito nelle vicinanze della torre eolica in progetto GR04, il valore equivalente di  $V_s$  calcolato pari a 374 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, eseguito nelle vicinanze della torre eolica in progetto GR05, il valore equivalente di  $V_s$  calcolato pari a 395 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, eseguito nelle vicinanze della torre eolica in progetto GR06, 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*

### 7.3 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”.

### **7.3.1 Sism ST01:**

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 374 m/sec per una profondità media di circa -2,10 mt da pc;
- **Sismostrato B:** deposito di natura sabbioso-limosa, mediamente consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 611 m/sec per una profondità media di circa -9,10 mt da pc;
- **Sismostrato C:** deposito di natura limosa argillo-sabbiosa, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1169 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -15 mt da pc).

### **Stendimento ST01**

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÷2,10)	374	186	1,57	0,33	145	54	147	111
B (2,10÷9,10)	611	314	1,73	0,32	450	171	418	305
C (7,00÷15,00≈)	1169	436	1,95	0,41	1052	371	2171	1923

Sismostrato Profondità media (mt da pc)	R (tonn/m <sup>2</sup> s)	$E_d$ (MPa)

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



<b>A</b> (0,00÷2,10)	292	252
<b>B</b> (2,10÷9,10)	543	673
<b>C</b> (7,00÷15,00≈)	850	2460

$\bar{V}_p$ = 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.

### 7.3.2 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, poco consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 332 m/sec per una profondità media di circa -1,80 mt da pc;
- **Sismostrato B:** deposito di natura sabbioso-limosa, mediamente consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 891 m/sec per una profondità media di circa -5,90 mt da pc;
- **Sismostrato C:** deposito di natura limosa argillo-sabbiosa, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1184 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -15 mt da pc).

### Stendimento ST02

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÷1,80)	332	195	1,54	0,24	145	59	92	53
<b>B</b> (1,80÷5,90)	891	400	1,85	0,37	813	296	1074	877
<b>C</b> (5,90÷15,00≈)	1184	531	1,95	0,38	1511	550	2001	1634

Sismostrato Profondità media (mt da pc)	$R$ (tonn/m <sup>2</sup> s)	$E_d$ (MPa)
<b>A</b> (0,00÷1,80)	300	199
<b>B</b> (1,80÷5,90)	740	1431
<b>C</b> (5,90÷15,00≈)	1035	2526

$\bar{V}_p$ = 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;

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

$M_0$ = modulo di compressibilità volumetrica;

$\lambda$ = coefficiente di Lamé;

$R$ = rigidità sismica;

$E_d$ = modulo edometrico.

### 7.3.3 Sism ST03:

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

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 546 m/sec per una profondità media di circa -1,20 mt da pc;
- **Sismostrato B:** deposito di natura sabbioso-limosa, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 972 m/sec per una profondità media di circa -7,40 mt da pc;
- **Sismostrato C:** deposito di natura limosa argillo-sabbiosa, molto consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1484 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)	$\gamma$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\mu$	$E_y$ (MPa)	$G_0$ (MPa)	$M_0$ (MPa)	$\lambda$ (MPa)
<b>A</b> (0,00÷1,20)	546	230	1,69	0,39	249	89	385	325
<b>B</b> (1,20÷7,40)	972	327	1,88	0,43	577	201	1508	1374
<b>C</b> (7,40÷15,00 $\approx$ )	1484	427	2,04	0,45	1082	372	3997	3749

Sismostrato Profondità media (mt da pc)	R (tonn/m <sup>2</sup> s)	$E_d$ (MPa)
<b>A</b> (0,00÷1,20)	388	537
<b>B</b> (1,20÷7,40)	614	1701
<b>C</b> (7,40÷15,00 $\approx$ )	871	3966

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

$\bar{V}_p$ = 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.

### 7.3.4 Sism ST04:

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

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 as-

setto 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 452 m/sec per una profondità media di circa -1,70 mt da pc;
- **Sismostrato B:** deposito di natura sabbioso-limosa, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 970 m/sec per una profondità media di circa -7,60 mt da pc;
- **Sismostrato C:** deposito di natura limosa argillo-sabbiosa, molto consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1614 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)
<b>A</b> (0,00÷2,10)	441	211	1,62	0,35	195	72	219	171
<b>B</b> (2,10÷6,20)	996	338	1,89	0,43	620	216	1587	1443
<b>C</b> (6,20÷15,00 $\approx$ )	1278	464	1,98	0,42	1214	426	2666	2381

Sismostrato Profondità media (mt da pc)	R (tonn/m <sup>2</sup> s)	$E_d$ (MPa)
<b>A</b> (0,00÷2,10)	341	350
<b>B</b> (2,10÷6,20)	638	1788
<b>C</b> (6,20÷15,00 $\approx$ )	918	2940

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

$\bar{V}_p$ = 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.

### 7.3.5 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, mediamente consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 441 m/sec per una profondità media di circa -2,10 mt da pc;
- **Sismostrato B:** deposito di natura sabbioso-limosa, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 996 m/sec per una profondità media di circa -6,20 mt da pc;

- **Sismostrato C:** deposito di natura limosa argillo-sabbiosa, molto consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1278 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)
<b>A</b> (0,00÷2,10)	441	211	1,62	0,35	195	72	219	171
<b>B</b> (2,10÷6,20)	996	338	1,89	0,43	620	216	1587	1443
<b>C</b> (6,20÷15,00 $\approx$ )	1278	464	1,98	0,42	1214	426	2666	2381

Sismostrato Profondità media (mt da pc)	R (tonn/m <sup>2</sup> s)	$E_d$ (MPa)
<b>A</b> (0,00÷2,10)	341	350
<b>B</b> (2,10÷6,20)	638	1788
<b>C</b> (6,20÷15,00 $\approx$ )	918	2940

$\bar{V}_p$ = 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;

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

$M_0$ = modulo di compressibilità volumetrica;

$\lambda$ = coefficiente di Lamé;

R= rigidità sismica;

$E_d$ = modulo edometrico.

### 7.3.6 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, 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, ben 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 argillo-sabbiosa, 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 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÷1,80)	507	154	1,67	0,44	115	40	376	350
<b>B</b> (1,80÷8,90)	923	293	1,87	0,44	464	161	1379	1272
<b>C</b> (8,90÷15,00 $\approx$ )	1416	369	2,02	0,46	805	275	3683	3500

Sismostrato	R	$E_d$

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

Profondità media (mt da pc)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
<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

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.

La caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni è stata determinata sia da prove di laboratorio sui campioni prelevati in corrispondenza dei sondaggi consultati appartenenti a n. 2 campagne geognostiche eseguite nelle vicinanze dell'area di sterro interesse, ile cui stratigrafie sono riportate nell'allegato Report di fine Campagna Geognostica, sia da dati di letteratura che contemplano gli stessi litotipi.

Le n. due campagne geognostiche sono: quella eseguita per l'ammodernamento del tratto della SS n. 99 Matera-Altamura, strada che attraversa il parco eolico ubicato in agro di Altamura e costeggia l'area di stretto interesse, e quella eseguita per la riqualificazione del Borgo Venusio, borgo presente a sul dell'area di stretto interesse

A ciascuna delle unità litostratigrafiche sono stati attribuiti i valori delle proprietà fisico-meccaniche che meglio ne descrivono il comportamento globale.

In funzione di quanto acquisito nel corso dello studio, nel paragrafo n.9, verrà eseguita una parametrizzazione geomeccanica "media" dei litotipi presenti al fine di fornire i parametri caratteristici e i parametri di progetto per le singole unità geotecniche individuate.

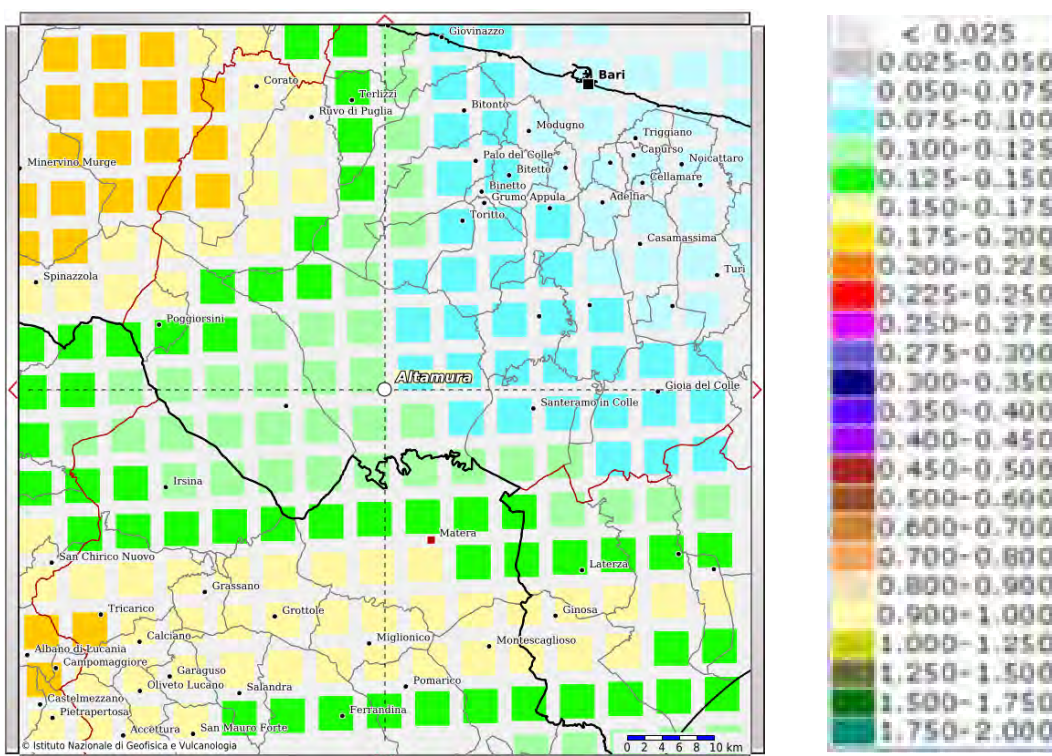
## 8. Considerazioni sulla Sismicità dell'area

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

L'area in oggetto di studio è considerata prevalentemente a basso rischio sismico, per cui rientra in **Zona 3**, infatti, la 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  $a_g$  pari a **0.15**.

Il D.M. 14/01/2008 ha introdotto una nuova modalità di valutazione dell'intensità dell'azione sismica da tener conto nella fase di progettazione delle opere, basata non più su una mappa sismica "classica" suddivisa in categorie o zone, bensì su un reticolo di riferimento, creato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, consultabile interattivamente sul sito web dell'I.N.G.V.

La grande novità consiste nel non avere più delle aree perfettamente confinate; il nuovo sistema di mappatura suddivide infatti l'intero territorio nazionale in riquadri, di lato pari a 10 km, in cui a ciascun vertice, tramite un segnale colorato, è attribuito un valore di accelerazione sismica  $a_g$  prevista sul suolo, definita come parametro dello scuotimento, da utilizzare come riferimento per la valutazione dell'effetto sismico da applicare all'opera in progetto.



La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, nel periodo di riferimento VR.

In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

Ai fini della normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- “**ag**” accelerazione orizzontale massima al sito;
- “**Fo**” valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- “**Tc\***” periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Sito in esame:	latitudine:	40,761368	longitudine:	16,490369
Classe:	2		Vita nominale:	50

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.

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 bedrock sismico.

### **Sito di riferimento**

Sito 1	ID: 33456	Lat: 40,7460	Lon: 16,4598	Distanza: 3094,222
Sito 2	ID: 33457	Lat: 40,7442	Lon: 16,5257	Distanza: 3534,398
Sito 3	ID: 33235	Lat: 40,7942	Lon: 16,5281	Distanza: 4835,404
Sito 4	ID: 33234	Lat: 40,7959	Lon: 16,4621	Distanza: 4520,098

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”.

Categoria sottosuolo: B  
Periodo di riferimento: 50 anni

Categoria topografica: T1  
Coefficiente cu: 1

**Operatività (SLO):**

Probabilità di superamento: 81 %  
Tr:30 [anni]  
ag: 0,037 g  
Fo: 2,499  
Tc\*: 0,272 [s]

**Danno (SLD):**

Probabilità di superamento: 63 %  
Tr: 50 [anni]  
ag: 0,046 g  
Fo: 2,495  
Tc\*: 0,313[s]

**Salvaguardia della vita (SLV):**

Probabilità di superamento: 10 %  
Tr: 475 [anni]  
ag: 0,111 g  
Fo: 2,583  
Tc\*: 0,415 [s]

**Prevenzione dal collasso (SLC):**

Probabilità di superamento: 5 %  
Tr: 975 [anni]  
g: 0,138 g  
Fo: 2,639  
Tc\*: 0,434 [s]

**COEFFICIENTI SISMICI**

**SLO:**

Ss: 1,200  
Cc: 1430  
St: 1,000  
Kh: 0,008  
Kv: 0,004  
Amax: 0.430  
Beta: 0,180

**SLD:**

Ss: 1,200  
Cc: 1,390  
St: 1,200  
Kh: 0,010  
Kv: 0,005  
Amax: 0.543  
Beta: 0,180

**SLV:**

Ss: 1,200  
Cc: 1,310  
St: 1,000  
Kh: 0,032  
Kv: 0,016  
Amax: 1.309  
Beta: 0,240

**SLC:**

Ss: 1,200  
Cc: 1,300  
St: 1,000  
Kh: 0,040  
Kv: 0,020  
Amax: 1.625  
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).

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

Il parco eolico in progetto è composto da n. 6 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 (Sabbie di Monte Marano di ambiente di sedimentazione marino) sovrapposti da terreni granulari di sedimentazione continentale fluvio-lacustre (Argille Calcigne, Sabbie dello Staturo e Puddinghe Poligeniche) dovuti agli 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.

Infatti alcuni aerogeneratori, quali; GR6, GR2 e GR3, saranno direttamente ubicati in zone dove le Argille Calcigne affiorano direttamente con scarsi spessori e poggiano direttamente sulle sabbie di Monte Marano, mentre gli aerogeneratori GR1, GR4 e GR5 saranno ubicati su terreni conglomeratici e sabbiosi sempre di poco spessore spesso cementati (puddinghe poligeniche) che poggiano in eteropia di facies sulle Argille Calcigne o direttamente sulle Sabbie di Monte Marano

Di seguito si riporta lo schema geotecnico dei terreni affioranti, in relazione alle indagini eseguite a quelle consultate e a quelle indicate nella bibliografia ufficiale.

### 9.1 PARAMETRI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO

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

□ Contenuto naturale di acqua	$W = 9,50 \%$
□ Peso di volume naturale	$\gamma_n = 19,92 \text{ kN/m}^3$
□ Peso Specifico	$\gamma_s = 26,17 \text{ kN/m}^3$
□ Coesione	$c = 0,66 \text{ kPa}$
□ Angolo di attrito interno	$\phi = 34,00^\circ$

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

□ Contenuto naturale di acqua	$W = 18,30 \%$
□ Peso di volume naturale	$\gamma_n = 17,45 \text{ kN/m}^3$
□ Peso Specifico	$\gamma_s = 26,38 \text{ kN/m}^3$

- Coesione  $c = 2,1 \text{ kPa}$
- Angolo di attrito interno  $\phi = 31,5^\circ$

**- Valori medi ( $V_m$ ) dei terreni argilloso-limosi di sedimentazione continentale “Argille Calcigne”**

- Contenuto naturale di acqua  $W = 24,20 \%$
- Peso di volume naturale  $\gamma_n = 19,75 \text{ kN/m}^3$
- Peso Specifico  $\gamma_s = 27,00 \text{ kN/m}^3$
- Coesione  $c = 6,50 \text{ kPa}$
- Angolo di attrito interno  $\phi = 23,50^\circ$

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

- Contenuto naturale di acqua  $W = 17,70 \%$
- Peso di volume naturale  $\gamma_n = 18,00 \text{ kN/m}^3$
- Peso Specifico  $\gamma_s = 26,50 \text{ kN/m}^3$
- Coesione  $c = 2,7 \text{ kPa}$
- Angolo di attrito interno  $\phi = 31,0^\circ$

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)  $c'k = c'm (1+X \cdot Vc)$
- (3)  $Cuk = Cum (1+X \cdot VCu)$

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)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	$c_{uk}$	$\gamma_{eu}$	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	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).

## 10. Considerazioni sul percorso del cavidotto.

Il percorso del cavidotto come da progetto riportato in tutti gli elaborati cartografici sarà realizzato in gran parte lungo strade e tratturi esistenti ed in parte lungo le strade di progetto.

Esso lungo tutto il percorso attraversa sia i terreni appartenenti ai sedimenti di ambiente marino, sia i sedimenti di ambiente continentale, inoltre, interessa anche i Depositi alluvionali Terrazzati del Torrente Gravina di Matera e dei suoi affluenti sui quali sarà realizzata la sottostazione.

Lungo il suo percorso non intercetta aree vincolate per Rischio Idrogeologico e non incide in maniera significativa sull'idrografia superficiale esistente.

## 11. Analisi di stabilità di versante

I n. 6 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. 6 aerogeneratori disposti su una spianata di sedimentazione per regressione marina dove affiorano terreno di ambiente di sedimentazione continentale sovrapposti ai termini di chiusura del ciclo sedimentario della Fossa Bradanica come le Sabbie di Monte Marano.

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, 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 del terreno, si evince che l'area in esame, da un punto di vista geologico-tecnico è idonea come ter-

Studio Tecnico di Geologia - Dott. Geol. Maurizio Giacomino

Via del Ginepro, 23 - 75100 Matera - Mob. 3409134882 e-mail: mauriziogiacomino@gmail.com

reno di fondazione e, pertanto, si formula parere positivo per la realizzazione del parco eolico in progetto.

Matera 20 febbraio 2022

Il Geologo

Dott. Maurizio Giacomino





Report di fine  
Compagna  
Geognostica



## 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	19
2.2.5	STENDIMENTO SISMICO MASW04	21
2.2.6	STENDIMENTO SISMICO MASW05	23
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 Gravina in Puglia (BA)". Le aree interessate dall'intervento sono localizzate in Contrada "Selva" nella zona Sud-Est dell'ambito amministrativo del Comune di Gravina in Puglia (BA), 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:

**TAVOLA A. 1** UBICAZIONE INDAGINI IN SITU (SCALA 1: 2.000)

**TAVOLA A. 2** SEZIONI STRATIGRAFICHE INTERPRETATIVE-ONDE P (SCALA 1: 200)



## 2 INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITU

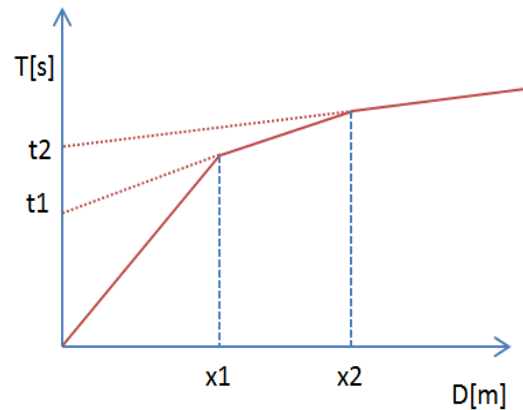
Per la ricostruzione del modello geologico-stratigrafico del sito e la parametrizzazione geomeccanica del volume significativo di terreno relativo all'intervento si è fatto riferimento alle informazioni fornite dall'esecuzione n° 6 prospezioni sismiche a rifrazione in onde P e n° 6 prospezioni sismiche 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)

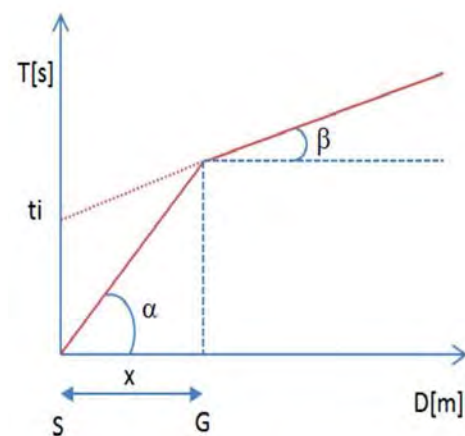
Le indagini di sismica a rifrazione (P e/o S), consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). 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 posta 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:



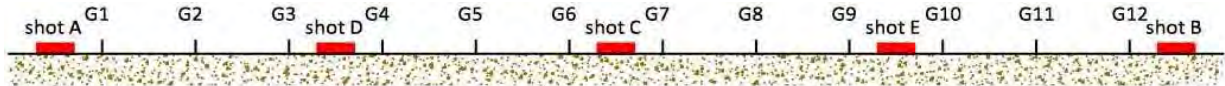
$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left( t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1V_{(i-2)}} \right)$$

### 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 posti 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:

- a) 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;
- b) 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  $h < 0,25 * z$ ;
- c) 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;
- d) 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"**.





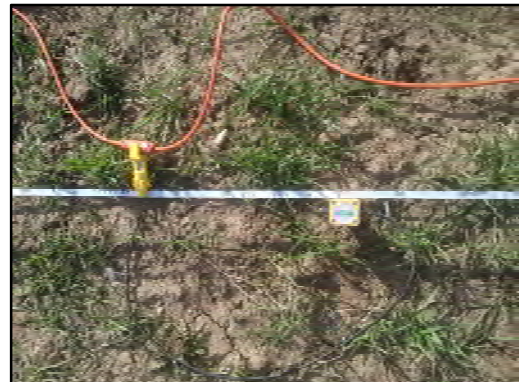
**Fotografia 1** - Visione verso Ovest dello stendimento sismico ST01



**Fotografia 2** - Visione verso Est 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, poco consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 374 m/sec per una profondità media di circa -2,10 mt da pc;
2. **Sismostrato B:** deposito di natura sabbioso-limoso, mediamente consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 611 m/sec per una profondità media di circa -9,10 mt da pc;



3. **Sismostrato C:** deposito di natura limosa argillo-sabbiosa, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1169 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 terreno incolto, senza variazioni altimetriche significative, 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 Sud-Est dello stendimento sismico ST02



**Fotografia 6**-Visione verso Nord-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 subiscano 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 332 m/sec per una profondità media di circa -1,80 mt da pc;
2. **Sismostrato B:** deposito di natura sabbioso-limosa, mediamente consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 891 m/sec per una profondità media di circa -5,90 mt da pc;
3. **Sismostrato C:** deposito di natura limosa argillo-sabbiosa, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1184 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"**.



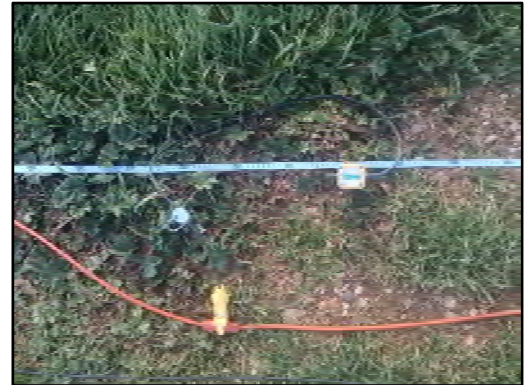
**Fotografia 9**-Visione verso Nord-Ovest dello stendimento sismico ST03



**Fotografia 10**-Visione verso Sud-Est 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 546 m/sec per una profondità media di circa -1,20 mt da pc;
2. **Sismostrato B:** deposito di natura sabbioso-limoso, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 972 m/sec per una profondità media di circa -7,40 mt da pc;
3. **Sismostrato C:** deposito di natura limosa argillo-sabbiosa, molto consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1484 m/sec sino a fine indagine ( $\approx$ -15 mt da pc).

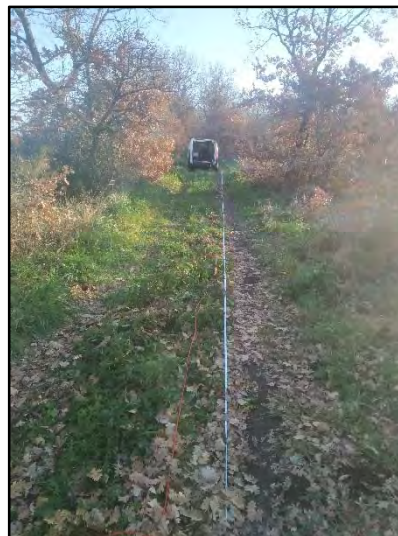
#### 2.1.5 Stendimento Sismico ST04

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-Ovest dello stendimento sismico ST04



**Fotografia 14**-Visione verso Nord-Est 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 452 m/sec per una profondità media di circa -1,70 mt da pc;
2. **Sismostrato B:** deposito di natura sabbioso-limoso, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 970 m/sec per una profondità media di circa -7,60 mt da pc;

3. **Sismostrato C:** deposito di natura limosa argillo-sabbiosa, molto consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1614 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, senza variazioni altimetriche significative, 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-Ovest dello stendimento sismico ST05



**Fotografia 18**-Visione verso Nord-Est 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 subiscano 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 441 m/sec per una profondità media di circa -2,10 mt da pc;
2. **Sismostrato B:** deposito di natura sabbioso-limoso, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 996 m/sec per una profondità media di circa -6,20 mt da pc;
3. **Sismostrato C:** deposito di natura limosa argillo-sabbiosa, molto consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1278 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, senza variazioni altimetriche significative, 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 Nord-Est dello stendimento sismico ST06



**Fotografia 22**-Visione verso Sud-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, 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-limoso, ben 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 argillo-sabbiosa, 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).

## 2.2 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

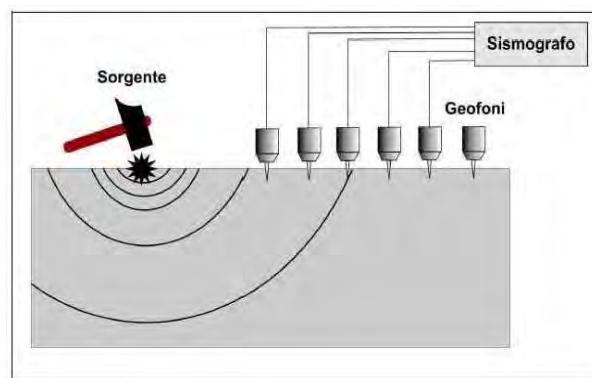


Figura 2-Schema realizzativo indagine MASW (Onde di Rayleigh)

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 riportato 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**).

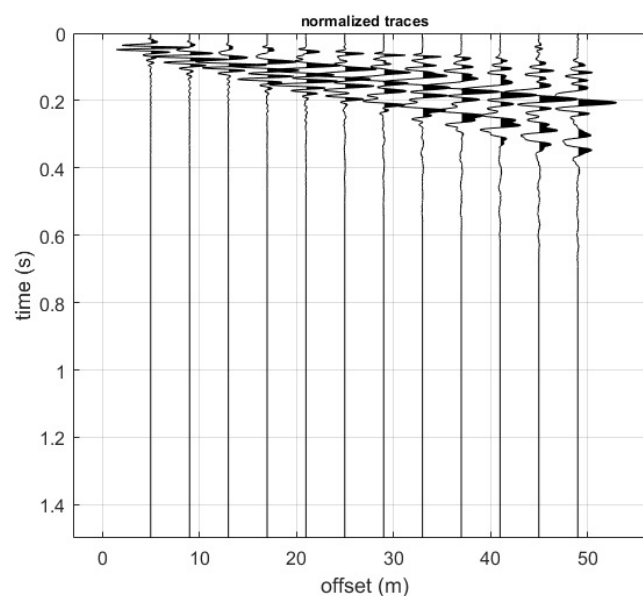


Figura 3-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

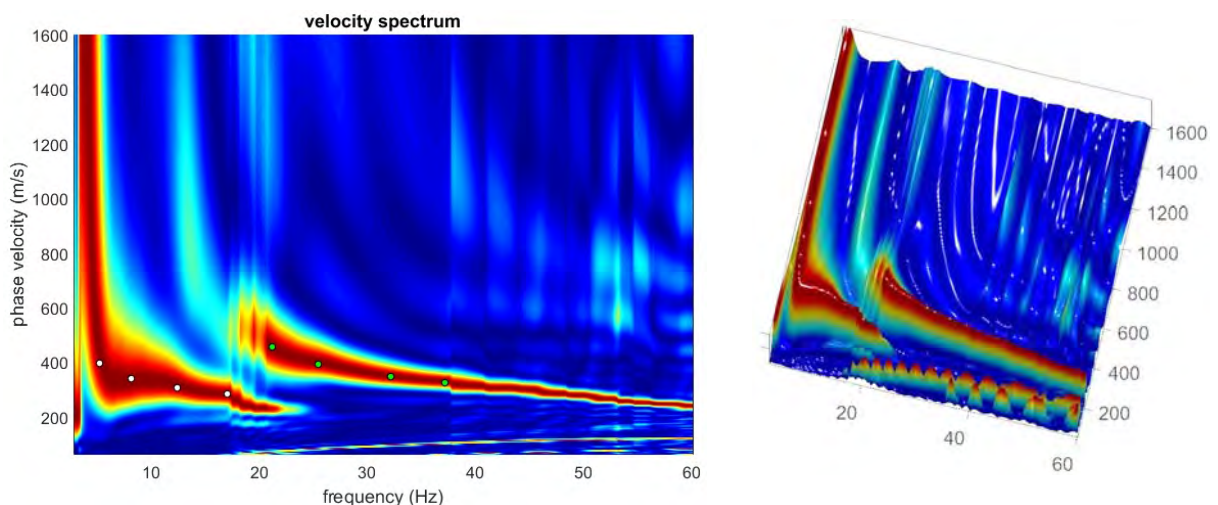


Figura 4-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

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 al "misfit evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, Figura 8.

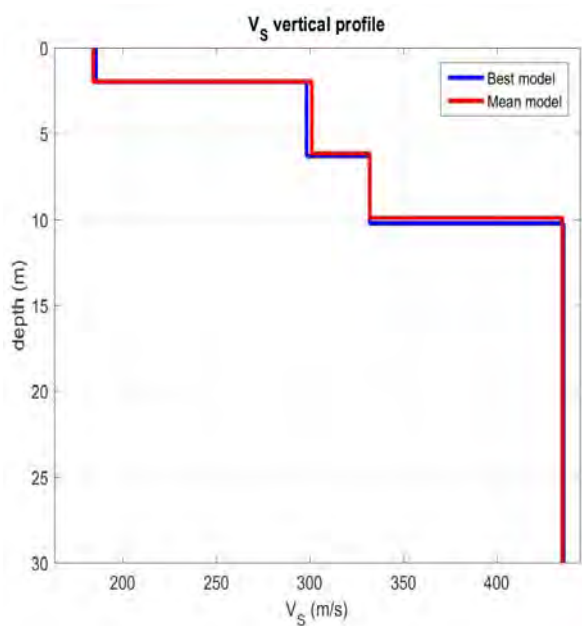


Figura 5-Profilo  $V_{S, \text{equ}} = 364$  m/sec calcolato a partire dal piano campagna

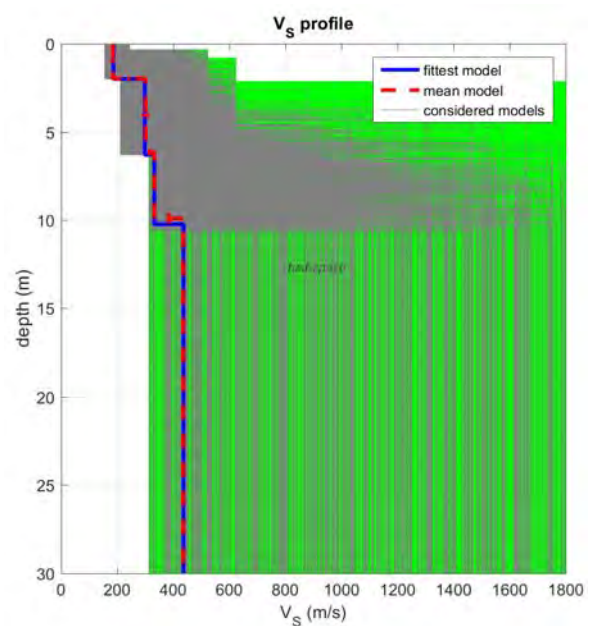


Figura 6-Modelli testati durante il processo di inversione

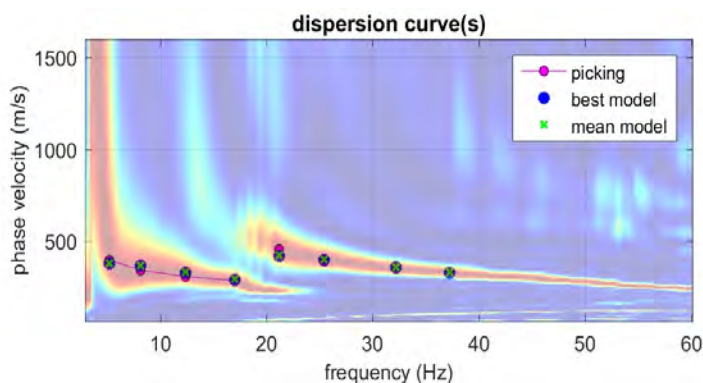


Figura 7-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)

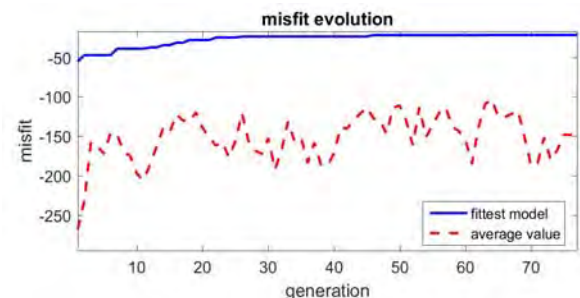
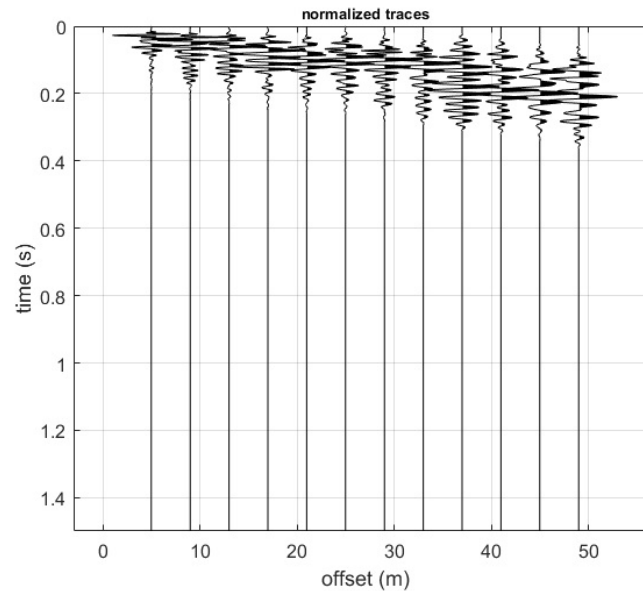


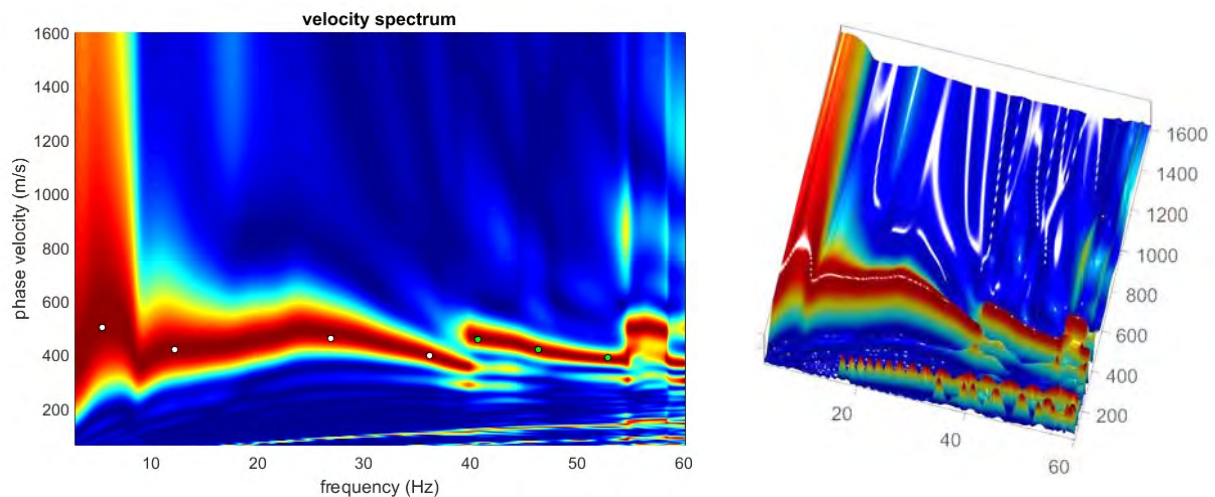
Figura 8-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

### 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**).



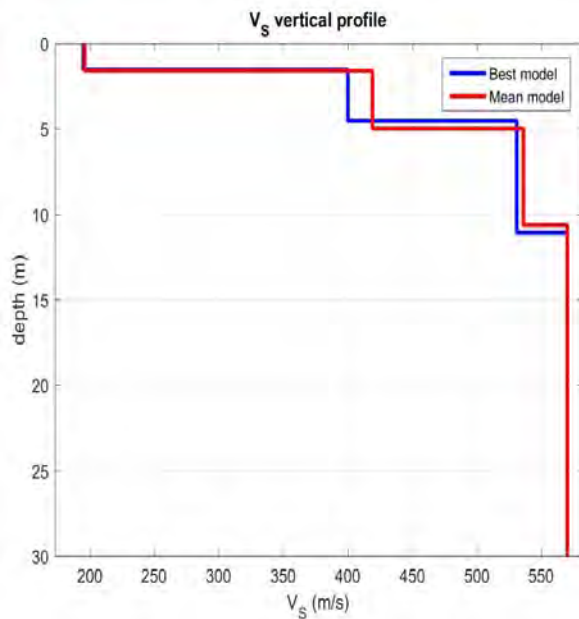
**Figura 9**-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità



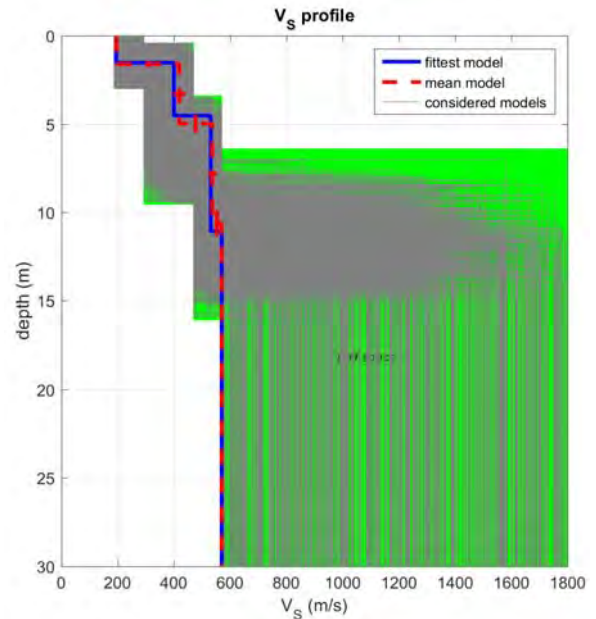
**Figura 10**-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

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  $V_S$  in funzione della profondità (**Figura 11**). Si precisa infine che, il modello del sottosuolo e di conseguenza

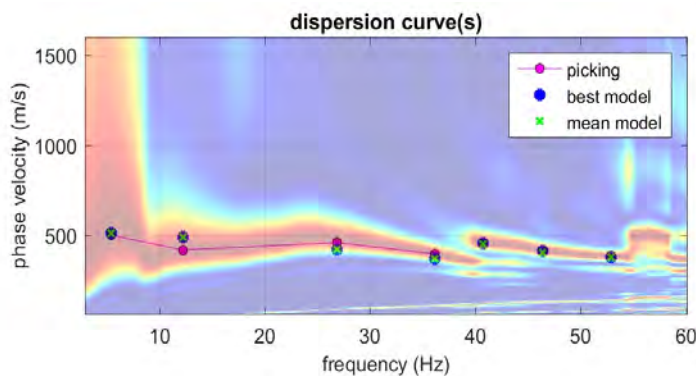
anche l'inversione di velocità derivata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione (circa 22,00 mt da inizio stendimento sismico). Di seguito si riporta lo spettro di velocità sul quale è stata riportata la curva di dispersione "piccata" (picking pallini fucsia), 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 al "misfit evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, **Figura 14**.



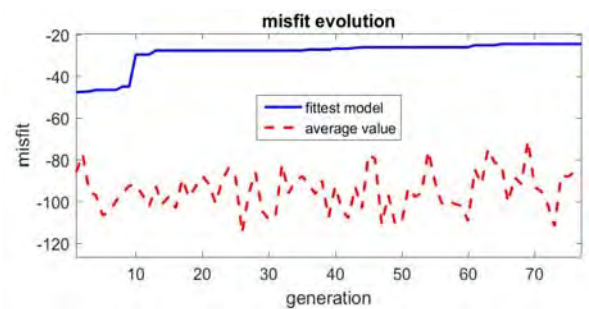
**Figura 11**-Profilo  $V_{s, equ} = 493$  m/sec calcolato a partire dal piano campagna



**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)



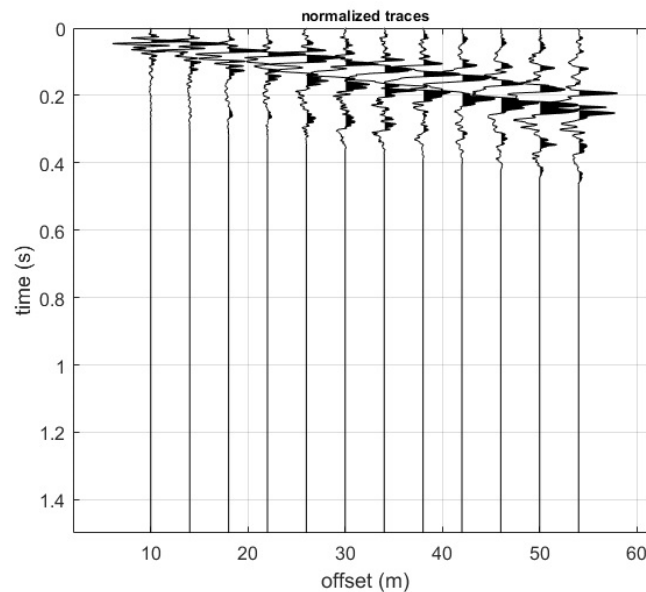
**Figura 14**-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

### 2.2.4 Stendimento Sismico MASW03

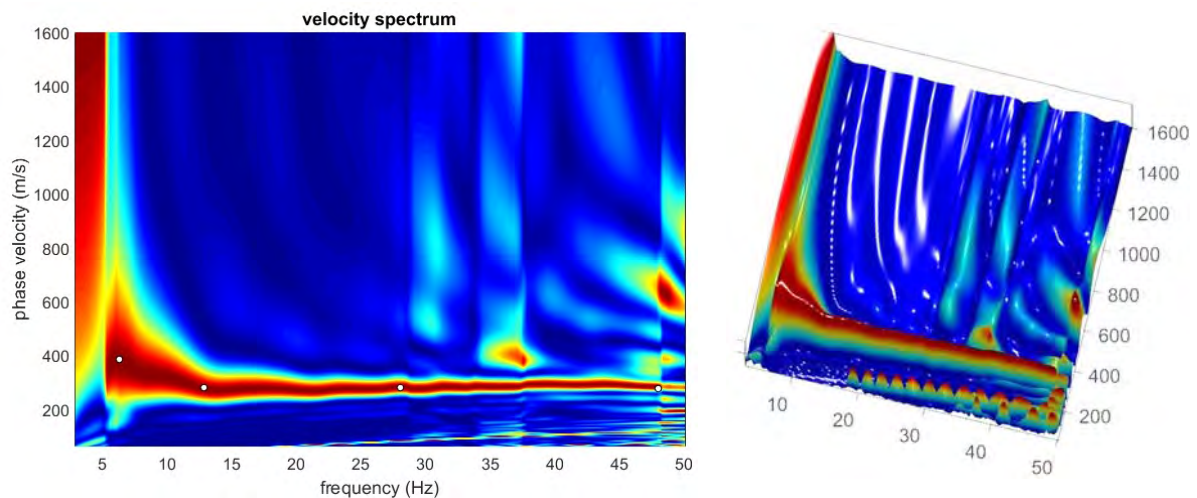
Considerando le n 4 acquisizioni realizzate per la prova, si è scelto di trattare quella che presentava un rapporto segnale/rumore superiore, di conseguenza, per la determinazione del profilo verticale della



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**).



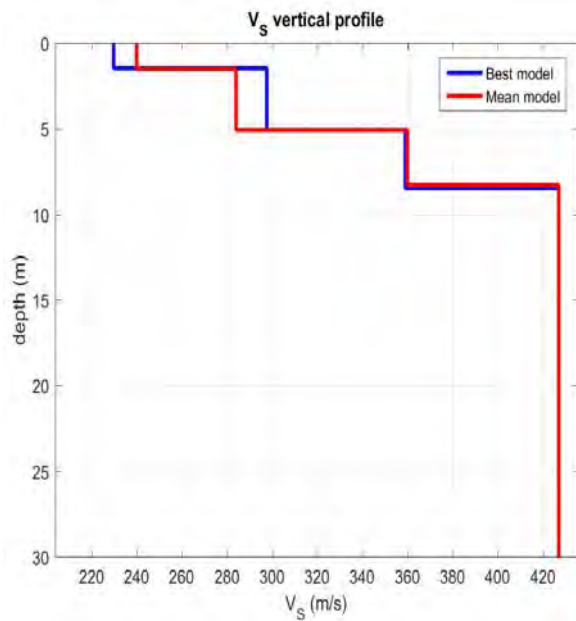
**Figura 15**-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità



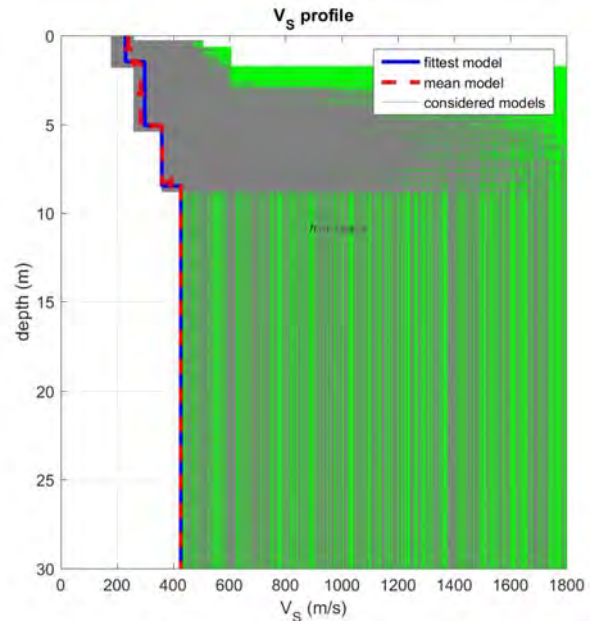
**Figura 16**-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi)

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 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

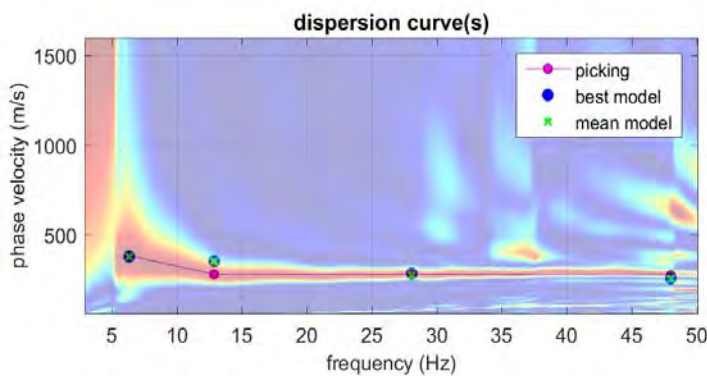
il processo di inversione, **Figura 18**. Viene riportato, inoltre, il grafico inerente al "misfit evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, **Figura 20**.



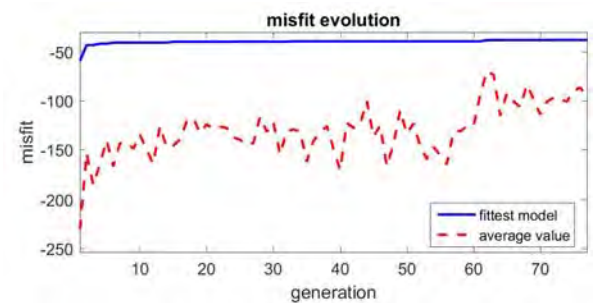
**Figura 17**-Profilo  $V_{s, equ} = 383$  m/sec calcolato a partire dal piano campagna



**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**).

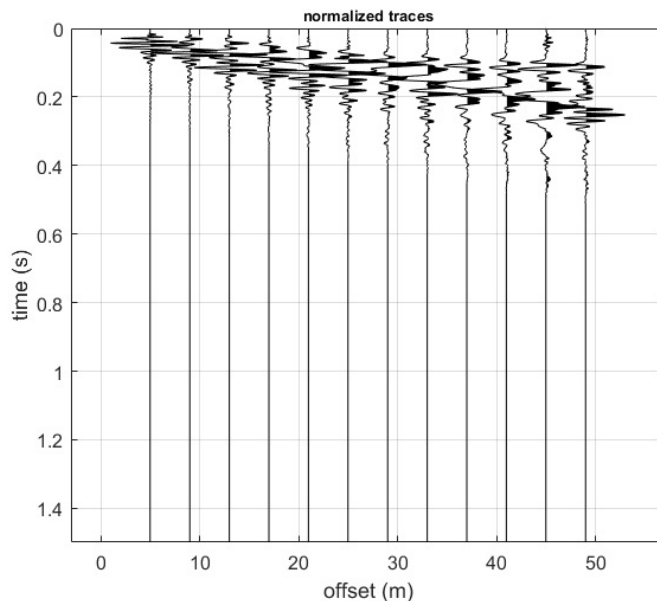


Figura 21-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

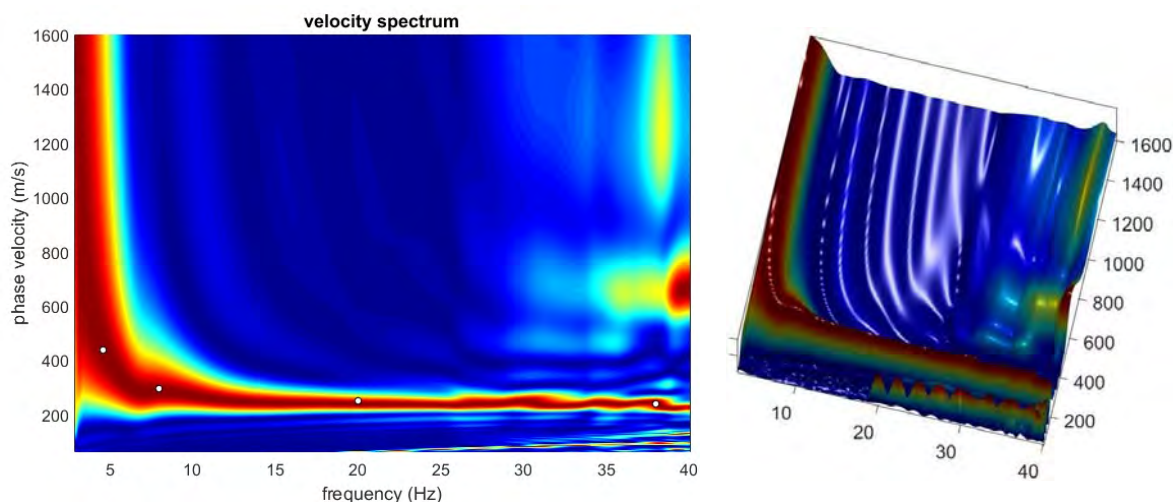
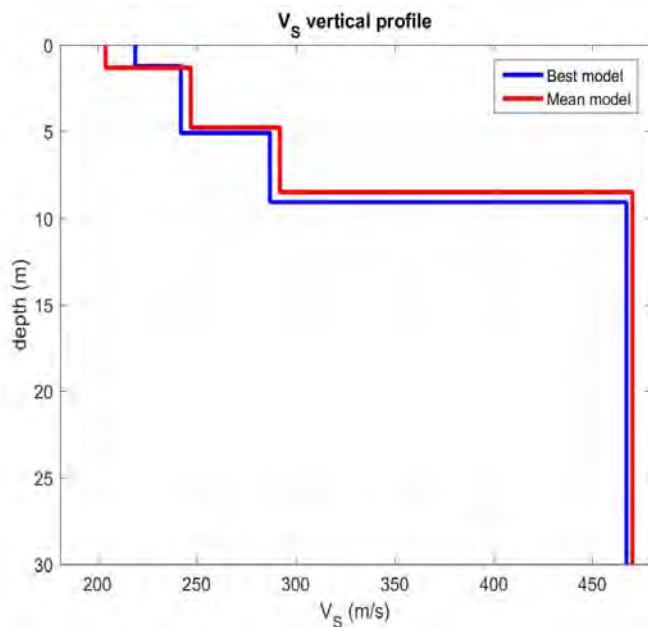


Figura 22-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi)

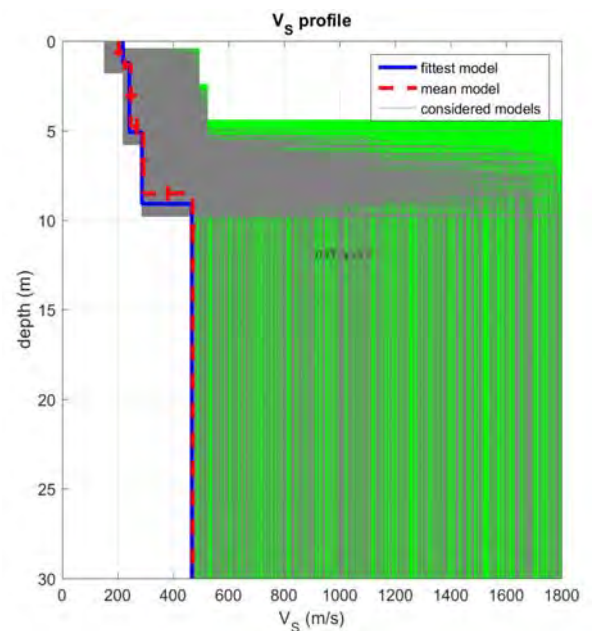
L'analisi dello spettro "frequenza-velocità di fase" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio  $V_s$  in funzione della profondità (Figura 23). Si precisa infine che, il modello del 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 al "misft evolution"

(disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato,

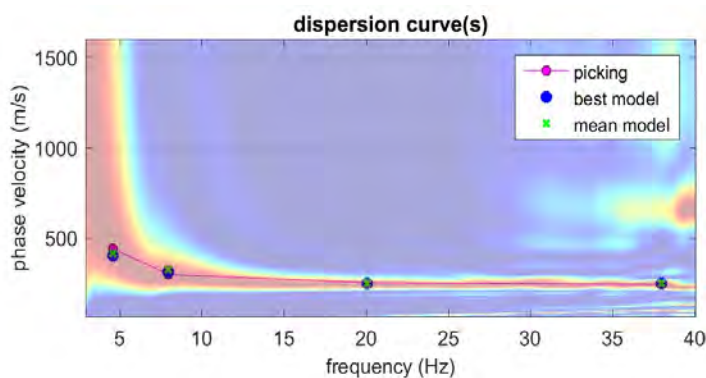
**Figura 26.**



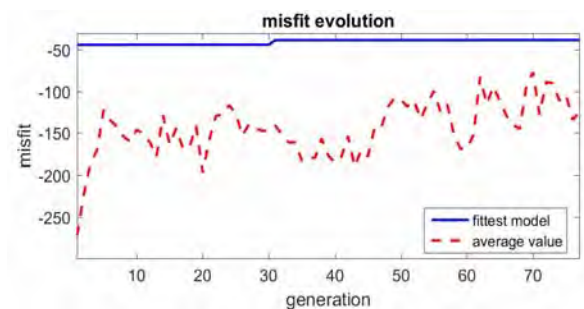
**Figura 23**-Profilo  $V_{s, equ} = 374$  m/sec calcolato a partire dal piano campagna



**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 12° geofono (**Figura 27**) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (**Figura 28**).



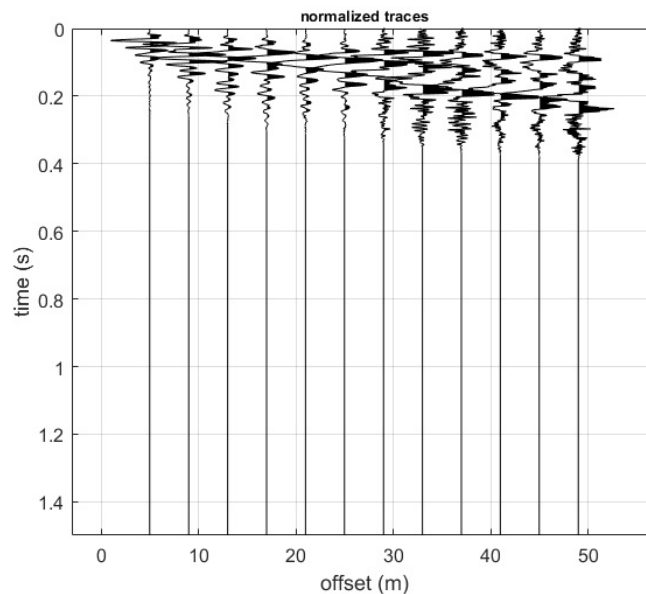


Figura 27-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

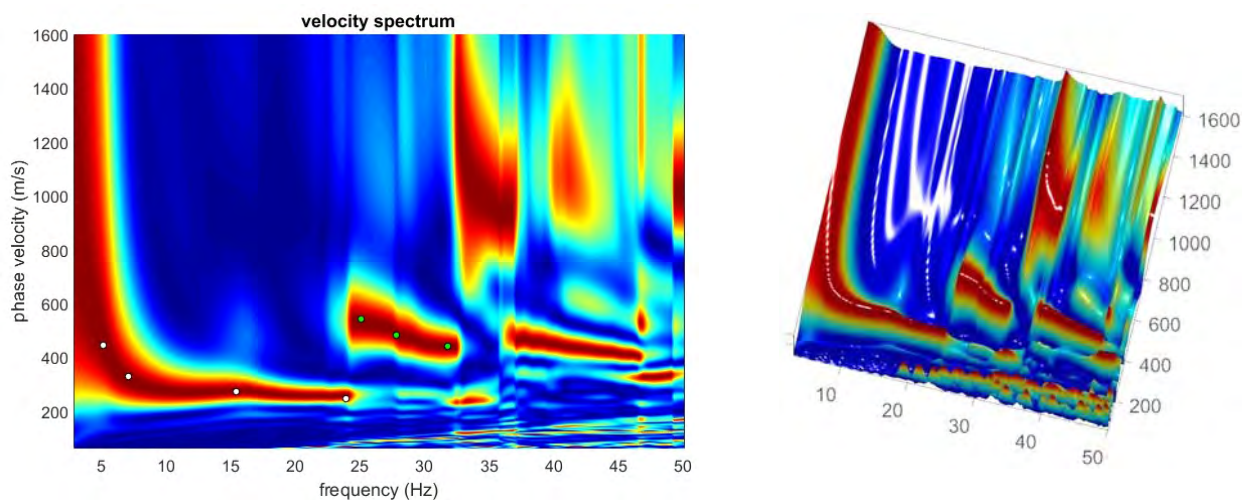
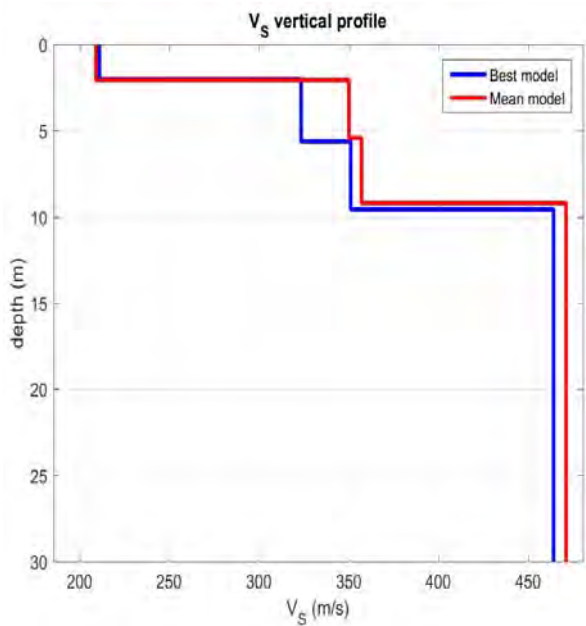


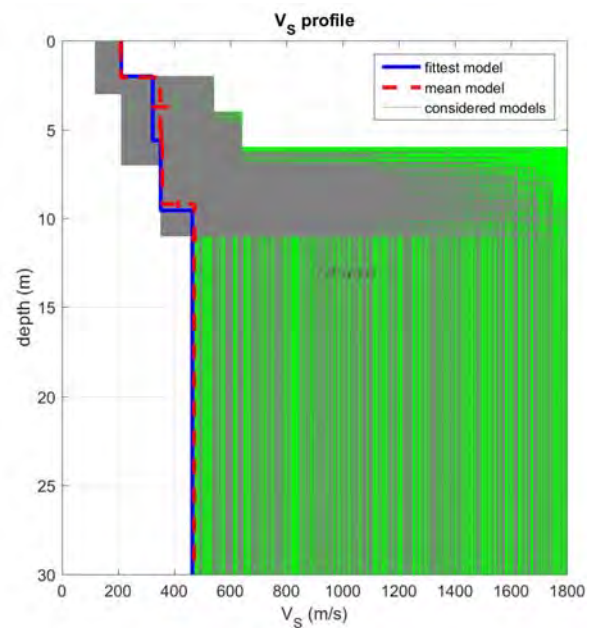
Figura 28-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

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  $V_s$  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

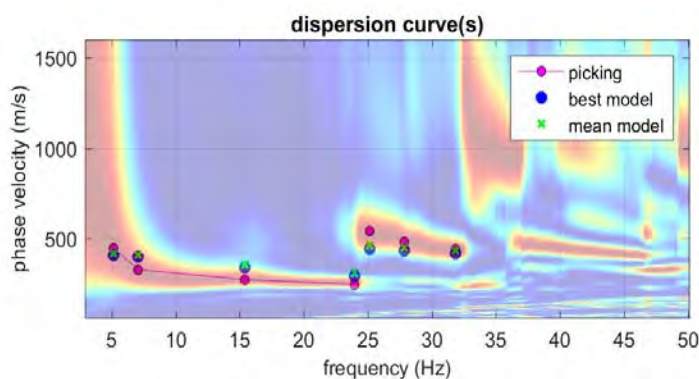
è stata riportata la curva di dispersione "piccata" (picking pallini fucsia), la curva di dispersione del "modello migliore" (pallini blu) e del "modello medio" (croci verdi), **Figura 31**, rispetto a tutti i modelli testati durante il processo di inversione, **Figura 30**. Viene riportato, inoltre, il grafico inerente al "misft evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, **Figura 32**.



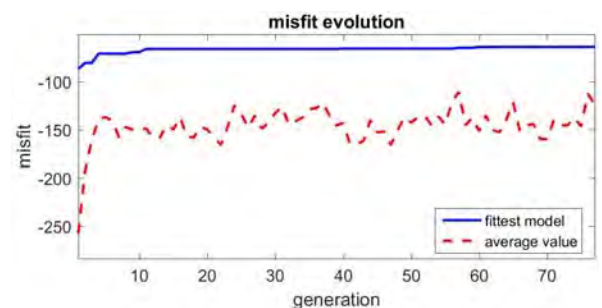
**Figura 29**-Profilo  $V_{S, equ} = 395$  m/sec calcolato a partire dal piano campagna



**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 +10 mt dal 12° geofono (**Figura 33**) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (**Figura 34**).

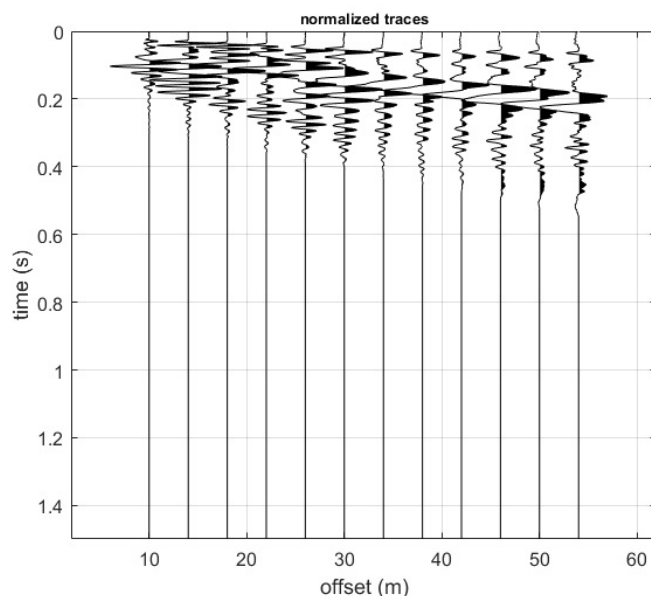


Figura 33-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

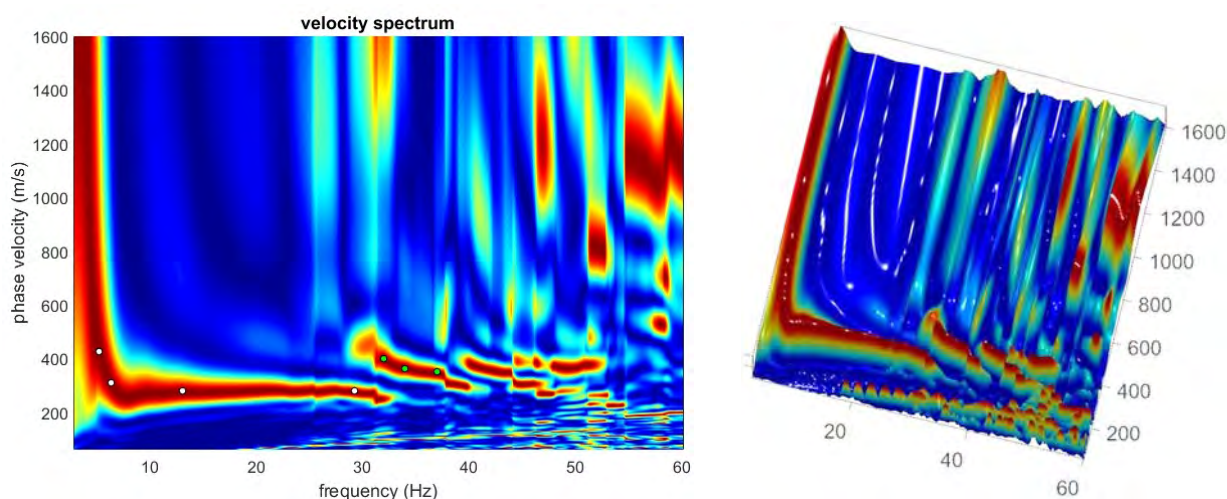
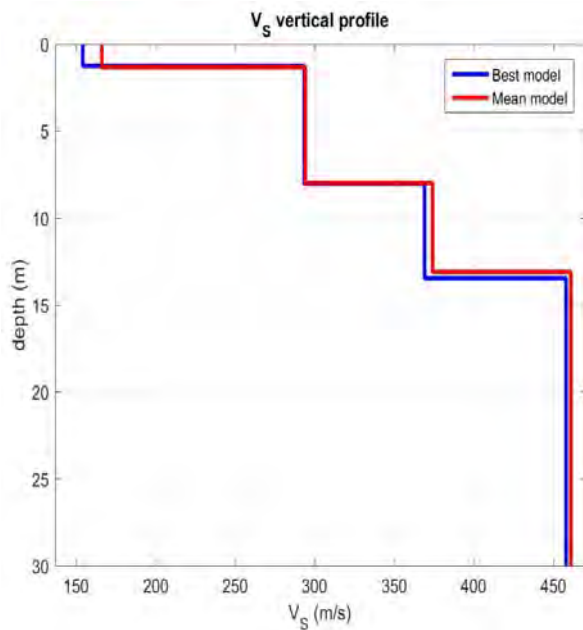


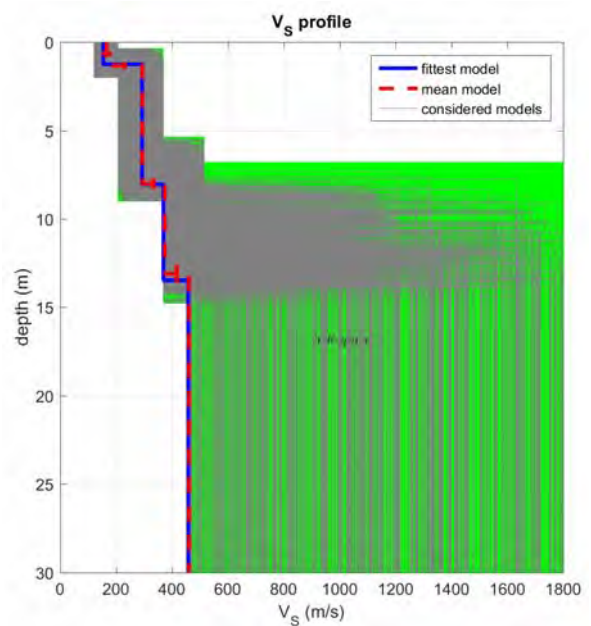
Figura 34-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

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

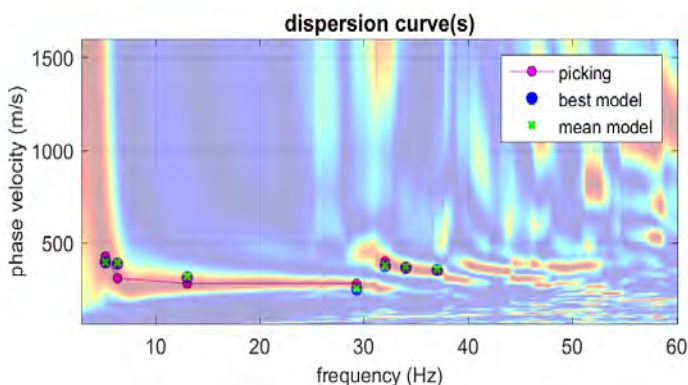
$V_s$  in funzione della profondità (**Figura 35**). Si precisa infine che, il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità derivata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione (circa 22,00 mt da inizio stendimento sismico). Di seguito 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 al "misfit evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, **Figura 38**.



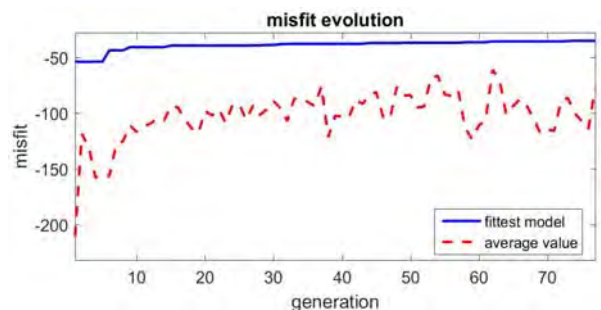
**Figura 35**-Profilo  $V_s$ ,  $v_{s, equ} = 365$  m/sec calcolato a partire dal piano campagna



**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 **364** 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 **493** 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 **383** 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 **374** 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 **395** 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 **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.**

## 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 elevato grado di sofisticazione ed affidabilità, soffrono della limitazione di essere puntuali, cioè relative ad



## 2. Indagini Geognostiche in Situ

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**

Sisostrato	$\bar{V}_p$	$\bar{V}_s$	$\gamma$	$\mu$	$E_\gamma$	$G_0$	$M_0$	$\lambda$
Profondità media (mt da pc)	(m/sec)	(m/sec)	(gr/cm <sup>3</sup> )		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A (0,00÷2,10)	374	186	1,57	0,33	145	54	147	111
B (2,10÷9,10)	611	314	1,73	0,32	450	171	418	305
C (7,00÷15,00≈)	1169	436	1,95	0,41	1052	371	2171	1923

Sisostrato	R	$E_d$
Profondità media (mt da pc)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
A (0,00÷2,10)	292	252
B (2,10÷9,10)	543	673
C (7,00÷15,00≈)	850	2460

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

- **Stendimento ST02**

Sisostrato	$\bar{V}_p$	$\bar{V}_s$	$\gamma$	$\mu$	$E_\gamma$	$G_0$	$M_0$	$\lambda$
Profondità media (mt da pc)	(m/sec)	(m/sec)	(gr/cm <sup>3</sup> )		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A (0,00÷1,80)	332	195	1,54	0,24	145	59	92	53
B (1,80÷5,90)	891	400	1,85	0,37	813	296	1074	877
C (5,90÷15,00≈)	1184	531	1,95	0,38	1511	550	2001	1634

Sisostrato	R	$E_d$
Profondità media (mt da pc)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
A (0,00÷1,80)	300	199
B (1,80÷5,90)	740	1431
C (5,90÷15,00≈)	1035	2526

**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÷1,20)	546	230	1,69	0,39	249	89	385	325
B (1,20÷7,40)	972	327	1,88	0,43	577	201	1508	1374
C (7,40÷15,00≈)	1484	427	2,04	0,45	1082	372	3997	3749

Sismostrato	R	$E_d$
Profondità media (mt da pc)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
A (0,00÷1,20)	388	537
B (1,20÷7,40)	614	1701
C (7,40÷15,00≈)	871	3966

**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÷1,70)	452	219	1,63	0,34	211	78	229	177
B (1,70÷7,60)	970	265	1,88	0,44	385	132	1593	1505
C (7,60÷15,00≈)	1614	467	2,07	0,45	1313	451	4790	4489

Sismostrato	R	$E_d$
Profondità media (mt da pc)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
A (0,00÷1,70)	356	368
B (1,70÷7,60)	498	1695
C (7,60÷15,00≈)	966	4693

**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÷2,10)	441	211	1,62	0,35	195	72	219	171
B (2,10÷6,20)	996	338	1,89	0,43	620	216	1587	1443
C (6,20÷15,00≈)	1278	464	1,98	0,42	1214	426	2666	2381





Sismostrato	R	E <sub>d</sub>
Profondità media (mt da pc)	(tonn/m <sup>2</sup> s)	(MPa)
A (0,00÷2,10)	341	350
B (2,10÷6,20)	638	1788
C (6,20÷15,00≈)	918	2940

**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 <sub>y</sub>	G <sub>0</sub>	M <sub>0</sub>	$\lambda$
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 <sub>d</sub>
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 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;

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

$\gamma$ = Peso unità di volume naturale;

$\mu$ = coefficiente di Poisson;

E<sub>y</sub>= modulo di Young;

G<sub>0</sub>= modulo di taglio;

Noci (BA), Febbraio 2022

M<sub>0</sub>= modulo di compressibilità volumetrica;

$\lambda$ = coefficiente di Lamé;

R= rigidità sismica;

E<sub>d</sub>= modulo edometrico.

Il Geologo

(Dr. Fedele Massimiliano COLUCCI)

Sezione Stratigrafica - Stendimento ST01 - Onde P

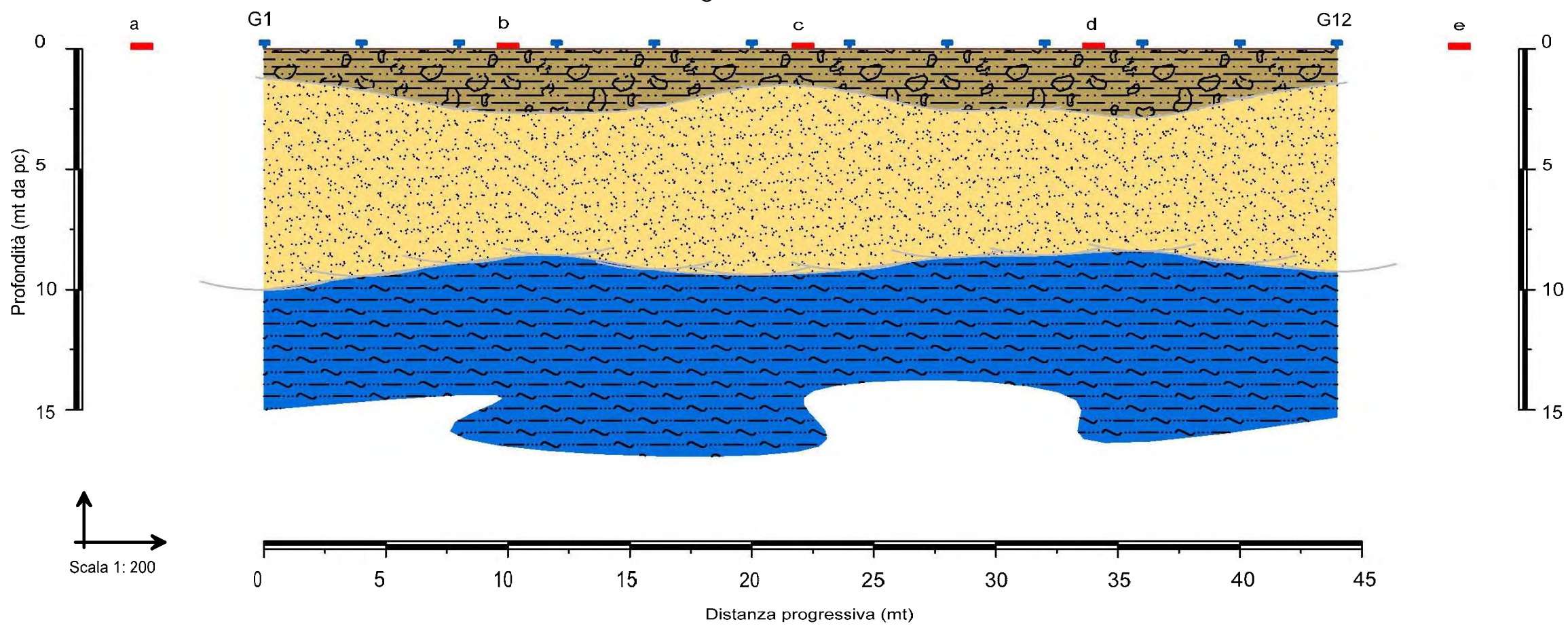





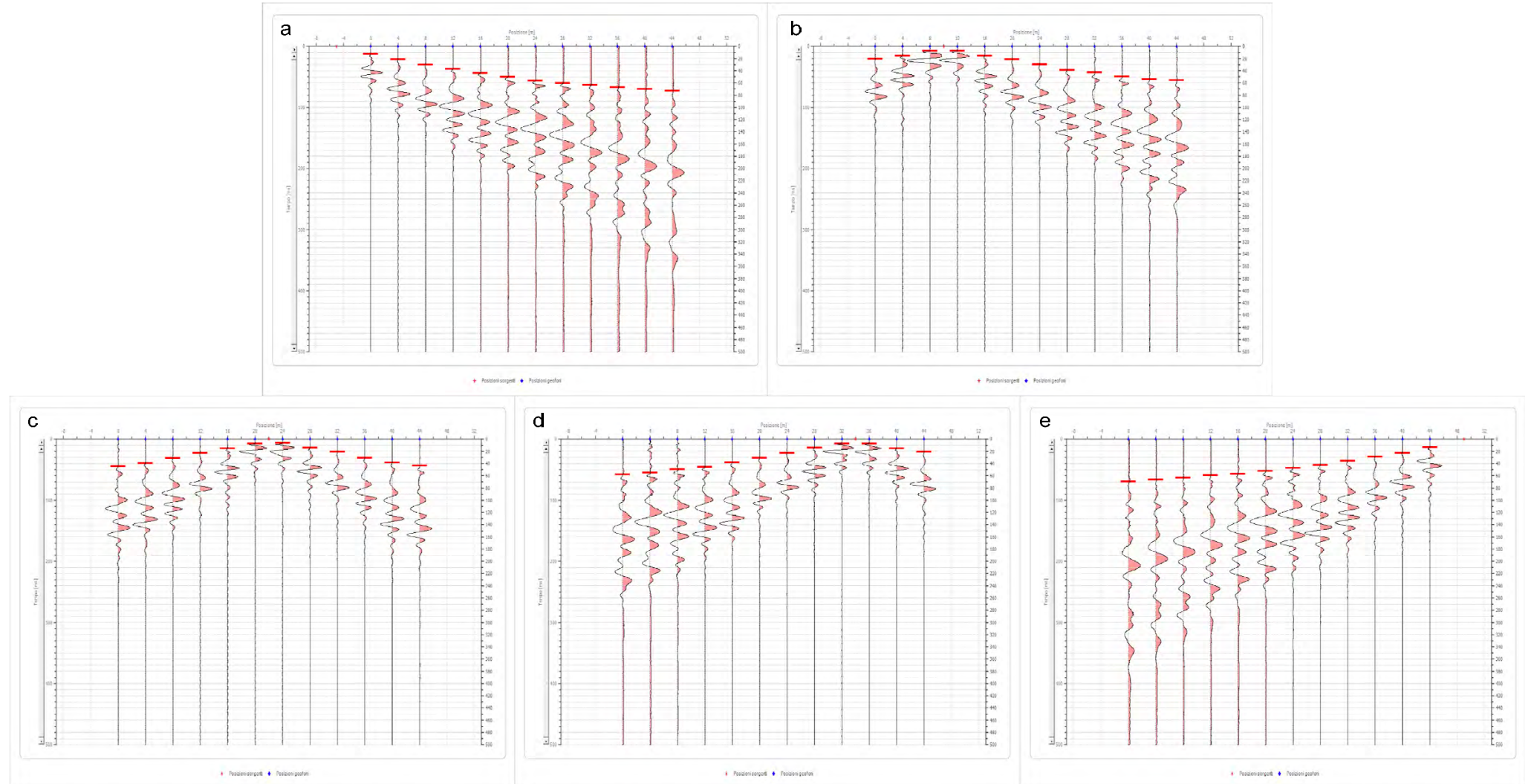


Tavola A. 2  
"Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"  
Stendimento ST01

Legenda

-  Terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ciottolosa, poco consistente  
 $V_p = 374$  m/sec
-  Deposito di natura sabbioso-limosa, mediamente consistente  
 $V_p = 611$  m/sec
-  Deposito di natura limosa argillo-sabbiosa, ben consistente  
 $V_p = 1169$  m/sec
-  Geofono
-  Punto di energizzazione

Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi





Sezione Stratigrafica - Stendimento ST02 - Onde P

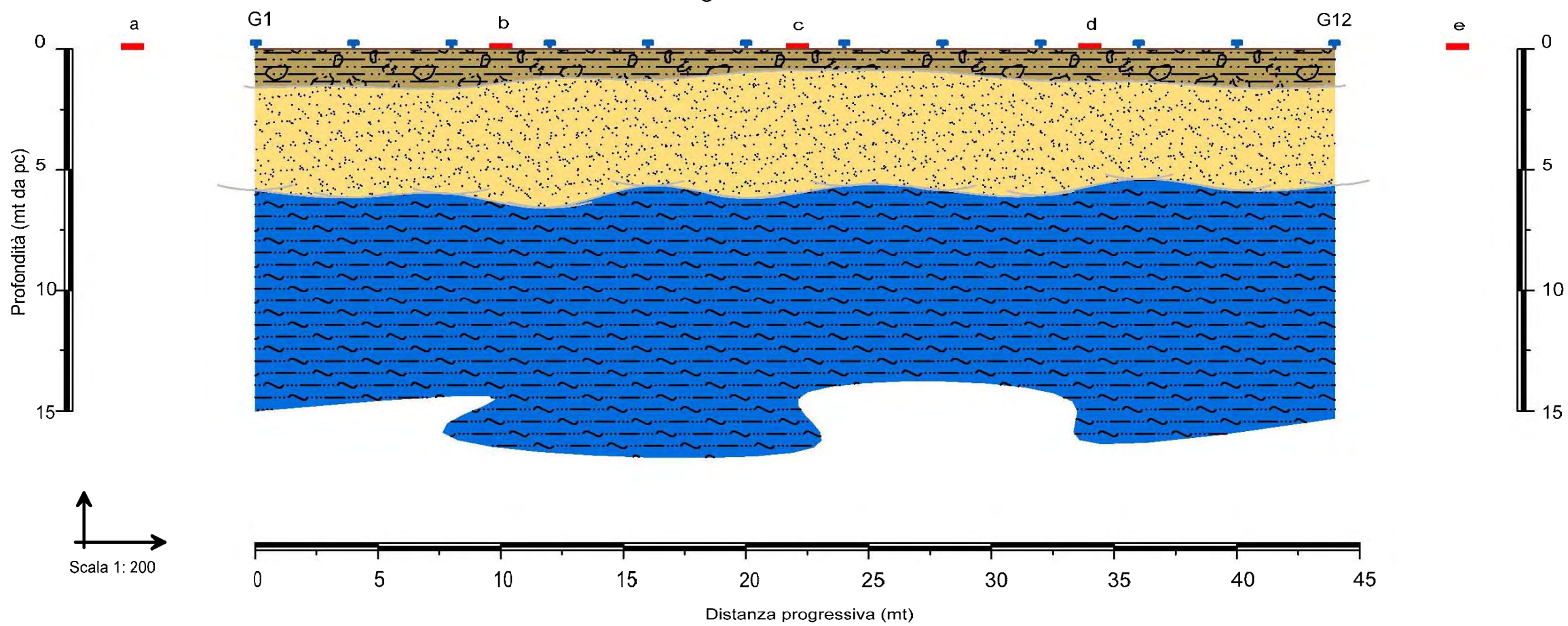





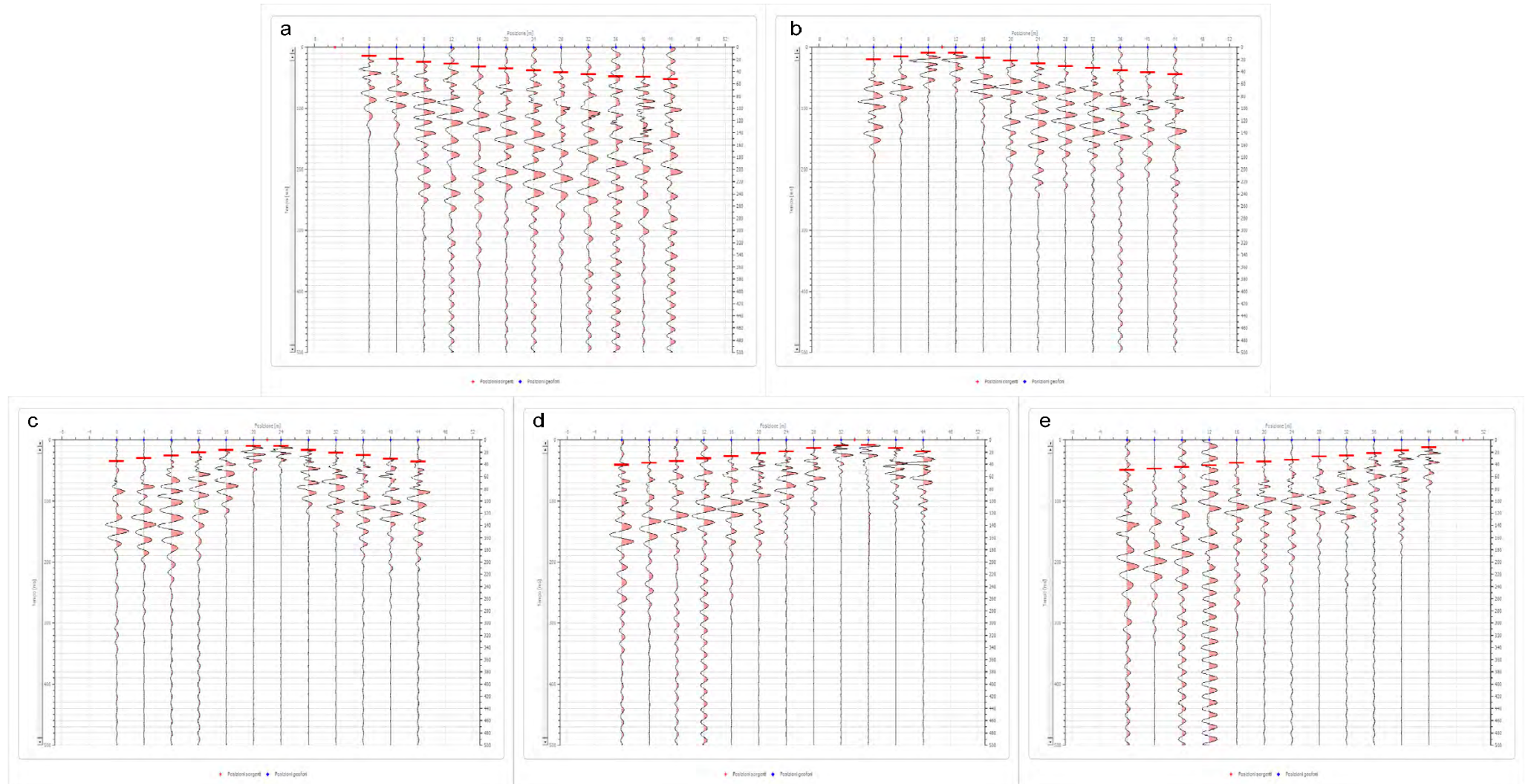


Tavola A. 2  
"Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"  
Stendimento ST02

Legenda

-  Terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ciottolosa, poco consistente  
 $V_p = 332$  m/sec
-  Deposito di natura sabbioso-limoso, mediamente consistente  
 $V_p = 891$  m/sec
-  Deposito di natura limosa argillo-sabbiosa, ben consistente  
 $V_p = 1184$  m/sec
-  Geofono
-  a Punto di energizzazione

Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi





Sezione Stratigrafica - Stendimento ST03 - Onde P

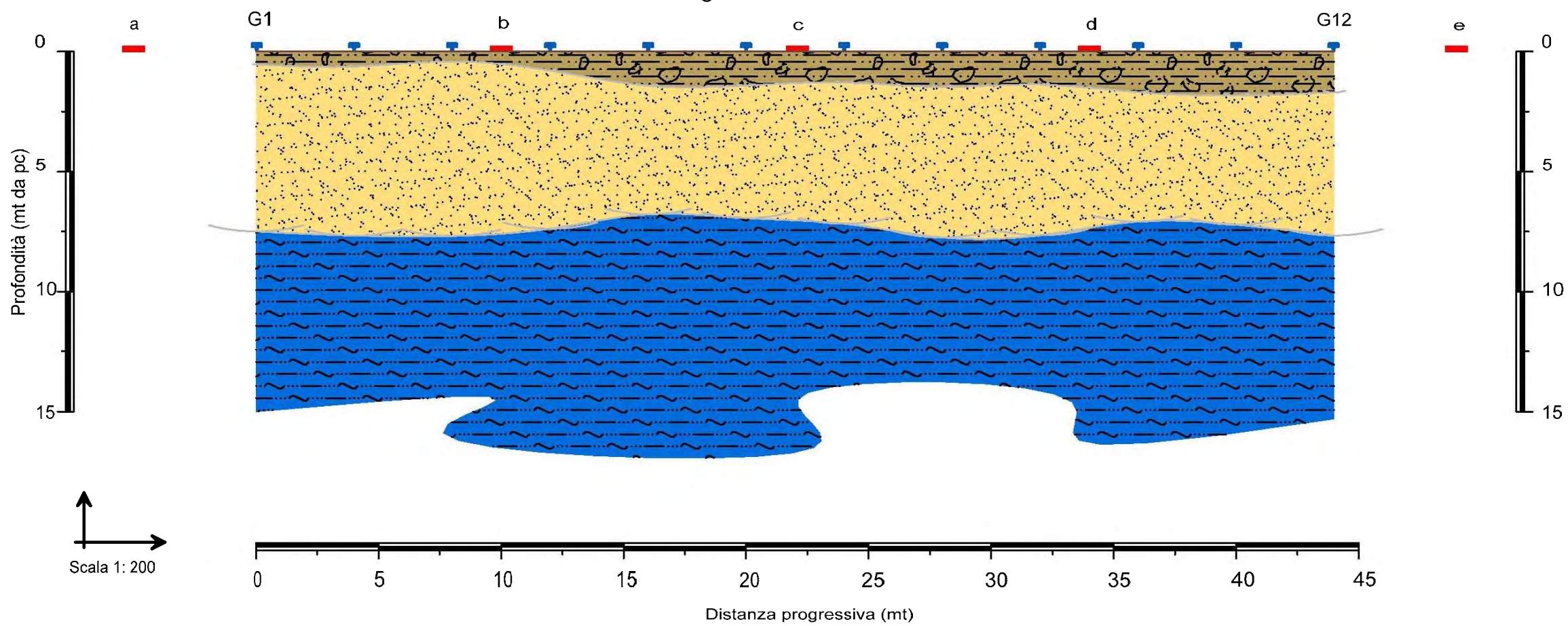





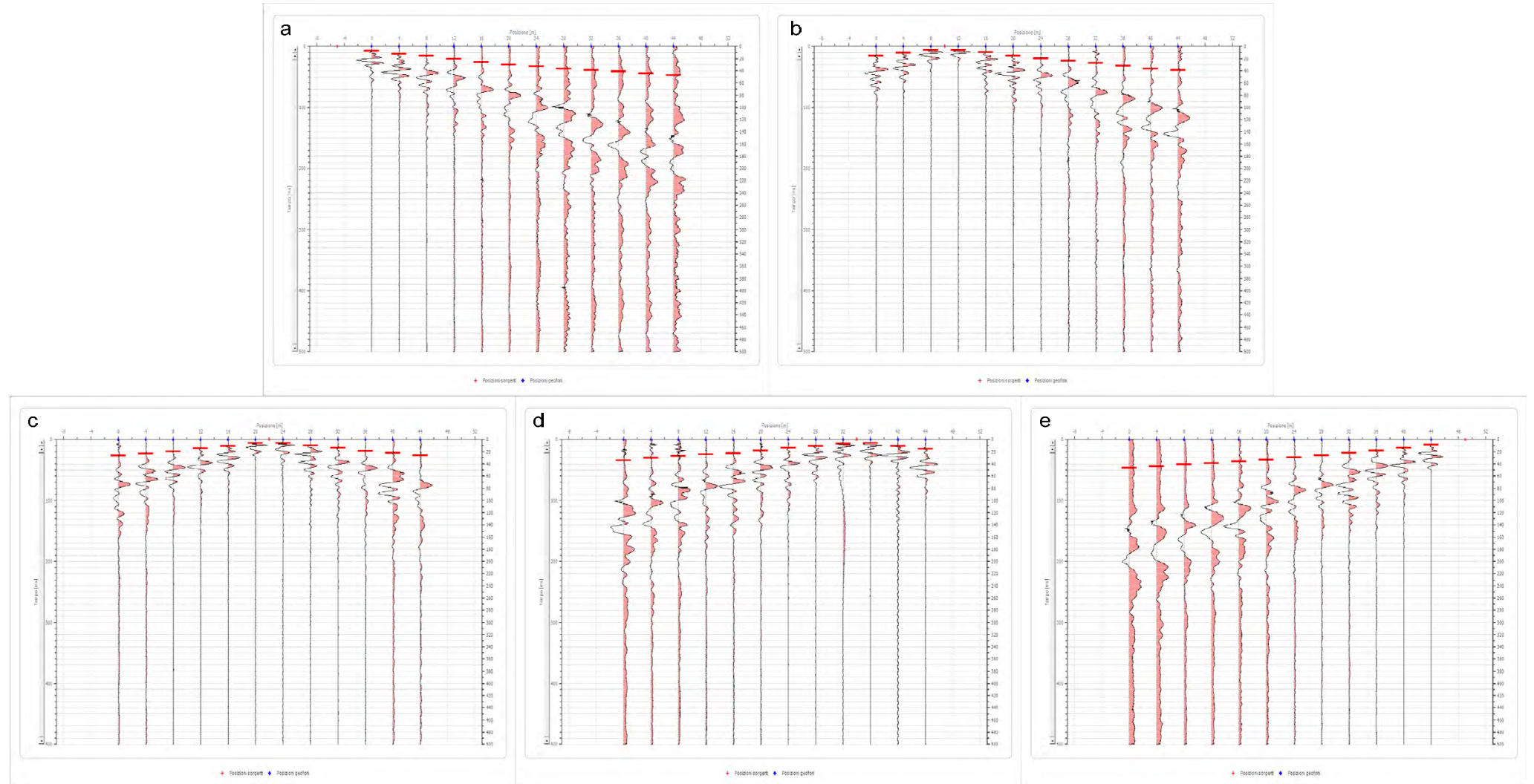


Tavola A. 2  
"Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"  
Stendimento ST03

Legenda

-  Terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ciottolosa, mediamente consistente  
 $V_p = 546$  m/sec
-  Deposito di natura sabbioso-limosa, ben consistente  
 $V_p = 972$  m/sec
-  Deposito di natura limosa argillo-sabbiosa, molto consistente  
 $V_p = 1484$  m/sec
-  Geofono
-  Punto di energizzazione

Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi





Sezione Stratigrafica - Stendimento ST04 - Onde P

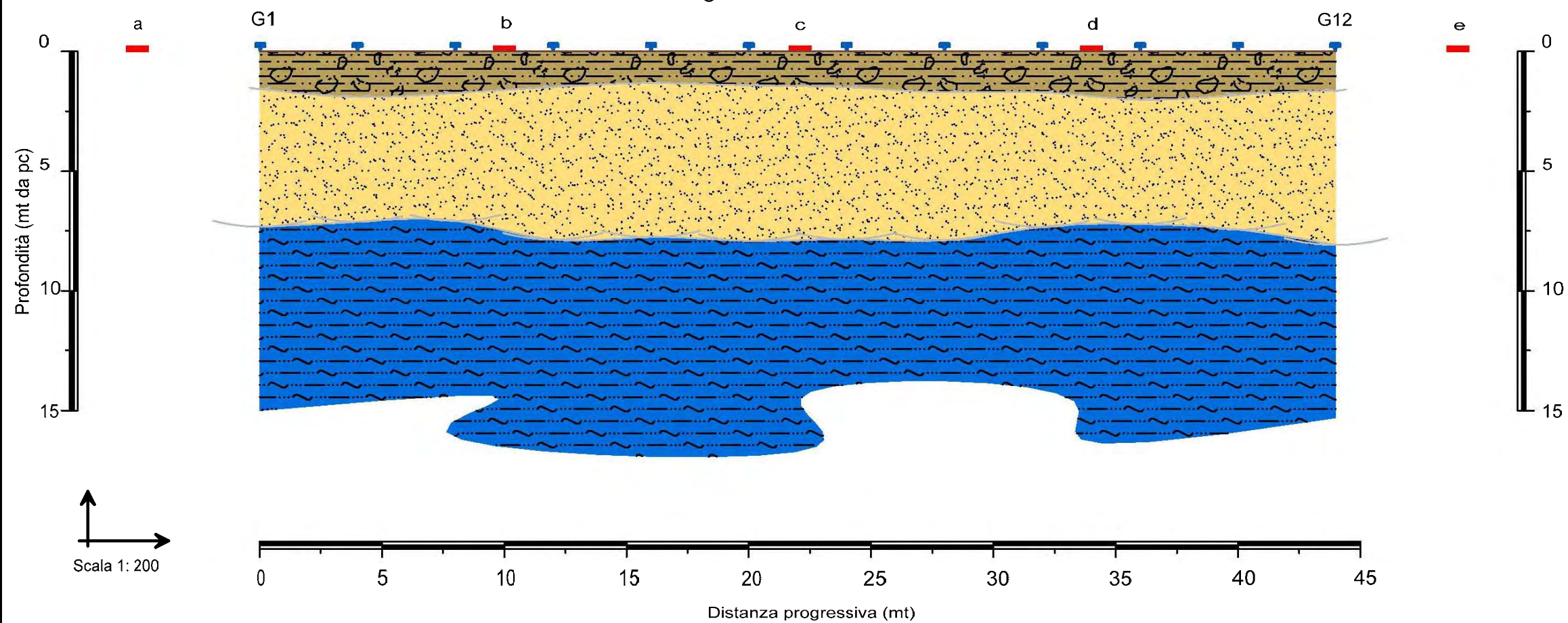





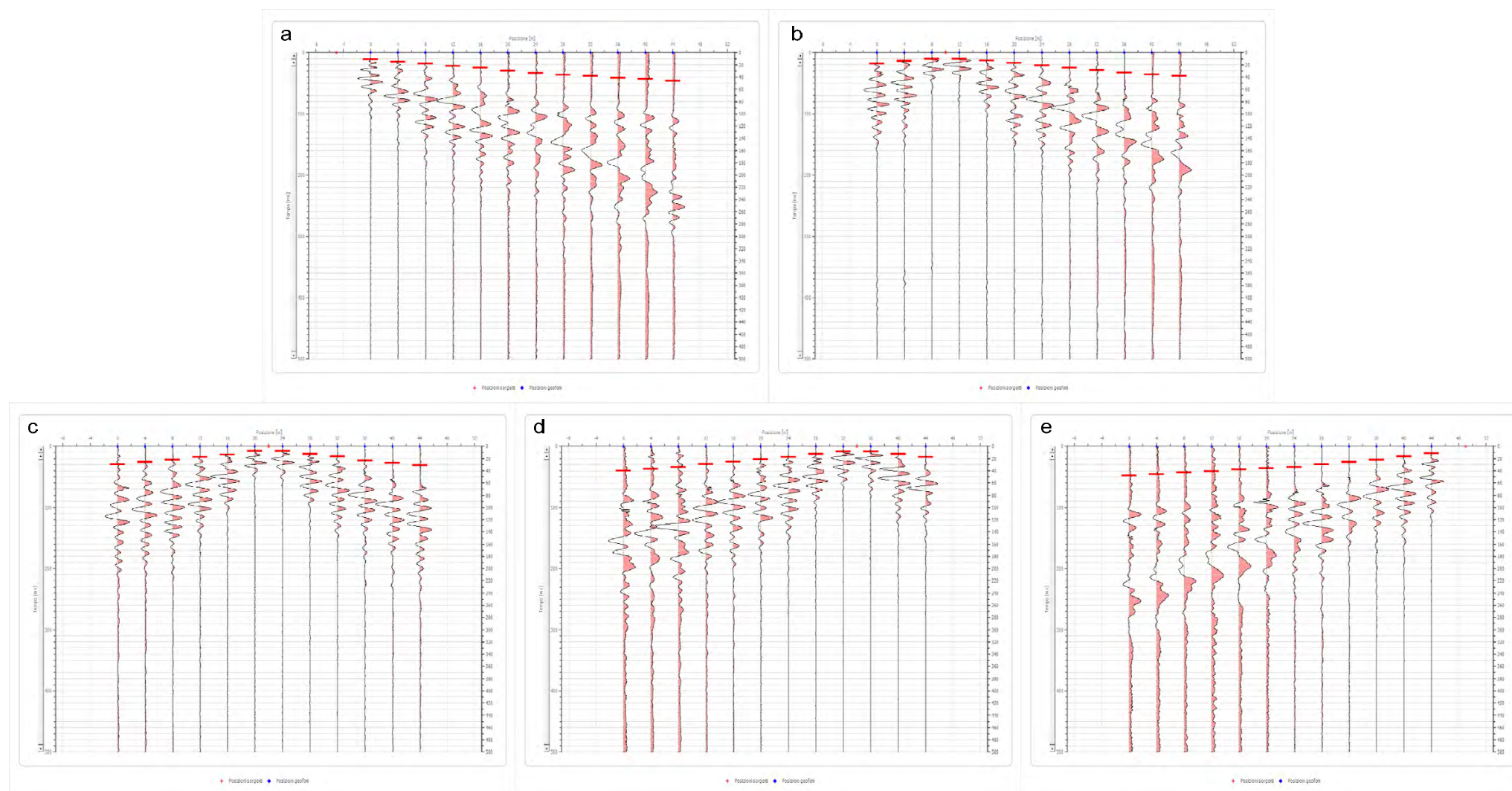


Tavola A. 2  
"Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"  
Stendimento ST04

Legenda

-  Terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ciottolosa, mediamente consistente  
 $V_p = 452$  m/sec
-  Deposito di natura sabbioso-limosa, ben consistente  
 $V_p = 970$  m/sec
-  Deposito di natura limosa argillo-sabbiosa, molto consistente  
 $V_p = 1614$  m/sec
-  Geofono
-  Punto di energizzazione

Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi





Sezione Stratigrafica - Stendimento ST05 - Onde P

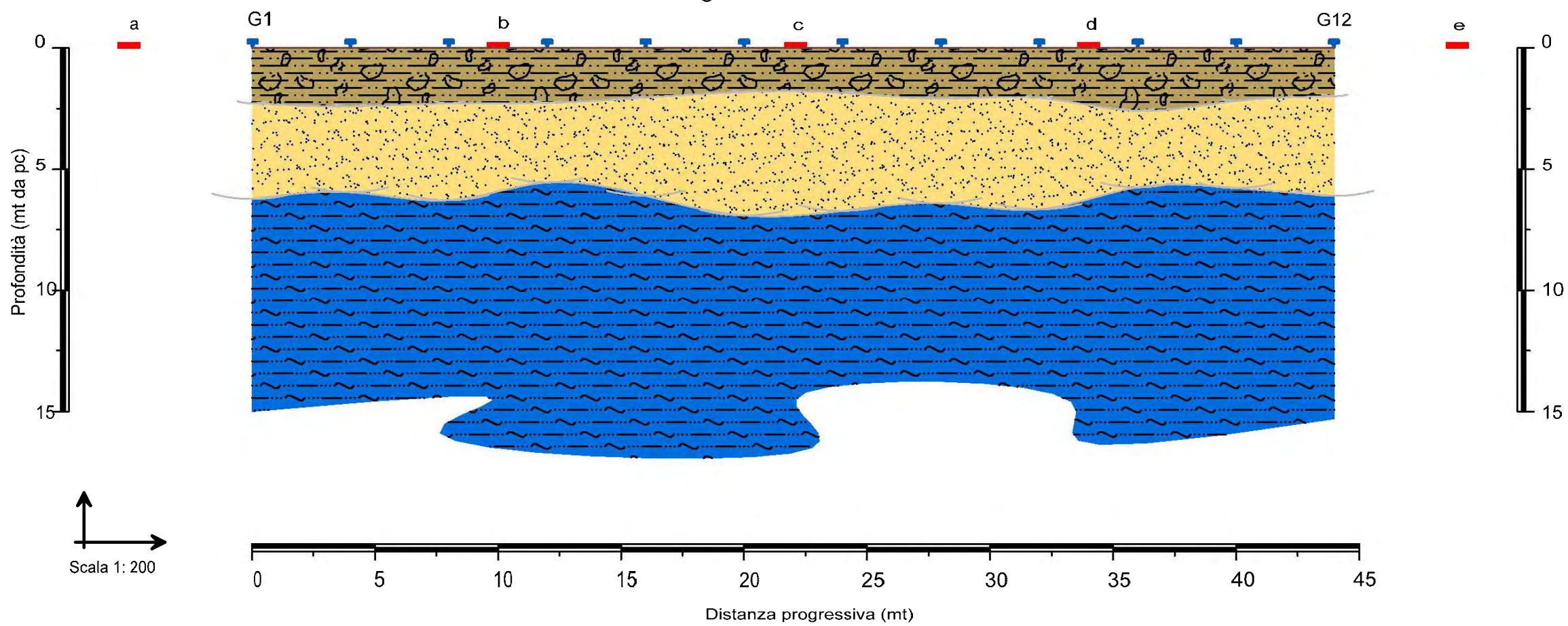

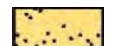
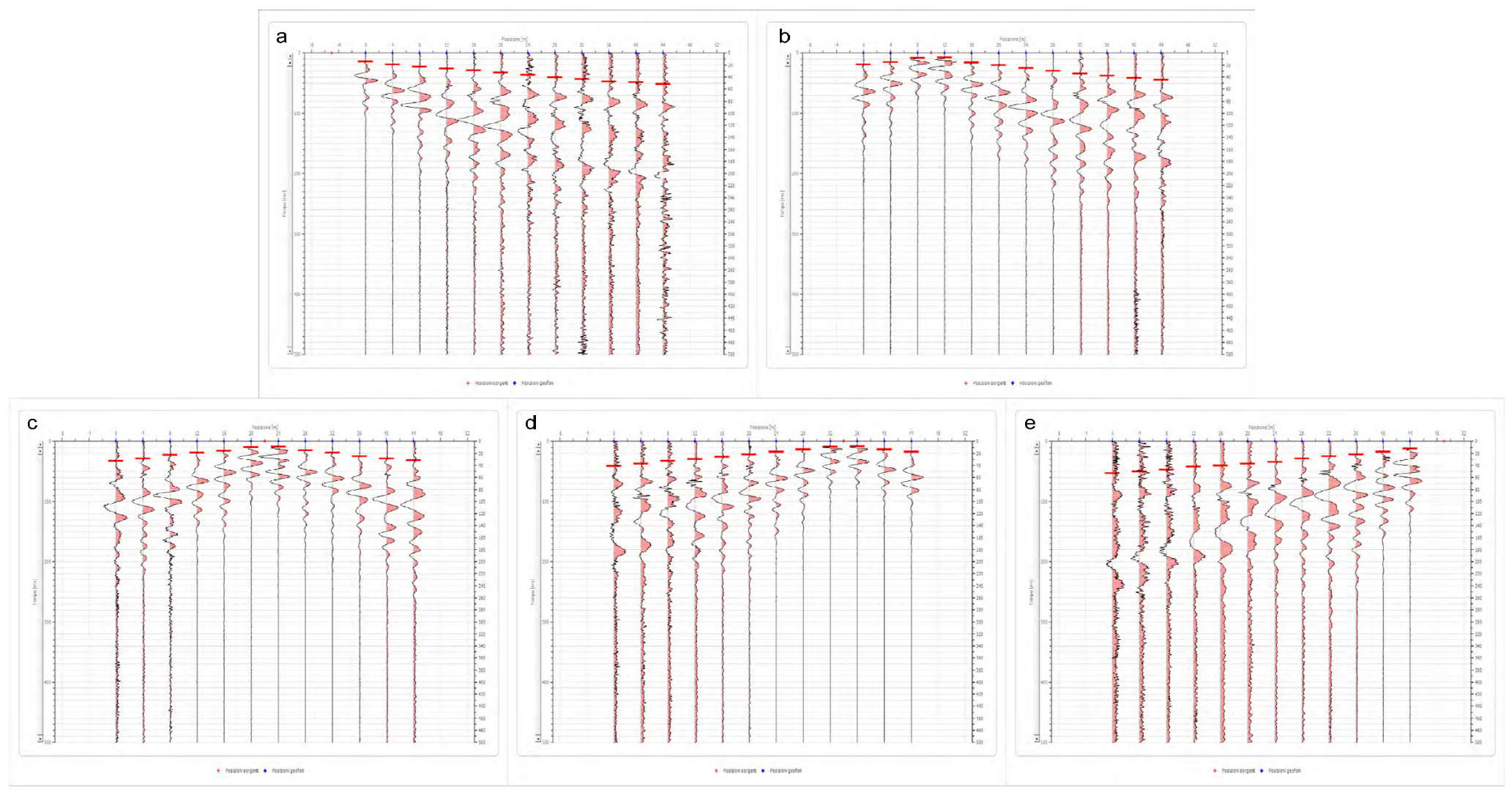


Tavola A. 2  
"Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"  
Stendimento ST05

Legenda

-  Terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa limo-ciottolosa, mediamente consistente  
 $V_p = 441$  m/sec
-  Deposito di natura sabbioso-limosa, ben consistente  
 $V_p = 996$  m/sec
-  Deposito di natura limosa argillo-sabbiosa, molto consistente  
 $V_p = 1278$  m/sec
-  Geofono
-  Punto di energizzazione

Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi





Sezione Stratigrafica - Stendimento ST06 - Onde P

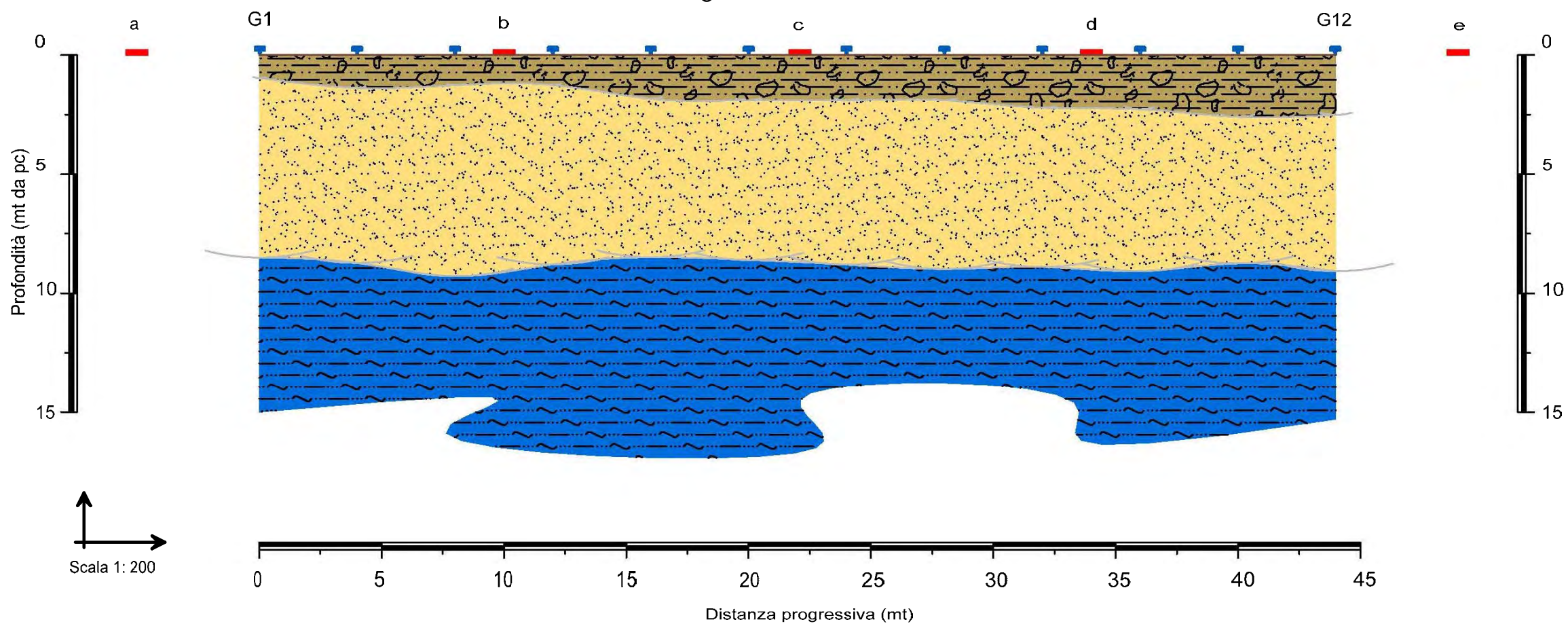




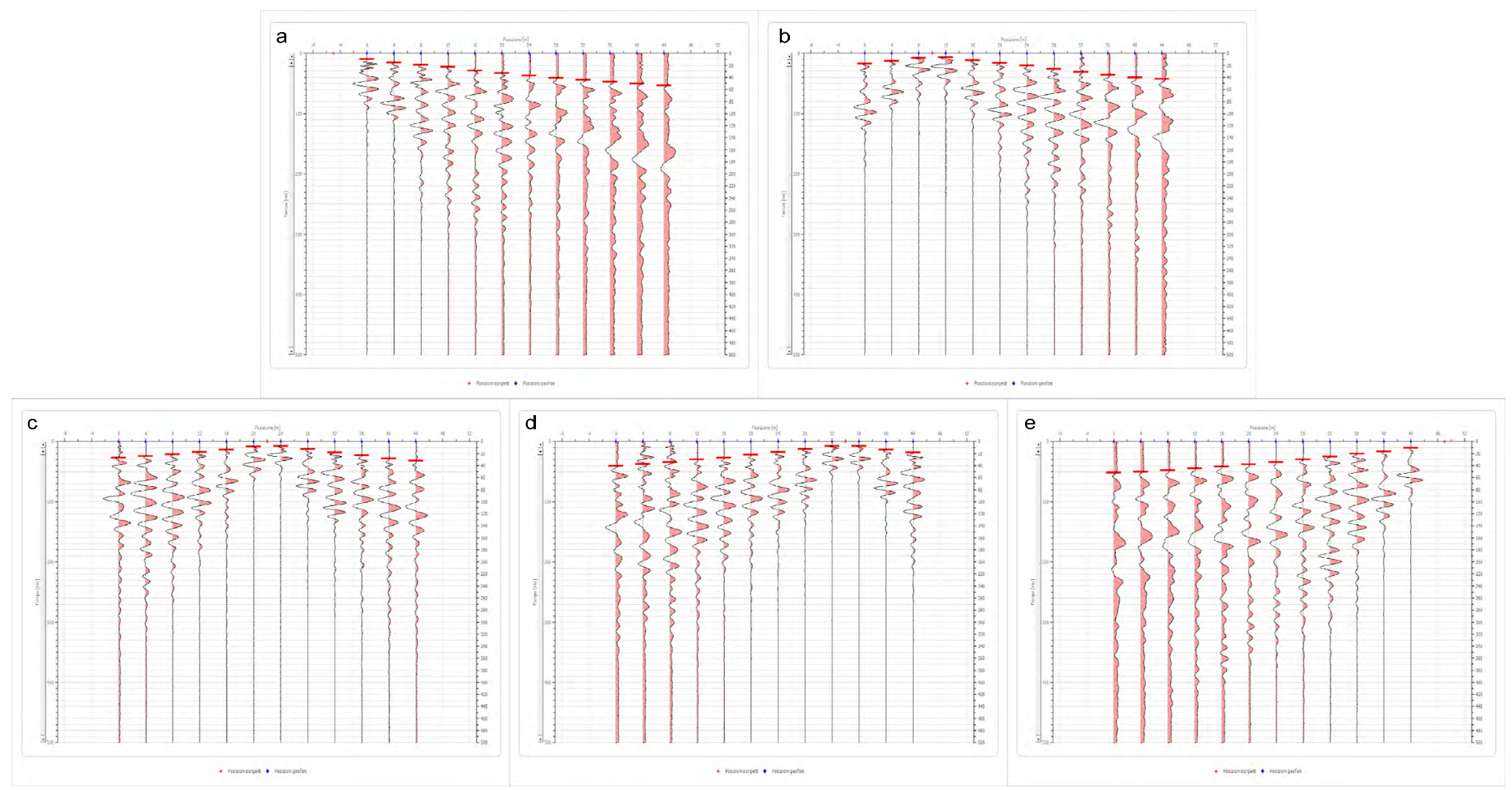


Tavola A. 2  
"Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"  
Stendimento ST06

Legenda

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

Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi





### 3 SONDAGGI GEOGNOSTOCI CONSULTATI





# Regolamento Urbanistico – MATERA

RTP: Geol. Ing. Michele LUPO – Geol. Angelo VENEZIA

## S137 CARTA DELLE INDAGINI

TRIVELLAZIONE : TOMA Abele – Via La Martello n.42 – 75100 MATERA

SONDAGGIO N° 23

Data: **Maggio 1998**

Committente: ANAS – BARI

Cantiere : S.S. 96 Tronco: Variante di Altamura  
S.S. 99 Tronco: Altamura – Matera

Prof.(m)	Spess.(m)	Rappr. Grafica	DESCRIZIONE MACROSCOPICA DEI LITOTIPI	FALDA mt dal p.c.	Camp. Indisturb.	Camp. Sordist.	CAROTAGGIO				CARATTERI GEOMECCANICI		
							P. C. (%)				S. P. T.		
							20	40	60	80	100	cm / N.colp	
1	1.6		Detriti arenacei in una matrice limosa color nocciola. Mediamente consistenti.										
2	1.6		Limi color bruno-nocciola debolmente detritici con frequenti inclusioni carbonatiche biancastre. Elevata consistenza e scarsa plasticità.										
3	3.2		Sabbie debolmente limose, nocciola-rossastre a scarsa coerenza con discreta frazione detritica fino a 4.1 metri e minore fino a fondo strato. Frequenti livelli ciottolosi.	4.30									
4	2.8				5.00								
5	6.0				5.50								
6	2.3		Limi argillosi grigio-nocciola con rare inclusioni detritico-carbonatiche e abbondanti tracce di ossidazione nerastre. Alta plasticità. Molto consistenti fino a 7.0 metri poi a media consistenza.									5.50 m	
7	8.3											15	8
8												30	9
9												45	11
10			Argille grigio-azzurre con rare inclusioni microfossilifere biancastre. Livello a maggiore frazione limosa di colore nocciola fra 9.3-10.0 metri. Maggior frazione limo-sabbiosa fra 13.0-13.7 metri.		10.0							10.5 m	
11					10.5							15	10
12					15.0							30	10
13					15.5							45	11
14	21.7				20.0							15.5 m	
15					20.5							15	9
16					25.0							30	9
17					25.0							45	9
18					25.5							25.5m	
19					25.5							15	12
20					25.5							30	13
21					25.5							45	13

Note : Installato Piezometro a tubo aperto in P.V.C. da 0.00 a 30.00 metri.

# Regolamento Urbanistico – MATERA

RTP: Geol. Ing. Michele LUPO – Geol. Angelo VENEZIA

## S138 CARTA DELLE INDAGINI

TRIVELLAZIONE : TOMA Abele – Via La Martella n.42 – 75100 MATERA

**SONDAGGIO N° 25**

Data: **Maggio 1998**

Committente: ANAS – BARI

Cantiere : S.S. 96 Tronco: Variante di Altamura  
S.S. 99 Tronco: Altamura – Matera

	Prof.(m)	Spess.(m)	Rapp. Grafica	DESCRIZIONE MACROSCOPICA DEI LITOTIPI	FALDA mt dal p.c.	Camp. Inediturb. Camp. Seridist.	CARDTAGGIO					CARATTERI GEOMECCANICI				
							P. C. (%)					S. P. T.				
							20	40	60	80	100	cm / N.colpi				
Perforaz. eseguita a carot. continuo, a debole circolaz. d'acqua. $\beta = 101-127$ mm	1	1.0		Misto di pavimentazione stradale.	1.10											
	2	2.0		Sabbie calcarenitiche di colore avana incoerenti. Pseudocoerenti a debole frazione limosa fra 2.8-9.0 metri.												
	3	3.0														
	4	3.0		Limi detritici di colore bruno. Debole consistenza, media plasticità con detrito grossolano fino a 5.0 metri. Deposito a media consistenza e plasticità. Abbondante frazione detritica fra 5.0-6.0 metri.												
	5	3.0														
	6	6.0														
	7	2.5		Limi debolmente sabbiosi di colore nocciola-verdognolo con discreta frazione detritica e microfossillifera. Media consistenza fra 6.0-7.0 e fra 8.1-8.5 metri. Scarsa consistenza fra 7.0-8.1 metri.												
	8	8.5														
	9	3.3		Limi argillosi grigio-nocciola a media consistenza e plasticità con contenuto microfossillifero abbondante. Debole consistenza fra 9.1-9.5 metri.	6.00											
	10	3.3			6.50											
	11	11.8														
	12	11.8		Argille grigio-azzurre con omogenea distribuzione microfossillifera. Media plasticità. Molto consistenti tendenti ad elevata consistenza verso il fondo foro.	13.0											
	13	13.5			13.5											
	14	19.0			19.0											
	15	19.5			19.5											
16	23.0			23.0												
17	23.5			23.5												
18	23.5			23.5												
19	23.5			23.5												
20	23.5			23.5												
21	23.5			23.5												
22	23.5			23.5												
23	23.5			23.5												
24	23.5			23.5												
25	23.5			23.5												

Note : Installato Piezometro a tubo aperto in P.V.C. da 0.00 a 22.00 metri.

# Regolamento Urbanistico – MATERA

RTP: Geol. Ing. Michele LUPO – Geol. Angelo VENEZIA

## S141 CARTA DELLE INDAGINI

### Stratigrafia del Sondaggio n. 4

<b>Committente:</b> Impresa TRAETTA SALVATORE	<b>Regione:</b> BASILICATA
<b>Metodo di perforazione:</b> CAROTAGGIO CONTINUO	<b>Comune:</b> MATERA
<b>Diametro del foro:</b> 85mm	<b>Località:</b> BORGO VENUSIO
<b>Redattori della stratigrafia:</b> dott. geol. Pasquale PEPE dott. geol. Pietro PEPE	<b>Foglio I.C.M.:</b> 189
<b>Data sondaggio:</b> 12/07/1998	<b>Quota del boccafora:</b> 346.70 m.s.l.m.

Profondità dal p.c. metri	Colonna stratigrafica	Spessori metri	Descrizione litologica	Quote di prelievo dei campioni	H <sub>2</sub> O	Percentuale carotaggio											
						10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120											
		1.00	<i>Materiale di riporto e humus</i>														
2			<i>Argilla giallo-avana, fossilifera, caratterizzata da una elevata plasticità</i>	C <sub>1</sub> - S <sub>1</sub>	A S S E N T E												
4		3.80		■													
6			<i>Argilla con limo debolmente sabbiosa, fossilifera, di colore grigio-azzurra.</i>														
8																	
10		4.70															
12			<i>Argilla mista, caratterizzata da una mescolanza di argilla grigia e argilla giallo-avana con una maggiore percentuale di argilla giallastra.</i>	C <sub>2</sub> - S <sub>2</sub>													
14		5.00		■													
16			<i>Argilla grigio-azzurra, con sottili intercalazioni di limo-sabbioso di colore giallo-rossastro. E' caratterizzata dalla presenza di fossili marini.</i>														
18			<i>Con la profondità diventa di colore più scuro e meno plastica.</i>														
20		5.70															





623980

624380



Nord (mt)

Est (mt)

623980

624380

4513750





4513750

4513350

4513350

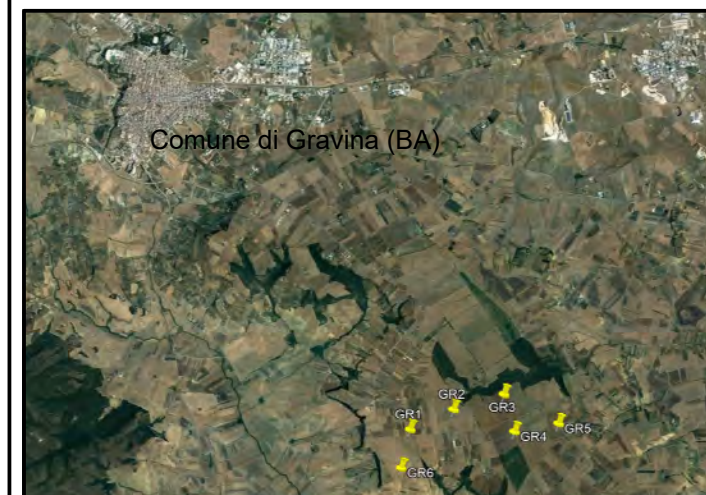
# Tavola A. 1 "Ubicazione Indagini in Situ" Sito GR1

## Legenda

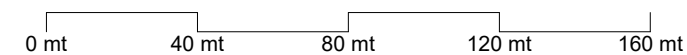
-  Stendimento sismico (ST01= 44,00 ml)
-  G<sub>n</sub> Geofono
-  Battuta per indagine MASW
-  Impianto eolico GR1

Sistema di riferimento: UTM WGS84 33T

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



Scala 1: 2.000





624880

625280

4514150

4514150

Nord (mt)

4513750

4513750

624880





625280

Est (mt)



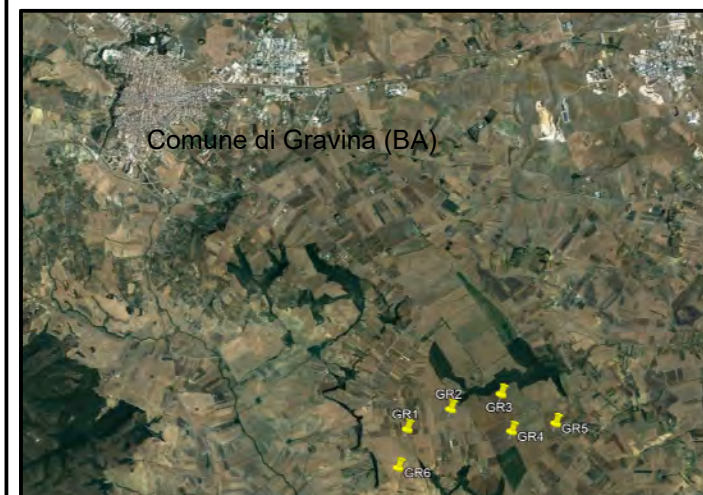
### Tavola A. 1 "Ubicazione Indagini in Situ" Sito GR2

#### Legenda

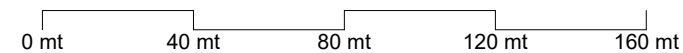
-  Stendimento sismico (ST01= 44,00 ml)
-  Gn Geofono
-  Battuta per indagine MASW
-  Impianto eolico GR2

Sistema di riferimento: UTM WGS84 33T

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



Scala 1: 2.000





625680

626080



Nord (mt)

Est (mt)

625680

626080

4514250


4514250

4513850

4513850

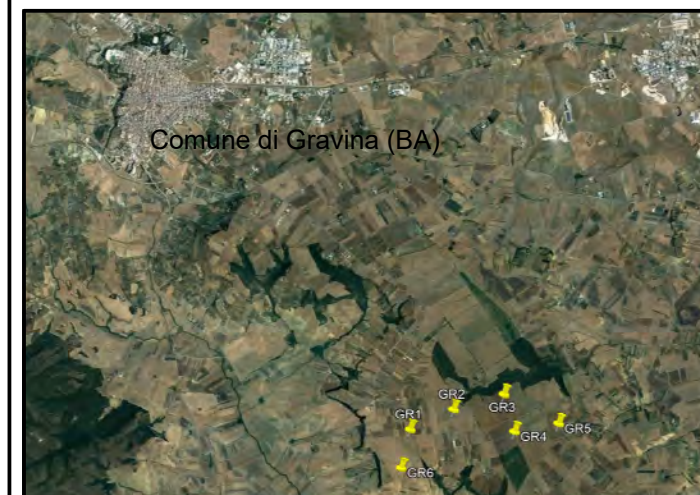
### Tavola A. 1 "Ubicazione Indagini in Situ" Sito GR3

#### Legenda

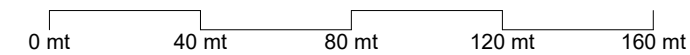
-  Stendimento sismico (ST01= 44,00 ml)
-  G<sub>n</sub> Geofono
-  Battuta per indagine MASW
-  Impianto eolico GR3

Sistema di riferimento: UTM WGS84 33T

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



Scala 1: 2.000





625830

626230

4513650

4513650

Nord (mt)

4513250

4513250

625830

626230


Est (mt)




G1 ST04 G12

# Tavola A. 1 "Ubicazione Indagini in Situ" Sito GR4

## Legenda

 Stendimento sismico  
(ST01= 44,00 ml)

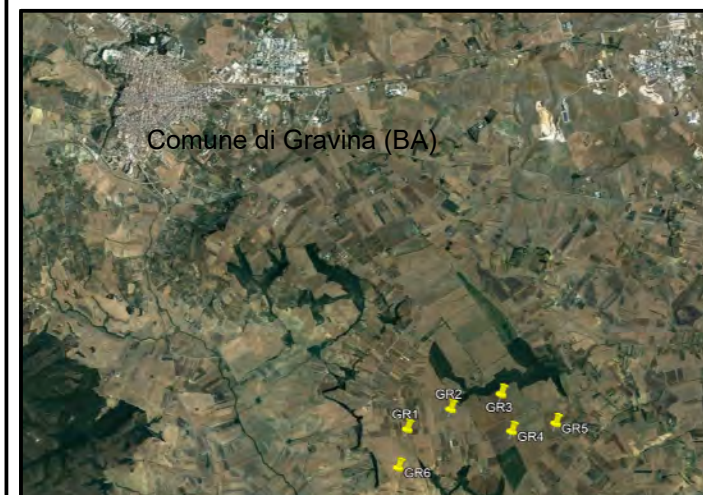
 Gn  
Geofono

 Battuta per indagine MASW

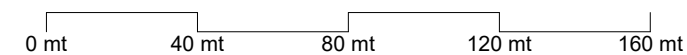
 Impianto eolico GR4

Sistema di riferimento: UTM WGS84 33T

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



Scala 1: 2.000





626580

626980

4513850

4513850

Nord (mt)

4513450

4513450

626580





626980

Est (mt)



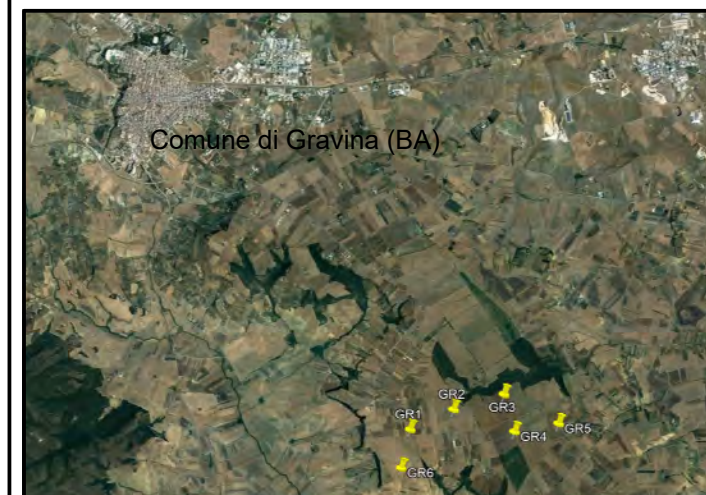
# Tavola A. 1 "Ubicazione Indagini in Situ" Sito GR5

## Legenda

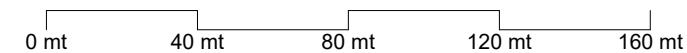
-  Stendimento sismico (ST01= 44,00 ml)
-  Gn Geofono
-  Battuta per indagine MASW
-  Impianto eolico GR5

Sistema di riferimento: UTM WGS84 33T

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



Scala 1: 2.000





623780

624180

4512850

4512850

Nord (mt)

4512450

4512450

623780





624180

Est (mt)



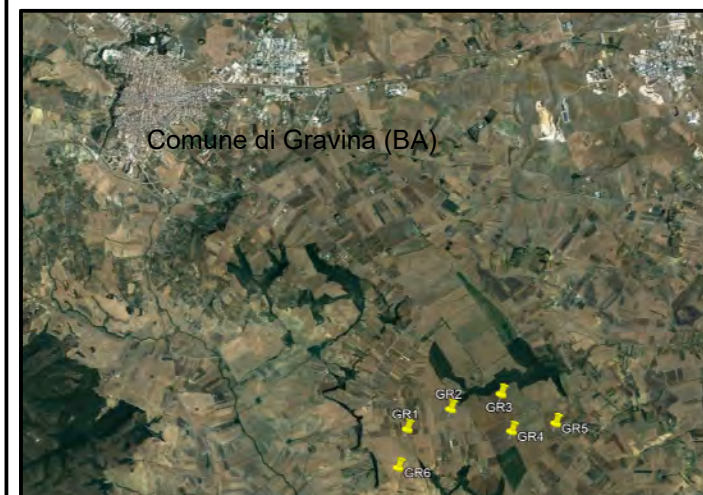
# Tavola A. 1 "Ubicazione Indagini in Situ" Sito GR6

## Legenda

-  Stendimento sismico (ST01= 44,00 ml)
-  Gn Geofono
-  Battuta per indagine MASW
-  Impianto eolico GR6

Sistema di riferimento: UTM WGS84 33T

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



Scala 1: 2.000

