



PROGETTO DEFINITIVO

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Monteruga" di potenza nominale pari a 33 MW e relative opere connesse

Titolo elaborato

R02 Relazione Geologica

Codice elaborato

F0478AR02A

Scala

-

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione.

Progettazione



F4 ingegneria srl

Via Di Giura - Centro direzionale, 85100 Potenza
Tel: +39 0971 1944797 - Fax: +39 0971 55452
www.f4ingegneria.it - f4ingegneria@pec.it

Il Direttore Tecnico
(ing. Giovanni Di Santo)

Gruppo di lavoro

Dott. For. Luigi ZUCCARO
Ing. Giorgio ZUCCARO
Ing. Giuseppe MANZI
Ing. Mariagrazia PIETRAFESA
Ing. Gerardo SCAVONE
Ing. Flavio Gerardo TRIANI
Arch. Gaia TELESKA
Dott.ssa Floriana GRUOSSO
Dott. Francesco NIGRO
Vito PIERRI



Società certificata secondo le norme UNI-EN ISO 9001:2015 e UNI-EN ISO 14001:2015 per l'erogazione di servizi di ingegneria nei settori: civile, idraulica, acustica, energia, ambiente (settore IAF: 34).

Consulenze specialistiche

GEOLOGIA

Dott. Geol. Maurizio GIACOMINO

Via del Ginepro, 23
75100 Matera
mauriziogiacomino@gmail.com
mauriziogiacomino@pec.it



Committente



WPD Salentina S.r.l.

Corso d'Italia 83, 00198 Roma
Tel.: +39 06 960 353 01
<https://www.wpd-italia.it/>
wpdsalentinassrl@legaimail.it

Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
Maggio 2022	Prima emissione	M. GIACOMINO	LZU	GDS

Sommario

1	Premessa	4
2	Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio idrogeologico	5
3	Inquadramento Geologico Tettonico Regionale	6
3.1	Geologia dell'area oggetto di studio	8
4	Morfologia, Idrogeologia ed idrologia	11
5	Indagini Geognostiche	12
5.1	Indagini Geognostiche Indirette: Prospezioni Sismiche a Rifrazione	18
5.1.1	Acquisizione ed Interpretazione dei Dati	19
5.1.2	Stendimento Sismico ST01	22
5.1.3	Stendimento Sismico ST02	25
5.1.4	Stendimento Sismico ST03	28
5.1.5	Stendimento Sismico ST04	31
5.1.6	Stendimento Sismico ST05	34
5.2	Indagini Geognostiche Indirette: Prospezioni Sismiche MASW	37
5.2.1	Acquisizione ed Interpretazione dei Dati	37
5.2.2	Stendimento Sismico MASW01	38
5.2.3	Stendimento Sismico MASW02	41
5.2.4	Stendimento Sismico MASW03	43
5.2.5	Stendimento Sismico MASW04	45
5.2.6	Stendimento Sismico MASW05	47
5.3	Classificazione del Sottosuolo di Fondazione	49
5.4	Caratterizzazione Elasto-Meccanica dei terreni di Fondazione	50
6	Sismicità dell'area	53
6.1	Parametri Sismici	53
6.2	Microzonazione Sismica delle aree di sedime	57
7	Terreni di fondazione	58

7.1	Parametri Geotecnici di riferimento	58
7.2	Stabilità dei terreni di sedime	60
8	Conclusioni	61

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-ovest dell'abitato di Salice Salentino (LE) dove si intende realizzare un parco eolico composto da n. 5 aerogeneratori con annesse piste e piazzole di stoccaggio.

L'ubicazione delle indagini dirette eseguite per il presente lavoro è riportata nell'elaborato "1.7 Carta Ubicazione Indagini" ed è composta da n. 5 Stendimenti sismici a rifrazione eseguiti in Onde P e Sh e n. 5 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. 5 stendimenti sismici a rifrazione eseguiti con tecnica MASW.
- n.5 stendimenti sismici a rifrazione in Onde P e SH;

L'ubicazione delle indagini eseguite è riportata nell'Allegato "1.7 Carta Ubicazione Indagini" mentre l'intero lavoro si compone dei seguenti elaborati descrittivi e cartografici, quali:

- | | |
|---|---------------------|
| - R02 Relazione Geologico Tecnica | |
| - 1.7 Carta ubicazione indagini | Scala 1:5.000 |
| - 2.7 Carta Geologica | Scala 1:5.000 |
| - 3.7 Carta Geomorfologica | Scala 1:5.000 |
| - 4.7 Carta Idrogeologica | Scala 1:5.000 |
| - 5.7 Profili Geologici | Scala 1:2.000/1.000 |
| - 6.7 Carta della Microzonazione Sismica | Scala 1:5000 |
| - 7.7 Carta di Sintesi Finale della Criticità e Pericolosità Geologica e Geomorfologica | Scala 1:5000 |

2 Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio idrogeologico

L'area interessata dall'installazione dei n. 5 nuovi aerogeneratori ricade nell'agro dei comuni di Salice Salentino, Nardò e Veglie, e precisamente in località "Monteruga".

Essa ricade nell'ambito dell'Unità di management della Puglia (ex Autorità di Bacino della Puglia) appartenente all'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale, che ha adottato i vari PAI delle ex Autorità di Bacino Regionali, apportando modifiche ed integrazioni.

Dalla verifica degli elaborati del PAI dell'Unità di Management della Puglia, è emerso che il territorio interessato dalla realizzazione delle nuove torri eoliche, le opere connesse e l'intero percorso del cavodotto, non sono presenti aree vincolate per la presenza di fenomeni di instabilità da frana. Nelle vicinanze, invece, ma a distanza di sicurezza, come riportato PGRA del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale (direttiva 2007/60/CE, D. L.vo 49/2010, vi sono perimetrate delle aree vincolate per Rischio di alluvioni.

Nell'elaborato 3.7 "Carta Geomorfologica" sono riportate le aree sopra descritte e sono riportate anche le aree che presentano un potenziale Rischio di alluvione, come indicato nel piano APFSR II° Ciclo 2016-2021, che riporta una valutazione preliminare del Rischio Alluvioni ed individuazione delle zone per le quali esiste un rischio potenziale significativo di alluvioni.

Nella zona di sterro interesse vi sono aree vincolate per a Rischio Idrogeologico per Rischio alluvioni calcolate con i tempi di ritorno $T=30$, $T=200$ e $T=500$ anni e anche aree a potenziale rischio alluvioni, ma esse non interferiscono con il progetto in essere poiché lontane dalle torri e dalle opere connesse.

3 Inquadramento Geologico Tettonico Regionale

L'evoluzione geologica del Salento rientra tra gli eventi geotettonici che hanno caratterizzato la storia dinamica dell'area mediterranea a partire dal Paleozoico superiore.

La formazione predominante è il Calccare di Altamura che comprendente i Calcari di Melissano e le Dolomie di Galatina ed affiora estesamente costituendo i rilievi più elevati, denominati "Serre" che caratterizzano il territorio salentino.

L'intervallo stratigrafico affiorante è costituito da un'alternanza tra calcari e calcari dolomitici, micritici, compatti e tenaci di colore biancastro, grigio chiaro o nocciola, in strati di spessore variabile da qualche centimetro a circa un metro.

Nell'Eocene medio (Luteziano – Bartoniano) avviene la deposizione, lungo la costa orientale, di sedimenti carbonatici molto ricchi in Alveolinidi e Nummuliti ed altri foraminiferi bentonici e anche frequenti alghe. I relativi affioramenti, probabilmente espressione di almeno due distinte sequenze sedimentarie, ed indicativi di ambienti di formazione di elevata energia, vengono riferiti all'unità formazionale dei Calcari di Torre Tiggiano (Bosellini et al., 1999).

I Calcari di Torre Specchia la Guardia, dell'Eocene sup. (Priaboniano), ricoprono invece con contatto discordante sia le rocce del Cretaceo che quelle dell'Eocene medio. Quest'ultimi sono rappresentati da calcari e calcari bioclastici e brecce, probabilmente espressione di ambiente di avanzata scogliera.

Nell'Oligocene Superiore, la Piattaforma Apula, anche se solo parzialmente, venne nuovamente interessata dall'accumulo di sedimenti, prevalentemente carbonatici, dove, presumibilmente al margine orientale della Piattaforma si sviluppò un complesso di scogliera (Calcari di Castro: calcari e calcari bioclastici molto ricchi in coralli e alghe) e nell'interno, in corrispondenza di depressioni, in ambiente continentale, avvenne la deposizione di sedimenti di tipo palustre e salmastro (Formazione di Galatone).

Successivamente dopo un'altra breve fase di emersione, tra l'Oligocene ed il Miocene, il mare invase quasi completamente (ad eccezione forse delle parti più elevate delle attuali Serre) la Penisola Salentina, si verificò la deposizione delle Calcareniti di Porto Badisco, lungo i margini della piattaforma e della formazione di Lecce, al suo interno. In entrambi i casi questi depositi poggiano in trasgressione (Margiotta S., 1999), sui sedimenti sottostanti (rispettivamente Calcari di Castro e Formazione di Galatone).

La formazione di Lecce, sovrapposta quindi alla precedente con limite inconforme e giacitura paraconcordante corrisponde a una bancata calcarenitica nella quale sono frequenti macroforaminiferi appartenenti al genere Operculina e echinidi, rappresentati in prevalenza dal genere Scutella.

Le Calcareniti di Porto Badisco presentano caratteri di bio e litofacies molto confrontabili con quelle della formazione di Lecce, ma sono maggiormente detritiche e quindi indicative di un ambiente di più elevata energia.

Tra l'Aquitano superiore ed il Burdigaliano inoltrato, la Piattaforma Apula attraversa un nuovo lungo periodo di emersione al quale fa seguito un'ulteriore trasgressione che si verificò nel Burdigaliano superiore portando alla deposizione della Pietra leccese. Questa ben nota formazione è rappresentata da calcari detritici più o meno compatti, talvolta relativamente friabili, a grana uniforme medio - fine, con una colorazione variabile dal tipico giallo paglierino a tonalità verdastre nella varietà glauconitica (piromafo).

Nel Messiniano inferiore si verificò la deposizione di sedimenti indicativi di una progressiva e rapida diminuzione batimetrica. Espressione di questa unità sono le Calcareniti di Andrano le quali rappresentano la fase regressiva del ciclo miocenico ad eccezione dell'area di Leuca dove costituiscono un ciclo a se stante, successivo ad un periodo di emersione di quell'area avvenuto verosimilmente nel Tortonian superiore (Bossio et al., 1988). In affioramento, questa unità è rappresentata da calcari e calcareniti più o meno marnose, di colore grigio chiaro con sfumature giallastre e biancastre.

Il primo ciclo sedimentario pliocenico è caratterizzato dalla Formazione di Leuca, i cui sedimenti sono rappresentati da biomicriti glauconitiche verdastre, con frequenti esemplari di Ostrea navicularis, poggianti su brecce e conglomerati.

La seconda unità pliocenica è invece rappresentata dalla Formazione di Uggiano la Chiesa (si ricordi che nella C.G.I. II edizione, 1968 le unità plioceniche vengono riferite alle Sabbie di Uggiano la Chiesa e per parte alle Calcareniti del Salento). Questa formazione è costituita da biomicriti ricche in foraminiferi, ostracodi, echinidi, molluschi e frequenti briozoi e alghe rosse. Dal punto di vista litologico si presenta piuttosto omogenea, in genere ben stratificata, di colore giallastro più o meno chiaro e con compattezza variabile. La base della formazione è comunemente caratterizzata da un conglomerato costituito da ciottolotti fosfatici di colore variabile da nocciola chiaro a bruno scuro, di forma e dimensioni estremamente variabili, sino a raggiungere i 20 -25 cm, cementati da una calcareniti chiara più o meno abbondante.

Le Calcareniti del Salento (Calcarenite di Gravina sensu Ricchetti 1988: per correlazione stanti le analogie stratigrafiche di facies e di età con la formazione codificata nell'area murgiana) costituiscono quindi il primo ciclo pleistocenico e trasgrediscono su formazioni differenti evidenziando con le stesse una più o meno evidente discordanza angolare.

Questa unità è caratterizzata da un livello conglomeratico basale sul quale poggia una sequenza prevalentemente carbonatica e carbonatica detritica, più o meno grossolana, con colorazione variabile dal giallastro a tonalità bruno – rossastre, con stratificazione in genere ben evidente.

Sulla Calcarenite di Gravina, che costituisce l'unità di apertura del ciclo sedimentario, si ritrovano le Argille subappennine, che rappresentano la fase batimetricamente più profonda del ciclo stesso. Quest'ultima unità è caratterizzata da argille e argille marnose – sabbiose, a luoghi fittamente stratificate, di colore grigio azzurro e ricche in fossili e affiora lungo fasce ristrette del settore occidentale del Salento leccese mentre dai dati delle stratigrafie relative alle perforazioni è risultato che la stessa unità può avere, nel sottosuolo, spessori considerevoli (anche 70 m - 80 m).

La storia geologica più recente (Pleistocene medio – superiore) è stata caratterizzata da un sollevamento regionale, con ripetute interferenze di oscillazioni glacioeustatiche del livello marino il cui effetto è stata la sedimentazione di depositi carbonatici a grana grossa ben stratificati e disposti a terrazzi indicanti le relative variazioni del livello del mare (Deposit marini terrazzati).

3.1 Geologia dell'area oggetto di studio

Le informazioni ricostruite sulla base della letteratura scientifica specializzata e dalle indagini geognostiche condotte e consultate hanno permesso di ricostruire la presenza di circa 1,20 m di terreno vegetale avente scarse caratteristiche geotecniche.

Nell'area di studio è stata riconosciuta, sulla base del rilevamento geologico effettuato e delle indagini consultate, le seguenti formazioni geologiche:

Sabbie calcaree e sabbie limose argillose costituite da sabbie fini e limi argillosi giallastre e verdastre con noduli calcarei biancastri e sottili livelli calcarenitici a grana fine.

Questa formazione, di forma lenticolare, poggia in trasgressione direttamente sulle calcareniti di Gravina e presenta uno spessore massimo di 25/30 mt.

Costituiscono il livello intermedio delle Calcareniti del Salento e sono in facies terminale del ciclo sedimentario calabriano.

L'unità è costituita essenzialmente da sabbie fini e sabbie limose di colore giallastro con intercalazioni di noduli calcarenitici. Tra gli orizzonti più francamente sabbiosi si intercalano quelli a prevalente componente limoso-argillosa.

Le caratteristiche fisiche e meccaniche di questi terreni sono state ricostruite utilizzando i risultati dello Studio geologico Tecnico a supporto del P.R.G. del Comune di Salice Salentino a cura dei dott. R. Gnani e G. Calò, 1985.

I litotipi attraversati dalle indagini presentano caratteristiche fisico meccaniche variabili da mediocri a scadenti in senso verticale poiché si passa da terreni sabbiosi argillosi a terreni più francamente argillosi.

Quindi cautelativamente alle sabbie limose passanti ad argille si possono assegnare i seguenti parametri geotecnici:

$$\gamma = 17000 \text{ N/mc (Peso di volume)}$$

$$c' \approx 0,0 \text{ kg/cmq (Coesione efficace)}$$

$$\varphi = 27^\circ \text{ (Angolo di attrito interno)}$$

Calcareniti Argilloso limose, composti da calcareniti organogene di norma poco diagenizzate, porose e friabili di colore bianco-giallastro talvolta rossastro per alterazione.

La grana della roccia varia da zona a zona e varia anche dal basso verso l'alto, poiché l'intera Formazione abbraccia rocce calcarenitiche di età diverse.

Nella zona di stretto interesse tale formazione affiora a nord est dell'area del parco eolico in progetto dove le caratteristiche litostratigrafiche sono simili alla Calcareniti di Gravina a cui si fa riferimento.

Calcari, calcari dolomitici e Dolomie: I calcarei cretacei affioranti nell'area di stretto interesse sono distinti in due principali litostratigrafie, quali: Dolomie di Galatina e Calcari di Melissano (Martinis, 1967), (Ricchetti, 1971 e 1972). Tali autori hanno dimostrato non solo il passaggio verticale tra le dolomie e i calcari sovrastanti ma anche la loro correlazione con la Formazione dei Calcari di Altamura i quali rappresentano la parte affiorante del basamento rigido mesozoico, formato da un complesso roccioso costituito da un'alternanza di banchi e strati di calcari detritici chiari a grana fine di calcari dolomitizzati e di dolomie.

I passaggi verticali dagli orizzonti calcarei a quelli dolomitici sono difficilmente localizzabili poiché gli affioramenti sono discontinui e spesso sono mascherati da estese coperture di terra rossa residuale

Nell'area di studio i litotipi più frequenti e rappresentativi sono:

- 1) Dolomie grigie e grigio-scure grana fine, massicce o in grossi banchi;
- 2) Dolomie grigio-chiare massicce o in banchi;
- 3) Calcari detritici a grana più o meno fine, di colore bianco, a luoghi con abbondanti macrofossili di norma in strati o banchi;
- 4) Calcari, calcari dolomitico e dolomie cristalline cariate, senza stratificazione.

L'origine dei litotipi calcarei è biochimica, mentre quella dolomitica è di diagenesi secondaria quella delle dolomie.

L'ambiente di sedimentazione appare di mare basso con episodi di acqua salmastra,

4 Morfologia, Idrogeologia ed idrologia

L'area del parco in progetto come l'intero entroterra salentino risulta essere completamente pianeggiante privo di strutture morfologiche rilevanti, escludendo le caratteristiche forme carsiche di superficie.

Dal punto di vista idrogeologico, sulla base delle caratteristiche litologiche osservate ed in precedenza descritte, è possibile valutare la permeabilità media delle formazioni presenti nel territorio studiato, quali: Formazioni permeabili per porosità e formazioni permeabili per fratturazione e carsismo.

Le Formazioni permeabili per porosità sono le formazioni sabbiose limose calcaree e le Formazione calcarenitica e calcarenitica argillosa; mentre, le formazioni permeabili per fratturazione e carsismo solo le formazioni calcaree e calcareo dolomitiche di base.

Dal punto di vista idrologico superficiale, nel territorio studiato non esiste una rete idrografica superficiale sviluppata. I solchi erosivi rilevati corrispondono a linee temporanee di deflusso delle acque piovane che dopo percorsi spesso limitati terminano in corrispondenza di inghiottitoi carsici.

Spesso tali solchi sono stati canalizzati artificialmente e modificati per l'allontanamento delle acque piovane.

In profondità, però si riscontrano falde idriche distinte, di queste la più superficiale è contenuta nelle sabbie limose argillose pleistoceniche, presentano poca profondità e risultano cospicue solo in zone in cui alla base si trovano terreni più argillosi.

Quella profonda, invece, interessa i calcari cretacei dove la fitta rete di fessure, fratture e cavità che interessa l'ammasso roccioso fa sì che al suo interno possa circolare l'acqua di falda. Tale falda viene alimentata tramite le infiltrazioni dalla superficie di acque piovane e trova il suo naturale equilibrio attraverso gli sversamenti che avvengono in corrispondenza della linea di costa, dove le acque arrivano in virtù del gradiente idraulico diretto dalle zone interne verso la costa.

Il libello di base su cui tale scorrimento si esplica è rappresentato dalla superficie della acqua marine di invasione continentale sulla quale l'acqua di falda dolce galleggia grazie alla minore densità.

Nell'elaborato 4.7 "Carta Idrogeologica" si riportano i terreni della zona di stretto interesse che presentano una diversa permeabilità

5 Indagini Geognostiche

Le aree interessate dall'intervento sono localizzate nella zona Est dell'ambito amministrativo del Comune di Salice Salentino (LE), così come riportato in allegato 1.7 "Planimetria Ubicazione Indagini". La campagna di indagini geognostiche di tipo indirette, ha visto la realizzazione di:

- N° 5 Prospezioni Sismiche a Rifrazione in onde P per la ricostruzione del modello sismo-stratigrafico e la determinazione delle principali grandezze elasto-meccaniche dei terreni investigati;
- N° 5 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: 1.000)

Tavola A. 2 Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P (Scala 1: 200)

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° 5 prospezioni sismiche a rifrazione in onde P e n° 5 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.



Tavola A. 1
"Ubicazione Indagini in Situ"
Sito WTG01

Legenda

-  Stendimento sismico
(ST01= 33,00 ml)
-  Gn Geofono
-  Battuta per indagine MASW
-  Impianto eolico

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

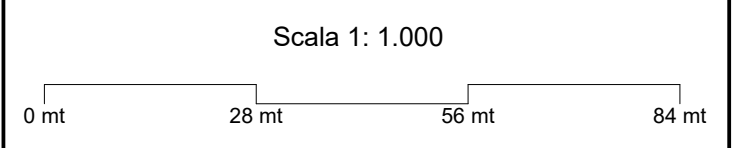
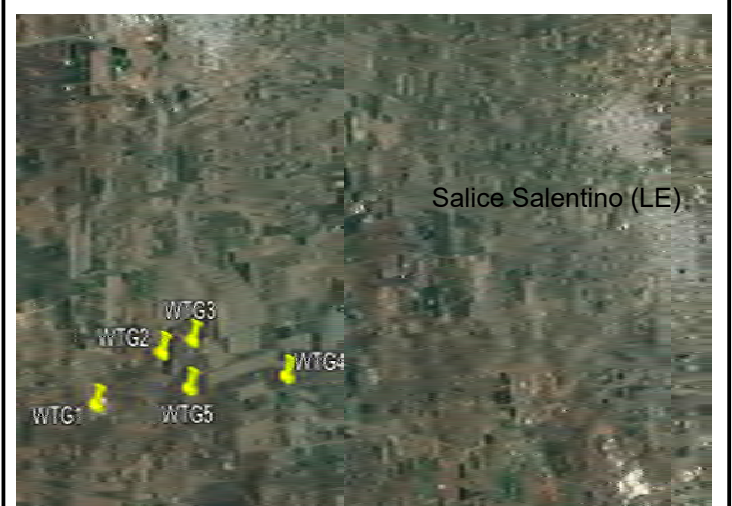


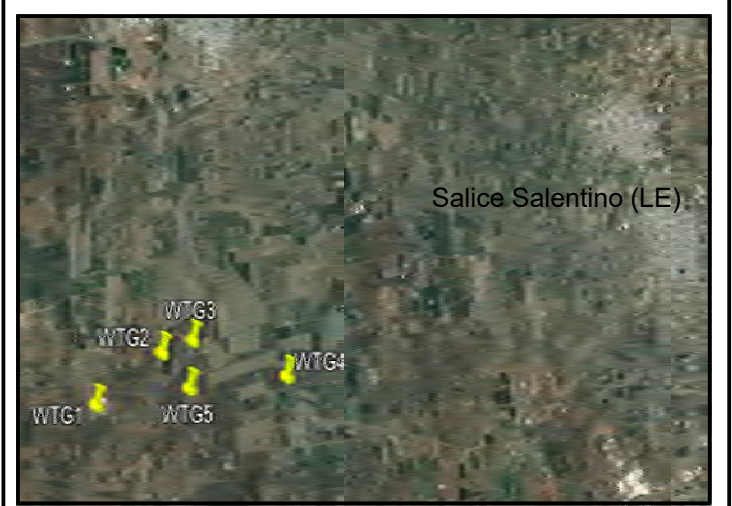


Tavola A. 1
"Ubicazione Indagini in Situ"
Sito WTG02

Legenda

- Stendimento sismico (ST02= 33,00 ml)
- Gn Geofono
- Battuta per indagine MASW
- Impianto eolico

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



Scala 1: 1.000



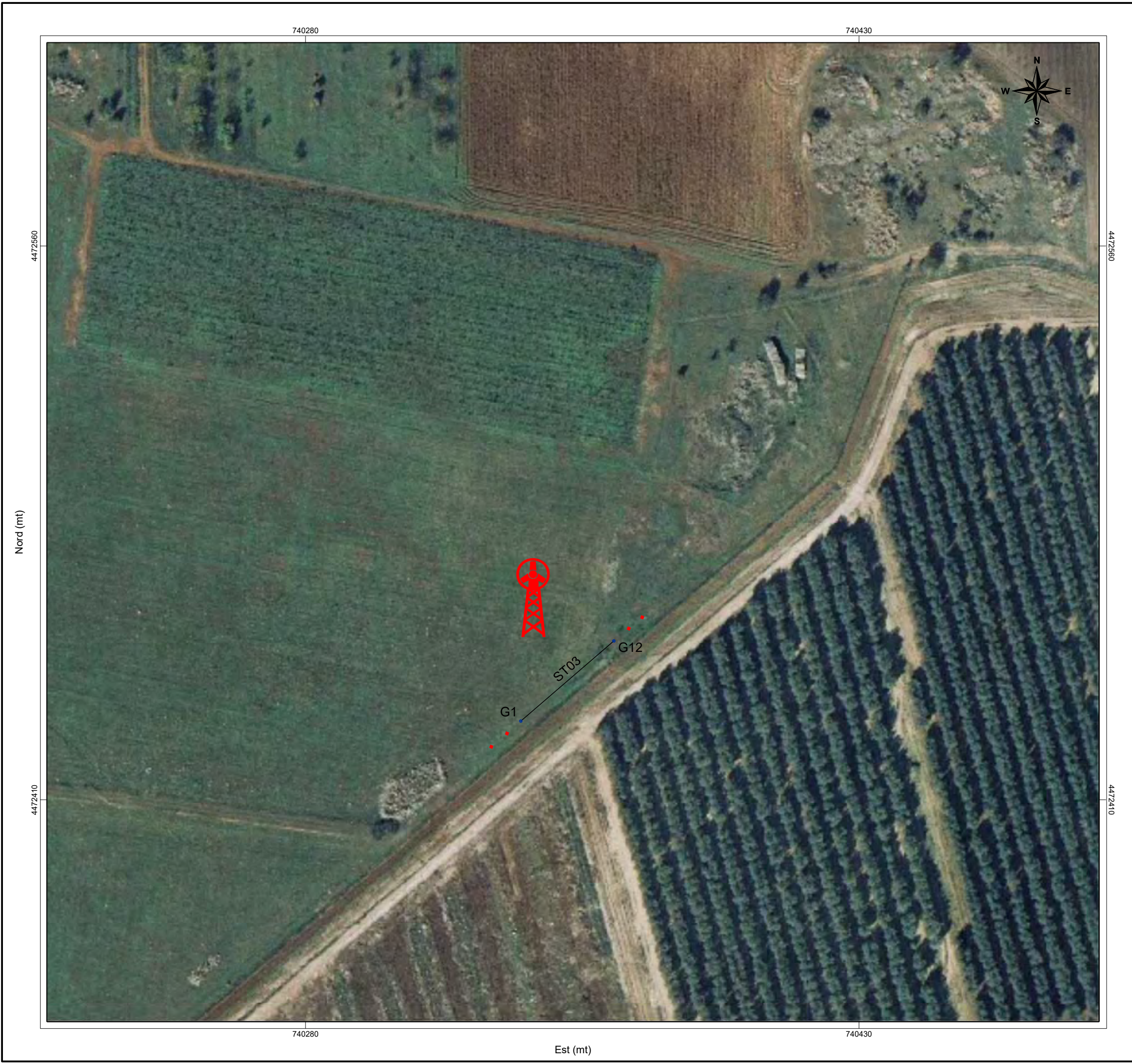
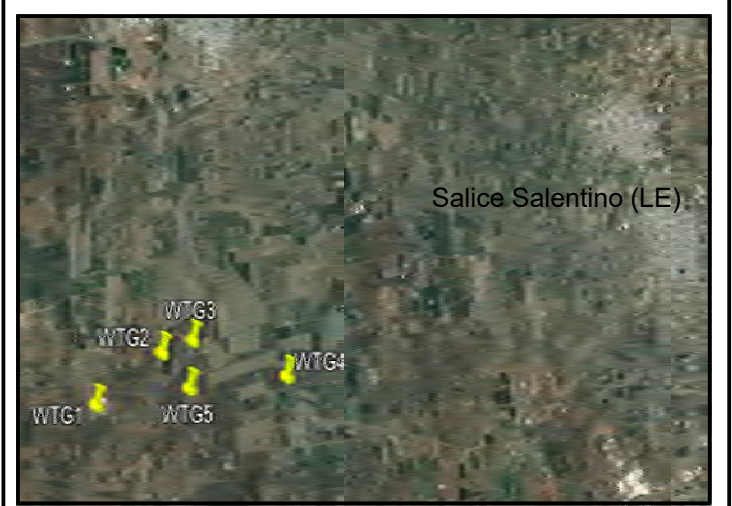


Tavola A. 1
"Ubicazione Indagini in Situ"
Sito WTG03

Legenda

-  Stendimento sismico (ST03= 33,00 ml)
-  Gn Geofono
-  Battuta per indagine MASW
-  Impianto eolico

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



Scala 1: 1.000





Tavola A. 1
"Ubicazione Indagini in Situ"
Sito WTG04

Legenda



Stendimento sismico
(ST04= 33,00 ml)



Gn
Geofono

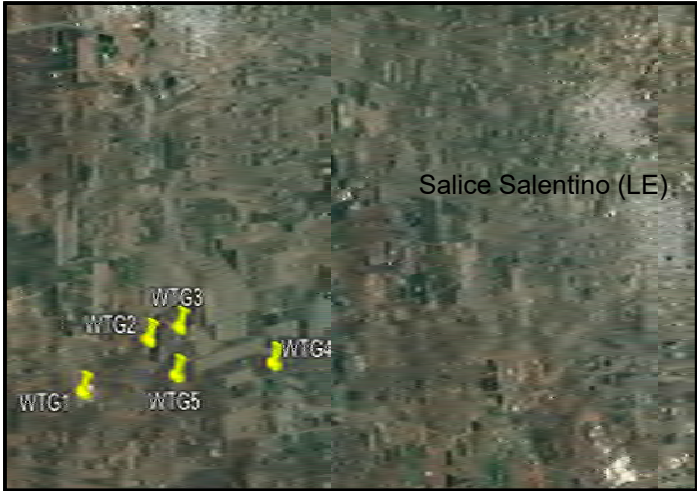


Battuta per indagine MASW



Impianto eolico

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



Salice Salentino (LE)

Scala 1: 1.000

0 mt

28 mt

56 mt

84 mt

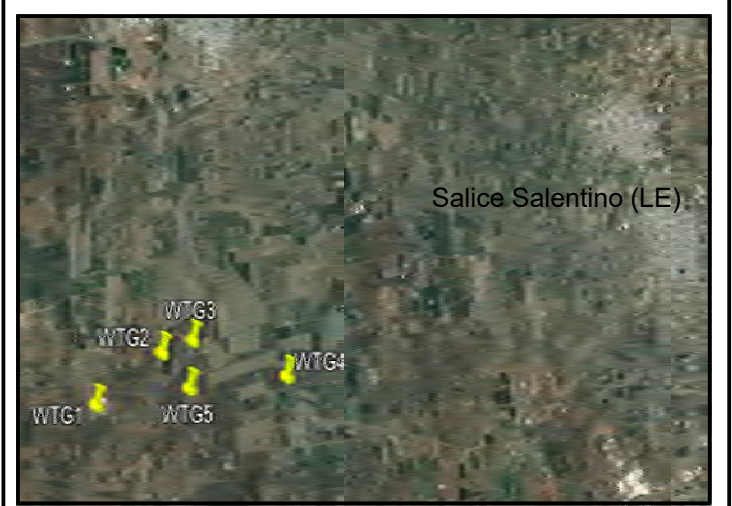


Tavola A. 1
"Ubicazione Indagini in Situ"
Sito WTG05

Legenda

-  Stendimento sismico
(ST05= 33,00 ml)
-  Gn Geofono
-  Battuta per indagine MASW
-  Impianto eolico

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

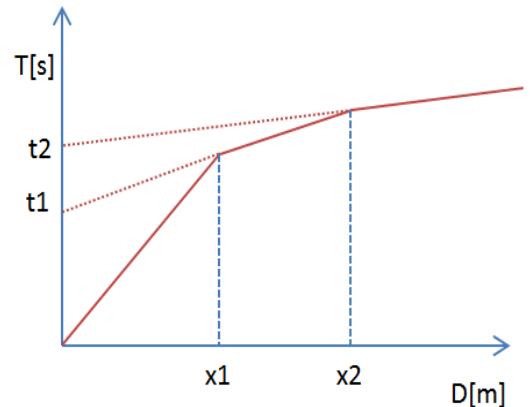


Scala 1: 1.000

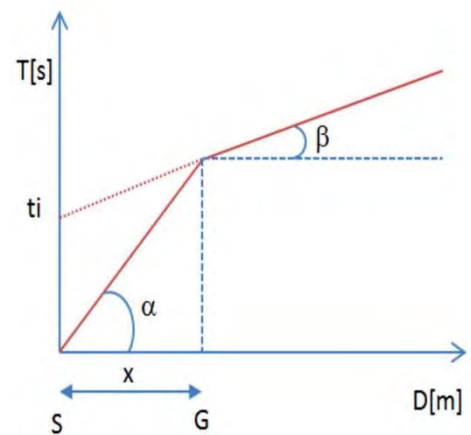


5.1 Indagini Geognostiche Indirette: Prospezioni Sismiche a Rifrazione

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 λ , 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 λ , equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza θ_i mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione θ_r . La formula matematica è: $v_2 \sin \theta_i = v_1 \sin \theta_r$. 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 $\theta_i > \theta_r$ 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 $\theta_i < \theta_r$ ed esiste un angolo limite d'incidenza per cui $\theta_r = 90^\circ$ ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'angolo limite è definito come: $\theta_i \arcsin (v_1 / v_2)$.



Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo T dato dalla relazione: $T = x_i/V_1$, dove x_i è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione. L'equazione precedente rappresenta una retta che



passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità V_1 del primo mezzo come: $V_1 = 1/\tan\alpha$. I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette. La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati punti di ginocchio e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo t_i che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione. Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi. Infine, dalla conoscenza dei tempi t_i è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

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

5.1.1 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 SV;
- 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 3 mt per tutti gli stendimenti realizzati, denominati di seguito rispettivamente ST01, ST02, ST03, ST04 e ST05, 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:

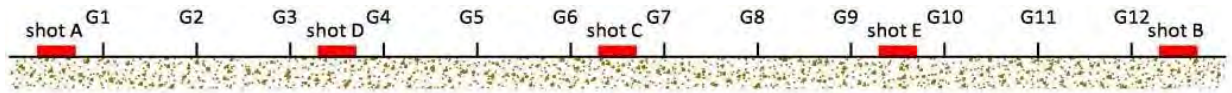


Figura 1-Configurazione geometrica dello stendimento sismico a rifrazione

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 $h < 0,25 \cdot z$;
- 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 _p (m/sec)	Litotipo	V _p (m/sec)
Areato superficiale	300-800	Calcare 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
Calcare fratturato	700-4200	Gesso	1800-4000
Calcare 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)

5.1.2 Stendimento Sismico ST01

Lo stendimento è stato realizzato su di un'area destinata ad uliveto, senza variazione altimetriche significative, per una estensione totale della linea sismica pari a 33 mt così come si può osservare in Fotografia 1, 2, 3 e 4. Per l'interpretazione litostratigrafica dell'indagine di sismica a rifrazione si faccia riferimento in allegato alla Tavola A. 2 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P".



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



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



Fotografia 3-Sismografo PASI modello GEA24



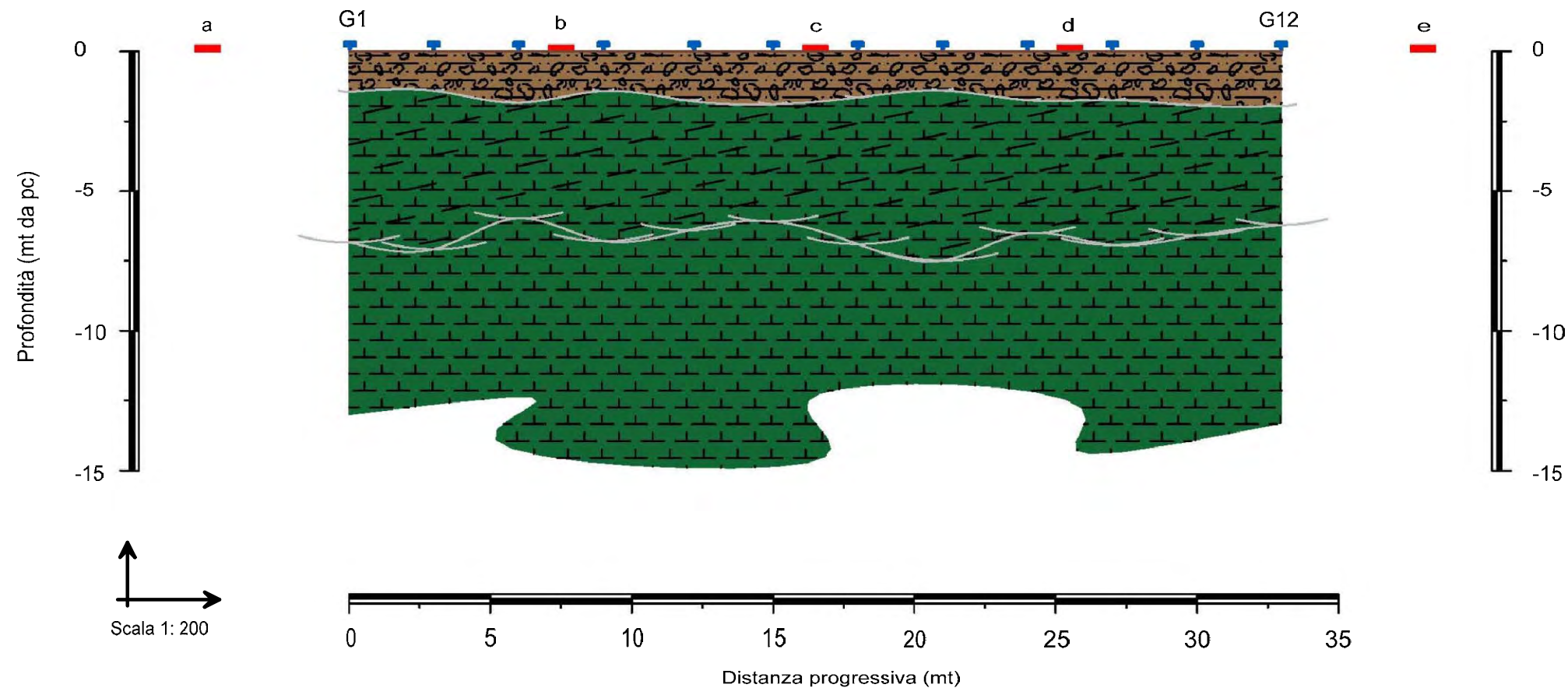
Fotografia 4-Geofono verticale

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

1. **Sismostrato A:** terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa debolmente limosa inglobante relitti e blocchi di natura calcarea, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 904 m/sec per una profondità media di circa -1,60 mt da pc;

2. **Sismostrato B:** deposito di natura calcarea debolmente fratturato e compatto, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 2603 m/sec per una profondità media di circa -6,70 mt da pc;
3. **Sismostrato C:** deposito di natura calcarea compatto e tenace, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 3704 m/sec sino a fine indagine ($\approx$ -13 mt da pc).

Sezione Stratigrafica - Stendimento ST01 - Onde P



Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi

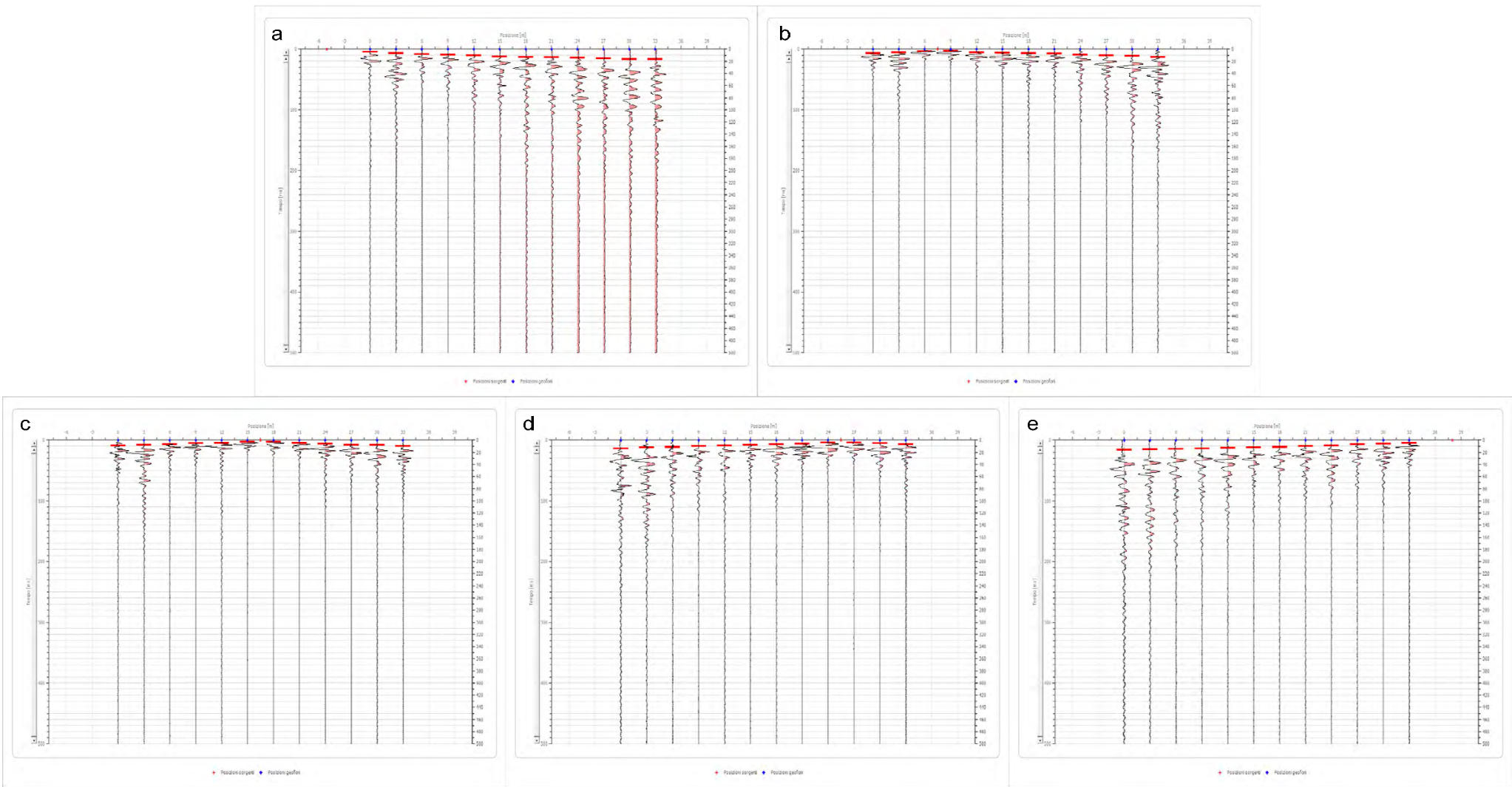


Tavola A. 2

"Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"
Stendimento ST01

Legenda

- Terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa debolmente limosa inglobante relitti e blocchi di natura calcarea, consistente
 $V_p = 904 \text{ m/sec}$
- Deposito di natura calcarea debolmente fratturato e compatto
 $V_p = 2603 \text{ m/sec}$
- Deposito di natura calcarea compatto e tenace
 $V_p = 3704 \text{ m/sec}$
- Geofono
- Punto di energizzazione

5.1.3 Stendimento Sismico ST02

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 33 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".



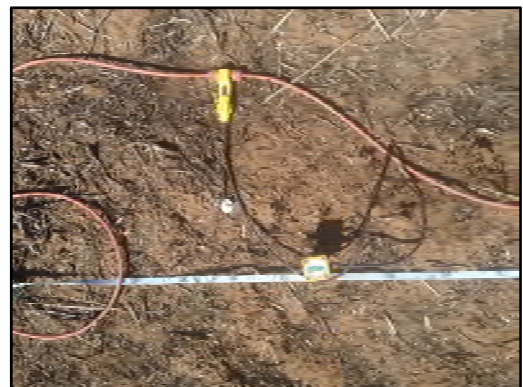
Fotografia 5-Visione verso Nord dello stendimento sismico ST02



Fotografia 6-Visione verso Sud dello stendimento sismico ST02



Fotografia 7-Sismografo PASI modello GEA24



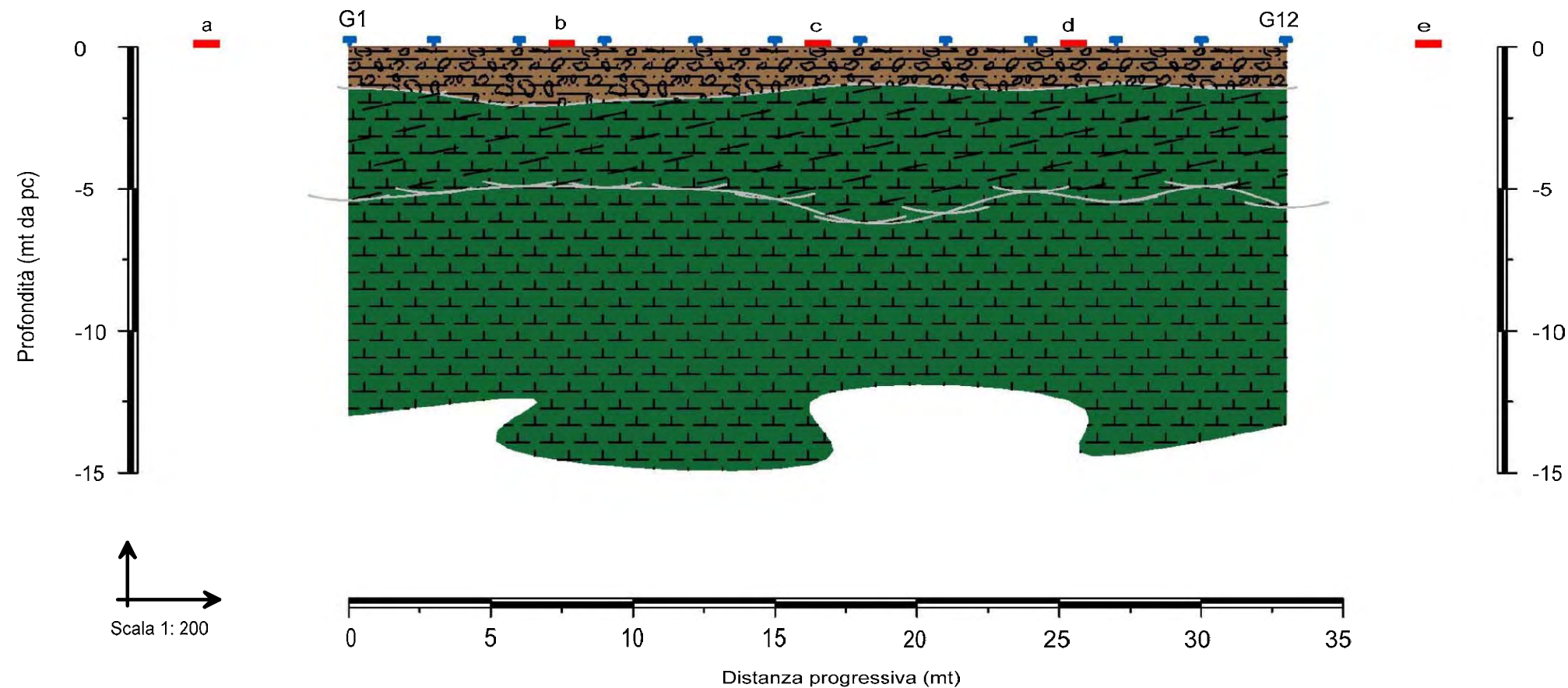
Fotografia 8-Geofono verticale

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

1. **Sismostrato A:** terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa debolmente limosa inglobante relitti e blocchi di natura calcarea, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 867 m/sec per una profondità media di circa -1,50 mt da pc;

2. **Sismostrato B:** deposito di natura calcarea debolmente fratturato e compatto, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 2499 m/sec per una profondità media di circa -5,30 mt da pc;
3. **Sismostrato C:** deposito di natura calcarea compatto e tenace, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 3173 m/sec sino a fine indagine ($\approx$ -13 mt da pc).

Sezione Stratigrafica - Stendimento ST02 - Onde P



Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi

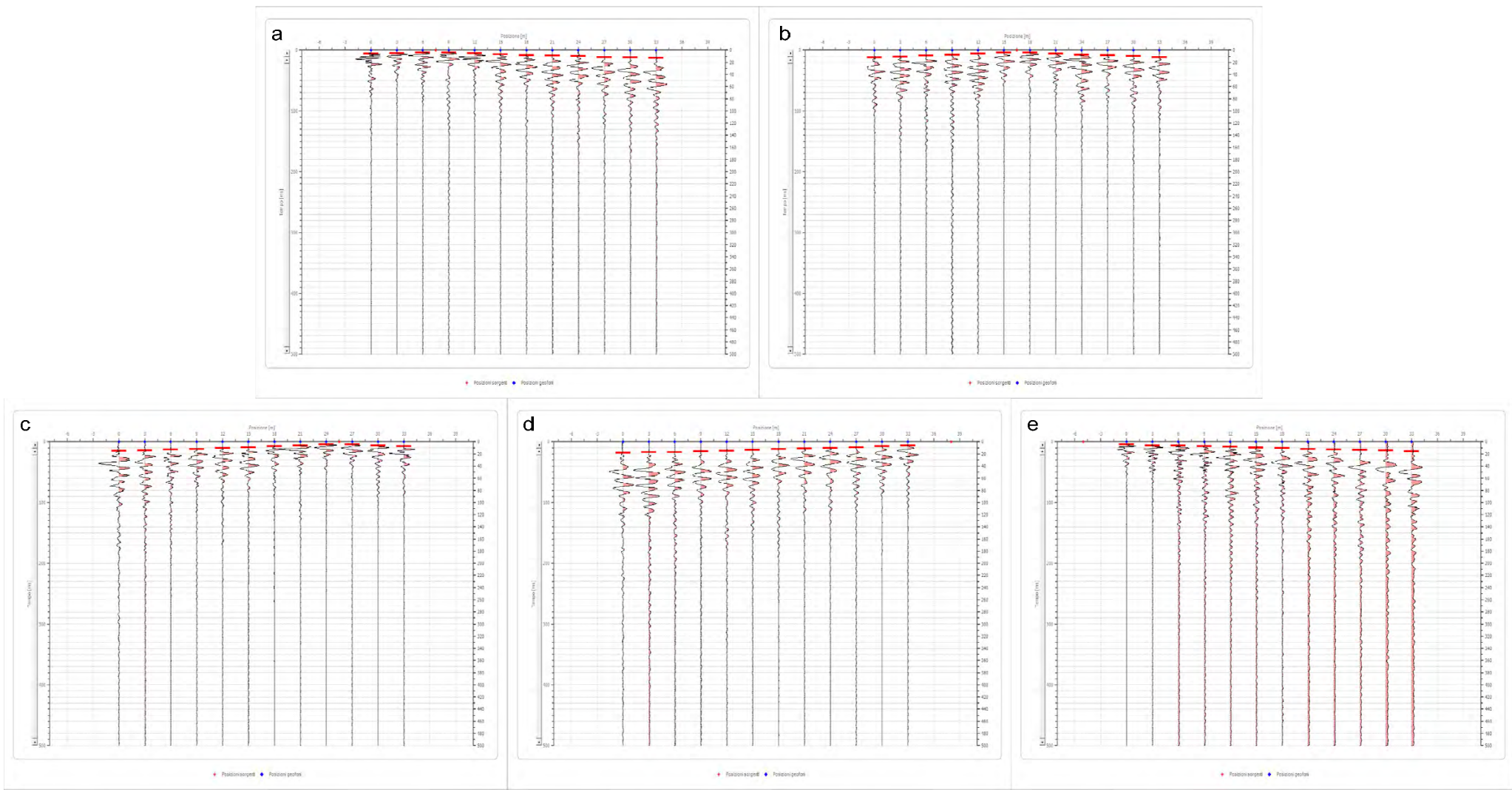


Tavola A. 2

"Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P"
Stendimento ST02

Legenda



Terreno vegetale e deposito di natura
sabbiosa debolmente limosa inglobante
relitti e blocchi di natura calcarea,
consistente
 $V_p = 867$ m/sec



Deposito di natura calcarea
debolmente fratturato e compatto
 $V_p = 2499$ m/sec



Deposito di natura calcarea
compatto e tenace
 $V_p = 3173$ m/sec



Geofono



a
Punto di energizzazione

5.1.4 Stendimento Sismico ST03

Lo stendimento è stato realizzato su di un'area destinata ad uliveto, senza variazioni altimetriche significative, per una estensione totale della linea sismica pari a 33 mt così come si può osservare in Fotografia 9, 10, 11 e 12. Per l'interpretazione litostratigrafica dell'indagine di sismica a rifrazione si faccia riferimento in allegato alla Tavola A. 2 "Sezioni Stratigrafiche Interpretative-Onde P".



Fotografia 9-Visione verso Sud-Ovest dello stendimento sismico ST03



Fotografia 10-Visione verso Nord-Est dello stendimento sismico ST03



Fotografia 11-Sismografo PASI modello GEA24



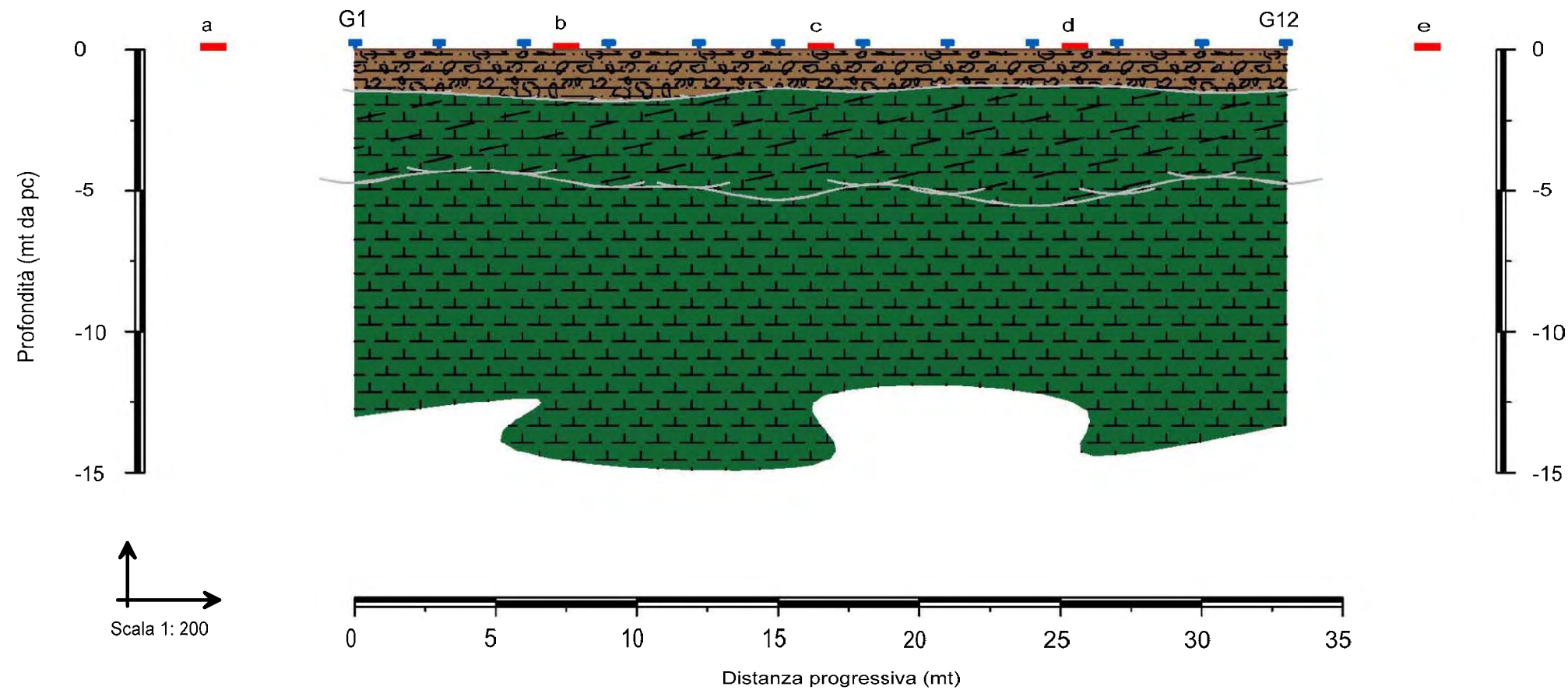
Fotografia 12-Geofono verticale

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:

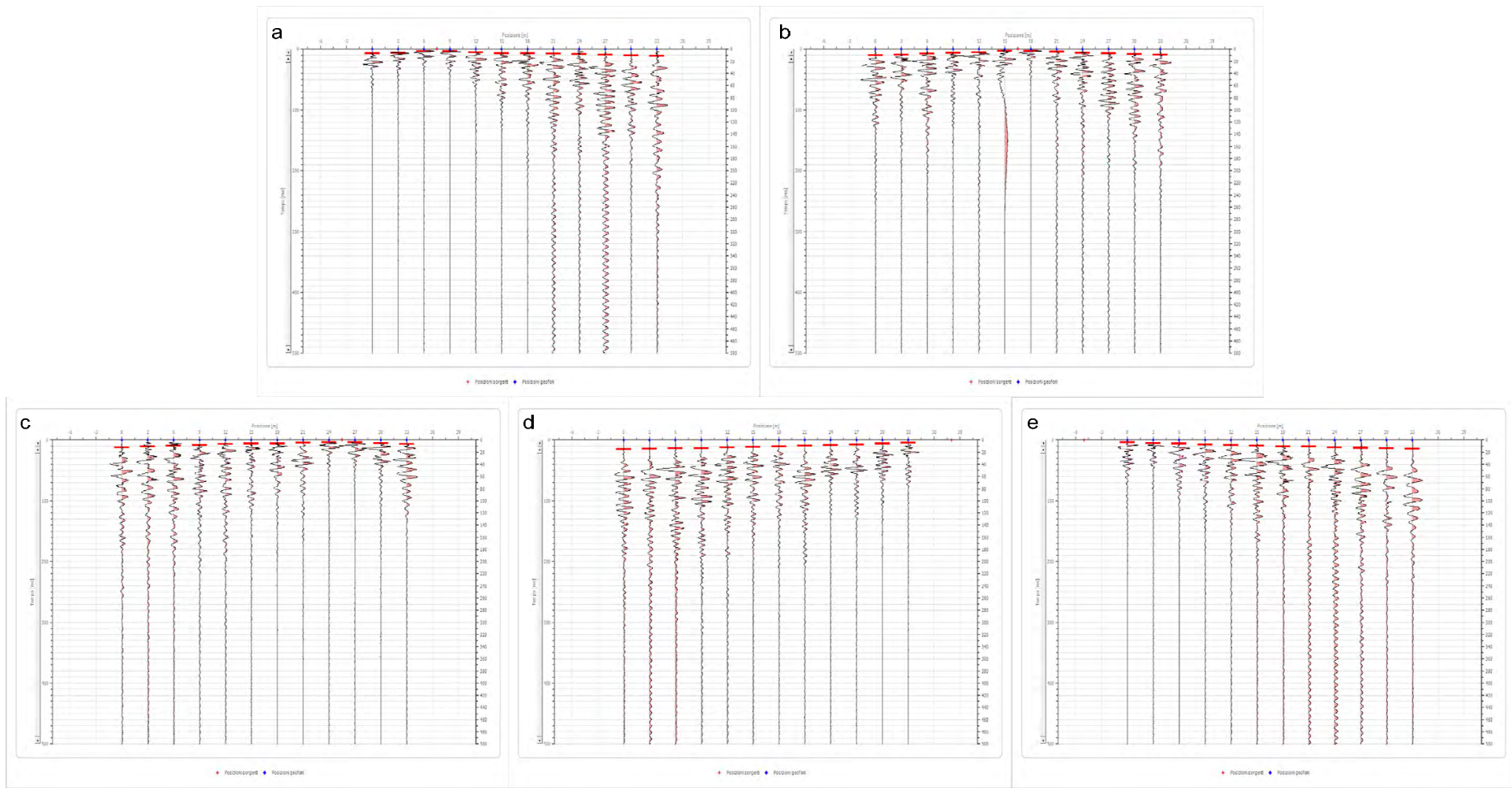
1. **Sismostrato A:** terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa debolmente limosa inglobante relitti e blocchi di natura calcarea, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 918 m/sec per una profondità media di circa -1,50 mt da pc;

2. **Sismostrato B:** deposito di natura calcarea debolmente fratturato e compatto, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 2959 m/sec per una profondità media di circa -4,90 mt da pc;
3. **Sismostrato C:** deposito di natura calcarea compatto e tenace, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 3546 m/sec sino a fine indagine ($\approx$ -13 mt da pc).

Sezione Stratigrafica - Stendimento ST03 - Onde P



Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi



5.1.5 Stendimento Sismico ST04

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 33 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 Nord-Ovest dello stendimento sismico ST04



Fotografia 14-Visione verso Sud-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 debolmente limosa, poco consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 407 m/sec per una profondità media di circa -2,20 mt da pc;
2. **Sismostrato B:** deposito di natura sabbioso-limosa, ben consistente, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 1315 m/sec per una profondità media di circa -7,30 mt da pc;
3. **Sismostrato C:** deposito di natura calcarea debolmente fratturato e compatto, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 2309 m/sec sino a fine indagine ($\approx$ -13 mt da pc).

-

Terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa debolmente limosa, poco consistente
 $V_p = 407 \text{ m/sec}$
-

Deposito di natura sabbioso-limosa, ben consistente
 $V_p = 1315 \text{ m/sec}$
-

Deposito di natura calcarea debolmente fratturato e compatto
 $V_p = 2309 \text{ m/sec}$
-

Geofono
-

a
Punto di energizzazione

5.1.6 Stendimento Sismico ST05

Lo stendimento è stato realizzato su di un'area destinata a seminativo agricolo, con variazioni altimetrica tra il primo e l'ultimo geofono di circa 2,40 mt, per una estensione totale della linea sismica pari a 33 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

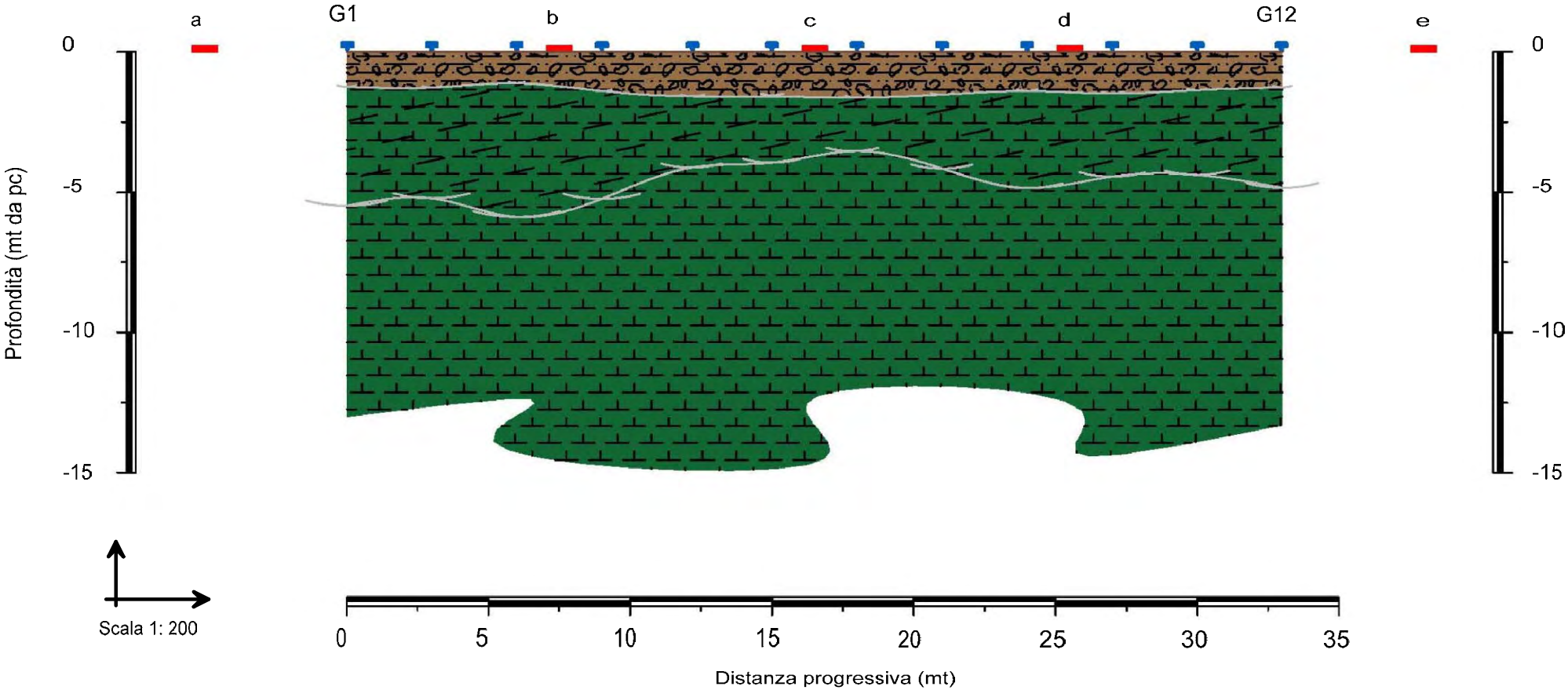


Fotografia 20-Geofono verticale

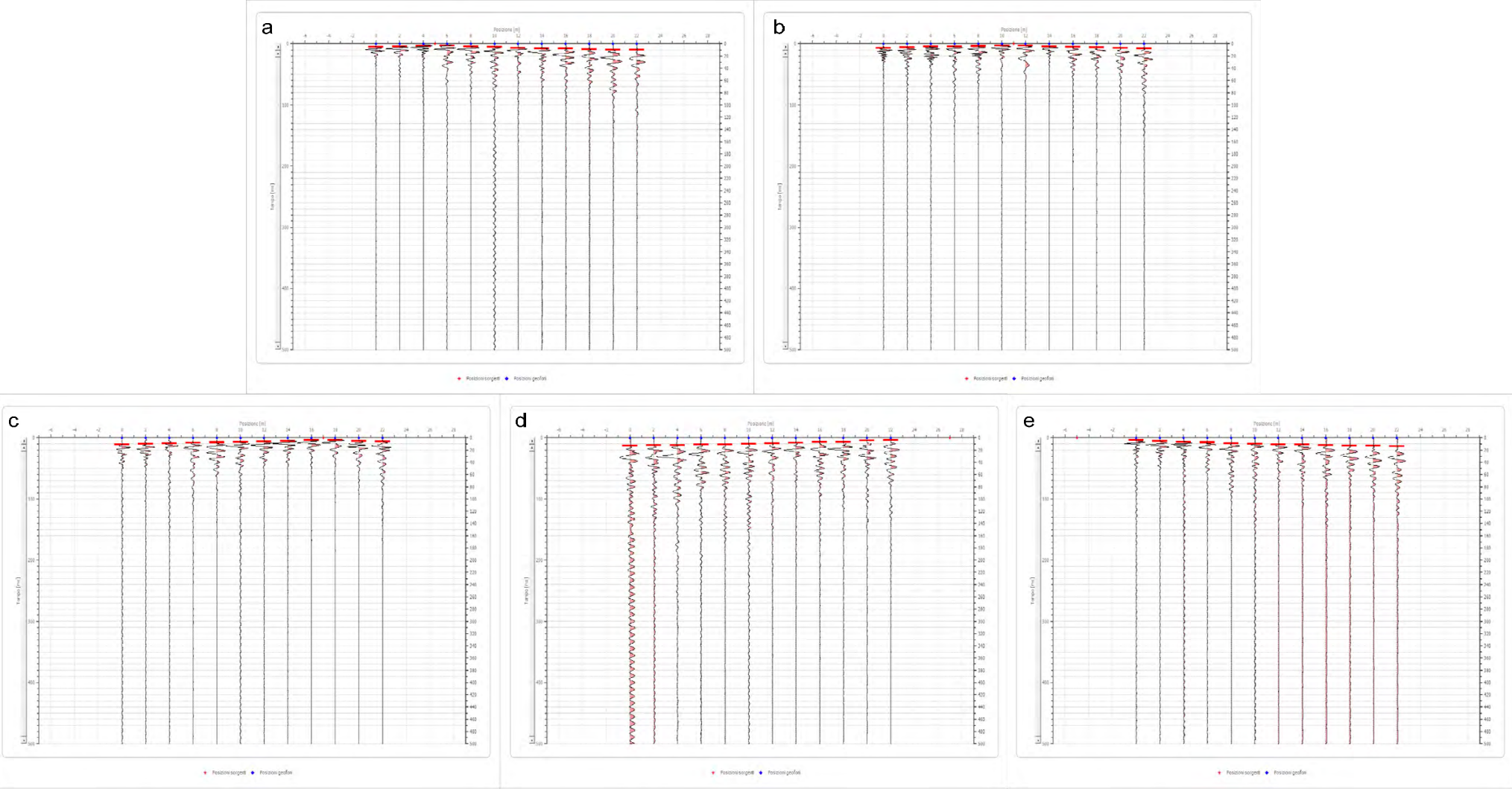
Dai valori di velocità di propagazione delle onde P, è stato possibile ricavare la sismostruttura del sottosuolo investigato, identificando tre sismostrati, ciascuno caratterizzato da un determinato valore medio di velocità delle onde di compressione. Assimilando tali valori di velocità di propagazione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

1. **Sismostrato A:** terreno vegetale e deposito di natura sabbiosa debolmente limosa inglobante relitti e blocchi di natura calcarea, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 825 m/sec per una profondità media di circa -1,40 mt da pc;
2. **Sismostrato B:** deposito di natura calcarea debolmente fratturato e compatto, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 2453 m/sec per una profondità media di circa -4,70 mt da pc;
3. **Sismostrato C:** deposito di natura calcarea compatto e tenace, caratterizzato da valori medi di velocità delle onde P pari a circa 3070 m/sec sino a fine indagine (~13 mt da pc).

Sezione Stratigrafica - Stendimento ST05 - Onde P



Sismogrammi Acquisiti in Situ - Picking Primi Arrivi



5.2 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 VS, 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.

5.2.1 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 3 mt per tutti gli stendimenti, denominati di seguito rispettivamente MASW01, MASW02, MASW03, MASW04, e MASW05,

considerando le stesse linee utilizzate per le 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.

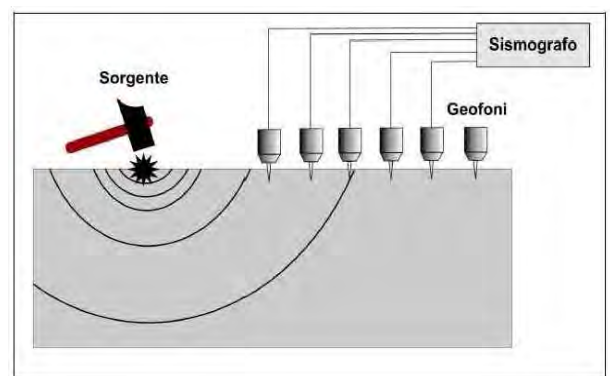


Figura 2-Schema realizzativo indagine MASW (Onde di Rayleigh)

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 (VS) può essere così descritta:

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;

- 1) Processing dei sismogrammi acquisiti individuando le onde di superficie utili alla costruzione dello spettro di velocità ed individuazione delle curve di dispersione;
- 2) 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.

5.2.2 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 12° geofono (Figura 3) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (Figura 4).

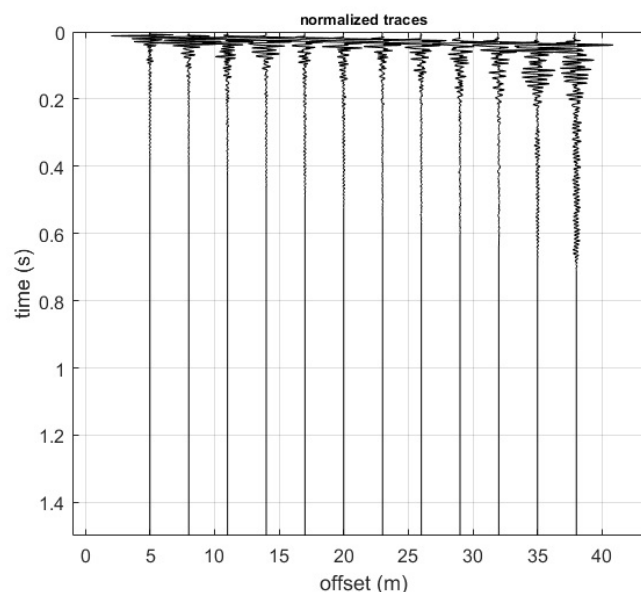


Figura 3-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

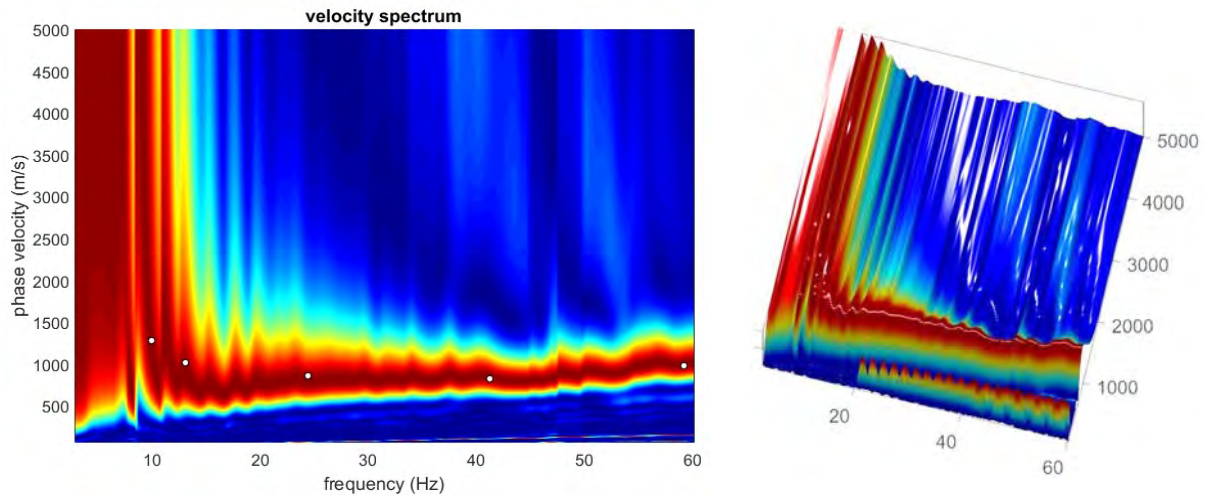


Figura 4-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi)

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 VS 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 16,50 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 "misft evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, Figura 8.

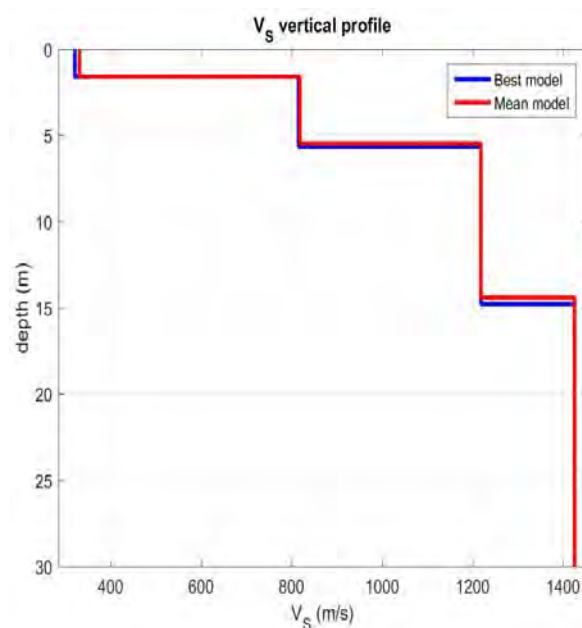


Figura 5-Profilo $V_{S, med} = 1067$ m/sec calcolato a partire dal piano campagna

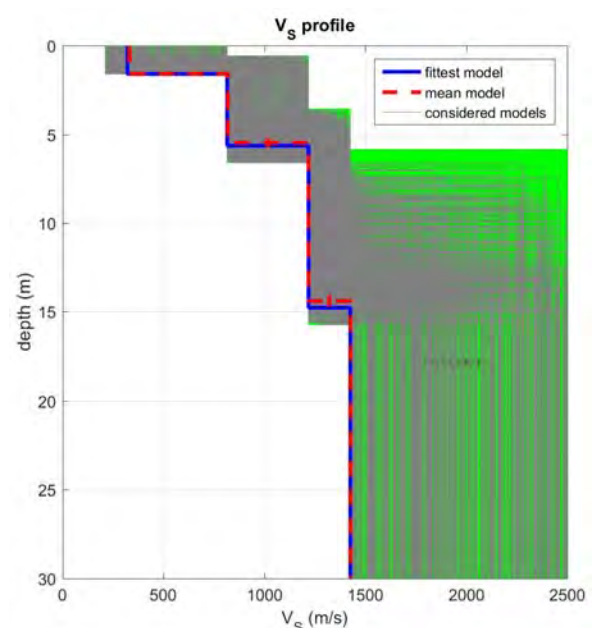


Figura 6-Modelli testati durante il processo di inversione

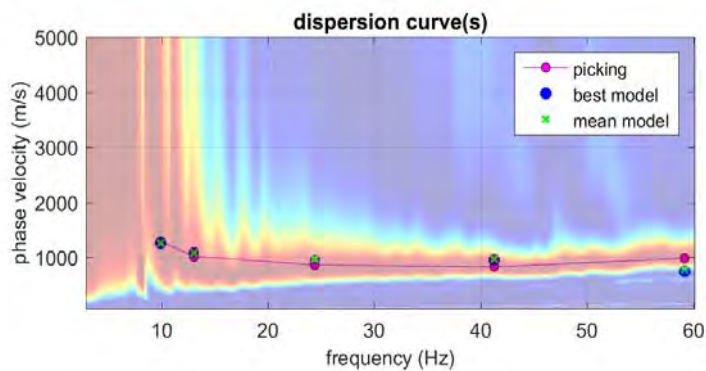


Figura 7-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)

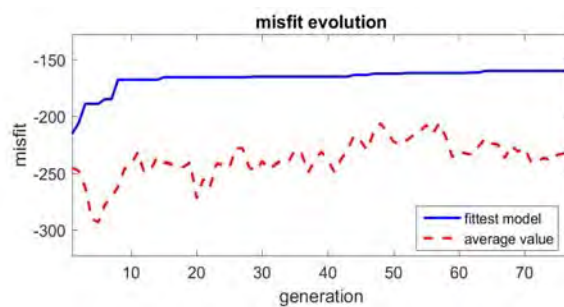


Figura 8-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

5.2.3 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 - 10 mt dal 1° geofono (Figura 9) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (Figura 10).

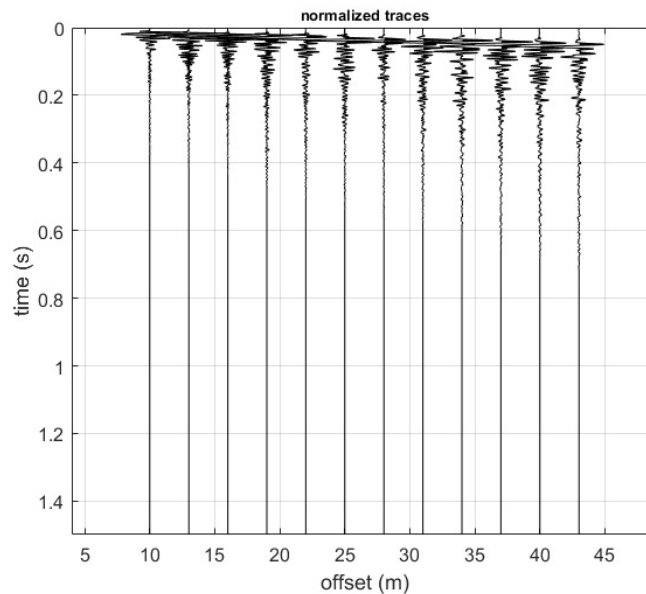


Figura 9-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

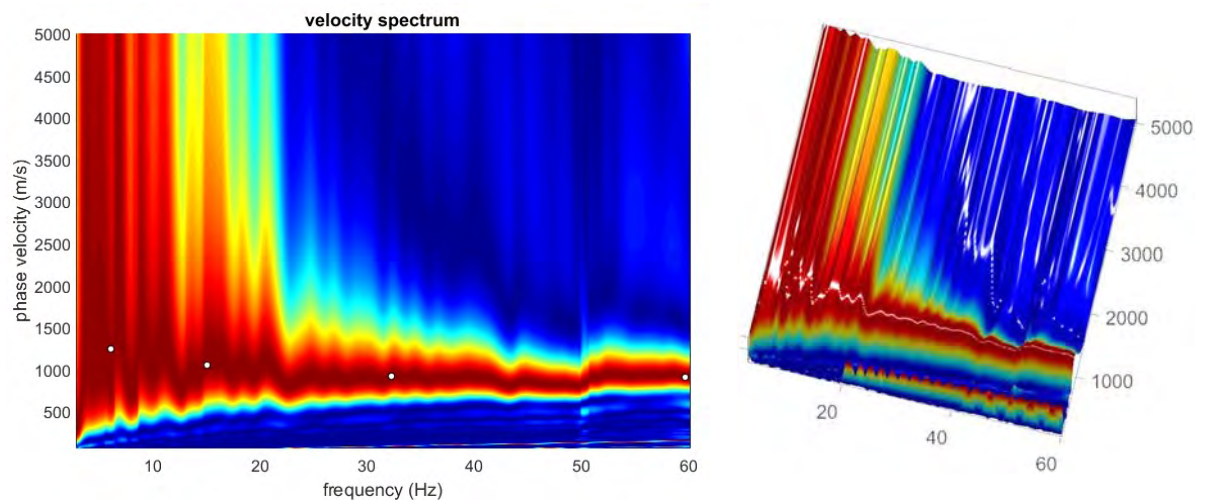


Figura 10-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi)

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 VS 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 16,50 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.

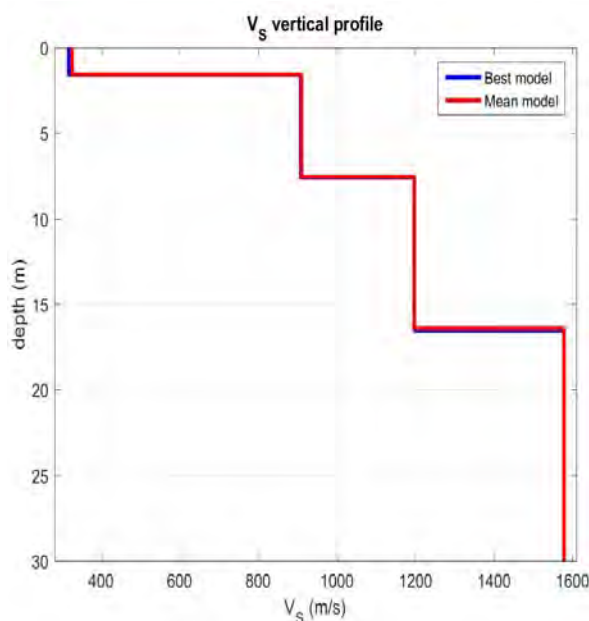


Figura 11-Profilo $V_{s, med} = 1085$ m/sec calcolato a partire dal piano campagna

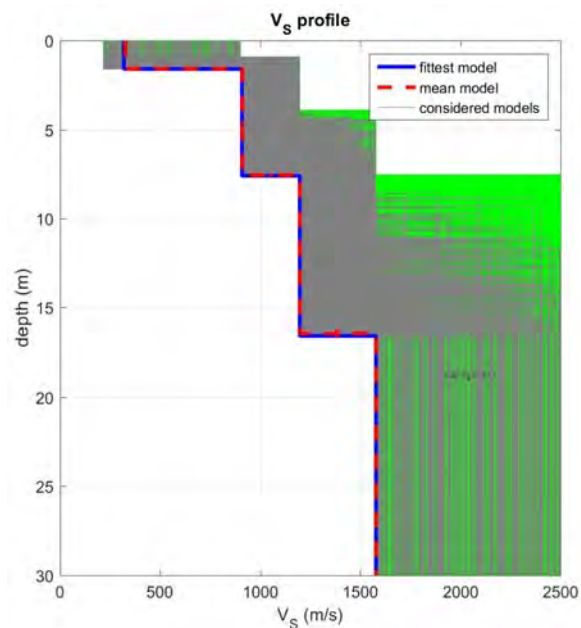


Figura 12-Modelli testati durante il processo di inversione

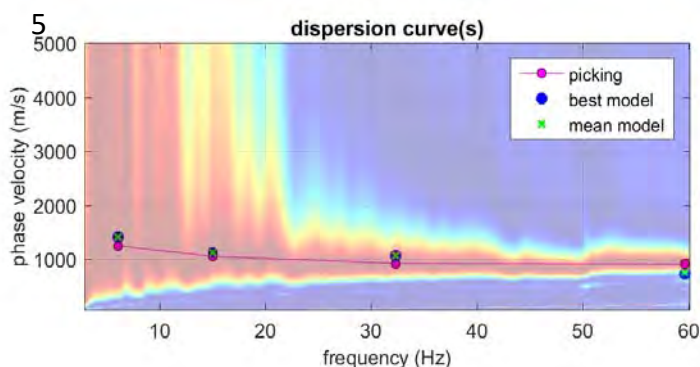


Figura 13-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)

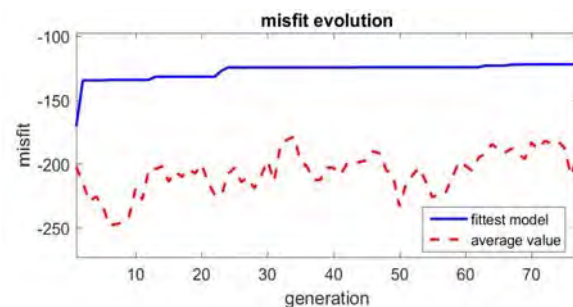


Figura 14-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

5.2.4 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 1° geofono (Figura 15) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (Figura 16).

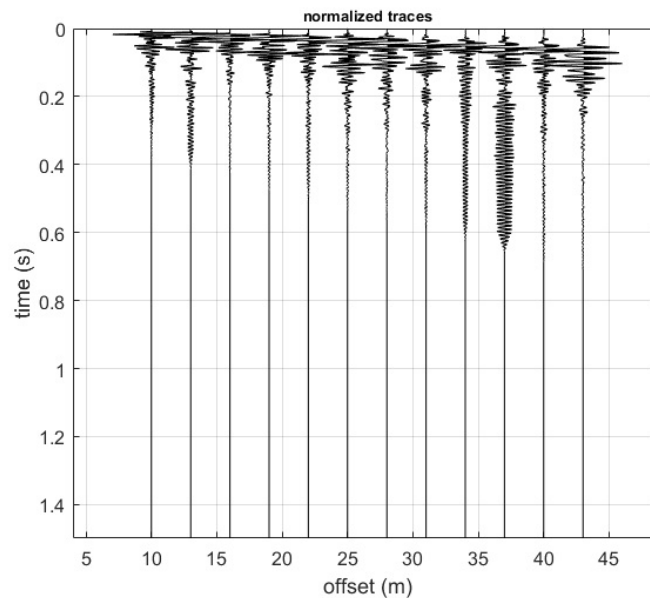


Figura 15-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

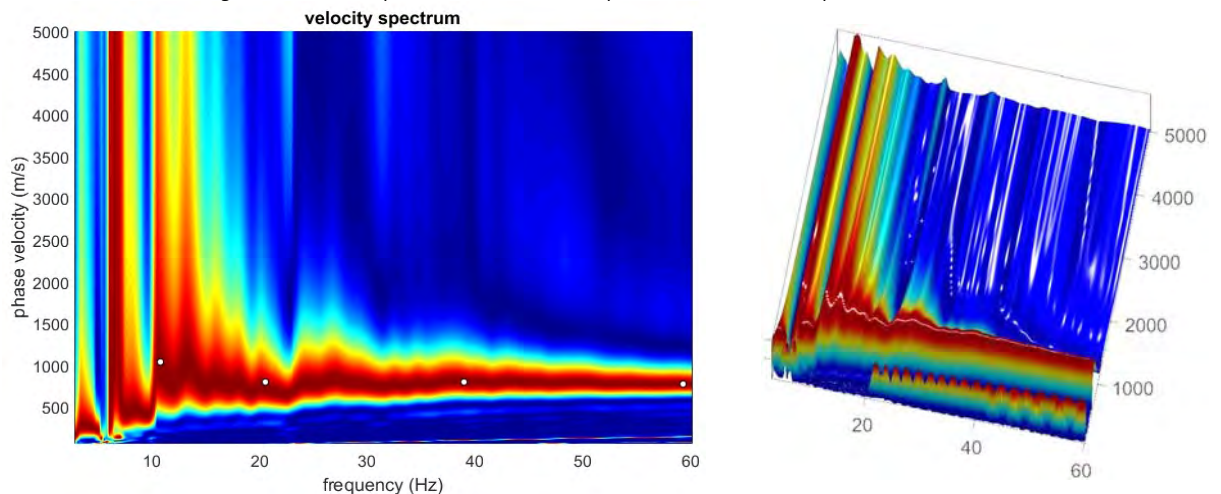


Figura 16-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi)

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 VS 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 16,50 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.

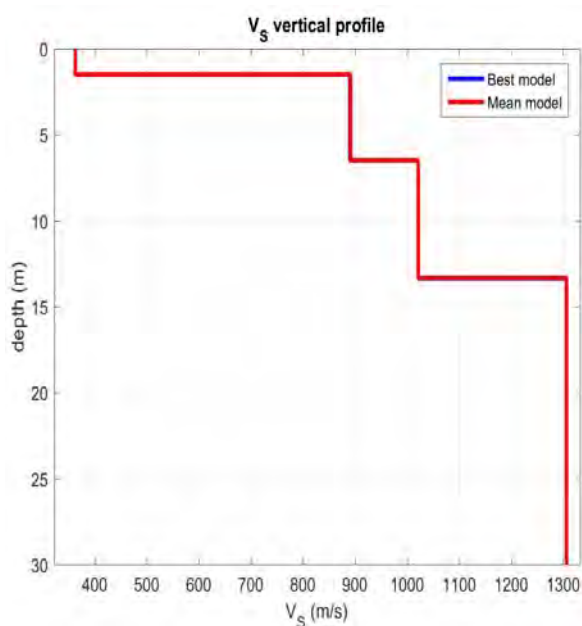


Figura 17-Profilo $V_{s, med} = 1027$ m/sec calcolato a

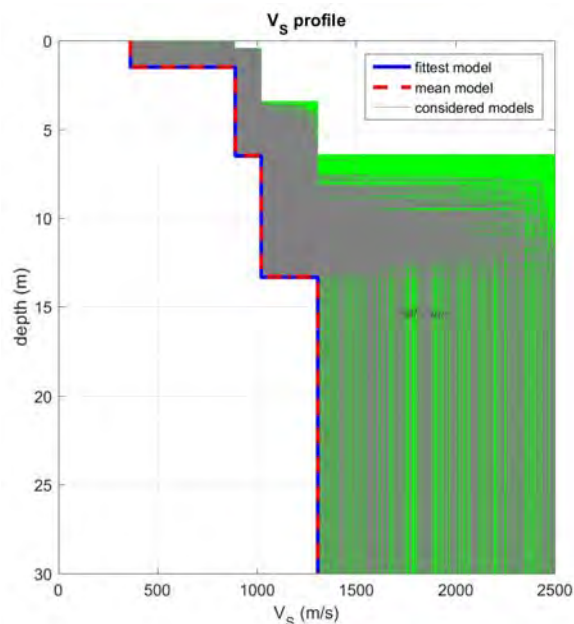


Figura 18-Modelli testati durante il processo di inversione

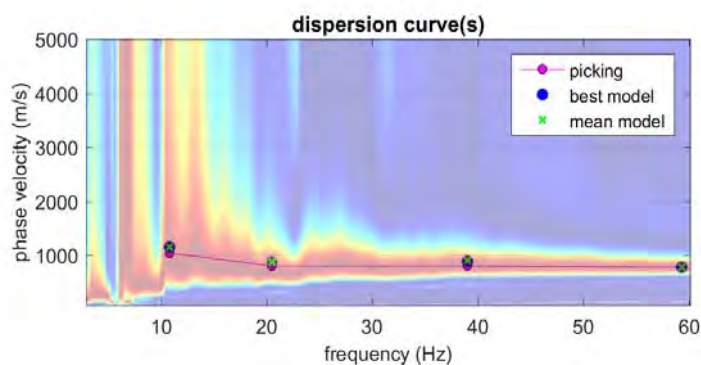


Figura 19-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)

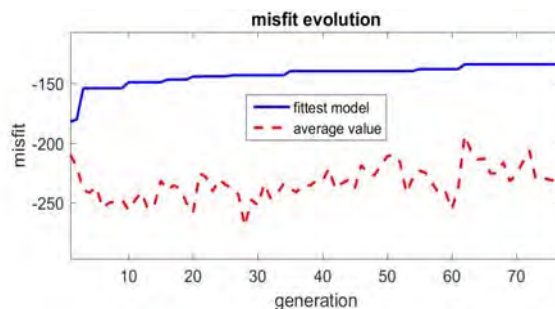


Figura 20-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

5.2.5 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 12° geofono (Figura 21) per il quale è stato desunto il relativo spettro di velocità (Figura 22).

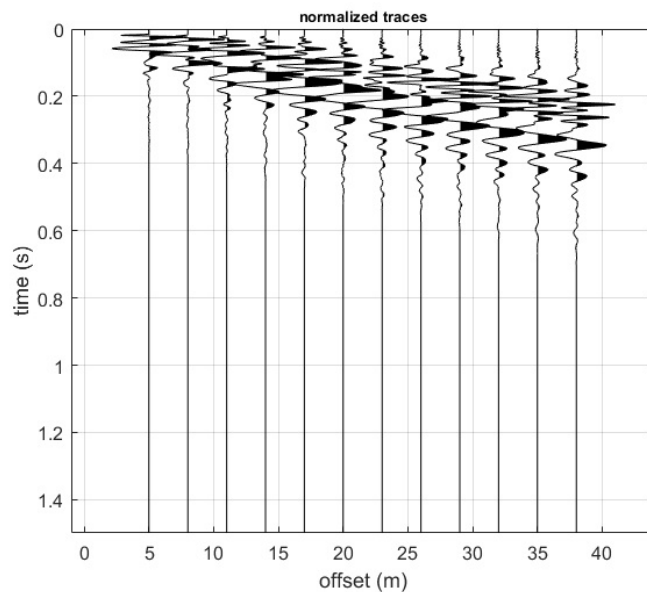


Figura 21-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

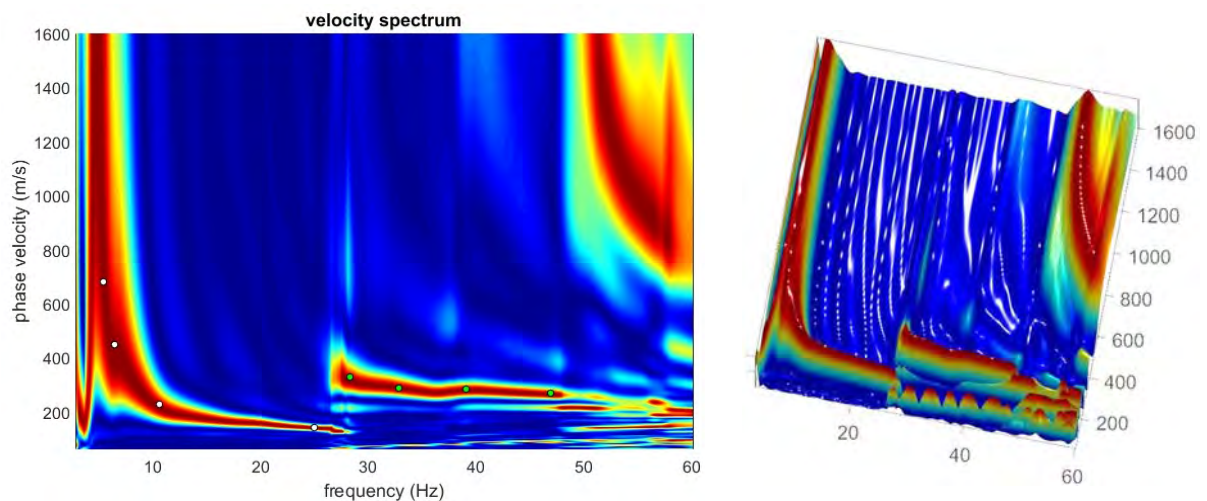


Figura 22-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi) e del primo modo superiore (pallini verdi)

L'analisi dello spettro "frequenza-velocità di fase" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio VS 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 16,50 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 "misfit evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, Figura 26.

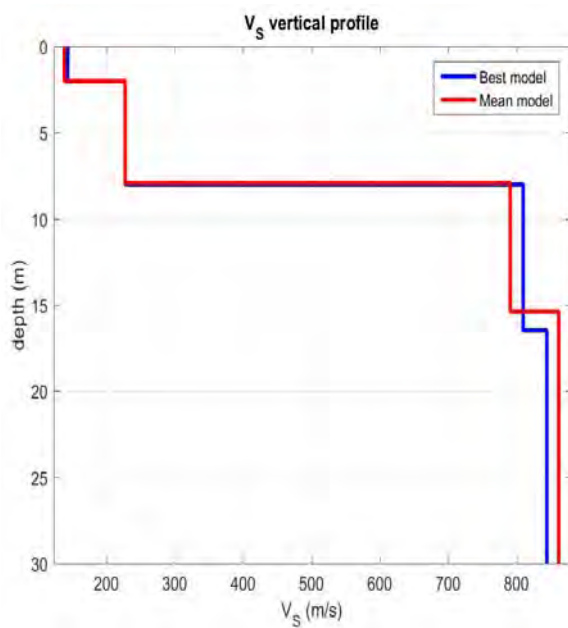


Figura 23-Profilo $V_{s, \text{equ}} = 198$ m/sec calcolato a partire dal piano campagna

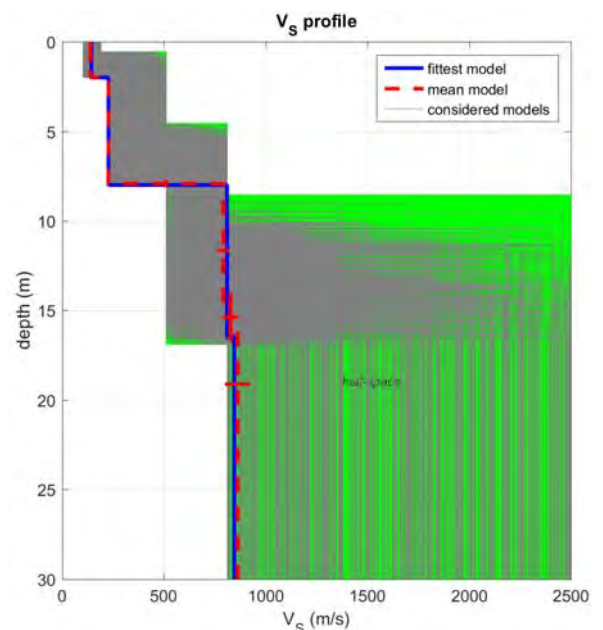


Figura 24-Modelli testati durante il processo di inversione

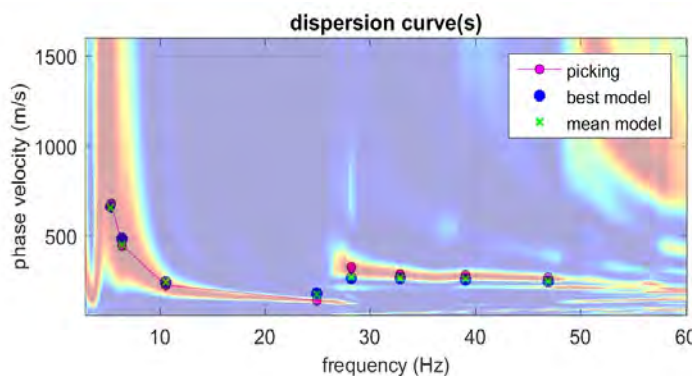


Figura 25-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)

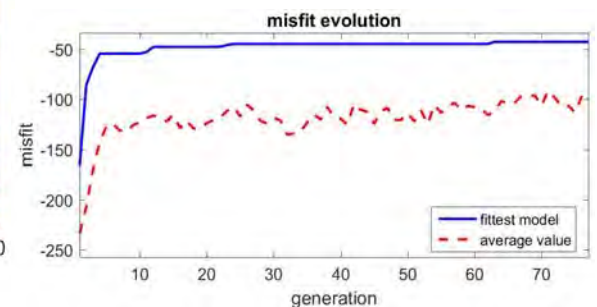


Figura 26-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

5.2.6 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).

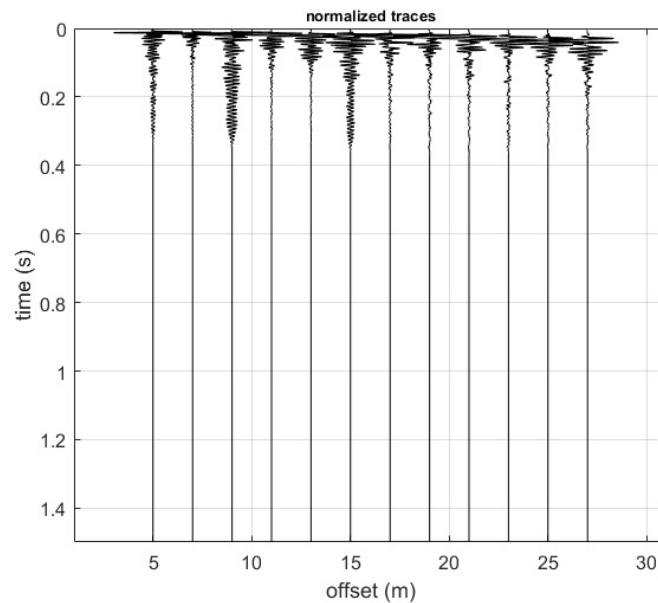


Figura 27-Tracce acquisite in situ ed utilizzate per la costruzione dello spettro di velocità

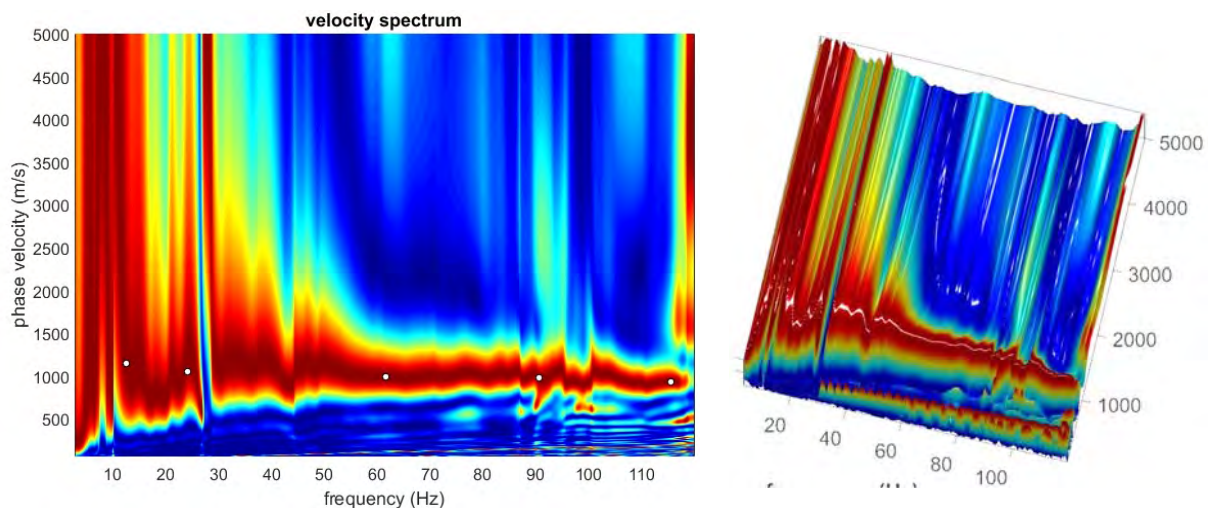


Figura 28-Spettro di velocità (visualizzazione 2D e 3D). In evidenza l'andamento del modo fondamentale (pallini bianchi)

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 VS 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 16,50 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 "misfit evolution" (disaccordo) e cioè la quantificazione di quanto si discosti un modello testato rispetto al dato osservato, Figura 32.

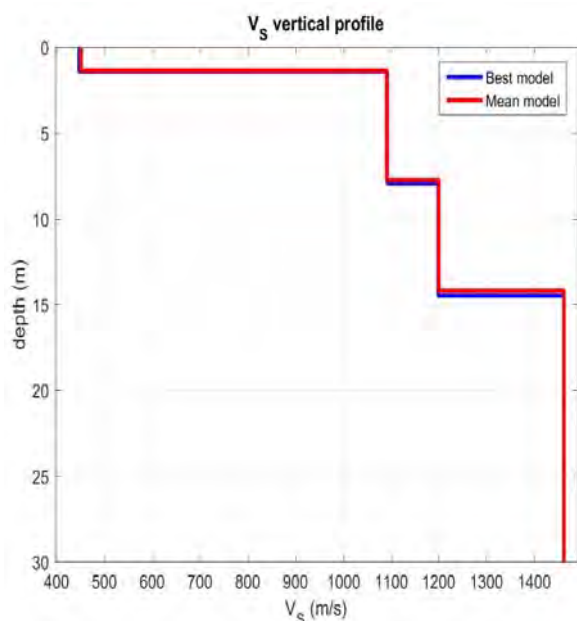


Figura 29-Profilo $V_{s, med} = 1190$ m/sec calcolato a partire dal piano campagna

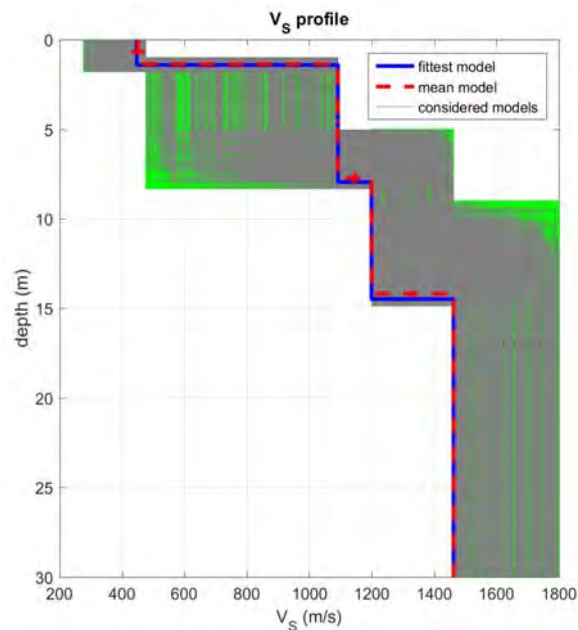


Figura 30-Modelli testati durante il processo di inversione

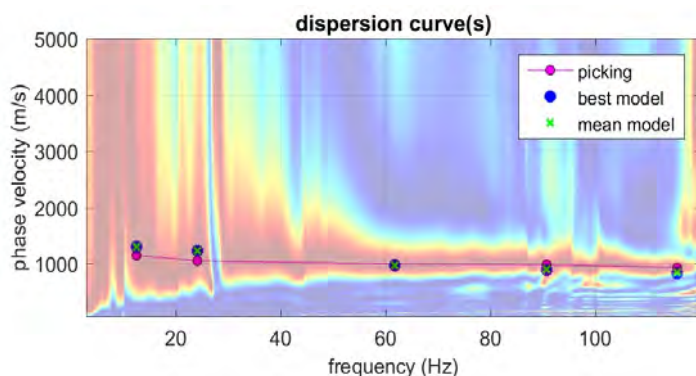


Figura 31-Curva di dispersione osservata (picking pallini fucsia) e curve di dispersione relative "best model" (pallini blu) e "mean model" (croci verdi)

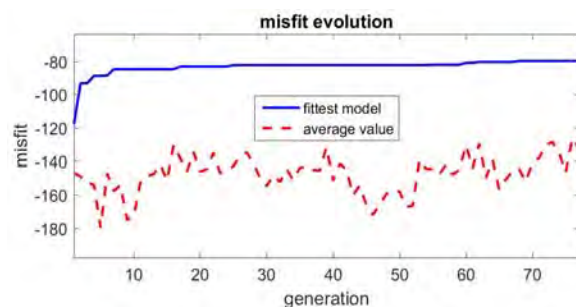


Figura 32-Evoluzione del misfit (disaccordo) al progredire dei modelli testati durante il processo di inversione

5.3 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:

Categoria A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m
Categoria B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s
Categoria C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s
Categoria D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s
Categoria E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 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**, il valore equivalente di V_s calcolato pari a **1067 m/sec**, colloca i litotipi presenti nella Categoria di sottosuolo “**A**”: *ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.*

Per lo stendimento **MASW02**, il valore equivalente di V_s calcolato pari a **1085 m/sec**, colloca i litotipi presenti nella Categoria di sottosuolo “**A**”: *ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi*

caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

Per lo stendimento **MASW03**, il valore equivalente di V_s calcolato pari a **1027 m/sec**, colloca i litotipi presenti nella Categoria di sottosuolo A: *ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.*

Per lo stendimento **MASW04**, il valore equivalente di V_s calcolato pari a **198 m/sec**, colloca i litotipi presenti nella Categoria di sottosuolo "C": *depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

Per lo stendimento **MASW05**, il valore equivalente di V_s calcolato pari a **1190 m/sec**, colloca i litotipi presenti nella Categoria di sottosuolo "A": *ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.*

5.4 Caratterizzazione Elasto-Meccanica dei terreni di Fondazione

In base alle indicazioni ricavate delle 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 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, $E_{din} = 8,3 \cdot E_{stat} + 0,97$) semplicemente evidenziando che si riferiscono, in virtù delle energie movimentate dall'indagine e del conseguente basso livello di deformazione raggiunto, ad un modulo statico tangente iniziale.

• Stendimento ST01

Sismostrato	$\bar{V}_p$	$\bar{V}_s$	γ	μ	E_y	G_0	M_0	λ
Profondità media (mt da pc)	(m/sec)	(m/sec)	(gr/cm ³)		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A (0,00÷1,60)	904	321	1,86	0,42	547	192	1264	1137
B (1,60÷6,70)	2603	815	2,27	0,40	4245	1508	7651	6645
C (6,70÷13,00≈)	3704	1218	2,43	0,43	10378	3605	28532	26129
Sismostrato	R	E_d						
Profondità media (mt da pc)	(tonn/m ² s)	(MPa)						
A (0,00÷1,60)	597	1471						
B (1,60÷6,70)	1850	12203						
C (6,70÷13,00≈)	2959	25184						

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

• Stendimento ST02

Sismostrato	$\bar{V}_p$	$\bar{V}_s$	γ	μ	E_y	G_0	M_0	λ
Profondità media (mt da pc)	(m/sec)	(m/sec)	(gr/cm ³)		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A (0,00÷1,50)	867	318	1,84	0,42	529	186	1135	1011
B (1,50÷5,30)	2499	269080	2,26	0,42	5306	1863	11629	10387
C (5,30÷13,00≈)	3173	1197	2,36	0,41	9583	3381	19252	16997
Sismostrato	R	E_d						
Profondità media (mt da pc)	(tonn/m ² s)	(MPa)						
A (0,00÷1,50)	319	1353						
B (1,50÷5,30)	2052	11249						
C (5,30÷13,00≈)	2824	18130						

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

• Stendimento ST03

Sismostrato	$\bar{V}_p$	$\bar{V}_s$	γ	μ	E_y	G_0	M_0	λ
Profondità media (mt da pc)	(m/sec)	(m/sec)	(gr/cm ³)		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A (0,00÷1,50)	918	362	1,86	0,40	686	244	1242	1080
B (1,50÷4,90)	2959	890	2,33	0,44	5353	1846	17940	16710
C (4,90÷13,00≈)	3546	1021	2,41	0,45	7310	2512	26954	25279
Sismostrato	R	E_d						
Profondità media (mt da pc)	(tonn/m ² s)	(MPa)						
A (0,00÷1,50)	673	1517						
B (1,50÷4,90)	2073	15763						
C (4,90÷13,00≈)	2460	22640						

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

• Stendimento ST04

Sismostrato	$\bar{V}_p$	$\bar{V}_s$	γ	μ	E_y	G_0	M_0	λ
Profondità media (mt da pc)	(m/sec)	(m/sec)	(gr/cm ³)		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A (0,00÷2,20)	407	143	1,60	0,42	94	33	221	200
B (2,20÷7,30)	1315	227	1,99	0,48	304	103	3304	3236
C (7,30÷13,00≈)	2309	810	2,22	0,43	4165	1457	9894	8923
Sismostrato	R	E_d						
Profondità media (mt da pc)	(tonn/m ² s)	(MPa)						
A (0,00÷2,20)	228	299						
B (2,20÷7,30)	451	3114						
C (7,30÷13,00≈)	1798	9599						

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

- **Stendimento ST05**

Sismostrato	$\overline{V_p}$	$\overline{V_s}$	γ	μ	E_y	G_0	M_0	λ
Profondità media (mt da pc)	(m/sec)	(m/sec)	(gr/cm ³)		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
1) 0,00÷1,40	825	447	1,83	0,29	945	366	758	514
2) 1,40÷4,70	2453	1092	2,25	0,37	7386	2683	9961	8173
3) 4,70÷13,00≈	3070	1199	2,34	0,41	9486	3364	17569	15326
Sismostrato	R	E_d	Tabella 6 -Riepilogo delle caratteristiche elasto-meccaniche degli strati identificati dalle indagini geofisiche in situ per lo stendimento sismico ST05					
Profondità media (mt da pc)	(tonn/m ² s)	(MPa)						
1) 0,00÷1,40	818	1226						
2) 1,40÷4,70	2457	10832						
3) 4,70÷13,00≈	2805	16967						

Con:

$\overline{V_p}$ = velocità media onde di compressione;

$\overline{V_s}$ = velocità media onde di taglio;

γ = Peso unità di volume naturale;

μ = coefficiente di Poisson;

E_y = modulo di Young;

G_0 = modulo di taglio;

M_0 =modulo di compressibilità volumetrica;

λ = coefficiente di Lamé;

R = rigidità sismica;

E_d = modulo edometrico.

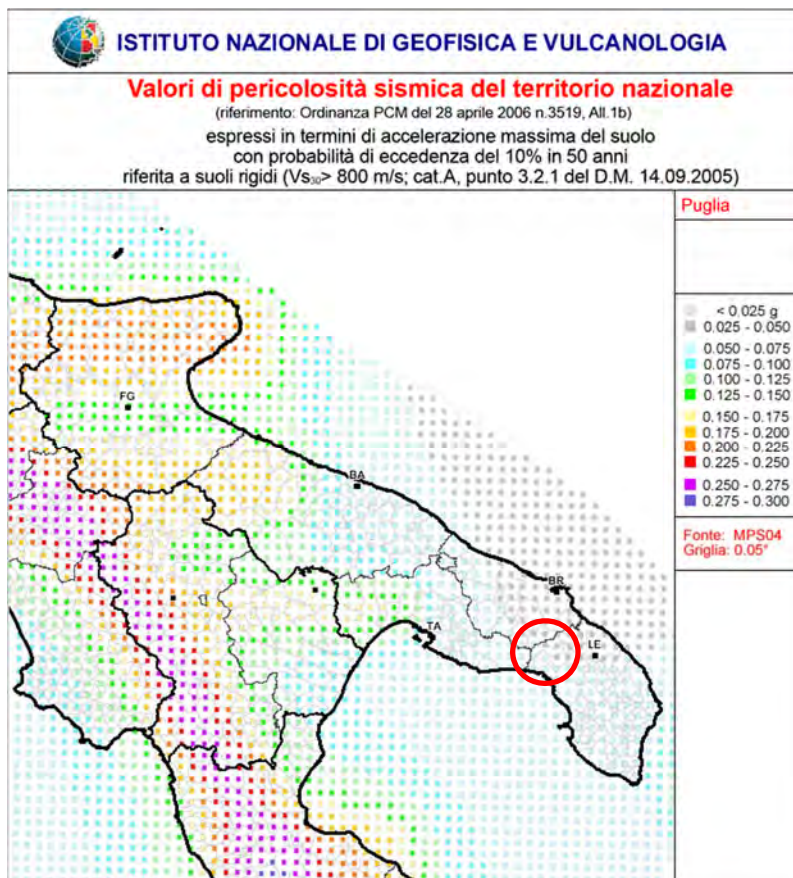
6 Sismicità dell'area

6.1 Parametri Sismici

L'area oggetto di studio è considerata prevalentemente a basso rischio sismico, per cui rientra in **Zona 4**, infatti, la normativa sulla individuazione delle zone sismiche, OPCM n. 3274/2003 e s.m.i., dispone che l'abitato di Salice Salentino, sia classificato come zona sismica di 4^a categoria con un grado di sismicità $S=3$ a cui compete una accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico **ag** pari a **0.05**.

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 **ag** 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 **Se (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.

○ Area oggetto di studio

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.

Il suolo di fondazione, in base alla indagini indirette eseguite e consultate, può essere associato per quasi tutti gli aerogeneratori, alla categoria di suolo “A”, mentre alla categoria di Solo “C” per l’Aerogeneratore WT4.

AEROGENERATORE	COORDINATE	CATEGORIA SUOLO
WT1	Lat.:40,358872 Long.:17,805566	A
WT2	Lat.:40,367276 Long.:17,823376	A
WT3	Lat.:40,369337 Long.: 17,832003	A
WT4	Lat.:40,363446 Long.:17,856800	C
WT5	Lat.:40,362390 Long.:17,830953	A

COORDINATE SPIGOLI DEL SITO DI RIFERIMENTO WT1

Sito 1ID: 35030 Lat: 40,3539 Lon: 17,7546

Sito 2ID: 35031 Lat: 40,3514 Lon: 17,8201

Sito 3ID: 34809 Lat: 40,4013 Lon: 17,8234

Sito 4ID: 34808 Lat: 40,4039 Lon: 17,7579

COORDINATE SPIGOLI DEL SITO DI RIFERIMENTO WT2, WT3, WT4 e WT5

Sito 1ID: 35031 Lat: 40,3514 Lon: 17,8201

Sito 2ID: 35032 Lat: 40,3488 Lon: 17,8856

Sito 3ID: 34810 Lat: 40,3988 Lon: 17,8890

Sito 4ID: 34809 Lat: 40,4013 Lon: 17,8234

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 la categoria topografica T1 poiché le aree di ubicazione delle torri in progetto sono completamente pianeggianti.

PARAMETRI SISMICI DELLE ZONE DI UBICAZIONE DELL’AEROGENERATORE WT1

Categoria sottosuolo: A Categoria topografica: T1 Periodo di riferimento: 50anni Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO): Probabilità di superamento: 81 %

Tr: 30[anni]

ag: 0,017 g

Fo: 2,313

Tc*: 0,161[s]

Danno (SLD): Probabilità di superamento: 63 %

Tr: 50[anni]
 ag: 0,022 g
 Fo: 2,324
 Tc*: 0,239[s]

Salvaguardia della vita (SLV): Probabilità di superamento: 10 %

Tr: 475[anni]
 ag: 0,051 g
 Fo: 2,575
 Tc*: 0,464[s]

Prevenzione dal collasso (SLC): Probabilità di superamento: 5 %

Tr: 975[anni]
 ag: 0,061 g
 Fo: 2,714
 Tc*: 0,515[s]

Coefficienti Sismici

SLO:	SLD:	SLV:	SLC:
Ss: 1,000	Ss: 1,000	Ss: 1,000	Ss: 1,000
Cc: 1,000	Cc: 1,000	Cc: 1,000	Cc: 1,000
St: 1,000	St: 1,000	St: 1,000	St: 1,000
Kh: 0,003	Kh: 0,004	Kh: 0,010	Kh: 0,012
Kv: 0,002	Kv: 0,002	Kv: 0,005	Kv: 0,006
Amax: 0,163	Amax: 0,215	Amax: 0,497	Amax: 0,599
Beta: 0,200	Beta: 0,200	Beta: 0,200	Beta: 0,200

PARAMETRI SISMICI DELLE ZONE DI UBICAZIONE DEGLI AEROGENERATORI WT2, WT3 e WT5

Categoria sottosuolo: A Categoria topografica: T1 Periodo di riferimento: 50anni Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO): Probabilità di superamento: 81 %

Tr: 30[anni]
 ag: 0,016 g
 Fo: 2,318
 Tc*: 0,160[s]

Danno (SLD): Probabilità di superamento: 63 %

Tr: 50[anni]
 ag: 0,021 g
 Fo: 2,328
 Tc*: 0,234

[s]

Salvaguardia della vita (SLV): Probabilità di superamento: 10 %

Tr: 475[anni]
 ag: 0,050 g
 Fo: 2,533
 Tc*: 0,467[s]

Prevenzione dal collasso (SLC): Probabilità di superamento: 5 %

Tr: 975[anni]
ag: 0,061 g
Fo: 2,664
Tc*: 0,520[s]

Coefficienti Sismici

SLO:	SLD:	SLV:	SLC:
Ss: 1,000	Ss: 1,000	Ss: 1,000	Ss: 1,000
Cc: 1,000	Cc: 1,000	Cc: 1,000	Cc: 1,000
St: 1,000	St: 1,000	St: 1,000	St: 1,000
Kh: 0,003	Kh: 0,004	Kh: 0,010	Kh: 0,012
Kv: 0,002	Kv: 0,002	Kv: 0,005	Kv: 0,006
Amax: 0,157	Amax: 0,208	Amax: 0,494	Amax: 0,599
Beta: 0,200	Beta: 0,200	Beta: 0,200	Beta: 0,200

PARAMETRI SISMICI DELLE ZONE DI UBICAZIONE DELL'AEROGENERATORE WT4

Categoria sottosuolo: C Categoria topografica: T1 Periodo di riferimento: 50anni Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO): Probabilità di superamento: 81 %

Tr: 30 [anni]
ag: 0,016 g
Fo: 2,320
Tc*: 0.159 [s]

Danno (SLD): Probabilità di superamento: 63 %

Tr: 50 [anni]
ag: 0,021 g
Fo: 2,329
Tc*: 0,233 [s]

Salvaguardia della vita (SLV): Probabilità di superamento: 10 %

Tr: 475 [anni]
ag: 0,050 g
Fo: 2,521
Tc*: 0,468 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC): Probabilità di superamento: 5 %

Tr: 975[anni]
ag: 0,061 g
Fo: 2,650
Tc*: 0,522 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:	SLD:	SLV:	SLC:
<i>Ss: 1,500</i>	<i>Ss: 1,500</i>	<i>Ss: 1,500</i>	<i>Ss: 1,500</i>
<i>Cc: 1,920</i>	<i>Cc: 1,700</i>	<i>Cc: 1,350</i>	<i>Cc: 1,300</i>
<i>St: 1,000</i>	<i>St: 1,000</i>	<i>St: 1,000</i>	<i>St: 1,000</i>
<i>Kh: 0,004</i>	<i>Kh: 0,006</i>	<i>Kh: 0,014</i>	<i>Kh: 0,017</i>
<i>Kv: 0,002</i>	<i>Kv: 0,003</i>	<i>Kv: 0,007</i>	<i>Kv: 0,008</i>
<i>Amax: 0,234</i>	<i>Amax: 0,310</i>	<i>Amax: 0,741</i>	<i>Amax: 0,899</i>
<i>Beta: 0,180</i>	<i>Beta: 0,180</i>	<i>Beta: 0,180</i>	<i>Beta: 0,180</i>

6.2 Microzonazione Sismica delle aree di sedime

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. 2 zone sismiche differenti: una è classificata **Zona Stabile (a)**, completamente pianeggiante, in cui non si ipotizzano effetti di alcuna natura, e dove in affioramento vi sono rocce tenaci con velocità delle onde di taglio superiore agli 800 m/s; l'altra è classificata zona **Zona Stabile (b) suscettibile di amplificazioni locali**,

Tutti gli aerogeneratori in progetto saranno ubicati in zona stabili (a), solo il WT4 sarà ubicata in una zona stabile 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 poco cementati per uno spessore medio di 15 mt disposti su bedrock sismico.

7 Terreni di fondazione

Il parco eolico in progetto è composto da n. 5 aerogeneratori disposti sulla pianura salentina nel territorio comunale di Salice Salentino, dove affiorano estesamente i calcarei cretacei distinti in due principali litostratigrafie, quali: Dolomie di Galatina e Calcari di Melissano i quali sono correlabili con la Formazione dei Calcari di Altamura i quali rappresentano la parte affiorante del basamento rigido mesozoico, formato da un complesso roccioso costituito da un'alternanza di banchi e strati di calcari detritici chiari a grana fine di calcari dolomitizzati e di dolomie.

Al di sopra dei calcari e dolomie affiorano le Sabbie calcaree e sabbie limose argillose costituite da sabbie fini e limi argillosi giallastre e verdastre con noduli calcarei biancastri e sottili livelli calcarenitici a grana fine.

Questa formazione, di forma lenticolare, poggia in trasgressione direttamente sulle calcareniti di Gravina e presenta uno spessore massimo di 25/30 mt, costituiscono il livello intermedio delle Calcareniti del Salento e sono in facies terminale del ciclo sedimentario calabriano.

L'unità è costituita essenzialmente da sabbie fini e sabbie limose di colore giallastro con intercalazioni di noduli calcarenitici. Tra gli orizzonti più francamente sabbiosi si intercalano quelli a prevalente componente limoso-argillosa.

I litotipi attraversati dalle indagini presentano caratteristiche fisico meccaniche variabili da mediocri a scadenti in senso verticale poiché si passa da terreni sabbioso argillosi a terreni più francamente argillosi.

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.

7.1 Parametri Geotecnici di riferimento

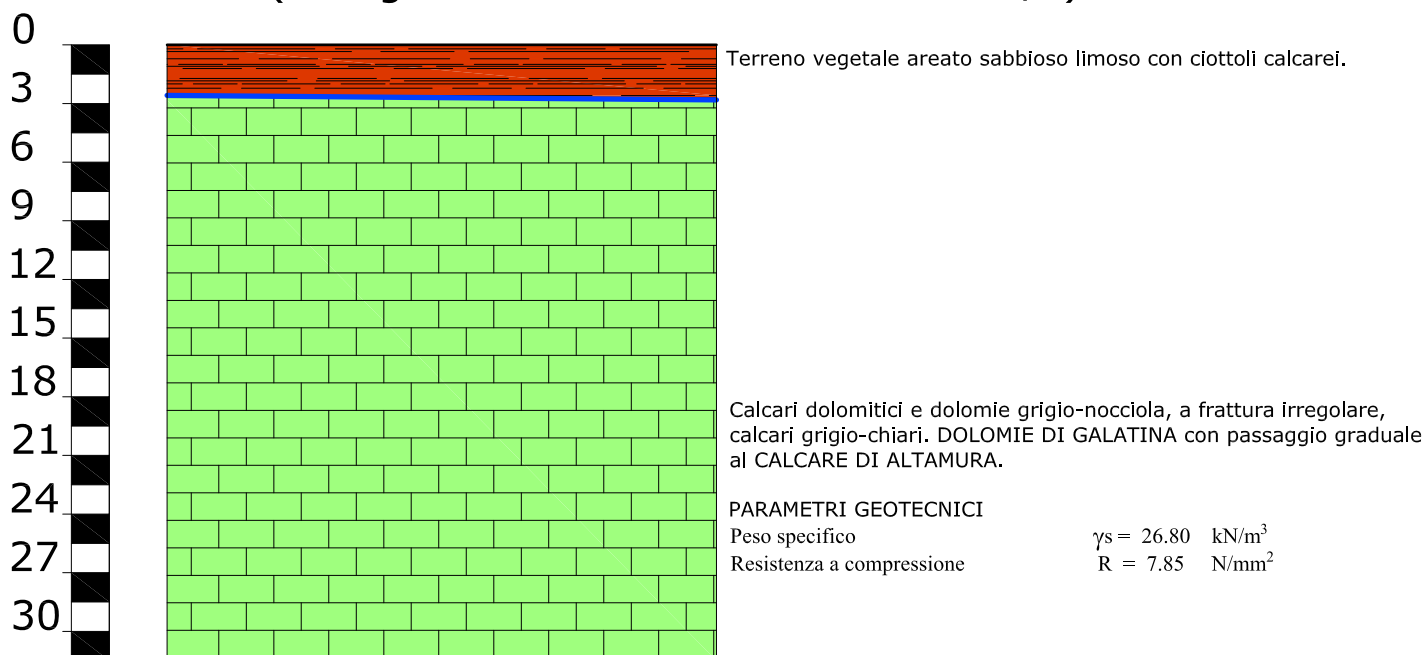
- Valori medi (V_m) delle Sabbie calcaree e sabbie limose argillose

□ Contenuto naturale di acqua	$W = 24,50 \quad \%$
□ Peso di volume naturale	$\gamma_n = 17,00 \quad \text{kN/m}^3$
□ Coesione	$c = 0,00 \quad \text{kPa}$
□ Angolo di attrito interno	$\phi = 27,00 \quad ^\circ$

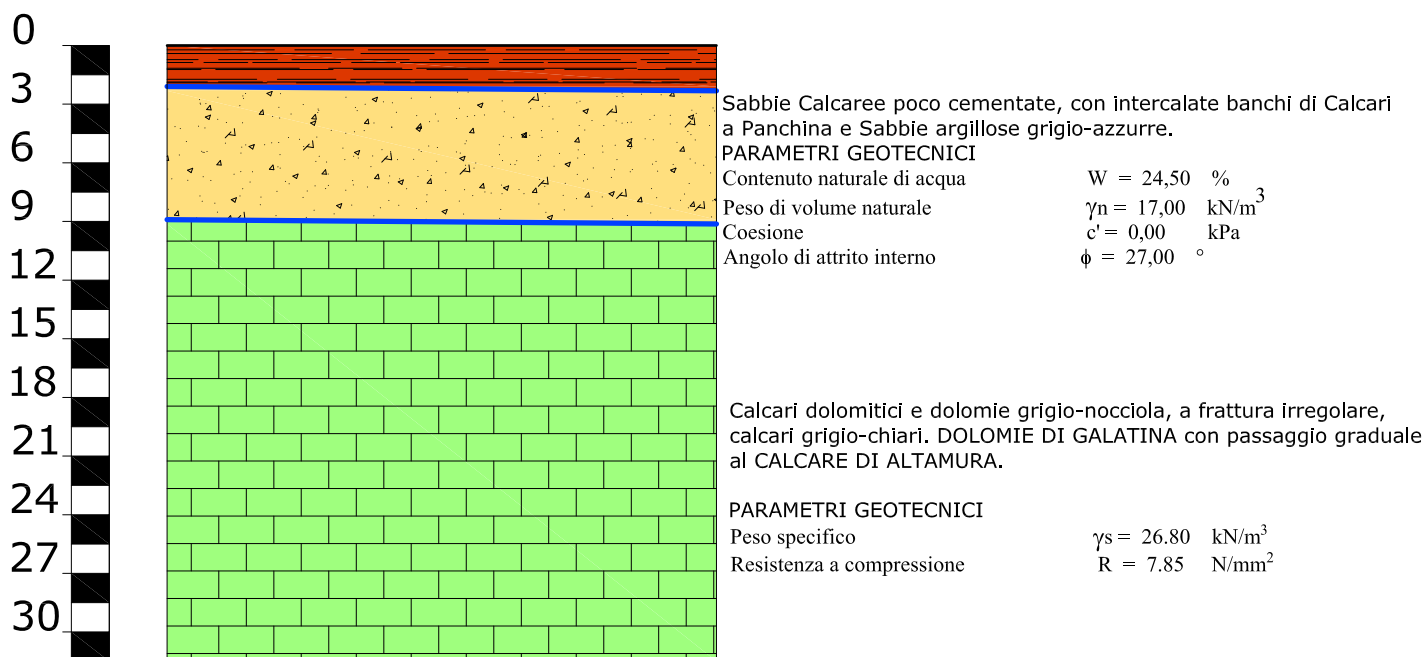
- Valori medi (V_m) dei Calcari dolomitici e dolomie

□ Peso Specifico	$\gamma_s = 26,80 \text{ kN/m}^3$
□ Resistenza a compressione	$P = 80 \quad \text{N/mm}^2$

SCHEMA GEOTECNICO DELLE AREE DI SEDIME DEGLI AEROGENERATORI WT1, WT2, WT3 e WT5 (Categoria di Suolo "A" - $V_s > 800$ m/s)



SCHEMA GEOTECNICO DELL'AREA DI SEDIME DELL' AEROGENERATORE WT4 (Categoria di suolo "C" - $180 < V_s < 360$ m/s)



7.2 Stabilità dei terreni di sedime

I n. 5 aerogeneratori sono ubicati in zone pianeggianti in cui non vi è la presenza di zone a pendenza morfologica, tipo scarpate e versanti, che necessitano di essere investigata tramite l'esecuzione di verifiche di stabilità di versante.

Nelle stesse aree e nelle immediate vicinanze non vi sono indizi superficiali di carsismo tipo doline o inghiottitoi, e per le caratteristiche dei terreni di sedime non vi è la possibilità di liquefazione dei terreni.

La tenacità della Formazione calcareo e dolomitica, e le caratteristiche litologiche delle rocce granulari interessata dalla torre eolica WT4, presentano caratteristiche tali da escludere la possibilità di liquefazione degli stessi.

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

8 Conclusioni

I lavori in progetto prevedono la costruzione di n. 5 aerogeneratori disposti su terreni completamente pianeggianti della pianura salentina dove affiorano terreni calcarei e calcareo dolomitici cretacei sovrapposti parzialmente dai termini di chiusura del ciclo sedimentario quaternario come le Sabbie limose calcarenitiche della Formazione di Galatina.

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 e 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 in aree in cui non vi sono indizi superficiali di carsismo.

Dal punto di vista sismico, i terreni del sito indagato appartengono alla categoria "A" del suolo di fondazione, tranne che per l'area di sedime del WT4 dove il V_{seq} ricavato dalla indagini eseguite associa i terreni di fondazione alla Categoria di suolo "C" dove il bedrock sismico si attesta a circa 15 mt di profondità.

La Microzonazione Sismica vede la classificazione di n. 4 aree di sedime (WT1, WT2, WT3 e WT5) in zone stabili in cui non si ipotizzano effetti di alcuna natura, completamente pianeggianti o poco inclinate, e dove il bedrock sismico affiora direttamente in superficie mascherato solo dal terreno vegetale areato di spessore massimo 2.0 mt.

L'area di ubicazione della torre WT4, invece, ricade in zona stabile suscettibile di amplificazione locale, in quanto al di sopra del bedrock sismico presente a circa 15 mt di profondità vi è un terreno

sabbioso calcareo poco cementato con livelli di calcare a panchina a sabbie limose grigio-azzurre sabbioso limoso.

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 terreno di fondazione per la realizzazione del parco eolico in progetto.

Matera 21 settembre 2022

Il Geologo
Dott. Maurizio Giacomino

