

Forearth S.r.l.

Impianto agro-fotovoltaico "Aquila" da 51,03 MWp con sistema di accumulo di 20 MW ed opere connesse.

Comuni di Monreale (PA) e Piana degli Albanesi (PA)

Progetto Definitivo

ALL. C.04 - Relazione Geologica relativa all'Ampliamento SE RTN Monreale 3



Dott. Geol. Michele Ognibene - Ordine Regionale dei Geologi di Sicilia a n. 3003 Sez. A

Rev. 0 - Agosto 2022

wood.

Indice

1. PREMESSA.....	3
1.1 DATI DEL PROPONENTE	6
2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO	7
3. RIFERIMENTI NORMATIVI.....	9
4. GEOLOGIA.....	10
4.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	10
4.2 GEOLOGIA DEL SITO DI INTERVENTO.....	10
4.3 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DEL SITO IN PROGETTO	11
5. GEOMORFOLOGIA E COMPATIBILITA' GEOMORFOLOGICA	14
6. VALUTAZIONI IDROGEOLOGICHE E PERMEABILITÀ.....	17
7. CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	18
7.1 CENNI SULLA STORIA SISMICA DEL TERRITORIO	18
7.2 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE.....	21
7.3 PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE	23
7.4 SISMOSTRATIGRAFIA DI DETTAGLIO E AZIONE SISMICA LOCALE... 	24
8. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI	28
9. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	30

1. PREMESSA

La società Forearth S.r.l. ("la Società") intende realizzare nel comune di Monreale (PA), località Contrade Aquila e Ducotto, un impianto per la produzione di energia elettrica con tecnologia fotovoltaica ad inseguimento monoassiale con accumulo combinato con l'attività di coltivazione agricola. L'impianto ha una potenza complessiva installata di 51.030 kWp e 20.000 kW (24.000 kVA) di accumulo e l'energia prodotta sarà interamente immessa nella Rete di Trasmissione Nazionale (RTN).

Le opere progettuali dell'impianto agro-fotovoltaico sono interamente ubicate nelle contrade Aquila e Ducotto del Comune di Monreale (PA), ad esclusione dell'ultimo tratto dei raccordi linea a 220 kV ricadente nel Comune di Piana degli Albanesi. Le opere progettuali si possono così sintetizzare:

1. Impianto agro-fotovoltaico ad inseguimento monoassiale, della potenza complessiva installata di 51.030 kWp;
2. dorsali di collegamento interrate a 36 kV per il vettoriamento dell'energia elettrica prodotta dall'impianto verso la cabina 36 kV "Cabina Utente" di interfaccia con la sezione 36 kV della futura stazione RTN 220/36 kV;
3. Sistema di accumulo ("SdA") avente una potenza nominale di 20000 kW (24000 kVA);
4. Cabina Utente 36 kV che connette le dorsali del parco fotovoltaico e l'impianto di accumulo alla sezione 36 kV nell'Ampliamento della stazione RTN. La Cabina Utente è ubicata nelle vicinanze del SdA;
5. Elettrodotto in cavo interrato a 36 kV per il collegamento alla stallo produttore nella sezione 36kV della stazione elettrica "SE" RTN;
6. Opere RTN progettate dalla Società Tre Rinnovabili s.r.l. nell'ambito del progetto eolico "Guisina" da 29,9 MW in quanto Società Capofila per Terna, costituite da:
 - Nuova stazione RTN di smistamento a 220 kV in doppia sbarra "Monreale 3", inclusiva dello stallo di arrivo produttore della Società Tre Rinnovabili s.r.l.,
 - Nuovi raccordi linea a 220 kV della RTN, necessari per il collegamento in entra-esce della nuova stazione RTN "Monreale 3" alla linea esistente a 220 kV della RTN "Partinico-Ciminna". I raccordi linea hanno una lunghezza di circa 4 km ciascuno e ricadono in parte nel Comune di Monreale (PA) e parzialmente nel Comune di Piana degli Albanesi (PA).
7. Ampliamento della nuova stazione elettrica 220 kV RTN "Monreale 3" ("Ampliamento SE RTN"), in adiacenza a quest'ultima, con la realizzazione di:

- Estensione della sezione 220kV con nuovi stalli per alimentazione trasformatori 230/36 kV;
- Inserimento no. 3 Trasformatori 230/36 kV;
- Inserimento nuova sezione 36 kV con stallo/i arrivo produttore.

La presente Relazione descrive le opere di cui al precedente punto 7), relative all' Ampliamento a 36 kV della nuova stazione elettrica 220 kV RTN "Moneale 3" (di seguito "Ampliamento SE RTN").

Lo studio è stato condotto dallo scrivente Dott. Geol. Michele Ognibene regolarmente iscritto all'Ordine Regionale dei Geologi di Sicilia al n. 3003 Sez. A, al fine di determinare le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dei terreni su cui insiste l'area in oggetto, attenzionando, in particolare, la presenza di eventuali pericolosità geomorfologiche e la compatibilità tra l'assetto geologico l.s. del sottosuolo e le opere da realizzare.

Il seguente studio geologico è stato redatto ai sensi del D.M. 17/01/2018 con i seguenti scopi:

- Fornire un quadro conoscitivo sufficiente per illustrare le caratteristiche geologiche del territorio in esame e identificare le eventuali situazioni locali che presentino livelli di pericolosità geologica tali da poter influenzare, in modo significativo, le scelte progettuali;
- Specificare le condizioni geologiche e idrogeologiche, con particolare riguardo all'accertamento delle condizioni di stabilità della zona e all'individuazione di eventuali processi morfodinamici in atto e la loro tendenza evolutiva;
- Delineare gli aspetti geologici e tettonici del territorio e definirne natura e composizione dei litotipi affioranti, nonché la loro geometria e il loro assetto strutturale;
- Ricostruire la locale successione stratigrafica;
- Indicare le eventuali prescrizioni e gli eventuali accorgimenti tecnici affinché le condizioni di pericolosità non si aggravino o si manifestino nella zona in progetto.
- Identificare le situazioni locali che presentino livelli di pericolosità sismica.

Saranno, pertanto, illustrati gli aspetti morfologici, geologici, idrografici e sismici dell'area, inquadrati nella più vasta geologia regionale, con riferimento anche alle condizioni di stabilità.

Per assolvere all'incarico conferitogli, lo scrivente ha eseguito:

- Il sopralluogo preliminare, al fine di accertare la reale situazione dei luoghi e lo stato delle strutture ivi insediate.
- La ricerca bibliografica, allo scopo di ricostruire, sulla base degli studi svolti da numerosi autori italiani e stranieri, il quadro generale della storia geologica e strutturale della zona.
- Il rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio, in una zona estesa al contorno, in modo da avere un quadro d'insieme indicativo e, quindi, inquadrare il sito nell'ambito di un contesto geolitologico e geomorfologico più ampio.
- L'analisi di n.1 indagine di sismica a rifrazione (identificata con la sigla RZ1) che ha consentito di individuare le principali discontinuità grazie alla velocità delle onde P e di ricostruire il modello sismo-stratigrafico del sottosuolo in esame.
- L'analisi di n.1 acquisizioni di sismica MASW (identificata con la sigla MW1) eseguita entro l'area oggetto di studio, ai sensi dell'OPCM n. 3274 del 20/03/2003 (GU n.252 del 29/10/2003) e dalle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 17 Gennaio 2018.
- Per la caratterizzazione geotecnica del sito è stata effettuata n°1 prova penetrometrica dinamica media identificata con la sigla PP1.

Il lavoro ha inoltre portato alla redazione di allegati cartografici che ne costituiscono parte integrante.

1.1 DATI DEL PROPONENTE

Il soggetto proponente dell'iniziativa è la società Forearth S.r.l. di cui si riassumono di seguito le informazioni principali.

Denominazione	Forearth S.r.l.
Indirizzo sede legale ed operativa	Via Sebastiano Caboto, 15 - 20094 Corsico (MI)
Codice Fiscale e Partita IVA	12207070967
Numero REA	MI- 2646532
Capitale Sociale	10.000,00 Euro (interamente versato)
Socio Unico	Wood Italiana S.r.l.
Telefono	02 4486 1
PEC	forearth@legalmail.it
Email (Presidente e Legale Rappresentante)	andrea.belloli@woodplc.com
Sito web (gruppo Wood)	www.woodplc.com

2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

2.1 Lo schema di allacciamento alla RTN

Il progetto dell'Ampliamento della nuova stazione elettrica 220 kV RTN "Moneale 3" ricade nel territorio Comunale di Monreale (PA) in contrada Borgo Aquila. Dal punto di vista Cartografico il sito ricade all'interno delle Tavole fogli n°258, Quadrante I, Orientazione N.O. e S.O. della Carta Ufficiale d'Italia edita dall' I.G.M.I. in scala 1:25.000 e nella sezione 607080 della Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 (**Cfr. IGM 1:25.000 e CTR 1:10.000**). Di seguito si riporta uno stralcio dell'ortofoto con la rappresentazione delle opere progettuali per la connessione alla RTN oggetto della presente relazione.

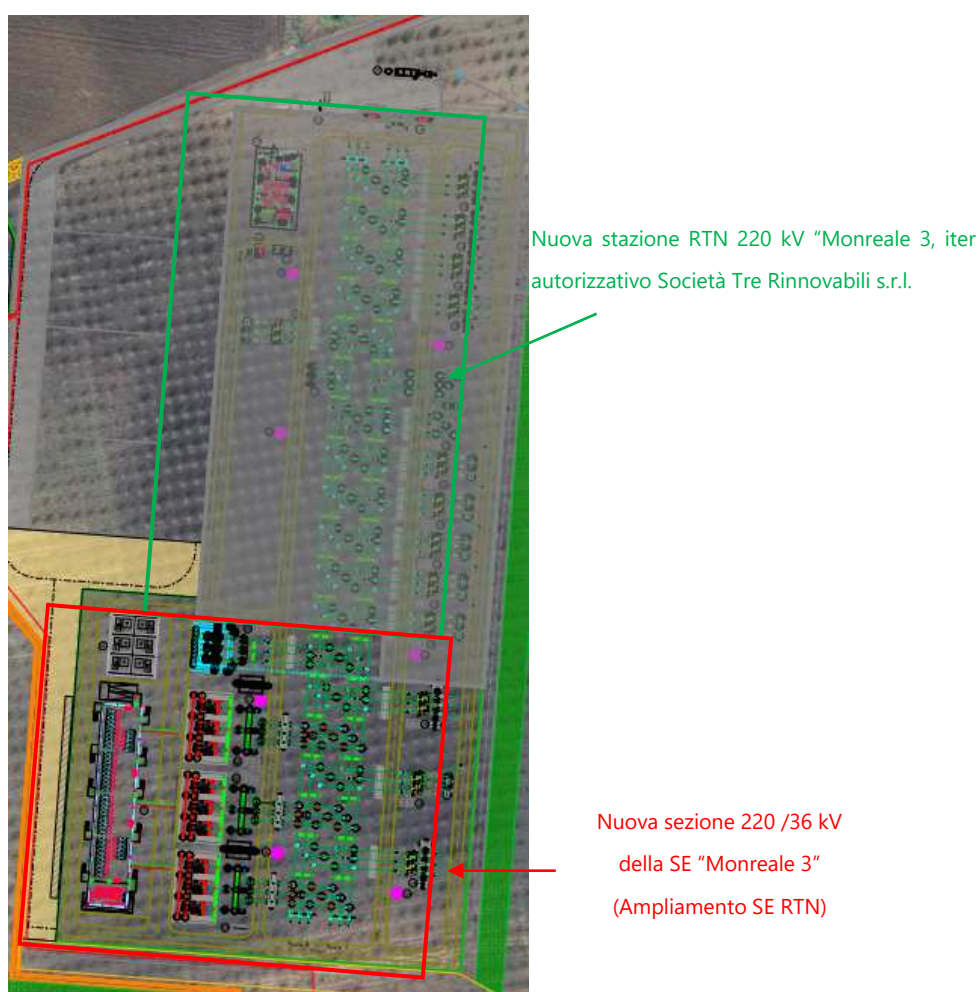


Figura 2.1 – Stralcio dell'ortofoto con inserimento della sezione 220/36 kV nella SE RTN "Monreale 3"

La connessione alla RTN del progetto Aquila è basata sulla soluzione tecnica minima generale per la connessione (STMG CP 202102656) per una potenza di immissione 69 MW e di 20 MW in prelievo che il gestore di rete (Terna S.p.A.) ha trasmesso alla Società in data 11/03/2022 e che la Società ha formalmente accettato in data 30/03/2022. La STMG prevede che l'impianto agro-fotovoltaico debba essere collegato mediante elettrodotto a 36 kV in antenna, ad una nuova stazione elettrica (SE) di trasformazione

a 220/36 kV della RTN, da collegare in entra - esce sulla linea a 220 kV della RTN "Partinico - Ciminna". Di fatto, la nuova SE di trasformazione 220/36 kV rappresenta un ampliamento della SE 220 kV "Monreale 3", già progettata e presentata in iter autorizzativo dalla Società Tre Rinnovabili s.r.l. nell'ambito del progetto eolico "Guisina" da 29,9 MW (codice procedura PAUR n. 1622).

2.2 Ampliamento SE RTN

La nuova sezione 220/36 kV della Stazione Elettrica occuperà un'area di circa 17460 m², avente una lunghezza di circa 123 m ed una larghezza di circa 142 m. La stazione sarà completamente recintata. L'accesso alla nuova sezione 220/36 kV sarà lo stesso della stazione "Monreale 3", mediante percorsi interni che saranno opportunamente modificati. La quota di imposta è ovviamente la stessa della Stazione Elettrica, preliminarmente fissata a 76,50 m s.l.m.

La nuova sezione 220 / 36 kV sarà con isolamento in aria del tipo unificato Terna e sarà costituita da:

- Sezione 220 kV: 7 passi sbarra
 - 3 per TR 380/36 kV
 - 4 disponibili per connessioni
- Sezione 36 kV:
 - Soluzione con 3 TR 220/36 kV da 250 MVA;
- Servizi ausiliari alimentati da trasformatori MT/BT;
- Fabbricati:
 - Edificio Comandi (si utilizzerà quello previsto dal progetto SE 220 kV "Monreale 3")
 - Edifici Servizi Ausiliari
 - Edificio quadri 36 kV
 - Edificio Magazzino (si utilizzerà quello già previsto dal progetto SE 220 kV "Monreale 3")
 - Cabina per punti di consegna MT (DG 2092) (si utilizzerà quello già previsto dal progetto SE 220 kV "Monreale 3")
 - Edificio DG e TLC (si utilizzerà quello già previsto dal progetto SE 220 kV "Monreale 3")
 - Chioschi per apparecchiature elettriche
- Sistema di illuminazione;
- Impianto di terra.

3. RIFERIMENTI NORMATIVI

Gli studi geologici e la redazione della presente relazione sono stati eseguiti seguendo le prescrizioni delle norme, i cui riferimenti sono di seguito riportati:

- a. Deliberazione n. 81 del 24 febbraio 2022. "Aggiornamento della classificazione sismica del territorio regionale della Sicilia
- b. D.A. n.117 del 07 Luglio 2021;
- c. D.D.G. n.102 del 23 Giugno 2021;
- d. L. R. 13 agosto 2020 n°19
- e. Il D.S.G. n.189/2020;
- f. Direttiva dell'Autorità di Bacino (AdB) del 11/10/2019 (Prot.6834);
- g. D.M. 17 Gennaio 2018 – Nuove Norme tecniche per le costruzioni;
- h. Circolare ARTA 3/DRA del 20/06/2014;
- i. D.M. 14 Gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni; Circolare 2 febbraio 2009, n° 617 – istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni";
- j. Norme Tecniche di cui al D.M. 11.03.88 - Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- k. Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274/2003 - "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica."; modificata dall'O.P.C.M. 3431 del 03/05/2005;
- l. Delibera della Giunta Regionale della Regione Siciliana n. 408 del 19/12/2003 - "Elenco dei comuni della Sicilia classificati sismici con i criteri della delibera di Giunta Regionale n.408 del 19 Dicembre 2003" pubblicato sulla GURS n.7 del 13/02/2004";
- m. Legge regionale 6 aprile 1996, n.16 - "Riordino della legislazione in materia forestale e di tutela della vegetazione";
- n. Regio Decreto Legge 30 dicembre 1923, n.3267 - "Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani";
- o. Regolamento 16 maggio 1926, n.1126 - "Approvazione del regolamento per l'applicazione del R.D. 30 dicembre 1923, n.3267, concernente il riordinamento e la riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani";

4. GEOLOGIA

4.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

Dal punto di vista strutturale l'area fa parte del complesso geologico noto in letteratura come "I monti di Palermo" ed appartengono all'Unità Stratigrafico - Strutturale Monte Kumeta.

Questi costituiscono un frammento della catena Appennino - Magrebide risultante dalla sovrapposizione tettonica di unità carbonatiche e terrigeno - carbonatiche di età Mesozoica-Terziaria derivanti dai domini paleogeografici, Piattaforma Carbonatica Panormide, Bacino Imerese, Piattaforma Carbonatica e Carbonatica Pelagica Trapanese. A partire dal Miocene inferiore tali domini sono stati deformati verso l'esterno seguendo una direzione Nord-Sud, dando così origine a dei corpi geologici con omogeneità di facies e di comportamento strutturale. L'Unità Monte Kumeta deriva dalla deformazione della parte interna del dominio Sicano ed è costituita da una successione di depositi di scarpata di età compresa tra il Lias inf. e il Tortoniano inf. I termini più recenti dell'Unità Monte Kumeta affiorano in finestra tettonica sotto i terreni dell'Unità Sagana Belmonte Mezzagno, lungo il fiume Iato, al di sotto dell'Unità Piana degli Albanesi e a sud della dorsale di Monte Kumeta. Per quanto riguarda in particolare l'area di progetto, il principale litotipo affiorante è costituito da argilliti ed argille debolmente marnose; in affioramento tale terreni si presentano discretamente omogenei, di colore variabile dal grigio scuro al grigio chiaro, con rare intercalazioni di livelli sabbiosi centimetrici che seguono una ritmicità mal definita. Tale litotipo, talora, assume in superficie un colore bruno-giallastro per evidenti fenomeni di alterazione e di pedogenesi in generale.

4.2 GEOLOGIA DEL SITO DI INTERVENTO

Il rilevamento geologico di superficie, opportunamente esteso ad un'ampia fascia perimetrale esterna rispetto al sito in oggetto e correlato con le interpretazioni delle indagini sismiche e penetrometriche effettuate, ha permesso di ricostruire in modo soddisfacente la successione dei terreni presenti nell'area studiata.

Lo studio geologico, di insieme e di dettaglio, è stato realizzato conducendo inizialmente la necessaria ricerca bibliografica sulla letteratura geologica esistente, la raccolta ed il riesame critico dei dati disponibili, ed infine, una campagna di rilievi effettuati direttamente all'interno dell'area oggetto di studio, ha permesso di redigere la carta geologica (**Cfr. Tav. 4**).

I terreni presenti nell'area in studio sono riferibili a complessi litologici rappresentati da "formazioni" geologiche ampiamente riconosciute in letteratura.

Le formazioni individuate nel sito di progetto, secondo un ordine stratigrafico o stratigrafico-tettonico, sono le seguenti:

a) Unità Numidiche

1. Formazione Tavernola (*Burdigaliano sup. – Langhiano*)
2. Flysch Numidico (*Oligocene – Miocene inf.*)

b) Terreni tardorogeni

- a. Formazione Terravecchia (*Tortoniano sup. – Messiniano inf.*)
- b. Formazione Castellana Sicula (*Serravalliano sup. – Tortoniano inf.*)

c) Depositi recenti o attuali

- c. Complesso alluvionale (*Recente*)
- d. Complesso detritico (*Recente*).
- e. *Depositi Eluvio-Colluviali (Recente)*

La sequenza completa dei terreni affioranti nell'intorno dell'area di specifico interesse dal basso verso l'alto, è data da:

- Peliti sabbiose contenenti foraminiferi planctonici e conglomerati; Peliti e peliti sabbiose con intercalazioni di sabbie ed arenarie (*SIC*) appartenenti alla - *Fm. Castellana Sicula*;
- Arenarie sabbiose da giallastre a grigie con stratificazione incrociata alternate a peliti sabbiose appartenenti alla *Fm. Terravecchia* membro sabbioso.
- Formazione Tavernola è costituita da marne pelitico-sabbiose bruno-giallastre con intercalazioni di arenarie micacee e glauconitiche con foraminiferi arenacei e planctonici, nanofossili calcarei. Intercalati rari livelli di arenarie calcaree.
- Terreni di copertura: i litotipi sopra esposti, come già accennato, sono in gran parte ricoperti da depositi recenti; si tratta prevalentemente depositi di falda e di frana spesso associati a coltri detritiche di natura eluviale o colluviale.

Considerato l'estensione dell'area interessata, al fine di inquadrare al meglio la geologia locale delle aree in progetto vengono di seguito descritte le caratteristiche geologiche in base ai risultati delle indagini geognostiche effettuate in ciascun sottocampo.

4.3 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DEL SITO IN PROGETTO

Il rilevamento geologico di superficie, opportunamente esteso ad un'ampia fascia perimetrale esterna rispetto al sito di progetto, opportunamente correlato con le interpretazioni delle indagini sismiche in situ effettuate, hanno permesso di ricostruire in modo soddisfacente la successione dei terreni presenti nell'area studiata. Le formazioni

geologiche che affiorano nell'area in studio, procedendo da quelle di deposizione più recente verso quelle più antiche, sono le seguenti:

Complesso detritico (a1)

Trattasi di accumuli gravitativi caotici di materiali eterogenei ed eterometrici, in matrice da argillosa a sabbiosa, localmente a grossi blocchi, a luoghi stabilizzati o senza indizi di evoluzione in atto. Tale litotipo affiora, come ben visibile nell'allegata carta geologica, con esigui spessori.

Depositi Eluvio Colluviali (b2)

Depositi eluviali e colluviali costituiti da ghiaie, sabbie e limi variamente frammisti, spesso pedogenizzati.

Formazione Castellana Sicula (SIC)

Trattasi di Argille siltoso-marnose di colore grigio, a stratificazione indistinta, con intercalazioni di siltiti e areniti quarzose di colore giallastro.

Affiora soltanto lungo le zone di creste delle aree collinari delle porzioni settentrionali dell'area.

Formazione Tavernola (TAV)

Tale complesso litologico risulta caratterizzato da marne e peliti grigio-verdastre nelle quali si intercalano banchi plurimetri di arenarie quarzose giallastre e verdastre. Ricopre diffusamente l'area oggetto di studio

Dalle indagini sismiche effettuate in Rz1 si riscontra al di sotto di una copertura vegetale (circa 1.0 m. dal p.c.) a partire da una profondità variabile di circa 2,8-3.5 metri dal p.c.. Questa ultima risulta ricoperta da una coltre di depositi eluvio colluviali costituiti da ghiaie, sabbie e limi variamente frammisti, spesso pedogenizzati. Le indagini hanno messo in evidenza la presenza, nei primi 10-12 metri, di un solo orizzonte rifrattore ben definito. Tale interfaccia si presenta con aspetto lievemente inclinato rispetto alla traccia della superficie topografica con un leggero assottigliamento verso la parte iniziale dello stendimento.

In definitiva sono stati quindi individuati n°2 sismostrati caratterizzati da velocità delle onde sismiche V_p differenti (Fig. 4.2.1).

1° Sismostrato

È caratterizzato da velocità delle onde di compressione V_p , nell'ordine di 199.35 m/s, indicative di un terreno sciolto, alterato. Lo spessore, in riferimento alla traccia lungo la

superficie topografica, risulta piuttosto costante e mediamente valutabile in circa 1,9-3,5 metri.

- 2° Sismostrato

Strato caratterizzato da una Vp di 515.69 m/s valore medio compatibile con terreni pelitici grigio-verdastri riscontrate al di sotto di circa 2-3 metri dal p.c..

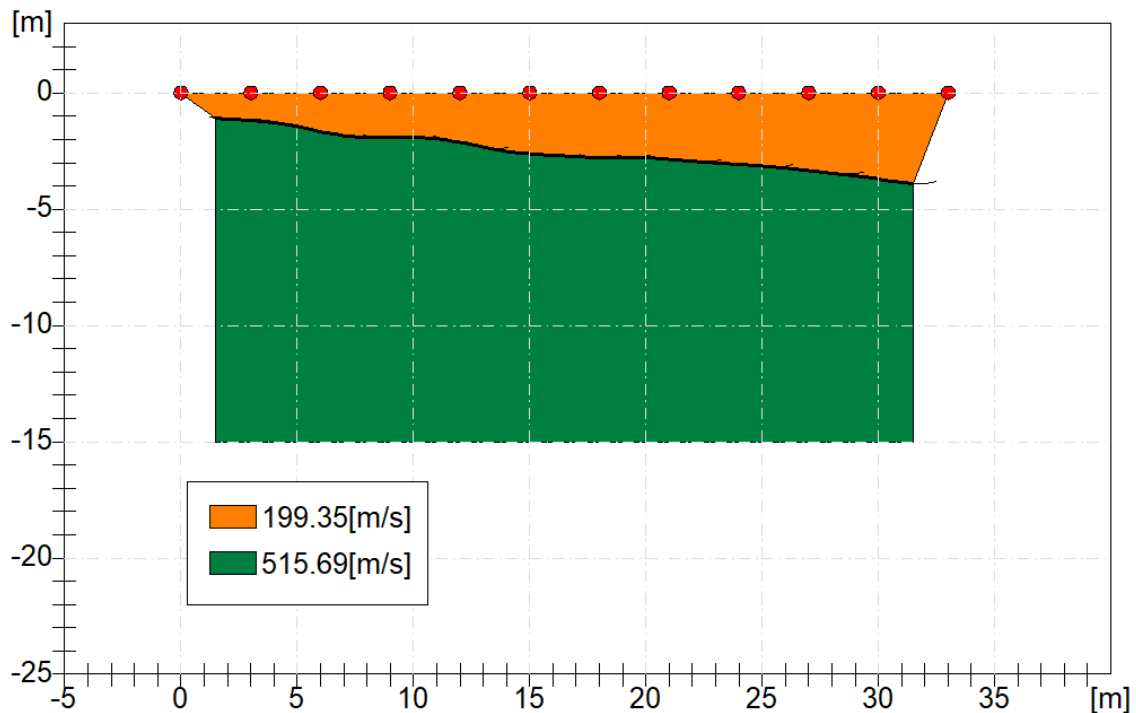


Fig. 4.2.5: Sismo-sezione Rz1 eseguita all'interno del sito.

Tabella 4.2.3 – Sintesi dei risultati dell'indagine sismica in Rz1.

SINTESI DEI RISULTATI			
SISMOSTRATO	PROFONDITA' (m dal p.c.)	Vp (m/s)	CORRELAZIONI GEO-LITOLOGICHE
1	Da -0,8 a -1,0	199.35	Terreno vegetale sciolto, alterato costituito da limi e argille alterate di colore bruno-rossastro con presenza di abbondanti elementi litici di natura arenacei.
2	Da -0,8-1,0 a 2.5-3.5	515.69	Terreni pelitici grigio-verdastri alterati e degradati.

5. GEOMORFOLOGIA E COMPATIBILITA' GEOMORFOLOGICA

La morfologia dell'area è il risultato delle azioni combinate di diversi processi sia endogeni che esogeni. I processi endogeni sono rappresentati, in primis, dalla tettonica che ha determinato la giacitura degli strati rocciosi e la formazione di superfici di dislocazione con il conseguente controllo della morfologia. L'influenza della litologia sulle caratteristiche morfologiche del paesaggio è determinante a causa della marcata differenza di comportamento rispetto all'erosione dei vari morfotipi affioranti; infatti, nell'area in esame si notano i rilievi carbonatici che offrono una buona resistenza all'erosione e terreni argillosi o detritici scarsamente cementati. Per quanto riguarda le linee di dislocazione esse rappresentano sicuramente delle zone a minore resistenza dove spesso è impostata la rete idrografica a regime torrentizio e a sviluppo areale medio – basso. Dove infatti affiorano i corpi carbonatici, le pendenze dei versanti sono molto elevate, al contrario invece dove affiorano i terreni argillosi – detritici, le pendenze risultano essere più blande.

Dal punto di vista morfologico il territorio di Piana degli Albanesi e Monreale, per la parte di pertinenza del Bacino idrografico del F. Belice, è caratterizzato da una netta prevalenza di versanti collinari da poco a mediamente acclivi, con forme mammellonari, dolci ed arrotondate, mentre affioramenti di rocce lapidee, di natura prevalentemente calcarea, si riscontrano nella estrema porzione orientale del territorio; queste conferiscono al paesaggio caratteri più francamente montuosi, con morfologie acclivi ed accidentate e quote più elevate, superiori anche ai 1.200 m s.l.m. (Rocca Ramusa Monte Kumeta) o di poco inferiori (P.zo Nicolosi). Rilievi di entità più modesta, in genere di natura arenaceo-calcarenitica o quarzarenitica, si riscontrano invece all'interno delle aree collinari, a costituire alture isolate che emergono rispetto ai circostanti versanti argillosi (Rocche di Rao, M. Galiello, Pizzo d'Aquila, C.zo Arcivocale). In questa porzione del Bacino del fiume Belice affiorano terreni ascrivibili a diverse unità stratigrafico strutturali e di diversa natura litologica: si hanno depositi riferibili alle Unità Trapanesi, alle Unità Numidiche, al Complesso Postorogeno. In particolare, le litologie di natura prevalentemente carbonatica sono presenti nelle aree orientali del territorio, considerato in corrispondenza dei principali rilievi montuosi quali Rocca Busambra-Rocca Ramusa, Monte Kumeta; nelle regioni centro-occidentali si riscontrano litologie argilloso-marnose o calcarenitiche, riferibili alle Formazioni delle Calcareniti Glauconitiche di Corleone ed alle Marne di San Cipirello e, con diffusione areale molto vasta, gli affioramenti argillo sabbiosi ed arenacei o quarzarenitici, riferibili alle formazioni del Flysch Numidico o al Complesso Postorogeno (Fm. Terravecchia), rappresentativi dell'area oggetto di studio (La Montagnola 864,5 m.

s.l.m.). In corrispondenza delle pendici dei principali rilievi sono presenti terreni di copertura di natura detritica, alla base dei versanti più acclivi e, lungo il fondovalle dei principali corsi d'acqua, vallone Catagnano e Fosso dell'Aquila, depositi alluvionali recente ed attuale. La dinamica geomorfologia è prevalentemente influenzata dal modellamento fluvio-denudazionale legato all'azione delle acque sia quelle ruscellanti che quelle incanalate: queste esercitano una continua azione erosiva dei versanti andando ad imbibire le coltri superficiali, e favoriscono l'instaurarsi di fenomeni di dissesto legati anche all'azione della gravità. In particolare, le litologie maggiormente soggette a fenomeni di dissesto sono quelle a prevalente componente argillosa, mentre lungo i versanti di natura carbonatica o arenacea, si osservano, in corrispondenza dei versanti particolarmente acclivi o subverticali, fenomeni di crollo e scivolamento di blocchi e massi. Le acque di infiltrazione vanno ad alimentare un acquifero profondo impostato sui depositi arenacei la cui soggiacenza, allo stato attuale delle conoscenze, non risulta interferire con le opere in progetto. Il sito in progetto, si colloca a 9 Km a ovest rispetto il centro abitato di Piana degli Albanesi, in una area collinare dalle forme dolci e arrotondate. Dall'analisi della distribuzione delle altimetrie, in un opportuno intorno dell'area in esame, il sito in progetto ricade tra le isoipse di quota 570 metri s.l.m. e 580 metri s.l.m. (**Cfr. Tinte Altimetriche 1:10.000**), ed è caratterizzata da una morfologia a media pendenza che ricade prevalentemente nella classe 5-10° con quote degradanti verso est (**Cfr. Carta delle Pendenze 1:10.000**). Dall'analisi comparata della carta clivometrica e geologica, si può notare facilmente la generale corrispondenza tra morfologia e litologia dei terreni presenti: a morfologie dolci ed arrotondate, caratteristiche del sito in progetto, corrispondono litotipi dei depositi quaternari, i quali presentano delle incisioni vallive, generate dall'erosione delle acque dilavanti. Il contesto geomorfologico attuale mostra come l'area di affioramento dei litotipi argillo-sabbiosi, appare interessata in particolari punti, da movimenti gravitativi diffusi; si tratta, perlopiù, di movimenti superficiali lenti tipici dei versanti argillosi con pendenze intorno ai 10° o superiori; in queste condizioni, infatti, fenomeni di ritiro peculiari delle argille creano una coltre superficiale aerata, molto permeabile, con la conseguente instaurazione tra questa coltre ed il sottostante substrato argilloso non alterato di una effimera circolazione idrica (specie in concomitanza con lunghi e/o intensi periodi piovosi) con conseguente decadimento delle caratteristiche di resistenza al taglio e "scollamento" delle porzioni di terreno più superficiali. L'area risulta caratterizzata da litofacies a prevalente componente coesiva ed a matrice pelitica. I risultati dei processi erosivi delle acque di ruscellamento superficiale sui terreni di tale natura sono manifestate dalla presenza di un reticolo

idrografico piuttosto sviluppato. Gli impluvi presenti grazie anche alla lieve pendenza riscontrata presentano un andamento ondulato e fianchi non troppo incisi. Le azioni erosive delle acque di scorrimento superficiale ovviamente sono legate ai cicli stagionali con intensa attività durante i periodi di forti apporti meteorici. Nell'area ove è prevista la realizzazione del sito in progetto non sono stati rilevati fenomeni morfogenetici attivi e/o situazioni di dissesto in atto o potenziali da essere in contrasto con il progetto proposto. A conferma dell'assunto, dalla visione delle cartografie pubblicate dal P.A.I., le aree in progetto, non rientrano tra le aree a rischio di frana o soggette ad alluvionamenti (**Cfr. Tavole PAI**).

In Conclusione l'assetto generale del territorio studiato appartiene alla Categoria Topografica T1 (ai sensi delle NTC 2018).

Dai rilievi geomorfologici eseguiti, nell'area in esame e in un suo intorno significativo lo scrivente può asserire che:

Nell'area oggetto di studio, si non riscontrano particolari morfologie dove possono verificarsi localizzazioni dell'energia sismica incidente, con conseguente esaltazione dell'ampiezza delle onde;

Non si riscontrano problemi connessi con fenomeni di stabilità di vario tipo.

Dal punto di vista geomorfologico, pertanto, l'area è inserita in un ambiente, che non lascia prevedere evoluzioni negative per l'insediamento dell'opera in progetto, e pertanto, presenta i necessari requisiti, per definirla idonea alla realizzazione dell'opera in progetto.

Pertanto alla luce di quanto sopra riportato è possibile affermare che le aree in cui è prevista la realizzazione delle opere in progetto risultano zone stabili scevre da potenziali scenari di pericolosità geologiche e/o geomorfologiche non essendo stati rilevati, all'atto delle indagini, fenomeni morfogenetici attivi e/o situazioni di dissesto in atto o potenziali, tali da essere in contrasto con il progetto proposto, risultando compatibile con il territorio in esame.

6. VALUTAZIONI IDROGEOLOGICHE E PERMEABILITÀ

Dal punto di vista idrologico l'area in esame ricade all'interno di un piccolo sottobacino del Fiume Belice, nella sua porzione più settentrionale a pochi chilometri dalla linea di spartiacque del bacino principale stesso. L'asta principale del sottobacino di interesse è rappresentata dal torrente Fosso dell'Aquila che scorre per circa 4,7 km, in direzione in direzione Est-Ovest, dagli 700 metri s.l.m. della linea di spartiacque fino ai circa 386,6 metri in corrispondenza della confluenza con il Belice Destro.

Lo sviluppo asimmetrico della rete idrografica all'interno del sottobacino e senza dubbio influenzato principalmente dalla litologia dell'area e solo secondariamente dalla topografia.

Il corso d'acqua principale che insiste nell'area in studio e che trae la propria origine dalle pendici di M. Leardo e da Rocca Busambra è il F. di Frattina che scorre in direzione NE-SO; successivamente il corso d'acqua prende il nome di Belice Sinistro. Tale corso d'acqua è alimentato da alcuni piccoli torrenti tra i quali il fosso Bicchinello, Vallone di Guisina, e il Vallone del Catagnano (**Tav. 12**).

In linea di massima, infatti, la rete idrografica si presenta ben sviluppata sul versante meridionale, con incisioni torrentizie marcate ed in fase di approfondimento; ciò indica la presenza di terreni scarsamente permeabili o impermeabili, al contrario del versante settentrionale dove i litotipi affioranti, in funzione della loro diversa natura litologica, appaiono a permeabilità più elevata con un conseguente minor sviluppo della rete idrografica ed impluvi molto meno marcati.

In definitiva i terreni che affiorano nell'area in esame presentano una condizione di permeabilità molto variabile sia in relazione alla varietà dei termini costituenti le varie successioni stratigrafiche, sia alla frequente variabilità degli aspetti litologici e strutturali riscontrabili all'interno delle singole unità che compongono tali successioni.

Infine da rimarcare che dai rilievi condotti e dallo studio dei terreni affioranti che comprendono sia l'area in esame che quella dell'immediato intorno, non sono state rilevate strutture idrogeologiche significative né la presenza di una falda idrica S.S. tale da potere interferire con le opere in progetto.

Per quanto riguarda gli aspetti delle interferenze con il reticolo idrografico si rappresenta che il progetto non interferisce con il reticolo ufficiale censito nella cartografia ATA 2012-2013. Dal punto di vista idraulico, l'area oggetto di intervento **non ricade** in aree vincolate come si evince dalla cartografia allegata al PAI Sicilia, attualmente presente nel portale dedicato.

7. CLASSIFICAZIONE SISMICA

7.1 CENNI SULLA STORIA SISMICA DEL TERRITORIO

Il reticolo di punti che permette di valutare la pericolosità sismica di base è frutto sia dello studio delle sorgenti e delle strutture sismogenetiche sul territorio italiano, sia dell'analisi storica dei terremoti. La figura 7.1 mostra la mappa delle sorgenti e strutture sismiche per l'intero territorio siciliano presenti nel database DISS 3.2.1, sviluppato all'interno del progetto nazionale S2 è frutto della collaborazione tra il Dipartimento Nazionale di Protezione Civile (DNPC) e l'Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia (INGV); il database è liberamente consultabile in formato web-Gis all'indirizzo web: <http://diss.rm.ingv.it/dissmap/dissmap.phtml>.

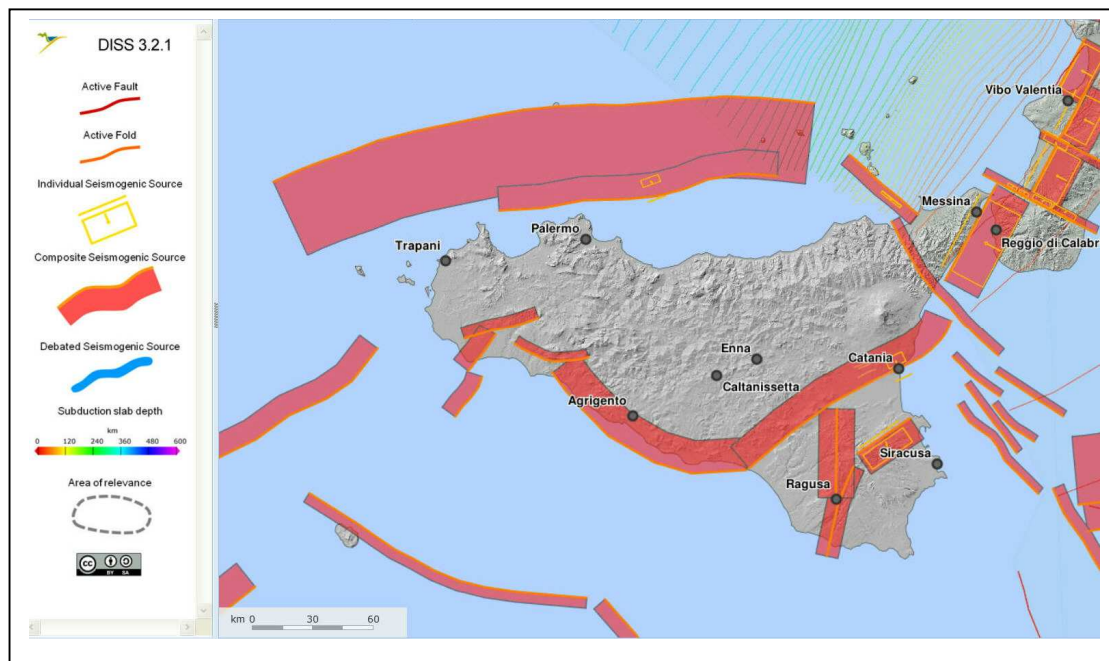


Fig. 7.1: Sorgenti sismogenetiche Sicilia. Fonte INGV.

Dal sito stesso dell'INGV è possibile sfogliare il database sui terremoti storici presenti sul territorio italiano (aggiornato alla versione DBMI15) consultabile all'indirizzo <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>.

Dall'interrogazione del database è possibile valutare la serie dei principali terremoti che hanno interessato in passato il territorio Comunale con *Intensità* maggiore di 2.

I risultati sono riportati nelle figure 7.2 e 7.3.

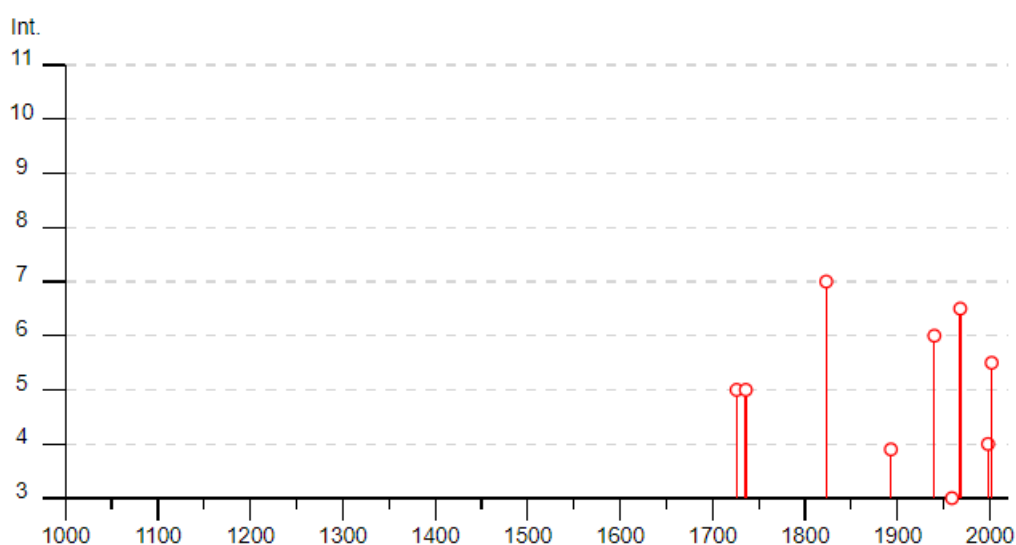


Fig. 7.2: Principali eventi sismici sul territorio comunale intensità/anno. Fonte INGV

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
5	1726	09	01	21	55		Tirreno meridionale	8	7-8	5.48
5	1736	08	16				Sicilia centro-settentrionale	5	6-7	4.86
7	1823	03	05	16	37		Sicilia settentrionale	107	8	5.81
F	1893	05	11	14	10	3	Isola di Ustica	15	5	4.59
NF	1898	11	03	05	59		Calatino	48	5-6	4.51
NF	1909	06	07	01	30		Corleone	16	3-4	3.73
6	1940	01	15	13	19	2	Tirreno meridionale	60	7-8	5.29
2	1954	11	20	05	35	2	Sicilia centro-occidentale	34	5-6	4.24
3	1959	12	23	09	29		Piana di Catania	108	6-7	5.11
6-7	1968	01	15	02	01	0	Valle del Belice	162	10	6.41
2	1981	06	07	13	00	5	Mazara del Vallo	50	6	4.93
2-3	1995	05	29	06	52	2	Isole Egadi	45	5	4.78
4	1998	01	17	12	32	4	Golfo di Castellammare	21		4.83
NF	1999	12	30	18	34	3	Tirreno meridionale	29		4.83
5-6	2002	09	06	01	21	2	Tirreno meridionale	132	6	5.92
NF	2004	05	05	13	39	4	Isole Eolie	641		5.42
NF	2005	11	21	10	57	4	Sicilia centrale	255		4.56

Fig. 7.3: Principali eventi sismici sul territorio comunale in epoca storica. Fonte INGV

L'evento più significativo a tutt'oggi risulta quello del 15 Gennaio 1968, con epicentro nella Valle del Belice, e con un'intensità sul territorio comunale (I_0 - scala MCS) valutata in 10.

Per l'accelerazione orizzontale di picco a_g attesa (in riferimento ad un suolo di categoria A con periodo di ritorno di 475) all'indirizzo web: <http://esse1-gis.mi.ingv.it> è disponibile una funzione che, consentendo la disaggregazione dei dati, permette di ottenere i valori della *Magnitudo* (M) e della *Distanza* (R) del Terremoto di riferimento atteso (in senso probabilistico). Dall'interrogazione web-gis emergono valori di 5.07 per la magnitudo e di 10.08 km per la distanza.

Nelle figure 7.4 e 7.5 sono riportati i risultati completi dell'interrogazione; si evidenziano nell'area valori di a_g compresi tra 0,150g e 0,175g, quindi in linea con l'intervallo previsto dall'O.P.C.M. 3274/03.

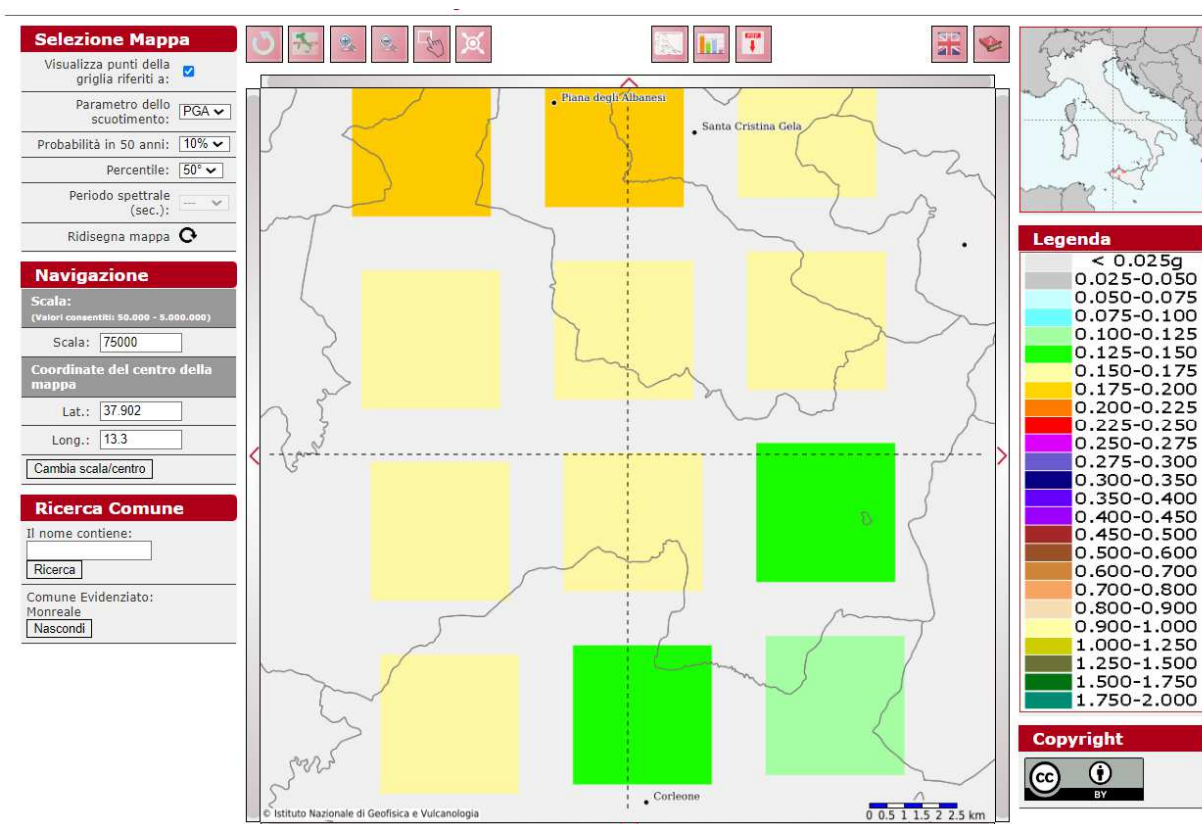


Fig. 7.4: Griglia per la valutazione dei valori di a_g sul territorio. Fonte INGV

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 37.885 lon. 13.301 - id 46284)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5- 4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5- 6.0	6.0- 6.5	6.5- 7.0	7.0- 7.5	7.5- 8.0	8.0- 8.5	8.5- 9.0
0-10	0.0000	10.6000	21.5000	14.0000	7.9300	1.0500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	3.8700	10.5000	9.7800	7.5300	1.1800	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.3400	2.1400	3.2700	3.4800	0.6550	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.1050	0.6100	0.9310	0.2010	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0495	0.2090	0.0567	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0007	0.0366	0.0132	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0033	0.0025	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0012	0.0009	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0011	0.0013	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0010	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.07	10.8	0.69

Fig. 7.5: Tabella dei valori di disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni. Fonte INGV

7.2 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La pericolosità sismica di base rappresenta, sostanzialmente, la probabilità che un evento sismico si verifichi in una determinata area per un determinato periodo di tempo con una data intensità, ovvero la previsione probabilistica dello scuotimento del suolo in un sito con riferimento ad un terremoto standard di riferimento; in pratica fornisce i valori significativi delle accelerazioni massime attese al suolo (*PGA* - peak ground acceleration) riferite ad una situazione ideale con suolo rigido ed omogeneo ($V_s > 800$ m/s; categoria A nelle NTC 18). Già con l'ordinanza O.P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003 l'intero territorio italiano era stato riclassificato con l'individuazione di 4 categorie sismiche in funzione dei valori significativi delle accelerazioni massime attese al suolo riferite a suolo rigido ed omogeneo ($V_s > 800$ m/s) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni e

con periodo di ritorno di 495 anni. In riferimento a tale macrozonazione sismica l'area in esame ricade in zona 2, ovvero "Zona dove possono verificarsi forti terremoti" con un'accelerazione orizzontale massima pari a $a_g=0,25g$ e con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni che risulta $0,15 \leq a_g \leq 0,25g$.

Nella nuova normativa, invece, poiché l'azione sismica viene definita facendo riferimento ad un reticolo i cui punti sono riportati in termini di latitudine e longitudine, di fatto può presentare una discreta variabilità anche all'interno di uno stesso territorio molto ristretto; più nello specifico l'azione sismica viene definita in funzione dei parametri (a_g , F_o , Tc^*) che, secondo differenti tempi di ritorno (T_R), definiscono le forme spettrali e quindi la "pericolosità sismica di base" che assieme al fattore suolo (S), legato agli effetti di amplificazione locale (stratigrafica e topografica), andrà in definitiva a caratterizzare la "risposta sismica locale".

In riferimento al vigente D.M. 17/01/2018, pertanto, al fine di ricavare i parametri di riferimento per l'azione sismica di base, si devono, innanzitutto, individuare le *coordinate di sito* tramite rilevatore satellitare WGS 84 - ETRF89.

Con riferimento al vigente D.M. 17/01/2018 al fine di ricavare i parametri di riferimento per l'azione sismica di base sono state innanzitutto individuate le coordinate di sito tramite rilevatore satellitare (WGS 84) che risultano:

Lat: 37.902223°

Long: 13.298330°

Tali coordinate sono state poi convertite al *datum ED50* mediante la procedura on-line fornita dal sito della *geostru* (<https://geoapp.eu/parametrisismici2018>), ottenendo i seguenti valori:

Lat: 37.903287°

Long: 13.299187°

A partire da queste ultime coordinate sono stati ricavati i parametri a_g , F_o , Tc^* per i vari periodi di ritorno T_R associati a ciascun *Stato Limite*, ipotizzando come tipologia un'opera ordinaria con $V_N = 50$ anni e classe d'uso IV (*Funzioni Pubbliche o strategiche importanti*); risulta:

STATO LIMITE	T_R (anni)	A_g (g)	F_o (-)	T_c^* (s)
SLO	30	0.041	2.358	0.226
SLD	50	0.056	2.344	0.251
SLV	475	0.161	2.376	0.302
SLC	975	0.212	2.454	0.317

7.3 PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

La Pericolosità sismica locale, rappresenta una valutazione, a scala di dettaglio, delle variazioni della pericolosità sismica di base per effetto delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, litologiche, idrogeologiche e geotecniche del sito specifico (condizioni locali). È ormai cosa acclarata e confermata da innumerevoli studi, che la struttura geologica sovrastante il bedrock assume un ruolo determinante nella modifica del treno di onde sismiche con *fenomeni di amplificazione* o di smorzamento; sicché, ad esempio, quando si passa dal bedrock rigido ad un terreno più superficiale con minore rigidità (variazione di *impedenza*) le onde sismiche subiscono un rallentamento e, per la legge della conservazione dell'energia, la loro ampiezza aumenta. Ne consegue un'amplificazione del moto sismico con danni all'edificato superiori rispetto ad aree circostanti poggianti su un terreno di copertura più rigido.

Citando la casistica espressa nelle varie circolari A.R.T.A. relative ai piani di revisione dei PRG, situazioni che portano ad una amplificazione dell'azione sismica sono legate per esempio a *zone di ciglio* (con $H > 10$ mt), *zone di cresta rocciosa* o di dorsale, *aree di fondovalle con presenza di alluvioni incoerenti*, zone pedemontane di *falda di detrito*, zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche diverse o zone con *terreni di fondazione particolarmente scadenti*; oltre a questa casistica vengono ugualmente prese in considerazione quelle situazioni che possono portare all'accentuazione di fenomeni di instabilità già in atto in occasione di eventi sismici quali zone caratterizzate da movimenti *franosì quiescenti* o *zone con elevata acclività associate a copertura detritica* o ancora ammassi rocciosi con acclività $> 50\%$ ed una giacitura sfavorevole degli strati.

In fase di progettazione esecutiva la risposta sismica locale viene valutata o mediante analisi specifiche, come indicate al paragrafo 7.11.3 delle NTC 2018 o facendo riferimento

alla procedura semplificata (qui utilizzata per la progettazione definitiva) descritta al paragrafo 7.3.

Si rappresenta, comunque, come riportato nella tavola delle pericolosità sismica locale, che nelle aree in cui ricade il sito in progetto è stata riscontrata l'assenza di pericolosità sismica locale in quanto caratterizzate da zone stabili, contraddistinte da una morfologia sub-pianeggiante con pendenze a basso gradiente altimetrico < di 15°.

7.4 SISMOSTRATIGRAFIA DI DETTAGLIO E AZIONE SISMICA LOCALE

Il piano di indagini in fase di progettazione definitiva ha previsto la realizzazione, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto ai sensi del D.M. 17/01/2018, la realizzazione di n°1 stendimento per indagine di sismica a rifrazione e n°1 stesa sismica per indagini di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) al fine di valutare sia la stratigrafia del sito e ricavare il parametro V_{Seq} (**Cfr. Carta delle Indagini**).

7.4.1 Risultati dell'Indagine di Sismica Masw

Nell'interpretazione della curva di dispersione delle onde di superficie di tipo Rayleigh, valutata tra 6 Hz e 60 Hz, la modellazione diretta basata sulle conoscenze stratigrafiche del sito ha permesso di correlare l'andamento dei modi di propagazione delle onde con i massimi della velocità di fase; Basandosi su tale interpretazione ed a partire dal risultato della modellazione diretta, allo scopo di affinare ulteriormente il modello, è stato successivamente effettuato il picking e l'inversione ipotizzando, per i primi 30 metri, un modello a 4 sismostrati. I risultati delle inversioni delle sette indagini eseguite in corrispondenza dei clusters agrofotovoltaici hanno fornito valori medi di **categoria suolo fondazione di tipo C** per il sito in progetto. Le indagini geofisiche eseguite, hanno consentito, dunque, di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde di taglio al fine di valutare il valore del parametro V_{Seq} e quindi stabilire la categoria di appartenenza del sottosuolo come da D.M. 17/01/2018. Dalla individuazione delle onde di taglio generate in corrispondenza del punto di indagine è stato possibile determinare la velocità di propagazione media di tali onde entro i primi 30 metri di terreno attraversato; successivamente, attraverso questo parametro ed ai sensi della normativa vigente in materia antisismica, Ordinanza 3274 – Nuova Normativa Antisismica del 20/03/2003, richiamata dal DM 17/01/2018, è stato possibile classificare tali terreni.

Lo studio sugli effetti di sito è un aspetto fondamentale nella valutazione e mitigazione del rischio sismico. Tale studio si effettua in termini di risposta sismica locale, partendo dal concetto di amplificazione del moto sismico che si origina dal basamento roccioso

(definito bedrock sismico) e che si propaga all'interno di un deposito sino a raggiungere la superficie. Valutare questi effetti non è sempre del tutto facile anche perché, in molti casi, l'amplificazione è dovuta ai cosiddetti fenomeni di risonanza nei terreni stratificati posti al di sopra del bedrock, di riflessione e rifrazione delle onde sismiche nelle interfacce di discontinuità e tra mezzi a diversa densità, dove le onde vengono per così dire "intrappolate" e successivamente trasmesse allo strato più superficiale generando così onde di tipo Love e di Rayleigh. A questi, poi, si aggiunge l'effetto di focalizzazione del raggio sismico nelle zone morfologicamente più acclive.

Sul territorio italiano la valutazione degli effetti della risposta sismica locale viene fatta sulla base delle vigenti norme tecniche per le costruzioni pubblicate in GU n.42 del 20/02/2018 - Suppl. Ordinario n. 8. In particolare per situazioni riconducibili alle categorie definite in Tab. 3.2.II di cui al § 3.2.2 si può fare riferimento ad un approccio semplificato basato sui valori di velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s , che costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo di cui al § 6.2.2. In tal caso si calcola la velocità equivalente con la seguente espressione:

$$V_{s, eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

con: h_i = Spessore in metri dello strato i -esimo (in m), V_s = Velocità dell'onda di taglio i -esimo strato, N = Numero di strati, H = profondità del substrato sismico (in m), definito come quella formazione, costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio V_{Seq} è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H = 30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

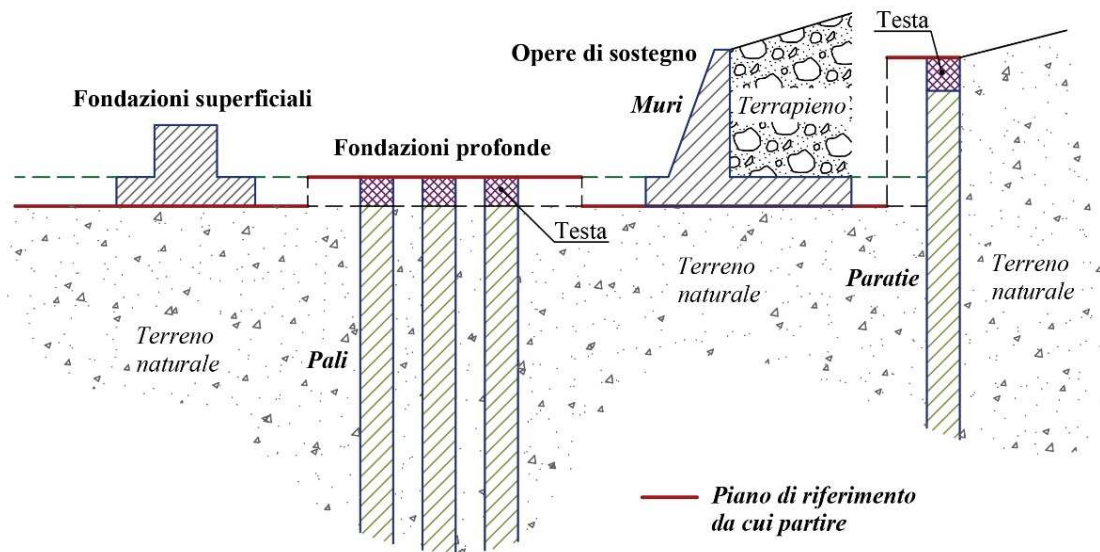


Figura 7.4.1: Schemi di riferimento richiamati al § 3.2.2 delle NTC 2018.

Mentre per tutti quei casi non rientranti è richiesta una specifica analisi della risposta sismica locale, così come previsto al § 7.11.3.

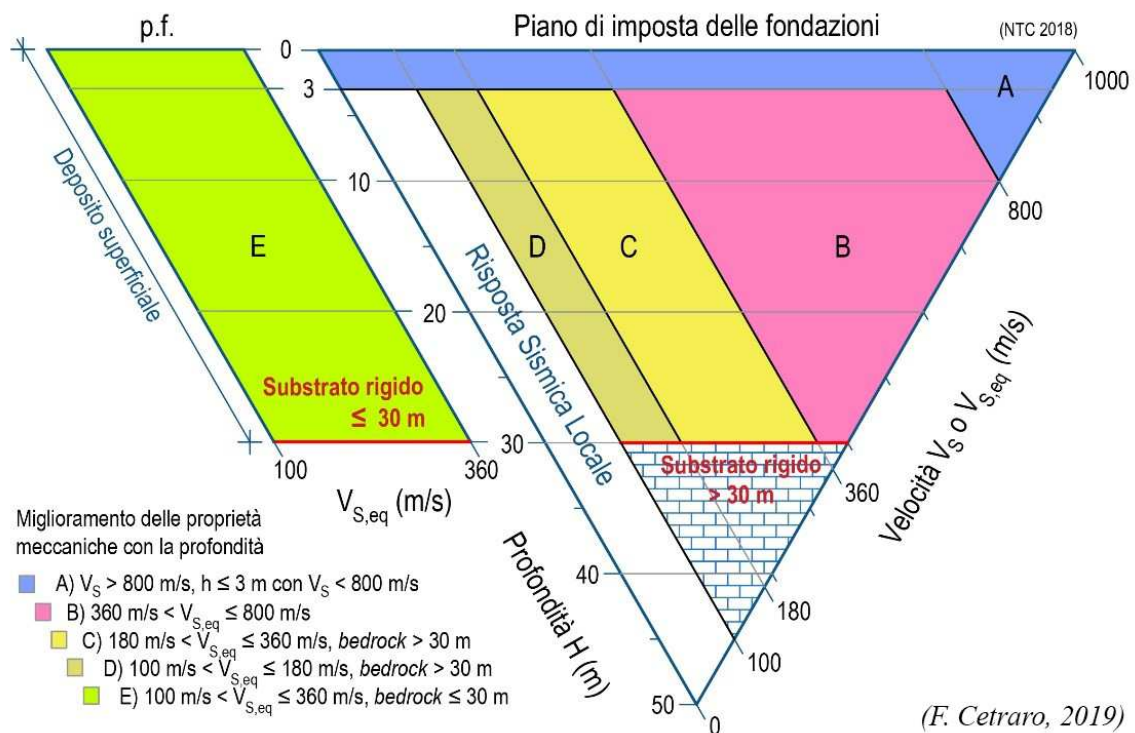


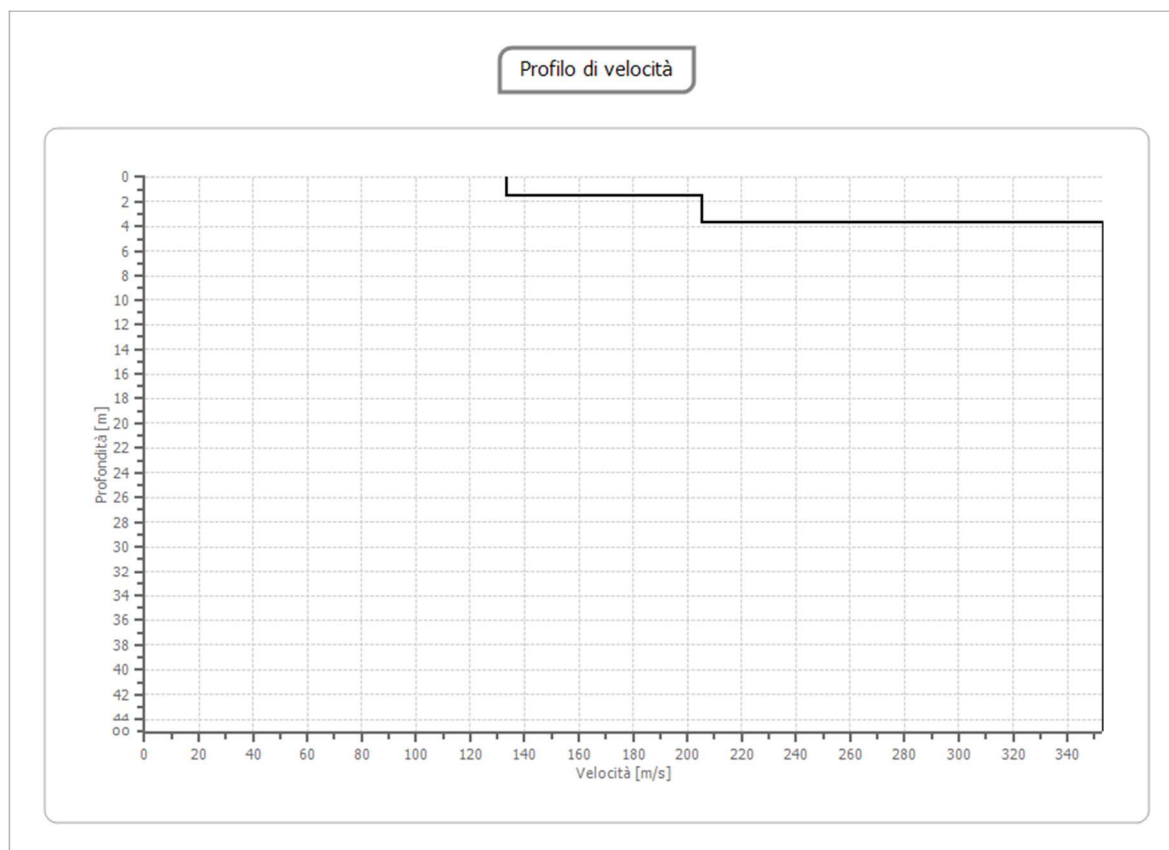
Figura 7.4.2: Diagramma categorie di sottosuolo secondo i riferimenti del § 3.2.2 delle NTC 2018.

7.4.2 Risultati dei calcoli

INDAGINE SISMICA MASW 1

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficient e Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.51	1.51	1700.0	0.40	No	326.6	133.3
2	3.71	2.20	1700.0	0.40	No	503.3	205.5
3	oo	oo	1800.0	0.40	No	864.7	353.0

Il modello interpretativo fornito ha permesso pertanto di ottenere la seguente stratigrafia con i relativi valori di velocità delle onde S:



Per la determinazione della Categoria del sottosuolo in applicazione delle NTC/2018 (§ 3.2.2), sulla base del valore ricavato, $V_{S,eq} = 310.84 \text{ m/s}$, unitamente a valutazioni circa la stratigrafia e l'andamento del valore delle Vs, il sottosuolo in esame risulta classificabile come sottosuolo di tipo C e Categoria topografica T1.

8. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

In questo capitolo vengono analizzate le caratteristiche fisico-meccaniche della litofacies che caratterizzeranno il sedime di fondazione dell'area oggetto di studio.

Per le valutazioni geotecniche, riguardanti l'area oggetto di studio, si è fatto riferimento ai risultati di una campagna di prove penetrometriche dinamiche medie, effettuate dallo scrivente all'interno del sito in progetto.

Questa fase del lavoro ha consentito di indagare sia le unità di copertura che il substrato. Tutti i dati ottenuti hanno permesso di effettuare una ricostruzione della litostratigrafia dell'area e di creare dei modelli rappresentativi, corredati dai parametri geotecnici medi indicativi.

Occorre tuttavia considerare che la natura geologica dei terreni indagati, mostra una spiccata variabilità litologica.

Si riportano, alcuni parametri derivanti da prove geotecniche in situ che comprendono, anche, dei valori di angolo d'attrito in ragione di una componente incoerente che, a luoghi, potrebbe essere rilevante, incidendo sul comportamento geomeccanico (**Cfr. Carta Litotecnica**).

In particolare il sito in progetto ricade all'interno di quattro unità litotecniche che sono state definite secondo quanto dettato dall'allegato D della Circolare 3/DRA del 20.06.2014. In particolare vengono catalogati in due insiemi, in cui il primo comprende i litotipi che costituiscono il substrato e l'altro quelli che caratterizzano i terreni di copertura.

COPERTURA

UNITA' A – COMPLESSO DETRITICO (F1)

Trattasi di accumuli gravitativi caotici di materiali eterogenei ed eterometrici, in matrice da argillosa a sabbiosa, localmente a grossi blocchi, a luoghi stabilizzati o senza indizi di evoluzione in atto. L'unità litotecnica appartiene alla categoria **F1** ovvero sedimenti sciolti a grana grossa con elementi litici a spigoli vivi. Per tale litotipo è possibile attribuire le seguenti caratteristiche geotecniche medie indicative:

$$C' \text{ (Kg/cm}^2\text{)} = 0$$

$$\Phi = 22^\circ\text{-}23^\circ$$

$$\gamma \text{ (t/m}^3\text{)} = 1,7$$

UNITA' B – DEPOSITI ELUVIO COLLUVIALI (G1C)

Depositi eluviali e colluviali costituiti da ghiaie, sabbie e limi variamente frammisti, spesso pedogenizzati. Sedimenti a grana medio fine, sabbie sciolte inglobanti frammenti spigolosi o arrotondati.

$$C' \text{ (Kg/cm}^2\text{)} = 0$$

$$\Phi = 23^\circ\text{-}24^\circ$$

$$\gamma \text{ (t/m}^3\text{)} = 1,7$$

SUBSTRATO

UNITA' C –FORMAZIONE DEL FLYSCH NUMIDICO-CASTELLANA SICULA (B4)

Terreno costituito da argilliti nerastre, argille brune e quarzareniti giallastre, con a luoghi addizionati livelli marno-calcarei di colore grigio-biancastro, passanti ad un'alternanza di quarzareniti in grossi banchi e sottili livelli di argille brune.

Successioni con alternanze di litotipi diversi (Argilla e Roccia Calcareo) con prevalenza della porzione argillosa.

$$C' \text{ (Kg/cm}^2\text{)} = 0,5\text{-}0,8$$

$$\Phi = 24^\circ\text{-}30^\circ$$

$$\gamma \text{ (t/m}^3\text{)} = 1,8$$

UNITA' D – FORMAZIONE TAVERNOLA (B3)

Tale complesso litologico risulta caratterizzato da marne e peliti grigio-verdastre nelle quali si intercalano banchi plurimetrici di arenarie quarzose giallastre e verdastre.

Successioni con alternanze di litotipi diversi (Argilla e Roccia Calcareo).

$$C' \text{ (Kg/cm}^2\text{)} = 0,6\text{-}0,8$$

$$\Phi = 26^\circ\text{-}28^\circ$$

$$\gamma \text{ (t/m}^3\text{)} = 1,75\text{-}1.85$$

Pertanto per una preliminare valutazione, sulla tipologia e dimensionamento delle fondazioni possono essere usati i parametri nominali indicati anche se gli aspetti geotecnici dovranno essere implementati in sede di progettazione esecutiva, attraverso mirate campagne di indagini geognostiche in situ e prove di laboratorio.

9. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente studio è stato redatto conformemente ai contenuti tecnici del D.M. 17/01/2018.

La finalità dello stesso è stata quella di accertare la compatibilità geomorfologica delle opere in progetto con il territorio in esame, attraverso rilievi geologici di dettaglio estesi ad una fascia perimetrale esterna rispetto a quella di stretto interesse. In particolare è stata eseguita una campagna di indagini di sito specifiche, così come disposto dall'art. 6.12.1 del N.T.C 2018, che hanno incluso tecniche di sismica a rifrazione e sismica masw, il cui numero è apparso congruo in funzione sia dell'attuale livello di approfondimento progettuale sia della copertura litologica dell'area di interesse. In fase esecutiva si dovranno prevedere, comunque, un supplemento di indagini, attraverso mirate campagne di indagini geognostiche e prove di laboratorio, al fine di potere approfondire le conoscenze circa le stratigrafie presenti e la caratterizzazione geotecnica dei terreni. Alla luce di quanto precedentemente esposto circa le condizioni morfologiche, geologiche, idrogeologiche, meccaniche e sismiche dei terreni di progetto, si ritiene di poter esporre le seguenti considerazioni conclusive:

Analisi Geologica

Sotto il profilo geolitologico, si può affermare che la stratigrafia riscontrata durante i rilievi e dall'interpretazione dei dati derivanti dalle prove sismiche effettuate evidenziano una stratigrafia costituita da:

Complesso detritico (a1)

Trattasi di accumuli gravitativi caotici di materiali eterogenei ed eterometrici, in matrice da argillosa a sabbiosa, localmente a grossi blocchi, a luoghi stabilizzati o senza indizi di evoluzione in atto.

Depositi Eluvio Colluviali (b2)

Depositi eluviali e colluviali costituiti da ghiaie, sabbie e limi variamente frammisti, spesso pedogenizzati.

Formazione Castellana Sicula (SIC)

Trattasi di Argille siltoso-marnose di colore grigio, a stratificazione indistinta, con intercalazioni di siltiti e areniti quarzose di colore giallastro. Affiora soltanto lungo le zone di creste delle aree collinari nelle porzioni settentrionali.

Formazione Tavernola (TAV)

Tale complesso litologico risulta caratterizzato da marne e peliti grigio-verdastre nelle quali si intercalano banchi plurimetrici di arenarie quarzose giallastre e verdastre. Ricopre diffusamente l'area in progetto.

Dalle indagini sismiche effettuate in RZ1 si riscontra al di sotto di una copertura vegetale (circa 1.0 m. dal p.c.) a partire da una profondità variabile di circa 2,8-3.5 metri dal p.c.. Questa ultima risulta ricoperta da una coltre di depositi eluvio colluviali costituiti da ghiaie, sabbie e limi variamente frammisti, spesso pedogenizzati.

Formazione del Flysch Numidico

Terreno costituito da argilliti nerastre, argille brune e quarzareniti giallastre, con a luoghi addizionati livelli marno-calcarei di colore grigio-biancastro, passanti ad un'alternanza di quarzareniti in grossi banchi e sottili livelli di argille brune. La formazione presenta uno strato superficiale leggermente alterato con spessore massimo di circa 3 metri, la cui consistenza migliora sempre di più con la profondità in considerazione della presenza di elementi litici.

Analisi Morfologica

Il sito in progetto, si colloca a 9 Km a ovest rispetto il centro abitato di Piana degli Albanesi, in una area collinare dalle forme dolci e arrotondate. Dall'analisi della distribuzione delle altimetrie, in un opportuno intorno dell'area in esame, il sito in progetto ricade tra le isoipse di quota 590 metri s.l.m. e 570 metri s.l.m. ed è caratterizzata da una morfologia a media pendenza che ricade prevalentemente nella classe 5-10° con quote degradanti verso est. Il contesto geomorfologico dell'area vasta mostra come l'area di affioramento dei litotipi argillo-sabbiosi, appare interessata in particolari punti, da movimenti gravitativi diffusi; si tratta, perlopiù, di movimenti superficiali lenti tipici dei versanti argillosi con pendenze intorno ai 10° o superiori; in queste condizioni, infatti, fenomeni di ritiro peculiari delle argille creano una coltre superficiale aerata, molto permeabile, con la conseguente instaurazione tra questa coltre ed il sottostante substrato argilloso non alterato di una effimera circolazione idrica (specie in concomitanza con lunghi e/o intensi periodi piovosi) con conseguente decadimento delle caratteristiche di resistenza al taglio e "scollamento" delle porzioni di terreno più superficiali. L'area risulta caratterizzata da litofacies a prevalente componente coesiva ed a matrice pelitica. I risultati dei processi erosivi delle acque di ruscellamento superficiale sui terreni di tale natura sono manifestate dalla presenza di un reticolo idrografico piuttosto sviluppato. Gli impluvi presenti grazie anche alla lieve pendenza riscontrata presentano un andamento ondulato e fianchi non troppo incisi. Le azioni erosive delle acque di scorrimento superficiale ovviamente sono legate ai cicli stagionali con intensa attività durante i periodi di forti apporti meteorici.

Sotto il profilo della stabilità geomorfologica generale, dallo studio effettuato, l'area vasta nel suo complesso appare interessata da alcuni movimenti gravitativi diffusi; si tratta,

perlopiù, di movimenti superficiali lenti tipici dei versanti argillosi che sono tuttavia esterni alle aree di progetto. Sia sulle aree di progetto sia in prossimità dell'area di interesse non sono stati rilevati fenomeni di dissesto, né in atto né potenziali, tali da rendere non attuabile il progetto.

A conferma dell'assunto, dalla visione delle cartografie pubblicate dal P.A.I., le aree in progetto, non rientrano tra le aree a rischio di frana o soggette ad alluvionamenti.

Analisi Idrogeologica- idraulica

Dal punto di vista idrogeologico i terreni che affiorano nell'area in esame presentano una condizione di permeabilità molto variabile sia in relazione alla varietà dei termini costituenti le varie successioni stratigrafiche, sia alla frequente variabilità degli aspetti litologici e strutturali riscontrabili all'interno delle singole unità che compongono tali successioni. Dai rilievi condotti e dallo studio dei terreni affioranti che comprendono sia l'area in esame che quella dell'immediato intorno, non sono state rilevate strutture idrogeologiche significative né la presenza di una falda idrica S.S. tale da potere interferire con le opere in progetto. Unico elemento di rilievo è la possibile presenza di una circolazione idrica sub-superficiale alimentata, a seguito di precipitazioni intense, dallo scorrimento delle acque di infiltrazione lungo le porzioni alterate tamponate verso il basso dai depositi sottostanti poco permeabili.

Dal punto di vista idrologico l'area in esame ricade all'interno di un piccolo sottobacino del Fiume Belice, nella sua porzione più settentrionale a pochi chilometri dalla linea di spartiacque del bacino principale stesso. L'asta principale del sottobacino di interesse è rappresentata dal torrente Fosso dell'Aquila che scorre per circa 4,7 km, in direzione in direzione Est-Ovest, dagli 700 metri s.l.m. della linea di spartiacque fino ai circa 386,6 metri in corrispondenza della confluenza con il Belice Destro.

Il corso d'acqua principale che insiste nell'area in studio e che trae la propria origine dalle pendici di M. Leardo e da Rocca Busambra è il F. di Frattina che scorre in direzione NE-SO; successivamente il corso d'acqua prende il nome di Belice Sinistro. Tale corso d'acqua è alimentato da alcuni piccoli torrenti tra i quali il fosso Bicchinello, Vallone di Guisina, e il Vallone del Catagnano.

Dal punto di vista idraulico l'area in progetto **non ricade** in aree vincolate come si evince dalla cartografia allegata al PAI Sicilia, attualmente presente nel portale dedicato.

Valutazioni litotecniche e Sismicità dell'area

Dal punto di vista litotecnico l'area in progetto è contraddistinta da quattro unità litotecniche (F1, G1C, B3 e B4) che sono state definite secondo quanto indicato nell'allegato D della Circolare 3/ DRA del 20.06.2014.

In base ai risultati medi delle indagini sismiche masw eseguite nel sito in progetto, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto (ai sensi del D.M. 17/01/2018), il terreno di fondazione rientra nella **categoria di sottosuolo di tipo C e categoria Topografica T1.**

Per una preliminare valutazione, infine, sulla tipologia e dimensionamento delle fondazioni possono essere usati i parametri nominali indicati nel paragrafo dedicato alla caratterizzazione geotecnica.

Pertanto alla luce di quanto sopra riportato è possibile affermare che l'area in progetto risulta zone stabile scevra da potenziali scenari di pericolosità geologiche, geomorfologiche e sismiche, non essendo stati rilevati, all'atto delle indagini, fenomeni morfogenetici attivi e/o situazioni di dissesto in atto o potenziali, tali da essere in contrasto con il progetto proposto, risultando compatibile con il territorio in esame.

Palermo, Agosto 2022

IL PROFESSIONISTA
Dott. Geol. Michele Ognibene

ALLEGATO II

INDAGINI DI SISMICA MASW

1. INDAGINE DI SISMICA MASW

1.1 Cenni sulla metodologia di indagine MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc. Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- P-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- S-Trasversale: onda profonda di taglio;
- L-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- R-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

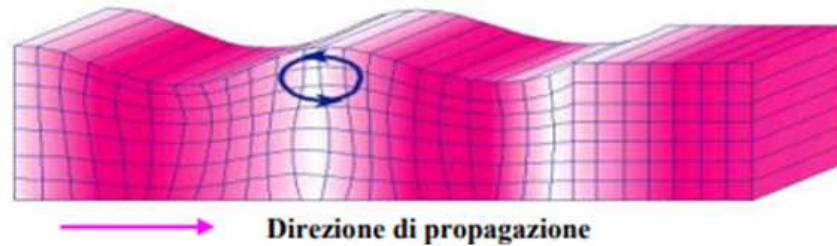
In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità. Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione

spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro. E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

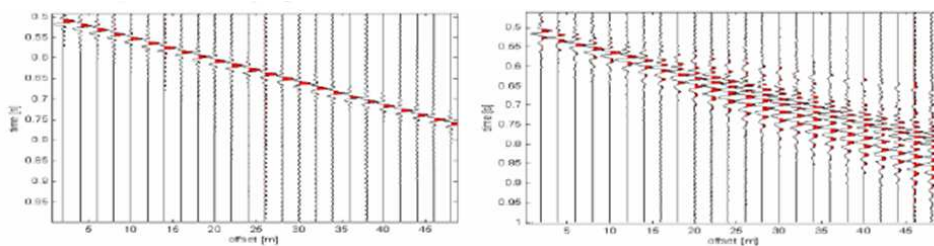
$$v = \lambda \times v$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità. Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate. Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità. Il metodo si basa sul rilievo di onde di superficie (onde di Rayleigh); queste si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente e sono polarizzate in un piano verticale. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera. L'asse maggiore delle ellissi è normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione delle onde e le particelle compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado alla direzione di propagazione delle

onde che vengono così generate. Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è uguale a $0.92V_s$. In un mezzo disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda tra i limiti 0 e $0.92 V_s$. La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).



La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle V_s , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati. Ciò consente, analizzando la variazione delle velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che dipende dall'inverso della lunghezza d'onda), di determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite il processo d'inversione.



Il metodo MASW consente in genere di valutare le velocità di fase in un intervallo di frequenze tra 5 Hz e 70 Hz, permettendo quindi di indagare i primi 30 - 50 metri di terreno, in funzione della rigidità del suolo. Una volta misurata in situ la velocità di fase (o curva di dispersione apparente) delle onde superficiali essendo questa funzione della velocità delle onde di taglio V_s (oltre che della natura del terreno e degli spessori degli strati) è possibile risalire al valore di queste ultime attraverso un processo d'inversione, in genere attraverso una procedura automatica tramite software che variando opportunamente spessore degli strati e velocità V_s

cerca di minimizzare l'errore tra la curva sperimentale della velocità di fase misurata in situ e la curva numerica elaborata. In genere quando l'errore relativo tra curva sperimentale e curva numerica è inferiore al 10% il profilo di velocità delle onde di taglio Vs rappresenta una soluzione potenzialmente valida.

1.2 Strumentazione MASW e Tecniche utilizzate

La strumentazione utilizzata è composta da: un acquisitore a 24 canali della SARA Electronics Instruments® a 16 bit (registratore DOREMI), con una configurazione a 12 ed 16 geofoni, alternativamente utilizzata, a frequenza di 4.5 Hz e da un personal computer. Come sistema di energizzazione è stata utilizzata una mazza di 8 kg battente su un piattello in pvc. L'indagine MASW è stata realizzata predisponendo uno stendimento lineare di 16 metri di lunghezza con 16 geofoni a 4.5 Hz equidistanti di 3 metri. Per l'acquisizione dei dati sono state effettuate ripetute energizzazioni disposte alle estremità del profilo ad una distanza di 3/2 metri dal primo geofono come da schema allegato.

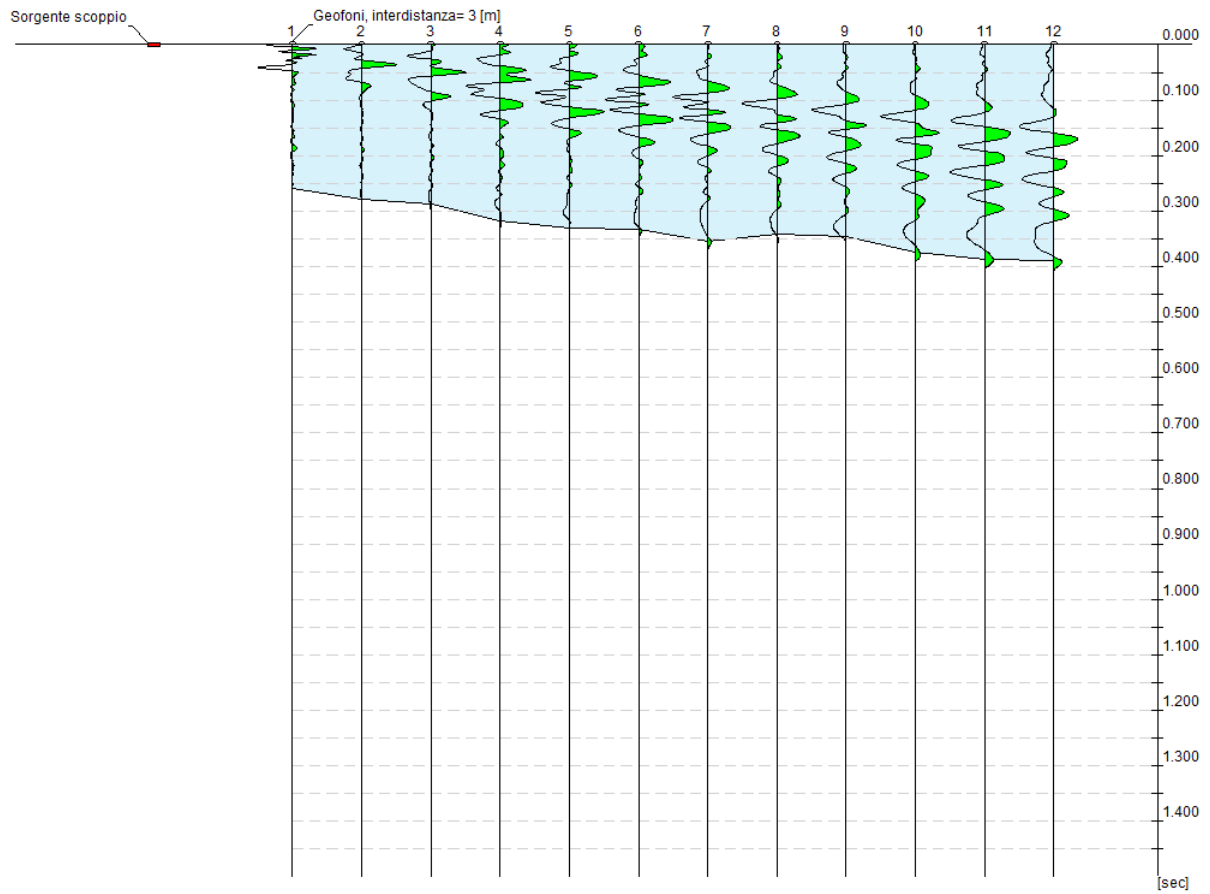


I dati sono stati elaborati tramite il software Easy Masw. L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "f-k" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica. In questo grafico è possibile distinguere il "modo fondamentale" delle onde di superficie. Sullo spettro di frequenza viene eseguito un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze. Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione del modello interpretativo. Variando la geometria del modello di partenza ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon "fitting" con i valori sperimentali.

INDAGINE MASW1

Tracce

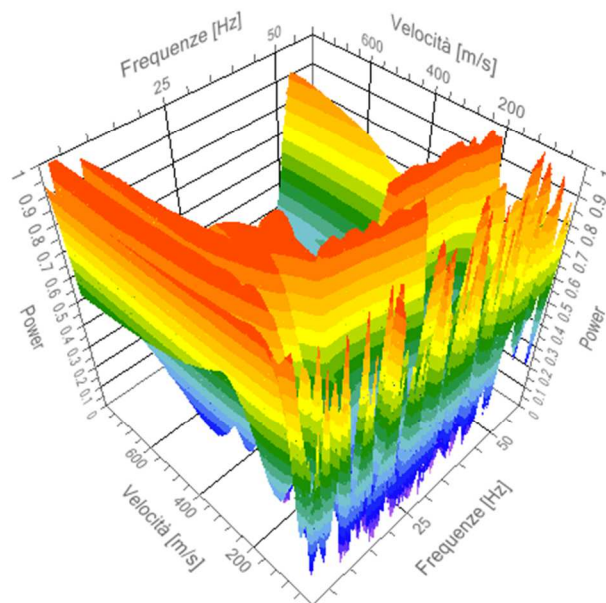
N. tracce 12
Durata acquisizione 1500.0
[msec]
Interdistanza geofoni 3.0
[m]
Periodo di campionamento 1.00
[msec]



Analisi spettrale

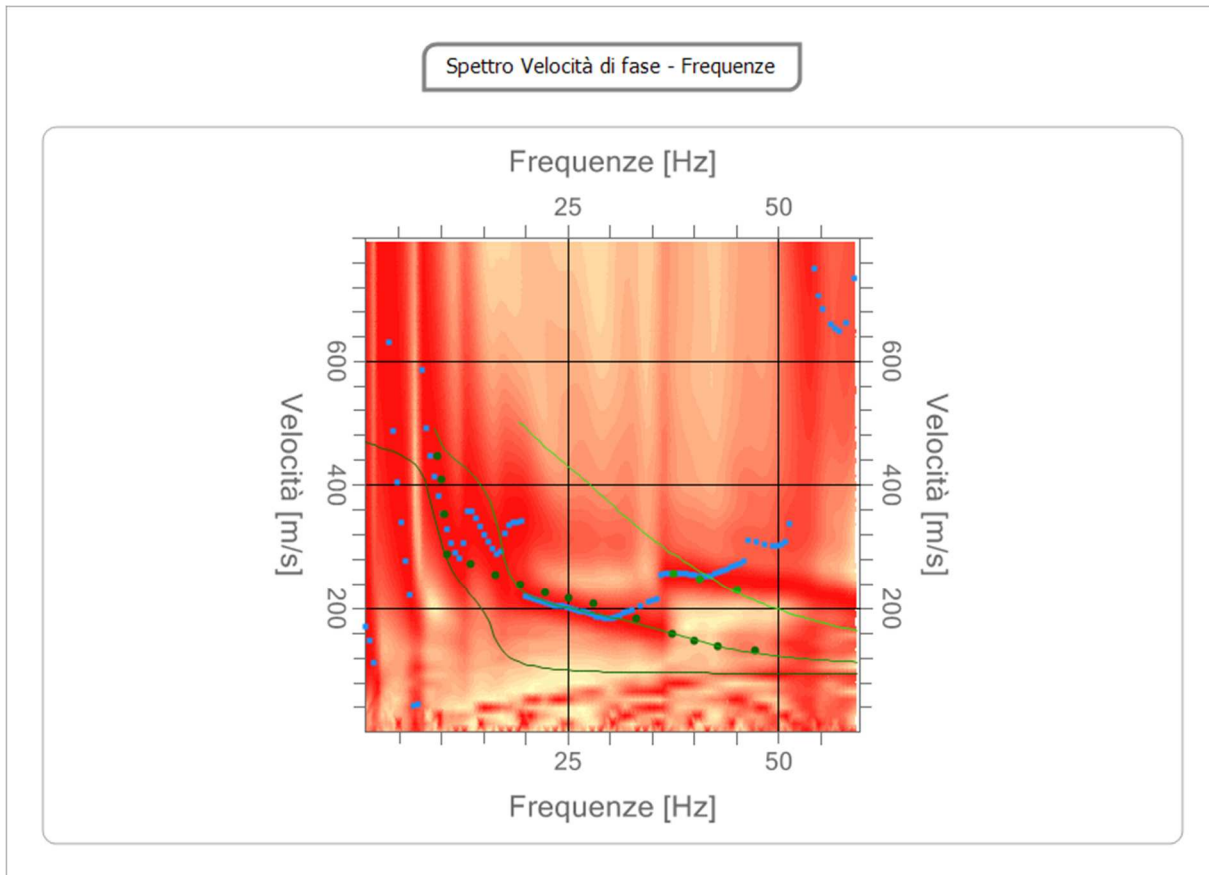
Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1

Spettro Velocità di fase - Frequenze



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	9.5	446.7	0
2	10.0	408.8	0
3	10.4	351.9	0
4	10.7	288.7	0
5	13.6	272.1	0
6	16.5	253.7	0
7	19.4	237.9	0
8	22.3	226.2	0
9	25.2	215.9	0
10	28.1	207.9	0
11	33.2	183.6	0
12	37.3	157.5	0
13	37.5	257.1	1
14	40.1	148.0	0
15	40.6	247.6	1
16	42.9	138.5	0
17	45.2	228.6	1
18	47.2	131.4	0



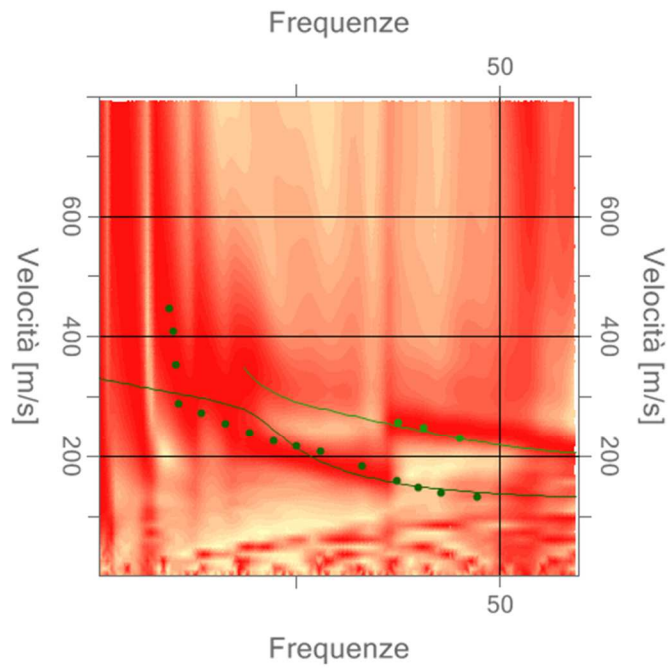
Inversione

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		1.51	1.51	1700.0	0.40	No	326.6	133.3
2		3.71	2.20	1700.0	0.40	No	503.3	205.5
3		oo	oo	1800.0	0.40	No	864.7	353.0

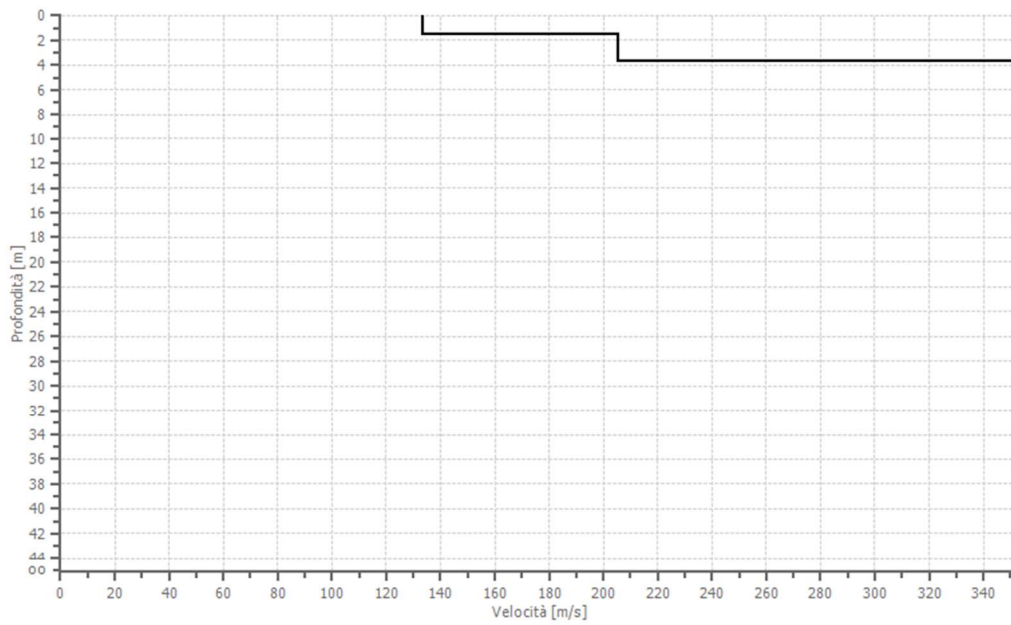
Percentuale di errore 3.040 %

Fattore di disadattamento della soluzione 0.120

Inversione



Profilo di velocità



Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	310.84
Categoria del suolo	C

Suolo di tipo 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.

Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/m ³]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.51	1.51	133.33	326.60	1700.00	0.40	30.22	181.33	141.04	84.62	65	99.13
2	3.71	2.20	205.46	503.26	1700.00	0.40	71.76	430.56	334.88	200.93	N/A	870.60
3	oo	oo	353.01	864.70	1800.00	0.40	224.31	1345.87	1046.79	628.07	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

REPORTAGE FOTOGRAFICO



RZ1-MW1

ALLEGATO III

INDAGINI DI SISMICA A RIFRAZIONE

1. INDAGINE DI SISMICA A RIFRAZIONE

1.1 Metodologia

Le indagini di sismica a rifrazione, 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 rifrattore). La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione 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 formulazione 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 di incidenza per cui $\theta_r = 90^\circ$ ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità.

L'espressione che definisce l'angolo limite è:

$$\theta_i = \arcsin(v_1 / v_2)$$

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:

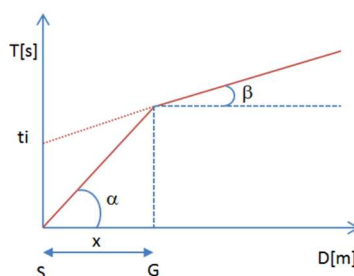
$$T = x_i / V_1$$

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:

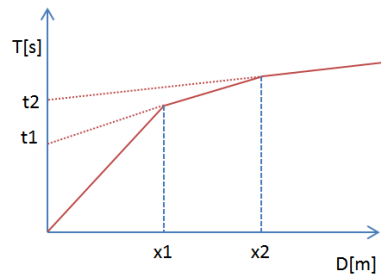
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

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.

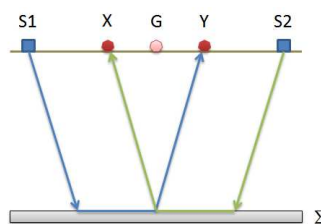
Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi.



Infine, dalla conoscenza dei tempi t_i è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

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

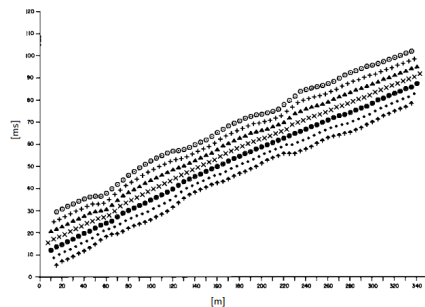
In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980. Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifrattore utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione. Nelle interpretazioni multi strato, la

generazione delle dromocrone può sfruttare tecniche di phantoming per sopperire alla mancanza dei dati per alcuni rifrattori. Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare la funzione velocità secondo l'equazione:

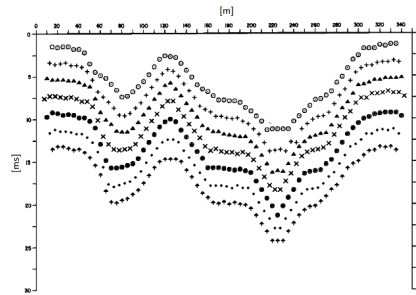
$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$



dove T_{S_1Y} e T_{S_2X} sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S_1 ad X e dalla sorgente S_2 ad Y mentre $T_{S_1S_2}$ è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S_1 ed S_2 , esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. T_v è il tempo calcolato su un geofono G posto tra X e Y , non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento. Il calcolo della funzione T_v viene eseguito per ogni valore di XY compreso tra zero e metà dello stendimento con variazione pari alla distanza reale tra i geofoni dello stendimento. La migliore retta di regressione delle funzioni velocità ottenute, permette di determinare l' XY ottimo e la velocità del rifrattore che è ricavata dal coefficiente angolare. Per mezzo della funzione tempo-profondità è possibile trovare la profondità del rifrattore espressa in unità di tempo. L'espressione di tale funzione è:

$$T_G = \frac{T_{S_1Y} + T_{S_2X} - \left(T_{S_1S_2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

Dove V_n è la velocità del rifrattore.



Analogamente a quanto avviene per la funzione velocità si determinano diverse funzioni tempo-profondità per l'insieme dei valori XY di studio. Tra le funzioni trovate, quella che presenta la maggiore articolazione compete al valore di XY ottimo. Infine, è possibile determinare lo spessore del rifrattore in corrispondenza delle posizioni dei geofoni G mediante la relazione:

$$h = T_G \sqrt{\frac{V_n XY}{2T_G}}$$

h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifrattore è definita dall'involuppo delle semicirconferenze di raggio h.

Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20°.

2.2 Strumentazione Utilizzata indagine di sismica a Rifrazione

Le indagini sono state eseguite utilizzando il sismografo digitale della Sara electronic instruments dotato di un sistema di acquisizione fino a 24 canali e convertitore A/D a 24 bit. La prova è stata realizzata mediante uno stendimento lineare, su un terreno di copertura pianeggiante, alternato da 16 e/o 12 trasduttori di velocità verticali (geofoni) con frequenza di vibrazione propria di 4,5 Hz dotati di memoria e convertitori a/d in grado di digitalizzare il segnale già in corrispondenza del cavo (sismografo Do.Re.Mi della Sara); i canali a sua volta sono collegati ad un'unità di testa connessa ad un personal computer portatile. L'attrezzatura risulta, inoltre, dotata di un sistema di trigger che consiste in un geofono indipendente posto a fianco della piastra di battuta, che invia il segnale di start al sismografo; Nello stendimento i geofoni sono stati posizionati alternativamente ad una distanza intergeofonica di 1, 3 e 5 metri, mentre

l'acquisizione è stata effettuata con un tempo di registrazione $T = 256$ ms ed un intervallo di campionamento $\Delta t = 250$ μ s. Per l'energizzazione è stata usata una mazza da 8 kg ed un piattello in PVC 20x20 cm; in tutto sono state effettuate tre energizzazioni, come da schema (Fig. 6.4.2.1):



Fig. 2.2.1: Geometria tipo dello stendimento sismico.

Per ottenere una traccia con un buon rapporto segnale/rumore, sono state eseguite tre energizzazioni rispettivamente, tra il sesto ed il settimo geofono, inoltre ulteriori 2 battute poste a 4 e/o a 2 metri dall'ultimo e dal primo geofono. Per l'ubicazione su stralcio planimetrico vedi la carta delle indagini.

Di seguito si riportano che i risultati delle prove effettuate con le relative schede tecniche. In allegato la planimetria con indicate la localizzazione dei singoli stendimenti sismici

INDAGINE RZ1

Geometria geofoni

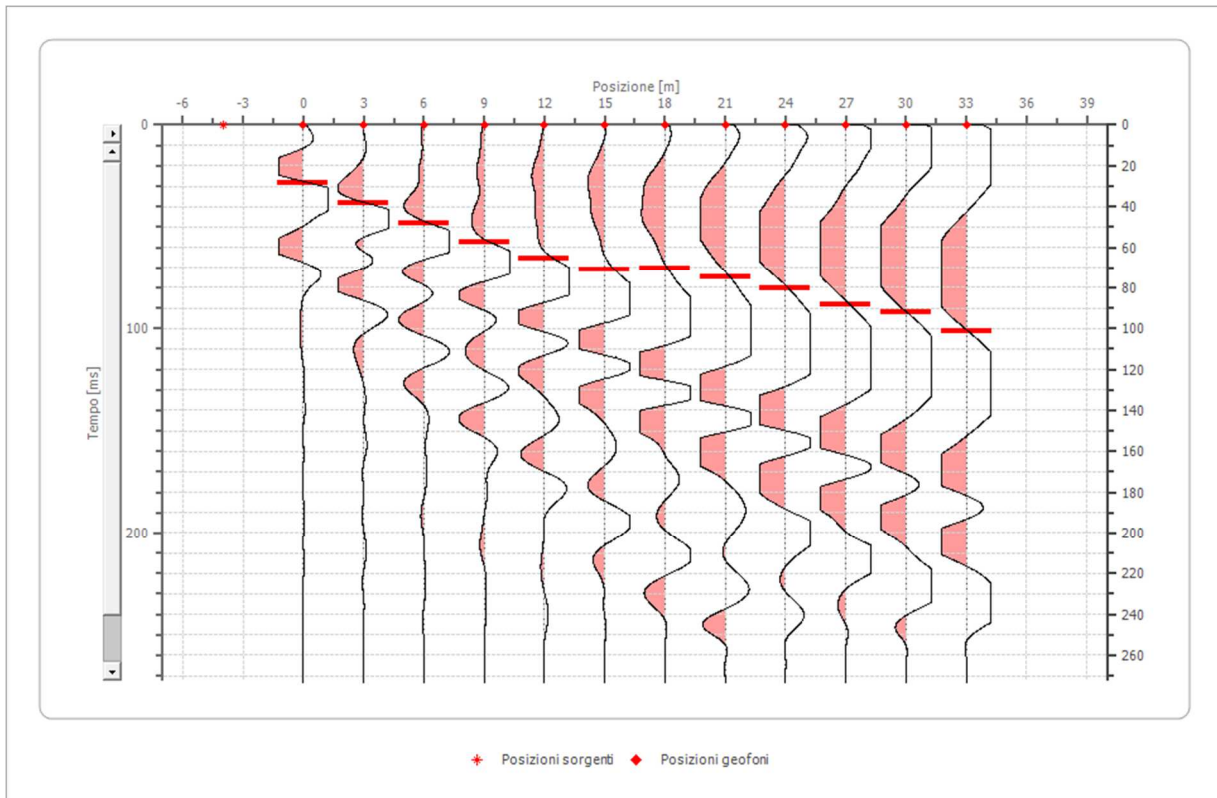
	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	0.0	0.0
2	3.0	0.0
3	6.0	0.0
4	9.0	0.0
5	12.0	0.0
6	15.0	0.0
7	18.0	0.0
8	21.0	0.0
9	24.0	0.0
10	27.0	0.0
11	30.0	0.0
12	33.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X -4 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

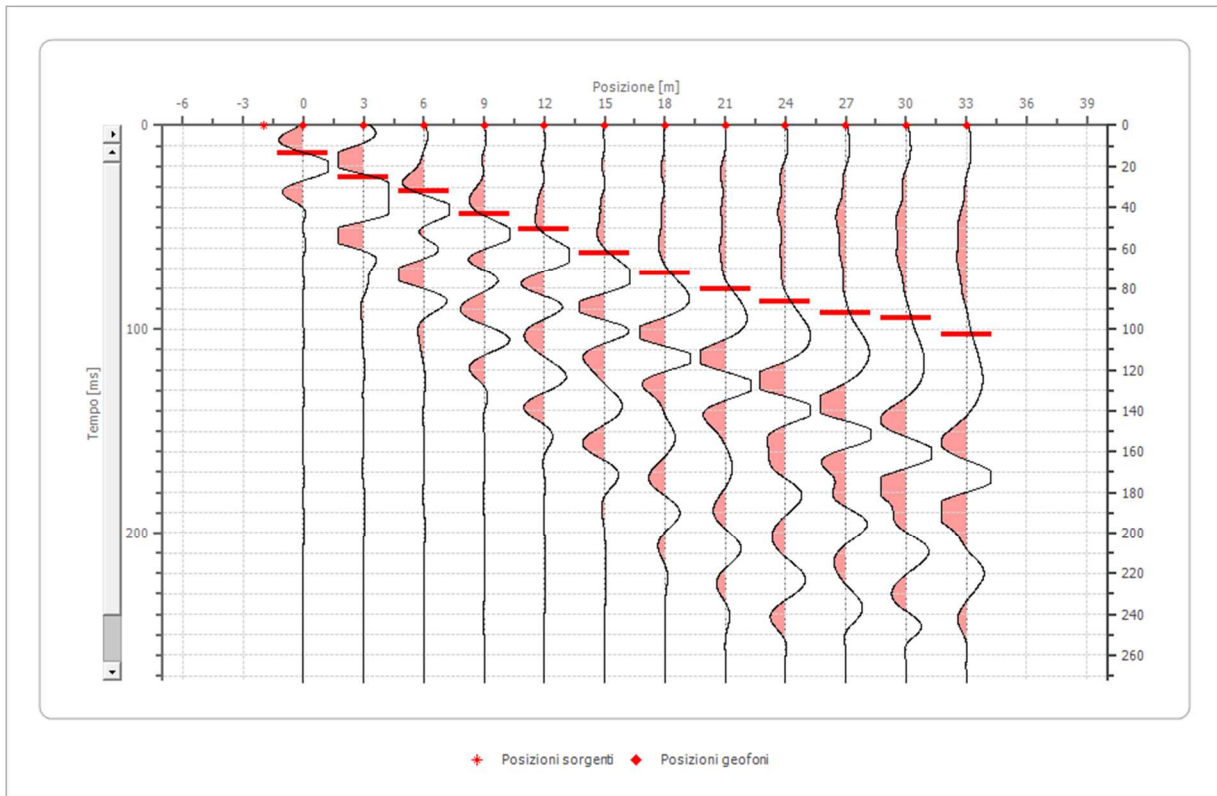


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	28.2146
3.0	38.4199
6.0	48.0248
9.0	57.8000
12.0	65.6000
15.0	71.2000
18.0	70.2363
21.0	75.0388
24.0	80.4416
27.0	88.2456
30.0	91.8475
33.0	101.4524

Battuta 2

Posizione sorgente X -2 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

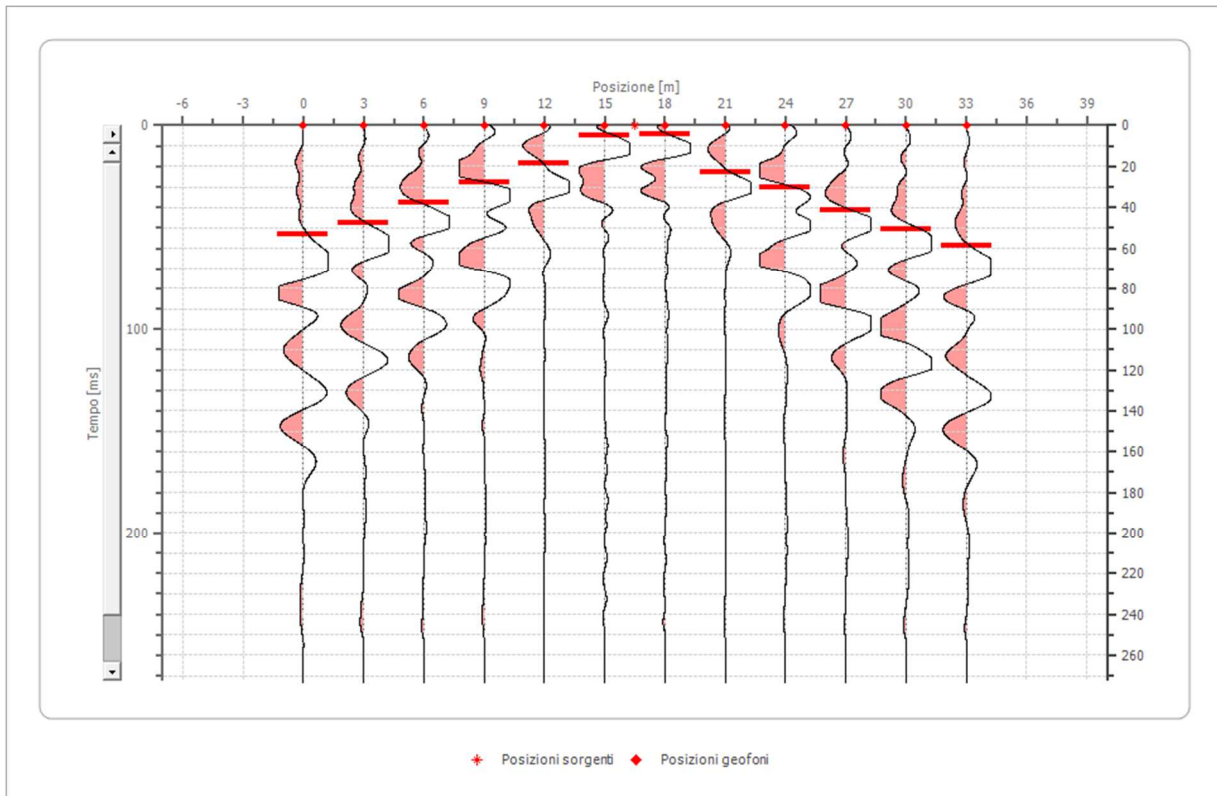


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	13.8071
3.0	25.2130
6.0	32.4168
9.0	43.2223
12.0	50.4261
15.0	62.4000
18.0	72.2000
21.0	80.4000
24.0	86.8000
27.0	92.0000
30.0	94.6000
33.0	102.4000

Battuta 3

Posizione sorgente X 17 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

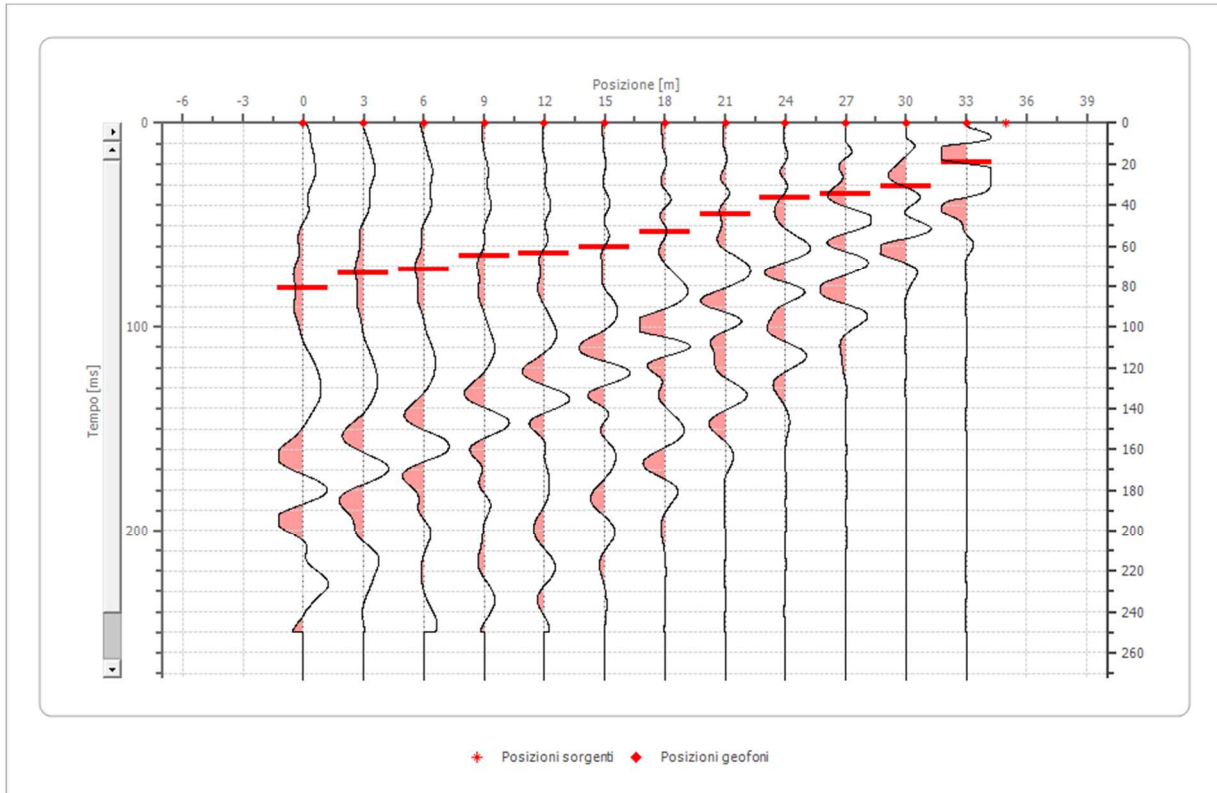


Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	52.8819
3.0	47.6974
6.0	37.8468
9.0	27.9963
12.0	18.6642
15.0	4.6660
18.0	4.1476
21.0	22.8118
24.0	30.5885
27.0	41.4760
30.0	50.8081
33.0	58.5848

Battuta 4

Posizione sorgente X 35 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]



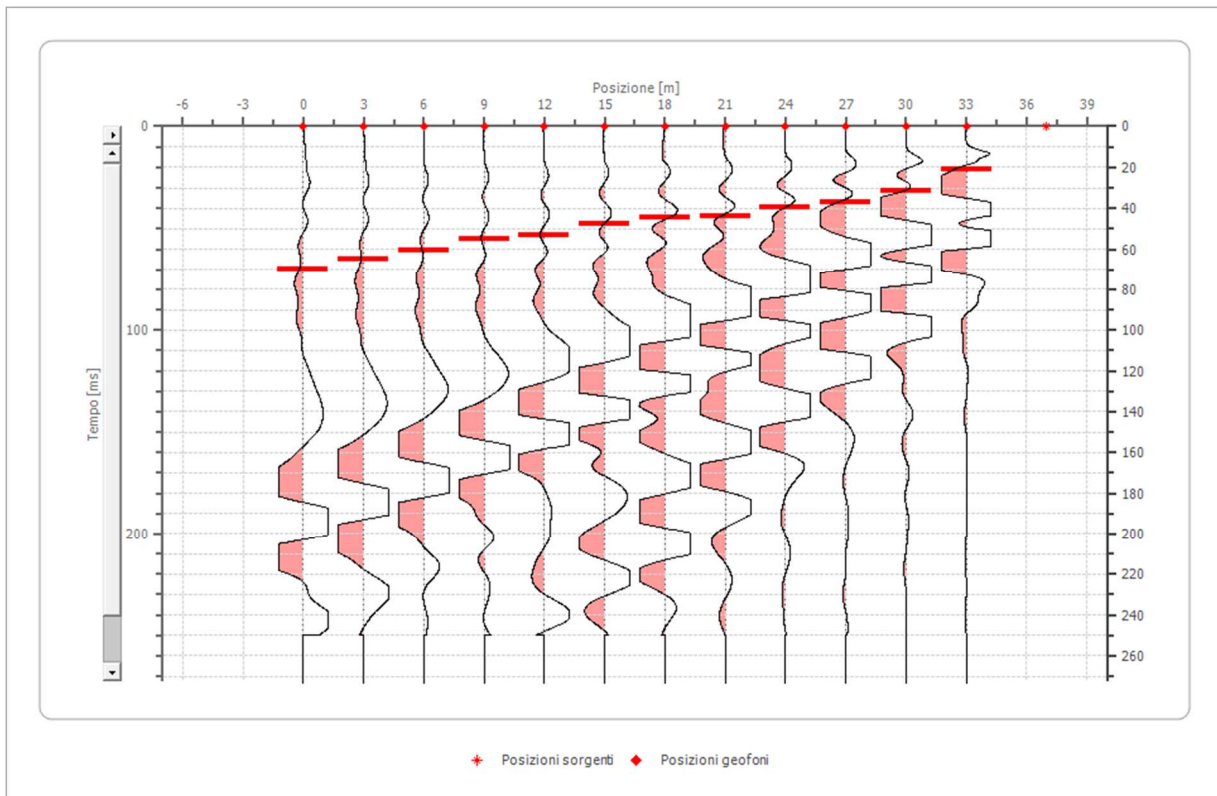
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	80.9524
3.0	73.4694
6.0	71.4286
9.0	65.0000
12.0	63.9456
15.0	60.5442
18.0	53.0612
21.0	44.2177
24.0	36.7347
27.0	34.6320

30.0	30.9215
33.0	19.1713

Battuta 5

Posizione sorgente X 37 [m]

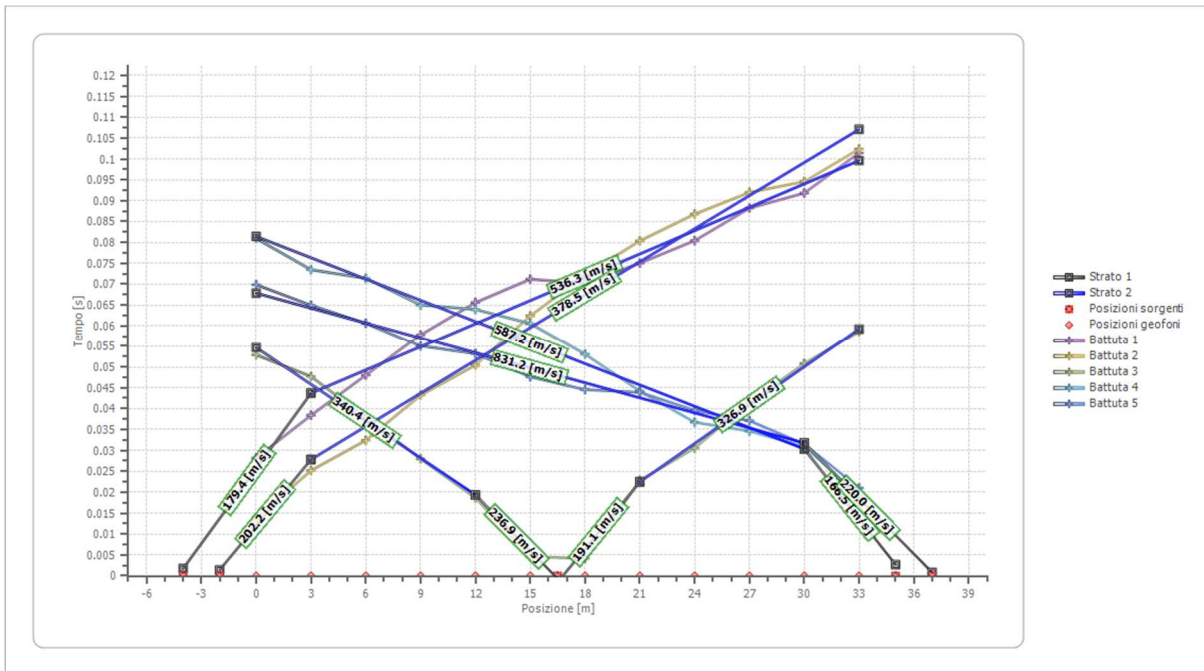
Posizione sorgente Z 0 [m]



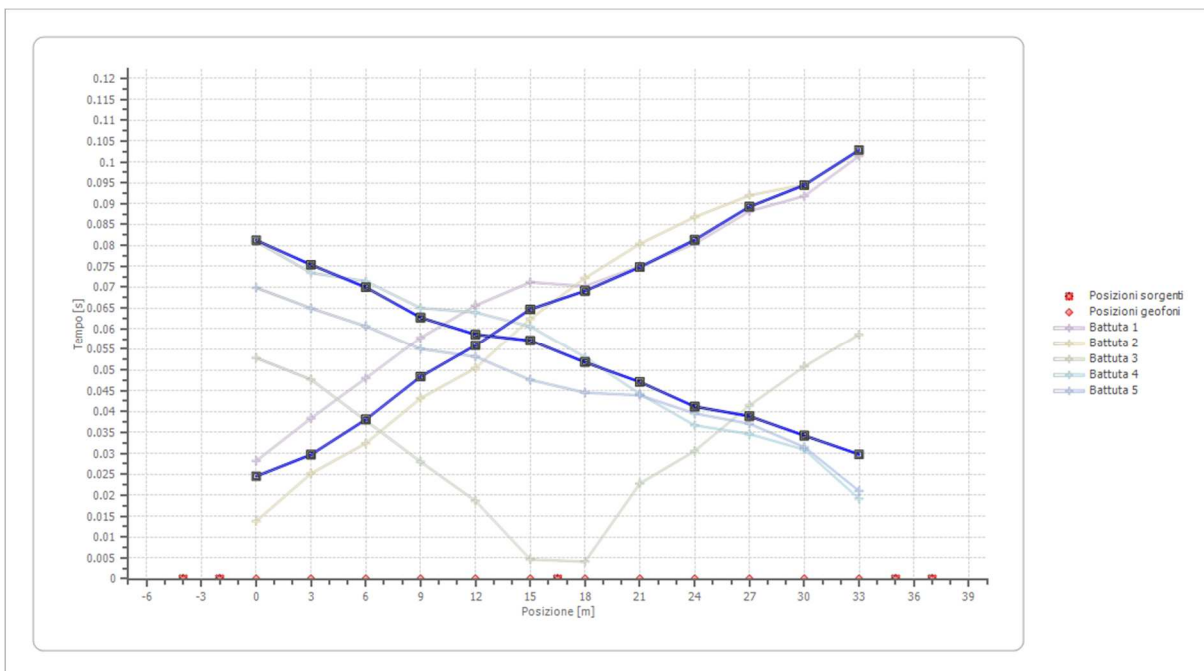
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	69.8825
3.0	64.9351
6.0	60.6061
9.0	55.0402
12.0	53.1849
15.0	47.6190
18.0	44.5269
21.0	43.9085

24.0	39.5795
27.0	37.1058
30.0	31.5399
33.0	21.0266

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.,R.M.

XY: 3

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 1.5 [m]	1.1	--
G= 4.5 [m]	1.4	--
G= 7.5 [m]	1.9	--
G= 10.5 [m]	1.9	--
G= 13.5 [m]	2.4	--
G= 16.5 [m]	2.7	--
G= 19.5 [m]	2.8	--
G= 22.5 [m]	3.0	--
G= 25.5 [m]	3.2	--
G= 28.5 [m]	3.5	--
G= 31.5 [m]	3.9	--
Velocità [m/sec]	199.3	515.7
Descrizione		

Altri parametri geotecnici

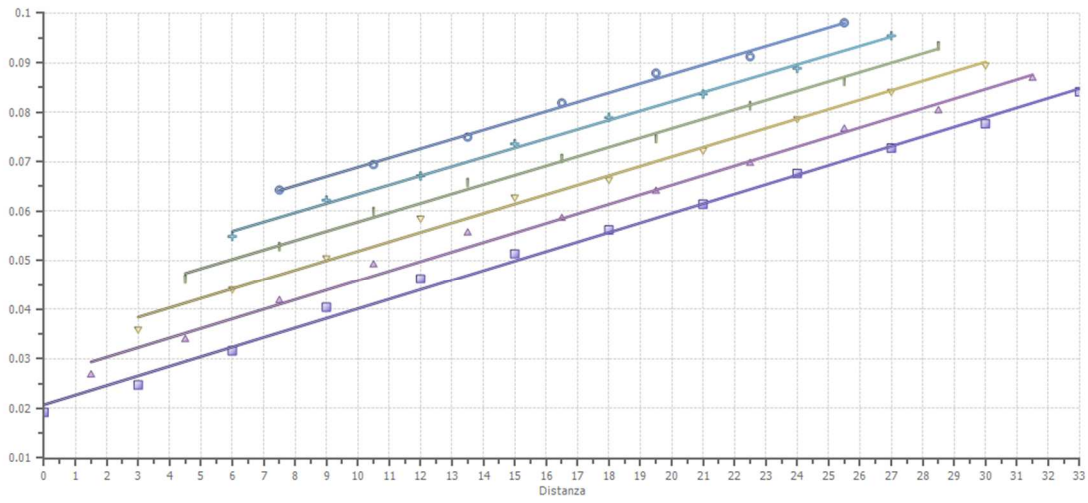
	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson	0.40	0.40
Densità [kg/m ³]	1700.00	1800.00
Vp [m/s]	199.35	515.69
Vs [m/s]	81.38	210.53
G0 [MPa]	11.26	79.78
Ed [Mpa]	67.56	478.68
M0 [MPa]	56.30	398.90
Ey [Mpa]	31.53	223.39

G0: Modulo di deformazione al taglio;

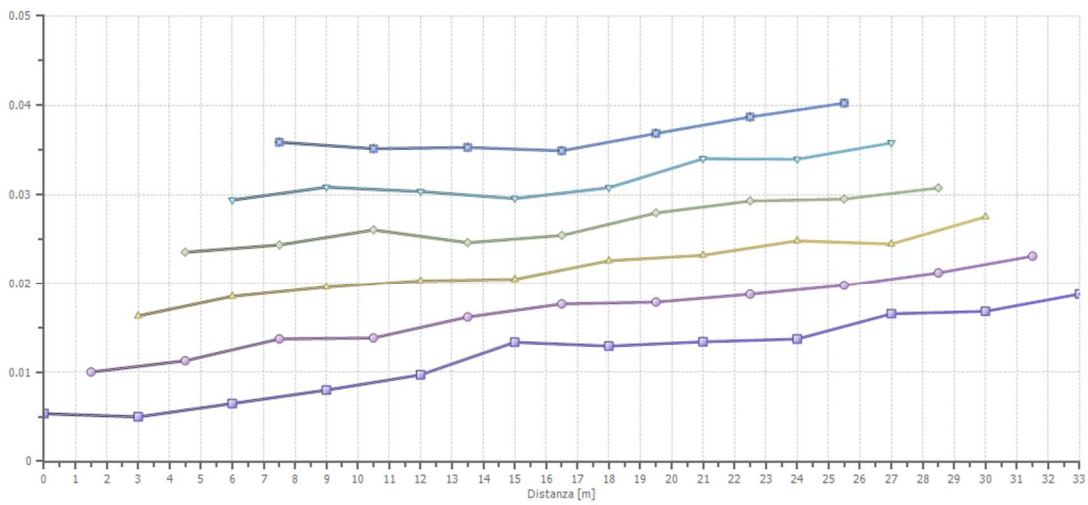
Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

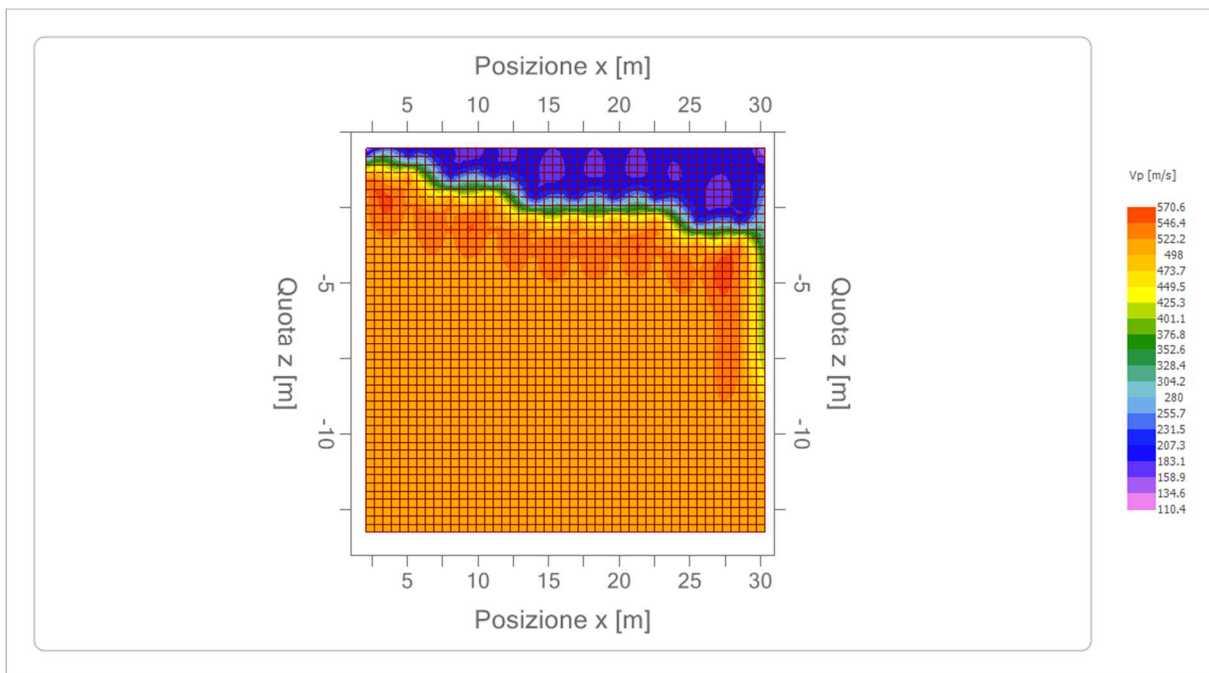
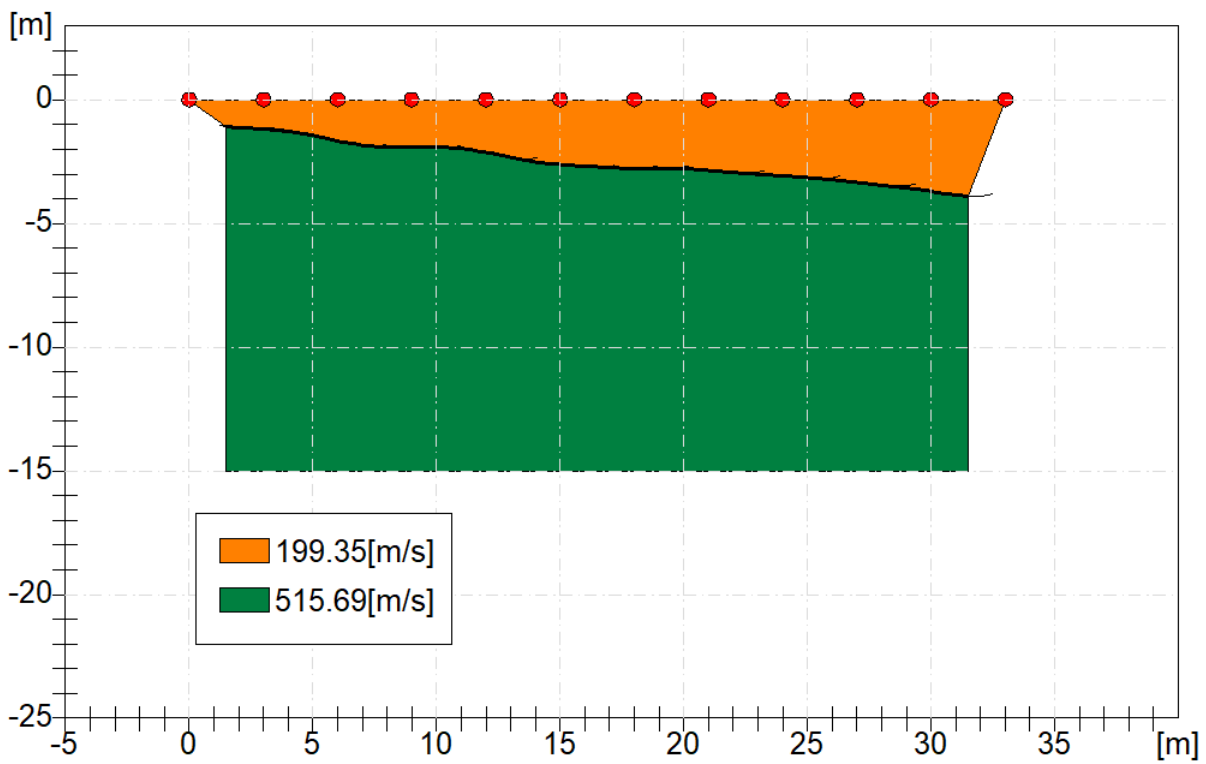
Ey: Modulo di Young;



■ XY = 0, Deviazione standard = 0.02009
 ▲ XY = 3, Deviazione standard = 0.0184
 ▼ XY = 6, Deviazione standard = 0.01651
| XY = 9, Deviazione standard = 0.01467
 + XY = 12, Deviazione standard = 0.01288
 ● XY = 15, Deviazione standard = 0.01128



■ XY = 0, Rugosità = 0.003973
 ● XY = 3, Rugosità = 0.003334
 ▲ XY = 6, Rugosità = 0.002742
◆ XY = 9, Rugosità = 0.002259
 ◀ XY = 12, Rugosità = 0.002068
 ■ XY = 15, Rugosità = 0.001615



REPORTAGE FOTOGRAFICO



RZ1-MW1

ALLEGATO IV

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE MEDIE

1 Prove penetrometriche dinamiche

1.1 Cenni metodologia DPT

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infingere sul terreno una punta conica per tratti consecutivi di 10 cm, misurando il numero di colpi N_{10} necessari.

L'elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di parametrizzare il materiale attraversato in continuo, ottenendo così un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere con buona precisione lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde, superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

1.2 Strumentazione DPT

Lo strumento utilizzato è un penetrometro dinamico medio (secondo la classifica ISSMFE) TG30-20 Pagani. Dotato di un maglio da 30 kg, con un'altezza di caduta di 200 mm; per l'esecuzione della prova vengono utilizzate aste con diametro 20 mm della lunghezza di 1000 mm dotate di estremità filettate M/F M14; la punta conica ha un diametro di base di 35,7 mm ed un angolo di apertura di 60°.

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof.max indagine battente
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8m
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25 m
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25 m
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25 m

Figura 1 Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici

CARATTERISTICHE TECNICHE PENETROMETRO DINAMICO IMPIEGATO

MODELLO	pagani tg30
TIPO	DPM (medio)
PESO MASSA BATTENTE	M = kg 30
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = cm 20
PESO SISTEMA DI BATTUTA	Pp = kg 12
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = mm 35,70
AREA BASE PUNTA CONICA	A = cmq 10,00
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 60^\circ$
LUNGHEZZA ASTE	L = m 1,00
PESO ASTE PER METRO	P = kg 2,9
LUNGHEZZA TRATTO DI INFISSIONE	$\delta = \text{cm } 10$

Tabella 1**2. Interpretazione delle misure eseguite**Correlazione con N_{spt}

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N_{spt} ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{spt} . Il passaggio è dato da:

$$N_{spt} = b_t N_{10}$$

dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{spt} è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo è calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M = peso massa battente; M' = peso aste; H = altezza di caduta; A = area base punta conica; δ = passo di avanzamento.

Per l'elaborazione dei dati sperimentali è stato utilizzato il software ProgramGeo il quale è in grado di valutare la resistenza dinamica alla punta R_{pd} in funzione dei colpi mediante.

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

$$Rpd = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

dove: e = infissione media per colpo (d/ N); P = peso totale aste e sistema battuta.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini 1983 - Meyerhof 1956 - Desai 1968 - Borowczyk-Frankowsky 1981. Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare informazioni sull'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici e sui parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenza alla punta.

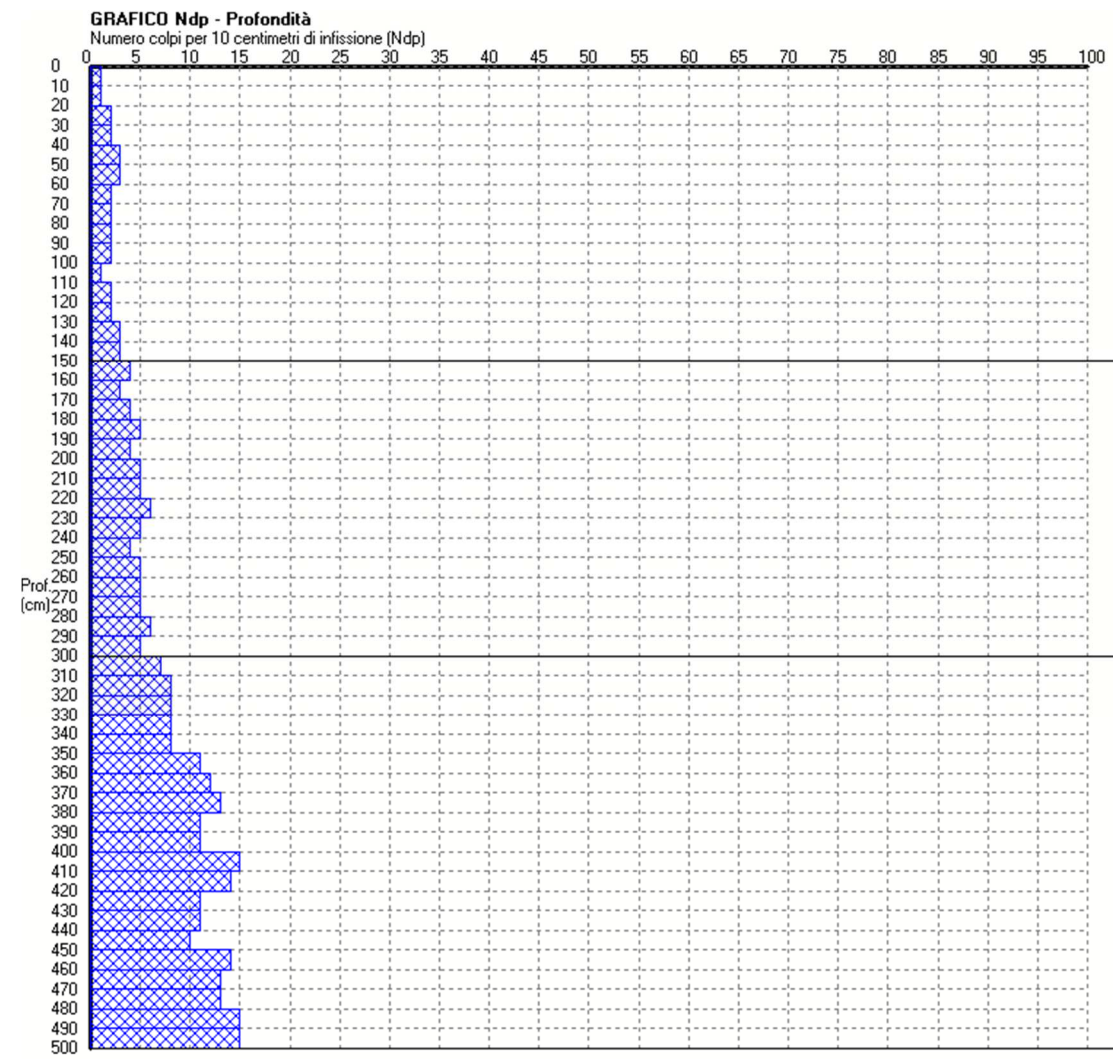
Nelle prove penetrometriche, una volta determinati i valori di Rpd (kg/cm²) per ogni unità stratigrafica e valutata la natura granulare, granulare-coesiva o coesiva dei terreni indagati, attraverso l'applicazione Win-Din sono stati ricavati i valori relativi ai seguenti parametri geotecnici, successivamente tarati con i dati ottenuti da prove geotecniche dirette su C.I.:

- Dr (densità relativa);
- ϕ (angolo di attrito efficace);
- E' (modulo di deformazione);
- W (contenuto d'acqua);
- E (indice dei vuoti);
- Cu (coesione non drenata);
- Ysat (peso di volume saturo);
- Yd (peso di volume secco);
- G (modulo di taglio dinamico).

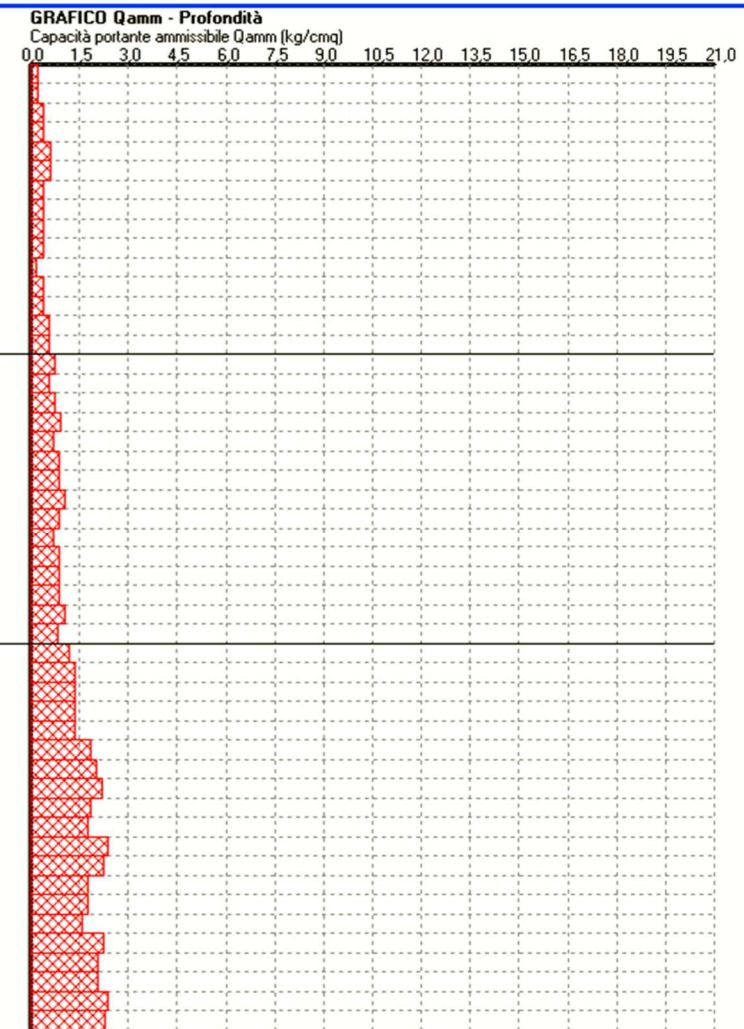
Seguono le ubicazioni dei sondaggi e le schede di report che illustrano i risultati dei sondaggi effettuati:

MODELLO STRATIGRAFICO GEOTECNICO - DP1

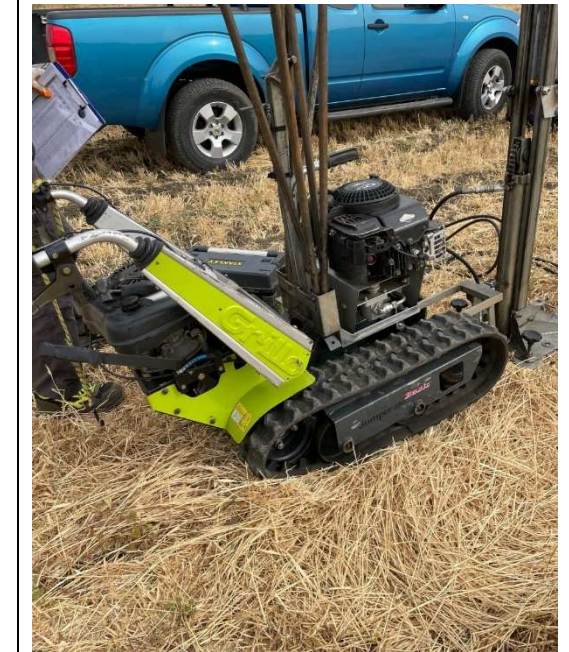
Colpi per tratto di infissione (Npt)



Capacità portante ammissibile Qamm (kg/cmq)



Documentazione fotografica



PARAMETRI GEOTECNICI DEL MODELLO STRATIGRAFICO

N. STRATO	PROFONDITA' (cm)	MATERIALE	Nspt	Dr (%)	ϕ (°)	γ (t/m ³)	M (kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	Go (t/m ²)	Ic	Cu (kg/cm ²)
				DENSITA' RELATIVA	ANGOLO DI ATTRITO	PESO DI VOLUME NATURALE	MODULO DI EDOMETRICO	MODULO DI DEFORMAZIONE DI YOUNG	MODULO DI DEFORMAZIONE DI TAGLIO	INDICE DI CONSISTENZA	COESIONE NON DRENATA
1	150	Terreno vegetale e limi ed argille alterate	1,4	28,2	19,5	1,6	10	86	1890	0,1	0,1
2	300	Limi e argile	3,3	40	22	1,7	23,5	130	3565	0,22	0,22
3	500	Limi-argile e livelli litici	9,1	61,3	26,7	1,85	65	215	7850	0,54	0,61