



COMUNE DI CIMINNA
PROVINCIA DI PALERMO
REGIONE SICILIA

IMPIANTO DI PRODUZIONE ENERGIA ELETTRICA DA FONTE
RINNOVABILE FOTOVOLTAICA DENOM. "CIMINNA AGROVOLTAICO"
POT. IMP. FV 33.887,80 kWp - POT. IMM. IMP. FV 32.800,00 kWac
POT. IMP. SIST. ACCUMULO 15.750,00 kW - POT. IMM. 15.000,00 kWac

Proponente

Solar Energy Venti Srl
Via Sebastian Altamann 9, - 39100 - Bolzano (BZ)

Progettazione impianto FV

Preparato
Rossella Ing. Sannasardo

Approvato
Antonio Ing. Nastri

Progettazione SIA

Michele Dott. Ognibene

Verificato
Francesco geom. Bruno



Gestore rete elettrica

CP: 202000577

Visto approvazione

PROGETTO DEFINITIVO

Titolo elaborato

RELAZIONE GEOLOGICA
(redatta ai sensi della 3/DRA del 20/06/2014)

| | | | | |
|--------------|-------------------------------|------|------------|-----------------|
| Elaborato N. | Data emissione 20/12/2021 | | | |
| | Nome file CIMINNA AGRICOLO | | | |
| N. Progetto | Scala | 00 | 20/12/2021 | PRIMA EMISSIONE |
| | | REV. | DATA | DESCRIZIONE |

INDICE

| | |
|---|----|
| 1.PREMESSA | 2 |
| 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE | 4 |
| 3. RIFERIMENTI NORMATIVI | 7 |
| 4. GEOLOGIA | 9 |
| 4.1 Inquadramento geologico generale | 9 |
| 4.2 Caratteristiche litologiche dell'area di studio | 10 |
| 5. GEOMORFOLOGIA | 18 |
| 5.1 Considerazioni sulla stabilita del versante oggetto di Studio | 20 |
| 5.2 Valutazioni Idrogeologiche e Permeabilità | 26 |
| 6. ZONAZIONE SISMOGENETICA E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE | 29 |
| 6.1 Cenni sulla storia sismica del territorio | 29 |
| 6.1.1 Sismicità dell'area in progetto | 29 |
| 6.2 Pericolosità sismica di base | 31 |
| 6.3 Pericolosità sismica di locale | 32 |
| 6.4 Indagine di Simica a Rifrazione | 34 |
| 6.4.1 Metodologia | 34 |
| 6.4.2 Strumentazione Utilizzata indagine di sismica a Rifrazione | 38 |
| 6.4.3 Interpretazioni delle Indagini di Sismiche a Rifrazione | 39 |
| 6.5 Indagine di Sismica Masw | 41 |
| 6.5.1 Cenni sulla metodologia di indagine MASW | 41 |
| 6.5.2 Strumentazione MASW e tecniche utilizzate | 44 |
| 6.5.3 Risultati delle Indagini di Sismica Masw | 45 |
| 6.5.4 Risultati del Calcolo | 48 |
| 7. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI | 50 |
| 8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE | 51 |
| | |
| Allegato I Indagine di Sismica a Rifrazione | |
| Allegato II Indagine di Sismica Masw | |
| Allegato III Prove Penetrometriche dinamiche medie | |

1. PREMESSA

Nell'ambito di un progetto che prevede la **REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO AD INSEGUIMENTO NEL COMUNE DI CIMINNA POT. NOM. 33,8778 MW E SISTEMA DI ACCUMULO DA 15,75 MW DENOMINATO - CIMINNA AGROVOLTAICO - NEL TERRITORIO COMUNALE DI CIMINNA IN PROVINCIA DI PALERMO**, la Società Solar Energy Venti s.r.l. (con sede a Bolzano in Via Sebastian Altmann 9) ha incaricato lo scrivente Dott. Geol. Michele Ognibene regolarmente iscritto all'Ordine Regionale dei Geologi di Sicilia al n. 3003, per la redazione di uno studio geologico-tecnico di supporto alla progettazione definitiva.

Lo studio è stato condotto 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 E secondo i dettami della circolare ARTA 3/DRA del 20/06/2014 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;
- ✓ Indicare le eventuali prescrizioni e gli eventuali accorgimenti tecnici affinché le condizioni di pericolosità non si aggravino o si manifestino nella zona in progetto.

Nello specifico, lo scopo del seguente lavoro è stato il seguente:

- 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;

- 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.3 indagine di sismica a rifrazione (identificate con le sigle RZ1-Rz2 e Rz3) (**Allegato I**) 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.2 acquisizioni di sismica MASW (identificate con le sigle MW1-MW2 **Allegato II**) eseguite 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.
- ✓ Infine sono state eseguite n°3 prove penetrometriche dinamiche (**Allegato III**) che hanno consentito non solo un'ulteriore verifica della stratigrafia dei terreni dell'area in oggetto ma anche la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione.

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

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area in cui sorgerà l'impianto in progetto, ricade nel territorio comunale di Ciminna (PA), Contrada Pianotta per un'area complessiva di circa **86,87** ettari.



Fig.2.1: Inquadramento Generale cerchiato in blu l'area in progetto.

Dal punto di vista Cartografico il sito ricade nelle sezioni 608110 e 608150 della Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 (Fig.2.2)

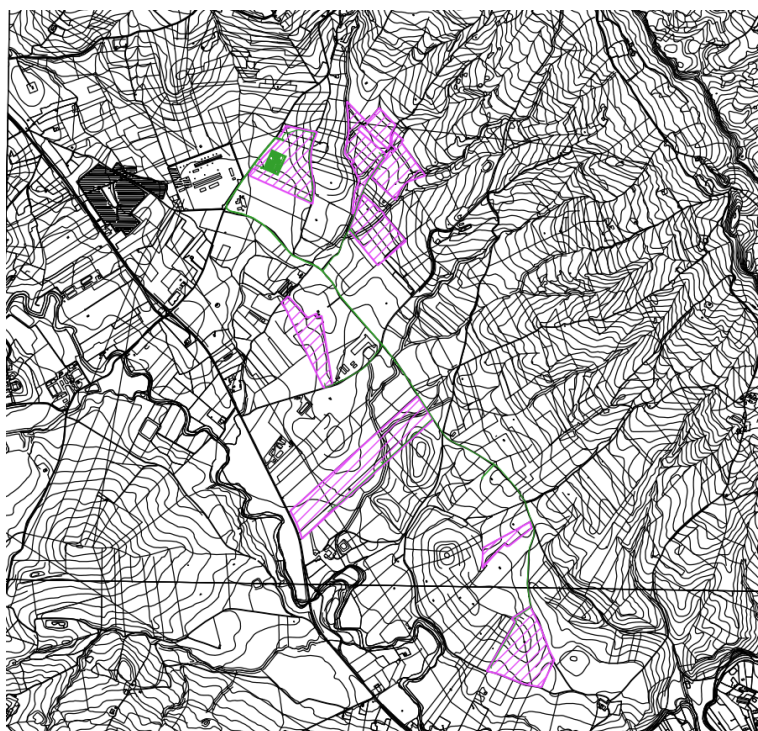


Fig. 2.2: Inquadramento della area di impianto Ciminna agricolo su C.T.R.

I dati geografici di riferimento baricentrici dell'impianto, sono:

- Latitudine = **37° 51' 52.0231" N**
- Longitudine = **13° 31' 26.8314" E**
- Altitudine media = **320 m s.l.m.**

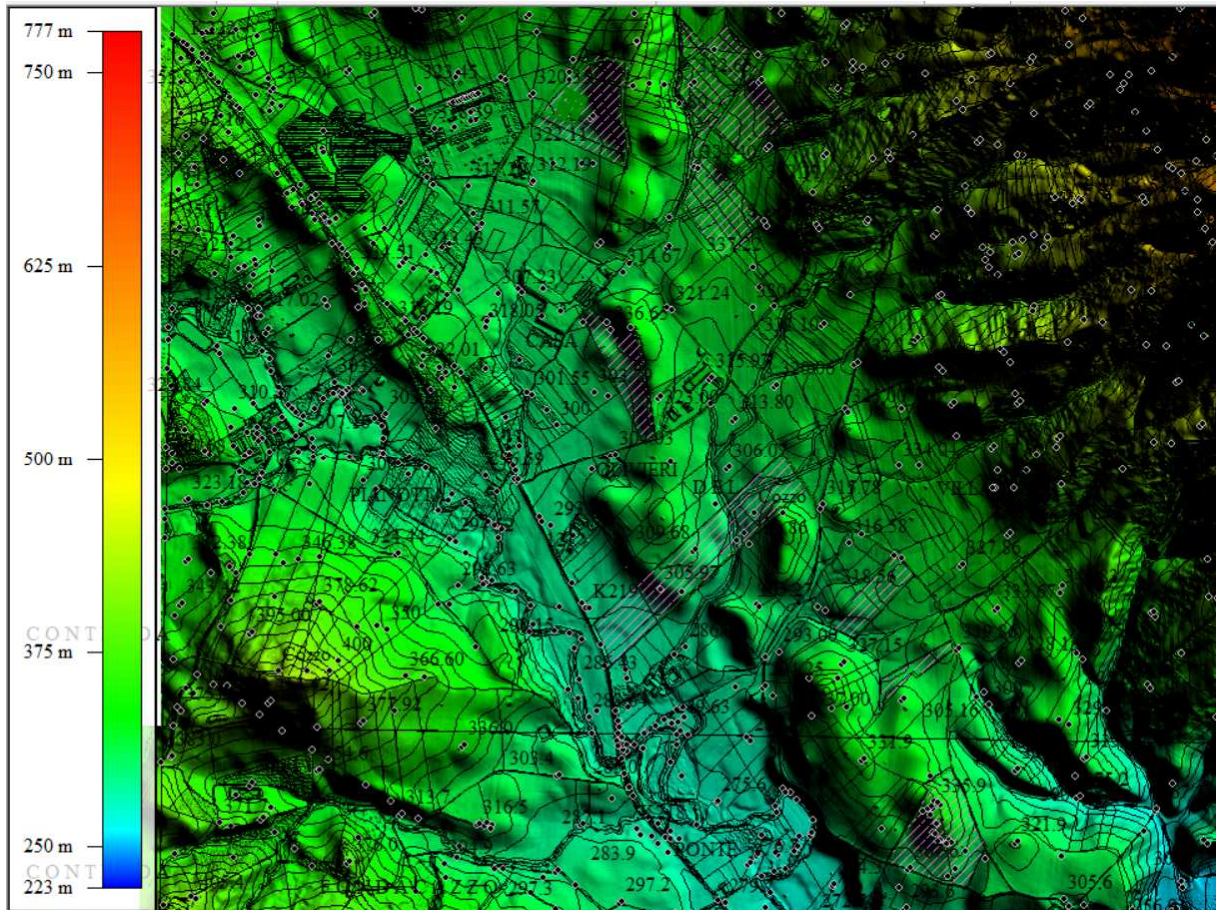


Fig. 2.3: Tinte Altimetriche dell'area di installazione dell'impianto.

Dal punto di vista planimetrico, in linea generale le quote diminuiscono da nord ovest verso sud est nella parte settentrionale e da nord est verso sud ovest nelle porzioni nord orientali. Si raggiungono quote massime di circa 340 m. s.l.m. lungo il confine nord orientale dell'area in oggetto e minime di circa 285 m. lungo il margine centro meridionale in prossimità della strada statale 121 Palermo-Agrigento.

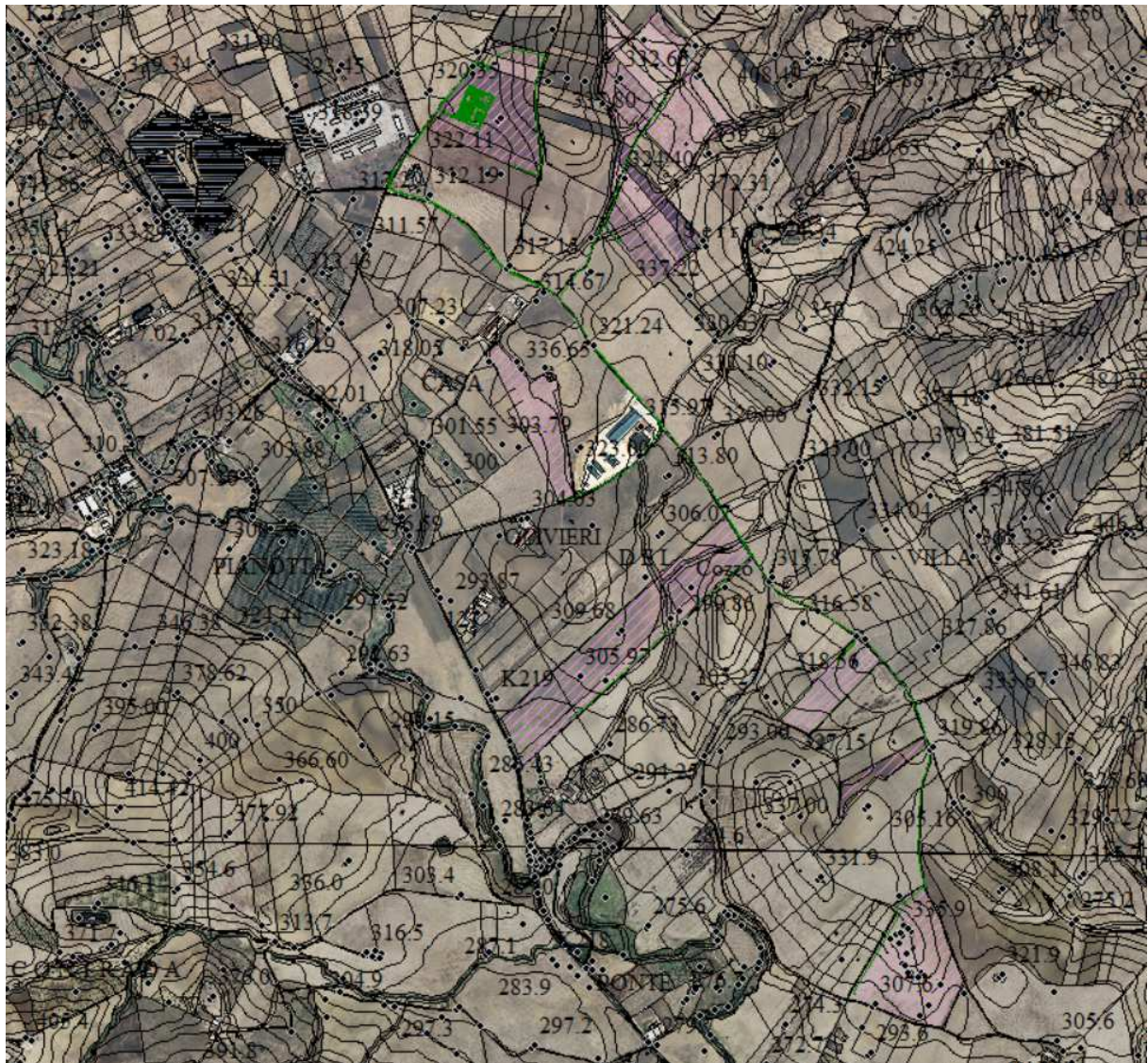


Fig. 2.3: Ortofoto dell'area di installazione dell'impianto fotovoltaico

L'impianto FV sarà connesso alla rete elettrica nazionale in virtù della STMG proposta dal gestore della rete E-Distribuzione (codice pratica: **202000577**) e relativa ad una potenza elettrica in immissione pari a 32,80 MW. Lo schema di collegamento alla RTN prevede il collegamento con cavo interrato a 36 kV di lunghezza pari a circa **0,36 km** (misurato a partire dalla Cabina Generale Utente) con la sezione a 36 kV fino alla nuova SST adiacente alla "CP Ciminna" (Fig. 2.4). La nuova **SSU** è ubicata in prossimità del punto di connessione alla RTN, **in contrada Porrazzi** nel comune di Ciminna (PA) al **Foglio 19 P.IIa n. 23**.

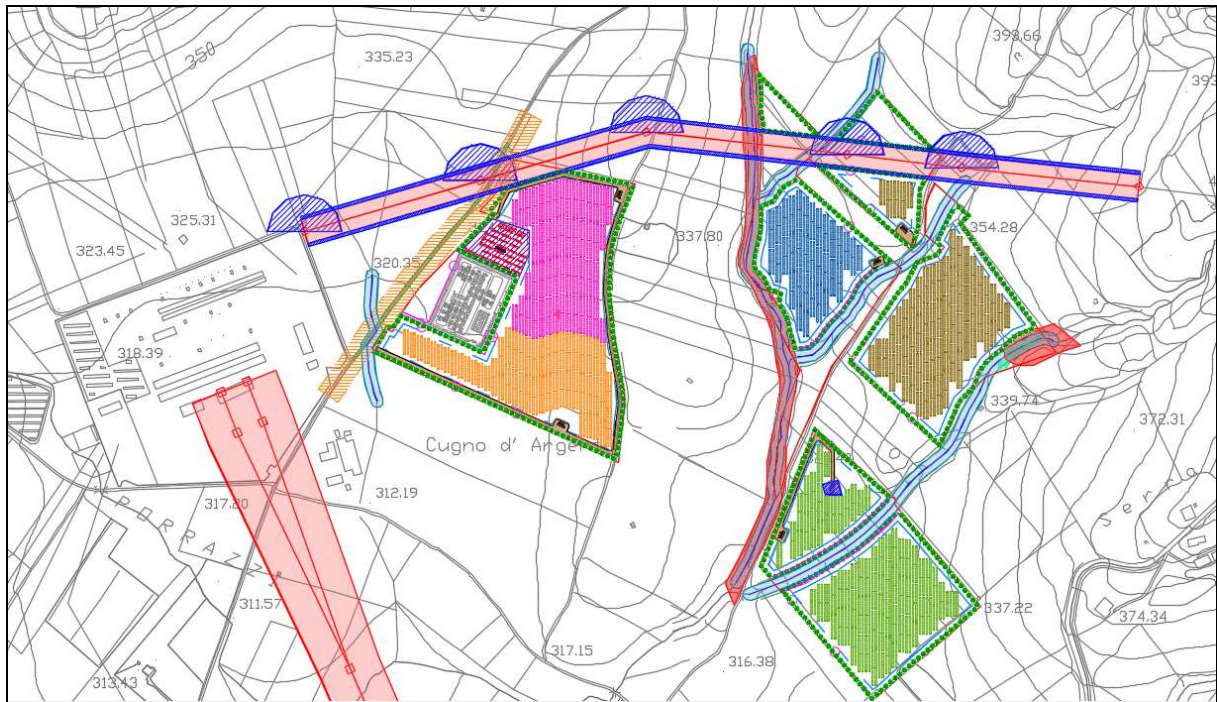


Fig. 2.4: Planimetria dell'impianto fotovoltaico.

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:

- ✓ D.M. 17 Gennaio 2018 – Nuove Norme tecniche per le costruzioni;
- ✓ Circolare ARTA 3/DRA del 20/06/2014;
- ✓ 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";
- ✓ 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";
- ✓ 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;
- ✓ 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";

- ✓ Regio Decreto Legge 30 dicembre 1923, n.3267 - "Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani";
- ✓ 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";
- ✓ Legge regionale 6 aprile 1996, n.16 - "Riordino della legislazione in materia forestale e di tutela della vegetazione";
- ✓ Legge Regionale 14 aprile 2006, n.14 - "Modifiche ed integrazioni alla legge regionale 6 aprile 1996, n. 16, - "Riordino della legislazione in materia forestale e di tutela della vegetazione";
- ✓ Legge 18 maggio 1989, n.183 - "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo" e s.m.i.;
- ✓ Legge 3 agosto 1998, n. 267 - "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto- legge 11 giugno 1998, n. 180, recante misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania" e s.m.i.;
- ✓ Nota del Dirigente Generale del Comando del Corpo Forestale n.55184 del 28/12/2011;
- ✓ D.A. N. 569 del 17/04/2012 - "Nuove direttive unificate per il rilascio delle autorizzazioni e del Nulla Osta al vincolo idrogeologico in armonia con il Piano per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) G.U.R.S. N. 18 DEL 4 MAGGIO 2012, approvate con D. Assessoriale N. 569 del 17/4/2012.

4. GEOLOGIA

4.1 Inquadramento geologico generale

L'area interessata dalla realizzazione delle opere in progetto si inquadra in un contesto geologico espressione della componente nord-occidentale della catena Appenninico-Maghrebide caratterizzante la porzione settentrionale e centrale della Sicilia.

I terreni ricadenti in quest'area sono stati coinvolti in diverse fasi tettoniche che hanno radicalmente modificato i rapporti originari fra le varie unità litologiche. Le fasi tettoniche principali, responsabili dell'attuale assetto strutturale della zona sono tre: la fase preorogena, la fase tettonica collegata alla orogenesi e quella tettonica recente o neotettonica; tali fasi tettoniche hanno complessivamente determinato la formazione di unità stratigrafico-strutturali derivanti dalla deformazione dei domini paleogeografici originari.

La fase tettonica preorogena è espressa da fenomeni squisitamente stratigrafici che si sono concretizzati nella generazione di lacune stratigrafiche più o meno consistenti nelle successioni mesozoico-paleogeniche.

Nell'area delle Unità Maghrebidi la fase tettonica collegata agli episodi orogenetici si sviluppò nel Miocene e fu caratterizzata da una fase di "stress" essenzialmente di natura compressiva, espressione della collisione continentale. Tale fase determinò una profonda deformazione dei domini paleogeografici e la messa in posto di unità stratigrafico-strutturali; questa porzione della Sicilia, infatti è caratterizzato da una struttura a falde di ricoprimento, la cui formazione iniziò durante il Miocene e proseguì con la deformazione dei terreni tardo miocenici-pliocenici.

Infatti, i terreni appartenenti ai domini paleogeografici prima citati furono in gran parte sradicati ed embriciati verso Sud tra il Langhiano ed il Tortoniano.

Durante la deformazione delle zone più interne, alla fine dell'Oligocene, si originò il dominio paleogeografico dei terreni sinorogenici del Flysch Numidico.

Successivamente, sulla serie delle unità già deformate della catena, sovrascorsero le Unità Sicilidi, costituite da terreni provenienti dai domini più interni.

In seguito, nel Tortoniano-Messiniano, durante il progressivo sollevamento della catena, iniziò la deposizione del Complesso terrigeno tardorogeno della Formazione Terravecchia. Nel contempo si verificò un progressivo abbassamento del livello del mare e la conseguente formazione di complessi di scogliera, seguita

dall'evento messiniano della crisi di salinità e della conseguenziale deposizione delle evaporiti. La deposizione di sedimenti pelagici, ovvero dei terreni afferenti ai Trubi, avvenuta nel Pliocene, segnò il ripristino delle condizioni di mare aperto.

Nel Pliocene superiore si è verificata una fase tettonica caratterizzata da "stress" distensivi che hanno generato la formazione di faglie dirette o normali di diversa entità che hanno definito l'attuale morfologia della zona.

Il Pleistocene è stato caratterizzato invece da oscillazioni del livello marino che hanno determinato l'assetto morfologico delle zone di spianata.

L'area di progetto, in sintesi, è composta da una serie di formazioni geologiche di età compresa tra il Trias e l'attuale, rappresentate dalle predette unità riferibili alla catena Appenninico-Magheribide e riconducibili, secondo un ordine stratigrafico o stratigrafico-tettonico, alle seguenti Unità Stratigrafico Strutturali:

- U.S.S del Dominio Sicano;
- U.S.S. del Dominio Imerese;
- Unità del Flysch Numidico;
- Unità del Complesso Sicilide;
- Terreni tardorogeni;
- Depositi recenti o attuali.

4.2 Caratteristiche litologiche dell'area in studio

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:

- **Unità del Dominio Sicano**
 - Formazione Lercara (*Trias medio-sup.*)
 - Formazione Mufara, Scaglia

- **Unità Numidiche**
 - Formazione Tavernola (*Burdigaliano sup. – Langhiano*)
 - Flysch Numidico (*Oligocene – Miocene inf.*)

- **Unità Sicilidi**
 - Argille varicolori (*Cretaceo - Eocene*)

- **Terreni tardorogeni**

- Formazione Terravecchia (*Tortoniano sup. – Messiniano inf.*)
- Formazione Baucina (*Messiniano inf.*)
- Formazione Gessoso-Solfifera (*Messiniano inf.*)
- Trubi (*Pliocene inf.*)

- **Depositi recenti o attuali**

- Complesso alluvionale (*Recente*)
- Complesso detritico (*Recente*).

Di seguito si analizzano le caratteristiche litologiche, giaciture, strutturali e mineralogiche di ciascuna delle formazioni geologiche suddette.

-Formazione Mufara

Trattasi di argilliti, argille marnose e marne verdastre e/o marne calcaree grigie alternate a calcilutiti marnose grigie con radiolari e calcareniti con liste e noduli di selce; le marne si presentano con tessitura a scaglie, sottilmente stratificate, con microfauna a gasteropodi e lamellibranchi. Nella formazione sono intercalate breccie calcaree e breccie dolomitizzate risedimentate ricche di formaminiferi, alghe, coralli e gasteropodi; tali intercalazioni si presentano stratificate e ricche di venature di calcite.

Talvolta sono presenti anche intercalazioni di livelli conglomeratici e rari banchi di sabbia debolmente coerente.

-Scaglia

Tale formazione è costituita da calcilutiti e calcisiltiti bianco-rossastre con livelli di marne argillose a radiolari e liste e/o noduli di selce.

Nei calcari si intercalano spesso orizzonti di biocalcareni risedimentate gradate e livelli di calcisiltiti.

Le calcilutiti si presentano sempre ben stratificate in strati anche decimetrici e contengono una fauna a foraminiferi planctonici (globorotalie e globotruncane).

Calcilutiti e calcisiltiti bianco-rossastre con livelli di marne argillose a radiolari e liste e/o noduli di selce. Le calcilutiti si presentano sempre ben stratificate in

strati anche decimetrici e contengono una fauna a foraminiferi planctonici (globorotalie e globotruncane).

-Formazione Lercara

E' costituita da calcilutiti, calcareniti, argilliti e marne rosso-verdastre, megabrecce con elementi calcarei organogeni; talvolta sono presenti marne giallastre con intercalazioni tufitiche, alternate a calcilutiti marnose a radiolari e lamellibranchi.

-Formazione Tavernola

E' 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.

-Flysch Numidico

La formazione del Flysch Numidico presenta un'eterogeneità tessiturale e composizionale tale da permettere di individuare al suo interno diverse facies.

La facies conglomeratico-arenacea è costituita da un'alternanza irregolare di quarzareniti e quarzosiltiti con intercalazioni conglomeratiche e rari livelli argillosi.

La facies arenaceo-argillosa è rappresentata da un'alternanza di argille marnose e quarzareniti giallastre.

La facies argillosa, invece, è costituita essenzialmente da argille siltoso-marnose e argilliti con subordinati livelli quarzarenitici e rari livelli conglomeratici.

Le facies sopra evidenziate si presentano in percentuale e in posizione variabile all'interno della formazione.

I conglomerati presentano una tessitura detritica e sono composti da elementi quarzosi pluridimensionali e variamente arrotondati, immersi in una matrice arenacea di natura quarzosa; si presentano in strati decimetrici.

Le arenarie sono invece costituite da granuli sabbiosi essenzialmente quarzosi, ben cementati da cemento siliceo; si presentano in strati centimetrici, caratterizzati dalla presenza di diverse strutture sedimentarie di laminazione e da un diffuso stato di fratturazione.

Le argilliti sono composte da minerali di natura caolinitica associata ad illiti; si presentano coerenti e con una tessitura scagliettata; la stratificazione è evidenziata da strati arenacei piano-paralleli intercalati.

-Argille varicolori

Trattasi di argille, argille marnose e marne varicolori, da grigio a rosso, con inclusi lapidei di grosse dimensioni e di varia età e natura litologica immersi in uno scarso scheletro sabbioso. Le argille sono essenzialmente composte da illite-montmorillonite mentre la componente sabbiosa è ricca di quarzo e calcite. Le argille mostrano una tessitura a scaglie di forma poliedrica di dimensioni variabili e giacitura caotica a causa degli intensi processi tettonici cui è stato sottoposto il litotipo.

-Formazione Terravecchia

Trattasi di una formazione complessa caratterizzata da un'estrema eterogeneità strutturale e tessiturale che permette di dividerla in diverse facies: facies conglomeratico-arenacea; facies arenacea e facies pelitica.

La facies conglomeratico-arenacea è costituita da un'alternanza irregolare di ortoconglomerati oligomittici e areniti (o sabbie). I conglomerati si presentano con elementi arrotondati pluridimensionali di natura principalmente quarzarenitica e calcarea, clasto-sostenuti o fango-sostenuti e immersi in una matrice arenitico-sabbiosa color marrone. I livelli arenacei sono costituiti da grani essenzialmente quarzarenitici di taglia variabile immersi in matrice siltoso-argillosa; spesso sono poco coerenti o incoerenti (sabbie).

La facies conglomeratico-sabbiosa mostra nel complesso una stratificazione p.p. od ondulata ben evidente a grande scala; all'interno dei livelli conglomeratici è possibile riscontrare delle "embriciature" nei ciottoli mentre all'interno dei livelli arenacei sono osservabili laminazioni. La facies arenacea è costituita esclusivamente da areniti e/o sabbie color marrone e variamente cementate, in cui si intercalano sottili livelli irregolari di conglomerati o argilliti grigio-azzurre; le sabbie sono di taglia medio-fine e quando coerenti (areniti) sono composte da grani immersi in una matrice siltosa con cemento quarzarenitico; all'interno degli strati sabbiosi sono facilmente individuabili laminazioni e stratificazioni p.p., incrociate e a lisca di pesce.

La facies pelitica è costituita da argille sabbioso-siltose, spesso marnose di colore grigio-azzurro, in cui si intercalano sottili livelli arenitici e talora lenti conglomeratiche; la frazione argillosa è costituita essenzialmente da caolinite, illite e montmorillonite, mentre lo scheletro sabbioso è costituito da grani di

diversa natura (quarzo, calcite, gesso, etc.). La facies si presenta quasi sempre massiva e in alcuni punti tettonizzata.

-Formazione Baucina

È costituita da biolititi a coralli (Porites) e calcareniti organogene giallastre in cui si intercalano sottili livelli calcarei a grana fine e livelli sabbioso-argillosi. Le biolititi si presentano molto vacuolari e variamente cementate mentre le calcareniti sono variamente cementate e contengono una ricca fauna a Osteridi e Pectinidi; a più livelli sono riscontrabili livelli argilloso-sabbiosi incoerenti o debolmente coerenti. La formazione di che trattasi, presenta un'evidente stratificazione incrociata.

-Formazione Gessoso-Solfifera

È costituita da una sequenza di litologie prevalentemente gessose che danno origine a diverse facies; le principali sono composte da gessi di cristallizzazione primaria, ovvero gesso macrocristallino, gesso balatino e gesso alabastrino e da gessi risedimentati, ovvero gessoruditi, gessareniti e gessopeliti.

Il gesso macrocristallino è costituito da cristalli di gesso selenitico variamente geminati e di dimensioni anche metriche, contenenti diverse impurità, immersi in matrice gessarenitica o gessopelitica. Il gesso macrocristallino generalmente si presenta in banchi di spessore metrico intervallati a livelli di gessopeliti.

Il gesso balatino è costituito da alternanze millimetriche di lamine di gesso microcristallino e lamine argilloso-gessose; si presenta con laminazione ondulata, generalmente regolare e in strati sottili.

Il gesso alabastrino è costituito da gesso microcristallino sottilmente laminato; si presenta in strati centimetrici e con stratificazione ondulata.

Le gessoruditi o brecce gessose sono costituite da frammenti di gesso macrocristallino, gesso balatino e gesso risedimentato di dimensioni e forma variabile, immersi in una matrice gessarenitica e gessopelitica.

Le gessareniti sono costituite da grani di gesso di taglia arenitica immersi in una matrice pelitica di natura gessoso-calcareo.

Le gessopeliti sono costituite da grani di gesso risedimentati di taglia siltoso-argillosa legati da cemento gessoso.

-Trubi

Sono costituiti da marne calcaree farinose color crema, passanti a calcari marnosi o a marne argillose. Si tratta di un litotipo friabile, scarsamente cementato e ricco di foraminiferi a Orbuline.

I trubi si presentano con strati piano-paralleli di spessore decimetrico, quasi sempre interessati da una diffusa fessurazione che suddivide l'ammasso roccioso in prismi. Affiorano in una zona localizzata nel territorio del Comune di Ciminna.

-Complesso alluvionale

È costituito da tutte le litologie di natura alluvionale, ovvero ghiaie, sabbie e limi, affioranti lungo le aste dei principali alvei e degli affluenti significativi, nonché da depositi alluvionali terrazzati.

Le ghiaie si presentano con clasti di natura poligenica, arrotondati e immersi in una matrice sabbioso-limosa incoerente; la giacitura delle ghiaie è sub-orizzontale.

Le sabbie hanno granulometria variabile e sono costituite da grani quarzosi e carbonatici. I terrazzi fluviali invece, si presentano sub-pianeggianti e sono costituiti in prevalenza da ghiaie e sabbie.

-Complesso detritico

È costituito da elementi lapidei ghiaioso-sabbiosi che formano i depositi delle falde di detrito.

Gli elementi lapidei sono essenzialmente di natura quarzarenitica e calcarea, si presentano eterogenei, con granulometria mista ed hanno una tessitura clastica. I clasti sono immersi in una matrice limoso-sabbiosa e il loro grado di cementazione è variabile.

Il detrito è caratterizzato da una giacitura caotica del materiale; in particolare è presente nelle fasce pedemontane.

4.3 Geologia del Sito di Intervento

Il rilevamento geologico di superficie, opportunamente esteso ad un'ampia fascia perimetrale esterna rispetto al sito in oggetto, 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 in area prossimale a quella interessata dallo studio, ha permesso di redigere la carta geologica (Fig.4.2.1)

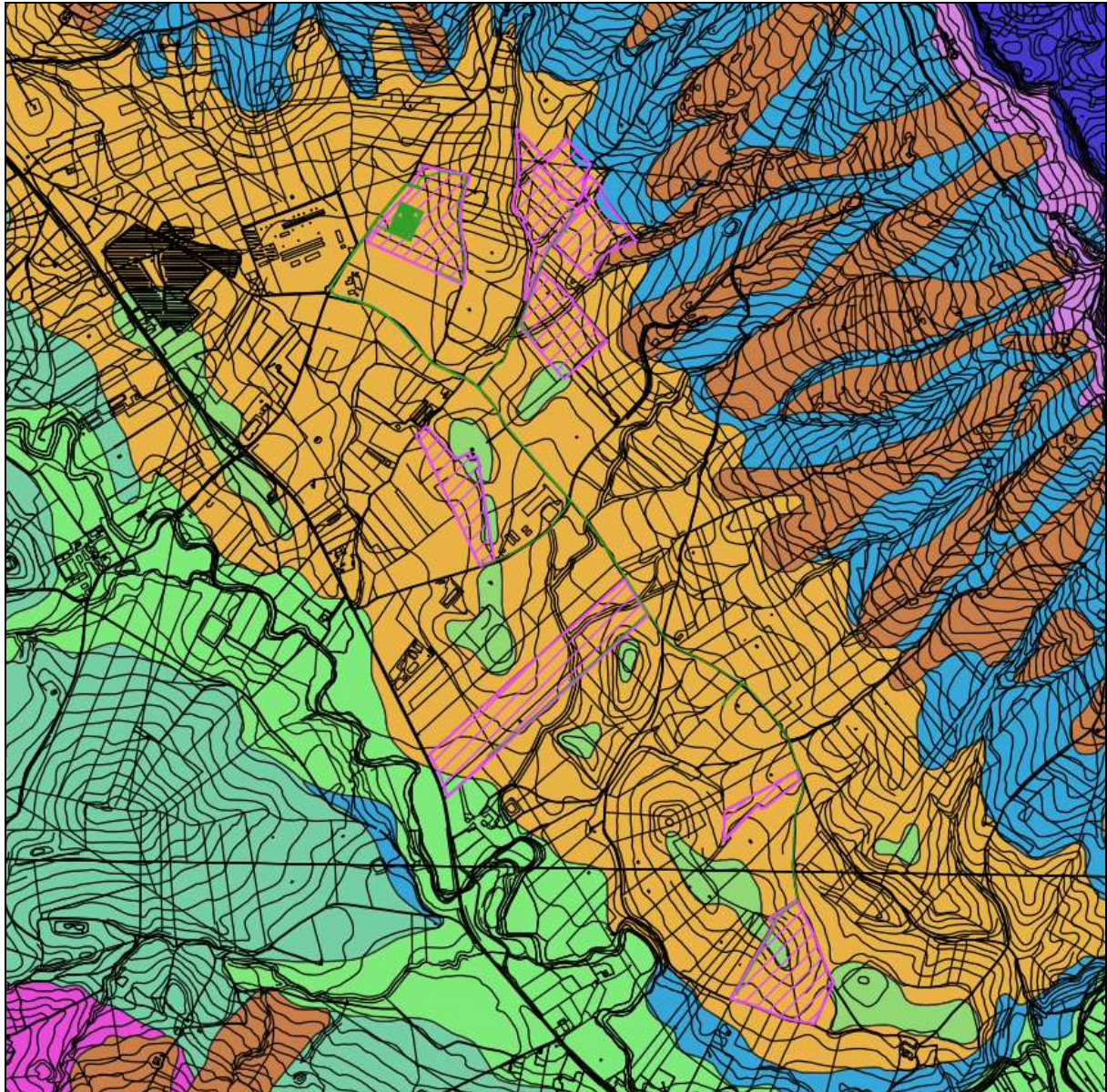





Fig. 4.2.1: Carta Geologica dell'ara di impianto fotovoltaico.

Depositi Emersi

- Coltre eluvio colluviale con spessori fino a 3 metri generato dai processi di alterazione del complesso litologico locale o da processi di versante. Sono costituiti prevalentemente da clasti eterometrici in matrice siltosa e argillosa di colore bruno rossastra; Tale litotipo risulta ricoprire in maniera preponderante le aree oggetto di studio
- Depositi Alluvionali e alluvioni terrazzate caratterizzati da elementi ciottolosi e sabbiosi in corrispondenza dell'asta fluviale del Fiume San Leonardo

 Depositi Fluviali Terrazzati. Trattasi del sistema del Fiume San Leonardo sub sistema Azzirolo che risulta costituito da depositi sabbioso ciottolosi in matrice siltosa di colore giallo ocra alternati e/o interdigitati con silt sabbiosi giallognoli con concrezioni calcaree e frustoli carboniosi. Tali depositi ricoprono parzialmente i lotti di terreno posti nelle porzioni occidentali del cluster fotovoltaico

 Depositi di versante; Risultano costituiti da materiali eterogenei prevalentemente argillosi determinati dal disfacimento della Formazione Terravecchia in facies pelitica argillo - marnosa. Lo spessore ricade un range compreso tra i 2 ed i 10 metri.

 Formazione Terravecchia; membro pelitico. Argille grigio verdastre o azzurrognole e marne grigie.

Sulla scorta dei sopralluoghi effettuati e dalle interpretazioni delle prove penetrometriche e sismiche effettuate all'interno del sito in progetto è stato possibile ricavare la seguente successione litostratigrafia.

Terreno di copertura colluviale

Livello superficiale di natura colluviale a prevalente matrice limosa-argillosa di colore rossastro; l'orizzonte si presenta eterogeneo e con una consistenza significativamente influenzata dal grado di umidità del terreno e pertanto non offre garanzie della capacità portante o dei cedimenti in modo tale da indicare come necessaria la sua asportazione in caso di costruzione di manufatti o comunque il posizionamento del piano di imposta delle fondazioni al di sotto di esso. Lo spessore è valutabile in circa 2,4 - 3,4 metri. Dal punto di vista Pedologico, come riportato nella relazione tecnica redatta dall'Agronomo incaricato, tale successione litostratigrafica risulta ricoperta da regosuoli da rocce argillose (associazioni n. 5) e suoli bruni-regosuoli (associazioni n.16) con spessori di circa 50 cm.

Limi debolmente Sabbiosi

Orizzonte di colore bruno-giallastro a prevalente matrice pelitica costituita da limi addensati con sabbie caratterizzato da una certa eterogeneità verticale a consistenza variabile ma nel complesso valutabili appunto come moderata; dal punto di vista meccanico l'orizzonte appare, nell'insieme, contraddistinto da caratteristiche meccaniche discrete. Lo spessore è valutabile in oltre i 3 metri.

Si riporta di seguito una sezione geologica rappresentativa del sito in progetto desunta dalla correlazione delle prove penetrometriche dinamiche medie e dalle indagini di sismica a rifrazione.

5. GEOMORFOLOGIA

La configurazione geomorfologica di questa area è essenzialmente dominata dall'esistenza di un paesaggio tipicamente collinare, costituita da piccoli rilievi generalmente arrotondati, con versanti acclivi nelle zone periferiche dove affiorano rocce maggiormente competenti.

L'assetto geomorfologico è il risultato della combinazione dell'azione di processi endogeni ed esogeni (Hugonie, 1979; 1981-82): da una parte, movimenti tettonici del tipo fagliazione a blocchi sono stati responsabili della genesi di zone di basso ed alto strutturale, sulle quali si sono rispettivamente impostati bassi e alti topografici; dall'altra, l'erosione selettiva ha ulteriormente accentuato i dislivelli fra queste due aree grazie alla presenza, nei bassi topografici/strutturali, di rocce "tenere" (litologie a componente argillosa, marnosa o sabbiosa delle unità tardorogene, e negli alti topografici/strutturali, di rocce "dure". Dal punto di vista morfologico il territorio di Ciminna, per la parte di pertinenza del Bacino idrografico del F. S. Leonardo, 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 orientali del territorio. Morfologicamente l'area ricade all'interno di un'ampia piana caratterizzata da blande pendenze che si estende per circa 2Km in direzione NE-SW in destra idraulica del torrente Azzirolo che costituisce il motivo idrologico principale dell'area. 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. Dall'analisi generale della distribuzione delle altimetrie, in un opportuno intorno dell'area in esame, si evince che le quote aumentano in generale da sud ovest verso nord est, con un minimo di 294 m. s.l.m. in corrispondenza dell'alveo del Torrente Azzirolo ad un massimo di oltre 400 metri s.l.m. nelle aree nord orientali dell'area. Nello specifico il sito in progetto ricade tra le isoipse di quota 340 m. s.l.m. lungo il confine nord orientale dell'area in

oggetto e minime di circa 285 m. lungo il margine centro meridionale in prossimità della strada statale 121 Palermo-Agrigento.

In particolare, il sito in progetto è contraddistinto da una morfologia a debole pendenza, con moda centrata nella classe 2-3°, e valori massimi e valori massimi di 7° lungo il confine occidentale dell'area in progetto (Fig. 5.1).

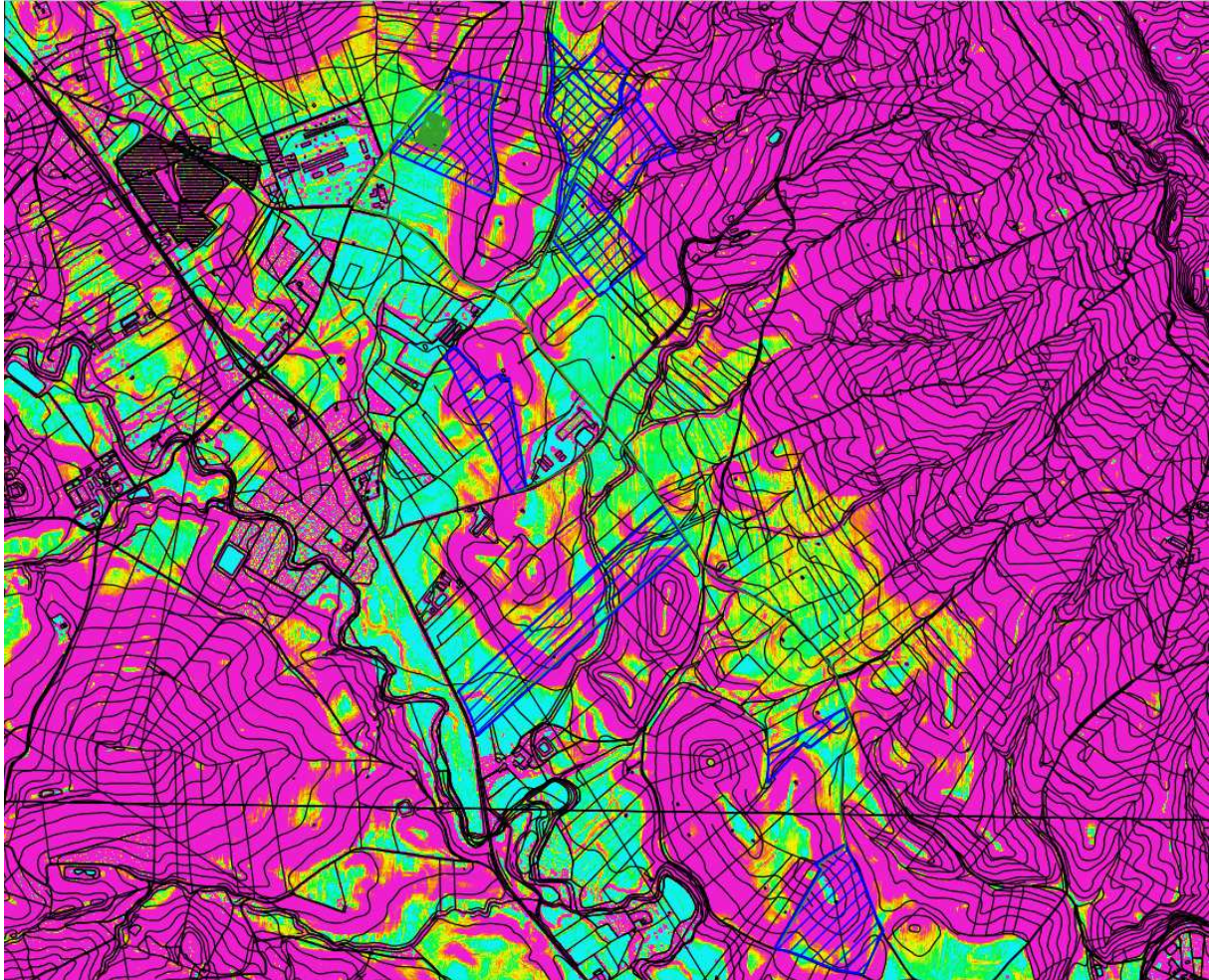


Fig. 5.1: Stralcio Carta delle pendenze Impianto fotovoltaico.

Legenda Classi di Pendenza



5.1 Considerazioni sulla stabilità del versante oggetto di Studio

La dinamica geomorfologica è prevalentemente influenzata dal modellamento fluvio denudazionale legato all'azione delle acque ruscellanti ed 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.

Il contesto geomorfologico attuale mostra, come l'area di affioramento dei litotipi limo-argilloso, 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 come ben visibile dalla carta delle pendenze. Come ben visibile nella carta di dissesti, questi si concentrano in particolar modo laddove le pendenze risultano accentuate, accompagnata da un'erosione concentrata ad opera delle acque di scorrimento superficiale con la formazione di solchi di ruscellamento e, sovente, da erosione per dilavamento diffuso ad opera della acque meteoriche.

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.

Nell'area ove è prevista la realizzazione del Parco Fotovoltaico, del cavidotto e della sottostazione non sono stati rilevati fenomeni morfogenetici attivi e/o situazioni di dissesto in atto o potenziali da essere in contrasto con il progetto proposto.

Dalla visione delle cartografie pubblicate dal P.A.I. l'area **non risulta** inserita tra le aree a Pericolosità e Rischio geomorfologico.

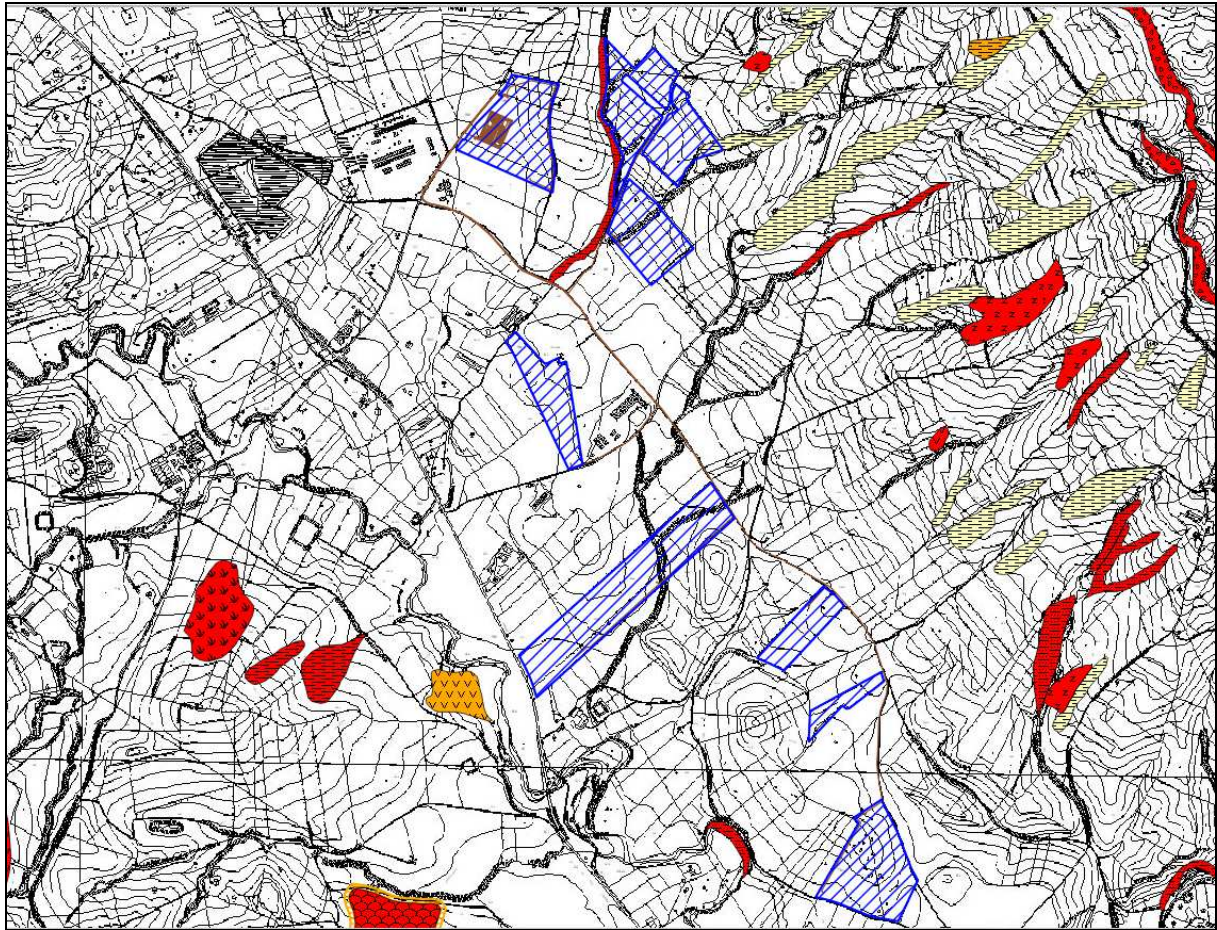

















Fig. 5.1: Stralcio Carta dei dissesti PAI impianto Ciminna.

Legenda Carta dei Dissesti

FENOMENI FRANOSI

-  Crollo e/o ribaltamento
-  Colamento rapido
-  Sprofondamento
-  Scorrimento
-  Frana complessa
-  Espansione laterale o deformazione gravitativa (DGPV)
-  Colamento lento
-  Area a franosità diffusa
-  Deformazione superficiale lenta
-  Calanco
-  Dissesti conseguenti ad erosione accelerata

STATO DI ATTIVITA'

-  Attivo
-  Inattivo
-  Quiescente
-  Stabilizzato artificialmente o naturalmente

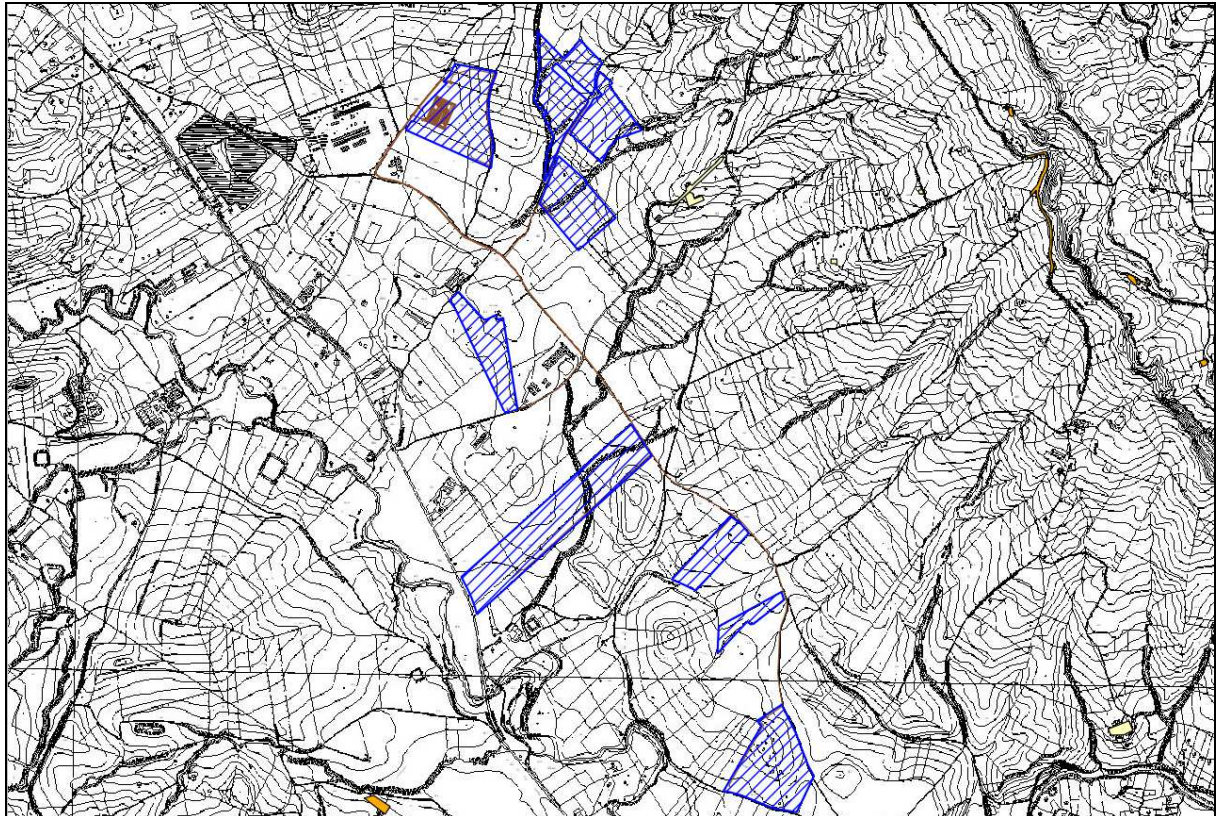






Fig. 5.2: Stralcio Carta del Rischio Geomorfologico PAI impianto Ciminna.

Legenda Carta del Rischio Geomorfologico

LIVELLI DI RISCHIO

| | |
|---|------------------|
|  | R1 moderato |
|  | R2 medio |
|  | R3 elevato |
|  | R4 molto elevato |

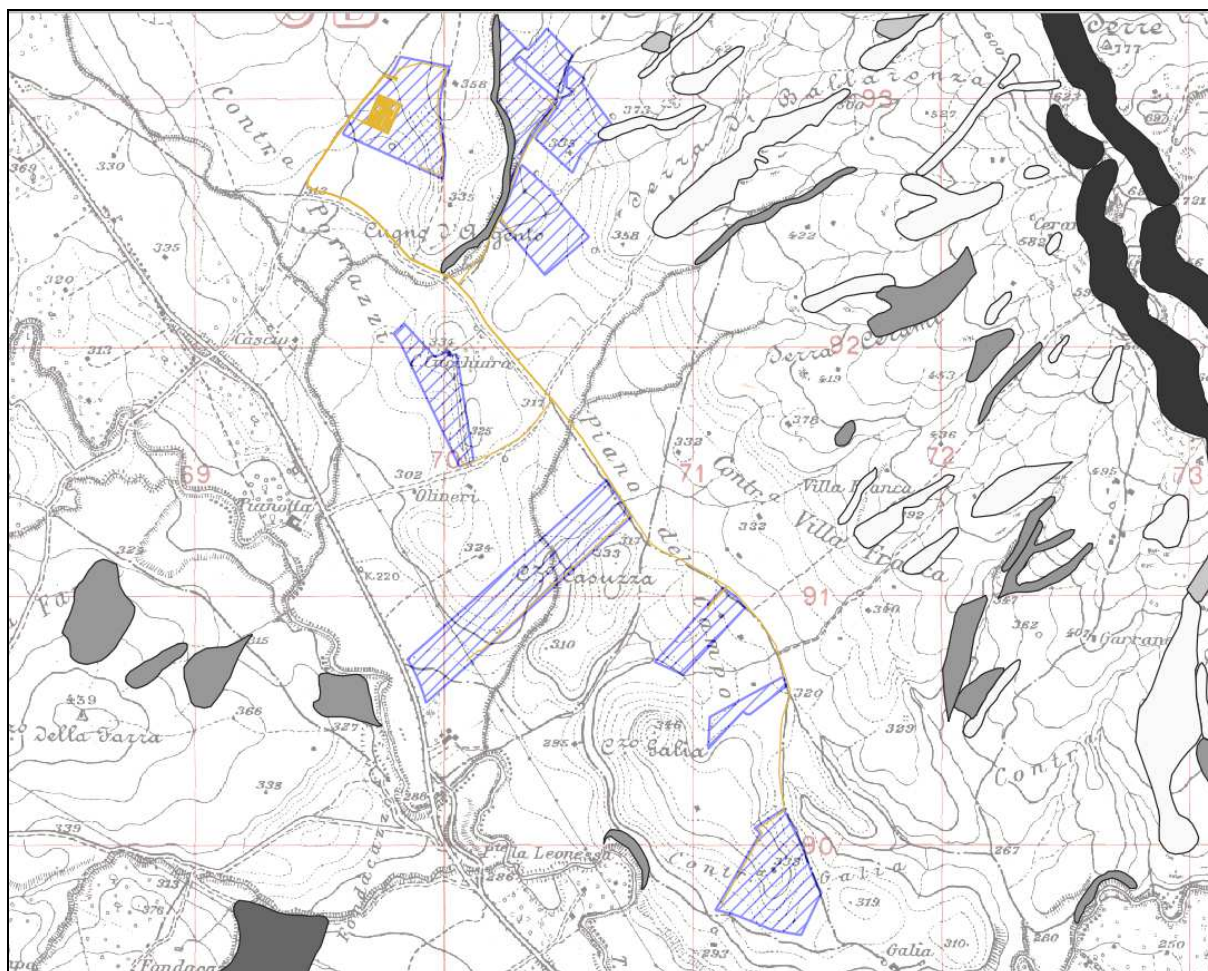








Fig. 5.3: Stralcio Carta della Pericolosità Geomorfologica PAI impianto Ciminna.

Legenda Carta della Pericolosità Geomorfologica PAI

LEGENDA

LIVELLI DI PERICOLOSITA'

-  P0 basso
-  P1 moderato
-  P2 medio
-  P3 elevato
-  P4 molto elevato
-  Fascia di rispetto per probabile evoluzione del dissesto e Sito di attenzione

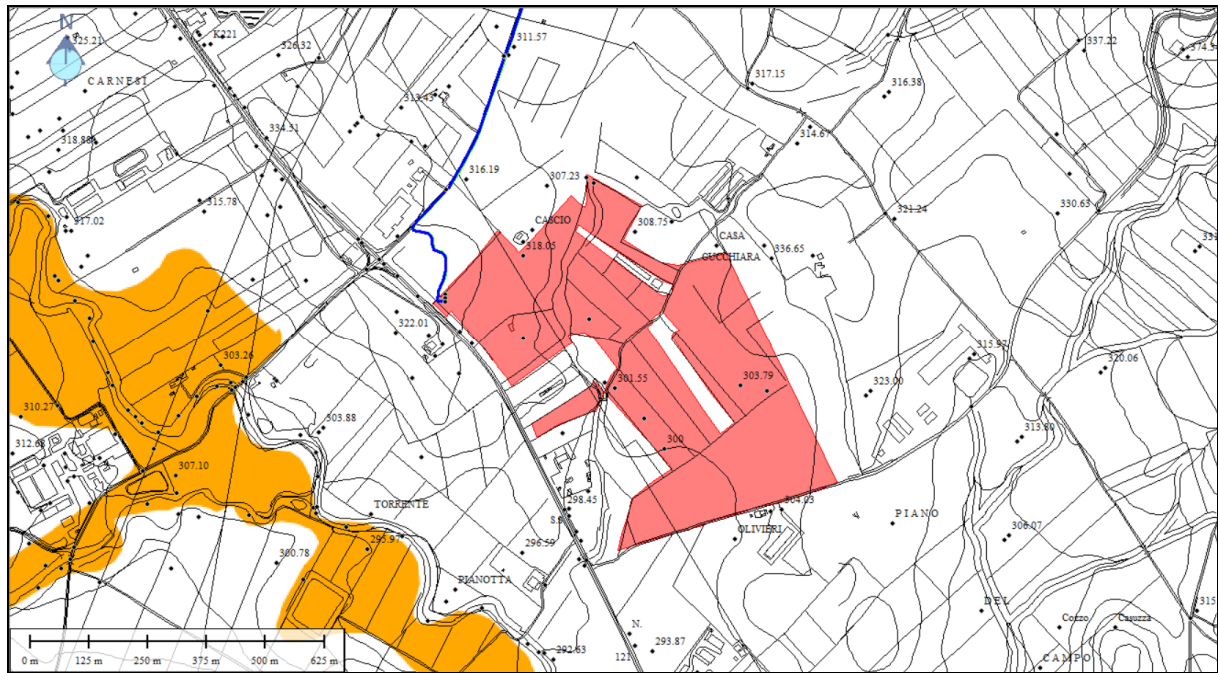


Fig. 5.4: Stralcio Carta del Rischio Idraulico PAI impianto Ciminna.

Leganda Carta del Rischio Idraulico

LIVELLI DI RISCHIO

| | |
|--|------------------|
| | R1 moderato |
| | R2 medio |
| | R3 elevato |
| | R4 molto elevato |

Gli unici aspetti di rilievo, censiti anche in seno alla cartografia PAI, sono collegati a fenomeni di erosione diffusa e incanalata che si localizzano lungo i ripidi fianchi delle incisioni torrentizie. Trattasi di dissesti geomorfologici attivi che determinano una pericolosità geomorfologica P0 legati a processi di erosione accelerata che si manifestano in corrispondenza dei fianchi degli impluvi che incidono i corsi d'acqua che attraversano il sito in progetto con direzione preferenziale N-S. L'evoluzione risulta accentuata in occasione di eventi meteorologici piuttosto intensi e di lunga durata ed è limitato arealmente soltanto all'area di impluvio, infatti dai rilievi eseguiti avendo valutato un areale geologicamente significativo non sono emersi segni di dissesti in atto o potenziali.

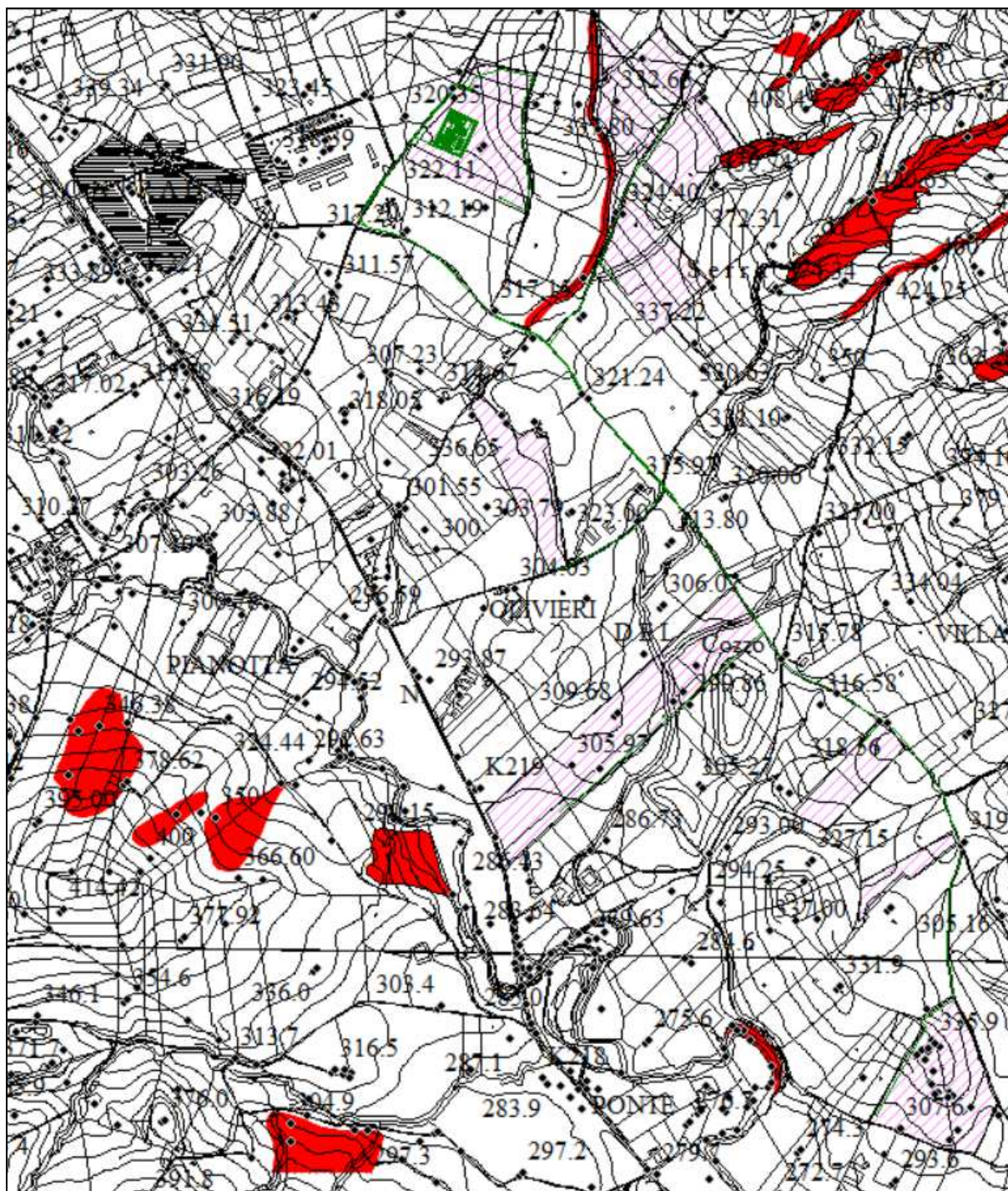



Fig. 5.5 Carta delle pericolosità geologica Impiatio FV Ciminna.

LIVELLO DI PERICOLOSITA' GEOLOGICA

 **Erosione Accelerata:** Trattasi di dissesti geomorfologici attivi che determinano una pericolosità geomorfologica legati a processi di erosione accelerata che si manifestano in corrispondenza dei ripidi versanti che incidono i corsi d'acqua che attraversano il sito in progetto con direzione preferenziale N-S. L'evoluzione risulta accentuata in occasione di eventi metereologici piuttosto intensi e di lunga durata ed è limitato arealmente soltanto all'area di impluvio, infatti dai rilievi eseguiti avendo valutato un areale geologicamente significativo non sono emersi segni di dissesti in atto o potenziali.

5.2 VALUTAZIONI IDROGEOLOGICHE E PERMEABILITÀ

In questo paragrafo si rappresentano le principali caratteristiche idrogeologiche esistenti nel territorio preso in considerazione. La caratterizzazione idrogeologica dei terreni individuati scaturisce da una serie di osservazioni qualitative riguardanti gli aspetti macroscopici che questi presentano ad un primo esame, quali: porosità, fatturazione grado di cementazione, discontinuità strutturali. La permeabilità dei complessi idrogeologici affioranti nell'areale oggetto di studio, risulta essere, principalmente, primaria per porosità ed in maniera ridotta per fratturazione, laddove si riscontra una cementazione piuttosto spinta dei litotipi argillitici e marnosi. Sulla base delle considerazioni di carattere geologico-strutturale, l'area in esame, può essere suddivisa, dal punto di vista idrogeologico, in due complessi principali; infatti, la circolazione idrica sotterranea presenta aspetti e caratteristiche differenti in relazione soprattutto ai litotipi affioranti, ma anche al loro particolare assetto. Di seguito si riportano le caratteristiche idrogeologiche dei terreni dell'intorno investigato, associati in funzione delle loro caratteristiche.

Rocce permeabili per porosità

Appartengono a questa categoria i depositi alluvionali ed eluvio-colluviali. I terreni di tale complesso idrogeologico presentano una permeabilità variabile da media a medio-bassa, in funzione del prevalere della classe granulometrica più minuta su quella grossolana. Generalmente i pori intergranulari dei depositi clastici aventi una scarsa matrice limosa tendono a saturarsi durante la circolazione delle acque di infiltrazione consentendo la formazione di un acquifero. Tuttavia, quando la componente pelitica, come nel caso oggetto di studio, prevale in percentuale su quella sabbio-ghiaiosa, la permeabilità

tende a diminuire perché i pori si occludono rendendo difficoltosa la circolazione idrica.

Rocce da poco a per nulla permeabili

Appartengono a questa categoria i limi debolmente sabbiosi, che ricoprono diffusamente il sub-strato dell'area di studio. Tali terreni presentano una permeabilità primaria da bassa a nulla; si possono localmente riscontrare nelle zone d'alterazione una lenta circolazione idrica organizzata in filetti discontinui legata esclusivamente al regime pluviometrico ed a carattere stagionale. Tali terreni solitamente caratterizzano il substrato impermeabile dei litotipi prima citati e costituiscono il limite inferiore di tali elementi idrogeologici, i quali permettono l'accumulo sotterraneo delle acque di infiltrazione efficace.

In Conclusione, sulla base delle indagini preliminari effettuate, l'area interessata dalle opere in progetto, dal punto di vista idrogeologico è caratterizzato dalla presenza in profondità di terreni aventi bassa permeabilità (k) variabile da 1×10^{-5} circa 1×10^{-7} m/s. Da un'analisi preliminare del sito, non sono state rilevate, fino alle profondità investigate, strutture idrogeologiche significative né la presenza di una falda idrica S.S. tale da potere interferire con le opere in progetto. Infatti durante l'esecuzione delle prove penetrometriche effettuate le aste si presentavano asciutte. Unico possibile elemento di rilievo è la possibile presenza di un circolazione idrica sub-superficiale alimentata, a seguito di precipitazioni intense, dallo scorrimento delle acque di infiltrazione sub-superficiale lungo le porzioni alterate che vengono tamponate verso il basso dai depositi limosi, poco o per nulla permeabili. Al fine di mantenere inalterato la naturale capacità di assorbimento delle acque meteoriche da parte dei terreni, bisognerà evitare il più possibile la realizzazione di superfici impermeabili quali a titolo esemplificativo il manto di copertura della viabilità interna, delle piazzole etc.

Con tali accorgimenti le acque piovane verranno assorbite nel terreno in modo naturale in tutta l'area non alterandone il coefficiente di permeabilità e le caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche. Si consiglia altresì la creazione di fasce vegetali di rinaturazione e il ripristino della cotica erbosa grazie alla piantumazione di tappezzanti, al fine di mitigare fenomeni quali splash erosion e rill erosion che concorrono in maniera determinate al "Consumo del Suolo" e "al rischio desertificazione".

Per quanto riguarda gli aspetti delle interferenze con il reticolo idrografico il motivo idrologico principale dell'area oggetto di studio è rappresentato dal

torrente Azzarolo. Questo ultimo scorre in direzione SE-NW ad una distanza di quasi 270 metri dal margine meridionale del sito in progetto. Si riconoscono, altresì, impluvi di ordine gerarchico inferiore che scorrono a margine ed all'interno del sito in progetto e dai quali si dovrà opportunamente distanziare (10 metri dalle aree di allagamento) in base ai risultati del studio idrologico-idraulico che determinerà le fasce di pertinenza fluviale con tempi di ritorno di 100 anni (ai sensi del R.D. 523/1904).

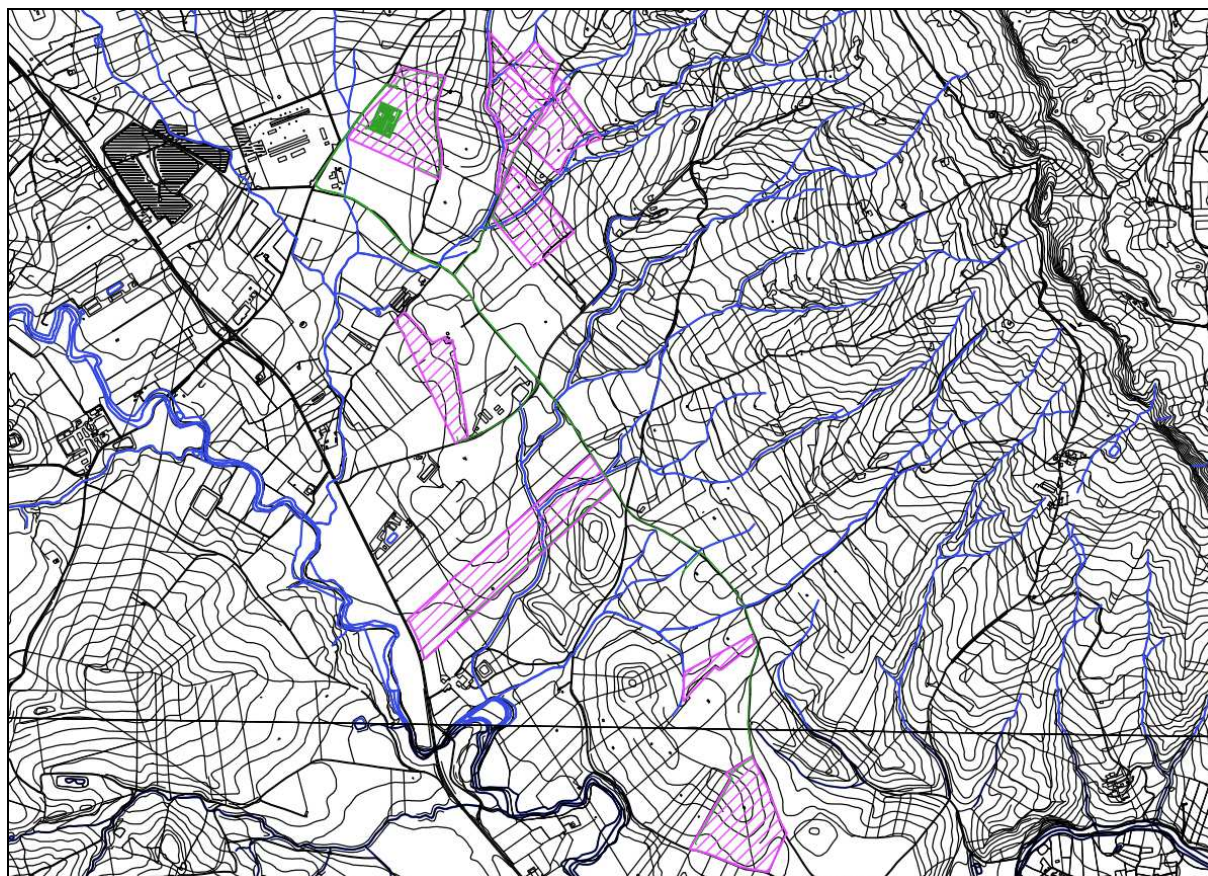


Fig. 5.2.2: Carta delle interferenze con il reticolo idrografico.

Alla luce di quanto sopra rappresentato, bisognerà prestare particolare attenzione alla regimazione delle acque meteoriche, in modo tale da evitare l'erosione accelerata del substrato in posto e si rimanda all'eventuali soluzioni tecniche da adottare in base ai risultati degli studi idraulici.

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 (comprensiva degli ultimi aggiornamenti) relativamente a: siti d'attenzione; pericolosità e rischio idraulico.

I risultati di questa analisi preliminare sono riferiti all'area di progetto e ad un intorno significativo.

6. ZONAZIONE SISMOGENETICA E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

6.1 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 6.1 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>.

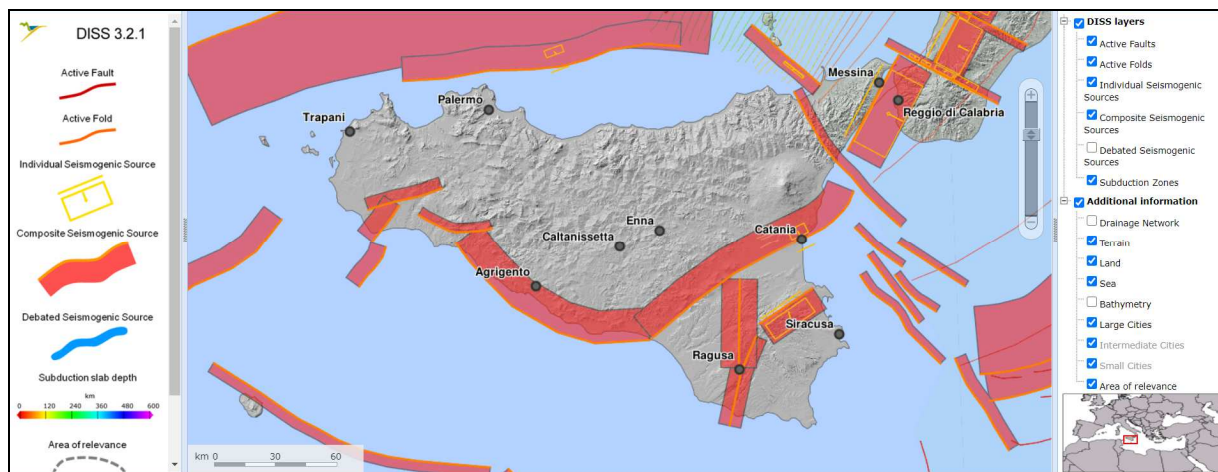


Fig. 6.1: Sorgenti sismogenetiche Sicilia. Fonte INGV.

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>.

L'area oggetto di studio ricade nella parte centro occidentale della Sicilia centro o della Sicilia all'interno del territorio del Comune di Monreale.

6.1.1 Sismicità dell'area in progetto

Dall'interrogazione del database è stato possibile valutare la serie dei principali terremoti che hanno interessato in passato il territorio interessato dal Progetto con *Intensità* maggiore di 2; i risultati sono riportati nelle figure di seguito allegate.

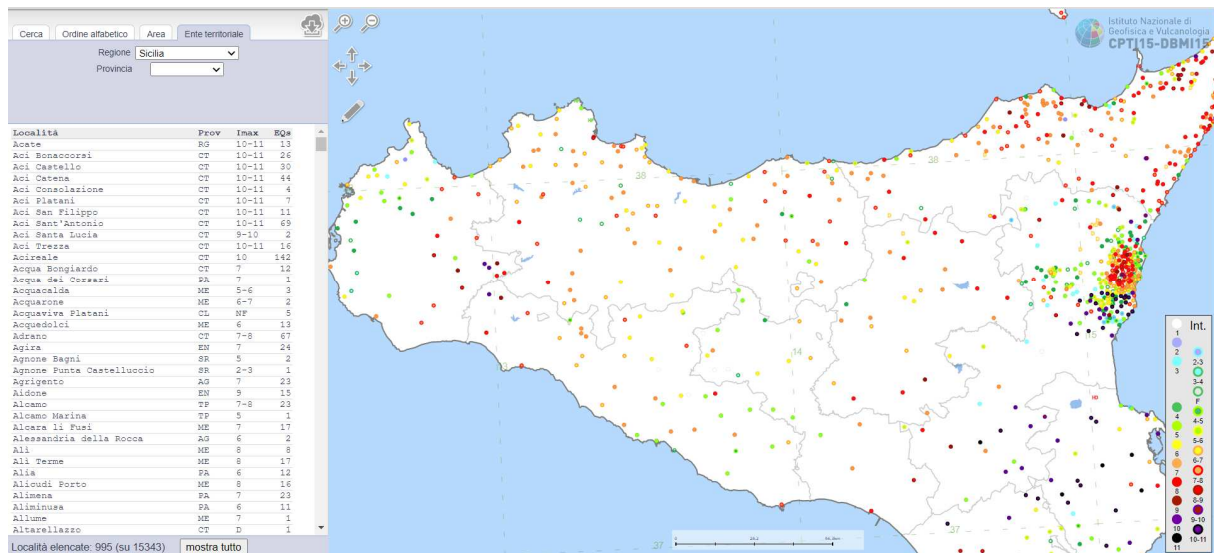


Fig. 6.1.1: Principali eventi sismici sul territorio Comunale di Ciminna intensità/anno e Principali eventi sismici. Fonte INGV, cerchiato in rosso l'area oggetto di studio.

Nello specifico sono stati riconosciuti, ad oggi, nel Comune di Ciminna 12 eventi principali, il più significativo dei quali risulta quello del 08/09/1905 (Calabria Centrale), da cui emergono valori di magnitudo 6,95 ed un'intensità epicentrale (Io - scala MCS) rispettivamente di 10-11. Per l'accelerazione orizzontale di picco a_g attesa (in riferimento ad un suolo di categoria A con periodo di ritorno di 475 anni) 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 attesa (M) e della distanza (R) del *Terremoto di riferimento atteso* (in senso probabilistico) per il territorio di Monreale. Dall'interrogazione web-gis emergono valori di a_g compresi nel range 0,100g-0150g inferiori al valore di 0,250g previsto dall'O.P.C.M. 3274/03.

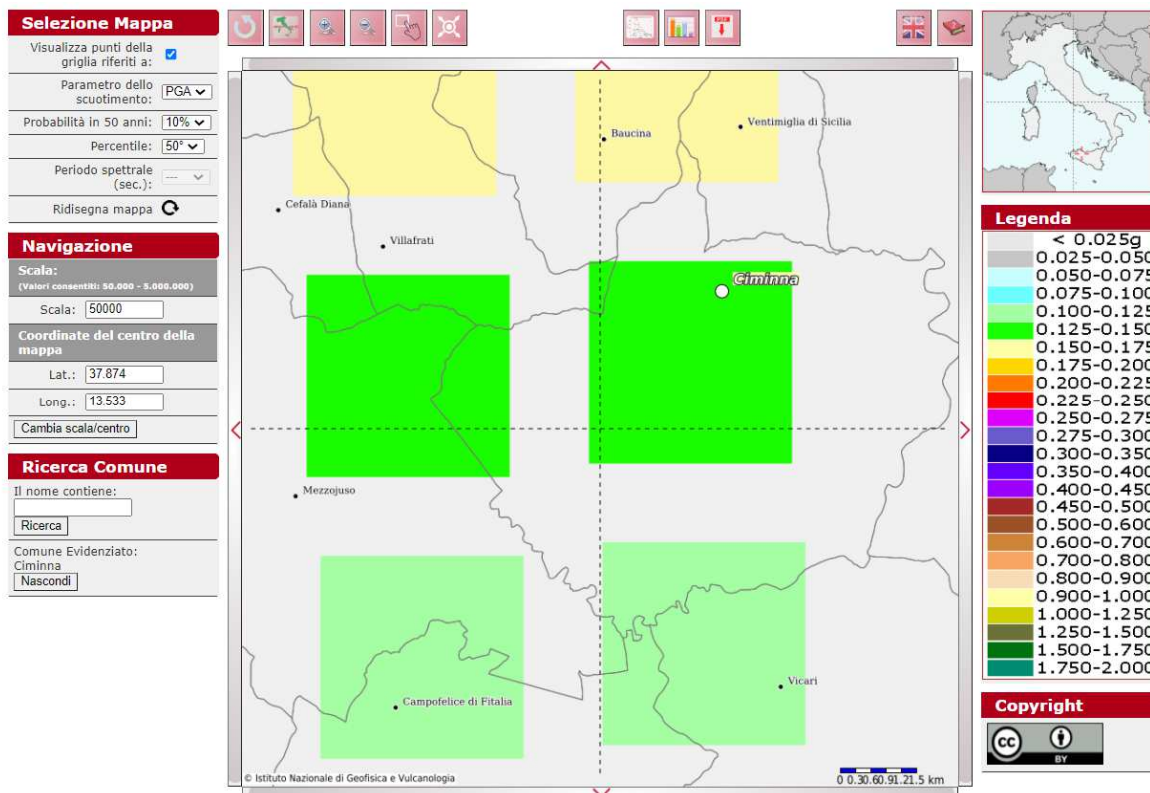


Fig. 6.1.2: Griglia per la valutazione dei valori di ag sul territorio. Fonte INGV.

6.2 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 ($a_g=0,25g$).

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 , T_c^*) 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. A partire da queste ultime coordinate, tramite il foglio di calcolo rilasciato dal C.S. LL.PP. "Spettri NTC vers. 1.03" si possono ricavare i parametri a_g , F_o , T_c^* per i vari periodi di ritorno T_R associati a ciascun *Stato Limite*.

6.3 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). E' 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 *franos* *quiescenti* o *zone con elevata acclività associate a copertura detritica* o

ancora ammassi rocciosi con acclività > 50% ed una giacitura sfavorevole degli strati. La risposta sismica locale è stata valutata mediante *analisi specifiche*, attraverso la realizzazione di n°1 Indagine sismica MASW così come previsto dalla normativa vigente (D.M. 17/01/2018). In base alla natura litostratigrafica dei terreni interessati dalle opere in progetto, a composizione sabbiosa prevalente, e dall'interpretazione delle indagini eseguite è stato possibile attribuire, ai sensi del D.M. 17/01/2018 una **categoria suolo fondazione di tipo C**, ossia "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." Si rappresenta, comunque, come riportato nella tavola delle pericolosità sismica locale (Fig. 6.3.1: Carta delle pericolosità sismica), che nelle aree in cui ricade l'impianto fotovoltaico, il cavidotto e la stazione utente è stata riscontrata l'assenza di pericolosità sismica locale in quanto caratterizzate da zone stabili, contraddistinte morfologicamente da una monoclinale con pendenze a basso gradiente altimetrico < di 15° che degrada dolcemente verso sud.

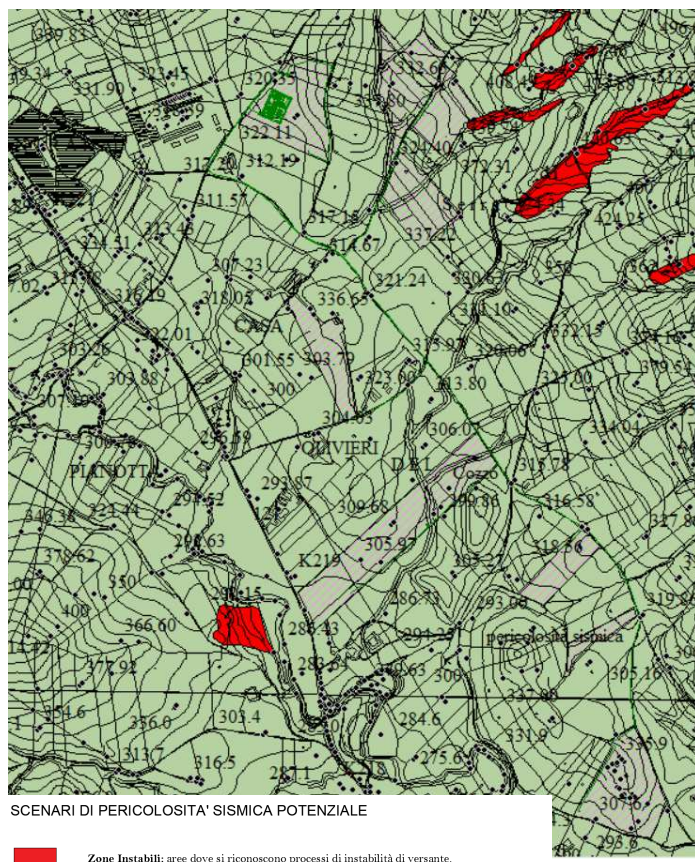


Fig.6.3.1: Carta della Pericolosità Sismica

6.4 INDAGINE DI SISMICA A RIFRAZIONE

6.4.1 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:

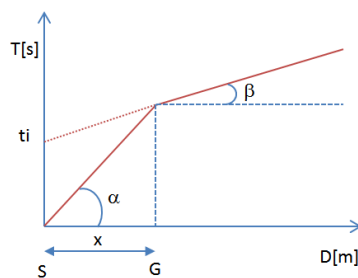
$$T = x_i / V_1$$

dove x_i è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione.

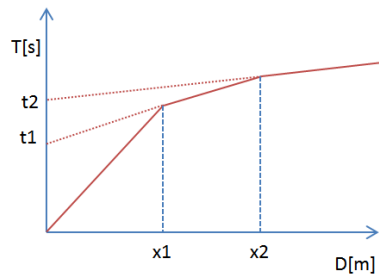
L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità V_1 del primo mezzo come:

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

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.



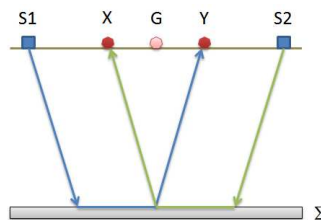
La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, 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:

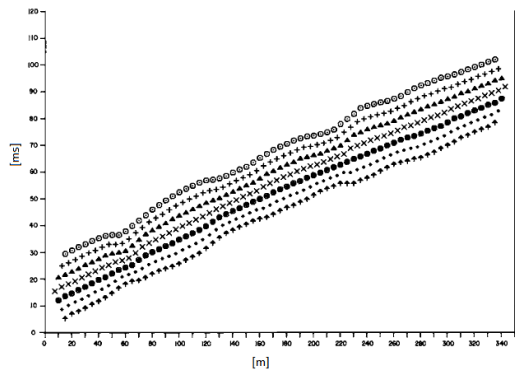
$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left(t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1V_{(i-2)}} \right)$$

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:

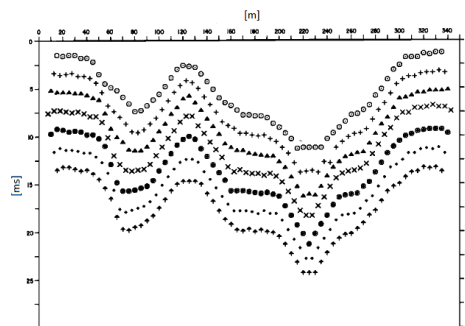
$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$



dove TS1Y e TS2X sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre TS1S2 è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. Tv 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 Tv 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 Vn 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°.

6.4.2 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, di n°16 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 ad una distanza intergeofonica di 3 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):

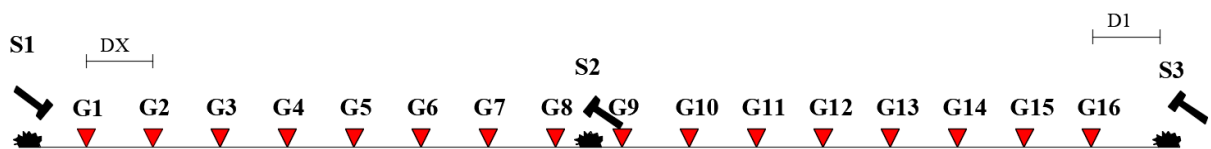


Fig. 6.4.2.1: Geometria tipo dello stendimento sismico.

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 metri dall'ultimo e dal primo geofono. Per l'ubicazione su stralcio planimetrico vedi la carta delle indagini (**Allegato I**).

6.4.3 Interpretazioni delle Indagini di Sismiche a Rifrazione

La metodologia utilizzata nella prospezione di sismica a rifrazione consta di diverse fasi di elaborazione. Preliminarmente, sono stati individuati nei sismogrammi i primi arrivi corrispondenti alle onde dirette e rifratte. Dopo aver rilevato i tempi dei primi arrivi sono state tracciate le dromocrone nel diagramma distanza-tempo. Per la ricostruzione del modello sismo-stratigrafico è stato utilizzato il software Easy Refract, adottando il metodo reciproco generalizzato (GRM), che si basa sulla ricerca, nel diagramma tempi-distanze, di una distanza intergeofonica XY ottimale; tale che i raggi generati in punti opposti arrivino al geofono posto in X e quello posto in Y a partire dallo stesso punto del rifrattore.

Prospezione sismica a rifrazione Rz1-Rz2 e Rz3

Il modello di terreno ricavato dal processo di elaborazione della sismica a rifrazione Rz2, ha messo in evidenza la presenza, nei primi 12 metri, di un solo orizzonte rifrattore ben definito. Tale interfaccia si presenta con aspetto lievemente ondulato ma nell'insieme con andamento sub-parallelo rispetto alla traccia sulla superficie topografica. In definitiva sono stati quindi individuati n°2 sismostrati caratterizzati da velocità delle onde sismiche V_p crescenti con la profondità (Fig. 6.4.3.1-6.4.3.2-6.4.3.3).

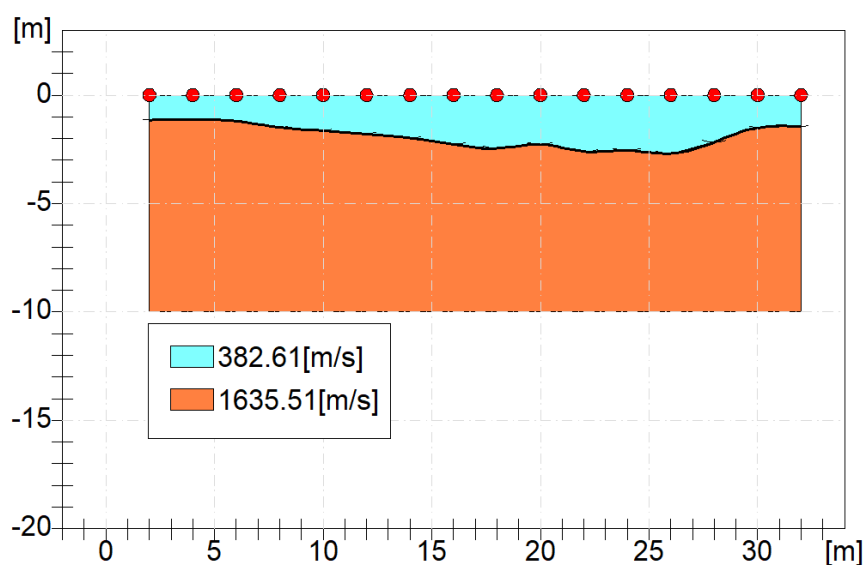


Fig. 6.4.3.1.: Sismo-stratigrafia indagine Rz1.

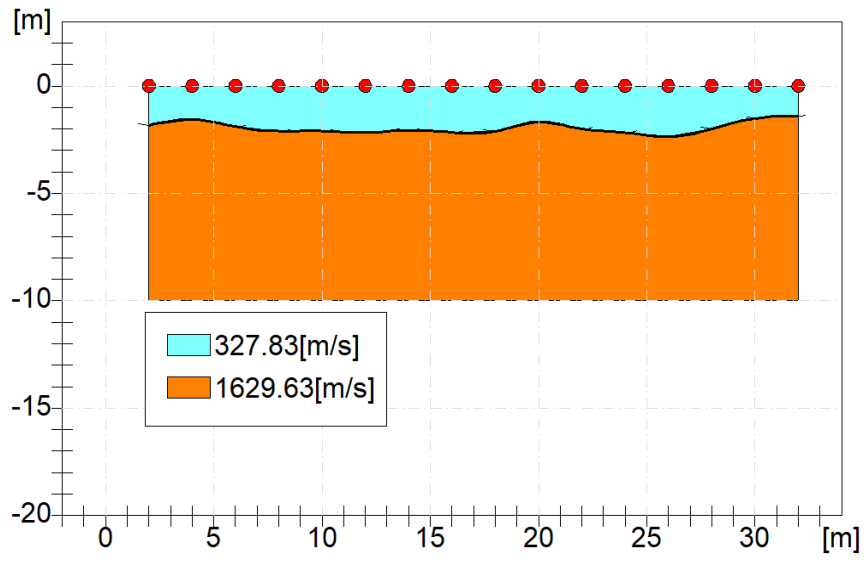


Fig. 6.4.3.2.: Sismo-stratigrafia indagine Rz2.

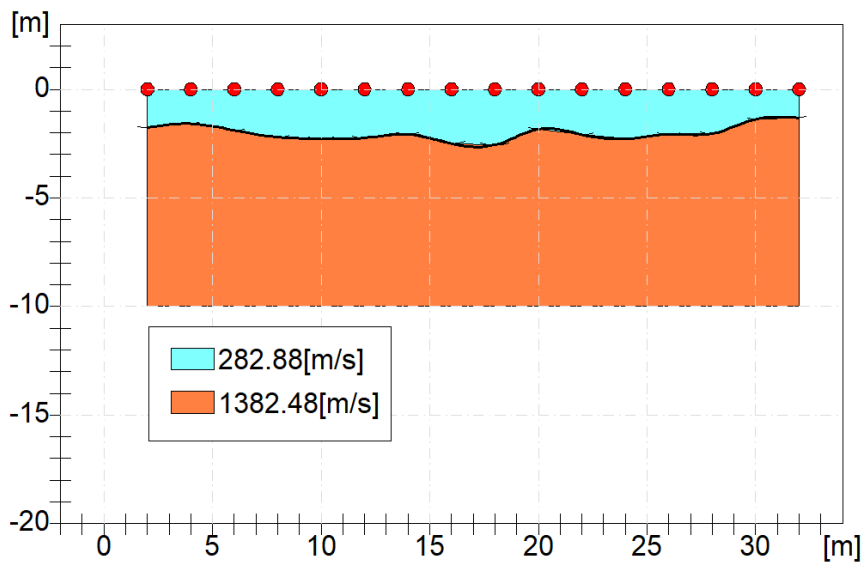


Fig. 6.4.3.3.: Sismo-stratigrafia indagine Rz3.

Le velocità delle onde P rilevate sono le seguenti: tra 282 e 380 m/s nel primo sismostrato e tra 1382 e 1635 m/s nel secondo sismostrato. Il primo sismostrato ha uno spessore medio di circa 2,5 metri con valori minimi di circa 1,9 metri e massimi di 3,4 m, lungo la sismo-sezione investigata.

Dal punto di vista sismo-stratigrafico è possibile ipotizzare una correlazione fra la sismo-stratigrafia e la litostratigrafia, occorre comunque rilevare che quasi mai un sismostrato corrisponde perfettamente con un litostrato. Tale ipotesi è inclusa nella Sintesi dei risultati riportata di seguito:

| Sintesi dei Risultati Sismo-stratigrafici | | |
|--|---------------------------------|---|
| SISMOSTRATO | PROFONDITA' (m dal p.c.) | IPOTESI DI CORRELAZIONE CON UNITA' GEO-LITOLOGICHE |
| 1 | Da 0 a 2,4/3,4 mt. | Livello superficiale di natura eluvio colluviale a prevalente matrice limosa-argillosa di colore rossastro. |
| 2 | Da 2,4/3,4 a oltre 10 mt. | Orizzonte Limoso debolmente sabbioso caratterizzato da una certa eterogeneità verticale a consistenza variabile ma nel complesso valutabili appunto come moderata.. |

Tab.6.4.3.1: Sintesi dei risultati relativi alle indagini sismiche a rifrazione e MASW.

6.5 INDAGINE DI SISMICA MASW

6.5.1 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:

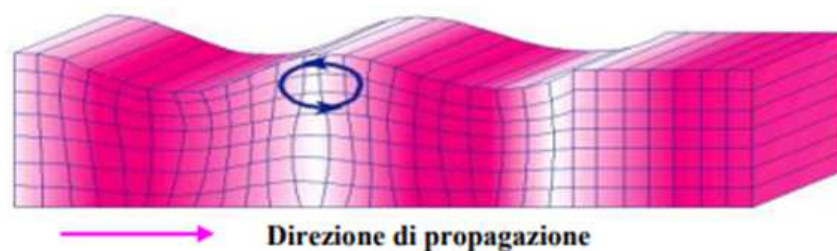
- P-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- S-Trasversale: onda profonda di taglio;
- L-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- R-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

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. È 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:

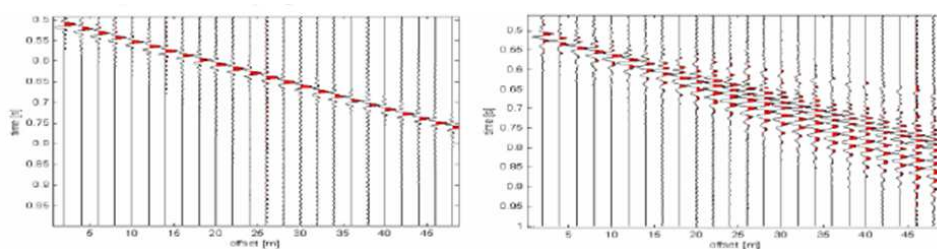
$$v = \lambda \times \nu$$

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 V_s rappresenta una soluzione potenzialmente valida.

6.5.2. 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), 16 geofoni 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 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.

6.5.3 Risultati delle Indagini di Sismica Masw

Nell'interpretazione della curva di dispersione delle onde di superficie di tipo Rayleigh, valutata tra 5 Hz e 70 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 3 sismostrati. I risultati dell'inversione hanno fornito i seguenti valori della velocità delle onde S.

INDAGINE SISMICA MASW 1

Strato n°1: $V_s = 128.9\text{m/s}$; spessore 1.99metri.

Strato n°2: $V_s = 220.5\text{m/s}$; spessore 3.33metri.

Strato n°3: $V_s = 393.4\text{m/s}$; spessore oo metri.

INDAGINE SISMICA MASW 2

Strato n°1: $V_s = 100.9\text{m/s}$; spessore 1.71metri.

Strato n°2: $V_s = 211.4\text{m/s}$; spessore 3.82metri.

Strato n°3: $V_s = 396.7\text{m/s}$; spessore oo metri.

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 $V_{S_{eq}}$ 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 $V_{S_{eq}}$ 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.

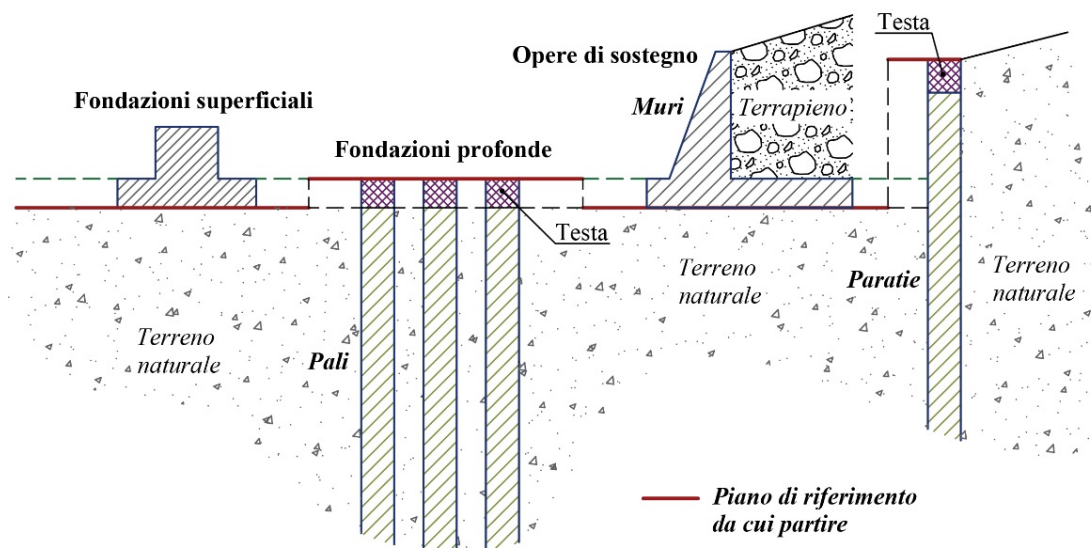


Figura 6.5.3.1: Schemi di riferimento richiamati al § 3.2.2 delle NTC 2018.

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

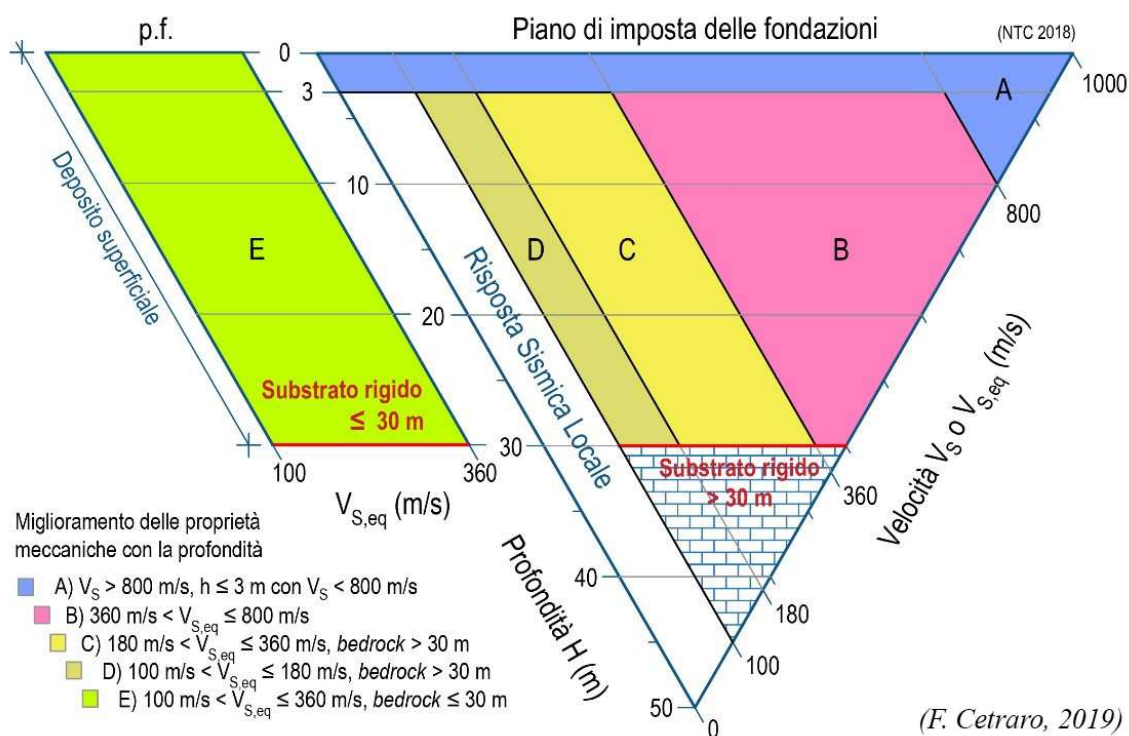


Figura 6.5.3.1: Diagramma categorie di sottosuolo secondo i riferimenti del § 3.2.2 delle NTC 2018.

6.5.4 RISULTATI DEL CALCOLO

Al fine di poter procedere con le operazioni di calcolo è necessario inserire gli spessori con le relative velocità V_s di ogni sismostrato, secondo le indicazioni riportate in normativa. Il modello interpretativo fornito ha permesso pertanto di ottenere la seguente stratigrafia con i relativi valori di velocità delle onde S rispettivamente per le indagini Masw1 e Masw 2:

Tabella 6.5.4.1: Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo Masw1 (§ 3.2.2 alle NTC 2018).

| n. | Profondità [m] | Spessore [m] | Peso unità volume [kg/mc] | Coefficiente Poisson | Falda | V_p [m/sec] | V_s [m/sec] |
|----|----------------|--------------|---------------------------|----------------------|-------|---------------|---------------|
| 1 | 1.99 | 1.99 | 1700.0 | 0.35 | No | 268.4 | 128.9 |
| 2 | 5.33 | 3.33 | 1800.0 | 0.35 | No | 458.9 | 220.5 |
| 3 | oo | oo | 1900.0 | 0.35 | No | 819.0 | 393.4 |

Per la determinazione della Categoria del sottosuolo in applicazione delle NTC/2018 (§ 3.2.2), sulla base del valore ricavato, **$V_{S,eq} = 321.54\text{m/s}$** , unitamente a valutazioni circa la stratigrafia e l'andamento del valore delle V_s , il sottosuolo in esame risulta classificabile come sottosuolo di **tipo C**.

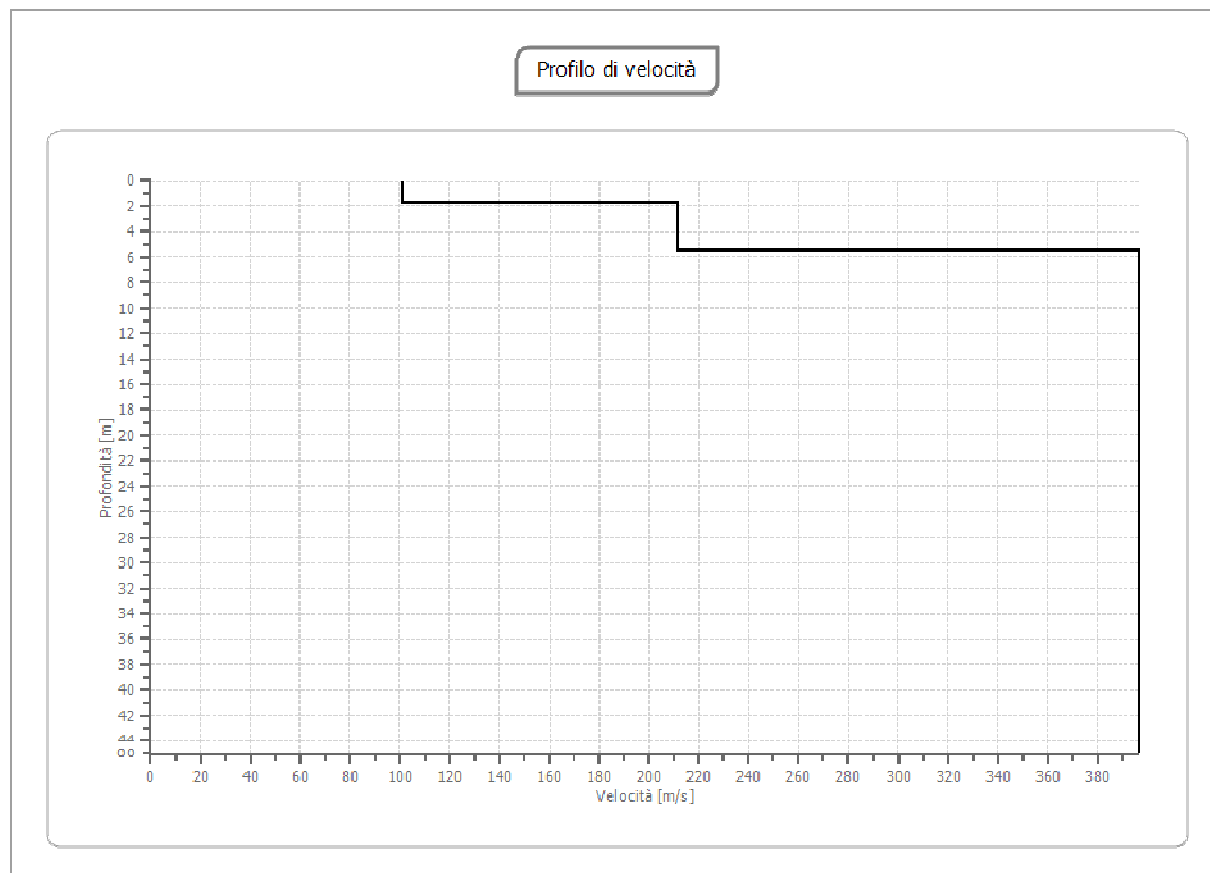


Fig. 6.5.4.1: Colonna Sismostratigrafica indagine Masw1.

Tabella 6.5.4.2: Valori utilizzati per il calcolo della categoria di sottosuolo Masw2 (§ 3.2.2 alle NTC 2018).

| n. | Profondità [m] | Spessore [m] | Peso unità volume [kg/mc] | Coefficiente Poisson | Falda | Vp [m/sec] | Vs [m/sec] |
|----|-------------------|-----------------|---------------------------------|-------------------------|-------|---------------|---------------|
| 1 | 1.71 | 1.71 | 1700.0 | 0.35 | No | 210.1 | 100.9 |
| 2 | 5.53 | 3.82 | 1800.0 | 0.35 | No | 440.0 | 211.4 |
| 3 | oo | oo | 1900.0 | 0.35 | No | 825.8 | 396.7 |

Per la determinazione della Categoria del sottosuolo in applicazione delle NTC/2018 (§ 3.2.2), sulla base del valore ricavato, **$V_{S,req} = 310.14\text{m/s}$** , unitamente a valutazioni circa la stratigrafia e l'andamento del valore delle Vs, il sottosuolo in esame risulta classificabile come sottosuolo di **tipo C**.

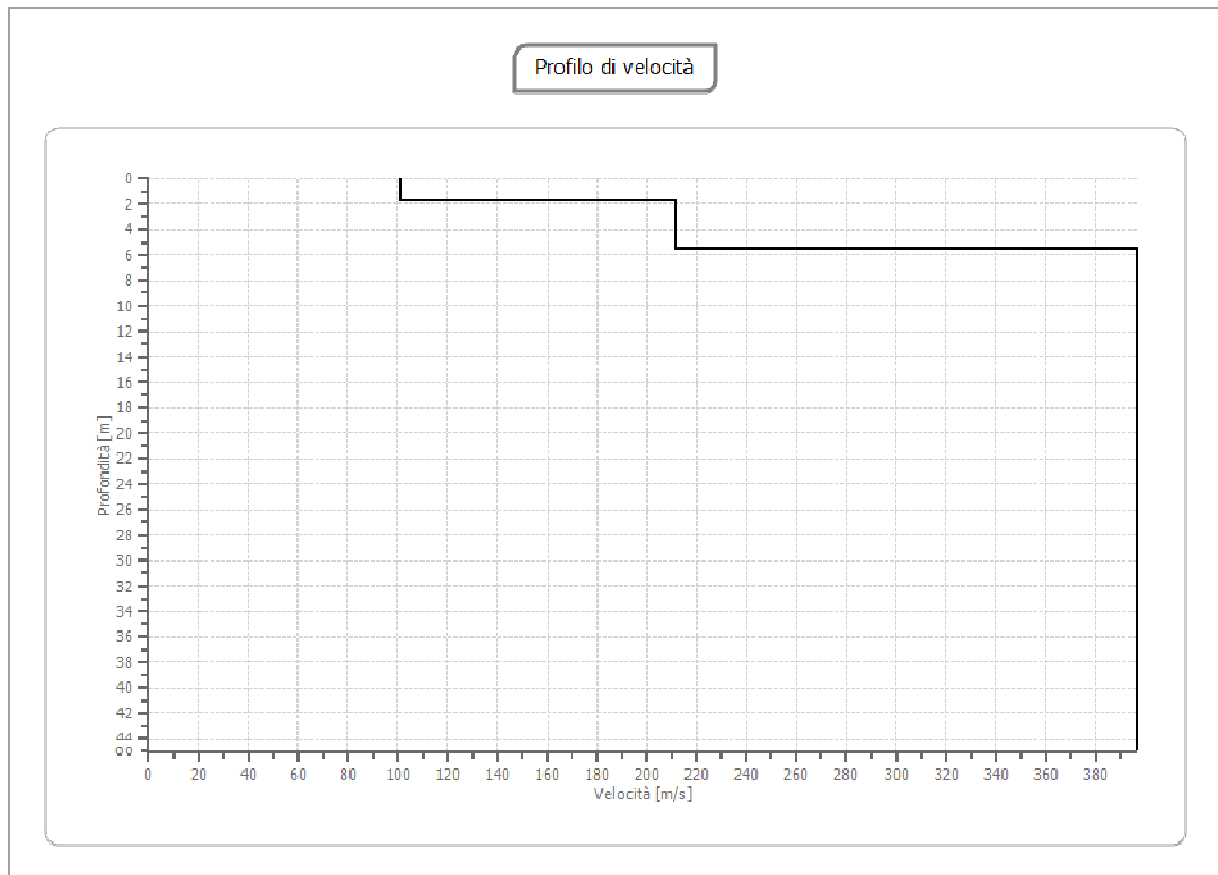


Fig. 6.5.4.2: Colonna Sismostratigrafica indagine Masw2.

7. 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. Al fine di rendere altamente attendibili le valutazioni geotecniche, riguardanti l'area oggetto di studio, si è fatto riferimento ai risultati di una campagna di n°4 prove penetrometriche dinamiche medie, effettuate all'interno del sito in progetto (**Allegato III**). 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. Sia dal punto di vista geologico-stratigrafico che meccanico le indagini hanno evidenziato una buona omogeneità nell'area di progetto, con una colonna lito-stratigrafica simile in tutte le verticali di indagini seppur con spessori dei vari orizzonti variabili. Per i dettagli sulle colonne stratigrafiche si rimanda alla Relazione sulle Indagini Geognostiche allegata (**Allegato III**). Dai dati raccolti, in definitiva, è stato possibile, ricostruire la seguente colonna litostratigrafica tipo:

Terreno di copertura eluvio-colluviale

Livello superficiale di natura colluviale a prevalente matrice limosa-argillosa di colore rossastro; l'orizzonte si presenta eterogeneo e con una consistenza significativamente influenzata dal grado di umidità del terreno e pertanto non offre garanzie della capacità portante o dei cedimenti in modo tale da indicare come necessaria la sua asportazione in caso di costruzione di manufatti o comunque il posizionamento del piano di imposta delle fondazioni al di sotto di esso. Lo spessore è valutabile in circa 2,4 – 3,4 metri.

Per tale livello i parametri geotecnici di riferimento assumibili sono:

| | |
|------------------------------|----------------------------------|
| $\gamma = 15 \text{ KN/m}^3$ | (peso specifico apparente) |
| $C_u = 0 \text{ kPa}$ | (coesione in condizioni drenate) |
| $\phi' = 15^\circ$ | (angolo di attrito interno) |

Limi debolmente sabbioso

Orizzonte di colore bruno-giallastro a prevalente matrice limosa con lenti sabbiose caratterizzato da una certa eterogeneità verticale a consistenza variabile ma nel complesso valutabili appunto come moderata; dal punto di vista meccanico l'orizzonte appare, nell'insieme, contraddistinto da caratteristiche meccaniche discrete. Lo spessore è valutabile in oltre 3 metri.

Si riportano di seguito i principali parametri geotecnici desunte dalle prove geotecniche effettuate:

- peso di volume (γ)= 17.0 – 17.5 kN/m³
- coesione in condizioni non drenate (CU) = 0,8 Kg/cm²
- coesione in condizioni drenate (C') = 0 Kg/cm²
- angolo d'attrito in condizioni drenate (Φ')= 22°-24°

Sulla scorta delle considerazioni e dall'interpretazione dei dati ottenuti si ritiene che la progettazione delle fondazioni, dovrà essere effettuata tenendo conto della elevata disomogeneità dei materiali alterati superficiali e della necessità di minimizzare i conseguenti fenomeni di cedimento differenziale tra gli appoggi; tale accorgimento sarà propedeutico alla stabilità della struttura e garantirà la sicurezza dei luoghi. Per gli aspetti geotecnici di maggiore dettaglio e le eventuali problematiche sul dimensionamento delle fondazioni degli impianti e di stabilità, si rimanda alla fase esecutiva, attraverso mirate campagne di indagini geognostiche.

8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente studio è stato redatto conformemente ai contenuti tecnici della circolare ARTA 3/DRA del 20/06/2014 ed in ottemperanza al D.M. 17/01/2018.

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:

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

- **Livello 1 Terreno di copertura eluvio-colluviale:** Livello superficiale di natura colluviale a prevalente matrice limosa-argillosa di colore rossastro; l'orizzonte si presenta eterogeneo e con una consistenza significativamente influenzata dal grado di umidità del terreno e pertanto non offre garanzie della capacità portante o dei cedimenti in modo tale da indicare come necessaria la sua asportazione in caso di costruzione di manufatti o comunque il posizionamento del piano di imposta delle fondazioni al di sotto di esso. Lo spessore è valutabile in circa 2,4 – 3,4 metri.

Da un punto di vista Geotecnico è da considerare un substrato estremamente plastico, privo di coesione e di scarse capacità portante.

- **Livello 2 Limi debolmente sabbiosi**: Orizzonte di colore bruno-giallastro a prevalente matrice pelitica costituita da limi addensati con sabbie caratterizzato da una certa eterogeneità verticale a consistenza variabile ma nel complesso valutabili appunto come moderata; dal punto di vista meccanico l'orizzonte appare, nell'insieme, contraddistinto da caratteristiche meccaniche discrete. Lo spessore è valutabile in oltre 3 metri.

Dal punto di vista morfologico il territorio di Ciminna, per la parte di pertinenza del Bacino idrografico del F. S. Leonardo, 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 orientali del territorio.

Morfologicamente l'area in progetto ricade all'interno di un'ampia piana caratterizzata da blande pendenze che si estende per circa 2Km in direzione NE-SW in destra idraulica del torrente Azzirolo che costituisce il motivo idrologico principale dell'area.

Dall'analisi generale della distribuzione delle altimetrie, il sito in progetto ricade tra le isoipse 340 m. s.l.m. lungo il confine nord orientale dell'area in oggetto e minime di circa 285 m. lungo il margine centro meridionale in prossimità della strada statale 121 Palermo-Agrigento. In particolare, il sito in progetto è contraddistinto da una morfologia a debole pendenza, con moda centrata nella classe 2-3°, e valori massimi e valori massimi di 7° lungo il confine occidentale dell'area in progetto.

Il contesto geomorfologico attuale mostra, come l'area di affioramento dei litotipi limo-argillosi, 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. Come ben visibile nella carta di dissesti, questi si concentrano in particolar modo laddove le pendenze risultano accentuate, accompagnata da un'erosione concentrata ad opera delle acque di scorrimento superficiale con la formazione di solchi di ruscellamento e, sovente, da erosione per dilavamento diffuso ad opera delle acque meteoriche.

Nell'area ove è prevista la realizzazione del Parco agrovoltatico del cavidotto e della stazione utente, comunque, **non sono** stati rilevati fenomeni morfogenetici

attivi e/o situazioni di dissesto in atto o potenziali da essere in contrasto con il progetto proposto.

Gli unici aspetti di rilievo, censiti anche in seno alla cartografia PAI, sono collegati a fenomeni di erosione diffusa e incanalata che si localizzano lungo i ripidi fianchi delle incisioni torrentizie. Trattasi di dissesti geomorfologici attivi che determinano una pericolosità geomorfologica P0 legati a processi di erosione accelerata che si manifestano in corrispondenza versanti che incidono i corsi d'acqua che attraversano il sito in progetto con direzione preferenziale N-S.

L'evoluzione risulta accentuata in occasione di eventi meteorologici piuttosto intensi e di lunga durata ed è limitato arealmente soltanto all'area di impluvio, infatti dai rilievi eseguiti avendo valutato un areale geologicamente significativo non sono emersi segni di dissesti in atto o potenziali.

Dal punto di vista idrogeologico l'area in progetto è caratterizzata dalla presenza in profondità di terreni aventi permeabilità (k) medio basse variabile da 1×10^{-5} circa 1×10^{-7} m/s. Da un'analisi preliminare del sito, non sono state rilevate, fino alle profondità investigate, strutture idrogeologiche significative né la presenza di una falda idrica S.S., tale da potere interferire con le opere in progetto. Infatti durante l'esecuzione delle prove penetrometriche le aste si presentavano asciutte. Unico possibile elemento di rilievo è la possibile presenza di un 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 limosi, poco o per nulla permeabili. Dal punto di vista degli impatti sulle matrici ambientali, si sottolinea che l'impianto fotovoltaico è privo di scarichi sul suolo, pertanto non sussistono rischi di contaminazione del terreno e delle acque superficiali e profonde. Inoltre la pulizia dei moduli fotovoltaici deve essere eseguita senza l'utilizzo di detergenti, esclusivamente con acqua, in modo tale da non riversare sul terreno agenti chimici inquinanti.

Al fine di mantenere inalterato la naturale capacità di assorbimento delle acque meteoriche da parte dei terreni, bisognerà evitare il più possibile la realizzazione di superfici impermeabili, quali a titolo esemplificativo, il manto di copertura della viabilità interna, delle piazzole etc..

Con tali accorgimenti le acque piovane verranno assorbite nel terreno in modo naturale in tutta l'area non alterandone il coefficiente di permeabilità e le caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche. Si consiglia altresì la creazione di fasce vegetali di rinaturazione e il ripristino del cotico erboso grazie alla

piantumazione di essenze erbacee e autoctone rinaturalizzanti, al fine di mitigare fenomeni quali splash erosion e rill erosion che concorrono in maniera determinate al "Consumo del Suolo" e "al rischio desertificazione".

Per quanto riguarda gli aspetti delle interferenze con il reticolo si riconoscono, impluvi di ordine gerarchico inferiore (segnalati anche nella cartografia ufficiale ATA 2012-2013) che scorrono a margine del sito in progetto e dai quali si ci dovrà opportunamente distanziare in base ai risultati del studio idrologico-idraulico che determinerà le fasce di pertinenza fluviale con tempi di ritorno di 100 anni (ai sensi del R.D. 523/1904).

Ai sensi del D.M. 17/01/18, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, il terreno di fondazione rientra nella categoria di suolo di **Tipo C** ;

Gli aspetti geomorfologici, geotecnici ed idrogeologici dovranno, comunque, essere appurati in sede di progettazione esecutiva e in ogni caso prima della realizzazione dell'opera, attraverso mirate campagne di indagini geognostiche al fine di potere effettivamente individuare le stratigrafie presenti e le eventuali problematiche sul dimensionamento delle fondazioni degli impianti e di stabilità l.s..

Pertanto alla luce di quanto sopra riportato è possibile affermare che l'area in cui è prevista la realizzazione delle opere in progetto, risulta zona 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, Dicembre 2021

II PROFESSIONISTA
Dott. Geol. Michele Ognibene

ALLEGATO I

INDAGINE DI SISMICA A RIFRAZIONE

INDAGINE DI SISMICA A RIFRAZIONE RZ1

Geometria geofoni

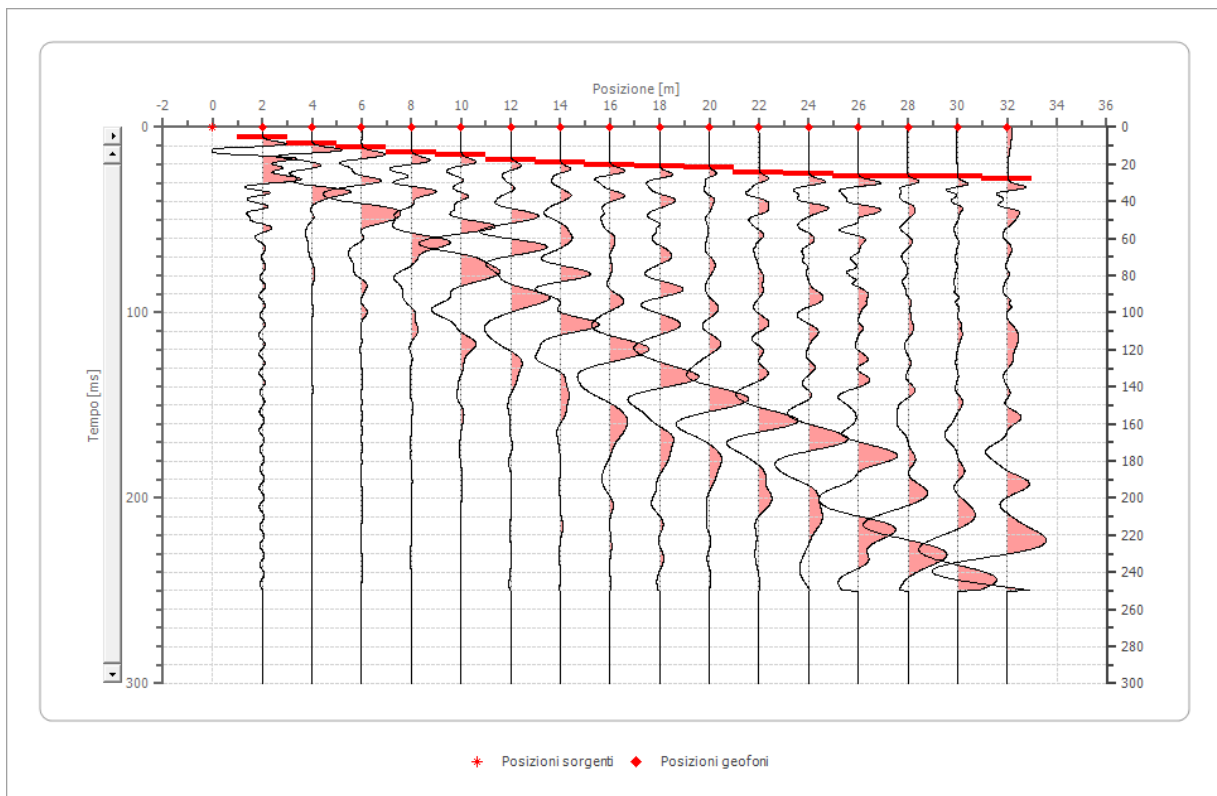
| | Posizione X [m] | Posizione Z [m] |
|----|--------------------|--------------------|
| 1 | 2.0 | 0.0 |
| 2 | 4.0 | 0.0 |
| 3 | 6.0 | 0.0 |
| 4 | 8.0 | 0.0 |
| 5 | 10.0 | 0.0 |
| 6 | 12.0 | 0.0 |
| 7 | 14.0 | 0.0 |
| 8 | 16.0 | 0.0 |
| 9 | 18.0 | 0.0 |
| 10 | 20.0 | 0.0 |
| 11 | 22.0 | 0.0 |
| 12 | 24.0 | 0.0 |
| 13 | 26.0 | 0.0 |
| 14 | 28.0 | 0.0 |
| 15 | 30.0 | 0.0 |
| 16 | 32.0 | 0.0 |

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X 0 [m]

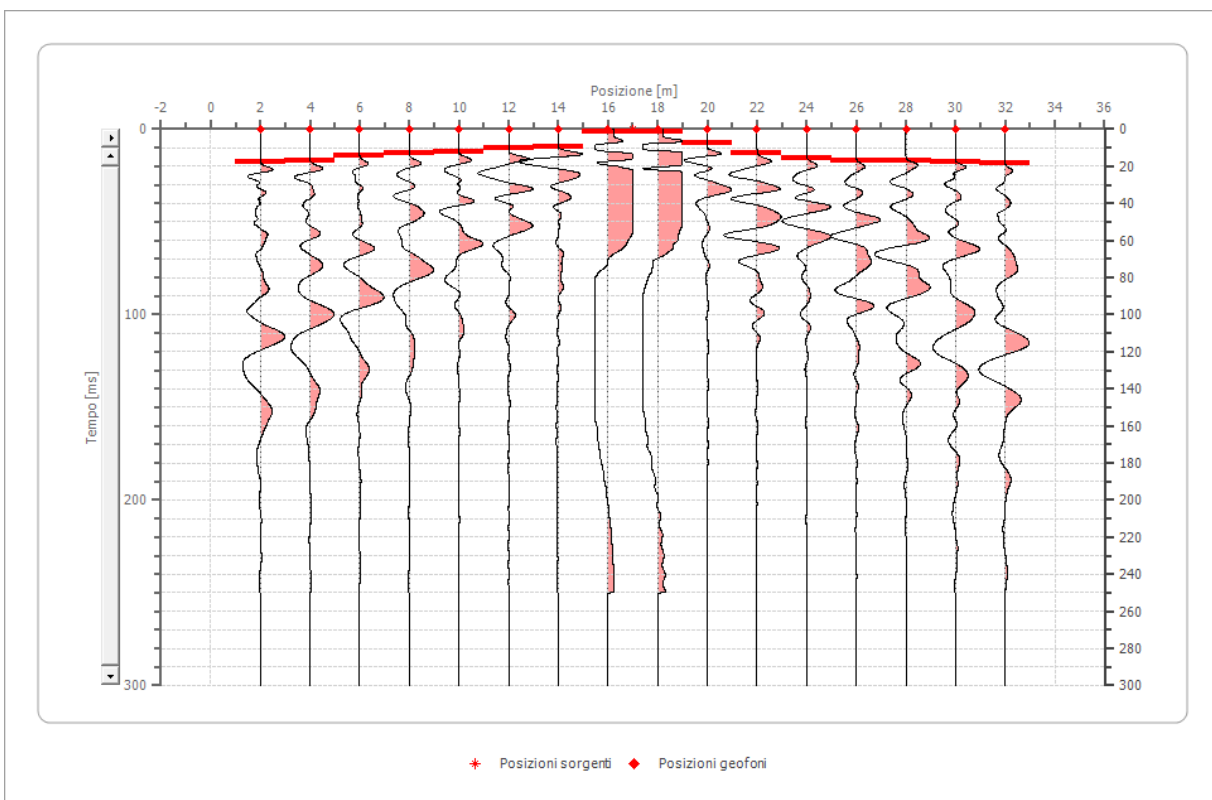
Posizione sorgente Z 0 [m]



| Posizione geofono [m] | Tempo [ms] |
|-----------------------|------------|
| 2.0 | 5.3450 |
| 4.0 | 8.7464 |
| 6.0 | 10.6900 |
| 8.0 | 13.6054 |
| 10.0 | 15.0632 |
| 12.0 | 17.4927 |
| 14.0 | 18.9504 |
| 16.0 | 20.4082 |
| 18.0 | 21.3800 |
| 20.0 | 21.8659 |
| 22.0 | 24.2954 |
| 24.0 | 25.2673 |
| 26.0 | 26.2391 |
| 28.0 | 26.7250 |
| 30.0 | 26.7250 |
| 32.0 | 28.1827 |

Battuta 2

Posizione sorgente X 17 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



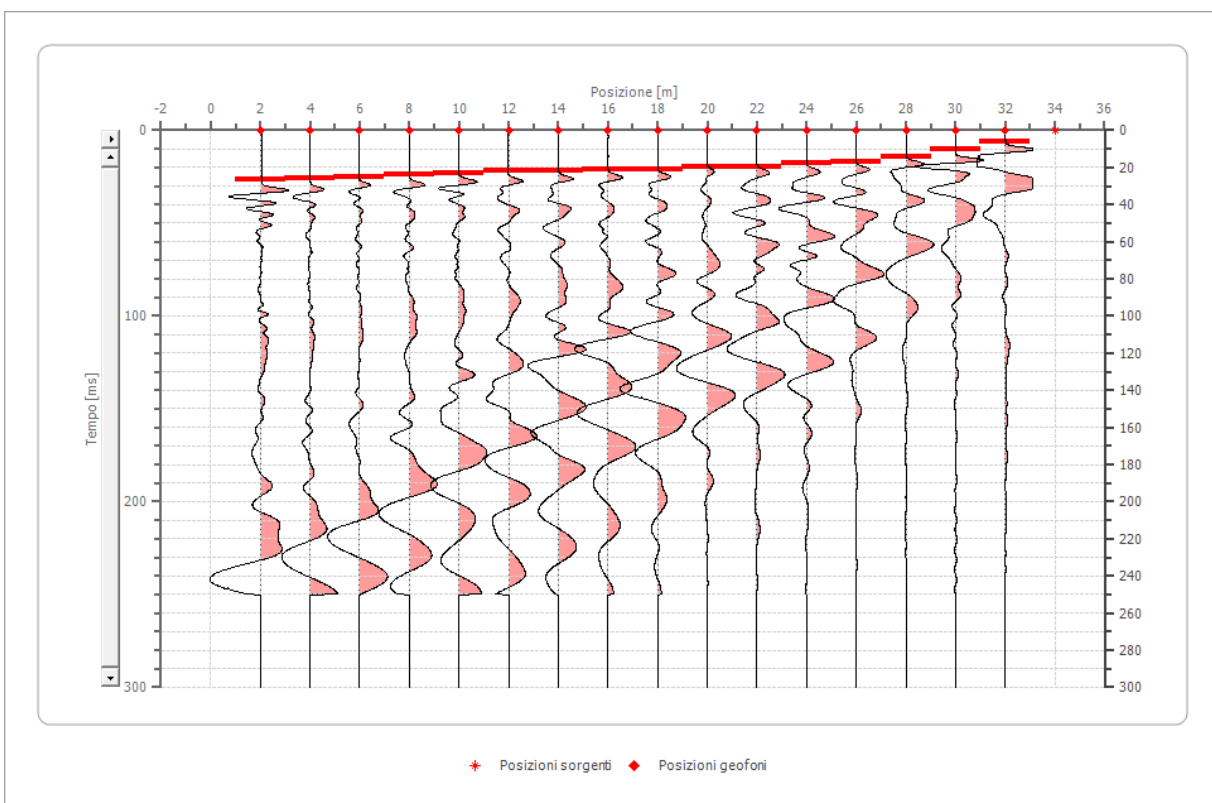
| Posizione geofono [m] | Tempo [ms] |
|-----------------------|------------|
| 2.0 | 17.4927 |

| | |
|------|---------|
| 4.0 | 17.0068 |
| 6.0 | 14.5773 |
| 8.0 | 13.1195 |
| 10.0 | 12.1477 |
| 12.0 | 10.2041 |
| 14.0 | 9.2323 |
| 16.0 | 1.4577 |
| 18.0 | 1.4577 |
| 20.0 | 7.7745 |
| 22.0 | 13.1195 |
| 24.0 | 15.5491 |
| 26.0 | 17.0068 |
| 28.0 | 17.0068 |
| 30.0 | 17.9786 |
| 32.0 | 18.4645 |

Battuta 3

Posizione sorgente X 34 [m]

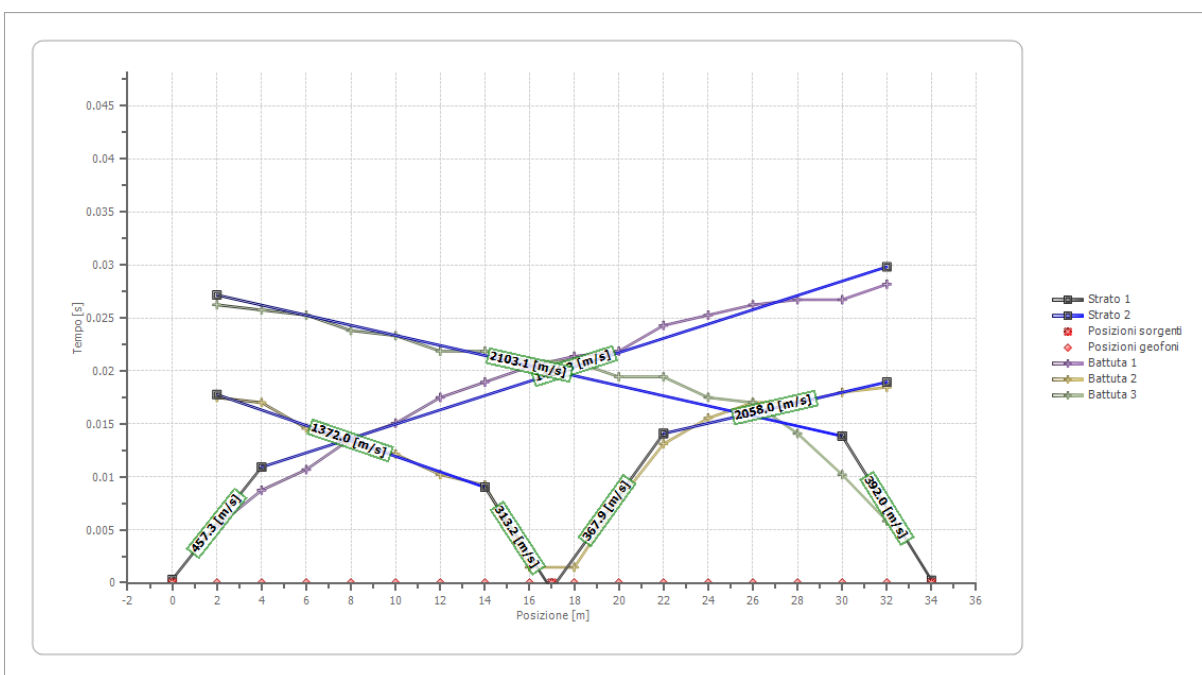
Posizione sorgente Z 0 [m]



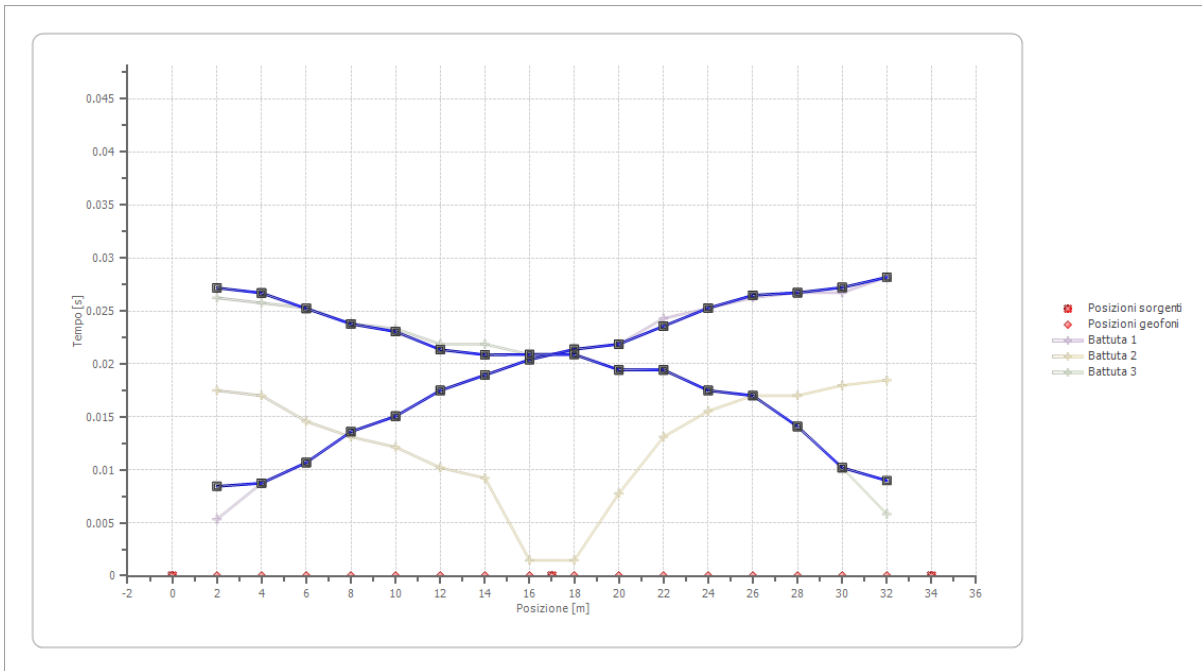
| Posizione geofono [m] | Tempo [ms] |
|-----------------------|------------|
| 2.0 | 26.2391 |
| 4.0 | 25.7532 |
| 6.0 | 25.2673 |
| 8.0 | 23.8095 |
| 10.0 | 23.3236 |

| | | |
|--|------|---------|
| | 12.0 | 21.8659 |
| | 14.0 | 21.8659 |
| | 16.0 | 20.8941 |
| | 18.0 | 20.8941 |
| | 20.0 | 19.4363 |
| | 22.0 | 19.4363 |
| | 24.0 | 17.4927 |
| | 26.0 | 17.0068 |
| | 28.0 | 14.0914 |
| | 30.0 | 10.2041 |
| | 32.0 | 5.8309 |

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.,R.M.

XY: 0

| | Strato n. 1 | Strato n. 2 |
|------------------|-------------|-------------|
| G= 2.0 [m] | 1.1 | -- |
| G= 4.0 [m] | 1.1 | -- |
| G= 6.0 [m] | 1.2 | -- |
| G= 8.0 [m] | 1.5 | -- |
| G= 10.0 [m] | 1.6 | -- |
| G= 12.0 [m] | 1.8 | -- |
| G= 14.0 [m] | 2.0 | -- |
| G= 16.0 [m] | 2.3 | -- |
| G= 18.0 [m] | 2.5 | -- |
| G= 20.0 [m] | 2.3 | -- |
| G= 22.0 [m] | 2.6 | -- |
| G= 24.0 [m] | 2.5 | -- |
| G= 26.0 [m] | 2.7 | -- |
| G= 28.0 [m] | 2.2 | -- |
| G= 30.0 [m] | 1.5 | -- |
| G= 32.0 [m] | 1.4 | -- |
| Velocità [m/sec] | 382.6 | 1635.5 |
| Descrizione | | |

Altri parametri geotecnici

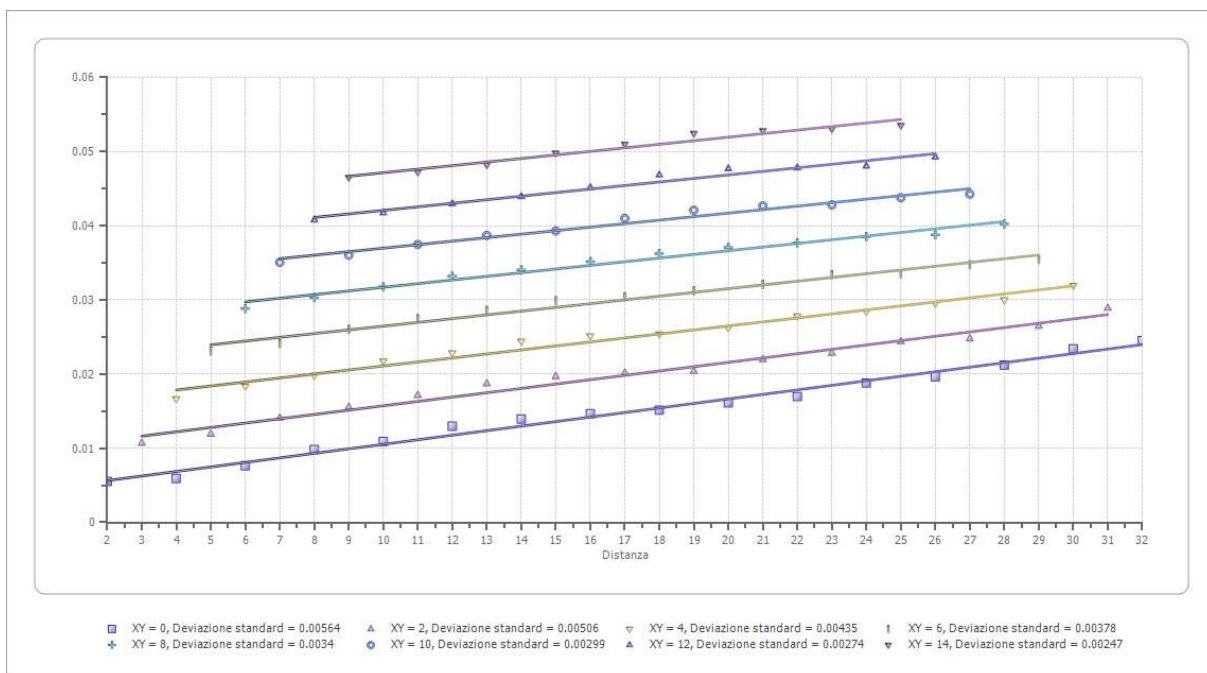
| | Strato n. 1 | Strato n. 2 |
|------------------------------|-------------|-------------|
| Coefficiente Poisson | 0.35 | 0.35 |
| Densità [kg/m ³] | 1700.00 | 1800.00 |
| Vp [m/s] | 382.61 | 1635.51 |
| Vs [m/s] | 183.80 | 785.67 |
| G0 [MPa] | 57.43 | 1111.11 |
| Ed [Mpa] | 248.87 | 4814.79 |
| M0 [MPa] | 191.44 | 3703.69 |
| Ey [Mpa] | 155.06 | 2999.99 |

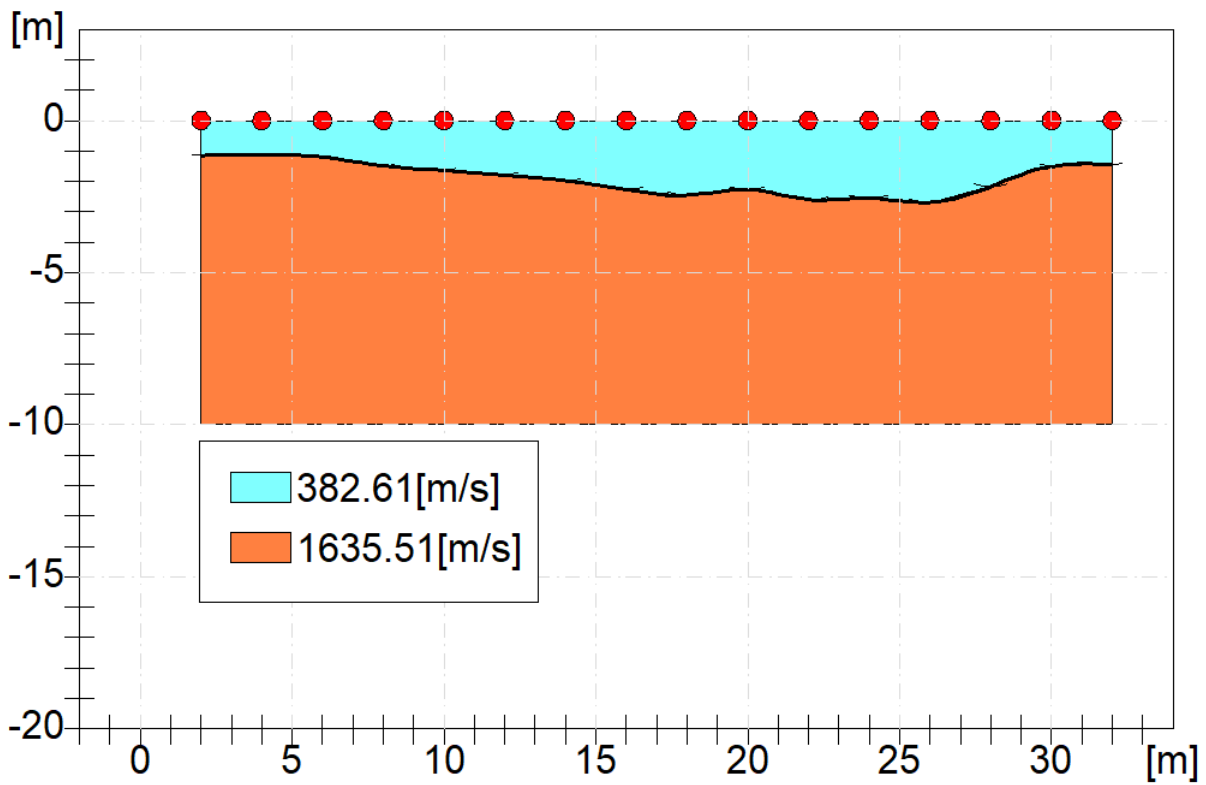
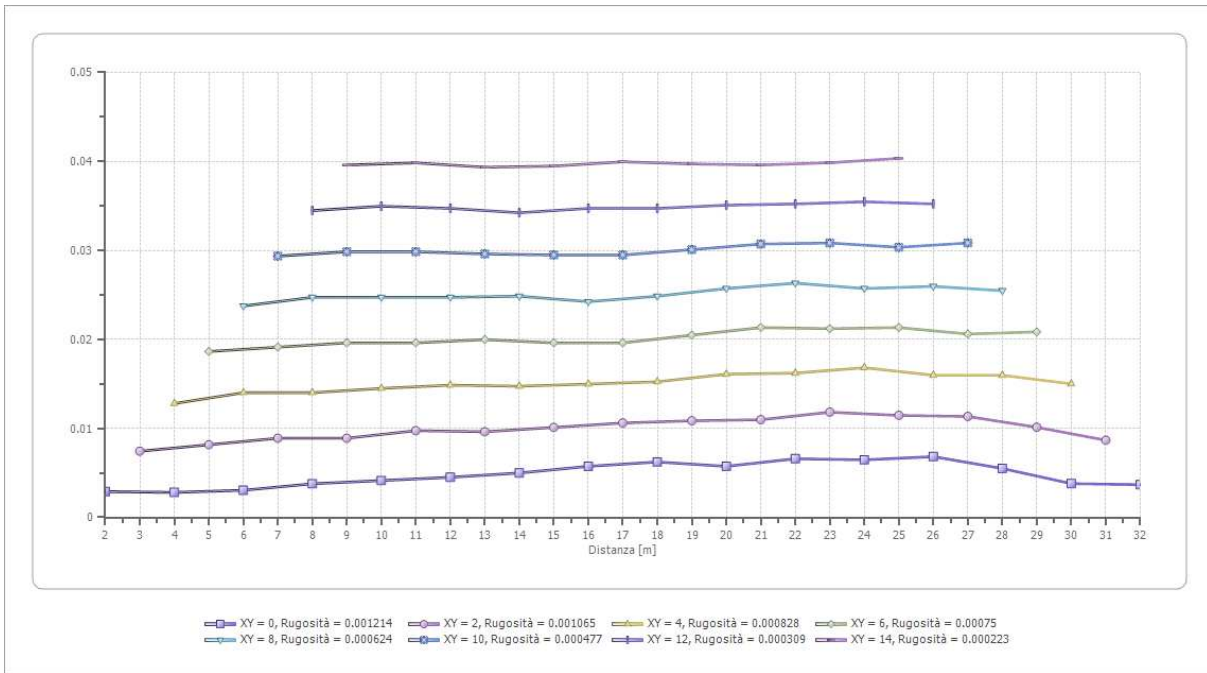
G0: Modulo di deformazione al taglio;

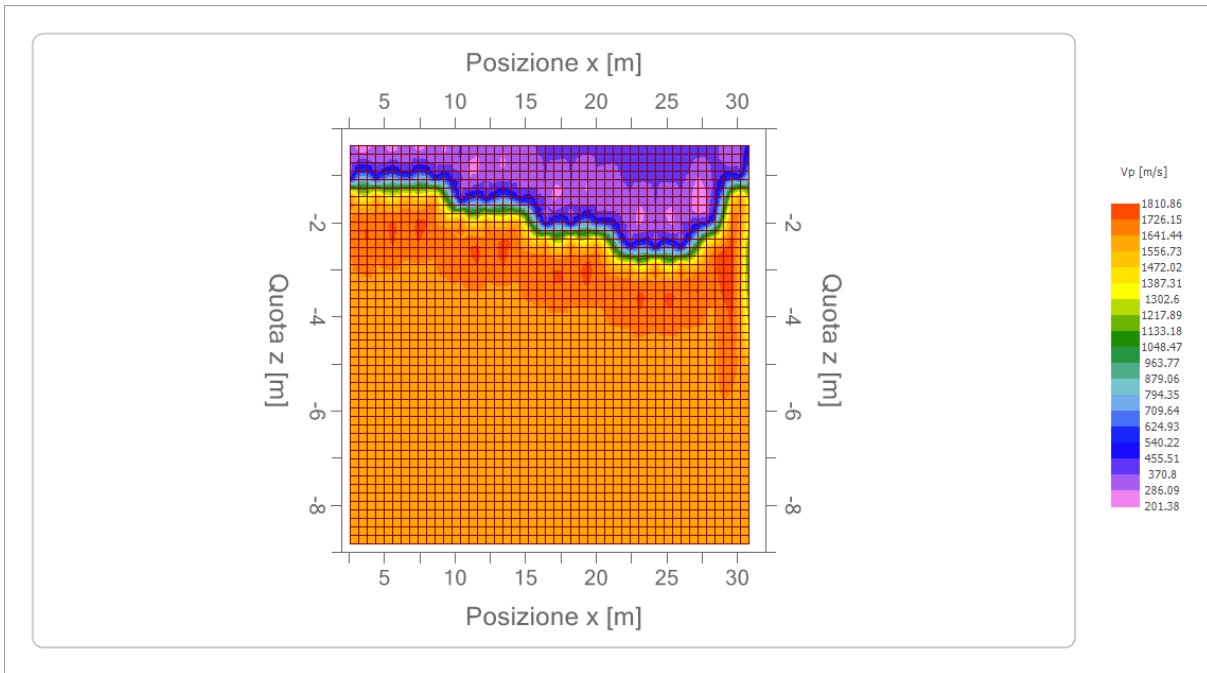
Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;







INDAGINE DI SISMICA A RIFRAZIONE RZ2

Geometria geofoni

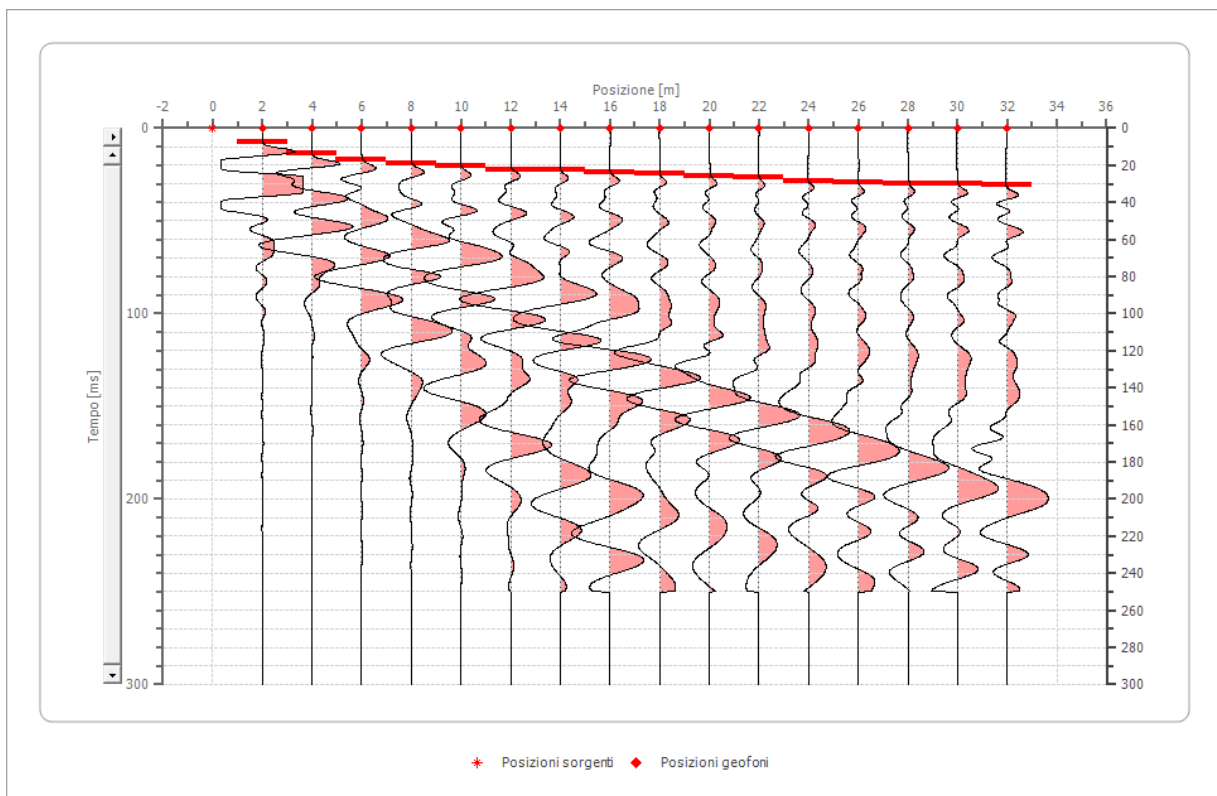
| | Posizione X [m] | Posizione Z [m] |
|----|--------------------|--------------------|
| 1 | 2.0 | 0.0 |
| 2 | 4.0 | 0.0 |
| 3 | 6.0 | 0.0 |
| 4 | 8.0 | 0.0 |
| 5 | 10.0 | 0.0 |
| 6 | 12.0 | 0.0 |
| 7 | 14.0 | 0.0 |
| 8 | 16.0 | 0.0 |
| 9 | 18.0 | 0.0 |
| 10 | 20.0 | 0.0 |
| 11 | 22.0 | 0.0 |
| 12 | 24.0 | 0.0 |
| 13 | 26.0 | 0.0 |
| 14 | 28.0 | 0.0 |
| 15 | 30.0 | 0.0 |
| 16 | 32.0 | 0.0 |

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X 0 [m]

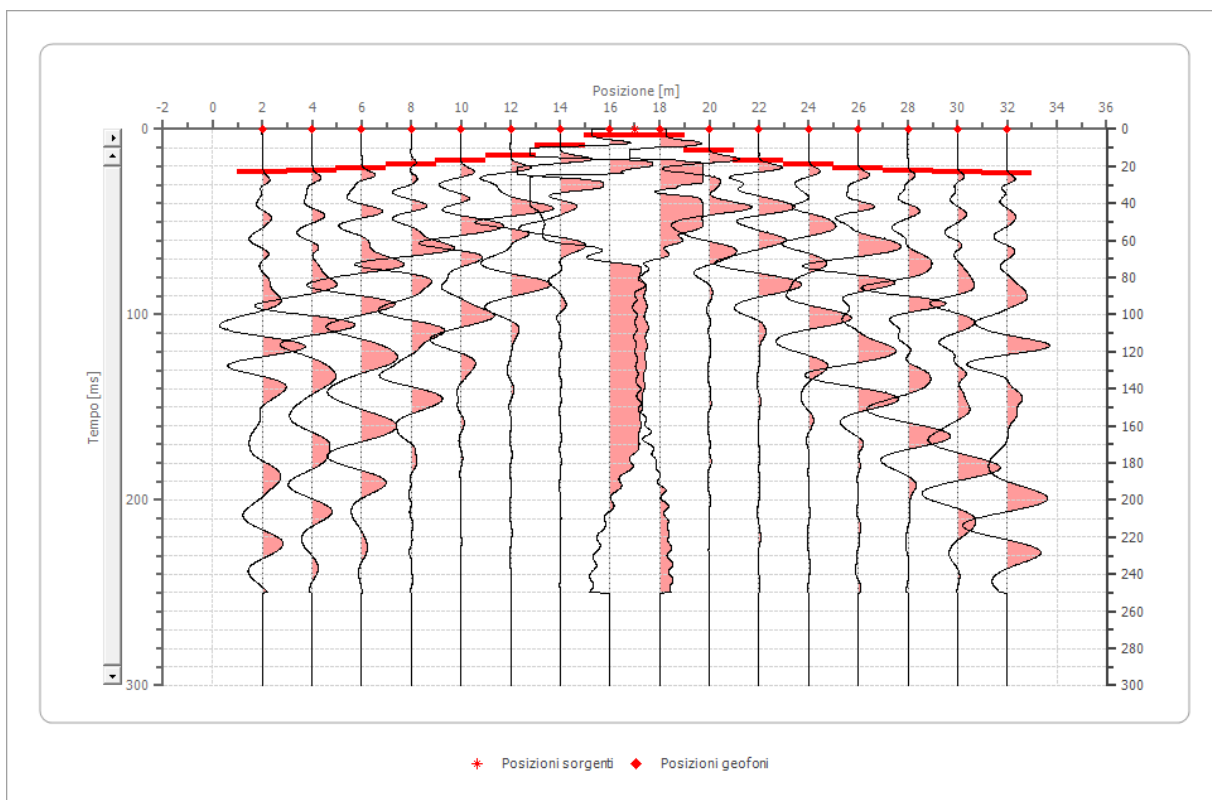
Posizione sorgente Z 0 [m]



| Posizione geofono [m] | Tempo [ms] |
|--------------------------|---------------|
| 2.0 | 7.3260 |
| 4.0 | 13.6054 |
| 6.0 | 16.7452 |
| 8.0 | 19.3616 |
| 10.0 | 20.4082 |
| 12.0 | 22.5013 |
| 14.0 | 22.5013 |
| 16.0 | 23.5479 |
| 18.0 | 24.5945 |
| 20.0 | 25.6410 |
| 22.0 | 26.6876 |
| 24.0 | 28.2575 |
| 26.0 | 29.3040 |
| 28.0 | 29.8273 |
| 30.0 | 29.8273 |
| 32.0 | 30.8739 |

Battuta 2

Posizione sorgente X 17 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



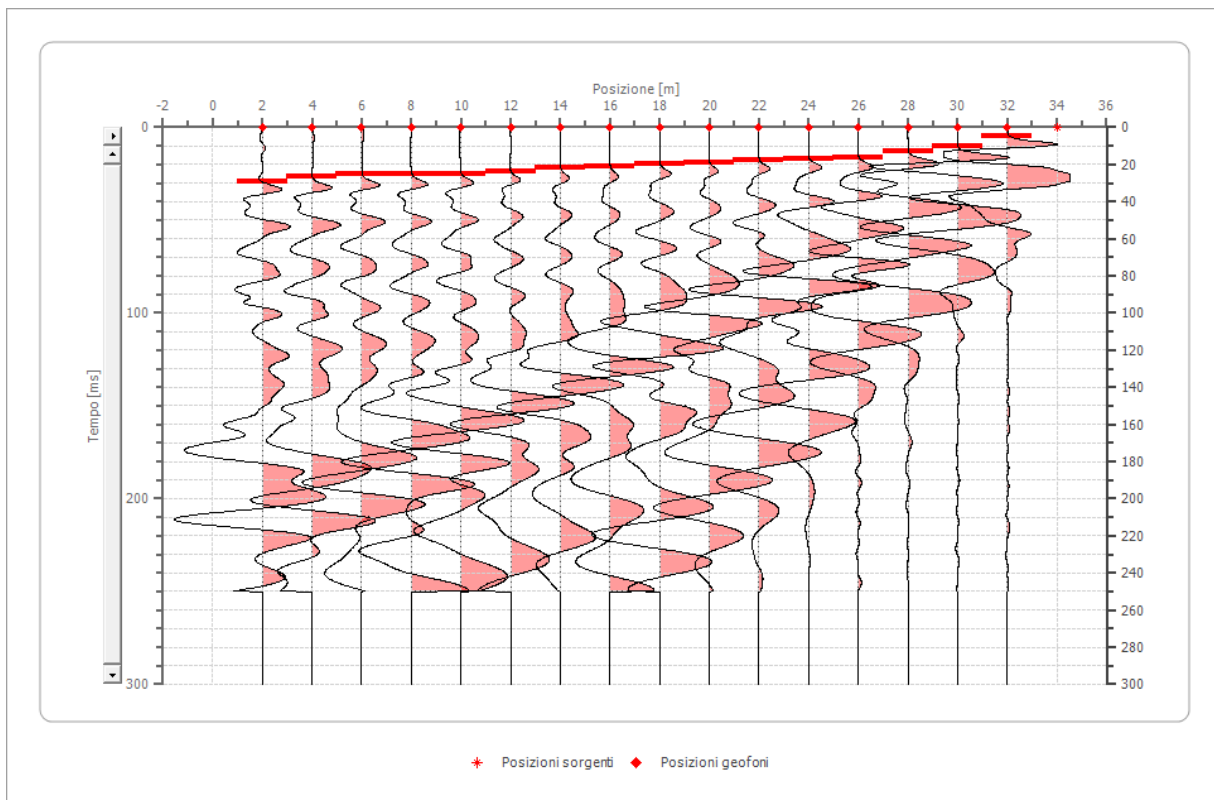
| Posizione geofono [m] | Tempo [ms] |
|--------------------------|---------------|
| 2.0 | 23.1293 |

| | |
|------|---------|
| 4.0 | 22.2222 |
| 6.0 | 21.3152 |
| 8.0 | 19.0476 |
| 10.0 | 16.7800 |
| 12.0 | 14.5125 |
| 14.0 | 8.6168 |
| 16.0 | 3.6281 |
| 18.0 | 3.6281 |
| 20.0 | 11.3379 |
| 22.0 | 16.7800 |
| 24.0 | 19.0476 |
| 26.0 | 21.3152 |
| 28.0 | 22.6757 |
| 30.0 | 23.1293 |
| 32.0 | 23.5828 |

Battuta 3

Posizione sorgente X 34 [m]

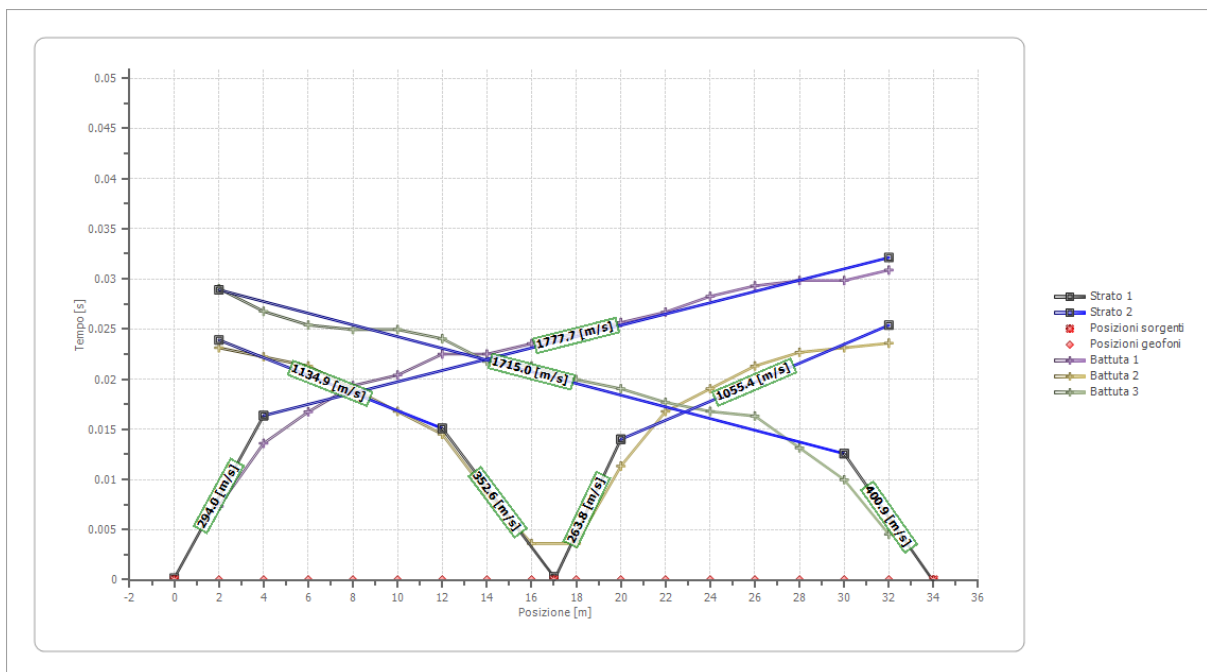
Posizione sorgente Z 0 [m]



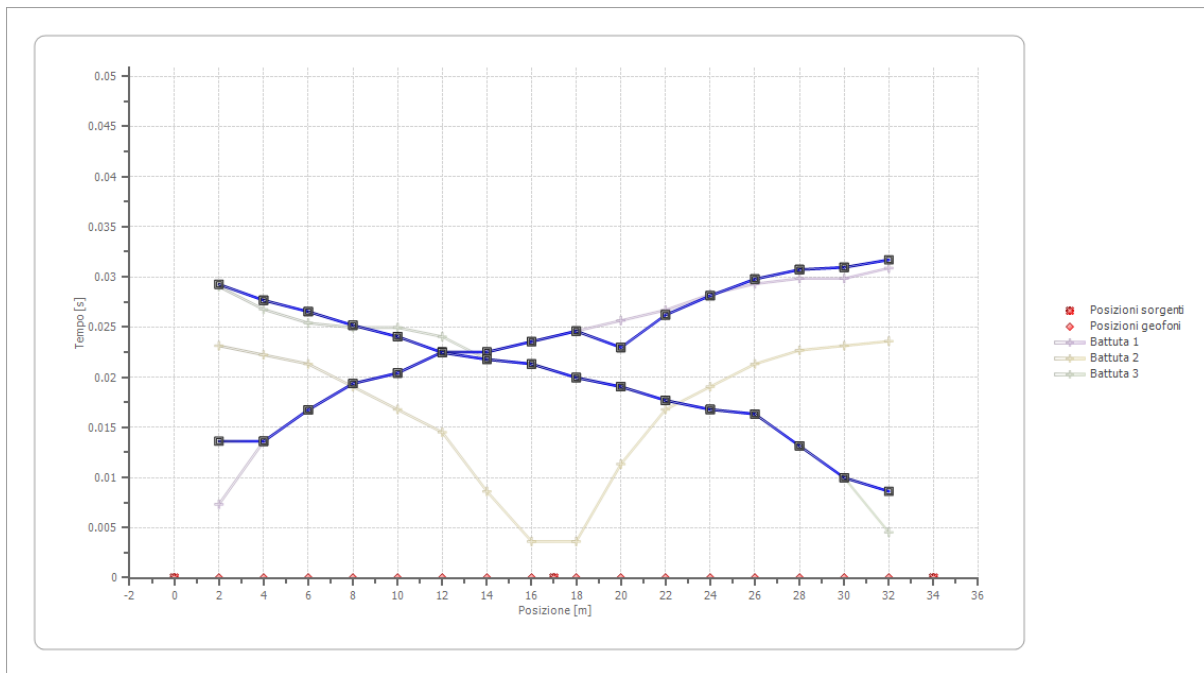
| Posizione geofono [m] | Tempo [ms] |
|-----------------------|------------|
| 2.0 | 29.0249 |
| 4.0 | 26.7574 |
| 6.0 | 25.3968 |
| 8.0 | 24.9433 |
| 10.0 | 24.9433 |

| | |
|------|---------|
| 12.0 | 24.0363 |
| 14.0 | 21.7687 |
| 16.0 | 21.3152 |
| 18.0 | 19.9546 |
| 20.0 | 19.0476 |
| 22.0 | 17.6871 |
| 24.0 | 16.7800 |
| 26.0 | 16.3265 |
| 28.0 | 13.1519 |
| 30.0 | 9.9773 |
| 32.0 | 4.5351 |

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.,R.M.

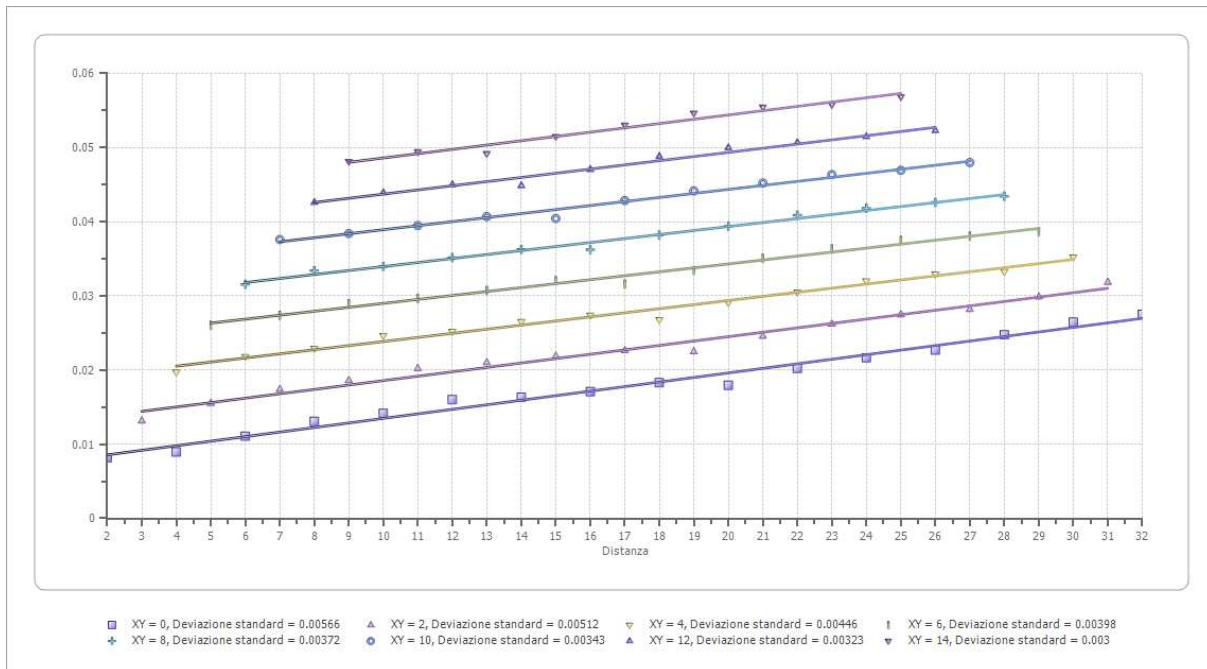
XY: 0

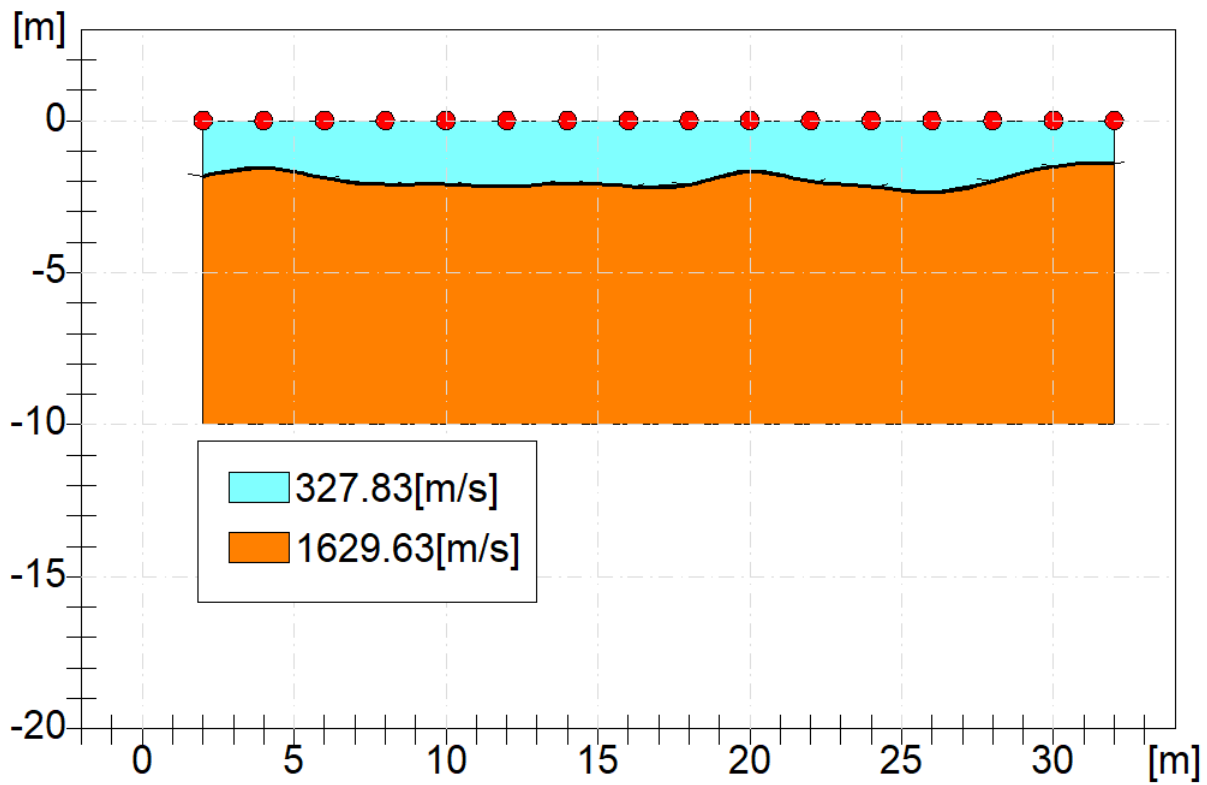
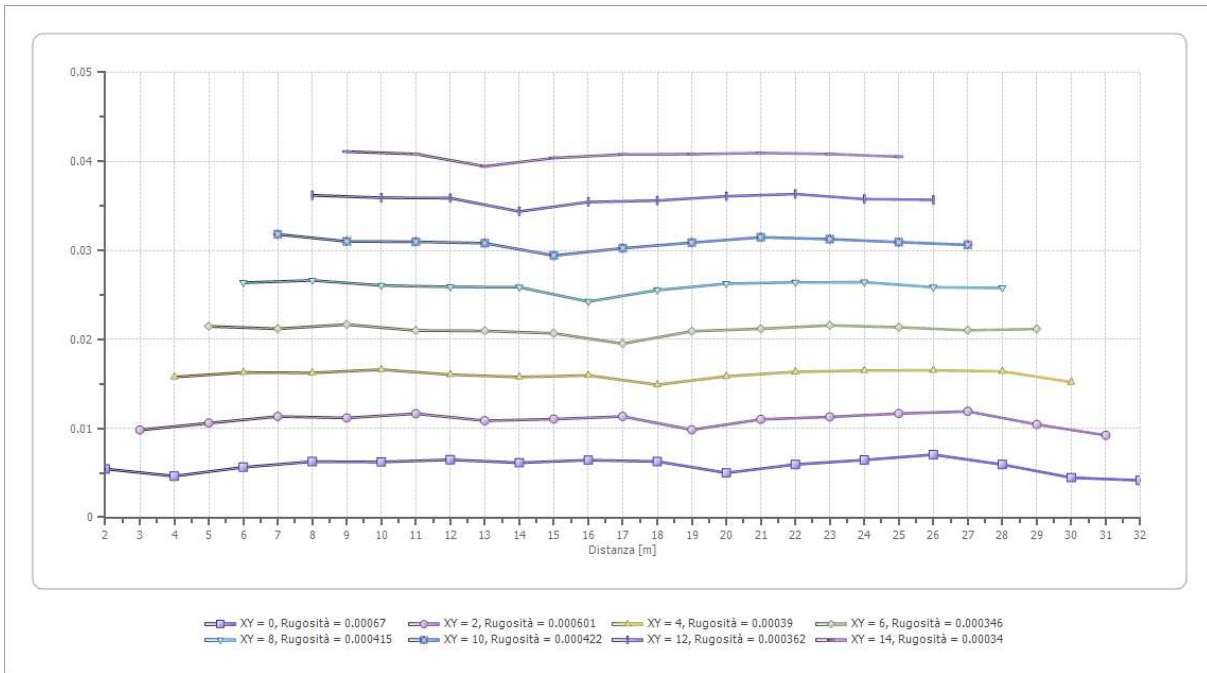
| | Strato n. 1 | Strato n. 2 |
|------------------|-------------|-------------|
| G= 2.0 [m] | 1.8 | -- |
| G= 4.0 [m] | 1.6 | -- |
| G= 6.0 [m] | 1.9 | -- |
| G= 8.0 [m] | 2.1 | -- |
| G= 10.0 [m] | 2.1 | -- |
| G= 12.0 [m] | 2.2 | -- |
| G= 14.0 [m] | 2.1 | -- |
| G= 16.0 [m] | 2.2 | -- |
| G= 18.0 [m] | 2.1 | -- |
| G= 20.0 [m] | 1.7 | -- |
| G= 22.0 [m] | 2.0 | -- |
| G= 24.0 [m] | 2.2 | -- |
| G= 26.0 [m] | 2.4 | -- |
| G= 28.0 [m] | 2.0 | -- |
| G= 30.0 [m] | 1.5 | -- |
| G= 32.0 [m] | 1.4 | -- |
| Velocità [m/sec] | 327.8 | 1629.6 |
| Descrizione | | |

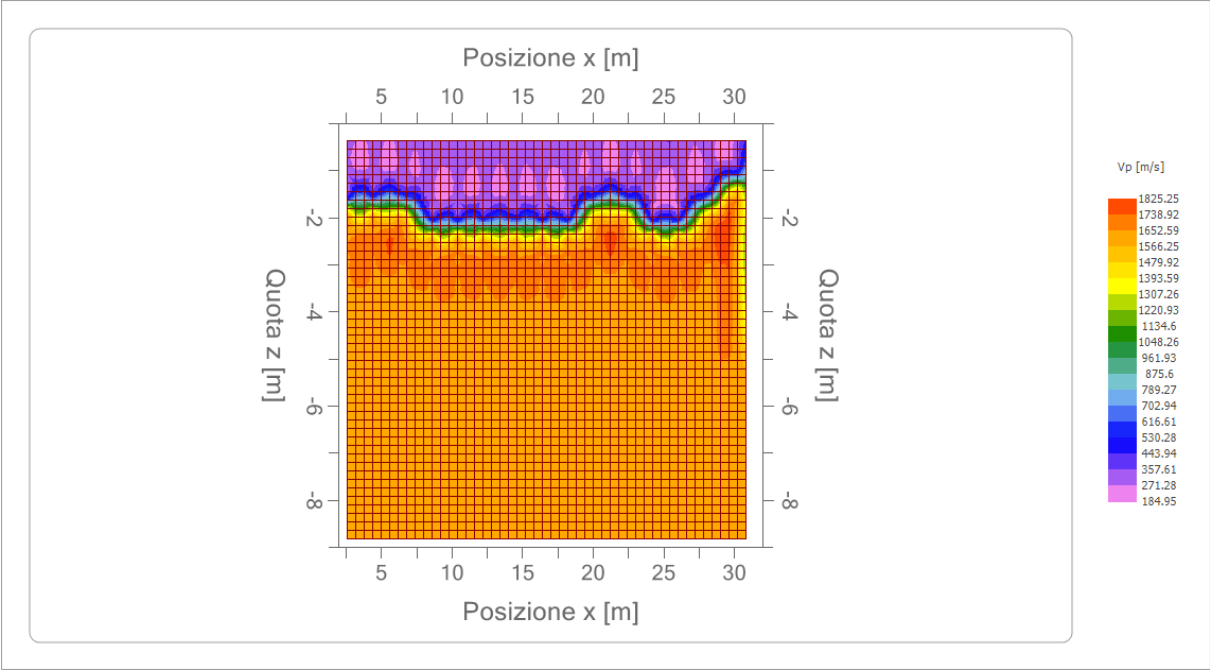
Altri parametri geotecnici

| | Strato n. 1 | Strato n. 2 |
|------------------------------|-------------|-------------|
| Coefficiente Poisson | 0.35 | 0.35 |
| Densità [kg/m ³] | 1700.00 | 1800.00 |
| Vp [m/s] | 327.83 | 1629.63 |
| Vs [m/s] | 157.48 | 782.85 |
| G0 [MPa] | 42.16 | 1103.13 |
| Ed [Mpa] | 182.70 | 4780.22 |
| M0 [MPa] | 140.54 | 3677.09 |
| Ey [Mpa] | 113.84 | 2978.45 |

G0: Modulo di deformazione al taglio;
Ed: Modulo edometrico;
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;
Ey: Modulo di Young;







INDAGINE SISMICA RZ3

Geometria geofoni

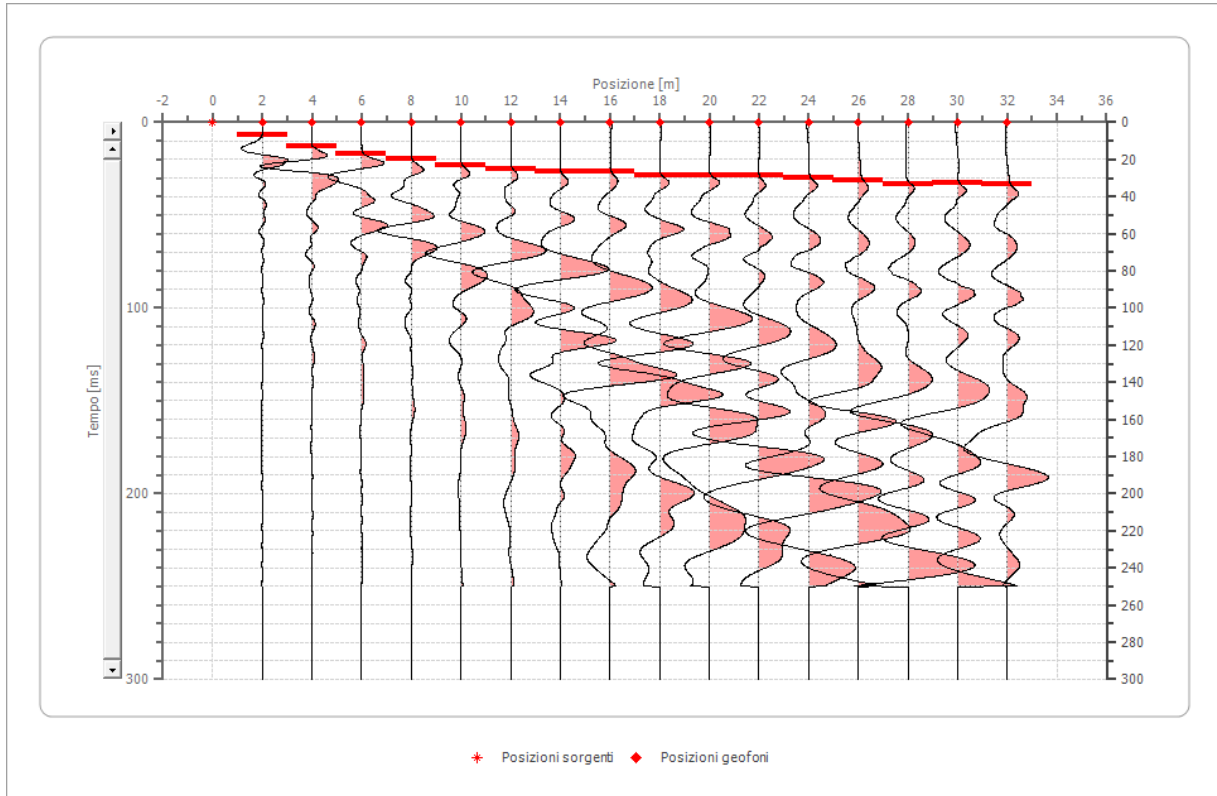
| | Posizione X [m] | Posizione Z [m] |
|----|--------------------|--------------------|
| 1 | 2.0 | 0.0 |
| 2 | 4.0 | 0.0 |
| 3 | 6.0 | 0.0 |
| 4 | 8.0 | 0.0 |
| 5 | 10.0 | 0.0 |
| 6 | 12.0 | 0.0 |
| 7 | 14.0 | 0.0 |
| 8 | 16.0 | 0.0 |
| 9 | 18.0 | 0.0 |
| 10 | 20.0 | 0.0 |
| 11 | 22.0 | 0.0 |
| 12 | 24.0 | 0.0 |
| 13 | 26.0 | 0.0 |
| 14 | 28.0 | 0.0 |
| 15 | 30.0 | 0.0 |
| 16 | 32.0 | 0.0 |

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X 0 [m]

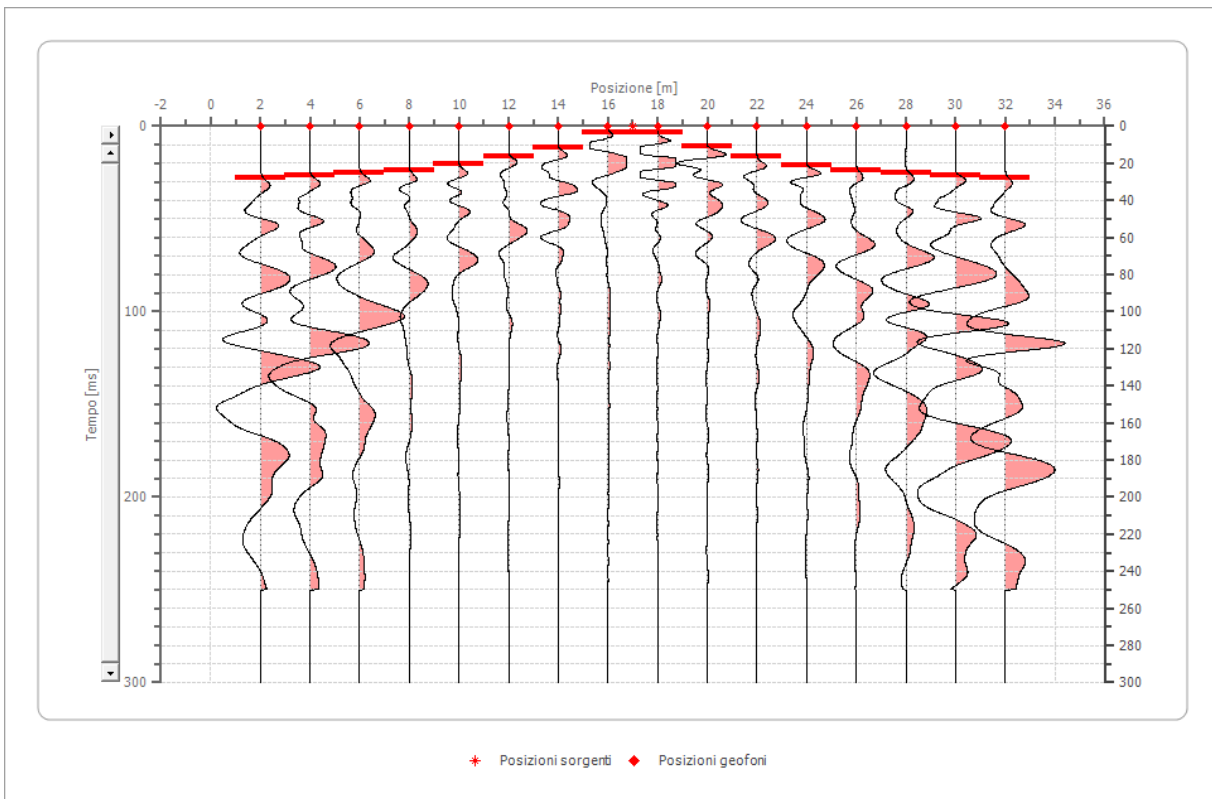
Posizione sorgente Z 0 [m]



| Posizione geofono [m] | Tempo [ms] |
|--------------------------|---------------|
| 2.0 | 6.8027 |
| 4.0 | 13.1195 |
| 6.0 | 17.0068 |
| 8.0 | 19.9223 |
| 10.0 | 22.8377 |
| 12.0 | 25.2673 |
| 14.0 | 26.2391 |
| 16.0 | 26.7250 |
| 18.0 | 28.6686 |
| 20.0 | 28.6686 |
| 22.0 | 28.6686 |
| 24.0 | 29.6404 |
| 26.0 | 31.0982 |
| 28.0 | 33.0418 |
| 30.0 | 32.5559 |
| 32.0 | 33.5277 |

Battuta 2

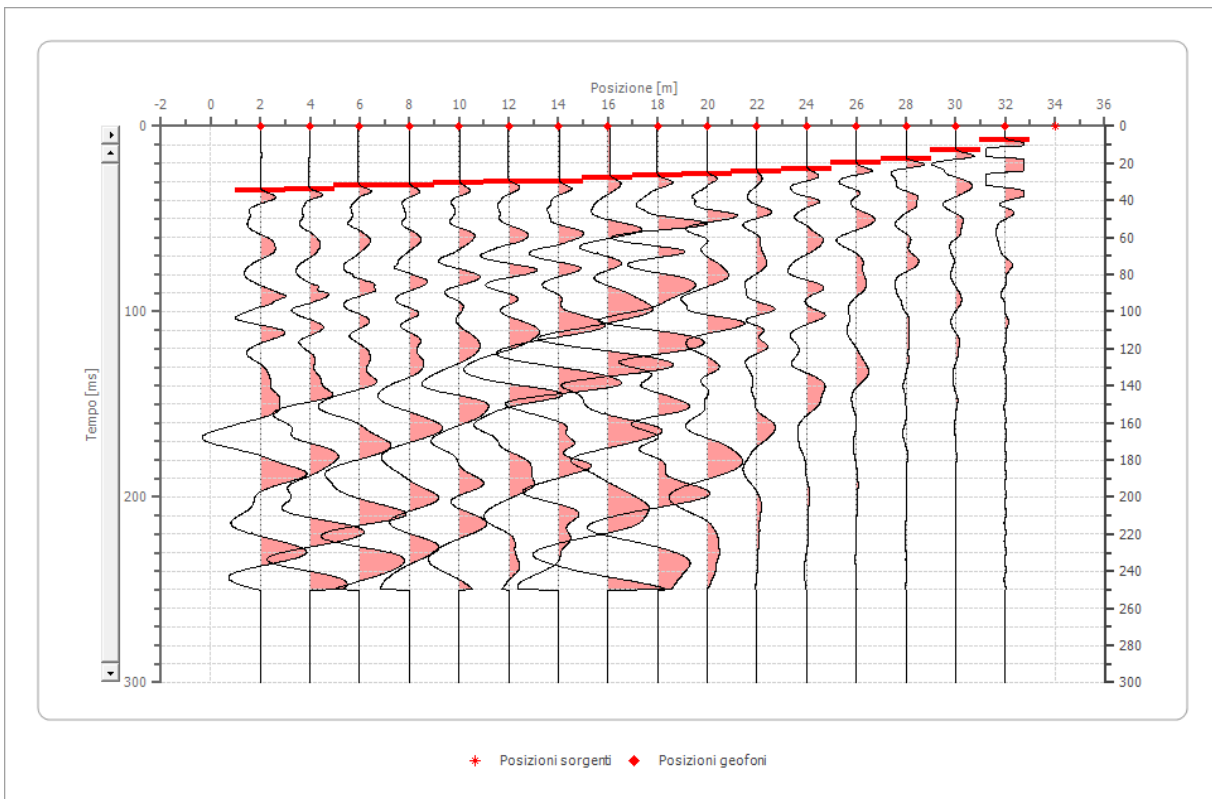
Posizione sorgente X 17 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]



| Posizione geofono [m] | Tempo [ms] |
|--------------------------|---------------|
| 2.0 | 27.6968 |
| 4.0 | 26.7250 |
| 6.0 | 25.2673 |
| 8.0 | 23.8095 |
| 10.0 | 20.4082 |
| 12.0 | 16.0350 |
| 14.0 | 11.6618 |
| 16.0 | 3.4014 |
| 18.0 | 3.4014 |
| 20.0 | 11.1759 |
| 22.0 | 16.5209 |
| 24.0 | 21.3800 |
| 26.0 | 23.8095 |
| 28.0 | 25.2673 |
| 30.0 | 26.2391 |
| 32.0 | 27.6968 |

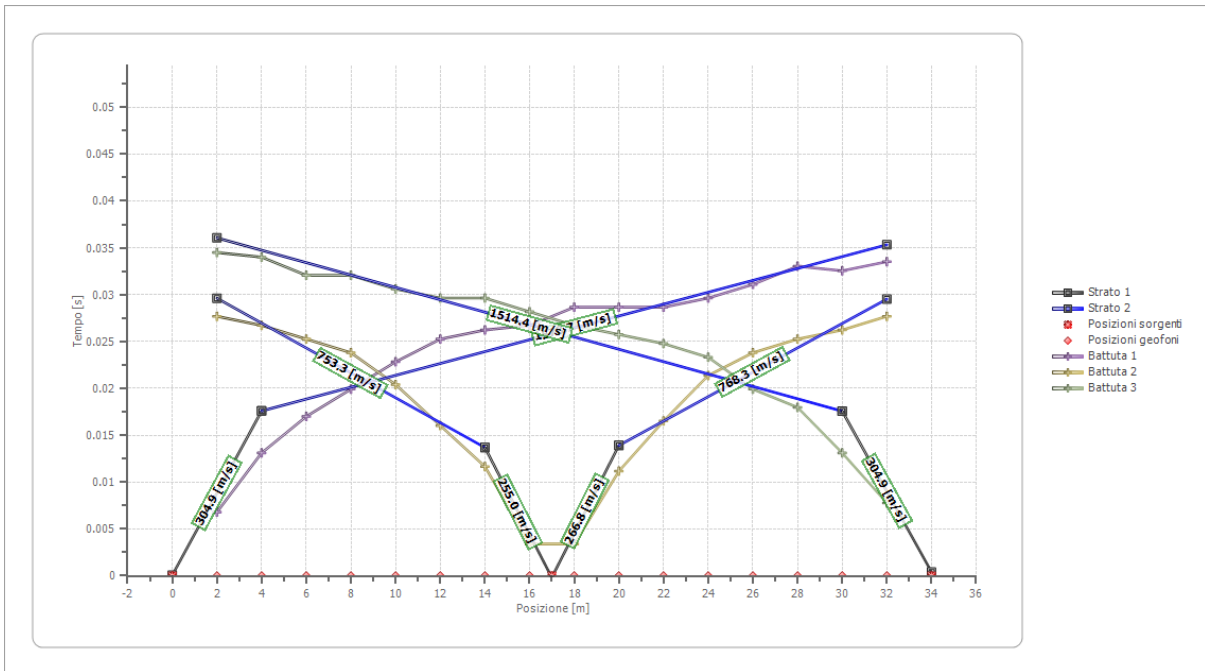
Battuta 3

Posizione sorgente X 34 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

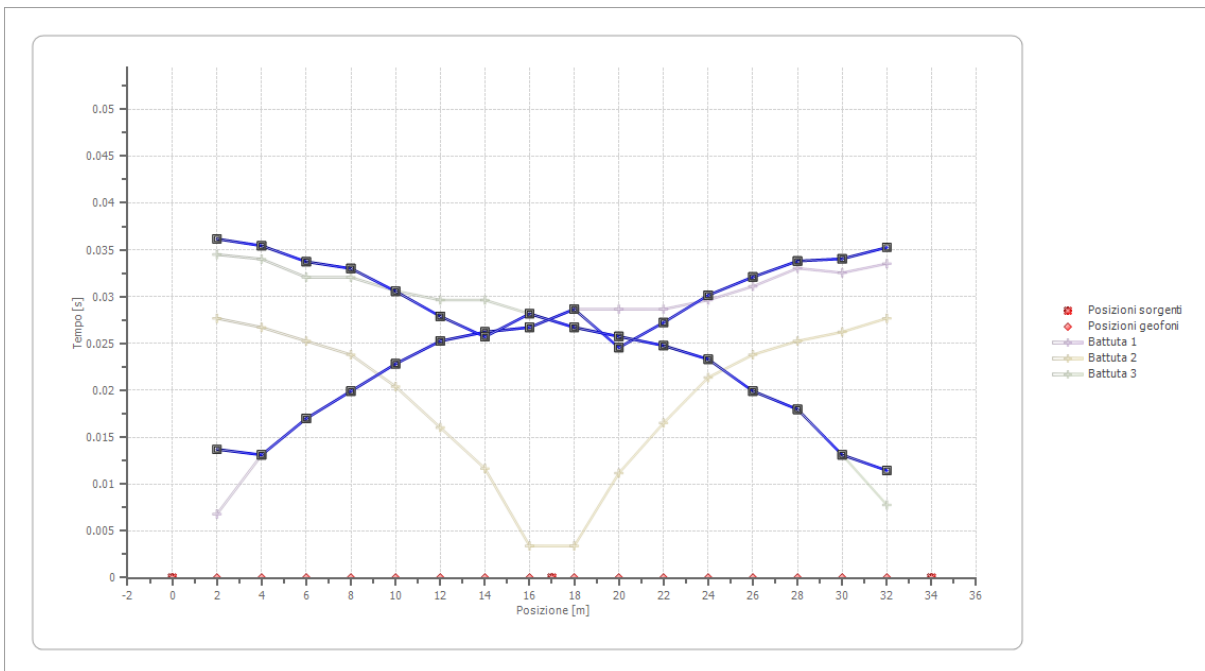


| Posizione geofono [m] | Tempo [ms] |
|-----------------------|------------|
| 2.0 | 34.4995 |
| 4.0 | 34.0136 |
| 6.0 | 32.0700 |
| 8.0 | 32.0700 |
| 10.0 | 30.6122 |
| 12.0 | 29.6404 |
| 14.0 | 29.6404 |
| 16.0 | 28.1827 |
| 18.0 | 26.7250 |
| 20.0 | 25.7532 |
| 22.0 | 24.7813 |
| 24.0 | 23.3236 |
| 26.0 | 19.9223 |
| 28.0 | 17.9786 |
| 30.0 | 13.1195 |
| 32.0 | 7.7745 |

Dromocrone



Dromocrone traslate



Interpretazione col metodo G.R.M.

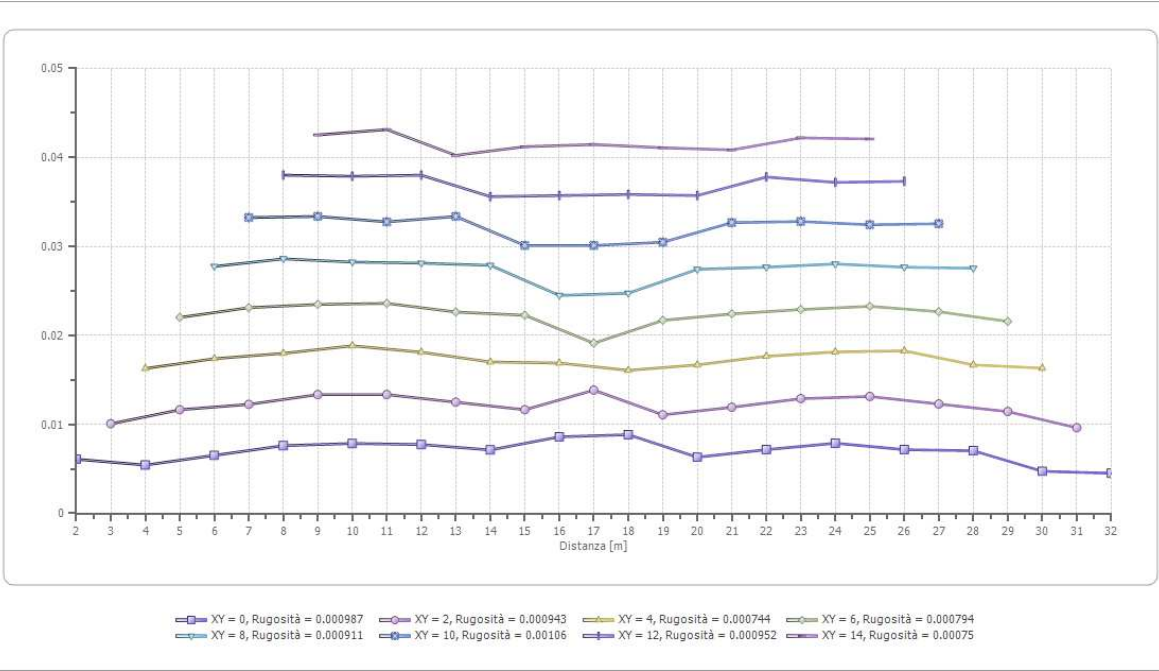
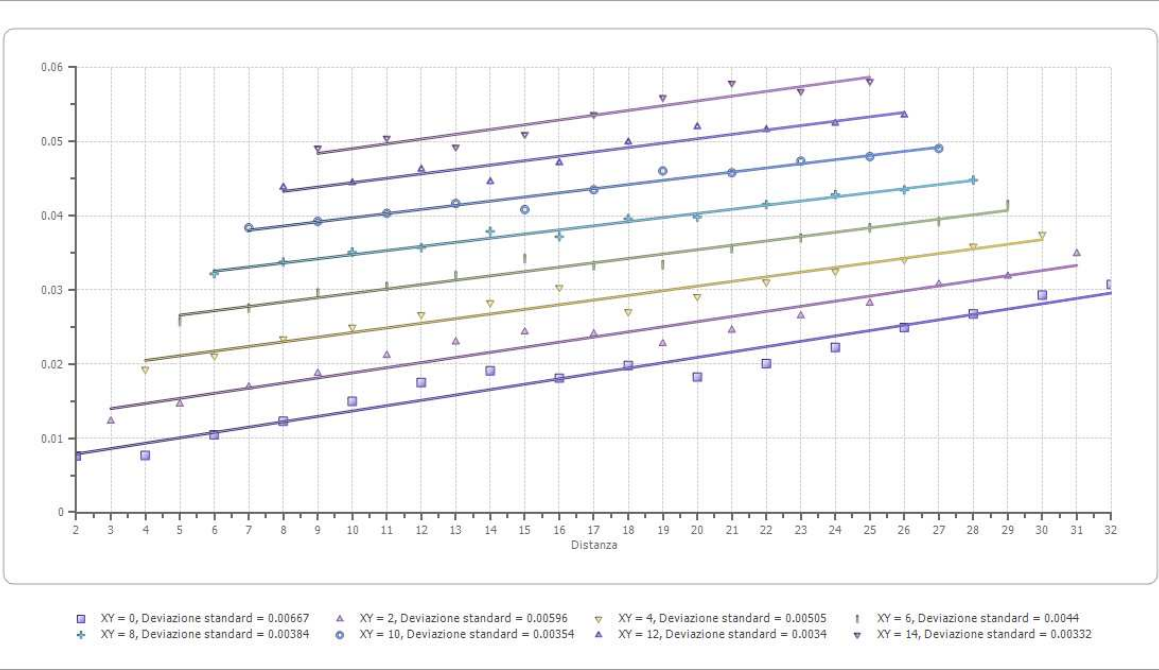
XY: 0

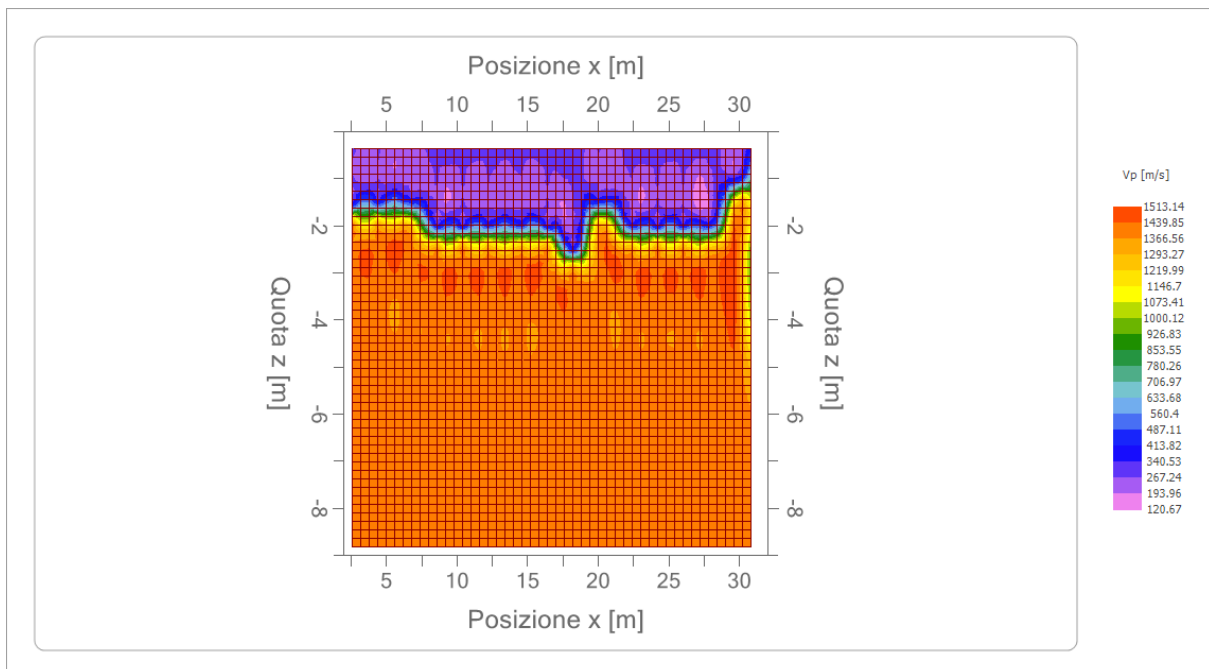
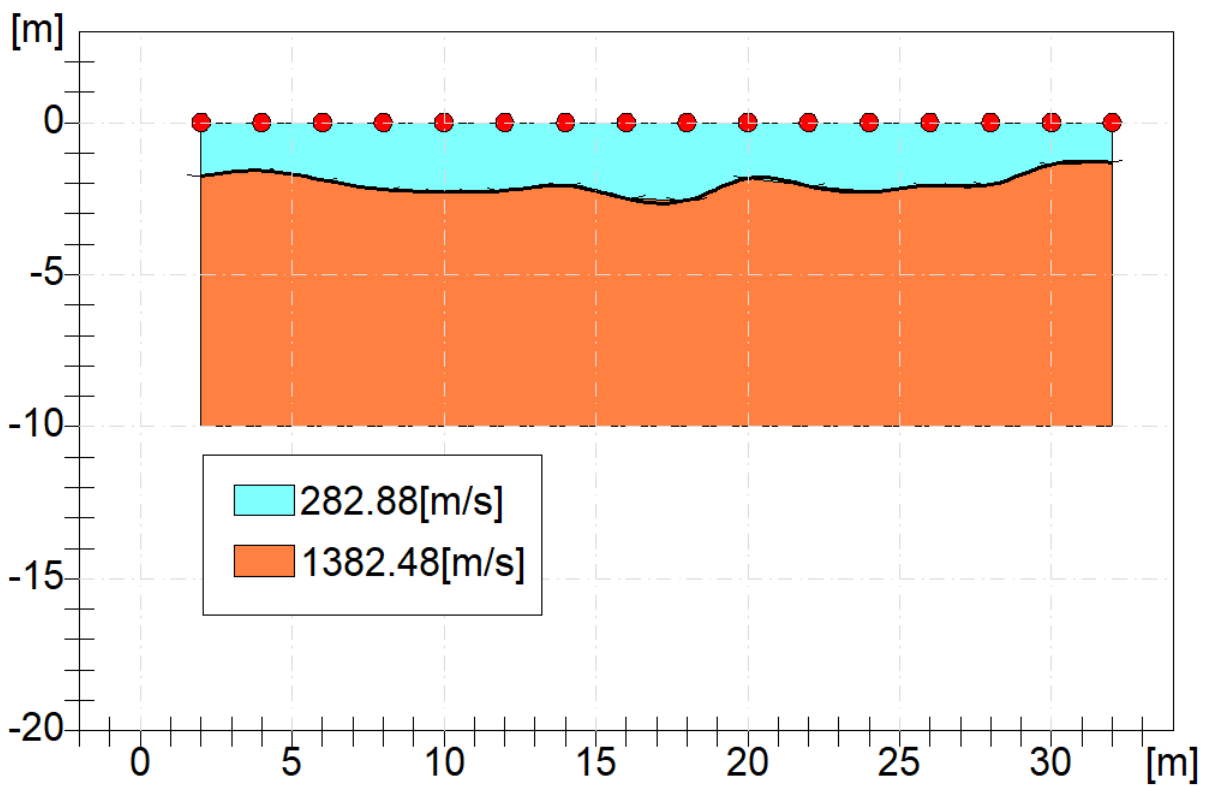
| | Strato n. 1 | Strato n. 2 |
|------------------|-------------|-------------|
| G= 2.0 [m] | 1.8 | -- |
| G= 4.0 [m] | 1.6 | -- |
| G= 6.0 [m] | 1.9 | -- |
| G= 8.0 [m] | 2.2 | -- |
| G= 10.0 [m] | 2.3 | -- |
| G= 12.0 [m] | 2.2 | -- |
| G= 14.0 [m] | 2.1 | -- |
| G= 16.0 [m] | 2.5 | -- |
| G= 18.0 [m] | 2.6 | -- |
| G= 20.0 [m] | 1.8 | -- |
| G= 22.0 [m] | 2.1 | -- |
| G= 24.0 [m] | 2.3 | -- |
| G= 26.0 [m] | 2.1 | -- |
| G= 28.0 [m] | 2.0 | -- |
| G= 30.0 [m] | 1.4 | -- |
| G= 32.0 [m] | 1.3 | -- |
| Velocità [m/sec] | 282.9 | 1382.5 |
| Descrizione | | |

Altri parametri geotecnici

| | Strato n. 1 | Strato n. 2 |
|------------------------------|-------------|-------------|
| Coefficiente Poisson | 0.35 | 0.35 |
| Densità [kg/m ³] | 1700.00 | 1800.00 |
| Vp [m/s] | 282.88 | 1382.48 |
| Vs [m/s] | 135.89 | 664.12 |
| G0 [MPa] | 31.39 | 793.90 |
| Ed [Mpa] | 136.04 | 3440.25 |
| M0 [MPa] | 104.65 | 2646.34 |
| Ey [Mpa] | 84.76 | 2143.54 |

G0: Modulo di deformazione al taglio;
Ed: Modulo edometrico;
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;
Ey: Modulo di Young;







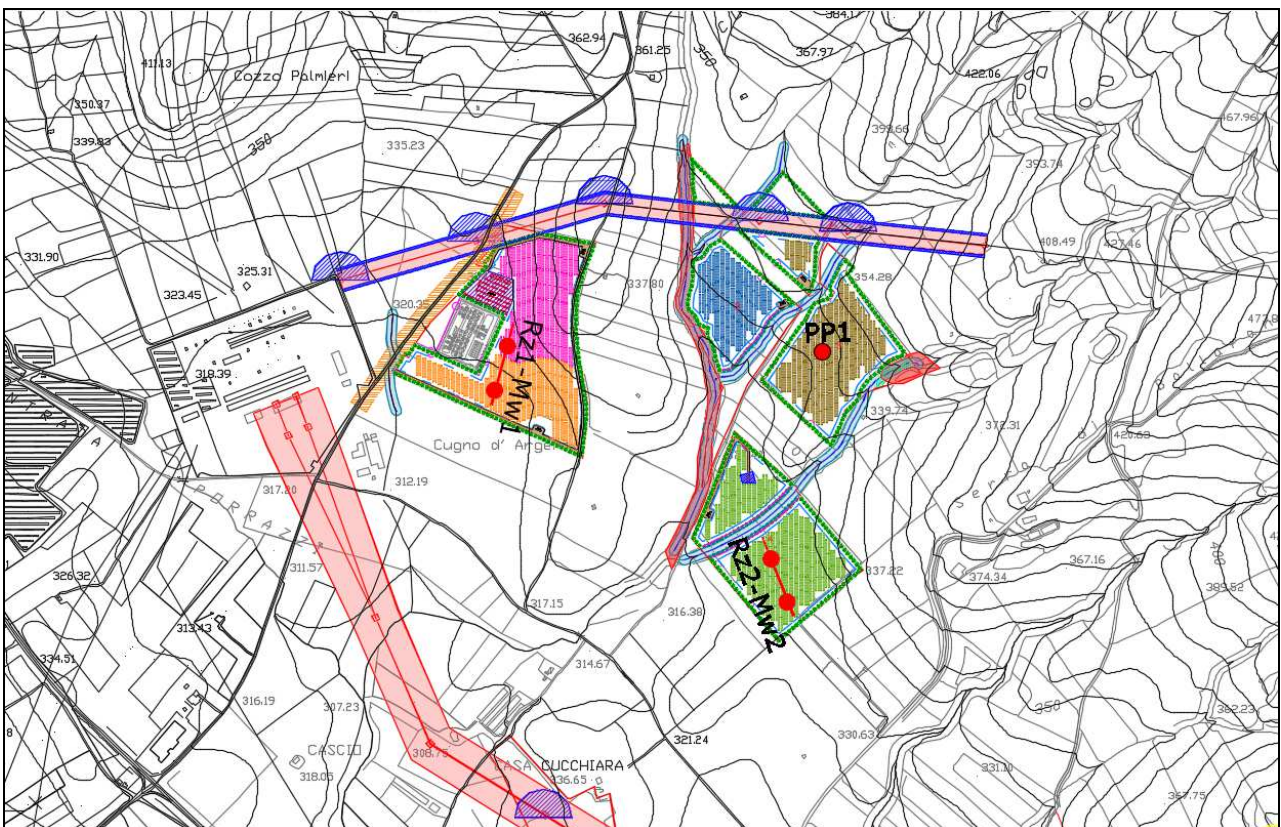
Sismica a Rifrazione Rz1



Sismica a Rifrazione Rz2



Sismica a Rifrazione Rz3



Planimetria Indagine eseguite settore settentrionale



Planimetria Indagine eseguite settore meridionale

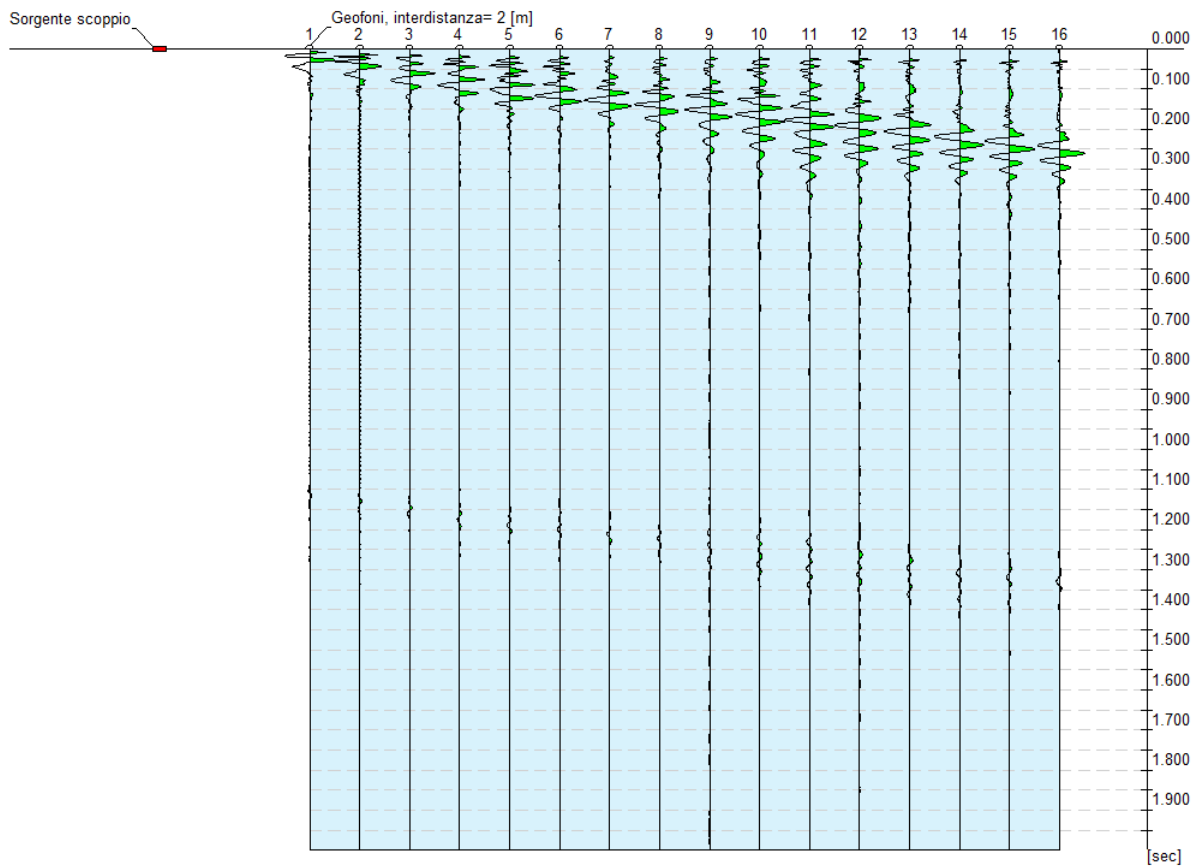
ALLEGATO II

INDAGINE DI SISMICA MASW

INDAGINE SISMICA MASW 1

Tracce

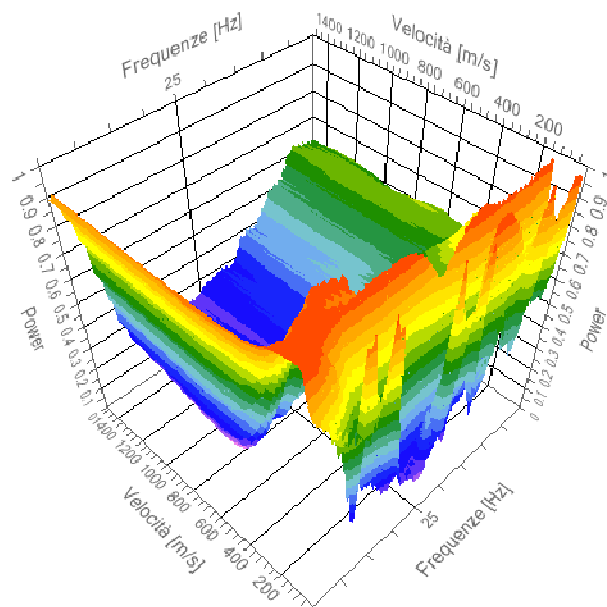
| | |
|---|--------|
| N. tracce | 16 |
| Durata acquisizione [msec] | 2000.0 |
| Interdistanza geofoni [m] | 2.0 |
| Periodo di campionamento [msec] | 1.00 |



Analisi spettrale

| | |
|---|------|
| Frequenza minima di elaborazione [Hz] | 5 |
| Frequenza massima di elaborazione [Hz] | 50 |
| Velocità minima di elaborazione [m/sec] | 1 |
| Velocità massima di elaborazione [m/sec] | 1500 |
| Intervallo velocità [m/sec] | 1 |

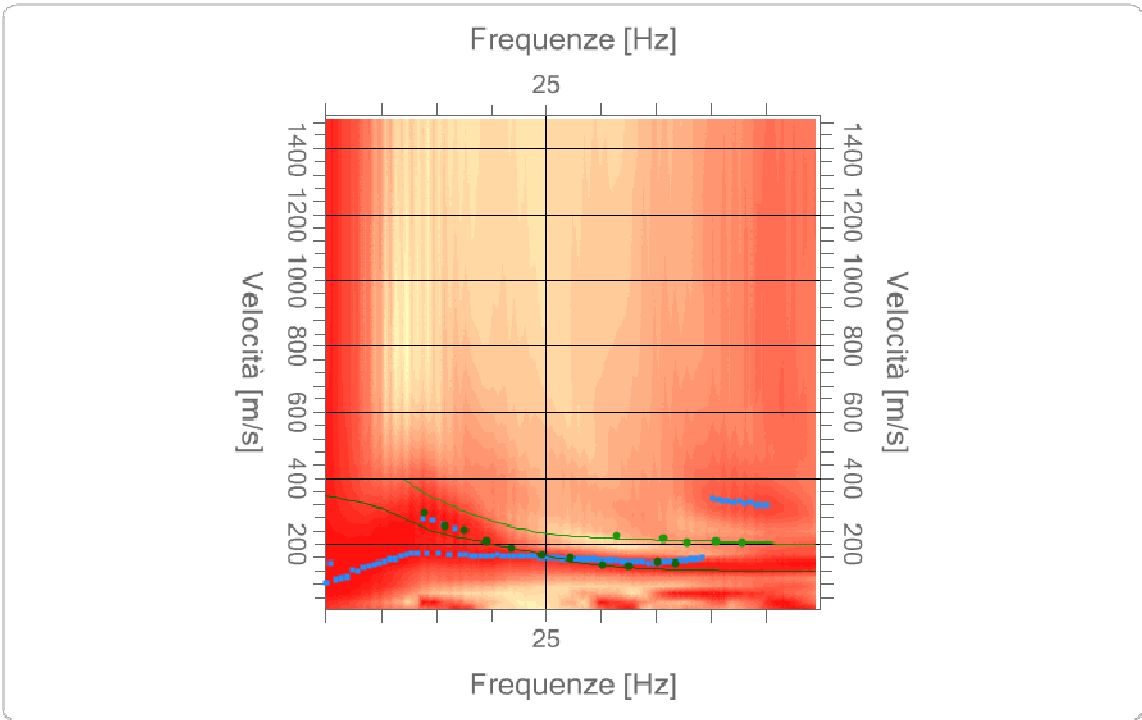
Spettro Velocità di fase - Frequenze



Curva di dispersione

| n. | Frequenza [Hz] | Velocità [m/sec] | Modo |
|----|-------------------|---------------------|------|
| 1 | 13.9 | 294.6 | 0 |
| 2 | 15.8 | 254.5 | 0 |
| 3 | 17.7 | 241.2 | 0 |
| 4 | 19.7 | 210.1 | 0 |
| 5 | 21.9 | 187.8 | 0 |
| 6 | 24.6 | 165.6 | 0 |
| 7 | 27.3 | 156.7 | 0 |
| 8 | 30.2 | 138.9 | 0 |
| 9 | 31.4 | 223.4 | 1 |
| 10 | 32.6 | 134.4 | 0 |
| 11 | 35.1 | 143.3 | 0 |
| 12 | 35.7 | 214.5 | 1 |
| 13 | 36.8 | 139.0 | 0 |
| 14 | 37.8 | 205.6 | 1 |
| 15 | 40.5 | 210.1 | 1 |
| 16 | 42.9 | 205.6 | 1 |

Spettro Velocità di fase - Frequenze



Inversione

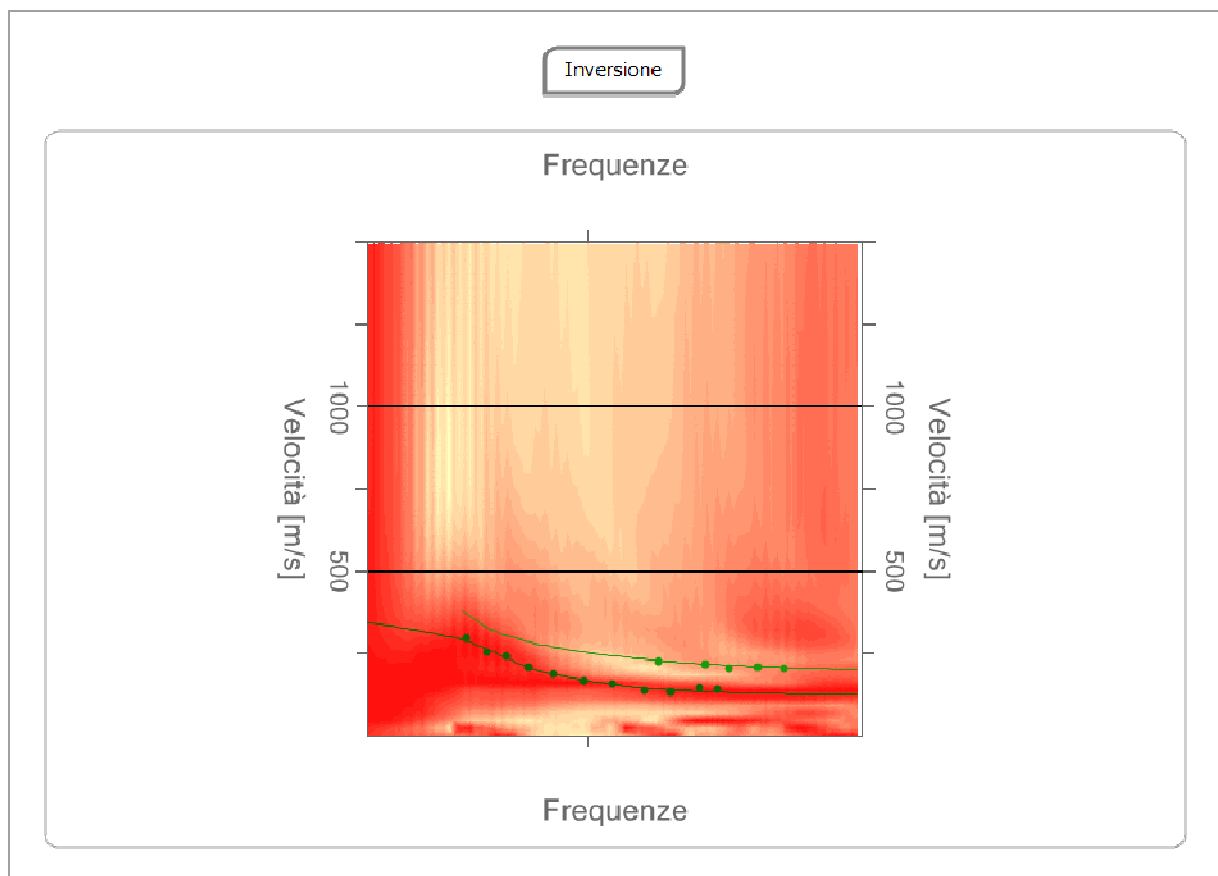
| n. | Descrizione | Profondità [m] | Spessore [m] | Peso unità volume [kg/mc] | Coefficiente Poisson | Falda | Vp [m/sec] | Vs [m/sec] |
|----|-------------|----------------|--------------|---------------------------|----------------------|-------|------------|------------|
| 1 | | 1.99 | 1.99 | 1700.0 | 0.35 | No | 268.4 | 128.9 |
| 2 | | 5.33 | 3.33 | 1800.0 | 0.35 | No | 458.9 | 220.5 |
| 3 | | oo | oo | 1900.0 | 0.35 | No | 819.0 | 393.4 |

Percentuale di errore

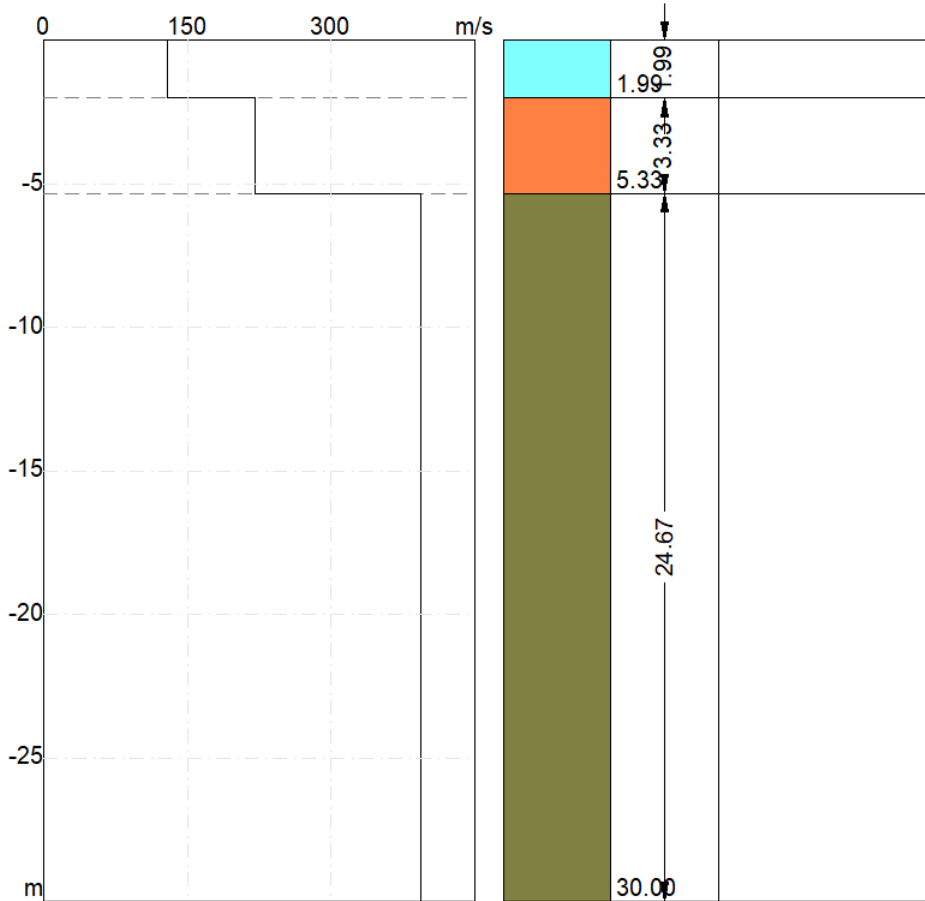
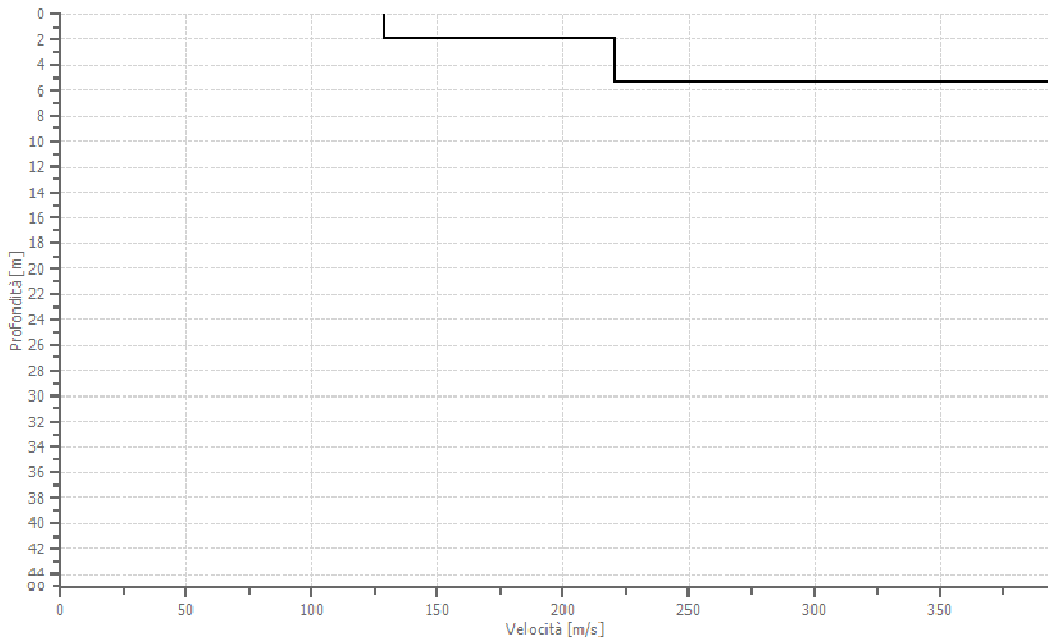
0.077 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.031



Profilo di velocità



Risultati

| | |
|---|--------|
| Profondità piano di posa [m] | 0.00 |
| Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m) | 321.54 |
| 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 | 1.99 | 1.99 | 128.93 | 268.39 | 1700.00 | 0.35 | 28.26 | 122.46 | 84.78 | 76.30 | 39 | 83.74 |
| 2 | 5.33 | 3.33 | 220.45 | 458.91 | 1800.00 | 0.35 | 87.48 | 379.07 | 262.43 | 236.19 | N/A | 1240.41 |
| 3 | oo | oo | 393.44 | 819.01 | 1900.00 | 0.35 | 294.11 | 1274.48 | 882.33 | 794.10 | 0 | N/A |

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

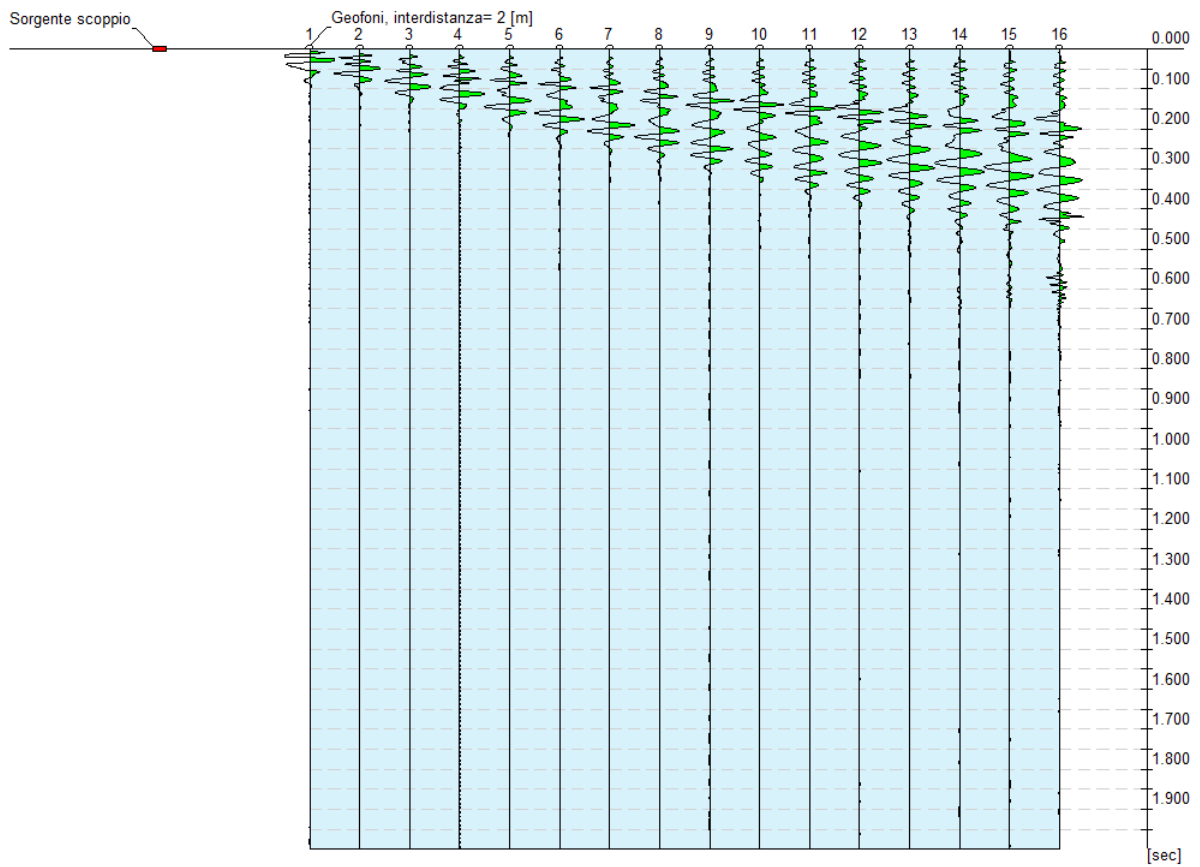
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

INDAGINE SISMICA MASW 2

Tracce

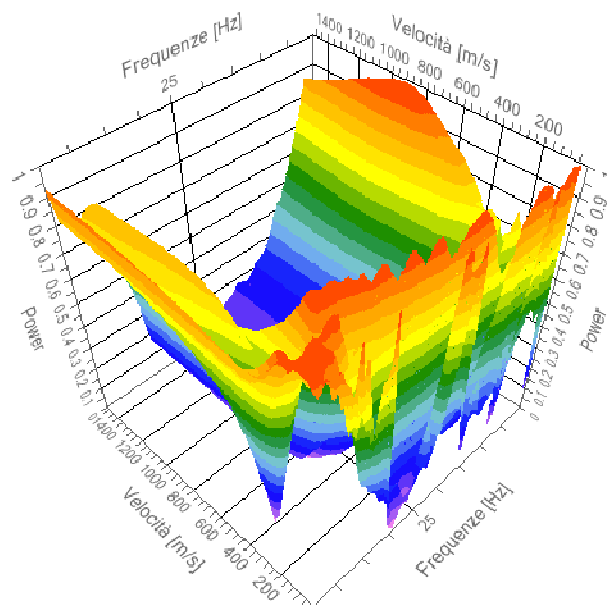
| | |
|---|--------|
| N. tracce | 16 |
| Durata acquisizione [msec] | 2000.0 |
| Interdistanza geofoni [m] | 2.0 |
| Periodo di campionamento [msec] | 1.00 |



Analisi spettrale

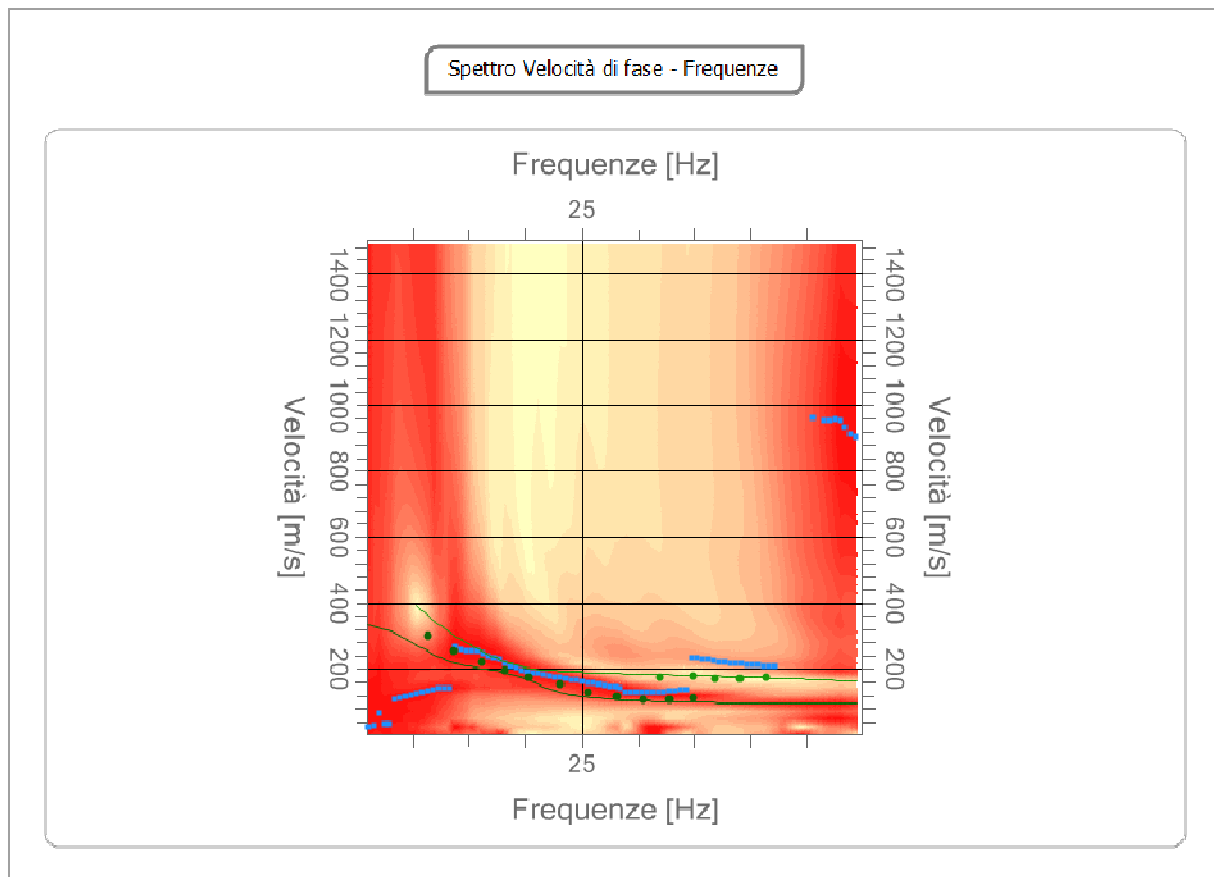
| | |
|---|------|
| Frequenza minima di elaborazione [Hz] | 6 |
| Frequenza massima di elaborazione [Hz] | 50 |
| Velocità minima di elaborazione [m/sec] | 1 |
| Velocità massima di elaborazione [m/sec] | 1500 |
| Intervallo velocità [m/sec] | 1 |

Spettro Velocità di fase - Frequenze



Curva di dispersione

| n. | Frequenza [Hz] | Velocità [m/sec] | Modo |
|----|-------------------|---------------------|------|
| 1 | 11.3 | 299.0 | 0 |
| 2 | 13.7 | 254.5 | 0 |
| 3 | 16.2 | 219.0 | 0 |
| 4 | 18.3 | 196.7 | 0 |
| 5 | 20.3 | 174.5 | 0 |
| 6 | 23.1 | 152.2 | 0 |
| 7 | 25.6 | 130.0 | 0 |
| 8 | 28.2 | 116.6 | 0 |
| 9 | 30.5 | 107.8 | 0 |
| 10 | 31.9 | 174.5 | 1 |
| 11 | 32.8 | 107.7 | 0 |
| 12 | 34.9 | 178.9 | 1 |
| 13 | 35.0 | 111.8 | 0 |
| 14 | 36.9 | 170.0 | 1 |
| 15 | 39.1 | 170.0 | 1 |
| 16 | 41.5 | 174.5 | 1 |



Inversione

| n. | Descrizione | Profondità [m] | Spessore [m] | Peso unità volume [kg/mc] | Coefficiente Poisson | Falda | Vp [m/sec] | Vs [m/sec] |
|----|-------------|----------------|--------------|---------------------------|----------------------|-------|------------|------------|
| 1 | | 1.71 | 1.71 | 1700.0 | 0.35 | No | 210.1 | 100.9 |
| 2 | | 5.53 | 3.82 | 1800.0 | 0.35 | No | 440.0 | 211.4 |
| 3 | | oo | oo | 1900.0 | 0.35 | No | 825.8 | 396.7 |

Percentuale di errore

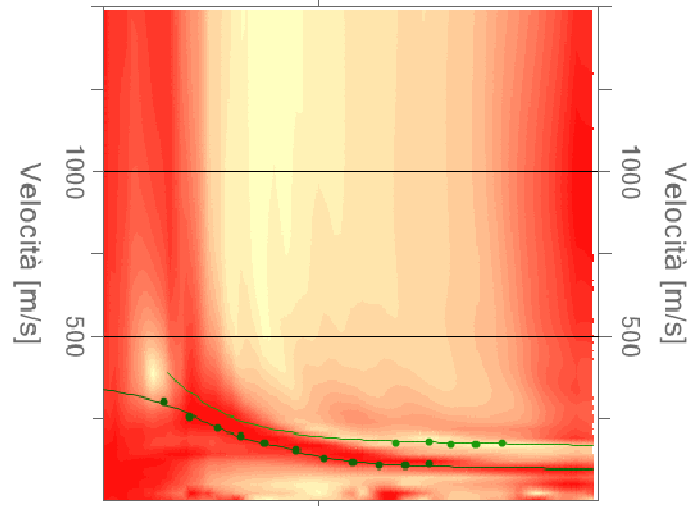
0.058 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.028

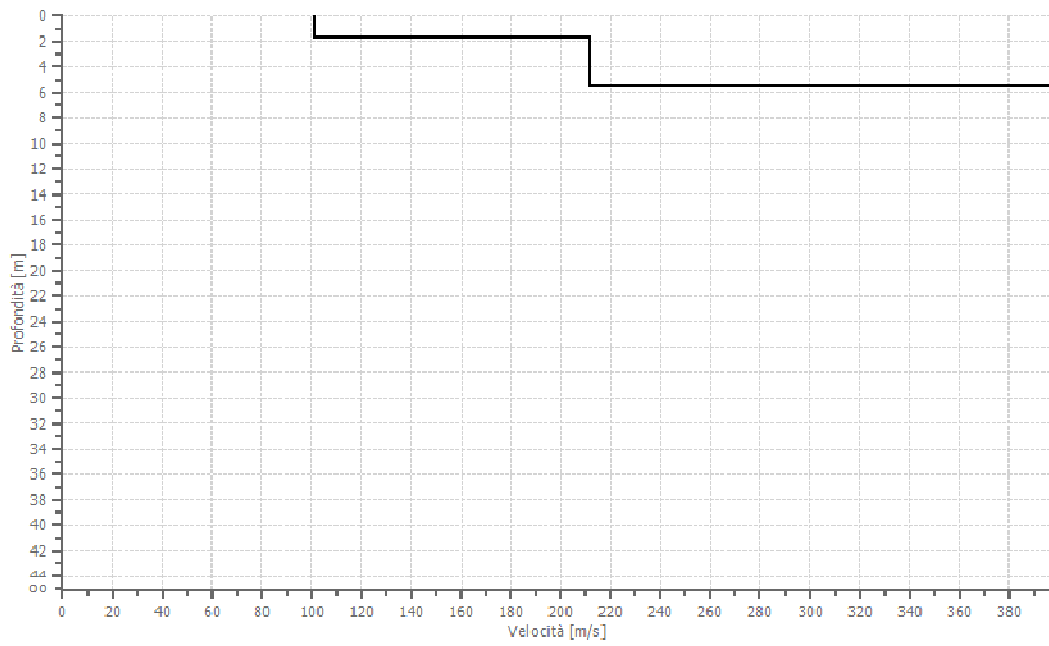
Inversione

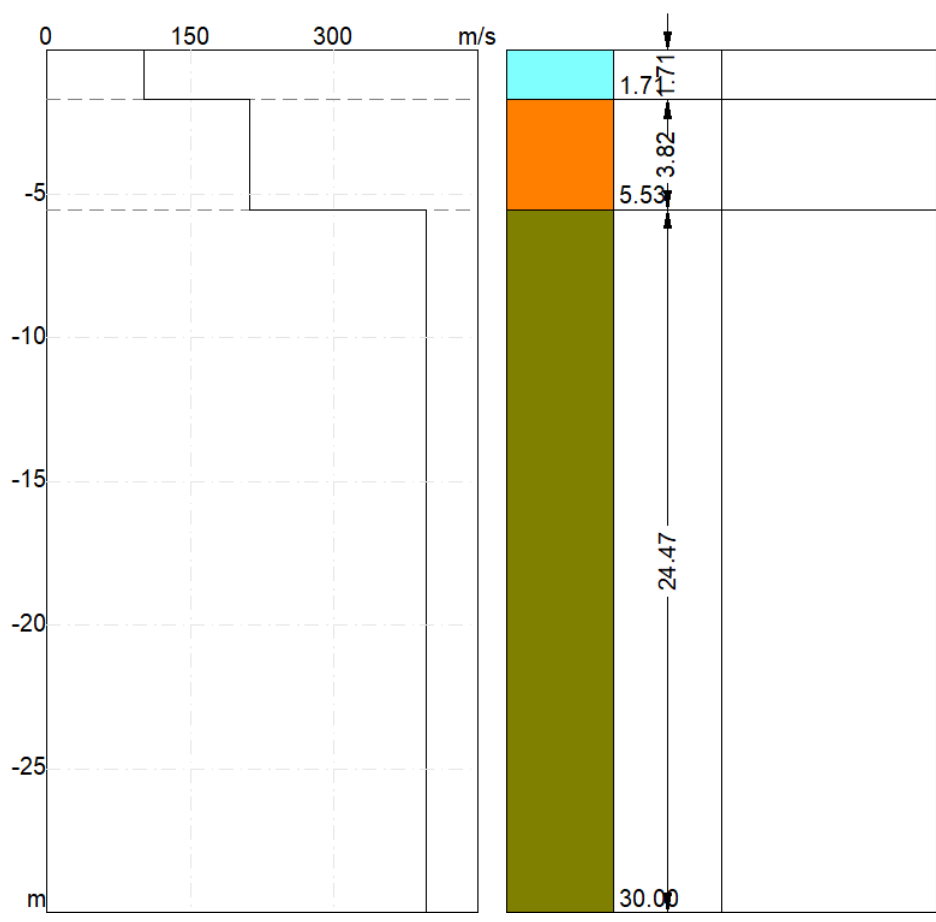
Frequenze



Frequenze

Profilo di velocità





Risultati

| | |
|------------------------------|--------|
| Profondità piano di posa [m] | 0.00 |
| Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m) | 310.14 |
| 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 | 1.71 | 1.71 | 100.93 | 210.09 | 1700.00 | 0.35 | 17.32 | 75.04 | 51.95 | 46.75 | 11 | 24.46 |
| 2 | 5.53 | 3.82 | 211.38 | 440.03 | 1800.00 | 0.35 | 80.43 | 348.53 | 241.29 | 217.16 | N/A | 1004.38 |
| 3 | oo | oo | 396.68 | 825.76 | 1900.00 | 0.35 | 298.98 | 1295.58 | 896.94 | 807.24 | 0 | N/A |

G0: Modulo di deformazione al taglio;

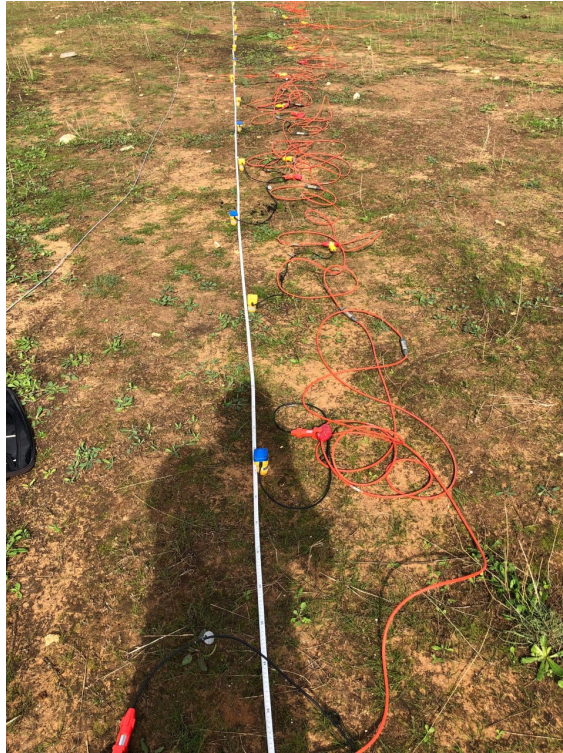
Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

REPORT FOTOGRAFICO INDAGINI ESEGUITE

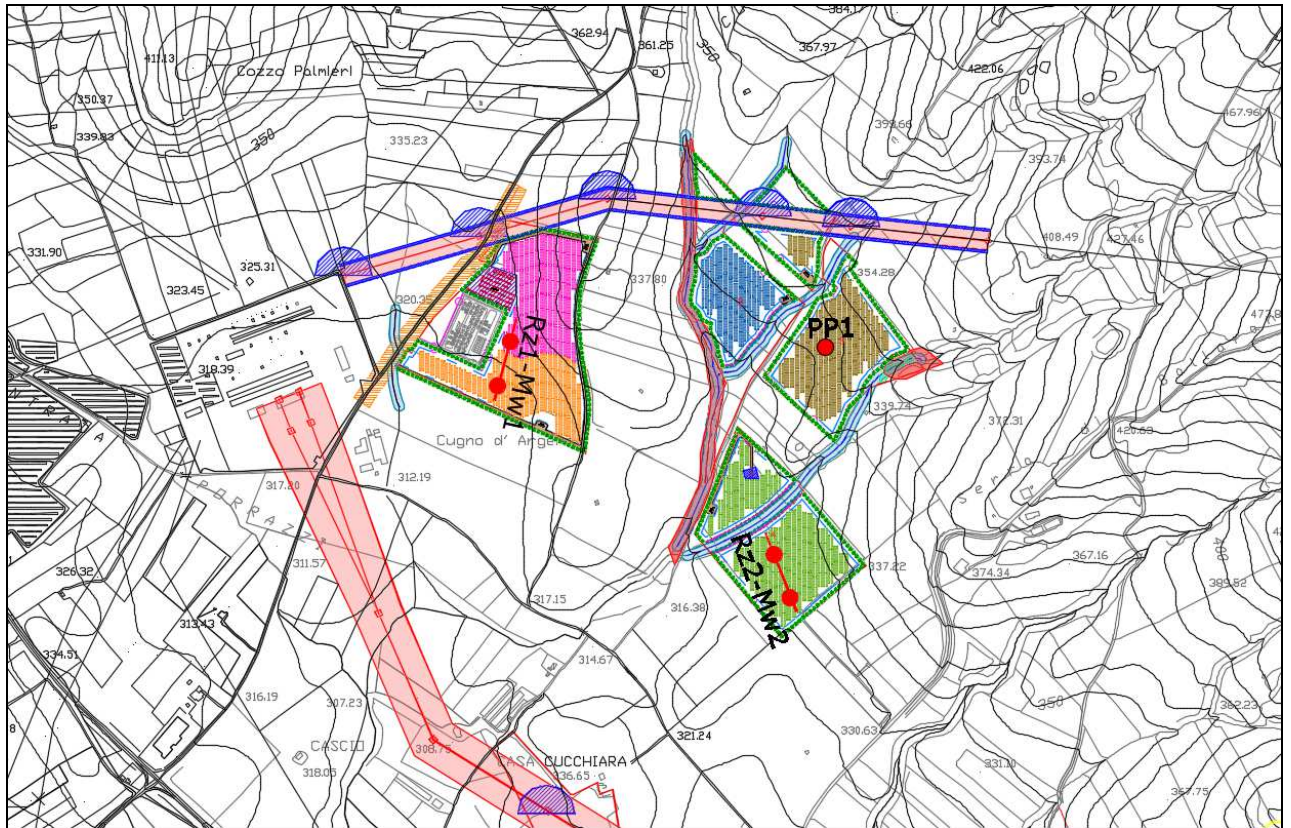
Sismica a Rifrazione Rz1



Sismica a Rifrazione Rz2



Sismica a Rifrazione Rz3



Planimetria Indagine eseguite settore settentrionale



Planimetria Indagine eseguite settore meridionale

ALLEGATO III

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE MEDIE

1.0 Premessa

Per la caratterizzazione dei terreni sono state utilizzate prove penetrometriche dinamiche Medie DPM con maglio oleodinamico del peso di 30 Kg, con base a carrello in acciaio trattato dotato di alloggiamento per l'infissione di aste del diametro di 22 mm e lunghezza 1000 mm; punta a sezione massima di 10 cmq ed angolo alla punta 60°/90°.

La caratterizzazione dei principali parametri dei terreni attraverso l'utilizzazione dei dati delle prove penetrometriche dinamiche Medie DPM, avviene mediante delle correlazioni empiriche che tengono conto del tipo di strumentazione, dei materiali investigati e delle tensioni efficaci agenti in situ.

La continuità laterale delle informazioni acquisite mediante le prove dirette sopra menzionate sono state ottenute mediante indagini di sismica a Rifrazione.

2.0 Prove penetrometriche dinamiche

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.

2.1 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 | $\delta = \text{cm } 10$ |

3.0 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:

$$N_{spt} = \beta_t N_{10}$$

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 R_{pd}

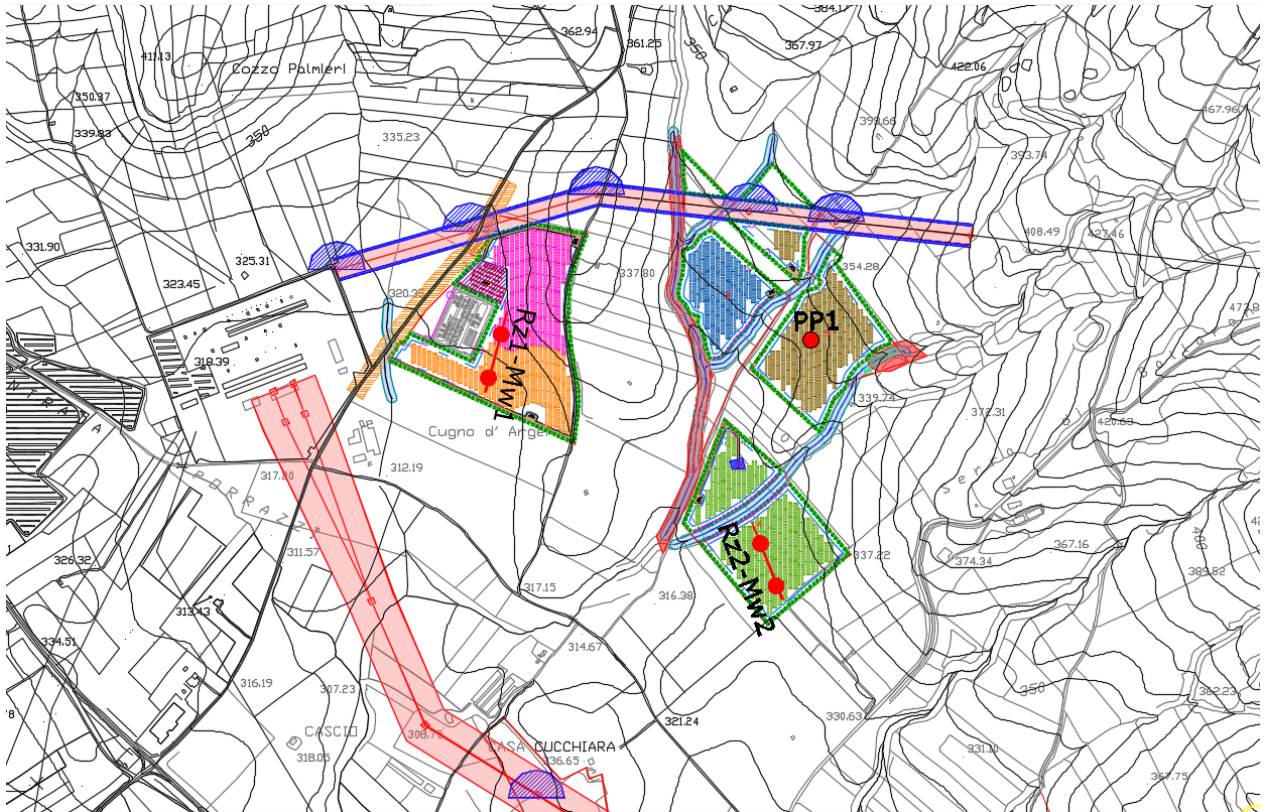
$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

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.

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

UBICAZIONE SONDAGGI:



Planimetria Indagine eseguita



Prova Penetrometrica PP1



Prova Penetrometrica PP2



Prova Penetrometriche PP3

LEGENDA SPECIFICHE TECNICHE PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

DIVERSE TIPOLOGIE DI PENETROMETRI DINAMICI

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infingere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ), misurando il numero di colpi N necessari.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti :

- peso massa battente M
- altezza libera caduta H
- punta conica : diametro base cono D , area base A (angolo di apertura α)
- avanzamento (penetrazione δ)
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici) .

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella più sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

DIVERSE TIPOLOGIE DI PENETROMETRI DINAMICI Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici

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

Per la visione delle caratteristiche tecniche dei penetrometri, si rimanda alla sezione EDITOR PENETROMETRI.

I PENETROMETRI dinamici in uso in Italia risultano essere i seguenti (non rientranti però nello Standard ISSMFE) :

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)

massa battente M = 30 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento $\delta \approx 10$ cm, punta conica ($\alpha \approx 60-90^\circ$), diametro D = 35.7 mm, area base cono A = 10 cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)

massa battente M = 20 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento $\delta \approx 10$ cm, punta conica ($\alpha \approx 60-90^\circ$), diametro D = 35.7 mm, area base cono A = 10 cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto

- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SCPT) (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)

massa battente M = 73 kg, altezza di caduta H = 0.75 m, avanzamento $\delta \approx 30$ cm, punta conica ($\alpha \approx 60^\circ$), diametro D = 50.8 mm, area base cono A = 20.27 cm² rivestimento : previsto secondo precise indicazioni

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)

massa battente M = 63.5 kg, altezza caduta H = 0.75 m, avanzamento $\delta \approx 20-30$ cm, punta conica ($\alpha \approx 60^\circ$), diametro D = 50.5 mm , area base cono A = 20 cm², rivestimento / fango bentonitico : talora previsto .

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

DIN

Riferimento

Committente

Cantiere

Località

U.M.: **kg/cm²**

Data esec.

Pagina
Elaborato

1

Falda

Non rilevata

| H m | asta n° | punta colpi | riv colpi | qcd kg/cm ² | H m | asta n° | punta colpi | riv colpi | qcd kg/cm ² |
|-------------|------------|----------------|--------------|---------------------------|--------|------------|----------------|--------------|---------------------------|
| 0,10 | 1 | 5 | | 56,3 | | | | | |
| 0,20 | 1 | 5 | | 56,3 | | | | | |
| 0,30 | 1 | 5 | | 56,3 | | | | | |
| 0,40 | 1 | 7 | | 78,8 | | | | | |
| 0,50 | 1 | 7 | | 78,8 | | | | | |
| 0,60 | 1 | 8 | | 90,1 | | | | | |
| 0,70 | 1 | 7 | | 78,8 | | | | | |
| 0,80 | 1 | 8 | | 90,1 | | | | | |
| 0,90 | 2 | 8 | | 83,3 | | | | | |
| 1,00 | 2 | 8 | | 83,3 | | | | | |
| 1,10 | 2 | 8 | | 83,3 | | | | | |
| 1,20 | 2 | 8 | | 83,3 | | | | | |
| 1,30 | 2 | 9 | | 93,8 | | | | | |
| 1,40 | 2 | 9 | | 93,8 | | | | | |
| 1,50 | 2 | 8 | | 83,3 | | | | | |
| 1,60 | 2 | 7 | | 72,9 | | | | | |
| 1,70 | 2 | 7 | | 72,9 | | | | | |
| 1,80 | 2 | 8 | | 83,3 | | | | | |
| 1,90 | 3 | 14 | | 135,7 | | | | | |
| 2,00 | 3 | 15 | | 145,3 | | | | | |
| 2,10 | 3 | 16 | | 155,0 | | | | | |
| 2,20 | 3 | 16 | | 155,0 | | | | | |
| 2,30 | 3 | 17 | | 164,7 | | | | | |
| 2,40 | 3 | 20 | | 193,8 | | | | | |
| 2,50 | 3 | 20 | | 193,8 | | | | | |
| 2,60 | 3 | 20 | | 193,8 | | | | | |
| 2,70 | 3 | 20 | | 193,8 | | | | | |
| 2,80 | 3 | 28 | | 271,3 | | | | | |
| 2,90 | 4 | 30 | | 271,7 | | | | | |
| 3,00 | 4 | 30 | | 271,7 | | | | | |
| 3,10 | 4 | 31 | | 280,8 | | | | | |
| 3,20 | 4 | 30 | | 271,7 | | | | | |
| 3,30 | 4 | 32 | | 289,9 | | | | | |
| 3,40 | 4 | 31 | | 280,8 | | | | | |
| 3,50 | 4 | 30 | | 271,7 | | | | | |
| 3,60 | 4 | 32 | | 289,9 | | | | | |
| 3,70 | 4 | 31 | | 280,8 | | | | | |
| 3,80 | 4 | 32 | | 289,9 | | | | | |
| 3,90 | 5 | 31 | | 263,6 | | | | | |
| 4,00 | 5 | 32 | | 272,1 | | | | | |

H = profondità

L1 = asta

L2 = punta

L3 = riv

qcd = Resistenza dinamica punta

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUDDIVISIONE GEOTECNICA

| |
|-------------|
| DIN |
| Riferimento |
| |
| |

Committente
Cantiere
Località

| | |
|--------------------------------|--------------|
| U.M.: kg/cm² | Data esec. |
| Pagina Elaborato | 1 |
| Falda | Non rilevata |

PARAMETRI GENERALI

| n° | profondità m | statistica | VCA colpi | β - | Nspt colpi | qcd kg/cm ² | qc kg/cm ² | Vs m/sec | G kg/cm ² | Q kg/cm ² | natura | descrizione |
|----|-----------------|------------|--------------|--------------|---------------|---------------------------|--------------------------|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------|-------------------------|
| 1 | 0,00 : 2,70 | Media | 11 | 0,77 | 8 | 109 | 35 | 113 | 63 | | Coes./Gran. | Limo argilloso |
| 2 | 2,70 : 4,00 | Media | 31 | 0,77 | 24 | 277 | 90 | 178 | 153 | | Coes./Gran. | Argilla limosa sabbiosa |

NATURA COESIVA

NATURA GRANULARE

| n° | profondità m | Nspt colpi | Cu kg/cm ² | Ysat t/m ³ | W % | e - | Mo kg/cm ² | Dr % | ϕ ° | E' kg/cm ² | Ysat t/m ³ | Yd t/m ³ | Mo kg/cm ² | Liq. - |
|----|-----------------|---------------|--------------------------|--------------------------|--------|--------|--------------------------|---------|-------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|-----------|
| 1 | 0,00 : 2,70 | 8 | 0,50 | 1,80 | 34,98 | 0,94 | 41 | --- | 18 | --- | --- | --- | --- | --- |
| 2 | 2,70 : 4,00 | 24 | 1,50 | 2,00 | 21,91 | 0,59 | 77 | --- | 23 | --- | --- | --- | --- | --- |

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

DIN

Riferimento

Committente

Cantiere

Località

U.M.: **kg/cm²**

Data esec.

Pagina
Elaborato

1

Falda

Non rilevata

| H m | asta n° | punta colpi | riv colpi | qcd kg/cm ² | H m | asta n° | punta colpi | riv colpi | qcd kg/cm ² |
|-------------|------------|----------------|--------------|---------------------------|--------|------------|----------------|--------------|---------------------------|
| 0,10 | 1 | 2 | | 22,5 | | | | | |
| 0,20 | 1 | 2 | | 22,5 | | | | | |
| 0,30 | 1 | 10 | | 112,6 | | | | | |
| 0,40 | 1 | 11 | | 123,9 | | | | | |
| 0,50 | 1 | 10 | | 112,6 | | | | | |
| 0,60 | 1 | 9 | | 101,4 | | | | | |
| 0,70 | 1 | 9 | | 101,4 | | | | | |
| 0,80 | 1 | 9 | | 101,4 | | | | | |
| 0,90 | 2 | 10 | | 104,2 | | | | | |
| 1,00 | 2 | 10 | | 104,2 | | | | | |
| 1,10 | 2 | 10 | | 104,2 | | | | | |
| 1,20 | 2 | 7 | | 72,9 | | | | | |
| 1,30 | 2 | 7 | | 72,9 | | | | | |
| 1,40 | 2 | 6 | | 62,5 | | | | | |
| 1,50 | 2 | 6 | | 62,5 | | | | | |
| 1,60 | 2 | 7 | | 72,9 | | | | | |
| 1,70 | 2 | 6 | | 62,5 | | | | | |
| 1,80 | 2 | 5 | | 52,1 | | | | | |
| 1,90 | 3 | 5 | | 48,4 | | | | | |
| 2,00 | 3 | 5 | | 48,4 | | | | | |
| 2,10 | 3 | 5 | | 48,4 | | | | | |
| 2,20 | 3 | 6 | | 58,1 | | | | | |
| 2,30 | 3 | 5 | | 48,4 | | | | | |
| 2,40 | 3 | 5 | | 48,4 | | | | | |
| 2,50 | 3 | 5 | | 48,4 | | | | | |
| 2,60 | 3 | 5 | | 48,4 | | | | | |
| 2,70 | 3 | 5 | | 48,4 | | | | | |
| 2,80 | 3 | 5 | | 48,4 | | | | | |
| 2,90 | 4 | 5 | | 45,3 | | | | | |
| 3,00 | 4 | 5 | | 45,3 | | | | | |
| 3,10 | 4 | 5 | | 45,3 | | | | | |
| 3,20 | 4 | 5 | | 45,3 | | | | | |
| 3,30 | 4 | 5 | | 45,3 | | | | | |
| 3,40 | 4 | 5 | | 45,3 | | | | | |
| 3,50 | 4 | 5 | | 45,3 | | | | | |
| 3,60 | 4 | 5 | | 45,3 | | | | | |
| 3,70 | 4 | 6 | | 54,3 | | | | | |
| 3,80 | 4 | 5 | | 45,3 | | | | | |
| 3,90 | 5 | 6 | | 51,0 | | | | | |
| 4,00 | 5 | 7 | | 59,5 | | | | | |
| 4,10 | 5 | 7 | | 59,5 | | | | | |
| 4,20 | 5 | 6 | | 51,0 | | | | | |
| 4,30 | 5 | 6 | | 51,0 | | | | | |
| 4,40 | 5 | 6 | | 51,0 | | | | | |
| 4,50 | 5 | 7 | | 59,5 | | | | | |
| 4,60 | 5 | 7 | | 59,5 | | | | | |
| 4,70 | 5 | 8 | | 68,0 | | | | | |
| 4,80 | 5 | 9 | | 76,5 | | | | | |
| 4,90 | 6 | 9 | | 72,1 | | | | | |
| 5,00 | 6 | 10 | | 80,1 | | | | | |
| 5,10 | 6 | 9 | | 72,1 | | | | | |
| 5,20 | 6 | 9 | | 72,1 | | | | | |
| 5,30 | 6 | 8 | | 64,1 | | | | | |
| 5,40 | 6 | 9 | | 72,1 | | | | | |
| 5,50 | 6 | 9 | | 72,1 | | | | | |
| 5,60 | 6 | 10 | | 80,1 | | | | | |
| 5,70 | 6 | 10 | | 80,1 | | | | | |
| 5,80 | 6 | 10 | | 80,1 | | | | | |
| 5,90 | 7 | 18 | | 136,4 | | | | | |
| 6,00 | 7 | 17 | | 128,8 | | | | | |
| 6,10 | 7 | 18 | | 136,4 | | | | | |
| 6,20 | 7 | 20 | | 151,5 | | | | | |
| 6,30 | 7 | 21 | | 159,1 | | | | | |
| 6,40 | 7 | 20 | | 151,5 | | | | | |
| 6,50 | 7 | 19 | | 143,9 | | | | | |
| 6,60 | 7 | 20 | | 151,5 | | | | | |
| 6,70 | 7 | 20 | | 151,5 | | | | | |
| 6,80 | 7 | 21 | | 159,1 | | | | | |

H = profondità

L1 = asta

L2 = punta

L3 = riv

qcd = Resistenza dinamica punta

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUDDIVISIONE GEOTECNICA

DIN

Riferimento

Committente
Cantiere
Località

U.M.: **kg/cm²** Data esec.
Pagina 1
Elaborato Falda Non rilevata

PARAMETRI GENERALI

| n° | profondità m | statistica | VCA colpi | β - | Nspt colpi | qcd kg/cm ² | qc kg/cm ² | Vs m/sec | G kg/cm ² | Q kg/cm ² | natura | descrizione |
|----|-----------------|------------|--------------|--------------|---------------|---------------------------|--------------------------|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------|-------------------------|
| 1 | 0,00 : 0,20 | Media | 2 | 0,77 | 2 | 23 | 4 | 20 | 104 | 1,13 | Torbosa | Torba |
| 2 | 0,20 : 5,80 | Media | 7 | 0,77 | 5 | 66 | 21 | 122 | 43 | | Coes./Gran. | Limo argilloso |
| 3 | 5,80 : 6,80 | Media | 19 | 0,77 | 15 | 147 | 49 | 170 | 105 | | Coes./Gran. | Argilla limosa sabbiosa |

NATURA COESIVA

NATURA GRANULARE

| n° | profondità m | Nspt colpi | Cu kg/cm ² | Ysat t/m ³ | W % | e - | Mo kg/cm ² | Dr % | ϕ ° | E' kg/cm ² | Ysat t/m ³ | Yd t/m ³ | Mo kg/cm ² | Liq. - |
|----|-----------------|---------------|--------------------------|--------------------------|--------|--------|--------------------------|---------|-------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|-----------|
| 1 | 0,00 : 0,20 | 2 | 0,10 | 1,35 | 142,86 | 3,86 | 21 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 2 | 0,20 : 5,80 | 5 | 0,31 | 1,80 | 39,28 | 1,06 | 33 | --- | 18 | --- | --- | --- | --- | --- |
| 3 | 5,80 : 6,80 | 15 | 0,94 | 1,90 | 28,61 | 0,77 | 59 | --- | 23 | --- | --- | --- | --- | --- |

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

DIN

Riferimento

Committente

Cantiere

Località

U.M.: **kg/cm²**

Data esec.

Pagina 1

Elaborato

Falda

Non rilevata

| H m | asta n° | punta colpi | riv colpi | qcd kg/cm ² | H m | asta n° | punta colpi | riv colpi | qcd kg/cm ² |
|--------|------------|----------------|--------------|---------------------------|--------|------------|----------------|--------------|---------------------------|
| 0,10 | 1 | 1 | | 11,3 | | | | | |
| 0,20 | 1 | 2 | | 22,5 | | | | | |
| 0,30 | 1 | 1 | | 11,3 | | | | | |
| 0,40 | 1 | 1 | | 11,3 | | | | | |
| 0,50 | 1 | 5 | | 56,3 | | | | | |
| 0,60 | 1 | 4 | | 45,0 | | | | | |
| 0,70 | 1 | 5 | | 56,3 | | | | | |
| 0,80 | 1 | 6 | | 67,6 | | | | | |
| 0,90 | 2 | 5 | | 52,1 | | | | | |
| 1,00 | 2 | 5 | | 52,1 | | | | | |
| 1,10 | 2 | 5 | | 52,1 | | | | | |
| 1,20 | 2 | 6 | | 62,5 | | | | | |
| 1,30 | 2 | 5 | | 52,1 | | | | | |
| 1,40 | 2 | 5 | | 52,1 | | | | | |
| 1,50 | 2 | 4 | | 41,7 | | | | | |
| 1,60 | 2 | 3 | | 31,3 | | | | | |
| 1,70 | 2 | 4 | | 41,7 | | | | | |
| 1,80 | 2 | 3 | | 31,3 | | | | | |
| 1,90 | 3 | 3 | | 29,1 | | | | | |
| 2,00 | 3 | 4 | | 38,8 | | | | | |
| 2,10 | 3 | 3 | | 29,1 | | | | | |
| 2,20 | 3 | 3 | | 29,1 | | | | | |
| 2,30 | 3 | 3 | | 29,1 | | | | | |
| 2,40 | 3 | 3 | | 29,1 | | | | | |
| 2,50 | 3 | 3 | | 29,1 | | | | | |
| 2,60 | 3 | 3 | | 29,1 | | | | | |
| 2,70 | 3 | 3 | | 29,1 | | | | | |
| 2,80 | 3 | 3 | | 29,1 | | | | | |
| 2,90 | 4 | 3 | | 27,2 | | | | | |
| 3,00 | 4 | 3 | | 27,2 | | | | | |
| 3,10 | 4 | 3 | | 27,2 | | | | | |
| 3,20 | 4 | 3 | | 27,2 | | | | | |
| 3,30 | 4 | 4 | | 36,2 | | | | | |
| 3,40 | 4 | 4 | | 36,2 | | | | | |
| 3,50 | 4 | 4 | | 36,2 | | | | | |
| 3,60 | 4 | 5 | | 45,3 | | | | | |
| 3,70 | 4 | 4 | | 36,2 | | | | | |
| 3,80 | 4 | 3 | | 27,2 | | | | | |
| 3,90 | 5 | 3 | | 25,5 | | | | | |
| 4,00 | 5 | 4 | | 34,0 | | | | | |
| 4,10 | 5 | 4 | | 34,0 | | | | | |
| 4,20 | 5 | 6 | | 51,0 | | | | | |
| 4,30 | 5 | 6 | | 51,0 | | | | | |
| 4,40 | 5 | 6 | | 51,0 | | | | | |
| 4,50 | 5 | 6 | | 51,0 | | | | | |
| 4,60 | 5 | 8 | | 68,0 | | | | | |
| 4,70 | 5 | 9 | | 76,5 | | | | | |
| 4,80 | 5 | 9 | | 76,5 | | | | | |
| 4,90 | 6 | 15 | | 120,2 | | | | | |
| 5,00 | 6 | 16 | | 128,2 | | | | | |
| 5,10 | 6 | 18 | | 144,2 | | | | | |
| 5,20 | 6 | 19 | | 152,2 | | | | | |
| 5,30 | 6 | 20 | | 160,3 | | | | | |
| 5,40 | 6 | 19 | | 152,2 | | | | | |
| 5,50 | 6 | 20 | | 160,3 | | | | | |
| 5,60 | 6 | 20 | | 160,3 | | | | | |
| 5,70 | 6 | 19 | | 152,2 | | | | | |
| 5,80 | 6 | 20 | | 160,3 | | | | | |
| 5,90 | 7 | 20 | | 151,5 | | | | | |
| 6,00 | 7 | 20 | | 151,5 | | | | | |

H = profondità

L1 = asta

L2 = punta

L3 = riv

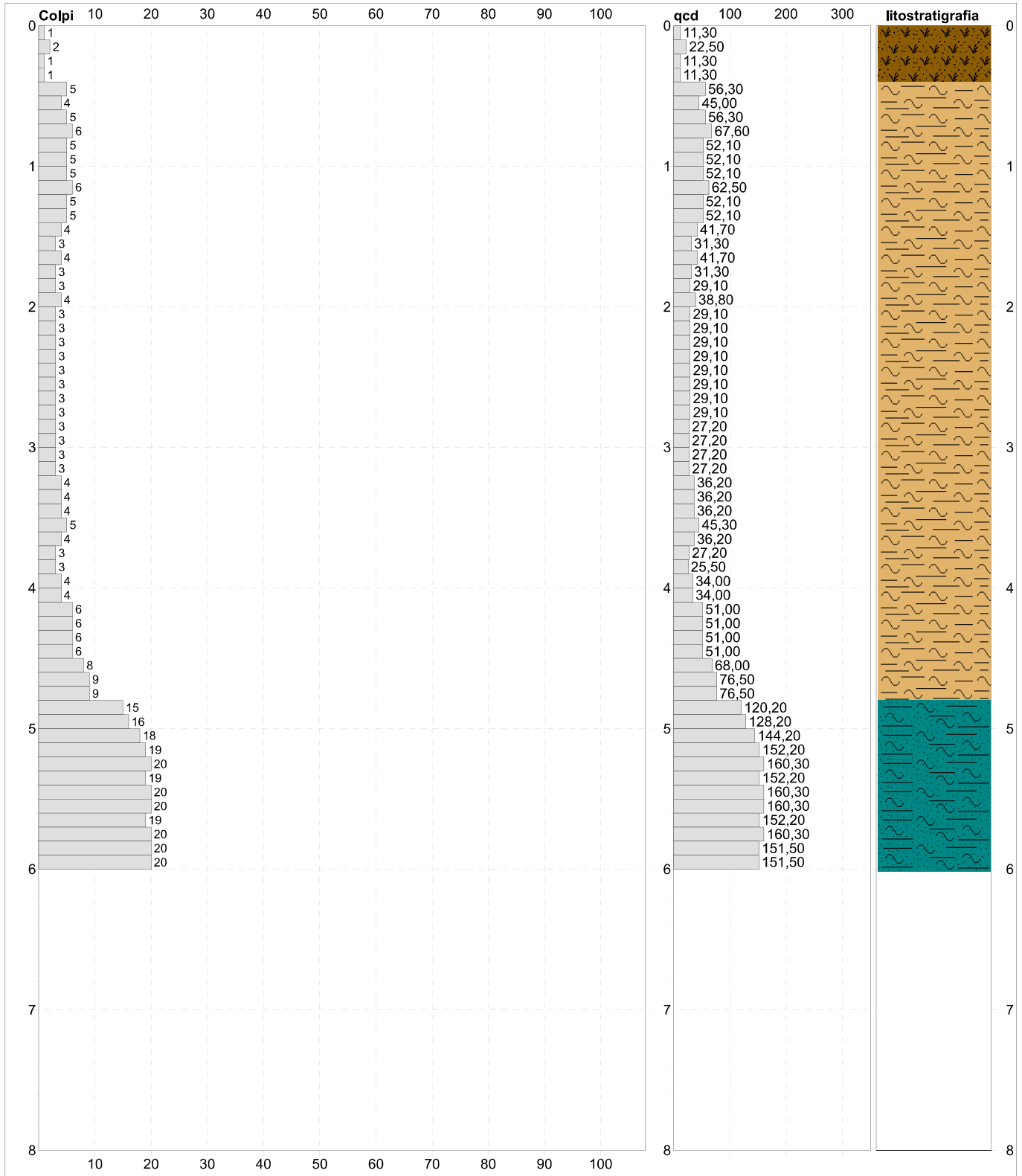
qcd = Resistenza dinamica punta

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

| |
|-------------|
| DIN |
| Riferimento |
| |

Committente
Cantiere
Località

| | |
|--------------------------------|---------------------------------------|
| U.M.: kg/cm² | Data esec. |
| Scala: 1:40 | |
| Pagina 1 | Quota inizio: : Falda Non rilevata |
| Elaborato | |



| | | |
|----------------------------------|--|----------------------|
| Penetrometro: DM-30 (60°) | sist.litologico: Personalizzata | preforo m |
| 30,00 kg | Responsabile:: | Corr.astine: : kg/ml |
| 0,20 m | Assistente:: | Cod.ISTAT: 0 |
| 0,10 m | | |

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SUDDIVISIONE GEOTECNICA

DIN

Riferimento

Committente
Cantiere
Località

U.M.: **kg/cm²** Data esec.
Pagina 1
Elaborato Falda Non rilevata

PARAMETRI GENERALI

| n° | profondità m | statistica | VCA colpi | β - | Nspt colpi | qcd kg/cm ² | qc kg/cm ² | Vs m/sec | G kg/cm ² | Q kg/cm ² | natura | descrizione |
|----|-----------------|------------|--------------|--------------|---------------|---------------------------|--------------------------|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------|-------------------------|
| 1 | 0,00 : 0,40 | Media | 1 | 0,77 | 1 | 14 | 2 | 12 | 85 | 0,71 | Torbosa | Torba |
| 2 | 0,40 : 4,80 | Media | 4 | 0,77 | 3 | 42 | 14 | 108 | 29 | | Coes./Gran. | Limo argilloso |
| 3 | 4,80 : 6,00 | Media | 19 | 0,77 | 15 | 150 | 50 | 165 | 105 | | Coes./Gran. | Argilla limosa sabbiosa |

NATURA COESIVA

NATURA GRANULARE

| n° | profondità m | Nspt colpi | Cu kg/cm ² | Ysat t/m ³ | W % | e - | Mo kg/cm ² | Dr % | ϕ ° | E' kg/cm ² | Ysat t/m ³ | Yd t/m ³ | Mo kg/cm ² | Liq. - |
|----|-----------------|---------------|--------------------------|--------------------------|--------|--------|--------------------------|---------|-------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|-----------|
| 1 | 0,00 : 0,40 | 1 | 0,05 | 1,28 | 191,92 | 5,18 | 18 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 2 | 0,40 : 4,80 | 3 | 0,19 | 1,70 | 44,21 | 1,19 | 28 | --- | 18 | --- | --- | --- | --- | --- |
| 3 | 4,80 : 6,00 | 15 | 0,94 | 1,80 | 28,61 | 0,77 | 59 | --- | 23 | --- | --- | --- | --- | --- |