

Comune di
Cerignola



Provincia di
Foggia

Regione Puglia



Comune di
Trinitapoli



Provincia di
Barletta Andria Trani

Committente:



MAIA SOL S.R.L.

VIA MERCATO 3/5 CAP 20121 MILANO (MI)

c.f. 12502470961



Titolo del Progetto:

Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un impianto agrifotovoltaico denominato "Demofonte"

Documento:	PROGETTO DEFINITIVO	Codice Pratica:	VIGVA99	N° Tavola:	B
Elaborato:	RELAZIONE GEOLOGICA	SCALA:	N.D.		
		FOGLIO:	1 di 1		
		FORMATO:	A4		

Nome file: **VIGVA99_Relazione_Geologica_B.pdf**

Progettazione:



NEW DEVELOPMENTS S.r.l.
Piazza Europa, 14
87100 Cosenza (CS)

il geologo:



dott. Geol. Pasquale Greco

Rev:	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
00	20/06/2022	PRIMA EMISSIONE	PG	NewDev	CSC

INDICE

1. Premessa.....	2
2. Inquadramento territoriale	3
3. Caratterizzazione geologica e strutturale	5
4. Caratteristiche strutturali geomorfologiche ed idrogeologiche e vincoli pai.....	7
4.1 Aspetto strutturale	7
4.2 Geomorfologia.....	7
4.3 Idrografia	10
4.4 Idrogeologia.....	11
5. Caratterizzazione geotecnica.....	12
5.1 Indagini eseguite	12
5.2 Prove Penetrometriche dinamiche continue DPM	13
5.3 MASW	14
5.4 Parametri geotecnici	17
6. Conclusioni.....	18

1. Premessa

La New Developments S.r.l., in qualità di gruppo di progettazione, mi ha incaricato di eseguire uno studio geologico, sismico, con caratterizzazione geotecnica relativo ad un'area sita nei Comuni di Cerignola (FG) e Trinitapoli (BT), dove la società **Maia Sol s.r.l.** intende realizzare un parco agrivoltaico (denominato "**Demofonte**") su due campi contigui (macroaree). L'impianto, costituito da **64.410** moduli fotovoltaici per complessivi **42,51060 MWp**, disposti su **1.141** strutture dotate di sistemi di inseguimento solare monoassiale di rollio del tipo tracker, è finalizzato alla produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile in accordo con la Strategia Energetica Nazionale (SEN).

Il convogliamento dell'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico nella rete di AT avverrà tramite collegamento in antenna a 36 kV su una futura Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione della RTN a 380/150 kV da inserire in entra-esce alla linea 380 kV "Foggia – Palo del Colle". L'impianto fotovoltaico sarà connesso alla RTN tramite cavidotto interrato di Alta Tensione che si sviluppa su strade esistenti e solo per brevi tratti su terreni agricoli comunque a ridosso dei confini di particella. Il percorso di detto elettrodotto sviluppa una lunghezza complessiva di circa 9,21 Km.

L'estensione del terreno interessato dall'intervento è catastalmente quantificata in Ha 61.75.67, ottenuta come somma delle superfici nominali delle singole particelle costituenti il terreno di sedime.

La stessa area è inclusa nel Foglio 422 – Cerignola della Carta Geologica d'Italia redatta in scala 1:50.000.

Lo scopo di tale studio è stato quello di individuare le caratteristiche geologiche, tecniche, stratigrafiche e geomorfologiche della zona, inquadrata nel contesto generale del territorio; sono state inoltre osservate ed interpretate le caratteristiche di circolazione idrica superficiale e profonda del terreno nel quale saranno infisse le strutture dell'Impianto Fotovoltaico.

Per quanto riguarda la definizione della stratigrafia, della caratterizzazione dei parametri geotecnici e della capacità portante del terreno di fondazione e la caratterizzazione dei parametri sismici, sono stati effettuati sul sito di interesse, due prove penetrometriche dinamiche continue con penetrometro DPM30 e uno stendimento sismico di tipo MASW.

Lo studio è stato realizzato in osservanza delle seguenti leggi:

- DM 17/01/2018: Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni."
- OM 3274 del 2003;

Infine sono state consultate le tavole del P.A.I. dell'autorità di Bacino della Regione Puglia, al fine di verificare se l'area è sottoposta a vincolo di Rischio idrogeologico.

- Rilevamento Geologico del sito in oggetto e delle aree adiacenti;
- Analisi litologica del terreno di fondazione basata su indagini condotte in situ, osservazione diretta e su ricerca bibliografica.

2. Inquadramento territoriale

L'impianto fotovoltaico è ubicato nei territori dei comuni di Cerignola (FG) e di Trinitapoli (BAT) (Puglia - Italia). L'area interessata dall'opera sviluppa una superficie recintata complessiva di circa 51,83 Ha lordi suddivisi in sette campi che presentano struttura orografica regolare e totalmente pianeggiante.

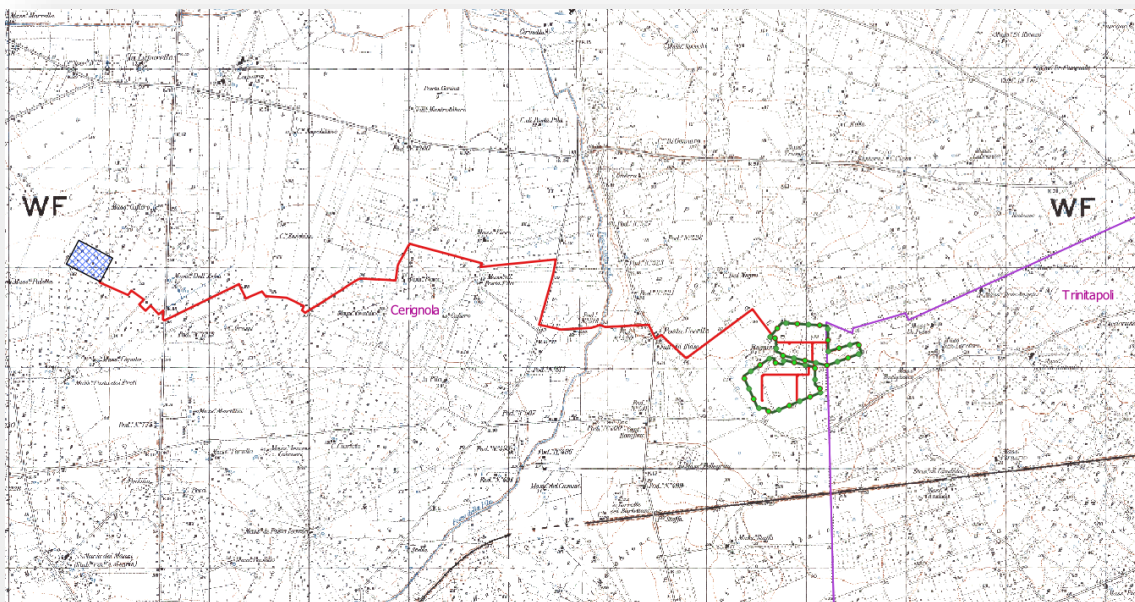


Figura 1 - Inquadramento su CTR



Figura 2 - Vista aerea dell'area di interesse (in verde) - Percorso dell'elettrodotto interrato AT da realizzare (tratto in rosso)-Futura SE TERNA in blu

Lo strumento urbanistico vigente nei 2 territori comunali sono rispettivamente:

Comune di Cerignola: Piano Regolatore Generale (PRG) e relative Norme Tecniche di Attuazione (NTA) adottato con delibera del Consiglio Comunale n.68 del 9/11/1999 ed adeguato alle modifiche e prescrizioni della Deliberazione della Giunta Regione Puglia n. 1314 del 02/08/2003.

Lo strumento di pianificazione classifica l'area quale **Zona Agricola E**, pienamente compatibile con le opere in progetto.

Comune di Trinitapoli: Piano Regolatore Generale (PRG) approvato con Deliberazione della Giunta Regionale n. 1287 del 04.08.2004, e n. 641 del 19.04.2005.

Lo strumento di pianificazione classifica l'area quale **Zona Agricola E3 "Area coltivata a media produttività"**, pienamente compatibile con le opere in progetto.

3. Caratterizzazione geologica e strutturale

Dal rilevamento geologico condotto in situ e nelle aree adiacenti, dalle risultanze delle ricerche bibliografiche, dalla consultazione della carta geologica e dalle indagini condotte sul sito, risulta che le formazioni presenti sul terreno interessato sono di tipo sedimentario marino appartenenti alle unità dell'Avanfossa Bradanica.

L'Avanfossa Bradanica è un bacino di sedimentazione facente parte dell'avanfossa post-messiniana (Avanfossa Adriatica), migrata verso est con diverse fasi deformative tra il Pliocene ed il Pleistocene inferiore. Assieme al peripheral bulgedelle Murge (Avampaese Apulo) costituisce l'espressione e l'effetto strutturale della subduzione litosferica della piattaforma Apula al di sotto della catena Appenninica. Il settore centrale del bacino è caratterizzato da un marcato restringimento dovuto al suo particolare assetto strutturale. A causa di ciò i due margini del bacino si trovano oggi in affioramento a soli 20 km di distanza ed in profondità a soli 1.5 km. I due domini tettonici, convergendo in corrispondenza dell'alto strutturale di Lavello-Banzi, favorirono, infatti, l'arresto della propagazione dei thrusts appenninici in profondità con una conseguente sensibile riduzione dei tassi di subsidenza e dello spazio di accomodamento nel bacino bradanico. Questo evento comportò l'inizio della fase regressiva Pleistocenica di mare basso ed il progressivo colmamento del bacino, sia verso NE (Adriatico) che verso S-SE (Ionio) con la messa in posto di depositi di provenienza appenninica.

L'area di interesse è caratterizzata, nel Foglio 422 – Cerignola della Carta Geologica d'Italia redatta in scala 1:50.000, da una formazione Pleistocenica denominata Sabbie di Torre Quarto (simbolo STQ).

La formazione in affioramento sia nell'area ristretta dell'impianto fotovoltaico che nell'area SET è caratterizzata quindi dalla seguente litologia:

Sabbie di Torre Quarto (STQ): Si tratta prevalentemente di sabbie di colore giallastro, in genere poco cementate, in strati di spessore variabile da pochi centimetri fino a 50 centimetri, con intercalazioni arenitiche, marnose e argilloso-siltose; raramente sono presenti orizzonti costituiti da ciottoli di piccole dimensioni in abbondante matrice sabbiosa. Gli spessori, desumibili dai dati di perforazione in zona, sono di norma compresi fra 25 e 30 metri.

Le sabbie sono laminate con intervalli a laminazione piano parallela ed intervalli con set di lamine a stratificazione incrociata con ripple asimmetrici da correnti trattive. Nelle sabbie sono diffusi i fenomeni di bioturbazione.

Nella zona oggetto di studio si rinvencono in superficie depositi di **caliche (calcrete)**.

Il **caliche** è un deposito indurito di carbonato di calcio; il carbonato di calcio cementa insieme altri materiali litici, come ciottoli di ghiaia, granelli di sabbia e depositi di argilla. Si rinviene nei suoli aridi e molli; è diffuso in tutto il mondo, spesso in regioni aride o semi-aride come l'Australia centrale e occidentale, il deserto del Kalahari e nelle Alti Pianure degli USA.

Di solito è velatamente colorato ma può variare dal bianco al rosa chiaro fino al marrone rossiccio, secondo le impurità presenti. Si trova vicino o sopra la superficie ma si può anche trovare in strati profondi del sottosuolo. Gli strati variano da pochi centimetri a qualche decimetro, ed in un luogo possono esistere strati multipli.

La formazione ha la sua genesi nelle ultime fasi evolutive della Fossa Bradanica, che occupa un'ampia porzione del Tavoliere di Puglia alla quale appartiene.

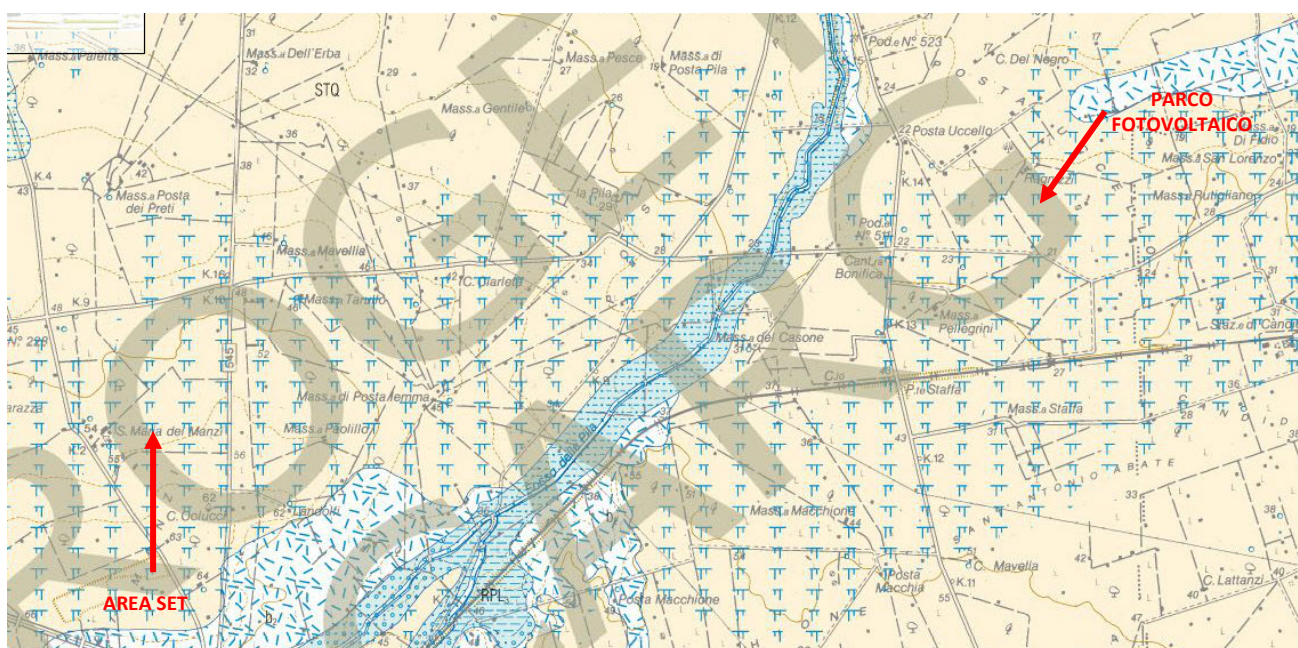


Figura 3 – Carta geologica dell'area di ubicazione dell'Impianto Fotovoltaico e dell'Impianto di connessione alla Rete Elettrica Nazionale SET

4. Caratteristiche strutturali geomorfologiche ed idrogeologiche e vincoli pai

4.1 Aspetto strutturale



Figura 4 – Estratto database ITHACA

Dalla consultazione del database del catalogo delle faglie capaci del sistema ITHACA (ved. Figura soprastante) risulta evidente che l'area del parco è priva di qualsiasi lineazione tettonica classificata.

4.2 Geomorfologia

Area impianto fotovoltaico

L'area su cui sarà realizzato l'impianto fotovoltaico appartiene ad una vasta area pianeggiante a pendenza inferiore a 1° (circa 0,4 %). Le quote sono compresa tra i 18 ed i 22 m (estremo sud dell'area sud) e i 18 m s.l.m. (dell'estremo nord dell'area nord).

La differenza di quota di circa 4 m si dispone su una distanza di circa 900 m tra i due punti

suddetti (leggera pendenza verso Nord).

Dai calcoli effettuati la pendenza dell'area, verso nord, è di circa 0,22°.

La categoria topografica dell'intero sito è T1.



Figura 5 – Area Impianto fotovoltaico

Dall'immagine qui sopra risulta evidente che, a vasta scala, l'area del Parco Fotovoltaico è completamente distribuita in un'area pianeggiante a bassissima pendenza verso nord (0,4 %) e sempre a vasta scala non si notano particolari forme di dissesto estesi e nemmeno particolari aree ristrette importanti prossime ai siti dell'impianto fotovoltaico.

Nella Carta idrogeomorfologica è possibile notare l'assenza di particolari strutture critiche.

Dalla consultazione del Web Gis della Regione Puglia (immagini in basso) l'intera area di interesse è esente da qualsiasi areale classificato a pericolosità geomorfologica e/o idraulica riportate nel Piano di Assetto Idrogeologico – Autorità di Bacino Puglia.



Figura 6.1 - Area di interesse individuata nella cartografia PAI priva di areali a rischio geomorfologico.
In giallo il comune di Cerignola

Dai sopralluoghi effettuati e dalle indagini in situ risulta evidente la bassa pendenza (quasi nulla nelle 2 aree) e le buone caratteristiche di resistenza del terreno con un angolo di attrito interno medio $\phi = 34^\circ$ e l'assenza di falda superficiale.

Il dissesto geomorfologico, quindi, è totalmente assente nell'area dell'Impianto Fotovoltaico.

Nell'area propria dell'Impianto Fotovoltaico non sono stati rilevati corpi frana cartografabili e non sono presenti segni di instabilità in atto o potenziali, in quanto la media delle pendenze locali sono molto basse cioè pari al 0,4% (circa $0,22^\circ$).

Tale situazione geomorfologica induce a valutare un assente grado di Pericolosità geomorfologica dell'area in studio.



Figura 6.2 - Area di interesse individuata nella cartografia PAI – Rischio Idrogeologico, priva di areali a rischio idraulico
In giallo il comune di Cerignola

4.3 Idrografia

L'area a grande scala sulla quale sarà realizzato l'impianto è posta nel contesto dell'area pianeggiante a nord-est della città di Cerignola.

Sempre a vasta area, il bacino principale è caratterizzato dal Fosso La Pila che progredisce verso Nord, dopo aver attraversato in direzione Sud-Nord il centro abitato di Cerignola. La forma dell'area è piuttosto regolare, è sempre pianeggiante e l'area di interesse è posta ad adeguata distanza dallo stesso torrente superiore a 1,8 km.

In tale area, si sviluppa un reticolo idrografico poco diffuso e scarsamente importante e i pochi fossi prossimi all'area di interesse sono classificati nel primo o nel secondo grado dell'ordine di Horton.

Viste le blande pendenze il tipo di deflusso superficiale è abbastanza lento, è la litologia che caratterizza l'area in esame è relativamente ad alta permeabilità.

Le linee di deflusso sono concentrate nelle direzioni di massima pendenza locale dell'area esaminata (verso nord).

4.4 Idrogeologia

La distinzione e il raggruppamento dei terreni affioranti sono dettati dal fatto che la litologia, unitamente a fattori morfologici, climatici ed antropici concorre a determinare l'andamento dei deflussi e conseguentemente tutto il complesso di azioni chimico-fisico-meccaniche di alterazione dei sedimenti. La determinazione delle caratteristiche idrogeologiche scaturisce da una serie di osservazioni volte alla stima di alcuni fattori idraulici ed idrogeologici caratterizzanti le proprietà delle rocce. I parametri che condizionano e regolano la circolazione delle acque nel sottosuolo sono: la permeabilità, la porosità, il grado di fratturazione, le discontinuità strutturali e l'alterazione. Il parametro più rappresentativo è senza dubbio la permeabilità, cioè la proprietà di un mezzo a lasciarsi attraversare dall'acqua. Le rocce permeabili vanno divise in due grandi categorie: rocce permeabili per porosità e rocce permeabili per fessurazione. La permeabilità per porosità è anche detta permeabilità "primaria" ed è singenetica, si genera cioè al momento della deposizione dei sedimenti. Essa interessa le rocce sedimentarie ed è dovuta alla presenza nella roccia di pori o di spazi vuoti di dimensioni idonei, che formano una rete continua, per cui l'acqua può filtrare da un meato all'altro. Viceversa, la permeabilità per fessurazione detta anche "secondaria" è post-genetica, si realizza dopo la formazione delle rocce; essa è dovuta alla fratturazione dei litotipi a causa di stress tettonici prevalentemente compressivi ed interessa sia le rocce di origine sedimentaria che quelle di origine diversa. La circolazione delle acque, così come la costituzione di falde acquifere, è condizionata dalla distribuzione areale dei sedimenti e dalla sovrapposizione stratigrafica dei terreni a diversa permeabilità. Si rende, pertanto, necessaria, la valutazione del grado e del tipo di permeabilità dei diversi litotipi che affiorano all'interno del territorio comunale. Questa proprietà idrologica viene espressa attraverso l'analisi delle caratteristiche fisiche delle formazioni affioranti e mediante l'individuazione degli elementi che ne

interrompono la continuità stratigrafica e strutturale, al fine di giungere ad una suddivisione idrogeologica dei litotipi (ved. Carta Idrogeomorfologica).

A seguito di quanto detto, per meglio comprendere le caratteristiche idrogeologiche delle formazioni in studio, distinguiamo in maggioranza la seguente classe di permeabilità:

- litotipi a alta permeabilità

LITOTIPI A PERMEABILITÀ ALTA (Sabbie - STQ)

A questa classe a granulometria grossolana ed in prevalenza sabbiosa appartengono le Sabbie della formazione di Torre Quarto.

Questa formazione, essendo costituita da sedimenti principalmente sabbiosi, risulta caratterizzate da una permeabilità primaria per porosità ($10^{-4} < K < 10^{-6}$ m/sec), con buone caratteristiche di trasmissività. Tale formazione si riscontra spesso in spessori di diverse decine di metri. Nell'ambito di questi depositi si distinguono orizzonti molto permeabili, dati dai livelli sabbiosi ed orizzonti meno permeabili dati dai livelli con locali lenti argillosi e sedimenti più fini. L'idrologia si sviluppa attraverso una circolazione idrica per falde profonde con deflusso preferenziale dell'acqua nei litotipi a più alta permeabilità.

5. Caratterizzazione geotecnica

5.1 Indagini eseguite

Nell'area in esame sono state eseguite le seguenti indagini (indicate con segnaposto in giallo nella sottostante figura (Prove penetrometriche) e linea bianca (MASW)

- Due prove penetrometriche dinamiche continue con penetrometro DPM,
- Uno stendimento sismici a rifrazione tipo MASW



Figura 7 – Ubicazione indagini Area Impianto Fotovoltaico

INDAGINI CERIGNOLA	COORDINATE INDAGINI WGS84
P1	41.355775, 15.977814
P2	41.358528, 15.979103
MASW 1	41.356986, 15.978486

5.2 Prove Penetrometriche dinamiche continue DPM

Sull'area di interesse sono state eseguite due prove penetrometriche dinamiche continue tipo DPM30.

Le prove sono state ubicate 2 in corrispondenza delle due principali aree interne all'area dell'Impianto fotovoltaico (P1 e P2).

In tutte queste aree affiora in modo omogeneo la litologia prevalente di tipo sabbiosa delle Sabbie di Torre Quarto.

Le prove penetrometriche, delle quali si allegano a parte il risultato, hanno fornito i vari valori di resistenza dinamica del terreno all'attraversamento delle aste. Tale dato è di fondamentale importanza, non solo perché fornisce al progettista la portanza del terreno di fondazione alle varie profondità attraversate, ma anche perché i valori di resistenza sono

utilizzabili in alcune relazioni analitiche che, attraverso una prima correlazione con lo standard delle prova SPT, ci permette di risalire a diversi valori significativi del terreno di fondazione quali:

- il modulo di Poisson,
- i parametri geotecnici principali (Angolo di attrito, Coesione e Peso di Volume),
- i moduli (Young, Edometrico, deformazione di taglio).

Da un'analisi generale delle prove, (per il dettaglio dei parametri si rimanda alla consultazione delle prove penetrometriche in allegato) risultano i seguenti dati:

Prove penetrometriche P1 e P2

Queste 2 prove sono state fatte sulla litologia caratterizzata dalle Sabbie (STQ).

Il terreno di fondazione per tutta l'area in studio è caratterizzato da una formazione a prevalenza sabbiosa per tutti gli spessori indagati: circa 4,10 m (P1) e 3,80 m (P2), profondità oltre le quali si è avuto rifiuto delle aste alla penetrazione.

Le 2 prove hanno dato risultati pienamente compatibili ed omogenei. Dal punto di vista della resistenza le formazioni sono state suddivise in 2 livelli (sia P1 che P2) a resistenza crescente con la profondità (ved. la stima dei parametri geotecnici delle prova) ma tutti litologicamente simili. Complessivamente si hanno soddisfacenti valori di buona resistenza nei due livelli fino al rifiuto alla penetrazione delle aste alle profondità media di circa 4.0 m.

Vista la tipologia della struttura da realizzare ed i carichi indotti, si ritiene che la resistenza offerta già dopo il primo spessore di terreno (inferiore ad 1 metro) possa consentire una buona infissione delle chiodature.

La falda non è stata individuata.

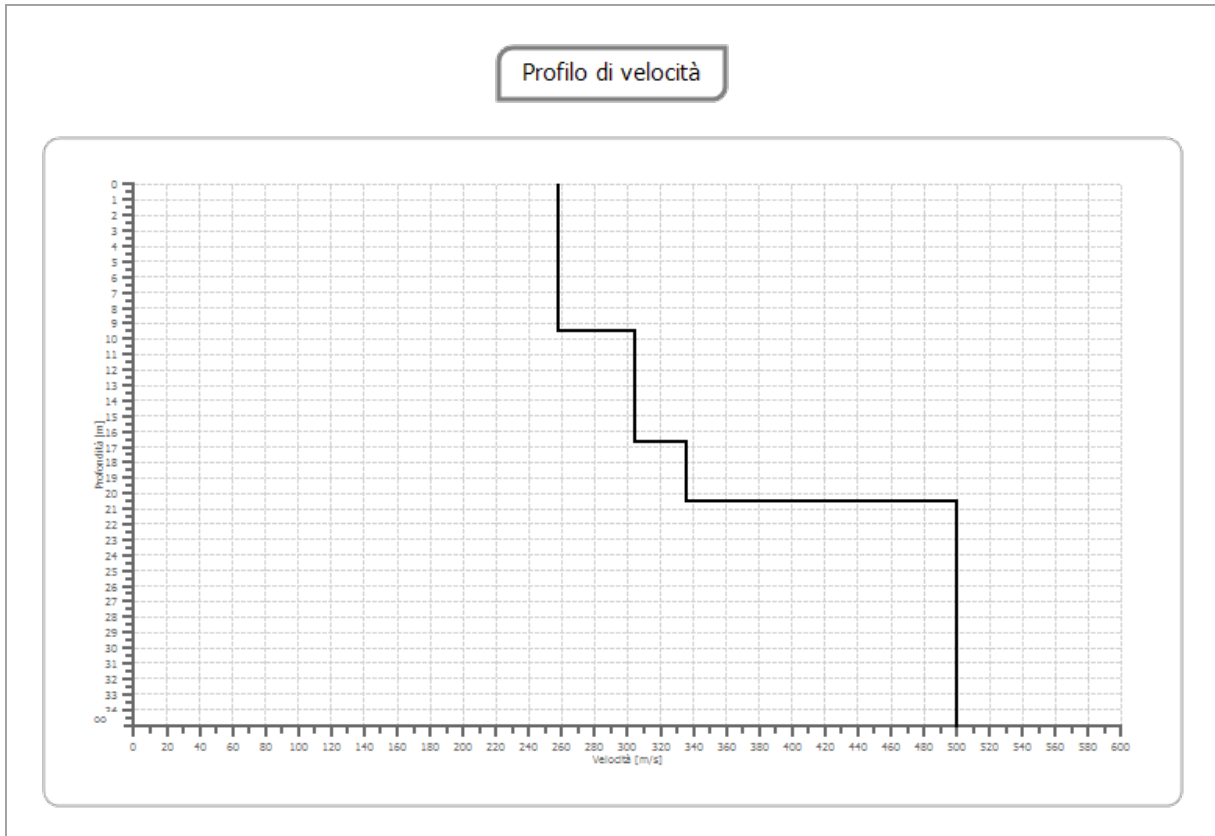
5.3 MASW

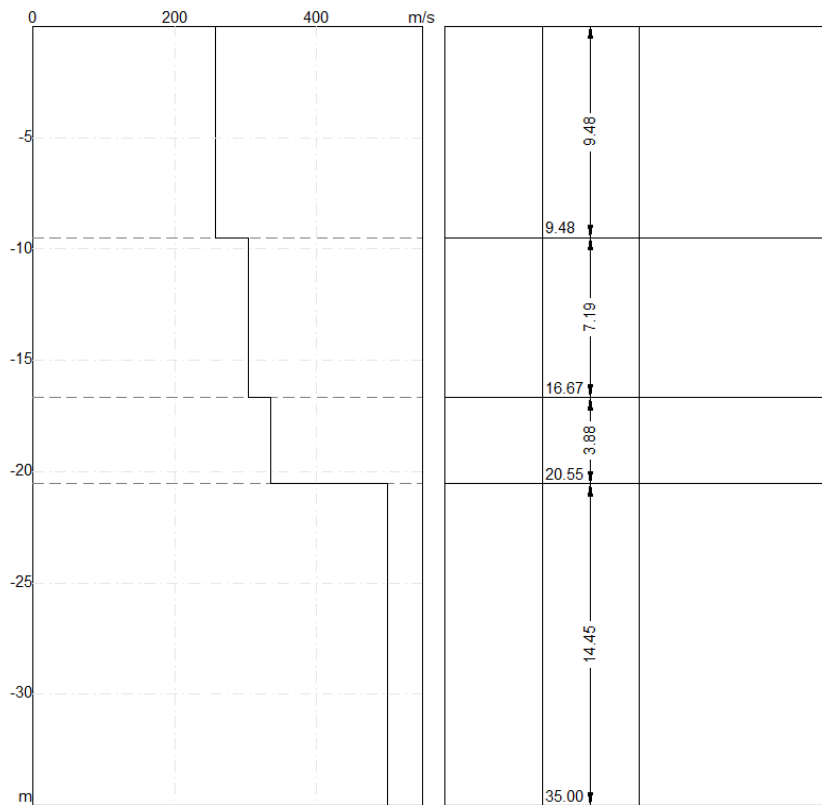
La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che lo

attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Qui di seguito si sintetizzano gli esiti delle indagini compiute sui due siti di interesse, le relazioni complete sono allegare in fondo alla relazione.

MASW 1





Risultati

Profondità piano di posa [m]	0.00
$V_{s,eq}$ [m/sec] (H=30.00 m)	329.92
Categoria del suolo	C
Profondità piano di posa [m]	1.00
$V_{s,eq}$ [m/sec] (H=30.00 m)	336.90
Categoria del suolo	C
Profondità piano di posa [m]	2.00
$V_{s,eq}$ [m/sec] (H=30.00 m)	344.17
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.

5.4 Parametri geotecnici

Allo scopo di individuare le caratteristiche fisico - meccaniche dei materiali di fondazione, è stato fatto riferimento ai valori geomeccanici delle tre prove penetrometriche tipici dell'orizzonte stratigrafico caratterizzato dalla litologia sabbiosa che caratterizzano l'area in oggetto di studio. I valori fisico-meccanici compatibili geotecnicamente sono stati pienamente simili tra le due litologie presenti nell'area.

Considerando quanto appena affermato sulla omogeneità dei terreni è possibile attribuire al terreno di fondazione, i seguenti valori rappresentativi per i primi 4 metri di spessore:

Area Impianto Fotovoltaico

Livello Sabbioso	Profondità base strato	Coesione	Angolo di attrito (Owasaki & Iwasaki)	Peso di volume
A	Media 4, 0 m	0,1 Kg/cmq	$\phi = 34 - 35$	$\gamma = 1.78 - 2,10$ gr/cc
CATEGORIA SISMICA DEI SITI				C (area fotovoltaico)

I valori sopra citati possono servire per la verifica della portanza con il calcolo della formula di vari autori per lo studio della tipologia di fondazione più opportuna.

6. Conclusioni

Il sito che dovrà accogliere le strutture dell'Impianto Fotovoltaico è stato esaminato sotto l'aspetto geologico, geomorfologico, idrogeologico e geotecnico.

Si è constatato che le litologie tipiche dei materiali su cui si realizzeranno le fondazioni delle strutture sono caratterizzate da materiale a prevalenza sabbiosa.

Tutte le aree, dato il loro andamento, sono risultate essere indenni da qualsiasi fenomeno di instabilità geomorfologica, come emerso dalla consultazione degli elaborati del PAI.

La circolazione idrica sotterranea è molto limitata, segue la naturale pendenza del terreno ed è assente in superficie.

Per quanto riguarda le acque meteoriche superficiali, le stesse dovranno essere regimate e smaltite lontano dal sito di interesse.

Concludendo viste le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e geotecniche del terreno di fondazione, si ritiene di esprimere un parere favorevole alla fattibilità del progetto in oggetto.

Cerisano lì 13.06.2022

Dott. Geol. Pasquale GRECO

Studio Geologico di **MARTIRE Eugenio**

Via UMBRIA 7

87046 MONTALTO UFFUGO (CS)

Tel. 3895566768 - geologomartire84@pec.it

Geolo*i*Cal
www.geologicalaltervista.org

OGGETTO

**Progetto definitivo impianto agrivoltaico dotato di
accumulo denominato "Demofonte"**

ELABORATO

RELAZIONE TECNICA SULLE INDAGINI

COMMITTENTE:

Canadian Solar Construction s.r.l.

LOCALITA' ESECUZIONE INDAGINI:

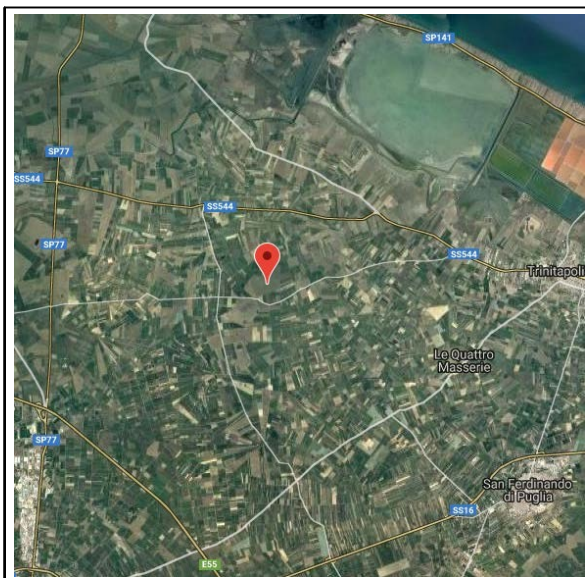
CERIGNOLA (FG)

DATA ESECUZIONE INDAGINI:

22 OTTOBRE 2019

IL TECNICO:

Dott. Geol. Eugenio MARTIRE



INDICE

Descrizione prova penetrometrica.....	2
Elaborazione Prova Penetrometrica P_1.....	9
Elaborazione Prova Penetrometrica P_2.....	13
Elaborazione Indagine MASW M_1.....	19
Repertorio fotografico ed ubicazione delle indagini.....	25

Premessa

Su incarico della Canadian Solar Construction s.r.l., in riferimento al: *Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un impianto fotovoltaico denominato "Demofonte"*, il sottoscritto Geologo Eugenio MARTIRE ha eseguito in data 22/10/2019, una campagna di indagini geognostiche costituita da:

- n° 2 prove penetrometriche dinamiche DPM30
- n° 1 prospezioni sismiche di tipo MASW

Le prove penetrometriche hanno consentito la determinazione della stratigrafia dei litotipi e la determinazione indiretta dei parametri geotecnici del sottosuolo.

Le prospezioni sismiche di tipo MASW hanno consentito di definire la velocità media delle onde S nei primi metri di profondità. La misura delle V_s è di fondamentale importanza per la caratterizzazione del sottosuolo di un sito secondo quanto previsto dalle recenti normative antisismiche (O.P.C.M. 3274/03; O.P.C.M. 3431/05; D.M. 17 gennaio 2018).

Tutte le informazioni di natura tecnica relative alle indagini eseguite unitamente all'interpretazione litologica e stratigrafica non sono commentate nella presente relazione di sintesi.

Descrizione prova penetrometrica dinamica

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

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

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

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

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 sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL)
- tipo MEDIO (DPM)

- tipo PESANTE (DPH)
- tipo SUPERPESANTE (DPSH)

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

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

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (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 $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha = 60-90^\circ$), 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 $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha = 60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A = 10$ cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;
- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)
massa battente $M = 73$ kg, altezza di caduta $H = 0.75$ m, avanzamento $\delta = 30$ cm, punta conica ($\alpha = 60^\circ$), 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 $\delta = 20-30$ cm, punta conica conica ($\alpha = 60^\circ-90^\circ$) diametro $D = 50.5$ mm, area base cono $A = 20$ cm², rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

Correlazione con N_{spt}

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici 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 viene dato da:

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

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 viene 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.

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

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

Rpd = resistenza dinamica punta (area A);
e = infissione media per colpo (δ/N);
M = peso massa battente (altezza caduta H);
P = peso totale aste e sistema battuta.

Calcolo di (N₁)₆₀

(N₁)₆₀ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = C_N \times N_{60} \text{ con } C_N = \sqrt{(Pa/\sigma'_{vo})} \quad C_N < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa (Liao e Whitman 1986)}$$

$$N_{60} = N_{SPT} \times (ER/60) \times C_s \times C_r \times C_d$$

ER/60: Rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.
C_s: Parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
C_d: Funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
C_r: Parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della GeoStru Software.

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 utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenze alla punta.

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono:

Media

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media minima

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Massimo

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Minimo

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Scarto quadratico medio

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media deviata

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media + s

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media - s

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Distribuzione normale R.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt, medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove $s_{N_{spt}}$ è la deviazione standard di N_{spt}

Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

$$N_{spt, k} = N_{spt, medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 mt. ed immersione $d = 1$ mt.

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati N_{spt} il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se N_{spt} dello strato considerato risulta inferiore a N_{spt} critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

Correzione N_{spt} in presenza di falda

$$N_{spt} \text{ corretto} = 15 + 0.5 \times (N_{spt} - 15)$$

N_{spt} è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 mt.; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 mt. per terreni sopra falda e < 8 mt. per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)

- Meyerhof 1956 - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers 1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 mt. sopra falda e < 7 mt. per terreni in falda) $\sigma > 5$ t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
- Malcev 1964 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m. e per valori di angolo di attrito < 38°).
- Schmertmann 1977- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da Dr %.
- Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONALE RAILWAY) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose .
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $s > 15$ t/mq.
- Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie Dr viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC , metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young (E_y)

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .
- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

- Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia
- Buismann-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume Gamma

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Peso di volume saturo

- Terzaghi-Peck 1948-1967

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

- Seed-Idriss 1978-1981 . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio τ e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

Velocità onde di taglio V_s (m/sec)

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

Modulo di deformazione di taglio (G)

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Modulo di reazione (Ko)

- Navfac 1971-1982 - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso .

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson 1983 Q_c

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983.
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con $N_{spt} < 8$, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille mamose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). C_u min-max.
- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi , tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5 , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità , (C_u - N_{spt} -grado di plasticità).
- Schmertmann 1975 C_u (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con $N_c=20$ e $Q_c/N_{spt}=2$.
- Schmertmann 1975 C_u (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata C_u (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità .
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni 1982 , valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson 1983 Q_c

Modulo Edometrico-Confinato (M_o)

- Stroud e Butler (1975) - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970) correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - M_o (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ($N_{spt} < 30$) medie e molli ($N_{spt} < 4$) e argille sabbiose ($N_{spt}=6-12$).

Modulo Di Young (E_y)

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. >15
- D'Appollonia ed altri (1983) - correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

Peso di volume saturo

- Meyerhof ed altri.

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPM (DL030 10) (Medium)

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	30 Kg
Altezza di caduta libera	0.20 m
Peso sistema di battuta	21 Kg
Diametro punta conica	35.68 mm
Area di base punta	10 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	2.9 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.80 m
Avanzamento punta	0.10 m
Numero colpi per punta	N(10)
Coeff. Correlazione	0.761
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60 °

Classificazione ISSMFE (1988) delle sonde Penetrometriche dinamiche

Tipo	Sigla di riferimento	Peso della massa battente in Kg
Leggero	DPL (Light)	M<10
Medio	DPM (Medium)	10<M<40
Pesante	DPH (Heavy)	40<M<60
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	M>60

Elaborazione Prova Penetrometrica P_1

Coordinate WGS 84

Latitudine | 41.355775
Longitudine | 15.977814

Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)
Prova eseguita in data 22/10/19
Profondità prova 4.10 mt
Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Nr. Colpi Rivestimento	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.10	3	0	0.857	8.58	10.02	0.43	0.50
0.20	4	0	0.855	11.42	13.36	0.57	0.67
0.30	5	0	0.853	14.24	16.70	0.71	0.83
0.40	6	0	0.851	17.05	20.04	0.85	1.00
0.50	20	0	0.799	53.36	66.79	2.67	3.34
0.60	23	0	0.747	57.38	76.81	2.87	3.84
0.70	21	0	0.745	52.26	70.13	2.61	3.51
0.80	23	0	0.743	57.09	76.81	2.85	3.84
0.90	23	0	0.742	54.05	72.89	2.70	3.64
1.00	23	0	0.740	53.92	72.89	2.70	3.64
1.10	24	0	0.738	56.13	76.06	2.81	3.80
1.20	24	0	0.736	56.00	76.06	2.80	3.80
1.30	23	0	0.735	53.54	72.89	2.68	3.64
1.40	25	0	0.733	58.06	79.23	2.90	3.96
1.50	25	0	0.731	57.93	79.23	2.90	3.96
1.60	24	0	0.730	55.49	76.06	2.77	3.80
1.70	23	0	0.728	53.06	72.89	2.65	3.64
1.80	26	0	0.726	59.85	82.39	2.99	4.12
1.90	26	0	0.725	56.81	78.39	2.84	3.92
2.00	24	0	0.723	52.33	72.36	2.62	3.62
2.10	25	0	0.722	54.40	75.38	2.72	3.77
2.20	25	0	0.720	54.28	75.38	2.71	3.77
2.30	24	0	0.719	52.00	72.36	2.60	3.62
2.40	26	0	0.717	56.22	78.39	2.81	3.92
2.50	25	0	0.716	53.95	75.38	2.70	3.77
2.60	26	0	0.714	55.99	78.39	2.80	3.92
2.70	26	0	0.713	55.88	78.39	2.79	3.92
2.80	28	0	0.711	60.06	84.42	3.00	4.22
2.90	28	0	0.710	57.17	80.51	2.86	4.03
3.00	29	0	0.709	59.09	83.39	2.95	4.17
3.10	27	0	0.707	54.91	77.64	2.75	3.88
3.20	29	0	0.706	58.87	83.39	2.94	4.17
3.30	27	0	0.705	54.71	77.64	2.74	3.88
3.40	26	0	0.703	52.59	74.76	2.63	3.74
3.50	28	0	0.702	56.53	80.51	2.83	4.03
3.60	28	0	0.701	56.43	80.51	2.82	4.03
3.70	28	0	0.700	56.33	80.51	2.82	4.03
3.80	30	0	0.698	60.25	86.26	3.01	4.31
3.90	32	0	0.647	56.91	87.94	2.85	4.40
4.00	35	0	0.646	62.14	96.18	3.11	4.81
4.10	59	0	0.595	96.45	162.14	4.82	8.11

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
0.4	4.5	15.03	Incoerente - coesivo	0	1.66	1.86	0.03	0.76	3.42	STRATO 1
4.1	25.81	78.03	Incoerente - coesivo	0	2.1	2.31	0.45	0.76	19.64	STRATO 2

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P1

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Terzaghi -Peck	Sanglerat	Terzaghi -Peck (1948)	U.S.D.M .S.M	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begeman n	De Beer
[1] - STRATO 1	3.42	0.40	0.21	0.43	0.15	0.14	0.33	0.45	0.31	0.69	0.17	0.56	0.43
[2] - STRATO 2	19.64	4.10	1.33	2.46	1.00	0.76	1.94	2.34	1.67	2.05	0.98	2.89	2.46

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
[1] - STRATO 1	3.42	0.40	Meyerhof ed altri	1.66
[2] - STRATO 2	19.64	4.10	Meyerhof ed altri	2.10

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
[1] - STRATO 1	3.42	0.40	Meyerhof ed altri	1.86
[2] - STRATO 2	19.64	4.10	Meyerhof ed altri	2.31

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	Intestazione NSPT\$	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] - STRATO 1	3.42	0.40	19.33	45.35	75.18	16.5
[2] - STRATO 2	19.64	4.10	46.94	86.6	87.33	50.69

Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukui 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanes e National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] - STRATO 1	3.42	0.40	3.42	27.98	20.98	28.96	34.39	31	0	<30	22.16	28.03	29.61	23.27
[2] - STRATO 2	19.64	4.10	19.64	32.61	25.61	33.5	31.53	36.96	40.12	30-32	32.16	32.89	43.27	34.82

Modulo di Young (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - STRATO 1	3.42	0.40	3.42	---	27.36	---	---	---
[2] - STRATO 2	19.64	4.10	19.64	316.33	157.12	232.45	327.30	173.20

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - STRATO 1	3.42	0.40	3.42	---	34.49	24.28	53.25
[2] - STRATO 2	19.64	4.10	19.64	117.84	67.81	139.44	125.59

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - STRATO 1	3.42	0.40	3.42	Classificazione A.G.I. 1977	SCIOLTO
[2] - STRATO 2	19.64	4.10	19.64	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO

Modulo di Poisson

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - STRATO 1	3.42	0.40	3.42	(A.G.I.)	0.35
[2] - STRATO 2	19.64	4.10	19.64	(A.G.I.)	0.32

Modulo di reazione Ko

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
[1] - STRATO 1	3.42	0.40	3.42	Navfac 1971-1982	0.61
[2] - STRATO 2	19.64	4.10	19.64	Navfac 1971-1982	3.99

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

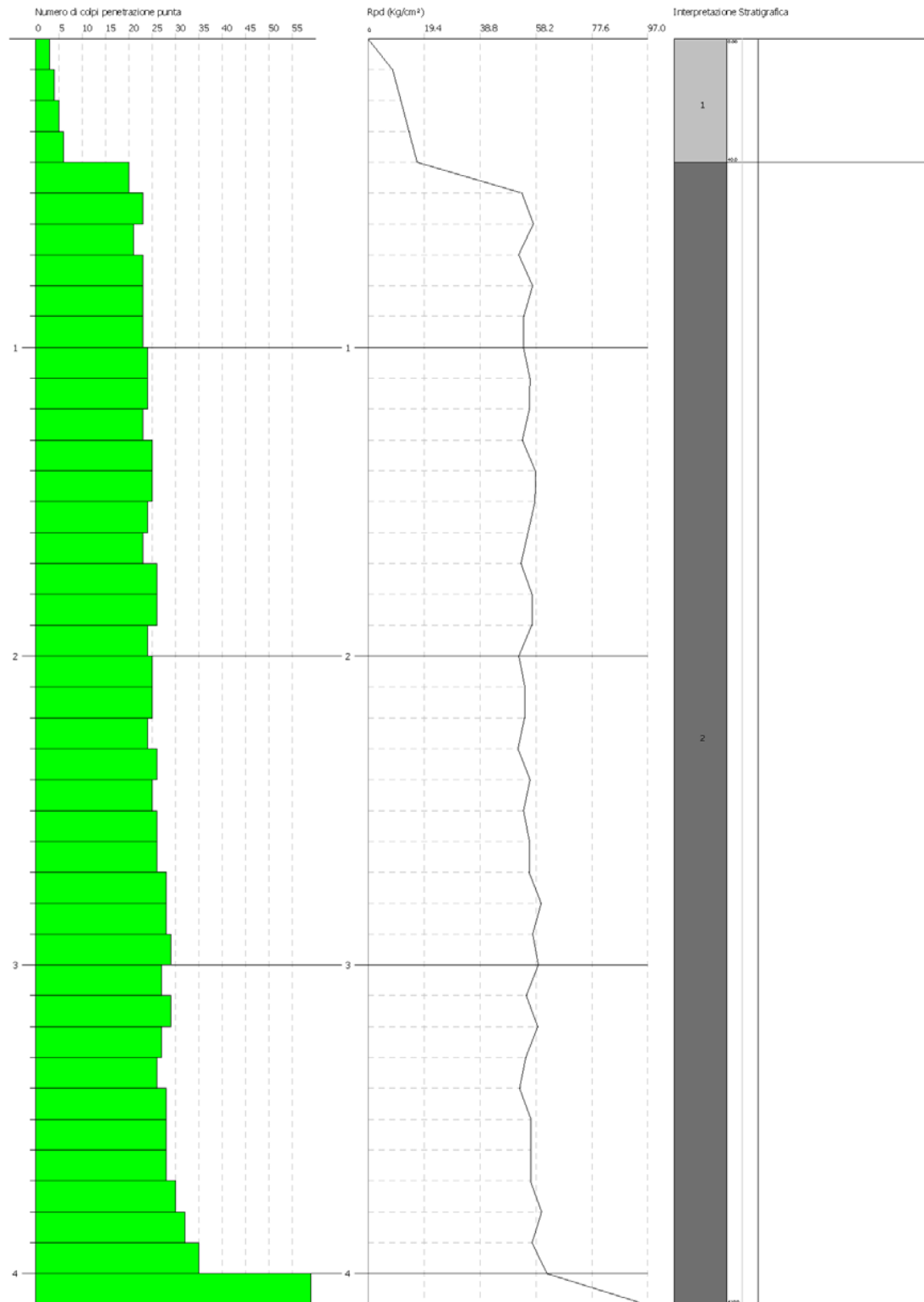
	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - STRATO 1	3.42	0.40	3.42	Robertson 1983	6.84
[2] - STRATO 2	19.64	4.10	19.64	Robertson 1983	39.28

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P1
Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)

Committente:
Cantiere
Località: CIRIGNOLA (FG)

Data: 22/10/2019

Scala 1:17



Elaborazione Prova Penetrometrica P_2

Coordinate WGS 84

Latitudine | 41.358528
Longitudine | 15.979103

Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)
Prova eseguita in data 22/10/19
Profondità prova 3.80 mt
Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Nr. Colpi Rivestimento	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.10	1	0	0.857	2.86	3.34	0.14	0.17
0.20	4	0	0.855	11.42	13.36	0.57	0.67
0.30	5	0	0.853	14.24	16.70	0.71	0.83
0.40	25	0	0.751	62.68	83.49	3.13	4.17
0.50	24	0	0.749	60.02	80.15	3.00	4.01
0.60	25	0	0.747	62.37	83.49	3.12	4.17
0.70	26	0	0.745	64.70	86.83	3.24	4.34
0.80	26	0	0.743	64.54	86.83	3.23	4.34
0.90	27	0	0.742	63.45	85.56	3.17	4.28
1.00	25	0	0.740	58.61	79.23	2.93	3.96
1.10	23	0	0.738	53.79	72.89	2.69	3.64
1.20	24	0	0.736	56.00	76.06	2.80	3.80
1.30	24	0	0.735	55.87	76.06	2.79	3.80
1.40	25	0	0.733	58.06	79.23	2.90	3.96
1.50	26	0	0.731	60.25	82.39	3.01	4.12
1.60	26	0	0.730	60.11	82.39	3.01	4.12
1.70	27	0	0.728	62.28	85.56	3.11	4.28
1.80	27	0	0.726	62.15	85.56	3.11	4.28
1.90	28	0	0.725	61.18	84.42	3.06	4.22
2.00	28	0	0.723	61.05	84.42	3.05	4.22
2.10	28	0	0.722	60.92	84.42	3.05	4.22
2.20	29	0	0.720	62.97	87.44	3.15	4.37
2.30	24	0	0.719	52.00	72.36	2.60	3.62
2.40	26	0	0.717	56.22	78.39	2.81	3.92
2.50	27	0	0.716	58.26	81.41	2.91	4.07
2.60	28	0	0.714	60.30	84.42	3.01	4.22
2.70	28	0	0.713	60.18	84.42	3.01	4.22
2.80	27	0	0.711	57.91	81.41	2.90	4.07
2.90	28	0	0.710	57.17	80.51	2.86	4.03
3.00	26	0	0.709	52.98	74.76	2.65	3.74
3.10	28	0	0.707	56.95	80.51	2.85	4.03
3.20	28	0	0.706	56.84	80.51	2.84	4.03
3.30	28	0	0.705	56.74	80.51	2.84	4.03
3.40	29	0	0.703	58.65	83.39	2.93	4.17
3.50	30	0	0.702	60.57	86.26	3.03	4.31
3.60	31	0	0.651	58.02	89.14	2.90	4.46
3.70	33	0	0.650	61.64	94.89	3.08	4.74
3.80	53	0	0.598	91.20	152.40	4.56	7.62

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
0.3	3.33	11.13	Incoerente - coesivo	0	1.6	1.86	0.02	0.76	2.53	STRATO 1
3.8	26.88	82.33	Incoerente - coesivo	0	2.1	2.1	0.42	0.76	20.46	STRATO 2

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P2

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Terzaghi -Peck	Sanglerat	Terzaghi -Peck (1948)	U.S.D.M .S.M	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begeman n	De Beer
[1] - STRATO 1	2.53	0.30	0.16	0.32	0.15	0.10	0.24	0.33	0.23	0.62	0.13	0.42	0.32
[2] - STRATO 2	20.46	3.80	1.38	2.56	1.00	0.79	2.03	2.47	1.73	2.13	1.02	3.08	2.56

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
[1] - STRATO 1	2.53	0.30	Meyerhof ed altri	1.60
[2] - STRATO 2	20.46	3.80	Meyerhof ed altri	2.10

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
[1] - STRATO 1	2.53	0.30	Meyerhof ed altri	1.86
[2] - STRATO 2	20.46	3.80	Meyerhof ed altri	2.10

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	Intestazione NSPT\$	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] - STRATO 1	2.53	0.30	14.37	39.26	70.87	13.94
[2] - STRATO 2	20.46	3.80	48.68	89.94	91.19	51.91

Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] - STRATO 1	2.53	0.30	2.53	27.72	20.72	28.71	34.6	30.61	0	<30	21.16	27.76	27.01	22.11
[2] - STRATO 2	20.46	3.80	20.46	32.85	25.85	33.73	31.8	37.21	40.59	30-32	32.52	33.14	43.77	35.23

Modulo di Young (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - STRATO 1	2.53	0.30	2.53	---	20.24	---	---	---
[2] - STRATO 2	20.46	3.80	20.46	322.87	163.68	242.13	333.45	177.30

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - STRATO 1	2.53	0.30	2.53	---	32.66	17.96	49.28
[2] - STRATO 2	20.46	3.80	20.46	122.76	69.49	145.27	129.25

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - STRATO 1	2.53	0.30	2.53	Classificazione A.G.I. 1977	SCIOLTO
[2] - STRATO 2	20.46	3.80	20.46	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO

Modulo di Poisson

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - STRATO 1	2.53	0.30	2.53	(A.G.I.)	0.35
[2] - STRATO 2	20.46	3.80	20.46	(A.G.I.)	0.31

Modulo di reazione Ko

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
[1] - STRATO 1	2.53	0.30	2.53	Navfac 1971-1982	0.40
[2] - STRATO 2	20.46	3.80	20.46	Navfac 1971-1982	4.13

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

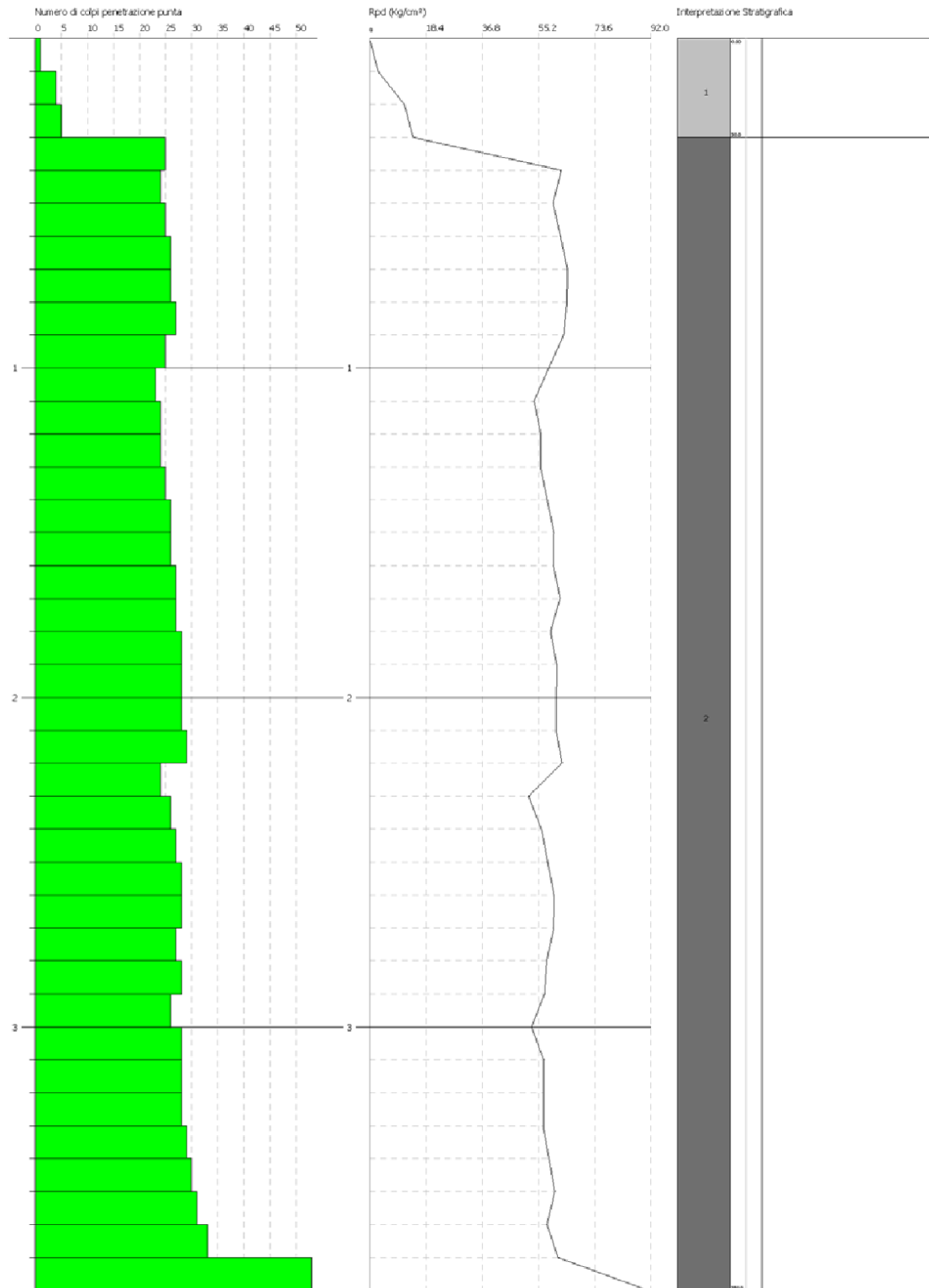
	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - STRATO 1	2.53	0.30	2.53	Robertson 1983	5.06
[2] - STRATO 2	20.46	3.80	20.46	Robertson 1983	40.92

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P2
Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)

Committente:
Cantare:
Località: BRIGNOLA (FG)

Data: 22/10/2019

Scala: 1:16



Descrizione indagine geofisica 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.

Moto del segnale sismico

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.

Onde di Rayleigh – "R"

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.

Analisi del segnale con tecnica MASW

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.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

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

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.

Modi di vibrazione

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.

Profondità di indagine

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.

Caratteristiche delle apparecchiature

Per l'esecuzione dell'indagine di sismica, è stato impiegato il seguente sistema di acquisizione:

- Sismografo multicanale Doremi-Sara a 16 bit, rete differenziale RS232 half-duplex multipoint;
- Cavo modulare con 12 canali, 12 geofoni verticali da 4,5Hz, geofono start geospace da 10 Hz;
- Energizzatore costituito da massa battente di 6 Kg e da piastra in polimero;
- Prolunghe e materiale d'uso;
- Misure eseguite da un Geologo "Prospettore Geofisico", coadiuvato da un "Aiuto Prospettore";
- Durante i rilievi si è provveduto a controllare costantemente la qualità dei dati.

L'interpretazione dei dati è stata effettuata analiticamente e con calcolo automatico mediante software Easy MASW distribuito della Geostru Software, attraverso una procedura così descritta:

- ✓ Importazione delle tracce
- ✓ Analisi spettrale
- ✓ Inversione e sviluppo del profilo sismo-stratigrafico
- ✓ Calcolo V_{seq} e categoria del sottosuolo

Elaborazione Indagine MASW M_1

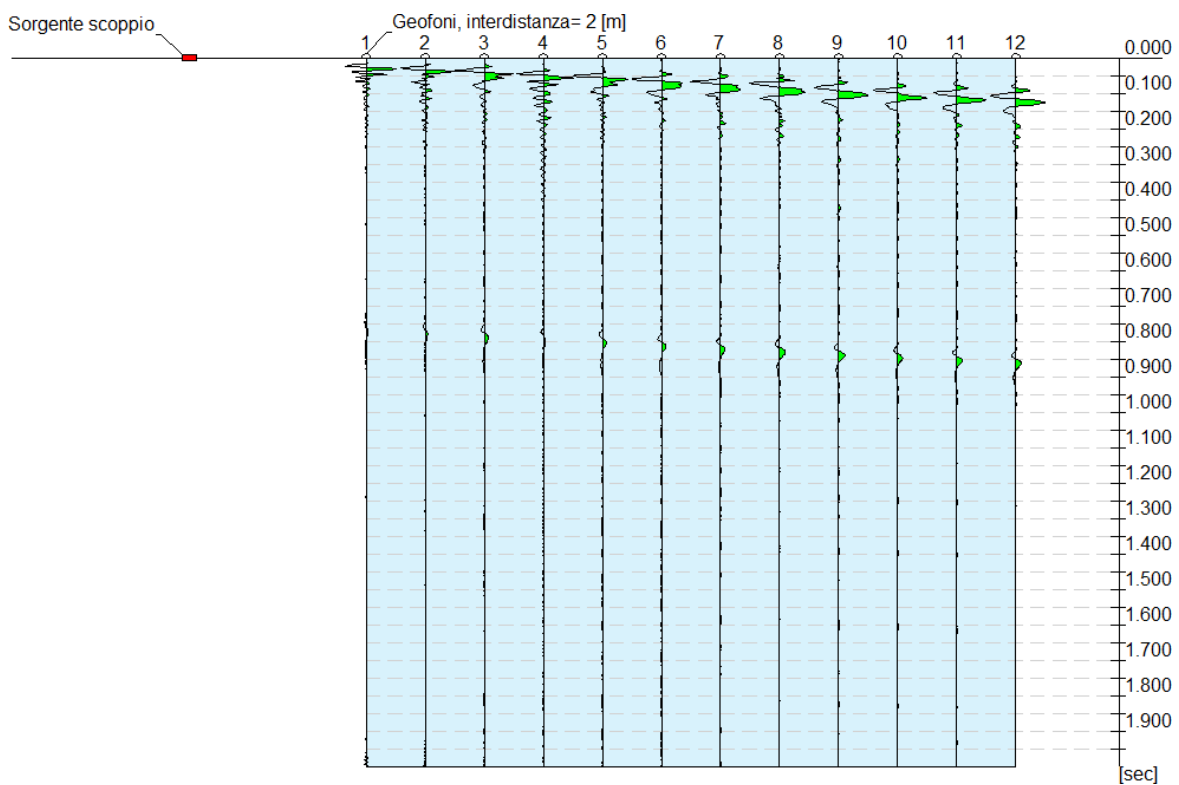
Dati generali

Coordinate WGS 84

Latitudine | 41.356986
Longitudine | 15.978486

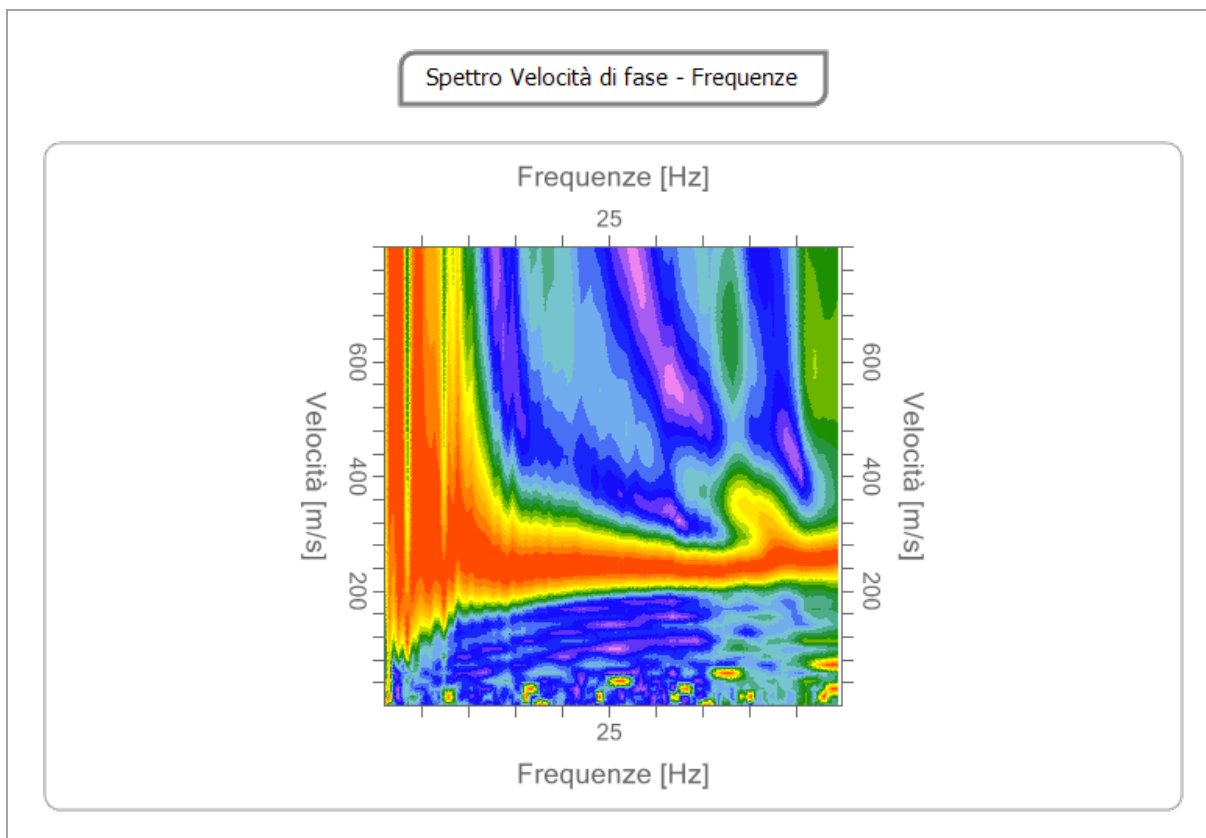
Profilo sismico MASW	
N° canali di registrazione	12
Distanza intergeofonica	2 m
Numero di scoppi	1
Durata	2000 msec
Campionamento	2 msec
Sistema di energizzazione	Massa battente

Interpretazione



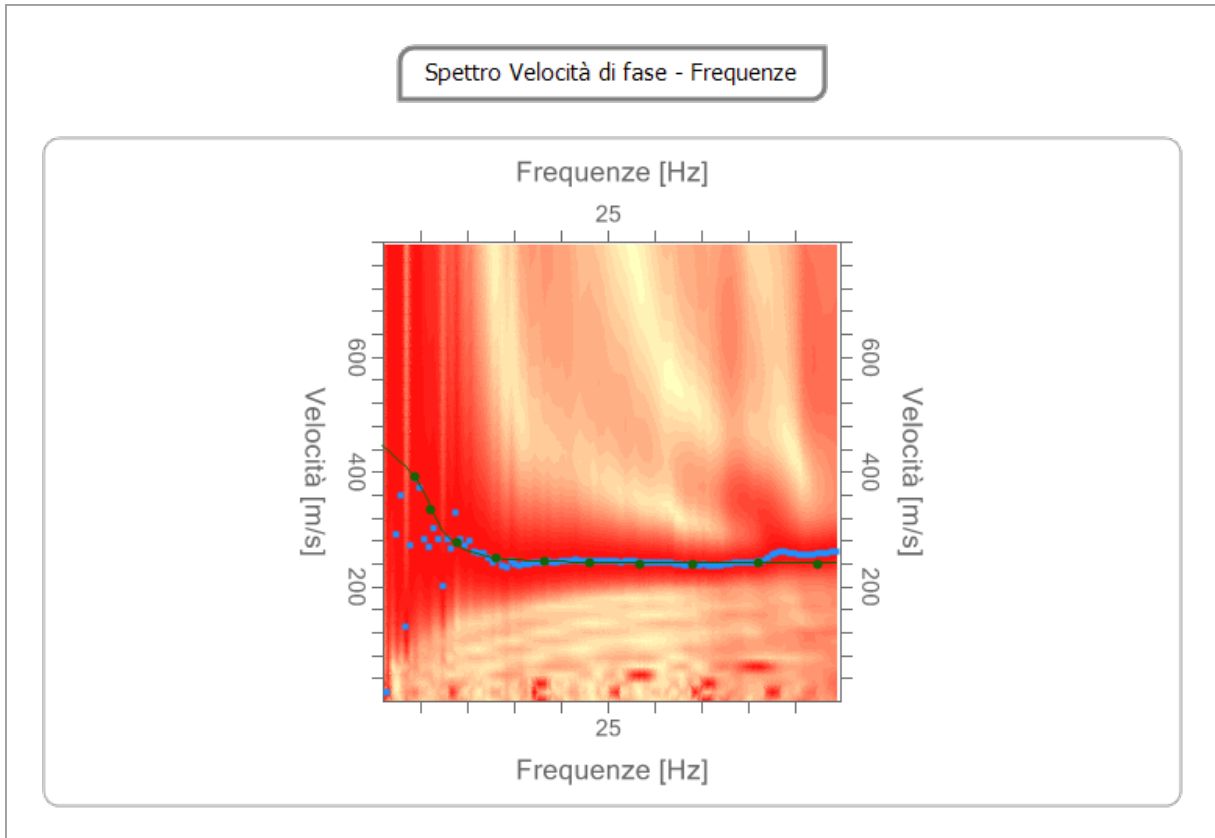
Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	50
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	4.4	390.3	0
2	6.2	334.6	0
3	8.8	276.1	0
4	13.1	249.8	0
5	18.3	243.9	0
6	23.1	241.0	0
7	28.4	238.1	0
8	34.1	238.1	0
9	41.1	241.0	0
10	47.3	238.1	0

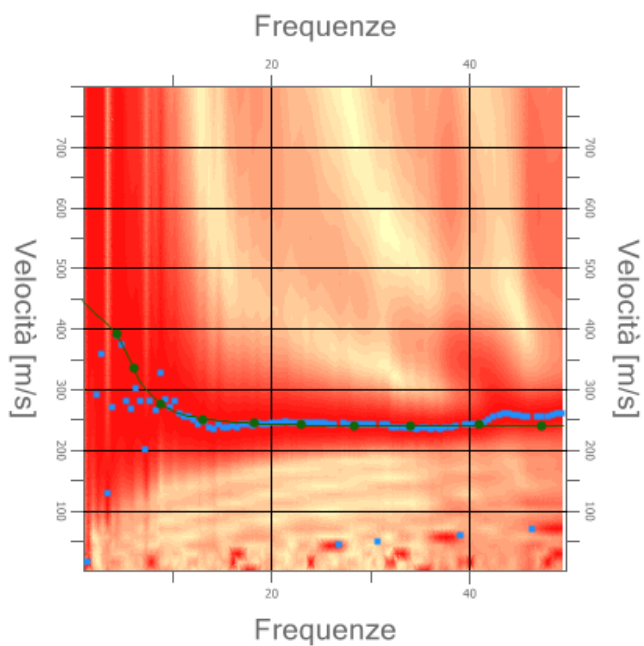


Inversione

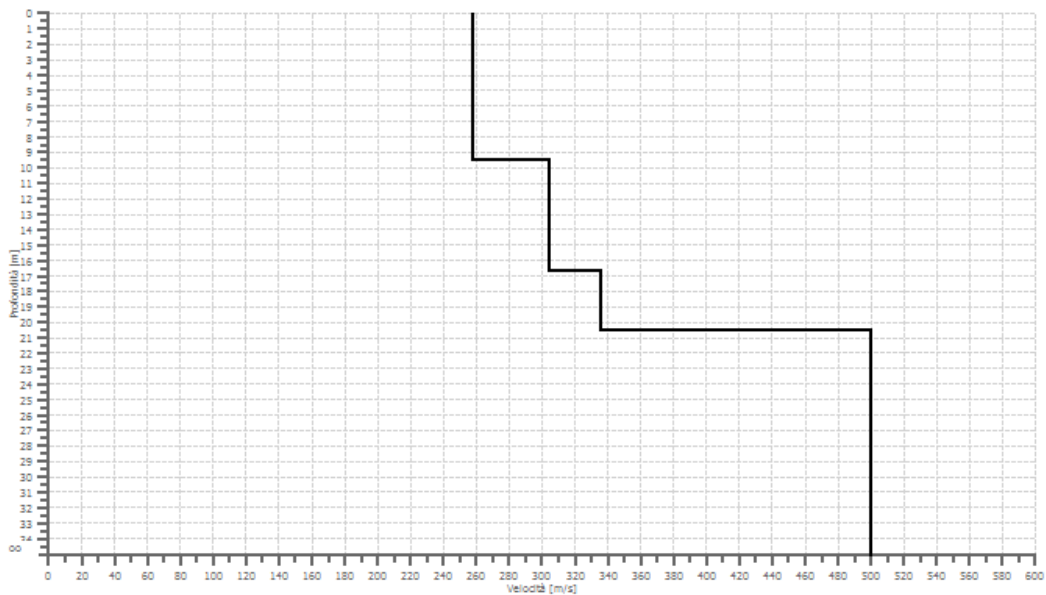
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	9.48	9.48	481.9	257.6
2	16.67	7.19	568.9	304.1
3	20.55	3.88	627.1	335.2
4	35.00	14.45	935.3	500.0

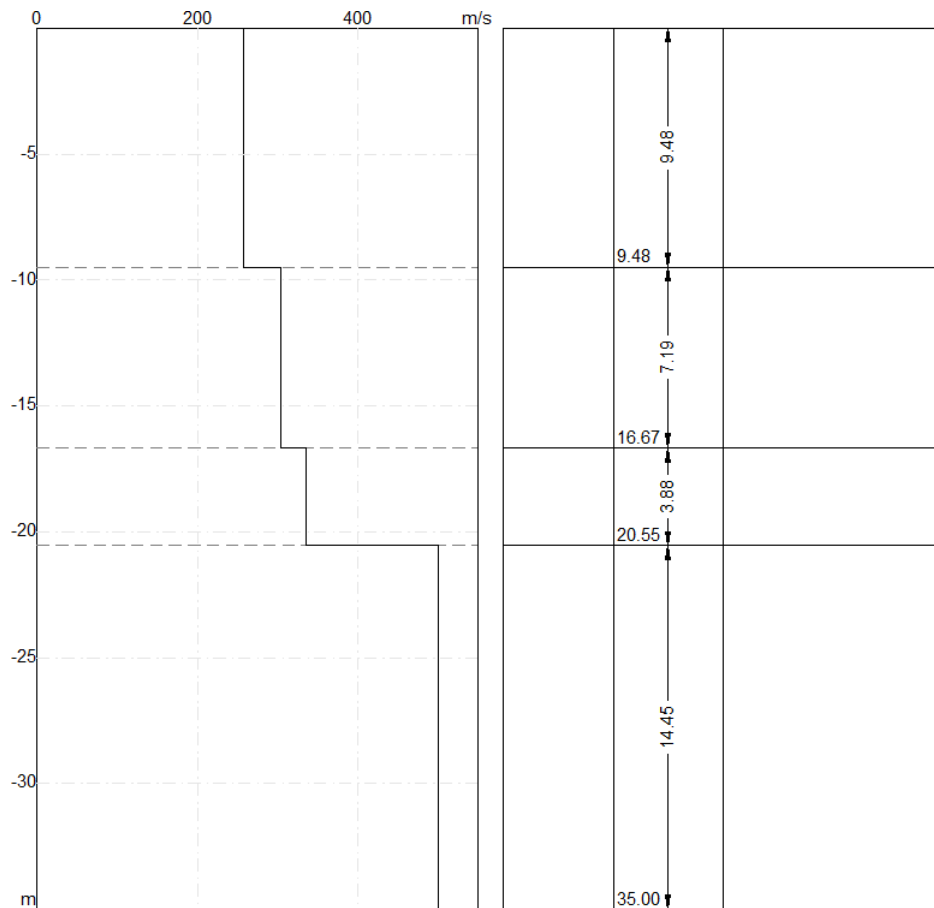
Percentuale di errore 0.002 %
 Fattore di disadattamento della soluzione 0.004

Inversione



Profilo di velocità





Risultati e Caratterizzazione del sottosuolo

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

Dove:

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

Profondità piano di posa [m]	0.00
$V_{S,eq}$ [m/sec] (H=30.00 m)	329.92
Categoria del suolo	C

Profondità piano di posa [m]	1.00
$V_{S,eq}$ [m/sec] (H=30.00 m)	336.90
Categoria del suolo	C

Profondità piano di posa [m] | 2.00
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m) | 344.17
Categoria del suolo | C

Categorie	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
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.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Repertorio fotografico ed ubicazione delle indagini



Prova Penetrometrica P_1



Prova Penetrometrica P_2



Stendimento sismico di tipo MASW M_1

Montalto Uffugo, 25-11-2019

Il tecnico

Eugen Montecchi