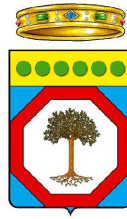


Comune
di
San Severo



Regione
Puglia



Provincia
di
Foggia



Proponente:



Sede Legale:
San Severo (FG) via F. Turati n.32
P.IVA 04300760719
Tel./Fax: 0882.603948
pec: progenergy-solar-plant4@pecaruba.it



Titolo del Progetto:

PROGETTO DI UN IMPIANTO DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE FOTOVOLTAICA DELLA POTENZA NOMINALE DI 19,051 MWp DENOMINATO "RUSSI" INTEGRATO CON PIANTE DI MELOGRANO

Documento:	PROGETTO DEFINITIVO	Cod. Pratica:	SAK3QE8	Cod. interno:	DOC.08
Elaborato:	<h1>RELAZIONE GEOLOGICA</h1>			SCALA:	n.d.
				FOGLIO:	1 di 49
				FORMATO:	A4

Nome File:	SAK3QE8_RelazioneGeologica				
Progettista:	dott. ing. Saverio LIOCE	Consulente:	dott. geol. Giuseppe Pasquale LONGO		

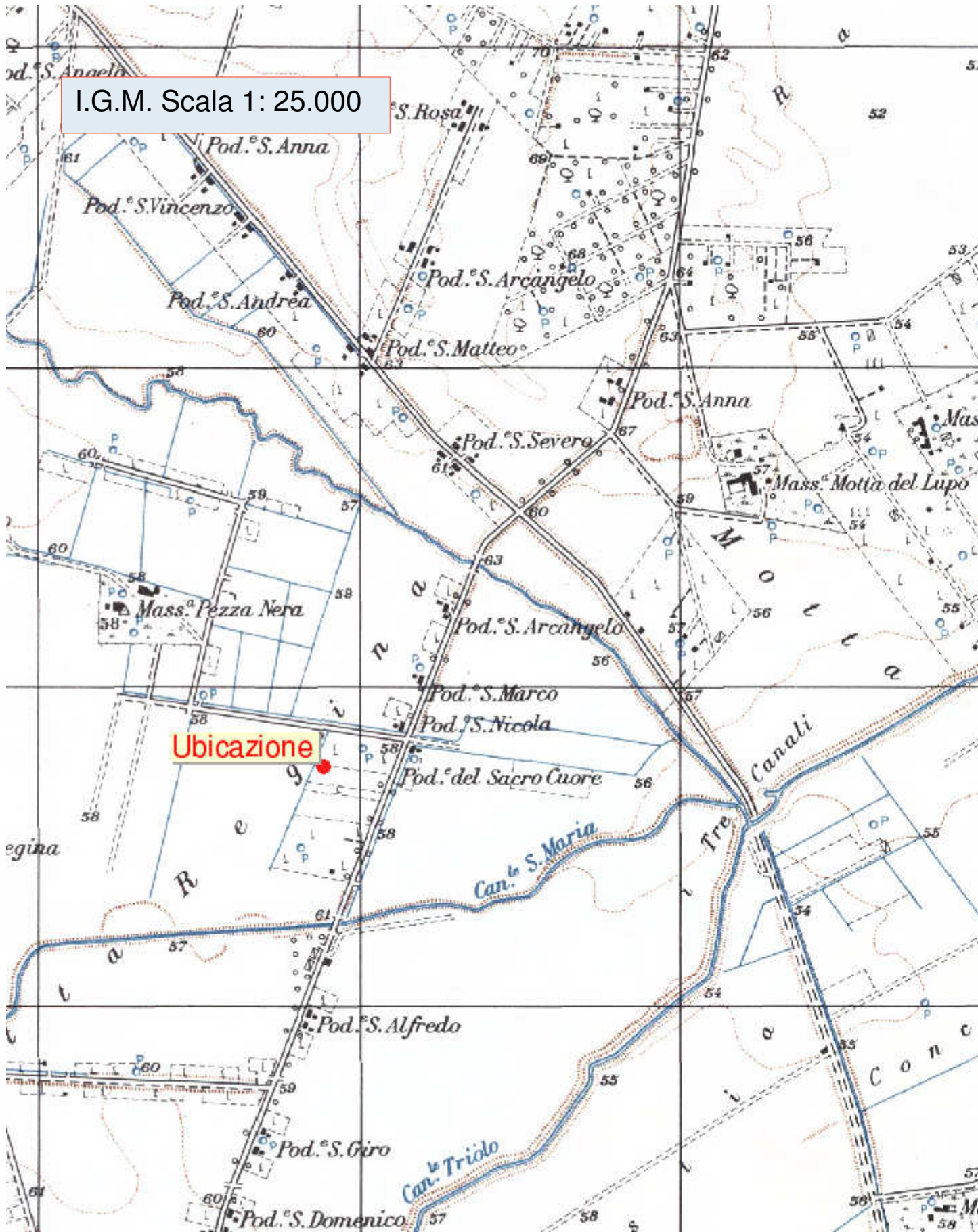
00	Sett. 2021	Istanza V.I.A. al Ministero della Transizione Ecologica	P. G. Longo	S. Lioce	S. Lioce
Rev.	Data	Descrizione Modifiche	Redatto	Controllato	Approvato

PREMESSA

La presente relazione geologica concerne lo studio del sito fondazionale per la realizzazione di un impianto di energia da fonte solare fotovoltaica della potenza nominale di 19,051 MWp denominato “Russi”, integrato con piante di melograno, ubicato in agro del Comune di San Severo al foglio n° 125 particelle nn. 53 – 54 – 55 – 56 – 57 – 58 – 59 – 60 – 61 – 62 – 63 – 64 – 65 – 66 – 67 -68 – 69 – 70 – 71 – 72 – 28 – 37 – 49 – 50 – 51 – 52 – 101 – 168 – 264 – 219 – 105 – 109 – 129 – 131 – 175 – 211 – 174 – 213 – 108 – 251 – 249 – 195 – 194 – 196 – 201 – 192 – 22 – 41, su commissione della Progenergy Solar Plant 4 Srl.

Insieme alla committenza è stata effettuata una prima escursione per constatare lo stato dei luoghi e per delimitare l’area interessata dalla sagoma della struttura. In seguito, oltre allo studio dell’area interessata, sono stati effettuati altri sopralluoghi e rilievi anche nelle aree limitrofe, in modo da avere una visione globale del territorio. L’indagine eseguita in ottemperanza alle normative vigenti ([D.M. 17 Gennaio 2018](#)) ha avuto lo scopo di accertare l’idoneità del sito fondazionale dal punto di vista geologico e geotecnico, individuando le caratteristiche lito-stratigrafiche, geomorfologiche e idrogeologiche del sito, nonché il comportamento meccanico dei litotipi presenti in relazione ai carichi da applicare con l’opera in oggetto.

I.G.M. Scala 1: 25.000



MEZZI D'INDAGINE

La metodologia usata per la buona riuscita dello studio, si è articolata in più fasi:

- 1) acquisizione dati dalla letteratura a disposizione;
- 2) approfondimento mediante un dettagliato rilevamento geomorfologico di superficie;
- 3) prove dirette effettuate tramite l'esecuzione di prova penetrometrica dinamica;
- 4) prova geosismica in sito;
- 5) analisi ed elaborazione dei dati ottenuti.

RILEVAMENTO GEOMORFOLOGICO

I terreni oggetto del presente studio sono cartografati nel foglio 155 (San Severo) della Carta Geologica d'Italia alla scala 1 : 100.000.

L'area oggetto dell'indagine può considerarsi parte integrante delle formazioni sedimentarie terrigene dell'avanfossa bradanica, che costituiscono anche l'ossatura essenziale del Tavoliere.

La sinclinale bradanica rappresenta un'area ribassata per motivazioni tettoniche e quindi una struttura a graben. Nella depressione si sono perciò accumulati e depositati sedimenti terrigeni legati fundamentalmente al ciclo sedimentario regressivo-trasgressivo del Calabriano.

Durante la fase regressiva, l'abbassamento del livello del mare ha instaurato processi erosivi da parte di corsi d'acqua e relativo trasporto solido dalla catena subappenninica alla costa, con conseguenziale formazione di depositi conglomeratici a matrice essenzialmente sabbiosa e ghiaia sabbiose in alternanza a sabbie più o meno limose con componente argillosa.

Tali depositi si sovrappongono a formazioni argillose Plioceniche, che a loro volta presentano al letto formazioni calcarenitiche e carbonatiche, costituenti il substrato Mesozoico.

Le formazioni terrigene Quaternarie, che rappresentano generalmente il materiale di copertura, non presentano una ben definita concordanza di facies, ma si trovano molto spesso in alternanza con depositi argillosi-sabbiosi in conseguenza della loro origine marina e continentale. Nelle linee generali i depositi del Tavoliere possono essere considerati come depositi sedimentari provenienti da apporti fluviali rielaborati successivamente dall'azione del mare pleistocenico in regressione. Tali fasi regressive intervallate da sporadiche e limitate trasgressioni marine producevano anche la formazione di ambienti di tipo lagunare o palustre, cioè di acque basse e calme, dove prevaleva la sedimentazione di particelle più o meno fini. Per tale dinamica spesso è possibile trovare intercalazioni lentiformi e stratiformi di argilla più o meno sabbiose e sabbie con componente argillosa molto variabile. Generalmente si riscontra in superficie la presenza di una crosta evaporitica, quale prodotto di decalcificazione di materiali terrigeni. Lo spessore di detta crosta risulta molto variabile, potendo oscillare da pochi centimetri a 1-2 metri.

MORFOLOGIA DELL'AREA

Dal punto di vista morfologico l'area si presenta abbastanza pianeggiante, con quote rispetto al livello del mare pari a circa 59,00 metri.

Una attenta osservazione sul terreno non ha evidenziato segni di movimenti in atto e/o in preparazione.

Non sono state rilevate faglie né altre discontinuità superficiali.

SISMICITA' DELL'AREA

Dall'esame della storia sismica dell'Italia meridionale, che è stato possibile analizzare dall'anno zero fino ai nostri giorni, è risultato che il territorio di San Severo è stato interessato da numerosi fenomeni sismici. Dall'analisi dei dati si è potuto accertare che gli epicentri dei terremoti più significativi sono localizzati nell'Alto tavoliere, nel Gargano e in Irpinia.

Dai dati rilevati dal CNR, si è constatato che dalla fine del Pleistocene tutta l'area del Tavoliere e fino al mar Adriatico è stata interessata da un sollevamento generale. I movimenti di natura disgiuntiva, sono avvenuti anche in tempi recenti. Si è constatato che i fenomeni tellurici sono in tutta la zona, a partire dal 1400, di intensità decrescente.

IDROGEOLOGIA

La serie idrogeologica locale, definita fino a profondità significative in relazione al tipo di studio in atto, è costituito da due grossi complessi stratigrafici, il primo raggiunge profondità di circa 50,00 metri il secondo dal limite inferiore del precedente, giunge fino alla profondità di circa 600,00 metri dal piano campagna, livello corrispondente al tetto delle rocce carbonatiche.

Il complesso idrogeologico più superficiale comprende i depositi continentali e marini di età plio-pleistocenici.

Considerando la variabilità litologica di questo complesso, i parametri idrogeologici variano in un range piuttosto ampio.

La nostra area di studio, presenta una granulometria dei terreni che va da 0,10 a 0,25 mm. La porosità totale può considerarsi variabile dal 25 al 40% e la porosità efficace compresa tra il 5° e il 20%.

Il tipo di permeabilità e per porosità.

Il coefficiente di porosità varia da un minimo di 10^{-8} cm/sec per i terreni più argillosi ad un massimo di 10^{-3} cm/sec per i terreni a grana più grossa.

La presenza, a breve profondità, di strati lentiformi a granulometria fine, dà luogo a falde sospese superficiali.

Il complesso sottostante, o complesso argilloso, corrisponde alla formazione delle argille grigio-azzurre che a diverse profondità inglobano strati sabbiosi, sedi di falde artesiane. Il tipo di permeabilità è per porosità; tuttavia essendo la porosità inferiore a 10^{-8} cm/sec, tale complesso può considerarsi impermeabile.

IDROGRAFIA

L'idrografia superficiale nell'area non è molto pronunciata, infatti ad esclusione del Canale Santa Maria che scorre in adiacenza al nostro sito di studio, scarsi sono i corsi d'acqua degni di nota.

Causa la presenza di suddetto canale, l'Autorità di Bacino della Regione Puglia fa rientrare parte della superficie interessata dal progetto tra le aree ad alto rischio idraulico.

In passato, almeno per tempi umani, detto canale non ha mai sversato le sue acque fuori dai suoi argini, almeno nel tratto che costeggia il nostro sito; solo studi effettuati con programmi che prevedono tempi di ritorno molto lunghi, 200 anni, ritengono possa esserci sversamento delle acque con conseguente allagamento di parte del nostro sito di studio, non tenendo conto che le strutture da realizzare hanno tempi di esercizio molto più brevi rispetto ai tempi di ritorno previsti nel calcolo. Si precisa che i tempi di esercizio delle strutture da realizzare non sono superiori a 20 – 30 anni

AREA DI INTERVENTO

La zona in oggetto è ubicata fuori dall'area urbana di San Severo in un'area caratterizzata da una morfologia decisamente pianeggiante, con quote di circa 59,00 metri sul livello del mare.

L'area di studio è le zone limitrofe non sono interessate da fenomeni di subsidenza per estrazione di liquidi dal sottosuolo.

Allo stato attuale non vi sono, neanche nelle immediate vicinanze scarpate naturali, né tagli artificiali e tutta la zona risulta completamente libera da segni di dissesto in atto.

Non sono state ritrovate faglie né altre discontinuità superficiali.

Considerata la struttura del manufatto e la natura dei litotipi interessati dalle fondazioni, si è proceduto a caratterizzare gli stessi dal punto di vista geomeccanico, avvalendoci di prova diretta effettuata in sito, tramite l'esecuzione di n° 1 penetrometria dinamica effettuata all'incirca nella mezzeria del manufatto oggetto di intervento.

I risultati che scaturiscono da tali tipi di prova vengono generalmente diagrammate prendendo in considerazione il numero di colpi di maglio del peso di 20 chilogrammi necessari all'infissione di dieci centimetri di asta.

Le prove dinamiche, diversamente dalle S.P.T., sono continue e quindi forniscono una visione più completa della consistenza dei materiali dal piano campagna fino alla profondità di investigazione.

Le numerose esperienze condotte con il penetrometro dinamico e le prove S.P.T. evidenziano specifiche correlazioni, per cui è possibile utilizzare tali prove utilizzando la vasta bibliografia esistente sulle S.P.T.

La prova è stata spinta fino alla profondità di 10,00 metri dal piano campagna.

UBICAZIONE PROVE GEOGNOSTICHE

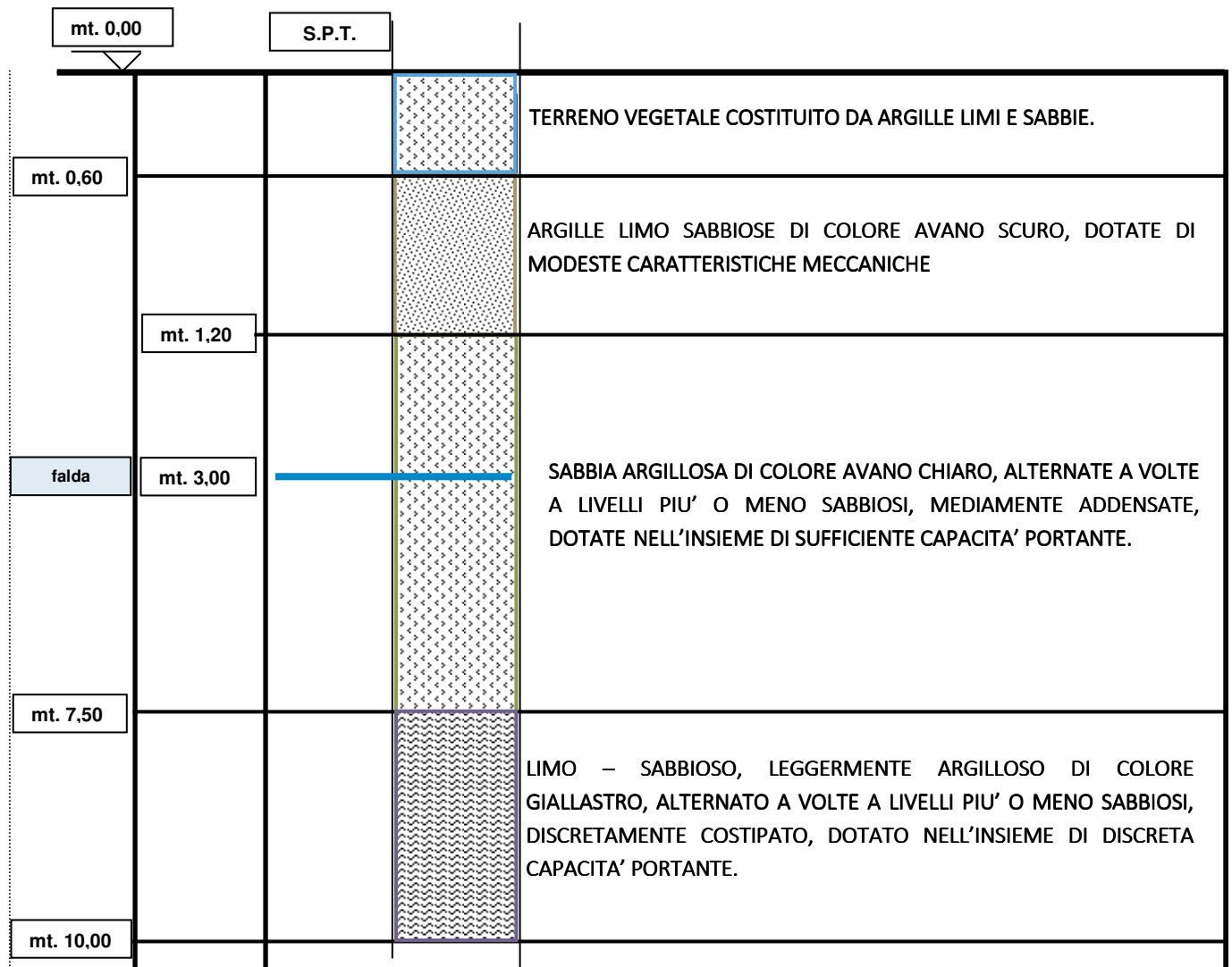
Ubicazione

An aerial photograph showing a patchwork of agricultural fields. The fields are mostly brown, indicating they are plowed or fallow, with some green fields interspersed. A road or canal runs through the center of the image. A red dot is placed on a green field, with a red arrow pointing to it from the label 'Ubicazione'.

STRATIGRAFIA DEL SOTTOSUOLO

PROFONDITA' Metri	DESCRIZIONE FORMAZIONE
0,00 – 0,60	TERRENO VEGETALE COSTITUITO DA LIMO ARGILLE E SABBIE.
0,60 – 1,20	ARGILLE LIMO SABBIOSE DI COLORE AVANO SCURO, DOTATE DI MODESTE CARATTERISTICHE MECCANICHE
1,20 – 7,50	SABBIA ARGILLOSA DI COLORE AVANO CHIARO, ALTERNATE A VOLTE A LIVELLI PIU' O MENO SABBIOSI, MEDIAMENTE ADDENSATE, DOTATE NELL'INSIEME DI SUFFICIENTE CAPACITA' PORTANTE.
7,50 – 30,00	LIMO – SABBIOSO, LEGGERMENTE ARGILLOSO DI COLORE GIALLASTRO, ALTERNATO A VOLTE A LIVELLI PIU' O MENO SABBIOSI, DISCRETAMENTE COSTIPATO, DOTATO NELL'INSIEME DI DISCRETA CAPACITA' PORTANTE.
30,00 – OLTRE	ARGILLE SCURE TENDENTI AL COLORE BLU', COMPLETAMENTE IMPERMEABILI, DOTATE DI BUONE CARATTERISTICHE MECCANICHE.

SCHEMA STRATIGRAFICO



I principali parametri meccanici medi dello strato di terreno posto tra 0,60 e 1,20 metri dal piano campagna sono così definiti:

γ	1,75 t/mc	Peso di volume
\varnothing	20°	Angolo di attrito
C_u	10,00 KPa	Coesione non drenata
K_z	3,00 kg/cm ³	Coefficiente di sottofondo
K_x	1,00 kg/cm ³	Coefficiente di sottofondo
K_y	1,00 kg/cm ³	Coefficiente di sottofondo
C	1,00 KPa	Coesione
E	3 N/mm ²	<i>Modulo edometrico</i>

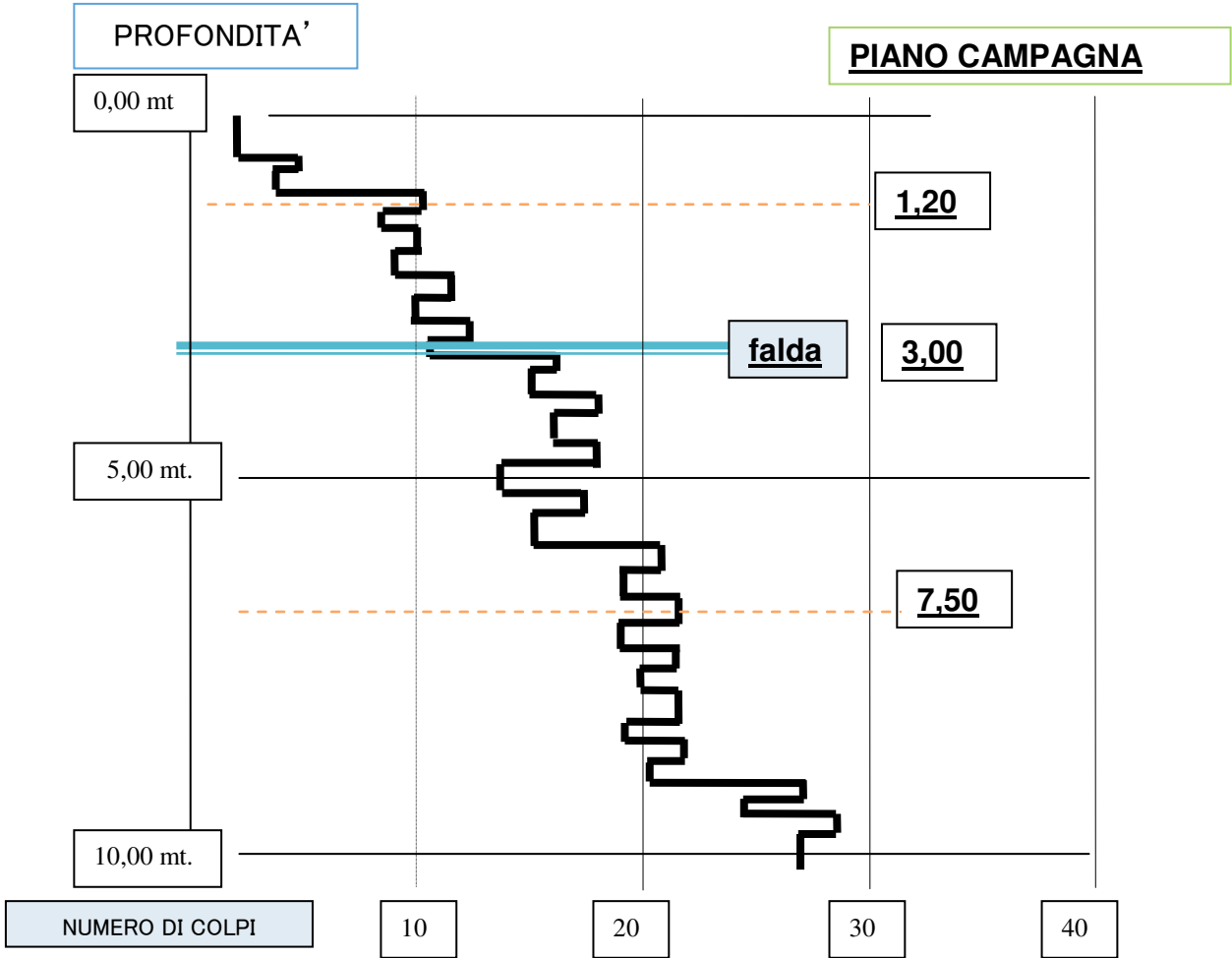
I principali parametri meccanici medi dello strato di terreno posto tra 1,20 e 7,50 metri dal piano campagna sono così definiti:

γ	1,85 t/mc	Peso di volume
ϕ	23°	Angolo di attrito
C_u	20,00 KPa	Coesione non drenata
K_z	3,50 kg/cmc	Coefficiente di sottofondo
K_x	1,00 kg/cmc	Coefficiente di sottofondo
K_y	1,00 kg/cmc	Coefficiente di sottofondo
C	5,00 KPa	Coesione
E	5 N/mm ²	Modulo edometrico
Falda	<i>circa 3,00 mt. p.c.</i>	<i>Profondità falda</i>

I principali parametri meccanici medi dello strato di terreno posto tra 7,50 e 30,00 metri dal piano campagna sono così definiti:

γ	1,90 t/mc	Peso di volume
ϕ	27°	Angolo di attrito
C_u	35,00 KPa	Coesione non drenata
K_z	4,50 kg/cm ²	Coefficiente di sottofondo
K_x	1,00 kg/cm ²	Coefficiente di sottofondo
K_y	1,00 kg/cm ²	Coefficiente di sottofondo
C	5,00 KPa	Coesione
E	5 N/mm ²	<i>Modulo edometrico</i>

PROVA PENETROMETRICA



INDAGINE GEOFISICA

Indagine e strumentazione utilizzata

L'indagine consiste in **uno** stendimento di sismica a rifrazione di lunghezza pari a **23,0** m (Base 1) lungo il quale sono stati disposti e collegati in serie 24 geofoni monocomponente del tipo elettromagnetico a bobina mobile, ovvero dei trasduttori di velocità in grado di tradurre in segnale elettrico la velocità con cui il suolo si sposta al passaggio delle onde sismiche longitudinali, prodotte da una specifica sorgente. La distanza intergeofonica è stata fissata a **1,0** m (Base 1) per un totale di 24 geofoni collegati in serie attraverso un cavo in grado di convertire il segnale elettrico proveniente dai geofoni in segnale digitale già dal primo metro: il sistema permette pertanto di eliminare molte fonti di disturbo dovute al trasferimento del segnale lungo centinaia di metri di cavo sismico ed è inoltre dotato di un sistema di filtraggio in tempo reale, da un hardware complesso, che comporta un anello di regolazione con diversi passaggi di digital signal processing. Sono stati utilizzati 2 punti di energizzazione disposti lungo lo stendimento:

- 2 estreme a 1 m dai geofoni 1° e 24°

L'attrezzatura utilizzata è costituita da:

- un sistema di energizzazione per le onde P: la sorgente è costituita da una mazza del peso di 8 Kg battente verticalmente su piastra metallica posta direttamente sul p.c. per la generazione prevalentemente di onde P;
- un sistema di ricezione: costituito da 24 geofoni a componente verticale di frequenza propria pari rispettivamente a 4,5 Hz;

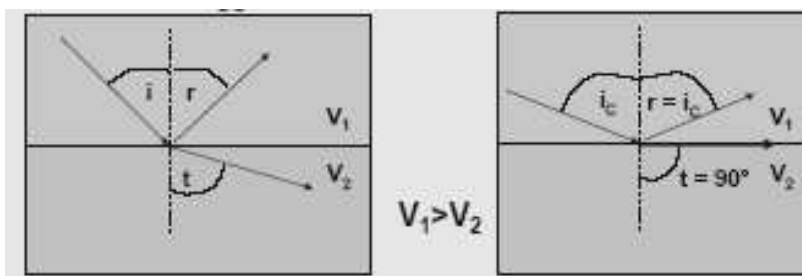
- sistema di acquisizione dati: sismografo digitale AMBROGEO ECHO 12-24 2002, ad incremento di segnale;
- un sistema di trigger: consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e di produrre un impulso che viene inviato a un sensore collegato al sistema di acquisizione dati; in questo modo è possibile individuare e visualizzare l'esatto istante in cui la sorgente viene attivata e fissare l'inizio della registrazione.

Cenni teorici del metodo

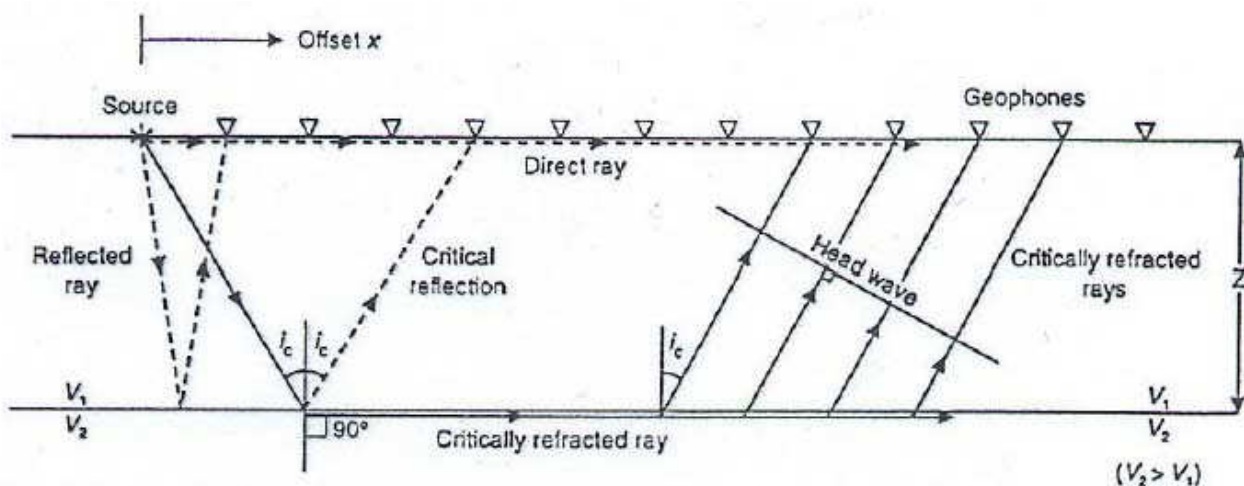
Le indagini indirette ed in particolare la metodologia a rifrazione permette la ricostruzione areale delle geometrie e degli spessori dei depositi di copertura, la profondità del substrato (entro i limiti di penetrazione del metodo), la verifica di eventuali discontinuità laterali nonché di determinare le caratteristiche fisico – meccaniche dei materiali attraverso la determinazione dei moduli elastici dinamici.

Il metodo sismico a rifrazione si basa sul concetto della bi-rifrazione delle onde elastiche a seguito del fronte d'onda conico. Data una sorgente di onde elastiche e uno stendimento di geofoni lungo un profilo giungeranno in superficie ai geofoni onde dirette, onde riflesse ed onde coniche o birifratte (head wave):

le onde analizzate sono quelle birifratte cioè quelle che giungono sulla superficie di separazione con un angolo d'incidenza critico (secondo la legge di Snell) e che quindi vengono rifratte con un angolo di 90° propagandosi parallelamente alla superficie rifrangente e venendo nuovamente rifratte verso la superficie con lo stesso angolo di incidenza. I contrasti di proprietà possono essere legati a cause stratigrafiche, strutturali, idrogeologiche.

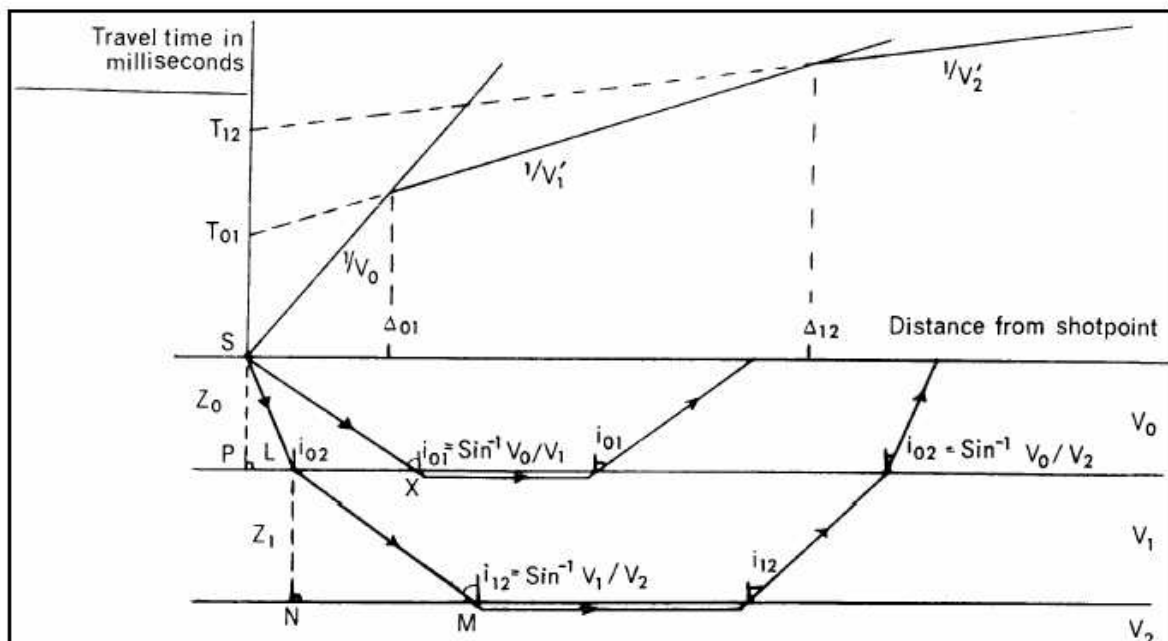


Disponendo una serie di ricevitori lungo la superficie libera del suolo e generando onde elastiche da una sorgente puntiforme l'onda riflessa arriverà sempre dopo le altre, mentre fino ad una certa distanza dalla sorgente arriverà prima l'onda diretta poi, quando l'onda bi-rifratta avrà percorso sufficiente distanza alla velocità V_2 , essa arriverà prima della diretta (come riportato nella figura seguente).



Se riportiamo in un semplice grafico x-y per ogni distanza di ciascun ricevitore il tempo di arrivo del primo impulso letto sui sismogrammi i punti si dispongono in una serie di allineamenti, di cui il primo passante per l'origine: ciascuna linea è detta dromocrona ed è rappresentativa della velocità di propagazione delle onde elastiche nel mezzo posto al di sopra di un rifrattore (una superficie di separazione più o meno netta tra due materiali a comportamento elastico diverso).

Di seguito a titolo esemplificativo si riportano le dromocrone relative ad un modello tristrato del sottosuolo: il coefficiente angolare della dromocrona passante per l'origine rappresenta l'inverso della velocità di propagazione delle onde elastiche nel primo strato (V_0), i coefficienti angolari delle altre 2 dromocrone rappresentano l'inverso delle velocità dei due strati sottostanti (V_1 e V_2); un modello tristrato è caratterizzato da 2 rifrattori che separano 3 materiali caratterizzati da un diverso comportamento meccanico rappresentato da un modello di tipo elastico omogeneo, continuo ed isotropo.



L'intersezione tra due dromocrone è detto punto di ginocchio e rappresenta il punto in cui arrivano contemporaneamente le onde rifratte da due rifrattori adiacenti o, se consideriamo le prime due dromocrone, le onde dirette e le onde rifratte dal primo rifratte: in un'indagine di sismica a rifrazione sarà possibile individuare un numero di punti di ginocchio pari al numero di rifrattori investigati.

Pertanto più è profondo il rifratte più è distante dalla sorgente il rispettivo punto di ginocchio: da ciò si deduce che gli impulsi rifratti possono essere ricevuti solo a partire da una certa distanza proporzionale alla profondità del rifratte e che quindi la profondità totale di indagine è legata alla lunghezza dello stendimento di ricevitori.

Tramite semplici relazioni trigonometriche è possibile, note le velocità di propagazione delle onde elastiche nei diversi strati omogenei del sottosuolo, conoscere gli spessori di ciascuno di essi: ciascun metodo presenta, in funzione delle ipotesi iniziali fissate, un diverso campo di applicabilità, ove è possibile considerare i risultati con un accettabile grado di affidabilità.

I principali limiti della tecnica di sismica a rifrazione risiedono nella impossibilità teorica di rilevare successioni stratigrafiche composte da strati a velocità decrescente con la profondità, in tal caso lo strato o gli strati non possono essere messi in evidenza dalle onde rifratte in quanto l'energia incidente, al contatto fra la sommità dello strato e la base dello strato sovrastante a più alta velocità, subisce una flessione verso il basso e non può venire di conseguenza rifratta: tale situazione è nota come "orizzonte muto" e porta, oltre all'inconveniente di non considerare la presenza di

uno strato a comportamento diverso nel sottosuolo, alla sovrastima dello spessore dello strato sovrastante l'inversione di velocità.

Altra limitazione consiste nella presenza di uno strato a velocità intermedia ma di ridotto spessore; anche in questo caso l'orizzonte non produce alcun cambiamento di pendenza sulle dromocrone, e non è quindi sismicamente rilevabile.

E' noto infatti che per essere visto uno strato deve poter essere campionato da almeno 2 geofoni e, se questo non avviene, lo strato è come se non esistesse e non se ne può valutare né velocità né spessore: tale fenomeno è noto come "orizzonte nascosto". Altra limitazione, in parte risolvibile, è quella del cambio di pendenza di una dromocrona dovuta non alla presenza di una nuova interfaccia di separazione tra due strati ma alle variazioni di inclinazione della stessa interfaccia.

Le prime due limitazioni rappresentano situazioni stratigrafiche che mal si prestano ad essere investigate col metodo di sismica a rifrazione in quanto portano a sovrastimare o sottostimare lo spessore delle coperture.

La terza limitazione rappresenta una delle situazioni stratigrafiche molto ricorrente in quanto è molto difficile in realtà trovare situazioni perfettamente piano parallele: è possibile tramite metodi di interpretazione particolari (delay-time o plus minus ed altri), che richiedono specifiche configurazioni degli stendimenti rispetto ai punti di energizzazione, ricostruire situazioni litostratigrafiche caratterizzate da interfacce di separazione anche molto articolate.

Se gli strati sono poco potenti con velocità crescente con la profondità (come normalmente avviene nei terreni non consolidati), i percorsi delle onde saranno curvi,

con concavità rivolta verso l'alto ed anche la corrispondente dromocrona sarà una curva.

Sebbene nei casi reali si abbia a che fare con depositi stratificati, spesso fittamente e in maniera poco definita, con un'alternanza di strati caratterizzati da rigidità anche molto differenti (con inevitabili problemi di riflessione e rifrazione delle onde in corrispondenza delle superfici di discontinuità e/o di fratture), si assume che l'effetto delle onde dirette, in termini di ampiezza delle vibrazioni, sia predominante rispetto a quello delle onde indirette, tanto da potere trascurare queste ultime e considerare il mezzo, limitatamente all'area comprendente la sorgente e il ricevitore, come mezzo omogeneo, isotropo e non confinato, pur ben conoscendo i limiti di tale approssimazione. La velocità delle onde P misurate per terreni perfettamente saturi ($S_r = 100\%$) dipende talora in maniera decisiva dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale e perciò tale valore può non essere rappresentativo delle proprietà meccaniche del materiale in questione; invece le velocità delle onde S e delle onde di superficie, sono caratteristiche delle vibrazioni trasmesse prevalentemente dal solo scheletro solido e perciò rappresentative delle proprietà meccaniche del terreno. Ne consegue che per alcuni terreni al di sotto della falda le uniche onde in grado di fornire informazioni precise sulla rigidità del terreno sono quelle di taglio e, subordinatamente le onde di superficie.

Parametri elastici

Le indagini sismiche con tecnica a rifrazione sono finalizzate alla determinazione diretta e continua lungo la verticale d'esplorazione della velocità di propagazione, all'interno del mezzo in esame, delle onde di volume di compressione (onde P) e alla determinazione indiretta, per mezzo di tali valori di velocità, di alcune proprietà meccaniche del materiale in questione. Si assume che il terreno esplorato abbia un comportamento tensione-deformazione di tipo elastico lineare (ipotesi peraltro giustificata dall'esperienza in base alla quale le deformazioni tangenziali prodotte dalle onde sismiche sono spesso inferiori a 10-3% e quindi al di sotto della soglia di linearità). Pertanto in base alla teoria della elasticità sussistono specifiche relazioni tra i valori di velocità di propagazione delle onde P (V_p), delle onde S (V_s) e delle onde di Rayleigh (V_R) ed alcune delle proprietà meccaniche del mezzo attraversato, quali il modulo di compressibilità volumetrica E_v o K , il modulo di Young E , il coefficiente di Poisson ν e il modulo di deformazione a taglio G .

$$G = \rho \cdot \frac{4}{3} V_s^2$$
$$E_v = \rho \cdot \left(V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2 \right)$$
$$G = \rho \cdot V_s^2; \nu = \frac{0.5 \cdot \left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}{\left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}$$
$$E = 2\rho \cdot V_s^2 \cdot (1 + \nu)$$
$$\frac{V_R}{V_s} = \frac{0.862 + 1.14 \cdot \nu}{1 + \nu}$$

dove ρ rappresenta la densità del mezzo

$\gamma = \rho \cdot g$ il peso di volume

g rappresenta l'accelerazione di gravità.

Il rapporto tra V_p e V_s può fornire utili informazioni sullo stato di consolidazione e sulla presenza di gas nei porous-media. Alcuni Autori (Gardner & Harris, 1968) affermano che rapporti maggiori di 2 si riscontrano in presenza di sabbie saturate non consolidate; alti rapporti risultano altresì per terreni incoerenti argillo-limosi ad alto grado di saturazione.

Valori inferiori a 2 si registrano in presenza di rocce compatte o sedimenti gas saturati. In rocce saturate tale rapporto risulta dipendente dalla litologia, dalla quantità e geometria dei pori e dalle microfratture e potrebbe, nota la litologia, fornire indicazioni su questi ultimi due parametri.

Il Coefficiente di Poisson ν è l'unico che non necessita della conoscenza della densità per la sua determinazione. Sebbene in teoria sia considerato stress indipendente ed i suoi valori risultino compresi tra 0.25 e 0.33, nei porous-media esso risulta stress dipendente, e presenta un campo di variabilità più esteso e può addirittura arrivare secondo GREGORY (1976) a valori negativi. I valori più bassi, in natura, si registrano per litotipi ad alta porosità, sottoposti a bassa pressione litostatica e gas saturati, in alcuni sedimenti incoerenti e saturi i valori possono risultare uguali o superiori a 0.49; nelle sospensioni assume il valore di 0.5.

Il Modulo di taglio G è fortemente dipendente dalla porosità e dalla pressione; assume valori più bassi in litotipi ad alta porosità, sottoposti a basse pressioni e saturati in acqua. Il campo di variabilità nei porous media è molto esteso.

Il Modulo di Young E dipende dalla porosità, dalla pressione litostatica e dagli altri moduli elastici. Aumenta in misura considerevole quando al campione "dry" a bassa porosità vengono aggiunte piccole quantità di acqua, diminuisce quando un campione ad alta porosità viene sottoposto allo stesso trattamento. I minimi valori del modulo si registrano in litotipi ad alta porosità saturi in gas, mentre i valori massimi si hanno per litotipi sotto pressione saturati in acqua ed a bassa porosità. Il campo di variabilità è considerevole.

Metodologia

Lo scopo della prova consiste nel caratterizzare dinamicamente, tramite la misura della velocità di propagazione delle onde di compressione (V_p), le unità litologiche presenti nell'area di indagine.

La tecnica di esplorazione trova il suo miglior campo di applicazione con profondità delle coperture da esplorare inferiore ai 20-30 m. Si rende necessaria soprattutto quando i risultati da ottenere devono essere di qualità e precisione discrete e quando interessano dati medi relativi ad ampi volumi di terreno.

La lunghezza dello stendimento di geofoni di 115 m rappresenta un valore limite per il sistema di energizzazione utilizzato, in quanto i segnali ricevuti risultano sensibilmente disturbati soprattutto in corrispondenza dei geofoni più lontani dal

punto di energizzazione. L'entità del disturbo è molto variabile in funzione delle caratteristiche litologiche e meccaniche del sottosuolo. L'interpretazione dei segnali rilevati e la conseguente stima del profilo di velocità delle onde P è articolata nelle seguenti fasi fondamentali:

- Individuazione del primo arrivo in P attraverso l'osservazione dei sismogrammi e l'operazione di picking, previa elaborazione dei segnali ed operazioni di filtraggio anche consecutivo con diverse tipologie di filtro;
- Ricostruzione delle dromocrone in P e scelta del modello di sottosuolo utilizzato nell'interpretazione;
- Linearizzazione delle dromocrone e calcolo delle velocità di propagazione delle onde elastiche analizzate e dei relativi tempi di intercetta;
- Ricostruzione del modello del sottosuolo con calcolo della profondità di ciascun strato omogeneo, continuo ed isotropo tramite il metodo del tempo di intercetta applicabile a ciascun punto di scoppio (metodo a griglia shot-point); questo metodo è applicabile in situazioni litostratigrafiche approssimabili a modelli stratificati a strati piani orizzontali e/o inclinati.

Per le analisi interpretative sono stati utilizzati i software:

- *InterSism* versione 2.1 - Seismic Refraction Processing Software della Geo&Soft;

- *WinMASW 4.0 Standard* – Multichannel Analysis of Surface Waves – per la determinazione dei profili verticali Vs della Eliosoft.

Non si è ritenuto necessario, date le finalità dell'indagine, applicare metodi interpretativi più complessi che peraltro necessitano di maggior onere economico nell'acquisizione dei dati (minimo 7 shots) e rendono più difficile l'individuazione di aree adatte all'indagine.

Sulla base di valutazioni incrociate sull'attendibilità dei risultati ottenuti dalle ricostruzioni sismiche è possibile scegliere il modello ritenuto più conforme alla situazione litostratigrafica presente nell'area e di cui è sempre preferibile avere a disposizione informazioni dirette di tipo geologico, geotecnico e/o idrogeologico.

In funzione del modello scelto viene individuato l'insieme di situazioni monodimensionali in grado di rappresentare l'area di studio e si propone un possibile gradiente di variazione delle proprietà meccaniche dei materiali con la profondità.

Tali modelli sono utilizzabili ai fini di valutazioni semiquantitative della risposta sismica locale, ricordando che gli andamenti dei rifrattori individuati possono non essere coincidenti con quelli reali in quanto valutati tramite un solo stendimento; al fine di individuare le reali geometrie dei sismostrati sarebbe necessario eseguire più stendimenti disposti tra loro ortogonalmente.

Interpretazione e risultati

L'indagine geosismica è consistita nell'esecuzione di una Base Sismica di superficie, siglata BASE 1, in P.

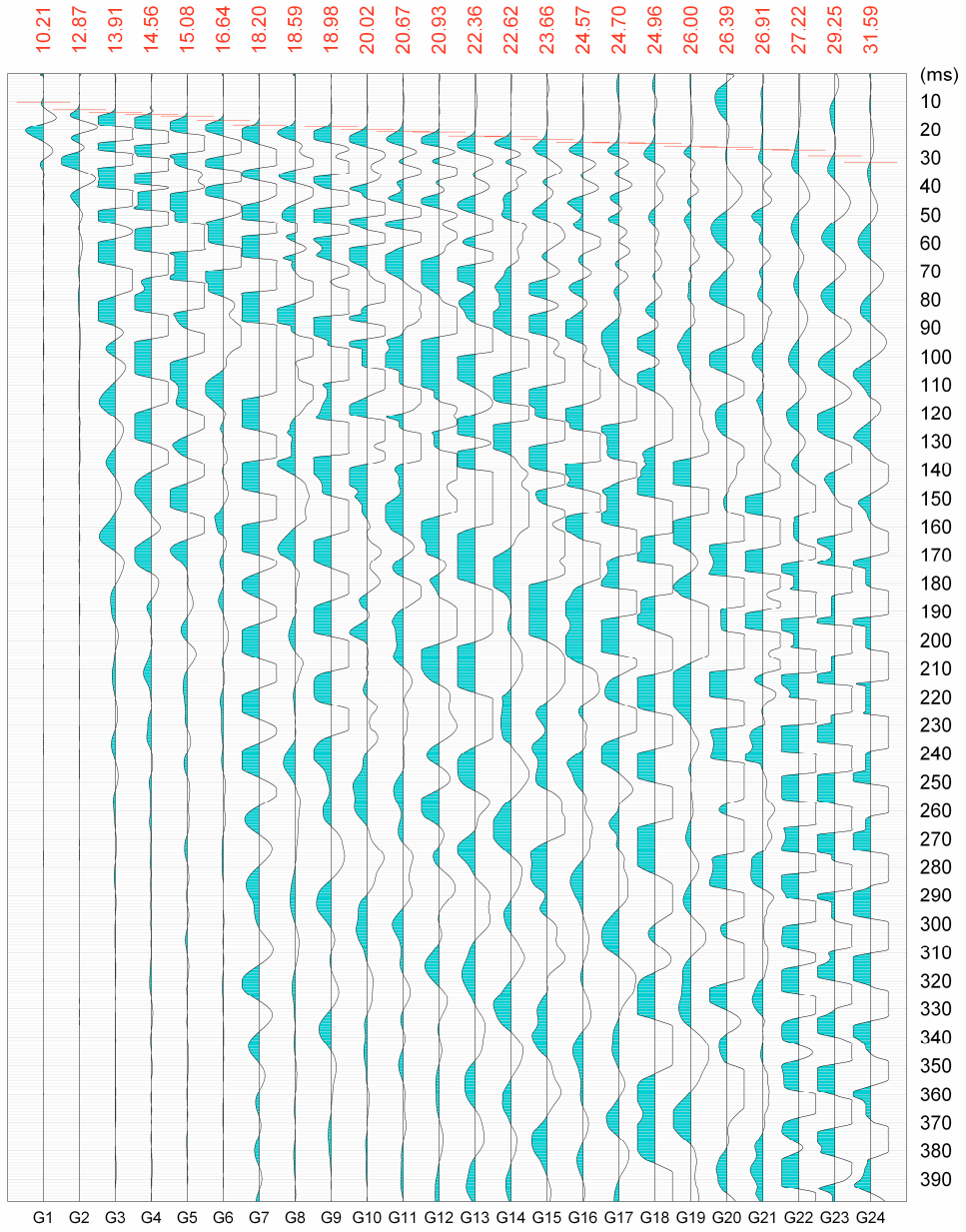
Per quanto riguarda la geometria adottata nella **BASE sismica 1**, i 24 geofoni sono stati disposti sul terreno con una spaziatura di **1,0 m**; sono stati utilizzati 2 punti di energizzazione estreme (a 1 m dai geofoni 1° e 24°), quindi l'intero stendimento BASE_1 risulta di **23,0 m**.

La topografia della superficie è del tutto pianeggiante sul tratto investigato ed è stata pertanto assegnata allo stendimento la quota relativa 0 m.

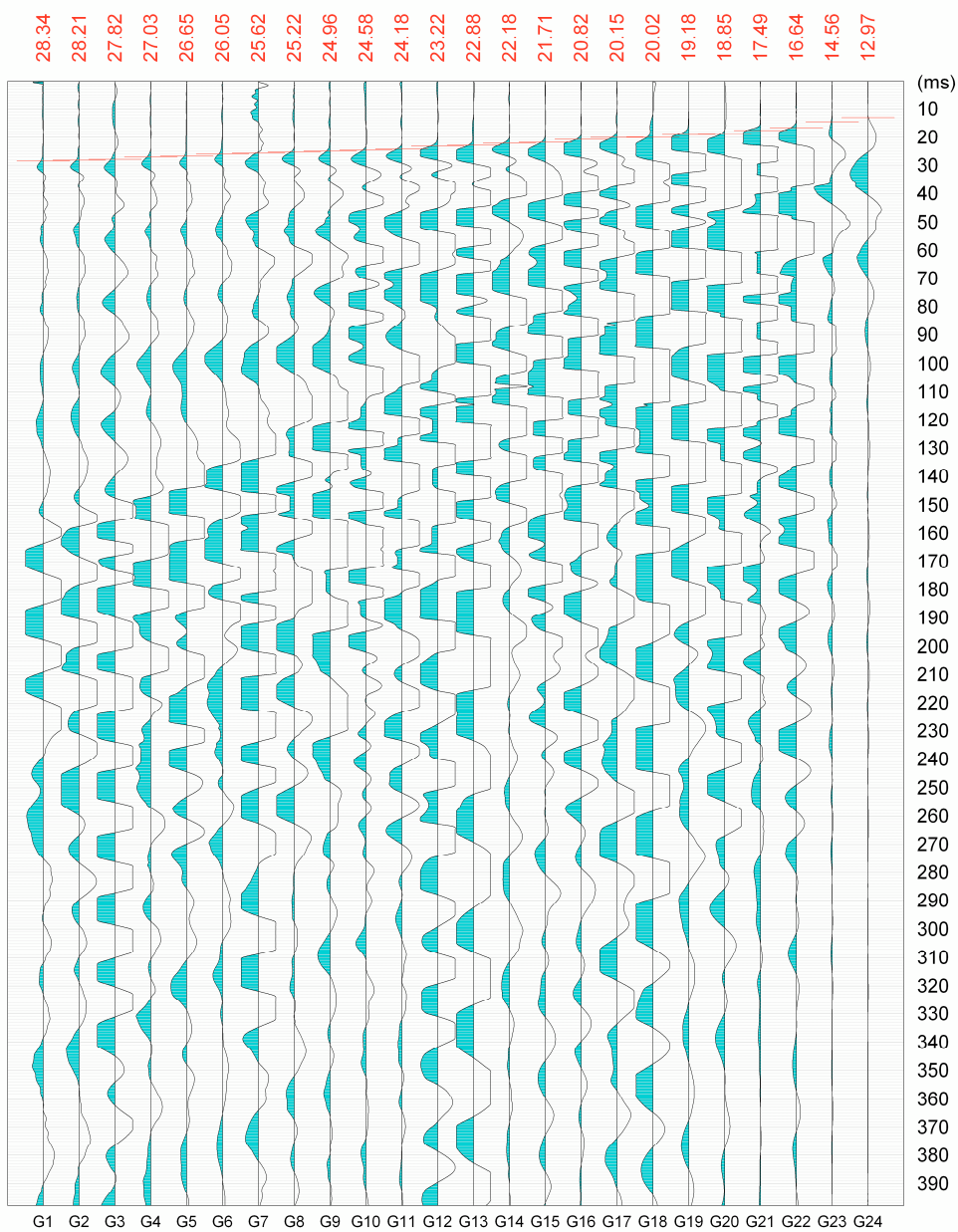
Registrazione Onde P

Le registrazioni per ciascun punto di scoppio sono state campionate con un intervallo di 400 microsecondi, senza utilizzo di filtro hardware. Di seguito si riportano i sismogrammi multishot acquisiti:

Comune di San Severo
Località: "Motta del Lupo"



Comune di San Severo
Località: "Motta del Lupo"



Prova sismica multicanale MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che consente la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che si trasmettono con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione, cioè sono onde la cui velocità dipende dalla frequenza.

La strumentazione utilizzata è la stessa della sismica a rifrazione, utilizzando **24** geofoni, la distanza intergeofonica di **1,0** metro, l'intero stendimento è di **23,0** m; le registrazioni per ciascun punto di scoppio (1 m; 3 m; 5 m) sono state campionate con un intervallo di 1 secondo, senza utilizzo di filtri hardware.

L'elaborazione dati nell'analisi MASW può essere ricondotta in due fasi:

- Determinazione della Curva di Dispersione (valutazione dello spettro di velocità)
- Inversione della Curva di Dispersione

Modello geofisico e geologico interpretativo

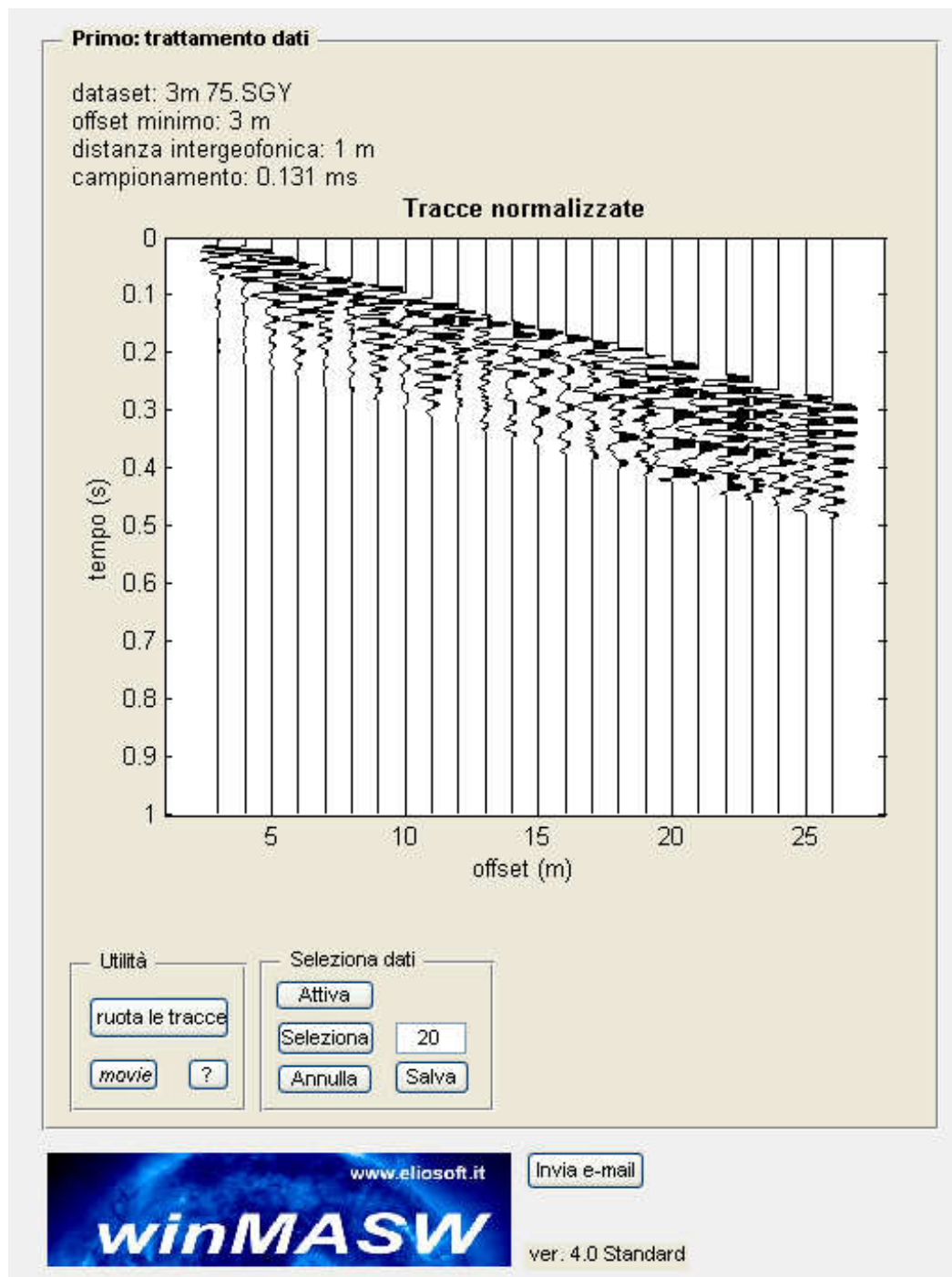
Le sezioni sismiche ottenute dall'interpretazione dei segnali acquisiti permettono di individuare le principali unità geofisiche costituenti il modello geofisico dell'area d'indagine.

Si ricorda che qualunque tecnica di geofisica applicata ha un margine di errore intrinseco variabile in funzione del tipo di tecnica usata, di strumentazione adottata e di problematiche incontrate durante l'indagine e che solo l'operatore è in grado di quantificare in modo ottimale: nel caso in esame la risoluzione del metodo non permette precisioni in termini di spessore inferiori al metro e i valori di velocità V_p e V_s sono da intendere come velocità medie all'interno di ciascuna unità geofisica individuata. Pertanto si è proceduto all'interpretazione geofisico – geologica: - individuando preliminarmente le unità geofisiche omogenee dal punto di vista delle onde P (V_p); - sovrapponendo i limiti individuati dalle prove MASW.

Ciascuna unità geofisica così individuata è da intendersi costituita da materiale continuo, omogeneo ed elastico, le cui proprietà elastiche variano verticalmente in modo lineare da un valore minimo ad un valore massimo definito dall'intervallo di valori ad essa associati: a ciascuna unità è possibile assegnare un unico valore di V_p e V_s pari al valore medio dell'intervallo assegnato, mentre a tutto il modello è possibile associare uno o più gradienti di V_p e V_s con la profondità, in funzione delle variabilità laterali.

In allegato si riporta l'interpretazione della sezione sismica e le foto effettuate durante l'indagine, per l'area indagata.

Di seguito si riportano i risultati della prova MASW (Base 1)



Secondo: determinazione spettro di velocità e picking

calcolo spettro di velocità

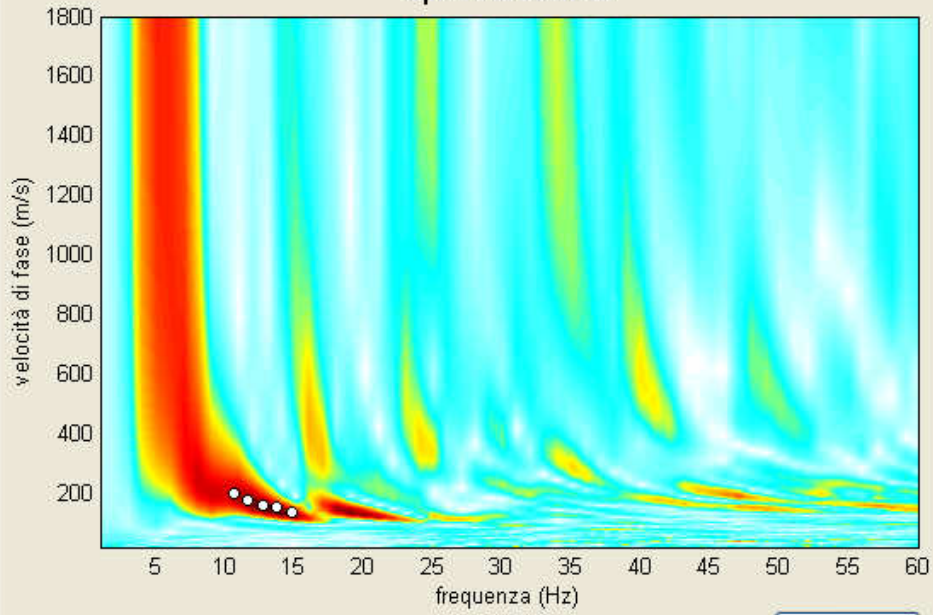
Tau - v

visualizza curve

input curva

?

Spettro di Velocità



Esplora spettro

modellazione diretta

parametri

salva modello

carica modello

3

?

refresh

picking

modo fondamentale

?

selezionare l'ultimo punto del modo utilizzando il tasto destro

salva picking

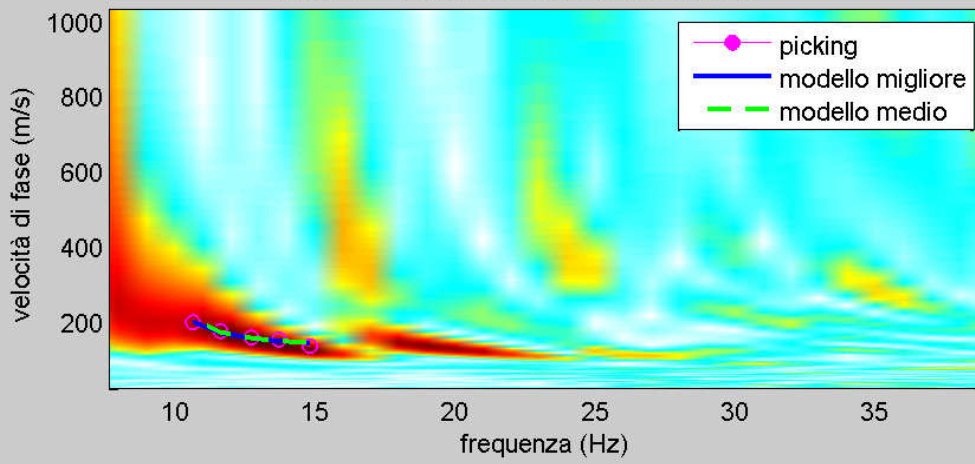
?

cancela picking

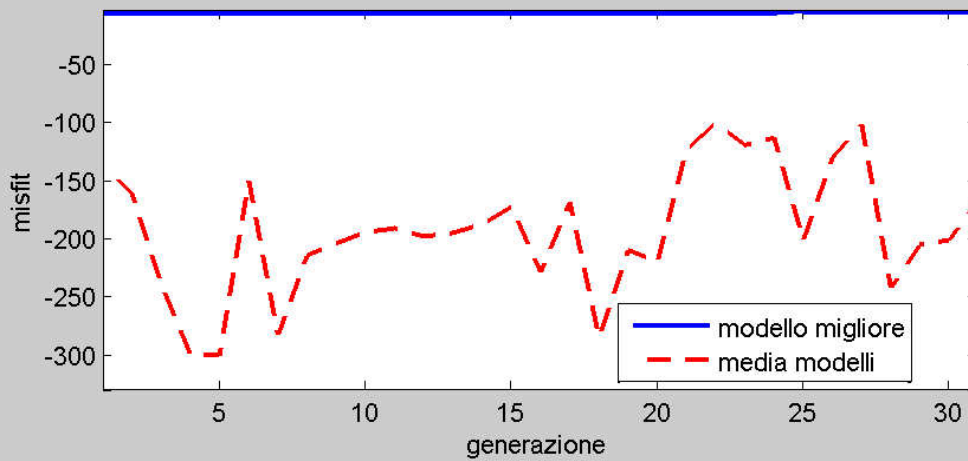
Inverti

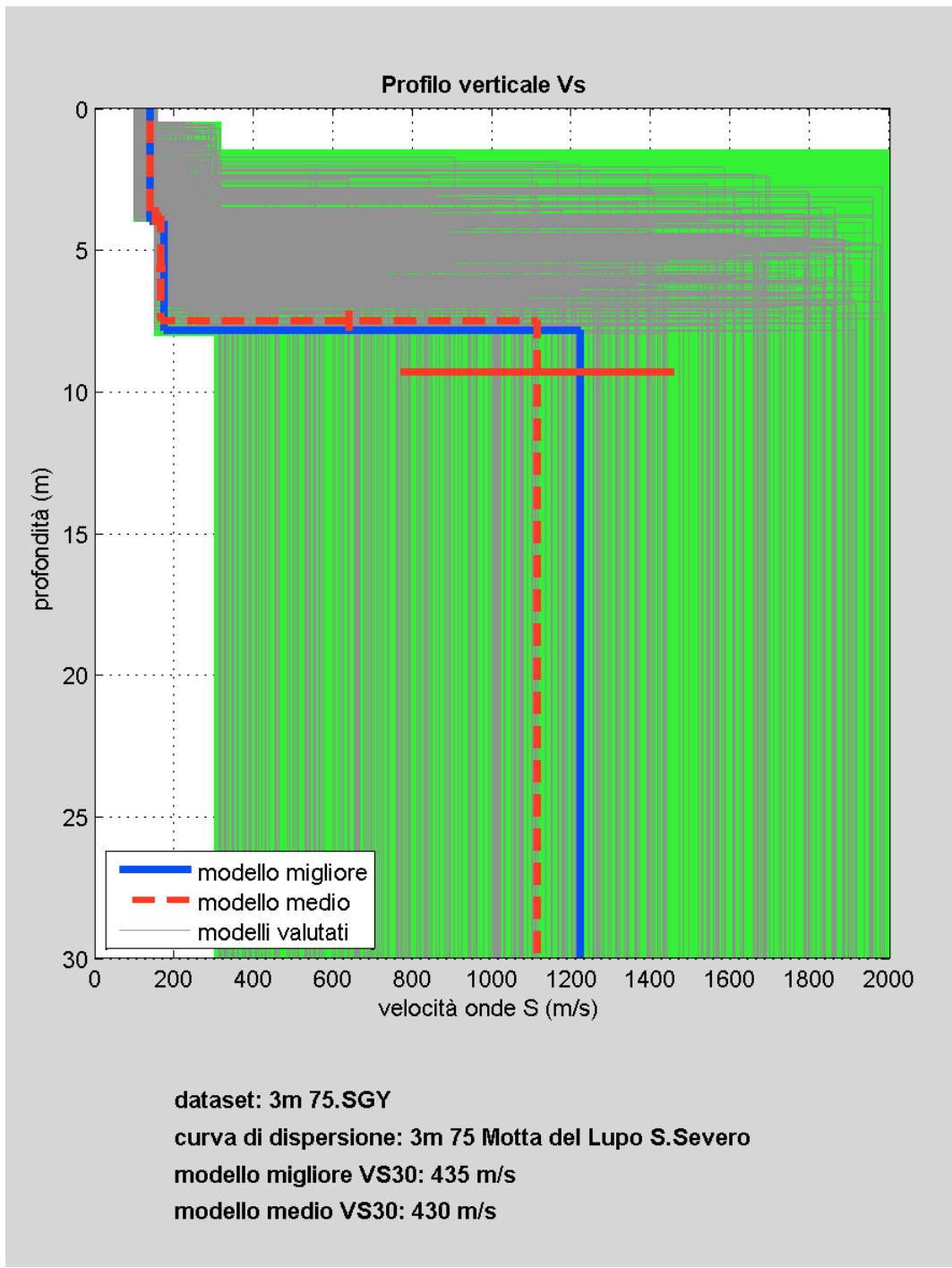
Esci

spettro di velocità e curve di dispersione



evoluzione misfit





Modello medio

VS (m/s): 139, 167, 1113

Deviazioni Standard (m/s): 4, 11, 343

Spessori (m): 3.8, 3.7

Deviazioni Standard (m): 0.3, 0.3

Tipo di analisi: onde di Rayleigh

Stima approssimativa di densità e moduli elastici

Densità (gr/cm³): 1.76, 1.81, 2.29

Modulo di Poisson: 0.35, 0.37, 0.39

Modulo di taglio (MPa): 34, 51, 2831

Modulo di compressione (MPa): 106, 177, 11569

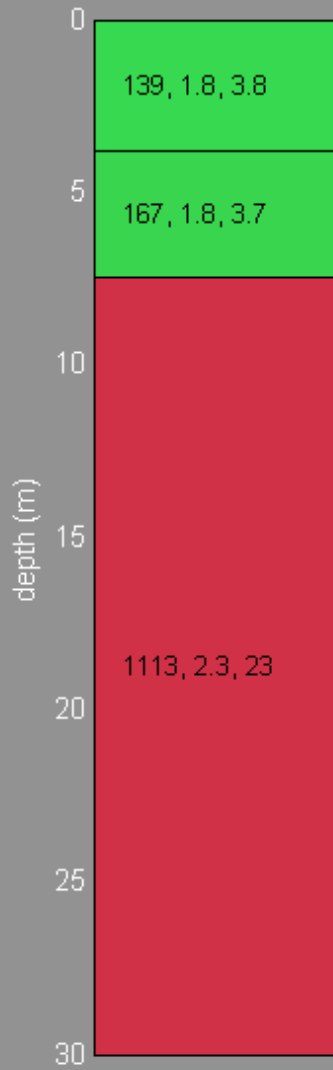
Modulo di Young (MPa): 92, 138, 7853

Modulo di Lamé (MPa): 83, 143, 9681

VS30 (m/s): 430

Tipo di Suolo: B

Subsurface model



V_s density thickness
(m/s) (gr/cm^3) (m)

Dalla normativa (modifiche del D.M. 14/09/2005 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n° 29 del 04/02/2008):

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e $cu_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

Dal modello geofisico sopra riportato è possibile definire la situazione monodimensionale più sfavorevole dal punto di vista dei fenomeni di amplificazione sismica litologica, assegnando valori medi di Vs e valori massimi dello spessore di ciascuna unità e calcolando un opportuno gradiente fino a 30 m per definire il parametro Vs30 da normativa nazionale e fino al bedrock geofisico per definire il parametro T (periodo proprio del sottosuolo).

CONCLUSIONI

L'interpretazione dei dati sismici ha permesso di trarre le seguenti conclusioni:

- Le linee sismiche evidenziano principalmente 3 sismostrati:
 - *Sismostrato superficiale*, coltre superficiale con $V_p \approx 293$ m/s e $V_s \approx 139$ m/s, di spessore di circa 4,0 m;
 - *Sismostrato intermedio*, substrato semilitoide con $V_p \approx 367$ m/s e $V_s \approx 167$ m/s;

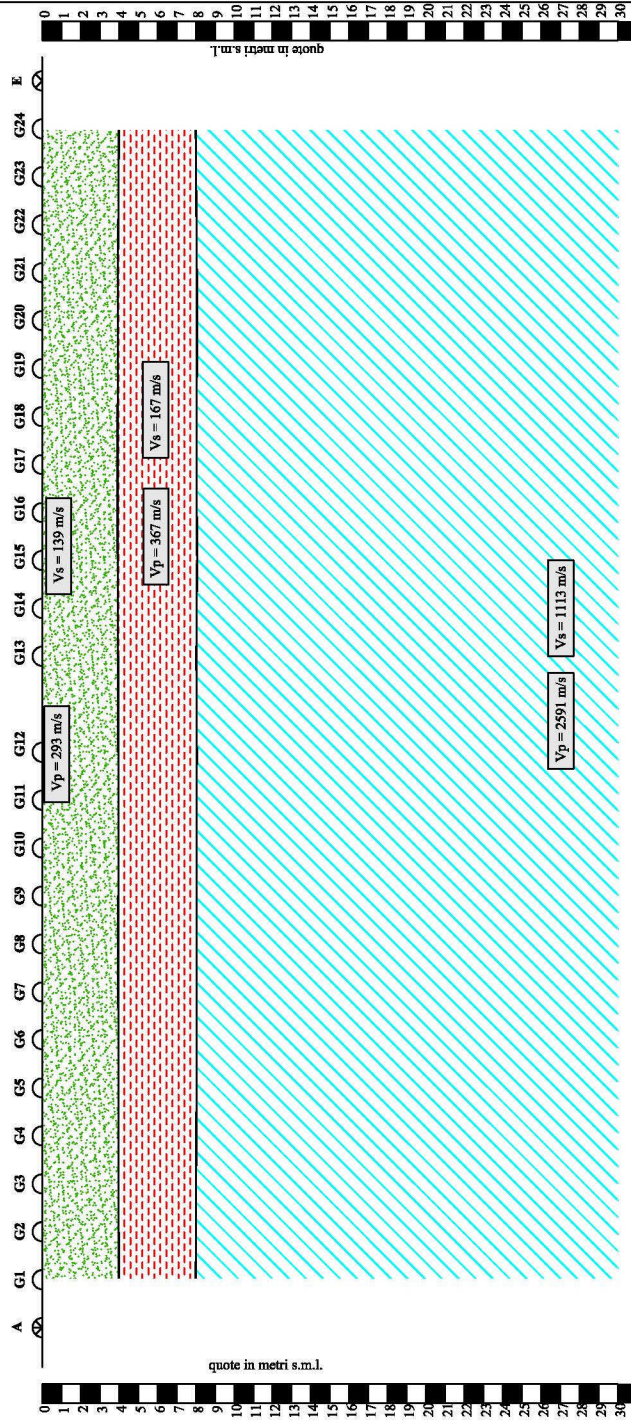
➤ *Sismostrato di fondo*, substrato semilitoide con $V_p \approx 2591$ m/s e $V_s \approx 1113$ m/s, rinvenuto ad una profondità di $\approx 8,0$ m.

- Il sito indagato è compreso, con Ordinanza P.C.M. n° 3274 del 20/03/2003, nella **zona 2** della classificazione sismica del territorio nazionale, con $a_g = 0,25$.
- Alla luce dei dati emersi dall'indagine sismica, si riporta una tabella riassuntiva in cui sono indicati i principali moduli per i diversi sismostrati.

Sismostrati	Velocità onde P V_p (m/s)	Velocità onde S V_s (m/s)	Densità γ (gr/cm ³)	Modulo di Poisson ν	Modulo di Taglio G (MPa)	Modulo di Compressione K (MPa)	Modulo di Young E (MPa)	Modulo di Lamé μ (MPa)
Superficiale	293	139	1,76	0,35	34	106	92	83
Intermedio	367	167	1,81	0,37	51	177	138	143
Fondo	2591	1113	2,29	0,39	2831	11569	7853	9681

- La velocità media di propagazione entro i 30 m di profondità delle onde di taglio è $V_{s30} = 430$ m/s; alla luce di tale valore e delle caratteristiche stratigrafiche dei terreni, i terreni in esame appartengono alla **Categoria di suolo di fondazione B** - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del V_{S30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $cu_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA - BASE SISMICA B.S.1



SISMOSTRATI	Vp (m/s)	Vs (m/s)	η (1/m ²)	ν	G (MPa)	K (MPa)	E (MPa)	μ (MPa)
1	293	139	1,76	0,35	34	106	92	83
2	367	167	1,81	0,37	51	177	138	143
3	2591	1113	2,29	0,39	2831	11569	7853	9681

LEGENDA	
	GEOFONI
	PUNTI DI SCOPPIO
1,0 mt	DISTANZA INTERGEOFONICA
23,0 mt	LUNGHEZZA PROFILO
24	NUMERO GEOFONI
2	NUMERO PUNTI DI SCOPPIO

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





CONCLUSIONI

Visto che l'Ing. Michele Ferrero in qualità di Amministratore Unico della Progenergy Solar Plant 4 Srl vuole realizzare un impianto di energia da fonte solare fotovoltaica della potenza nominale di 13,887 MWp denominato "Russi", integrato con piante di melograno, ubicato in agro del Comune di San Severo al foglio n° 125 particelle nn. 53 – 54 – 55 – 56 – 57 – 58 – 59 – 60 – 61 – 62 – 63 – 64 – 65 – 66 – 67 -68 – 69 – 70 – 71 – 72 – 28 – 37 – 49 – 50 – 51 – 52 – 101 – 168 – 264 – 219 – 105 – 109 – 129 – 131 – 175 – 211 – 174 – 213 – 108 – 251 – 249 – 195 – 194 – 196 – 201 – 192 – 22 – 41, è stata eseguita una indagine geologica conforme al D.M. 17 Gennaio 2018.

Inoltre è stata eseguita una prova geosismica per l'ottenimento della Vs30.

Da quanto si è accertato, si possono trarre le seguenti considerazioni conclusive:

- il sito dal punto di vista morfologico presenta buone caratteristiche di stabilità;
- l'area di studio rientra parzialmente tra le aree a rischio idraulico molto Alto, secondo la classificazione adottata dall'Autorità di Bacino della Regione Puglia;
- sotto il profilo geolitologico ed idrogeologico non è interessato da anomalie che possono interrompere il quadro statico globale;
- l'area negli scorsi decenni non è stata interessata da allagamenti, seppur la presenza del Canale Santa Maria ne rappresenti un potenziale pericolo;
- la zona non presenta segni di frane in atto o in preparazione;

- il sottosuolo interessato dalle fondazioni è costituito da sabbia argillosa di colore giallastro, dotate di sufficiente capacità portante;
- il piano di posa delle fondazioni risulti essere posto, a discrezione del progettista e a seconda dei carichi a profondità comprese tra 1,20 e 3,00 metri dal p.c.;
- la falda è ubicata ad una profondità prossima ai 3,00 metri dal piano campagna;
- La velocità media di propagazione entro i 30 m di profondità delle onde di taglio è $V_{s30} = 430,00$ m/s, tali terreni appartengono alla **Categoria di suolo di fondazione B**;
- il committente e/o il direttore dei lavori durante l'esecuzione dei lavori deve interpellare il sottoscritto geologo, in modo che lo stesso possa verificare se le caratteristiche del terreno siano compatibili con quelle previste da progetto.

Le osservazioni effettuate, unitamente alle conoscenze dirette della geologia della zona ed al comportamento meccanico dei litotipi presenti, consentono di definire sufficientemente idoneo il sito interessato dall'opera.

Chieti 16 Settembre 2020

Dott. Geol. Longo P. Giuseppe

