

**Comune
di
Deliceto**

**Regione
Puglia**

**Provincia
di
Foggia**


Titolo:

Progetto di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte solare fotovoltaica della potenza nominale di 15,681 MWp e delle relative opere di connessione alla Rete Elettrica Nazionale, denominato "APPIANO" da realizzarsi in regime *agrovoltaico* nel comune di Deliceto (FG) alla C.da "Tremoletto".

VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE

ai sensi del D.Lgs 152/2006

- Progetto Definitivo -

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

Codice Interno:

DOC.13

Formato:

A4

Cod. File:

FTZK5G0_RelazioneGeologica

Scala:

n.a.

Codice Pratica:

FTZK5G0

Studio di Progettazione:


www.progenenergy.it

viale Due Giugno n. 2 - 71016 San Severo (FG)

Tel./Fax: 0882.603948

 pec: progenenergy@legalmail.it

P.IVA: 03797240714

Consulente:

dott. geol. Pasquale Giuseppe LONGO


 Latitudine: 41° 15' 35.65" N
 Longitudine: 15° 25' 44.98" E

Rev.	Data	Descrizione revisione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:
0	01/2022	Prima emissione	dott. geol. P.G. LONGO	Ing. Saverio LIOCE	Ing. Saverio LIOCE
1	mm/aaaa				
2	mm/aaaa				

PREMESSA

Su incarico della VRD 28.4 SRL, il sottoscritto dott. Geologo Longo Pasquale Giuseppe, con sede nel Comune di San Severo alla via Benevento n° 41, iscritto presso l'Ordine dei Geologi della Regione Puglia al n° 391, ha effettuato una indagine **geologica** di una vasta area ubicata nel Comune di Deliceto al foglio n° 2 particelle n° 21 – 25 – 43 – 56 – 58 – 60 – 73 – 75 – 84 – 107 – 112 - 180, in corrispondenza del quale verrà realizzato un impianto di energia da fonte solare fotovoltaica della potenza nominale di 15,681 MWp denominato “Appiano”, integrato con la coltivazione di piante di asparago.

Insieme alla committenza è stata effettuata una prima escursione per constatare lo stato dei luoghi e per delimitare l'area interessata dalle sagome delle strutture. 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 alla normative vigenti ([D.M. 17 Gennaio 2018](#)) ha avuto lo scopo di accertare l'idoneità del sito fondazionale dal punto di vista geologico, geotecnico e soprattutto geomorfologico ed idrogeologico, 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.

MEZZI

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 n° 5 prove penetrometriche dinamiche;
- 4) n° 2 prove geosismiche in sito;
- 5) analisi ed elaborazione dei dati ottenuti.

Il Comune di **Deliceto** ricade nel Foglio 421 della Carta Geologica d'Italia di recente realizzato dall'ISPRA nell'ambito del progetto CARG (cartografia Geologica).

Il territorio ricade, dal punto di vista geo-strutturale, in prossimità del limite Catena-Avanfossa dell'Appennino meridionale .

L'area di Catena si estende lungo un tratto di dorsale, orientata pressoché Nord-Sud, costituendo, sotto il profilo morfologico-strutturale, parte del settore centro-meridionale dell'Appennino Dauno. Tramite una serie di bassi rilievi collinari a sommità pianeggiante, i rilievi degradano verso Est e Sud-Est, verso Castelluccio dei Sauri, Ascoli Satriano e Ortona. I bassi rilievi collinari rappresentano la zona pedemontana del settore centro-meridionale del Tavoliere di Puglia, solcata da Sud-Ovest a Nord-Est dalle valli dei Torrenti Cervaro e Carapelle e relativi affluenti. Le formazioni che affiorano in quasi tutta l'area, appartengono al dominio geologico della Fossa Bradanica, che in quest'area affiora per la sola porzione pliocenica superiore-pleistocenica inferiore. Di questo dominio fanno parte depositi sia marini sia continentali. I depositi continentali occupano gran parte dell'area e rappresentano i prodotti della storia deposizionale più recente, influenzata da oscillazioni eustatiche e dal sollevamento regionale. Il risultato dell'interazione di questi fattori è la formazione dei sistemi alluvionali e dei reticoli idrografici che controllano l'evoluzione del paesaggio attuale.

Con riferimento alla Carta Geologica d'Italia, i terreni che affiorano nel Comune di Ascoli Satriano sono i seguenti:

Deposito di frana antico (Unità Quaternaria del Tavoliere di Foggia): Alcuni corpi di frana antichi caratterizzano le parti interne del margine appenninico e si sono sviluppati nel Flysch di Faeto (Langhiano-Serravalliano), in corrispondenza di litologia marnose e di assetti caotici e/o a franapoggio, in prossimità del contratto tra questo flysch e le marne argillose del Toppo di Capuana e in alcuni corpi del Flysch Rosso (Cretacico?-Aquitano). Ulteriori frane stabilizzate hanno interessato le argille subappennine in destra orografica del T. Carapelle in prossimità dell'abitato di Ascoli Satriano. Età: Pleistocene superiore - Olocene. Comune di Ascoli Satriano (FG).

Supersistema delle Marane la Pidocchiosa-Castello (Unità Quaternaria del Tavoliere di Foggia): I depositi che sono stati distinti appartengono a due modesti corsi d'acqua, attualmente fossili, che si sviluppano in gran parte dell'adiacente Foglio 422-Cerignola. Si tratta di depositi alluvionali prevalentemente ghiaiosi, incassati in alvei incisi nei conglomerati di Ortona. Età: Pleistocene superiore - Olocene.

Sistema di La Pezza del Tesoro (Unità Quaternaria del Tavoliere di Foggia): I depositi riferiti a questa unità sono in massima parte costituiti da conglomerati che poggiano in discontinuità erosiva sia sui lembi delle argille subappennine (ASP), sia sulle sabbie marine e conglomerati di Ascoli Satriano (ASPa). Età: Pleistocene medio.

Argille subappennine (Unità della Fossa Bradanica): Con questa denominazione si indica la potente successione, prevalentemente argilloso-siltosa, che si è deposta nell'Avanfossa appenninica tra il Pliocene medio ed il Pleistocene inferiore.

Sabbie marine e conglomerati di Ascoli Satriano (Unità della Fossa Bradanica): Lungo il fianco destro della valle del torrente Carapelle, nell'area attorno all'abitato di Ascoli Satriano, l'unità delle argille subappennine è sostituita, per lo spessore di circa 200 m, da una successione siltoso sabbiosa che, nella parte superiore, presenta facies sabbioso-conglomeratiche. Età: Pleistocene inferiore.

Dal punto di vista **strutturale**, l'area ricadente nel Foglio 421 - Ascoli Satriano, può essere suddivisa in due settori principali, settore di Catena affiorante e Avanfossa. Il settore di Catena è caratterizzato da strutture connesse al raccorciamento appenninico di età neogenico-quadernaria; quello di Avanfossa presenta invece i caratteri strutturali legati all'evoluzione pliocenico - infrapleistocenica sia delle strutture compressive più esterne della Catena appenninica sia di quelle estensionali, verso oriente. L'insieme delle strutture rappresenta l'effetto della migrazione verso l'Avanpaese, del sistema Catena-Avanfossa.

In affioramento, la struttura dell'area è caratterizzata da due principali unità tettoniche sovrapposte: Unità Tettonica della Daunia e Unità Tettonica della Fossa Bradanica. La sovrapposizione dell'Unità della Daunia su quella della Fossa Bradanica, è segnata da un sovrascorrimento immergente prevalentemente verso Ovest, con direzione del Trasporto tettonico verso Nord-Est. Il quadro tettonico dell'area appenninica è completato dalla presenza di faglie sia trascorrenti sia distensive: quella trascorrente si sviluppa lungo il torrente Carapelle e disloca, con movimento sinistro, il fronte della Comune di Ascoli Satriano. La struttura distensiva, che si

sviluppa lungo il torrente Cervaro, è riconducibile ad una struttura sepolta parallela alla linea del Celone.

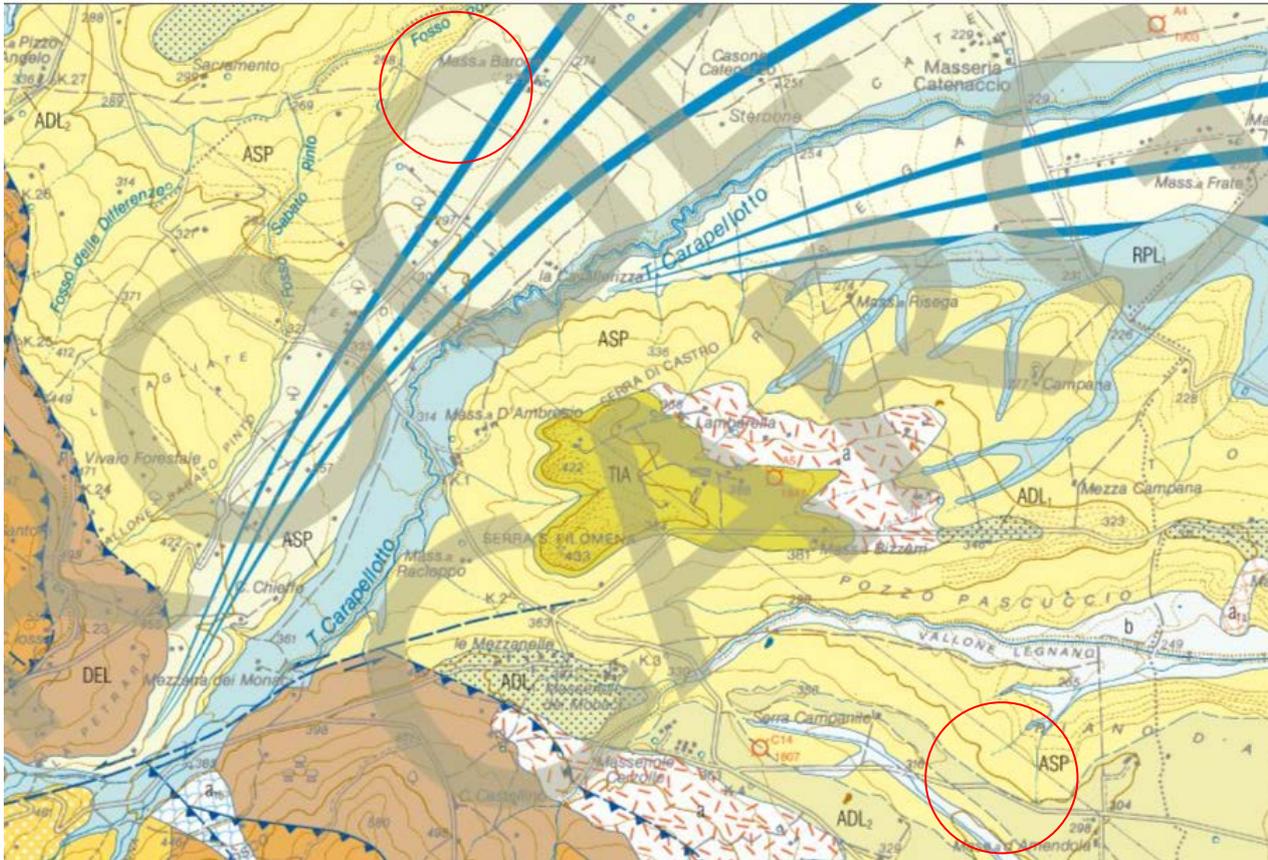
L'Unità Tettonica della Fossa Bradanica, rappresentata dalla sola Formazione delle argille subappennine, mostra una struttura molto più semplice. Essa è caratterizzata da un generale assetto a monoclinale immergente a Nord-Est, con inclinazioni variabili dai 20-30°, nei pressi del fronte appenninico, ai 5-10°, verso la porzione orientale del Foglio 421.

Direttamente connessi ai caratteri litologici ed agli assetti tettonici dell'area, risultano essere i lineamenti morfologici. L'orografia appenninica, caratterizzata da due blande dorsali in direzione Sud-Ovest / Nord-Est, si eleva rispetto all'area collinare dell'adiacente Tavoliere, fin oltre i 930 m con il monte Salecchia ad Ovest di Deliceto. La dorsale più interna risulta più elevata ed aspra della dorsale esterna, entrambe costituite principalmente dal flysch di Faeto.

L'area di raccordo tra il bordo esterno della Catena e la Piana del Tavoliere, in particolare nella zona compresa tra il corso del torrente Carapelle e quello del torrente Cervaro, mostra morfologie che derivano dalla presenza di sistemi complessi di conoidi alluvionali, che dal margine appenninico si distribuiscono verso Nord-Est formando ampi ventagli.

Le condizioni idrauliche sotterranee sono fortemente condizionate dal diverso grado di permeabilità e dalla posizione stratigrafica dei terreni. In particolare, è possibile individuare due unità idrogeologiche.

L'unità idrogeologica principale, in termini di estensione e di utilizzo della risorsa idrica, è rappresentata dai depositi di copertura quaternari in cui sono incise le ampie valli dei corsi d'acqua principali, costituita da terreni sabbioso-ghiaioso-ciottolosi, permeabili per porosità e spesso acquiferi. In queste unità si rinviene spesso una falda freatica, con livello di base rappresentato dalle argille subappennine. Di interesse nei riguardi della circolazione idrica sotterranea, sono anche i depositi marini sabbioso-conglomeratici, del ciclo bradanico (Sabbie Marine e conglomerati di Ascoli Satriano). In tali depositi circola la falda che alimenta alcune sorgenti di contatto tra cui quella ubicata nella periferia dell'Abitato di Ascoli Satriano. Questa sorgente, che ha rappresentato la principale fonte di approvvigionamento idropotabile della popolazione ascolana sino all'avvento dell'Acquedotto Pugliese, è alimentata da una struttura acquifera costituita, dall'alto verso il basso, da una formazione conglomeratica a matrice sabbiosa, estremamente coerente, e da una formazione sabbiosa, stratificata, con giacitura sub-orizzontale, con livello di base costituito dalla formazione argillosa impermeabile.

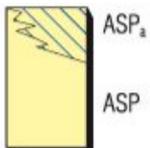


ARGILLE SUBAPPENNINE

Silt argillosi e marne siltose grigie a stratificazione poco evidente, con intercalazioni di argille siltose e, verso l'alto, di sottili strati di sabbia medio-fine. Lo spessore complessivo ricostruito in affioramento è di circa 200 m, quello dei singoli affioramenti varia da alcuni metri a circa 50 m nei fronti di cava. L'ambiente deposizionale indicato dai caratteri di facies e dalle macrofaune è la scarpata superiore, per la porzione medio-bassa della successione, e la piattaforma per la parte sommitale.

A tetto si riconosce una litofacies denominata sabbie marine e conglomerati di Ascoli Satriano (ASP₃). Il contenuto micropaleontologico della formazione, generalmente abbondante e diversificato con numerose forme rimaneggiate, è rappresentato da associazioni a foraminiferi riferibili alla Zona *Bulimina marginata* e a quella a *Globigerina calabra*. Le associazioni a nannofossili indicano un intervallo compreso tra le Zone MNN19b e MNN19c.

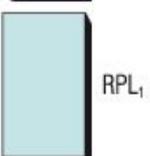
CALABRIANO



Subsistema dell'Incoronata

Silt argillosi, silt, sabbie siltose e lenti di ghiaie poligeniche; a luoghi livelli di limi nerastri con coperture decimetriche di sabbie con gradazione diretta, laminate e con al tetto sottili livelli argillosi.

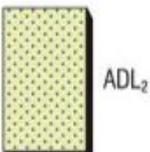
PLEISTOCENE SUPERIORE ? - OLOCENE



Subsistema di La Mezzana

Conglomerati poligenici a grana media mediamente cementati in matrice sabbiosa; con clasti subarrotondati di rocce provenienti dalle unità della Catena appenninica.

PLEISTOCENE MEDIO



MORFOLOGIA DELL'AREA

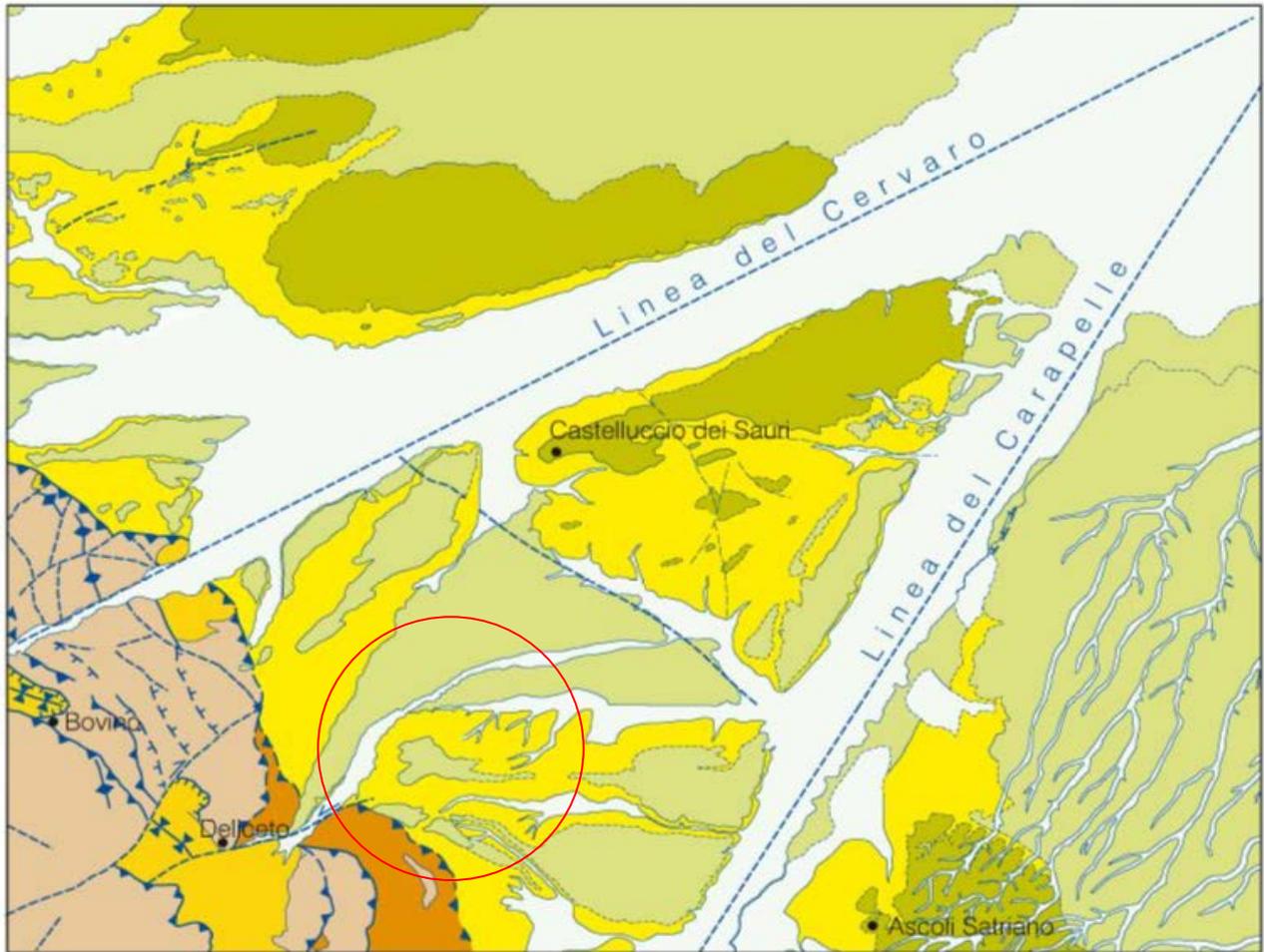
Dal punto di vista morfologico l'area si presenta, nella zona di impianto, lievemente degradante verso nord ovest per gran parte dell'area interessata dal progetto, solo in prossimità del corso d'acqua "*Fosso Pozzo Vitolo*" la pendenza risulta più evidente.

Mentre nella zona dove dovrebbe sorgere la sottostazione la morfologia si presenta degradante in modo evidente verso sud ovest. Mentre lungo tutto il percorso del tracciato del cavidotto la morfologia varia in modo dolce, con pendenze mai superiori al 3%, passando da zone dove le quote sono di circa 280 mt. s.l.m., a zone in cui le quote raggiungono un massimo di circa 360 metri s.l.m. Comunque, nonostante l'acclività di alcune parti delle aree interessate dal progetto, tanto nella stessa quanto nelle zone limitrofe, non sono presenti fenomeni di dissesti attivi o potenziali.

Allo stato attuale non vi sono, neanche nelle immediate vicinanze, grosse scarpate naturali, né tagli artificiali e tutta la zona risulta completamente libera da segni di dissesto in atto o in preparazione, né è soggetta a rapide modificazioni morfologiche causate da intense azioni erosive. Non sono state ritrovate faglie né altre discontinuità superficiali.

SCHEMA TETTONICO E STRATIGRAFICO

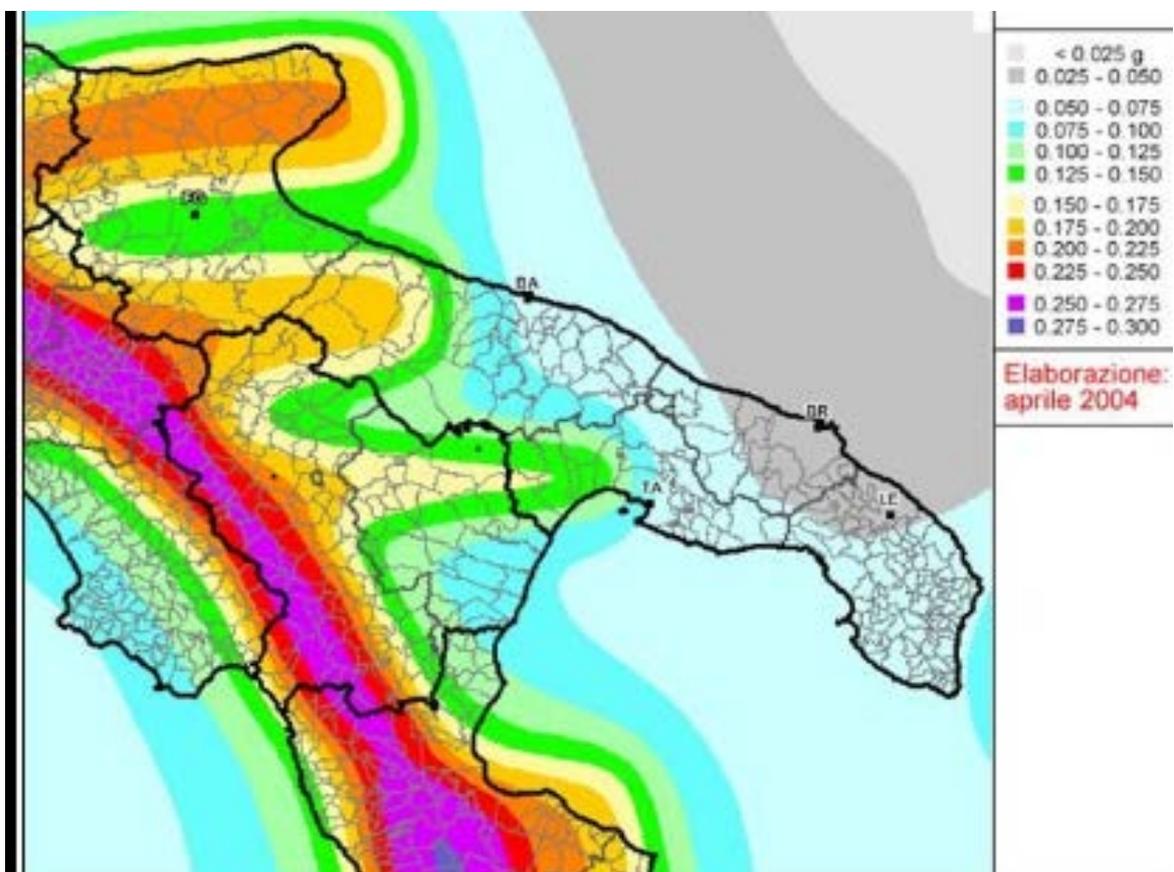
Scala 1:200.000



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 Deliceto 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 e Basso 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.



INDAGINI GEOGNOSTICHE

Considerata la struttura del manufatto e la natura dei litotipi interessati dalle fondazioni, si è proceduto a caratterizzare gli stessi dal punto di vista litologico e geomeccanico, avvalendoci di prove penetrometriche dirette, effettuate in diversi punti della zona di impianto, lungo il tracciato e nell'area di sottostazione.

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.

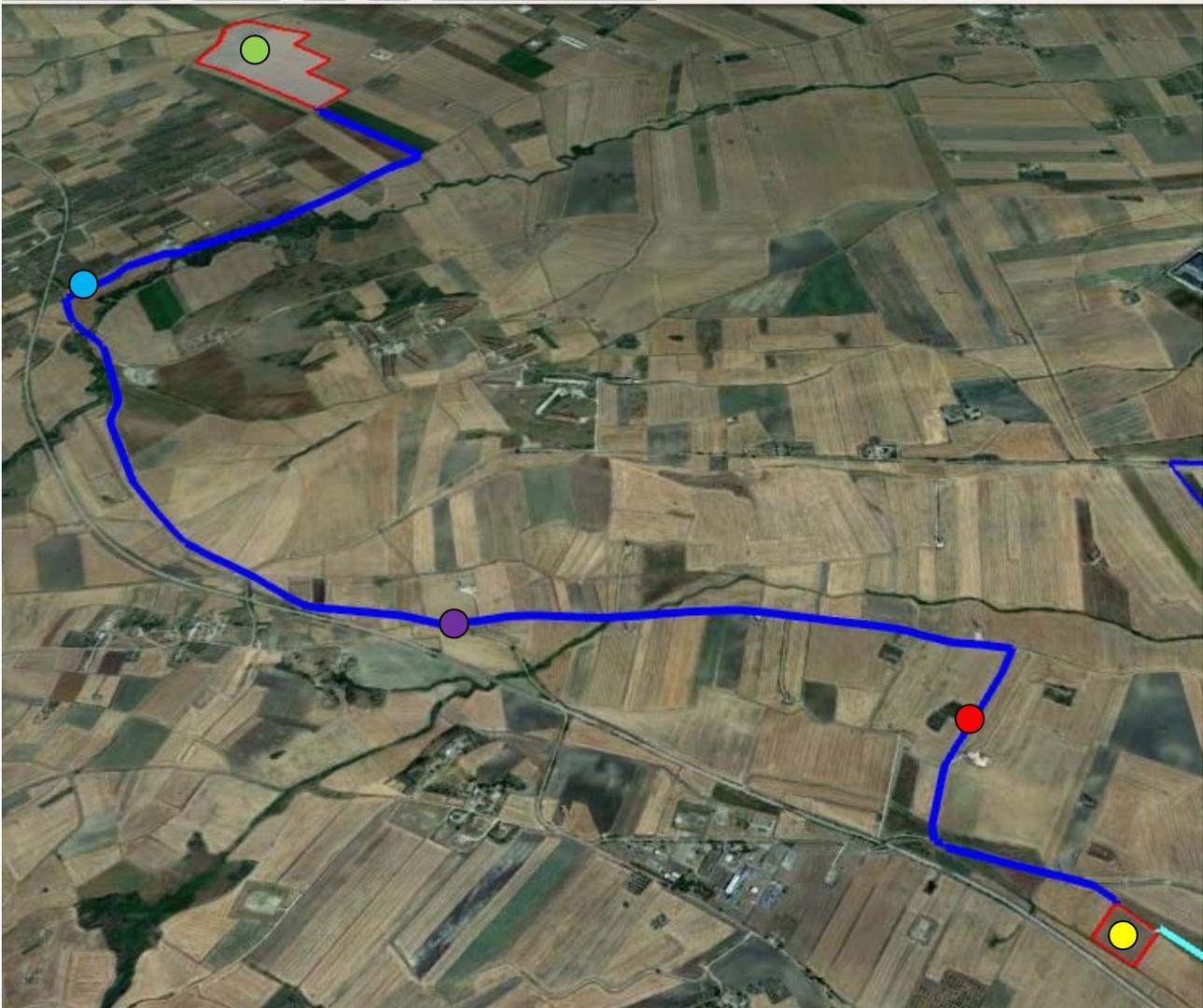
Le prove dinamiche, diversamente dalle S.P.T., sono continue e quindi forniscono una visione più completa della consistenza dei materiali dal piano campagna fino alla profondità di investigazione.

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.

Le prove sono state spinte fino alla profondità di 10,00 metri dal piano campagna.

L'area di studio presenta una morfologia piano ondulata con pendenze che mai assumono valori eccessivi.

UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE



INDAGINI GEOGNOSTICHE

Considerata la struttura del manufatto e la natura dei litotipi interessati dalle fondazioni, si è proceduto a caratterizzare gli stessi dal punto di vista litologico e geomeccanico, avvalendoci di n° 5 penetrometrie dinamiche, ubicate nella zona di impianto, lungo il tracciato del cavidotto e nella zona dove dovrà sorgere la sottostazione.

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.

Le prove sono state spinte fino alla profondità di 10,00 metri dal piano campagna.

Allo stato attuale non vi sono, neanche nelle vicinanze, grosse scarpate naturali, né tagli artificiali e tutta la zona risulta completamente libera da segni di dissesto in atto o in preparazione, né è soggetta a rapide modificazioni morfologiche causate da intense azioni erosive.

Non sono state ritrovate faglie né altre discontinuità superficiali.

STRATIGRAFIA DEL SOTTOSUOLO ZONA DI IMPIANTO

PROFONDITA' Metri	DESCRIZIONE FORMAZIONE
0,00 – 0,50	TERRENO VEGETALE COSTITUITO DA SABBIE LIMI E PICCOLI CLASTI.
0,50 – 1,20	LIMO SABBIOSO DI COLORE AVANO, DOTATO DI MODESTE CARATTERISTICHE MECCANICHE
1,20 – 3,00	ARGILLE LIMO SABBIOSE DI COLORE AVANO CHIARO, ALTERNATE A VOLTE A LIVELLI PIU' O MENO SABBIOSI E GHIAIOSI, MEDIAMENTE ADDENSATE, DOTATE NELL'INSIEME DI SUFFICIENTE CAPACITA' PORTANTE.
3,00 – 16,00	LIMO – SABBIOSO, LEGGERMENTE ARGILLOSO DI COLORE AVANO CHIARO, ALTERNATO A VOLTE A LIVELLI PIU' O MENO SABBIOSI E GHIAIOSI, DISCRETAMENTE COSTIPATO, DOTATO NELL'INSIEME DI DISCRETA CAPACITA' PORTANTE.
16,00 – 30,00	SABBIE LIMO ARGILLOSE DI COLORE AVANO CHIARO, ALTERNATO A VOLTE A LIVELLI PIU' O MENO SABBIOSI E DISCRETAMENTE COSTIPATO, DOTATO NELL'INSIEME DI DISCRETA CAPACITA' PORTANTE.

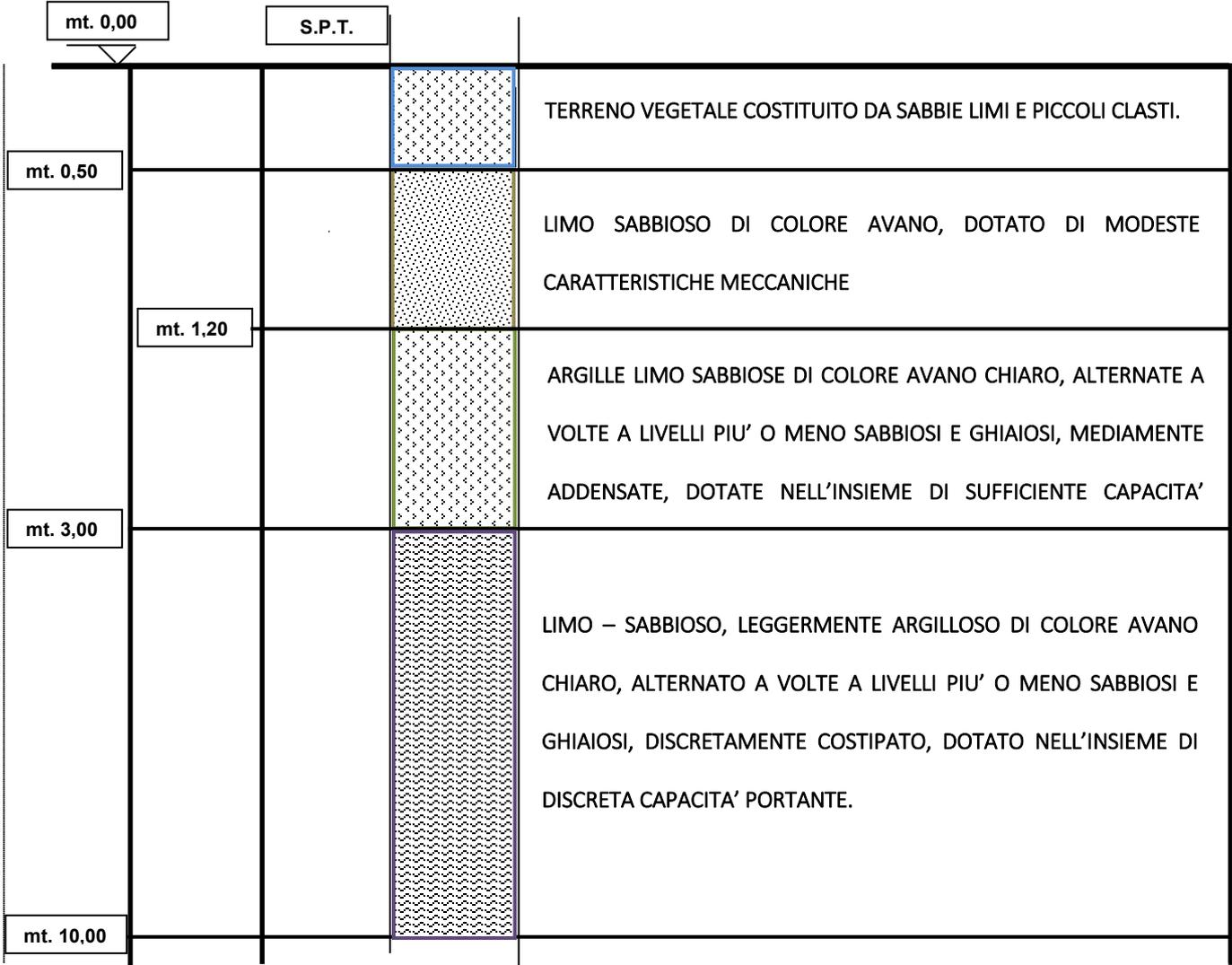
STRATIGRAFIA DEL SOTTOSUOLO ZONA DI TRACCIATO

PROFONDITA' Metri	DESCRIZIONE FORMAZIONE
0,00 – 0,50	TERRENO VEGETALE COSTITUITO DA SABBIE LIMI E PICCOLI CLASTI.
0,50 – 1,50	SABBIE SILTOSE DI COLORE AVANO, DOTATO DI MODESTE CARATTERISTICHE MECCANICHE
1,50 – 5,00	SABBIE LIMOSE DI COLORE AVANO CHIARO, ALTERNATE A VOLTE A LIVELLI PIU' O MENO SABBIOSE E GHIAIOSE, MEDIAMENTE ADDENSATE, DOTATE NELL'INSIEME DI SUFFICIENTE CAPACITA' PORTANTE.
5,00 – 15,00	LIMO – SABBIOSO, LEGGERMENTE ARGILLOSO DI COLORE AVANO CHIARO, ALTERNATO A VOLTE A LIVELLI PIU' O MENO SABBIOSI E GHIAIOSI, DISCRETAMENTE COSTIPATO, DOTATO NELL'INSIEME DI DISCRETA CAPACITA' PORTANTE.
15,00 – 30,00	SABBIE LIMO ARGILLOSE DI COLORE AVANO CHIARO, ALTERNATO A VOLTE A LIVELLI PIU' O MENO SABBIOSI E DISCRETAMENTE COSTIPATO, DOTATO NELL'INSIEME DI DISCRETA CAPACITA' PORTANTE.

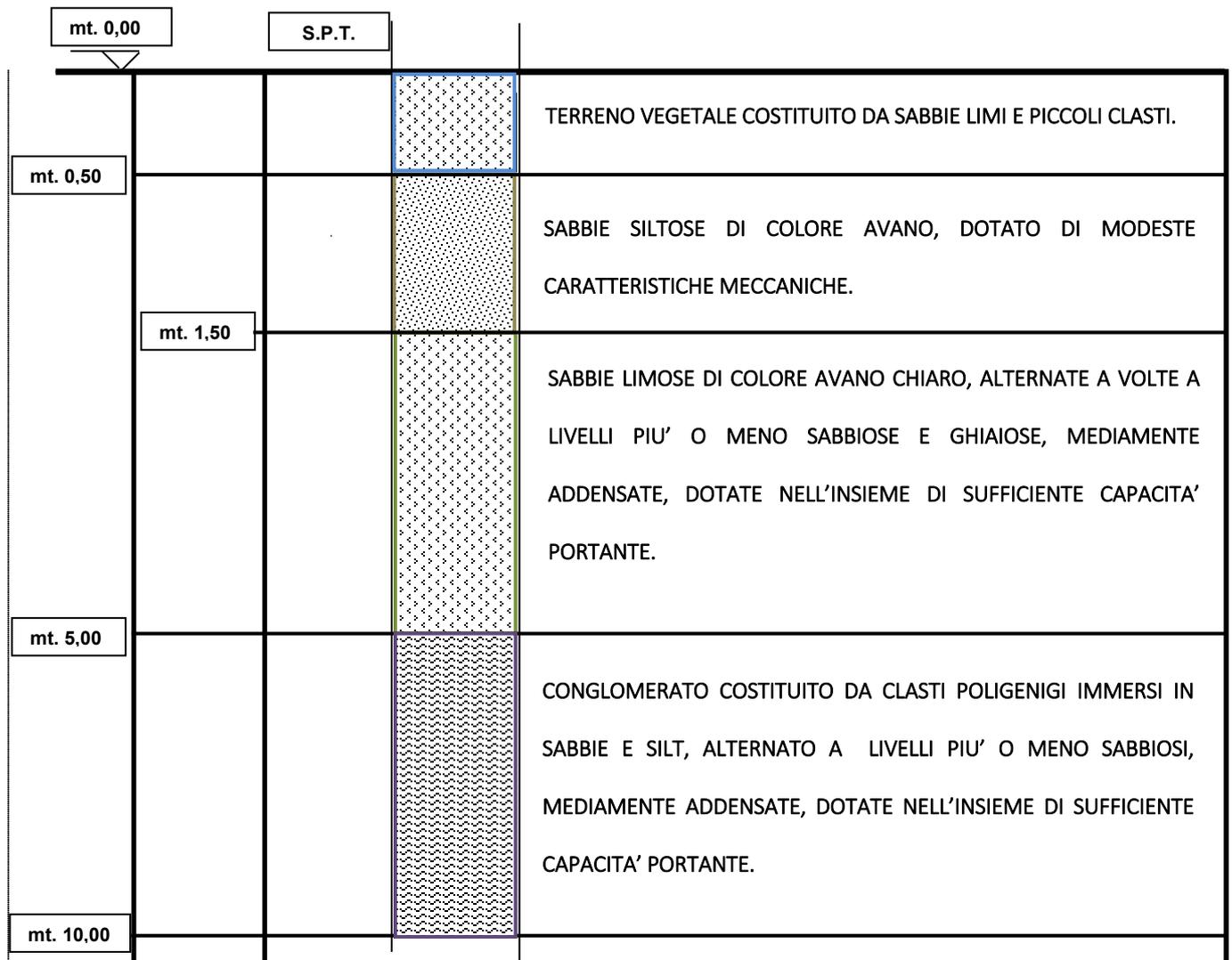
STRATIGRAFIA DEL SOTTOSUOLO ZONA SOTTOSTAZIONE

PROFONDITA' Metri	DESCRIZIONE FORMAZIONE
0,00 – 0,50	TERRENO VEGETALE COSTITUITO DA SABBIE LIMI E PICCOLI CLASTI.
0,50 – 1,60	SABBIE SILTOSE DI COLORE AVANO, DOTATO DI MODESTE CARATTERISTICHE MECCANICHE.
1,60 – 6,00	CONGLOMERATO COSTITUITO DA POCHI CLASTI POLIGENIGI IMMERSI IN SABBIE E SILT, ALTERNATE A VOLTE A LIVELLI PIU' O MENO SABBIOSI E GHIAIOSI, MEDIAMENTE ADDENSATE, DOTATE NELL'INSIEME DI SUFFICIENTE CAPACITA' PORTANTE.
6,00 – 14,00	CONGLOMERATO COSTITUITO DA CLASTI POLIGENIGI IMMERSI IN SABBIE E SILT, ALTERNATO A LIVELLI PIU' O MENO SABBIOSI, MEDIAMENTE ADDENSATE, DOTATE NELL'INSIEME DI SUFFICIENTE CAPACITA' PORTANTE.
14,00 – 30,00	CONGLOMERATO COSTITUITO DA CLASTI POLIGENIGI IMMERSI IN SABBIE E SILT, ALTERNATO A LIVELLI PIU' O MENO SABBIOSI, MOLTO ADDENSATI, DOTATE NELL'INSIEME DI OTTIME CARATTERISTICHE MECCANICHE.

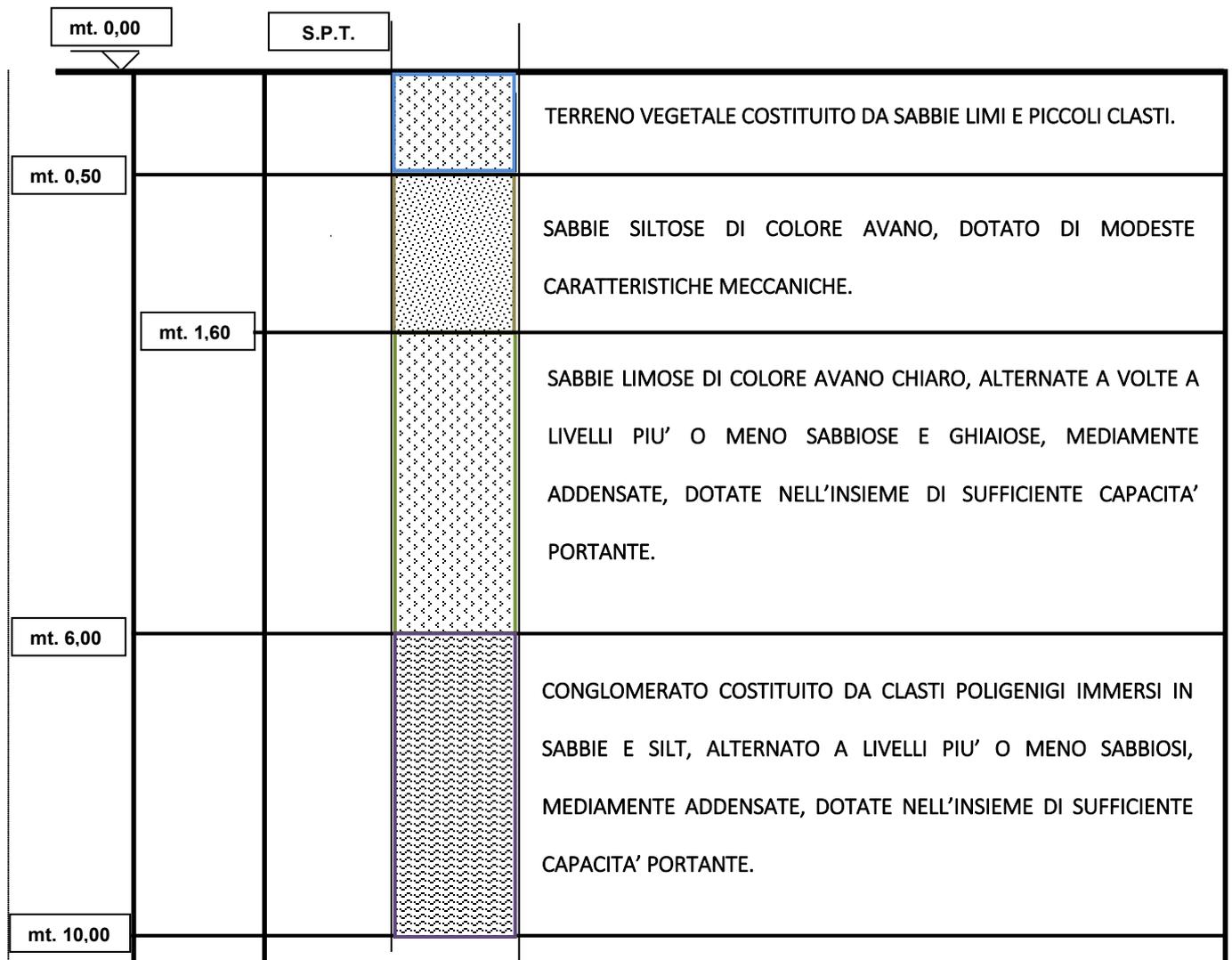
SCHEMA STRATIGRAFICO ZONA DI IMPIANTO



SCHEMA STRATIGRAFICO TRACCIATO



SCHEMA STRATIGRAFICO ZONA SOTTOSTAZIONE



I principali parametri meccanici dello strato di terreno posto tra 0,50 e 1,20 metri dal piano campagna (ZONA IMPIANTO) sono così definiti:

γ	$1,75 \text{ t/m}^3$	Peso di volume
\varnothing	20°	Angolo di attrito
Cu	$10,00 \text{ KPa}$	Coesione non drenata
KZ	$3,00 \text{ kg/cm}^3$	Coefficiente di sottofondo
Kx	$1,00 \text{ kg/cm}^3$	Coefficiente di sottofondo
Ky	$1,00 \text{ kg/cm}^3$	Coefficiente di sottofondo
C	$1,00 \text{ KPa}$	Coesione
E	3 N/mm^2	Modulo edometrico

I principali parametri meccanici (ZONA IMPIANTO) dello strato di terreno posto tra 1,20 e 3,00 metri dal piano campagna sono così definiti:

γ	1,85 t/m^3	Peso di volume
ϕ	23°	Angolo di attrito
Cu	20,00 KPa	Coesione non drenata
KZ	3,50 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	5,00 KPa	Coesione
E	5 N/mm^2	Modulo edometrico

I principali parametri meccanici medi dello strato di terreno (ZONA IMPIANTO) posto tra 3.00 e 16,00 metri dal piano campagna sono così definiti:

γ	1,85 t/m^3	Peso di volume
ϕ	25°	Angolo di attrito
Cu	20,00 KPa	Coesione non drenata
KZ	4,00 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	5,00 KPa	Coesione
E	5 N/mm^2	<i>Modulo edometrico</i>

I principali parametri meccanici (ZONA IMPIANTO) dello strato di terreno posto tra 16,00 e 30,00 metri dal piano campagna sono così definiti:

γ	1,90 t/m^3	Peso di volume
ϕ	27°	Angolo di attrito
Cu	35,00 KPa	Coesione non drenata
KZ	4,50 kg/cm^3	Coefficiente di sottofondo
Kx	1,00 kg/cm^3	Coefficiente di sottofondo
Ky	1,00 kg/cm^3	Coefficiente di sottofondo
C	5,00 KPa	Coesione
E	5 N/mm^2	Modulo edometrico

I principali parametri meccanici dello strato di terreno posto tra 0,50 e 1,50 metri dal piano campagna (ZONA TRACCIATO) sono così definiti:

γ	1,75 t/m^3	Peso di volume
ϕ	21°	Angolo di attrito
Cu	10,00 KPa	Coesione non drenata
KZ	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	5,00 KPa	Coesione
E	4 N/mm^2	Modulo edometrico

I principali parametri meccanici (ZONA TRACCIATO) dello strato di terreno posto tra 1.60 e 5,00 metri dal piano campagna sono così definiti:

γ	1,85 t/m^3	Peso di volume
ϕ	24°	Angolo di attrito
Cu	20,00 KPa	Coesione non drenata
KZ	3,50 kg/cm^3	Coefficiente di sottofondo
Kx	1,00 kg/cm^3	Coefficiente di sottofondo
Ky	1,00 kg/cm^3	Coefficiente di sottofondo
C	5,00 KPa	Coesione
E	5 N/mm^2	Modulo edometrico

I principali parametri meccanici medi dello strato di terreno (ZONA TRACCIATO)

posto tra 5,00 e 15,00 metri dal piano campagna sono così definiti:

γ	1,85 t/m^3	Peso di volume
ϕ	26°	Angolo di attrito
C_u	20,00 KPa	Coesione non drenata
K_z	4,00 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	5,00 KPa	Coesione
E	5 N/mm^2	Modulo edometrico

I principali parametri meccanici (ZONA TRACCIATO) dello strato di terreno posto tra 15,00 e 30,00 metri dal piano campagna sono così definiti:

γ	1,90 t/m ³	Peso di volume
ϕ	27°	Angolo di attrito
C_u	35,00 KPa	Coesione non drenata
K_z	4,50 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	5,00 KPa	Coesione
E	5 N/mm ²	Modulo edometrico

I principali parametri meccanici dello strato di terreno posto tra 0,50 e 1,50 metri dal piano campagna (ZONA SOTTOSTAZIONE) sono così definiti:

γ	$1,75 \text{ t/m}^3$	Peso di volume
ϕ	20°	Angolo di attrito
C_u	$10,00 \text{ KPa}$	Coesione non drenata
K_z	$3,00 \text{ kg/cm}^3$	Coefficiente di sottofondo
K_x	$1,00 \text{ kg/cm}^3$	Coefficiente di sottofondo
K_y	$1,00 \text{ kg/cm}^3$	Coefficiente di sottofondo
C	$5,00 \text{ KPa}$	Coesione
E	4 N/mm^2	<i>Modulo edometrico</i>

I principali parametri meccanici (ZONA SOTTOSTAZIONE) dello strato di terreno posto tra 1,60 e 6,00 metri dal piano campagna sono così definiti:

γ	1,85 t/m^3	Peso di volume
ϕ	25°	Angolo di attrito
C_u	20,00 KPa	Coesione non drenata
K_z	4,00 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	5,00 KPa	Coesione
E	5 N/mm^2	<i>Modulo edometrico</i>

I principali parametri meccanici medi dello strato di terreno (ZONA SOTTOSTAZIONE)

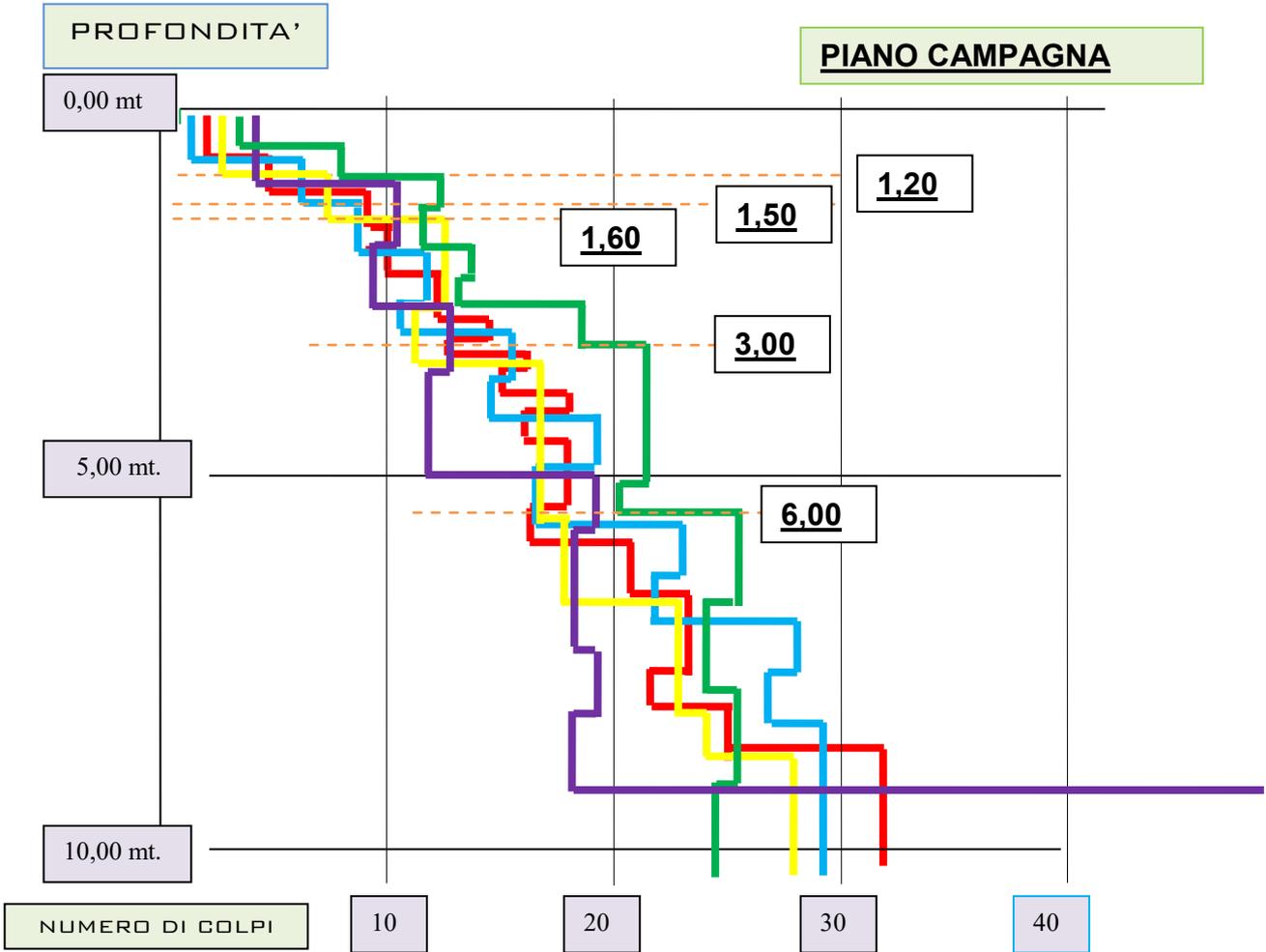
posto tra 6,00 e 15,00 metri dal piano campagna sono così definiti:

γ	1,85 t/m^3	Peso di volume
ϕ	27°	Angolo di attrito
C_u	40,00 KPa	Coesione non drenata
K_z	4,50 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	5,00 KPa	Coesione
E	5 N/mm^2	Modulo edometrico

I principali parametri meccanici (ZONA SOTTOSTAZIONE) dello strato di terreno posto tra 15,00 e 30,00 metri dal piano campagna sono così definiti:

γ	1,90 t/m^3	Peso di volume
ϕ	30°	Angolo di attrito
Cu	35,00 KPa	Coesione non drenata
Kz	5,50 kg/cm^3	Coefficiente di sottofondo
Kx	1,00 kg/cm^3	Coefficiente di sottofondo
Ky	1,00 kg/cm^3	Coefficiente di sottofondo
C	5,00 KPa	Coesione
E	7 N/mm^2	Modulo edometrico

PROVE PENETROMETRICHE S1 - S2 - S3 - S4 - S5



I depositi interessati dalle fondazioni, mostrano globalmente, nonostante la presenza di una piccola frazione limo-argillosa, prevalenti caratteristiche granulari, perciò ad essi può essere associato un comportamento semi-frizionale, tale comunque da far ritenere i cedimenti sotto carico di tipo immediato e quindi estinguibili in gran parte entro i tempi di realizzazione dell'opera.

Il terreno di fondazione non dovrà subire, dopo l'avvenuta operazione di scavo, movimenti o rimaneggiamenti.

La presenza di eventuali ristagni di acqua dovuta a precipitazioni nell'intervallo tra lo scavo e la posa in opera delle fondazioni, dovrà immediatamente essere eliminata.

La possibile presenza di sacche di materiali sciolti, dovuti a irregolarità della superficie di fondazione, dovrà essere immediatamente asportata e sostituita con getto di magrone, eliminando così aree costituite da materiali più compressibili, causa di possibili cedimenti differenziati.

Se per caso durante i lavori, data la scarsa omogeneità litologica e meccanica in direzione orizzontale, si incontrassero situazioni diverse (litologie, proprietà

meccaniche e posizione falda) da quelle prese in considerazione per il calcolo della portanza, il progettista stesso deve riconsiderare i valori che determinano il carico ammissibile del terreno e rielaborarli in modo che soddisfino le condizioni reali di interazione struttura terreno.

In ogni caso il committente e/o il direttore dei lavori durante l'esecuzione dei lavori di scavo per la posa delle fondazioni deve interpellare necessariamente il sottoscritto geologo, in modo che lo stesso possa verificare se le caratteristiche del terreno siano compatibili con quelle previste da progetto.

INDAGINE GEOFISICA SOTTOSTAZIONE

L'indagine consiste in **uno** stendimento di sismica a rifrazione di lunghezza pari a **23,00** 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;

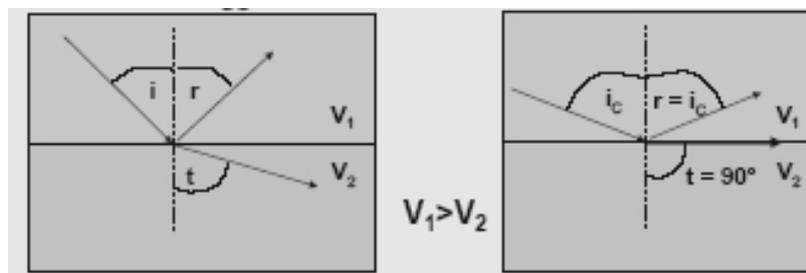
- sistema di acquisizione dati: sismografo digitale AMBROGEO ECHO 12-24 2002, ad incremento di segnale;
- un sistema di trigger: consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente 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

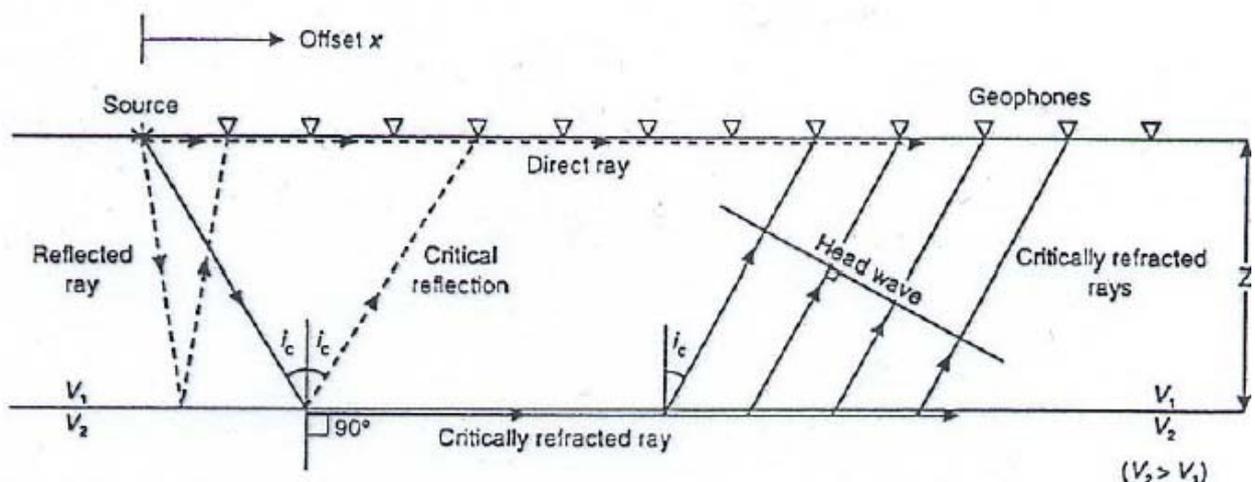
Le indagini indirette ed in particolare la metodologia a rifrazione permette la ricostruzione areale delle geometrie e degli spessori dei depositi di copertura, la profondità del substrato (entro i limiti di penetrazione del metodo), la verifica di eventuali discontinuità laterali nonché di determinare 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.

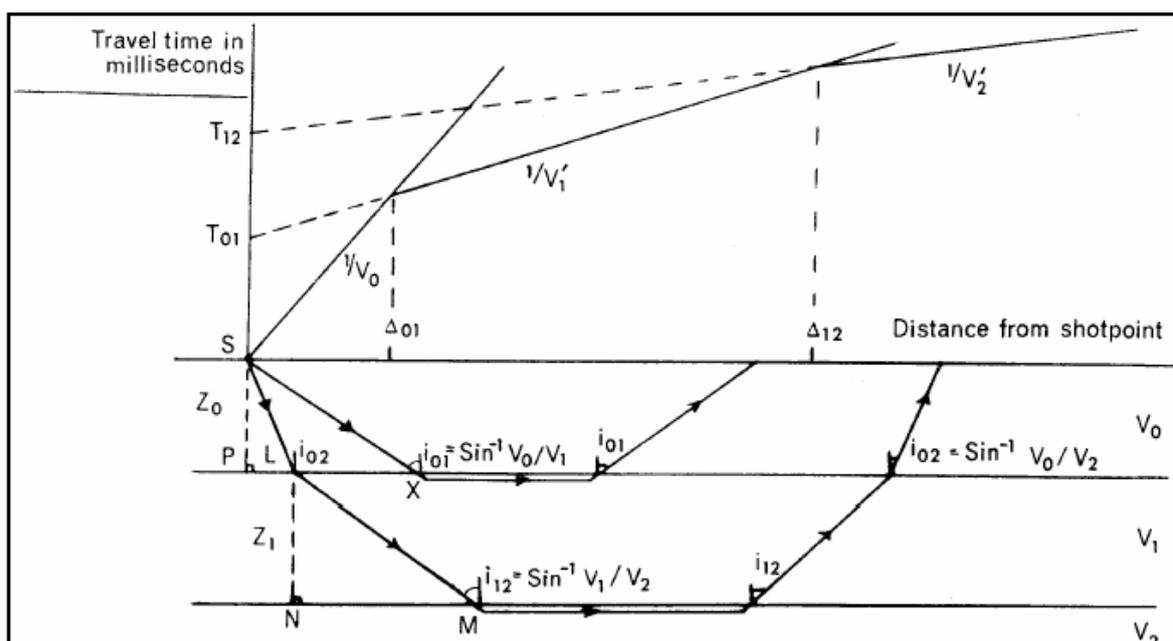


Disponendo una serie di ricevitori lungo la superficie libera del suolo e generando onde elastiche da una sorgente puntiforme l'onda riflessa arriverà sempre dopo le altre, mentre fino ad una certa distanza dalla sorgente arriverà prima l'onda diretta poi, quando l'onda bi-rifratta avrà percorso sufficiente 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 .

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

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.

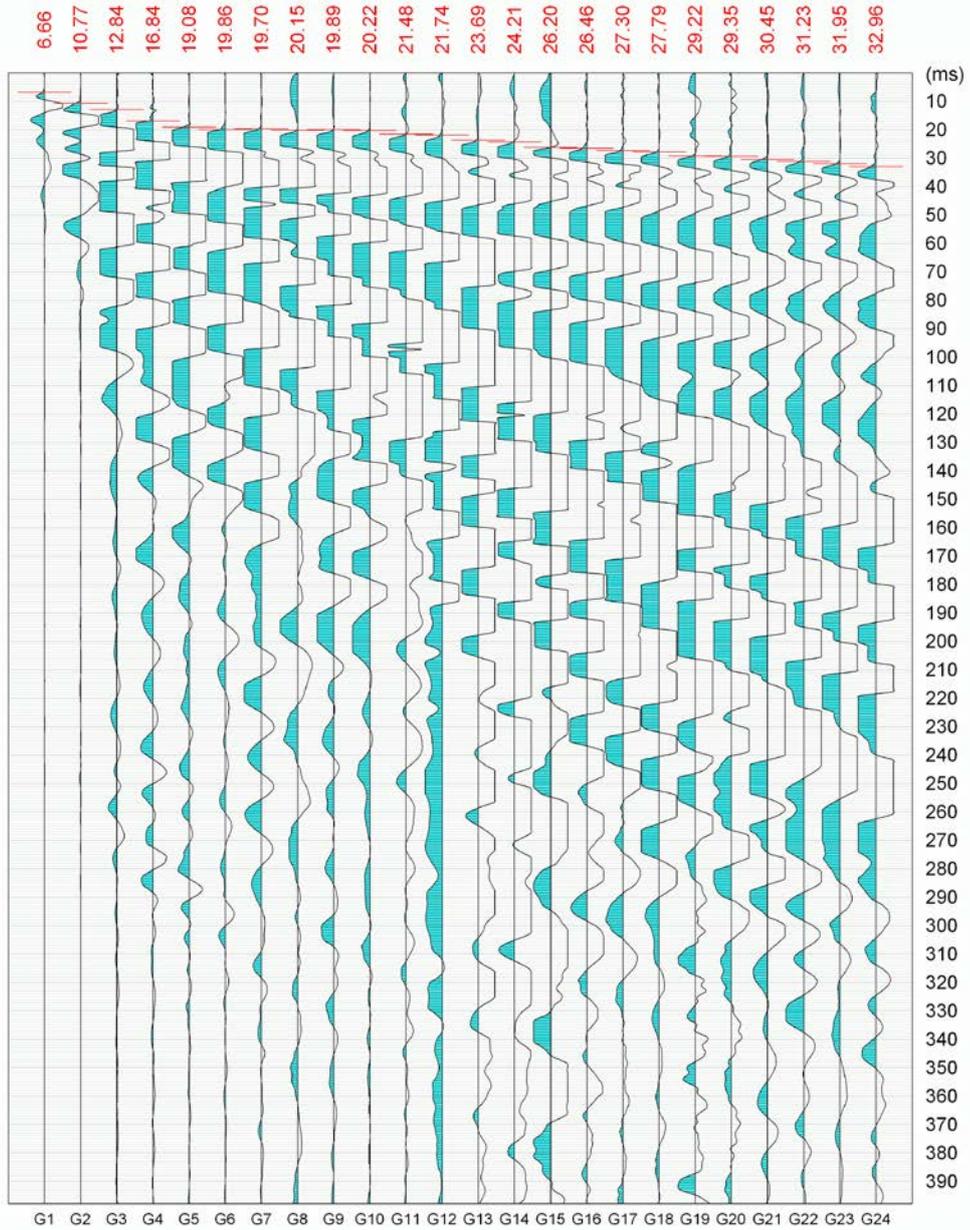
Per quanto riguarda la geometria adottata nella **BASE sismica 1**, i 24 geofoni sono stati disposti sul terreno con una spaziatura di **1,0 m**; sono stati utilizzati 2 punti di energizzazione estreme (a 1 m dai geofoni 1° e 24°), quindi l'intero stendimento BASE_1 risulta di **23,0 m**.

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

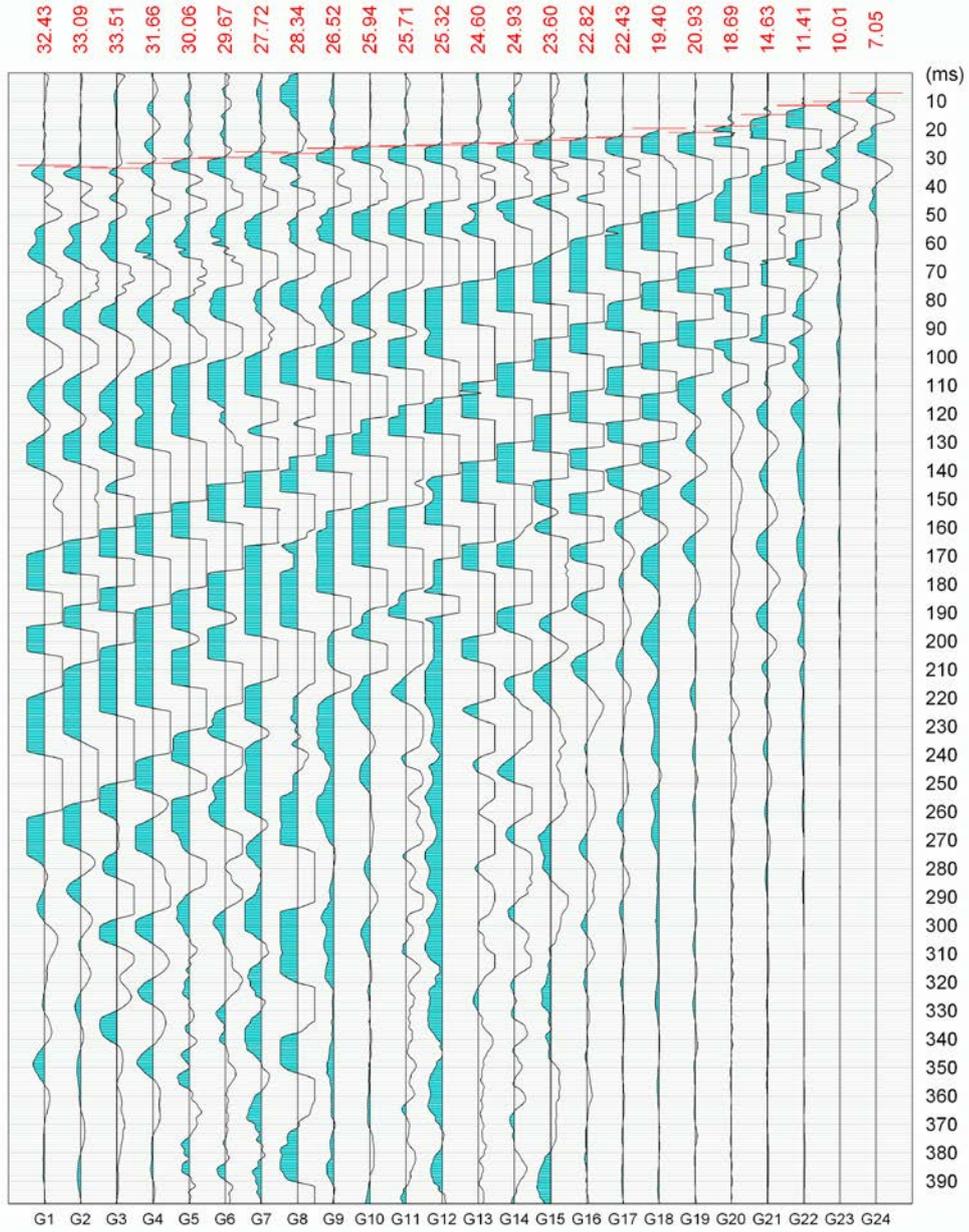
Registrazione Onde P

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 Deliceto
Contrada Tremoleto
cabina



Comune di Deliceto
Contrada Tremoleto
cabina



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

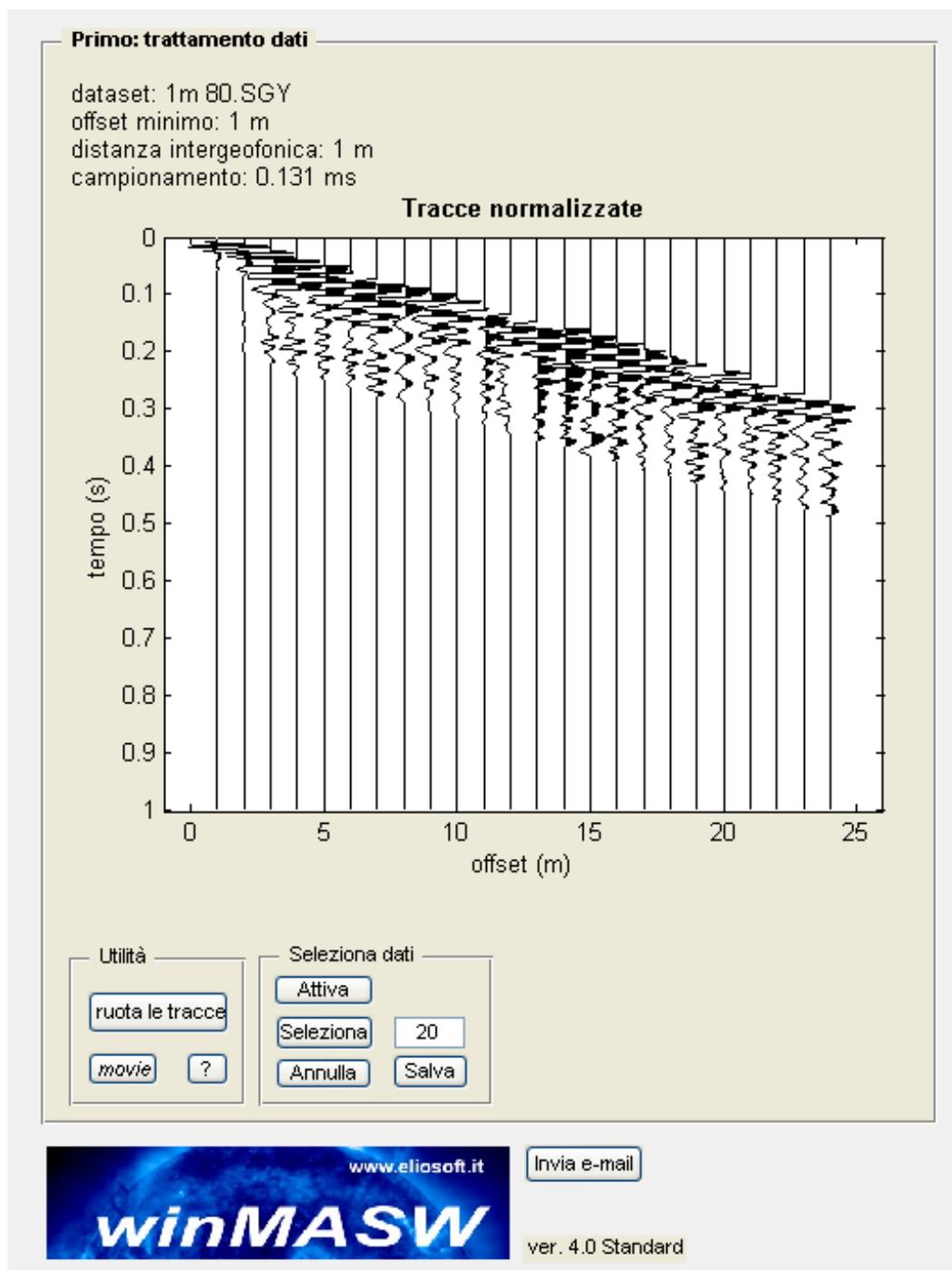
Le sezioni sismiche ottenute dall'interpretazione dei segnali acquisiti permettono di individuare le principali unità geofisiche costituenti il modello geofisico dell'area d'indagine.

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

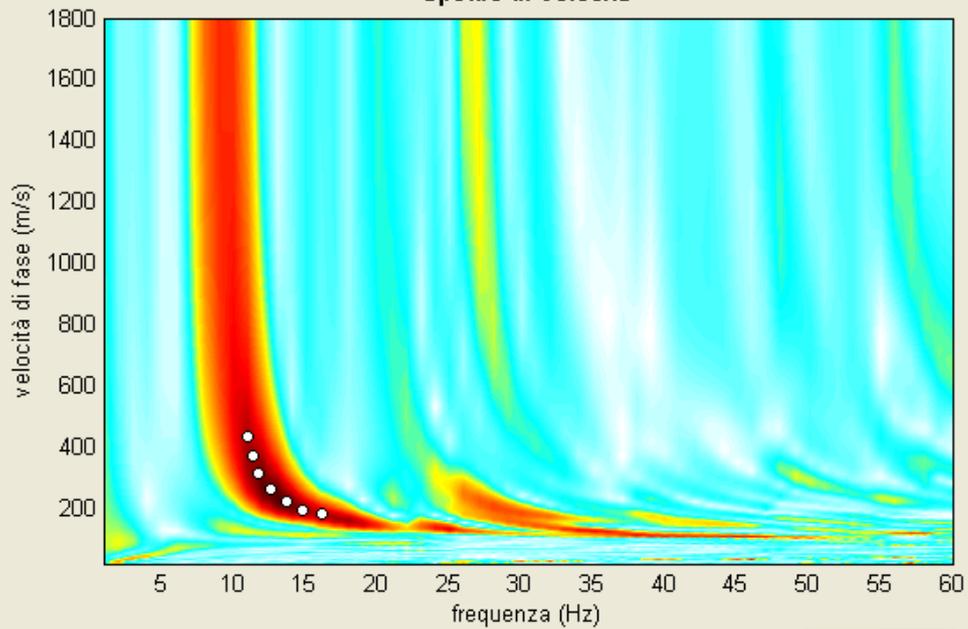
Tau - v

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

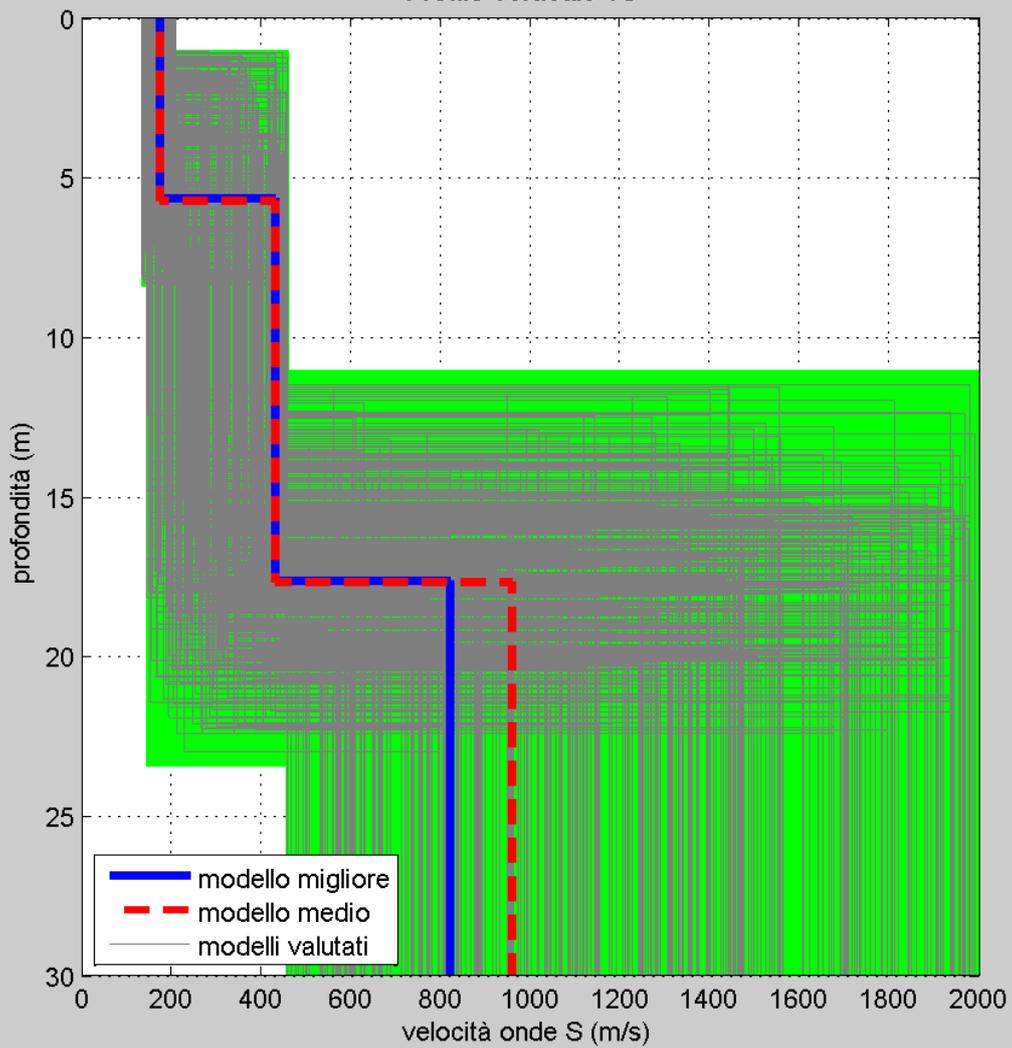
?

cancella picking

Inverti

Esci

Profilo verticale Vs



dataset: 1m 80.SGY

curva di dispersione: 1m 80 Deliceto Cda Tremoleto cabina.cdp

modello migliore VS30: 398 m/s

modello medio VS30: 407 m/s

Modello medio

VS (m/s): 174, 430, 958

Deviazioni Standard (m/s): 0, 0, 0

Spessori (m): 5.8, 11.9

Deviazioni Standard (m): 0.0, 0.0

Tipo di analisi: onde di Rayleigh

Stima approssimativa di densità e moduli elastici

Densità (gr/cm³): 1.80, 2.04, 2.19

Modulo di Poisson: 0.34, 0.37, 0.38

Modulo di taglio (MPa): 55, 377, 2009

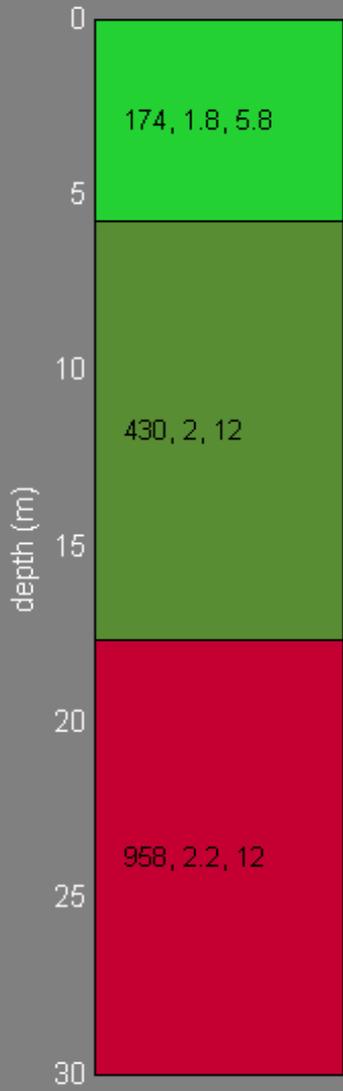
Modulo di compressione (MPa): 157, 1335, 3948

Modulo di Young (MPa): 147, 1035, 5152

Modulo di Lamé (MPa): 121, 1084, 2609

VS30 (m/s): 407

Subsurface model



Vs *density* *thickness*
(m/s) (gr/cm³) (m)

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 V_s e valori massimi dello spessore di ciascuna unità e calcolando un opportuno gradiente fino a 30 m per definire il parametro V_{s30} da normativa nazionale e fino al bedrock geofisico per definire il parametro T (periodo proprio del sottosuolo).

CONCLUSIONI

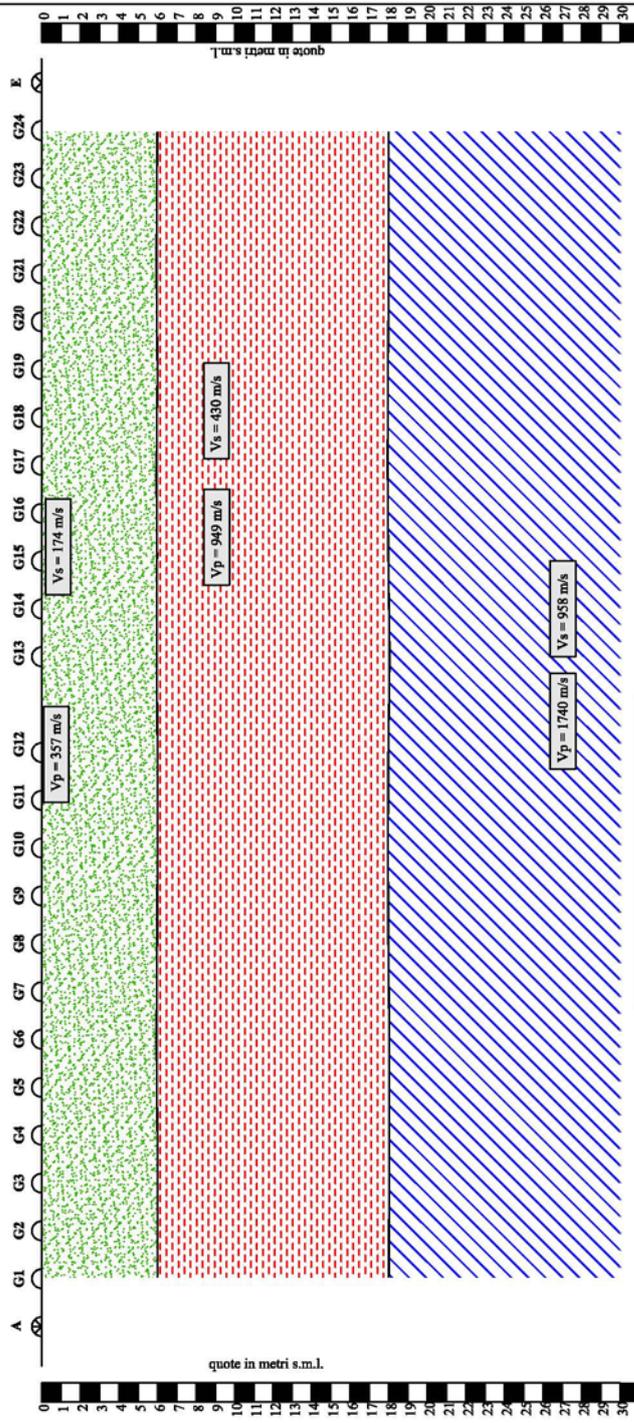
L'interpretazione dei dati sismici ha permesso di trarre le seguenti conclusioni:

- Le linee sismiche evidenziano principalmente 3 sismostrati:
 - *Sismostrato superficiale*, coltre superficiale con $V_p \approx 357$ m/s e $V_s \approx 140$ m/s, di spessore di circa 6,0 m;
 - *Sismostrato intermedio*, substrato intermedio con $V_p \approx 949$ m/s e $V_s \approx 430$ m/s;
 - *Sismostrato di fondo*, substrato semilitoide con $V_p \approx 1740$ m/s e $V_s \approx 958$ m/s, rinvenuto ad una profondità di $\approx 18,0$ 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	357	174	1,80	0,34	55	157	147	121
Intermedio	949	430	2,04	0,37	377	1335	1035	1084
Fondo	1740	958	2,19	0,38	2009	3948	5152	2609

- La velocità media di propagazione entro i 30 m di profondità delle onde di taglio è $V_{s30} = 407$ m/s.

SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA - BASE SISMICA B.S.1

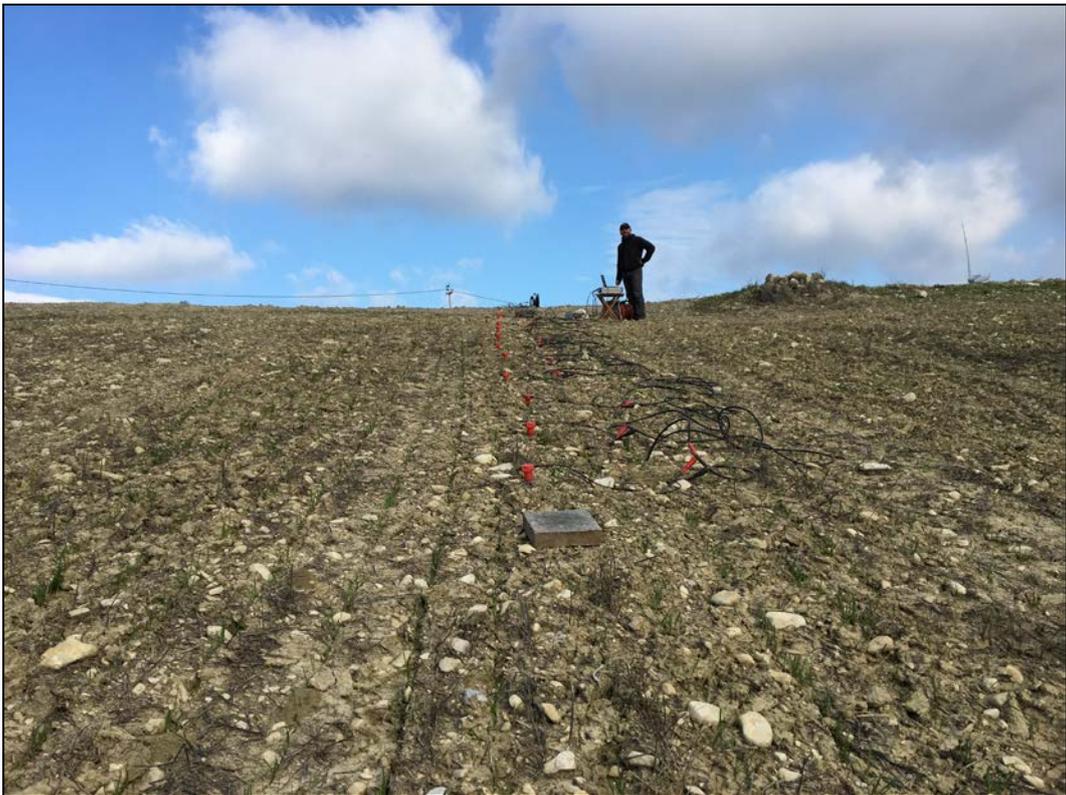


SISMOSTRATI	Vp (m/s)	Vs (m/s)	γ (t/m ³)	ν	G (MPa)	K (MPa)	E (MPa)	μ (MPa)
1	357	174	1,80	0,34	55	157	147	121
2	949	430	2,04	0,37	377	1335	1035	1084
3	1740	958	2,19	0,38	2009	3948	5152	2609

LEGENDA	
	GEOFONI
	PUNTI DI SCOPPIO
	DISTANZA INTERGEOFONICA
	LUNGHEZZA PROFILO
	NUMERO GEOFONI
	NUMERO PUNTI DI SCOPPIO

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA







INDAGINE GEOFISICA ZONA IMPIANTO

L'indagine consiste in **uno** stendimento di sismica a rifrazione di lunghezza pari a **46,00** 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 **2,0** 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;

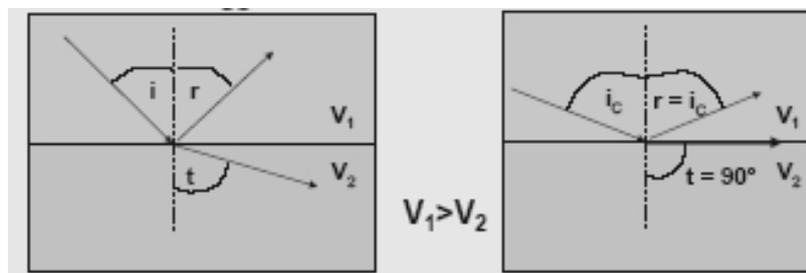
- sistema di acquisizione dati: sismografo digitale AMBROGEO ECHO 12-24 2002, ad incremento di segnale;
- un sistema di trigger: consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente 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

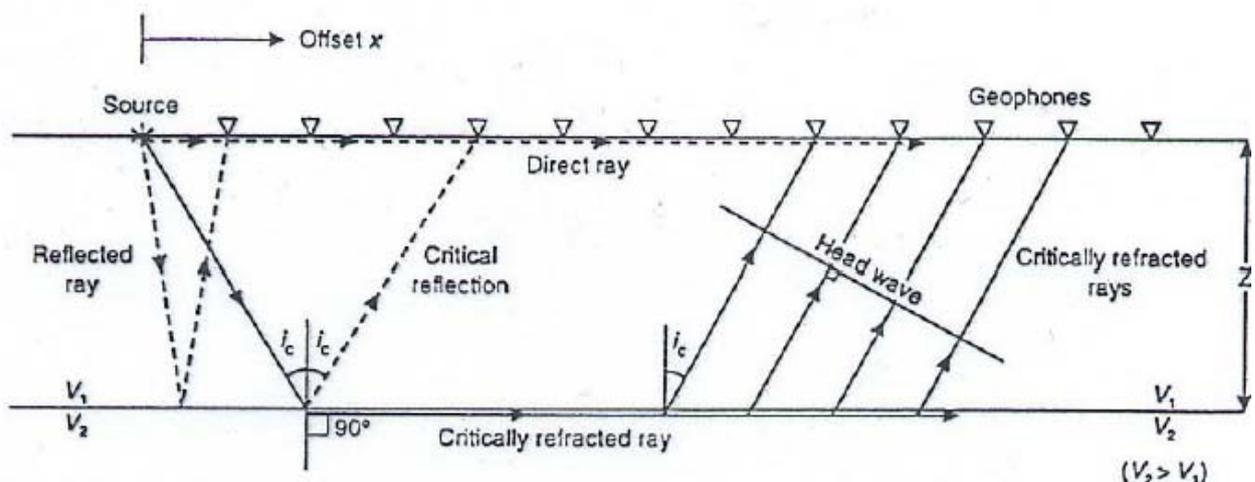
Le indagini indirette ed in particolare la metodologia a rifrazione permette la ricostruzione areale delle geometrie e degli spessori dei depositi di copertura, la profondità del substrato (entro i limiti di penetrazione del metodo), la verifica di eventuali discontinuità laterali nonché di determinare 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.

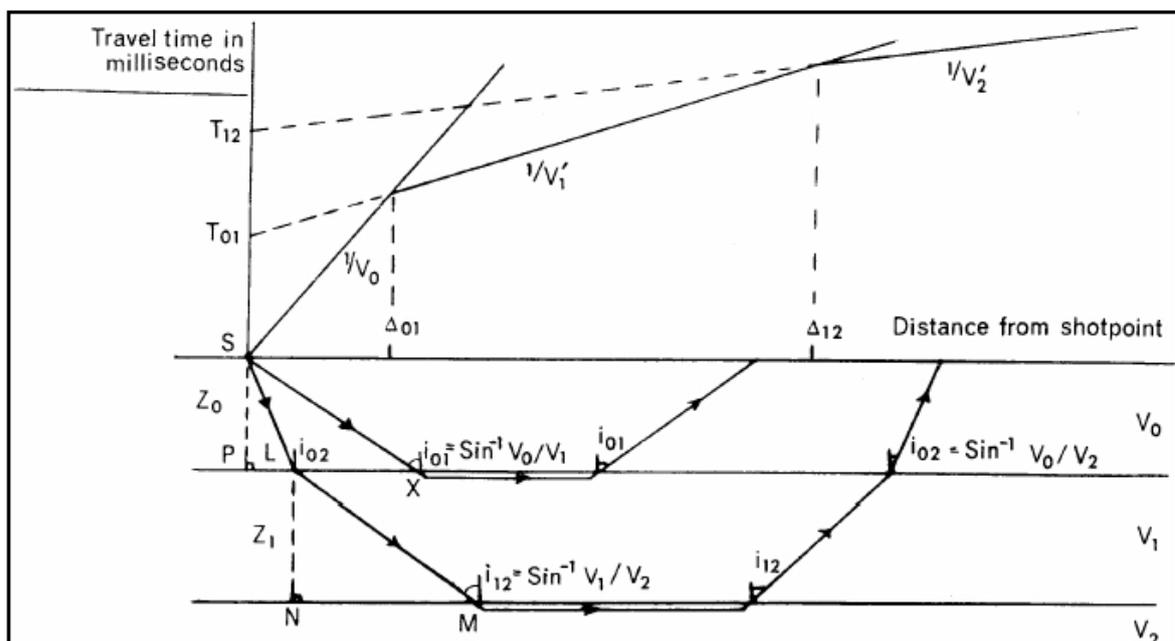


Disponendo una serie di ricevitori lungo la superficie libera del suolo e generando onde elastiche da una sorgente puntiforme l'onda riflessa arriverà sempre dopo le altre, mentre fino ad una certa distanza dalla sorgente arriverà prima l'onda diretta poi, quando l'onda bi-rifratta avrà percorso sufficiente 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 .

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

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.

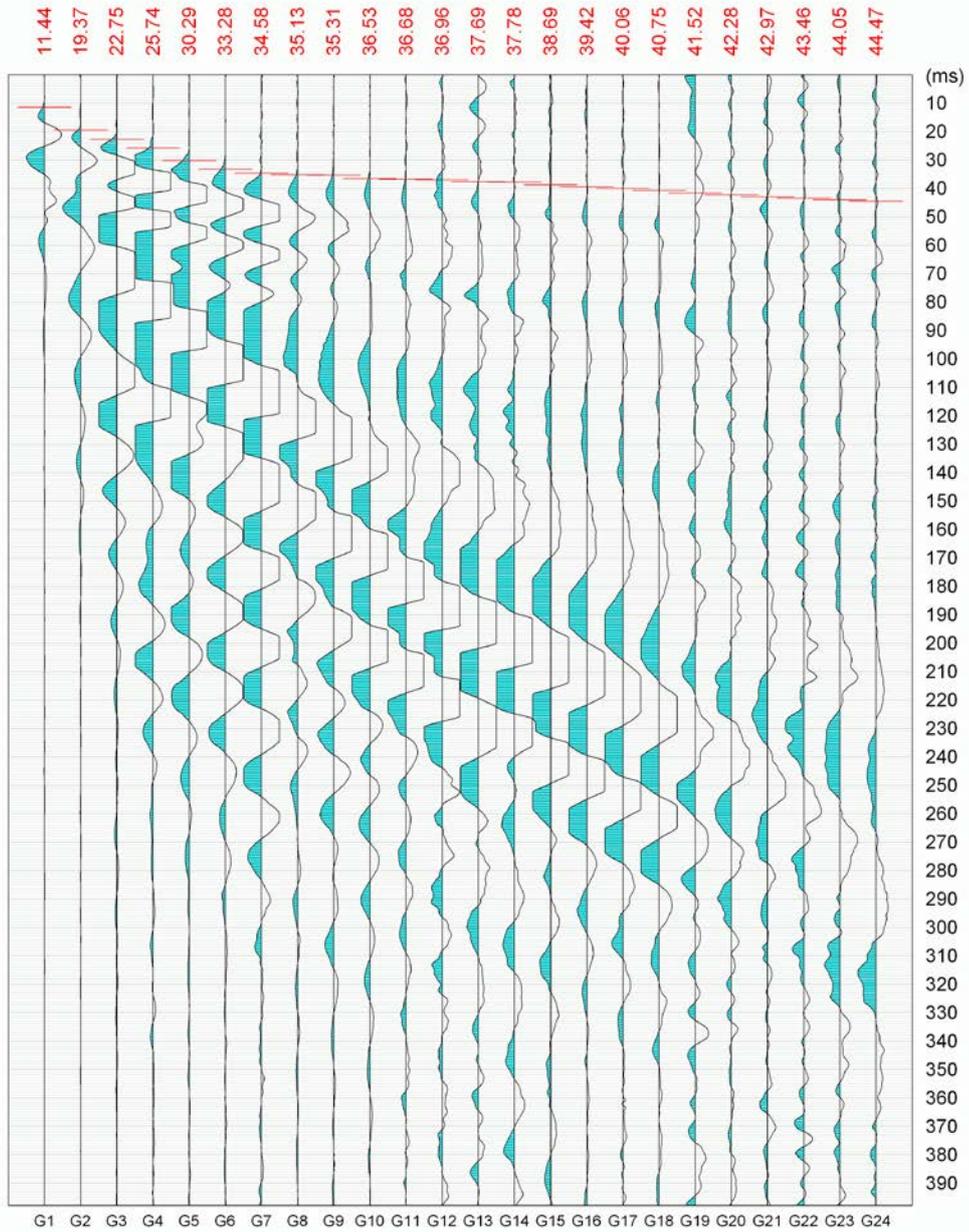
Per quanto riguarda la geometria adottata nella **BASE sismica 1**, i 24 geofoni sono stati disposti sul terreno con una spaziatura di **1,0 m**; sono stati utilizzati 2 punti di energizzazione estreme (a 1 m dai geofoni 1° e 24°), quindi l'intero stendimento BASE_1 risulta di **23,0 m**.

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

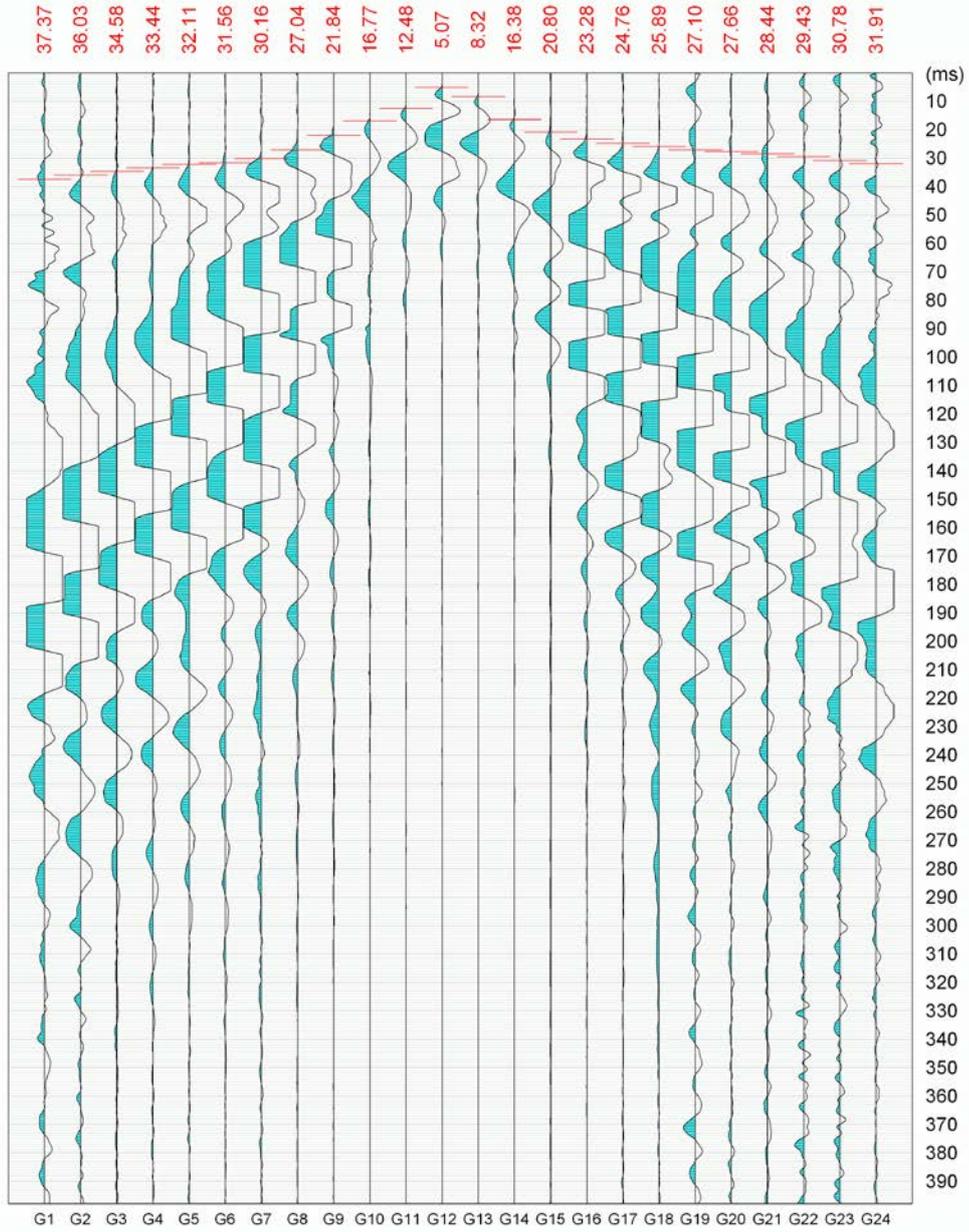
Registrazione Onde P

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:

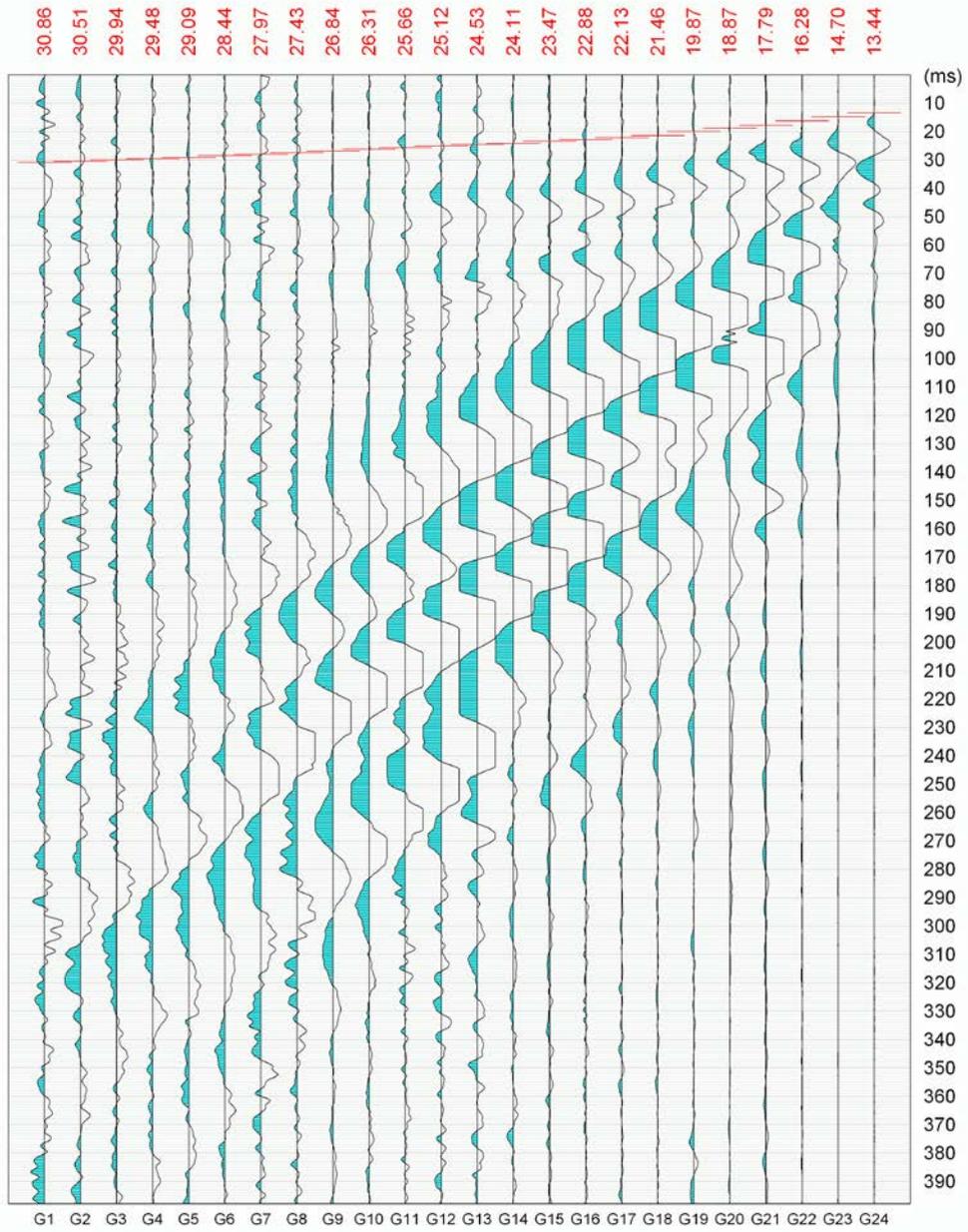
Comune di Deliceto
Contrada Tremoleto



Comune di Deliceto
Contrada Tremoleto



Comune di Deliceto
Contrada Tremoleto



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 **2,0** metri, l'intero stendimento è di **46,0** m; le registrazioni per ciascun punto di scoppio (1 m; 2 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

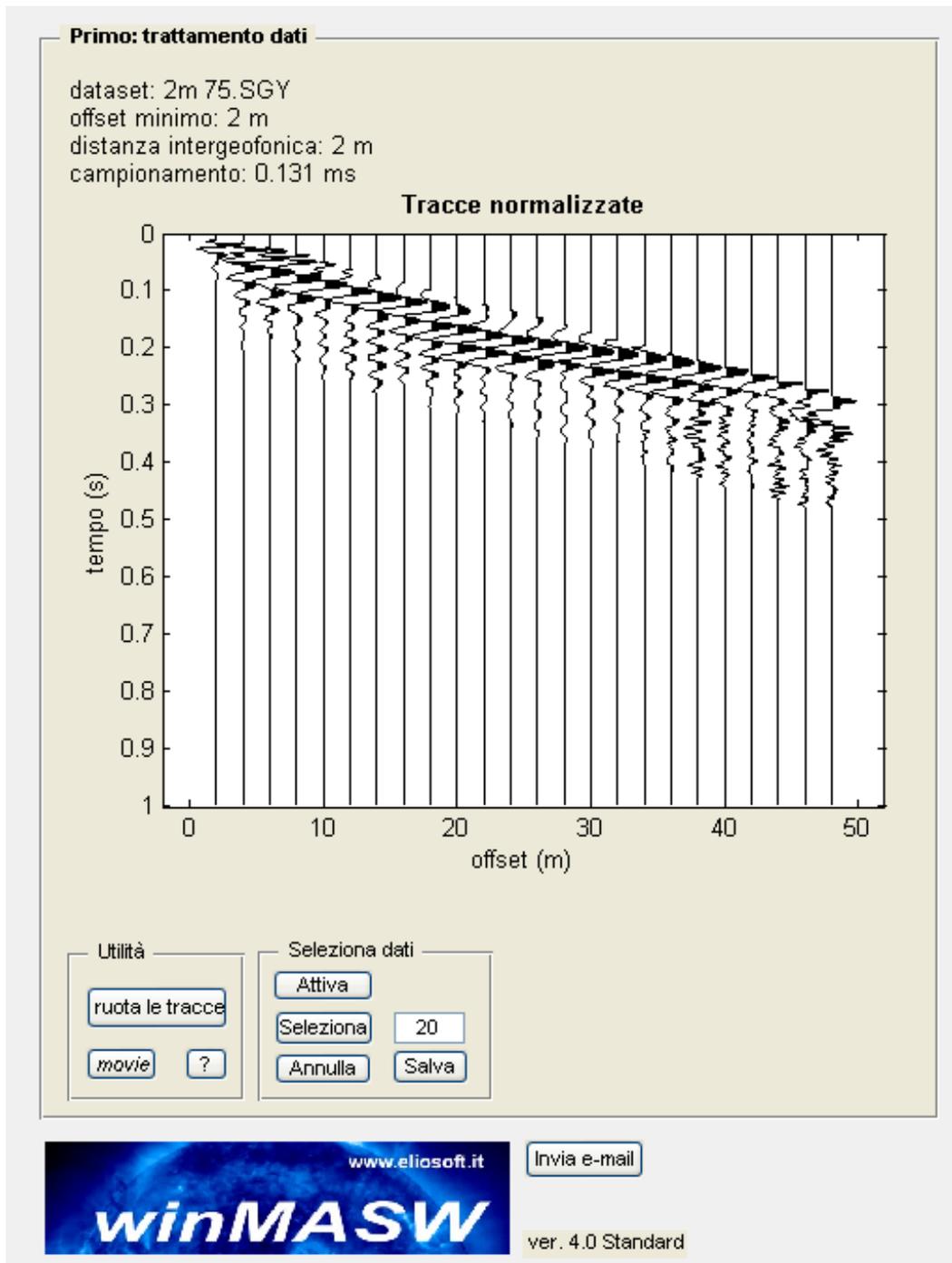
Le sezioni sismiche ottenute dall'interpretazione dei segnali acquisiti permettono di individuare le principali unità geofisiche costituenti il modello geofisico dell'area d'indagine.

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

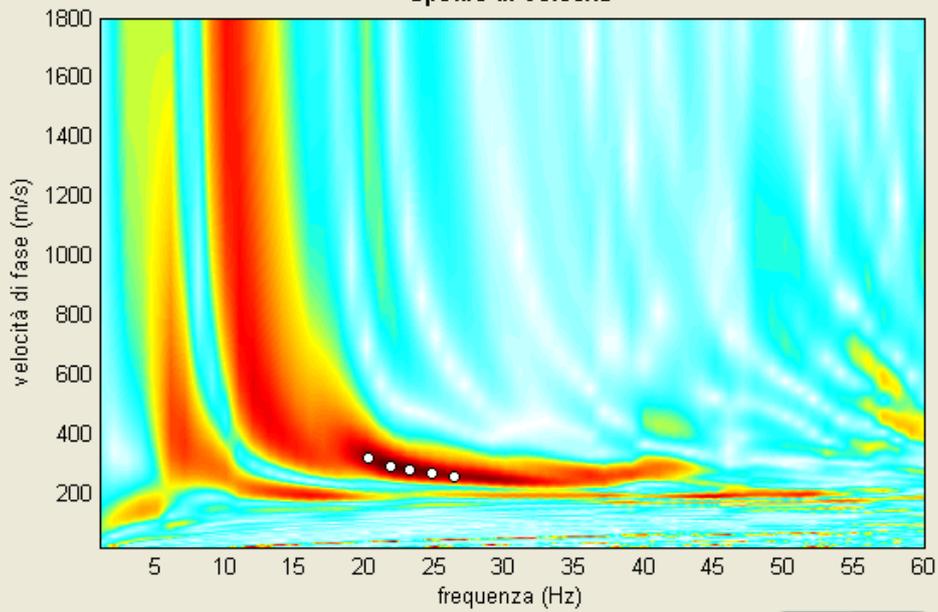
Tau - v

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

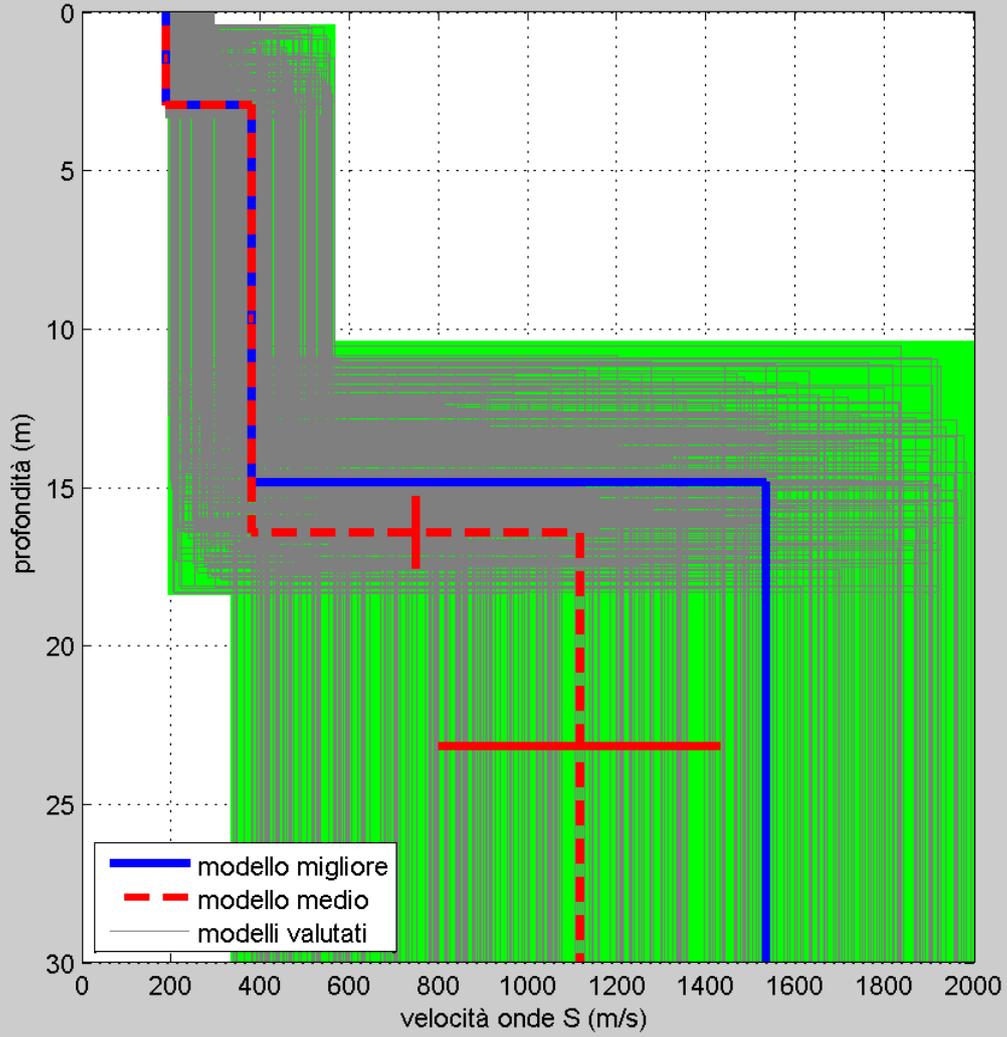
?

cancella picking

Inverti

Esci

Profilo verticale Vs



dataset: 2m 75.SGY

curva di dispersione: 2m 75 Deliceto Cda Tremoleto.cdp

modello migliore VS30: 527 m/s

modello medio VS30: 473 m/s

Modello medio

VS (m/s): 188, 379, 1114

Deviazioni Standard (m/s): 2, 5, 315

Spessori (m): 3.0, 13.5

Deviazioni Standard (m): 0.1, 1.1

Tipo di analisi: onde di Rayleigh

Stima approssimativa di densità e moduli elastici

Densità (gr/cm³): 1.83, 2.00, 2.34

Modulo di Poisson: 0.35, 0.36, 0.43

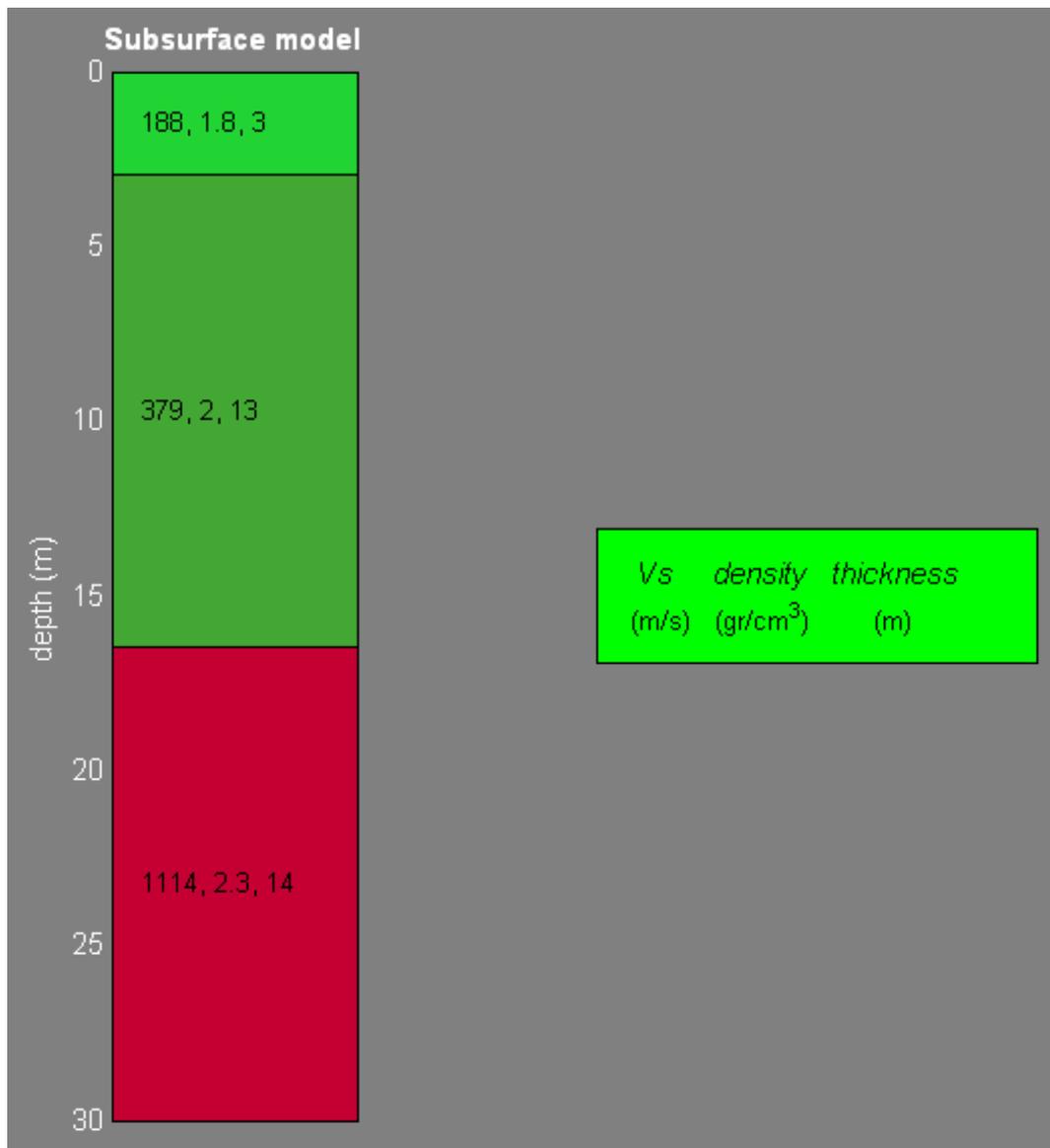
Modulo di taglio (MPa): 65, 288, 2903

Modulo di compressione (MPa): 190, 951, 20537

Modulo di Young (MPa): 174, 785, 8318

Modulo di Lamé (MPa): 147, 759, 18601

VS30 (m/s): 473



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 V_s e valori massimi dello spessore di ciascuna unità e calcolando un opportuno gradiente fino a 30 m per definire il parametro V_{s30} da normativa nazionale e fino al bedrock geofisico per definire il parametro T (periodo proprio del sottosuolo).

CONCLUSIONI

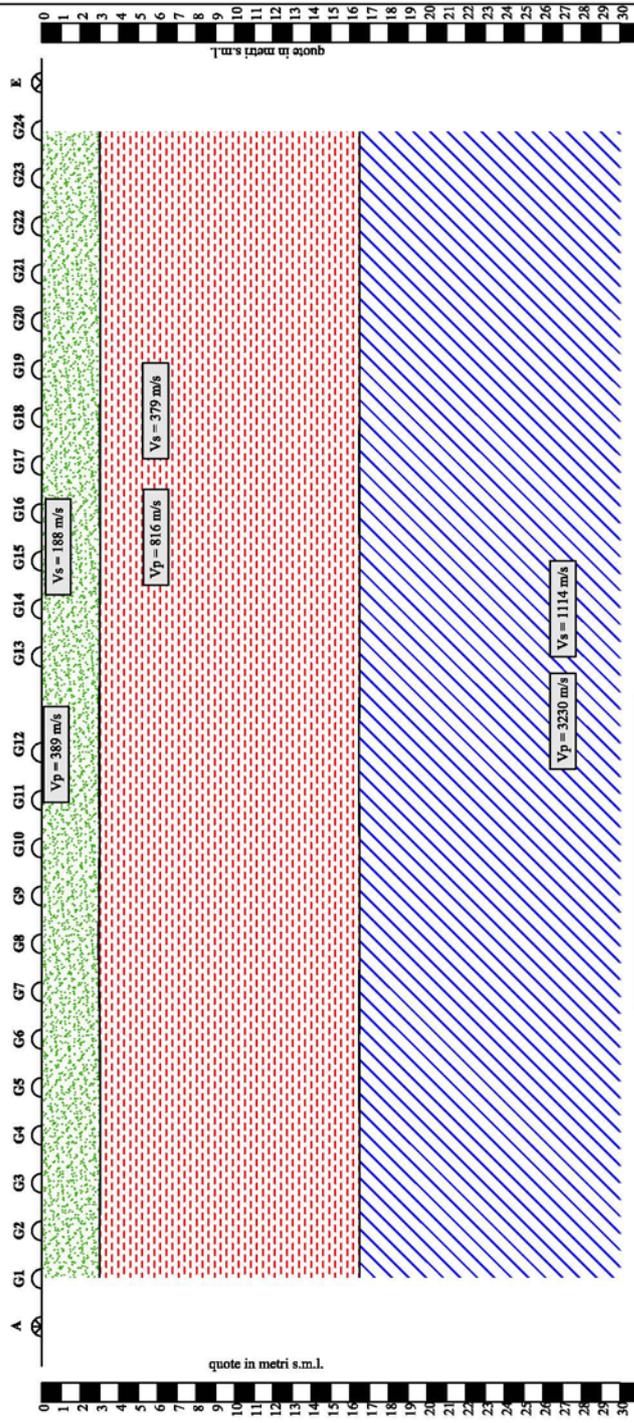
L'interpretazione dei dati sismici ha permesso di trarre le seguenti conclusioni:

- Le linee sismiche evidenziano principalmente 3 sismostrati:
 - *Sismostrato superficiale*, coltre superficiale con $V_p \approx 389$ m/s e $V_s \approx 188$ m/s, di spessore di circa 3,0 m;
 - *Sismostrato intermedio*, substrato intermedio con $V_p \approx 816$ m/s e $V_s \approx 379$ m/s;
 - *Sismostrato di fondo*, substrato semilitoide con $V_p \approx 3230$ m/s e $V_s \approx 1114$ m/s, rinvenuto ad una profondità di $\approx 16,5$ 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	389	188	1,83	0,35	65	190	174	147
Intermedio	816	379	2,00	0,36	288	951	785	759
Fondo	3230	1114	2,34	0,43	2903	20537	8318	18601

- La velocità media di propagazione entro i 30 m di profondità delle onde di taglio è $V_{s30} = 473$ m/s.

SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA - BASE SISMICA B.S.1



SISMOSTRATI	Vp (m/s)	Vs (m/s)	γ (t/m ³)	ν	G (MPa)	K (MPa)	E (MPa)	μ (MPa)
1	389	188	1,83	0,35	65	190	174	147
2	816	379	2,00	0,36	288	951	785	759
3	3230	1114	2,34	0,43	2903	20537	8318	18601

LEGENDA

- GEOFONI
- PUNTI DI SCOPPIO
- DISTANZA INTERGEOFONICA
- LUNGHEZZA PROFILO
- NUMERO GEOFONI
- NUMERO PUNTI DI SCOPPIO

	2,0 mt
	46,0 mt
	24
	3

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





CONCLUSIONI

Su incarico della VRD 28.4 SRL, il sottoscritto dott. Geologo Longo Pasquale Giuseppe, con sede nel Comune di San Severo alla via Benevento n° 41, iscritto presso l'Ordine dei Geologi della Regione Puglia al n° 391, ha effettuato una indagine **geologica** di una vasta area ubicata nel Comune di Deliceto al foglio n° 2 particelle n° 21 – 25 – 43 – 56 – 58 – 60 – 73 – 75 – 84 – 1'7 – 112 - 180, in corrispondenza del quale verrà realizzato un impianto di energia da fonte solare fotovoltaica della potenza nominale di 15,681 MWp denominato "Appiano", integrato con la coltivazione di piante di asparago.

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

- *il sito dal punto di vista morfologico presenta buone caratteristiche di stabilità;*
- *sotto il profilo geolitologico ed idrogeologico non è interessato da anomalie che possono interrompere il quadro statico globale;*
- *l'area non è soggetta a fenomeni di allagamento;*
- *la zona non presenta segni di frane in atto o in preparazione;*
- *il sottosuolo è costituito da depositi sabbiosi con intercalazioni di livelli conglomeratici, costituiti da ciottoli di piccole e medie dimensioni, ben arrotondati, dotati 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 0,50 e 6,00 metri dal p.c.;*
- *la falda, di tipo freatico, a falde sospese, è ubicata a profondità superiori ai 10,00 metri dal piano campagna;*
- *La velocità media di propagazione entro i 30 m di profondità delle onde di taglio è $V_{s30} = 407$ m/s (Sottostazione) e $V_{s30} = 473$ m/s (Impianto) , 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 litologia, morfologia ed idrogeologia della zona ed al comportamento meccanico dei litotipi presenti, consentono di definire sufficientemente idoneo il sito interessato dall'opera.

San Severo 17 Gennaio 2022