

**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 GEOMORFOLOGICA

Codice Interno:

DOC.12

Formato:

A4

Cod. File:

FTZK5G0_RelazioneGeomorfologica

Scala:

n.a.

Codice Pratica:

FTZK5G0

Studio di Progettazione:


www.progenergy.it

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

Tel./Fax: 0882.603948

 pec: progenergy@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 **geomorfologica** ed **idrogeologica** 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 verterà 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° 7 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 siltosabbiosa 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**.

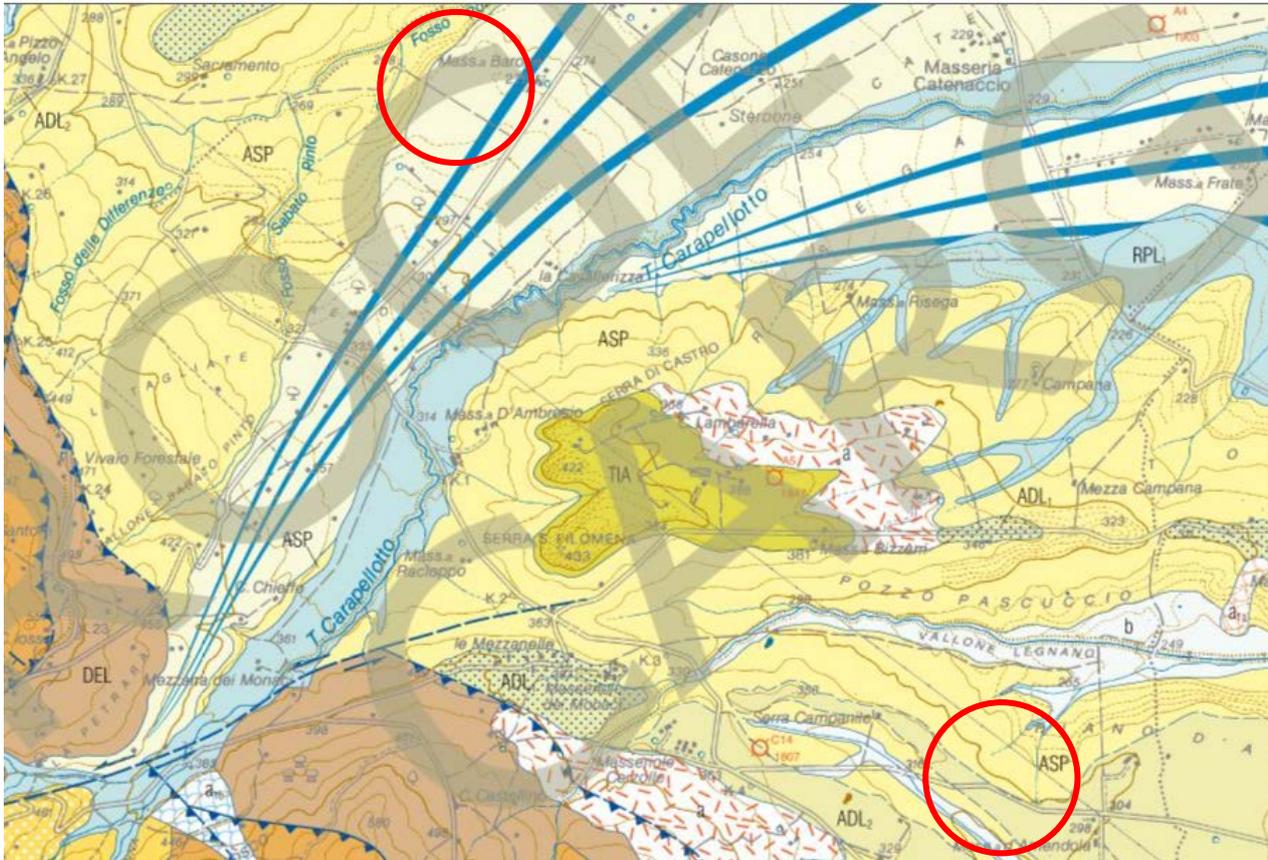
L'Unità Tettonica della Fossa Bradanica, rappresentata dalla sola Formazione delle argille subappennine, mostra una struttura molto più semplice. Essa è caratterizzata da un generale assetto a monoclinale immergente a Nord-Est, con inclinazioni variabili dai 20-30°, nei pressi del fronte appenninico,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

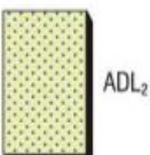
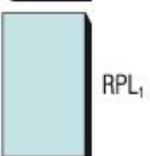
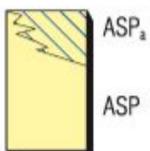
Silt argillosi, silt, sabbie siltose e lenti di ghiaie poligeniche; a luoghi livelli di limi nerastri con coperture decimetriche di sabbie con gradazione diretta, laminate e con al tetto sottili livelli argillosi.

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



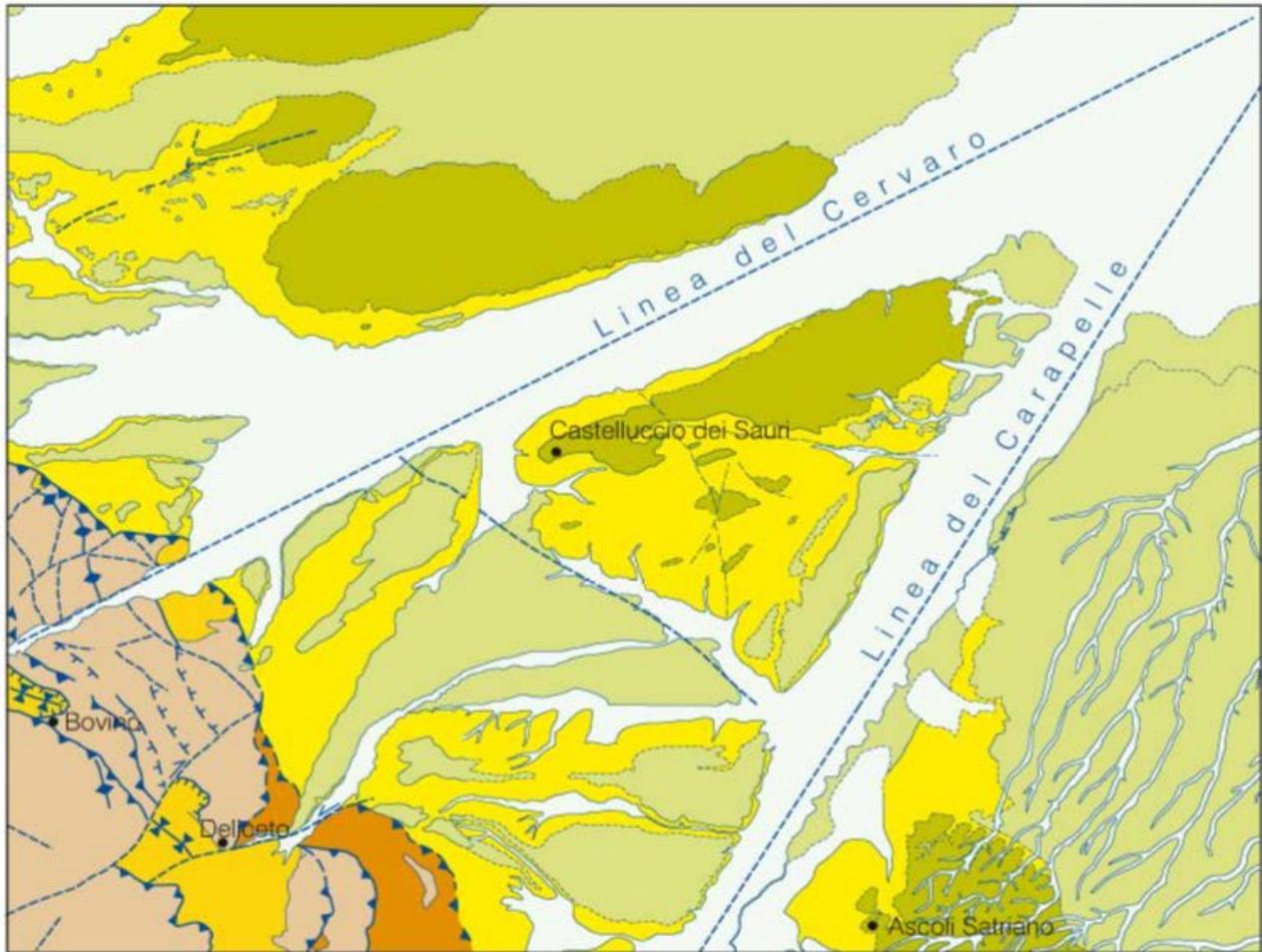
MORFOLOGIA DELL'AREA

Dal punto di vista morfologico l'area si presenta, nella zona di impianto, lievemente degradante verso nord ovest per gran parte dell'area interessata dall'impianto, infatti solo in prossimità del corso d'acqua "Fosso Pozzo Vitolo" la pendenza risulta più evidente, ma comunque mai oltre il 3% di pendenza. Mentre nella zona dove dovrebbe sorgere la sottostazione, la morfologia si presenta degradante in modo evidente verso sud ovest, con pendenze nell'ordine del 4 – 5 %. Invece, la morfologia, risulta poco acclive lungo tutto il percorso del tracciato del cavidotto, le pendenze non superano mai il 2%. 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

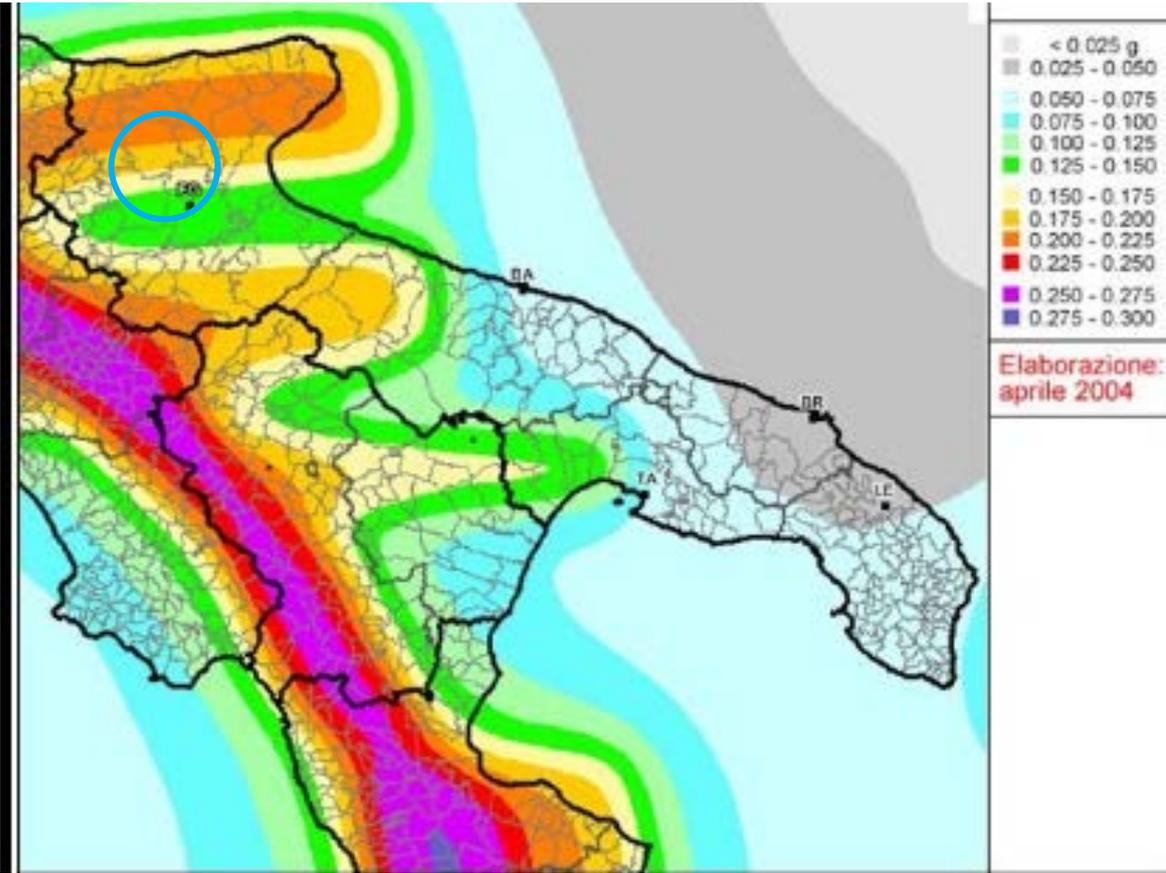


SISMICITA' DELL'AREA

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, tramite 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.

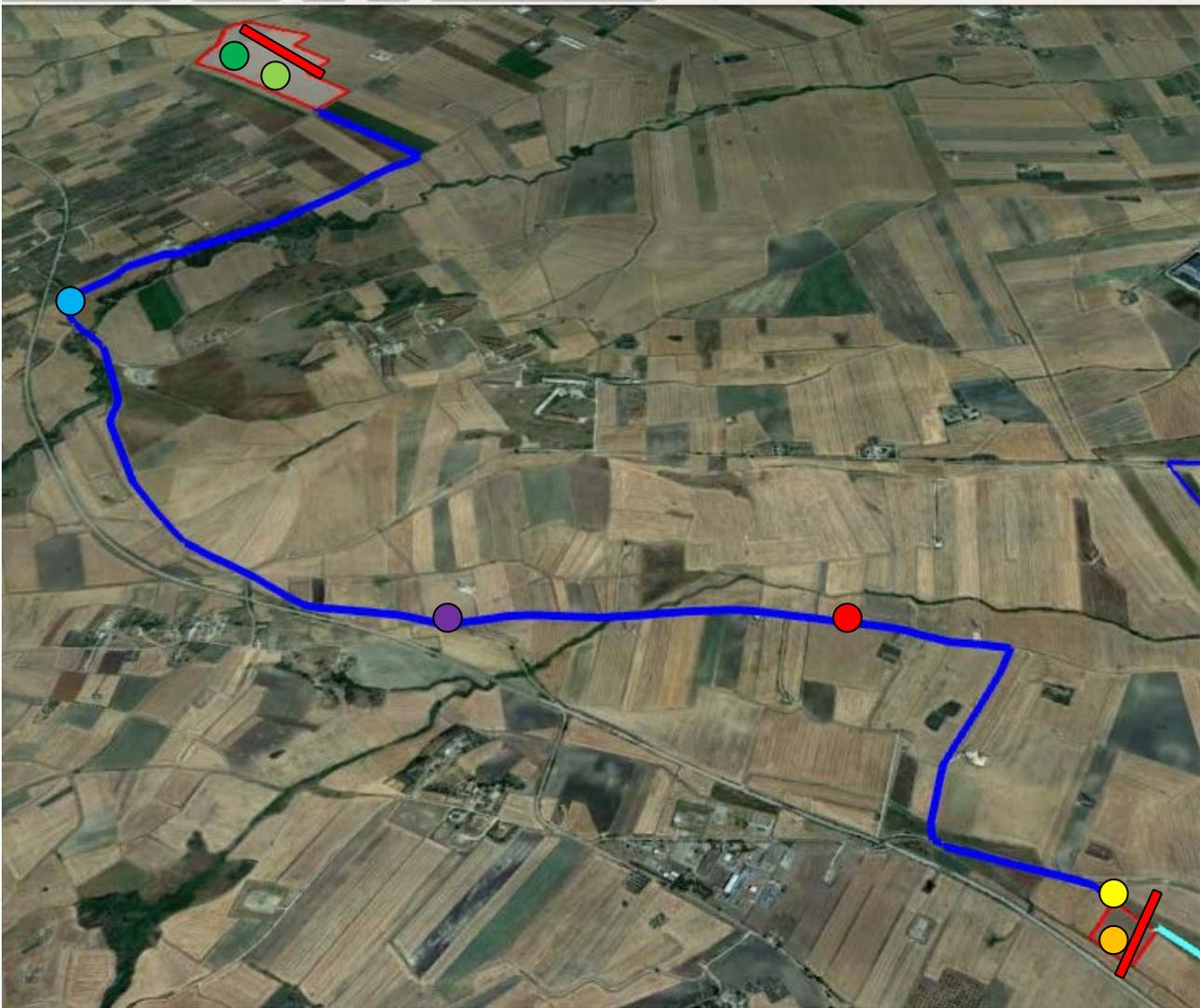
Le prove dinamiche, diversamente dalle S.P.T., sono continue e quindi forniscono una visione più completa della consistenza dei materiali dal piano campagna fino alla profondità di investigazione.

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



 Stendimenti prove geofisiche

 Prove penetrometriche

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° 7 penetrometrie dinamiche, ubicate nella zona di impianto, lungo il tracciato del cavidotto e nella zona dove dovrà sorgere la sottostazione. In corrispondenza delle maggiori acclività si è proceduto a verificare la stabilità dell'area in modo analitico.

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.

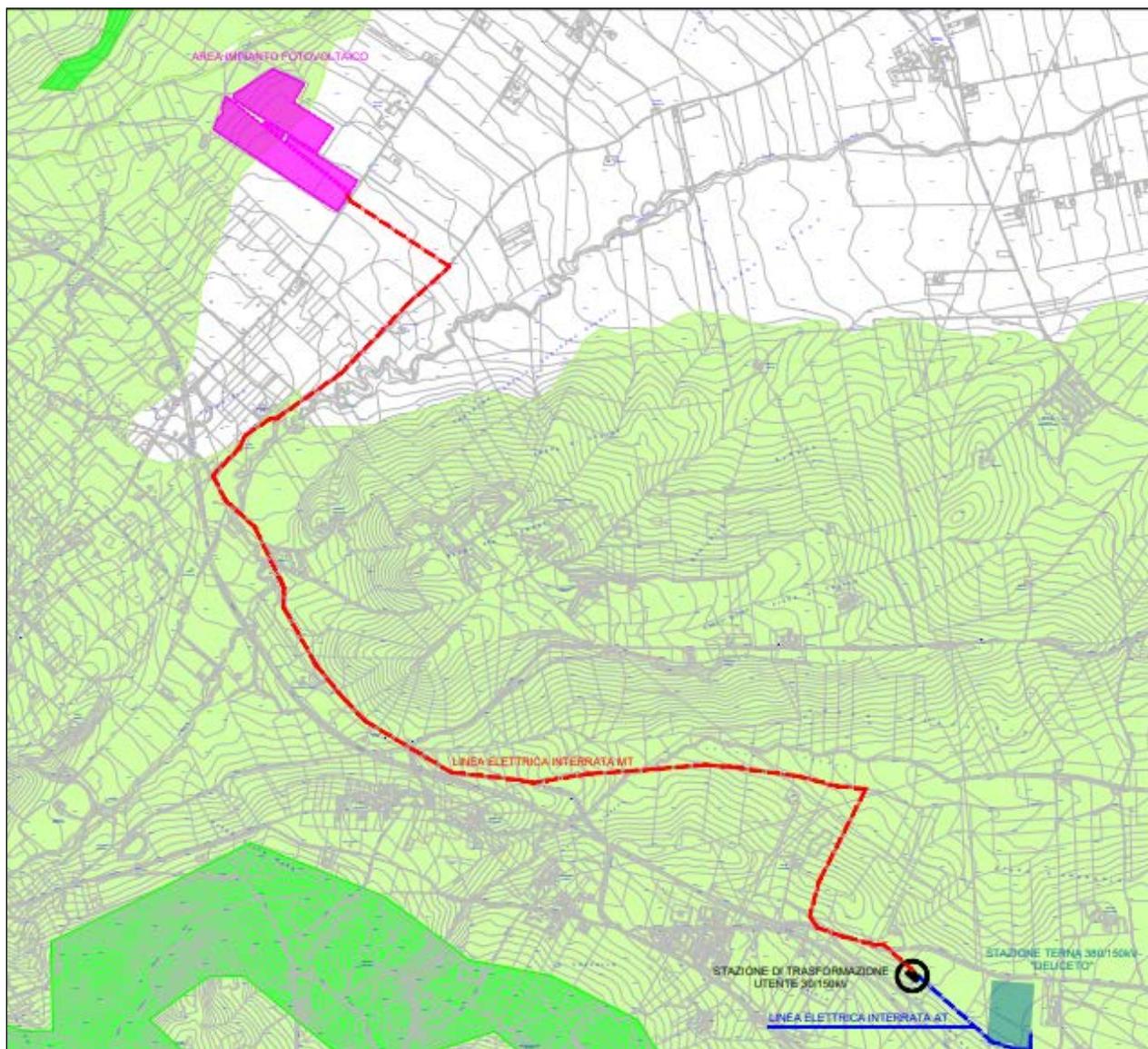
Le prove dinamiche, diversamente dalle S.P.T., sono continue e quindi forniscono una visione più completa della consistenza dei materiali dal piano campagna fino alla profondità di investigazione.

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.



L

L'area di intervento ricade tra le aree a pericolosità geomorfologica media e moderata (PG1) dell'Autorità di Bacino della Regione Puglia.

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.

LEGENDA PERICOLOSITA' DA FRANA	
	PG3 - area a pericolosità geomorfologica molto elevata
	PG2 - area a pericolosità geomorfologica elevata
	PG1 - area a pericolosità geomorfologica media e modesta

 LINEA ELETTRICA INTERRATA MT

 LINEA ELETTRICA INTERRATA AT

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

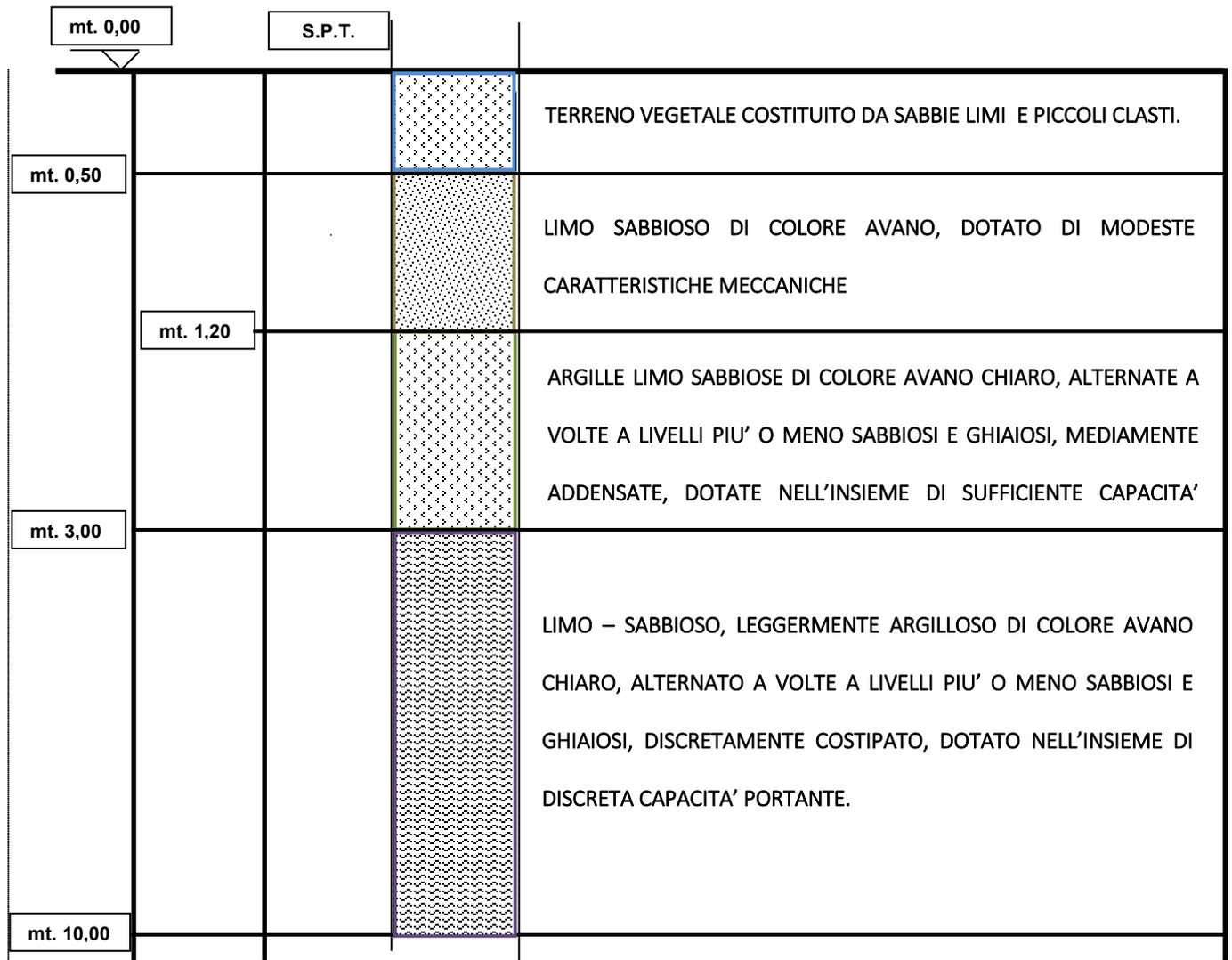
1,50 – 5,00	SABBIE LIMOSE DI COLORE AVANO CHIARO, ALTERNATE A VOLTE A LIVELLI PIU' O MENO SABBIOSE E GHIAIOSE, MEDIAMENTE ADDENSATE, DOTATE NELL'INSIEME DI SUFFICIENTE CAPACITA' PORTANTE.
5,00 – 15,00	LIMO – SABBIOSO, LEGGERMENTE ARGILLOSO DI COLORE AVANO CHIARO, ALTERNATO A VOLTE A LIVELLI PIU' O MENO 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

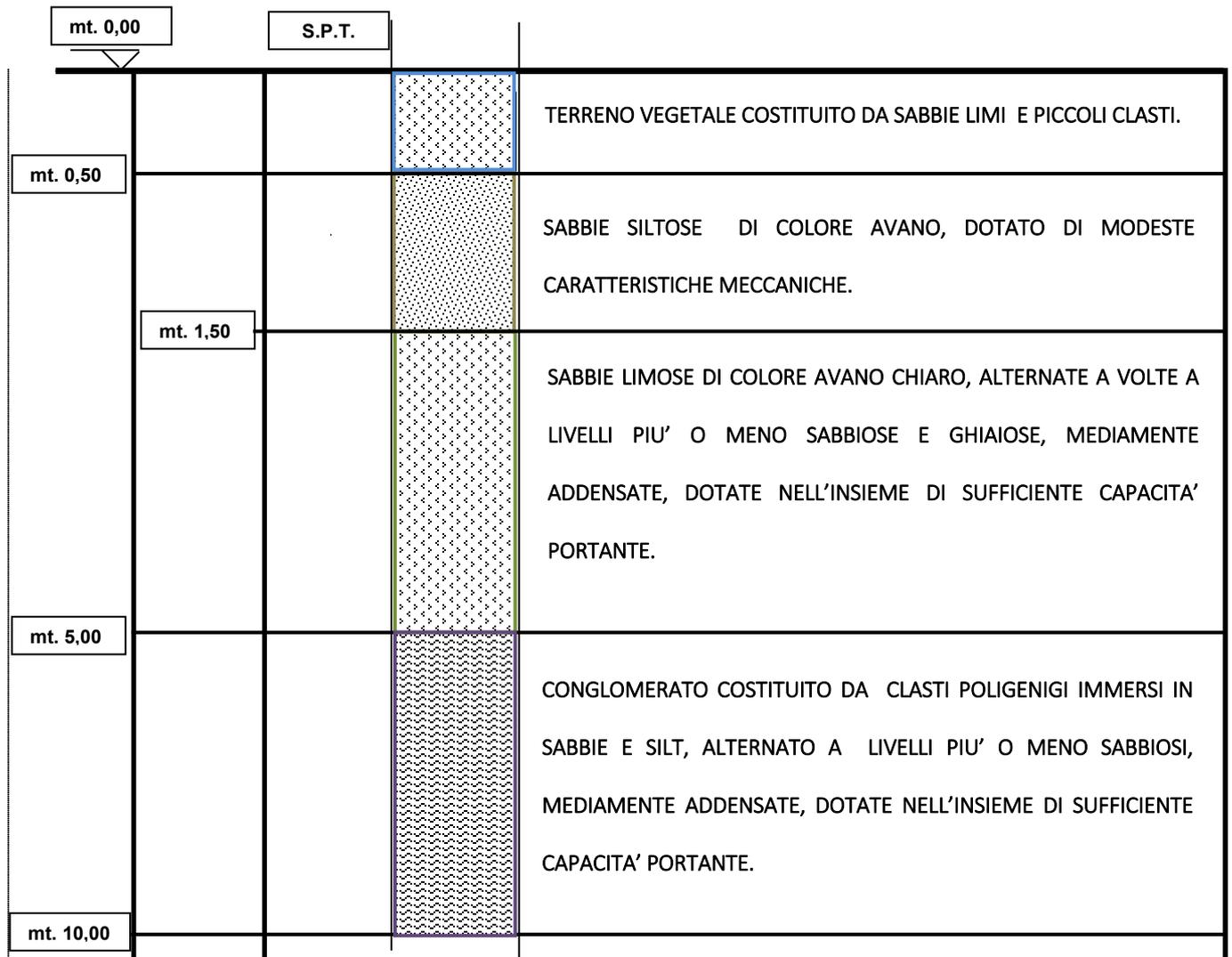
PROFONDITA'	DESCRIZIONE FORMAZIONE
Metri	
0,00 – 0,50	TERRENO VEGETALE COSTITUITO DA SABBIE LIMI E PICCOLI CLASTI.

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
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.

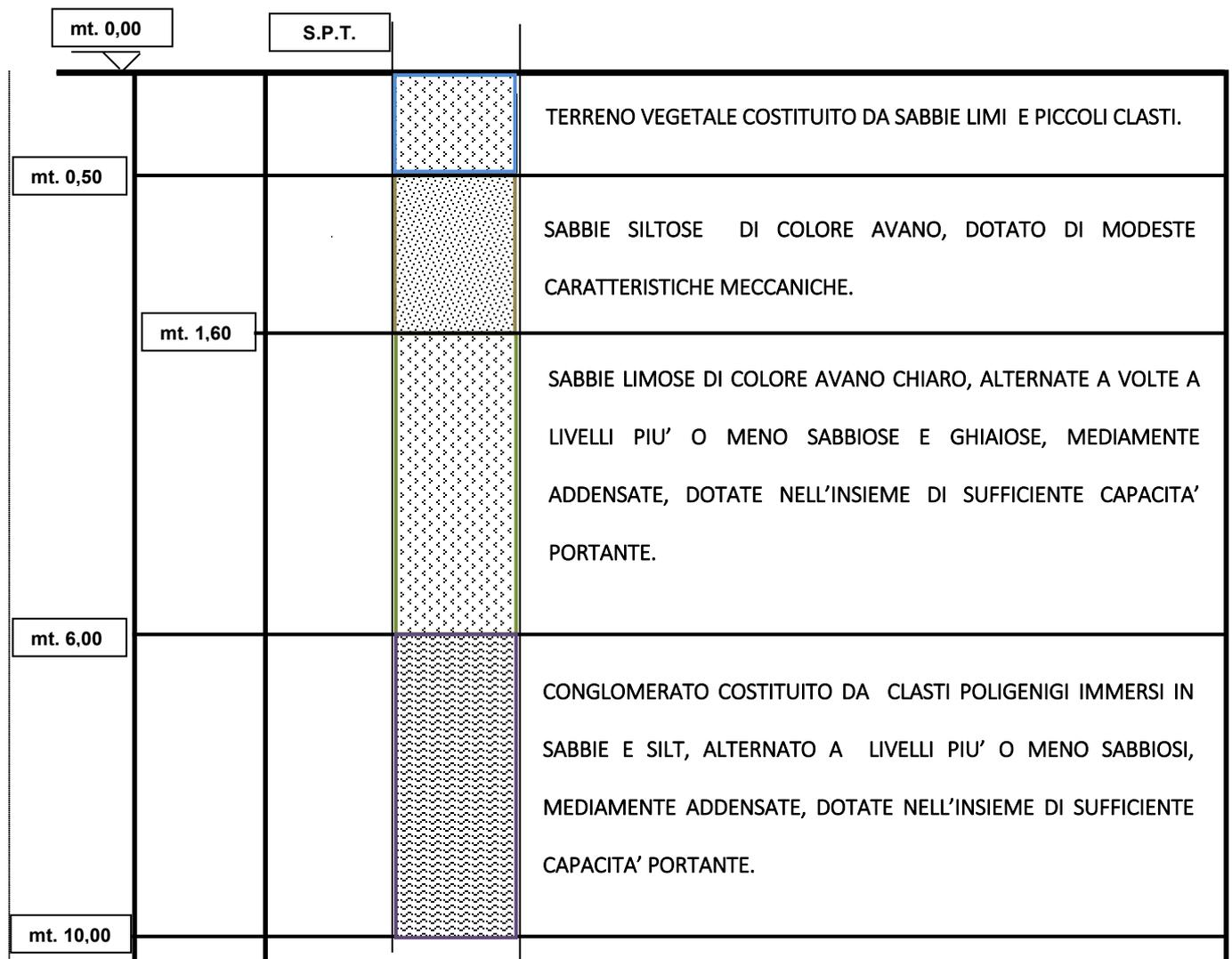
SCHEMA STRATIGRAFICO ZONA DI IMPIANTO



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 t/mc	Peso di volume
\varnothing	20°	Angolo di attrito
Cu	10,00 KPa	Coesione non drenata
KZ	3,00 kg/cmc	Coefficiente di sottofondo
<i>Kx</i>	<i>1,00 kg/cmc</i>	Coefficiente di sottofondo
<i>Ky</i>	<i>1,00 kg/cmc</i>	Coefficiente di sottofondo
C	1,00 KPa	Coesione
<i>E</i>	<i>3 N/mm²</i>	<i>Modulo edometrico</i>

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/mc	Peso di volume
\varnothing	23°	Angolo di attrito
Cu	20,00 KPa	Coesione non drenata
KZ	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	<i>Modulo edometrico</i>

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/mc	Peso di volume
ϕ	25°	Angolo di attrito
Cu	20,00 KPa	Coesione non drenata
KZ	4,00 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	<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/mc	Peso di volume
\varnothing	27°	Angolo di attrito
Cu	35,00 KPa	Coesione non drenata
KZ	4,50 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

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/mc	Peso di volume
\varnothing	21°	Angolo di attrito
Cu	10,00 KPa	Coesione non drenata
KZ	3,00 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	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/mc	Peso di volume
\varnothing	24°	Angolo di attrito
Cu	20,00 KPa	Coesione non drenata
KZ	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

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/mc	Peso di volume
ϕ	26°	Angolo di attrito
Cu	20,00 KPa	Coesione non drenata
KZ	4,00 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

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/mc	Peso di volume
ϕ	27°	Angolo di attrito
Cu	35,00 KPa	Coesione non drenata
KZ	4,50 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	<i>Modulo edometrico</i>

I principali parametri meccanici dello strato di terreno posto tra 0,50 e 1,60 metri dal piano campagna (ZONA SOTTOSTAZIONE) sono così definiti:

γ	1,75 t/mc	Peso di volume
ϕ	20°	Angolo di attrito
Cu	10,00 KPa	Coesione non drenata
KZ	3,00 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	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/mc	Peso di volume
ϕ	25°	Angolo di attrito
Cu	20,00 KPa	Coesione non drenata
KZ	4,00 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	<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:

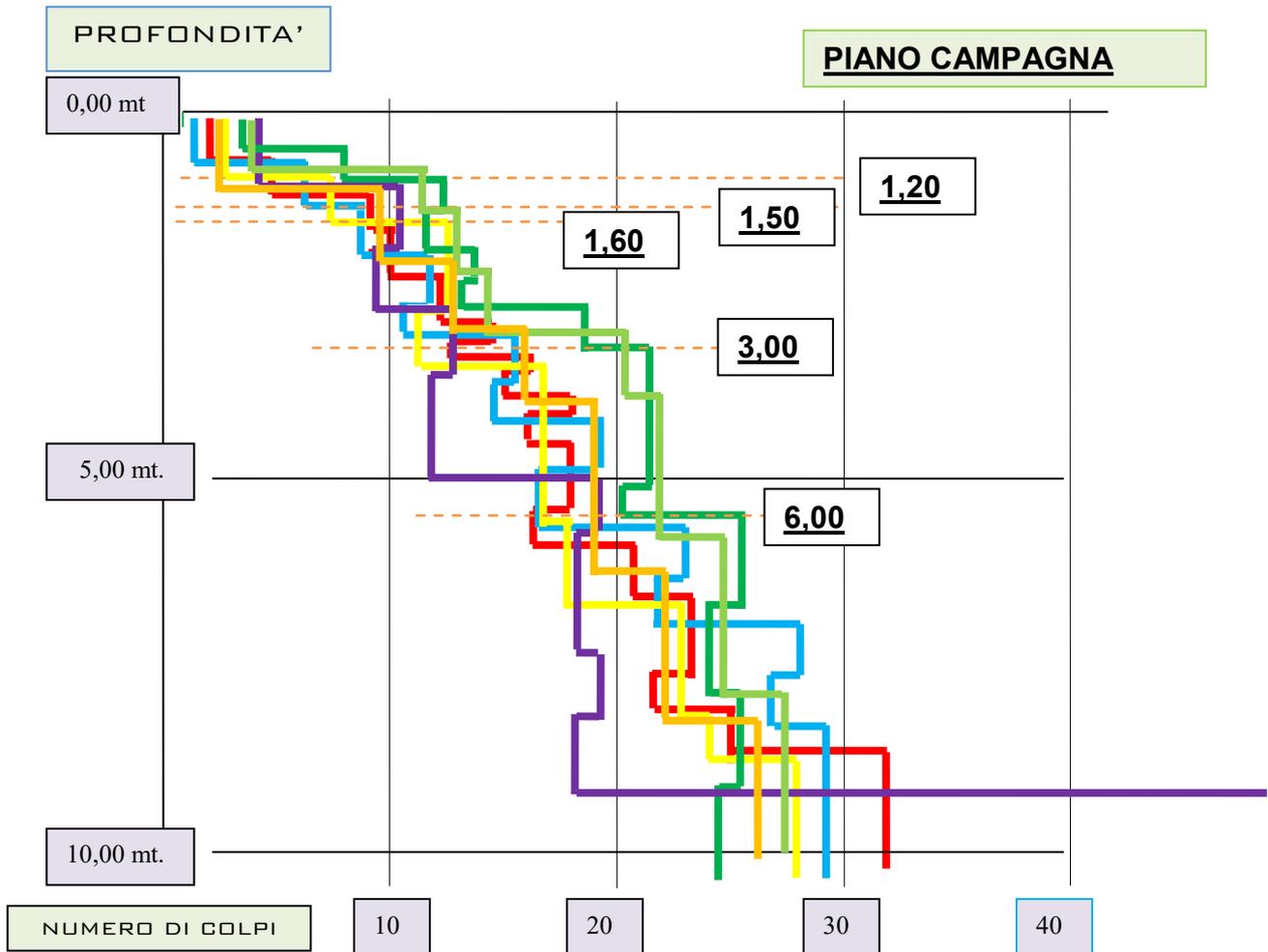
γ	1,85 t/mc	Peso di volume
ϕ	27°	Angolo di attrito
Cu	40,00 KPa	Coesione non drenata
Kz	4,50 kg/cmc	Coefficiente di sottofondo
K_x	1,00 kg/cmc	Coefficiente di sottofondo
K_y	1,00 kg/cmc	Coefficiente di sottofondo
C	5,00 KPa	Coesione
E	5 N/mm ²	Modulo edometrico

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/mc	Peso di volume
\varnothing	30°	Angolo di attrito
Cu	35,00 KPa	Coesione non drenata
KZ	5,50 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	7 N/mm ²	<i>Modulo edometrico</i>

PROVE PENETROMETRICHE

S1 - S2 - S3 - S4 - S5 - S6



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 semifrizonale, 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;

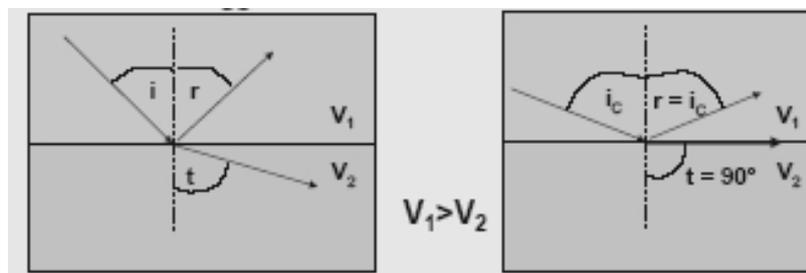
- sistema di acquisizione dati: sismografo digitale AMBROGEO ECHO 12-24 2002, ad incremento di segnale;
- un sistema di trigger: consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente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

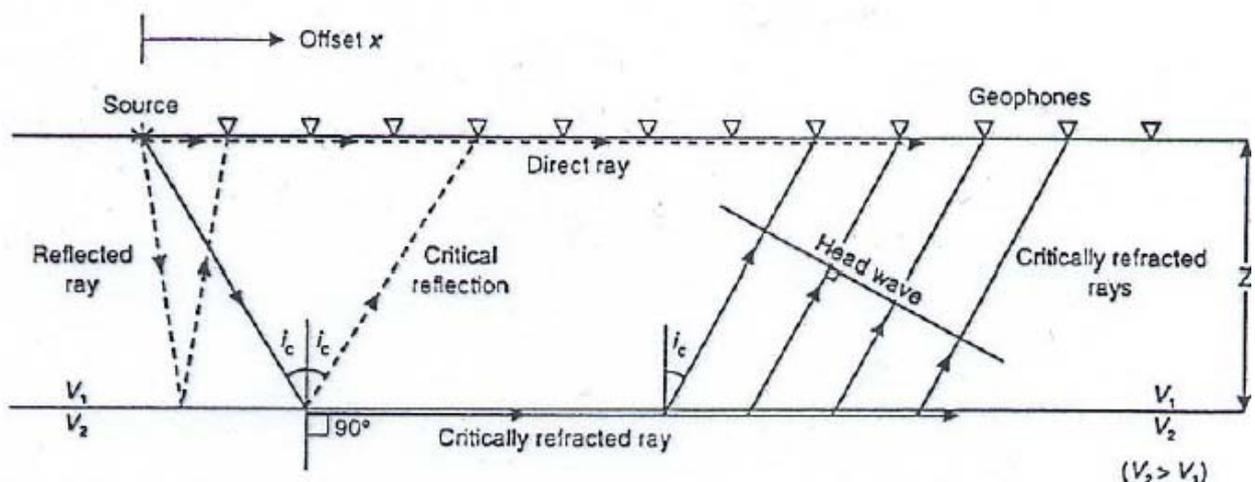
Le indagini indirette ed in particolare la metodologia a rifrazione permette la ricostruzione areale delle geometrie e degli spessori dei depositi di copertura, la profondità del substrato (entro i limiti di penetrazione del metodo), la verifica di eventuali discontinuità laterali nonché di determinare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

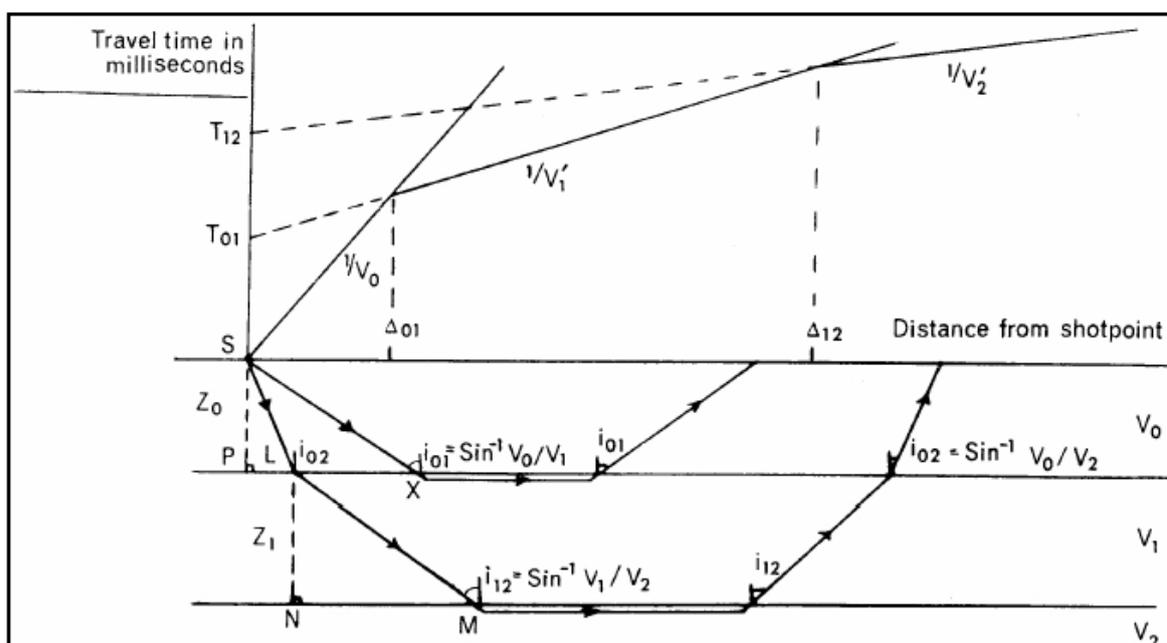


Disponendo una serie di ricevitori lungo la superficie libera del suolo e generando onde elastiche da una sorgente puntiforme l'onda riflessa arriverà sempre dopo le altre, mentre fino ad una certa distanza dalla sorgente arriverà prima l'onda diretta poi, quando l'onda bi-rifratta avrà percorso sufficiente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

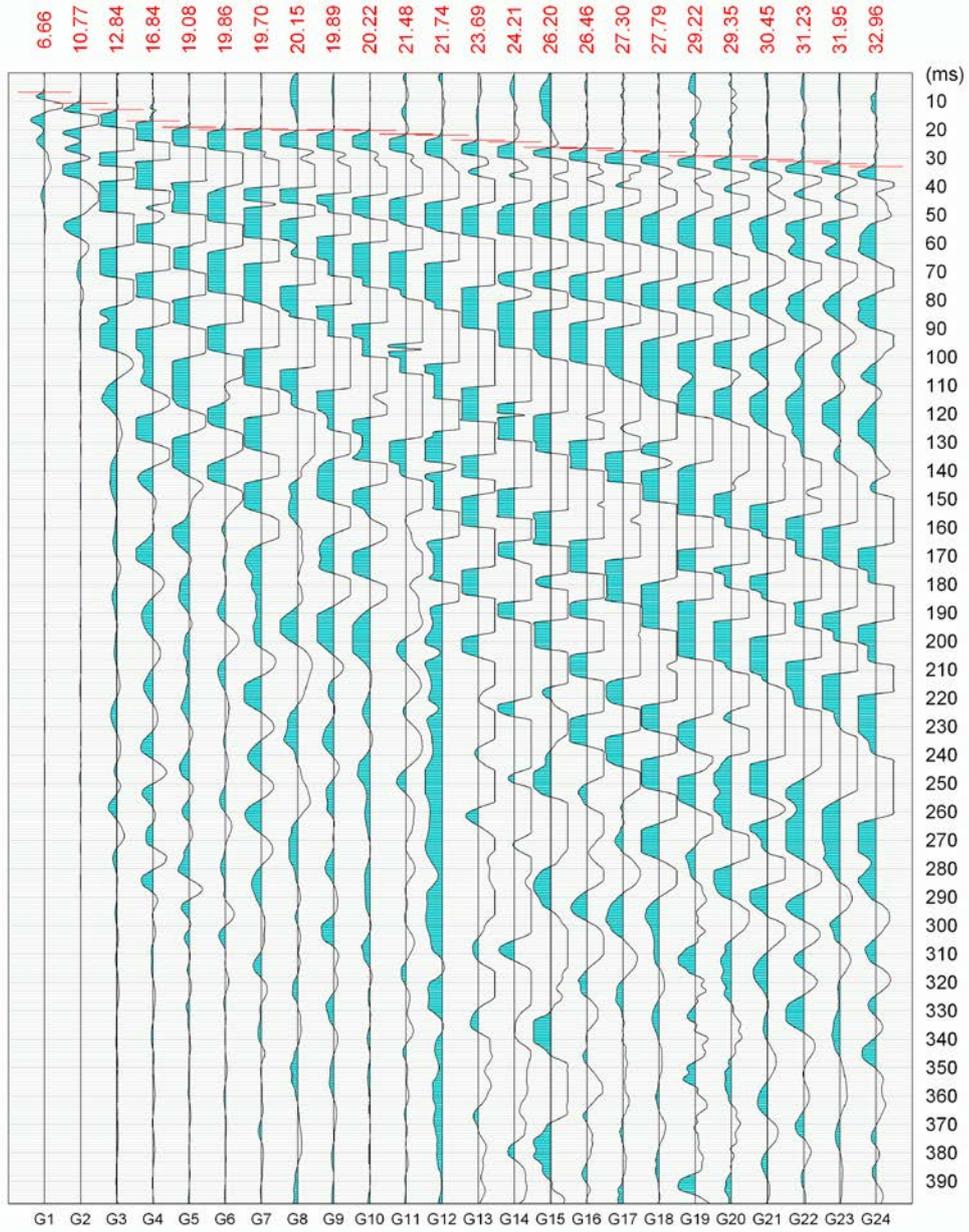
Per quanto riguarda la geometria adottata nella **BASE sismica 1**, i 24 geofoni sono stati disposti sul terreno con una spaziatura di **1,0 m**; sono stati utilizzati 2 punti di energizzazione estreme (a 1 m dai geofoni 1° e 24°), quindi l'intero stendimento BASE_1 risulta di **23,0 m**.

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

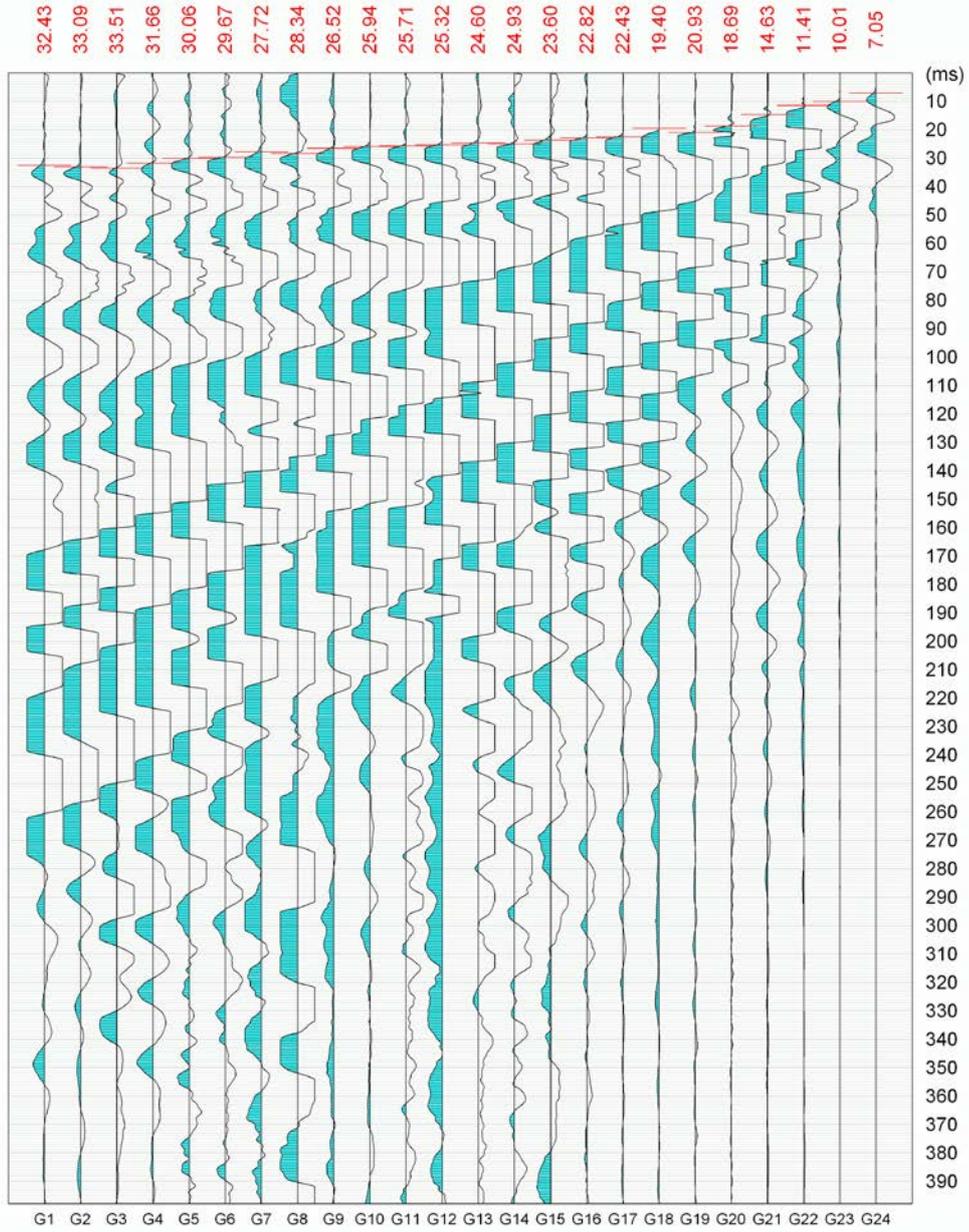
Registrazione Onde P

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

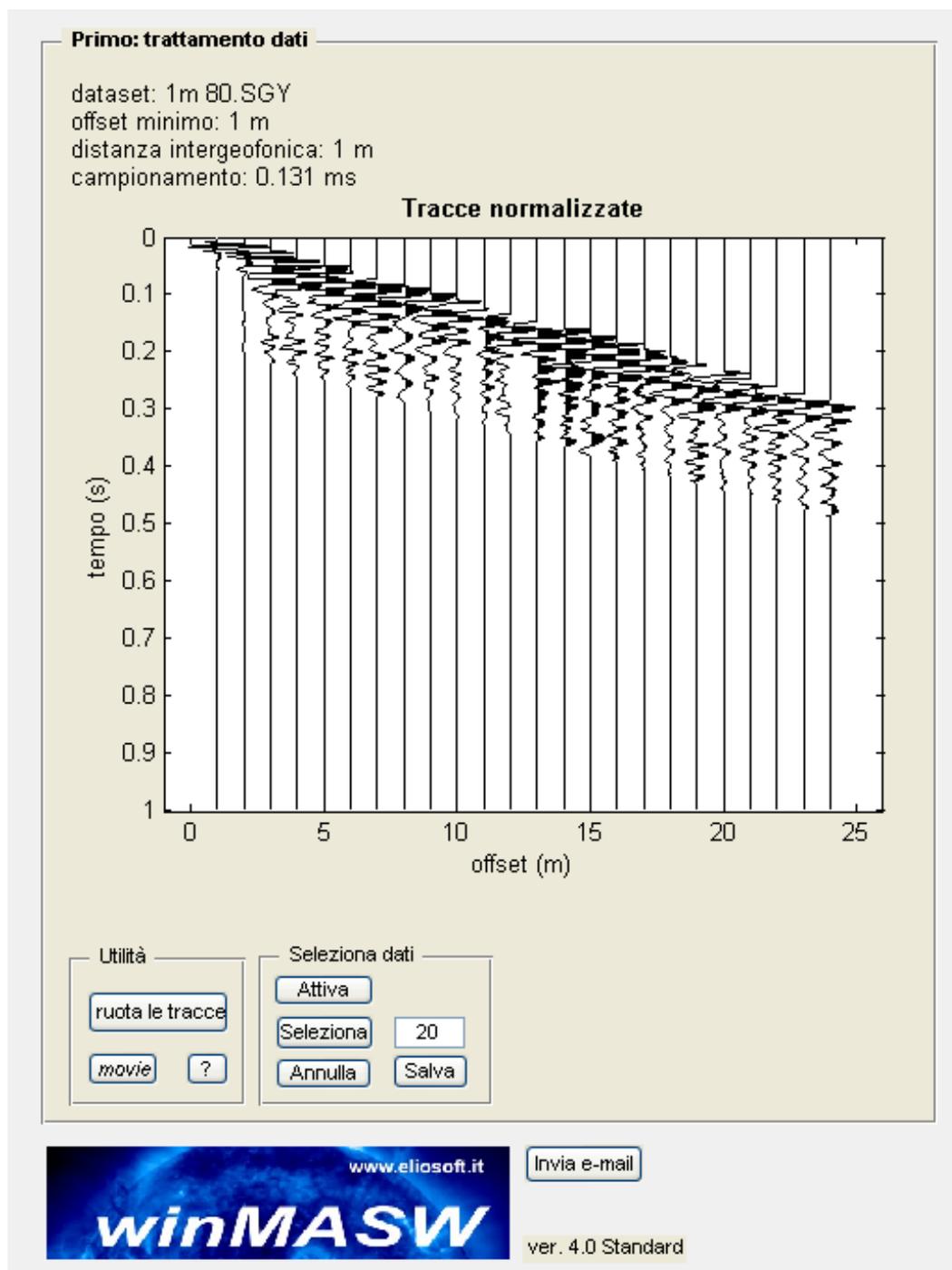
Le sezioni sismiche ottenute dall'interpretazione dei segnali acquisiti permettono di individuare le principali unità geofisiche costituenti il modello geofisico dell'area d'indagine.

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

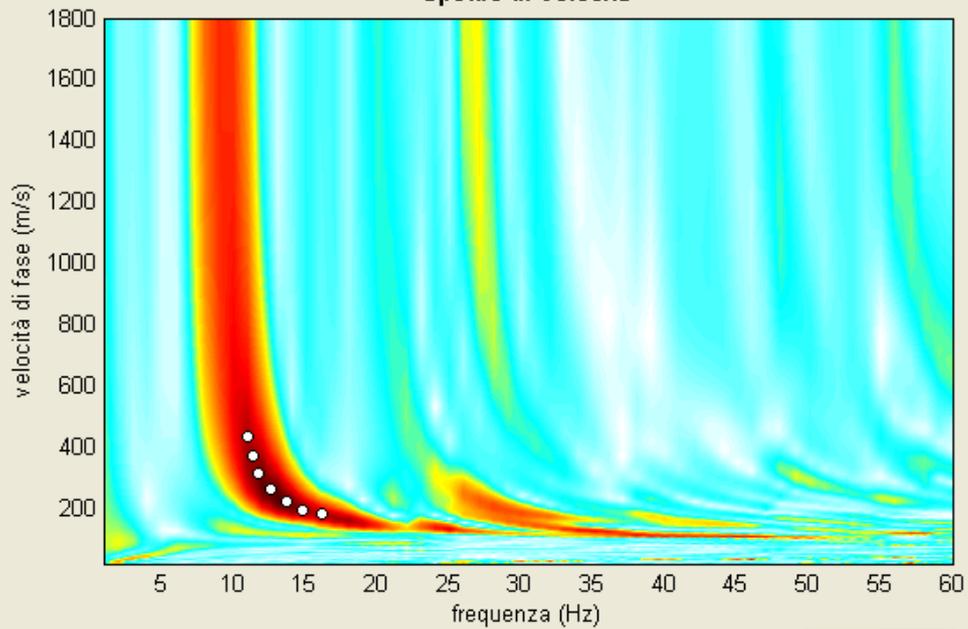
Tau - v

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

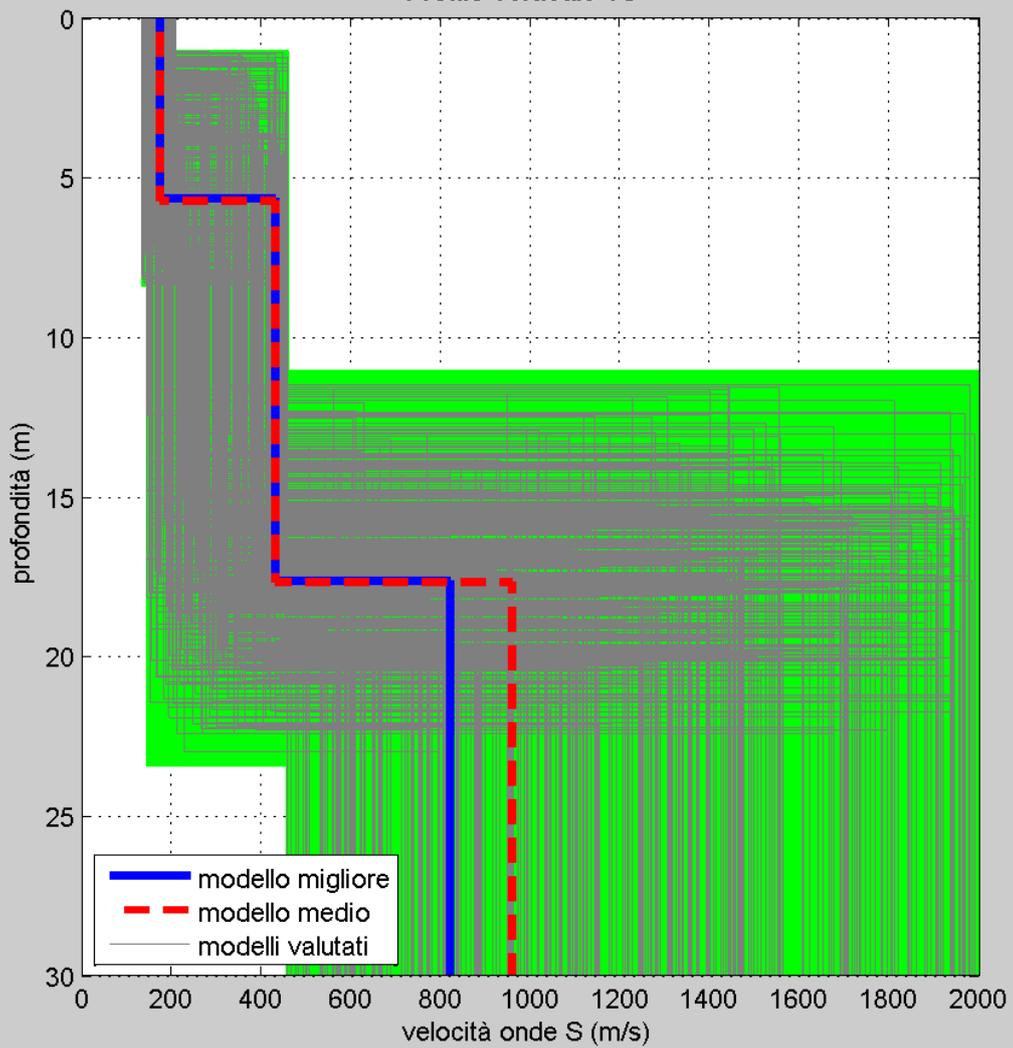
?

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

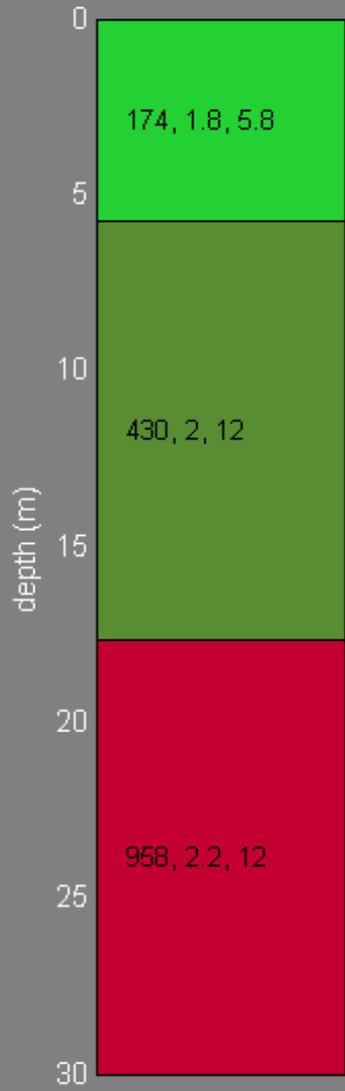
Modulo di compressione (MPa): 157, 1335, 3948

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

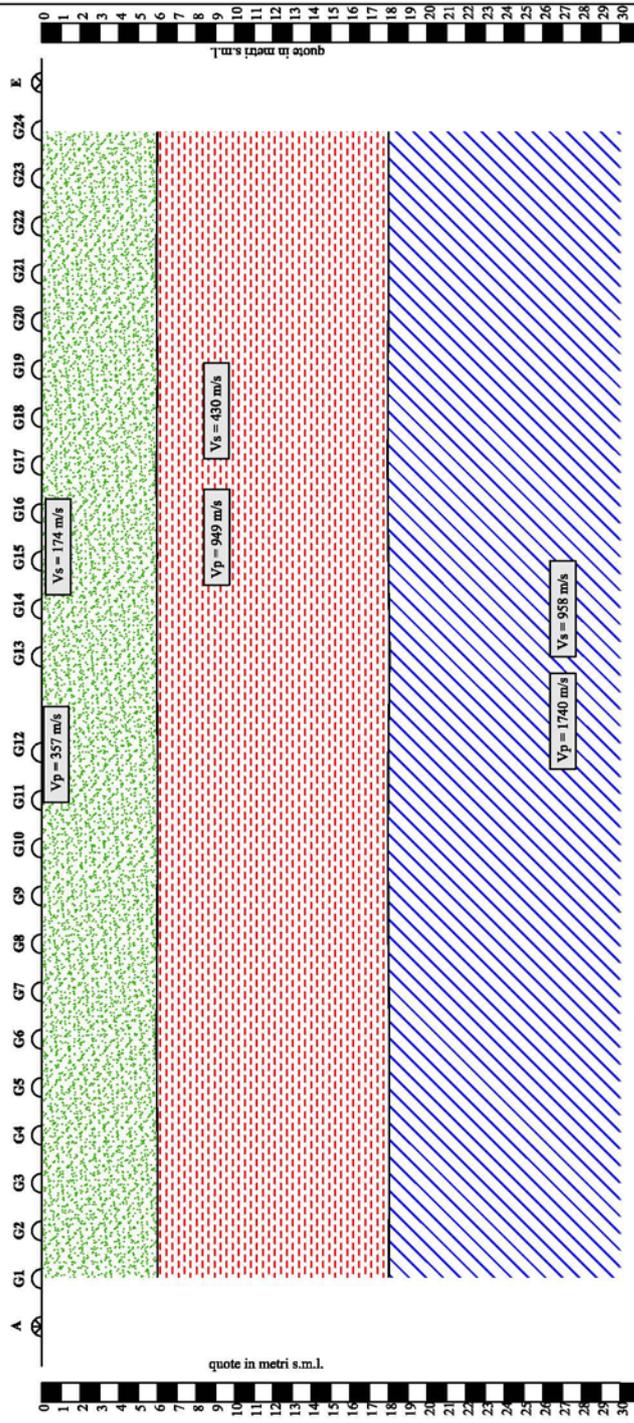
L'interpretazione dei dati sismici ha permesso di trarre le seguenti conclusioni:

- 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

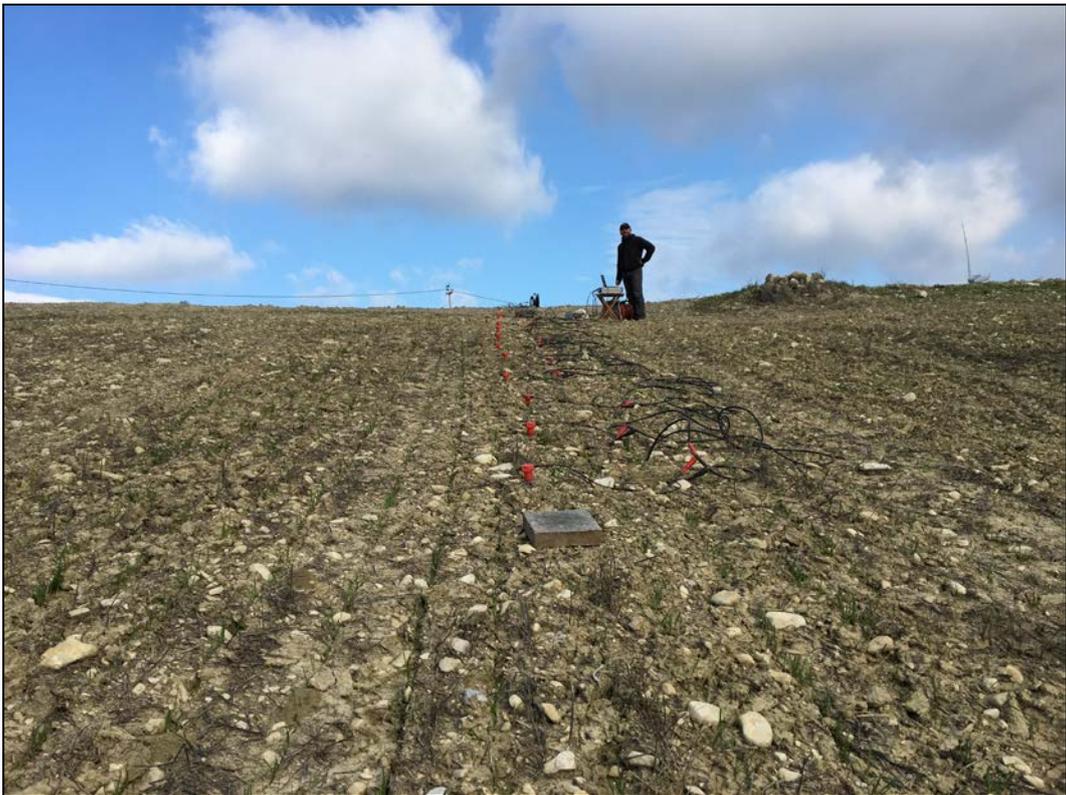


SISMOSTRATI	Vp (m/s)	Vs (m/s)	γ (t/m ³)	ν	G (MPa)	K (MPa)	E (MPa)	μ (MPa)
1	357	174	1,80	0,34	55	157	147	121
2	949	430	2,04	0,37	377	1335	1035	1084
3	1740	958	2,19	0,38	2009	3948	5152	2609

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;

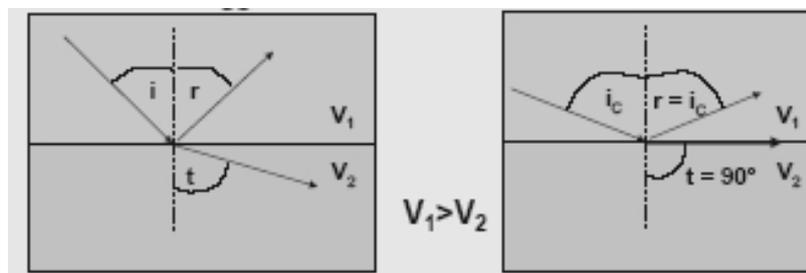
- sistema di acquisizione dati: sismografo digitale AMBROGEO ECHO 12-24 2002, ad incremento di segnale;
- un sistema di trigger: consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente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

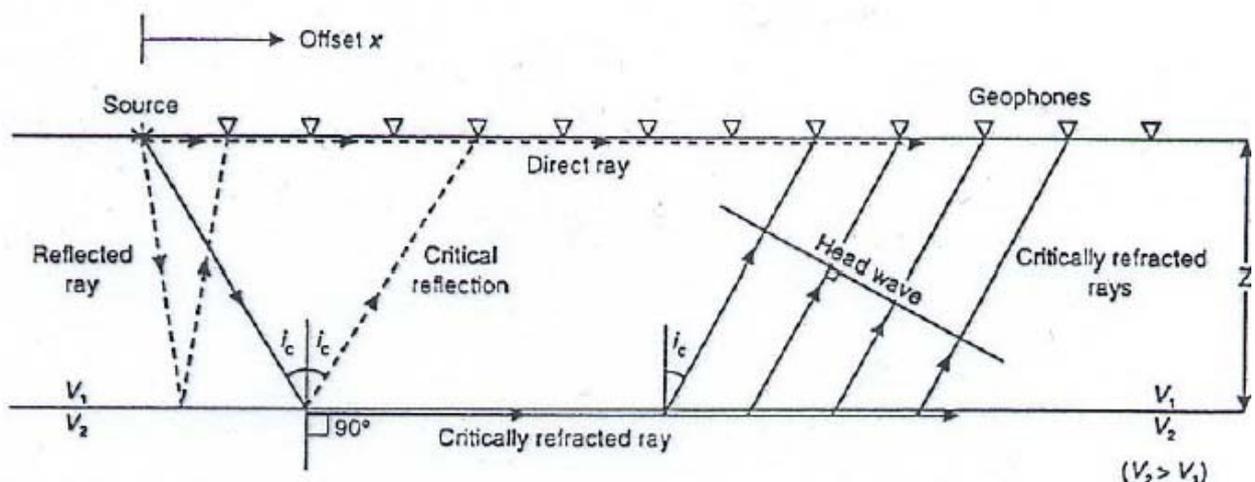
Le indagini indirette ed in particolare la metodologia a rifrazione permette la ricostruzione areale delle geometrie e degli spessori dei depositi di copertura, la profondità del substrato (entro i limiti di penetrazione del metodo), la verifica di eventuali discontinuità laterali nonché di determinare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

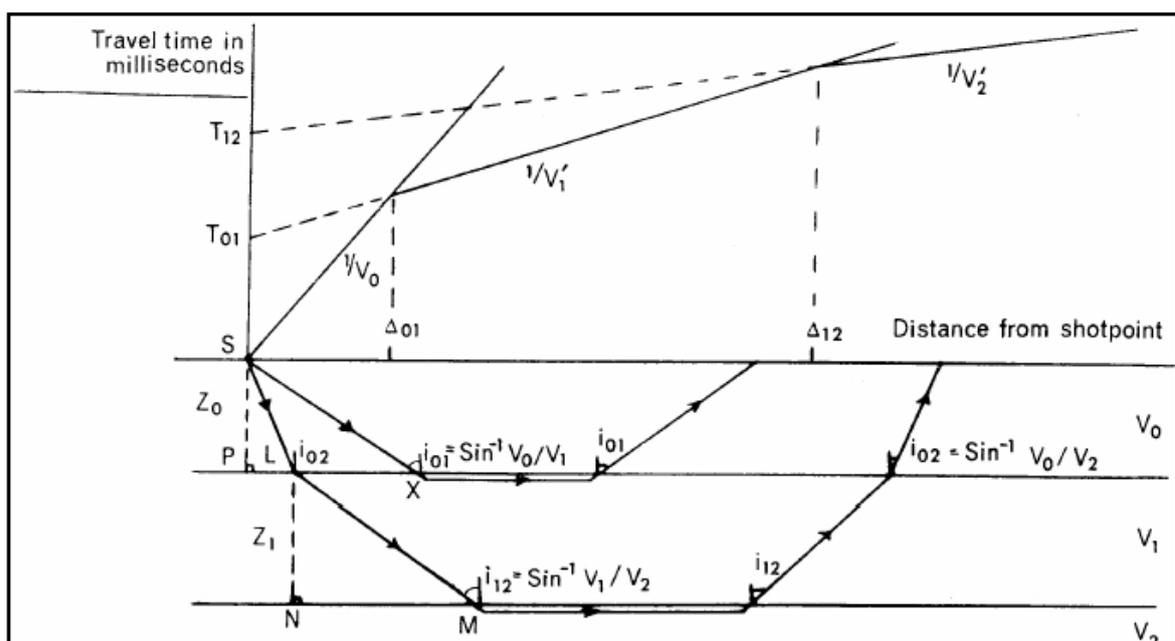


Disponendo una serie di ricevitori lungo la superficie libera del suolo e generando onde elastiche da una sorgente puntiforme l'onda riflessa arriverà sempre dopo le altre, mentre fino ad una certa distanza dalla sorgente arriverà prima l'onda diretta poi, quando l'onda bi-rifratta avrà percorso sufficiente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

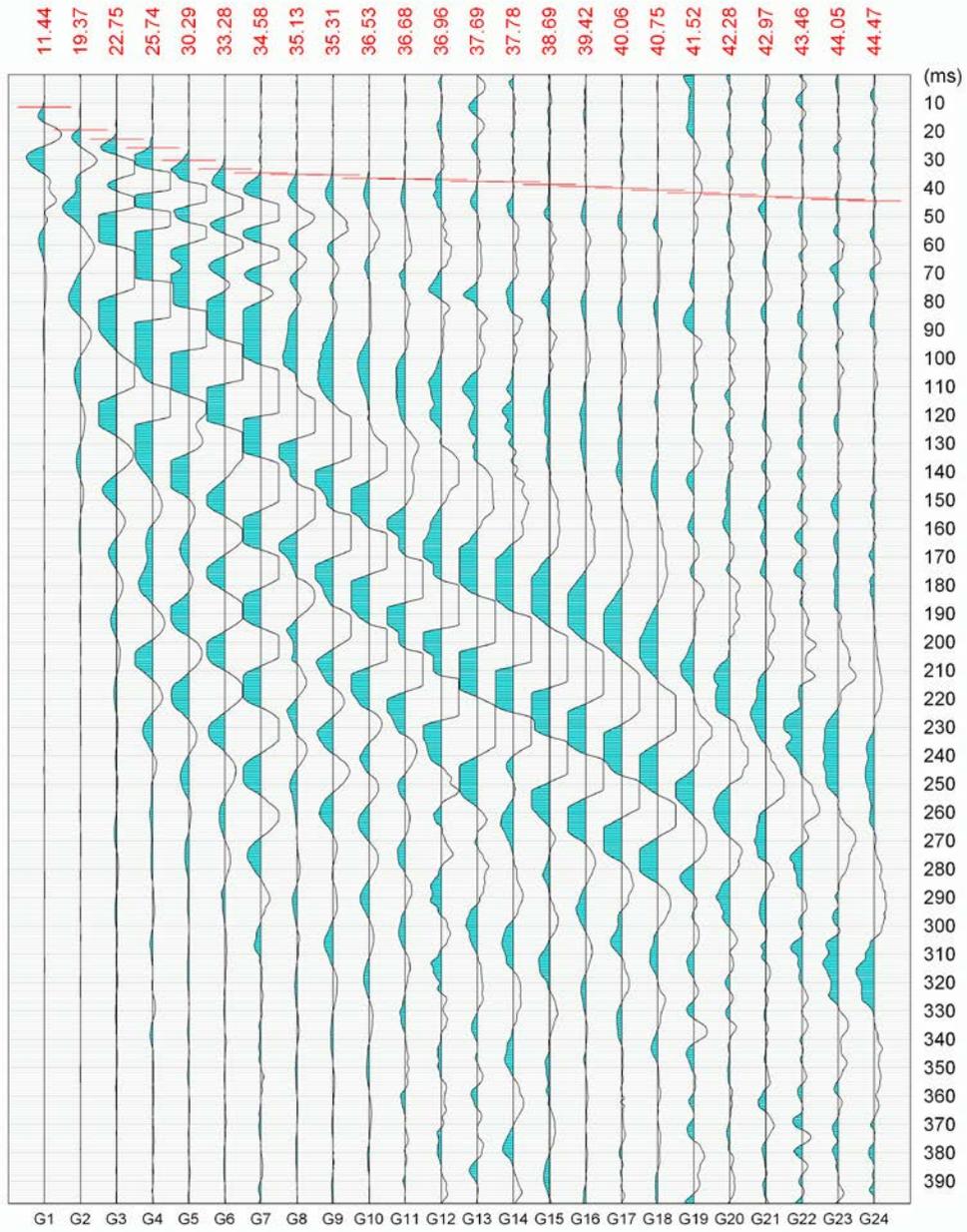
Per quanto riguarda la geometria adottata nella **BASE sismica 1**, i 24 geofoni sono stati disposti sul terreno con una spaziatura di **1,0 m**; sono stati utilizzati 2 punti di energizzazione estreme (a 1 m dai geofoni 1° e 24°), quindi l'intero stendimento BASE_1 risulta di **23,0 m**.

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

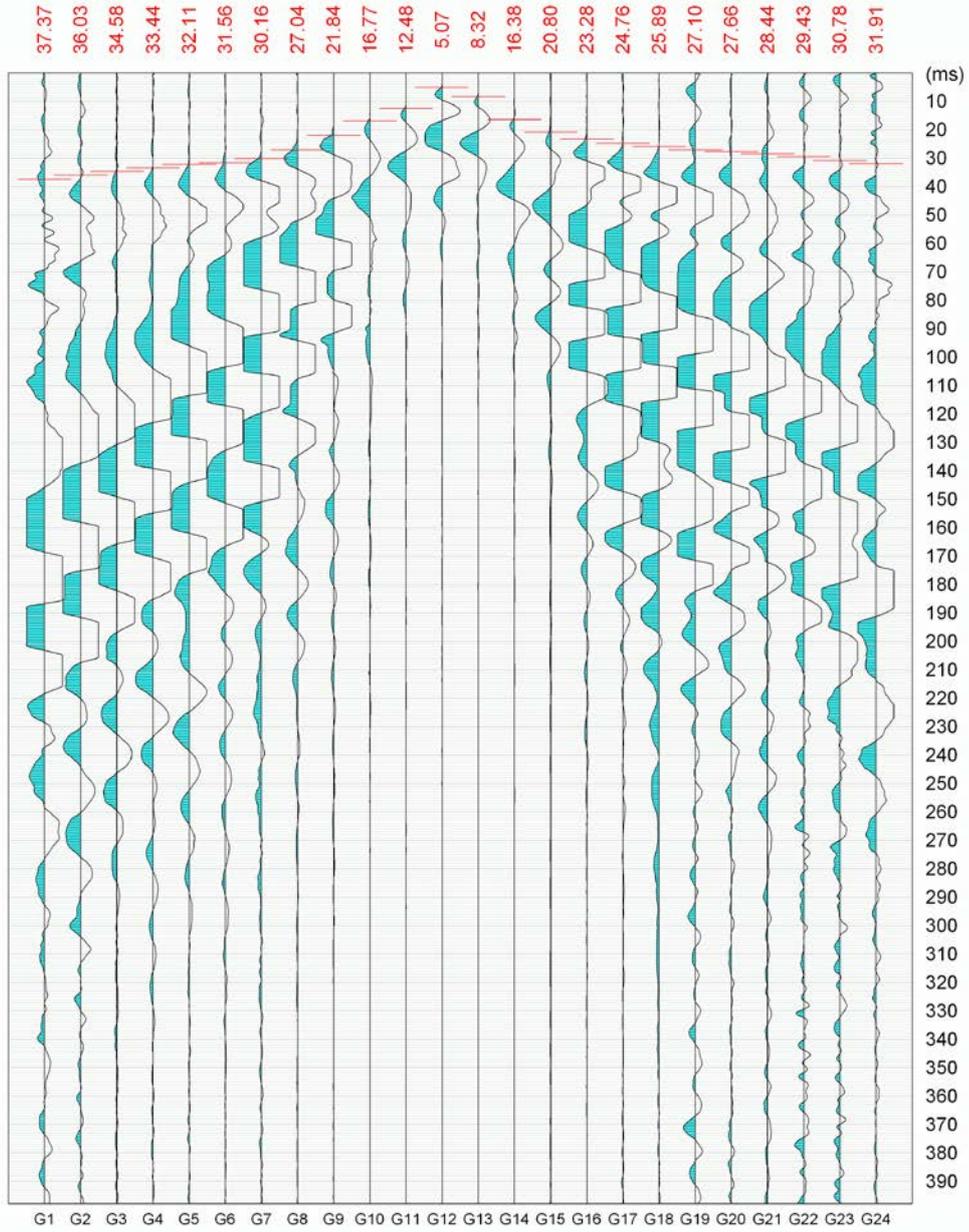
Registrazione Onde P

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:

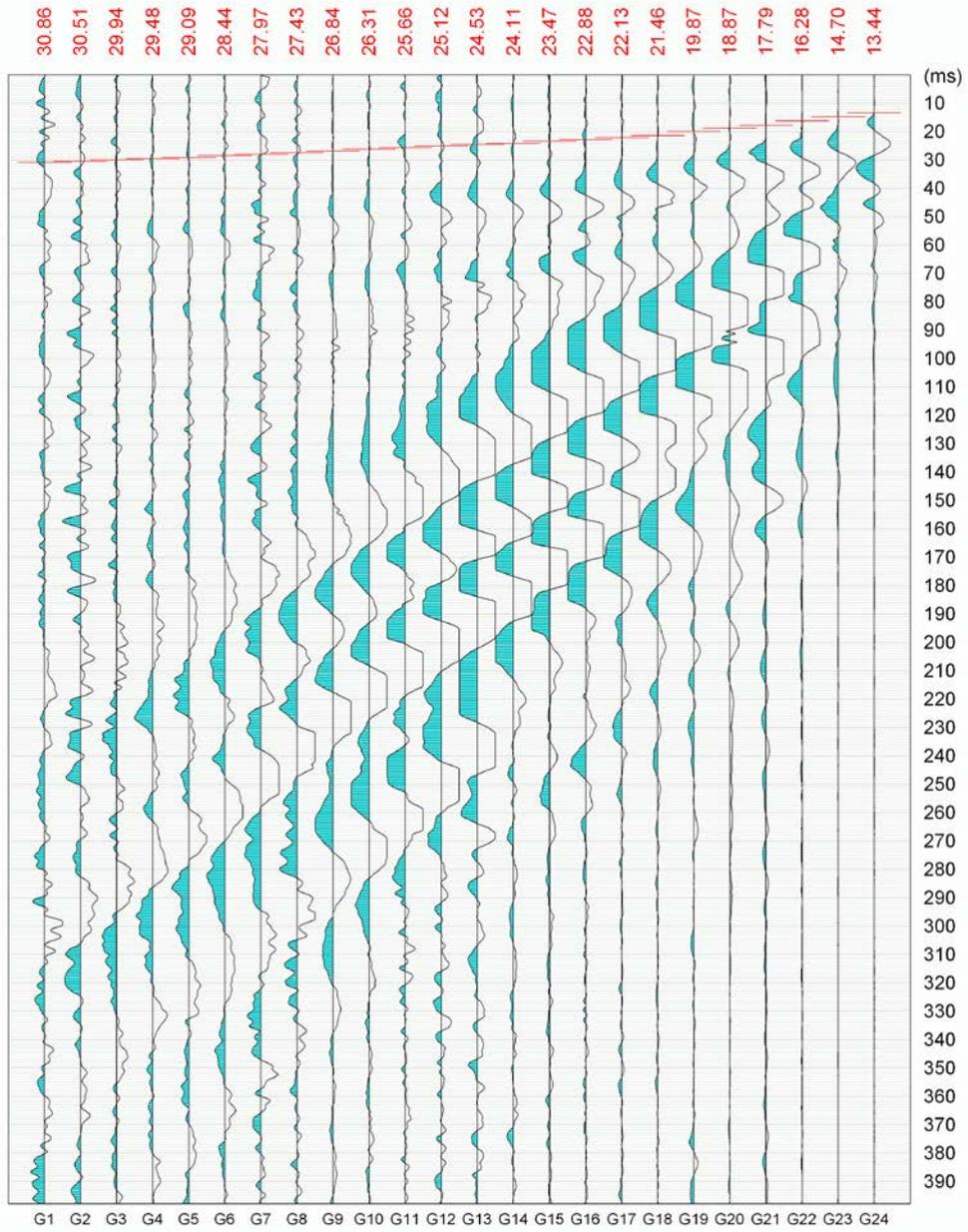
Comune di Deliceto
Contrada Tremoleto



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

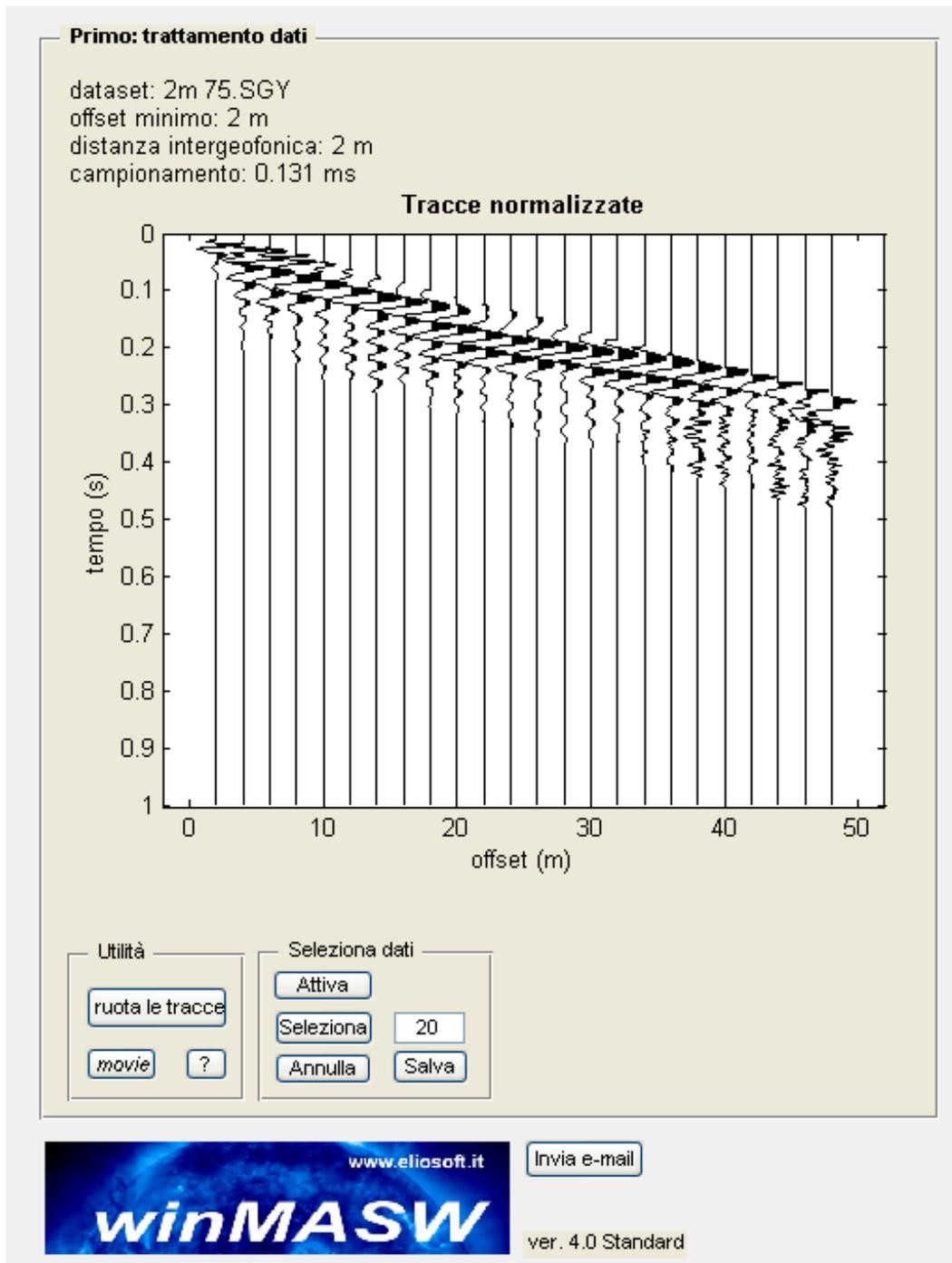
Le sezioni sismiche ottenute dall'interpretazione dei segnali acquisiti permettono di individuare le principali unità geofisiche costituenti il modello geofisico dell'area d'indagine.

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

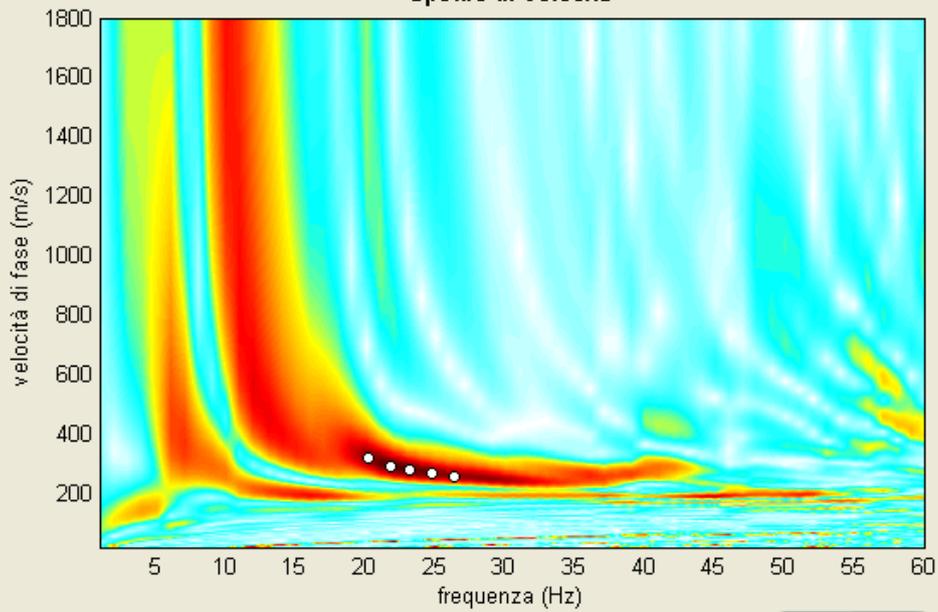
Tau - v

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

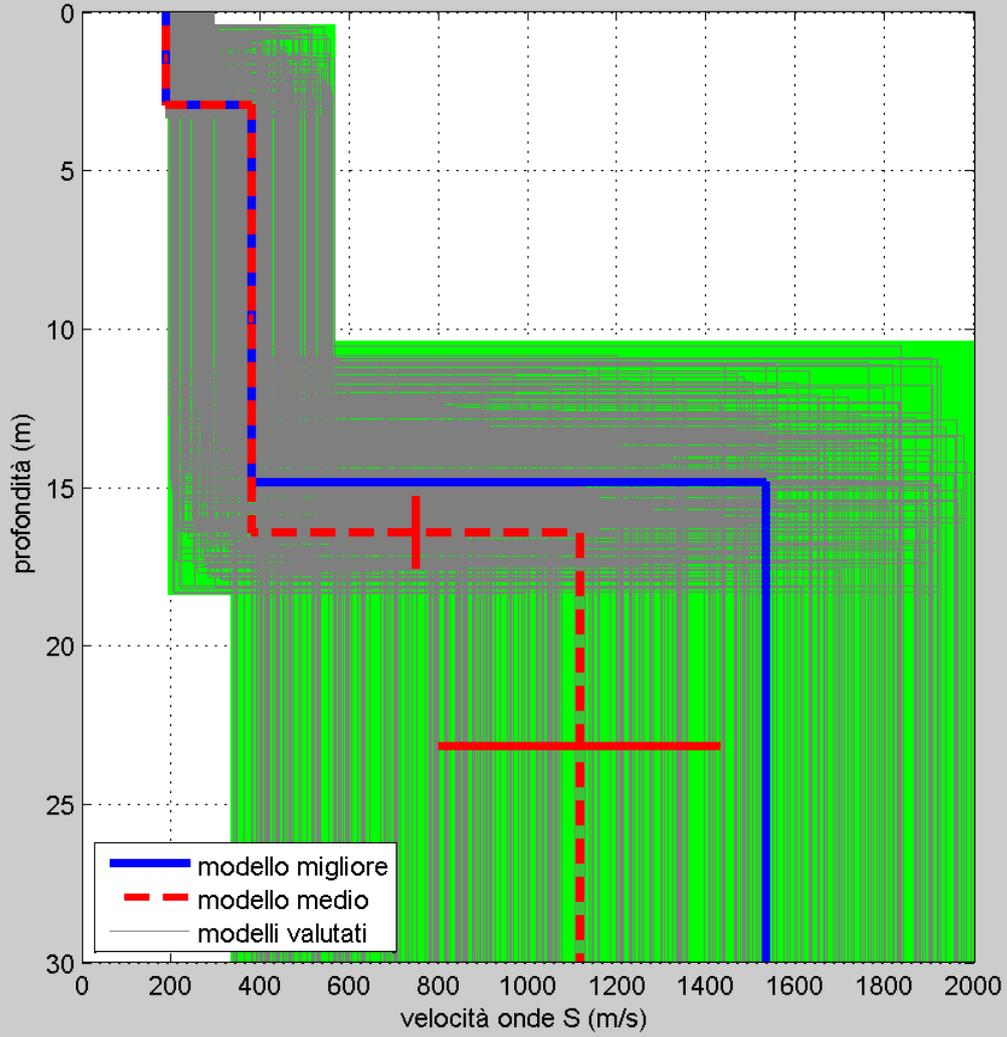
?

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

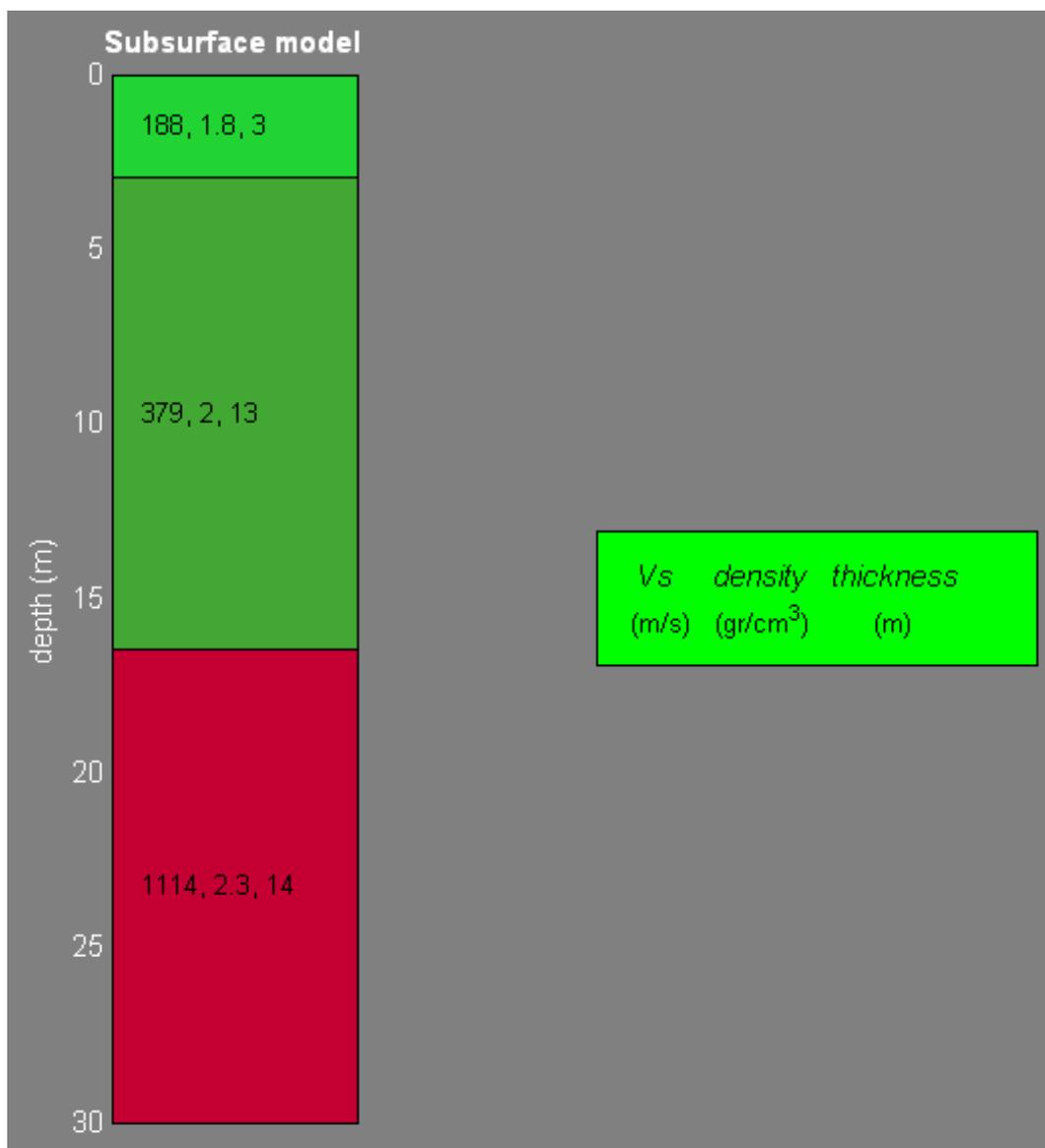
Modulo di taglio (MPa): 65, 288, 2903

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

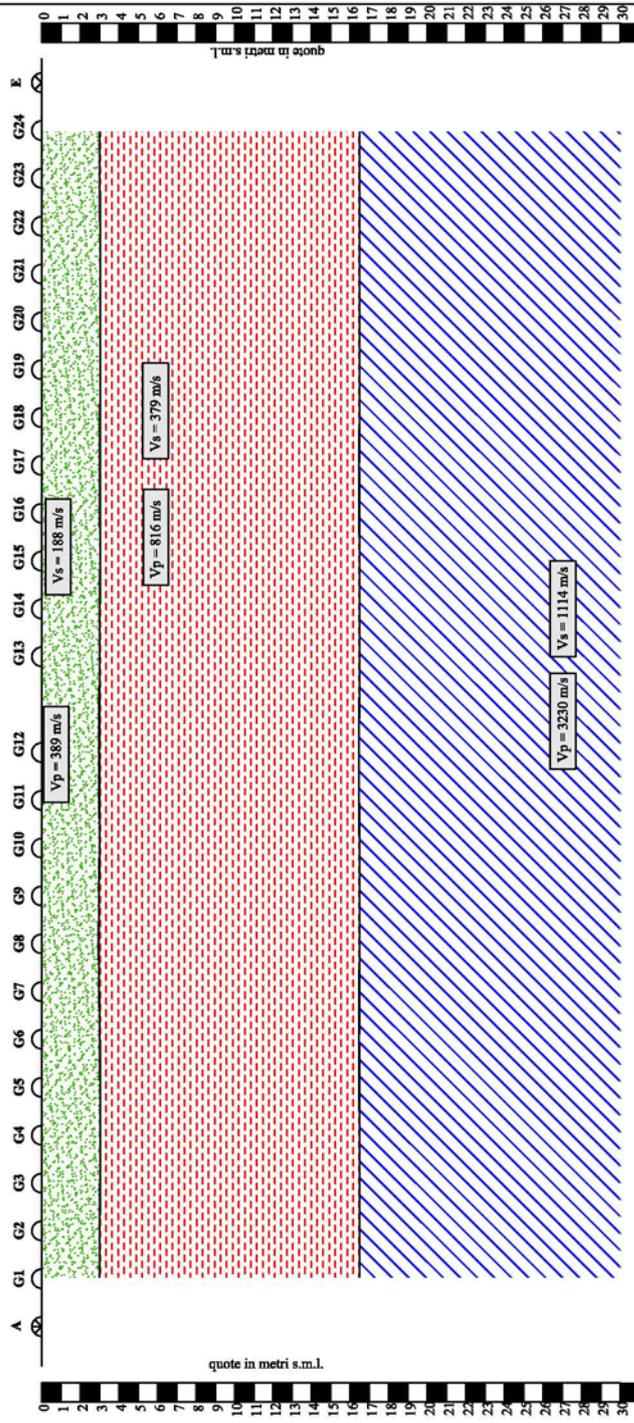
L'interpretazione dei dati sismici ha permesso di trarre le seguenti conclusioni:

- 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

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





VERIFICA DI STABILITA'

Con riferimento al modello geologico-geotecnico adottato utilizzando le tre unità litotecniche), sulla base dei parametri geomeccanici caratteristici è stata eseguita la verifica di stabilità lungo la linea di massima pendenza nel tratto interessato dalle due penetrometrie nella zona di impianto e nella zona dove verrà ubicata la sottostazione. Le pendenze calcolate sulla base di un rilievo topografico di dettaglio sono piuttosto contenute, nell'ordine di pochi gradi e con un picco massimo di 4% in direzione nord ovest. La verifica effettuata lungo questa linea, valutate le caratteristiche geomeccaniche dei litotipi, è stata condotta in due diversi scenari, ante operam e post operam aggiungendo allo stato attuale il sovraccarico indotto dalle strutture di sostegno e dei pannelli stessi, calcolati in 0,2 KPa. Non è stata valutata l'effetto della falda in quanto questa è stata rilevata (attraverso i numerosi pozzi presenti nella zona) a profondità comprese tra -18 e -40 metri dal piano di campagna. Le eventuali acque superficiali derivanti da eventi meteorologici saranno opportunamente raccolte in apposite canalette, in modo da non arrecare alcun pregiudizio all'equilibrio idrogeologico locale. La verifica di stabilità del versante è stata eseguita e utilizzando il software Slope Stability Analysis Program "SSAP 2010". I risultati ottenuti, descritti nel report elaborazioni di calcolo, indicano soddisfacenti garanzie di sicurezza nelle condizioni di "profilatura" del versante. Il coefficiente di sicurezza minimo (F_{sm}), determinato dal calcolo è maggiore di 1,13 Alla

luce di quanto sopra non si determinano superfici di scorrimento che segnano il pericolo di instabilità l'area in esame che, si ricorda, è perimetrata come area a Pericolosità Geomorfologica media e moderata (Pg1).

Rapporto V_p / V_s – Questo parametro può fornire utili informazioni sullo stato di consolidazione e sulla presenza di gas nei mezzi porosi. 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.

Coefficiente di Poisson Dinamico

Tra i moduli elastici dinamici tale parametro è l'unico che non necessita della conoscenza della densità per la sua determinazione. È definito dalla seguente equazione:

$$\nu = 0,5 * \frac{(V_p / V_s)^2 - 2}{(V_p / V_s)^2 - 1}$$

Sebbene in teoria sia considerato stress indipendente ed i suoi valori risultino compresi tra 0.25 e 0.33, nei mezzi porosi 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.

Modulo di Taglio Dinamico

E' definito dalla seguente equazione:

$$G = \gamma \cdot Vs^2$$

dove γ = densità

Tale parametro 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 mezzi porosi è molto esteso.

Modulo di Young Dinamico

È definito dalla seguente equazione:

$$E = \frac{(9\gamma \cdot Vs^2 \cdot R^2)}{(3R^2 + 1)}$$

dove: γ = densità

$$R^2 = K / (\gamma \cdot Vs^2)$$

$$K = \gamma \cdot (Vp^2 - 4/3 Vs^2)$$

Questo modulo 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.

Modulo di Incompressibilità

È definito rispetto alle V_p , V_s e densità dalla seguente equazione:

$$K = \gamma \cdot (V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2)$$

dove: γ = densità

Questo Modulo varia con la porosità, con la pressione e con la quantità di fluido saturante. Esso aumenta con il grado di saturazione con il decrescere della porosità e con l'aumentare della pressione. Nelle rocce sedimentarie varia di oltre 30 volte.

Peso di volume

Ricavato dalla relazione empirica di Tezcan et al. (2009) che lega tale parametro alla velocità di propagazione delle onde P, tenendo conto del tipo di terreno

$$\gamma = \gamma_0 + 0,002 \cdot V_p$$

TIPO DI TERRENO	SABBIE SCIOLTE SILT E ARGILLE	SABBIE DENSE E GHIAIE	MARNE, ARGILLITI CONGLOMERATI	ARENARIE TUFIE SCISTI	ROCCE DURE
γ_0 KN/mc.	= 16	17	18	20	24

dove γ è la densità espressa in kN/m^3 e V è la velocità delle onde di tipo P (longitudinali o di pressione) espressa in m/s .

----- PARAMETRI DEL MODELLO DEL PENDIO -----

__ PARAMETRI GEOMETRICI - Coordinate X Y (in m) __

	SUP T.		SUP 2		SUP 3		SUP 4	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
	0.00	10.00	0.00	8.51	0.00	6.90	-	-
	125.06	13.00	70.81	11.21	125.06	7.70	-	-
	188.62	15.88	125.06	11.30	235.48	11.60	-	-
	235.48	18.00	235.48	16.30	300.34	15.31	-	-
	300.34	23.00	300.34	21.30	376.82	18.92	-	-
	376.82	28.00	376.82	26.30	438.51	21.30	-	-
	438.51	33.00	438.51	31.83	488.46	25.14	-	-
	488.46	38.00	488.46	36.31	529.82	30.05	-	-
	529.82	43.00	529.82	41.31	569.92	35.23	-	-

γ (kN/m^3)

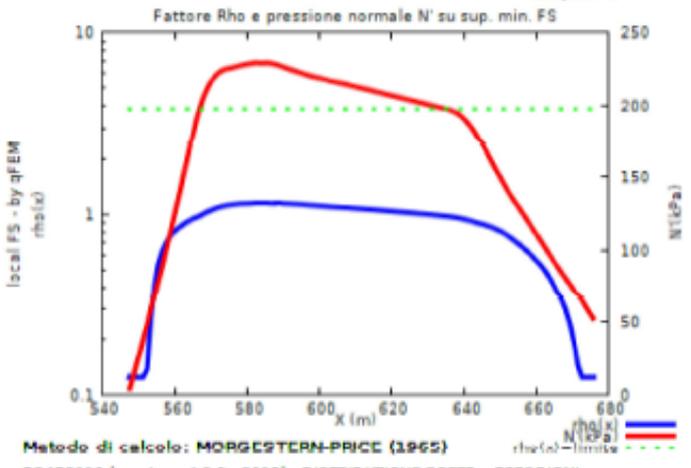
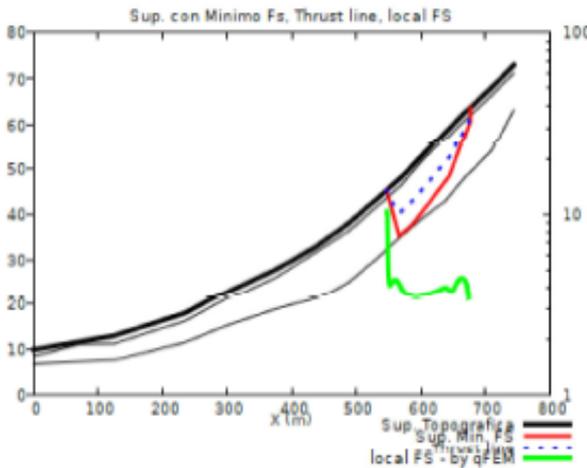
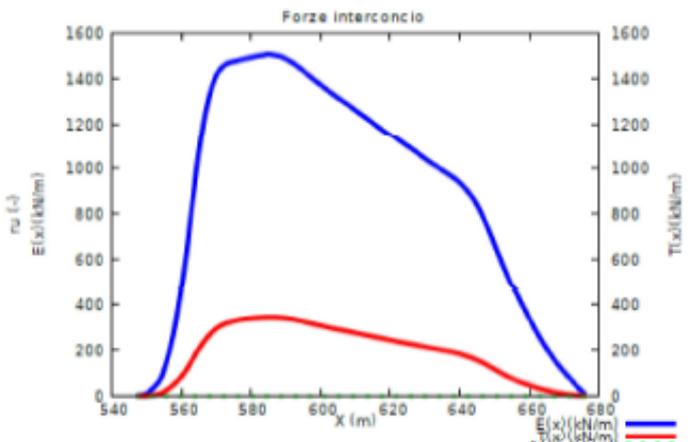
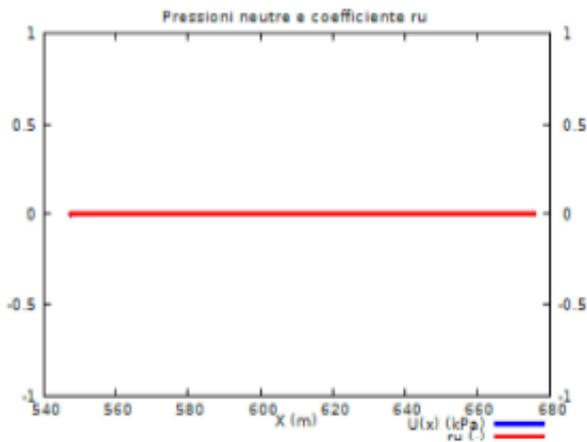
Rigidità sismica (R):

$$R = \gamma \cdot V_s \text{ (KN/m}^2\cdot\text{sec)}$$

dove γ è la densità espressa in kg/m^3 e V è la velocità delle onde di tipo S (trasversali o di taglio) espressa in m/s . E' un parametro strettamente legato alla amplificazione sismica locale: infatti l'incidenza dei danni tende a diminuire all'aumentare della rigidità sismica.

PARAMETRI GEOMECCANICI

Gamma sat KN/mc.		STR IDX Adimens.	Angolo di attrito	C' Kpa	Cu Kpa	Gamm KN/mc
	Strato	1	25	5	30,00	
18,50		2,100				18,50
	strato	2	28	8	40,00	
19,00		2,722				19,00
	Strato	3	30	10	5,00	
19,50		2,867				19,50



Metodo di calcolo: MORGESTERN-PRICE (1965)
 SSAP2010 (versione 4.9.9 - 2019) - DISTRIBUZIONE FORZE e PRESSIONI

----- ANALISI DEFICIT DI RESISTENZA

DATI RELATIVI ALLE 10 SUPERFICI GENERATE CON MINOR F_s *

Analisi Deficit in riferimento a $F_s(\text{progetto}) = 1.200$

Sup N.	F_s	FTR(kN/m)	FTA(kN/m)	Bilancio(kN/m)
ESITO				
1	3.824	17855.9	4669.8	12252.1
Surplus				
2	3.834	20432.0	5329.6	14036.4
Surplus				
3	3.836	14540.8	3790.4	9992.3
Surplus				
4	3.843	17866.1	4648.9	12287.4
Surplus				
5	3.845	17267.2	4491.1	11877.9
Surplus				
6	3.849	17693.9	4596.9	12177.7
Surplus				
7	3.849	16859.0	4379.6	11603.4
Surplus				
8	3.850	17301.3	4494.1	11908.4
Surplus				
9	3.856	16318.9	4232.1	11240.4
Surplus				
10	3.860	18376.9	4761.3	12663.4
Surplus				

TABELLA SFORZI DI TAGLIO DISTRIBUITI LUNGO SUPERFICIE INDIVIDUATA
 CON MINOR FS

TauF (kN/m)	X (m)	TauStrength (kPa)	dx (m)	TauS (kN/m)	d1 (m)	alpha (°)	TauStress (kPa)
-2.374	562.768	26.248	1.070	31.295	1.192	-26.168	-1.991
-7.123	563.838	29.779	1.070	35.505	1.192	-26.168	-5.974
-6.438	564.908	32.741	0.632	23.057	0.704	-26.168	-9.142
-14.852	565.541	31.715	1.070	37.813	1.192	-26.168	-12.457
-19.953	566.611	40.601	1.070	48.407	1.192	-26.168	-16.735
-25.053	567.681	50.182	1.070	59.831	1.192	-26.168	-21.013
-30.154	568.751	61.679	1.070	73.538	1.192	-26.168	-25.291
-3.052	569.821	68.128	0.099	7.525	0.110	-26.168	-27.628
-35.826	569.920	77.264	1.070	92.120	1.192	-26.168	-30.048

TENUTA FRONTI DI SCAVO

Ai fini della sicurezza è di fondamentale importanza conoscere le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni interessati dalla trincea per la posa in opera del cavidotto.

Per questo motivo siamo andati a verificare le peculiarità geotecniche dei materiali, da cui dipendono in massima parte le condizioni di “tenuta” delle pareti di scavo e che costituiscono il principale fattore predisponente a possibili fenomeni di instabilità.

Per definire le caratteristiche fisicomeccaniche dei terreni attraverso parametri geotecnici sono state effettuate indagini penetrometriche anche lungo il percorso del cavidotto, in modo da ottenere le caratteristiche litologiche e geotecniche utili per l’ottenimento della capacità delle pareti di scavo di autosostenersi in assenza di opere di stabilizzazione. Infatti, in seguito all’ottenimento di tali informazioni è stato possibile dare allo scavo un’inclinazione (definita Inclinazione di sicurezza, scarpa, angolo di scarpa) tale per cui essa risulti stabile nel breve periodo e non vi sia pericolo di crollo. Detta inclinazione di sicurezza è stata determinata tenendo conto delle condizioni geologiche e idrogeologiche (eventuale presenza e condizioni di circolazione delle acque sotterranee) e dell’altezza e caratteristiche geometriche dello scavo, delle caratteristiche geotecniche del terreno (angolo di attrito interno, coesione) e delle condizioni al contorno dello scavo (presenza di sovraccarichi in prossimità della parete di scavo, quali costruzioni, edifici, ecc.).

Le metodiche di valutazione della stabilità del nostro taglio artificiale per la posa del cavidotto ha tenuto conto di questi fattori: trattasi di **argille limo sabbiose** le cui caratteristiche geotecniche sono tali da agire a favore della stabilità, l'**assenza di terreni saturi** rappresenta una ulteriore sicurezza, così come l'assenza di immobili lungo il percorso del cavidotto è ulteriore motivo di stabilità, lo stesso vale per l'altezza dello scavo, non eccessiva, agisce a favore della stabilità. Essendo l'angolo di attrito e la coesione decisamente buoni, $C = 40 \text{ KPa}$ e angolo di attrito = 22° , l'angolo di scarpa aumenta, con conseguentemente stabilità del versante.

Trattasi di **terreni coesivi**, si può superare l'inclinazione dell'angolo d'attrito, in virtù della maggiore resistenza interna del materiale, per la presenza di forze di coesione tra le particelle. Anzi, queste condizioni vengono convenzionalmente definite mediante le notazioni

$$"f = f_u = 0; c = c_u > 0",$$

per indicare che il terreno reagisce alle tensioni indotte essenzialmente grazie alla coesione interna, poiché le forze di attrito risultano inibite dalle sovrappressioni neutre. Ciò risulta particolarmente evidente appunto nei terreni argillosi, dove è possibile, per un tempo limitato, realizzare **pareti verticali in grado di autosostenersi**.

In tal caso il fattore di controllo della stabilità è costituito dall'altezza della parete verticale. Tale valore può essere velocemente calcolato con la seguente relazione:

$$H_c = 4 c / \gamma_n$$

dove: H_c = altezza critica

c = coesione

γ_n = densità naturale del terreno.

Dalle prove in sito abbiamo verificato che lungo tutta la direttrice del cavidotto abbiamo terreni simili, decisamente coesivi, almeno dalla profondità di metri 0,60 e fino alla profondità di metri 3,00, pertanto adottando la formula dell'altezza critica risulta che:

$$H_c = 4 * 0,40 / 0,70 = 2,28 \text{ mt.}$$

Pertanto l'altezza critica oltre il quale la parete non sarebbe più stabile è ben più grande di quella prevista in progetto ossia 1,50 – 1,70 metri dal piano campagna.

Lo stesso non vale per il terreno superficiale, ossia il terreno cosiddetto vegetale, il quale avendo caratteristiche meccaniche decisamente più sfavorevoli, con **angolo di attrito pari a circa 20°** e **coesione pari a circa 10 KPa**, non risulterebbe stabile con angolo di scarpa a 90°.

Infatti facendo riferimento a delle tabelle presenti in bibliografia, si evidenzia per terreni vegetali, un angolo di stabilità dello scavo non superiore a 40°.

Si consiglia pertanto di adottare tale angolo di scarpa fino al raggiungimento dello strato coesivo, ossia fino alla profondità di 0,60 metri dal p.c. e scavo a parete verticale fino alla profondità di imposta del cavidotto, ossia a profondità variabile da 1,50 e fino a 1,70 metri dal piano campagna. Comunque si consiglia per profondità superiori a 1,50 metri dal piano campagna di proteggere i lavoratori, evitando che un eventuale smottamento possa seppellire i lavoratori.

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 **geomorfologica** ed **idrogeologica** di una vasta area ubicata nel Comune di Deliceto al foglio n° 2 particelle n° 21 – 25 – 43 – 56 – 58 – 60 – 73 – 75 – 84 – 17 – 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.

L'area di intervento ricade parzialmente tra le aree a pericolosità geomorfologica media e moderata (PG1)

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;
- Le opere in progetto non prevedono sbancamenti significativi, in quanto le opere da realizzare non prevedono fondazioni di grosse dimensioni, nè la necessità di rimodellare la morfologia attuale;
- la zona non presenta segni di frane in atto o in preparazione;

- il sottosuolo, fino alla profondità di circa 30,00 metri dal piano campagna risulta decisamente omogeneo, sia dal punto di vista litologico che meccanico, ed 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;
- si sono identificate tre strati del sottosuolo avente medesime caratteristiche litologiche e meccaniche;
- **Il coefficiente di sicurezza minimo (F_{sm}), determinato dal calcolo, tenendo conto delle caratteristiche meccaniche di tre strati aventi caratteristiche decisamente omogenee, ha evidenziato un valore superiore a 1 ossia 1,13;**
- fino alla profondità di metri 10,00 dal piano campagna non è stata rinvenuta falda;
- la velocità media di propagazione entro i 30 m di profondità delle onde di taglio è V_{s30} = compresa tra 407 e 473 m/s, tali terreni appartengono alla ***Categoria di suolo di fondazione B***;
- l'intervento non prevede sbancamenti e riporti di terreno tali da modificare la morfologia attuale;
- l'assenza di piani di scorrimento superficiali e l'assenza di falde freatiche superficiali di tipo continuo, contribuiscono al buon equilibrio del pur modesto versante.

Pertanto in base ai risultati ottenuti dalle indagini effettuate, ossia presenza di terreni omogenei sia dal punto di vista litologico e meccanico fino a profondità significative, l'assenza di pressioni interstiziali, dovute alla totale assenza di falde superficiali, la

mancanza di fenomeni attivi e la modestissima entità delle opere da realizzare, possiamo confermare che le opere da realizzare sono ininfluenti sulla futura stabilità del versante.

Le prove effettuate e le verifiche di stabilità dell'area, soprattutto nei punti più acclivi, hanno evidenziato una ottima stabilità dell'area sia ante che post opera.

San Severo 31 gennaio 2022