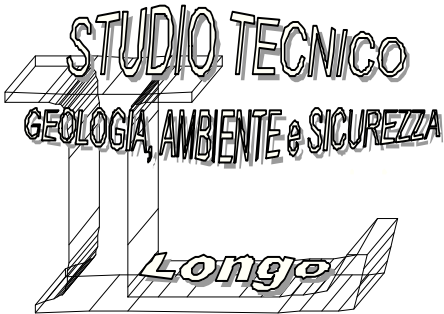


# COMUNE DI MANFREDONIA

(PROVINCIA DI FOGGIA)

## PROGETTO PER UN IMPIANTO DI PRODUZIONE AGRO – ENERGETICO INTEGRATO



DOTT. GEOL. LONGO PASQUALE GIUSEPPE  
VIA PESCASSEROLI N. 13 - 66100 - CHIETI  
0882/333931 338/2090471

## RELAZIONE GEOLOGICA

**TECNICO** : DOTT. GEOLOGO LONGO PASQUALE GIUSEPPE

**COMMITTENTE** : ENERGIE ALTERNATIVE

**UBICAZIONE** : F.127 P.LLE N° 10 - 54 - 65 - 77 - 79 - 97 - 99 F. 128 P.LLA 35

TECNICO \_\_\_\_\_

## PREMESSA

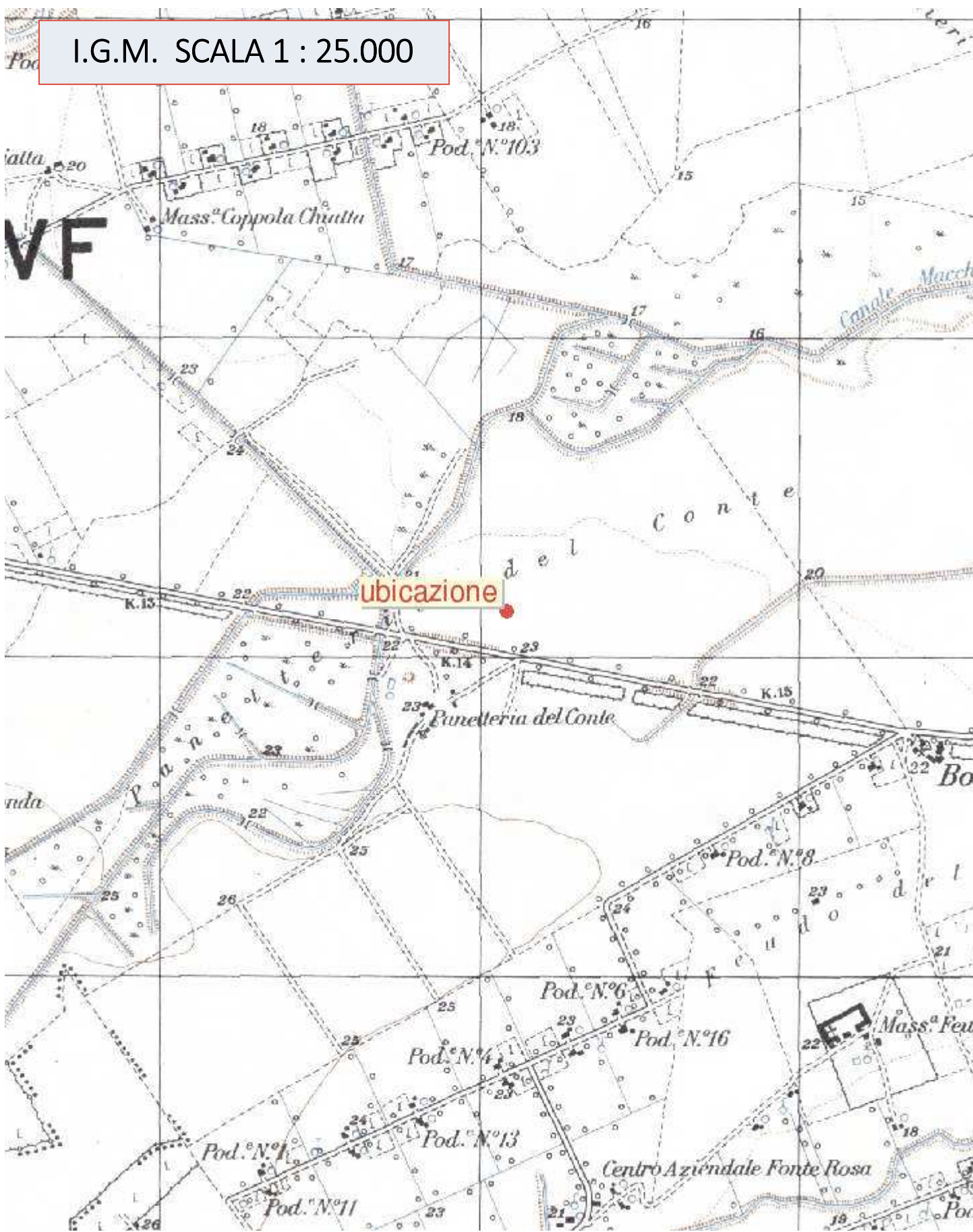
Su incarico della ditta Energie Alternative con sede nel Comune di Torremaggiore alla via Reinella Snc, il sottoscritto dott. Geologo Longo Pasquale Giuseppe, con sede nel Comune di Chieti alla via Pescasseroli n° 13, iscritto presso l'Ordine dei Geologi della Regione Puglia al n° 391, ha effettuato una indagine geologica di un'area sita nel Comune di Manfredonia in localita' Borgo Mezzanone – Macchia Rotonda ed in Catasto al foglio n° 127 particelle n° 10 – 54 – 65 – 77 – 79 – 97 – 99 e foglio n° 128 particella n° 35, in corrispondenza del quale verra' realizzato un impianto di produzione agro – energetico integrato.

Insieme alla committenza è stata effettuata una prima escursione per constatare lo stato dei luoghi e per delimitare l'area interessata dalla sagoma della struttura oggetto di intervento. 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 e geotecnico, individuando le caratteristiche lito-stratigrafiche,

geomorfologiche e idrogeologiche del sito, nonché il comportamento meccanico dei litotipi presenti in relazione ai carichi da applicare con l'opera in oggetto.

I.G.M. SCALA 1 : 25.000



## MEZZI D'INDAGINE

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

- 1) acquisizione dati dalla letteratura a disposizione;
- 2) approfondimento mediante un dettagliato rilevamento geomorfologico di superficie;
- 3) prove dirette effettuate tramite l'esecuzione di indagini penetrometriche;
- 4) prova geosismica in sito;

## RILEVAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area di studio è compresa nel foglio 164 (Manfredonia) della Carta geologica d'Italia in scala 1 : 100.000.

L'area in esame, più in generale, rientra nel territorio che fa parte del lembo più meridionale del promontorio garganico, il quale risulta, nel complesso, una impalcatura costituita principalmente da sedimenti "*calcareo-dolomitici*" di età "*triassico-cretacea*" (Era Mesozoica) poggiante direttamente su "*crosta di tipo continentale*".

L'area di studio è caratterizzata da formazioni di ambiente di "*retroscogliera*", le quali presentano, sempre all'interno del loro ambito, facies variabili in funzione della diversa attribuzione cronologica.

Nell'area in cui ricade il sito d'intervento affiorano, in particolare, "*calcari biancastri, variamente stratificati, microcristallini, oolitici, pisolitici*", di età compresa tra il "*Giurassico ed il Cretacico*". Tale formazione costituisce l'unità geologica di base la quale, nella fascia costiera del territorio urbano di Manfredonia, risulta a luoghi solcata da vallecole poco profonde, trasversali alla linea di costa (forme relitte preferenziali di deflusso di bacini imbriferi), nelle quali possono riscontrarsi esigui spessori di depositi granulari recenti di erosione continentale.

Pertanto, nel quadro geologico di quest'area, si può riconoscere l'affioramento delle seguenti "formazioni", in ordine cronologico crescente:

a) **Basamento Calcereo Mesozoico :**

“Calcari Oolitici di Coppa Guardiola” - calcari oolitici e pseudoolitici, biancastri, detritici e micritici, in strati di spessore variabile ( Giura-sup., Creta-inf.).

Limitatamente all’area del sito, la formazione geologica ampiamente affiorante è costituita da:

- “ **Calcari Oolitici di Coppa Guardiola** “ (giura superiore).

In quest’area di studio gli strati si presentano sub-orizzontali o poco inclinati, direzione NW-SE, immersione SW; le fratture, abbastanza frequenti, si presentano in famiglie con diverse orientazioni, ma di limitata estensione.

La stratificazione è in genere evidente con strati di spessore variabile, talvolta può essere mascherata per la presenza di un discreto carsismo (in generale di alterazione chimica, irregolarmente diffusa); spesso è presente terreno residuale (dal rossastro al giallastro) nelle fratture e nei giunti di stratificazione (processo carsico fossile).

La potenza di questa formazione è notevole in tutta l’area esaminata.

Al di sopra di questa formazione, a luoghi, si riscontrano esigui spessori di deposito recente, per lo più di tipo pedogenetico.

In sintesi, lo “schema geologico-strutturale” presente in sito è essenzialmente caratterizzato da:

- **formazione rocciosa calcarea stratificata di base**, di spessore notevole; con in superficie, a luoghi, lenti esigue di deposito incoerente continentale, recente.

Si è in presenza, quindi, di una formazione geologica rocciosa consistente, in continuità verticale e laterale, non interessata da anomalie che possano interrompere il quadro statico globale.

Litologicamente, la formazione, è caratterizzata da una successione di strati e banchi di calcare biancastro, a grana medio fine, a frattura concoide, scheggiata. Le litofacies sono di tipo oolitico e pseudoolitico, a volte detritico e/o brecciato.

b) **Depositi** colluviali-eluviali (recenti).

### Elementi tettonici e geomorfologici

Nel suo ambito territoriale più vasto la morfologia della zona è strettamente legata ai lineamenti strutturali.

La morfologia d'insieme è caratterizzata dal grosso Promontorio garganico che corrisponde ad una blanda anticlinale orientata all'incirca NO-SE.

La tettonica garganica è essenzialmente di tipo plicativo con notevole sviluppo di sistemi di faglie determinanti ai fini del rilievo. I sistemi principali sono due: faglie appenniniche, con allineamento NO-SE e le faglie garganiche, con allineamento E-O.

Le loro associazioni formano HORST e GRABEN con medesimo allineamento che, come già detto influiscono direttamente sulla morfologia materializzando lunghe dorsali oppure ampie vallate.



A queste strutture maggiori si associano numerosissime dislocazioni minori non sempre cartografabili e rilevabili solo a grande scala, ma molto importanti ai fini pratici.

Gli abbondanti terrazzi ad esempio, anche se modellati successivamente dall'erosione marina post-mesozoica si sono formati in seguito ai fenomeni disgiuntivi di cui sopra, per il graduale approfondimento delle zolle mesozoiche verso il Tavoliere. A detta morfologia strutturale si sovrappone una morfologia di tipo carsica molto accentuata. Negli altopiani carsici, i cui bordi sono solcate da profonde incisioni, sono diffuse le doline, gli inghiottitoi ed i bacini carsici.

I fenomeni dissolutivi generano anche "terre rosse" questi prodotti residuali si accumulano sul fondo dei piccoli avvallamenti, oppure, quando il fenomeno si sviluppa direttamente nell'ambito della massa rocciosa, nell'interno delle fratture preesistenti ampliate dal fenomeno stesso e/o in sacche e cavità.

### Idrografia superficiale

In queste aree di natura carsica, fortemente permeabili per fessurazione e fratturazione l'idrologia superficiale è praticamente assente.

Corsi d'acqua perenni sono assenti anche nelle incisioni vallive più profonde e le caratteristiche generali delle forme carsiche garganiche , dove prevalgono le grosse cavità a sviluppo verticale, indicano che le acque di infiltrazione tendono a

raggiungere profondità elevate come d'altra parte stanno a dimostrare le abbondanti emergenze idriche che si manifestano ai bordi del massiccio garganico.

Tuttavia i solchi di erosione sono numerosi e costituiscono un reticolo assai denso, con evidente gerarchizzazione.

Nelle parti più elevate si notano piccole aree a drenaggio endoreico.

I più importanti solchi erosivi detti localmente "lame", hanno origine nella parte più alta del massiccio ed arrivano sino al mare abbastanza nettamente incisi; hanno un fondo piatto e pareti assai ripide.

In diversi luoghi il loro corso mostra brusche variazioni di direzione, o andamento meandriforme.

Nel versante Sud ed Est del promontorio garganico, dove affiorano formazioni più compatte, in occasione delle piogge più abbondanti le acque si incanalano lungo le lame, ove costituiscono per breve tempo corsi di acqua superficiali con forti piene e magre prolungate.

### Idrografia sotterranea

La circolazione idrica sotterranea è variabile da zona a zona in relazione alla differente permeabilità delle formazioni affioranti.

In genere le formazioni dell'ambito territoriali di cui trattasi sono per la maggior parte caratterizzati da elevata permeabilità per fessurazione e carsismo.

La conseguenza più appariscente dell'intensa carsificazione è data dal reticolo idrografico poco sviluppato, o addirittura assente al di sopra dei 600,00 metri di quota, dove più frequenti sono le doline.

Tra i terreni restanti poche sono le formazioni da considerare praticamente impermeabili come, ad esempio, i calcari marnosi con livelli di selce e i sedimenti olocenici circumlacustri, mentre tutte le altre sono permeabili. Per porosità come le alluvioni attuali terrazzate, le sabbie eoliche di spiaggia, i detriti, le sabbie e le calcareniti plioceniche e mioceniche. La particolare conformazione determina la formazione di numerose sorgenti.

#### 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 Manfredonia è stato interessato da numerosi fenomeni sismici. Dall'analisi dei dati si è potuto accertare che gli epicentri dei terremoti più significativi sono localizzati nell'Alto tavoliere, nel Gargano e in Irpinia.

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

## 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 prova diretta, effettuata nella mezzeria dell'area interessata dalla costruzione, tramite l'esecuzione di n° 1 penetrometria dinamica.

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

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

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

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

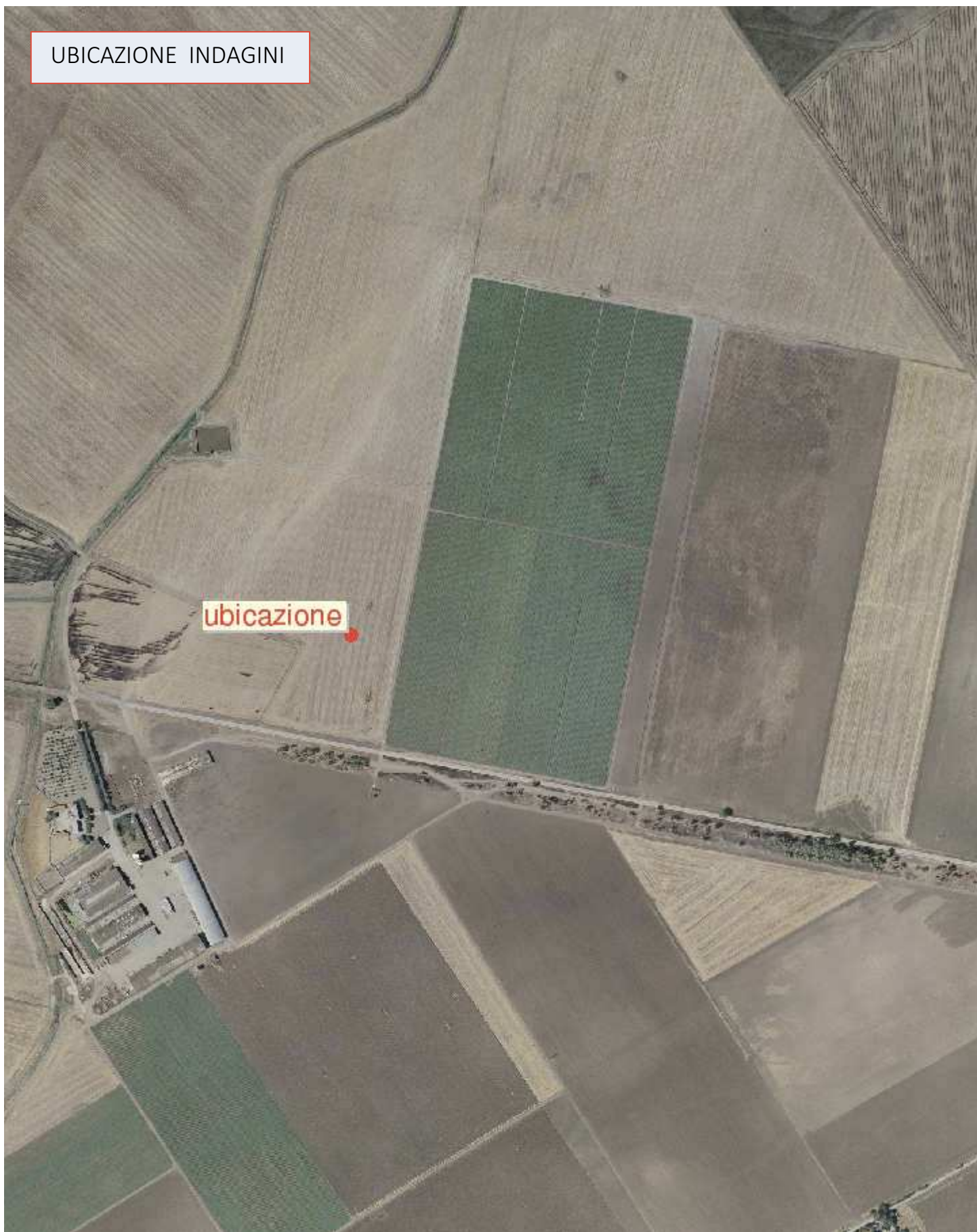
L'area di studio è ubicata alla quota di circa 23,00 metri s.l.m. in una zona con morfologia abbastanza pianeggiante.

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.

UBICAZIONE INDAGINI

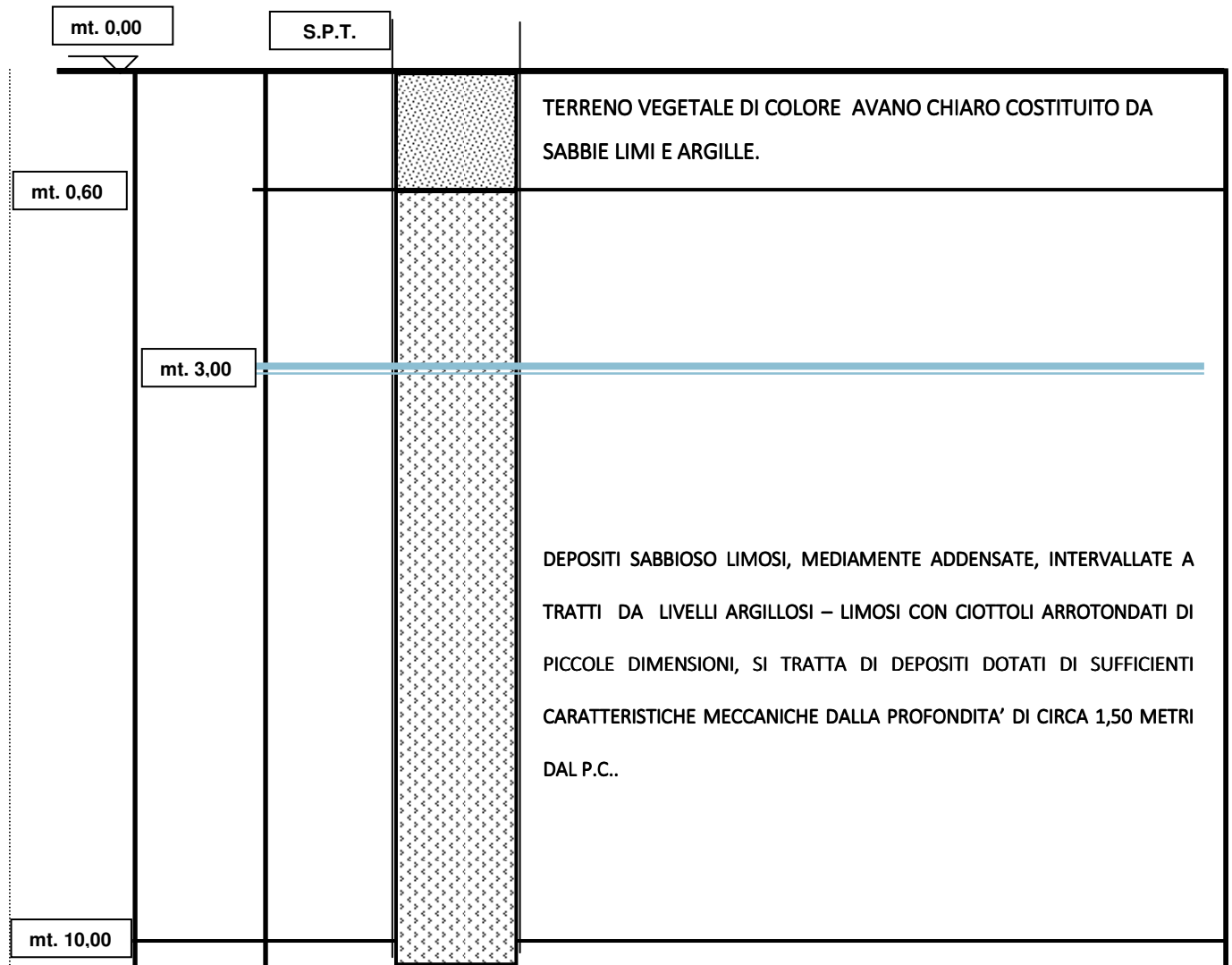
ubicazione



STRATIGRAFIA DEL SOTTOSUOLO

PROFONDITA' Metri	DESCRIZIONE FORMAZIONE
0,00 – 0,60	TERRENO VEGETALE DI COLORE AVANO CHIARO COSTITUITO DA SABBIE LIMI E ARGILLE.
0,60 – 20,00	DEPOSITI SABBIOSO LIMOSI, MEDIAMENTE ADDENSATI, INTERVALLATE A TRATTI DA LIVELLI ARGILLOSI – LIMOSI CON CIOTTOLI ARROTONDATI DI PICCOLE DIMENSIONI, SI TRATTA DI DEPOSITI DOTATI DI SUFFICIENTI CARATTERISTICHE MECCANICHE DALLA PROFONDITA' DI CIRCA 1,10 METRI DAL P.C..
20,00 – 30,00	CLASTI ARROTONDATI IMMERSI IN MATRICE SABBIOSA DI COLORE GIALLASTRO. LA STRATIFICAZIONE, POCO EVIDENTE, RISULTA DI TIPO PIANO PARALLELA.
30,00 – OLTRE	ARGILLE DI COLORE GRIGIO AZZURRE COMPLETAMENTE IMPERMEABILI, DOTATE DI BUONE CARATTERISTICHE MECCANICHE.

# Schema Stratigrafico





PARAMETRI MECCANICI DEL TERRENO

Dall'analisi della prova penetrometrica dinamica eseguita sono stati individuati attraverso correlazioni e diagrammi presenti in bibliografia i parametri geotecnici da prendere a base per il calcolo della capacità portante.

I principali parametri meccanici medi dello strato di terreno posto tra 0,60 e 1,10 metri dal piano campagna sono così definiti:

$\gamma$	1,75 t/mc	Peso di volume
$\varnothing$	19°	Angolo di attrito
$C_u$	10,00 KPa	Coesione non drenata
$K_z$	2,50 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
$E$	3 N/mm <sup>2</sup>	Modulo edometrico

I principali parametri meccanici medi dello strato di terreno posto tra 1,10 e 10,00 metri dal piano campagna sono così definiti:

$\gamma$	1,85 t/mc	Peso di volume
$\varnothing$	23°	Angolo di attrito
Cu	20,00 KPa	Coesione non drenata
KZ	4,00 kg/cmc	Coefficiente di sottofondo
Kx	1,00 kg/cmc	Coefficiente di sottofondo
Ky	1,00 kg/cmc	Coefficiente di sottofondo
Falda	<i>Oltre 3,00 mt. p.c.</i>	<i>Profondità falda</i>
E	5 N/mm <sup>2</sup>	<i>Modulo edometrico</i>
C	5,00 KPa	Coesione

## CARATTERISTICHE DEL SOTTOSUOLO

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 semifrizzionale, 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.

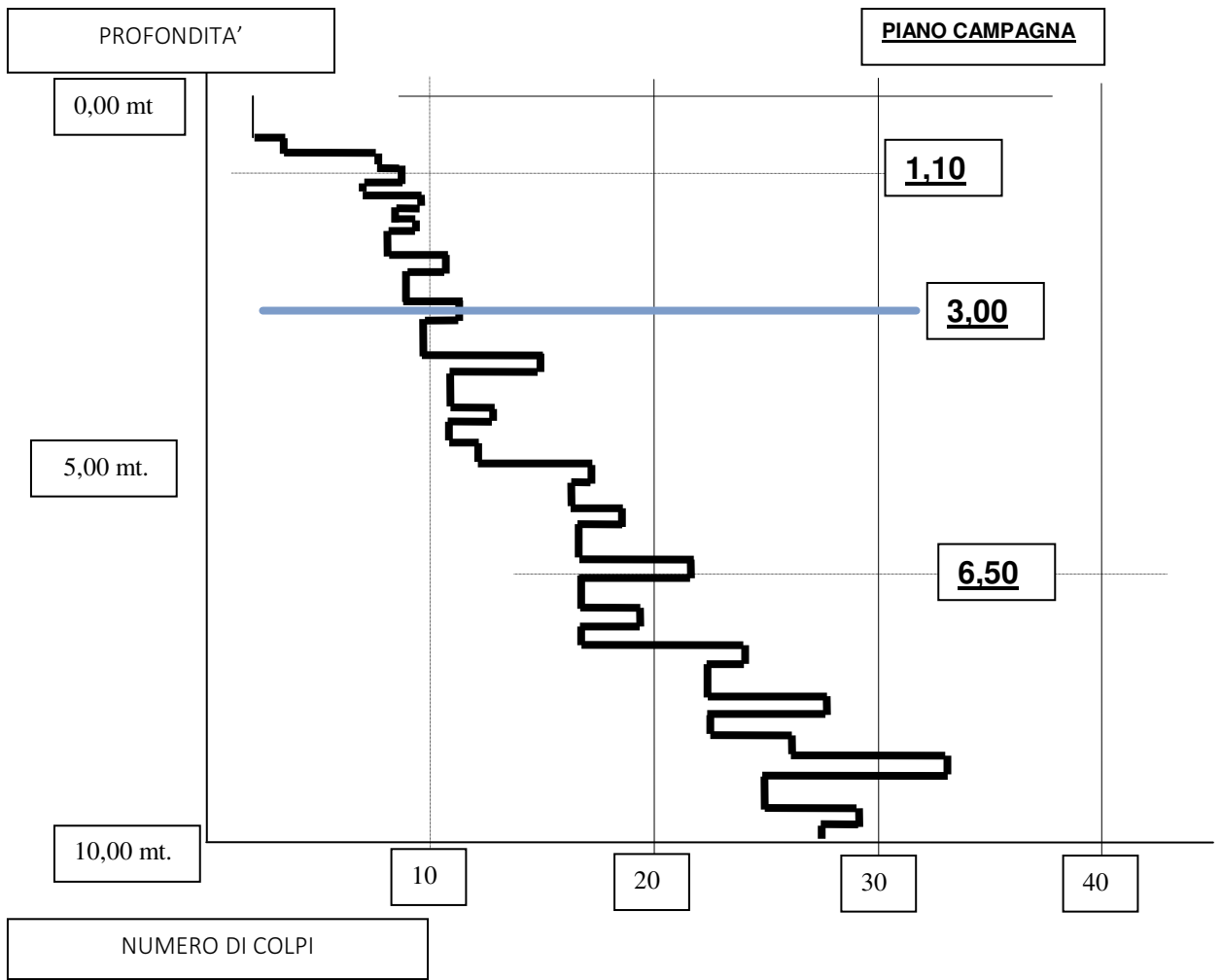
La presenza di eventuali ristagni di acqua dovuta a precipitazioni nell'intervallo tra lo scavo e la posa in opera delle fondazioni, dovrà immediatamente essere eliminata.

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 necessariamente interpellare il sottoscritto geologo, in modo che lo stesso possa verificare se le caratteristiche del terreno siano compatibili con quelle previste da progetto.



## PROVA PENETROMETRICA

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

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

L'attrezzatura utilizzata è costituita da:

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

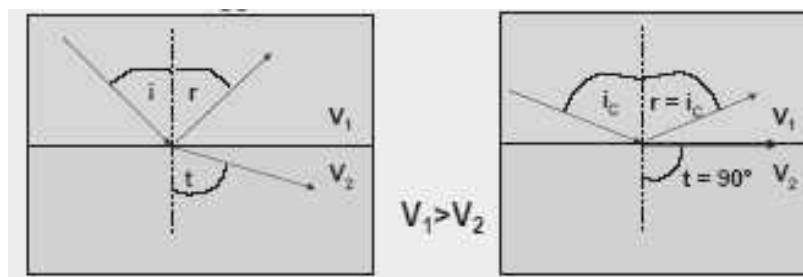
- sistema di acquisizione dati: sismografo digitale AMBROGEO ECHO 12-24 2002, ad incremento di segnale;
- un sistema di trigger: consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente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

### Cenni teorici del metodo

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

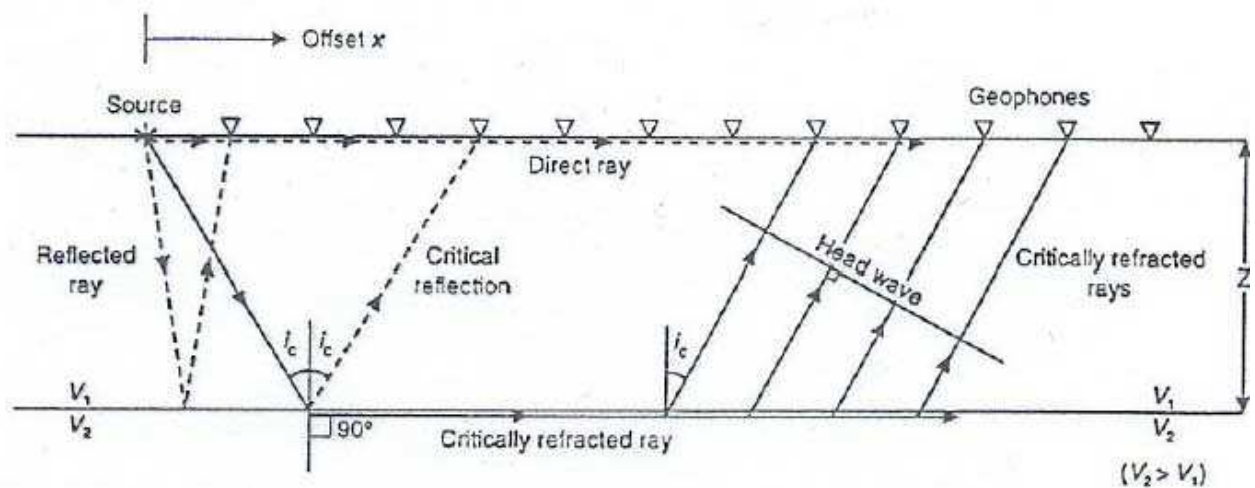
Il metodo sismico a rifrazione si basa sul concetto della bi-rifrazione delle onde elastiche a seguito del fronte d'onda conico. Data una sorgente di onde elastiche e uno stendimento di geofoni lungo un profilo giungeranno in superficie ai geofoni onde dirette, onde riflesse ed onde coniche o birifratte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

le onde analizzate sono quelle birifratte cioè quelle che giungono sulla superficie di separazione con un angolo d'incidenza critico (secondo la legge di Snell) e che quindi vengono rifratte con un angolo di  $90^\circ$  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.



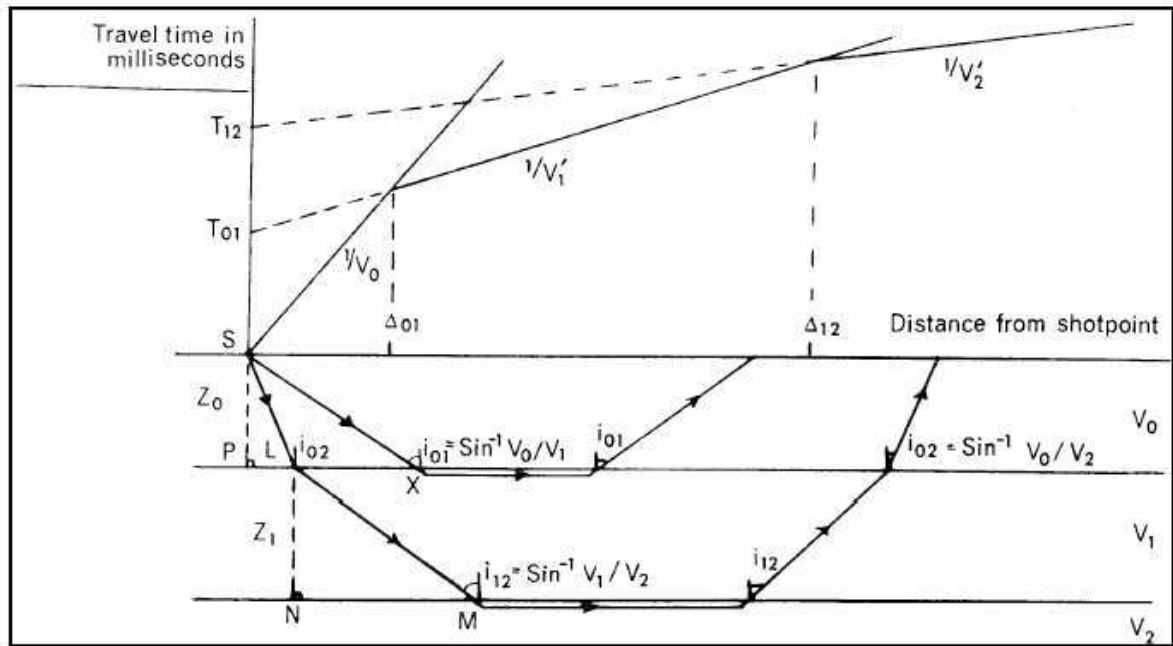
Disponendo una serie di ricevitori lungo la superficie libera del suolo e generando onde elastiche da una sorgente puntiforme l'onda riflessa arriverà sempre dopo le altre, mentre fino ad una certa distanza dalla sorgente arriverà prima l'onda diretta poi, quando l'onda bi-rifratta avrà percorso sufficiente 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 rifratore (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 dromocroni 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 dromocroni, 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  $\nu$  e il modulo di deformazione a taglio  $G$ .

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

dove  $\rho$  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  $\nu$  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.

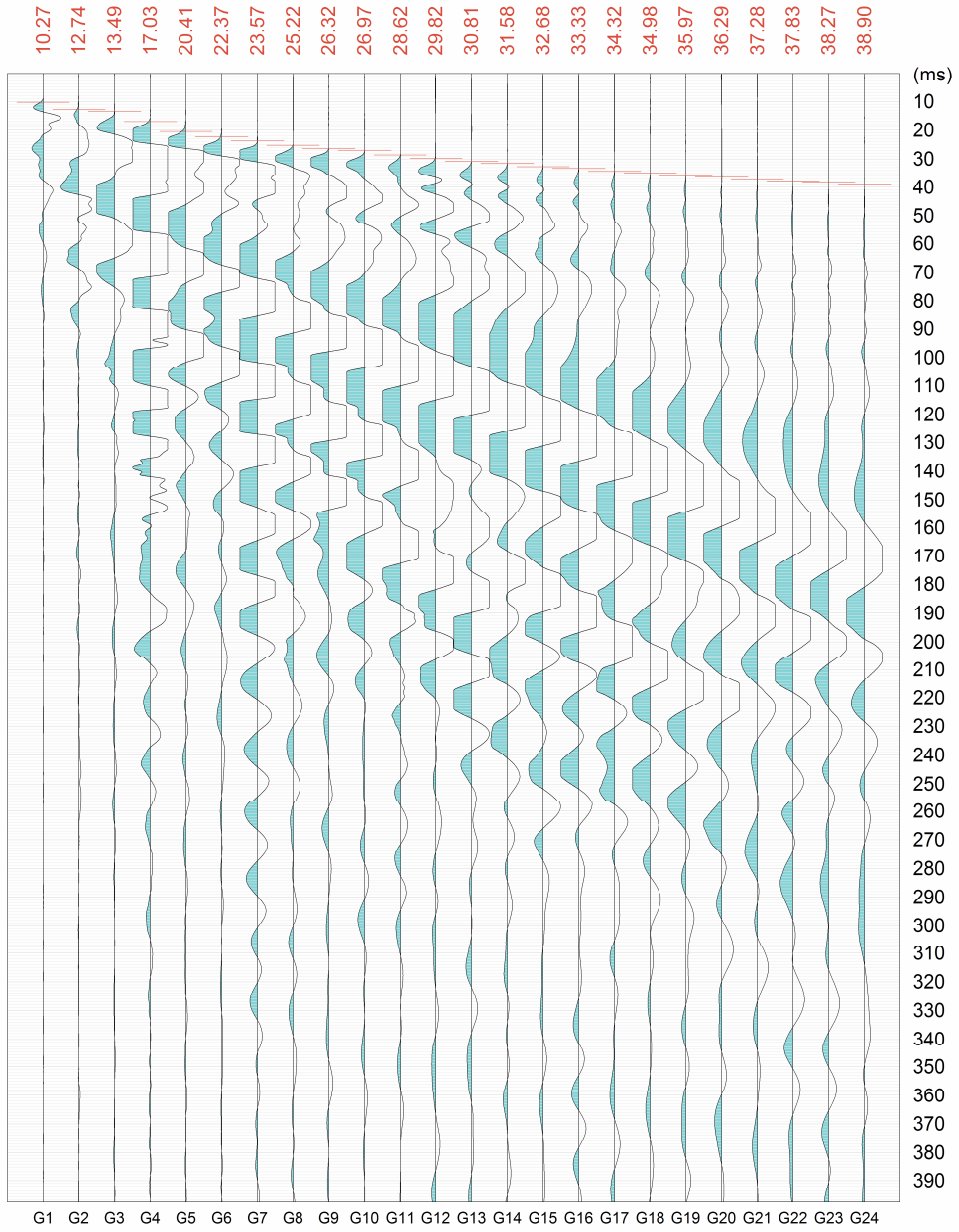
Per quanto riguarda la geometria adottata nella **BASE sismica 1**, i 24 geofoni sono stati disposti sul terreno con una spaziatura di **1,0** m; sono stati utilizzati 2 punti di energizzazione estreme (a 1 m dai geofoni 1° e 24°), quindi l'intero stendimento BASE\_1 risulta di **23,0** m.

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

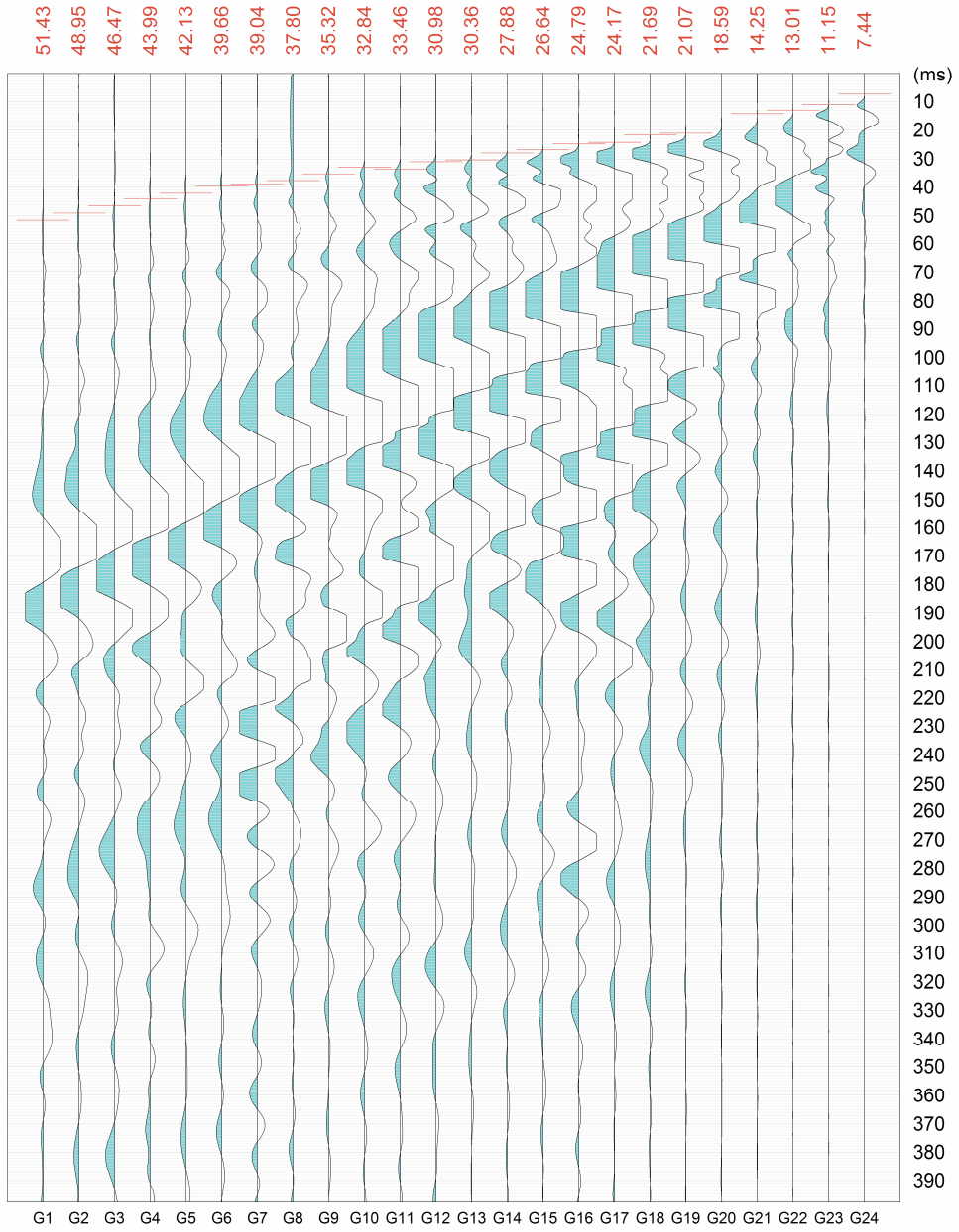
### Registrazione Onde P

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 Manfredonia  
località  
Borgo Mezzanone



Comune di Manfredonia  
località  
Borgo Mezzanone



## 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

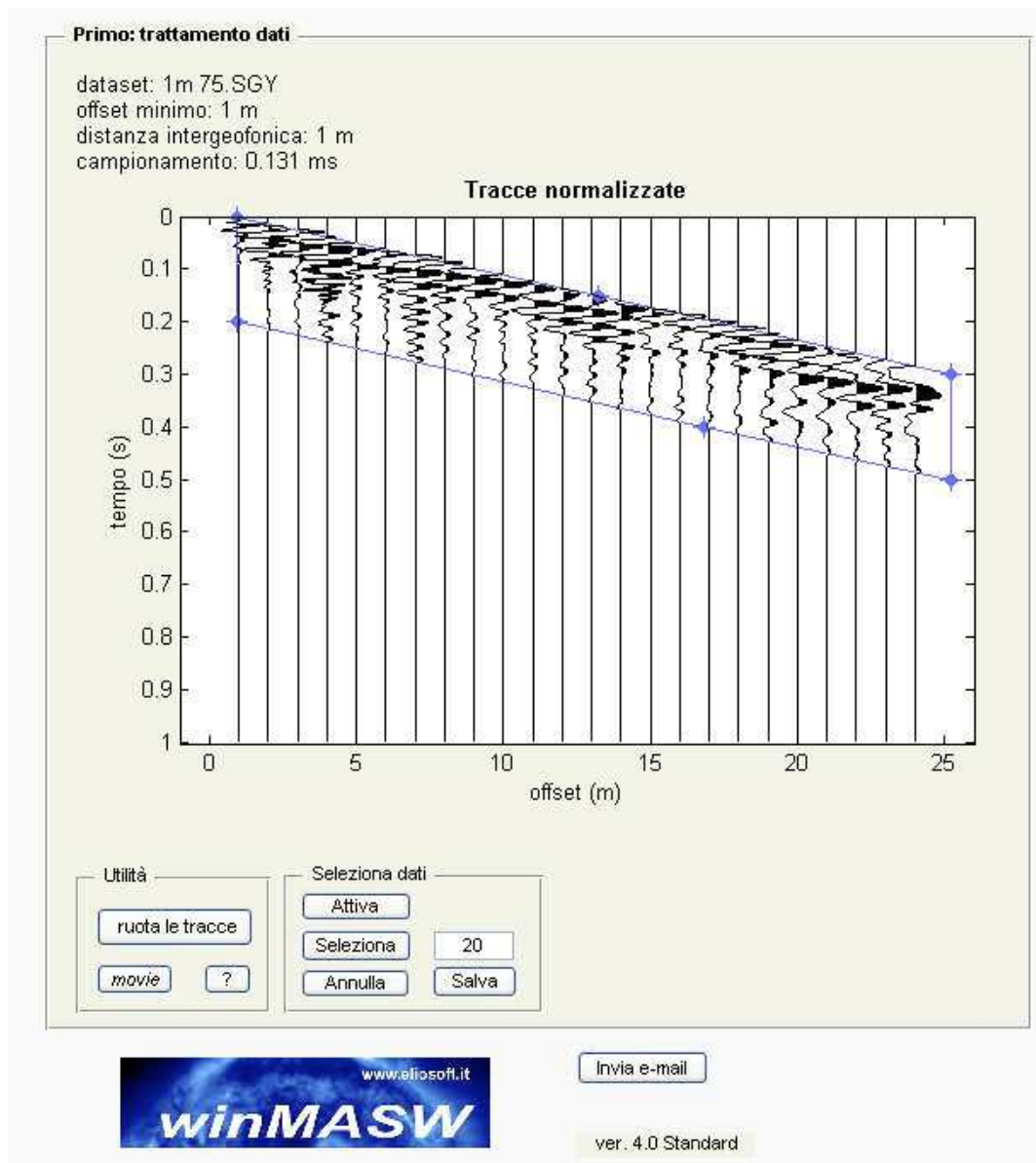
Le sezioni sismiche ottenute dall'interpretazione dei segnali acquisiti permettono di individuare le principali unità geofisiche costituenti il modello geofisico dell'area d'indagine.

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

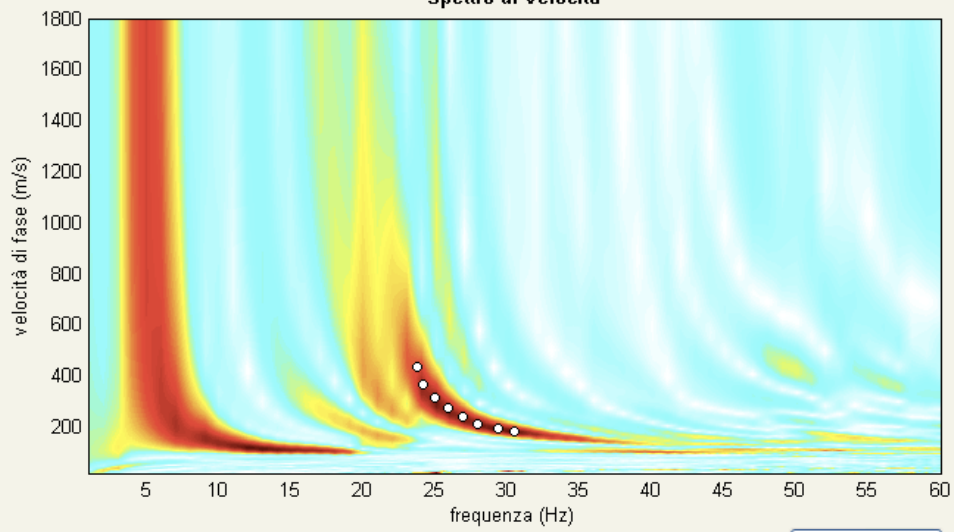
Tau - v

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

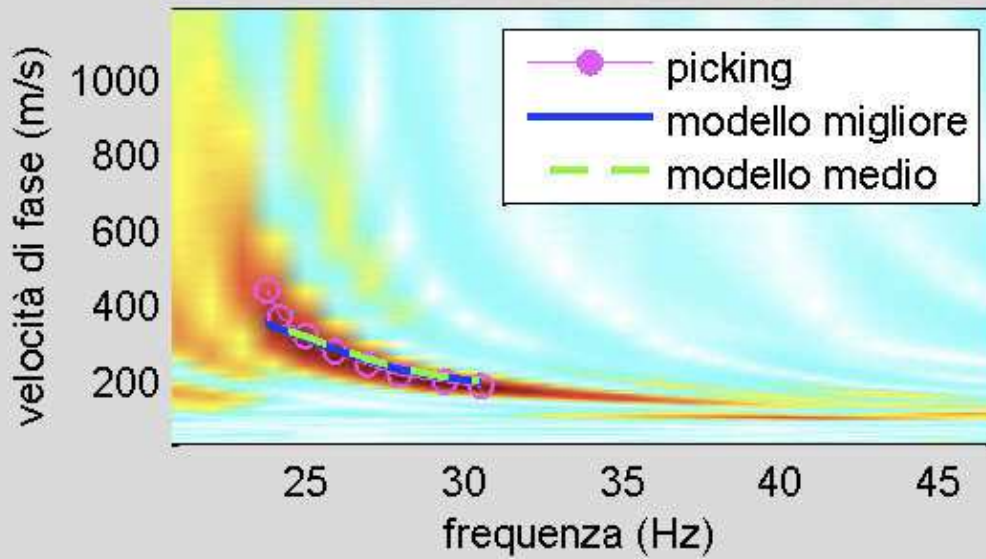
?

cancella picking

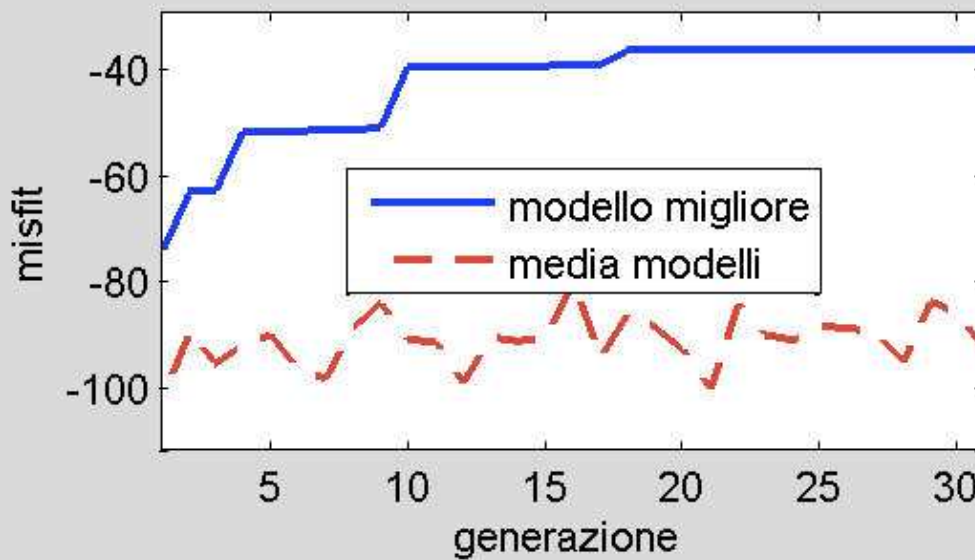
Inverti

Esci

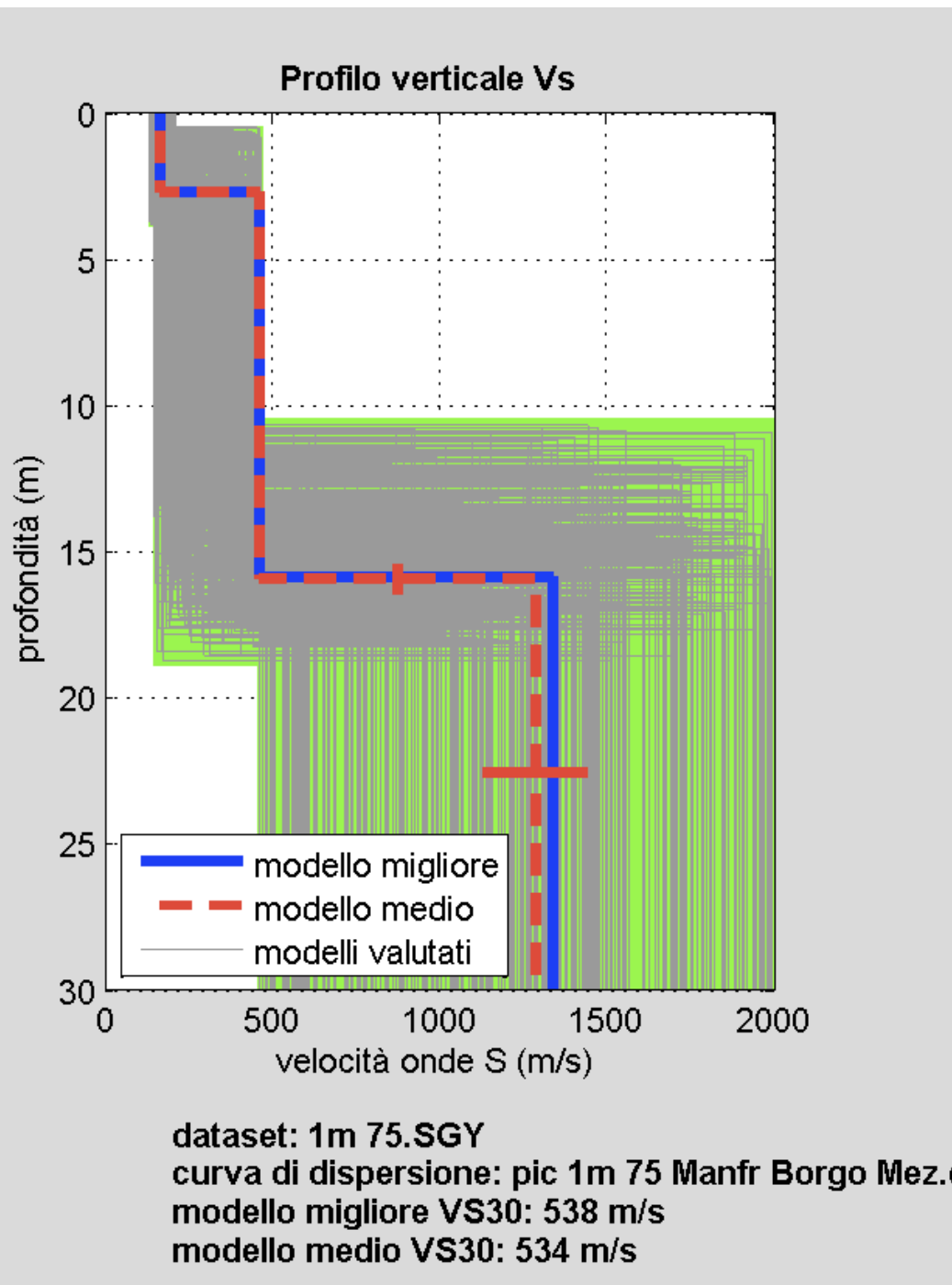
### spettro di velocità e curve di dispersione



### evoluzione misfit







## **Modello medio**

VS (m/s): 164, 461, 1283

Deviazioni Standard (m/s): 0, 1, 155

Spessori (m): 2.7, 13.2

Deviazioni Standard (m): 0.0, 0.5

## **Tipo di analisi: onde di Rayleigh**

Stima approssimativa di densità e moduli elastici

Densità (gr/cm<sup>3</sup>): 1.81, 2.05, 2.31

Modulo di Poisson: 0.37, 0.36, 0.37

Modulo di taglio (MPa): 49, 436, 3797

Modulo di compressione (MPa): 176, 1446, 13333

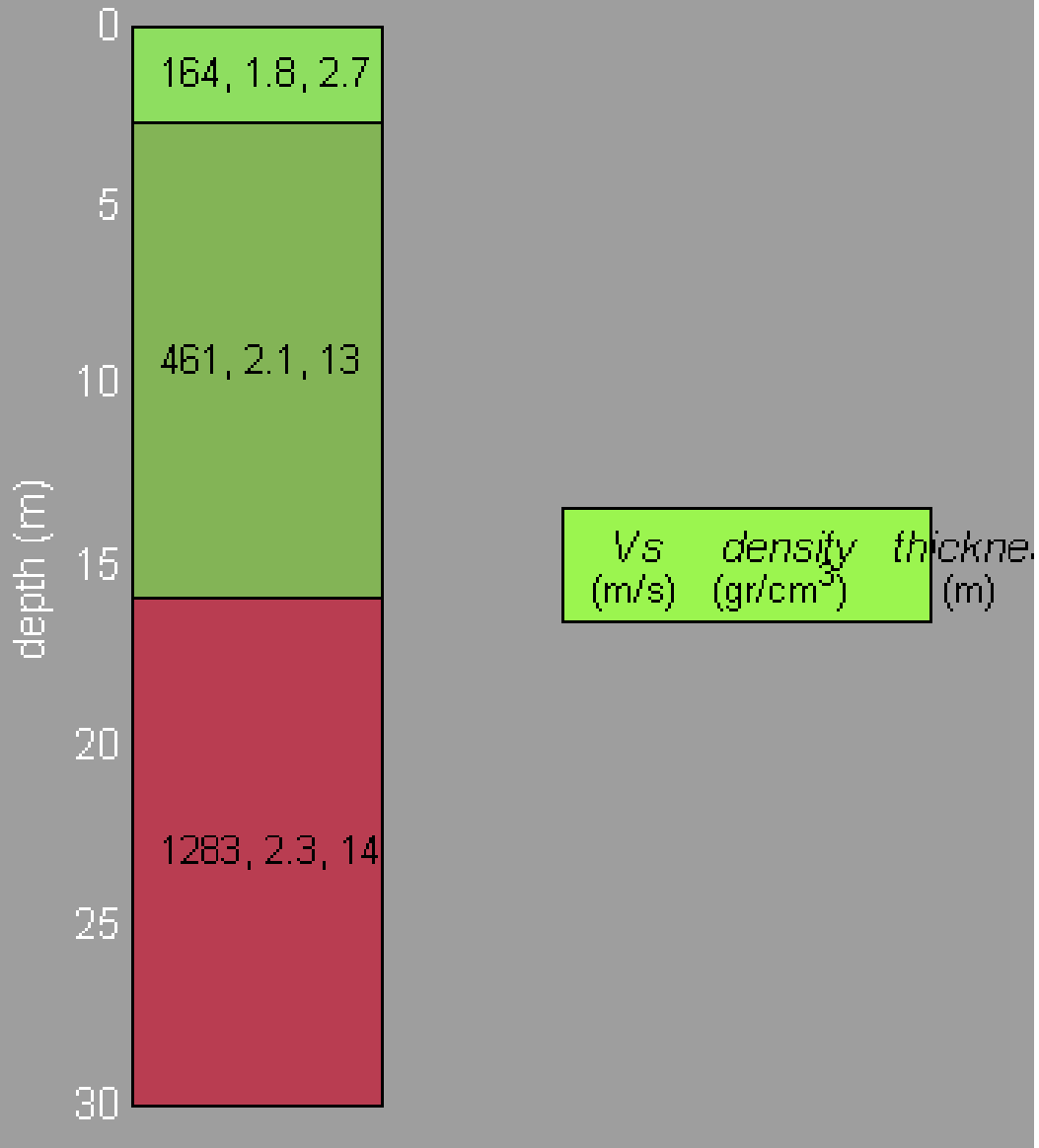
Modulo di Young (MPa): 134, 1189, 10403

Modulo di Lamé (MPa): 144, 1156, 10802

VS30 (m/s): 534

Tipo di Suolo: B

# Subsurface model



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

*B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del  $V_{S30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $NSPT_{30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina).*

Dal modello geofisico sopra riportato è possibile definire la situazione monodimensionale più sfavorevole dal punto di vista dei fenomeni di amplificazione sismica litologica, assegnando valori medi di  $V_s$  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  $V_p \approx 365$  m/s e  $V_s \approx 164$  m/s, di spessore di circa 3,0 m;
  - *Sismostrato intermedio*, substrato semilitoide con  $V_p \approx 994$  m/s e

$V_s \approx 461 \text{ m/s}$ ;

➤ *Sismostrato di fondo*, substrato semilitoide con  $V_p \approx 2824 \text{ m/s}$  e

$V_s \approx 1283 \text{ m/s}$ , rinvenuto ad una profondità di  $\approx 16,0 \text{ m}$ .

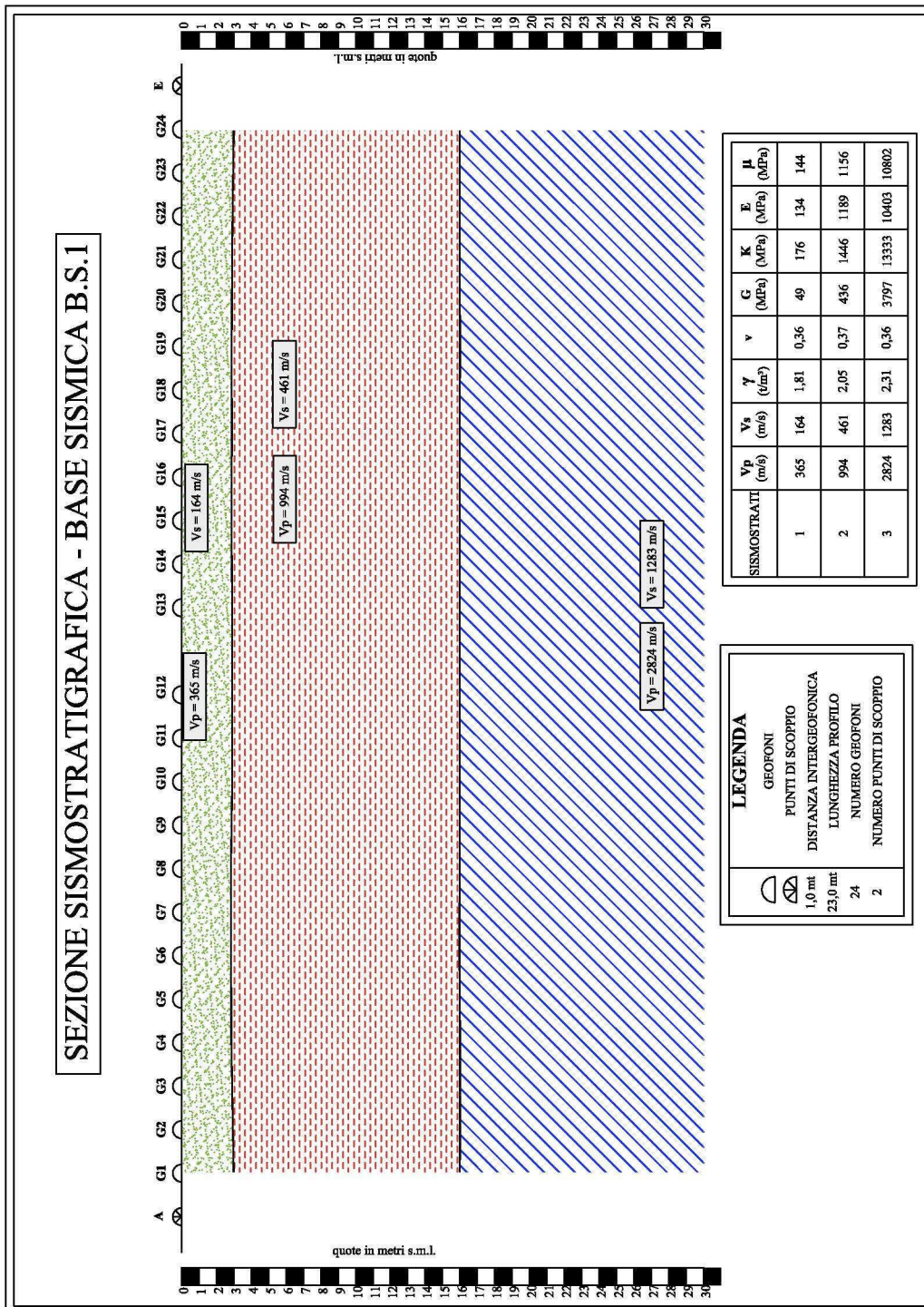
- Il sito indagato è compreso, con Ordinanza P.C.M. n° 3274 del 20/03/2003, nella **zona 2** della classificazione sismica del territorio nazionale, con  $a_g = 0,25$ .
- Alla luce dei dati emersi dall'indagine sismica, si riporta una tabella riassuntiva in cui sono indicati i principali moduli per i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

Sismostrati	Velocità onde P $V_p$ (m/s)	Velocità onde S $V_s$ (m/s)	Densità $\gamma$ (gr/cm <sup>3</sup> )	Modulo di Poisson $\nu$	Modulo di Taglio $G$ (MPa)	Modulo di Compressione $K$ (MPa)	Modulo di Young $E$ (MPa)	Modulo di Lamé $\mu$ (MPa)
Superficiale	365	164	1,81	0,37	49	176	134	144
Intermedio	994	461	2,05	0,36	436	1446	1189	1156
Fondo	2824	1283	2,31	0,37	3797	13333	10403	10802

- La velocità media di propagazione entro i 30 m di profondità delle onde di taglio è  $V_{s30} = 534 \text{ m/s}$ ; alla luce di tale valore e delle caratteristiche stratigrafiche dei terreni, i terreni in esame appartengono alla **Categoria di suolo di fondazione B** - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori



superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e  $cu_{30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina).





## CONCLUSIONI

Su incarico della ditta Energie Alternative con sede nel Comune di Torremaggiore alla via Reinella Snc, il sottoscritto dott. Geologo Longo Pasquale Giuseppe, con sede nel Comune di Chieti alla via Pescasseroli n° 13, iscritto presso l'Ordine dei Geologi della Regione Puglia al n° 391, ha effettuato una indagine geologica di un'area sita nel Comune di Manfredonia in localita' Borgo Mezzanone – Macchia Rotonda ed in Catasto al foglio n° 127 particelle n° 10 – 54 – 65 – 77 – 79 – 97 – 99 e foglio n° 128 particella n° 35, in corrispondenza del quale verra' realizzato un impianto di produzione agro – energetico integrato.

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

- il sito dal punto di vista morfologico presenta buone caratteristiche di stabilità;
- sotto il profilo geolitologico ed idrogeologico non è interessato da anomalie che possono interrompere il quadro statico globale;
- l'area non è soggetta a fenomeni di allagamento;
- la zona non presenta segni di frane in atto o in preparazione;
- il sottosuolo interessato dalle fondazioni è costituito da depositi sabbiosi con intercalazioni di livelli argillosi-limosi, inoltre sono presenti depositi ghiaiosi costituiti da ciottoli di piccole e medie dimensioni ben arrotondati, dotate di sufficiente capacità portante;



- il piano di posa delle fondazioni risulti essere posto, a discrezione del progettista e a seconda dei carichi a profondità comprese tra 0,60 e 2,50 metri dal p.c.;
- la falda è ubicata a profondità superiori ai 3,00 metri dal piano campagna;
- La velocità media di propagazione entro i 30 m di profondità delle onde di taglio è  $V_{s30} = 534,00$  m/s, tali terreni appartengono alla ***Categoria di suolo di fondazione B***;
- il committente e/o il direttore dei lavori durante l'esecuzione dei lavori di scavo per la posa delle fondazioni deve necessariamente interpellare il sottoscritto geologo, in modo che lo stesso possa verificare se le caratteristiche del terreno siano compatibili con quelle previste da progetto.

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

Chieti 25 Giugno 2020

Dott. Geol. Longo P. Giuseppe \_\_\_\_\_