

COMUNE DI MARUGGIO

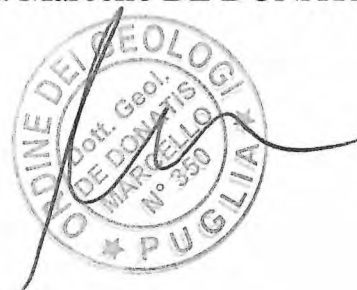
(Provincia di Lecce)

COMMITTENTE: IA.ING Srl

INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE SULLA SP136 MARUGGIO-MANDURIA

Ruffano, dicembre 2022

IL DIRETTORE TECNICO
Dott. Geol. Marcello DE DONATIS



INDICE

INDICE	1
PREMESSA.....	2
INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	3
INDAGINE GEOGNOSTICA	4
SONDAGGI GEOGNOSTICI A CAROTAGGIO CONTINUO	5
Stima del'R.Q.D.....	11
PRELIEVO DEI CAMPIONI E ANALISI DI LABORATORIO.....	12
PROFILO SISMICO TOMOGRAFICO A RIFRAZIONE	14
SISMICA CON METODOLOGIA MASW	20
Categorie di sottosuolo.....	26
PROVA DOWN-HOLE	28
SONDAGGI GEOELETTRICI.....	38
CONCLUSIONI	44

PREMESSA

Su incarico di IA.ING Srl., la Geoprove Srl di Ruffano ha eseguito delle indagini geognostiche e geofisiche presso la SP 136 che collega Maruggio a Manduria.

Sono stati pertanto eseguiti:

- n. 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, di profondità pari a 10 m ciascuno;
- prelievo ed analisi di laboratorio geotecnico eseguite su n.4 campioni;
- n.1 profilo sismico a rifrazione con ricostruzione tomografica;
- n. 1 profilo sismico MASW;
- n.1 profilo geoelettrico
- n.2 prove down-hole in foro di sondaggio.

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area indagata è ubicata nel territorio comunale di Maruggio (Ta), sulla SP136 ed è individuata dalle seguenti coordinate geografiche:

Latitudine: 40° 19' 59" N

Longitudine: 17° 34' 45" E



Area di indagine, immagine da Google Earth ®

INDAGINE GEOGNOSTICA

Le indagini geognostiche sono state eseguite dalla Ditta Geoprove, in conformità alle direttive del **DM 17/01/2018** recante “Norme Tecniche per le costruzioni” ed è stata finalizzata alla raccolta di dati qualitativi e quantitativi occorrenti per la previsione del comportamento dell’opera in rapporto alle caratteristiche del terreno.

Sono stati pertanto eseguiti:

- n. 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, di profondità pari a 10 m ciascuno;
- prelievo ed analisi di laboratorio geotecnico eseguite su n.4 campioni;
- n.1 profilo sismico a rifrazione con ricostruzione tomografica;
- n. 1 profilo sismico MASW;
- n.1 profilo geoelettrico
- n.2 prove down-hole in foro di sondaggio.

SONDAGGI GEOGNOSTICI A CAROTAGGIO CONTINUO

Nel mese di novembre 2022 sono stati eseguiti n.2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo.

La terebrazione è stata eseguita impiegando una trivella della Casagrande, mod. C5 XP-2, realizzando un foro di sondaggio del diametro di ϕ 101 mm, consentendo di ricostruire l'intera stratigrafia del sottosuolo.

Il metodo utilizzato per l'esecuzione del perforo è stato quello a rotazione con carotaggio continuo. In pratica la macchina perforatrice è dotata di una testa idraulica che fornisce alla batteria d'aste di perforazione un movimento rotatorio. La spinta necessaria all'attrezzo di perforazione per "tagliare" il terreno è invece prodotto da pistoni idraulici.

Il funzionamento consiste nell'infiggere nel terreno un tubo di acciaio (carotiere), munito al fondo di un utensile tagliente (corona), collegato in superficie mediante una batteria di aste cave; l'infissione avviene ruotando e spingendo contemporaneamente le aste in superficie mediante sonda. Il metodo di avanzamento è manuale, dato che la pressione è applicata e regolata dall'operatore.

Con la perforazione a rotazione si può attraversare qualsiasi tipo di terreno, con diametro di perforazione di 101 mm.

Il tipo di utensile di perforazione più comunemente impiegato consiste in un carotiere la cui estremità inferiore è costituita da una corona tagliente provvista di elementi di metallo duro diamantato.

Durante la perforazione, per evitare fenomeni franosi del materiale da non poter eseguire una dettagliata ricostruzione stratigrafica del terreno investigato, il foro è stato rivestito con tubi sottili in acciaio, in giunti filettati, che dopo l'esecuzione del sondaggio sono stati rimossi.

Il materiale perforato è stato conservato in cassette catalogatrici, in PVC della lunghezza di un metro, munite di scomparti divisorii (1 m di lunghezza con 5 compartimenti) e di coperchio. Sulle cassette è stato indicato il numero di sondaggio e le profondità.

Le cassette sono state documentate da foto allegate alla presente relazione.

Di seguito si allegano: la restituzione grafica delle stratigrafie, nelle quali sono riportate anche le profondità di prelievo dei campioni sottoposti ad analisi di laboratorio, l'RDQ %, la documentazione fotografica ed una planimetria con l'ubicazione.

UBICAZIONE SONDAGGI GEOGNOSTICI A CAROTAGGIO CONTINUO



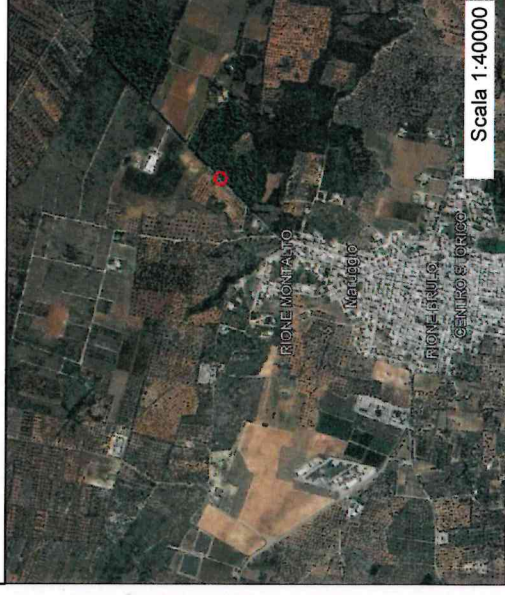
Scala 1:1000

LEGENDA:

- Sondaggio geognostico a carotaggio continuo

○ Località Maruggio(TA)

COORDINATE: 40°19'59.02"N; 17°34'45.08"E
QUOTA : 64.0 mt s.l.m.



Scala 1:40000

SONDAGGIO SP1

Caratteristiche generali e modalità di perforazione

Sonda perforatrice	Casagrande C5 XP-2
Diametro del foro	Ø 101
Profondità raggiunta	10.0 m
Inclinazione del foro di sondaggio	verticale
Tecnica di scavo	A rotazione a carotaggio continuo
Cassette catalogatrici	2



Committente: IA.ING Srl	Sondaggio: Sp1
Riferimento: Indagini geognostiche lungo l'assedel ponte SP 136 Maruggio-Manduria	Data: 29/11/2022
Coordinate: 40°19'58.79"N, 17°34'44.79"E	64.0 s.l.m
Perforazione: Sondaggio geognostico a carotaggio continuo	

SCALA 1:55

LOG STRATIGRAFICO

Pagina 1/1

R v	Ø mm	metri	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	RQD % 0 --- 100	Campioni	Cass.
				0.3	0.3	Terreno vegetale.			
		1				Calcarei compatti a frattura irregolare, talora chiari con intercalazioni di breccie calcaree, sono presenti patine rossastre di alterazioni, e riempimenti in terra rossa alla fine della sequenza.			
		2		2.1	1.8	Calcarei compatti chiari, con intercalati calcari di colore grigio, e frequenti vene di calcite. Sono spesso vacuolari da fratturato a molto fratturato, talora sono presenti patine rossastre di alterazione e intercalazioni di sabbioni calcarei.			1
		3							
		4						CR1) Ind < 4.00 4.15	
		5							
		6							
		7						CR2) Ind < 7.00 7.18	2
		8							
		9							
101	10	10		10.0	7.9				



Cassetta n. 1 (0.00 m - 5.00 m)



Cassetta n. 2 (5.00 m - 10.00 m)

SONDAGGIO SP2

Caratteristiche generali e modalità di perforazione

Sonda perforatrice	Casagrande C5 XP-2
Diametro del foro	Ø 101
Profondità raggiunta	10.0 m
Inclinazione del foro di sondaggio	verticale
Tecnica di scavo	A rotazione a carotaggio continuo
Cassette catalogatrici	2



Esecuzione sondaggio SP2

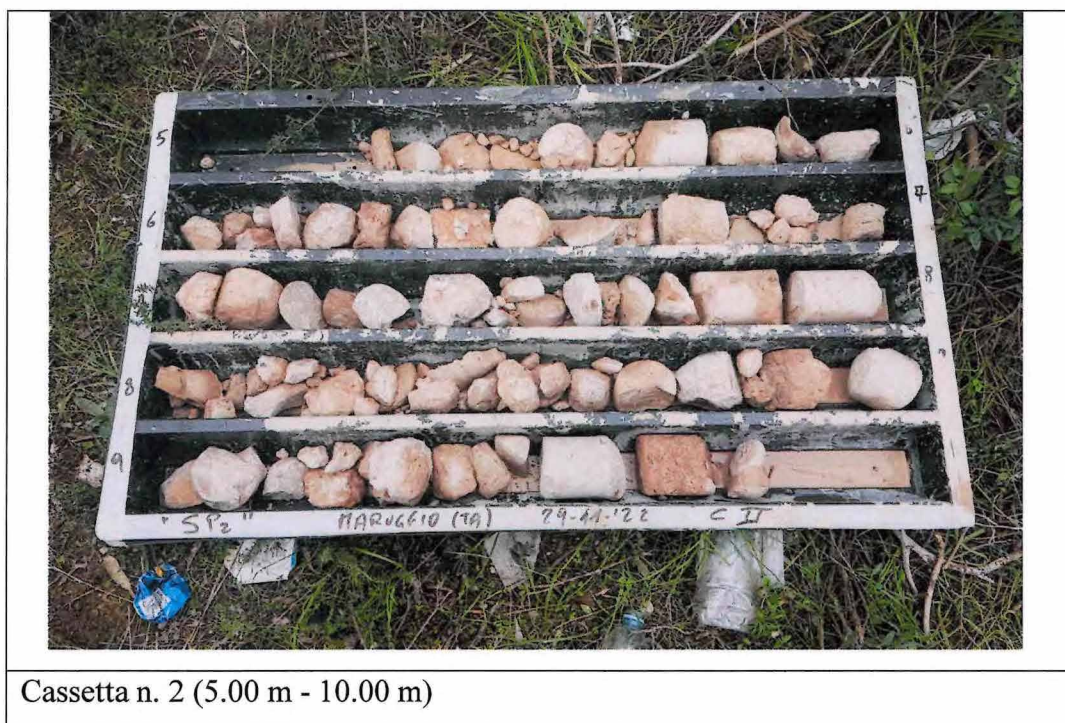
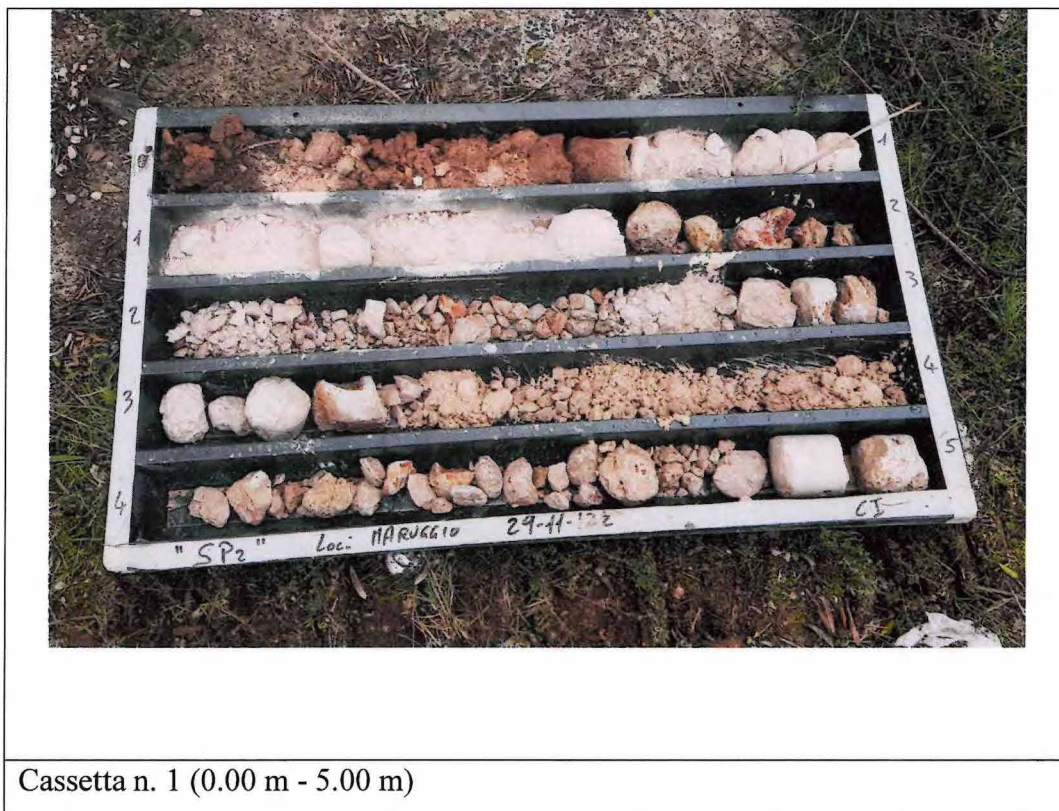
Committente: IA.ING Srl	Sondaggio: Sp2
Riferimento: Indagini geognostiche lungo l'assedel ponte SP 136 Maruggio-Manduria	Data: 29/11/2022
Coordinate: 40°19'59.08"N, 17°34'45.18"E	64.0 s.l.m
Perforazione: Sondaggio geognostico a carotaggio continuo	

SCALA 1:55

LOG STRATIGRAFICO

Pagina 1/1

R v	Ø mm	metri	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	RQD % 0 --- 100	Campioni	Cass.
				0.3	0.3	Terreno vegetale.			
		1				Calcari compatti a frattura irregolare, talora chiari con intercalazioni di breccie calcaree, sono presenti patine rossastre di alterazioni, e riempimenti in terra rossa .			
		2		1.7	1.5	Calcari compatti chiari, con intercalati calcari di colore grigio, e frequenti vene di calcite. Sono spesso vacuolari da fratturato a molto fratturato, talora sono presenti patine rossastre di alterazione e intercalazioni di sabbioni calcarei.			1
		3							
		4							
		5						CR1) Ind < 5.00 5.20	
		6							
		7							
		8							2
		9							
101	10	10		10.0	8.3			CR2) Ind < 9.80 10.00	



Stima del'R.Q.D.

Nel corso dei sondaggi geognostici è possibile ricavare il valore di RQD dal recupero di percentuale di carotaggio riferito alla somma degli spezzoni di carota con lunghezza maggiore o uguale a 100 mm:

$$RQD = \frac{\sum L_c}{L_t} \times 100$$

dove:

L_c = somma delle lunghezze degli spezzoni di carota > 100 mm

L_t = lunghezza totale del tratto in cui si è misurata L_c .

Sondaggio SP1	
Profondità (m)	RQD(%)
0-3	0
3-4	10
4-5	20
5-7	0
7-8	10
8-9	0
9-10	10

Sondaggio SP2	
Profondità (m)	RQD(%)
0-1	0
1-2	10
2-3	0
3-5	10
5-6	30
6-7	0
7-8	20
8-9	10
9-10	30

PRELIEVO DEI CAMPIONI E ANALISI DI LABORATORIO

Durante la perforazione dei sondaggi geognostici sono stati prelevati n. 4 campioni da sottoporre poi ad analisi di laboratorio.

Sui campioni è stata apposta un'etichetta con indicati cantiere, committente, designazione del sondaggio, numero campione, profondità di prelievo, data di prelievo.

I campioni sono stati identificati con due codici rappresentativi del sondaggio e del campione:

Sondaggio	Campione	Profondità (m)
SP1	CR1	4.00-4.15
SP1	CR2	7.00-7.18
SP2	CR1	5.00-5.20
SP2	CR2	9.80-10.00

Tutti i campioni sono litoidi, in particolare si tratta di campioni di roccia calcarea.

Sui campioni sono state ricavate le proprietà indice e le proprietà fisiche, peso di volume, massa volumica, porosità, ecc., delle prove di resistenza a compressione uniassiale, e ricavate le costanti elastiche.

Per i campioni è stato realizzato un quadro riassuntivo delle Prove Geotecniche di Laboratorio, operando, perciò, una sintesi delle principali caratteristiche geotecniche.

Campione	Peso di volume allo stato naturale (Kg/m ³)	Massa volumica Apparente (Kg/m ³)	Grado di compattezza C	Massa volumica Reale (Kg/m ³)	A = Porosità aperta T = Porosità totale (%)	Resistenza a compressione Uniaassiale Moduli elastici (Mpa)	Coefficiente di Imbibizione (%)	Prova di taglio Coesione Angolo di attrito	Costanti elastiche della Roccia
SP1 CR1 Prof.4.00-4.15	2161.79	2121.1	0.79	2674.6	A= 5.9 T= 20.7	33.91 Modulo elastico tangente = 30131 Modulo elastico secante = 28766 Coefficiente di Poisson=0.28	2.80	C=0.43 (°)=38.3	Vp (m/sec)=3593 Vs=1981 (m/sec) Modulo di elasticità di Young (MPa)=21325 Modulo di Taglio (MPa)=8319 Coefficiente di Poisson=0.28 Costante di Lamé (MPa)=10737 - Modulo G
SP1 CR2 Prof.7.00-7.18	2249.28	2200.3	0.82	2662.8	A= 7.2 T= 17.4	37.86 Modulo elastico tangente = 28312 Modulo elastico secante = 27559 Coefficiente di Poisson=0.27	3.25	-----	Vp (m/sec)=3534 Vs=1929 (m/sec) Modulo di elasticità di Young (MPa)=21079 Modulo di Taglio (MPa)=8184 Coefficiente di Poisson=0.29 Costante di Lamé (MPa)=11107 - Modulo G
SP2 CR1 Prof.5.00-5.20	2536.67	2492.4	0.92	2689.4	A= 2.3 T= 7.3	52.94 Modulo elastico tangente = 40012 Modulo elastico secante = 37618 Coefficiente di Poisson=0.26	0.92	-----	Vp (m/sec)=3846 Vs=2207 (m/sec) Modulo di elasticità di Young (MPa)=30440 Modulo di Taglio (MPa)=12133 Coefficiente di Poisson=0.25 Costante di Lamé (MPa)=12568 - Modulo G
SP2 CR2 Prof.9.80-10.00	2624.76	2600.5	0.96	2689.4	A= 2.7 T= 3.3	53.07 Modulo elastico tangente = 32507 Modulo elastico secante = 29005 Coefficiente di Poisson=0.27	1.0	-----	Vp (m/sec)=3473 Vs=1929 (m/sec) Modulo di elasticità di Young (MPa)=24711 Modulo di Taglio (MPa)=9675 Coefficiente di Poisson=0.28 Costante di Lamé (MPa)=12016 - Modulo G

PROFILO SISMICO TOMOGRAFICO A RIFRAZIONE

Per la ricostruzione stratigrafica e sismostratigrafica dell'area è stato eseguito un profilo sismico tomografico della lunghezza di 55 metri sia in Onda P che in Onda S.

L'elaborazione del profilo sismico è avvenuta mediante apposito algoritmo delle sezioni sismografiche, con restituzione tomografia. Tale metodo permette di individuare anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche, con un elevato potere risolutivo offrendo la possibilità di ricostruire stratigraficamente situazioni complesse, non risolvibili con differenti tecniche di indagine.

La tomografia sismica, rispetto alla convenzionale sismica a rifrazione, limita i problemi interpretativi dovuti agli strati ad inversione di velocità (orizzonte fantasma) o di ridotti spessori.

Essa consiste nella ricostruzione di sezioni bidimensionali (2D) realizzate mediante serie di stendimenti sismici a rifrazione con sismografo.

Per il trattamento dei dati per la ricostruzione tomografica dell'immagine si utilizza una suddivisione dell'area di studio in celle elementari, calcolando per ciascuna di queste un valore di velocità congruente con il tempo di tragitto medio relativo ai percorsi dei raggi sismici che le attraversano; la presentazione delle elaborazioni eseguite dà come risultato una mappa della distribuzione delle velocità sismiche in una sezione piana contenente le sorgenti ed i geofoni.

Le indagini sismiche, in pratica, si effettuano misurando i tempi diretti di propagazione nel terreno delle onde sismiche tra una sorgente di energia,

e uno o più sensori (geofoni), che vengono posizionati lungo un allineamento a distanze progressivamente crescenti dal punto di emissione dell'energia. Le indagini possono essere effettuate sia a livello, che in foro.

Le onde elastiche possono essere generate mediante l'utilizzazione di masse battenti o tramite esplosioni controllate. L'impiego dell'una o dell'altra fonte di energizzazione dipende essenzialmente dalla profondità d'investigazione richiesta.

In tale campagna di indagine le prospezioni sismiche sono state realizzate posizionando sorgenti e geofoni lungo un allineamento, utilizzando 5 registrazioni per ogni stendimento.

L'energizzazione è stata del tipo a massa battente.

Il risultato finale è la rappresentazione delle velocità (in m/s) per piani o sezioni indagate visualizzata mediante una scala cromatica, che va dal blu (basse velocità) al rosso (alte velocità). Quanto più il mezzo attraversato dal suono è rigido e incompressibile, tanto maggiore sarà la sua velocità caratteristica. Valori bassi della velocità mettono in evidenza la variazione negativa delle caratteristiche elastiche e meccaniche

Ogni profilo sismico è stato registrato con n.5 scoppi in linea (shots)

- Estremo a sx
- Intermedio a sx
- Centrale
- Intermedio a dx
- Estremo a dx

Gli “scoppi” estremi sono stati ubicati ad una distanza dal primo e dall'ultimo geofono pari alla meta della distanza intergeofonica utilizzata.

ATTREZZATURE E TECNICHE OPERATIVE

Per il profilo eseguito sono state utilizzate le seguenti attrezzature:

- Un sismografo DAQ LINK – III a 24 bit della “Seismic Source Co” con intervallo minimo di campionamento di 0.0208 ms e altissima risoluzione (118 db).



Un cavo con collegamenti per i geofoni;

Geofoni a componente verticale con frequenza di 14 Hz;

Un piattello in alluminio;

Un martello di 8 Kg dotato di trigger.

I seguenti profili hanno una lunghezza pari a 55 metri e sono stati eseguiti sia in onda P che in onda S.

Il picking delle onde sismiche è stato effettuato sui sismogrammi sperimentali mediante il software TomTime della Geotom, LCC, dopo un opportuno filtraggio delle tracce. I primi arrivi sono riportati nei diagrammi tempo-distanza “dromocrone”.

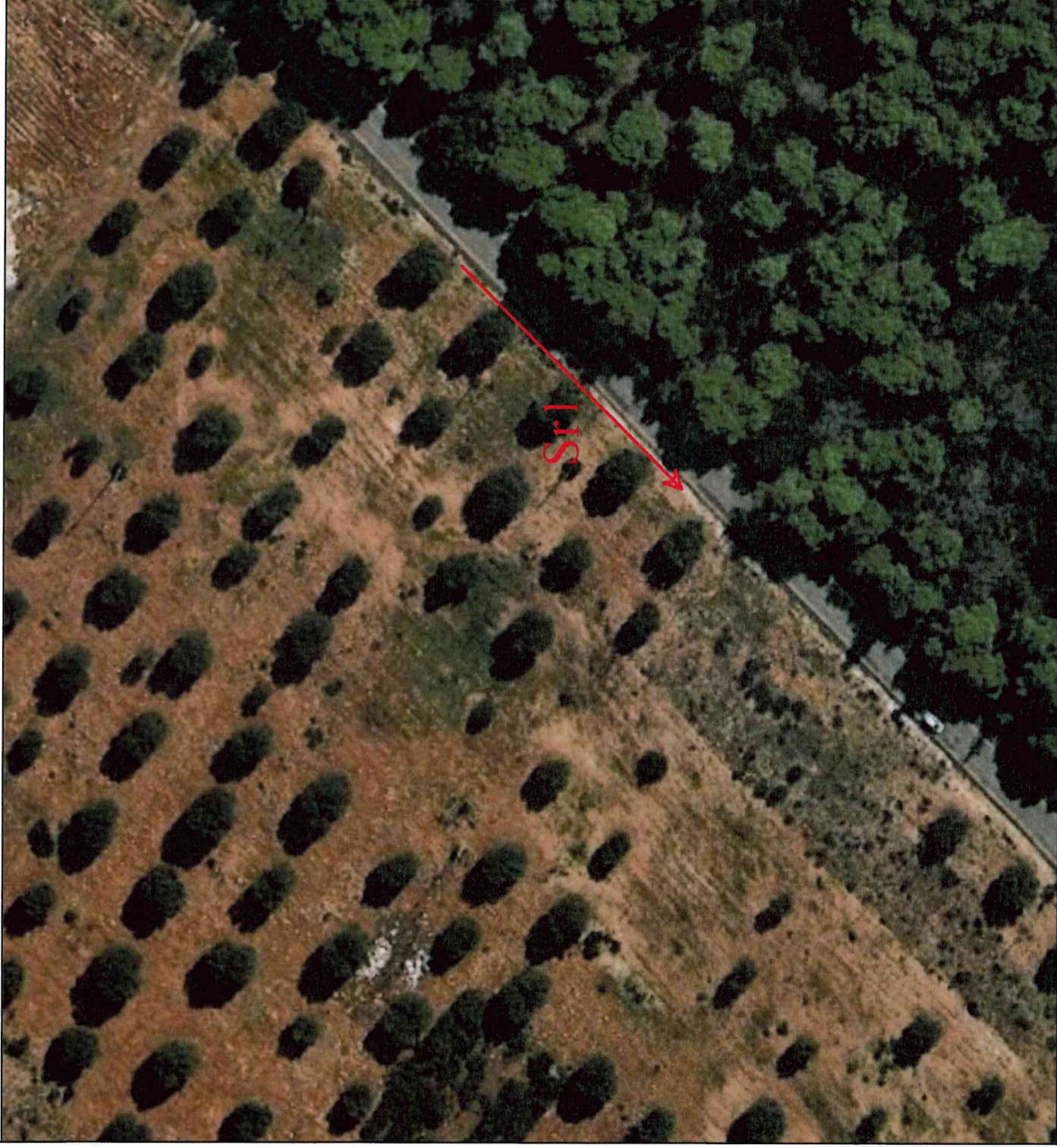
UBICAZIONE INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE

LEGENDA:

→ Profilo sismico a rifrazione

○ Località Maruggio(TA)

COORDINATE: 40°19'59.02"N; 17°34'45.08"E
QUOTA: 64.0 mt s.l.m.



Scala 1:1000

RISULTATI

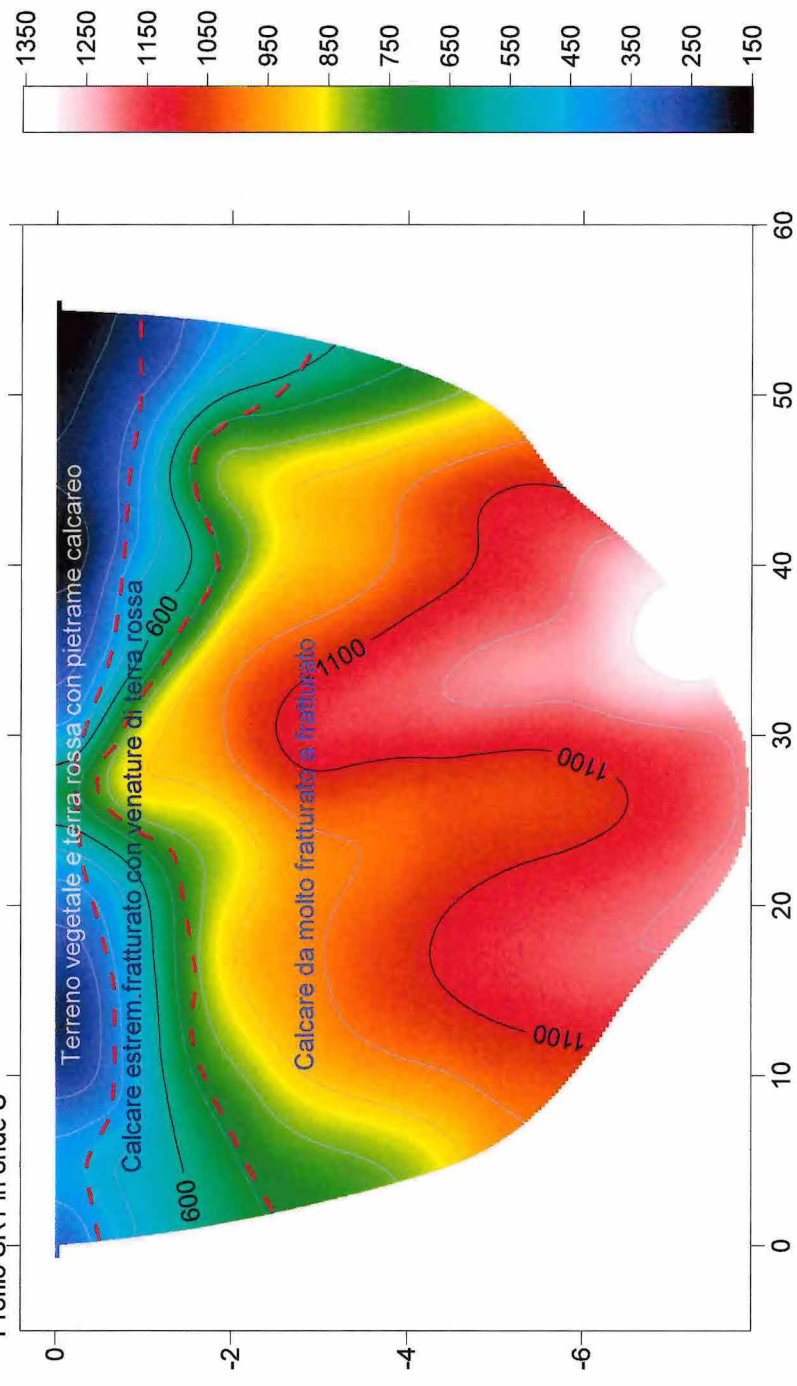
L'elaborazione dei dati ha permesso di ricostruire il sottosuolo secondo 2 “sismostrati” come segue:

1. **Il primo sismostrato**, con una profondità media di 0.4-0.6 mt dal p.c., ha velocità Vp media di 370 m/s e Vsh media di 170 m/s;
2. **Il secondo sismostrato**, che è sottostante al primo e si rinviene fino a -2/-3m dal p.c., ha velocità Vp media di 1450 m/s e Vsh media di 690 m/s.
3. **Il terzo sismostrato**, che è sottostante al secondo, ha velocità Vp che aumenta gradualmente con la profondità con Vp media di 2500 m/s e Vsh media di 1200 m/s.

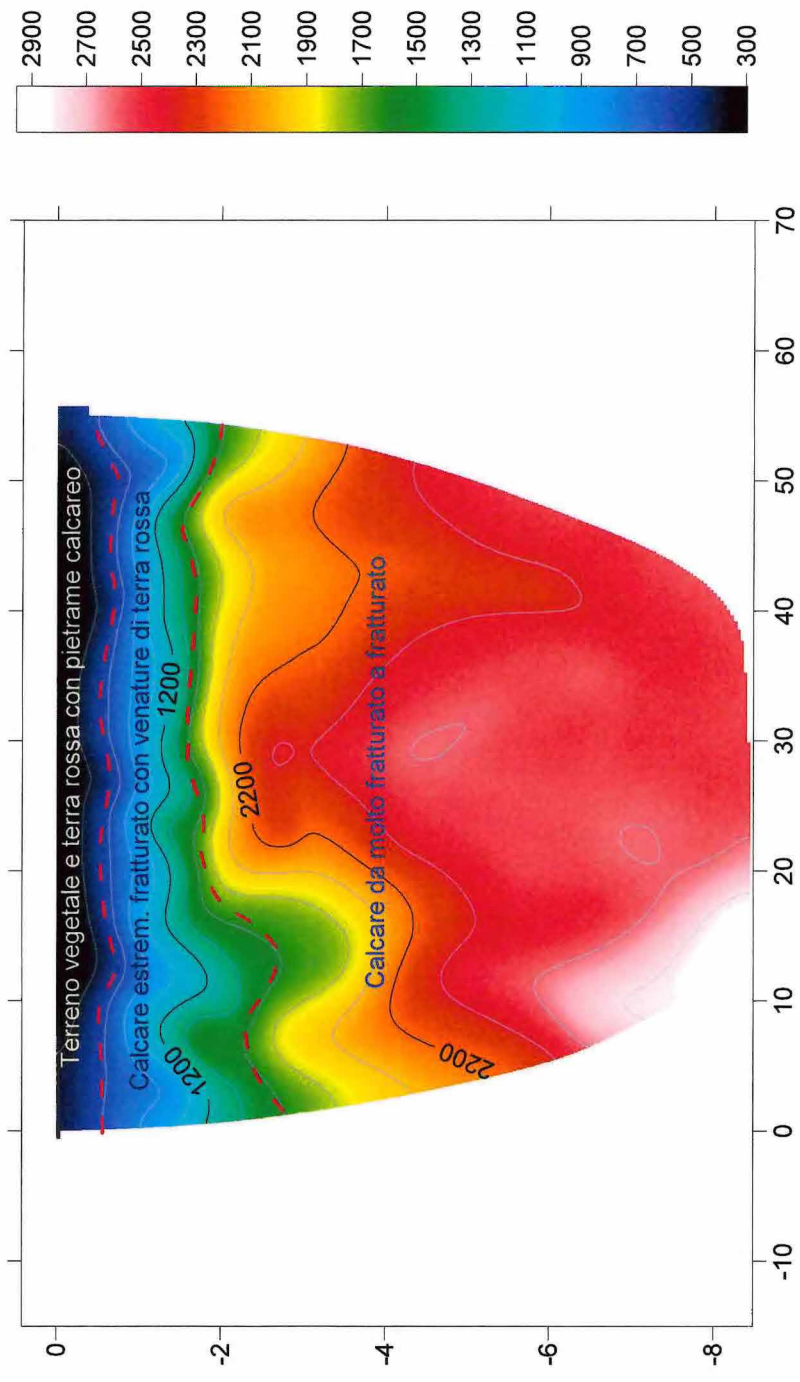
Per ciò che concerne la correlazione delle caratteristiche fisico-dinamiche con quelle geologico-tecniche del sottosuolo esplorato, si può ritenere che:

1. **Il primo sismostrato** è associabile a *terreno vegetale e terra rossa con pietrame calcareo*;
2. **Il secondo sismostrato** è associabile a *litotipi calcarei estremamente fratturati con venature di terra rossa*
3. **Il terzo sismostrato** è associabile a *litotipi calcarei con grado di fratturazione che diminuisce in profondità, passando da un calcare da molto fratturato ad un calcare fratturato in profondità.*

Sismica tomografica a rifrazione
Profilo SR1 in onde S



Sismica tomografica a rifrazione
Profilo SR1 in onde P



Nella tabella che segue sono mostrati tutti i valori delle velocità sismiche, il coefficiente di Poisson ed i valori dei moduli dinamici E (di Young), G (di taglio) e K (di compressibilità), espressi in Mpa. Questi valori sono calcolati mediando i pesi di volume emersi dalle prove di laboratorio (per la roccia calcarea).

Profilo1

Spessore medio in mt	Vp	Vsh	σ	γ	E	G	Litologia
0.0÷0.5	370	170	0.36	1.4	111	40	Terra rossa
0.5÷2.0	1450	690	0.35	2.38	3068	1133	Calcare estr.fratt.
>2.0	2500	1200	0.35	2.38	9256	3427	Calcare da estr. fratt. A fratturato

V_p = velocità onde longitudinali in m/s

V_s = velocità onde trasversali in m/s

σ = coefficiente di Poisson

γ = peso di volume in g/cm³

E = modulo dinamico di Young in Mpa

G = modulo dinamico di taglio in Mpa



Esecuzione profilo sismico tomografico a rifrazione



Esecuzione profilo sismico tomografico a rifrazione

SISMICA CON METODOLOGIA MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva (non è necessario eseguire perforazioni o scavi), che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Le onde superficiali di Rayleigh, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni (DA 4.5 Hz) e vengono successivamente analizzate attraverso complesse tecniche computazionali basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.

La metodologia per la realizzazione di una indagine sismica MASW prevede almeno i seguenti passi:

- Acquisizioni multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale (maglio battente su piastra in alluminio), lungo uno stendimento rettilineo di sorgente-geofoni
- Estrazione dei modi dalle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh;
- Inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali delle V_s .

Gli algoritmi genetici rappresentano un tipo di procedura di ottimizzazione appartenente alla classe degli algoritmi euristici (o anche global-search methods o soft computing).

Rispetto ai comuni metodi di inversione lineare basati su metodi del gradiente (matrice Jacobiana), queste tecniche di inversione offrono un'affidabilità del risultato di gran lunga superiore per precisione e completezza.

I comuni metodi lineari forniscono infatti soluzioni che dipendono pesantemente dal modello iniziale di partenza che l'utente deve necessariamente fornire. Per la natura del problema (inversione delle curve di dispersione), la grande quantità di minimi locali porta infatti ad attrarre il modello iniziale verso un minimo locale che può essere significativamente diverso da quello reale (o globale).

In altre parole, i metodi lineari richiedono che il modello di partenza sia già di per sé vicinissimo alla soluzione reale. In caso contrario il rischio è quello di fornire soluzioni erranee.

Gli algoritmi genetici (come altri analoghi) offrono invece un'esplorazione molto più ampia delle possibili soluzioni.

Le NTC18 effettuano la classificazione del sottosuolo in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

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

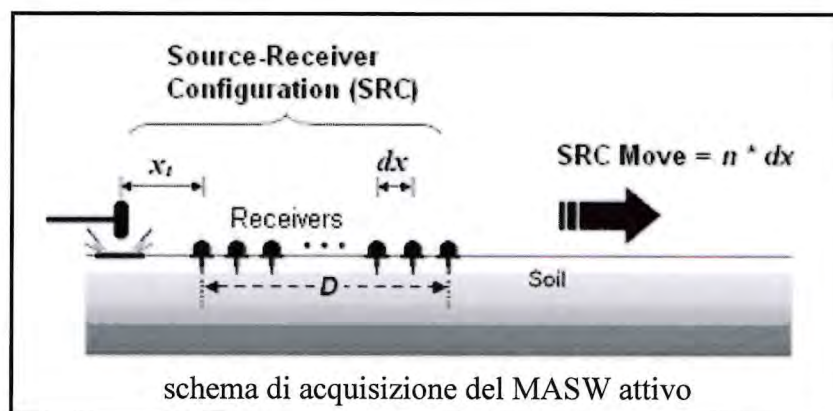
Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

ATTREZZATURE E TECNICHE OPERATIVE

Per le misure eseguite sono state utilizzate le seguenti attrezzature:

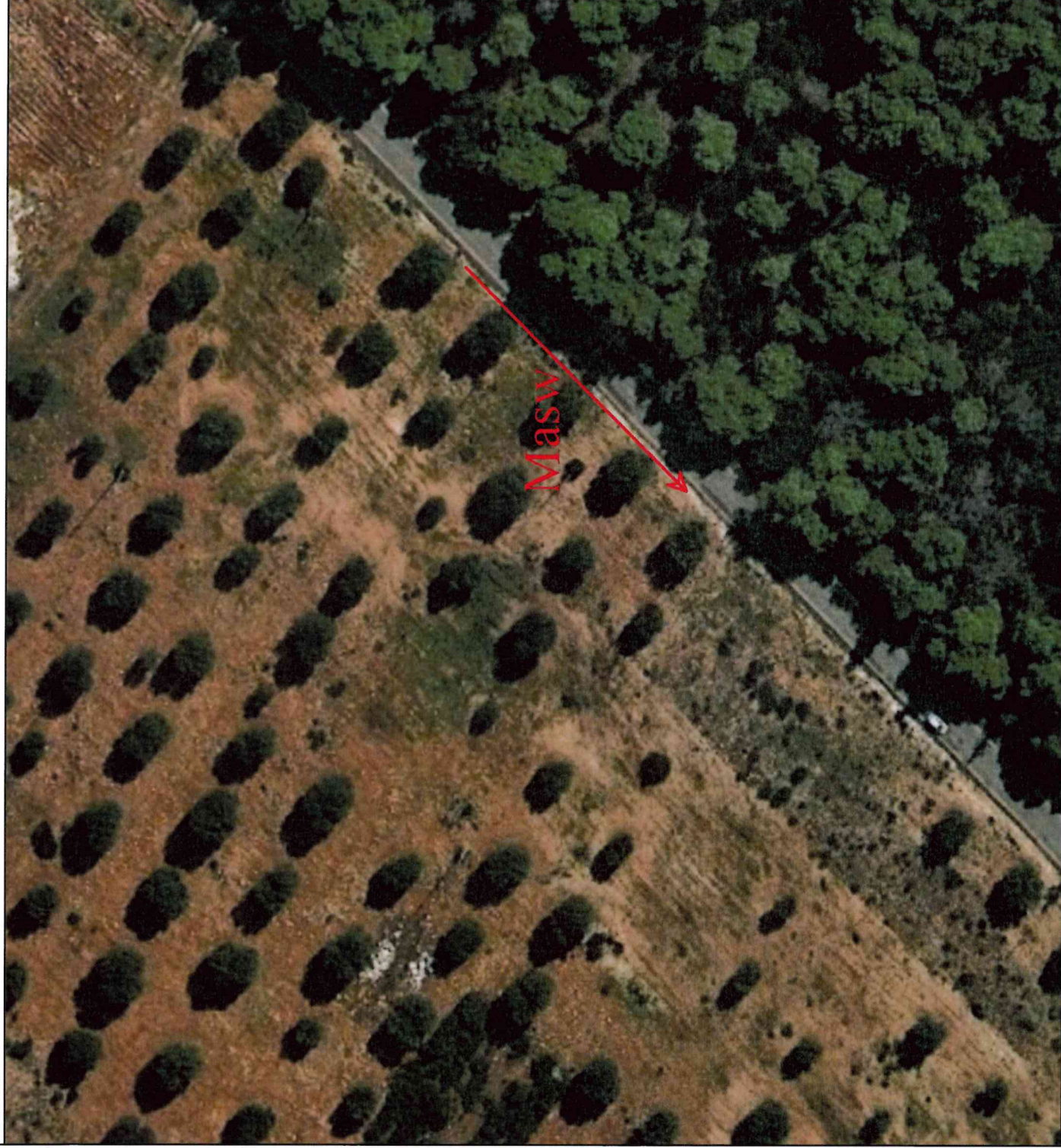
Un sismografo DAQ LINK – III a 24 bit della “Seismic Source Co” con intervallo minimo di campionamento di 0.0208 ms e altissima risoluzione (118 db).

Il profilo Masw in configurazione “attiva” ha una lunghezza pari a 55 metri.



I sismogrammi sono stati elaborati con una trasformazione bidimensionale dal dominio tempo-distanza (t-x), al dominio velocità di fase-frequenza (p-f). E' stato così possibile analizzare l'energia di propagazione lungo la linea sismica e riconoscere le onde superficiali con carattere dispersivo. Da questa analisi è stato ottenuto lo spettro risultante e sono stati individuati una serie di punti al centro dell'area ad alta energia (piking). E' stato poi calcolato un modello ottimale di velocità di onde trasversali mediante il “fitting” tra curva di dispersione e valori sperimentali. Sismogrammi e risultati sono riportati nell'allegato “indagine sismica”.

UBICAZIONE INDAGINE SISMICA MASW



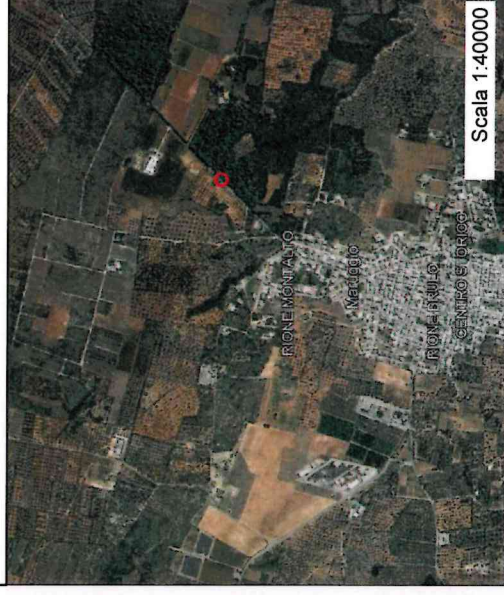
LEGENDA:

→ Profilo sismico Masw



Località Maruggio(TA)

COORDINATE: 40°19'59.02"N; 17°34'45.08"E
QUOTA : 64.0 mt s.l.m.



Scala 1:40000

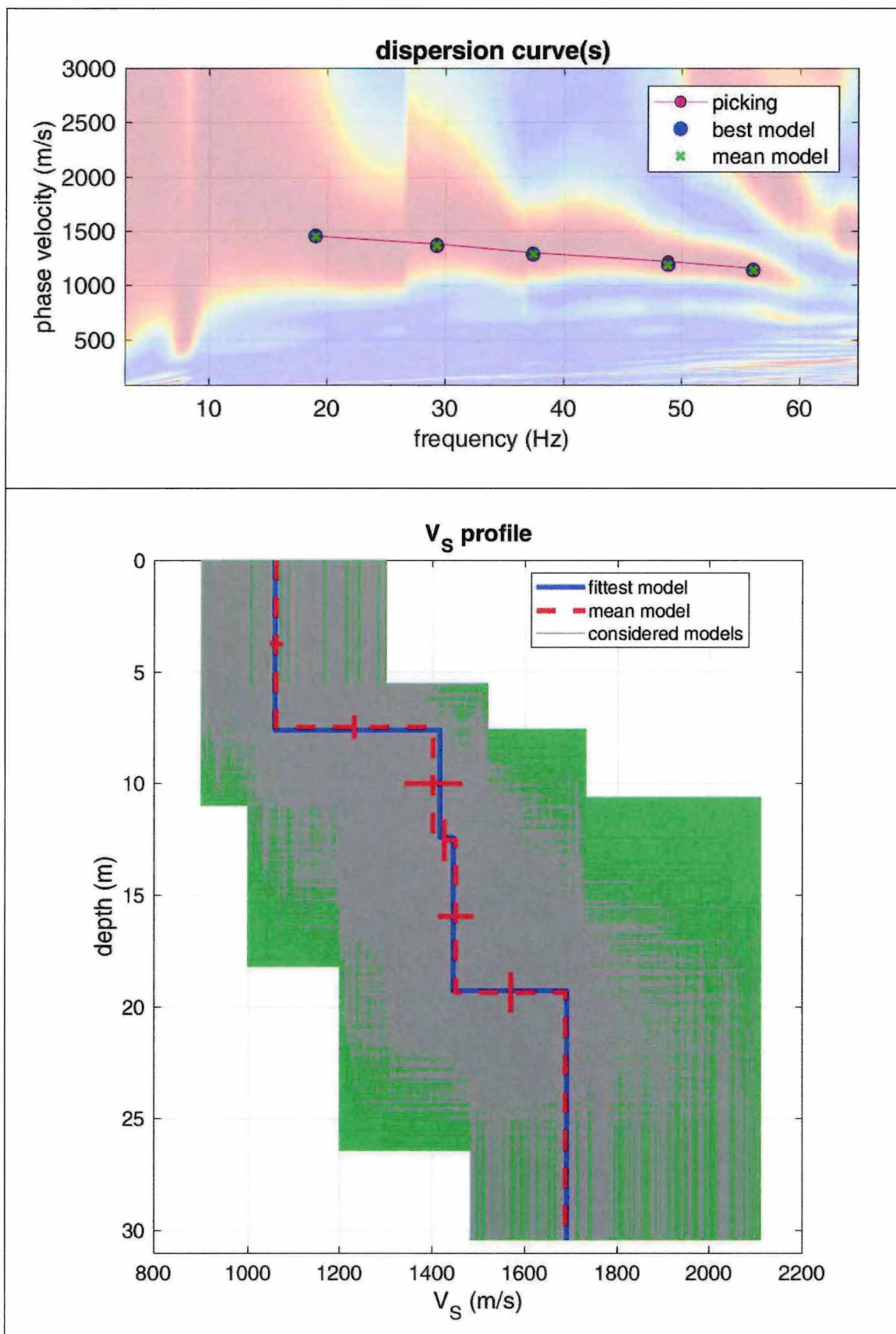
Scala 1:1000

MASW 1

I modelli di Vs-profondità, ottenuti mediante l'analisi MASW, sono schematizzati di seguito:

Masw 1	
Spessore (mt)	Vs (m/s)
7.5	1061
5.1	1402
6.8	1451
10.6	1688

Come si nota dal profilo delle velocità Vs (m/s), è stato individuato un substrato sismico sin dai primi metri di profondità (Vs=1061 m/s).





Esecuzione profilo MASW 1



Esecuzione profilo MASW 1

Categorie di sottosuolo

In conformità al D.M. 17/01/2018 “Norme tecniche per le costruzioni” la classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall’espressione:

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

dove:

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

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell’opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$ ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Poiché le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni sono chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II (di seguito), si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s .

Poiché il substrato sismico ($V_s > 800$ m/s) risulta affiorante con V_s pari a 1061 m/s (nei primi metri), $V_{s,eq}=0$ ed il sito in esame rientra in **categoria di sottosuolo A** come segue:

$$\text{Masw 1} \rightarrow V_{s,eq}=0 - V_{s,30} = 1385 \text{ m/s} - \text{Categoria A}$$

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

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

PROVA DOWN-HOLE

Nel metodo sismico down hole (DH) viene misurato il tempo necessario per le onde P e S di spostarsi tra una sorgente sismica, posta in superficie, e i ricevitori, posti all'interno di un foro di sondaggio (figura 1).

Le componenti indispensabili per una misura DH accurata consistono:

1. una sorgente meccanica in grado di generare onde elastiche ricche di energia e direzionali;
2. uno o più geofoni tridimensionali, con appropriata risposta in frequenza (4,5-14 Hz), direzionali e dotati di un sistema di ancoraggio alle pareti del tubo-foro;
3. un sismografo multi-canale, in grado di registrare le forme d'onda in modo digitale e di registrarle su memoria di massa;
4. un trasduttore (*trigger*) alloggiato nella sorgente necessario per l'identificazione dell'istante di partenza della sollecitazione dinamica mediante massa battente.

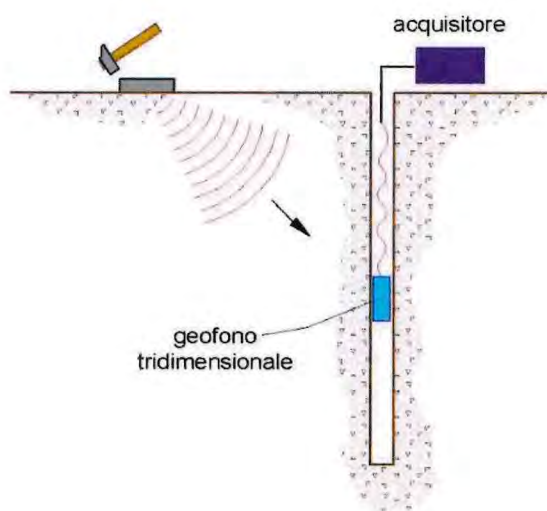


Figura 1 – Schema down hole

Procedura sperimentale

Le misure sono state eseguite ogni metro lungo tutta la verticale di prova e

la sorgente è una massa battente a percussione al suolo per la generazione in onda P, a percussione su piano ortogonale al suolo in modo coniugato (due scoppi a 180°) su delle basi salde al terreno e poste in superficie ad una certa distanza dal foro. Alla sorgente è agganciato il trasduttore di velocità utilizzato come trigger.

Una volta raggiunta la profondità di prova, i geofoni vengono orientati in modo che un trasduttore di ogni sensore sia diretto parallelamente all'asse della sorgente (orientamento assoluto).

A questo punto i ricevitori vengono assicurati alle pareti del tubo di rivestimento: viene generata l'onda di compressione P e poi l'onda di taglio 1 e successivamente l'onda di taglio 2. Contemporaneamente, per ciascuna generazione d'onda, parte la registrazione del segnale di trigger e dei ricevitori.

Eseguite le registrazioni la profondità dei ricevitori viene modificata e la procedura sperimentale ripetuta.

Per la presente campagna d'indagine è stato utilizzato il sismografo Geode della Geometrics con un geofono da foro tridimensionale 3D Twin Borehole Geophone dell'Ambrogeo. I dati sono stati elaborati tramite software "Down Hole" della Geostru software.

Interpretazione down hole con il metodo diretto

Per poter interpretare il down hole con il metodo diretto, inizialmente, bisogna correggere i tempi di tragitto (t) misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore per tenere conto dell'inclinazione del percorso delle onde. Se d è la distanza della sorgente dall'asse del foro, r la distanza fra la sorgente e la tripletta di sensori, z la profondità di misura è possibile ottenere i tempi corretti (t_{corr}) mediante la seguente formula di conversione:

$$1.0) t_{\text{corr}} = \frac{z}{r} t$$

Calcolati i tempi corretti sia per le onde P che per le onde S si realizza il grafico $t_{\text{corr}} - z$ in modo che la velocità media delle onde sismiche in strati omogenei di terreno è rappresentata dall'inclinazione dei segmenti di retta lungo i quali si allineano i dati sperimentali.

Ottenuti graficamente i sismostrati si ottengono la densità media, funzione della velocità e della profondità, e i seguenti parametri:

- coefficiente di Poisson medio:

$$2.0) \nu_{\text{medio}} = 0.5 \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1}$$

- modulo di deformazione a taglio medio:

$$3.0) G_{\text{medio}} = \rho V_s^2$$

- modulo di compressibilità edometrica medio:

$$4.0) E_{dmedio} = \rho V_p^2$$

- modulo di Young medio:

$$5.0) E_{medio} = 2\rho V_s^2 (1 + \nu)$$

- modulo di compressibilità volumetrica medio:

$$6.0) E_{vmedio} = \rho \left(V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2 \right)$$

DOWN HOLE IN FORO SP1

Dati iniziali

Offset scoppio [m]	Numero di ricezioni	Posizione primo geofono [m]	Interdistanza [m]
4	10	1	1

Dati misure down hole

Registrazioni Nr.	Z [m]	Tp [msec]	Ts [msec]
1	1.00	2.43	5.23
2	2.00	2.64	5.68
3	3.00	2.83	6.09
4	4.00	3.13	6.72
5	5.00	3.40	7.31
6	6.00	3.72	7.99
7	7.00	4.07	8.73
8	8.00	4.43	9.49
9	9.00	4.79	10.25
10	10.00	5.16	11.01

Risultati

SR [m]	Tpcorr [msec]	Tscorr [msec]
4.1231	0.5894	1.2685
4.4721	1.1806	2.5402
5.0000	1.6980	3.6540
5.6569	2.2132	4.7518
6.4031	2.6550	5.7082
7.2111	3.0952	6.6481
8.0623	3.5338	7.5798
8.9443	3.9623	8.4881
9.8489	4.3772	9.3666
10.7703	4.7909	10.2225

Metodo diretto

Sismostrati con metodo diretto

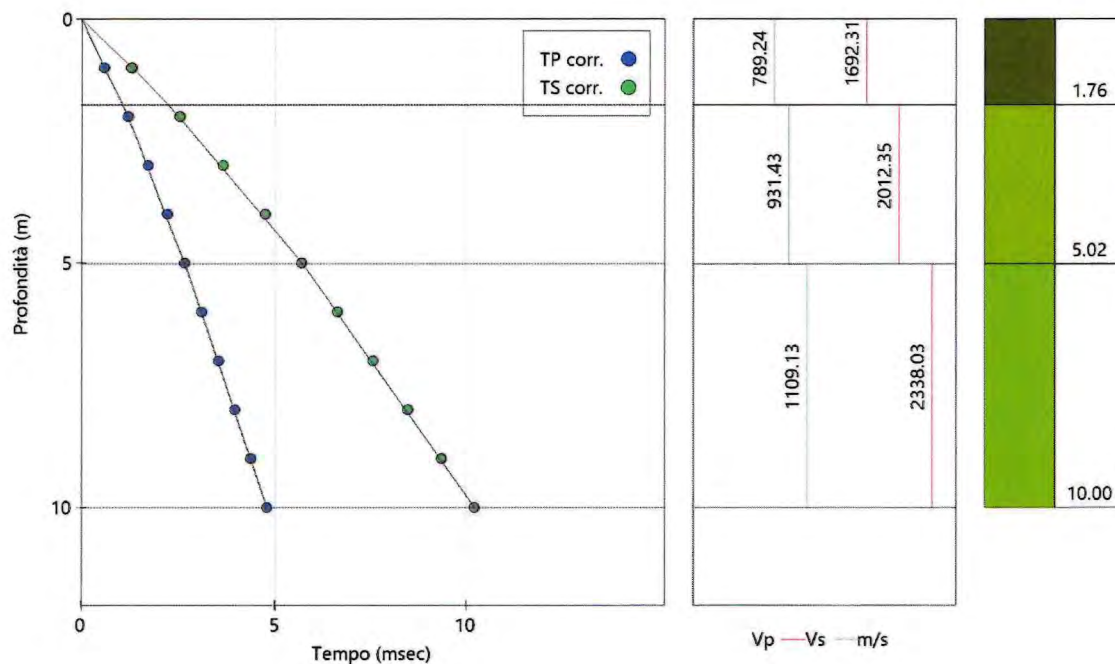
Strato Nr.	Profondità (m)	Colore/Retino	Tp corr. sism. (msec)	Ts corr. sism. (msec)
1	1.76		1.04	2.23
2	5.02		2.66	5.73
3	10		4.79	10.22

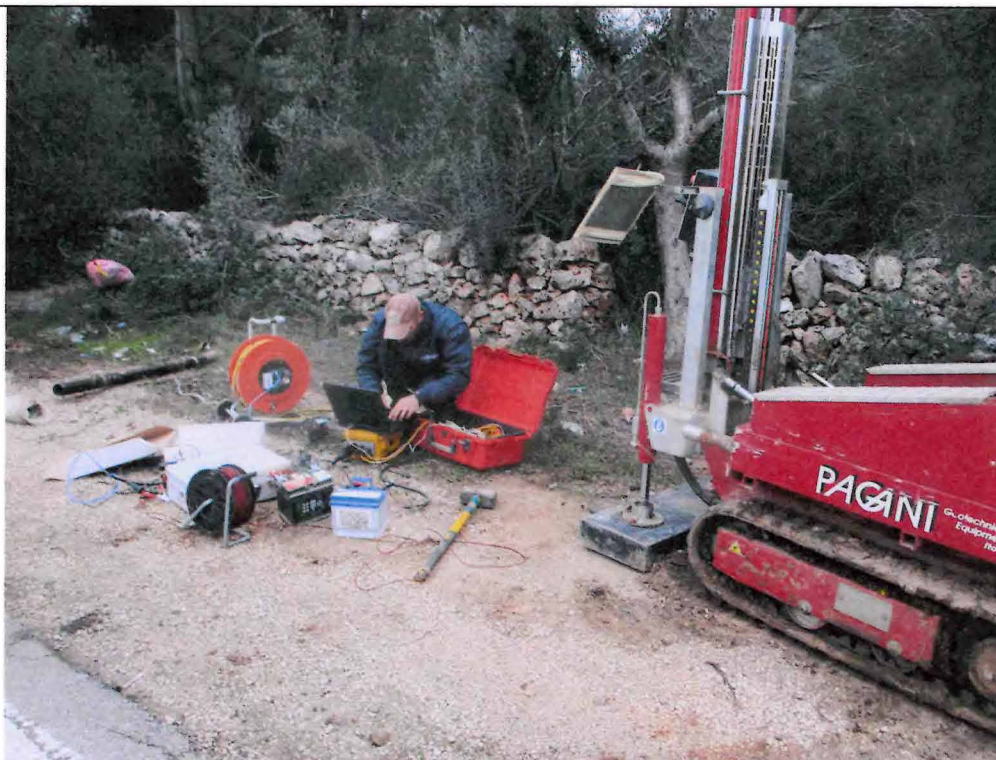
Valori medi

Vp medio (m/s)	Vs medio (m/s)	g medio (kN/mc)	ni medio	G medio (MPa)	Ed medio (MPa)	E medio (MPa)	Ev medio (MPa)	Strato Nr.
1692.31	789.24	23.55	0.36	1495.66	6876.66	4071.27	4882.44	1
2012.35	931.43	23.29	0.36	2060.73	9618.94	5620.34	6871.3	2
2338.03	1109.13	23.89	0.35	2996.68	13316.02	8119.83	9320.44	3

G: peso di volume, ni: poisson, G: modulo di taglio din., Ed: mod.edometrico, E: modulo di Young din., Ev: modulo di compressibilità volumetrica.

Dromocrone





Esecuzione prova Down Hole in SP1

DOWN HOLE IN FORO SP2

Dati iniziali

Offset scoppio [m]	Numero di ricezioni	Posizione primo geofono [m]	Interdistanza [m]
4	10	1	1

Dati misure down hole

Registrazioni Nr.	Z [m]	Tp [msec]	Ts [msec]
1	1.00	2.59	5.53
2	2.00	2.82	5.99
3	3.00	3.01	6.37
4	4.00	3.31	6.99
5	5.00	3.57	7.52
6	6.00	3.89	8.16
7	7.00	4.22	8.84
8	8.00	4.55	9.51
9	9.00	4.89	10.21
10	10.00	5.23	10.92

Risultati

SR [m]	Tpcorr [msec]	Tscorr [msec]
4.1231	0.6282	1.3412
4.4721	1.2611	2.6788
5.0000	1.8060	3.8220
5.6569	2.3405	4.9427
6.4031	2.7877	5.8721
7.2111	3.2367	6.7895
8.0623	3.6640	7.6753
8.9443	4.0696	8.5060
9.8489	4.4685	9.3300
10.7703	4.8559	10.1390

Metodo diretto

Sismostrati con metodo diretto

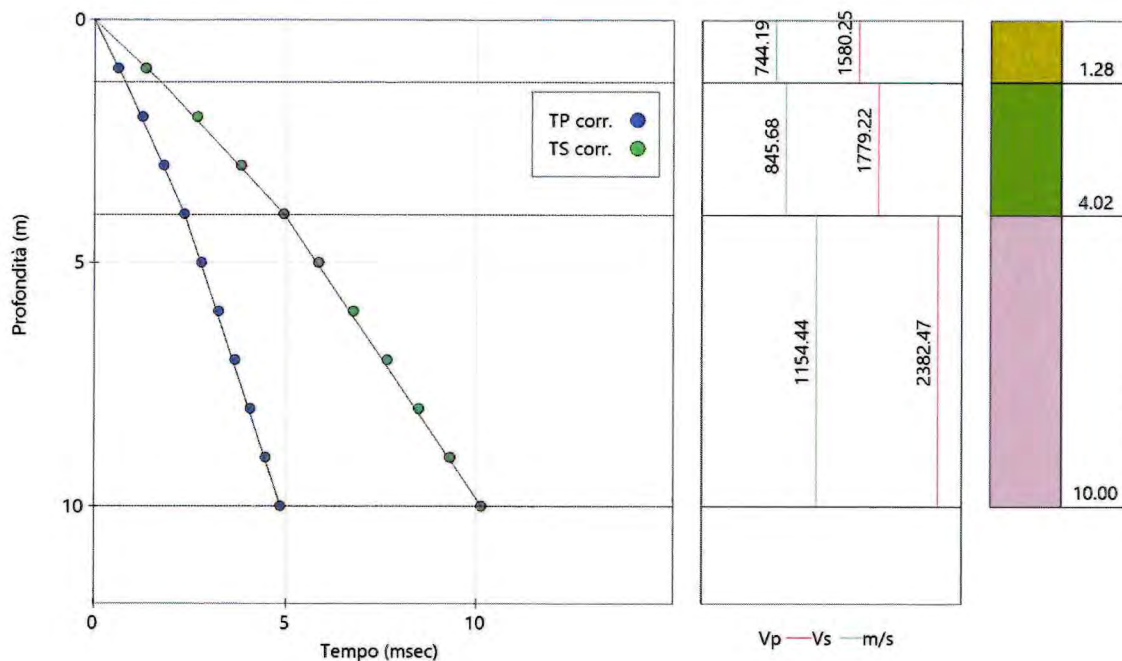
Strato Nr.	Profondità (m)	Tp corr. sism. (msec)	Ts corr. sism. (msec)
1	1.28	0.81	1.72
2	4.02	2.35	4.96
3	10	4.86	10.14

Valori medi

Vp medio (m/s)	Vs medio (m/s)	g medio (kN/mc)	ni medio	G medio (MPa)	Ed medio (MPa)	E medio (MPa)	Ev medio (MPa)	Strato Nr.
1580.25	744.19	23.64	0.36	1335.12	6020.15	3624.88	4239.99	1
1779.22	845.68	22.96	0.35	1674.77	7413.15	4535.51	5180.13	2
2382.47	1154.44	24.03	0.35	3265.06	13906.02	8793.32	9552.61	3

G: peso di volume, ni: poisson, G: modulo di taglio din., Ed: mod. edometrico, E: modulo di Young din.,
Ev: modulo di compressibilità volumetrica.

Dromocrone





Esecuzione prova Down Hole in SP2

SONDAGGI GEOELETRICI

Per definire lo spessore e l'andamento delle formazioni presenti in sito, e valutare l'eventuale presenza di anomalie di resistività, è stata condotta un'indagine di tomografia elettrica.

E' stato eseguito un sondaggio geoelettrico con ricostruzione tomografica bidimensionale.

L'indagine elettrica prevede sempre una fase preliminare al fine di comprendere al meglio le problematiche da affrontare e le peculiarità del sito. Il metodo scelto permette di stimare la resistività del sottosuolo in esame; tale parametro è fondamentale per l'individuazione dei passaggi stratigrafici, cavità ed eventuali sottoservizi presenti.

I valori di resistività vengono rilevati introducendo nel sottosuolo una corrente attraverso due elettrodi di corrente e misurando la differenza di potenziale attraverso altri due elettrodi, detti appunto di misura. L'invio della corrente nel sottosuolo, utilizzando delle sorgenti puntiformi in superficie, determina l'irraggiamento delle linee di corrente attraverso superfici di forma semisferica. In generale il terreno non è elettricamente omogeneo né isotropo, perciò quando viene immessa corrente in esso, una qualsiasi causa di variazione di conducibilità, ne altera il flusso, provocando un'anomala distribuzione del potenziale.

La misura di questo valore prende il nome di "resistività apparente", in quanto dipende dalla disposizione degli elettrodi nel terreno. La raccolta di queste informazioni avviene lungo tutto il tratto percorso dai filetti elettrici e, di conseguenza, da tutta la semisfera prodotta dall'immissione di corrente nel sottosuolo.

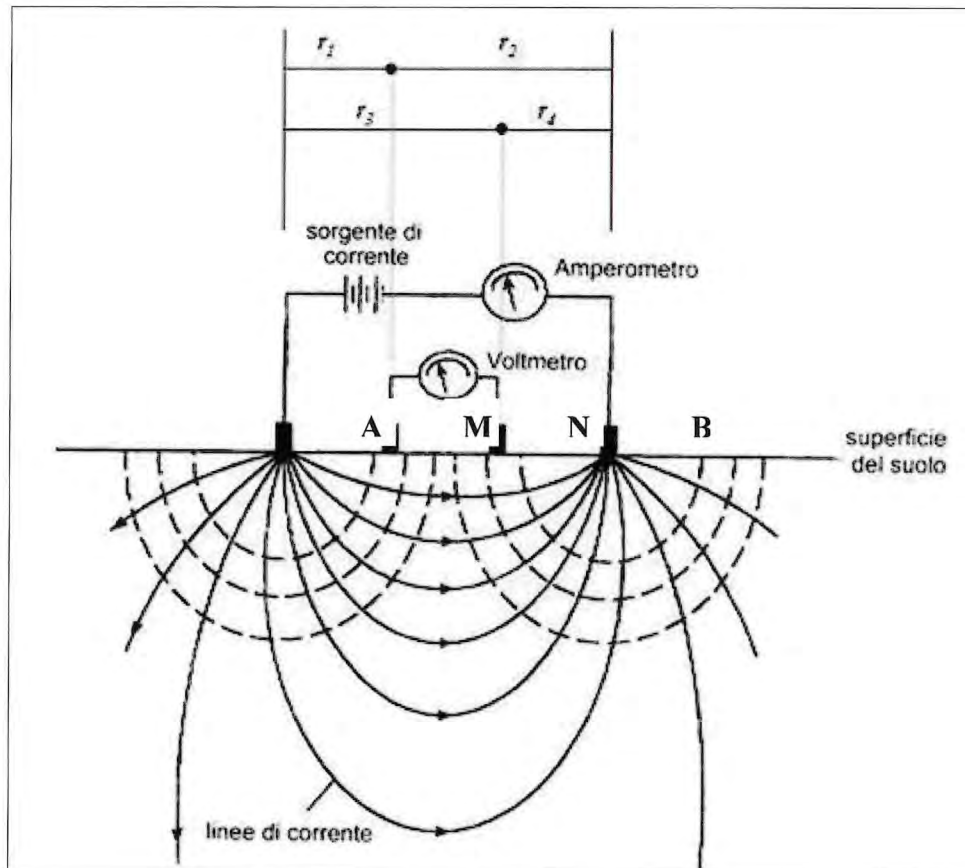
La tomografia elettrica di superficie (TES) si basa su un elevato numero di misure elettriche che, nel caso specifico, sono state effettuate su 24

elettrodi (metodologia multielettrodo), disposti sul terreno lungo i profili scelti. La restituzione dei risultati (ricostruzione tomografica) viene realizzata approssimando il terreno (sottosuolo) in maglie o celle (“elementi finiti”) e riportando in un’apposita sezione gli elementi finiti con resistività omogenea.

Con il metodo di *resistività* in corrente continua *D.C. Resistivity* viene immessa nel sottosuolo, mediante due elettrodi di corrente (A e B), una corrente elettrica che determina una differenza di potenziale misurata mediante altri due elettrodi di potenziale (M ed N).

In realtà la tecnica attuale utilizza corrente in frequenza capace sia di escludere i notevoli disturbi della corrente di rete di 50 Hz, sia di prevenire effetti di *saturazione elettrica* del terreno che ne impediscono l’esplorazione in profondità.

Condizione fondamentale perché il metodo risulti efficace è che esista e sia elevato il contrasto di *resistività* tra gli oggetti dell’indagine.



schema operativo indagine geoelettrica

Dai valori noti di corrente erogata, dalla configurazione geometrica degli elettrodi e dalla differenza di potenziale misurata si calcola analiticamente la *resistività apparente* dei terreni indagati.

In particolare, la resistività di un terreno omogeneo e isotropo è data dalla seguente relazione:

$$\rho = (\Delta V/I) * K \quad (3.2)$$

dove K è il coefficiente geometrico che dipende dalla disposizione degli elettrodi sulla superficie, ΔV è la differenza di potenziale misurata e I l'intensità di corrente.

Tuttavia, il sottosuolo non è elettricamente omogeneo e isotropo pertanto, quando in esso si immette corrente, una qualsiasi causa di variazione di conducibilità, ne altera il flusso provocando, di conseguenza,

una anomala distribuzione del potenziale rispetto a quella che si avrebbe per un sottosuolo omogeneo.

In conclusione, il valore di resistività che si misura in realtà è una *resistività apparente* e va considerata come un'anomalia rispetto a quella misurabile per una distribuzione teorica del potenziale in un sottosuolo omogeneo ed isotropo di resistività pari a quella propria dell'elettrostatico più superficiale.

Nei profili tomografici, gli elettrodi, in genere picchetti di ferro o di rame sono distribuiti lungo un profilo a distanza fissa (dell'ordine del metro). La scelta della distanza dipende dalla risoluzione e dalla profondità d'indagine richiesta. Gli elettrodi vengono collegati mediante un cavo multicanale allo strumento di misura e ad un computer. Il software gestisce l'emissione di corrente e la misura della differenza di potenziale utilizzando i diversi elettrodi disponibili.

A causa delle difficoltà riscontrate nell'interpretazione dei dati, bisogna trasformare mediante algoritmo d'inversione i valori di resistività apparente, graficati in forma di pseudosezione, in sezione di resistività reale; il risultato dell'indagine multielettrostatica è dunque una mappatura in termini di resistività 2D o una distribuzione volumetrica di resistività 3D, dalle quali si deducono le caratteristiche litologiche del sottosuolo.

L'algoritmo di inversione, sulla base di un modello iniziale di distribuzione di resistività, calcola, tramite un procedimento agli elementi finiti, i valori di resistività apparente nei punti in cui la resistività stessa è stata misurata.

Nel caso in esame è stata utilizzata una strumentazione multielettrostatica della IRIS (il Syscal Pro), per l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il software Ertlab™ della GEOstudi Astier s.r.l..

UBICAZIONE INDAGINE GEOELETTICA

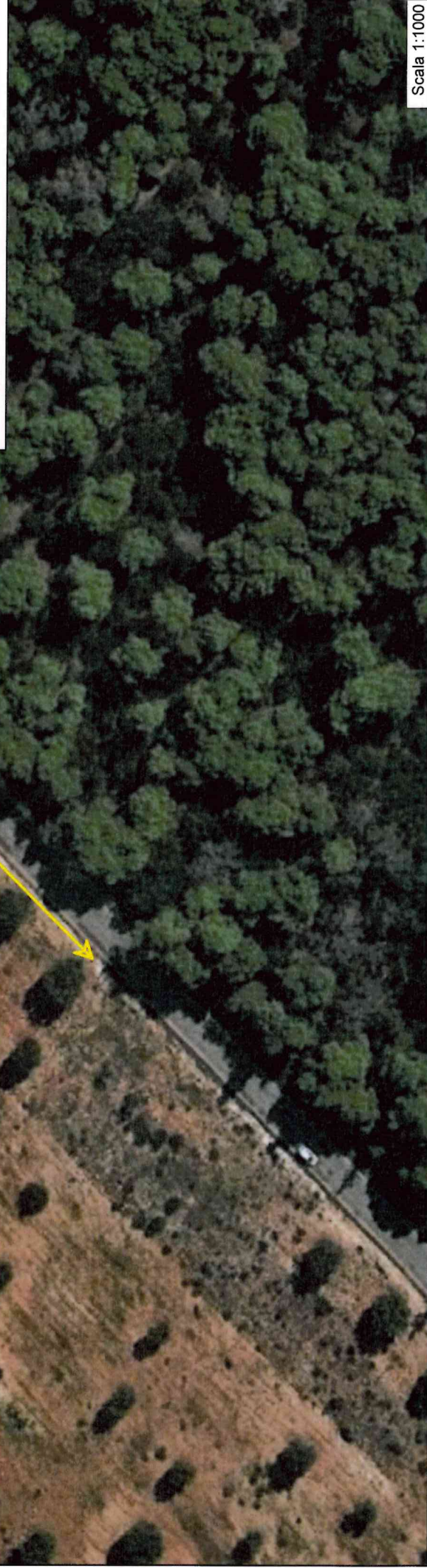
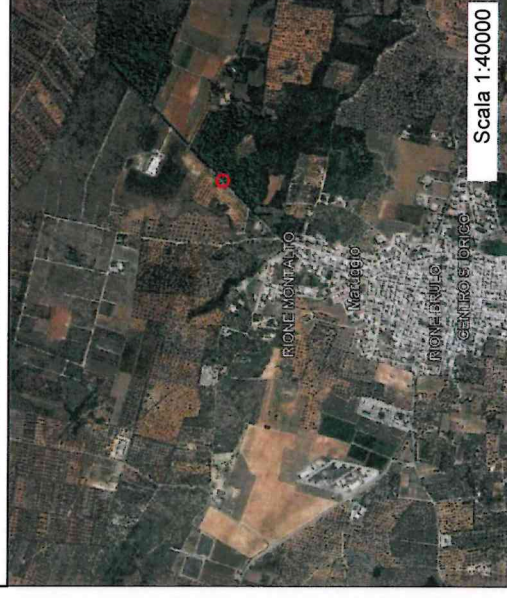


LEGENDA:

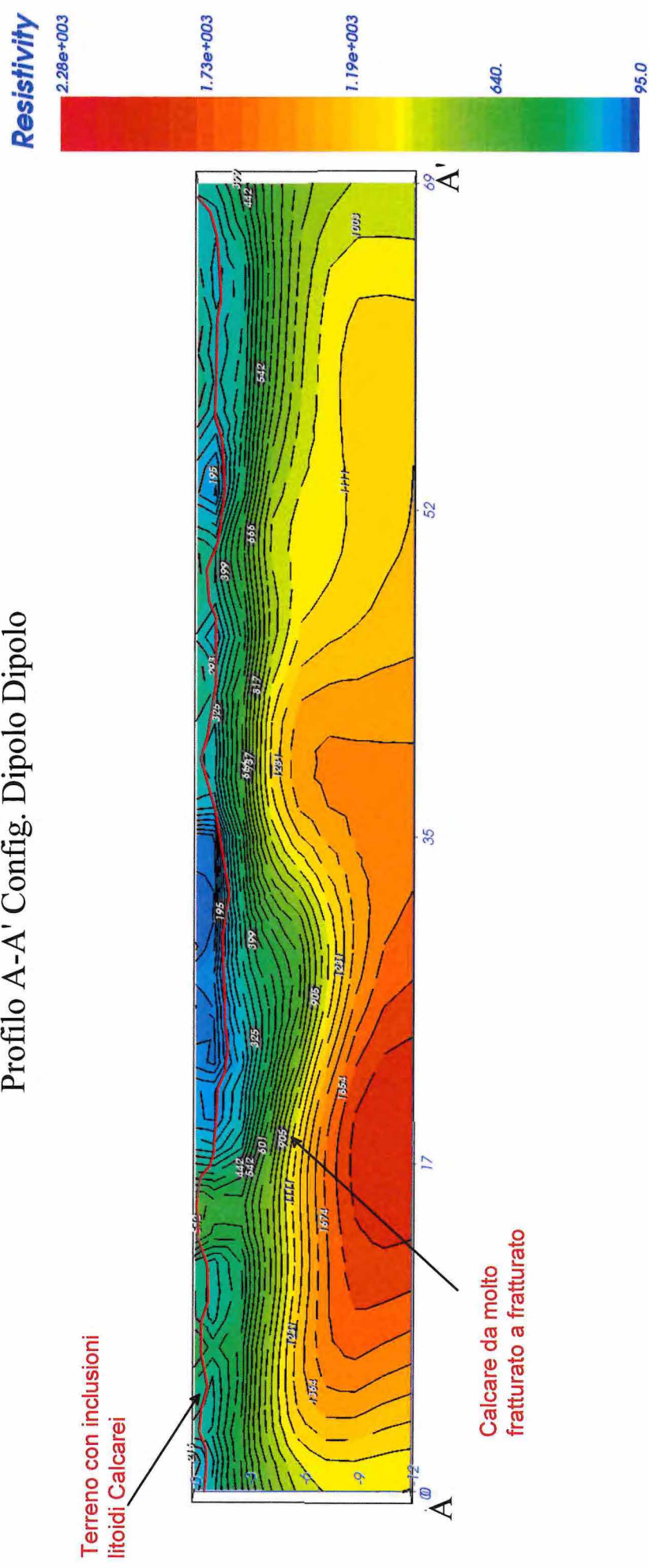
→ Profilo geoelettrico

○ Località Maruggio(TA)

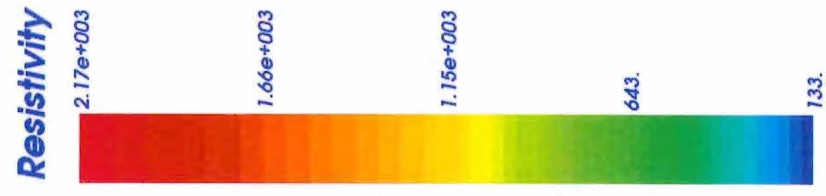
COORDINATE: 40°19'59.02"N; 17°34'45.08"E
QUOTA: 64.0 mt s.l.m.



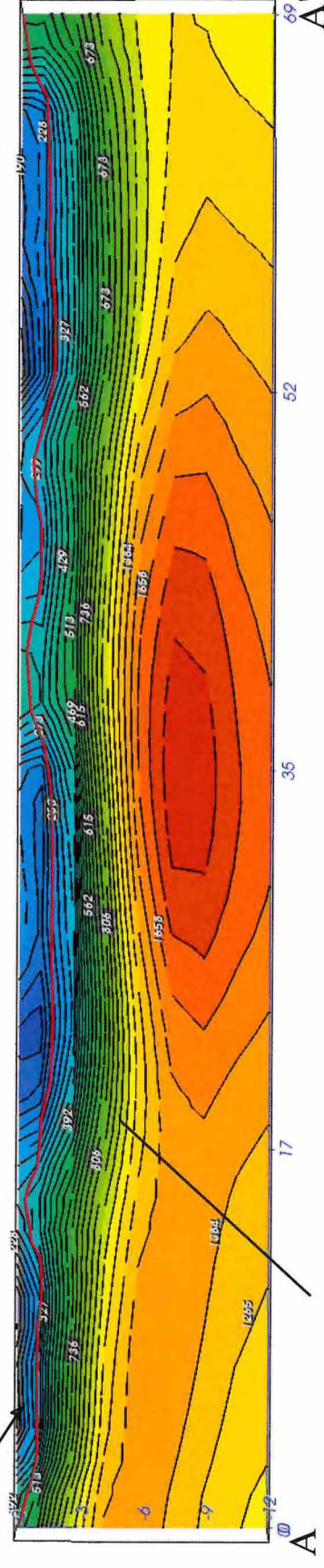
Profilo A-A' Config. Dipolo Dipolo



Profilo A-A' Config. Wenner



Terreno con inclusioni
litoidi Calcarei



Calcare da molto
fratturato a fratturato

Risultati ottenuti

La restituzione dei dati di un'indagine tomografica elettrica, come detto, è una sezione di resistività.

I diversi colori delle sezioni rappresentano valori diversi di resistività registrati con gli stendimenti effettuati; la scala verticale riporta la profondità d'indagine a partire dal piano campagna, quella orizzontale la lunghezza dello stendimento. Accanto alle sezioni 2D compare la scala delle resistività che compongono il modello interpretativo.

Dall'elaborazione dei profili bidimensionali si evince che:

- Il profilo geoelettrico E1 ha valori di resistività variabili da 95 a 2280 $\Omega \cdot m$ per la configurazione dipolo-dipolo e da 133 a 2170 $\Omega \cdot m$ per la configurazione Wenner. Nella parte superiore della sezione, fino ad una profondità di -0.4/-0.6m si hanno valori di resistività relativamente più bassi (tra 95 e 200 $\Omega \cdot m$ in DDP e da 133 a 230 in Wenner): tali valori si possono associare alla presenza di terra rossa con inclusioni di litoidi calcarei. Nella parte inferiore della sezione di resistività i valori tendono progressivamente ad aumentare assumendo range tipici associabili alla presenza di un deposito calcareo da estremamente fratturato a fratturato in profondità.



Esecuzione profilo geoelettrico

CONCLUSIONI

Su incarico di IA.ING Srl., la Geoprove Srl di Ruffano ha eseguito delle indagini geognostiche e geofisiche presso la SP 136 che collega Maruggio a Manduria.

I sondaggi geognostici e le prove geofisiche hanno consentito di ricostruire la stratigrafia del sottosuolo da cui è emerso che sull'area indagata è presente, sotto un esiguo spessore di terra rossa con litoidi calcarei, una formazione calcarea da estremamente fratturata a fratturata. Le analisi di laboratorio e le indagini geofisiche hanno stimato i parametri geotecnici ed elastici del sottosuolo.

Dall'indagine sismica Masw è emerso che il suolo di fondazione rientra nella **categoria A**.

Ruffano, dicembre 2022

IL DIRETTORE TECNICO

Dott. Geol. ~~Marcello~~ DE DONATIS

