



IMBENTESIO 0001-2006  
Certificato n. 26.100.2945

PROSPEZIONI GEOFISICHE PER L'ESPLORAZIONE,  
LO STUDIO E LA CARATTERIZZAZIONE DEL SOTTOSUOLO

**GEORISORSE**  
ITALIA

## PROVINCIA DI SIENA COMUNE DI TORRITA DI SIENA

INDAGINE GEOFISICA MULTIMETODOLOGICA  
FINALIZZATA ALLA PROGETTAZIONE DI UNA  
CASSA DI ESPANSIONE

COMMITTENTE:  
GEOTECNICA PALAZZI-GIOMARELLI SRL

Direzione dell'indagine Geologica:  
Dott. Geol. FRANCO BULGARELLI

Rapporto Tecnico #2865/24 rev.00 di  
**GIANFRANCO CENSINI**  
Geologo / Geofisico



Associato a European Association of Geoscientists and Engineers  
Geophysical Division al n.M1987-093

**Settembre 2024**

GEORISORSE ITALIA di G. Censini & C. s.a.s  
*Prospezioni geofisiche per l'esplorazione, la caratterizzazione e lo studio del sottosuolo*  
Via E. Fermi, 8 – 53048 SINALUNGA (SI)  
Tel. +39.0577.67.99.73 +39.0577.55.39.05  
[www.georisorse.it](http://www.georisorse.it) – [info@georisorse.it](mailto:info@georisorse.it) – [georisorse.italia@pec.it](mailto:georisorse.italia@pec.it)

Geotecnica Palazzi- Giomarelli Srl	INDAGINE GEOFISCA MULTIMETODOLOGICA FINALIZZATA ALLA PROGETTAZIONE DI UNA CASSA DI ESPANSIONE NEL COMUNE DI TORRITA DI SIENA (SI)	 Rapporto n. 2865/24 Pag. 2 / 25
--	---	--

## SOMMARIO

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. METODOLOGIE DI INDAGINE ADOTTATE .....</b>	<b>7</b>
2.1 METODI DI RESISTIVITA' .....	7
2.1.1 ACQUISIZIONE DATI .....	7
2.1.2 ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONI DEI RISULTATI .....	10
2.2. SISMICA A RIFRAZIONE .....	13
2.2.1 - ACQUISIZIONE DATI .....	13
2.2.2 - ELABORAZIONE DATI .....	14
2.3. METODO DOWN-HOLE .....	17
2.3.1 METODOLOGIA .....	17
2.3.2 - ELABORAZIONE E RESTITUZIONE DEI DATI .....	19
<b>3. CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI OTTENUTI .....</b>	<b>24</b>

ALLEGATI:

N. 3 TAVOLE IN FORMATO A3

Data: Settembre 2024	2865-Torrita di Siena PDP-SIS-SH-DH.doc	Approvato: Gfc	Rev. 00
-------------------------	---	-------------------	---------

## 1. PREMESSA

Nel mese di Agosto 2024, nei giorni 5 e 26, la GEORISORSE ITALIA SAS con sede in Sinalunga (SI) in Via E. Fermi 8, per conto della Geotecnica Palazzi-Giomarelli Srl e sotto la direzione d'indagine geologica del Dott. Geol. Franco Bulgarelli, ha eseguito un'indagine geofisica multimetodologica, nel Comune di Torrita di Siena (SI), finalizzata allo studio ed alla caratterizzazione sismica del sottosuolo per la progettazione di una cassa di espansione.

Di seguito si riporta un'immagine estratta da Google Maps (in scala adattata alla pagina) che permette di identificare l'area di indagine:

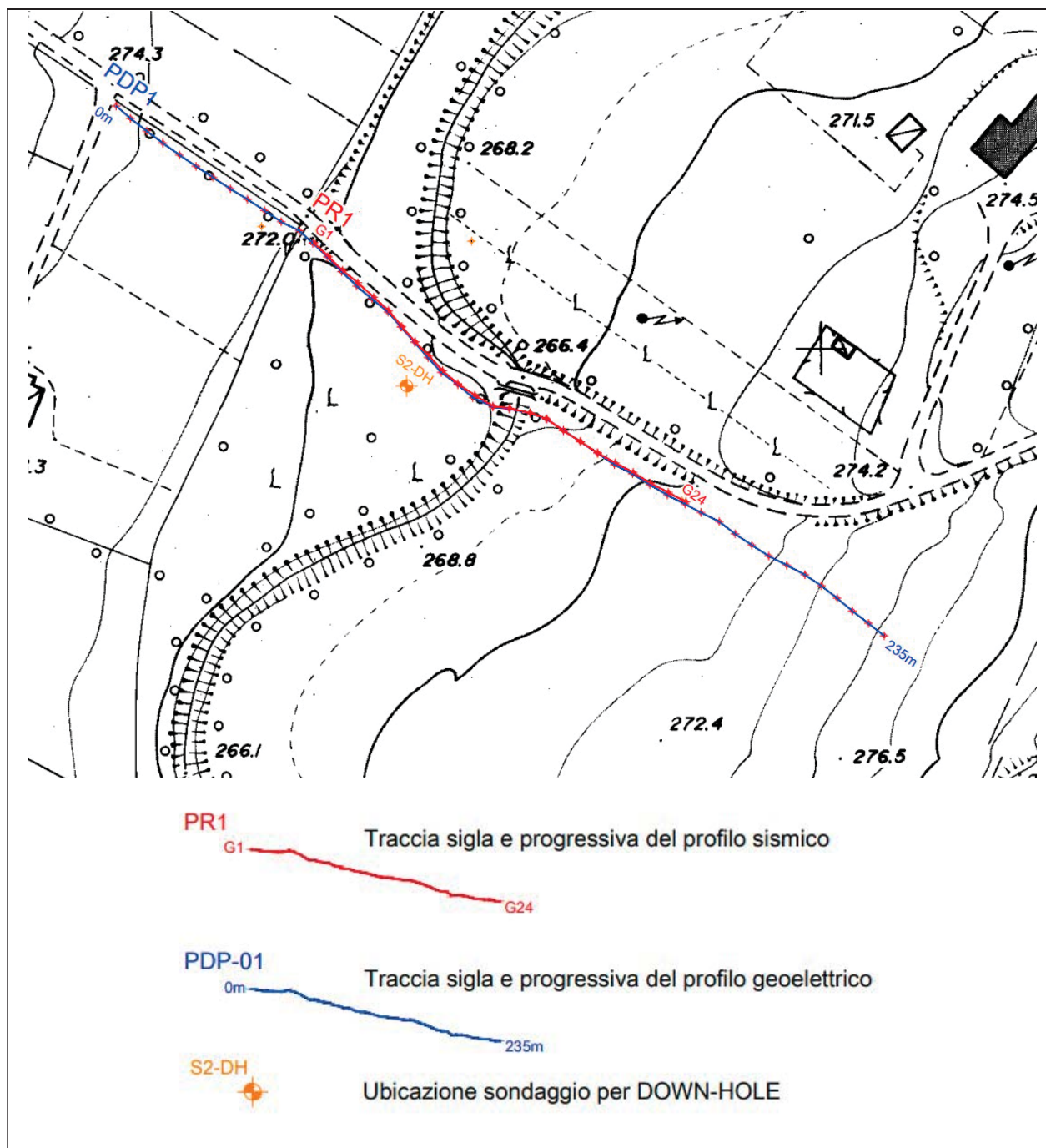


Per lo studio in oggetto sono state eseguite le seguenti indagini:

- N° 1 profilo di geoelettrica di resistività del tipo Polo-Dipolo (PDP-01), della lunghezza di 235m, con cadenza degli elettrodi pari a 5m;
- N° 1 profilo di sismica a rifrazione in onde P ed SH (PR1P + PR1S) della lunghezza di 120m, con cadenza degli geofoni pari a 5m;
- N°1 prova sismica in foro Down-Hole, all'interno di un foro di sondaggio (S2) appositamente attrezzato, della lunghezza di 30m.



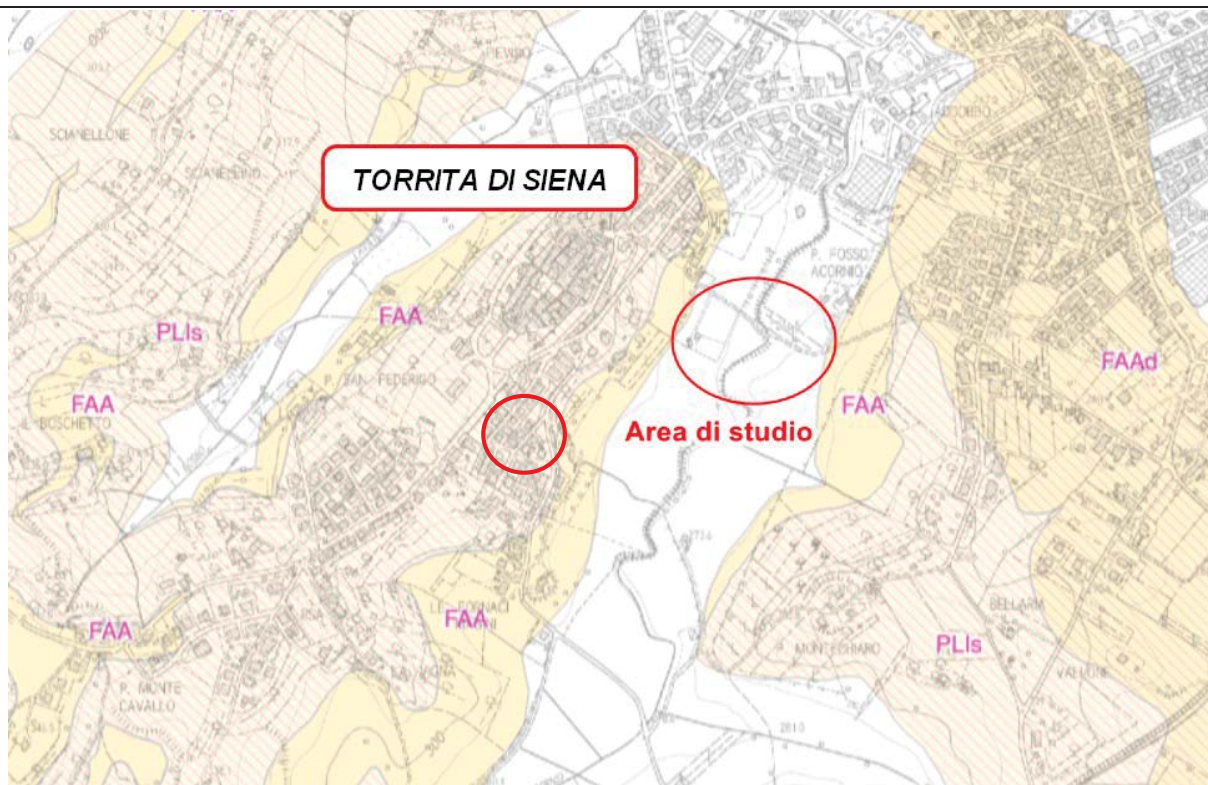
Di seguito si riporta un'immagine del piano di posizione delle indagini, in scala adattata alla pagina, estratta dal piano di posizione di Tavola 1.



Per quanto riguarda l'inquadramento geologico dell'area, pur rimandando allo specifico rapporto del Dott. Geol. Franco Bulgarelli, si ricorda brevemente che nell'area affiorano i depositi recenti di natura alluvionale e colluviale, in contatto con i

*Depositi marini Pliocenici*, rappresentati dalle *Argille Azzurre* (FAA) e dalle *Sabbie e Arenarie gialle* (PLIs).

Di seguito si riporta uno stralcio della carta geologica estratta dal DB Regionale



### DEPOSITI MARINI PLIOCENICI

PLI PLId



PLId

Brecce poligeniche.  
Zancleano-Piacenziano

PLI PLIc



PLIc

Calcareniti e calciruditi bioclastiche. (Calcareniti di San Mariano, F.ne di San Dalmazio p.p., Calcar di Volterra, F.ne di Pianosa, Calcareniti di Villa Buon Riposo, Calcareniti di S. Mariano; Biocalcareniti di Parlascio ad Amphistegina)  
Zancleano-Piacenziano.

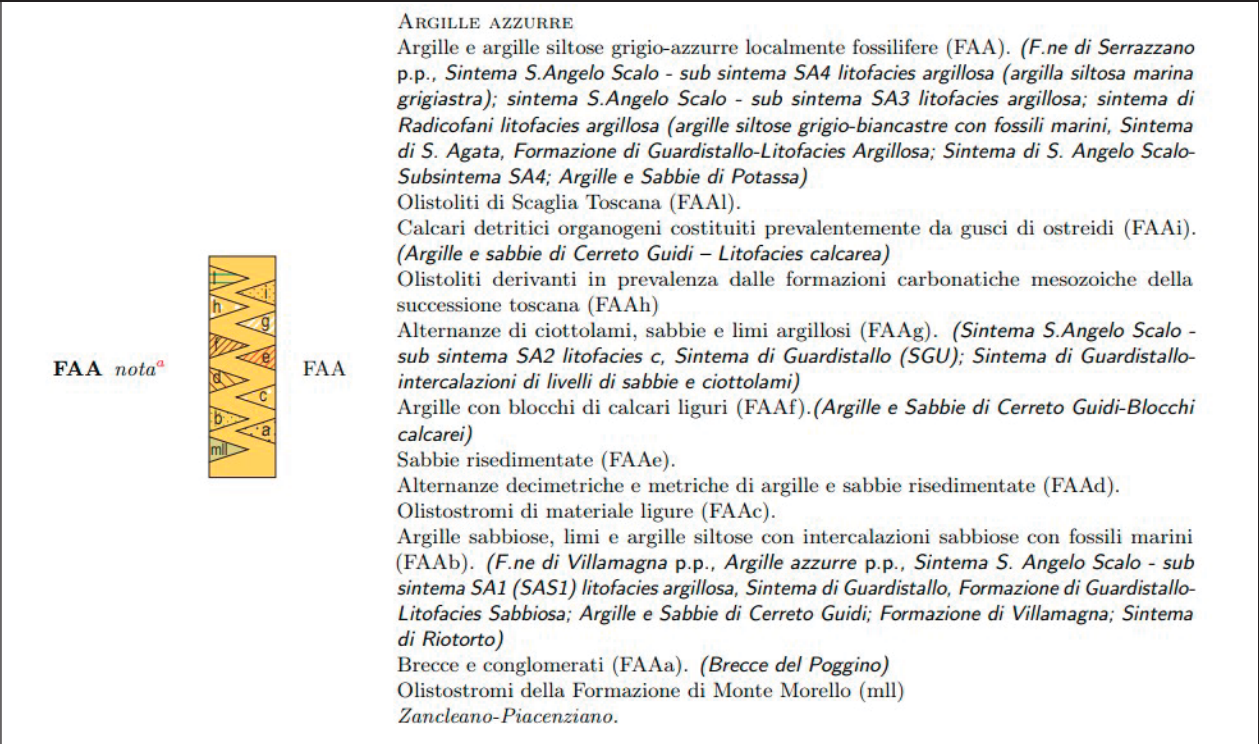
PLI PLIs



PLIs

Sabbie e arenarie gialle. (Sabbie di San Vivaldo, F.ne di San Dalmazio p.p., F.ne di Villamagna p.p., Sabbie di Siena, Arenaria di Perolla, F.ne di Lustignano p.p., Sintema S. Angelo Scalo - sub sintema SA4 (SAS4) litofacies sabbiosa (livelli di microconglomerato, sabbie carbonatiche ricche in macrofossili e sabbie fini ricche di foraminiferi); sintema S. Angelo Scalo - sub sintema SA3 (SAS3) litofacies sabbiosa (sabbie giallastre da fini a grossolane debolmente cementate con fossili marini); sintema S. Angelo Scalo - sub sintema SA1 (SAS1) litofacies sabbiosa (sabbie giallastre da fini a grossolane a luoghi cementate); sintema Radicofani litofacies sabbiosa (sabbie e sabbie grossolane organizzate in strati da spessi a molto spessi). Sintema del Bacino di Siena sub sintema di Poggigialli (F2) (sabbie di Podere Colombaiolo, Sabbie di Guardistallo, Formazione di Guardistallo, Argille e sabbie di Cerreto Guidi-Membro Sabbioso, Sintema di Riotorto)  
Zancleano-Piacenziano.





La presente indagine aveva lo scopo di definire la successione stratigrafica dei terreni esplorati e caratterizzare gli stessi in termini di velocità di propagazione delle onde sismiche e quindi di compattezza, e indicarne la categoria di sottosuolo di appartenenza.

## 2. METODOLOGIE DI INDAGINE ADOTTATE

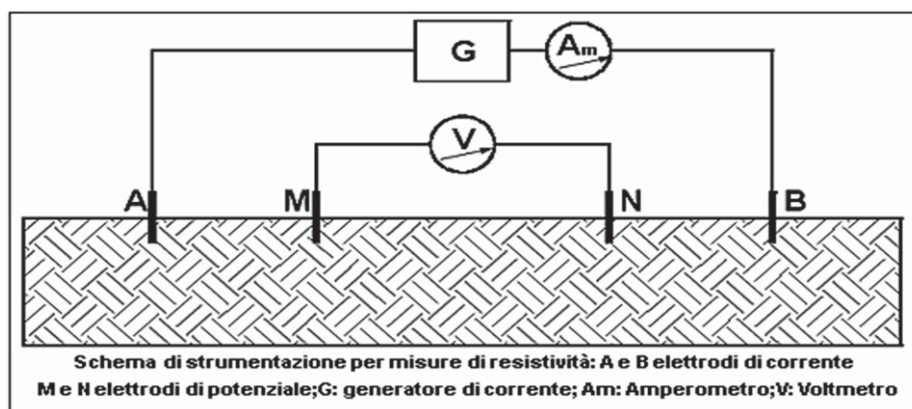
### 2.1 METODI DI RESISTIVITA'

La metodologia di indagine che è stata adottata consiste nella determinazione della resistenza elettrica specifica (resistività) dei terreni presenti nel sottosuolo, per mezzo di particolari dispositivi di acquisizione dati che permettono l'interpretazione dei risultati delle misure in termini di stratigrafia del sottosuolo stesso o per l'individuazione di discontinuità laterali.

L'interpretazione geologica dei risultati geofisici non può essere univoca, infatti valori di resistività simili possono competere a litologie differenti, ma la conoscenza del contesto geologico locale porta a ridurre al minimo tale possibilità di errore. Nel presente studio sono state eseguite misure di resistività con la tecnica dei profili multielettrodo Polo-Dipolo con elaborazione tomografica.

#### 2.1.1 ACQUISIZIONE DATI

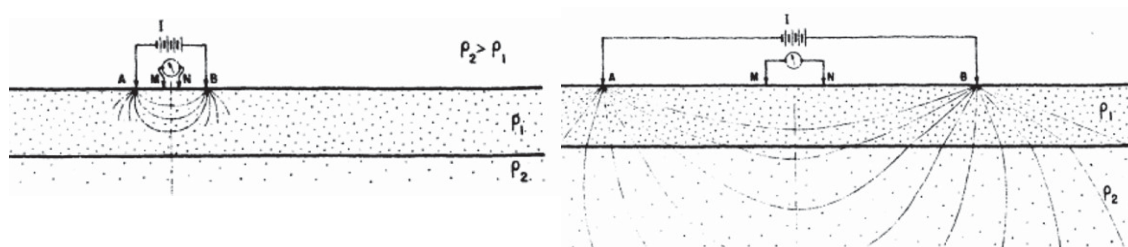
Per l'esecuzione delle misure di resistività si possono utilizzare vari dispositivi, tutti con 4 elettrodi infissi nel terreno: attraverso 2 di questi, infissi in posizioni note, si invia una corrente elettrica nel sottosuolo mentre con gli altri 2 si determina il gradiente di potenziale che si instaura tra 2 punti, in altrettante posizioni note, durante la circolazione di corrente nel terreno.



Dalla posizione degli elettrodi si risale ad un fattore geometrico che, inserito nel calcolo della resistenza (Differenza di potenziale / Corrente immessa nel terreno) porta alla definizione della resistenza specifica, cioè per unità di lunghezza, o Resistività.

Questa resistività, tuttavia, è indicativa delle caratteristiche del mezzo in cui circola la corrente solo se questo è omogeneo, altrimenti è indicativa del contesto in cui è stata fatta la misura e, in particolare, dipendente dalle dimensioni del dispositivo di misura. Un dispositivo piccolo è indicativo di una situazione molto localizzata in prossimità della superficie, dispositivi di dimensioni crescenti portano informazioni sulle caratteristiche del terreno a profondità sempre maggiori.

Pertanto, dato che il risultato delle misure raramente corrisponde alla resistenza specifica del materiale, questa viene definita apparente, cioè condizionata dallo specifico dispositivo e dipendente dalla sua dimensione.



Nella tecnica del profilo Polo-Dipolo gli elettrodi di corrente (convenzionalmente A-B) vengono posti esternamente alla linea degli elettrodi di potenziale M-N, uno a distanza pari alla dimensione di un Dipolo MN dal primo degli elettrodi di potenziale (B), l'altro (A) ad una distanza molto grande rispetto alla dimensione di tutto il dispositivo di misura di elettrodi potenziometrici.

Per una determinata posizione dell'elettrodo B si eseguono varie misure di tensione su Dipoli MN posti a varie distanze lungo il profilo, i valori che si ottengono sono riferibili a profondità via via crescenti con l'aumentare della distanza tra l'elettrodo B ed il centro M-N considerato.

L'esecuzione di varie serie di misure relative a differenti posizioni dell'elettrodo B lungo un profilo porta alla rappresentazione su una sezione dell'evoluzione della resistività nel sottosuolo.



A

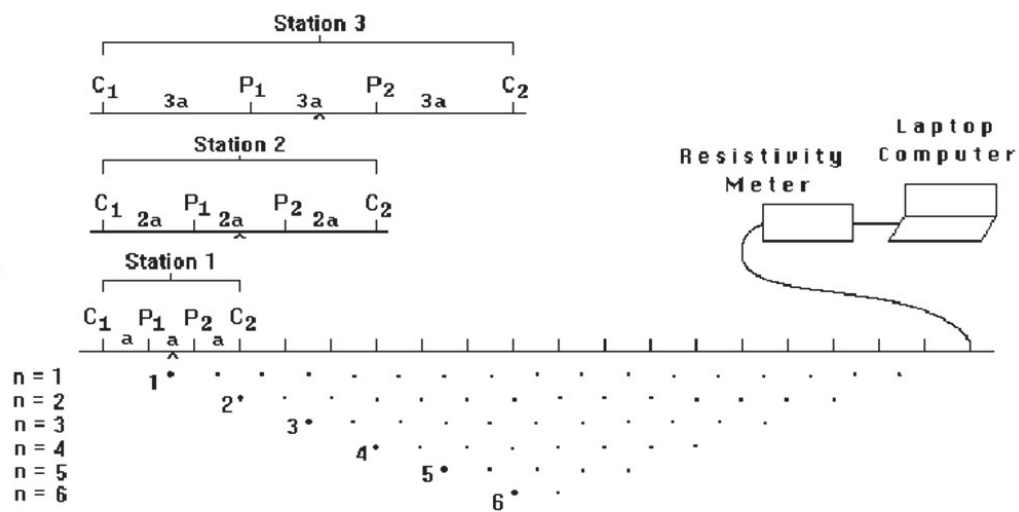
$M_n N_n$   
 Elettrodo di dispersione all'infinito



B

$M_1 N_1$

Dalle misure con il dispositivo Polo-Dipolo o con altri dispositivi quali il Dipolo-Dipolo, il Wenner (schema sotto) o lo Schlumberger, si ottengono files di dati che permettono la successiva elaborazione tomografica e ricostruzione di sezioni che rappresentano la distribuzione della resistività nel sottosuolo.



I dati relativi a questa indagine sono stati acquisiti con il sistema SYSCAL PRO della Iris Instruments, che è in grado di eseguire le misure e memorizzare i dati senza la necessità del Lap-Top Computer in campagna. I dati, vengono poi trasferiti in un altro computer per le successive elaborazioni.

Geotecnica Palazzi- Giomarelli Srl	INDAGINE GEOFISCA MULTIMETODOLOGICA FINALIZZATA ALLA PROGETTAZIONE DI UNA CASSA DI ESPANSIONE NEL COMUNE DI TORRITA DI SIENA (SI)	 Rapporto n. 2865/24 Pag. 10 / 25
--	---	---

## 2.1.2 ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONI DEI RISULTATI

L'elaborazione dei dati è finalizzata alla rappresentazione dei risultati in forma di sezioni del sottosuolo (Tomografie Elettriche) mediante linee isovalore che suggeriscono la posizione e l'andamento delle discontinuità geologiche.

In generale la profondità delle strutture che vengono messe in evidenza nelle pseudo-sezioni è stimabile con molta approssimazione, dato che la distorsione delle linee iso-resistive può avvenire per effetto di situazioni locali, poco influenti sugli spessori, ma molto sui valori di resistività.

La modellazione in termini quantitativi della situazione del sottosuolo può avvenire mediante specifici programmi di elaborazione che, tuttavia, lavorano su base numerica e non sono facilmente condizionabili con le informazioni geologiche note.

Nel caso specifico del programma utilizzato - RES2DINV - l'eventuale conoscenza della situazione stratigrafica in un punto della sezione, può essere imposta come condizione vincolante, ma sarebbe necessaria la conoscenza della sua evoluzione bidimensionale, per cui se questa non è perfettamente conosciuta è preferibile tenerne conto in fase di interpretazione geologica del risultato geofisico, come una sorta di taratura, anziché introdurre restrizioni vincolanti.

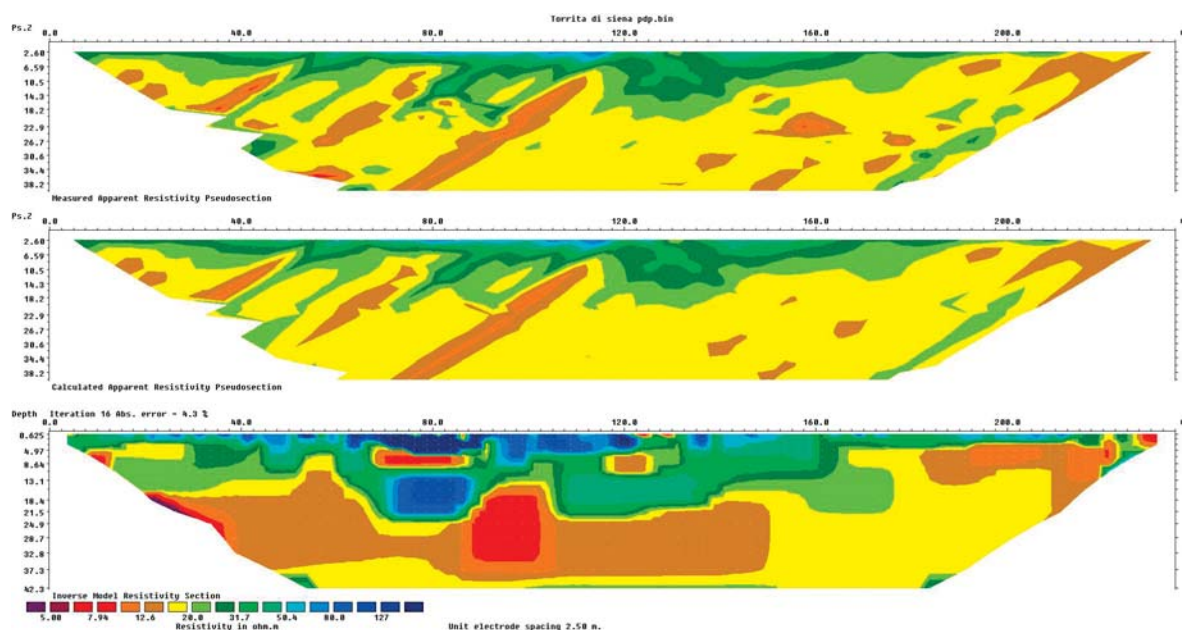
Un aspetto che è necessario tener presente nella valutazione dei risultati di questo tipo di indagini è relativo alla reale bidimensionalità del sottosuolo. Infatti il software di modellazione produce un modello che si presume debba svilupparsi nelle direzioni ortogonali al piano della sezione in maniera infinita, mantenendo costanti le forme rappresentate nel piano della tomografia. Cioè, una eventuale discontinuità verticale (faglia) che separa un tratto di sezione, caratterizzato da una resistività  $\mathbf{r}_1$  da un tratto successivo con resistività  $\mathbf{r}_2$ , si presume che si sviluppi all'infinito in maniera ortogonale al piano della sezione. Questa situazione raramente può essere riscontrata nella realtà dove, invece, le evoluzioni delle discontinuità sono "tridimensionali", e spesso difficilmente schematizzabili.

La bontà della modellazione numerica, pertanto, può essere definita solo in base alla differenza che viene calcolata tra l'insieme dei dati acquisiti lungo una linea di misura ed i dati che sono calcolati mediante specifici algoritmi, partendo da un modello matematico del sottosuolo.

Data: Settembre 2024	2865-Torrita di Siena PDP-SIS-SH-DH.doc	Approvato: Gfc	Rev. 00
-------------------------	---	-------------------	---------

Un basso scarto, o valore di RMS, tra i dati acquisiti e quelli calcolati porta a ritenere probabile che il modello ottenuto rappresenti bene la situazione del sottosuolo, ma, si deve ricordare anche che esistono, spesso, numerose situazioni di equivalenza, cioè modelli differenti possono portare a situazioni molto simili tra loro.

Di seguito si riporta l'elaborazione del PDP-02 con il relativo fit; come si può osservare dall'immagine, la convergenza tra i due modelli è molto alta ed ha portato ad uno scarto massimo (RSM) del 4.3% dopo 16 iterazioni.



È doveroso sottolineare che in questa sede si è preferito l'algoritmo "robust" del software Res2Dinv che porta ad evidenziare meglio i punti di cambio della resistività a scapito della geometria delle variazioni. In particolare questo algoritmo porta a forme geometriche più "squadrate ma con bordi più netti.

L'algoritmo standard, invece porta a forme più sinuose ma geometrie più sfumate.

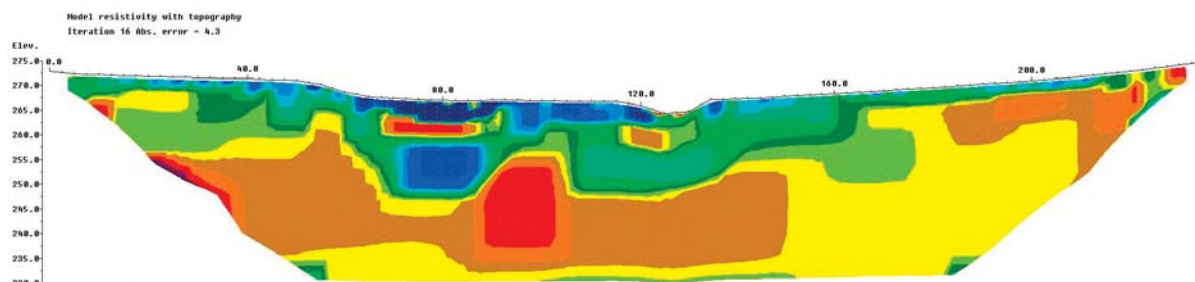
Nella pagina seguente si riporta il risultato "robust" e quello "standard" per confronto tra i due approcci matematici.

Di seguito si riportano le immagini della scala cromatica e delle due tomografie (robust e standard) in scala adattata alla pagina.

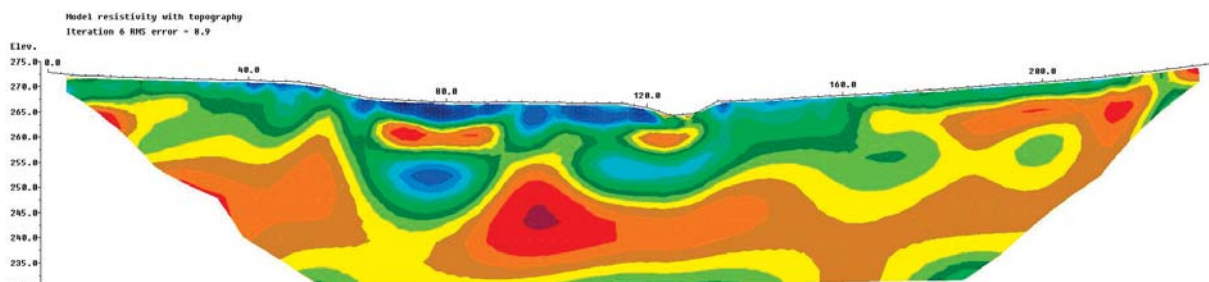




Modello ottenuto con algoritmo “robust” – RMS = 4.3



Modello ottenuto con algoritmo “standard” – RMS 8.9



Il risultato scelto dell'elaborazione è riportato in Tavola n.2 allegata al presente rapporto.

Geotecnica Palazzi- Giomarelli Srl	INDAGINE GEOFISCA MULTIMETODOLOGICA FINALIZZATA ALLA PROGETTAZIONE DI UNA CASSA DI ESPANSIONE NEL COMUNE DI TORRITA DI SIENA (SI)	 Rapporto n. 2865/24 Pag. 13 / 25
--	---	---

## 2.2. SISMICA A RIFRAZIONE

### 2.2.1 - ACQUISIZIONE DATI

Il profilo sismico è stato acquisito disponendo sul terreno una serie di sensori (geofoni), ad intervallo costante, successivamente collegati ad un sismografo mediante un cavo multipolare.

Dopo l'allestimento del dispositivo di ricezione si provvede a generare artificialmente una serie di vibrazioni impulsive in corrispondenza di punti prestabiliti lungo il profilo: nello stesso istante di partenza della vibrazione viene trasmesso al sismografo il comando di avvio della registrazione (trigger).

Da questo istante inizia l'acquisizione digitale, con campionamento ad intervallo costante e predeterminato, dei segnali ricevuti dai sensori.

Nella presente indagine è stato utilizzato il sismografo digitale DAQLink III della "Seismic Source" in configurazione da 24 canali.

Come sistema di energizzazione è stata utilizzata una mazza da 11 Kg battente su una piastra in materiale sintetico. La dinamica di campionamento digitale a 18 bit del sismografo e l'energia utilizzata per i vari punti di tiro hanno consentito una buona qualità delle registrazioni lungo tutti i profili.

Per la generazione delle onde SH, è stata utilizzata una mazza da 11 kg battente, tangenzialmente alla superficie, su una piastra di teflon posta verticalmente ai lati di una fossetta scavata nel terreno. Le registrazioni relative alle onde SH sono state effettuate dopo la sommatoria, con polarità invertita del segnale, di impulsi generati ai due lati opposti dell'asse. In questo modo si ottiene l'annullamento delle onde di compressione eventualmente generate e l'incremento del segnale delle onde SH. Le energizzazioni sono state effettuate ogni 3 geofoni, sia per le onde P che per le onde SH, ed esternamente oltre i limiti degli stessi.

Per la corretta ubicazione dei profili esplorati è stato eseguito un rilievo topografico con teodolite. I dati sono stati restituiti nel sistema di coordinate UTM 32 WGS84 (Geoide ITALY 2008).

Data: Settembre 2024	2865-Torrита di Siena PDP-SIS-SH-DH.doc	Approvato: Gfc	Rev. 00
-------------------------	---	-------------------	---------

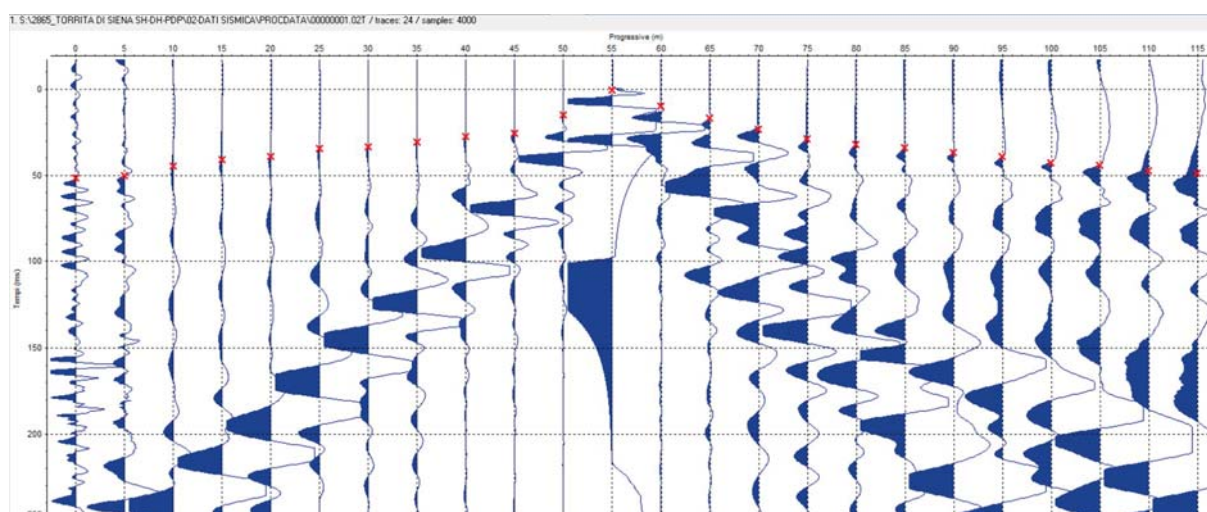
## 2.2.2 - ELABORAZIONE DATI

### PICKING

La determinazione degli istanti di primo arrivo è stata effettuata mediante l'ausilio del software Reflexw versione 7.0 che permette la visualizzazione ed eventuale miglioramento del segnale mediante tecniche di filtraggio digitale. In genere si è proceduto alla regolarizzazione della scala di ampiezza della traccia, al filtraggio di rumori ad alta frequenza e/o a bassa frequenza oltre alla eliminazione di componenti monotonali a 50 Hz derivanti da linee elettriche presenti nelle vicinanze. Queste operazioni hanno portato a notevoli miglioramenti dei sismogrammi acquisiti. Nelle pagine seguenti vengono riportate delle immagini relative ai risultati dopo tali elaborazioni, dove viene indicato il punto selezionato come istante di primo arrivo delle vibrazioni per ciascuna traccia. Questa selezione è stata effettuata manualmente con l'ausilio della funzione "PHASE FOLLOWER" di Reflexw che, laddove i segnali sono chiari, porta alla individuazione dello stesso segnale selezionato nelle tracce successive a quella in cui è stato individuato con chiarezza.

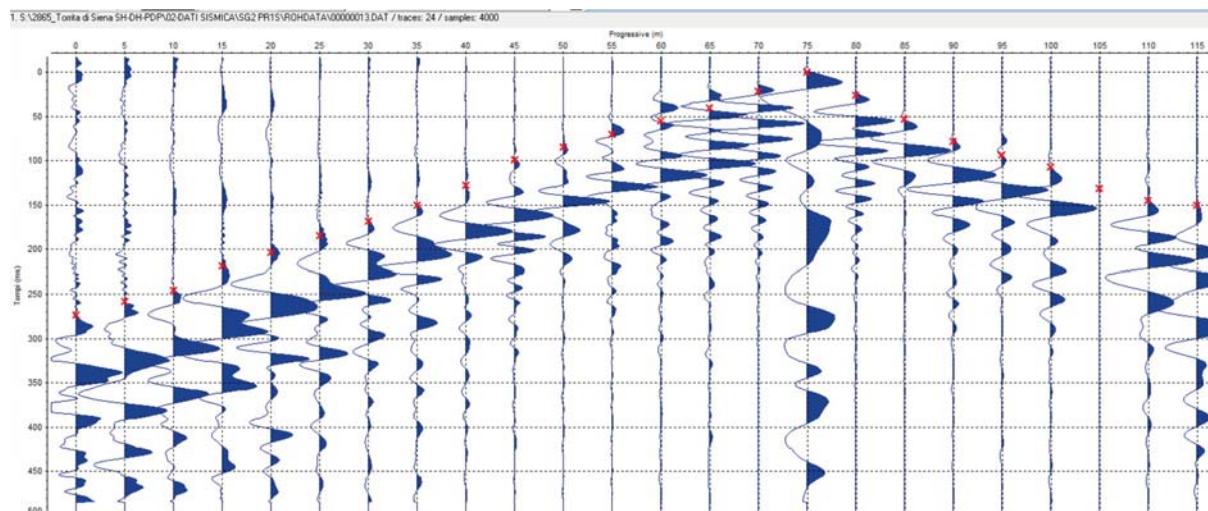
Di seguito si riportano duei esempi di sismogramma in onde P e onde S per il profilo acquisito.

**PR1 onde P tiro al geofono 12**





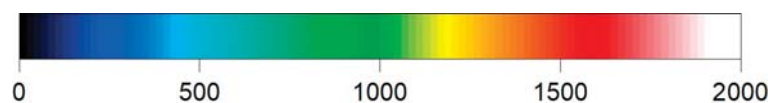
### PR1 onde S tiro al geofono 16



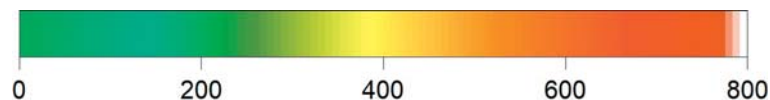
## ELABORAZIONE TOMOGRAFICA

Partendo dagli stessi dati del picking è stata effettuata la elaborazione tomografica con il software RAYFRACCT che parte da un modello iniziale generato con la tecnica Deltat-V. Successivamente viene effettuata l'inversione iterativa del modello con la tecnica WET (Wavepath Eikonal Traveltime tomography) che analizza la propagazione dei vari fronti d'onda generati nei punti di tiro fino ad ogni geofono.

Il modello stratigrafico ottenuto come insieme di elementi caratterizzati da una specifica velocità viene quindi rappresentato mediante il contour a linee di isovelocità. La colorazione dei vari elementi secondo una scala cromatica riferita ad una predefinita sequenza di velocità facilita l'immediata visione dei risultati. Nel caso specifico le tomografie in onde P sono state rappresentate mediante curve isovelocità ad intervallo di 200 m/sec ed una scala cromatica (vedi immagine sottostante) che va dal blu scuro per i valori bassi passando poi al celeste, poi al verde, poi al giallo poi al rosso ed infine al bianco per i valori massimi pari e superiori a 2.000 nella zona in esame.

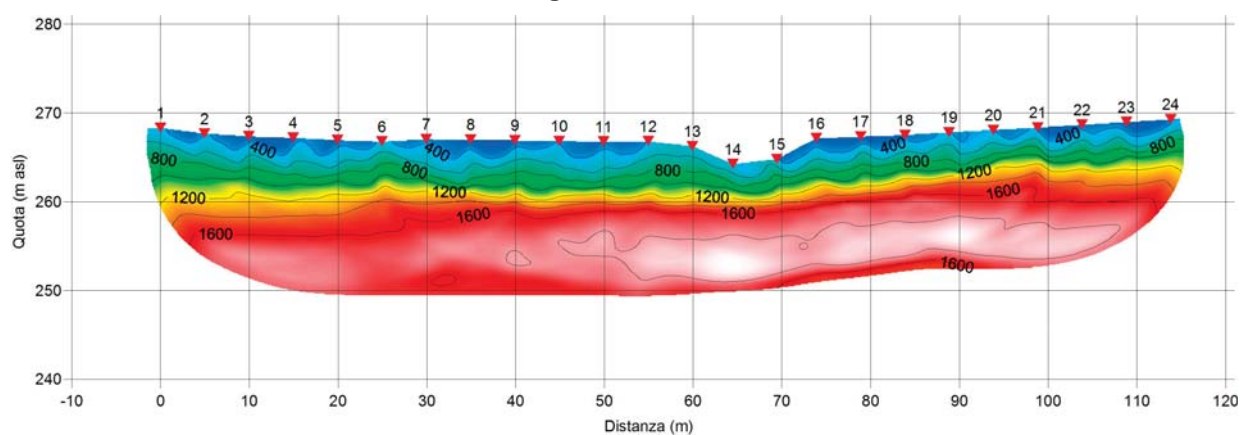


Per le onde SH le tomografie sono state calcolate nel range tra 0 e 800 m/sec e la rappresentazione ad isolinee è effettuata con intervallo di 50 m/s.

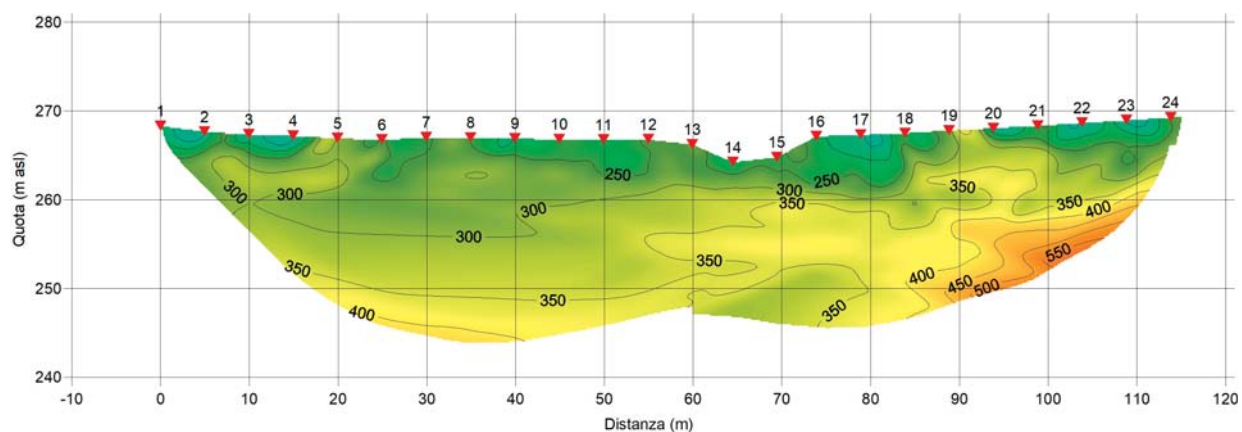


Nelle figure seguenti si riportano, in scala adattata alla pagina, le tomografie ottenute per il profilo PR1, estratte da Tavola n° 2.

**Tomografia PR1 onde P**



**Tomografia PR1 onde S**



Geotecnica Palazzi- Giomarelli Srl	INDAGINE GEOFISCA MULTIMETODOLOGICA FINALIZZATA ALLA PROGETTAZIONE DI UNA CASSA DI ESPANSIONE NEL COMUNE DI TORRITA DI SIENA (SI)	 Rapporto n. 2865/24 Pag. 17 / 25
--	---	---

## 2.3. METODO DOWN-HOLE

### 2.3.1 METODOLOGIA

Le operazioni di acquisizione dati si sono svolte il giorno 26 Agosto 2024 sul foro del sondaggio S2, profondo 30 m dal p.c., tramite acquisizione con sismografo digitale DAQ-Link III della Seismic Source con campionamento digitale con dinamica a 24 bit ed intervallo di campionamento di 100 microsecondi per una durata di 500 millisecondi.

La tecnica Down-hole consiste nel misurare i tempi di arrivo delle onde sismiche, generate in superficie, ad un gruppo di geofoni posti in un foro di sondaggio ad una determinata profondità. In particolare ogni gruppo di geofoni utilizzato in questa metodologia registra gli impulsi su tre canali provenienti da sensori orientati secondo le tre direzioni spaziali, due orizzontali (per convenzione x e y), ed una verticale (z): da questo deriva il nome convenzionale di geofono 3D o tridimensionale. Nel caso particolare il sistema di ricezione dei segnali è costituito da un doppio gruppo di geofoni tridimensionali posizionati a distanza di un metro l'uno dall'altro con orientamento parallelo tra i vari sensori. I due gruppi sono stati posizionati a profondità variabili da -1.00 fino a fondo foro.

Per quanto riguarda le modalità dell'esecuzione delle misure, per ogni profondità di posizionamento del geofono, sono state eseguite registrazioni con differenti modalità di generazione delle vibrazioni, i punti di generazione delle vibrazioni sono stati, comunque, mantenuti a distanza costante di 5 metri dal bocca-pozzo.

Le vibrazioni sono state generate secondo lo schema di figura seguente, con impulsi verticali (battendo su una piastra) e con impulsi orizzontali (battendo sui lati di una tavola zavorrata dal peso di un'autovettura), pertanto su ogni posizione dei gruppi di sensori sono stati acquisiti almeno 3 differenti segnali. Le differenti modalità con cui vengono generate le vibrazioni servono per poter distinguere, nei sismogrammi, le onde P ed SH e misurare i relativi tempi di arrivo.

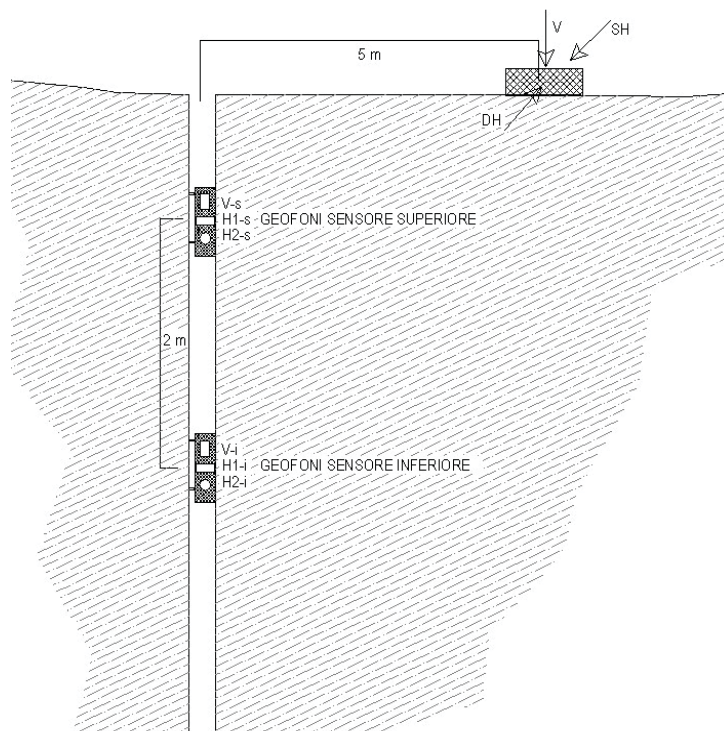
Infatti con gli impulsi orizzontali generati ai lati della tavola zavorrata si creano, quasi esclusivamente, onde di taglio. Inoltre, generando l'impulso orizzontale in due posizioni opposte (a destra e a sinistra della tavola), la polarità dell'onda sismica si inverte, mentre l'onda di compressione arriva con polarità costante: l'inversione della

Data: Settembre 2024	2865-Torrita di Siena PDP-SIS-SH-DH.doc	Approvato: Gfc	Rev. 00
-------------------------	---	-------------------	---------



polarità del segnale proveniente dai sensori orizzontali, per le due differenti energizzazioni, porta ad annullare il segnale relativo all'onda di compressione ed enfatizzare quello relativo all'onda di taglio.

Nella figura seguente si riporta lo schema operativo ed i collegamenti attivi con il sismografo per le varie acquisizioni (Il lato Sinistro o Destro dell'asse di battuta è stato stabilito come visibile dal foro di sondaggio).



Pertanto con 12 canali si acquisiscono tutte le informazioni delle varie configurazioni.

Va ricordato che i tempi misurati sui sismogrammi sono relativi al percorso inclinato tra il punto sorgente (distante 5 metri dal boccapozzo), ed i punti di posizionamento dei sensori. La correzione di questi tempi viene effettuata con la seguente formula:

$$TVC = TVM * FC$$

Dove:

TVC è il tempo calcolato sia per le onde P che per le Onde S;

TVM è il tempo misurato per il percorso obliquo;

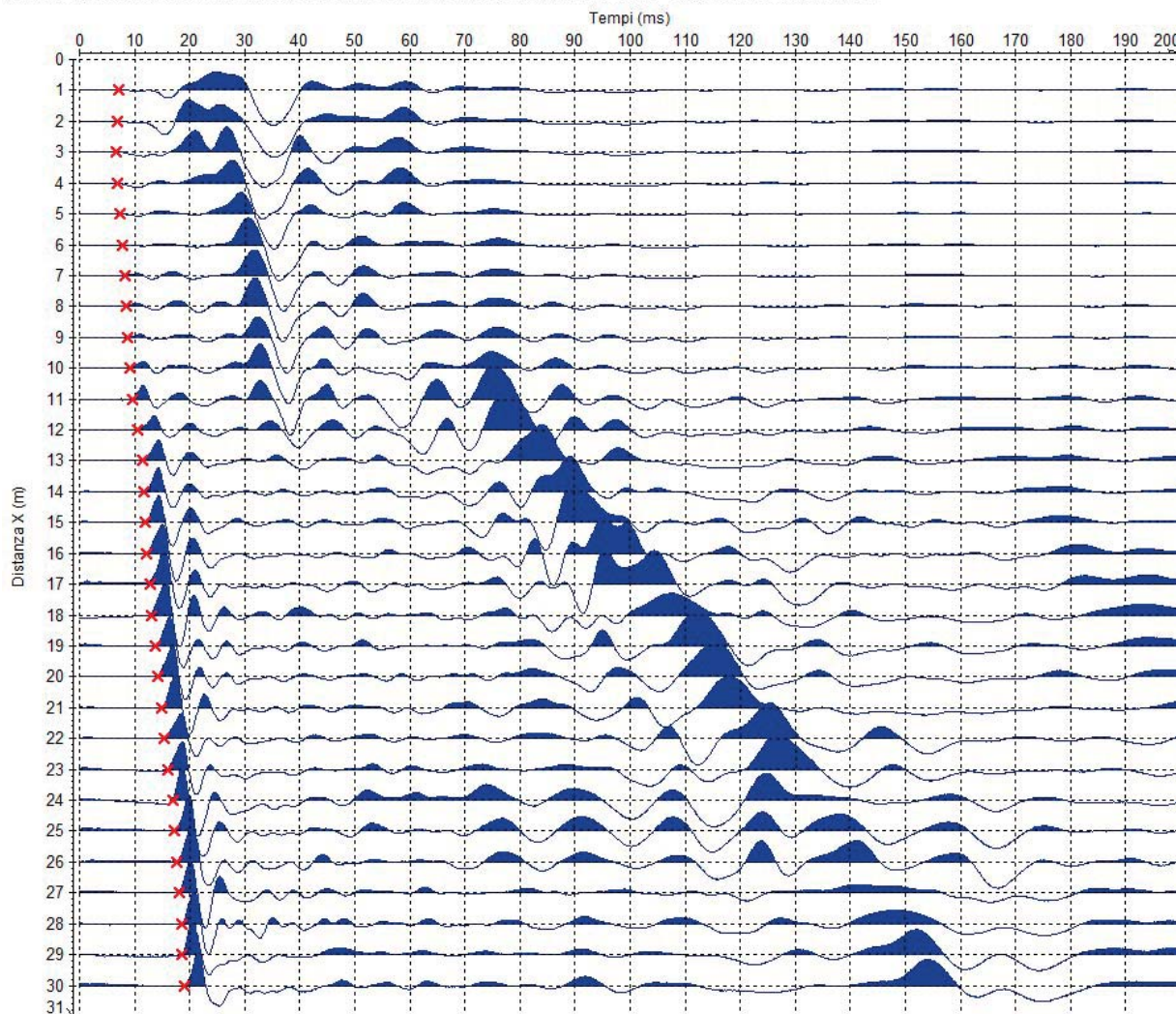
FC è il fattore di correzione dipendente dalla distanza dal boccapozzo e dalla profondità dei sensori.

## 2.3.2 - ELABORAZIONE E RESTITUZIONE DEI DATI

### STAMPA DEI SISMOGRAMMI RELATIVI AI CANALI UTILIZZATI PER LA DETERMINAZIONE DELLE VELOCITA'

Assemblaggio delle varie tracce relative al geofono verticale inferiore (V-i) del sistema di ricezione (onde P).

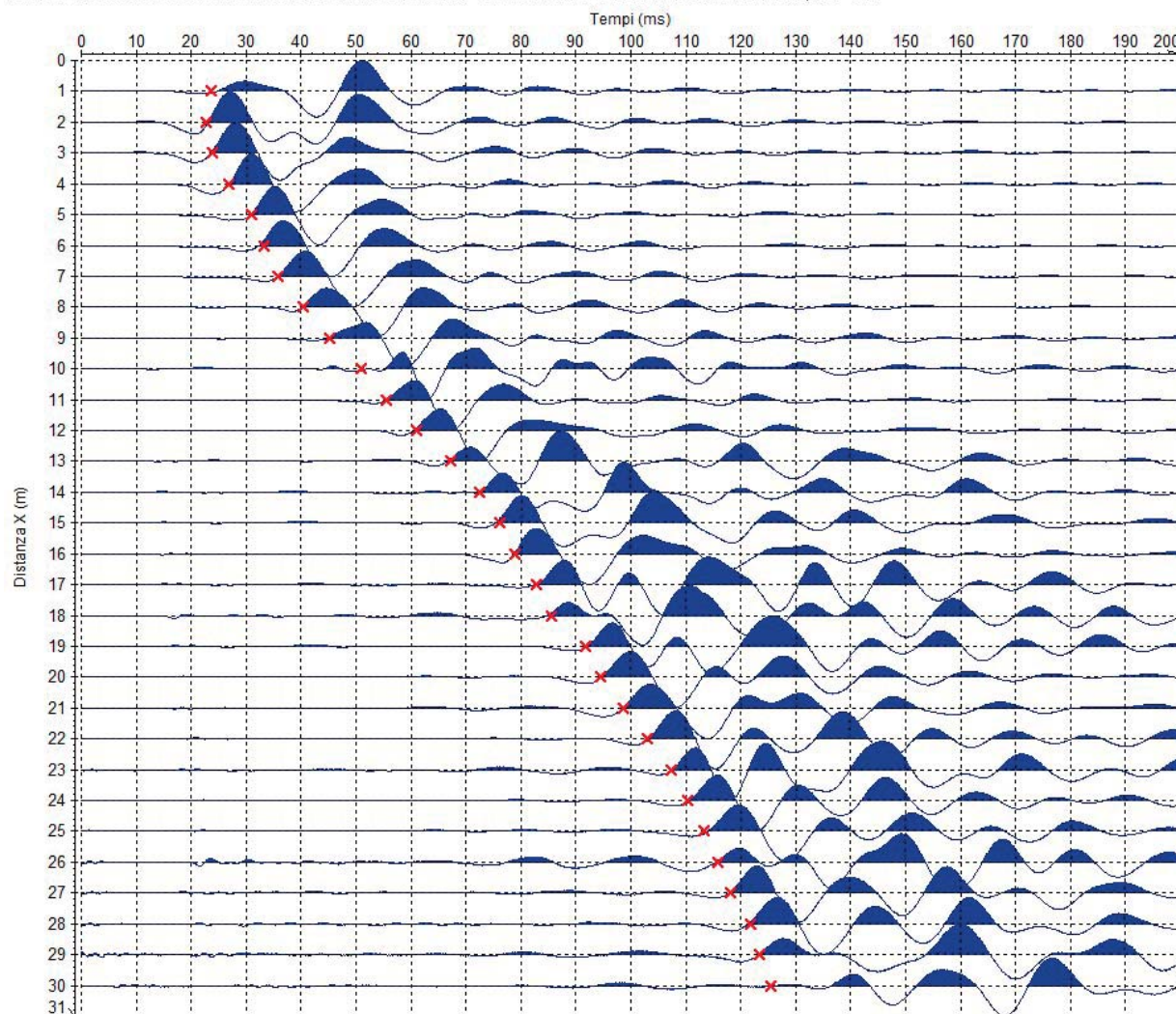
1. S:\2865\_Torrita di Siena SH-DH-PDP\06-DATI DH\DH1P\PROC DATA\00000006.26T / traces: 30 / samples: 4672





Assemblaggio delle tracce relative alla sommatoria dei segnali (battuta destra –battuta sinistra) relativi al geofono orizzontale più profondo (onde SH).

1. S:\2865\_Torrita di Siena SH-DH-PDP\06-DATI DH\DH1dx\PROC DATA\00000005.57T / traces: 30 / samples: 4664



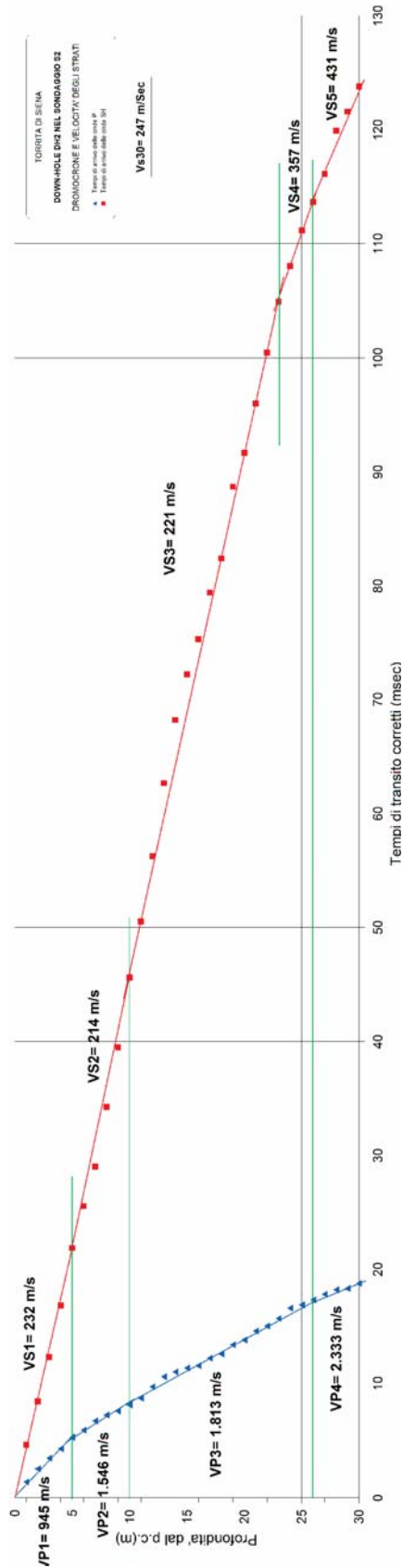
## TABELLE DEI TEMPI DI ARRIVO MISURATI E CORRETTI DELLE ONDE P E DELLE ONDE SH

<b>DbatM</b>	Distanza tra punto di battuta e boccapozzo (m)
<b>TVPM</b>	Tempo di transito misurato delle onde P
<b>TVPC</b>	Tempo di transito corretto delle onde P
<b>TVSM</b>	Tempo di transito misurato delle onde SH
<b>TVSC</b>	Tempo di transito corretto delle onde SH

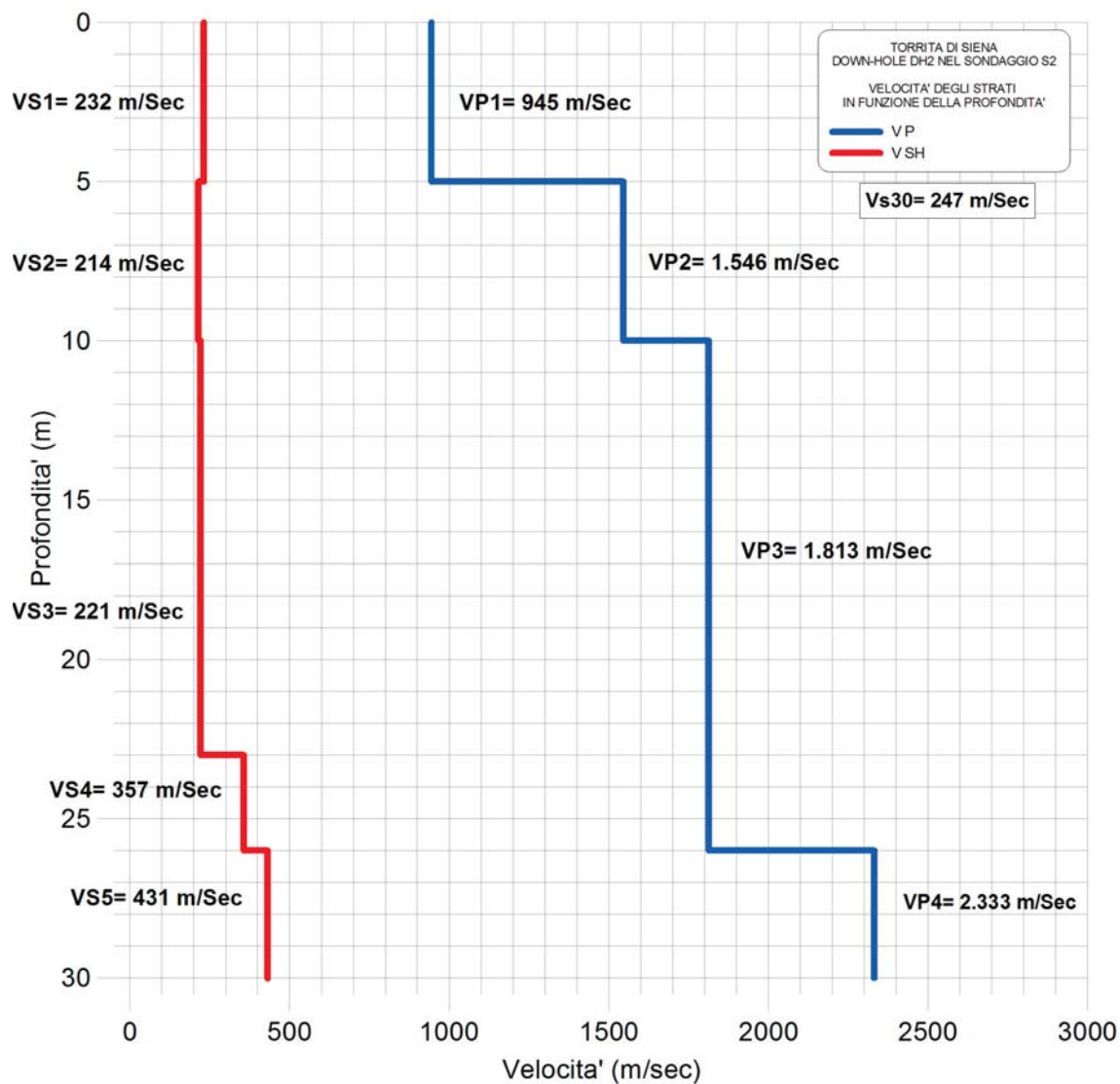
PB	DbatM	FC	TVPM	TVPC	TVSM	TVSC
1	5	0.196	7.02022	1.377	23.679581	4.644
2	5	0.371	6.813743	2.531	22.759985	8.453
3	5	0.514	6.744917	3.470	23.909479	12.301
4	5	0.625	6.882568	4.300	26.950097	16.836
5	5	0.707	7.433174	5.256	30.913347	21.859
6	5	0.768	7.708477	5.922	33.291297	25.575
7	5	0.814	8.259082	6.721	35.669247	29.025
8	5	0.848	8.534385	7.237	40.425146	34.280
9	5	0.874	8.672036	7.581	45.181044	39.495
10	5	0.894	9.08499	8.126	50.99381	45.610
11	5	0.910	9.56677	8.709	55.485493	50.512
12	5	0.923	10.53033	9.720	60.923193	56.237
13	5	0.933	11.356238	10.599	67.130461	62.656
14	5	0.942	11.700366	11.019	72.418135	68.199
15	5	0.949	11.975669	11.361	76.09439	72.189
16	5	0.954	12.11332	11.562	78.868668	75.279
17	5	0.959	12.732752	12.215	82.763582	79.401
18	5	0.964	13.07688	12.600	85.522369	82.402
19	5	0.967	13.845411	13.390	91.729637	88.709
20	5	0.970	14.246917	13.822	94.488423	91.667
21	5	0.973	15.003181	14.595	98.684916	96.001
22	5	0.975	15.425469	15.042	103.04449	100.482
23	5	0.977	16.059392	15.693	107.36276	104.912
24	5	0.979	16.953109	16.597	110.35144	108.032
25	5	0.981	17.221585	16.887	113.34894	111.148
26	5	0.982	17.644201	17.327	115.72689	113.645
27	5	0.983	18.11088	17.808	118.10483	116.130
28	5	0.984	18.489432	18.202	121.80387	119.907
29	5	0.985	18.595086	18.325	123.38917	121.595
30	5	0.986	19.017701	18.759	125.5029	123.795



DROMOCRONE E CALCOLO DELLE VELOCITA' DI STRATO



## DIAGRAMMA DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE P ED SH



### 3. CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI OTTENUTI

L'elaborazione dei dati ha portato alla realizzazione di una sezione interpretativa riportata in Tavola n° 3, allegata al presente rapporto tecnico, di cui di seguito si riporta la legenda.



I primi 4 strati, distinti sulla base dei risultati emersi dall'indagine geoelettrica, sono stati associati alla presenza dei depositi recenti, di tipo alluvionale e/o colluviale.

I terreni alto resistivi, caratterizzati da valori superiori a 40 Ohm\*m, sono stati associati ai depositi prevalentemente sabbioso-ghiaiosi (più superficiali) e argilloso-sabbiosi. A questi appartengono sicuramente i terreni di tipo alluvionale e i paleoalvei caratterizzati da litologie più grossolane (valori di resistività superiori a 70-80 Ohm\*m)

I terreni caratterizzati invece da resistività inferiori, sono stati associati a litologie argillose o limo-argillose.

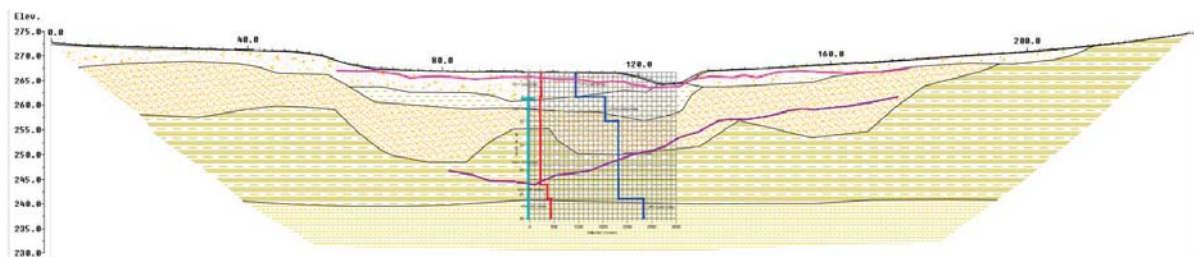
Lo strato più profondo, che si colloca a quote di circa 240-245m s.l.m., è stato associato alla presenza dei depositi argilloso-sabbiosi Pleistocenici o Pliocenici, e si ritiene possa essere la base dei terreni più recenti.

Dal punto di vista delle velocità sismiche quanto emerso dalla sismica in foro Down-Hole trova conferma con i risultati della tomografia sismica di resistività.

In fase di interpretazione sono state evidenziate le due isovelocità  $V_S = 180$  m/sec e  $V_S = 360$  m/sec, limiti di passaggio dalla Categoria di sottosuolo C a quella B; nel caso in esame possono essere utilizzate anche per distinguere i terreni superficiali, molto allentati, da quelli sottostanti, caratterizzati da  $V_S$  comprese tra 180 e 360 m/sec, di natura alluvionale e/o colluviale.

I terreni caratterizzati da  $V_S$  superiori a 360 m/sec, si ritiene possano essere associati alla *Formazione in situ* o ai prodotti di alterazione della stessa.

Di seguito si riporta la sezione interpretativa di Tavola n.3, in scala adattata alla pagina, a cui è stato sovrapposto il diagramma delle velocità delle onde P ed S ottenuto dall'elaborazione del Down-Hole.



Da quanto emerso dal Down-Hole è stato possibile calcolare anche il valore del parametro  $V_s$  equivalente, come da vigente normativa per le costruzioni in zona sismica (NTC 2018), che corrisponde alla velocità equivalente delle onde sismiche di taglio nello spessore dei terreni soprastanti il substrato inalterato con  $V_s \geq 800$  m/sec;

Da quanto emerso risulta che i terreni di fondazione ricadono in **Categoria C** con un valore di **VS30 pari a 247 m/sec**.

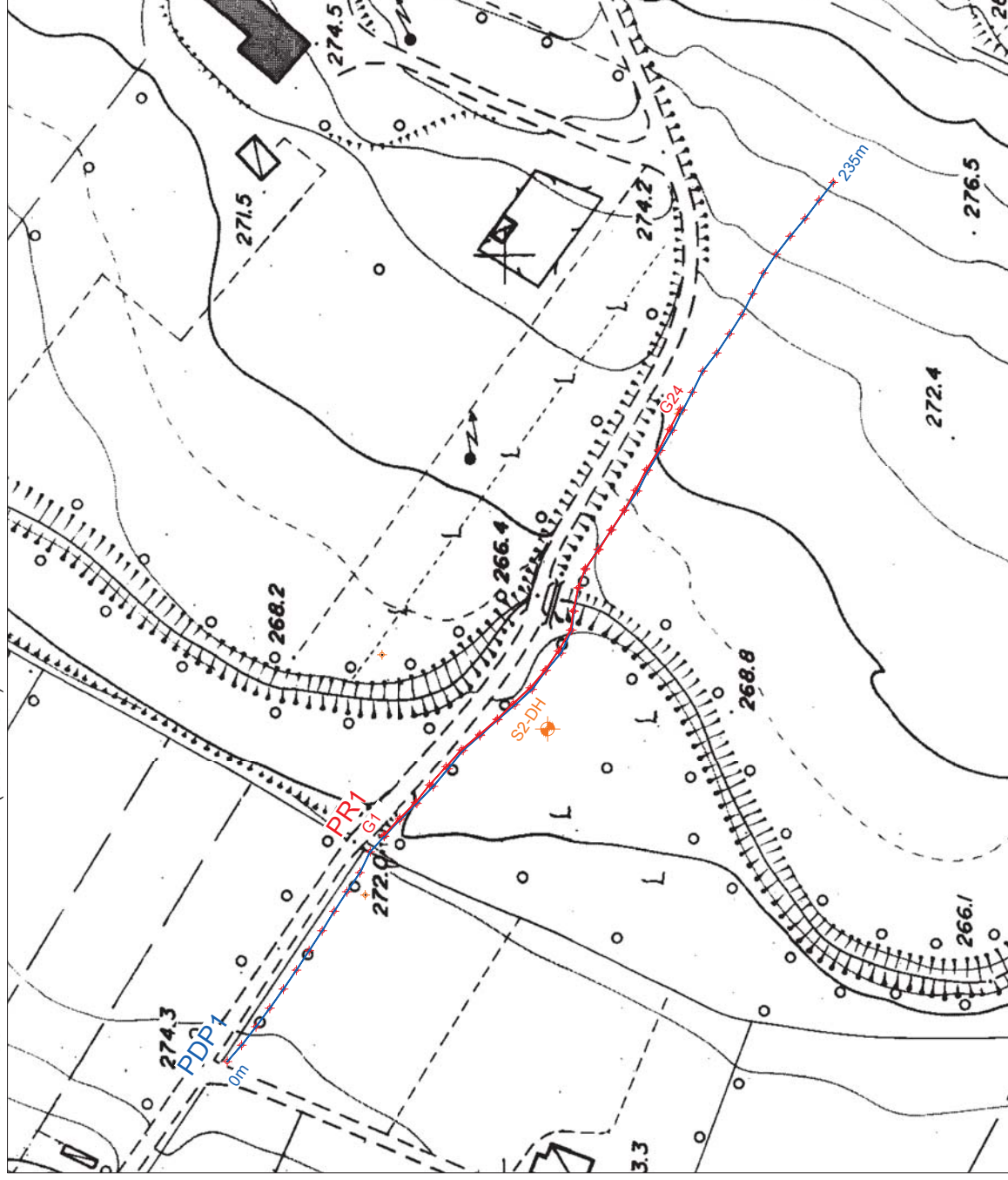
Dott. Geol. Gianfranco Censini

Sinalunga, Settembre 2024

Dott.ssa in Geologia

Giulia Censini





## LEGENDA



Area di indagine

PR1

G24

PDP-01

Traccia sigla e progressiva del profilo geoelettrico

0m

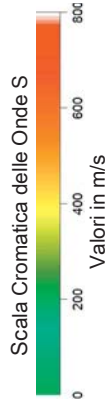
Revisione:	Descrizione:	Data:	Firma:
	Prima edizione:	17/08/2024	GFC
PRECISIONE:			
Distanze:			
Quote:			
Profondità:			
Data: Agosto 2024		TITOLO:  PIANO DI POSIZIONE DELLE INDAGINI	

<p>TAVOLA N. 1 Scala: Varie</p>	<p>UBICAZIONE:</p> <p>COMUNE DI TORRITA DI SIENA PROVINCIA DI SIENA</p>
<p>Archivio: 2865/24</p>	<p>COMMITTENTE:</p> <p>GEOTECNICA PALAZZI GIOMARELLI SRL</p>
<p>DIREZIONE INDAGINE GEOFISICA: Dott. Geol. GIANFRANCO CENSINI</p>	<p>DIREZIONE INDAGINE GEOLOGICA: Dott. Geol. FRANCO BULGARELLI</p>



PROSPERAZIONI GEOFISICHE PER L'ESPLORAZIONE,  
LO STUDIO E LA CARATTERIZZAZIONE DEL SOTTOSUOLO

Via E. Fermi, 8 53048 SINALUNGA (SI) - ITALY, Tel +39.0577.55.39.05  
<http://www.georisorse.it> - email: [info@georisorse.it](mailto:info@georisorse.it)



Revisione:	Descrizione:	Data:	Firma:
	Prima edizione:	17/08/2024	GFC
	PRECISIONE:		
	Distanze:		
	Quote:		
	Profondità:		
	INDAGINE GEOFISICA MULTIMETODOLOGICA FINALIZZATA ALLA PROGETTAZIONE DI UNA CASSA DI ESPANSIONE		
	TITOLO:		
	TOMOGRAFIA ELETTRICA DI RESISTIVITÀ DEL PROFILO PDP1 TOMOGRAFIA SISMICA IN ONDE P ED S DEL PROFILO PR1		
	Data:	Agosto 2024	

UBICAZIONE:	TAVOLA N. 2 Scala: 1.1000	COMUNE DI TORRITA DI SIENA PROVINCIA DI SIENA
COMMITTENTE:	Archivio: 2865/24	GEOTECNICA PALAZZI GIOMARELLI SRL
DIREZIONE INDAGINE GEOFISICA: Dott. Geol. GIANFRANCO CENSINI	DIREZIONE INDAGINE GEOLOGICA: Dott. Geol. FRANCO BULGARELLI	



PROSPERITÀ GEOLOGICA PER L'ESPLORAZIONE,  
LO STUDIO E LA CARATTERIZZAZIONE DEL SOTTOSUOLO

Via E. Fermi, 8 53048 SINALUNGA (SI) - ITALY , Tel +39.0577.55.39.05  
<http://www.georisorse.it> - email: [info@georisorse.it](mailto:info@georisorse.it)

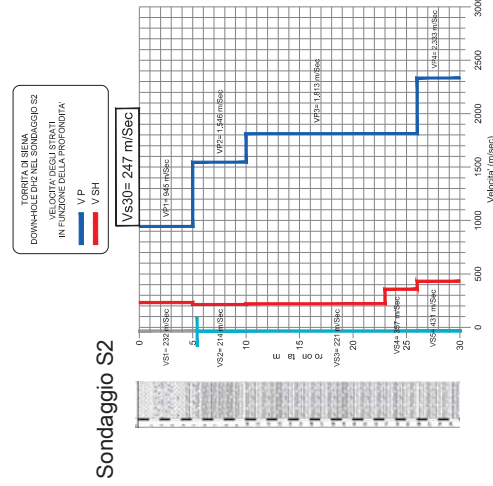


Depositi recenti:

- Prevalentemente sabbioso ghiaiosi  
Prevalentemente argillosi  
Prevalentemente argilloso-sabbiosi  
Prevalentemente limo-argillosi

Substrato Pleistocénico o Pliocénico:

Facies prevalentemente argillosa-sabbiosa



Livello falda freatica

Revisione:	Descrizione:	Data:	Firma:
	Prima edizione:	17/08/2024	GFC
PRECISIONE:			
Distanze:			
Quote:			
Profondità:			
TITOLO:			
Data: Agosto 2024	SEZIONE INTERPRETATIVA DEL PROFILO PDP-01 - PR1 ED ELABORAZIONE DELLA PROVA SISMICA IN FORO DOWN-HOLE		

TAVOLA N. 2 Scala: 1.1000		UBICAZIONE:  COMUNE DI TORRITA DI SIENA PROVINCIA DI SIENA	
Archivio: 2865/24		COMMITTENTE:  GEOTECNICA PALAZZI GIOMARELLI SRL	
DIREZIONE INDAGINE GEOFISICA: Dott. Geol. GIANFRANCO CENSINI		DIREZIONE INDAGINE GEOLOGICA: Dott. Geol. FRANCO BULGARELLI	
<div><div><p>PROFESSIONI GEOFISICHE PER L'ESPLORAZIONE, LO STUDIO E LA CARATTERIZZAZIONE DEL SOTTOSUOLO</p><p><a href="http://www.georisorse.it">http://www.georisorse.it</a> - email: <a href="mailto:info@georisorse.it">info@georisorse.it</a></p></div></div> <div>Via E. Fermi, 8 53048 SINALUNGA (SI) - ITALY , Tel +39.0577.55.39.05</div>			