

“FAVAZZINA”

Impianto di accumulo idroelettrico mediante pompaggio
ad alta flessibilità

Comune di Scilla (RC)

COMMITTENTE



COORDINAMENTO / MANDANTE



Progettista: Ing. Luigi Lorenzo Papetti

INDAGINI GEOFISICHE /
MANDATARIA



Società per l'esplorazione geofisica
del sottosuolo

Geologo: Dott. Geol. Gianfranco Censini

Indagine geofisica multimetodologica Rapporto tecnico

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	PRIMA EMISSIONE	23/03/2023	GC	GFC	GFC

Codice commessa: 1422 Codifica documento: 1422-A-GE-R-01-0



INTEGRATO 2018
Certificato n. 151/191/2012

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

GEORISORSE
ITALIA

**COMUNE DI SCILLA
PROVINCIA DI REGGIO CALABRIA**

**FAVAZZINA
IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE
POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ**

INDAGINE GEOFISICA MULTIMETODOLOGICA

Committente:



Coordinamento/Mandante:



Rapporto Tecnico
#2730/23

di:

GIANFRANCO CENSINI
Geologo / Geofisico

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

Marzo 2023

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 – info@georisorse.it – georisorse.italia@pec.it

1983 - 2023

GEORISORSE ITALIA




Quarant'anni di esplorazione geofisica del sottosuolo

Contenuto

1. PREMESSA	5
2. SCOPO DEL LAVORO E QUADRO GEOLOGICO	6
3. ATTIVITÀ SVOLTE	8
4. METODOLOGIA DI PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE	12
4.1. ACQUISIZIONE DATI INDAGINE SISMICA	12
4.2. ELABORAZIONE DATI	13
5. METODOLOGIA DI PROSPEZIONE GEOELETTRICA TOMOGRAFICA.....	27
5.1 ACQUISIZIONE DATI.....	27
5.2 ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONI DEI RISULTATI.....	31
6. MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES).....	44
6.1 METODOLOGIA.....	44
6.2 SISTEMA D'ACQUISIZIONE.....	48
6.3 ELABORAZIONE DATI.....	49
7. PRESENTAZIONE E CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI	52

Allegati:

N° 4 TAVOLE (formato A1)

<p>Committente:  Coordinamento/Mandante: </p>	<p>FAVAZZINA IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ INDAGINE GEOFISICA MULTIMETODOLOGICA</p>	 Rapporto n. 2730/23 Pag. 3 / 67
--	---	--

Indice delle figure

Figura 1	Localizzazione delle aree di studio, su base GoogleEarth®	5
Figura 2	localizzazione dei profili sismici, elettrici e della MASW eseguiti sull'altopiano di Melia	9
Figura 3	Localizzazione dei profili sismici, elettrici eseguiti nell'area dell'opera di presa di valle	10
Figura 4	Simbologie utilizzate nel Piano di Posizione delle indagini	11
Figura 5	Sismogramma del profilo PR6, geofono 27, progr. 130 m.....	13
Figura 6	Esempio generico di velocità calcolata nei punti di incrocio delle dromocrone rappresentate alle rispettive profondità.....	14
Figura 7	Esempio di modello ad elementi finiti relativo all'esempio di Figura 6.....	15
Figura 8	Esempio di valutazione d'insieme delle dromocrone sperimentali (linee continue) e quelle teoriche (linee tratteggiate)	16
Figura 9	Scala cromatica delle velocità, espresse in metri al secondo (m/s)	16
Figura 10	Tomografia sismica PR1. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.	18
Figura 11	tomografia sismica PR2. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.	19
Figura 12	tomografia sismica PR3. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.	20
Figura 13	tomografia sismica PR4. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.	21
Figura 14	tomografia sismica PR5. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.	22
Figura 15	tomografia sismica PR6. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.	23
Figura 16	tomografia sismica PR7. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.	24
Figura 17	tomografia sismica PR8. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.	25
Figura 18	tomografia sismica PR9. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.	26
Figura 19	schema generico per misure di resistività elettrica	28
Figura 20	Propagazione del segnale fino a differenti profondità	29
Figura 21	Dispositivo Polo-Dipolo	29
Figura 22	Approccio multi-elettrodico.....	30
Figura 23	Print-screen del software utilizzato per la modellazione tomografica.	32
Figura 24	Scala cromatica dei valori di resistività in ohm x m utilizzata.	33
Figura 25	tomografia elettrica PR1. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.	35
Figura 26	tomografia elettrica PR2. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.	36
Figura 27	tomografia elettrica PR3. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.	37
Figura 28	tomografia elettrica PR4. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.	38

Data Marzo 2023	2730-Favazzina SIS-ERT-MASW-230323	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	------------------------------------	----------------	---------




<p>Committente:</p>  <p>Coordinamento/Mandante:</p> 	<p>FAVAZZINA IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ INDAGINE GEOFISICA MULTIMETODOLOGICA</p>	 <p>Rapporto n. 2730/23 Pag. 4 / 67</p>
--	---	---

Figura 29	tomografia elettrica PR5. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.	39
Figura 30	tomografia elettrica PR6. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.	40
Figura 31	tomografia elettrica PR7. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.	41
Figura 32	tomografia elettrica PR8. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.	42
Figura 33	tomografia elettrica PR9. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.	43
Figura 34	Modalità di propagazione delle onde di superficie e strati interessati	46
Figura 35	Calcolo delle velocità sismica e della lunghezza d'onda delle onde di superficie al variare della frequenza dei segnali	47
Figura 36	Sismogramma registrato energizzando a 5m dal primo geofono.....	48
Figura 37	MASW 1 picking della curva di dispersione nel range di frequenza 6-30 Hz....	49
Figura 38	Best Fitting della curva sperimentale con quella teorica	50
Figura 39	Profilo Vs/Z ottenuto dall'elaborazione della MASW e diagramma a cannocchiale dello stesso.....	51
Figura 40	Legenda interpretativa delle sezioni dell'area di monte.....	52
Figura 41	Legenda interpretativa comune ad entrambe le aree	53
Figura 42	Sezione interpretativa del profilo PR1	54
Figura 43	Sezione interpretativa del profilo PR2	55
Figura 44	Sezione interpretativa del profilo PR3	56
Figura 45	Sezione interpretativa del profilo PR4	57
Figura 46	Sezione interpretativa del profilo PR5	58
Figura 47	Sezione interpretativa del profilo PR6	59
Figura 48	Sezione interpretativa del profilo PR7	60
Figura 49	Ubicazione delle linee di frattura ipotizzate nell'area di monte.	62
Figura 50	Legenda delle sezioni interpretative dei Profili PR8 e PR9	63
Figura 51	Sezione interpretativa del profilo PR8	64
Figura 52	Sezione interpretativa del profilo PR9	65
Figura 53	Ubicazione delle linee di frattura ipotizzate nell'area di valle.....	66
Figura 54	Diagramma acannocchiale redatto per la prova MASW e scala cromatica	67

RAD <small>(Responsabile Acquisizione Dati)</small>	RED <small>(Responsabile Elaborazione Dati)</small>	QC <small>(Responsabile Controllo Qualità)</small>
Dr Federico Verrazzani	D.ssa Chiara Amerighi	D.ssa Giulia Censini

Data Marzo 2023	2730-Favazzina SIS-ERT-MASW-230323	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	------------------------------------	----------------	---------

1. PREMESSA

Nei mesi di febbraio e marzo 2023, Georisorse Italia, quale mandataria su incarico della Mandante FROSIO Next, ha eseguito una campagna di indagini geofisiche multimetodologiche nell’ambito del progetto “Favazzina - Impianto di accumulo idroelettrico mediante pompaggio ad alta flessibilità” ubicato nel Comune di Scilla.




Le indagini sono state condotte sull’altopiano della frazione di Melia, in cui è prevista la realizzazione del bacino di monte, e nella zona dell’opera di presa di valle, in prossimità della linea di costa.

In Figura 1 sono indicate le due aree di studio.



Figura 1 Localizzazione delle aree di studio, su base GoogleEarth®

Data Marzo 2023	2730-Favazzina SIS-ERT-MASW-230323	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	------------------------------------	----------------	---------

Committente:  Coordinamento/Mandante: 	FAVAZZINA IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ INDAGINE GEOFISICA MULTIMETODOLOGICA	 Rapporto n. 2730/23 Pag. 6 / 67
---	--	--

2. SCOPO DEL LAVORO E QUADRO GEOLOGICO

L'indagine geofisica è stata eseguita con lo scopo di definire l'assetto litostratigrafico dell'area di studio, nonché evidenziare la possibile esistenza di lineamenti tettonici sepolti e/o di fenomeni di instabilità. In particolare, le indagini condotte avevano i seguenti obiettivi:




-sismica: definire le variazioni di consolidamento dei materiali e nell'area del bacino di monte, il passaggio tra le Formazioni Pleistoceniche dei terrazzi marini e quelle del Basamento cristallino

-geoelettrica: fornire una interpretazione litologica in termini di materiali, distinguendo tra quelli conduttivi (depositi argillosi, zone d'alterazione e/o marcata fratturazione) e resistivi (arenarie, conglomerati e calcareniti della formazione del Pleistocene inf., rocce del substrato metamorfico/cristallino costituito-in genere gneiss occhiadino).

Una dettagliata descrizione dell'assetto geologico dell'area può essere trovata nel rapporto preparato dal Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse (DiSTAR) dell'Università degli Studi di Napoli Federico II e il Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche ed Ambientali dell'Università di Catania (febbraio-marzo 2023). In questa sede si ricorda, brevemente, che le due aree oggetto di studio sono caratterizzate da differenze litologiche molto importanti: infatti, l'area di monte (l'altopiano di Melia) è caratterizzata da una serie di depositi recenti, di natura limoso-sabbiosa, ascrivibili a terrazzi marini databili Pleistocene inf.-Pleistocene medio. L'area di valle, invece, è interamente caratterizzata dal basamento cristallino e solo verso mare dai depositi alluvionali e/o di deposizione marina attuale.

La zona di passaggio tra le due aree, ovvero il versante sovrastante l'abitato di Scilla e Favazzina, è caratterizzata da valloni molto incisi che degradano da quote di oltre 600 m slm fino alla zona litoranea.

Data Marzo 2023	2730-Favazzina SIS-ERT-MASW-230323	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	------------------------------------	----------------	---------

Committente:  Coordinamento/Mandante: 	FAVAZZINA IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ INDAGINE GEOFISICA MULTIMETODOLOGICA	 Rapporto n. 2730/23 Pag. 7 / 67
---	--	--

Gli assi principali delle valli si sviluppano circa NNO-SSE, cioè parallelamente alla direzione di alcune delle famiglie di fratture più persistenti della zona. Pertanto, è probabile che questa sia la direttrice strutturale che ha condizionato l'evoluzione della morfologia tra l'altopiano e la zona litoranea, formando queste profonde incisioni lungo le zone di maggior debolezza. Tali allineamenti sono ben visibili lungo tutto il versante, infatti il *pattern* di drenaggio dei principali corsi d'acqua presenti nell'area è di tipo parallelo a partire dal bordo dell'altopiano fino alla zona costiera.

Non si può escludere, quindi, che queste strutture abbiano condizionato la morfologia della zona anche prima del Pleistocene e che, pertanto, la base di appoggio dei depositi marini dei terrazzi che costituiscono l'attuale altopiano, avesse, prima del Pleistocene, una morfologia già caratterizzata da queste incisioni vallive.

Anche se queste strutture non hanno dato segni di movimento in tempi "geologicamente recenti", è probabile che siano caratterizzate da fasce di fratturazione dove si è maggiormente instaurata l'erosione.

In relazione alla definizione dell'invaso di monte, le informazioni ottenute dalle campagne di indagini oggetto del presente studio, permetteranno di ottimizzare la progettazione. In particolare, le indagini geoelettriche, laddove si sono identificate zone più conduttive, hanno permesso di ipotizzare la presenza di materiali argillosi dove la permeabilità del terreno è sicuramente inferiore rispetto a quelle zone caratterizzate da valori di resistività più elevati.

Il presente rapporto contiene, oltre all'indicazione delle attività svolte, la descrizione delle metodologie d'indagine, le tecniche di elaborazione, i criteri di interpretazione ed i risultati conseguiti anche in rapporto alle conoscenze geologiche della zona.

Data Marzo 2023	2730-Favazzina SIS-ERT-MASW-230323	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	------------------------------------	----------------	---------

3. ATTIVITÀ SVOLTE

L'area in cui è prevista la realizzazione del bacino di monte, nell'altopiano di Melia, è stata indagata mediante l'esecuzione di n.7 profili sismici a rifrazione in onde P, altrettanti profili geoelettrici con dispositivo elettrodico del tipo Polo-Dipolo eseguiti in sovrapposizione a quelli sismici e n.1 prova MASW in asse con il profilo PR2 (Figura 2).

In Tabella 1 si riportano le caratteristiche principali degli stendimenti eseguiti nell'area del bacino di monte.

ALTOPIANO DI MELIA -BACINO DI MONTE			
#ID	UTM Coord Inizio	UTM Coord Fine	Lunghezza (m) Sismica / Geoelettrica
PR1	564986.33 -4232300.61	565011.77 -4232070.91	240 / 240
PR2	565094.40 -4232309.18	565287.91 -4232441.81	240 / 240
PR3	565410.35 -4232271.14	565475.45-4232497.82	240 / 240
PR4	565546.14 -4232343.49	565781.39 -4232330.77	240 / 240
PR5	565098.35 -4232236.63	565317.46 -4232151.72	240/120
PR6	565350.20- 4232211.51	565570.03- 4232128.46	240 / 240
PR7	565060.80-4231972.14	565130.48-4232063.63	120
METRI TOTALI ACQUISITI			
Sismica / Geoelettrica			1'560 / 1'440

Tabella 1 Identificativi (#ID) dei profili con le relative coordinate di inizio e fine (UTM-WGS84) e la lunghezza complessiva

Il profilo geoelettrico PR5 è stato acquisito per una lunghezza complessiva di 120 m, a differenza di quanto fatto per il profilo sismico per motivi logistici.

Lungo il PR2, nella parte centrale, sono stati acquisiti anche i dati utilizzati per l'analisi della propagazione delle onde di taglio fino a 30 m di profondità (parametro VS30) per la caratterizzazione sismica del terreno di fondazione degli

argini del Bacino di Monte. In Figura 2 è riportata l'ubicazione delle indagini svolte (per dettagli vedi Tavola n°1 allegata).

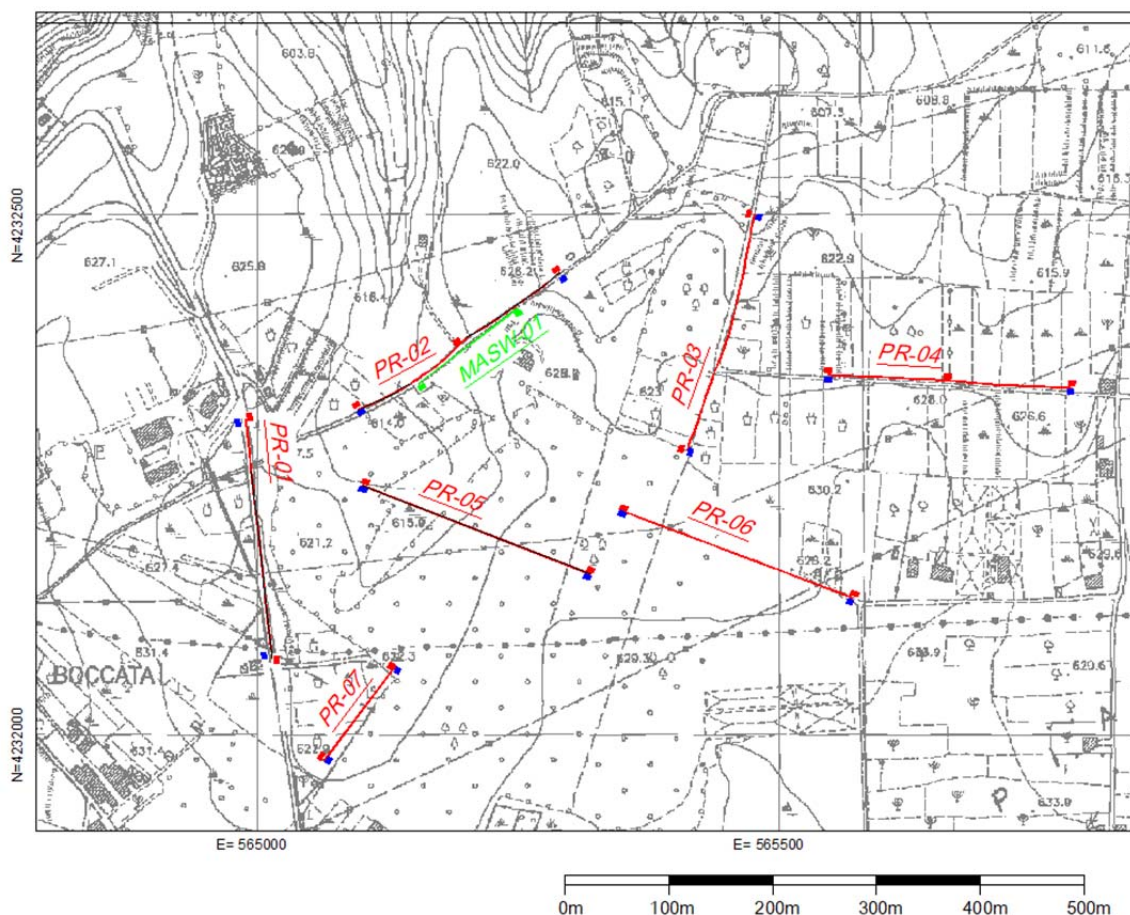


Figura 2 localizzazione dei profili sismici, elettrici e della MASW eseguiti sull'altopiano di Melia

L'area dell'opera di presa di valle (cantiere di valle), invece, è stata esplorata mediante due profili denominati PR8 e PR9, della lunghezza di 120m ciascuno, sia con metodologia sismica che geoelettrica come fatto per i profili acquisiti nell'area del bacino di monte.

In Tabella 2 Identificativi (#ID) dei profili con le relative coordinate di inizio e fine (UTM-WGS84) e la lunghezza complessiva si riportano le caratteristiche principali degli stendimenti eseguiti nell'area dell'opera di presa di valle.

Data Marzo 2023	2730-Favazzina SIS-ERT-MASW-230323	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	------------------------------------	----------------	---------

FAVAZZINA – OPERA DI PRESA DI VALLE			
#ID	UTM Coord Inizio	UTM Coord Fine	Lunghezza (m) Sismica / Geoelettrica
PR8	567360.75– 4235627.95	567465.05– 4235677.30	120 / 120
PR9	567416.45– 4235762.94	567496.11– 4235684.96	120 / 120
METRI TOTALI ACQUISITI			
Sismica / Geoelettrica			240 / 240

Tabella 2 Identificativi (#ID) dei profili con le relative coordinate di inizio e fine (UTM-WGS84) e la lunghezza complessiva

In Figura 3 è riportata l'ubicazione delle indagini svolte(per dettagli vedi Tavola n°1 allegata al presente rapporto).

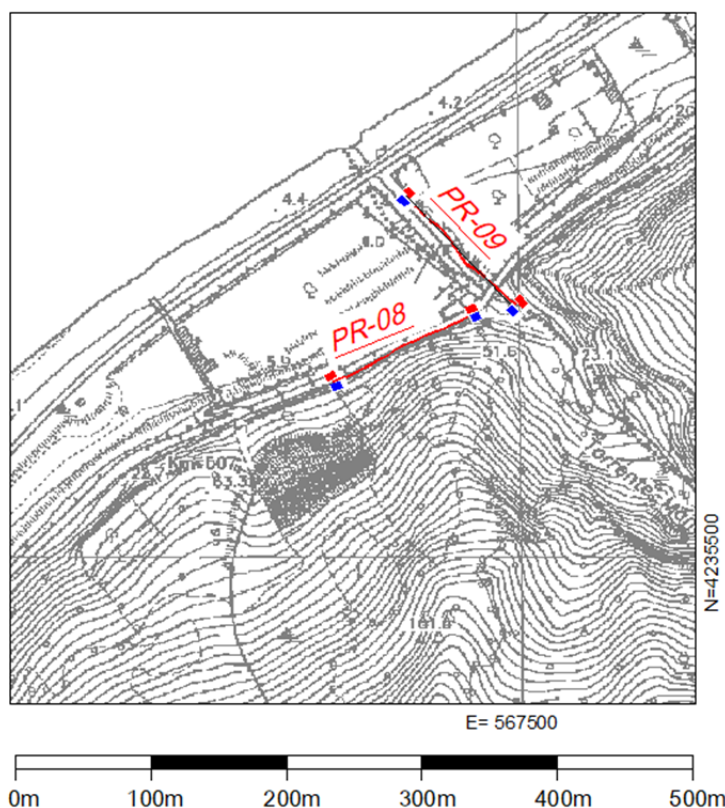





Figura 3 Localizzazione dei profili sismici, elettrici eseguiti nell'area dell'opera di presa di valle

Committente:  Coordinamento/Mandante: 	FAVAZZINA <i>IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ</i> INDAGINE GEOFISICA MULTIMETODOLOGICA	 Rapporto n. 2730/23 Pag. 11 / 67
---	---	---




La legenda per la Figura 2 e la Figura 3 è riportata qui di seguito.

PR-05	Traccia e nome dei profili sismici/elettrici
G01	Numerazione dei geofoni come riportato nelle tomografie sismiche
0.00	Progressiva metrica indicata nelle tomografie elettriche
MASW-01	Traccia della prova MASW
G01	Numerazione dei geofoni

Figura 4 Simbologie utilizzate nel Piano di Posizione delle indagini

Tutti i profili sopra elencati sono stati acquisiti con passo dei sensori (geofoni / elettrodi) pari a 5m.

Data Marzo 2023	2730-Favazzina SIS-ERT-MASW-230323	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	------------------------------------	----------------	---------

Committente:  Coordinamento/Mandante: 	FAVAZZINA <i>IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ</i> INDAGINE GEOFISICA MULTIMETODOLOGICA	 Rapporto n. 2730/23 Pag. 12 / 67
---	---	---

4. METODOLOGIA DI PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE

4.1. ACQUISIZIONE DATI INDAGINE SISMICA

Per l'acquisizione dati sono stati utilizzati due sismografi digitali DAQlink III della Seismic Source, con cavi sismici Ambrogeo e geofoni verticali Mark Productsa 60 Hz.

Per quanto riguarda la generazione delle onde P è stata utilizzata una mazza da 10 kg battente su una piastra in PVC appositamente realizzata. Il sistema si è dimostrato ottimale per fornire l'energia necessaria alle indagini.

Lungo tutti i profili sismici la cadenza dei tiri è stata di uno ogni 3 geofoni, oltre a un tiro esterno. Tutti i dati acquisiti sono stati memorizzati come files con standard SGY e trasferiti su un computer per le successive elaborazioni.

Lungo ogni profilo è stata effettuato anche il rilievo dei punti con sistema GPS-RTK mediante il ricevitore GEOMAX Zenith-15, ed i punti rilevati sono stati riferiti nel sistema cartografico UTM WGS-84 con quote riferite al Geoide Italia 2008.

Data Marzo 2023	2730-Favazzina SIS-ERT-MASW-230323	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	------------------------------------	----------------	---------

4.2. ELABORAZIONE DATI

I dati acquisiti, memorizzati come files SGY sono stati elaborati con i seguenti *softwares*:

1. **ReflexW**: per determinare i punti di arrivo (tempi di transito) delle vibrazioni ai vari sensori posti lungo i profili. Questa operazione ha comportato alcuni passaggi finalizzati al miglioramento del segnale che, in alcuni casi, è risultato disturbato dall'azione del vento. Questo infatti, muovendo le fronde degli alberi, genera oscillazioni sul terreno di intensità anche molto fastidiosa. Tuttavia, trattandosi di un disturbo generalmente caratterizzato da frequenze molto basse è facilmente separabile dal segnale utile.

In Figura 5 è rappresentato il sismogramma relativo al tiro al geofono 27, progressiva 130 m, del profilo PR6.

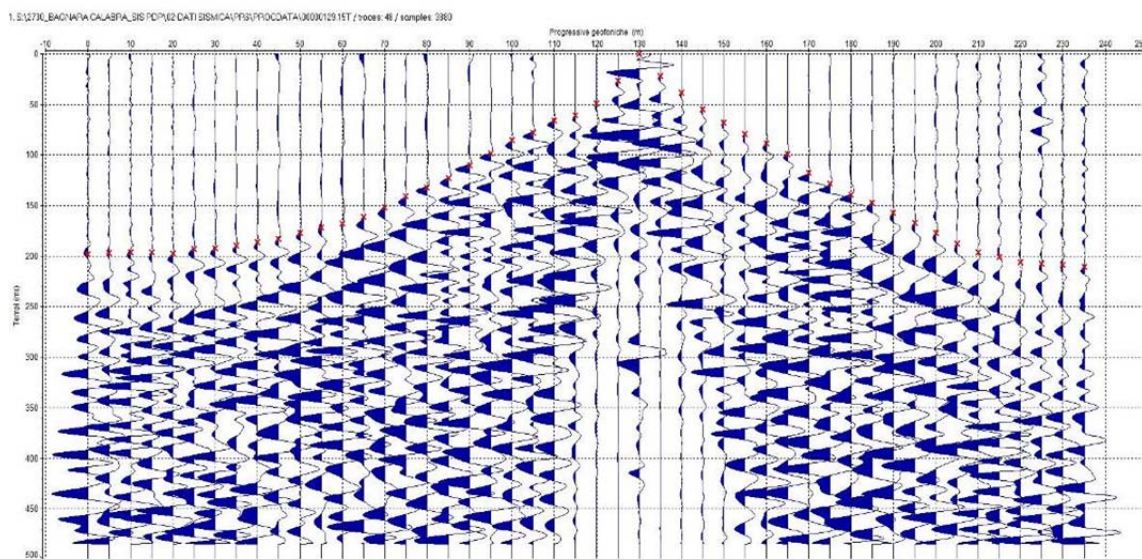


Figura 5 Sismogramma del profilo PR6, geofono 27, progr. 130 m

2. **Rayfract:** I dati ottenuti tramite il software ReflexW, unitamente alle quote di posizionamento dei geofoni e dei punti di tiro, sono stati organizzati come *files* compatibili con il *software* di modellazione tomografica 2D. Una volta letti i dati di partenza questo programma porta a ricostruire un modello iniziale basato sull'analisi diretta delle velocità ricavabili da coppie di dromocrone aventi andamento opposto.

La velocità viene calcolata nei punti di incrocio delle dromocrone e la profondità di riferimento è basata sulla successione di velocità riscontrate dalla superficie fino alle massime profondità raggiunte (Figura 6).

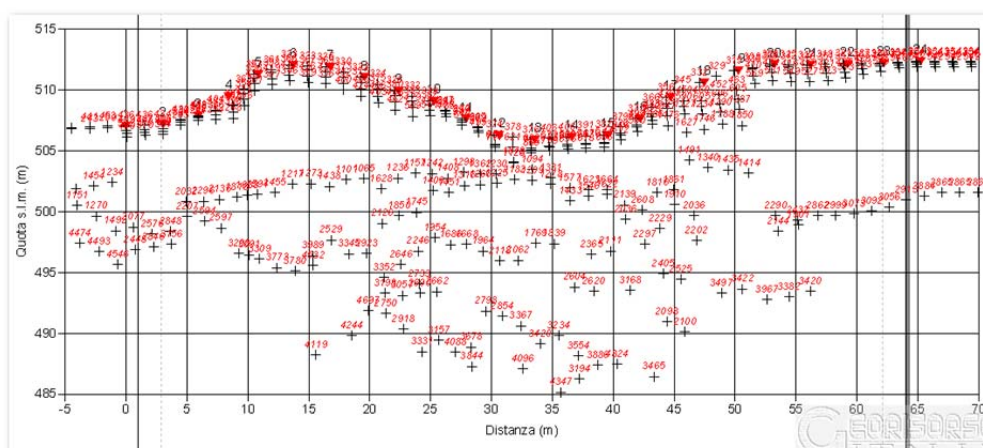


Figura 6 Esempio generico di velocità calcolata nei punti di incrocio delle dromocrone rappresentate alle rispettive profondità

I dati così ottenuti, riportati come esempio in Figura 6, portano a ricostruire un modello ad elementi finiti di dimensioni estremamente piccole (infinitesime) mediante l'interpolazione con algoritmo di *kriging* (Figura 7).

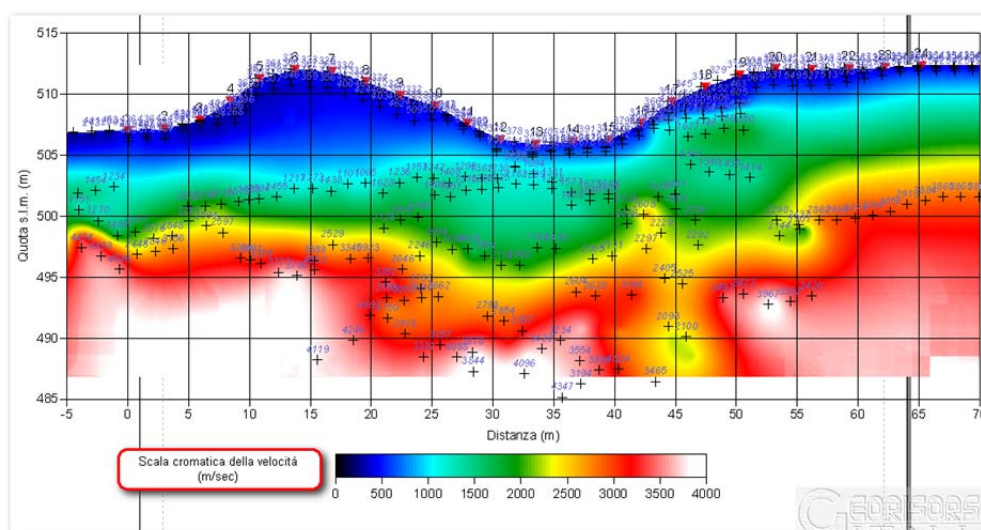


Figura 7 Esempio di modello ad elementi finiti relativo all'esempio di Figura 6

Questo modello numerico viene, quindi, verificato in base al confronto fra i tempi di transito tra i vari punti di tiro ed i punti di posizionamento dei geofoni calcolati analiticamente sul modello stesso, con i tempi misurati sperimentalmente e stimati nella lettura dei sismogrammi.

Le differenze risultanti, positive o negative, portano il *software* a modificare il modello, aumentando o diminuendo, la velocità degli elementi di quelle zone interessate dal passaggio dei fronti d'onda che, nei dati sperimentali, hanno impiegato di più o di meno a percorrere le traiettorie calcolate in base al principio di Huygens.

L'elaborazione procede in maniera iterativa apportando, progressivamente, piccole modifiche al modello iniziale e, in genere, con 20 iterazioni si raggiunge un buon livello di adattamento tra i dati sperimentali e quelli calcolati.

Questa verifica può essere basata sulle differenze numeriche o su una valutazione d'insieme delle dromocrone sperimentali e quelle teoriche (Figura 8).

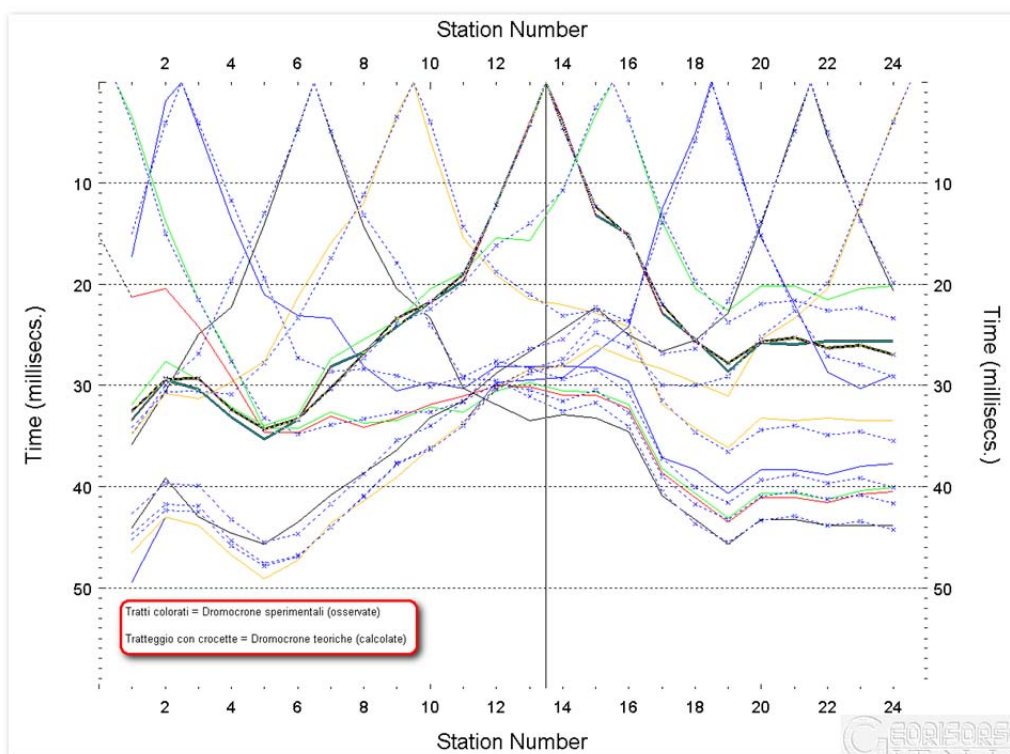


Figura 8 Esempio di valutazione d'insieme delle dromocrone sperimentali (linee continue) e quelle teoriche (linee tratteggiate)

Il modello numerico risultante, quindi, ha un'attendibilità definita dalla differenza che risulta tra i dati sperimentali (dromocrone a linee colorate) e quelli calcolati sul modello (dromocrone tratteggiate con crocette).

Nel caso specifico la tomografia ottenuta per le onde P viene rappresentata mediante curve isovelocità ad intervallo di 200 m/sec ed una scala cromatica (Figura 9).

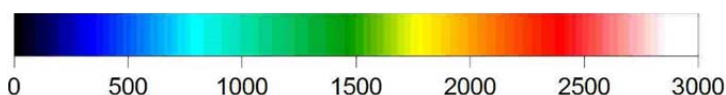





Figura 9 Scala cromatica delle velocità, espresse in metri al secondo (m/s)

Nelle Figure seguenti (da 10 a 18) si riportano le tomografie sismiche ottenute per i profili indagati (immagini in scala adattata alla pagina).

Committente:  Coordinamento/Mandante: 	FAVAZZINA IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ INDAGINE GEOFISICA MULTIMETODOLOGICA	 Rapporto n. 2730/23 Pag. 17 / 67
---	--	---

Tutte le tomografie eseguite nella zona di monte son risultate caratterizzate da valori di velocità sismica molto bassi (inferiori a 500-600 m/s) a partire dal piano campagna fino a profondità, talora, superiori a 10-15m. In alcuni profili (es. PR03, PR04 e PR05) la velocità di 600 m/sec compare nelle tomografie a circa 20 m dal p.c. La situazione non cambia molto anche a profondità maggiori dato che per arrivare a velocità di circa 1'300-1'400 m/sec si deve, talora, arrivare ad oltre 50m di profondità (oltre 60 per il PR06).

Questa descrizione è in pieno accordo con il fatto che in questa zona si hanno depositi sedimentari recenti e, probabilmente, scarsamente compattati, ad eccezione di livelli addensati o localmente cementati che possono trovarsi intercalati tra livelli meno compatti. Nelle tomografie di tutti questi profili, infatti, sono presenti alcune zone in cui si hanno inversioni di velocità sebbene di modesta entità.

Solo alle massime profondità raggiunte e solo in alcuni di profili o in parti di essi, le velocità sono risultate superiori a 2'400-2'600 m/sec. Queste situazioni sono, molto probabilmente, da interpretare come zone in cui può essere presente basamento cristallino.

Nettamente diversa è la situazione per i due profili eseguiti nella zona di valle (PR08 e PR09) dove la presenza del basamento cristallino è indicata dalla presenza di zone a velocità superiore a 2'500 m/sec già a modesta profondità o quasi affiorante.

In questa zona le situazioni a bassa velocità sono da individuare nei contesti di alluvioni marine o detriti di versante mentre il passaggio alla formazione compatta del basamento sembra avvenire con una certa variabilità che può essere interpretata come una fascia di alterazione.

Data Marzo 2023	2730-Favazzina SIS-ERT-MASW-230323	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	------------------------------------	----------------	---------

Figura 10 Tomografia sismica PR1. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.

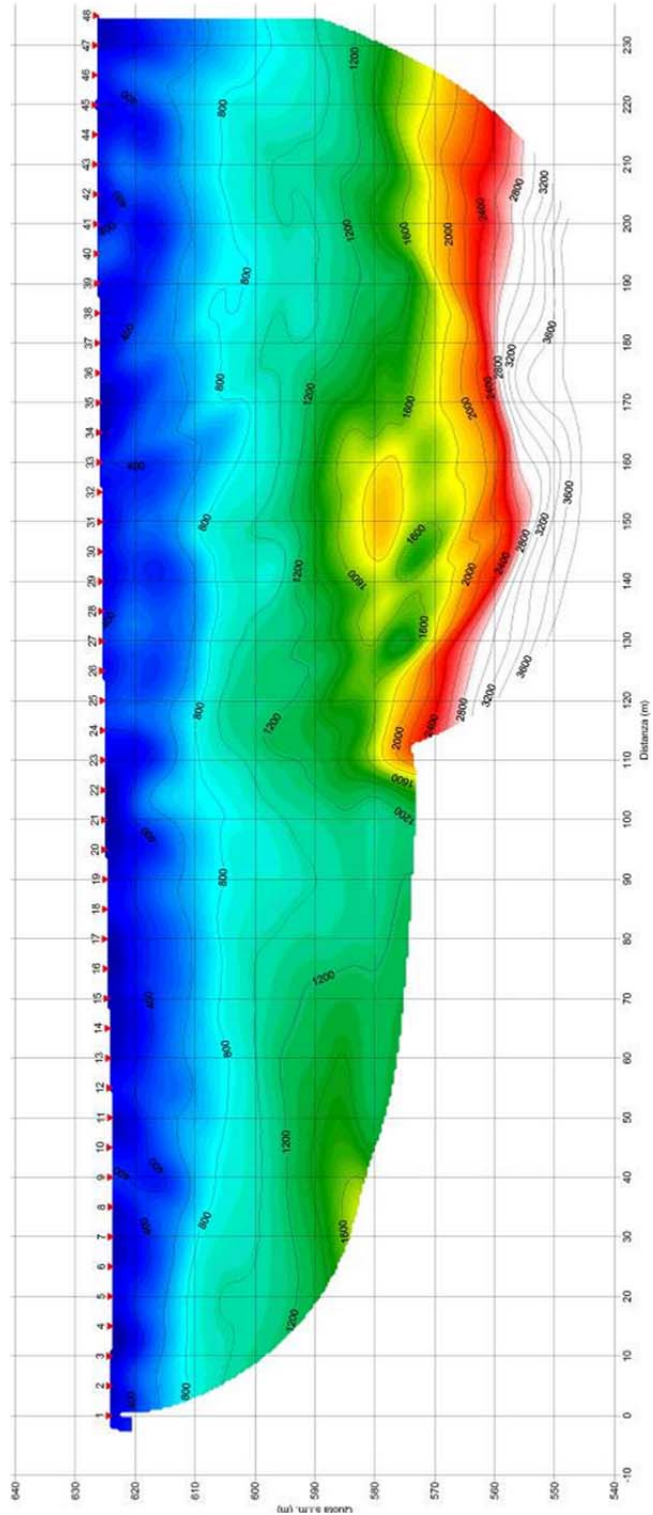


Figura 11 tomografia sismica PR2. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.

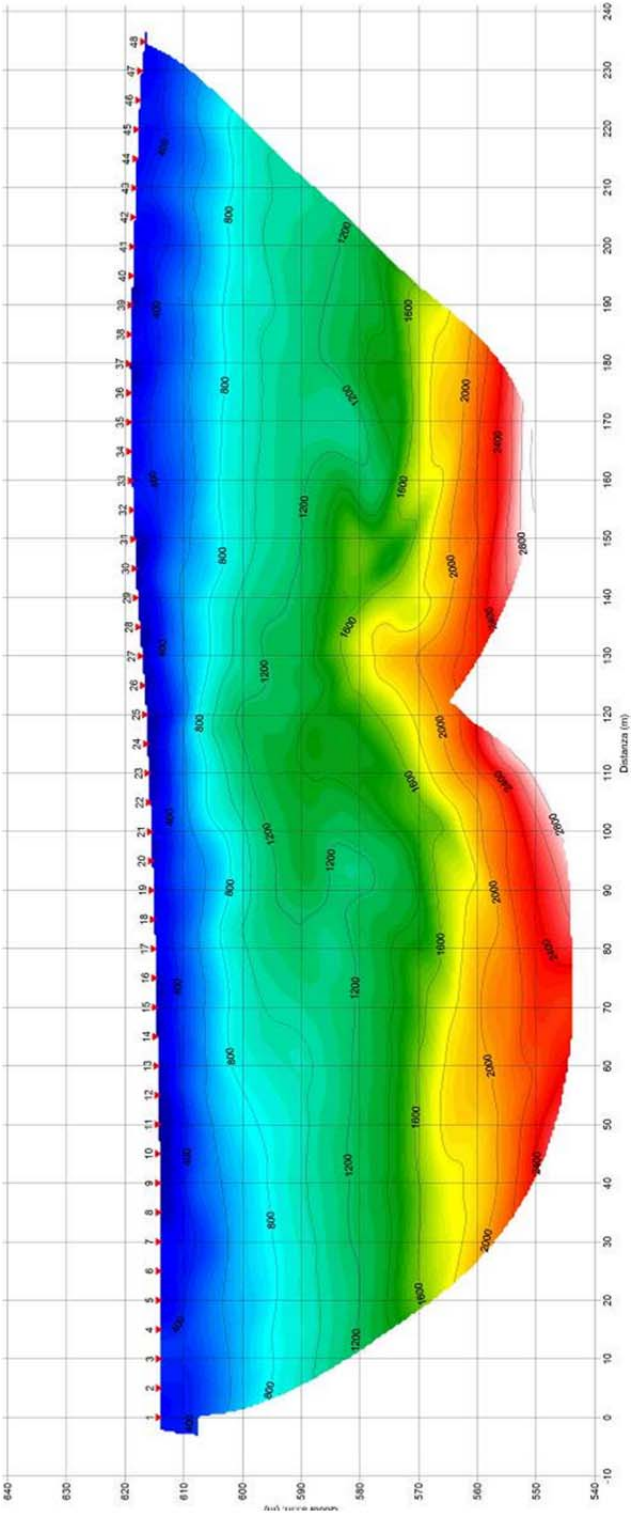


Figura 12 tomografia sismica PR3. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.

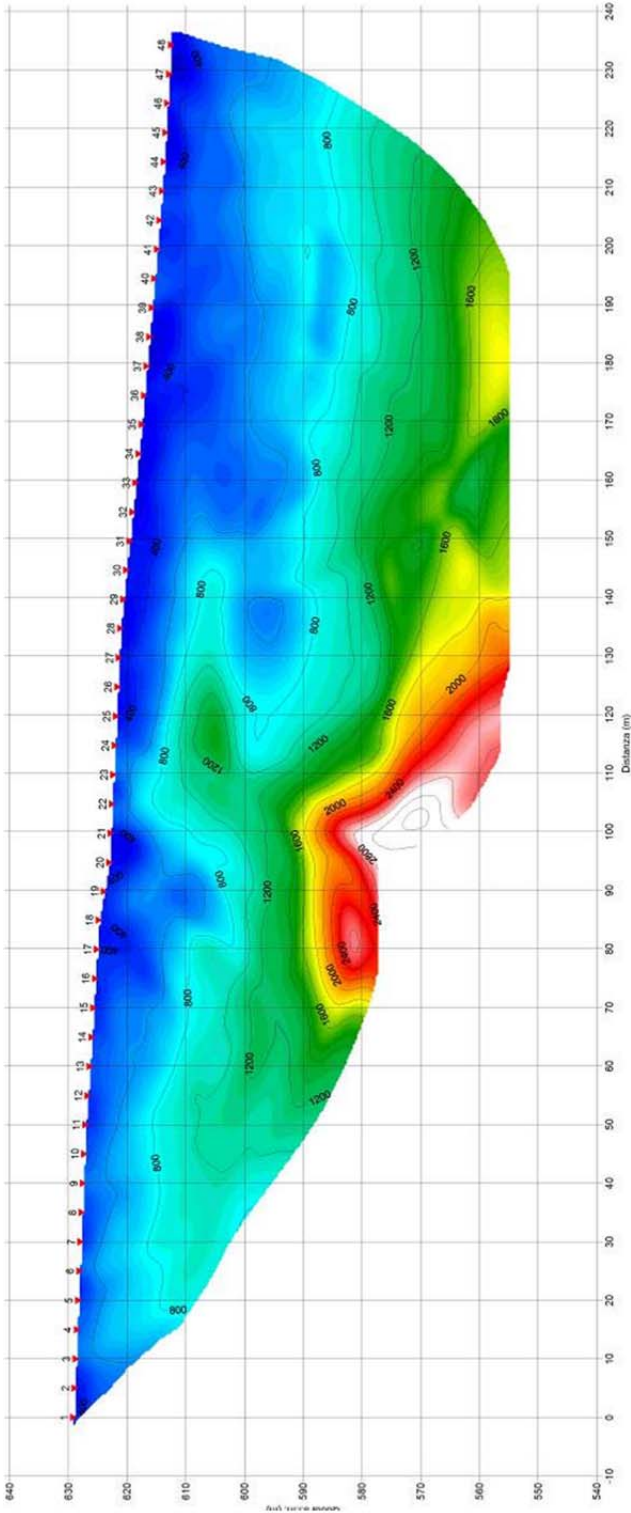


Figura 13 tomografia sismica PR4. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.

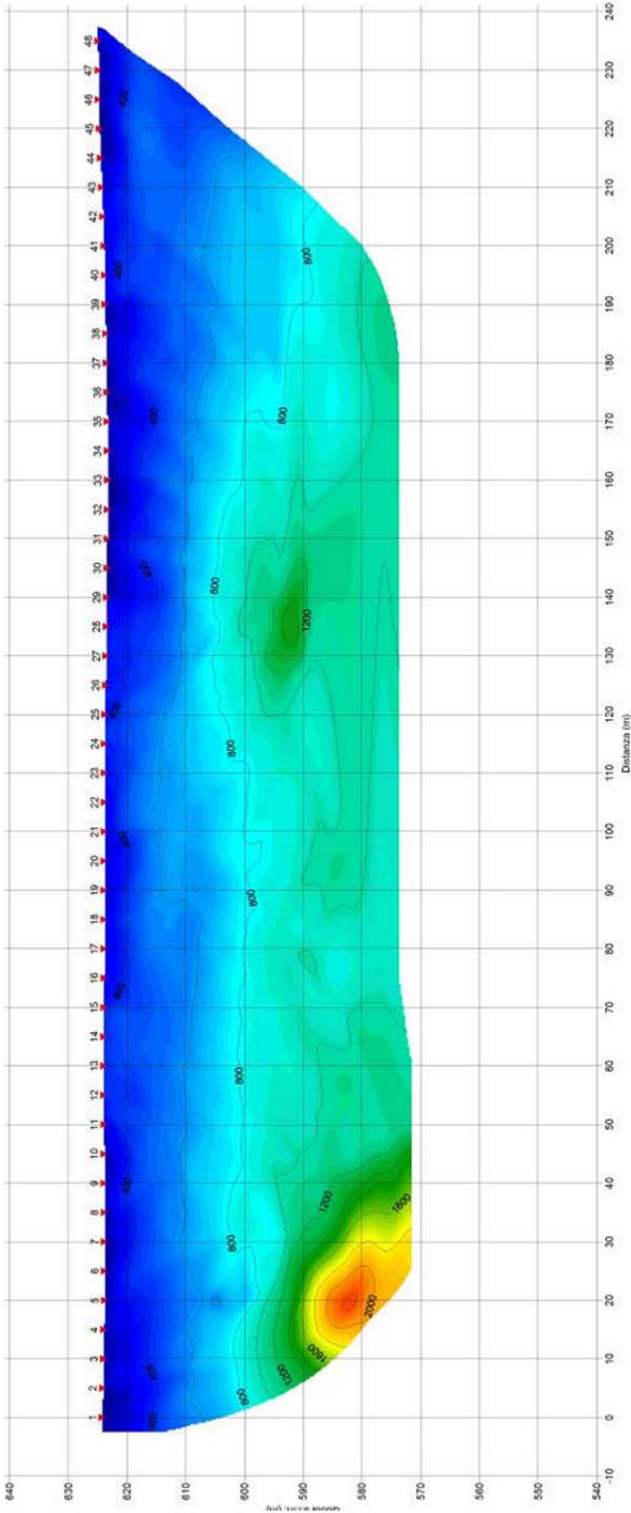


Figura 14 tomografia sismica PR5. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.

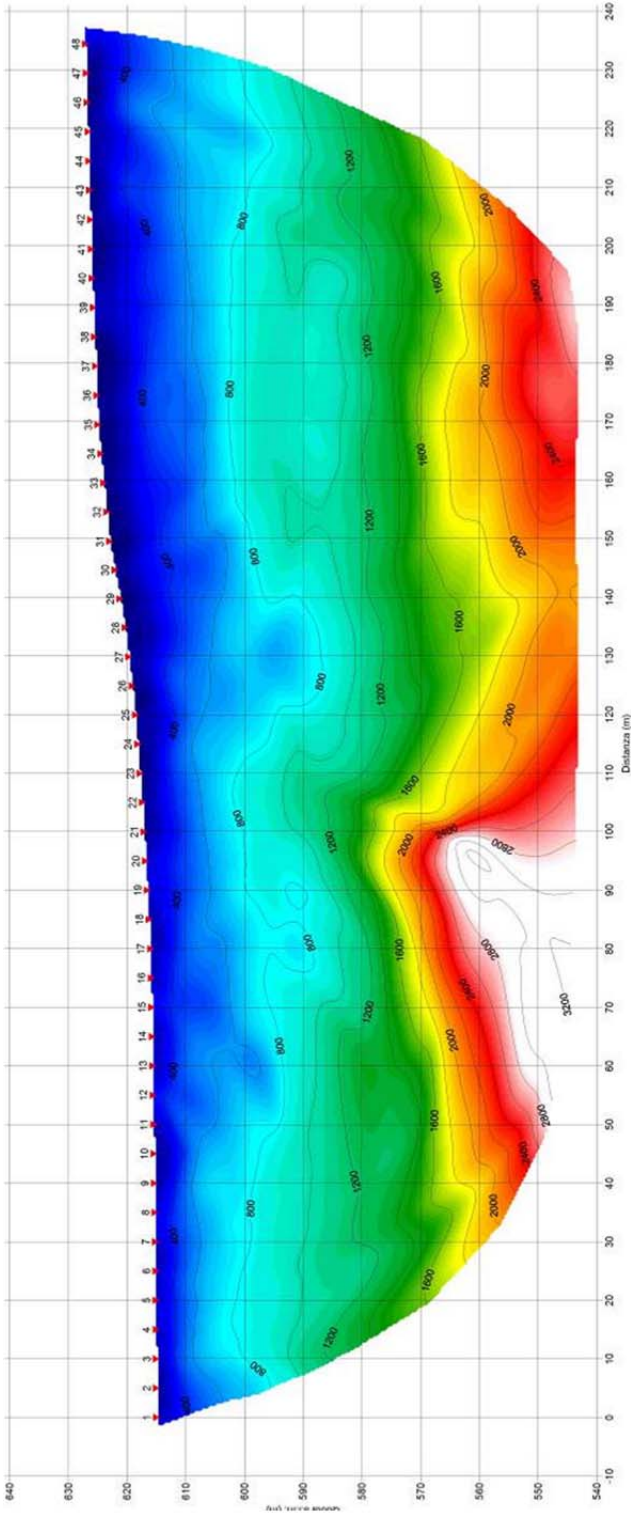


Figura 15 tomografia sismica PR6. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.

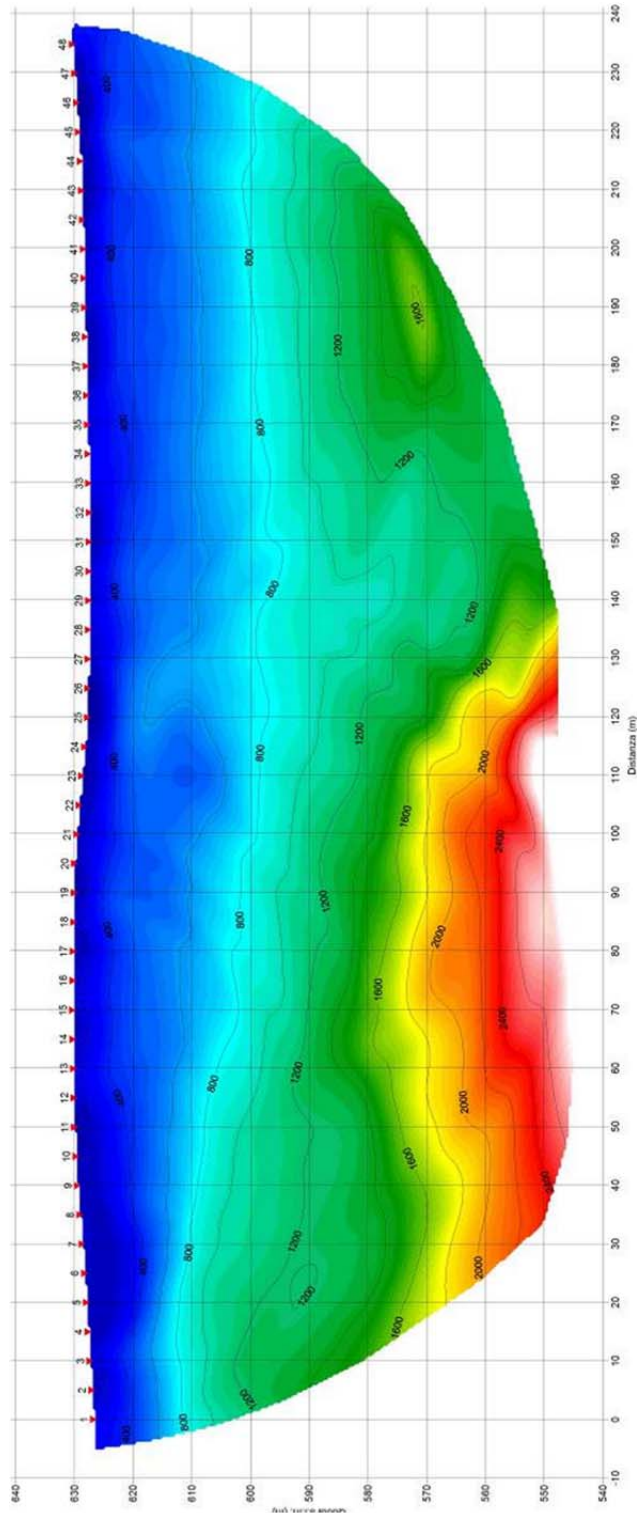


Figura 16 tomografia sismica PR7. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.

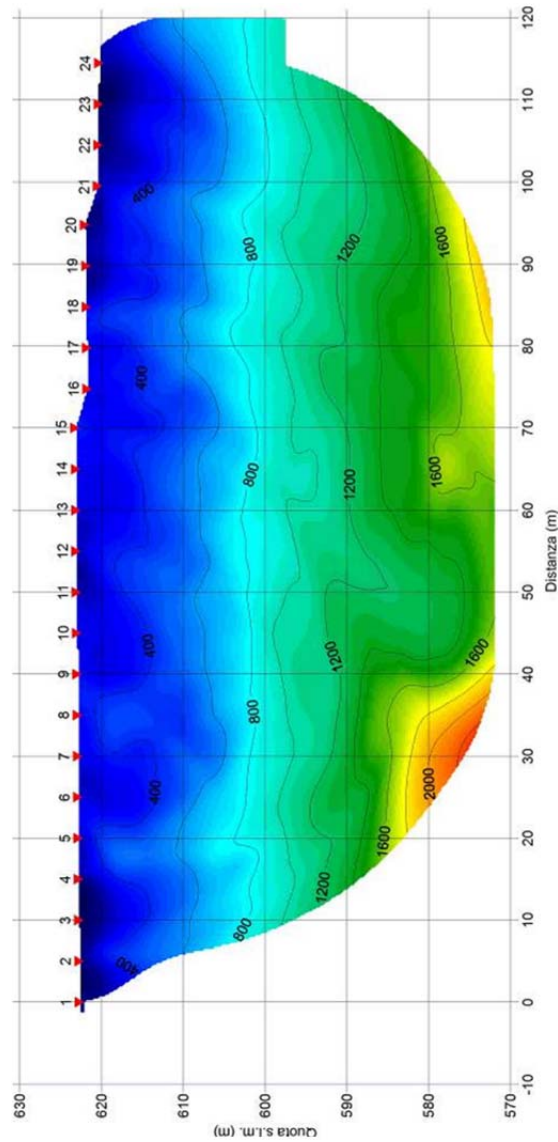


Figura 17 tomografia sismica PR8. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.

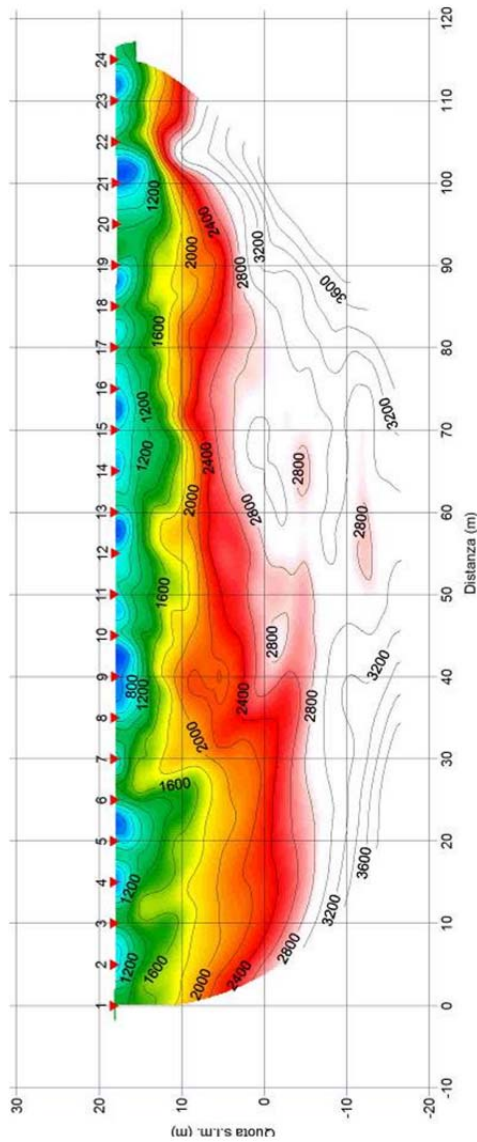
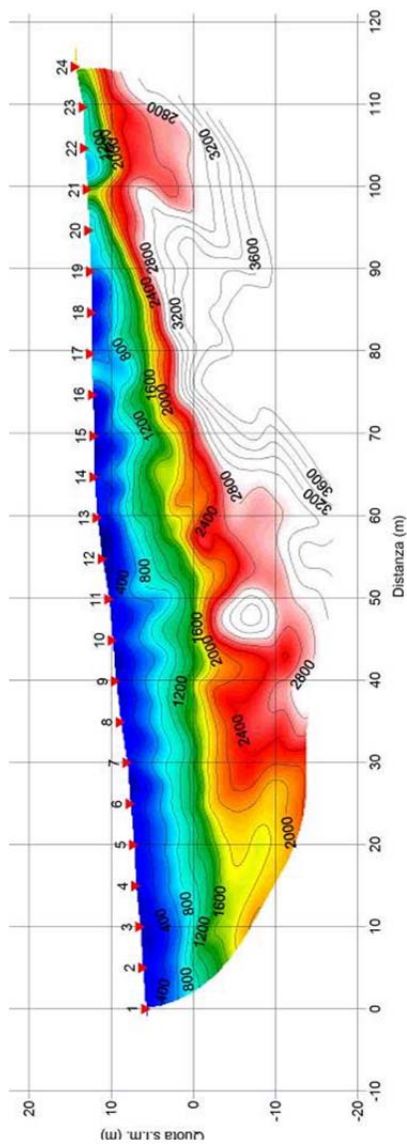





Figura 18 tomografia sismica PR9. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.



Committente:  Coordinamento/Mandante: 	FAVAZZINA IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ INDAGINE GEOFISICA MULTIMETODOLOGICA	 Rapporto n. 2730/23 Pag. 27 / 67
---	--	---

5. METODOLOGIA DI PROSPEZIONE GEOELETTRICA TOMOGRAFICA

La metodologia di indagine che è stata adottata consiste nella determinazione della resistività (espressa in Ohm.m) delle diverse unità geologiche presenti nel sottosuolo, ciò per mezzo di specifici dispositivi di acquisizione dati che permettono l'acquisizione dei dati, la successiva elaborazione in termini di sezioni o tomografie e la successiva interpretazione dei risultati delle misure acquisite in termini di stratigrafia elettrica del sottosuolo stesso o per l'individuazione di discontinuità laterali (i.e., faglie). Nel presente studio sono state eseguite misure di resistività con la tecnica dei profili multielettrodo con dispositivo Polo-Dipolo ed elaborazione tomografica.

L'interpretazione geologica dei risultati geofisici non può essere univoca, infatti, uno stesso valore di resistività può essere associato a litologie differenti o ad una stessa litologia che ha subito un'evoluzione geologica differente. I principali fattori che possono condizionare l'interpretazione dei modelli geoelettrici (stratigrafie o tomografie) sono:

- grado di fratturazione,
- grado di alterazione,
- contenuto in acqua,
- salinità dell'acqua, etc.

Tuttavia, la conoscenza del contesto geologico locale comporta una riduzione significativa di tale possibilità di errore.

5.1 ACQUISIZIONE DATI

Per l'esecuzione delle misure di resistività si possono utilizzare vari dispositivi (Schlumberger, Wenner, Dipolo-Dipolo, Polo-Dipolo). Tutti questi dispositivi utilizzano 4 elettrodi infissi nel terreno, ma disposti in maniera diversa lungo le linee di indagine

Data Marzo 2023	2730-Favazzina SIS-ERT-MASW-230323	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	------------------------------------	----------------	---------

Le misure avvengono mediante l'invio di una certa corrente elettrica (misurata in milliAmpere) attraverso 2 di questi, ubicati in posizioni note e convenzionalmente indicati come A e B.

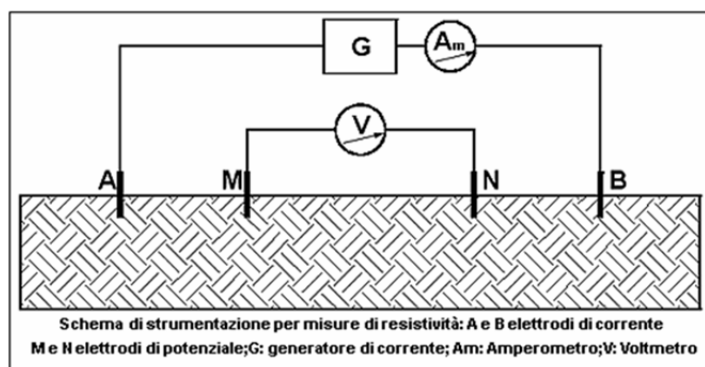


Figura 19 schema generico per misure di resistività elettrica

Quando la suddetta corrente elettrica (i) circola nel sottosuolo la distribuzione dei potenziali nella superficie del terreno cambia in funzione, sia della quantità di corrente inviata, sia della natura dei terreni presenti ed in particolare della resistività (o resistenza elettrica specifica) degli stessi.

La misura della differenza di potenziale (dV) tra 2 punti di questa superficie, durante la circolazione di corrente, quindi, porta al calcolo della, cosiddetta, “resistività apparente (ρ_a)” secondo la formula generale seguente:

$$\rho_a = K \times dV / i \text{ (valori espressi in ohm x m)}$$

La formula include anche il fattore “geometrico” (K) calcolato in base alle dimensioni del dispositivo,

La resistività è definita apparente in quanto è legata alla dimensione del dispositivo, ad esempio: ρ_a ($AB=200m$), poiché questo valore sarà diverso al variare della dimensione del dispositivo, anche se il punto centrale del dispositivo rimane costante in una superficie dove la resistività superficiale è omogenea, ma cambia ad una determinata profondità.

Un dispositivo piccolo, infatti, 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 (Figura 20). Pertanto, il risultato viene indicato come resistività apparente, cioè condizionata dalle dimensioni dello specifico dispositivo utilizzato.

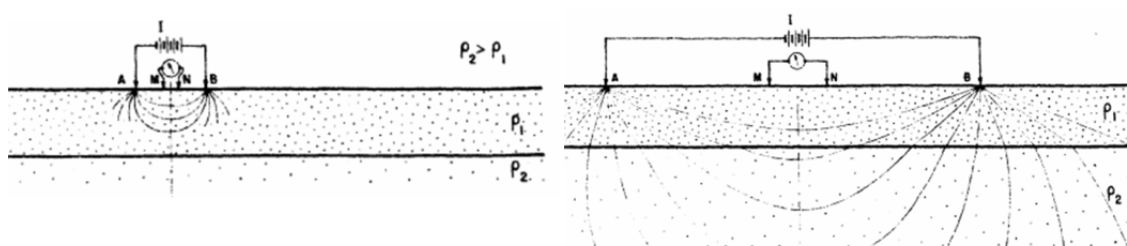


Figura 20 Propagazione del segnale fino a differenti profondità

Nella tecnica del profilo Polo-Dipolo, utilizzata per questa indagine, gli elettrodi di corrente (convenzionalmente A-B) vengono posti esternamente alla linea degli elettrodi di potenziale M-N, uno di questi (B), viene posto ad una distanza di pari alla dimensione di un Dipolo MN dal primo degli elettrodi di potenziale, l'altro (A) ad una distanza molto grande (almeno 2.5 volte) rispetto alla dimensione di tutto il dispositivo di misura di elettrodi potenziometrici (Figura 21). Con questo dispositivo, infatti, 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.

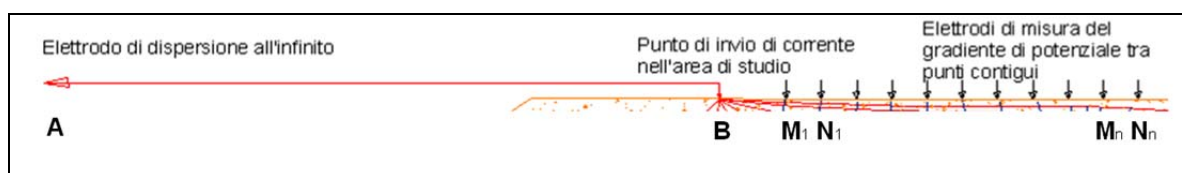


Figura 21 Dispositivo Polo-Dipolo

Dalle misure con il dispositivo Polo-Dipolo, o con altri dispositivi quali il Dipolo-Dipolo, il Wenner (schema Figura 22) 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 moderni sistemi di acquisizione permettono la rapida esecuzione di indagini lungo linee molto lunghe grazie ai sistemi “multielettrodo”, cioè sistemi elettronici che collegano contemporaneamente una linea con molti elettrodi infissi nel terreno. Il sistema stesso, quindi, eseguirà le commutazioni tra elettrodi utilizzati per inviare la corrente ed elettrodi utilizzati per eseguire le misure di gradiente di potenziale, ciò per ottenere una serie di molteplici informazioni sulla resistività elettrica del terreno in varie posizioni di invio di corrente ed in differenti posizioni degli elettrodi di misura del gradiente di potenziale.

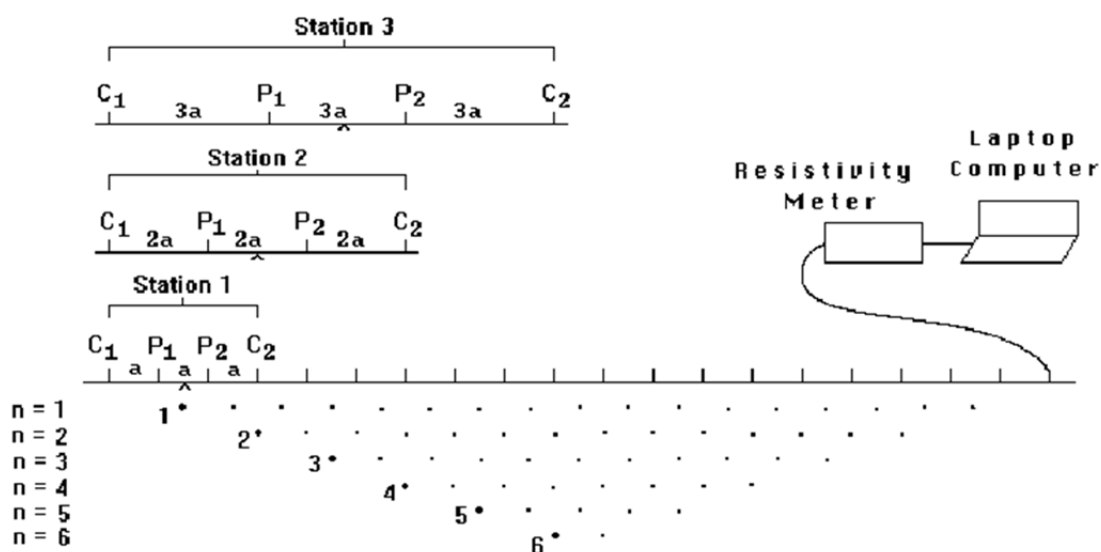





Figura 22 Approccio multi-elettrodico

Committente:  Coordinamento/Mandante: 	FAVAZZINA IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ INDAGINE GEOFISICA MULTIMETODOLOGICA	 Rapporto n. 2730/23 Pag. 31 / 67
---	--	---

Nel caso specifico di questa indagine i dati sono stati acquisiti con il sistema SYSCAL SWITCH PRO-48, 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 successivamente trasferiti in un altro computer per le successive elaborazioni.

5.2 ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONI DEI RISULTATI

La modellazione in termini quantitativi della situazione del sottosuolo può avvenire mediante specifici algoritmi di elaborazione, questi 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 nella direzione ortogonale al piano della sezione investigata, le forme rappresentate nel piano della tomografia. Cioè, una eventuale discontinuità verticale (faglia) che separa un tratto di sezione, caratterizzato da una resistività ρ_1 , da un tratto successivo con resistività ρ_2 , si presume che si sviluppi all'infinito in maniera ortogonale al piano della sezione.

Data Marzo 2023	2730-Favazzina SIS-ERT-MASW-230323	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	------------------------------------	----------------	---------

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, quindi, può essere definita 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.

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. In **Error! Reference source not found.3** si riporta la schermata di calcolo relativa al PR4 in cui è evidente la modalità di valutazione della bontà del risultato.

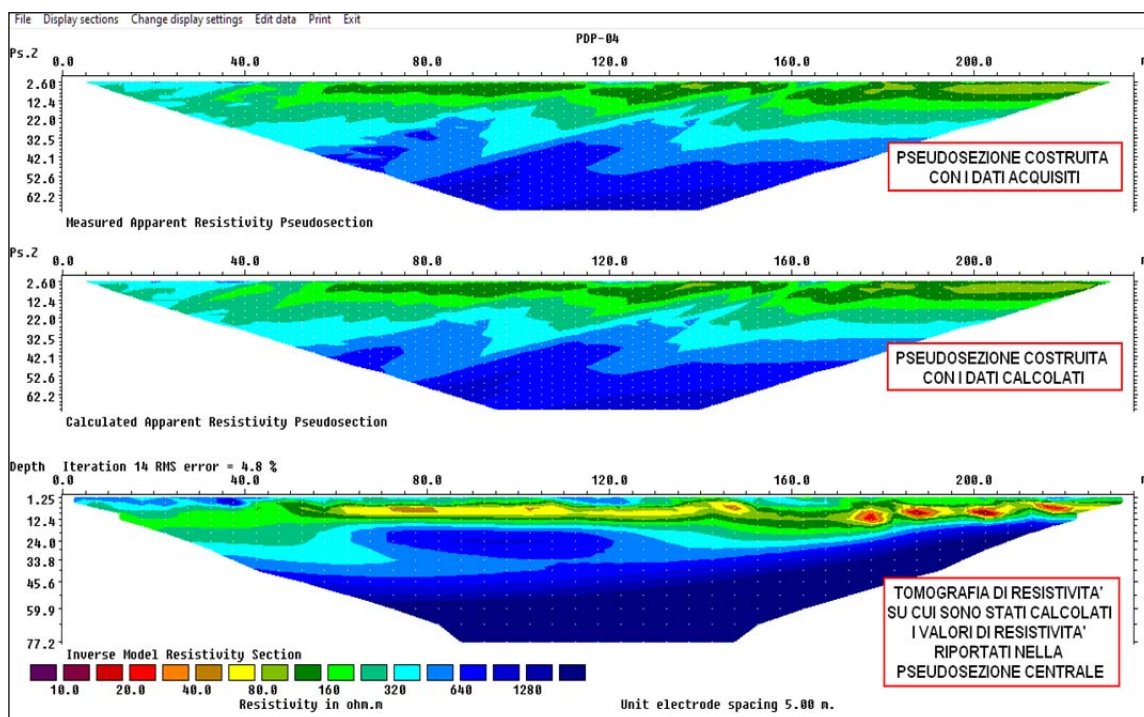





Figura 23 Print-screen del software utilizzato per la modellazione tomografica.

Data Marzo 2023	2730-Favazzina SIS-ERT-MASW-230323	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	------------------------------------	----------------	---------

Committente:  Coordinamento/Mandante: 	FAVAZZINA IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ INDAGINE GEOFISICA MULTIMETODOLOGICA	 Rapporto n. 2730/23 Pag. 33 / 67
---	--	---

La notevole “somiglianza” o “adattamento” (fitting) dei dati relativi alla Pseudosezione di resistività apparente “calcolata” (al centro) rispetto a quella “misurata” (in alto), è indicativa di una elevata probabilità che il modello ricostruito sia molto vicino alla realtà. In termini numerici il valore di RMS per questo caso è pari a 4.8%, che rappresenta un valore ottimo di fitting.

Un fattore che influisce molto sulla qualità della modellazione è anche la presenza o meno di cause di disturbo alle misure stesse, quali le reti o impianti elettrici (in modo speciale quelle con impianti di “terra” vicino alle linee di misura), le recinzioni, le vigne con cavi di acciaio e pali di ferro per il sostegno dei filari, ed i sottoservizi in genere, che possono alterare le misure di campagna senza che sia possibile accorgersene durante le misure stesse.

Per tutte le tomografie è stata utilizzata la stessa scala cromatica. In particolare, la scala delle resistività è associata a colorazioni rosso-arancio-giallo per le rocce a bassa resistività, cioè quelle maggiormente argillitiche e/o argillificate ed alterate, mentre alle colorazioni verde-azzurro-blu sono state associate le resistività più elevate, compatibili con rocce massive, meno argillificate o meno alterate.

La variazione della resistività segue una progressiva logaritmica con raddoppio del valore di resistività ogni due step, vedi immagine seguente (Figura 24).

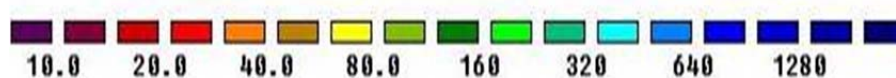





Figura 24 Scala cromatica dei valori di resistività in ohm x m utilizzata.

I risultati ottenuti sono stati riportati nelle Tavole allegate in scala adattata alla pagina qui di seguito (da Figura 25 a 33).

Data Marzo 2023	2730-Favazzina SIS-ERT-MASW-230323	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	------------------------------------	----------------	---------

Committente:  Coordinamento/Mandante: 	FAVAZZINA <i>IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ</i> INDAGINE GEOFISICA MULTIMETODOLOGICA	 Rapporto n. 2730/23 Pag. 34 / 67
---	---	---

Come si può vedere nelle immagini seguenti le resistività prevalenti lungo tutti i profili esplorati tendono a valori superiori alle centinaia di ohm x m ed anche superiori alle migliaia nelle zone profonde dei profili eseguiti nell'area del Bacino di monte oltre che in entrambi i profili eseguiti nella zona di valle.

Questi valori sono in linea con le aspettative indicate nel capitolo sullo scopo del lavoro, cioè che per il basamento cristallino si prevedevano resistività molto elevate mentre per il complesso Pleistocenico erano prevedibili resistività mediamente elevate, mentre valori di bassa resistività erano prevedibili nelle zone in cui sono presenti elevate concentrazioni di materiali argillosi o limosi.

Solo per il PR09, ubicato in prossimità della linea di costa, la zona conduttiva che è comparsa a quote assolute inferiori al livello del mare, potrebbe essere interpretata come dovuta a fenomeni di ingressione marina nei materiali detritici o nella parte fratturata ed alterata del basamento cristallino.

Sulla base di queste indicazioni sono state redatte le sezioni interpretative riportate nelle Tavole allegare e nelle Figure, in scala adattata alla pagina, che sono riportate nel capitolo finale.

Data Marzo 2023	2730-Favazzina SIS-ERT-MASW-230323	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	------------------------------------	----------------	---------

Figura 25 tomografia elettrica PR1. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.

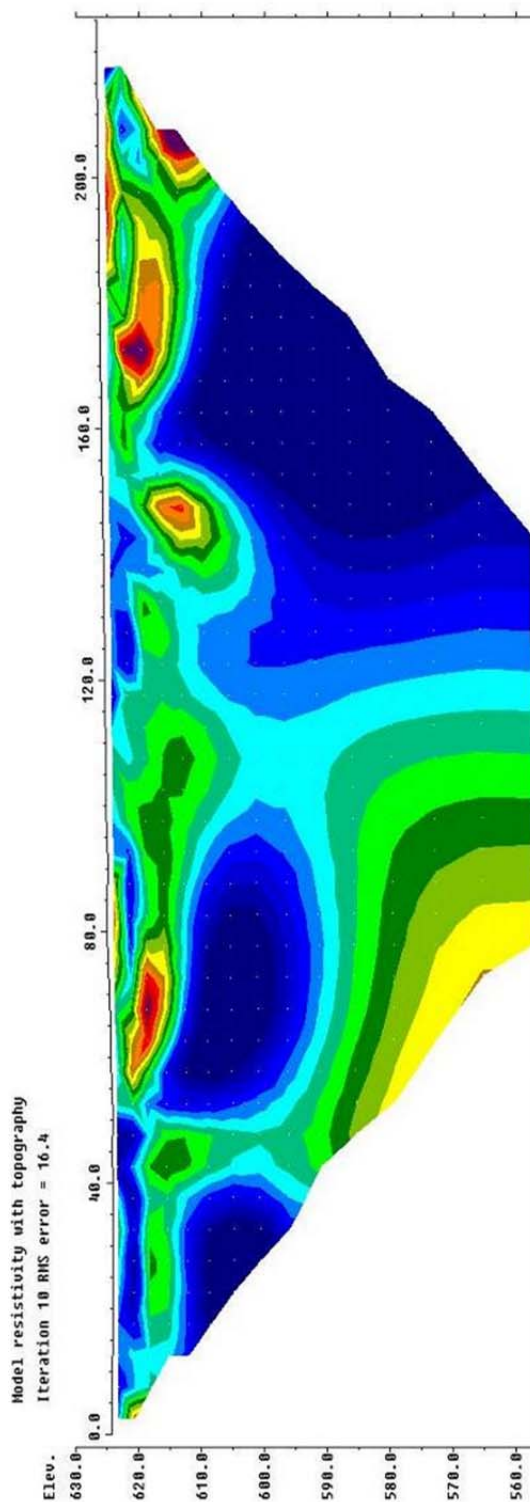


Figura 26 tomografia elettrica PR2. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.

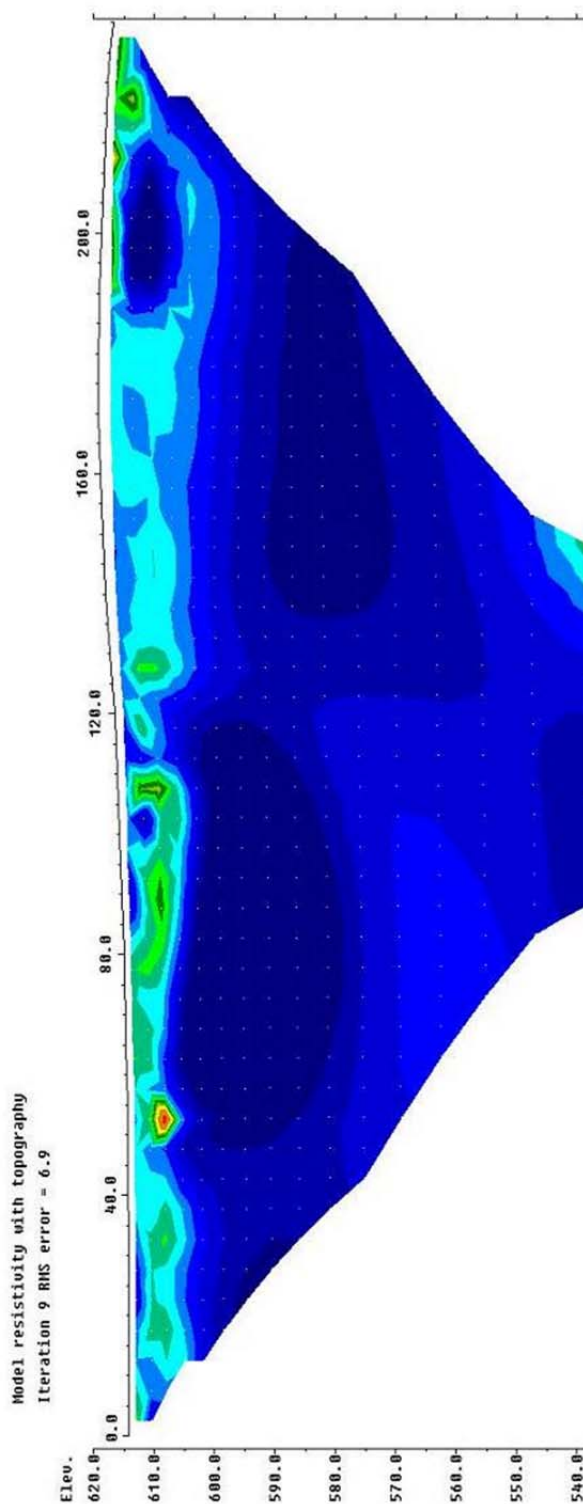


Figura 27 tomografia elettrica PR3. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.

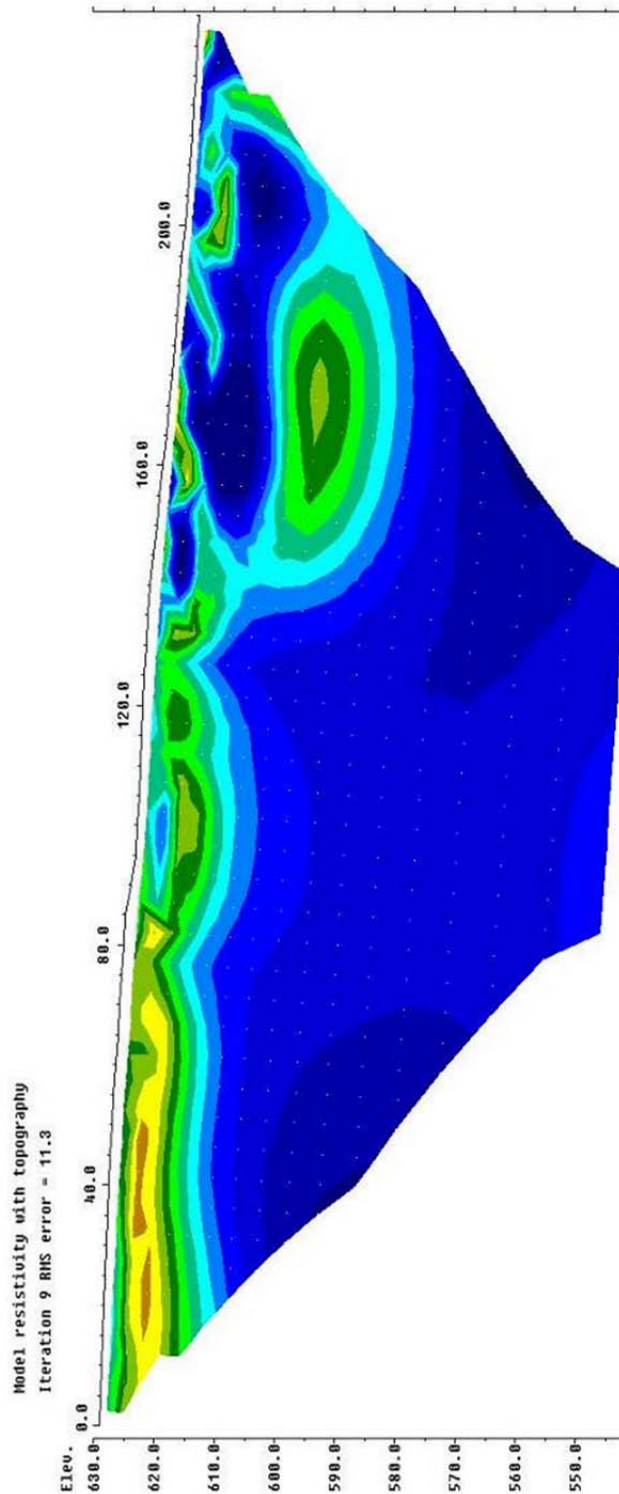


Figura 28 tomografia elettrica PR4. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.

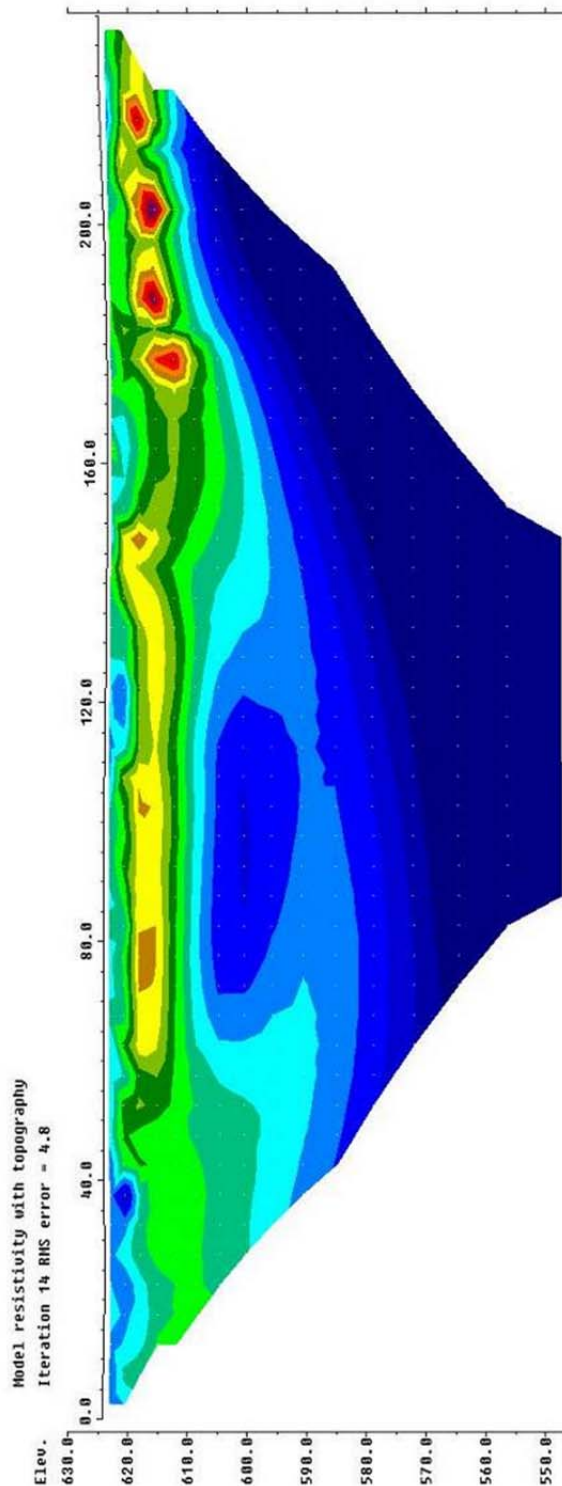


Figura 29 tomografia elettrica PR5. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.

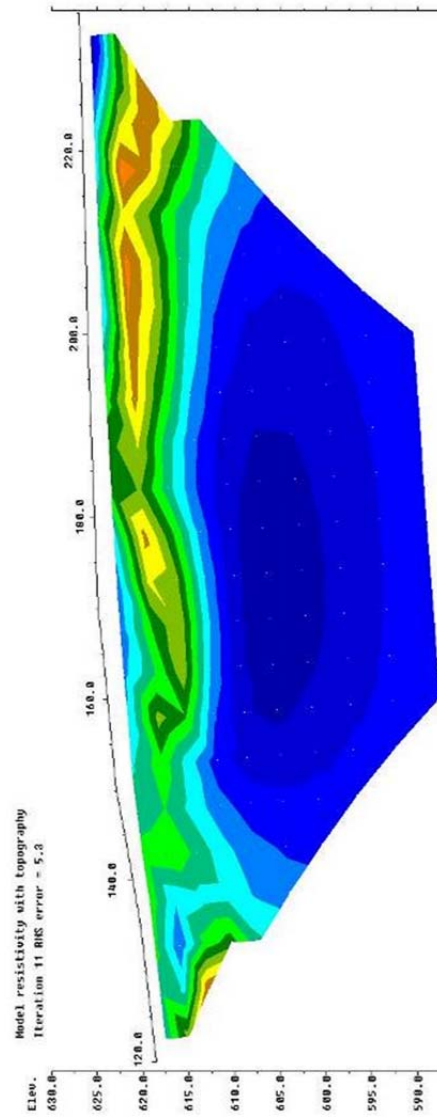


Figura 30 tomografia elettrica PR6. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.

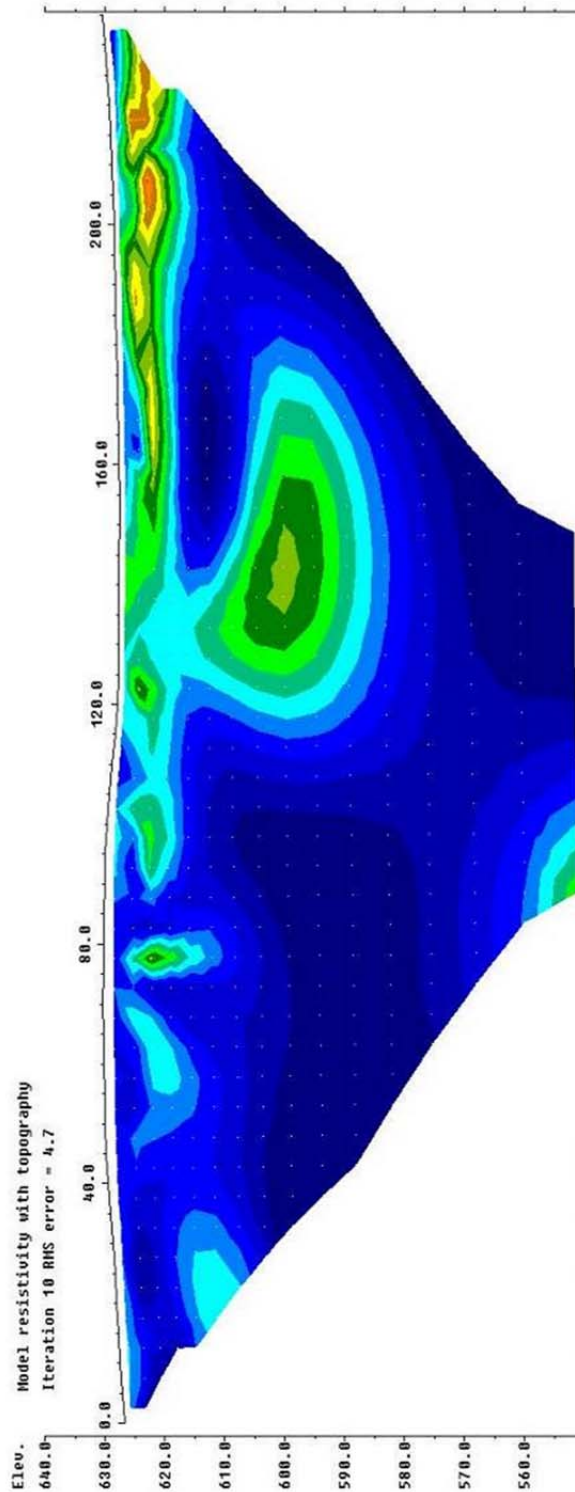


Figura 31 tomografia elettrica PR7. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.

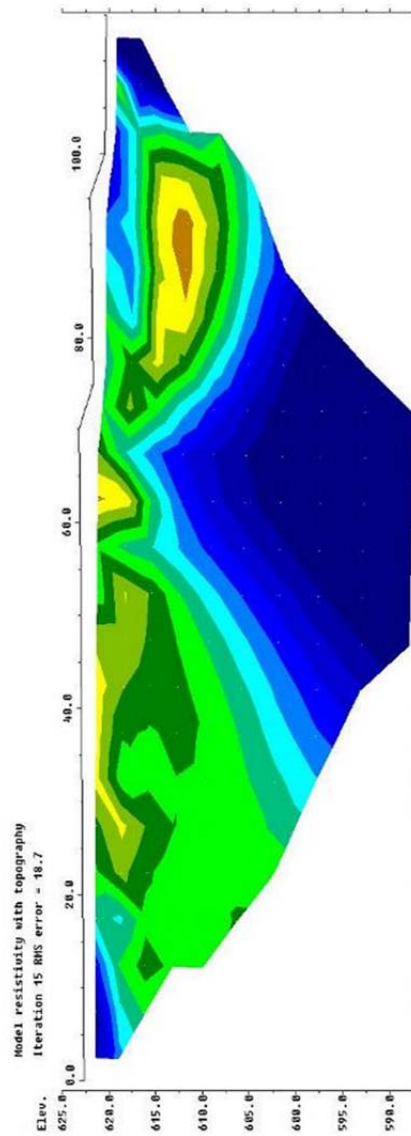


Figura 32 tomografia elettrica PR8. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.

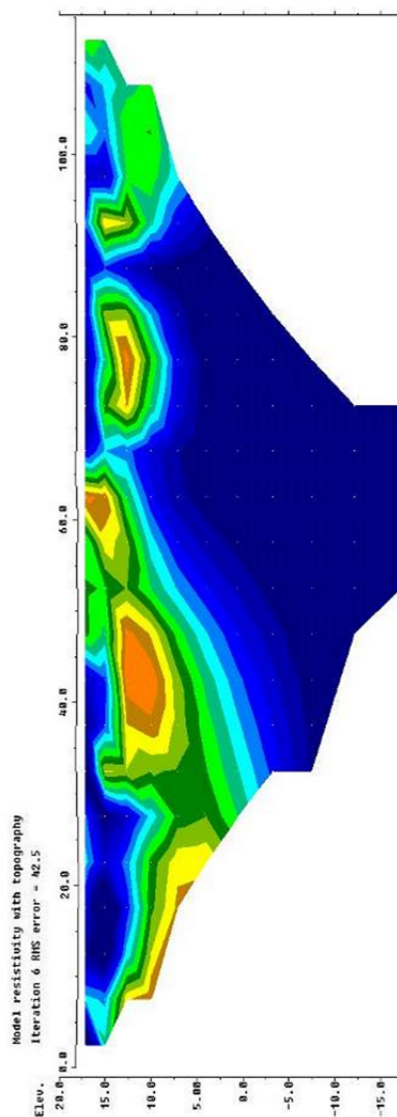
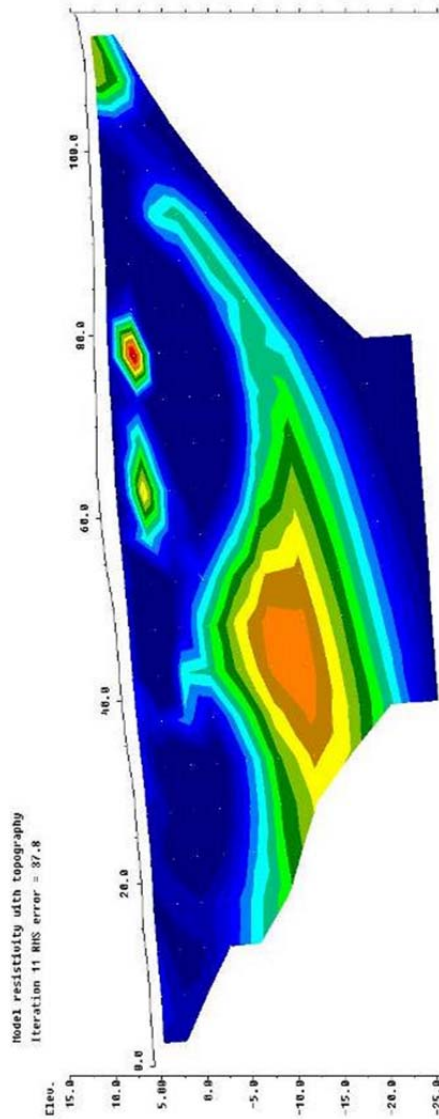





Figura 33 tomografia elettrica PR9. In ascissa sono riportate le progressive in metri, in ordinata le quote in metri s.l.m.



Committente:  Coordinamento/Mandante: 	FAVAZZINA IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ INDAGINE GEOFISICA MULTIMETODOLOGICA	 Rapporto n. 2730/23 Pag. 44 / 67
---	--	---

6. MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)

6.1 METODOLOGIA




Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine sismica attiva di recente introduzione (Parker, Miller e Xia - 1999) che, attraverso l'analisi di onde superficiali di tipo Rayleigh registrate contemporaneamente da 12 o più sensori (geofoni o accelerometri), mira ad ottenere profili VSv-Z (velocità delle onde di taglio verticali – profondità) mono o bidimensionali. Nel dettaglio la perturbazione sismica viene generata da una massa battente, costituita da una mazza o da un grave in caduta libera, e registrata da uno stendimento lineare di sensori.

Nelle prospezioni MASW è particolarmente importante l'uso di una sorgente di energia idonea a generare onde a bassa frequenza con λ paragonabili alla lunghezza dello stendimento, ossia alla profondità massima che vogliamo investigare.

Questa metodologia di indagine geofisica si basa sulla constatazione che la velocità di propagazione delle onde superficiali non è costante al variare della frequenza delle onde stesse: questa osservazione trova giustificazione nel fatto che la sollecitazione su una parte infinitesima del terreno, durante la propagazione di un'onda superficiale, segue una traiettoria circolare con oscillazione ritmica rispetto ad un punto centrale che rimane fermo.

Appare evidente, quindi, che onde di lunghezza più grande (in genere a frequenze basse) interessano zone più profonde di quanto non accada per oscillazioni a lunghezza d'onda inferiore (frequenze più alte).

Data Marzo 2023	2730-Favazzina SIS-ERT-MASW-230323	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	------------------------------------	----------------	---------

Committente:  Coordinamento/Mandante: 	FAVAZZINA <i>IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ</i> INDAGINE GEOFISICA MULTIMETODOLOGICA	 Rapporto n. 2730/23 Pag. 45 / 67
---	---	---

Nelle figure seguenti si rappresenta graficamente questo fenomeno che è meglio descritto nella trattazione della prova SASW (Spectral Analysis of Surface Waves) piuttosto che nella procedura MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), dove la determinazione della curva di dispersione delle velocità delle onde di superficie in funzione della frequenza non è un dato che deriva dall'analisi dello sfasamento di un segnale tra un geofono e l'altro, ma dalla individuazione dei valori massimi di ampiezza del segnale nello spettro F/K che si ottiene da una specifica elaborazione matematica dell'insieme dei sismogrammi ottenuti dai vari sensori utilizzati per il test.

La differenza tra i due approcci sta semplicemente nel fatto che la prova SASW porta ad una curva di dispersione, da cui si ottiene il modello di sottosuolo, decisamente più "oggettiva", cioè per ogni frequenza il valore della velocità di fase è quello che si ottiene da semplici calcoli, mentre per la prova MASW, il picking dei punti di massimo del segnale alle varie frequenze può anche essere "soggettivo".

Nelle Figure che seguono, n° 34 e 35, si riportano le modalità di propagazione delle onde superficiali e il calcolo della velocità sismica e della lunghezza d'onda delle onde di superficie al variare della frequenza dei segnali.

Data Marzo 2023	2730-Favazzina SIS-ERT-MASW-230323	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	------------------------------------	----------------	---------

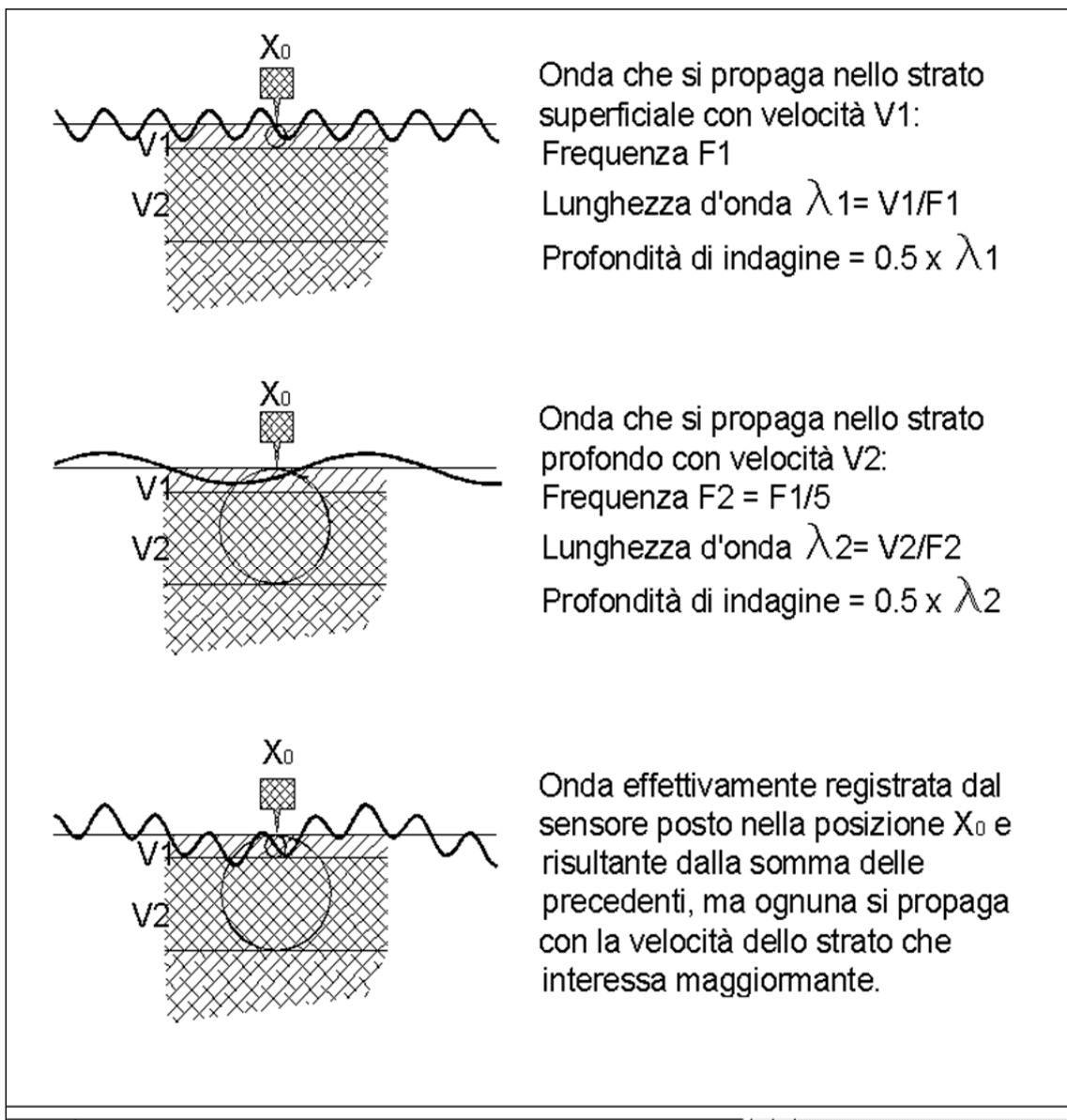


Figura 34 Modalità di propagazione delle onde di superficie e strati interessati

Sperimentalmente si osserva che i segnali registrati in un punto diverso non sono solo attenuati dalla distanza dal punto sorgente, ma hanno anche differenti sfasamenti delle varie componenti.

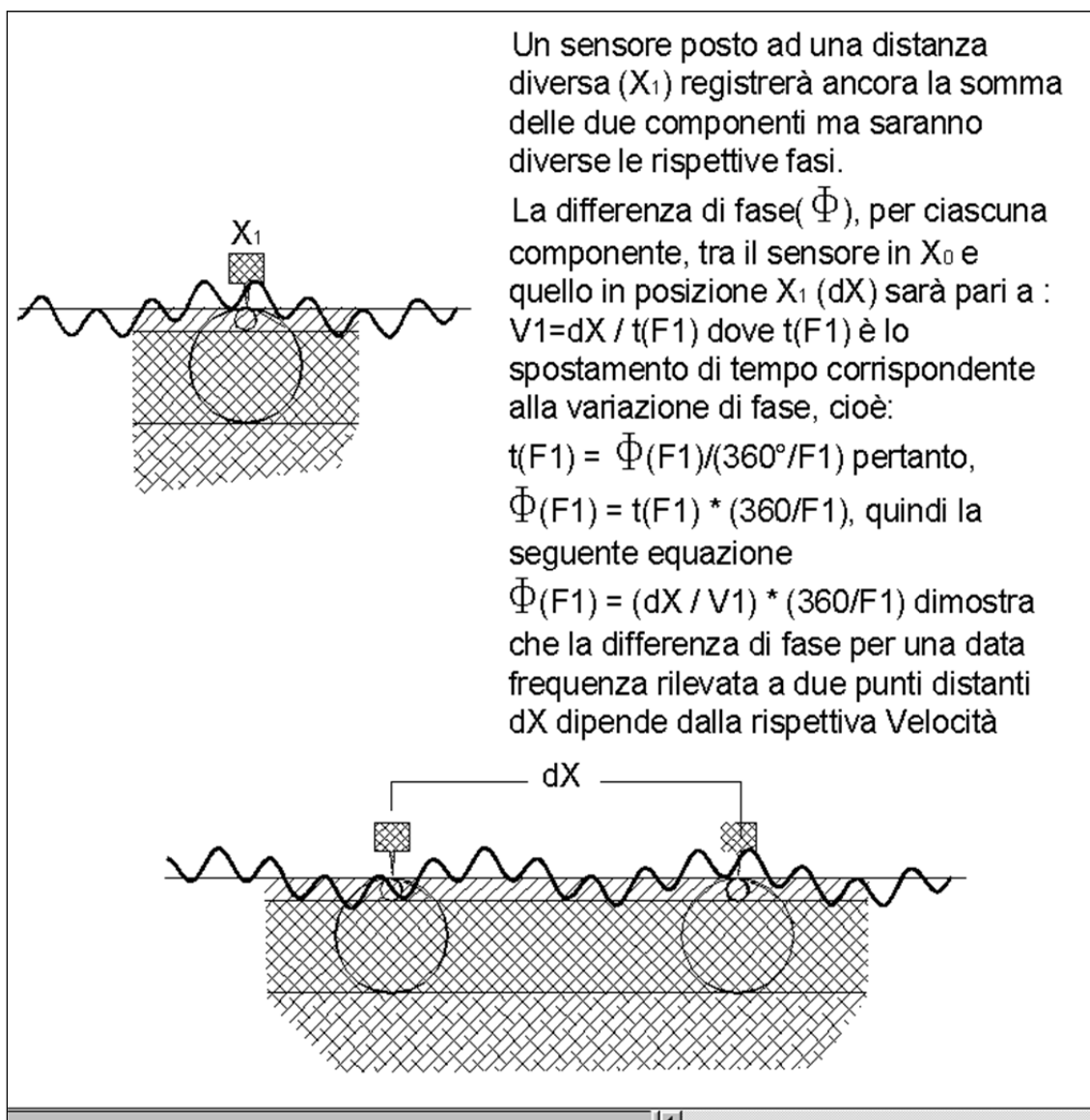


Figura 35 Calcolo delle velocità sismica e della lunghezza d'onda delle onde di superficie al variare della frequenza dei segnali

Tenendo conto che un segnale sismico generato artificialmente (mediante un colpo di un martello, ad esempio) ha un contenuto in frequenza ampio, un terreno stratificato con materiali di differenti caratteristiche, quindi, si comporterà come un filtro, separando le varie componenti che si propagheranno nei vari strati con le velocità caratteristiche, dipendenti essenzialmente dai parametri di elasticità degli stessi e dalla densità in situ del materiale.

6.2 SISTEMA D'ACQUISIZIONE

Le operazioni di acquisizione dati si sono svolte utilizzando un sismografo digitale DAQ-Link III della Seismic Source, 24 geofoni verticali Mark-Products a 4.5 Hz. Come sorgente energizzante per le onde di Rayleigh è stata utilizzata una mazza da 11 kg con impatto su una lastra di gomma dura per ridurre la componente ad alta frequenza a vantaggio delle componenti a bassa frequenza.

La prova MASW è stata realizzata con distanza intergeofonica pari a 5 metri, per un totale di 120 metri di profilo. In Figura 36 si riporta il sismogramma dei primi 400 msec dei 2000 acquisiti ed analizzati per la caratterizzazione sismica ai sensi della vigente normativa.

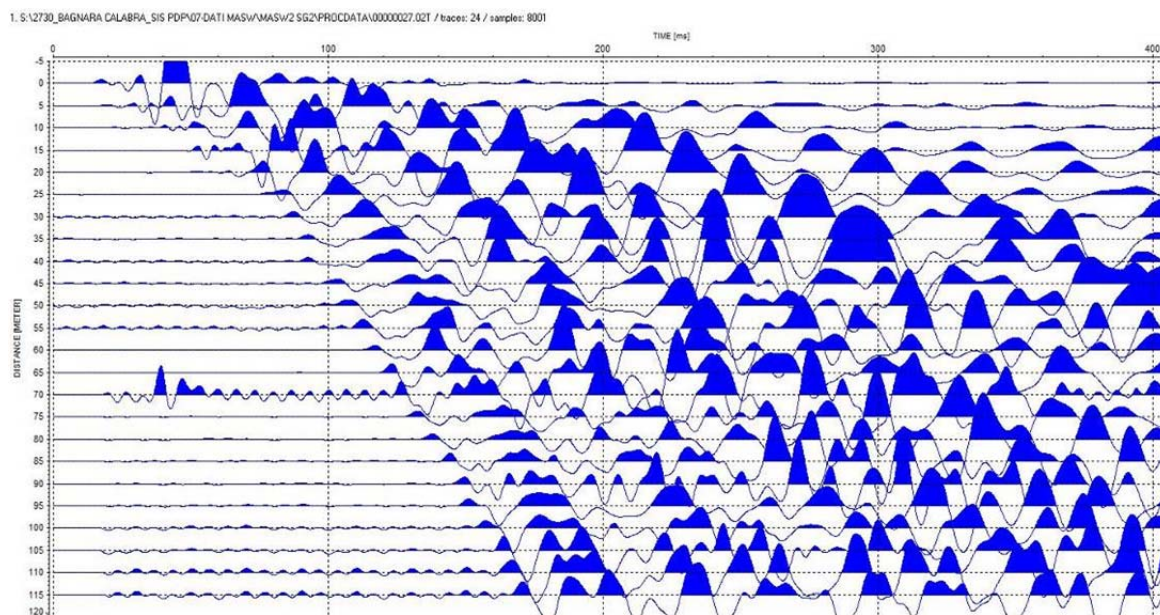


Figura 36 Sismogramma registrato energizzando a 5m dal primo geofono

Il processing dei dati è stato eseguito con il programma “Geopsy Pack 2.5.0”, che consente l'estrazione delle curve di dispersione, dalla cui inversione si ottengono, per ottimizzazione iterativa, i profili di velocità delle onde SV.

6.3 ELABORAZIONE DATI

Il risultato finale della fase di acquisizione è costituito da una serie di file in formato SEG 2.

L'elaborazione MASW si effettua attraverso le seguenti fasi principali:

- Importazione dei dati.
- Generazione, utilizzando il modulo geopsy (Linear FK for active experiments), di un'immagine di dispersione nel dominio frequenza/velocità di fase.
- Picking della curva di dispersione rappresentante la variazione della velocità di fase in un range di frequenza scegliendo per le varie frequenze i punti indicativi delle velocità per le quali lo spettro presenta i massimi valori.

In Figura 37 l'immagine relativa al picking della curva di dispersione ottenuta per la MASW1, nei ranges di frequenze in cui i segnali erano accettabili.

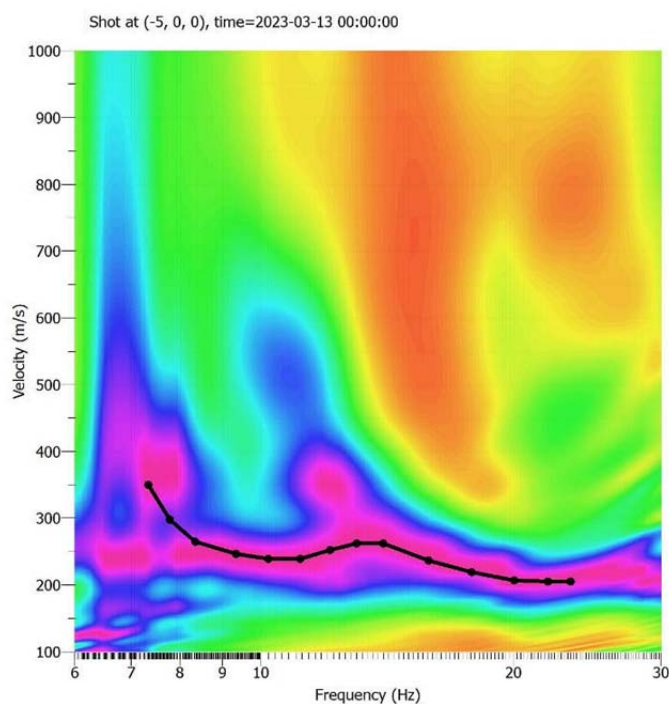


Figura 37 MASW 1 picking della curva di dispersione nel range di frequenza 6-30 Hz

Data Marzo 2023	2730-Favazzina SIS-ERT-MASW-230323	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	------------------------------------	----------------	---------

- Quindi, utilizzando il modulo “dinver” si imposta una stratigrafia consona con le caratteristiche geologiche della zona oggetto di studio.
- Infine si procede all’inversione ed ottimizzazione della stratigrafia fino ad ottenere il “best fit”. Si tratta, essenzialmente, di un metodo iterativo con il quale il programma compara le curve di dispersione estratte (sperimentali) con delle curve teoriche per la ricerca della curva di dispersione ottimale, usando il parametro “Misfit” come guida e constrain. In pratica le iterazioni continuano automaticamente fino a che non viene raggiunto il minimo Misfit, ovvero il “best fitting” tra curva sperimentale e curva teorica.

In Figura 38 si riporta il grafico relativo al “best-fitting” della curva di dispersione sopra riportata con il modello stratigrafico ipotizzato sulla base delle informazioni ottenute dalle indagini sismiche e geoelettriche e dei sondaggi geognostici eseguiti nelle vicinanze.

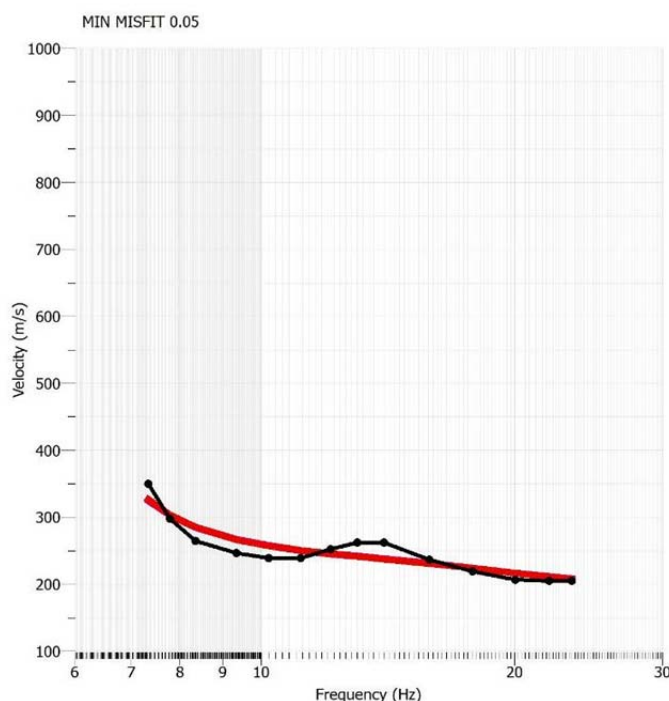


Figura 38 Best Fitting della curva sperimentale con quella teorica

Data Marzo 2023	2730-Favazzina SIS-ERT-MASW-230323	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	------------------------------------	----------------	---------

Il risultato finale del processo di elaborazione è un profilo VSv-Z (velocità delle onde di taglio verticali – profondità). In Figura 39 si riporta il modello ottenuto dove la linea rossa indica il modello con il miglior Misfit (best-fit). A fianco si riporta lo stesso risultato nella forma “a cannocchiale” (schema proposto da Georisorse) che permette una più agevole presentazione in sovrapposizione alle altre sezioni e tomografie

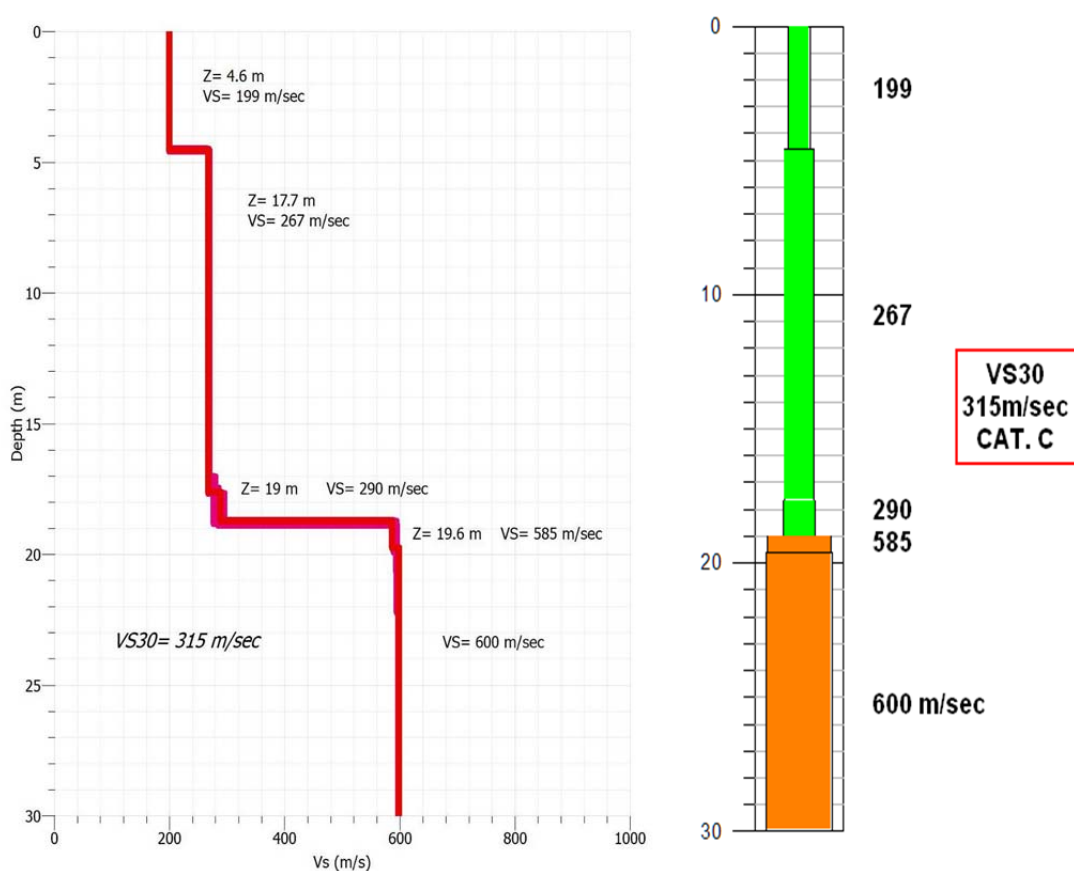





Figura 39 Profilo Vs/Z ottenuto dall’elaborazione della MASW e diagramma a cannocchiale dello stesso

Committente:  Coordinamento/Mandante: 	FAVAZZINA IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ INDAGINE GEOFISICA MULTIMETODOLOGICA	 Rapporto n. 2730/23 Pag. 52 / 67
---	--	---

7. PRESENTAZIONE E CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI

I risultati ottenuti dalla presente indagine vengono restituiti nelle Tavole 2 e Tavola 3 per l'area di monte e nella Tavola 4 per l'area di valle.

In ognuna si riportano le tomografie sismiche e di resistività allineate con la mappa che riporta la posizione della stesa. In basso per ogni profilo si riporta la sezione interpretativa basata sull'andamento delle tomografie e sulle conoscenze geologiche della zona.

Per le due aree di intervento le sezioni sono state redatte con differenti simbologie data la presenza di condizioni geologiche differenti. In Figura 40 si riporta la legenda utilizzata in fase di interpretazione delle linee esplorate nell'area di monte.

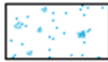
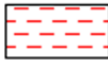






	Terreni recenti molto allentati
	Livelli con abbondante matrice fine argillo-limosa
	Formazione pleistocenica allentata e scarsamente cementata
	Calcareniti, conglomerati e rocce alterate del substrato metamorfico
	Substrato di rocce cristalline e/o metamorfiche compatte

Figura 40 Legenda interpretativa delle sezioni dell'area di monte

Per entrambe le aree vi sono anche alcune simbologie in comune, come per esempio la delimitazione di quello che può essere inteso lo strato superficiale allentato, il limite del substrato sismico, le discontinuità sub-vertivcali e le intercalazioni allentate (stratificazioni), vedi Figura 41.

Data Marzo 2023	2730-Favazzina SIS-ERT-MASW-230323	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	------------------------------------	----------------	---------

Committente:  Coordinamento/Mandante: 	FAVAZZINA <i>IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ</i> INDAGINE GEOFISICA MULTIMETODOLOGICA	 Rapporto n. 2730/23 Pag. 53 / 67
---	---	---






-  Limite dei terreni molto allentati ($V < 500-600 \text{m/sec}$)
-  Limite tra formazione pleistocenica allentata e compatta ($V = 1'300-1-400 \text{m/sec}$)
-  Substrato sismico ($V > 2'300-2'500 \text{m/sec}$)
-  Discontinuità subverticali (frature o faglie)
-  Discontinuità sub-orizzontali (stratificazioni)

Figura 41 Legenda interpretativa comune ad entrambe le aree

Di seguito si riportano le sezioni interpretative come estratte dalle tavole allegate, da Figura 42 a 48:

Data Marzo 2023	2730-Favazzina SIS-ERT-MASW-230323	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	------------------------------------	----------------	---------

Figura 42 Sezione interpretativa del profilo PR1

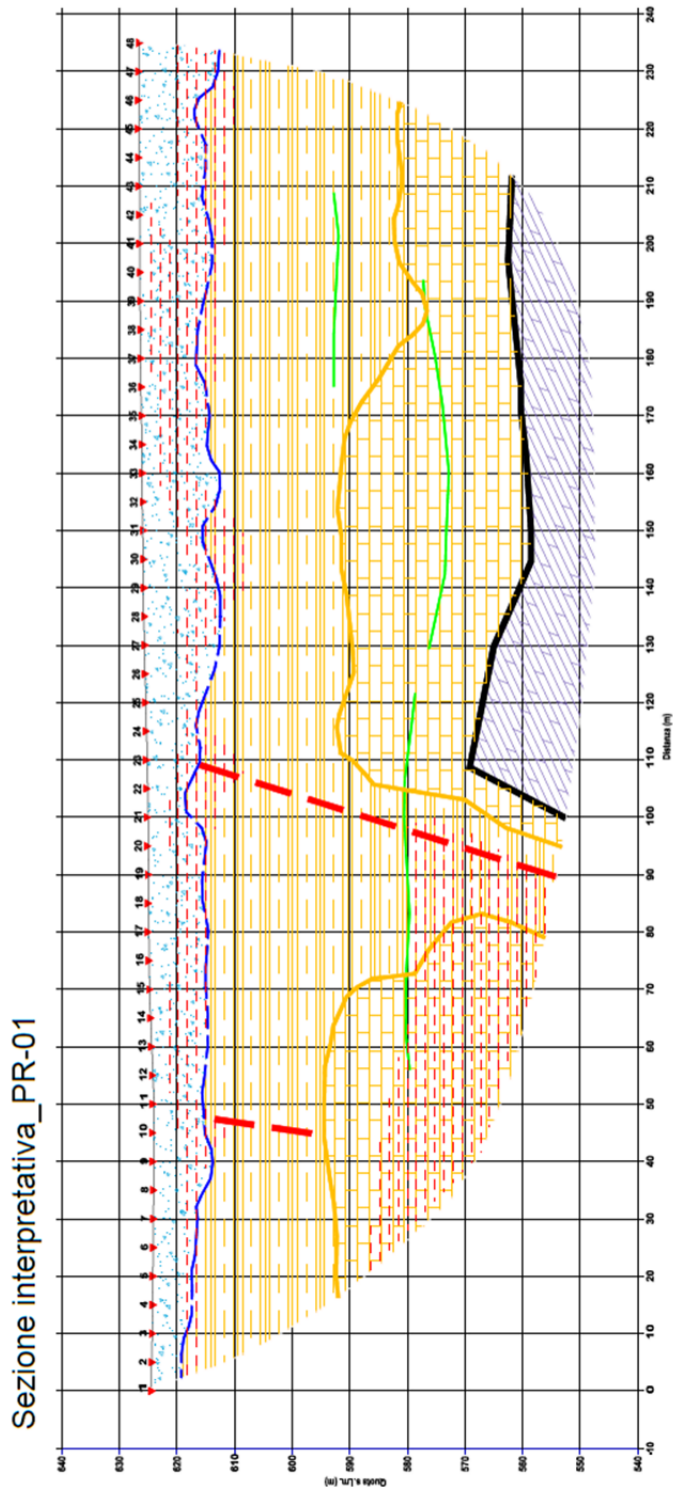


Figura 43 Sezione interpretativa del profilo PR2

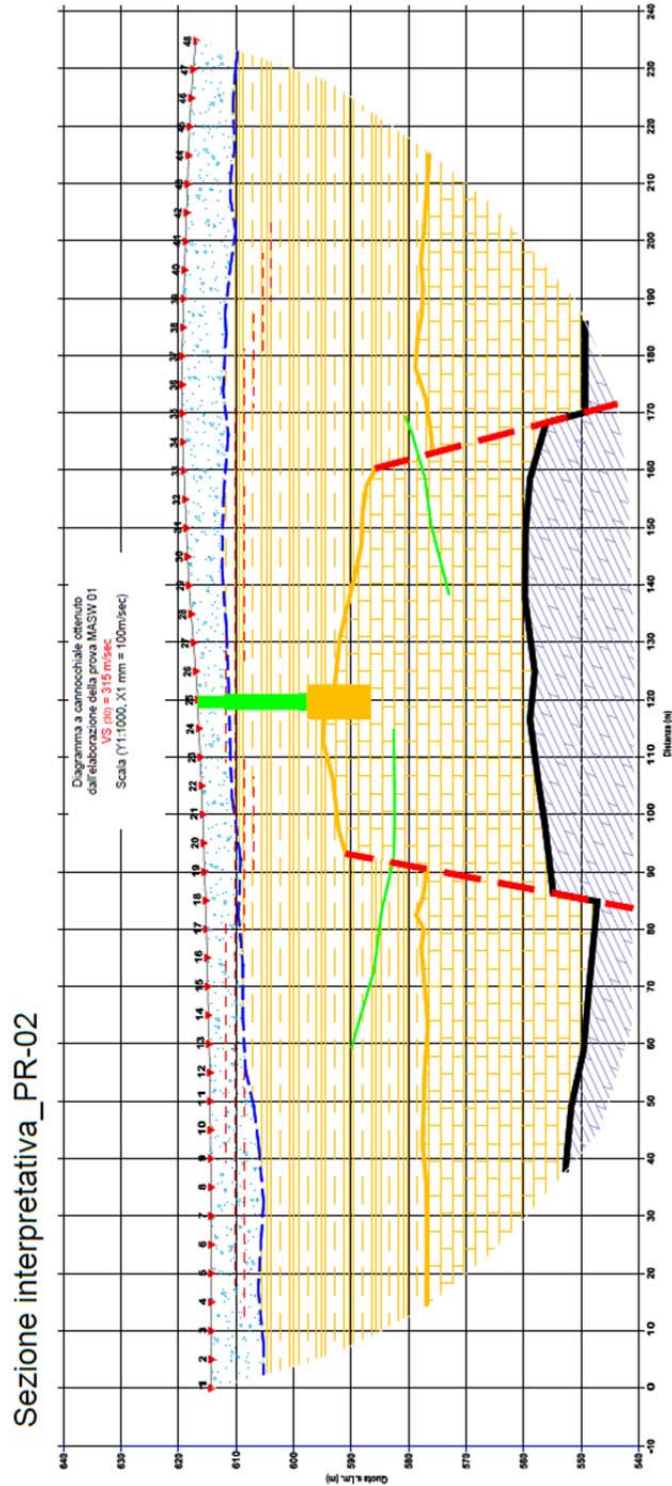


Figura 44 Sezione interpretativa del profilo PR3

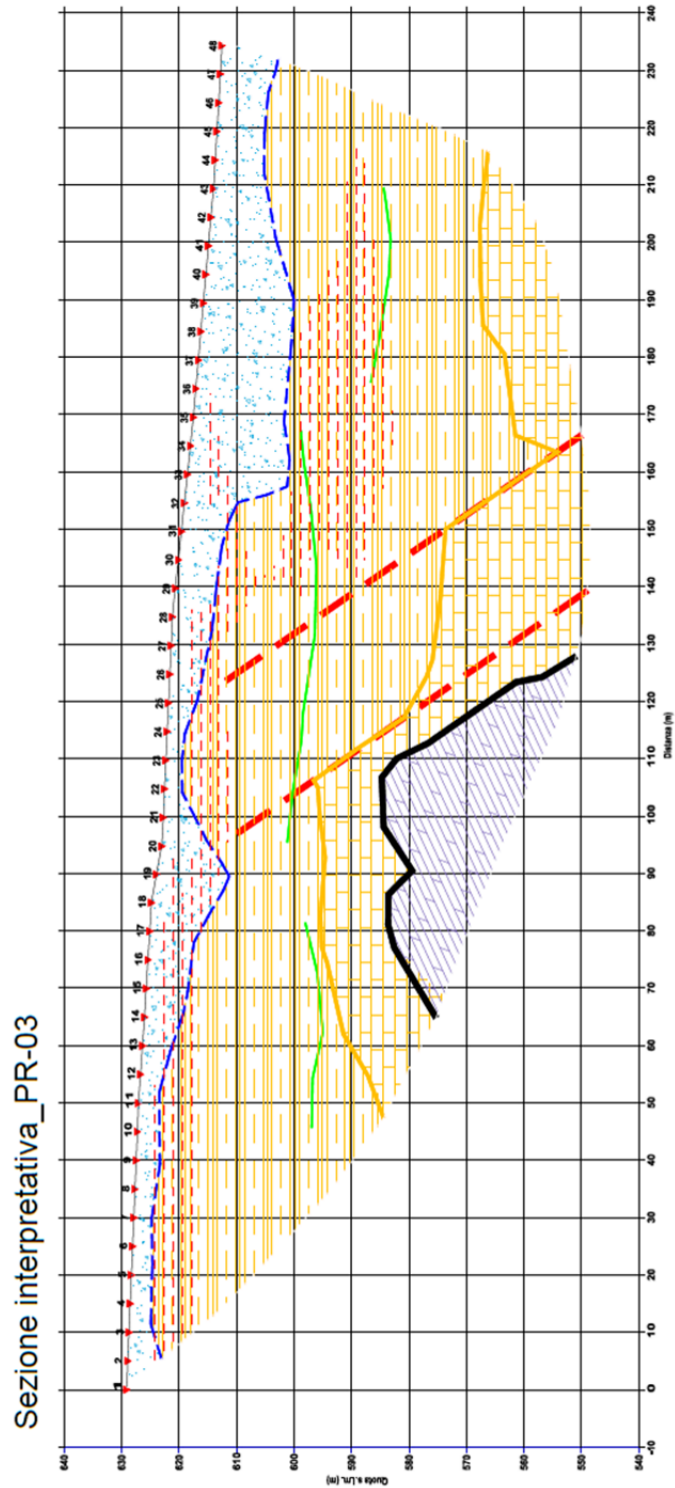


Figura 45 Sezione interpretativa del profilo PR4

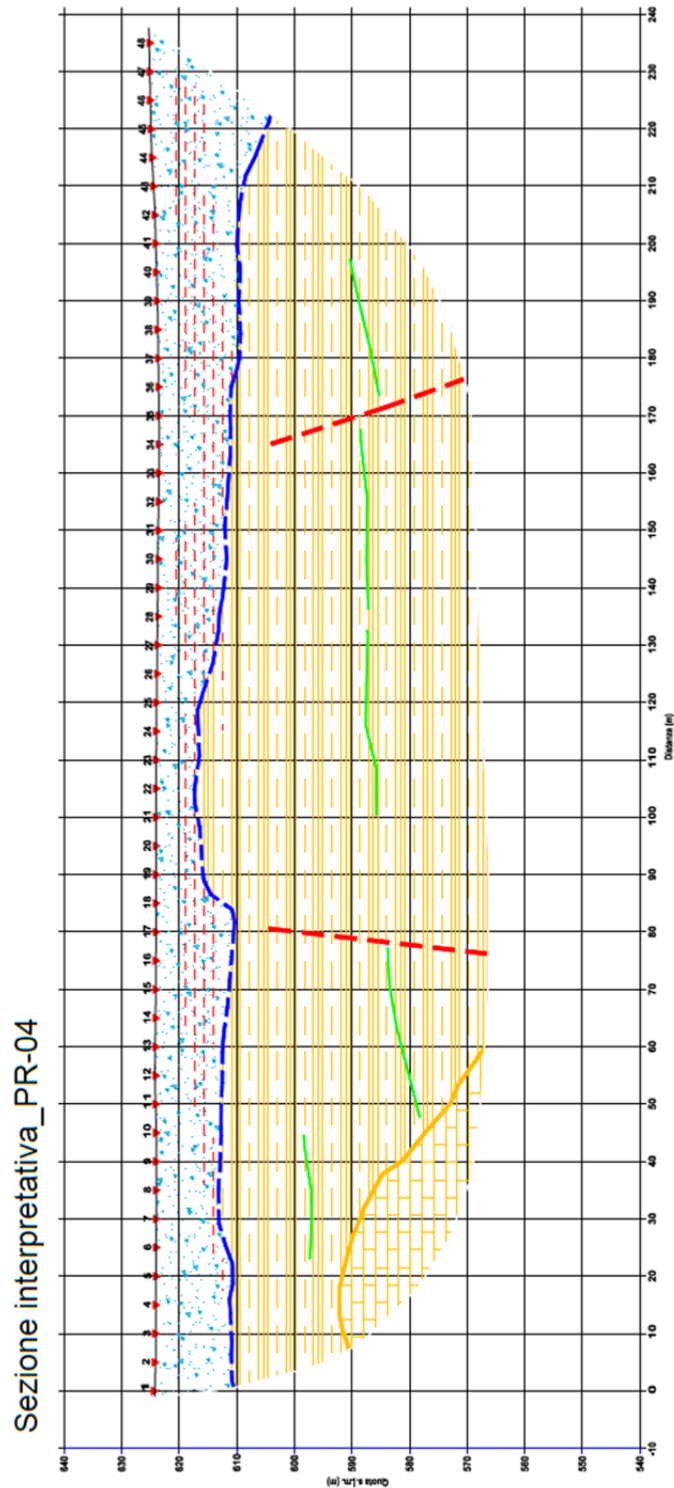


Figura 46 Sezione interpretativa del profilo PR5

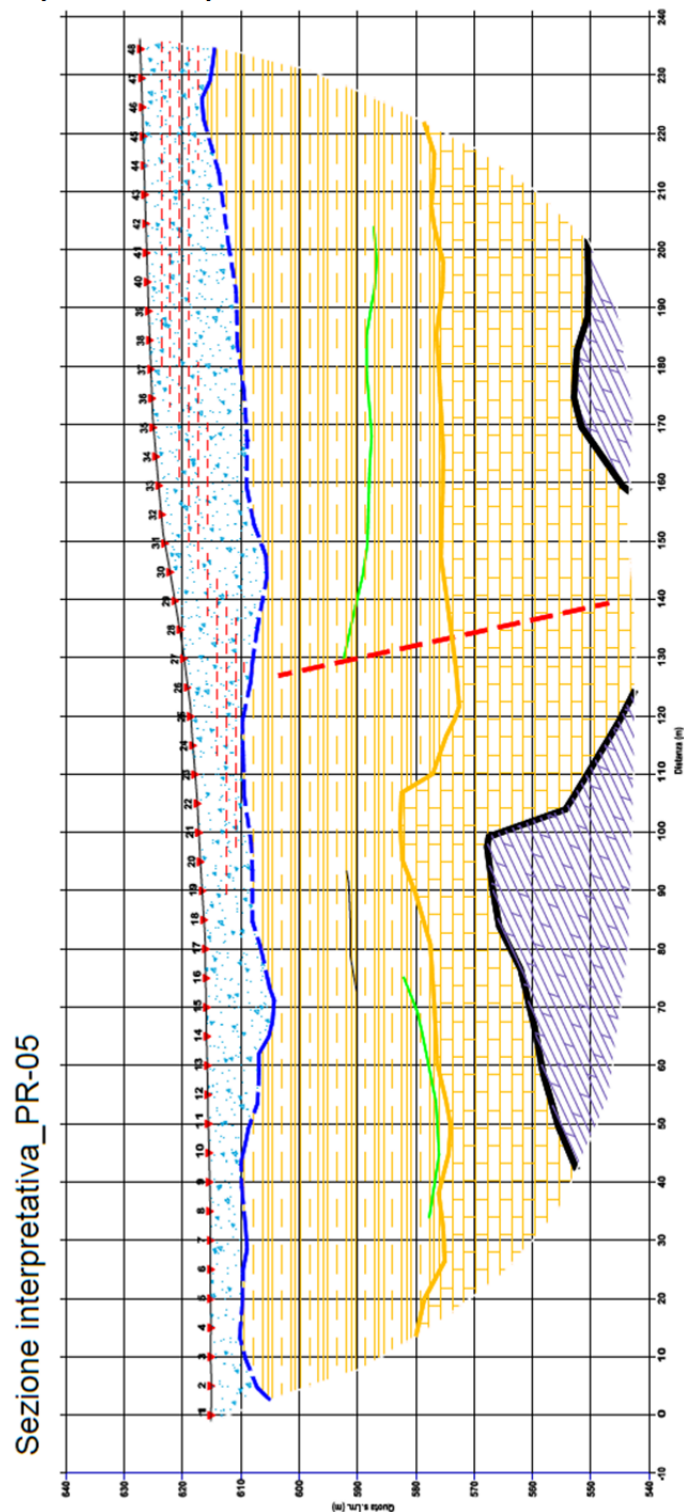


Figura 47 Sezione interpretativa del profilo PR6

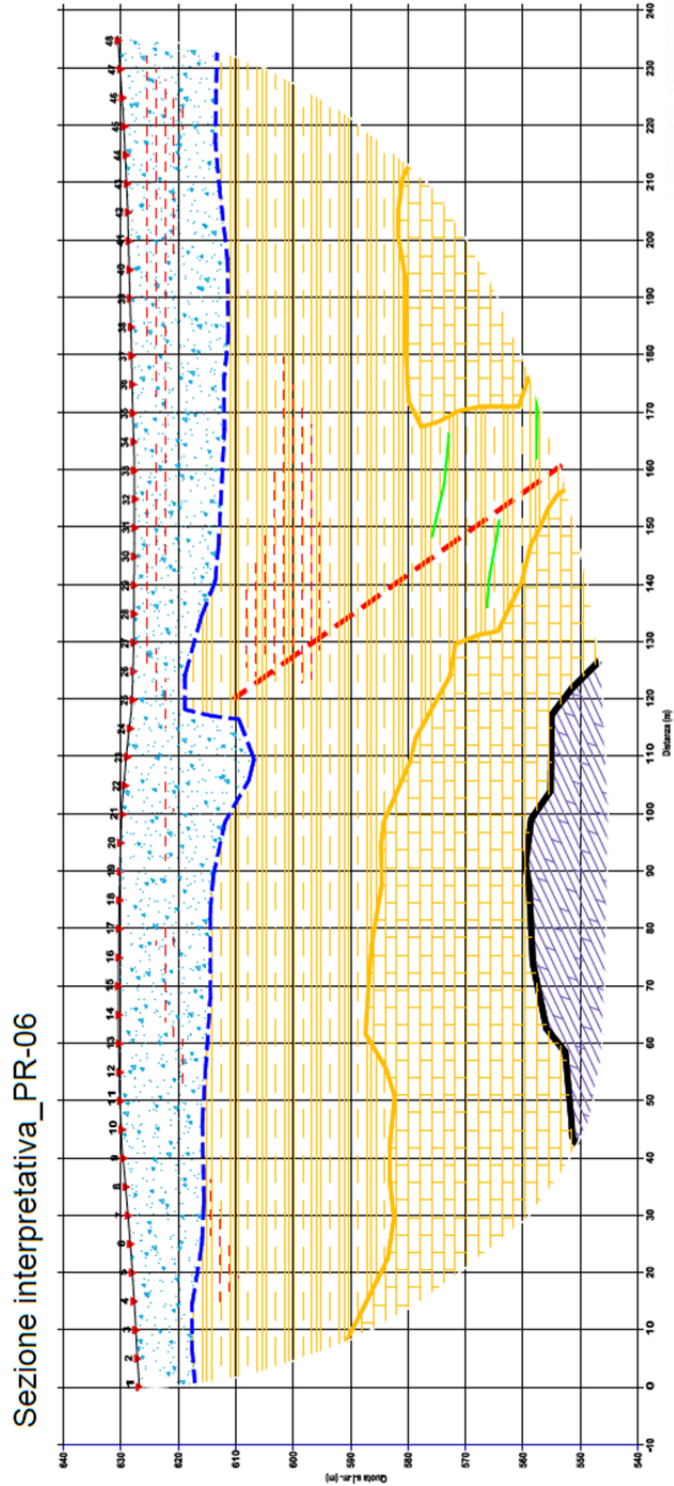
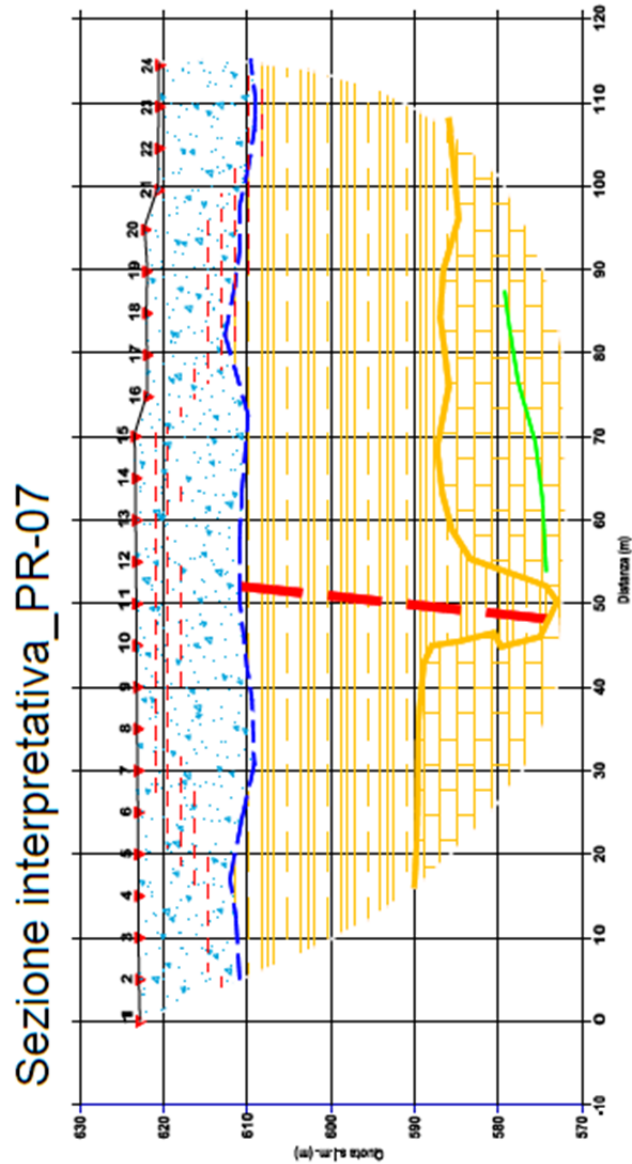





Figura 48 Sezione interpretativa del profilo PR7



Committente:  Coordinamento/Mandante: 	FAVAZZINA IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ INDAGINE GEOFISICA MULTIMETODOLOGICA	 Rapporto n. 2730/23 Pag. 61 / 67
---	--	---

In cinque delle sette sezioni esplorate sono state raggiunte profondità di indagine di circa 70-80m dal p.c., fanno eccezione i Profili n°4 e 7 (Figura 45 e 48) che hanno raggiunto profondità inferiori a 50 m dal p.c.

Lungo i profili che hanno raggiunto le massime profondità di indagine i tratti di con elevata velocità sismica (substrato sismico) sono stati interpretati come “basamento cristallino” che sembra oscillare tra profondità di 60 e 70 m dal p.c. lungo i profili PR1, PR2, PR6 (Figura 42, 43 e 47) ed a profondità di circa 50 m per i Profili 03 e 05 (Figura 44 e 46).

Questi contesti di roccia compatta risultano, quasi sempre, limitati ad alcuni tratti di profilo (ad eccezione del PR02). Questa situazione è stata interpretata come dovuta alla morfologia del tetto del basamento stesso, precedente alla deposizione dei sedimenti pleistocenici, o alla presenza di zone di alterazione della roccia stessa, che, in queste condizioni, potrebbe presentare una velocità sismica più bassa.

In entrambi i casi le discontinuità dello strato profondo possono essere collegate con la presenza di zone di frattura o faglia, tendenzialmente sub-verticali, che sono state indicate nelle sezioni interpretative con apposito simbolismo (linee rosse tratteggiate) che, pertanto non sempre delimitano esattamente le zone di alto, ma, spesso, seguono le zone di minima velocità sismica negli orizzonti profondi (velocità di circa 1500-1600 m/sec).

La posizione di queste linee di frattura indicate nelle sezioni è riportata anche nella Figura seguente in scala adattata alla pagina. La direzione delle linee di frattura è volutamente indicata ortogonale alla direzione del profilo in quanto non si hanno elementi per una indicazione specifica. Il lato ribassato viene indicato da una coppia di linee che evidenziano il verso dell’abbassamento. Sarà cura del Geologo incaricato della ricostruzione strutturale dell’area, se le riterrà utili, indicare la probabile direzione delle fratture ed i possibili collegamenti con evidenze di superficie o altre ipotesi.

Data Marzo 2023	2730-Favazzina SIS-ERT-MASW-230323	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	------------------------------------	----------------	---------

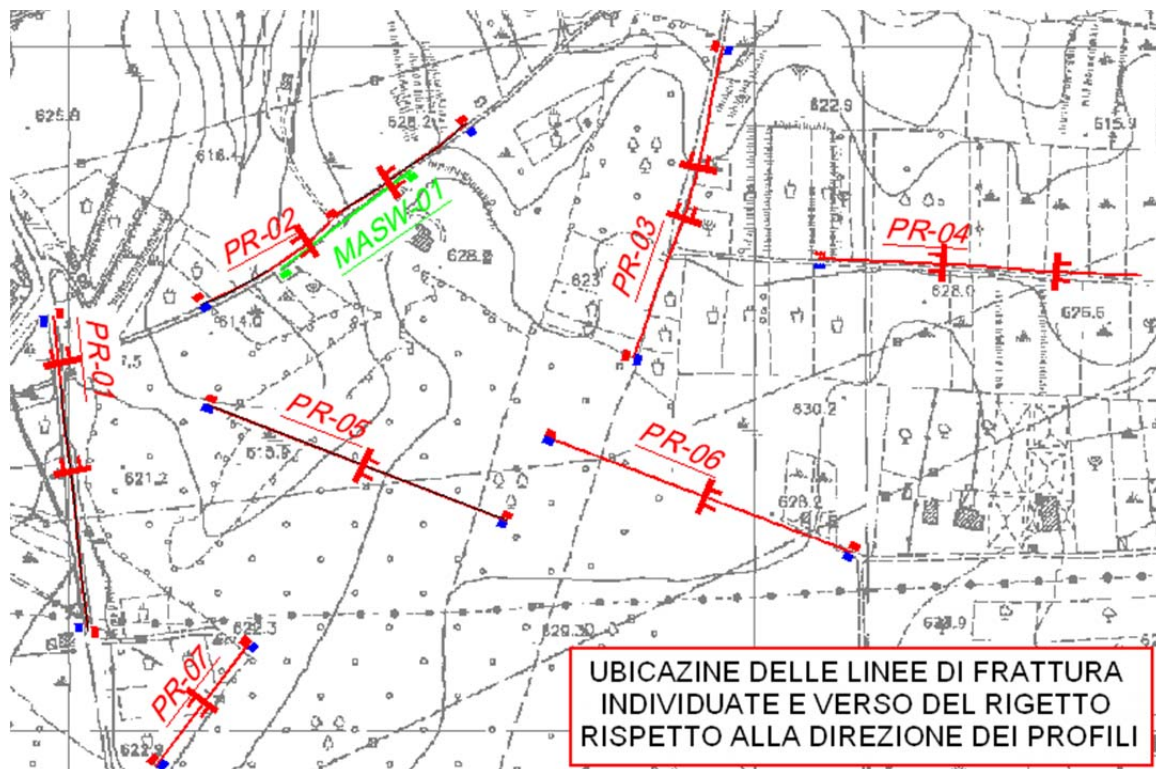





Figura 49 Ubicazione delle linee di frattura ipotizzate nell'area di monte.

In alcuni profili, particolarmente il PR03 ed il PR06 (Figura 44 e 47), le linee di frattura sono state disegnate molto più inclinate rispetto agli altri profili, questa situazione potrebbe essere il risultato dell'orientazione dei profili suddetti rispetto alla direzione delle strutture che potrebbero essere molto prossime tra loro, quasi parallele al profilo, quindi nelle sezioni si tratta di una inclinazione apparente.

La presenza delle zone più conduttive (Rho inferiore a 100 Ohm x m) nella parte superficiale delle tomografie di resistività è indicata dal simbolismo del tratteggio a linee rosse. Queste zone sono state interpretate come contesti in cui è abbondante la matrice fine nei sedimenti pleistocenici recenti (in legenda: *Livelli con abbondante matrice fine argillo-limosa*); queste sono risultate particolarmente evidenti nei primi 10-20 m di tutti i profili. Solo nella zona iniziale del PR1(Figura 42) la zona conduttiva è molto evidente anche a profondità di 50-70 m. Tuttavia, questa zona di resistività anomala rispetto alle altre sezioni, potrebbe essere anche il risultato di disturbi elettrici provenienti dalla vicina

Data Marzo 2023	2730-Favazzina SIS-ERT-MASW-230323	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	------------------------------------	----------------	---------

Committente:  Coordinamento/Mandante: 	FAVAZZINA IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ INDAGINE GEOFISICA MULTIMETODOLOGICA	 Rapporto n. 2730/23 Pag. 63 / 67
---	--	---

sottostazione ENEL, presente proprio all'inizio dello stesso profilo, quindi va considerata di bassa attendibilità per la possibile interferenza con il suddetto impianto.

Per quanto riguarda l'area di valle la legenda delle sezioni interpretative è parzialmente diversa da quella delle sezioni dell'area di monte. Nella Figura seguente, 50, si riporta la parte che si differenzia.






	Detriti e riporto antropico
	Zone con prodotti di alterazione o infiltrazione di acque marine
	Depositi alluvionali grossolani o roccia scompaginata
	Roccia del substrato molto fratturata
	Substrato di rocce cristalline e/o metamorfiche compatte

Figura 50 Legenda delle sezioni interpretative dei Profili PR8 e PR9

In questo caso le zone conduttive (Rho inferiore a $100 \text{ Ohm}\cdot\text{m}$) sono state interpretate come legate a zone di marcata alterazione della roccia del basamento cristallino o per probabili infiltrazioni di acqua marina nella zona di detrito in prossimità della linea di costa.

Anche gli strati con velocità sismica intermedia tra il detrito superficiale ed il substrato sismico (V_p compresa tra $600\text{-}2500 \text{ m/sec}$) possono avere differenti origini a seconda che ci si trovi in prossimità degli affioramenti del basamento o in zone di accumulo dei detriti.

Nelle Figure seguenti, 51 e 52, si riportano le sezioni interpretative dei profili PR8 e PR9, estratte dalla Tavola 4 allegata, in scala adattata alla pagina.

Data Marzo 2023	2730-Favazzina SIS-ERT-MASW-230323	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	------------------------------------	----------------	---------

Figura 51 Sezione interpretativa del profilo PR8

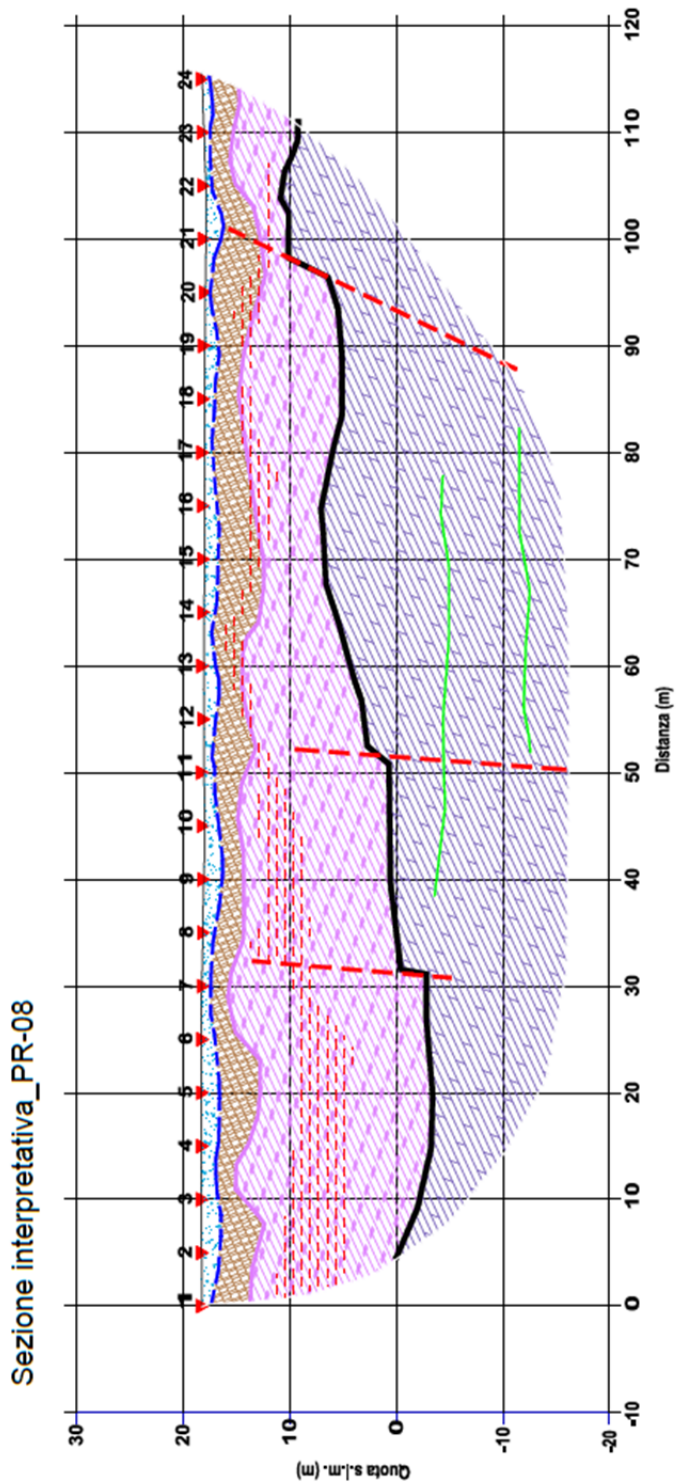
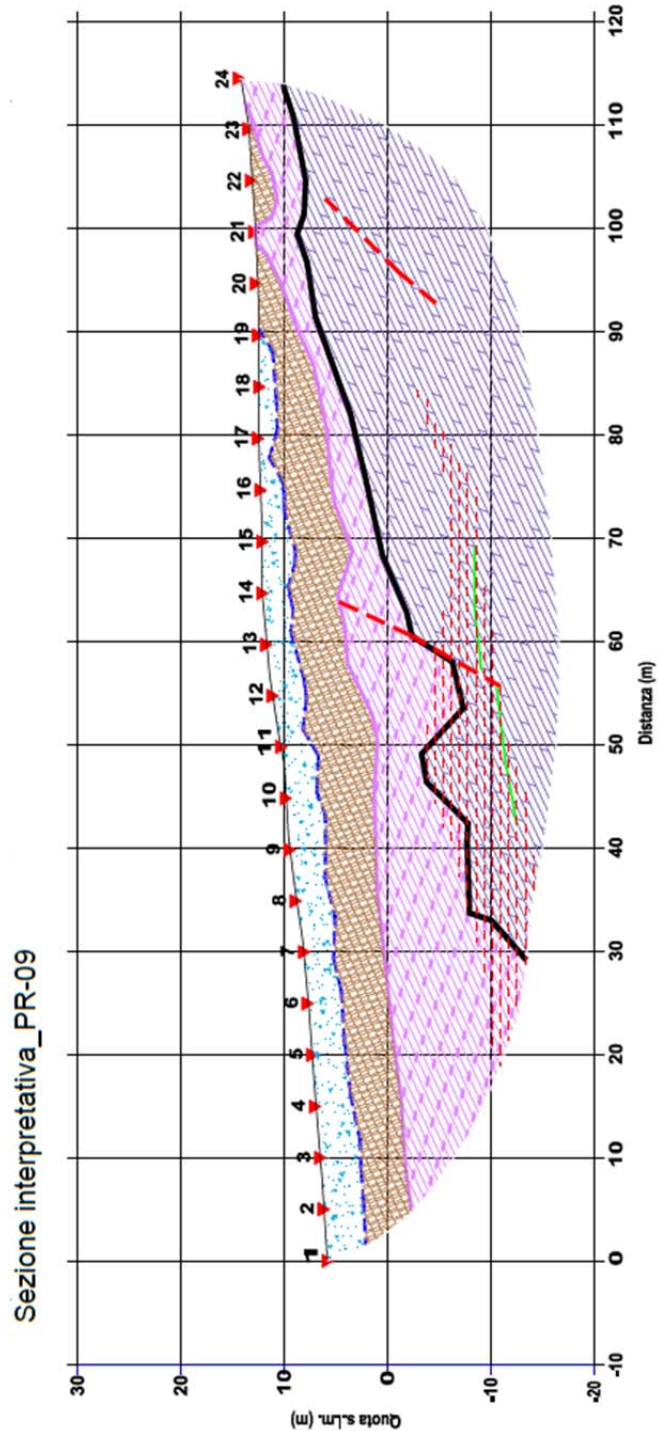





Figura 52 Sezione interpretativa del profilo PR9



Committente:  Coordinamento/Mandante: 	FAVAZZINA IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ INDAGINE GEOFISICA MULTIMETODOLOGICA	 Rapporto n. 2730/23 Pag. 66 / 67
---	--	---

In queste due sezioni sono stati inseriti anche, con apposito simbolismo, gli strati che identificano la parte fratturata e molto alterata del basamento cristallino (V_p compresa tra 1400 e 2500 m/sec). Le zone conduttive in quest'area possono essere legate sia alla presenza di una marcata alterazione dello gneiss, ma anche alla possibile infiltrazione di acque marine lungo il contesto di depositi alluvionali presenti lungo il PR09 (Figura 52).

Anche in questo caso si riporta, in Figura 53, il piano di posizione delle indagini con le linee di frattura indicate nelle sezioni, sempre con la direzione della frattura ortogonale alla linea del profilo.



Figura 53 Ubicazione delle linee di frattura ipotizzate nell'area di valle

Data Marzo 2023	2730-Favazzina SIS-ERT-MASW-230323	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	------------------------------------	----------------	---------

Per quanto riguarda le considerazioni sulle caratteristiche sismiche dei terreni di fondazione del Bacino di monte, l'analisi dei dati acquisiti lungo il PR02 ha permesso di stabilire che si hanno le condizioni per classificare gli stessi in categoria C dato che la parte più superficiale dei depositi Plestocenici appare molto allentata e caratterizzata dal velocità delle onde di taglio (onde S), inferiore a 360m/sec.

In Figura 54 si riporta il "diagramma a cannocchiale" utilizzato per la restituzione dei risultati della prova MASW, in cui lo spessore della linea è direttamente proporzionale alla velocità dello strato e le differenti colorazioni indicano i ranges della normativa in vigore per la classificazione dei terreni, e la relativa scala cromatica.

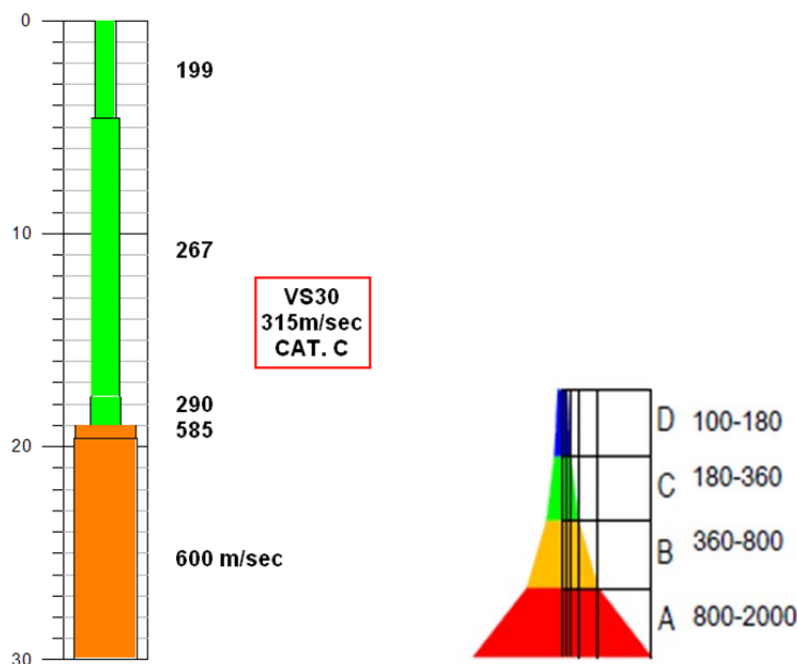


Figura 54 Diagramma acannocchiale redatto per la prova MASW e scala cromatica

Dott. Geol. Gianfranco Censini
 Sinalunga, Marzo 2023