



Comune di Molfetta

**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del
comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama
Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**

Progetto Definitivo

Responsabile Unico del Procedimento

Arch. Lazzaro Pappagallo

Progettazione

Ing. Alessandro Binetti

(Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bari n.4947)

Supporto tecnico scientifico al R.U.P.

Prof. Ing. Vito Telesca

Supporto alla progettazione



Prof. Ing. Alberto Ferruccio Piccinni
(Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bari n.7288)

Ing. Giovanni Vitone
(Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bari n.3313)

Ing. Luigi Fanelli
(Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bari n.7428)

Gruppo di lavoro interno

Ing. Luca Lucanie

Geom. Luciano Mezzina

Geom. Gaetano De Bari

Sig.ra Silvana Altomare

ELABORATI DESCRITTIVI

Relazione geologica

G

rapporto --

ottobre 2016 - revisione dicembre 2016

il Commissario Straordinario
Dott. Mauro Passerotti

PREMESSA

Lo studio geologico, idrogeologico, geotecnico e geofisico effettuato in questo lavoro riguarda i terreni che saranno interessati dagli interventi di salvaguardia idraulica della zona ASI di Bari-Molfetta in località Molfetta, ai sensi della nuova normativa sulle costruzioni denominata "NTC 2008" ed entrata in vigore dal 1° Luglio 2009 (Rif. D.M. 14.01.2008).

Il progetto in itinere, fa riferimento alla Delibera CIPE 62/2011 del 03.08.2011 – Individuazione ed assegnazione di risorse ad interventi di rilievo nazionale ed interregionale di rilevanza strategica per l'attuazione del piano nazionale per il sud.

1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'agglomerato industriale di Molfetta si sviluppa a nord ovest del Comune di Molfetta con un estensione totale pari a 4,34 km² circa, parallelo alla linea di costa risulta compreso tra il comune di Bisceglie e la zona PIP del comune di Molfetta, intersecato dalla ferrovia Bari - Bologna e dalla SS 16 bis. Dal punto di vista dell'utilizzazione del territorio, l'agglomerato presenta caratteri peculiari non solo di una zona industriale ma di una zona commerciale ad alta densità di popolazione fluttante. Si evidenzia inoltre che l'area industriale

confina a sud con la zona PIP di Molfetta (densamente popolata) e a nord - ovest con terreni agricoli del Comune di Bisceglie destinati ad un'eventuale espansione industriale.



Fig. 1 – Agglomerato industriale di Molfetta

In generale il territorio del Comune di Molfetta è solcato da impluvi naturali denominati "lame" più o meno incise, perpendicolari alla linea di costa che terminano in prossimità dello sbocco nel mare con le "cale".

Se dall'analisi della cartografia ufficiale a disposizione (IGM in scala 1:25.000) non si evince alcun tratteggio rappresentante reticoli idrografici, gli studi condotti finora hanno evidenziato la presenza di reticoli naturali interferenti l'agglomerato. L'Autorità di Bacino della Regione Puglia, nell'ambito delle sue competenze e della sua funzione di approfondimento delle tematiche relative alla difesa dal rischio idrogeologico, ha individuato una serie di reticoli interferenti con la zona gestita dal Consorzio ASI.

I reticoli interferenti, che costituiscono il complesso della "Lama Nord" si riconducono, a partire da nord verso sud, a "Lama dell'Aglio", "Lama Savorelli", "Lama Marcinase" e dalla "Lama Scorbeto" che lambisce la zona PIP del Comune di Molfetta.



Fig. 2 – Orofoto con indicazione dei reticoli idrografici

In seguito a successivi approfondimenti e valutazioni di tipo idrico - morfologico, si sono evidenziate situazioni di pericolosità idraulica connesse all'idrografia del territorio che hanno condotto l'AdB ad individuare aree ad elevata pericolosità idraulica.

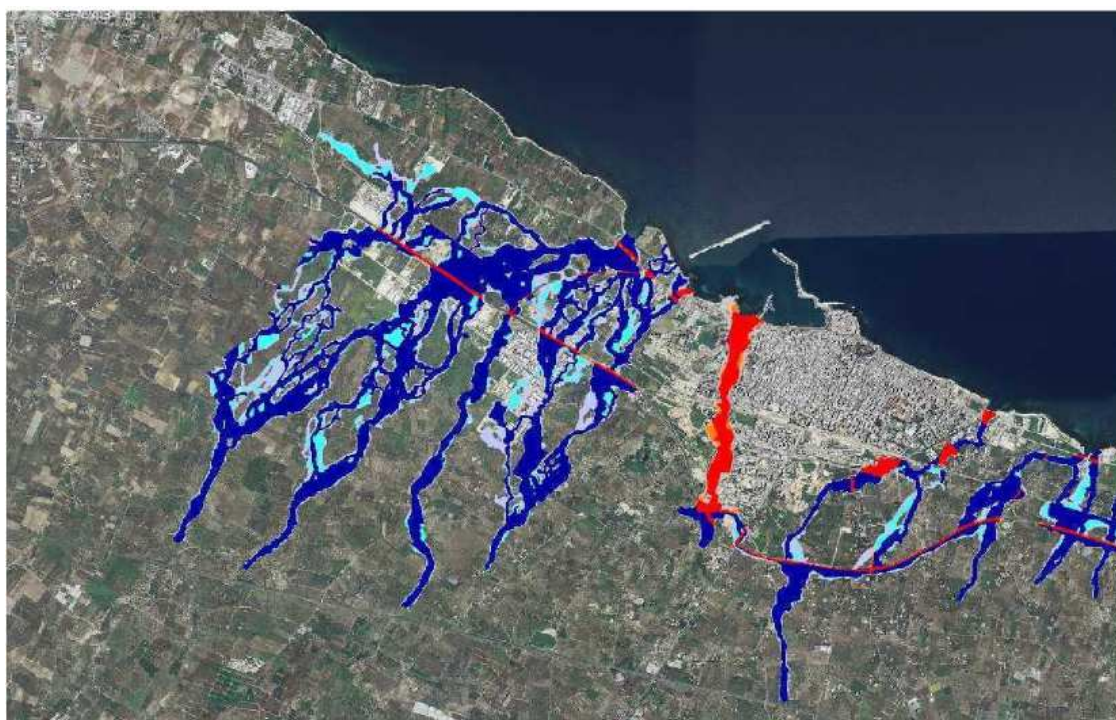


Fig. 3 – Idrografia dell'area

2. PROGETTO PRELIMINARE

Il progetto di salvaguardia idraulica, radatto dai tecnici dell'ASI di Bari, si basa nella deviazione a monte delle lame dell'Aglio, Savorelli, e Lama Marcinase, in unico canale deviatore passante come recapito finale nella zona sud-est dell'agglomerato industriale e precisamente ai margini della zona PIP di Molfetta, fino allo sbocco a mare nella località "Cala S. Giacomo", ripercorrendo il reticolo idrografico della Lama Scorbeto.

Il criterio progettuale adottato si sostanzia nell'aver imposto una sezione costante del canale in cemento armato che parte dai margini della zona PIP di Molfetta fino allo sbocco a mare e precisamente in prossimità della Cala San Giacomo, luogo in cui si raccolgono tutti i bacini idrografici dell'area interessata all'intervento.

Tale motivazione è avvalorata dalla circostanza che questo tratto è fortemente inficiato da preesistenze: Statale 16 Bis, Ferrovia Bari-Bologna, Statale 16 ed aree urbanizzate quali depuratore cittadino ed edifici a carattere industriale ed agricolo. Tale imposizione progettuale, ha comportato sulla base delle verifiche idrauliche, il dimensionamento dei canali deviatori e la formazione di casse di espansione disposte sui canali, il cui dimensionamento è stato rapportato nel contenere le portate di picco dovute ai tempi di ritorno dei 200 anni.

Inoltre, sono state individuate tutte le interferenze dalle viabilità insistenti lungo il tracciato dell'opera di mitigazione del rischio idraulico, adottando in tal caso, soluzioni alternative di viabilità che tengono conto di diminuire i disagi agli utenti ed ai fruitori di dette aree, e al contempo di contenere le spese strettamente necessarie per la realizzazione di dette opere.

Tutti i canali a monte dell'intervento, saranno caratterizzati da opere di ingegneria naturalistica e di sistemazione a verde, rendendo l'intervento leggibile sul territorio e meno impattivo.

Inoltre le specie arboree più significative, saranno estirpate e ricollocate in aree idonee accogliendo anche le richieste degli stessi imprenditori agricoli, al fine di garantire dove sia possibile, un ripristino in aree dedicate.

Tutti i materiali di scavo rinvenuti dalle opere e dai lavori in questione, saranno recuperate per la formazioni di rilevati stradali e delle arginature dei canali posti a monte dell 'agglomerato industriale.

L'intervento di mitigazione del rischio idraulico, come evidenziato dalla Tav. 4 di progetto relativo agli ambiti estesi del PUTT, non presenta interferenze con vincoli di carattere architettonico e paesaggistico.

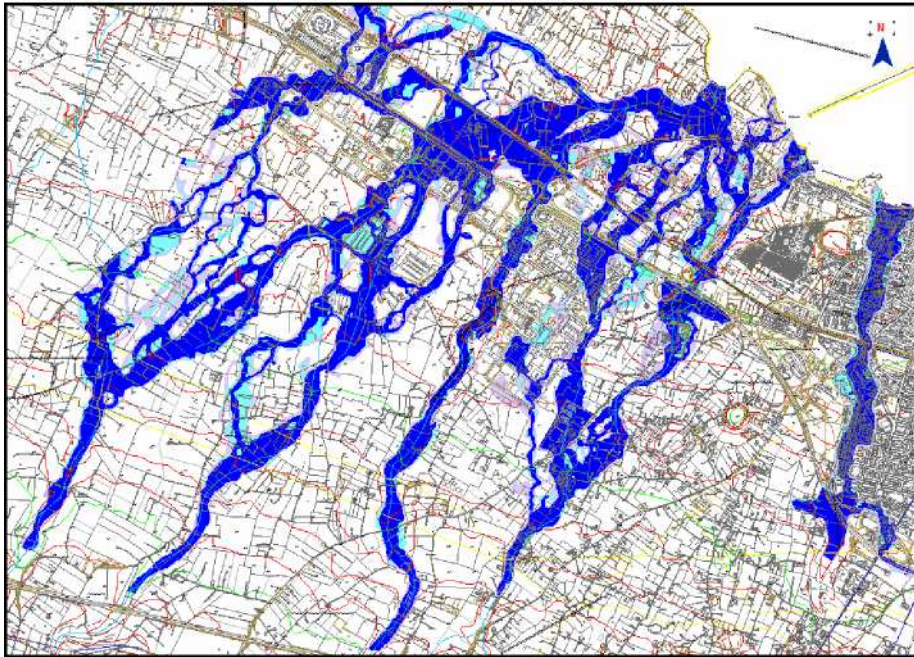


Fig. 4 - Situazione dell'area prima dell'intervento

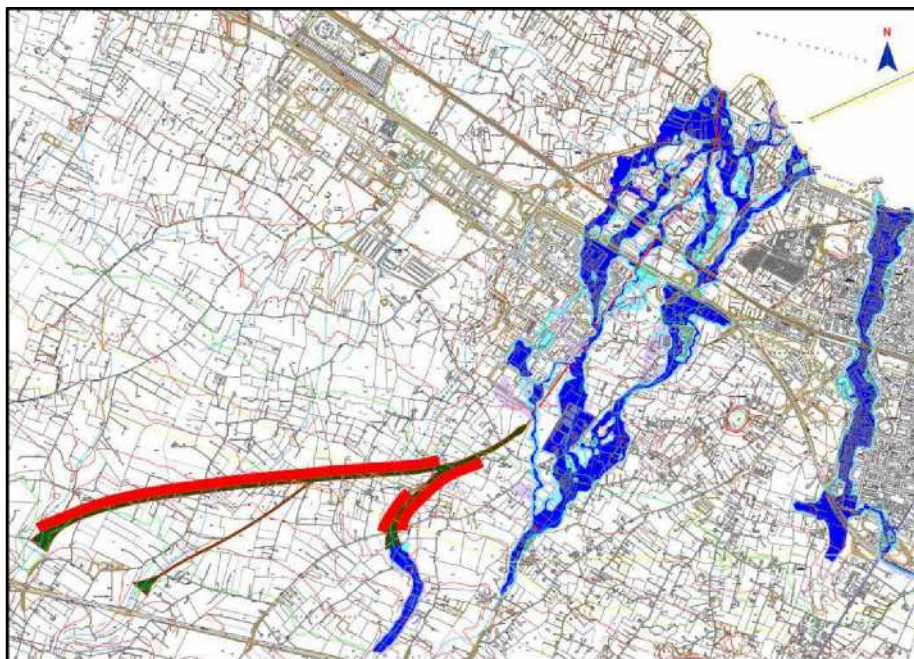


Fig. 5 - Situazione dell'area dopo l'intervento

3. PERICOLOSITA' IDRAULICA DELL'AREA DI INTERVENTO

Le norme tecniche di attuazione del PAI, Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI) dell'Autorità di Bacino della Regione Puglia approvato con deliberazione del Comitato Istituzionale del 30 novembre 2005, in relazione alle condizioni idrauliche, alla tutela dell'ambiente e alla prevenzione di presumibili effetti dannosi prodotti da interventi antropici, dettano norme per le aree di cui agli articoli 6, 7, 8, 9 e 10.

In particolare, le aree di cui sopra sono definite:

- alveo fluviale in modellamento attivo ed aree golenali (art. 6);
- aree ad alta pericolosità idraulica (A.P.) (art. 7);
- aree a media pericolosità idraulica (M.P.) (art.8);
- aree a bassa pericolosità idraulica (B.T.) (art. 9);
- fasce di pertinenza fluviale (art. 10).

Relativamente alle aree a diversa pericolosità idraulica (A.P., M.P., B.P.), queste risultano arealmente individuate nelle "Carte delle aree soggette a rischio idrogeologico" allegate al PAI.

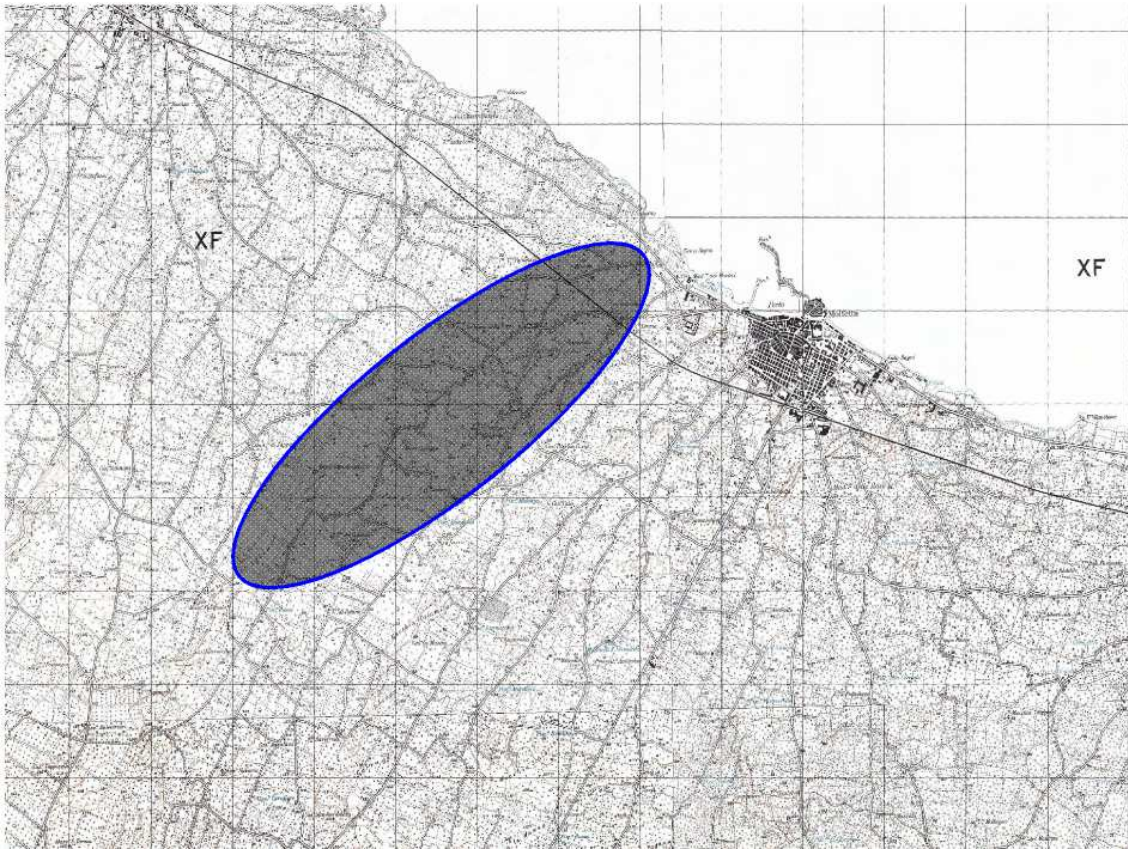
Occorre precisare che, a tutt'oggi, diversamente dalle aree a pericolosità idraulica, il reticolo idrografico e le relative fasce di pertinenza non sono arealmente individuate nella cartografia in allegato

al PAI, per cui, è uso consolidato presso l'Autorità di Bacino della Puglia, intendere "reticolo idrografico" tutto quanto rappresentato come tale su cartografia IGM in scala 1:25.000.

A monte della dovuta indagine in sito, si è pertanto effettuata un'analisi preliminare cartografica al fine di evidenziare se nell'aria vi fossero vincoli formali che avessero richiesto verifica di compatibilità, vista anche la vetustà della cartografia IGM in ordine all'evoluzione delle dinamiche idrauliche dei siti.

La rappresentazione delle aree a diversa pericolosità idraulica riguardante l'area territoriale indagata e la delimitazione delle aree cartograficamente classificabili quali il reticolo idrografico, aree golenali e relative fasce di pertinenza fluviale, sono riportate negli stralci planimetrici a seguire, dai quali si evince che le aree indagate sono interessate da alta, media e bassa pericolosità idraulica.

La seguente cartografia riporta le criticità note del territorio oggetto di intervento basate sulle informazioni fornite dall'Autorità di Bacino della Puglia.



Tavoletta 1 – I.G.M. con individuazione area di intervento

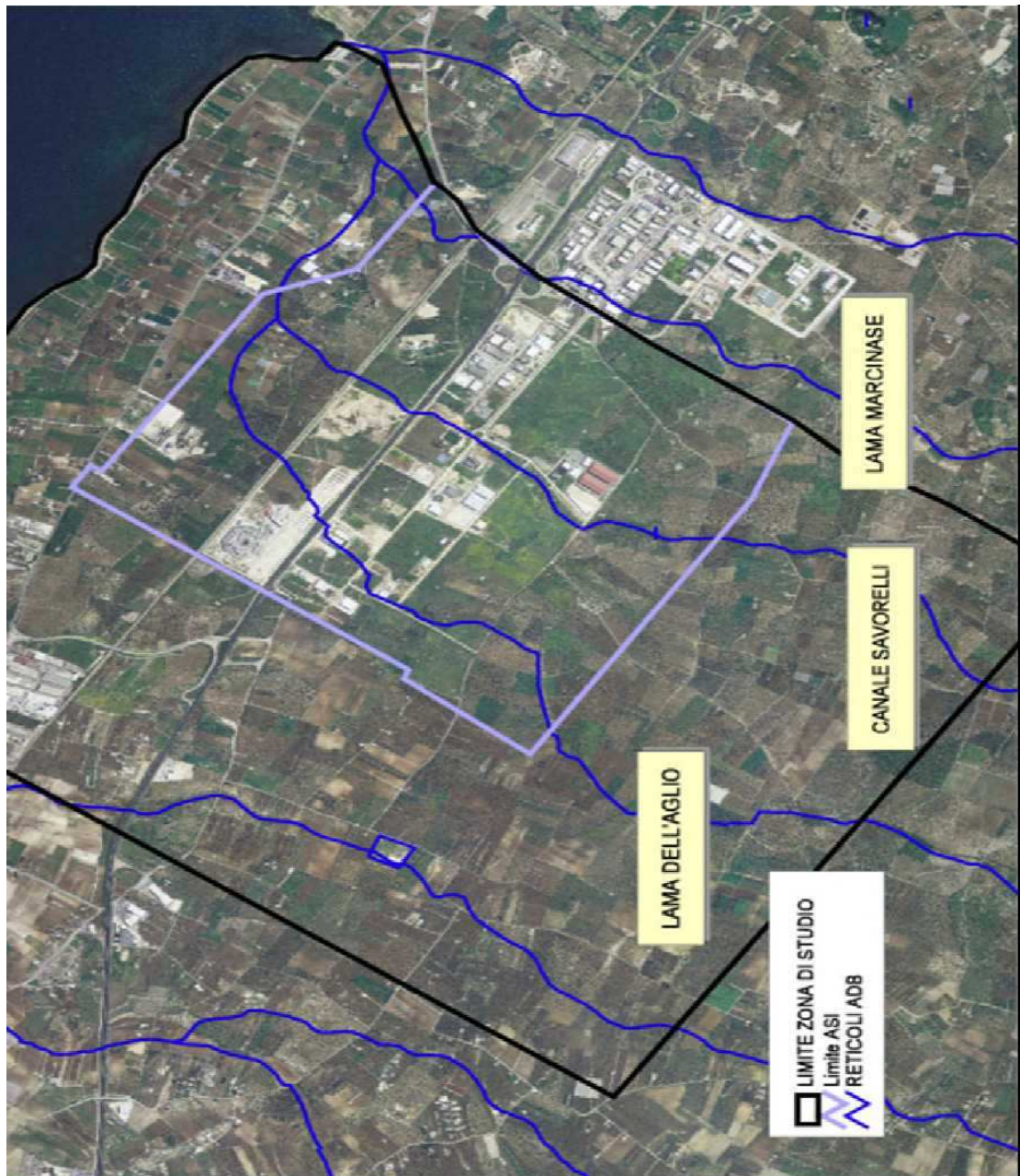


Fig. 6 – Ortofoto con limiti zona di studio, limiti ASI e reticolo AdB

4. INDAGINI GEOLOGICHE, GEOTECNICHE E GEOFISICHE

Allo scopo di valutare la compatibilità delle opere di salvaguardia idraulica in progetto, con le caratteristiche litostratigrafiche, idrogeologiche e geotecniche dei terreni presenti nella zona industriale di Molfetta, sono state condotte indagini dirette ed indirette realizzate attraverso le seguenti fasi:

- rilievo geologico-geomorfologico di superficie alla scala 1 : 1.000, integrato da ricerche bibliografiche e studi precedentemente condotti dallo scrivente nell'area;
- esecuzione di n° 17 sondaggi meccanici a rotazione con carotaggio continuo di diametro 101 mm e della profondità massima rispettivamente, di 30 m dal piano campagna per i sondaggi denominati S.6, S.11, S.12, S.14, S.15 e di 10 m dal piano campagna per i sondaggi denominati S.1, S.2, S.3, S.4, S.5, S.7, S.8, S.9, S.10, S.13, S.16, ed S.17.;
- posa in opera nei fori di sondaggio denominati S.6, S.11, S.12, S.14 ed S.15 fino alla profondità di 30 m dal p.c., di tubazione in PVC diametro 80 mm per l'esecuzione di prospezione sismica in foro;
- prelievo di n° 55 campioni rimaneggiati per la determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche del substrato calcareo presente in loco;
- esecuzione di n° 5 rilievi sismici tipo "down-hole" nei fori di sondaggio S.6, S.11, S.12, S.14 ed S.15, per la determinazione del parametro Vs30, con

conseguente attribuzione della categoria del suolo di fondazione ai sensi del D.M. 14.01.2008;

- esecuzione di n° 5 prospezioni sismiche a rifrazione onda P e onda S della lunghezza di circa 96 ml con distanza intergeofonica di 4.00 m, per valutare la risposta dei terreni al di sotto delle sezioni tracciate dai rilievi di campo;
- esecuzione di n° 11 tomografie elettriche (profili elettrici dipolari) per la determinazione della posizione nel sottosuolo di eventuali corpi localizzati con caratteristiche differenti rispetto all'ammasso di terreno circostante, la posizione di livelli idrici, l'individuazione di vuoti ed altri elementi ancora.

Tutte le fasi del programma di indagine sono state eseguite secondo le *Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche* - A.G.I. (1977).

L'elaborazione dei risultati delle prove è stata effettuata nel pieno rispetto della vigente normativa tecnica, Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. 14 gennaio 2008 e Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, C.S.LL.PP.

Lo studio ha consentito di chiarire gli aspetti geologico-tecnici utili ai fini progettuali, indicando :

- natura dei terreni presenti nel sottosuolo dell'area indagata;
- caratteristiche idrogeologiche dei terreni affioranti e di quelli del substrato;
- caratteristiche geomorfologiche dell'area;
- parametri geotecnici del terreno di sedime;

- categoria sismica del suolo di fondazione da VS30 e valore dell'accelerazione massima orizzontale;
- pericolosità sismica del sito;
- criticità dell'area.

Gli elaborati grafici prodotti relativi allo studio condotto sono :

- All.1) Planimetria con ubicazione delle indagini geologiche e geofisiche;
- All.2) Prospetti stratigrafici;
- All.3) Carta geologica e geomorfologica;
- All.4) Carta idrogeologica;
- All.5) Sezioni geologiche e litotecniche (scala L 1:5.000 – H 1:500);
- All.6) Sezioni geologiche e litotecniche (scala L 1:1.000 – H 1:200);
- All.7) Sezioni idrogeologiche scala (L 1:5.000 – H 1:500);
- All.8) Sezioni idrogeologiche scala (L 1:1.000 – H 1:200);
- All.9) Carta delle criticità;
- All.10) Prove di laboratorio;
- All.11) Documentazione fotografica.

La presente relazione, infine, è stata redatta in ottemperanza con quanto previsto da:

- Decreto del Presidente della Repubblica 21 dicembre 1999, n. 554 *Art. 18-19* regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici 11 febbraio 1994 n. 109, e successive modificazioni;

- D.M. 11.3.88 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione.....";
- Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008; Circolare 2 febbraio 2009 n. 617 C.S.LL.PP, istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008;
- Regolamento Urbanistico del Comune di Molfetta;
- Piano Stralcio dell'Autorità di Bacino della Regione Puglia (2005)

5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

5.1 Geomorfologia

L'area oggetto di indagine è situata a Nord-Ovest del Comune di Molfetta (BA) ed è caratterizzata dalla presenza in affioramento di rocce carbonatiche di età cretacea appartenenti alla formazione geologica del "Calcere di Bari".

Si tratta di un potente complesso sedimentario caratterizzato da un'alternanza di strati calcarei di colore bianco-grigiastro e calcari dolomitici di colore grigio-avana, aventi spessore variabile da pochi decimetri fino al metro con tessitura omogenea, piuttosto compatti e tenaci.

La roccia risulta aver subito stress da trazione e compressione con conseguente sconvolgimento della tessitura e della struttura tabulare.

Frequenti risultano i riempimenti di fratture e microcavità con depositi limo-argillosi e sedimenti calcarenitici piuttosto compressibili.

Spesso gli strati calcarei si distinguono per l'interposizione di livelli millimetrici di materiale detritico a differente colorazione per apporti diversificati e leggere variazioni sinsedimentarie delle caratteristiche microambientali. La continuità spaziale degli strati viene interrotta dalla presenza di piani di fratturazione ad andamento subverticale e a diversa orientazione. Sul terreno sono visibili almeno due sistemi principali di fratturazione ed altrettanti secondari. Le caratteristiche di tali superfici (persistenza, spaziatura, orientazione, ecc) sono elementi geometrici fortemente variabili da zona a zona

che consentono di valutare qualitativamente l'ammasso calcareo. Tali piani, unitamente ai giunti di strato, suddividono la roccia in poliedri irregolari che, formando vie preferenziali per l'acqua, hanno favorito l'esplicarsi del fenomeno carsico epigeo ed ipogeo. L'acqua con la sua azione ha compromesso le porzioni più superficiali, già fratturate, realizzando, in concentrazioni modeste, lembi di terreno residuale che possono svilupparsi anche in profondità, interessando porzioni maggiori di roccia. Può capitare che i calcari, presenti in loco, a causa dell'azione combinata del carsismo e della microtettonica, risultino molto fratturati e con caratteristiche geomeccaniche non confacenti ai materiali lapidei.

La direzione generale degli strati calcarei è grosso modo parallela alla linea di costa, quasi Est-Ovest, mentre l'immersione è estremamente variabile. E' generalmente diretta verso mare, nella zona più prossima alla linea di costa, mentre si rivolge dalla parte opposta verso sud spostandosi verso l'interno.

Esiste infatti una piega anticlinalica dovuta alla tettonica meno recente. La stratificazione, fitta nelle parti alte con strati decimetrici (chiancarelle) tende a diminuire con l'aumentare della profondità.

Dal punto di vista della morfologia l'area risulta pianeggiante con debole inclinazione verso l'attuale linea di costa. Il territorio è interessato dal processo carsico, pertanto, si ha l'alternarsi di dossi (corrispondenti a cerniere di

anticlinali), intervallati da forme più depresse quali le "lame", e per l'affioramento di terreni agrari rossastri.

5.2 Geologia e Tettonica

In generale il territorio comunale di Molfetta ricade nel foglio 177 "Bari" della Carta Geologica d'Italia, alla scala 1: 100.000.

Lo schema geologico generale è caratterizzato dalla presenza di un potente substrato calcareo appartenente al gruppo dei Calcari delle Murge, di età riferibile al Cretaceo, sul quale si rinvencono depositi calcarenitici pleistocenici appartenenti al Complesso Calcareo Detritico Trasgressivo e depositi continentali ciottolosi e terrosi (olocene), presenti sul fondo dei solchi erosivi.

Dal punto di vista tettonico l'area è caratterizzata dalla presenza di modeste faglie dirette rilevabili attraverso le brusche variazioni nell'assetto degli strati con rigetti di qualche decina di metri.

5.3 Idrogeologia

L'area oggetto di studio si colloca nel territorio delle Murge, costituite prevalentemente da rocce carbonatiche, pertanto è caratterizzata dalla mancanza di un reticolo idrografico superficiale ben definito e da un notevole sviluppo dell'idrologia sotterranea soprattutto profonda.

L'idrogeologia della zona è caratterizzata dalla presenza dei seguenti acquiferi principali:

- acquifero profondo delle successioni carbonatiche cretacee;
- acquitardo della Calcarenite di Gravina.

ACQUIFERO PROFONDO CARBONATICO

L'acquifero profondo è costituito dalle successioni carbonatiche del Cretaceo, che contengono una cospicua falda idrica e un'ingente circolazione sotterranea. Le rocce contenenti la falda acquifera sono rappresentate da calcari e calcari dolomitici del Cretaceo. Tale acquifero, interessato da fenomeni carsici, presenta un grado di fratturazione variabile nelle tre dimensioni e mostra, a luoghi, elevata permeabilità. Nel complesso è definibile come un acquifero discontinuo, assimilabile a monostrato, condizionato dai sistemi fessurativi e dai condotti carsici.

Nelle zone interne al territorio di Molfetta la circolazione idrica sotterranea è in pressione, eccetto lungo una ristretta fascia costiera. La falda freatica è confinata a differenti profondità, variabile da 40 a 65 m dal p.c. La falda carsica, di notevole consistenza, defluisce verso mare secondo direttrici preferenziali, caratterizzate da parametri idrodinamici complessi e variabili da punto a punto.

ACQUITARDO DELLA CALCARENITE DI GRAVINA

I litotipi che caratterizzano la Calcarenite di Gravina sono poco permeabili per porosità, tuttavia possono presentare una certa circolazione sotterranea per via delle fessure presenti. La loro permeabilità media è pari circa a 10^{-4} cm/sec, valore caratteristico degli acquitardi. Questa permeabilità è correlabile con la frequenza e l'intensità della fessurazione, aumentando o diminuendo proporzionalmente a questa ultima. In generale, le falde superficiali, circolanti nella Calcarenite di Gravina, sono in genere sospese, talvolta sono tributarie della sottostante falda profonda. Ma, la più bassa permeabilità della calcarenite rispetto al calcare di base produce effetti ritardanti dei processi di filtrazione verticale.

Nel caso specifico i sudetti terreni non sono stati intercettati con le perforazioni.

6. INDAGINI DIRETTE

6.1 Sondaggi a carotaggio continuo

Come riferito in premessa, al fine di ottenere informazioni di dettaglio sulla successione e sui rapporti spaziali e strutturali dei litotipi, sulle caratteristiche tecniche degli stessi, nonché sulla presenza di eventuali livelli acquiferi, ci si è avvalsi delle informazioni derivanti dalle indagini dirette condotte in loco attraverso l'esecuzione di n° 17 sondaggi geognostici.

I terreni estratti durante le perforazioni sono stati raccolti in apposite cassette catalogatrici, opportunamente quotate e fotografate.

Si precisa che data la difficoltà di recuperare spezzoni di carota integra durante le perforazioni dei tratti lapidei, è stato necessario l'utilizzo del doppio carotiere. Tuttavia, di frequente la roccia calcarea, è risultata ridotta in clasti subangolari proprio per effetto del disturbo provocato dal carotiere durante le perforazioni nei tratti a minore tenacità.

Di seguito si riportano i valori dell'RQD determinato sugli spezzoni di carota integra di lunghezza superiore a 10 cm nel corso delle perforazioni ed i relativi prospetti stratigrafici schematici.

Il Rock Quality Designation (RQD) è una classificazione geotecnica delle rocce sviluppata nel 1964 da D. U. Deere. La classificazione è basata sulla percentuale di frammenti di lunghezza maggiore di 10 cm recuperati in ogni manovra di un carotaggio. Questa classificazione è stata usata come indice di

qualità delle rocce per lo scavo di tunnel, in quanto identifica molto bene le zone di bassa qualità. Oggi la classificazione RQD viene usata come parametro in classificazioni maggiori (RMR Q-system).

L'RQD è definita dal quoziente:

$$RQD = \frac{(A)}{l_{tot}/100}$$

(A)= Somma delle lunghezze dei campioni maggiori di 10 cm

l_{tot} = lunghezza totale della manovra di carotaggio

SONDAGGIO MECCANICO S.1			SONDAGGIO MECCANICO S.2		
Profondità	L. carota / L. manovra	R.Q.D	Profondità	L. carota / L. manovra	R.Q.D
0,00-1,00	0/100	0%	0,00-1,00	0/100	0%
1,00-2,00	10/100	10%	1,00-2,00	0/100	0%
2,00-3,00	0/100	0%	2,00-3,00	10/100	10%
3,00-4,00	0/100	0%	3,00-4,00	30/100	30%
4,00-5,00	0/100	0%	4,00-5,00	10/100	10%
5,00-6,00	25/100	25%	5,00-6,00	0/100	0%
6,00-7,00	10/100	10%	6,00-7,00	40/100	40%
7,00-8,00	24/100	24%	7,00-8,00	20/100	20%
8,00-9,00	0/100	0%	8,00-9,00	20/100	20%
9,00-10,00	10/100	10%	9,00-10,00	32/100	32%

SONDAGGIO MECCANICO S.3			SONDAGGIO MECCANICO S.4		
Profondità	L. carota / L. manovra	R.Q.D	Profondità	L. carota / L. manovra	R.Q.D
0,00-1,00	0/100	0%	0,00-1,00		
1,00-2,00	15/100	15%	1,00-2,00		
2,00-3,00	25/100	25%	2,00-3,00		
3,00-4,00	30/100	30%	3,00-4,00		
4,00-5,00	45/100	45%	4,00-5,00		
5,00-6,00	65/100	65%	5,00-6,00		
6,00-7,00	0/100	0%	6,00-7,00		
7,00-8,00	30/100	30%	7,00-8,00		
8,00-9,00	12/100	12%	8,00-9,00		
9,00-10,00	25/100	25%	9,00-10,00		

SONDAGGIO MECCANICO S.5			SONDAGGIO MECCANICO S.6		
Profondità	L. carota / L. manovra	R.Q.D	Profondità	L. carota / L. manovra	R.Q.D
0,00-1,00			0,00-1,00	0/100	0%
1,00-2,00			1,00-2,00	0/100	0%
2,00-3,00			2,00-3,00	0/100	0%
3,00-4,00	0/100	0%	3,00-4,00	15/100	15%
4,00-5,00	0/100	0%	4,00-5,00	0/100	0%
5,00-6,00	10/100	10%	5,00-6,00	0/100	0%
6,00-7,00	15/100	15%	6,00-7,00	0/100	0%
7,00-8,00	0/100	0%	7,00-8,00	0/100	0%
8,00-9,00	0/100	0%	8,00-9,00	0/100	0%
9,00-10,00	0/100	0%	9,00-10,00	0/100	0%
			10,00-11,00	0/100	0%
			11,00-12,00	0/100	0%
			12,00-13,00	0/100	0%
			13,00-14,00	0/100	0%
			14,00-15,00	0/100	0%
			15,00-16,00	0/100	0%
			16,00-17,00	20/100	20%
			17,00-18,00	30/100	30%
			18,00-19,00	20/100	20%
			19,00-20,00	10/100	10%
			20,00-21,00	0/100	0%
			21,00-22,00	0/100	0%
			22,00-23,00	0/100	0%
			23,00-24,00	0/100	0%
			24,00-25,00	0/100	0%
			25,00-26,00	0/100	0%
			26,00-27,00	0/100	0%
			27,00-28,00	0/100	0%
			28,00-29,00	0/100	0%
			29,00-30,00	0/100	0%

SONDAGGIO MECCANICO S.7			SONDAGGIO MECCANICO S.8		
Profondità	L. carota / L. manovra	R.Q.D	Profondità	L. carota / L. manovra	R.Q.D
0,00-1,00	0/100	0%	0,00-1,00	0/100	0%
1,00-2,00	0/100	0%	1,00-2,00	0/100	0%
2,00-3,00	0/100	0%	2,00-3,00	25/100	25%
3,00-4,00	0/100	0%	3,00-4,00	15/100	15%
4,00-5,00	0/100	0%	4,00-5,00	0/100	0%
5,00-6,00	0/100	0%	5,00-6,00	10/100	10%
6,00-7,00	0/100	0%	6,00-7,00	21/100	21%
7,00-8,00	0/100	0%	7,00-8,00	60/100	60%
8,00-9,00	0/100	0%	8,00-9,00	40/100	40%
9,00-10,00	0/100	0%	9,00-10,00	0/100	0%

SONDAGGIO MECCANICO S.9			SONDAGGIO MECCANICO S.10		
Profondità	L. carota / L. manovra	R.Q.D	Profondità	L. carota / L. manovra	R.Q.D
0,00-1,00	0/100	0%	0,00-1,00	0/100	0%
1,00-2,00	0/100	0%	1,00-2,00	0/100	0%
2,00-3,00	0/100	0%	2,00-3,00	20/100	20%
3,00-4,00	0/100	0%	3,00-4,00	0/100	0%
4,00-5,00	0/100	0%	4,00-5,00	0/100	0%
5,00-6,00	0/100	0%	5,00-6,00	0/100	0%
6,00-7,00	0/100	0%	6,00-7,00	0/100	0%
7,00-8,00	0/100	0%	7,00-8,00	0/100	0%
8,00-9,00	0/100	0%	8,00-9,00	13/100	13%
9,00-10,00	0/100	0%	9,00-10,00	27/100	27%

SONDAGGIO MECCANICO S.11			SONDAGGIO MECCANICO S.12		
Profondità	L. carota / L. manovra	R.Q.D	Profondità	L. carota / L. manovra	R.Q.D
0,00-1,00	0/100	0%	0,00-1,00	0/100	0%
1,00-2,00	0/100	0%	1,00-2,00	0/100	0%
2,00-3,00	0/100	0%	2,00-3,00	43/100	0%
3,00-4,00	48/100	48%	3,00-4,00	40/100	15%
4,00-5,00	50/100	50%	4,00-5,00	12/100	0%
5,00-6,00	15/100	15%	5,00-6,00	0/100	0%
6,00-7,00	18/100	18%	6,00-7,00	22/100	0%
7,00-8,00	10/100	10%	7,00-8,00	12/100	0%
8,00-9,00	20/100	20%	8,00-9,00	10/100	0%
9,00-10,00	25/100	25%	9,00-10,00	25/100	0%
10,00-11,00	34/100	34%	10,00-11,00	10/100	0%
11,00-12,00	0/100	0%	11,00-12,00	0/100	0%
12,00-13,00	0/100	0%	12,00-13,00	0/100	0%
13,00-14,00	40/100	40%	13,00-14,00	0/100	0%
14,00-15,00	0/100	0%	14,00-15,00	0/100	0%
15,00-16,00	10/100	10%	15,00-16,00	30/100	0%
16,00-17,00	0/100	0%	16,00-17,00	10/100	20%
17,00-18,00	0/100	0%	17,00-18,00	20/100	30%
18,00-19,00	30/100	30%	18,00-19,00	0/100	20%
19,00-20,00	30/100	30%	19,00-20,00	12/100	10%
20,00-21,00	0/100	0%	20,00-21,00	13/100	0%
21,00-22,00	40/100	40%	21,00-22,00	0/100	0%
22,00-23,00	20/100	20%	22,00-23,00	0/100	0%
23,00-24,00	37/100	37%	23,00-24,00	27/100	0%
24,00-25,00	20/100	20%	24,00-25,00	20/100	0%
25,00-26,00	10/100	10%	25,00-26,00	10/100	0%
26,00-27,00	40/100	40%	26,00-27,00	22/100	0%
27,00-28,00	80/100	80%	27,00-28,00	22/100	0%
28,00-29,00	40/100	40%	28,00-29,00	63/100	0%
29,00-30,00	20/100	20%	29,00-30,00	36/100	0%

SONDAGGIO MECCANICO S.13			SONDAGGIO MECCANICO S.14		
Profondità	L. carota / L. manovra	R.Q.D	Profondità	L. carota / L. manovra	R.Q.D
0,00-1,00			0,00-1,00	0/100	0%
1,00-2,00			1,00-2,00	0/100	0%
2,00-3,00			2,00-3,00	0/100	0%
3,00-4,00	0/100	0%	3,00-4,00	0/100	0%
4,00-5,00	15/100	15%	4,00-5,00	0/100	0%
5,00-6,00	10/100	10%	5,00-6,00	0/100	0%
6,00-7,00	10/100	10%	6,00-7,00	0/100	0%
7,00-8,00	10/100	10%	7,00-8,00	0/100	0%
8,00-9,00	20/100	20%	8,00-9,00	0/100	0%
9,00-10,00	25/100	25%	9,00-10,00	0/100	0%
			10,00-11,00	0/100	0%
			11,00-12,00	0/100	0%
			12,00-13,00	0/100	0%
			13,00-14,00	0/100	0%
			14,00-15,00	0/100	0%
			15,00-16,00	11/100	11%
			16,00-17,00	0/100	0%
			17,00-18,00	18/100	18%
			18,00-19,00	0/100	0%
			19,00-20,00	0/100	0%
			20,00-21,00	0/100	0%
			21,00-22,00	27/100	27%
			22,00-23,00	28/100	28%
			23,00-24,00	0/100	0%
			24,00-25,00	0/100	0%
			25,00-26,00	0/100	0%
			26,00-27,00	0/100	0%
			27,00-28,00	0/100	0%
			28,00-29,00	0/100	0%
			29,00-30,00	31/100	31%

SONDAGGIO MECCANICO S.15			SONDAGGIO MECCANICO S.16		
Profondità	L. carota / L. manovra	R.Q.D	Profondità	L. carota / L. manovra	R.Q.D
0,00-1,00	0/100	0%	0,00-1,00	0/100	0%
1,00-2,00	0/100	0%	1,00-2,00	0/100	0%
2,00-3,00	0/100	0%	2,00-3,00	0/100	0%
3,00-4,00	0/100	0%	3,00-4,00	0/100	0%
4,00-5,00	0/100	0%	4,00-5,00	22/100	22%
5,00-6,00	12/100	12%	5,00-6,00	28/100	28%
6,00-7,00	0/100	0%	6,00-7,00	0/100	0%
7,00-8,00	0/100	0%	7,00-8,00	0/100	0%
8,00-9,00	0/100	0%	8,00-9,00	25/100	25%
9,00-10,00	0/100	0%	9,00-10,00	20/100	20%
10,00-11,00	0/100	0%			
11,00-12,00	0/100	0%			
12,00-13,00	0/100	0%			
13,00-14,00	0/100	0%			
14,00-15,00	0/100	0%			
15,00-16,00	58/100	58%			
16,00-17,00	0/100	0%			
17,00-18,00	0/100	0%			
18,00-19,00	0/100	0%			
19,00-20,00	0/100	0%			
20,00-21,00	16/100	16%			
21,00-22,00	0/100	0%			
22,00-23,00	0/100	0%			
23,00-24,00	0/100	0%			
24,00-25,00	28/100	28%			
25,00-26,00	26/100	26%			
26,00-27,00	15/100	15%			
27,00-28,00	14/100	14%			
28,00-29,00	0/100	0%			
29,00-30,00	0/100	0%			

SONDAGGIO MECCANICO S.17					
Profondità	L. carota / L. manovra	R.Q.D	Profondità	L. carota / L. manovra	R.Q.D
0,00-1,00	11/100	11%			
1,00-2,00	35/100	35%			
2,00-3,00	26/100	26%			
3,00-4,00	0/100	0%			
4,00-5,00	11/100	11%			
5,00-6,00	11/100	11%			
6,00-7,00	32/100	32%			
7,00-8,00	0/100	0%			
8,00-9,00	0/100	0%			
9,00-10,00	39/100	39%			

SONDAGGIO	Valore medio dell'RQD (%)
S.1	7.9
S.2	16.2
S.3	24.7
S.4	NON DERMINABILE
S.5	2.5
S.6	3.17
S.7	0
S.8	17.1
S.9	0
S.10	6
S.11	21.23
S.12	3.17
S.13	12.85
S.14	3.83
S.15	5.63
S.16	9.5
S.17	16.5

Valore medio RQD (%)	8.32
----------------------	------

RQD %	Qualità dell'ammasso
< 25	molto scadente
25 - 50	scadente
50 - 75	mediocre
75 - 90	buona
90 - 100	molto buona

Tab. 1 – Classificazione della qualità dell'ammasso in base all'RQD

Sulla base del valore dell'RQD medio minore del 25%, determinato attraverso l'analisi delle carote estratte con le perforazioni, si ricava che la qualità dell'ammasso roccioso presente nell'area di indagine risulta "molto scadente". E' bene precisare che comunque il valore dell'RQD, in generale dipende soprattutto dalla spaziatura delle discontinuità dell'ammasso ed è strettamente legato alla dimensione del blocco. Inoltre, bisogna considerare che

nei tratti a minore tenacità il grado di disturbo arrecato dal carotiere nella fase di perforazione determina una certa frantumazione della roccia che tende a far diminuire notevolmente il valore dello stesso RQD.

E' necessario, pertanto, prendere in considerazione altri parametri geomeccanici quali ad es. resistenza a compressione delle rocce, spazatura delle discontinuità, condizioni idrauliche, alterazioni delle pareti, per poter procedere ad una corretta e significativa classificazione dell'ammasso roccioso.

Schema Sondaggio S.1

<i>Profondità m</i>	<i>Descrizione Litologica</i>	<i>Formazione geologica</i>
<i>0.00-0.30</i>	<i>Terreno di riporto sabbioso-ciottoloso a consistenza sciolta</i>	
<i>0.30-10.00</i>	<i>Calcere stratificato di colore bianco-rossastro, molto fratturato, talora ridotto in clasti subangolari. Si notano alterazioni rossastre con fratture parzialmente riempite di terra rossa residuale, sabbiosa debolmente limosa</i>	<i>Calcere di Bari</i>

Schema Sondaggio S.2

<i>Profondità m</i>	<i>Descrizione Litologica</i>	<i>Formazione geologica</i>
<i>0.00-1.25</i>	<i>Misto granulare sabbioso, ghiaioso e ciottoloso di colore biancastro</i>	
<i>1.25-10.00</i>	<i>Calcere stratificato di colore biancastro, molto fratturato, con riempimento di terra rossa residuale. Si notano alterazioni rossastre e giunti di strato con superfici rugose. Tracce di organismi litodomi ed evidente laminazione e microstratificazione</i>	<i>Calcere di Bari</i>

Schema Sondaggio S.3

<i>Profondità m</i>	<i>Descrizione Litologica</i>	<i>Formazione geologica</i>
0.00-0.60	Terreno vegetale di copertura di colore marrone, costituito da sabbia e ghiaia	
0.60-10.00	Calcere stratificato di colore biancastro, fratturato, ma poco alterato. Raramente il calcare si presenta in clasti subangolari, soprattutto per effetto del disturbo provocato dal carotiere in fase di perforazione nei tratti a bassa tenacità.	Calcere di Bari

Schema Sondaggio S.4

<i>Profondità m</i>	<i>Descrizione Litologica</i>	<i>Formazione geologica</i>
0.00-1.60	Terreno di copertura di colore biancastro, costituito da sabbia e ciottoli calcarei	
1.60-3.75	Calcere stratificato di colore bianco-rossastro, fratturato, alterato per carsismo, talora, ridotto in clasti calcarei di colore rossastro, subangolari	Calcere di Bari
3.75-10.00	Deposito di terra rossa residuale coesiva, limosa e argillosa, ad elevata consistenza e discreta plasticità	Deposito residuale (Terra rossa)

Schema Sondaggio S.5

<i>Profondità m</i>	<i>Descrizione Litologica</i>	<i>Formazione geologica</i>
0.00-3.00	Terreno di copertura di colore bianco-grigiastro, costituito da sabbia, ghiaia e ciottoli a consistenza sciolta	
3.00-5.20	Calcere stratificato di colore rossastro, molto fratturato ed alterato per carsismo, ridotto in clasti subangolari	Calcere di Bari
5.20-10.00	Calcere stratificato di colore bianco-rossastro, molto fratturato ed alterato per carsismo, talora, ridotto in clasti subangolari	Calcere di Bari

Schema Sondaggio S.6

<i>Profondità m</i>	<i>Descrizione Litologica</i>	<i>Formazione geologica</i>
0.00-2.00	<i>Terreno di copertura di colore rossastro, costituito da sabbia e ciottoli, a consistenza sciolta</i>	
2.00-30.00	<i>Calcere stratificato di colore bianco-rossastro, per lo più ridotto in clasti sub angolari. Si notano frequenti livelli di terra rossa residuale da 4.00 a 20.00 m. La percentuale di carotaggio risulta ridotta a causa del dilavamento del deposito residuale sabbioso-limoso. Sono presenti vuoti evidenti fra m. 22.85 e m. 27.40</i>	Calcere di Bari

Schema Sondaggio S.7

<i>Profondità m</i>	<i>Descrizione Litologica</i>	<i>Formazione geologica</i>
0.00-2.00	<i>Misto granulare stabilizzato costituito da sabbia e ciottoli calcarei</i>	
2.00-10.00	<i>Calcere stratificato di colore bianco-rossastro, fortemente fratturato e ridotto in clasti sub angolari. Si osservano livella di terra rossa residuale fra m. 3.00-3.70 e fra m. 8.50-9.00</i>	Calcere di Bari

Schema Sondaggio S.8

<i>Profondità m</i>	<i>Descrizione Litologica</i>	<i>Formazione geologica</i>
0.00-1.80	<i>Sottofondo stradale costituito da misto granulare stabilizzato sabbioso-ciottoloso</i>	
1.80-10.00	<i>Calcere stratificato di colore biancastro, mediamente fratturato e poco alterato. Risulta ridotto in clasti calcarei subangolari fra m. 3.60-4.20, m. 4.50-5.60, m. 6.50-7.00 e m. 9.10-10.00</i>	Calcere di Bari

Schema Sondaggio S.9

<i>Profondità m</i>	<i>Descrizione Litologica</i>	<i>Formazione geologica</i>
0.00-1.60	<i>Terreno di copertura di colore bianco-marrone-rossastro costituito da sabbia e ciottoli calcarei</i>	
1.60-10.00	<i>Calcere stratificato di colore rossastro, molto fratturato e ridotto in clasti immersi in matrice sabbioso-limosa residuale, fino a fondo foro</i>	Calcere di Bari

Schema Sondaggio S.10

<i>Profondità m</i>	<i>Descrizione Litologica</i>	<i>Formazione geologica</i>
0.00-0.60	Terreno di copertura vegetale costituito da sabbia e silt di colore marrone, a consistenza sciolta	
0.60-10.00	Calcere stratificato di colore biancastro, molto fratturato e ridotto in clasti sub angolari, raramente immersi in matrice sabbioso-limosa di colore rossastro	Calcere di Bari

Schema Sondaggio S.11

<i>Profondità m</i>	<i>Descrizione Litologica</i>	<i>Formazione geologica</i>
0.00-1.80	Terreno di copertura di colore grigio-biancastro, costituito da sabbia con ghiaia a consistenza sciolta	
1.80-11.00	Calcere stratificato di colore bianco-rossastro, mediamente fratturato e alterato	Calcere di Bari
11.00-30.00	Calcere stratificato di colore bianco-rossastro, molto fratturato ed alterato per carsismo, talora, ridotto in clasti sub angolari, immersi in matrice sabbioso-limosa rossastra fra m. 11.00-18.00 e m. 20.00-25.00	Calcere di Bari

Schema Sondaggio S.12

<i>Profondità m</i>	<i>Descrizione Litologica</i>	<i>Formazione geologica</i>
0.00-2.00	Terreno di copertura di colore grigio-marrone, costituito da sabbia e ciottoli calcarei, a consistenza sciolta	
2.00-30.00	Calcere stratificato di colore biancastro, fratturato e alterato a partire da circa 5.00 m di profondità. Si osserva un forte aumento dell'alterazione carsica fra m. 20.80-22.80 con evidente terra rossa residuale	Calcere di Bari

Schema Sondaggio S.13

<i>Profondità m</i>	<i>Descrizione Litologica</i>	<i>Formazione geologica</i>
0.00-3.40	Terreno di copertura di colore grigio-avana, costituito da sabbia e ciottoli calcarei, a consistenza sciolta	
3.40-10.00	Calcere stratificato di colore bianco-giallastro, fratturato e alterato, talora ridotto in clasti subangolari	Calcere di Bari

Schema Sondaggio S.14

<i>Profondità m</i>	<i>Descrizione Litologica</i>	<i>Formazione geologica</i>
0.00-0.50	Terreno di copertura vegetale sabbioso di colore grigio-bruno, a consistenza sciolta.	
0.50-1.30	Calccare di colore bianco-giallastro, alterato.	Calccare di Bari
1.30-6.50	Calccare stratificato di colore biancastro, molto fratturato e alterato, per lo più ridotto in clasti subangolari	Calccare di Bari
6.50-10.00	Deposito residuale (terra rossa) costituito da limo argilloso di colore rossastro a consistenza sciolta con livello coesivo fra m. 8.40-8.70	Deposito residuale
10.00-10.50	Limo sabbioso di colore avana nocciola, a medio-bassa plasticità	Deposito residuale
10.50-15.00	Calccare di colore bianco-avana, molto fratturato e ridotto in clasti sub angolari. Si osservano evidenti vuoti fra m. 12.00-12.40 e m. 13.00-13.40.	Calccare di Bari
15.00-30.00	Calccare di colore di colore biancastro, fratturato e spesso ridotto in clasti sub angolari. Livelli poco fratturati sono presenti fra m. 15.00-16.00, m. 17.00-18.00, m. 21.00-23.00 e m. 29.00-30.00	Calccare di Bari

Schema Sondaggio S.15

<i>Profondità m</i>	<i>Descrizione Litologica</i>	<i>Formazione geologica</i>
0.00-1.00	Terreno vegetale di colore marrone, a consistenza sciolta	
1.00-3.00	Alternanza di livelli calcarei in clasti sub angolari e limi debolmente sabbiosi di colore nocciola, a scarsa consistenza	Calccare di Bari
3.00-30.00	Calccare di colore bianco-giallastro ridotto in clasti sub angolari con livelli lapidei fra m. 15.00-16.00, m. 20.00-21.00 e m. 24.00-28.00	Calccare di Bari

Schema Sondaggio S.16

<i>Profondità m</i>	<i>Descrizione Litologica</i>	<i>Formazione geologica</i>
0.00-1.50	Terreno di copertura costituito da limo-sabbioso di colore marrone, a media consistenza e bassa plasticità	
1.50-2.20	Calcere di colore bianco-giallastro, alterato e fratturato, per lo più ridotto in clasti subangolari	Calcere di Bari
2.20-3.60	Calcere stratificato di colore biancastro, molto fratturato e alterato, con sottili livelli lapidei	Calcere di Bari
3.60-5.00	Calcere di colore bianco-giallastro, alterato e fratturato, per lo più ridotto in clasti subangolari	Calcere di Bari
5.00-10.00	Calcere di colore biancastro, con rari livelli fratturati	Calcere di Bari

Schema Sondaggio S.17

<i>Profondità m</i>	<i>Descrizione Litologica</i>	<i>Formazione geologica</i>
0.00-0.50	Terreno vegetale di colore marrone, a consistenza sciolta costituito da sabbia debolmente limosa	
0.50-10.00	Calcere di colore biancastro con frequenti livelli fratturati talora ridotto in clasti sub angolari, soprattutto, fra m. 3.00-4.00, m. 7.00-9.00	Calcere di Bari

7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

La caratterizzazione geomeccanica dei terreni della formazione calcarea praticamente affiorante nell'area di indagine è stata fatta utilizzando i valori di sforzo a rottura ricavati su n° 55 campioni di roccia prelevati nel corso delle perforazioni; i campioni rimaneggiati prelevati sono stati tutti sottoposti a prove di compressione monoassiale, dopo opportuna sagomatura e riduzione dei provini alle dimensioni indicate dalle norme ASTM D2938-95.

Il peso di volume, dato dal rapporto fra la massa e il volume allo stato naturale della roccia calcarea, varia fra 2294.1 e 2663.9 Kg/m³.

Sottoponendo i provini di roccia in laboratorio a prove di compressione uniassiale, si è determinato il valore della "resistenza a compressione semplice".

Tale valore viene espresso dal carico unitario massimo che provoca la rottura di un provino di roccia sottoposto a sforzo normale di compressione con dilatazione trasversale libera (prova E.L.L.).

I valori di resistenza a compressione rilevati risultano medio-alti e variano fra 16.89 e 136.93 MPa.

Si riportano in tabella i parametri geomeccanici determinati su tutti i campioni analizzati e relativi a: massa volumica apparente, porosità aperta, pressione a rottura, modulo elastico tangente e coefficiente di Poisson.

QUADRO RIASSUNTIVO PROVE DI LABORATORIO ROCCE

Committee: **Toma Abele Trivellazioni S.r.l. - Via La Martella, s.n. - 75100 Matera** Cantieri: **Interventi di salvaguardia idraulica della Zona ASI di Molfetta**

Verbal n.: **009R-010R-011R-012R** del **01 ottobre 2013** Data emissione certificati: **21 ottobre 2013**

N°d'ordine	Rif. interno	Sondaggio		Profondità		γ _a	n _a	σ _r	E _{tg}	V
		Campione	(n°)	da metri	a metri					
1	049R-13	1	1	1.45	1.60	2565.4	3.8	98.58	87999	0.26
2	050R-13	1	2	5.55	5.70	2561.9	5.2	82.98	79370	0.25
3	051R-13	1	3	7.00	7.15	2638.9	2.4	87.46	80912	0.25
4	052R-13	1	4	9.30	9.40	2494.5	7.5	131.69	103921	0.22
5	053R-13	2	1	3.20	3.30	2551.2	4.9	115.37	86077	0.26
6	054R-13	2	2	6.30	6.50	2477.3	6.9	77.82	65251	0.28
7	055R-13	2	3	8.70	8.85	2482.0	5.4	68.21	50178	0.31
8	056R-13	3	1	1.80	1.95	2607.5	2.6	94.58	90585	0.24
9	057R-13	3	2	3.50	3.65	2368.0	8.7	50.94	41056	0.32
10	058R-13	3	3	4.75	4.90	2447.8	7.2	46.70	22961	0.34
11	059R-13	3	4	8.60	8.72	2556.0	4.9	92.45	96812	0.24
12	060R-13	4	1	3.50	3.66	2502.7	6.3	104.45	98650	0.24
13	061R-13	5	1	6.70	6.85	2572.4	5.3	106.44	102642	0.23
14	062R-13	6	1	5.50	5.65	2663.9	1.2	136.93	120028	0.22
15	063R-13	6	2	17.15	17.35	2568.3	3.7	100.24	100236	0.23
16	064R-13	8	1	2.85	3.00	2509.3	4.0	90.73	77044	0.27
17	065R-13	8	2	3.20	3.35	2560.6	3.5	116.69	95805	0.26
18	066R-13	8	3	6.10	6.35	2324.7	9.3	52.96	38584	0.33
19	067R-13	8	4	7.85	8.00	2307.3	10.3	49.73	37576	0.34
20	068R-13	8	5	13.00	13.20	2533.9	5.3	54.45	40282	0.32
21	069R-13	9	1	4.40	4.60	2631.3	1.9	79.11	52505	0.29
22	070R-13	10	1	8.35	8.47	2522.9	4.8	105.33	76825	0.24
23	071R-13	10	2	9.00	9.27	2600.1	2.8	94.77	72342	0.28
24	072R-13	11	1	3.85	4.00	2583.2	4.0	90.93	82500	0.25
25	073R-13	11	2	5.70	5.90	2592.0	3.6	96.61	77812	0.28
26	074R-13	11	3	6.85	7.00	2545.4	5.5	74.73	61598	0.31
27	075R-13	11	4	9.00	9.15	2483.0	7.3	71.42	62419	0.30
28	076R-13	11	5	13.00	13.20	2533.9	5.3	54.45	40282	0.32
29	077R-13	11	6	18.80	18.95	2492.9	5.8	90.22	75292	0.28
30	078R-13	11	7	21.10	21.25	2409.1	9.0	68.21	50185	0.31
31	079R-13	11	8	23.15	23.30	2508.2	5.4	118.21	86571	0.27
32	080R-13	11	9	27.00	27.30	2396.2	8.3	42.17	26443	0.32
33	081R-13	11	10	29.00	29.20	2309.9	14.1	41.01	24562	0.33
34	082R-13	12	1	2.70	2.90	2486.2	6.2	73.51	57771	0.31
35	083R-13	12	2	6.85	6.97	2448.5	6.3	106.88	70711	0.28
36	084R-13	12	3	19.00	19.15	2454.0	8.0	73.87	59238	0.30
37	085R-13	12	4	24.00	24.12	2526.2	5.4	56.50	42529	0.31
38	086R-13	12	5	28.75	28.87	2526.3	5.5	85.20	60677	0.29

N°d'ordine	Rif. interno	Sondaggio	Campione	Profondità	γ _a	n _a	σ _r	E _{tg}	V	
39	087R-13	13	1	3.40	3.55	2502.0	5.4	76.85	63352	0.30
40	088R-13	13	2	5.60	5.72	2450.0	7.7	48.91	39380	0.32
41	089R-13	13	3	9.60	9.75	2630.5	4.9	54.80	43878	0.31
42	090R-13	14	1	15.80	15.95	2574.9	4.3	114.49	77123	0.28
43	091R-13	14	2	17.40	17.52	2389.4	8.7	16.89	13561	0.37
44	092R-13	14	3	22.00	22.30	2672.7	4.4	63.80	50645	0.31
45	093R-13	14	5	29.10	29.25	2494.2	7.3	44.56	27661	0.32
46	094R-13	15	1	5.30	5.45	2254.7	12.4	26.37	15559	0.34
47	095R-13	15	2	15.88	16.03	2545.7	5.3	70.69	57529	0.31
48	096R-13	15	3	20.50	20.65	2398.1	11.1	33.54	21693	0.33
49	097R-13	15	4	24.70	24.85	2540.5	4.0	65.87	54833	0.31
50	098R-13	15	5	26.40	26.55	2440.8	8.3	90.13	74606	0.29
51	099R-13	16	1	4.10	4.30	2584.8	3.0	86.60	68400	0.28
52	100R-13	16	2	5.00	5.15	2579.8	3.3	61.88	52223	0.30
53	101R-13	16	3	7.50	7.70	2438.3	8.2	64.72	53155	0.31
54	102R-13	17	1	2.85	3.00	2555.1	4.8	97.83	72653	0.28
55	103R-13	17	2	9.50	9.65	2424.6	7.4	41.73	30786	0.31

IL DIRETTORE DEL LAVORO

Torino

dott. Carbone Raffaele

Raffaele Carbone

γ_a = Massa volumica apparente - n_a = Porosità aperta - σ_r = Pressione a rottura - E_{tg} = Modulo elastico tangente - V = Coefficiente di Poisson

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO dott. Carbone Raffaele

Raffaele Carbone

7.1 Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso calcareo

La caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso presente nella zona a Nord-Ovest di Molfetta è stata fatta attraverso l'applicazione della classificazione RMR-System (Bieniawsky, 1989) e della classificazione GSI (Hoek et al. 1995).

In accordo alle indicazioni degli autori il valore GSI è stato derivato dai valori di RMR ipotizzando condizioni anidre ed escludendo la correzione per l'orientamento delle discontinuità rispetto alle superfici libere (BMRW). Il valore del GSI è stato determinato attraverso la formula:

$$\text{GSI} = \text{BMRW} - 5$$

La classificazione di Bieniawsky si basa sui valori assunti dall'indice di qualità della roccia RMR, correlato ai seguenti parametri dell'ammasso calcareo:

- resistenza a compressione uniassiale della roccia (R1);
- indice RQD (R2);
- spaziatura dei giunti (R3);
- condizioni dei giunti (alterazioni delle pareti, scabrezza, apertura e materiale di riempimento) (R4);
- condizioni idrauliche (R5);
- orientamento delle discontinuità (R6).

Per l'attribuzione dei parametri R si è fatto riferimento alle tabelle di seguito riportate:

TABELLA 1							
Parametri		Valori					
Resistenza a compressione uniassiale (MPa)		>250	100-250	100-50	50-25	5-25	1-5
Coefficiente R1		15	12	7	4	2	1
R.Q.D. (%)		90-100	75-90	50-75	25-50		<25
Coefficiente R2		20	17	13	8		3
Spaziatura delle discontinuità		>2 m	0,6-2 m	60-20 cm	20-6 cm		<6 cm
Coefficiente R3		20	15	10	8		5
Condizioni delle discontinuità		Superfici molto rugose, non alterate. Discontinuità chiuse non continue	Superfici poco rugose. Separazione discontinuità < 1 mm. Poco alterate	Superfici poco rugose. Separazione discontinuità < 1 mm. Molto alterate	Superfici lisce o riempimento < 5 mm di spessore o giunti aperti 1-5 mm e continui	Riempimento soffice > 5 mm di spessore o giunti aperti > 5 mm continui	
Coefficiente R4		30	25	20	10		0
Condizioni idrauliche	Venute d'acqua su 10 m di lunghezza (l/min)	nessuna	<10	10-25	25-125		>125
	Condizioni generali	Asciutto	Umido	Bagnato	Stillicidio		Venute d'acqua
Coefficiente R5		15	10	7	4		0

TABELLA 2					
Orientamento discontinuità		Valori			
Direzione di immersione ed inclinazione		Molto favorevole	Favorevole	Poco favorevole	Sfavorevole
Gallerie		0	-2	-5	-10
Coefficiente R6	Fondazioni	0	-2	-7	-15
	Pendii	0	-5	-25	-50

La somma di tali indici parziali ha fornito il valore dell'indice RMR che ha consentito di classificare la roccia in una delle cinque classi previste da Bieniawski, previa correzione in funzione dell'utilizzo pratico (fondazioni).

$$\text{RMR}_{\text{base}} = R1 + R2 + R3 + R4 + R5$$

$$\text{RMR}_{\text{corretto}} = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + R6$$

Noto l'indice $\text{RMR}_{\text{corretto}}$ si classifica l'ammasso roccioso secondo le indicazioni riportate nella tabella seguente:

TABELLA 3					
Classi di qualità dell'ammasso roccioso	Valori				
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Ottima	Buona	Discreta	Scadente	Molto scadente
Coesione (KPa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 200
Angolo d'attrito (°)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15

Nel nostro caso, in base alle risultanze ottenute dai sondaggi meccanici effettuati nell'area di indagine e delle prove di laboratorio, è stato attribuito a ciascun parametro il seguente punteggio:

Parametri	Valori	Indice parziale secondo Bieniawski
Resistenza roccia intatta (R1)	100-50 MPa	7
Indice RQD (R2)	< 25 %	3
Spaziatura delle discontinuità (R3)	6.00 – 20.00 cm	8
Condizione delle discontinuità (R4)	Superfici lisce o riempimento < 5 mm	10
Condizioni idrauliche (R5)	Completamente asciutto	15
Orientamento delle discontinuità (R6)	Poco favorevole	-7
Valore dell'indice RMRbase		43
Valore dell'indice RMRcorretto		36
Valore dell'indice BMRW		43

L'indice RMRcorretto risulta pari a 36, pertanto nella classificazione dell'ammasso roccioso secondo Bieniawski la roccia in esame può essere collocata nella classe IV "SCADENTE".

Considerando che i parametri di resistenza (coesione e angolo di attrito interno) dipendono dalle caratteristiche intrinseche dell'ammasso roccioso e sono indipendenti dalla geometria e giacitura delle discontinuità, se ne deduce,

come precisato dallo stesso autore, che i suddetti parametri si calcolano utilizzando l'indice RMRbase, attraverso le seguenti formule:

$$c = 5 * \text{RMRbase (kPa)}$$

$$\varphi = 5 + \text{RMRbase}/2 (^{\circ})$$

Pertanto, i valori di coesione e di angolo di attrito interno della roccia calcarea affiorante nell'area di indagine ed entro cui sarà realizzata la "trincea drenante", risultano essere:

Coesione efficace	215	KPa
Angolo di attrito interno efficace	26.5	°

Come descritto in precedenza il valore dell'indice GSI è stato determinato con la formula:

$$\text{GSI} = \text{BMRW} - 5$$

Da cui risulta un valore GSI pari a 38.

7.2 Valutazione del modulo di deformabilità

Utilizzando i risultati ottenuti dall'applicazione del metodo di Beniaowski all'ammasso roccioso è possibile determinare il modulo di deformabilità E_d attraverso la relazione proposta sempre da Beniaowsky:

$$E_d = 10^{(RMR_{base}-10)/40} \text{ (GPa)}$$

Nel nostro caso essendo l'indice di Beniaowski calcolato RMR_{base} pari a 43, il modulo di deformabilità risulta pari a $E_d = 6.68$ GPa.

Nella tabella che segue vengono riportati i parametri rappresentativi dell'ammasso roccioso derivanti dalla sintesi dei valori ottenuti attraverso le indagini in sito e le prove di laboratorio.

Parametro		
Peso di volume (roccia intatta)	γ (Kg/m ³)	2459
Resistenza a compressione uniassiale (roccia intatta)	σ_c (MPa)	78
Modulo elastico statico tang. (roccia intatta)	E_t (GPa)	62.5
Rapporto di Poisson tang. (roccia intatta)	ν	0.28
Coesione di picco (ammasso)	C_m (MPa)	0.22
Phi di picco (ammasso)	ϕ°	26.5
Modulo elastico di deformabilità	E_d (GPa)	6.68
Resistenza a compressione di ammasso	Co_m (MPa)	2.49

Il valore della resistenza dell'ammasso roccioso è stato calcolato con la formula di Hoek e Brown, 1980:

$$Co_m = \sigma_c * s^{0.5}$$

dove:

s =costante empirica dell'ammasso roccioso calcolata attraverso l'espressione

$$s = \exp[(GSI - 100)/9].$$

7.3 Scelta dei parametri caratteristici

La lettura dei risultati delle prove geotecniche eseguite sui campioni prelevati nel corso delle perforazioni che hanno interessato i vari strati dell'ammasso calcareo presente in loco, ha consentito di procedere alla elaborazione semiprobabilistica sotto riportata.

Parametro	Valore medio	Unità di misura
Massa volumica apparente	2459	Kg/m³
Pressione a rottura	78	MPa
Modulo elastico tangente	62524	MPa
Coefficiente di Poisson	0.28	-

La deviazione standard dei parametri fisici e meccanici è stata determinata, attraverso la formula generale:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

I valori caratteristici ottenuti sono quelli riportati in tabella:

Parametro	Valore medio	U.M.
Massa volumica apparente	2459	Kg/m³
Pressione a rottura con M1=1 (NTC2008)	78.33	MPa
Pressione a rottura con M2=1.6 (NTC2008)	48.96	MPa

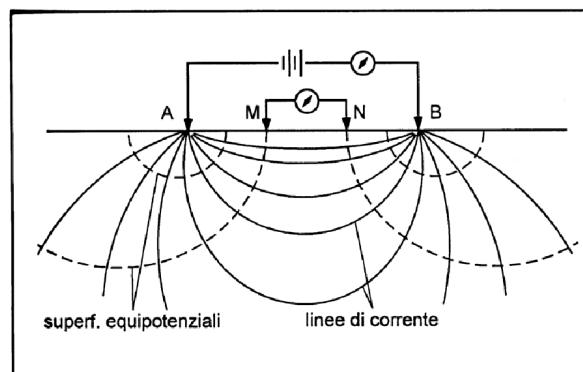
8. INDAGINI INDIRETTE: ELETTRICHE E SISMICHE

8.1 Tomografie elettriche: introduzione

I metodi di tomografia elettrica consistono nella determinazione sperimentale dei valori di resistività elettrica che caratterizzano il sottosuolo. Mediante l'utilizzo di appropriate strumentazioni si immette corrente elettrica nel terreno e si esegue una successione di misure in superficie con una serie di elettrodi opportunamente posizionati e infissi nel terreno.

L'apparecchiatura per la misura della resistività è formata schematicamente da:

- un sistema per l'immissione di corrente nel terreno (batteria o generatore di corrente);
- una serie di elettrodi (minimo quattro: A e B elettrodi di corrente, M e N elettrodi di potenziale).
- strumenti per la misura dell'intensità di corrente immessa nel terreno mediante gli elettrodi A e B e della differenza di potenziale tra i due elettrodi M e N.



Per la maggior parte degli impieghi vengono utilizzate apparecchiature a corrente alternata a bassa frequenza (60-120Hz): ciò elimina la necessità di impiegare elettrodi non polarizzabili o di misurare o annullare i potenziali spontanei. La resistività è alquanto più bassa di quella misurata con l'impiego di corrente continua.

Gli elettrodi sono usualmente dei picchetti di bronzo, rame o acciaio di lunghezza da 45-50 cm, con collegamenti a mezzo di spinotti. Gli elettrodi vengono conficcati nel terreno in modo da produrre un buon contatto. In caso di suoli secchi o a granulometria grossolane, si può migliorare il contatto con l'uso di soluzioni saline o versando semplicemente acqua attorno agli elettrodi.

Occorre aver cura di non dare corrente agli elettrodi quando sono ancora maneggiati dagli operatori, poiché in caso di alti potenziali c'è rischio di elettrocuzioni potenzialmente letali.

I dati dei rilievi geoelettrici sono usualmente presentati in forma di valori di resistività apparente: questa è definita come la resistività di un semispazio elettricamente omogeneo ed isotropo che presenti gli stessi rapporti misurati tra la corrente applicata e la differenza di potenziale per una data disposizione e spaziatura degli elettrodi.

Un'equazione che dia la resistività apparente in funzione di corrente applicata, distribuzione del potenziale e disposizione degli elettrodi può essere sviluppata attraverso l'esame della distribuzione di potenziale dovuta ad un

singolo elettrodo di corrente; da questa, per sovrapposizione, può essere ricostruito l'effetto di una coppia di elettrodi o di ogni altra combinazione.

Si consideri un elettrodo puntiforme in un mezzo semi-infinito elettricamente omogeneo, che rappresenta un ipotetico terreno omogeneo: se questo porta corrente, il potenziale in ogni punto del mezzo o sulla superficie limite del semispazio è dato da:

$$U = \rho \frac{I}{2\pi r} \quad (1)$$

dove

U = potenziale in Volt;

ρ = resistività del mezzo in Ohm·m;

r = distanza dall'elettrodo in m;

I = intensità di corrente immessa in Ampere.

Per una coppia di elettrodi, con corrente I nell'elettrodo A e corrente -I nell'elettrodo B, il potenziale in un punto è dato dalla somma algebrica dei singoli contributi:

$$U = \rho \frac{I}{2\pi r_A} - \rho \frac{I}{2\pi r_B} = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right] \quad (2)$$

Dove r_A e r_B sono le distanze del punto dagli elettrodi A e B. In aggiunta agli elettrodi di corrente, la figura precedente mostra una coppia di elettrodi M

e N, tra i quali viene misurata la differenza di potenziale V. Seguendo l'equazione (2), la differenza di potenziale risulta così definita:

$$V = U_M - U_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} - \frac{1}{AN} \right] \quad (3)$$

Dove U_M e U_N sono i potenziali in M e N; AM, BM, BN e AN sono le distanze effettive tra gli elettrodi.

La quantità tra parentesi quadra, funzione della spaziatura tra gli elettrodi, può essere indicata con la notazione $1/K$, il che permette di riscrivere l'equazione come:

$$V = \frac{\rho I}{2\pi} \frac{1}{K} \quad (4)$$

E risolvendo per la resistività:

$$\rho = 2\pi K \frac{V}{I} \quad (5)$$

La resistività del mezzo può quindi essere ricavata dai valori misurati di V, I e dal fattore geometrico K, funzione unicamente della disposizione elettrodica. Nelle misure reali sul terreno, la notazione ρ relativa ad un mezzo fittizio è sostituita da ρ_a o resistività apparente. Il rilevamento geoelettrico consiste nell'uso dei valori di resistività apparente derivati da misure di campo in vari punti e con diverse configurazioni per stimare la vera resistività dei

diversi strati e ricostruire spazialmente i loro limiti al di sotto della superficie topografica.

Una configurazione di elettrodi con spaziatura costante viene utilizzata per riconoscere variazioni laterali di resistività apparente che possono riflettere variazioni litologiche. Per indagare sui cambiamenti in profondità, si aumenta la spaziatura degli elettrodi.

8.1.1 Proprietà elettriche di rocce e sedimenti

La maggior parte delle rocce presenta caratteri di conducibilità di tipo elettrolitico dato che, con le eccezioni di alcuni minerali metallici, quasi tutti i minerali sono isolanti. La conducibilità è dovuta quindi essenzialmente all'acqua interstiziale ed è in larga misura funzione della porosità, del contenuto d'acqua e della quantità di sali disciolti nell'acqua. La presenza di fluidi nel sottosuolo fa sì che rocce e terreni, attraversati dalla corrente, si comportino relativamente come dei buoni conduttori di elettricità; al contrario le strutture con scarso contenuto di fluidi come rocce asciutte non fratturate e cavità naturali o di natura antropica si comportano come dei cattivi conduttori di calore, se non addirittura come degli isolanti.

Pertanto le geometrie sepolte rispondono al flusso di corrente artificiale, immessa con diverse modalità, in funzione del parametro fisico che regola tale comportamento: la resistività elettrica ρ (Ohm·m).

La resistività è pertanto una proprietà assai variabile, anche all'interno della stessa formazione: ciò è particolarmente vero per i materiali poco consolidati prossimi alla superficie, come detriti e regolite.

Nella tabella che segue sono forniti alcuni valori indicativi della resistività di rocce e sedimenti, valori che vanno utilizzati con le limitazioni suddette.

<i>Tipo di roccia o terreno</i>	<i>Intervallo di resistività (ohm.m)</i>
Granito	$3 \cdot 10^2 \div 10^6$
Sienite	$10^2 \div 10^6$
Diorite	$10^4 \div 10^5$
Quarzodiorite	$2 \cdot 10^4 \div 2 \cdot 10^6$ (umida); $1,8 \cdot 10^5$ (secca)
Dacite	$2 \cdot 10^4$ (umida)
Andesite	$4,5 \cdot 10^4$ (umida); $1,7 \cdot 10^2$ (secca)
Diabase	$20 \div 5 \cdot 10^7$
Lava	$10^2 \div 5 \cdot 10^4$
Gabbro	$10^3 \div 10^6$
Basalto	$10 \div 1,3 \cdot 10^7$ (secco)
Scisti	$20 \div 10^4$
Tufo	$2 \cdot 10^3$ (umido) $\div 10^5$ (secco);
Slate	$6 \cdot 10^2 \div 4 \cdot 10^7$
Gneiss	$7 \cdot 10$ (umido) $\div 3 \cdot 10^6$ (secco)
Marmo	$10^2 \div 2,5 \cdot 10^8$ (secco)
Quarzite	$10 \div 2 \cdot 10^8$
Argillite consolidata	$20 \div 2 \cdot 10^3$
Argillite	$10 \div 8 \cdot 10^2$
Conglomerato	$2 \cdot 10^3 \div 10^4$
Arenaria	$1 \div 6 \cdot 10^8$
Calcare	$50 \div 10^7$
Dolomite	$3,5 \cdot 10^2 \div 5 \cdot 10^3$
Argilla non consolidata	20 (umida)
Argilla	1-20
Sabbia, da umida a bagnata	20-200
Marna	3 \div 70
Alluvioni sabbiose	10 \div 800
Arenarie e marne (alternanze)	30 \div 50
Calcare poroso	100-1.000
Calcare micritico	1.000-1.000.000
Rocce metamorfiche	50-1.000.000
Rocce ignee	100-1.000.000

Tab. 1 – Valori indicativi di resistività (Ohm·m) di alcuni litotipi.

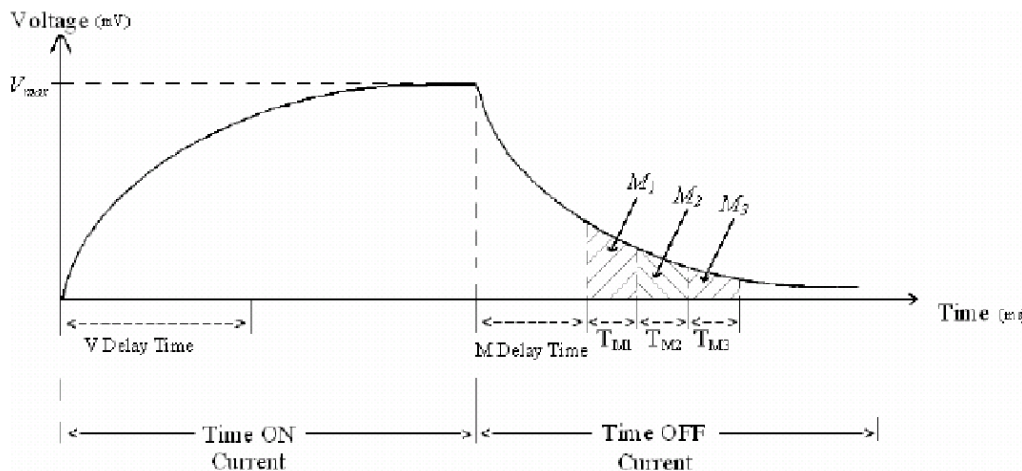
Le prospezioni di resistività e di polarizzazione indotta (IP, Induced Polarization), più comunemente nota col nome di caricabilità, vengono generalmente eseguite con lo stesso dispositivo e la stessa strumentazione; si tratta di tecniche di indagine di tipo geoelettrico che permettono di evidenziare situazioni elettricamente anomale nel sottosuolo, mediante l'analisi della distribuzione della resistività elettrica e mediante l'analisi di un particolare comportamento di alcuni terreni: l'effetto "capacitivo". In entrambi i casi si studia l'andamento di un campo elettrico in superficie, con la differenza che, nel caso della resistività, si studia il campo generato dalla circolazione della corrente nel sottosuolo, durante i periodi di invio della corrente stessa; per le misure di IP, invece, si studia la variazione del campo elettrico dopo l'interruzione di corrente o in seguito a variazioni delle caratteristiche del segnale elettrico inviato.

Per quanto riguarda l'effetto capacitivo, si può dire che esso rappresenta l'attitudine di un determinato materiale ad accumulare cariche elettriche di polarità opposta (cioè a "caricarsi" come un condensatore elettrico) lungo la superficie di discontinuità tra mezzi a resistività diversa, durante l'invio di corrente nel sottosuolo, ed a permettere la "scarica" negli istanti immediatamente successivi all'interruzione della corrente. In termini pratici i terreni che presentano i maggiori effetti capacitivi, cioè una elevata caricabilità, sono quelli in cui si ha la contemporanea presenza di parti molto conduttive,

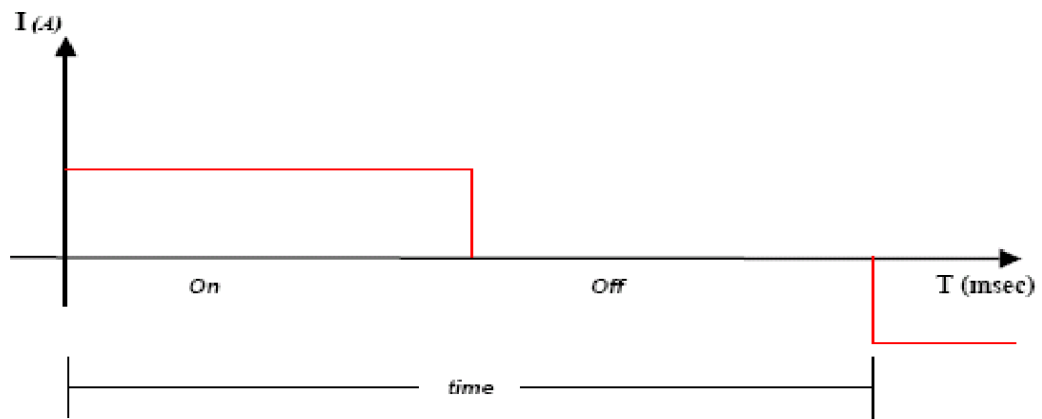
affiancate ad altre molto resistive, senza che si verifichi una marcata continuità delle prime. Tra queste situazioni sono da segnalare le zone con mineralizzazioni metalliche conduttive (es. solfuri) diffuse in rocce compatte e resistive, le alluvioni a granulometria grossolana con abbondante matrice fine, ed anche i contesti tipo discarica dove i liquami percolanti la massa di rifiuti, generalmente molto conduttivi, possono localmente esser confinati in zone elettricamente isolate o contenere barriere isolanti che, sebbene facilmente bypassabili, costituiscono zone di momentaneo accumulo di cariche elettriche.

Il metodo di polarizzazione indotta del terreno è stato sviluppato per la prospezione di piccole concentrazioni di elementi metallici, non individuabili con indagini di resistività perché, ad esempio, disseminati in materiali non conduttori come silicati. Il metodo di IP, dapprima utilizzato in ambito minerario, fu applicato all'ambito ambientale nei primi anni '70 (Angoran et al., 1974).

La polarizzazione indotta è un fenomeno generato dalla stimolazione di una corrente elettrica, che viene osservata dopo l'applicazione di una tensione nel terreno. Il metodo consiste nell'osservazione della curva di decadimento del potenziale, susseguentemente all'interruzione della corrente immessa, cioè dalla misura della "Caricabilità residua" trattenuta dal terreno sottoposto ad indagine, come mostrato in figura:



Transmitted Current



Tali misure vengono fatte dopo un tempo di ritardo (Delay Time) di qualche decina di millisecondi, preferibilmente un secondo (M Delay Time), in modo da lasciare che gli effetti di accoppiamento tra i cavi e altri effetti parassiti si siano esauriti o che almeno siano trascurabili. Le misurazioni della carica apparente parziale (M_i) e una media globale dedotta (M_a) danno qualche informazione riguardante la capacità del suolo ad essere caricato da un flusso di corrente.

La caricabilità parziale (mV/V) di una singola finestra dell'intervallo di tempo TM_i è dato dalla formula:

$$M_i = \int_{T_{\text{seg}}} V dt / (T_{Mi} \cdot V_{Max}) \quad (6)$$

dove V è la tensione istantanea misurata nell'intervallo di tempo TM_i (msec) mostrata in Figura 7 e V_{Max} è il valore massimo della tensione di carica. In Fig. 4 si nota che gli intervalli di tempo presi in considerazione sono tre (TM_1 , TM_2 , TM_3); gli intervalli di tempo disponibili per le misurazioni dipendono dalla corrente iniettata e dal metodo di IP utilizzato.

La caricabilità apparente globale (mV/V), cioè la caricabilità apparente di un singolo punto della pseudosezione, è data dalla formula:

$$M_a = \sum_{i=1}^n (M_i \cdot T_{Mi}) / \sum_{i=1}^n (T_{Mi}) \quad (7)$$

Dove n è il numero di finestre IP, nel nostro caso $n = 3$ (M_1 , M_2 , M_3). Il fenomeno di carica e scarica può essere descritto secondo la curva di figura.

In alcuni trattati la caricabilità viene misurata in millisecondi, attraverso la relazione:

$$M_a = \frac{1}{1000} \cdot \sum_{i=1}^n (M_i \cdot T_{Mi}) \quad (8)$$

Per un terreno omogeneo di dimensioni infinite, il tempo di decadimento è funzione della resistività del terreno e non cambia al variare della coppia dei

punti tra i quali si misura la differenza di potenziale. Se nel terreno è incluso un corpo metallico o un corpo con proprietà analoghe a quelle di un corpo metallico, si verificano anomalie nel decadimento elettrico in funzione del tempo. Lo stesso fenomeno si osserva anche per la polarizzazione di contaminanti organici, che possono eventualmente trovarsi nel terreno di un sito contaminato.

I fenomeni che avvengono a livello microscopico nel materiale sottoposto ad una corrente I , sono globalmente di due tipi:

1) Polarizzazione elettrodica: è la tipica polarizzazione dei metalli, dove le cariche sono libere di migrare; quindi esse si disporranno in modo da avere le cariche positive da un lato e le cariche negative dall'altro. Questo tipo di polarizzazione è tipica nelle indagini minerarie.

2) Polarizzazione a membrana: dovuta a sali disciolti in liquidi che producono una selettiva membrana elettrolitica, che funge da divisione tra le cariche negative e le cariche positive. Questo tipo di polarizzazione è particolarmente importante nelle rocce porose, contenenti una bassa percentuale di argilla, ed è particolarmente riscontrata nelle indagini in discarica.

Di seguito si riporta la Tab. 2 con alcuni valori tipici di caricabilità.

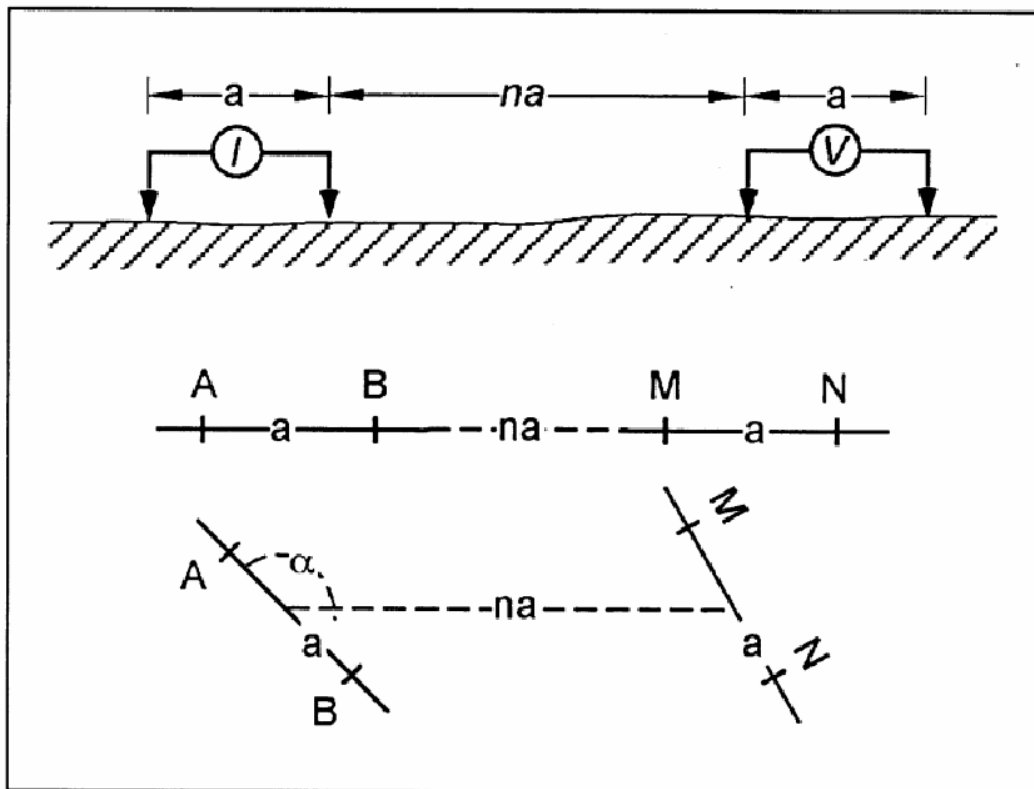
Materiali e Minerali	Caricabilità (msec)
Pirite	13.4
Galena (solfo di Piombo)	3.7
Rocce con il 20% di solfuri	2000-3000
Rocce con l'8-20% di solfuri	1000-2000
Rocce con l'2-8% di solfuri	500-1000
Magnetite	2.2
Arenarie e Siltiti	100-500
Tufi	300-800
Marne e Argilliti	50-100
Calcari e Dolomie	10-20
Rocce vulcaniche compatte	100-500
Graniti	10-50
Acque sotterranee	0
Materiale alluvionale	1-4
Ghiaia	3-9

Tab. 2 - Intervalli tipici di caricabilità di alcuni terreni, rocce e minerali (da Telford 1990 e Keller 1966).

8.1.2 Stendimento dipolo-dipolo

Questo tipo di stendimento, detto anche doppio dipolo, è comunemente usato nelle indagini di strutture profonde, dove gli altri metodi quadripolari (Schlumberger, Wenner) prevedono stendimenti molto lunghi, a volte di difficile esecuzione per ostacoli ambientali.

Nel doppio dipolo la distanza tra gli elettrodi di misura può essere aumentata fino al limite di sensibilità strumentale.



Il calcolo della resistività apparente si ottiene applicando alla formula comune della resistività ($\rho_a = KV/I$) il seguente fattore geometrico di stendimento K:

$$K = \frac{2\pi \cdot^2}{a \cos \alpha} \quad (15)$$

Dove

a = distanza tra gli elettrodi AB o MN;

r = na (distanza tra i centri dei dipoli);

α = angolo in AB della congiungente i centri dei dipoli.

8.1.3 Indagine geoelettrica

Sono state eseguite n. 11 tomografie elettriche con misure multielettrodo di resistività al fine di determinare le caratteristiche elettriche dei litotipi indagati e di ricercare e individuare presunte cavità nel sottosuolo dell'area progettuale situata a Nord-Ovest dell'abitato di Molfetta (BA).

Le tomografie denominate Tomo 1, Tomo 2 e Tomo 3 e Tomo 4 sono state eseguite in modalità dipolo-dipolo con l'utilizzo di 32 elettrodi interspaziati di 4 m per un totale di 128 m di stendimento, che ha restituito una profondità di indagine pari a circa 24 m; per le tomografie denominato Tomo 5, Tomo 6, Tomo 7, Tomo 8, Tomo 9, Tomo 10 e Tomo 11, i 32 elettrodi sono stati interspaziati di 3 m per un totale di 96 m di stendimento cui corrisponde una profondità di indagine di circa 18-19.00 m.

Le indagini sono state effettuate con GEORESISTIVIMETRO MAE A6000E, acquisitore digitale modulare per prospezione geoelettrica multielettrodo.



Il georesistivimetro della MAE A6000E è uno strumento compatto e versatile e viene utilizzato per indagini geoelettriche dettagliate con molteplici possibilità di impiego:

- misure multielettrodo per tomografie 2D e 3D di resistività elettrica, con configurazioni di acquisizione di tipo Dipolo-dipolo/Wenner/Wenner-Schlumberger, per ricerche di cavità naturali o antropiche, geoarcheologia, corpi e strutture sepolti, ricerche d'acqua;
- misure quadripolari per SEV - Sondaggi elettrici verticali, con stendimenti elettrodi di tipo Wenner/Schlumberger, per ricerche d'acqua;
- misure multielettrodo per tomografie 2D e 3D di polarizzazione indotta (caricabilità) con configurazioni di acquisizione di tipo Dipolo-dipolo/Wenner/Wenner-Schlumberger, per ricerca plume inquinanti e fattori metallici;

- misure dei potenziali spontanei per localizzazione di perdite dalla geomembrana (berma impermeabile) in aree di discarica e per la definizione della geometria del corpo della discarica.

Per gli stendimenti elettrodiici effettuati sono stati utilizzati dei box di espansione per misure multielettrodo con un totale di 24 canali (2 box - N.16 canali cad.) e connettori con cavi per collegamenti fra box e georesistivimetro e fra box e box in cascata.



Le misure di resistività e di polarizzazione indotta acquisite sono state elaborate tramite software di inversione RES2DINV della GEOTOMO INTERNATIONAL.

La strumentazione utilizzata è conforme alle seguenti norme:

DIRETTIVE

Compatibilità elettromagnetica: 89/336/CE

Direttiva bassa tensione: 73/23/CE

Pertanto la strumentazione è stata dotata di marcatura CE

8.1.4 Interpretazione delle tomografie elettriche

Di seguito si riporta per ciascun rilievo l'elaborato (tomografia 2D di resistività elettrica) relativo alle indagini geoelettriche eseguite con misure multielettrodo di resistività.

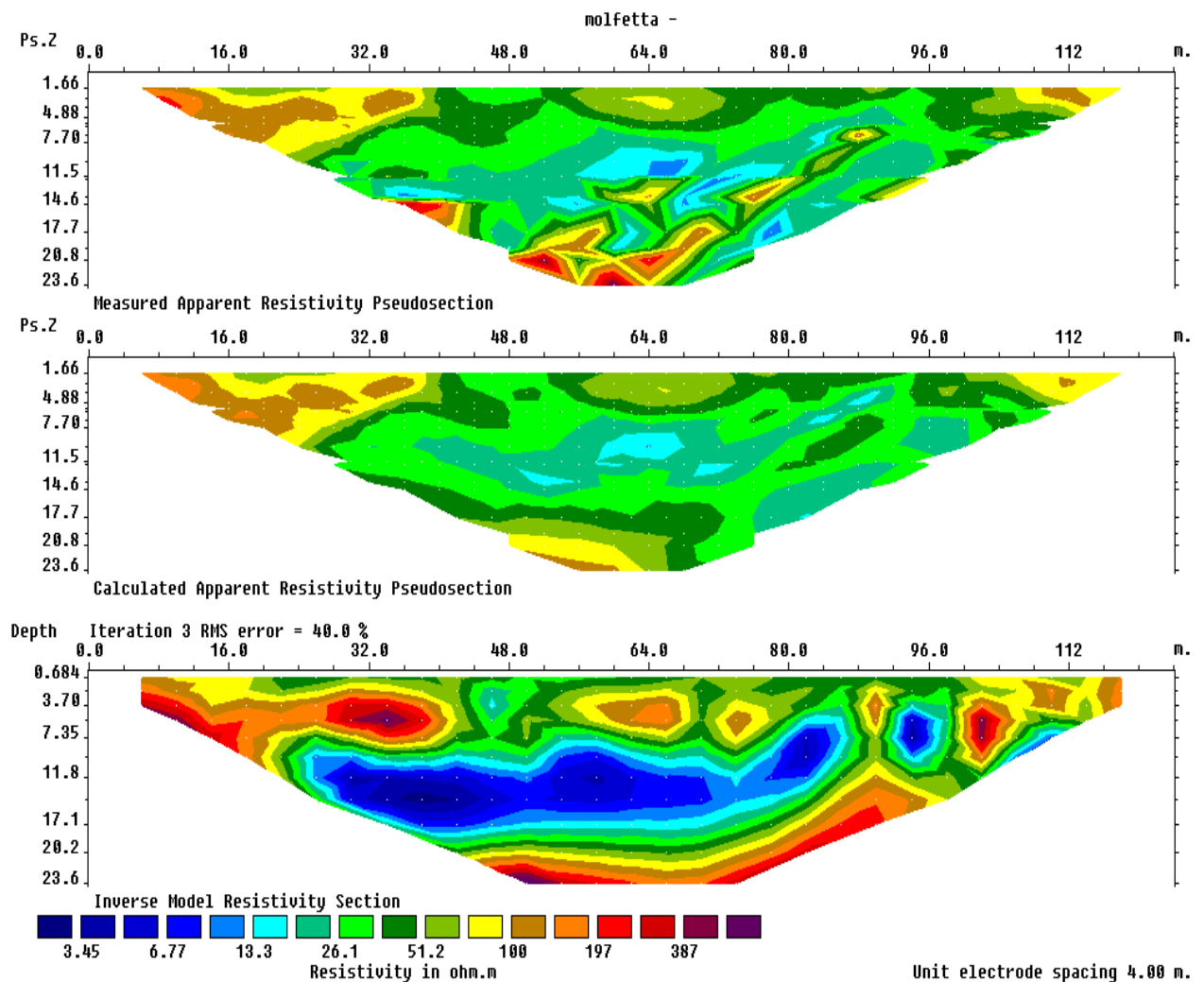
Le condizioni meteorologiche in fase di acquisizione dati erano discrete con tempo sereno e venti moderati mentre il terreno superficiale costituito solitamente da terreno di riporto o alluvionale, risultava asciutto.

Tomografia elettrica T.E. 1

La foto mostra l'ubicazione della tomografia elettrica dipolare T.E. 1 eseguita in prossimità del sondaggio meccanico S.14 ed orientata in direzione NE-SW.



La tomografia è stata effettuata mediante una spaziatura elettrodica di 4 m lungo un profilo avente una lunghezza complessiva di circa 128 m. Si è ottenuta, così, una profondità di investigazione pari a circa 23.6 m. Lo scarto quadratico medio dopo 3 iterazioni è risultato essere piuttosto elevato, pari a 40.0%.



La sezione geoelettrica mostra un range di valori di resistività variabile da circa 3.00 Ohm*m a poco più di 400 Ohm*m, raggiungendo picchi anche

superiori agli 800 Ohm* m in corrispondenza di alcuni nuclei localizzati lungo tutta la fascia superficiale, fino ad una profondità di circa 7.00 m ed associabile a materiale calcareo molto fratturato con presenza di vuoti naturali (carsismo). Nella parte centrale e per quasi tutta la sezione a partire da 7.50 m fino a circa 17.00 m di profondità, vi è una fascia molto conduttiva (resistività minore di 5 Ohm*m) associabile alla presenza di una vera e propria falda d'acqua, peraltro già riscontrata nel corso del sondaggio meccanico S.14.

Del resto la tomografia in esame è stata effettuata a poca distanza dal mare per cui è giusto ritenere che si tratti di acqua di ingressione marina che permea sia in senso verticale che longitudinale, gli strati molto fratturati della roccia calcarea.

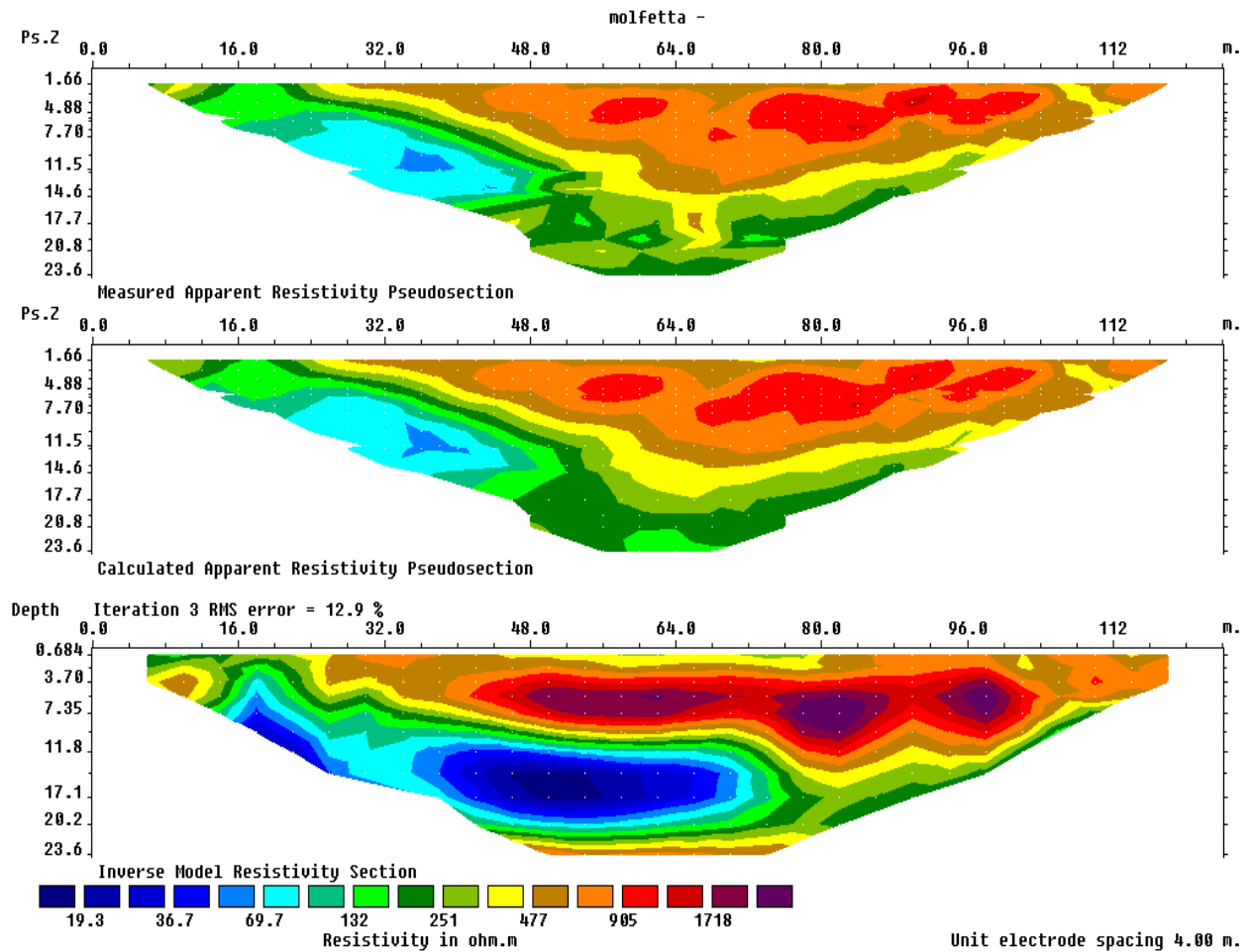
A partire dalla profondità di circa 20 m dal p.c. i valori di resistività tendono ad aumentare in maniera significativa, come risulta evidente nella parte centrale della sezione, per effetto della minore fratturazione che interessa il substrato calcareo presente in loco.

Tomografia elettrica T.E. 2

La foto mostra l'ubicazione della tomografia elettrica dipolare T.E. 2 eseguita in prossimità del sondaggio meccanico S.11 ed orientata in direzione NE-SW.



La tomografia è stata effettuata mediante una spaziatura elettroica di 4 m lungo un profilo avente una lunghezza complessiva di circa 128 m. Si è ottenuta, così, una profondità di investigazione pari a circa 23.6 m. Lo scarto quadratico medio dopo 3 iterazioni è risultato essere piuttosto basso, pari a 12.9%.



La sezione geoelettrica mostra un range di valori di resistività variabile da circa 15.00 Ohm*m a più di 1700 Ohm*m, raggiungendo picchi anche superiori ai 3.000 Ohm* m in corrispondenza di alcuni nuclei localizzati lungo la fascia superficiale soprattutto nella parte destra, fino ad una profondità di circa 8.00 m ed associabile a materiale calcareo molto fratturato con presenza di vuoti naturali (carsismo). Nella parte centrale della sezione a circa 11 m di profondità e fino a circa 20 m, vi è una zona molto conduttiva (resistività minore di 40

Ohm*m) associabile alla presenza di un deposito residuale sabbioso-limoso saturo (livello di terra rossa nel substrato calcareo).

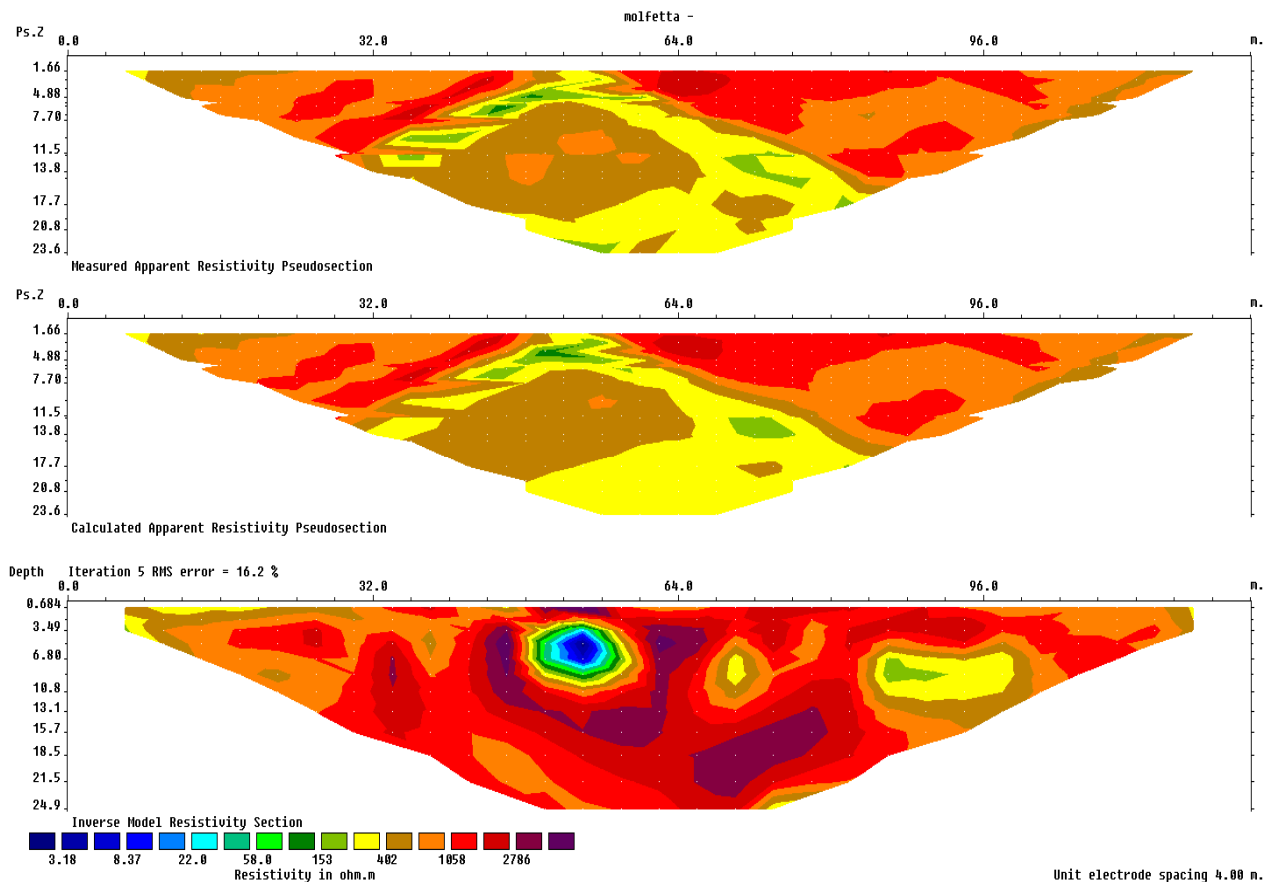
A partire dalla profondità di circa 20.5 m dal p.c. i valori di resistività tendono ad aumentare in maniera significativa, come risulta evidente nella parte centrale della sezione, per effetto della minore fratturazione che interessa il substrato calcareo presente in loco.

Tomografia elettrica T.E. 3

La foto mostra l'ubicazione della tomografia elettrica dipolare T.E. 3 eseguita nelle vicinanze del sondaggio S.11, in direzione NE-SW.



La tomografia è stata effettuata mediante una spaziatura elettroica di 4 m lungo un profilo avente una lunghezza complessiva di circa 128 m. Si è ottenuta, così, una profondità di investigazione pari a circa 24.9 m. Lo scarto quadratico medio dopo 5 iterazioni è risultato essere piuttosto basso, pari a 16.2%.



La sezione geoelettrica mostra un range di valori di resistività variabile da circa 3.00 Ohm*m a più di 3.000 Ohm*m, raggiungendo picchi anche superiori ai 5.000 Ohm* m in corrispondenza di alcuni nuclei localizzati nella parte destra a circa 15.00 m di profondità ed associabile a materiale calcareo molto fratturato con presenza di vuoti naturali (carsismo). Nella parte centrale della sezione a circa 3.00 m di profondità, vi è una zona molto conduttiva (resistività minore di 5 Ohm*m) associabile alla presenza di una piccola cavità/frattura parzialmente riempita di materiale residuale sabbioso-limoso, saturo (terra rossa).

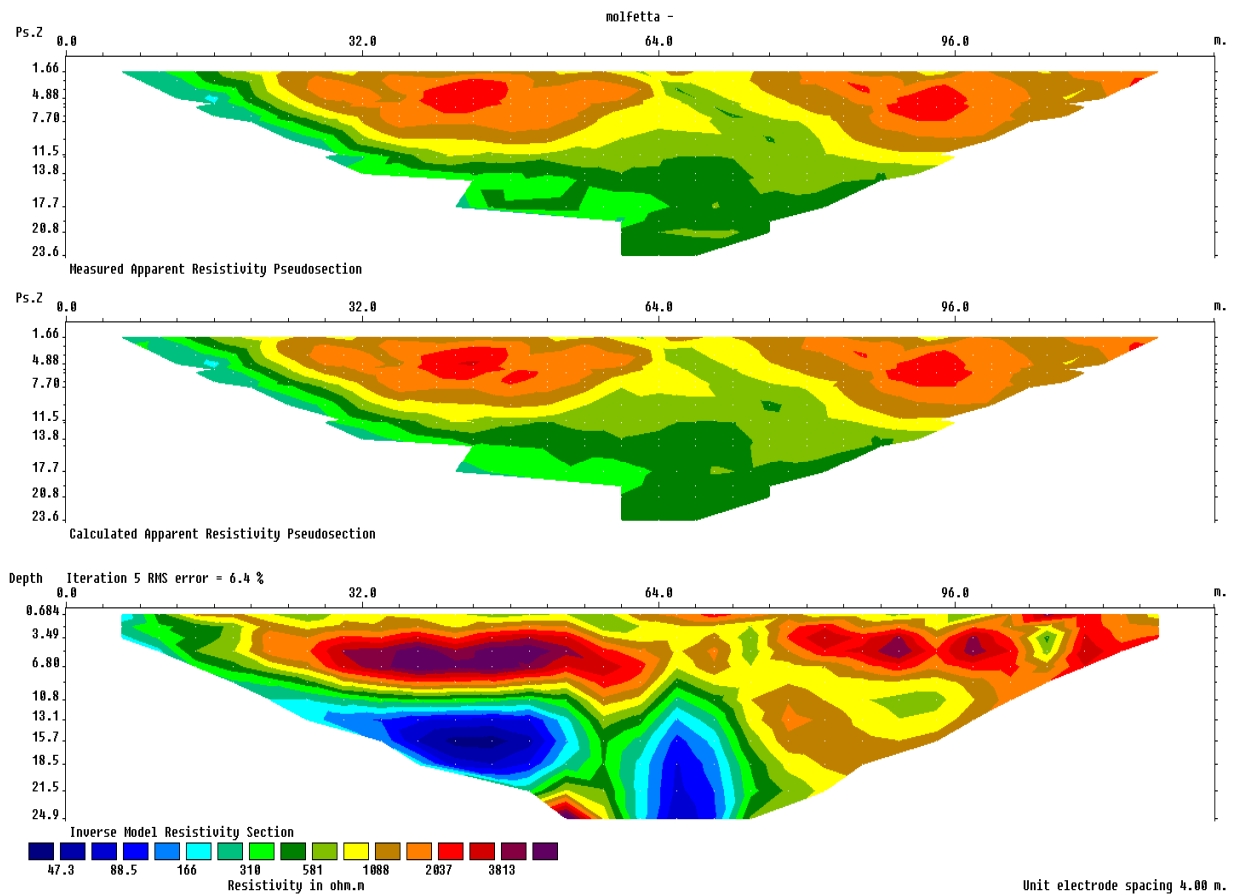
A partire dalla profondità di circa 20.50 m dal p.c. i valori di resistività tendono ad aumentare in maniera significativa, come risulta evidente nella parte centrale della sezione, per effetto della minore fratturazione che interessa il substrato calcareo presente in loco.

Tomografia elettrica T.E. 4

La foto mostra l'ubicazione della tomografia elettrica dipolare T.E. 4 eseguita fra i sondaggi meccanici S.6 ed S.9, in direzione NW-SE.



La tomografia è stata effettuata mediante una spaziatura elettroica di 4 m lungo un profilo avente una lunghezza complessiva di circa 128 m. Si è ottenuta, così, una profondità di investigazione pari a circa 24.9 m. Lo scarto quadratico medio dopo 5 iterazioni è risultato essere basso, pari a 6.4%.



La sezione geoelettrica mostra un range di valori di resistività variabile da circa 40 Ohm*m a più di 4.000 Ohm*m, raggiungendo picchi anche superiori ai 5.000 Ohm* m in corrispondenza di alcuni nuclei localizzati nella parte destra a circa 2.00-3.00 m di profondità ed associabile a materiale calcareo molto fratturato con presenza di vuoti naturali e/o fratture (carsismo). Si osserva nella parte sinistra della sezione una zona resistiva posta a circa 4.00 m di profondità associabile ad una frattura/vuoto nella roccia calcarea che si estende per una lunghezza di circa 20 m.

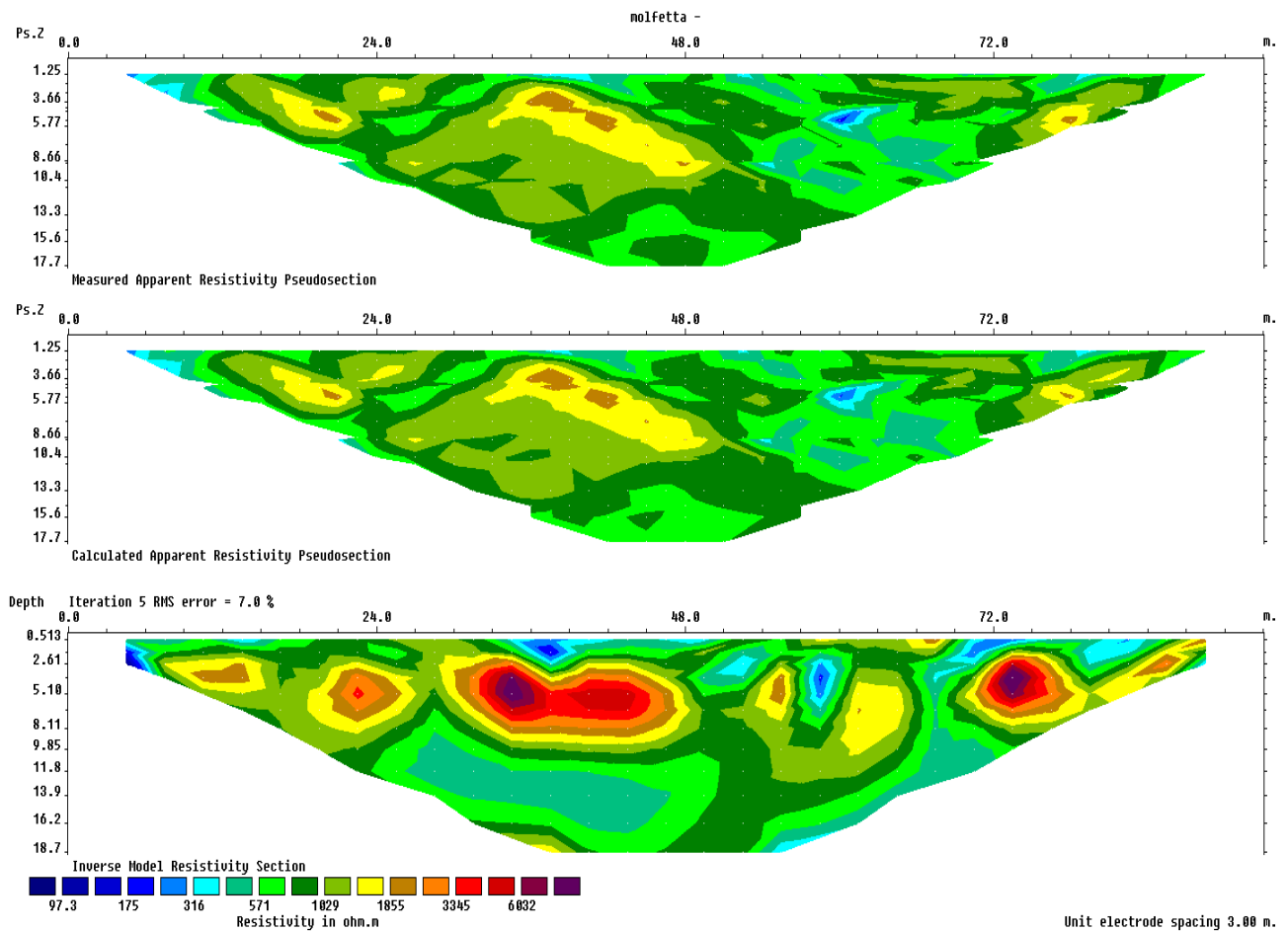
Nella parte sinistra della sezione a circa 12.00 m di profondità, vi sono due zone molto conduttive (resistività minore di 50 Ohm*m) associabili alla presenza di materiale residuale sabbioso-limoso, saturo (terra rossa) di riempimento delle fratture e dei vuoti che caratterizzano il substrato calcareo.

Tomografia elettrica T.E. 5

La foto mostra l'ubicazione della tomografia elettrica dipolare T.E. 5 eseguita nelle vicinanze del sondaggio meccanico S.8, in direzione NW-SE.



La tomografia è stata effettuata mediante una spaziatura elettrodica di 3 m lungo un profilo avente una lunghezza complessiva di circa 96 m. Si è ottenuta, così, una profondità di investigazione pari a circa 18.7 m. Lo scarto quadratico medio dopo 5 iterazioni è risultato essere basso, pari a 7%.



La sezione geoelettrica mostra un range di valori di resistività variabile da circa 90 Ohm*m a più di 6.000 Ohm*m, raggiungendo picchi anche superiori ai 7.000 Ohm* m in corrispondenza di alcuni nuclei localizzati nella parte destra e ed in quella centrale a circa 2.50 m di profondità ed associabile a materiale calcareo molto fratturato con presenza di vuoti naturali e/o fratture (carsismo). Sono visibili piccole zone conduttive superficiali caratterizzate da valori di restività piuttosto bassi (>90 Ohm*m) associabile a materiale sabbioso-argilloso residuale talora saturo.

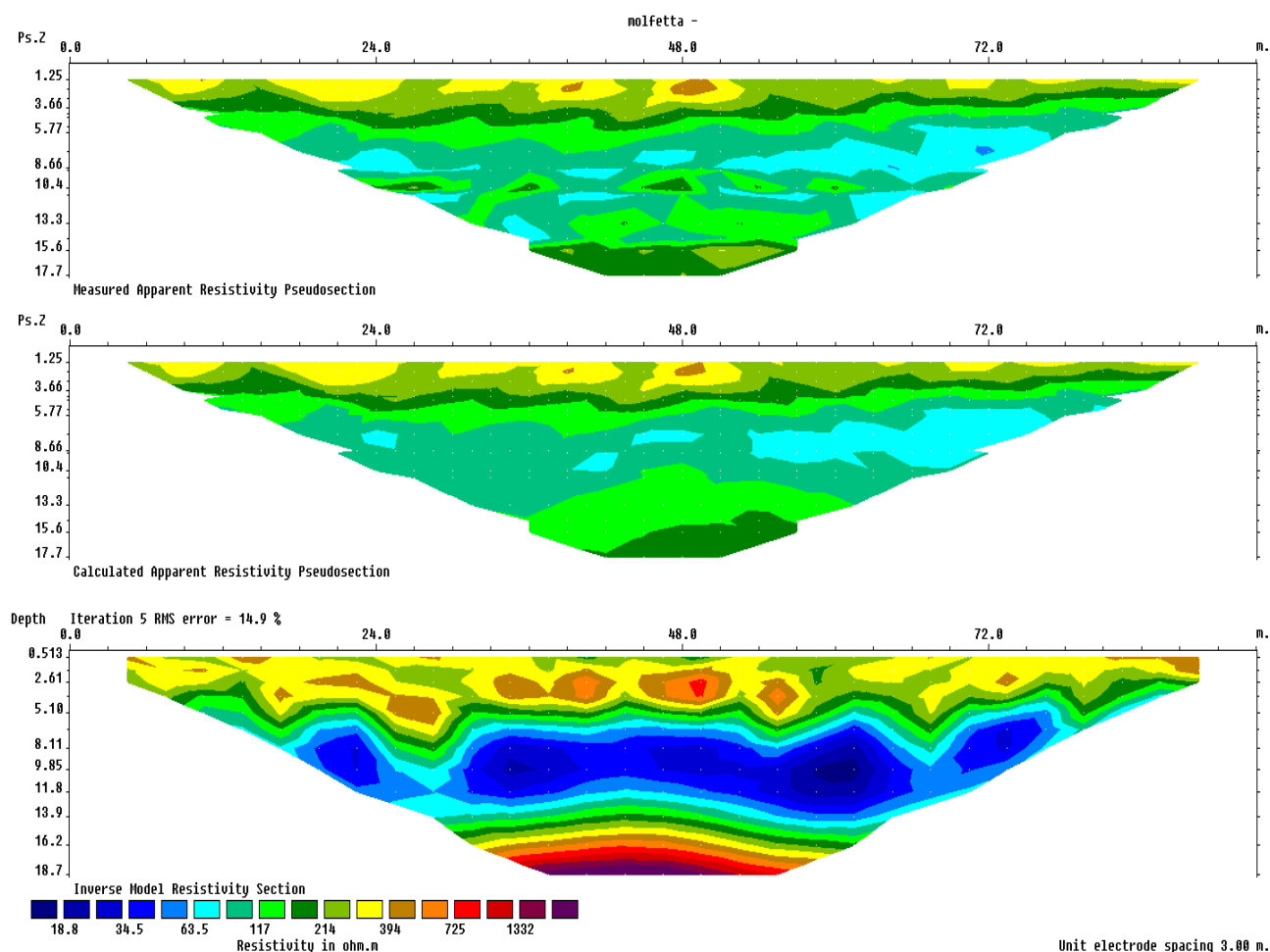
Nella restante parte della sezione a partire da circa 10 m di profondità i valori di resistività tendono ad aumentare in maniera significativa (>500 Ohm*m), tipici di materiale calcareo alterato e fratturato.

Tomografia elettrica T.E. 6

La foto mostra l'ubicazione della tomografia elettrica dipolare T.E. 6 eseguita fra i sondaggi meccanici S.5 ed S.6, in direzione N-S.



La tomografia è stata effettuata mediante una spaziatura elettrodica di 3 m lungo un profilo avente una lunghezza complessiva di circa 96 m. Si è ottenuta, così, una profondità di investigazione pari a circa 18.7 m. Lo scarto quadratico medio dopo 5 iterazioni è risultato essere piuttosto basso, pari a 14.9%.



La sezione geoelettrica mostra un range di valori di resistività variabile da circa 15 Ohm*m a più di 1500 Ohm*m, raggiungendo picchi anche superiori ai 2.000 Ohm* m.

E' evidente la presenza di uno strato superficiale relativamente resistivo (resistività compresa fra i circa 200 e 1000 Ohm*m), fino a massimo 7 m di profondità, associabile a materiale calcareo talora molto fratturato.

La parte centrale è caratterizzata da una fascia molto conduttiva (resistività minore di 30 Ohm*m) associabile alla presenza di materiale argilloso-sabbioso, saturo (terra rossa residuale).

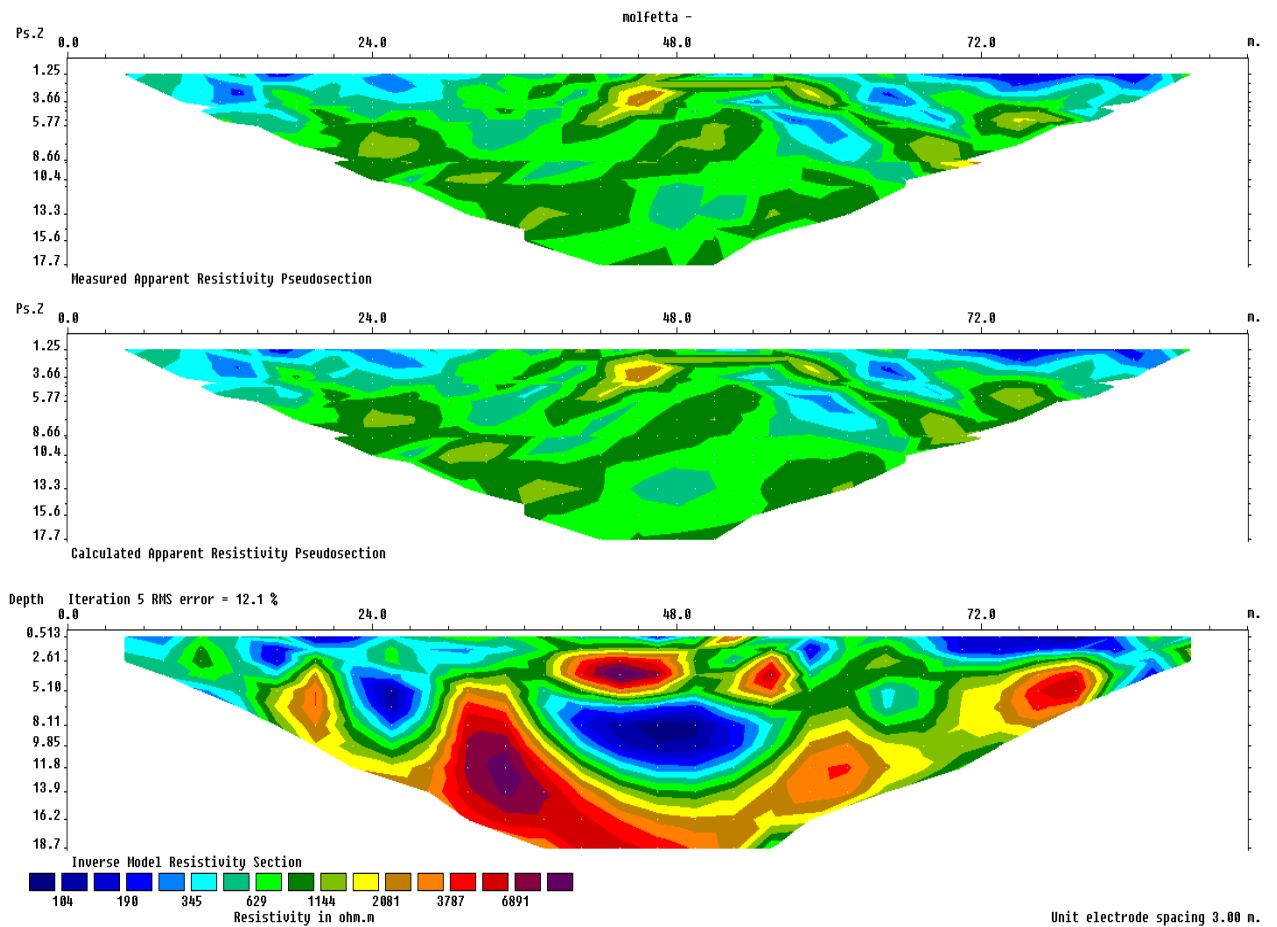
A partire da circa 15 m di profondità i valori di resistività tendono ad aumentare in maniera significativa (resistività maggiore di 1000 Ohm*m) e sono associabile a materiale calcareo fratturato e alterato.

Tomografia elettrica T.E. 7

La foto mostra l'ubicazione della tomografia elettrica dipolare T.E. 7 eseguita in prossimità del sondaggio S.15, in direzione NE-SW.



La tomografia è stata effettuata mediante una spaziatura elettroica di 3 m lungo un profilo avente una lunghezza complessiva di circa 96 m. Si è ottenuta, così, una profondità di investigazione pari a circa 18.7 m. Lo scarto quadratico medio dopo 5 iterazioni è risultato essere piuttosto basso, pari a 12.1%.



La sezione geoelettrica mostra un range di valori di resistività variabile da circa 100 Ohm*m a più di 7000 Ohm*m, raggiungendo picchi di quasi 10000 Ohm*m, in alcuni nuclei localizzati nella parte centrale a diverse profondità e nella parte destra fino a circa 3.50 m di profondità.

Nell'insieme i valori di resistività sono maggiori di 500 Ohm*m, tipici di materiale calcareo, mostrando, per tutta la sezione sia nuclei molto resistivi (resistività maggiore di 6000 Ohm*m) sia nuclei relativamente conduttivi (resistività minore di 100 Ohm*m). La forma pseudo-circolare delle anomalie riscontrate indica la possibile presenza di cavità sotterranee (naturali) e fratture,

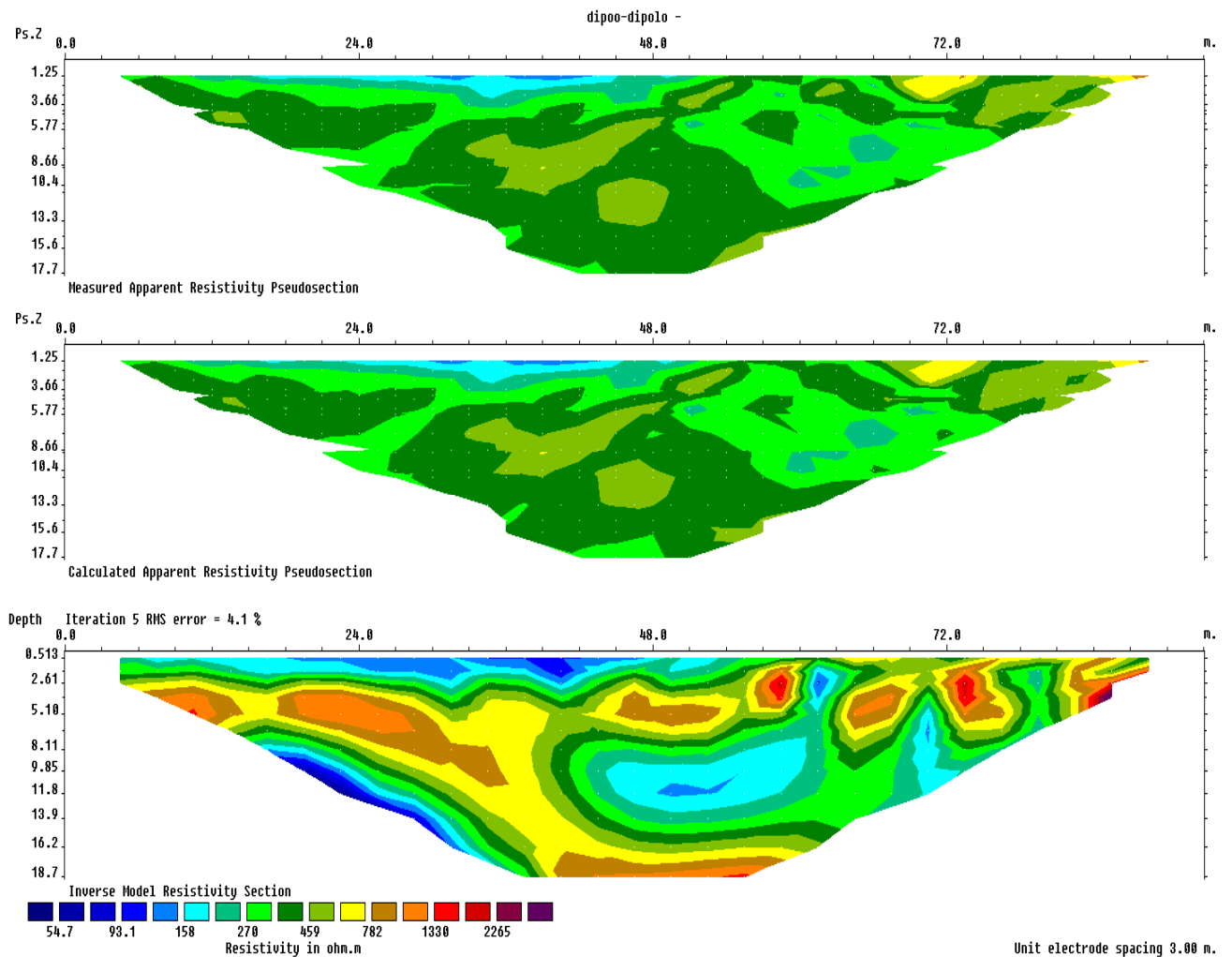
ora completamente vuote (nuclei resisitivi) ora riempite di terreno residuale
sabbioso-argilloso (nuclei conduttivi).

Tomografia elettrica T.E. 8

La foto mostra l'ubicazione della tomografia elettrica dipolare T.E. 8 eseguita in prossimità del sondaggio S.4, in direzione E-W.



La tomografia è stata effettuata mediante una spaziatura elettrodica di 3 m lungo un profilo avente una lunghezza complessiva di circa 96 m. Si è ottenuta, così, una profondità di investigazione pari a circa 18.7 m. Lo scarto quadratico medio dopo 5 iterazioni è risultato essere basso, pari a 4.1%.



La sezione geoelettrica mostra un range di valori di resistività variabile da circa 50 Ohm*m a più di 2000 Ohm*m, raggiungendo picchi di 3000 Ohm*m, in alcuni nuclei localizzati nella parte superficiale destra fino a massimo 4.50 m di profondità.

Nella parte centrale verso sinistra, in superficie si hanno valori di resistività piuttosto bassi (>100 Ohm*m) tipici di materiali sabbioso-argillosi, talora saturi.

Nella restante parte della sezione i valori di resistività risultano superiori ai 400 Ohm*m, tipici di materiale calcareo molto fratturato.

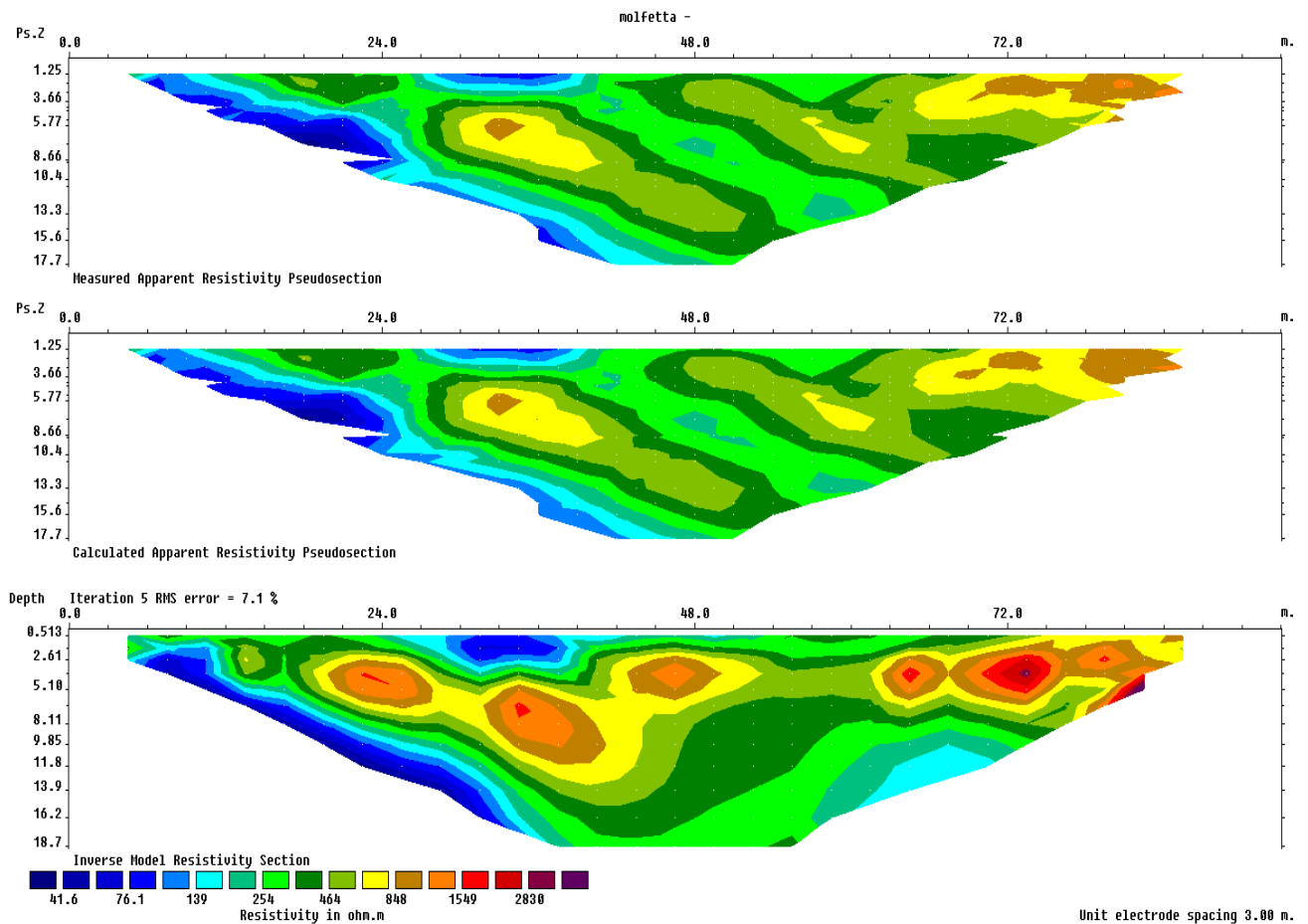
Nuclei conduttivi piuttosto estesi sono ben visibili nella zona centrale della sezione ad una profondità di circa 9.00 m dove i valori di resistività risultano inferiori a 150 Ohm*m, tipici di materiali sabbioso-argillosi, residuali (terra rossa).

Tomografia elettrica T.E. 9

La foto mostra l'ubicazione della tomografia elettrica dipolare T.E. 9 eseguita in prossimità del sondaggio S.3, in direzione NW-SE.



La tomografia è stata effettuata mediante una spaziatura elettroica di 3 m lungo un profilo avente una lunghezza complessiva di circa 96 m. Si è ottenuta, così, una profondità di investigazione pari a circa 18.7 m. Lo scarto quadratico medio dopo 5 iterazioni è risultato essere basso, pari a 7.1%.



La sezione geoelettrica mostra un range di valori di resistività variabile da circa 40 Ohm*m a più di 2800 Ohm*m.

Nell'insieme i valori di resistività sono maggiori di 500 Ohm*m, tipici di materiale calcareo, mostrando nella parte sinistra della sezione ed in quella destra ad una profondità variabile fra 1.50 m e 2.50 m, nuclei molto resitivi (resistività fino a 2000 Ohm*m) associabili alla presenza di vuoti/fratture o cavità naturali di natura carsica.

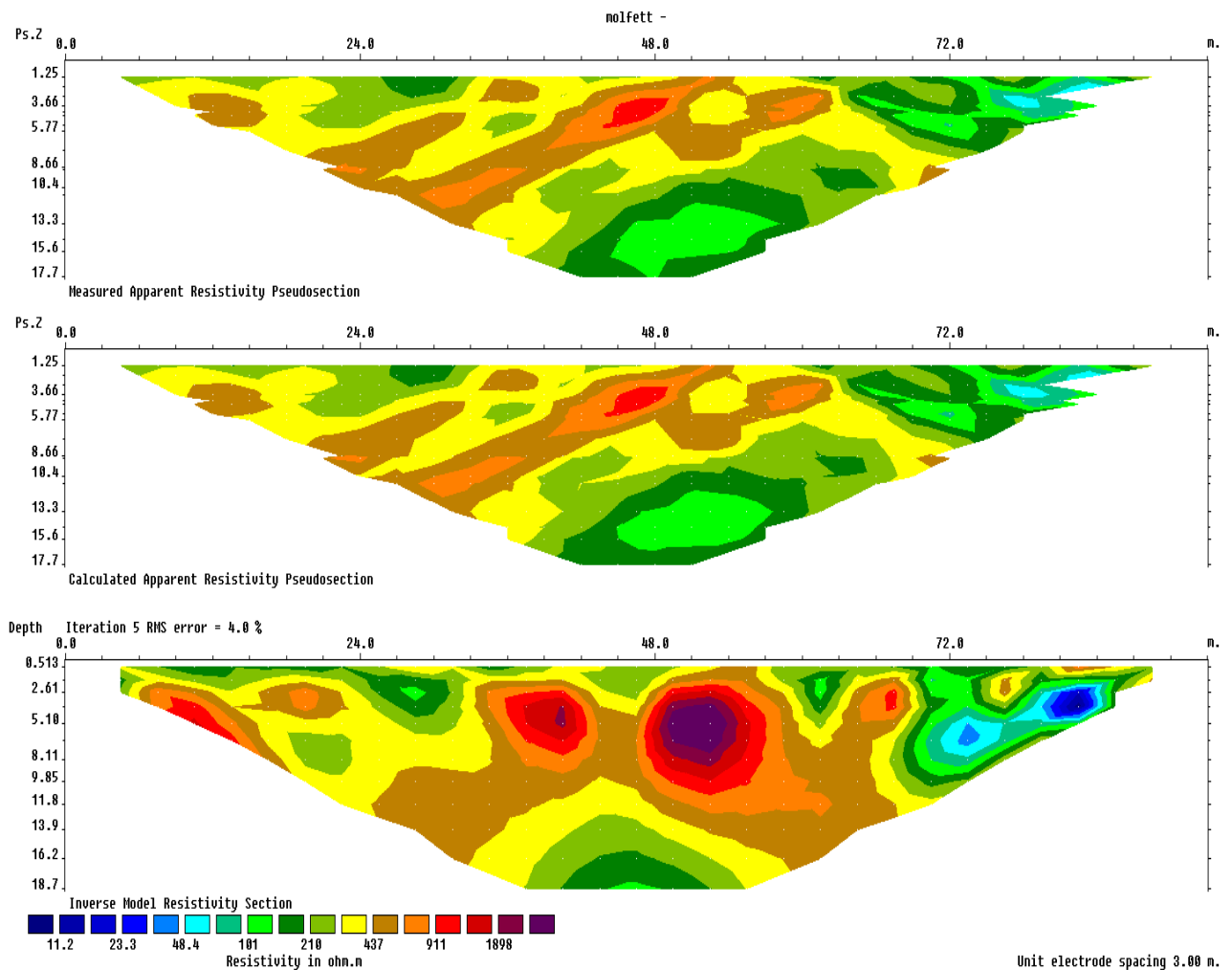
E' ben visibile nella parte centro-sinistra della sezione una zona superficiale conduttiva (resistività minore di 40 Ohm*m) associabile alla presenza di materiale sabbioso-argilloso, saturo.

Tomografia elettrica T.E. 10

La foto mostra l'ubicazione della tomografia elettrica dipolare T.E. 10 eseguita fra i sondaggi S.2 ed S.4, in direzione N-S.



La tomografia è stata effettuata mediante una spaziatura elettroica di 3 m lungo un profilo avente una lunghezza complessiva di circa 96 m. Si è ottenuta, così, una profondità di investigazione pari a circa 18.7 m. Lo scarto quadratico medio dopo 5 iterazioni è risultato essere basso, pari a 4.0%.



La sezione geoelettrica mostra un range di valori di resistività variabile da circa 10 Ohm*m a più di 1800 Ohm*m.

La sezione geoelettrica mostra un range di valori di resistività variabile da circa 10 Ohm*m a più di 1.800 Ohm*m, raggiungendo picchi anche superiori ai 3.000 Ohm* m in corrispondenza di alcuni nuclei localizzati nella parte centrale a circa 2.5m di profondità ed associabile a materiale calcareo molto fratturato con presenza di cavità naturali (carsismo). Sono visibile piccole zone conduttive

superficiali nella parte destra caratterizzate da valori di resistività piuttosto bassi (resistività minore di 10 Ohm*m) associabile a materiale sabbioso-argilloso residuale talora saturo.

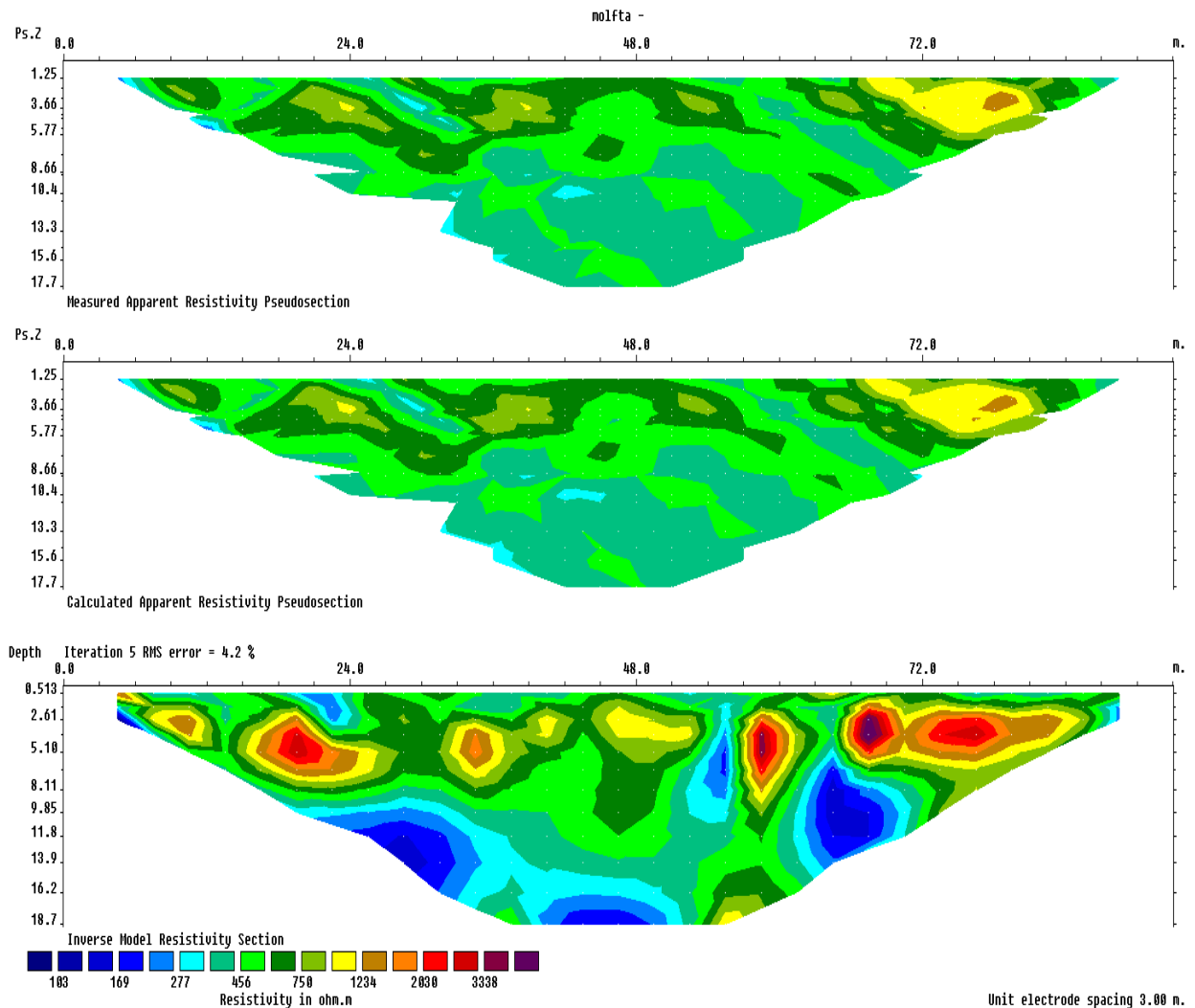
La forma pseudo circolare delle anomalie indica la probabile presenza di cavità sotterranee ora completamente vuote in corrispondenza dei nuclei resitivi ora probabilmente riempite di terra rossa in corrispondenza dei nuclei conduttivi.

Tomografia elettrica T.E. 11

La foto mostra l'ubicazione della tomografia elettrica dipolare T.E. 11 eseguita nelle vicinanze del sondaggio S.1, in direzione NW-SE.



La tomografia è stata effettuata mediante una spaziatura elettroica di 3 m lungo un profilo avente una lunghezza complessiva di circa 96 m. Si è ottenuta, così, una profondità di investigazione pari a circa 18.7 m. Lo scarto quadratico medio dopo 5 iterazioni è risultato essere basso, pari a 4.2%.



La sezione geoelettrica mostra un range di valori di resistività variabile da circa 100 Ohm*m a più di 3.000 Ohm*m, raggiungendo picchi anche superiori ai 5.000 Ohm* m in corrispondenza di alcuni nuclei localizzati nella parte destra a circa 2.0 m di profondità ed associabile a materiale calcareo molto fratturato con presenza di cavità naturali (carsismo). Sono visibile ampie zone conduttive a diversa profondità caratterizzate da valori di restività bassi (resistività minore di 100 Ohm*m) associabile a materiale sabbioso-argilloso residuale.

La forma pseudo circolare delle anomalie indica la probabile presenza di cavità sotterranee ora completamente vuote in corrispondenza dei nuclei resitivi ora probabilmente riempite di terra rossa in corrispondenza dei nuclei conduttivi.

8.2 Prospezioni sismiche a rifrazione onda P e onda S

Per l'esecuzione della sismica di superficie, è stata utilizzata una strumentazione che comprende:

- un *Sismografo* multicanale della M.A.E. A6000-S 24 bit, strumento compatto e versatile progettato e realizzato appositamente per eseguire indagini di prospezione sismica convenzionali (rifrazione, riflessione) e non convenzionali (Re.Mi., S.A.S.W., M.A.S.W.).



Tali indagini risultano particolarmente adatte in aree fortemente antropizzate (aree urbane e industriali) con notevole presenza di rumore di fondo (noise).

La gestione dell'apparecchiatura è notevolmente semplificata dall'interfaccia grafica e dall'interazione con essa tramite il sistema di puntamento touch-screen, che consente di eseguire tutte le operazioni toccando con un pennino gli oggetti interessati direttamente sullo schermo.

L'ambiente operativo dello strumento è quello di Microsoft Windows XP. Tutte le operazioni possono essere gestite in modo intuitivo toccando lo schermo con l'apposito stilo che sostituisce il mouse normalmente utilizzato sui PC desk.

- un *Sistema di Rilevazione del Segnale* (o *Apparato di Ricezione*) costituito da 24 *geofoni* con *time break* sincrono con la *sorgente di energia*. I *geofoni* sono di marca OYO, con *frequenza di oscillazione* di 8-14 Hz, per *onde P* e marca MARK PRODUCTS, con *frequenza di oscillazione* di 6-14 Hz, per *onde S*;
- una *sorgente di energia* tipo "*Hammer Blow*" da 8 Kg , dotato di un *trasduttore (trigger)* che, collegato al sismografo, fornisce l'*istante di energizzazione*. Per generare le onde sismiche, la *mazzola* percuote una *piastra metallica* a base quadrata, di dimensioni di circa 15 cm per lato, o un *parallelepipedo di legno* assicurato al terreno tramite alette metalliche, solidali con il parallelepipedo, infisse nel terreno. In particolare, per evidenziare le *onde di compressione (onde P)*, la *piastra* è posta orizzontalmente sul terreno e viene percossa lasciando cadere verticalmente la mazza; per generare *onde di taglio*, si percuotono orizzontalmente le facce del *parallelepipedo di legno*.

8.2.1 Metodologia adottata

La tecnica di esecuzione della sismica di rifrazione, consiste nel rilevare a distanze orizzontali variabili rispetto ad un punto di origine, gli arrivi di onde sismiche di compressione e di taglio (con appositi geofoni da 8-14 Hz per le onde P e 6-14 Hz per le onde S) generate da una sorgente di impulsi sismici, e rifratte da discontinuità geologico-strutturali.

La velocità di propagazione delle onde sismiche (V_p/V_s), costituisce il parametro discriminante per la determinazione della natura litologica del mezzo investigato.

Per ogni profilo si sono eseguiti n. 2 scoppi (A-B) agli estremi del rilievo, e n. 3 scoppi interni (D-C-E), che permettono in generale di tracciare il diagramma delle velocità complementari e di ottenere una sufficiente ricopertura di dati (informazioni sullo stesso rifrattore da energizzazioni diverse), ricavare giaciture dei livelli rifrattori, e ridurre infine il margine di errore in una investigazione di tipo indiretto.

Si sono ottenute dapprima le velocità dei rifrattori in corrispondenza di ciascun scoppio, tramite il metodo del tempo reciproco (reciprocal time).

Dopo aver determinato il tempo totale (total time), si sono definite profondità e velocità del/i rifrattore/i sotto ciascun geofono con il metodo GRM (Generalized Reciprocal Time-Palmer 1980).

8.2.2 Risultanze del rilievo sismico

Come riferito in premessa, nell'ambito dell'indagine effettuata sono stati eseguiti n°4 profili sismici in onda P ed S ubicati come nella planimetria con ubicazione delle indagini in allegato.

Di seguito si riportano i dati di ogni rilievo effettuato, con la definizione dell'andamento e profondità del rifrattore.

I valori di velocità di cui si parlerà in seguito, riportati peraltro nelle sezioni sismostratigrafiche, sono quelli medi valutati su ogni stendimento con il metodo GRM.

Nel prospetto riepilogativo dei dati sismici (Parametri Sismici dei Singoli Rilievi), comunque, sono riportati i valori di velocità e profondità del/i rifrattore/i sotto tutti i geofoni dello stendimento specifico.

Profilo SS1 onda P ed S

Il profilo in parola, è stato ubicato in direzione N-S ed ha avuto una lunghezza pari a 96 ml, per una profondità utile di investigazione pari a max 23 m circa .

Nell'ambito del rilievo, non sono state notate variazioni di quota significative tra i geofoni posti sullo stendimento; per tale motivo nell'interpretazione dei dati non è stata effettuata la correzione topografica della quota dei vari geofoni.



	Vel. P (m/sec)	Vel. S (m/sec)	Prof. (m da p.c.)
I° Sismostr.	430	203	3.05
II° Sismostr.	1.361	795	17.32
III° Sismostr.	2.298	1.429	max indagine

Parziali	Prof. Rifratt.1 da p.c. (m)	Prof. Rifratt.2 da p.c. (m)	Topografia Relativa (m slm)	Quota Rifratt.1 Relativa (m slm)	Quota Rifratt.1 Relativa (m slm)
0.00	2.60	18.80	60.00	57.40	41.20
4.00	2.40	19.10	59.96	57.56	40.86
8.00	2.90	17.40	59.91	57.01	42.51
12.00	3.40	15.90	59.87	56.47	43.97
16.00	3.30	16.50	59.83	56.53	43.33
20.00	3.70	16.10	59.78	56.08	43.68
24.00	3.50	16.90	59.74	56.24	42.84
28.00	3.40	17.90	59.70	56.30	41.80
32.00	3.30	18.00	59.65	56.35	41.65
36.00	3.50	17.70	59.61	56.11	41.91
40.00	3.50	17.80	59.57	56.07	41.77
44.00	3.70	17.50	59.52	55.82	42.02
48.00	3.60	18.30	59.48	55.88	41.18
52.00	3.60	16.20	59.43	55.83	43.23
56.00	3.40	16.30	59.39	55.99	43.09
60.00	3.00	17.50	59.35	56.35	41.85
64.00	3.00	17.20	59.30	56.30	42.10
68.00	3.00	16.90	59.26	56.26	42.36
72.00	3.00	16.30	59.22	56.22	42.92
76.00	2.80	16.40	59.17	56.37	42.77
80.00	2.70	16.20	59.13	56.43	42.93
84.00	2.40	17.00	59.09	56.69	42.09
88.00	1.70	19.00	59.04	57.34	40.04
92.00	1.80	18.80	59.00	57.20	40.20

MEDIA	MEDIA
3.05	17.32

L'analisi della sezione sismostratigrafica mostra la presenza di n° 3 sismostrati, divisi da rifrattori ad andamento a media regolarità, a testimonianza

della presenza nel sottosuolo investigato di corpi con discreto contrasto di velocità e geometrie abbastanza regolari.

I valori delle velocità lette nel primo sismostrato ($V_p = 430$ m/s – $V_s=203$ m/s), appartengono ad un ammasso “prevalentemente terroso” correlabile a terreno di copertura alluvionale, areato, a bassa consistenza, poco eterogeneo lateralmente, in media presente sino a 3.00 m da p.c..

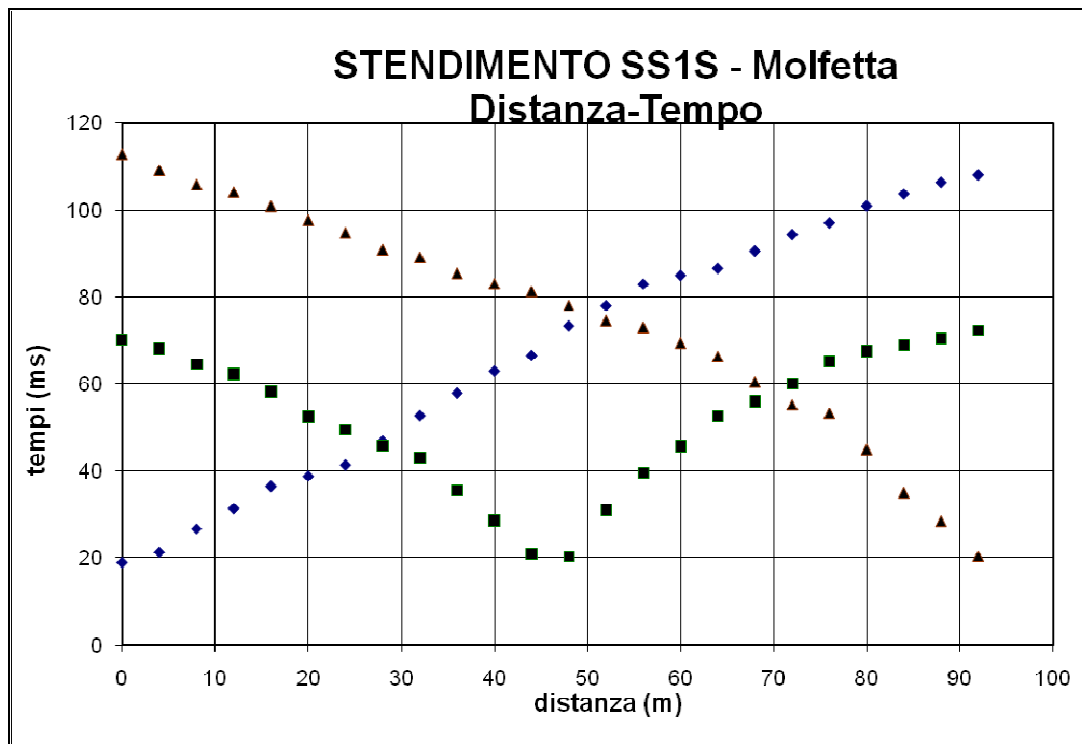
Il secondo sismostrato, presente sino alla profondità di 17.30 m dal p.c., possiede velocità pari a $V_p = 1361$ m/s e $V_s=795$ m/s, ed è attribuibile ad un ammasso “roccioso” correlabile ad un orizzonte calcareo fratturato e alterato, poco eterogeneo lateralmente.

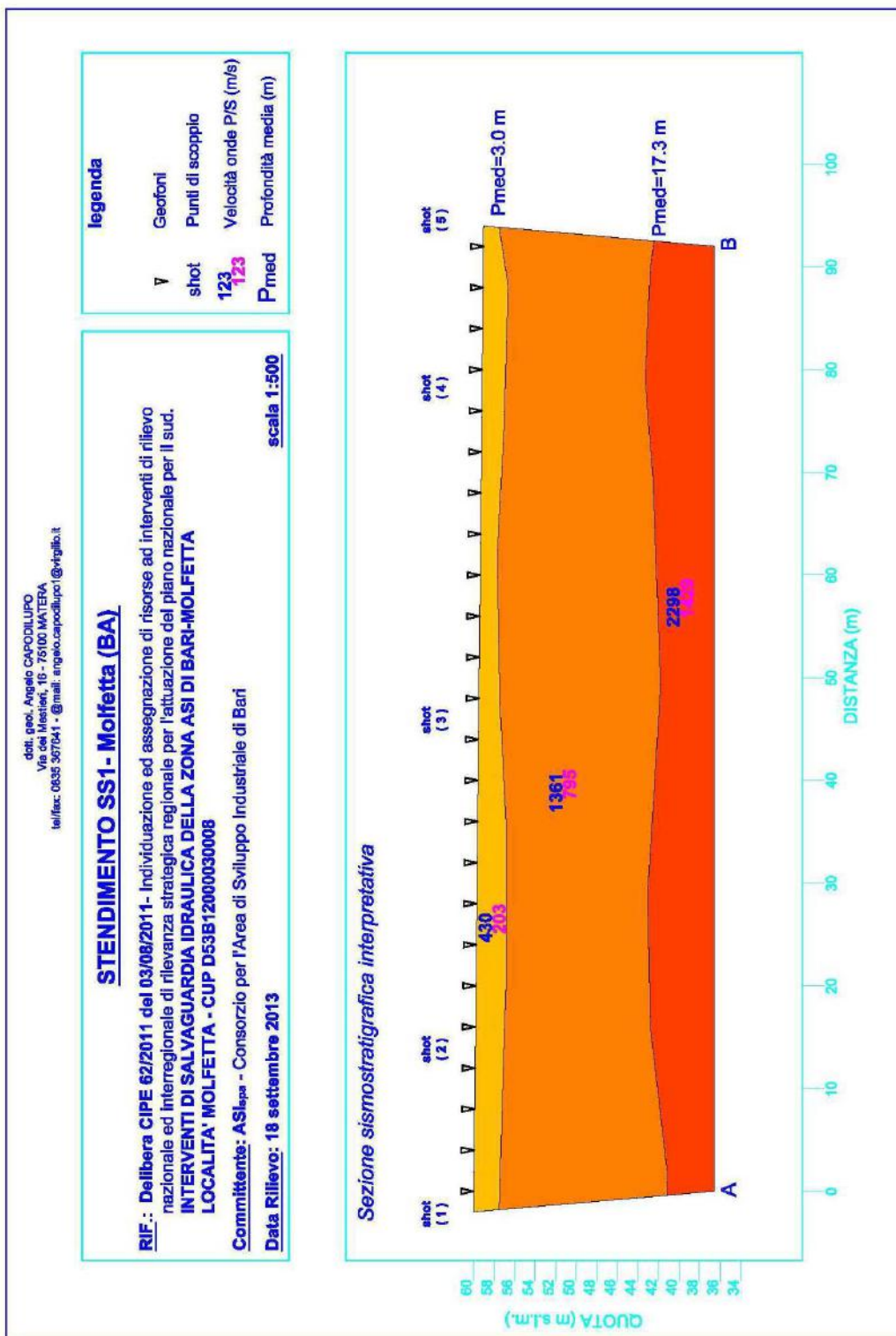
Il terzo sismostrato, presente sino alla profondità massima di indagine, possiede velocità pari a $V_p = 2298$ m/s e $V_s= 1429$ m/s, ed è attribuibile ad un ammasso “roccioso” correlabile ad un orizzonte calcareo mediamente compatto e fratturato, eterogeneo lateralmente.

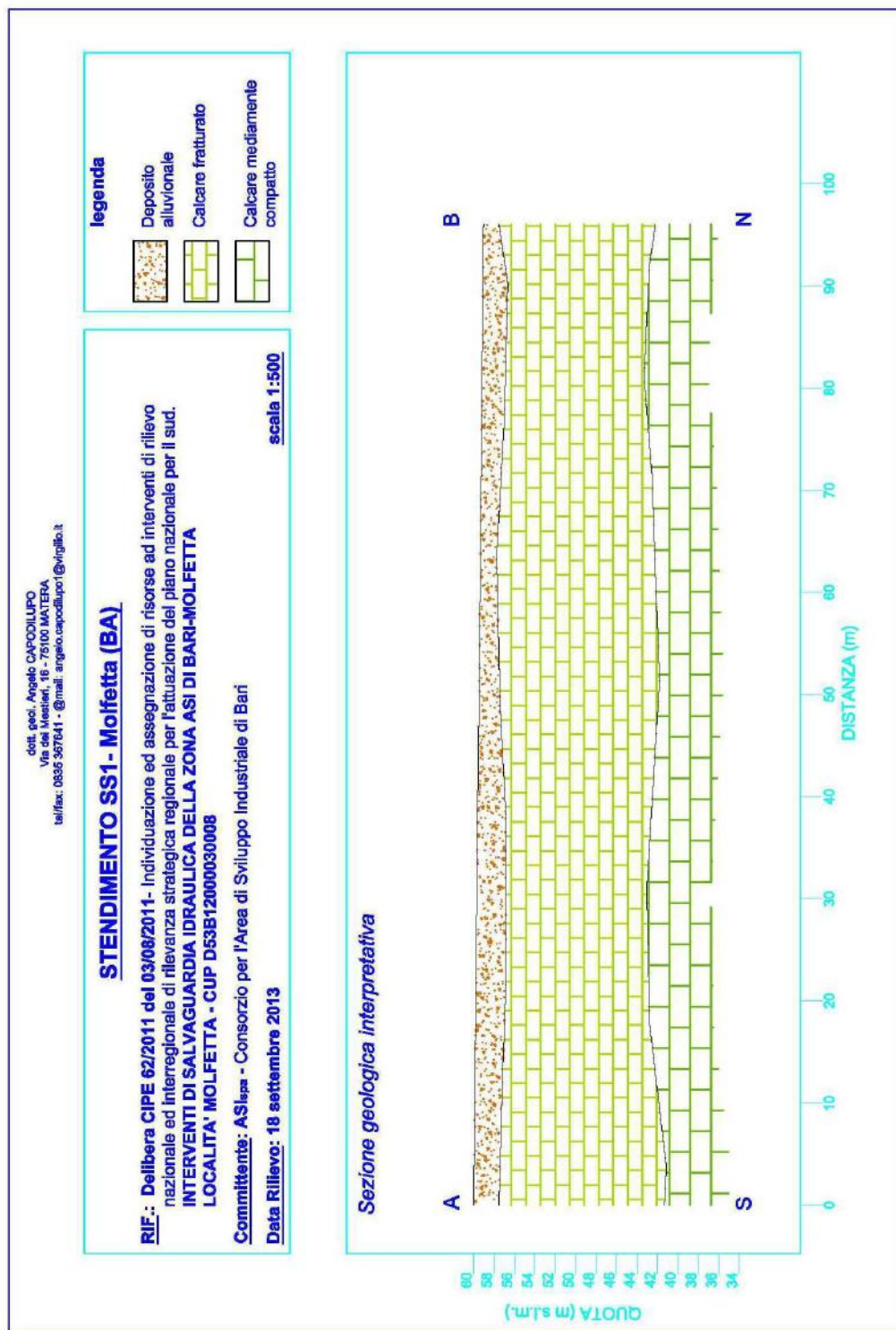
Di seguito si riportano i parametri di configurazione dello stendimento e il tempo di primo arrivo individuato su ciascun ricevitore per ciascun punto di scoppio:

N shot			1	2	3
Distanza relativa (m)			-2	46	94
Quota relativa (m)			60	59.5	59
Geofono	Distanza relativa (m)	Quota relativa (m)	Tempi del primo arrivo per ciascuno shot (ms)		
			1	2	3
1	0	60	18.93	70.26	112.74
2	4	59.96	21.33	68.1	109.05
3	8	59.91	26.67	64.58	105.8
4	12	59.87	31.33	62.29	104.07
5	16	59.83	36.4	58.23	100.81
6	20	59.78	38.8	52.42	97.56
7	24	59.74	41.33	49.45	94.74
8	28	59.7	46.8	45.8	90.84
9	32	59.65	52.67	43.1	89.11
10	36	59.61	57.87	35.53	85.42
11	40	59.57	62.93	28.64	83.04
12	44	59.52	66.53	20.94	81.3
13	48	59.48	73.33	20.3	78.05
14	52	59.43	78	31.01	74.58
15	56	59.39	82.93	39.63	73.06
16	60	59.35	84.93	45.75	69.38
17	64	59.3	86.53	52.56	66.34
18	68	59.26	90.55	56.04	60.49
19	72	59.22	94.36	60.07	55.28
20	76	59.17	96.97	65.22	53.33
21	80	59.13	100.95	67.58	45.09
22	84	59.09	103.65	68.97	35.12
23	88	59.04	106.35	70.5	28.62
24	92	59	108.01	72.31	20.52

Nel grafico distanza tempo sono riportati i tempi del primo arrivo da cui si individuano le dromocrone e tramite linearizzazione si individuano i principali rifrattori al di sotto di ciascun shot:







Profilo SS2 onda P ed S

Il profilo in parola, è stato ubicato in direzione SW-NE ed ha avuto una lunghezza pari a 96 ml, per una profondità utile di investigazione pari a max 26 m circa .

Nell'ambito del rilievo, non sono state notate variazioni di quota significative tra i geofoni posti sullo stendimento; per tale motivo nell'interpretazione dei dati non è stata effettuata la correzione topografica della quota dei vari geofoni.



	Vel. P (m/sec)	Vel. S (m/sec)	Prof. (m da p.c.)
I° Sismostr.	639	243	2.45
II° Sismostr.	1.779	959	13.30
III° Sismostr.	2.938	1.636	max indagine

Parziali	Prof. Rifratt.1 da p.c.	Prof. Rifratt.2 da p.c.	Topografia Relativa	Quota Rifratt.1 Relativa	Quota Rifratt.1 Relativa
(m)	(m)	(m)	(m slm)	(m slm)	(m slm)
0.00	2.90	11.60	46.00	43.10	34.40
4.00	2.50	12.40	45.96	43.46	33.56
8.00	2.50	12.50	45.91	43.41	33.41
12.00	2.30	13.40	45.87	43.57	32.47
16.00	2.20	13.70	45.83	43.63	32.13
20.00	2.10	14.30	45.78	43.68	31.48
24.00	2.10	14.10	45.74	43.64	31.64
28.00	1.60	15.70	45.70	44.10	30.00
32.00	1.90	15.00	45.65	43.75	30.65
36.00	1.90	14.50	45.61	43.71	31.11
40.00	2.10	15.40	45.57	43.47	30.17
44.00	2.20	14.70	45.52	43.32	30.82
48.00	2.50	13.90	45.48	42.98	31.58
52.00	2.30	13.60	45.43	43.13	31.83
56.00	2.20	14.40	45.39	43.19	30.99
60.00	2.50	13.90	45.35	42.85	31.45
64.00	2.70	12.80	45.30	42.60	32.50
68.00	3.30	10.70	45.26	41.96	34.56
72.00	3.40	10.70	45.22	41.82	34.52
76.00	3.20	11.30	45.17	41.97	33.87
80.00	2.70	12.40	45.13	42.43	32.73
84.00	2.30	13.20	45.09	42.79	31.89
88.00	2.70	12.40	45.04	42.34	32.64
92.00	2.60	12.70	45.00	42.40	32.30

MEDIA	MEDIA
2.45	13.30

L'analisi della sezione sismostratigrafica mostra la presenza di n° 3 sismostrati, divisi da rifrattori ad andamento a media regolarità, a testimonianza della presenza nel sottosuolo investigato di corpi con discreto contrasto di velocità e geometrie abbastanza regolari.

I valori delle velocità lette nel primo sismostrato ($V_p = 639$ m/s – $V_s=243$ m/s), appartengono ad un ammasso “prevalentemente terroso” correlabile a terreno di copertura alluvionale, areato, a bassa consistenza, abbastanza eterogeneo lateralmente, in media presente sino a 2.50 m da p.c..

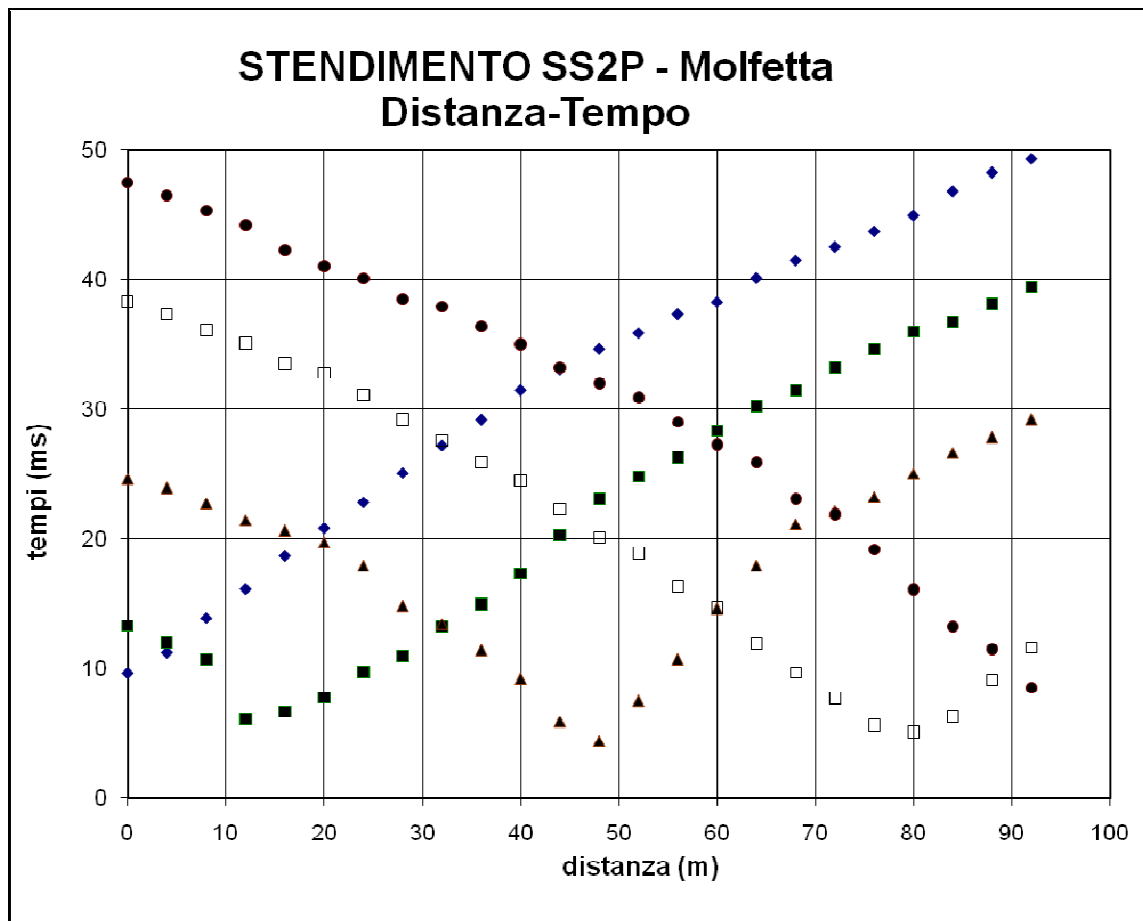
Il secondo sismostrato, presente sino alla profondità di 13.30 m dal p.c., possiede velocità pari a $V_p = 1779$ m/s e $V_s=959$ m/s, ed è attribuibile ad un ammasso “roccioso” correlabile ad un orizzonte calcareo fratturato e alterato, eterogeneo lateralmente.

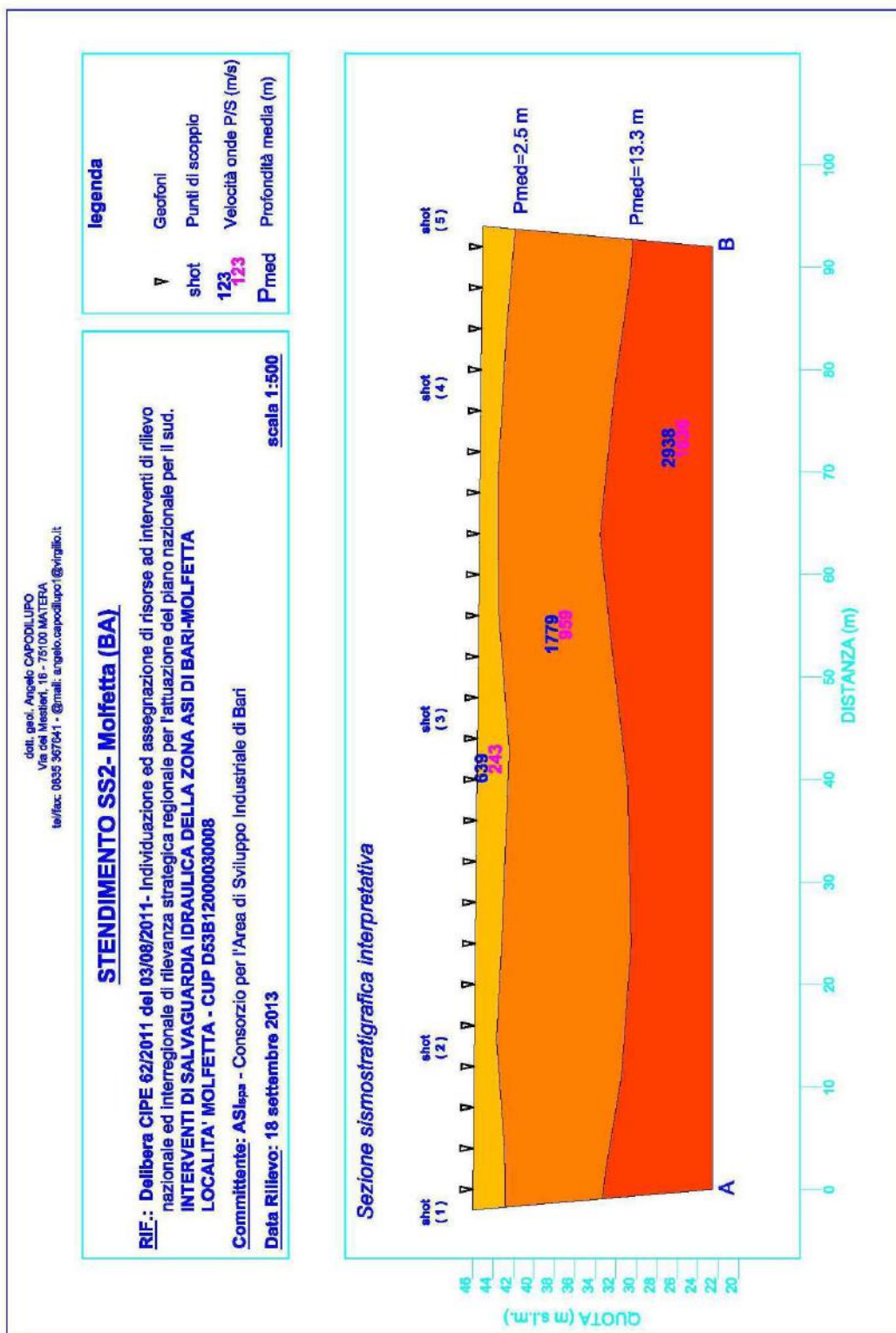
Il terzo sismostrato, presente sino alla profondità massima di indagine, possiede velocità pari a $V_p = 2938$ m/s e $V_s= 1636$ m/s, ed è attribuibile ad un ammasso “roccioso” correlabile ad un orizzonte calcareo mediamente compatto e fratturato, eterogeneo lateralmente.

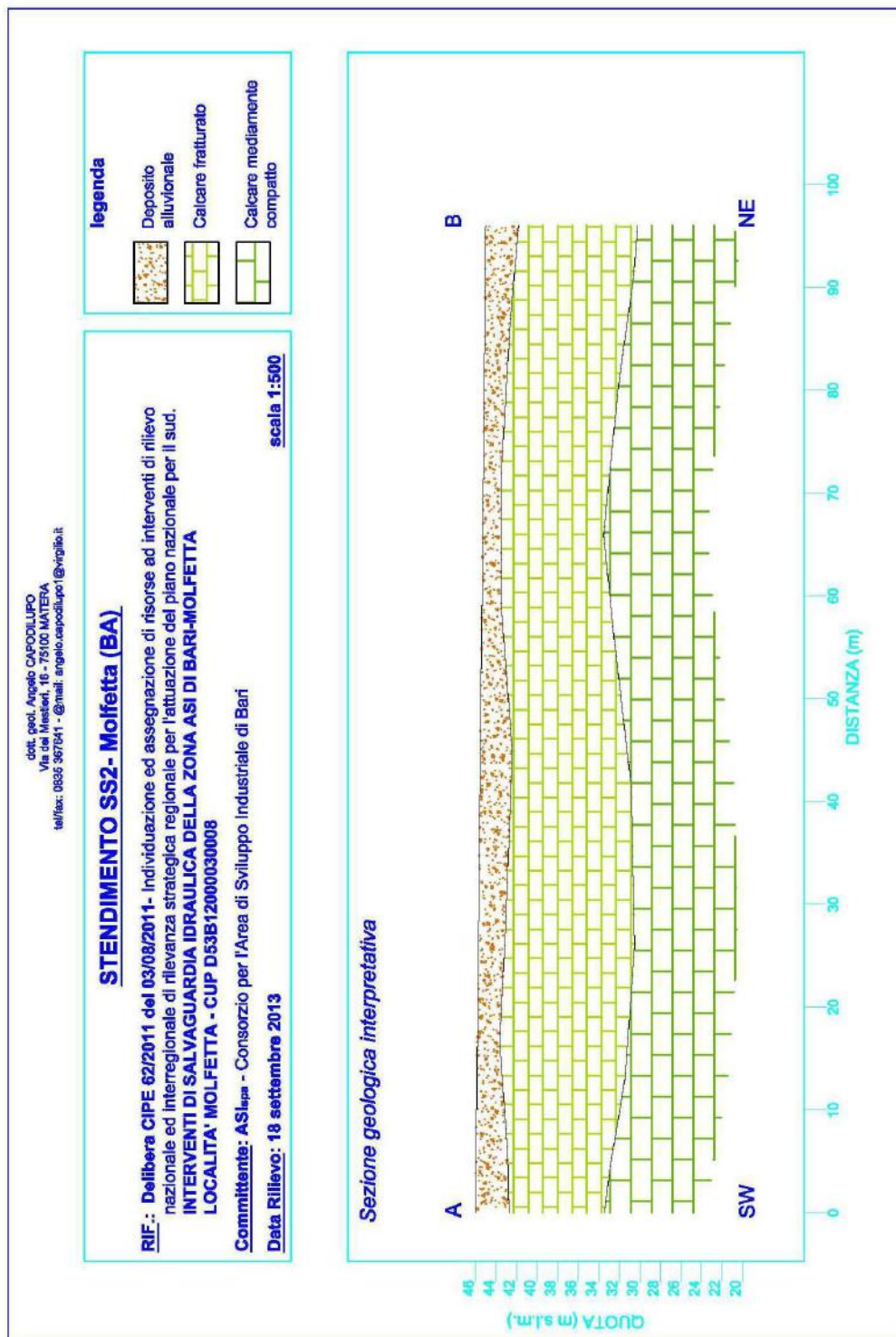
Di seguito si riportano i parametri di configurazione dello stendimento e il tempo di primo arrivo individuato su ciascun ricevitore per ciascun punto di scoppio:

N shot			1	2	3	4	5
Distanza relativa (m)			-2	14	46	78	94
Quota relativa (m)			46	45.85	45.5	45.15	45
Geofono	Distanza relativa (m)	Quota relativa (m)	Tempi del primo arrivo per ciascuno shot (ms)				
			1	2	3	4	7
1	0	46	9.6	13.3	24.6	38.3	47.5
2	4	45.96	11.2	12	23.9	37.3	46.5
3	8	45.91	13.87	10.7	22.7	36.1	45.3
4	12	45.87	16.13	6.1	21.4	35.1	44.2
5	16	45.83	18.67	6.67	20.6	33.5	42.3
6	20	45.78	20.8	7.73	19.7	32.8	41
7	24	45.74	22.8	9.73	17.9	31.1	40.1
8	28	45.7	25.07	10.93	14.8	29.2	38.5
9	32	45.65	27.2	13.2	13.4	27.6	37.9
10	36	45.61	29.2	14.93	11.4	25.9	36.4
11	40	45.57	31.47	17.33	9.2	24.5	35
12	44	45.52	33.07	20.27	5.9	22.3	33.2
13	48	45.48	34.67	23.07	4.4	20.1	32
14	52	45.43	35.87	24.8	7.5	18.9	30.9
15	56	45.39	37.33	26.27	10.7	16.3	29
16	60	45.35	38.27	28.34	14.6	14.7	27.3
17	64	45.3	40.13	30.23	17.9	11.9	25.9
18	68	45.26	41.47	31.44	21.1	9.7	23.1
19	72	45.22	42.53	33.19	22.1	7.7	21.9
20	76	45.17	43.73	34.63	23.2	5.6	19.2
21	80	45.13	44.93	35.99	25	5.1	16.1
22	84	45.09	46.8	36.75	26.6	6.3	13.2
23	88	45.04	48.27	38.11	27.8	9.1	11.5
24	92	45	49.33	39.4	29.2	11.6	8.5

Nel grafico distanza tempo sono riportati i tempi del primo arrivo da cui si individuano le dromocrone e tramite linearizzazione si individuano i principali rifrattori al di sotto di ciascun shot:







Profilo SS3 onda P ed S

Il profilo in parola, è stato ubicato in direzione ENE-WSW ed ha avuto una lunghezza pari a 96 ml, per una profondità utile di investigazione pari a max 22 m circa .

Nell'ambito del rilievo, non sono state notate variazioni di quota significative tra i geofoni posti sullo stendimento; per tale motivo nell'interpretazione dei dati non è stata effettuata la correzione topografica della quota dei vari geofoni.



	Vel. P (m/sec)	Vel. S (m/sec)	Prof. (m da p.c.)
I° Sismostr.	819	243	3.31
II° Sismostr.	1.616	1.046	14.61
III° Sismostr.	2.754	1.658	max indagine

Parziali	Prof. Riffratt.1 da p.c. (m)	Prof. Riffratt.2 da p.c. (m)	Topografia Relativa (m slm)	Quota Riffratt.1 Relativa (m slm)	Quota Riffratt.1 Relativa (m slm)
0.00	0.20	20.50	78.00	77.80	57.50
4.00	1.10	19.10	77.91	76.81	58.81
8.00	2.10	17.60	77.82	75.72	60.22
12.00	3.00	16.30	77.73	74.73	61.43
16.00	4.00	14.30	77.64	73.64	63.34
20.00	4.90	13.10	77.55	72.65	64.45
24.00	4.80	13.00	77.45	72.65	64.45
28.00	4.30	13.50	77.36	73.06	63.86
32.00	4.40	13.30	77.27	72.87	63.97
36.00	3.20	15.30	77.18	73.98	61.88
40.00	4.20	13.90	77.09	72.89	63.19
44.00	3.60	14.10	77.00	73.40	62.90
48.00	3.70	13.70	77.00	73.30	63.30
52.00	3.90	13.30	77.09	73.19	63.79
56.00	3.80	13.30	77.18	73.38	63.88
60.00	3.70	14.60	77.27	73.57	62.67
64.00	3.10	15.10	77.36	74.26	62.26
68.00	1.90	16.60	77.45	75.55	60.85
72.00	2.60	15.30	77.55	74.95	62.25
76.00	2.70	14.70	77.64	74.94	62.94
80.00	3.50	13.30	77.73	74.23	64.43
84.00	4.30	11.40	77.82	73.52	66.42
88.00	3.10	12.90	77.91	74.81	65.01
92.00	3.40	12.40	78.00	74.60	65.60

MEDIA	MEDIA
3.31	14.61

L'analisi della sezione sismostratigrafica mostra la presenza di n° 3 sismostrati, divisi da rifrattori ad andamento a media regolarità, a testimonianza

della presenza nel sottosuolo investigato di corpi con discreto contrasto di velocità e geometrie abbastanza regolari.

I valori delle velocità lette nel primo sismostrato ($V_p = 819$ m/s – $V_s=243$ m/s), appartengono ad un ammasso “prevalentemente terroso” correlabile a terreno di copertura alluvionale, areato, a bassa consistenza, abbastanza eterogeneo lateralmente, in media presente sino a 3.30 m da p.c..

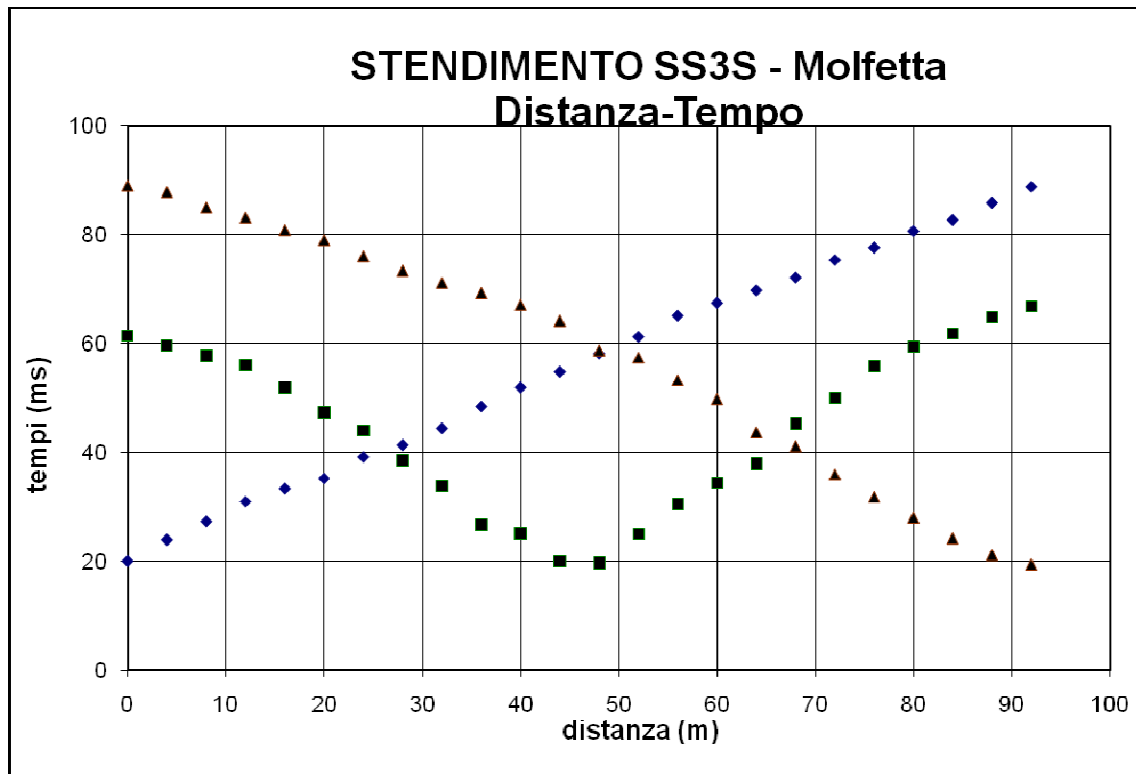
Il secondo sismostrato, presente sino alla profondità di 14.40 m dal p.c., possiede velocità pari a $V_p = 1616$ m/s e $V_s=1046$ m/s, ed è attribuibile ad un ammasso “roccioso” correlabile ad un orizzonte calcareo fratturato e alterato, eterogeneo lateralmente.

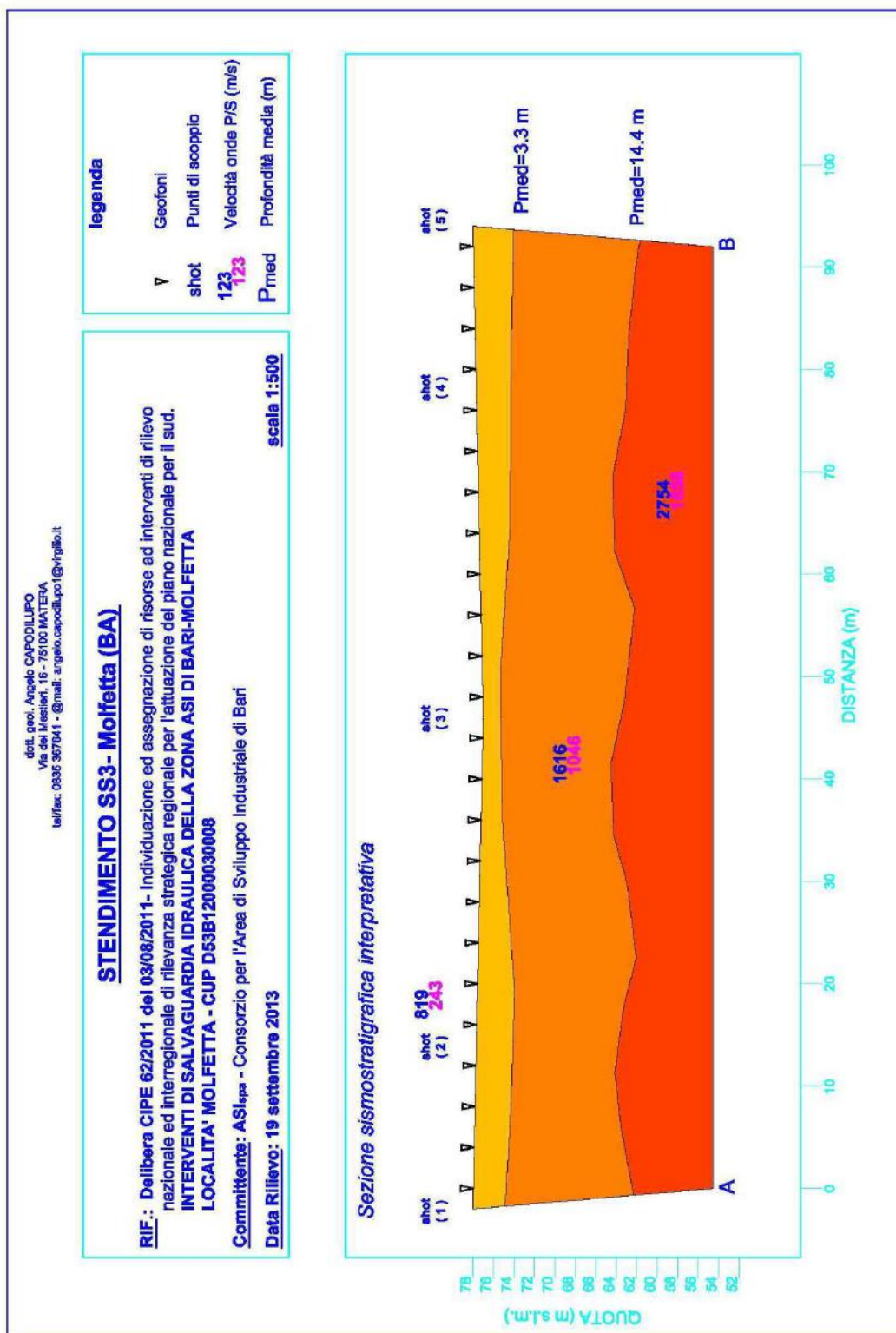
Il terzo sismostrato, presente sino alla profondità massima di indagine, possiede velocità pari a $V_p = 2754$ m/s e $V_s= 1658$ m/s, ed è attribuibile ad un ammasso “roccioso” correlabile ad un orizzonte calcareo mediamente compatto e fratturato, poco eterogeneo lateralmente.

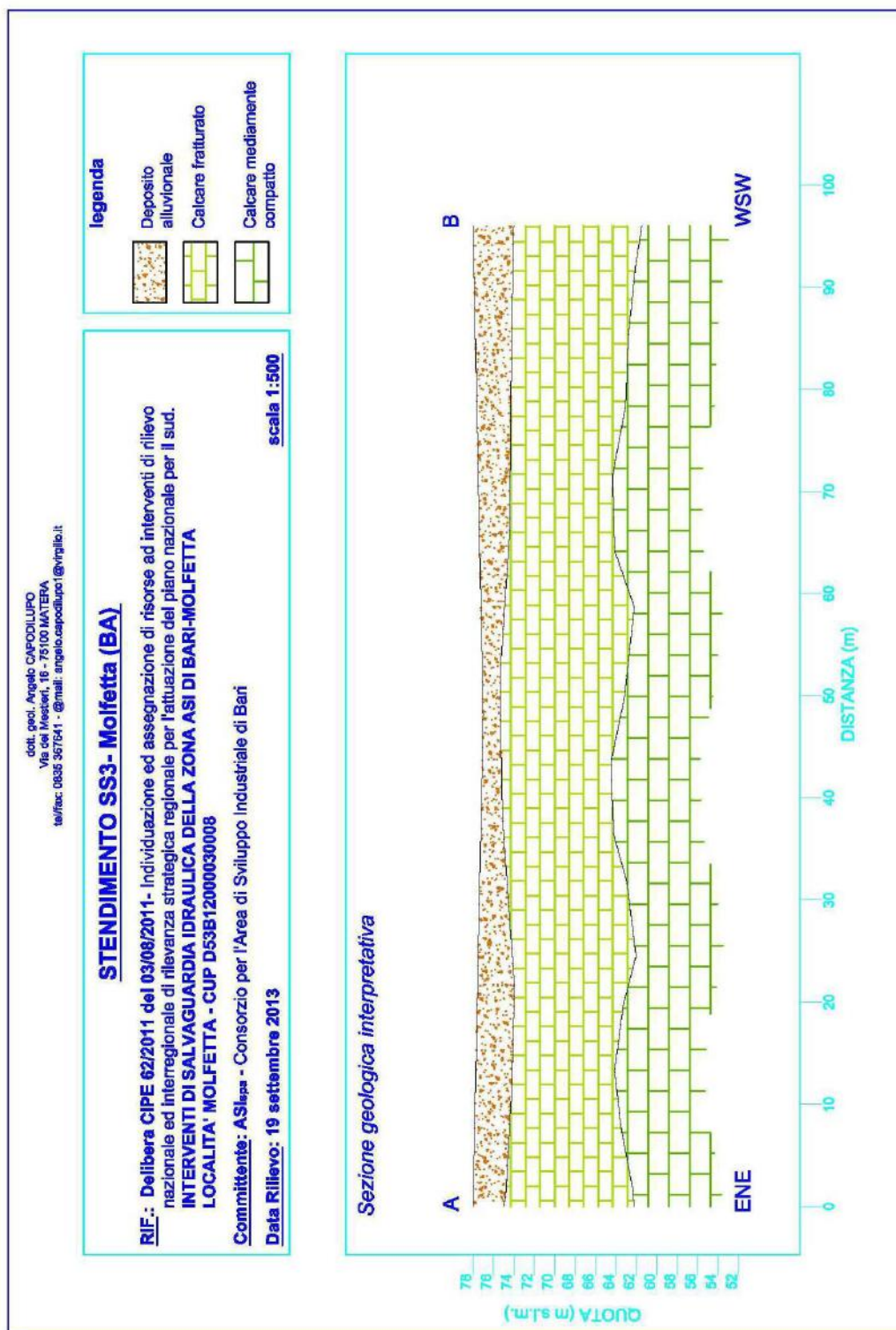
Di seguito si riportano i parametri di configurazione dello stendimento e il tempo di primo arrivo individuato su ciascun ricevitore per ciascun punto di scoppio:

N shot			1	2	3
Distanza relativa (m)			-2	14	46
Quota relativa (m)			78	77	78
Geofono	Distanza relativa (m)	Quota relativa (m)	Tempi del primo arrivo per ciascuno shot (ms)		
			1	2	3
1	0	78	19.98	61.47	89.07
2	4	77.91	23.91	59.6	87.87
3	8	77.82	27.32	57.73	85.07
4	12	77.73	30.91	56	83.2
5	16	77.64	33.3	51.87	80.93
6	20	77.55	35.18	47.33	79.07
7	24	77.45	39.11	44	76.13
8	28	77.36	41.33	38.53	73.47
9	32	77.27	44.4	33.73	71.2
10	36	77.18	48.4	26.67	69.33
11	40	77.09	51.87	25.06	67.2
12	44	77	54.8	19.98	64.27
13	48	77	58.13	19.65	58.8
14	52	77.09	61.2	24.92	57.47
15	56	77.18	65.07	30.45	53.33
16	60	77.27	67.47	34.43	49.87
17	64	77.36	69.73	37.87	43.73
18	68	77.45	72.13	45.33	41.2
19	72	77.55	75.33	50	36
20	76	77.64	77.6	55.87	31.87
21	80	77.73	80.67	59.47	28.13
22	84	77.82	82.67	61.87	24.27
23	88	77.91	85.87	64.8	21.2
24	92	78	88.8	66.8	19.47

Nel grafico distanza tempo sono riportati i tempi del primo arrivo da cui si individuano le dromocrone e tramite linearizzazione si individuano i principali rifrattori al di sotto di ciascun shot:







Profilo SS4 onda P ed S

Il profilo in parola, è stato ubicato in direzione NE-SW ed ha avuto una lunghezza pari a 96 ml, per una profondità utile di investigazione pari a max 22 m circa .

Nell'ambito del rilievo, non sono state notate variazioni di quota significative tra i geofoni posti sullo stendimento; per tale motivo nell'interpretazione dei dati non è stata effettuata la correzione topografica della quota dei vari geofoni.



	Vel. P (m/sec)	Vel. S (m/sec)	Prof. (m da p.c.)
I° Sismostr.	498	215	2.00
II° Sismostr.	1.724	1.059	9.49
III° Sismostr.	2.646	1.585	max indagine

Parziali (m)	Prof. Rifratt.1 da p.c. (m)	Prof. Rifratt.2 da p.c. (m)	Topografia Relativa (m slm)	Quota Rifratt.1 Relativa (m slm)	Quota Rifratt.1 Relativa (m slm)
0.00	2.30	9.80	75.00	72.70	65.20
4.00	2.40	9.30	75.09	72.69	65.79
8.00	1.70	11.30	75.17	73.47	63.87
12.00	1.90	10.30	75.26	73.36	64.96
16.00	1.90	10.80	75.35	73.45	64.55
20.00	2.20	10.30	75.43	73.23	65.13
24.00	1.90	10.50	75.52	73.62	65.02
28.00	2.20	10.60	75.61	73.41	65.01
32.00	2.00	11.50	75.70	73.70	64.20
36.00	1.80	10.40	75.78	73.98	65.38
40.00	2.00	10.30	75.87	73.87	65.57
44.00	2.10	11.50	75.96	73.86	64.46
48.00	1.80	11.70	76.04	74.24	64.34
52.00	1.60	11.50	76.13	74.53	64.63
56.00	1.70	10.60	76.22	74.52	65.62
60.00	1.80	10.00	76.30	74.50	66.30
64.00	1.90	9.00	76.39	74.49	67.39
68.00	2.00	7.60	76.48	74.48	68.88
72.00	2.10	6.80	76.57	74.47	69.77
76.00	2.20	6.30	76.65	74.45	70.35
80.00	2.30	6.60	76.74	74.44	70.14
84.00	1.90	7.60	76.83	74.93	69.23
88.00	2.10	7.00	76.91	74.81	69.91
92.00	2.20	6.50	77.00	74.80	70.50

MEDIA	MEDIA
2.00	9.49

L'analisi della sezione sismostratigrafica mostra la presenza di n° 3 sismostrati, divisi da rifrattori ad andamento a media regolarità, a testimonianza della presenza nel sottosuolo investigato di corpi con discreto contrasto di velocità e geometrie abbastanza regolari.

I valori delle velocità lette nel primo sismostrato ($V_p = 498$ m/s – $V_s = 215$ m/s), appartengono ad un ammasso “prevalentemente terroso” correlabile a terreno di copertura alluvionale, areato, a bassa consistenza, abbastanza eterogeneo lateralmente, in media presente sino a 2.00 m da p.c..

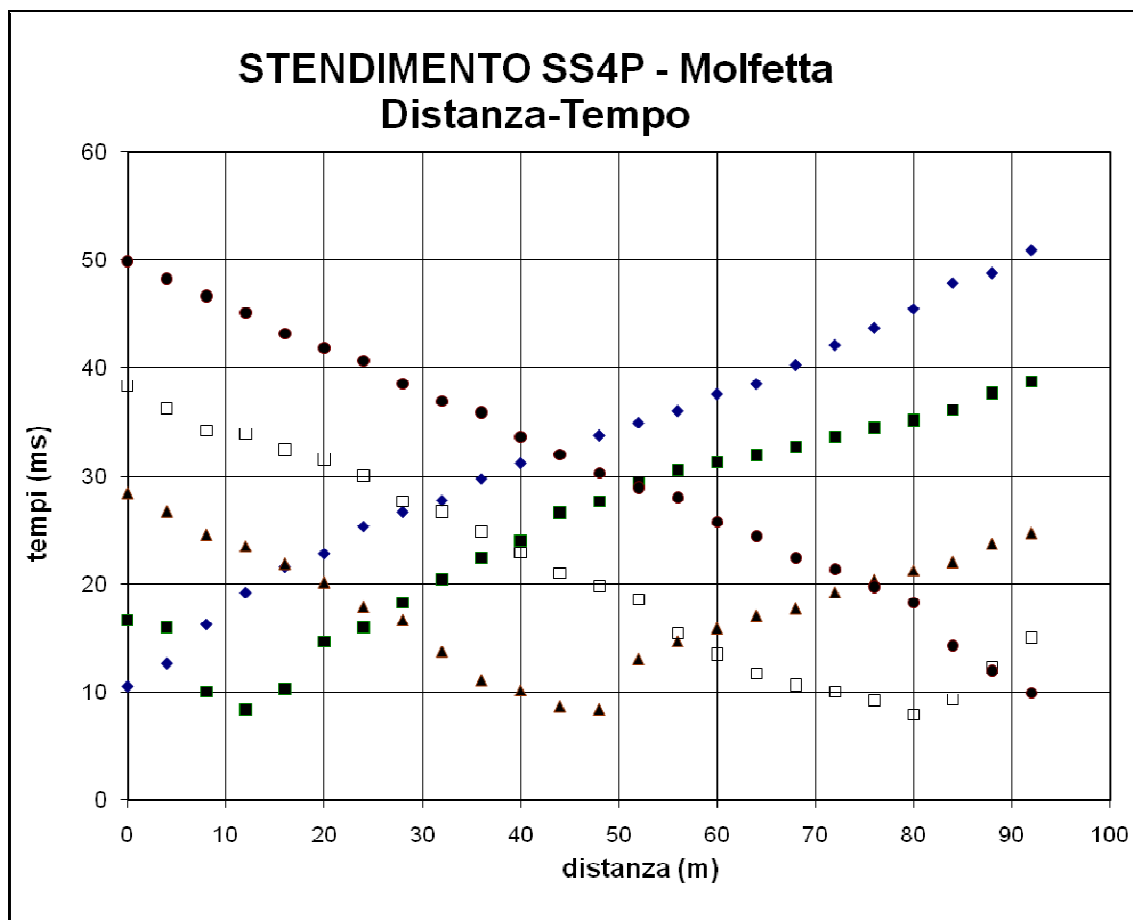
Il secondo sismostrato, presente sino alla profondità di 9.50 m dal p.c., possiede velocità pari a $V_p = 1724$ m/s e $V_s = 1059$ m/s, ed è attribuibile ad un ammasso “roccioso” correlabile ad un orizzonte calcareo fratturato e alterato, poco eterogeneo lateralmente.

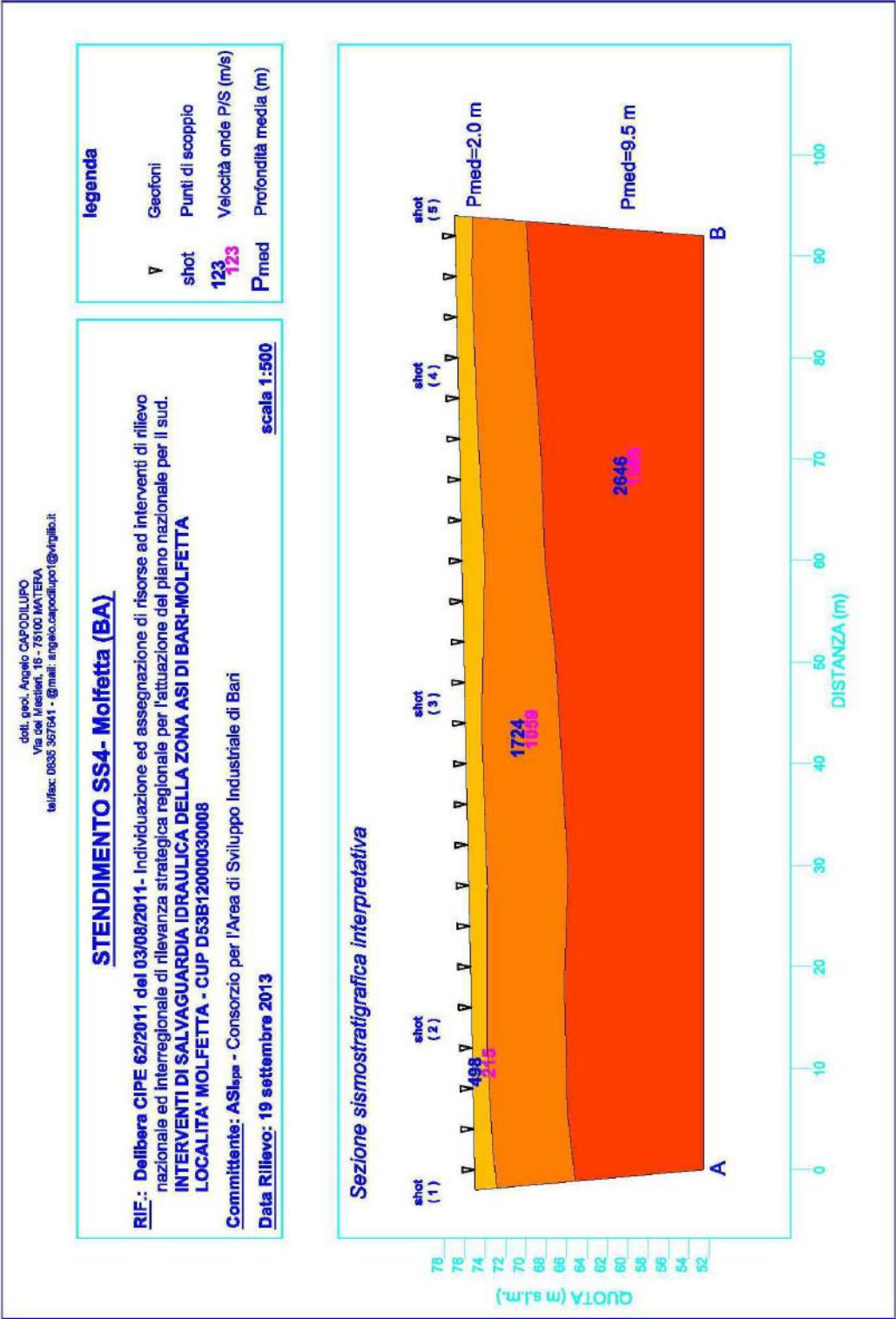
Il terzo sismostrato, presente sino alla profondità massima di indagine, possiede velocità pari a $V_p = 2646$ m/s e $V_s = 1585$ m/s, ed è attribuibile ad un ammasso “roccioso” correlabile ad un orizzonte calcareo mediamente compatto e fratturato, eterogeneo lateralmente.

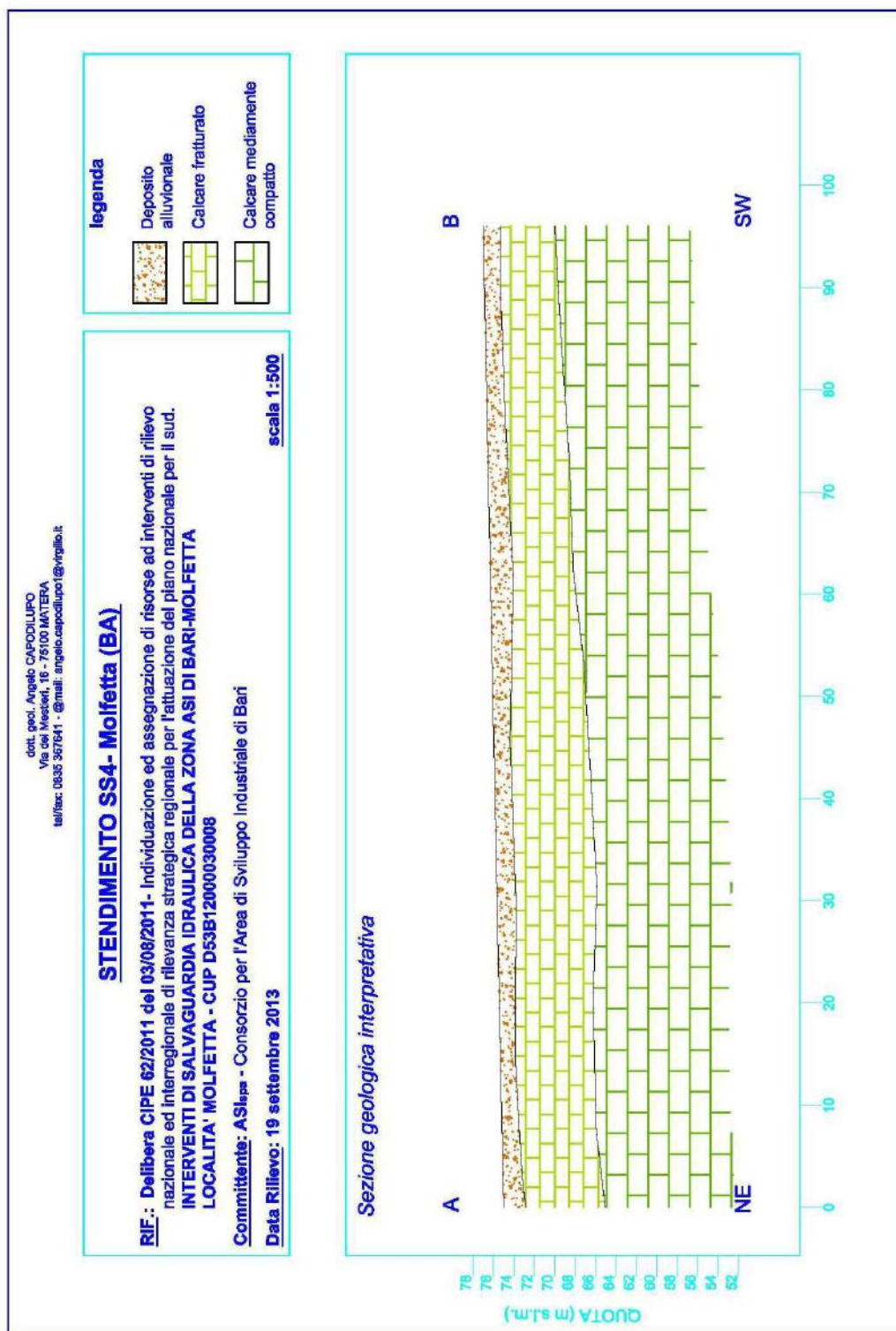
Di seguito si riportano i parametri di configurazione dello stendimento e il tempo di primo arrivo individuato su ciascun ricevitore per ciascun punto di scoppio:

N shot			1	2	3	4	5
Distanza relativa (m)			-2	14	46	78	94
Quota relativa (m)			75	75.3	76	76.7	77
Geofono	Distanza relativa (m)	Quota relativa (m)	Tempi del primo arrivo per ciascuno shot (ms)				
			1	2	3	4	7
1	0	75	10.53	16.67	28.4	38.33	49.87
2	4	75.09	12.67	16	26.67	36.27	48.27
3	8	75.17	16.27	10	24.53	34.21	46.67
4	12	75.26	19.2	8.4	23.47	33.91	45.07
5	16	75.35	21.6	10.27	21.87	32.44	43.2
6	20	75.43	22.8	14.67	20.13	31.55	41.87
7	24	75.52	25.33	16	17.87	30	40.67
8	28	75.61	26.67	18.27	16.67	27.64	38.53
9	32	75.7	27.73	20.4	13.73	26.69	36.93
10	36	75.78	29.73	22.4	11.07	24.84	35.87
11	40	75.87	31.2	24	10.13	22.93	33.6
12	44	75.96	32	26.61	8.67	21.01	32
13	48	76.04	33.73	27.67	8.4	19.76	30.27
14	52	76.13	34.93	29.37	13.05	18.58	28.93
15	56	76.22	36	30.57	14.67	15.48	28
16	60	76.3	37.6	31.28	15.87	13.47	25.73
17	64	76.39	38.53	31.92	17.07	11.73	24.4
18	68	76.48	40.27	32.7	17.73	10.67	22.4
19	72	76.57	42.13	33.62	19.22	10	21.33
20	76	76.65	43.73	34.46	20.31	9.2	19.73
21	80	76.74	45.47	35.17	21.22	7.87	18.27
22	84	76.83	47.87	36.09	22.02	9.33	14.29
23	88	76.91	48.8	37.67	23.68	12.27	11.99
24	92	77	50.93	38.71	24.68	15.07	9.88

Nel grafico distanza tempo sono riportati i tempi del primo arrivo da cui si individuano le dromocrone e tramite linearizzazione si individuano i principali rifrattori al di sotto di ciascun shot:







8.3 Prospezioni sismiche in foro e determinazione della VS30

La recente Normativa sismica nazionale (OPCM 3274 del 2003 e successive modifiche ed integrazioni, DM 14/09/2005 "Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n. 29 del 04/02/2008) impone la classificazione sismica del sottosuolo in base al parametro VS30 per la progettazione in zona sismica. Tale parametro, che rappresenta la velocità equivalente delle onde di taglio nei primi 30 metri di sottosuolo, può essere calcolato facilmente una volta noti gli spessori degli strati presenti nei primi 30 metri di profondità e la velocità di propagazione delle onde S all'interno di ogni strato.

Nel metodo sismico down hole (DH) viene misurato il tempo necessario per le onde P e S di spostarsi tra una sorgente sismica, posta in superficie, e i ricevitori, posti all'interno di un foro di sondaggio (figura 7, 8).

Le componenti indispensabili per una misura DH accurata consistono:

- - una sorgente meccanica in grado di generare onde elastiche ricche di energia e direzionali;
- - uno o più geofoni tridimensionali, con appropriata risposta in frequenza (4,5-14 Hz), direzionali e dotati di un sistema pneumatico di ancoraggio alle pareti del tubo-foro;

- - un sismografo multi-canale, in grado di registrare le forme d'onda in modo digitale e di registrarle su memoria di massa;
- - un trasduttore (*trigger*) alloggiato nella sorgente necessario per l'identificazione dell'istante di partenza della sollecitazione dinamica mediante massa battente.

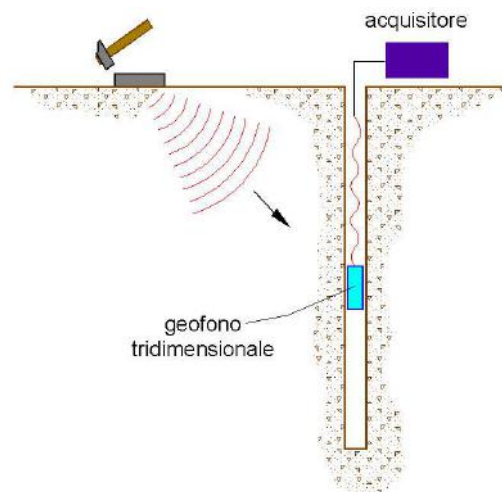


Figura 7 – Schema down hole ad un solo ricevitore

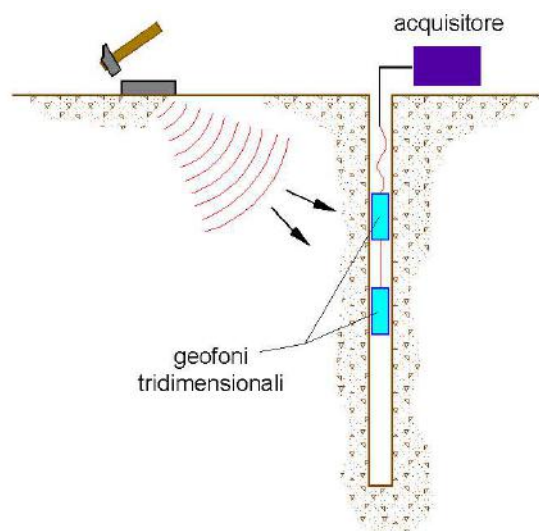


Figura 8 – Schema down hole a due ricevitori

Durante la perforazione, per ridurre l'effetto di disturbo nel terreno, i fori vengono sostenuti mediante fanghi bentonici e il loro diametro viene mantenuto piuttosto piccolo (mediamente \varnothing circa 15 cm).

I fori vengono poi rivestiti mediante tubazioni, generalmente in PVC, e riempiti con una malta a ritiro controllato, generalmente composta di acqua, cemento e bentonite rispettivamente in proporzione di 100, 30 e 5 parti in peso.

Prima di tutto, è importante assicurarsi che il foro sia libero da strozzature e che il tubo di rivestimento non presenti lesioni.

8.3.1 Procedura sperimentale

La sorgente consiste in una piastra di alluminio che, dopo avere opportunamente predisposto il piano di appoggio, viene adagiata in superficie ad una distanza di 1.5 – 2.5 m dal foro e orientata in direzione ortogonale ad un raggio uscente dall'asse foro. Alla sorgente è agganciato il trasduttore di velocità utilizzato come *trigger*.

Se si dispone di due ricevitori, questi vengono collegati in modo da impedirne la rotazione relativa e da fissarne la distanza. Il primo dei due ricevitori viene raccordato ad una batteria di aste che ne permette l'orientamento dalla superficie e lo spostamento.

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

A questo punto i ricevitori vengono assicurati alle pareti del tubo di rivestimento, la sorgente viene colpita in senso verticale (per generare onde di compressione P) o lateralmente (per generare onde di taglio SH) e, contemporaneamente, parte la registrazione del segnale di *trigger* e dei ricevitori.

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

8.3.2 Interpretazione down hole con il metodo diretto

Per poter interpretare il down hole con il metodo diretto, inizialmente, bisogna correggere i tempi di tragitto (t) misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore per tenere conto dell'inclinazione del percorso delle onde. Se d è la distanza della sorgente dall'asse del foro (figura 9), r la distanza fra la sorgente e la tripletta di sensori, z la profondità di misura è possibile ottenere i tempi corretti (t_{corr}) mediante la seguente formula di conversione:

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

Calcolati i tempi corretti sia per le onde P che per le onde S si realizza il grafico $t_{\text{corr}} - z$ in modo che la velocità media delle onde sismiche in strati omogenei di terreno è rappresentata dall'inclinazione dei segmenti di retta lungo i quali si allineano i dati sperimentali (figura 10).

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

a) coefficiente di Poisson medio:

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

b) modulo di deformazione a taglio medio:

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

c) modulo di compressibilità edometrica medio:

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

d) modulo di Young medio:

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

e) modulo di compressibilità volumetrica medio:

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

8.3.3 Interpretazione down hole con il metodo intervallo

Con il metodo intervallo i tempi di tragitto dell'onda sismica si misurano fra due ricevitori consecutivi (figura 11) posti a differente profondità, consentendo così di migliorare la qualità delle misure (*velocità d'intervallo*).

Quando si dispone di un solo ricevitore, cioè nell'ipotesi in cui le coppie non corrispondano ad un unico impulso, i valori di velocità determinati vengono definiti di *pseudo-intervallo*, consentendo solo un'apparente migliore definizione del profilo di velocità.

Ottenute le misure è possibile calcolare i tempi corretti con la 1.0) e la velocità intervallo delle onde P e S, con relativo grafico (figura 12), con la formula seguente:

$$7.0) V_{p,s} = \frac{z_2 - z_1}{t_{2\text{corr}} - t_{1\text{corr}}}$$

Ottenute le velocità intervallo si calcolano la densità, il coefficiente di Poisson, il modulo di deformazione a taglio, il modulo di compressibilità edometrica, il modulo di Young, il modulo di compressibilità volumetrica per ogni intervallo con le formule riportate sopra.

Il metodo intervallo presenta però dei limiti:

- non tiene conto della velocità degli strati sovrastanti;
- non è applicabile nel caso in cui $t_{2\text{corr}} < t_{1\text{corr}}$.

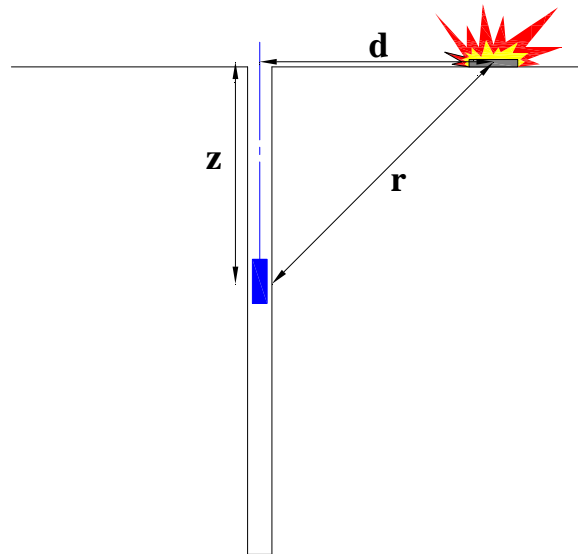


Figura 9 – Schema di down hole con metodo diretto

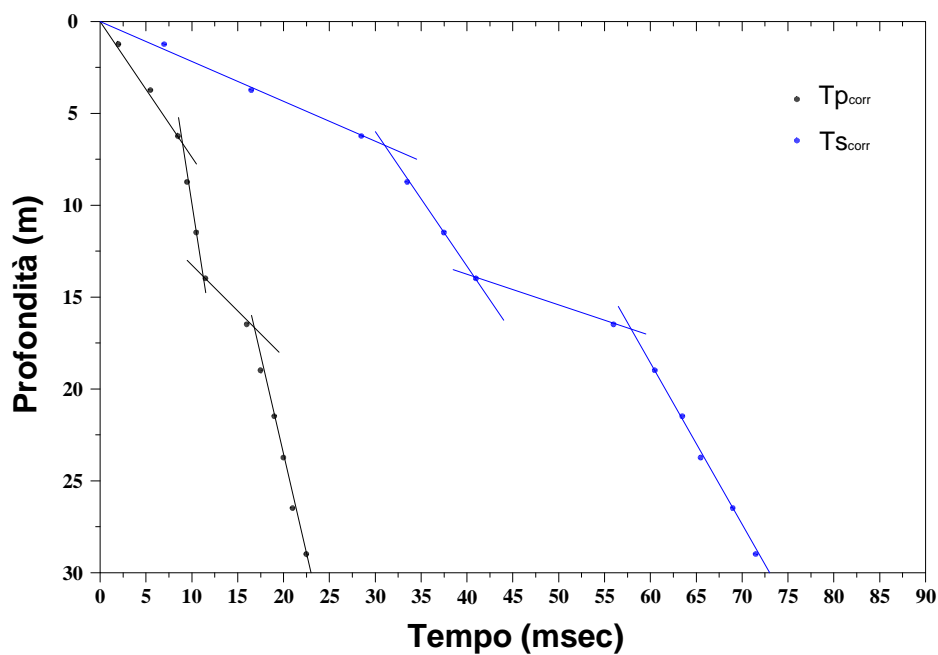


Figura 10 – Dromocrone

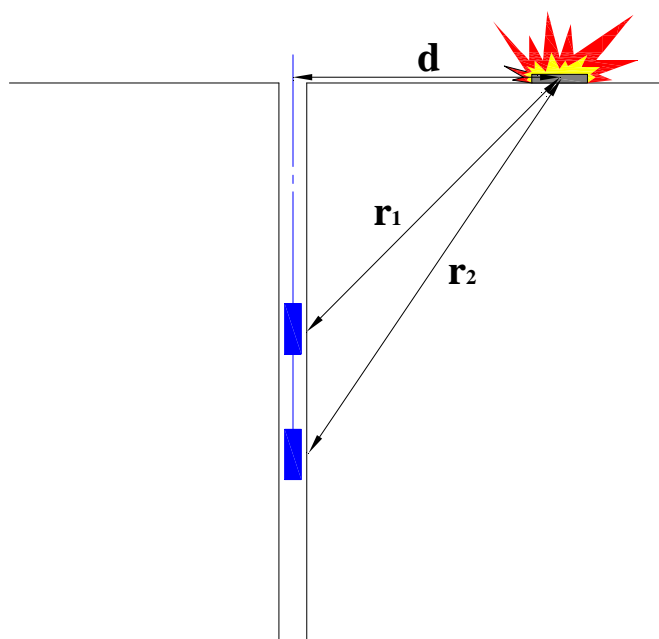


Figura 11 – Schema di down hole con metodo intervallo

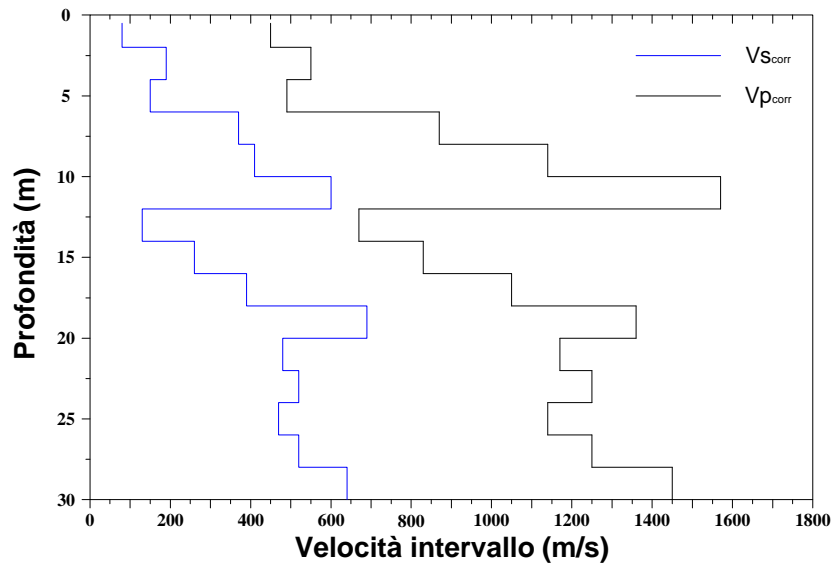


Figura 12 – Profilo delle velocità sismiche con metodo intervallo

Ambedue le procedure d'interpretazione sopra descritte sono comunque suscettibili di una critica fondamentale, cioè si basano sull'ipotesi che i percorsi delle onde siano rettilinei e coincidenti con quelli che collegano la sorgente ai ricevitori. Di solito ciò non è esatto, dato che, prima di giungere ai ricevitori, le onde subiscono fenomeni di rifrazione che ne modificano il percorso.

L'interpretazione dei rilievi in foro con il metodo diretto ha consentito di determinare il valore della velocità VS_{30} è, quindi, classificare i terreni indagati in una delle possibili categorie di sottosuolo riportate in tabella.

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).</i>

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

DOWN-HOLE D-H 1 (SONDAGGIO S.14)



Postazione Down-Hole D-H 1

INTERPRETAZIONE DELLE MISURE

Dati iniziali

Offset scoppio (m)	Numero di ricezioni	Posizione primo geofono (m)	Interdistanza (m)
3	15	2	

Dati misure down hole

Registrazione Nr.	Z (m)	Tp (msec)	Ts (msec)
1	2.00	18.9	48.2
2	4.00	20.3	48.2
3	6.00	21.1	49.2
4	8.00	23.2	52.3
5	10.00	24.1	55
6	12.00	25.2	57.7
7	14.00	26.6	61.1
8	16.00	27.8	62.40
9	18.00	28.5	63.5
10	20.00	29	64.8
11	22.00	30.2	66.5
12	24.00	31	68.6
13	26.00	32.4	70.3
14	28.00	33	73
15	30.00	34.2	74.50

Risultati

SR (m)	Tpcorr (msec)	Tscorr (msec)
3.6056	10.4838	26.7366
5.00	16.24	38.56
6.7082	18.8724	44.0058
8.544	21.7228	48.97
10.4403	23.0836	52.6805
12.3693	24.4476	55.9772
14.3178	26.0095	59.7437
16.2788	27.3239	61.3312
18.2483	28.1122	62.636
20.2238	28.6792	64.0831
22.2036	29.9231	65.8902
24.1868	30.7606	68.0703
26.1725	32.1865	69.8367
28.1603	32.8122	72.5846
30.1496	34.0303	74.1303

Vp (m/s)	Vs (m/s)	g (kN/mc)	ni	G (MPa)	Ed (MPa)	E (MPa)	Ev (MPa)
190.77	74.80	16.46	0.4092	9.39	61.08	26.46	48.56
347.45	169.16	18.26	0.3447	53.28	224.78	143.29	153.74
759.76	367.26	20.69	0.3475	284.57	1217.85	766.92	838.42
701.66	402.88	20.74	0.2541	343.27	1041.22	860.99	583.52
1469.72	539.01	21.52	0.4223	637.55	4740.14	1813.58	3890.07
1466.28	606.67	21.76	0.3967	816.66	4770.59	2281.26	3681.71
1280.49	531.00	21.23	0.3962	610.41	3549.62	1704.51	2735.75
1521.61	1259.84	24.32	--	3936.17	5741.82	7872.34	493.60
2537.11	1532.80	24.99	0.2126	5987.10	16403.04	14519.92	8420.23
3527.34	1382.08	24.64	0.4093	4799.39	31261.85	13527.56	24862.66
1607.85	1106.75	23.88	0.0498	2982.72	6295.13	6262.52	2318.17
2388.06	917.39	23.24	0.4134	1994.45	13514.68	5637.91	10855.42
1402.62	1132.24	23.96	--	3132.15	4806.69	6264.30	630.49
3196.43	727.83	21.80	0.4727	1177.59	22712.56	3468.47	21142.44
1641.90	1293.91	24.41	--	4167.31	6710.28	8334.62	1153.87

Metodo diretto

Profondità di riferimento	30 m
VS30	408.18 m/s

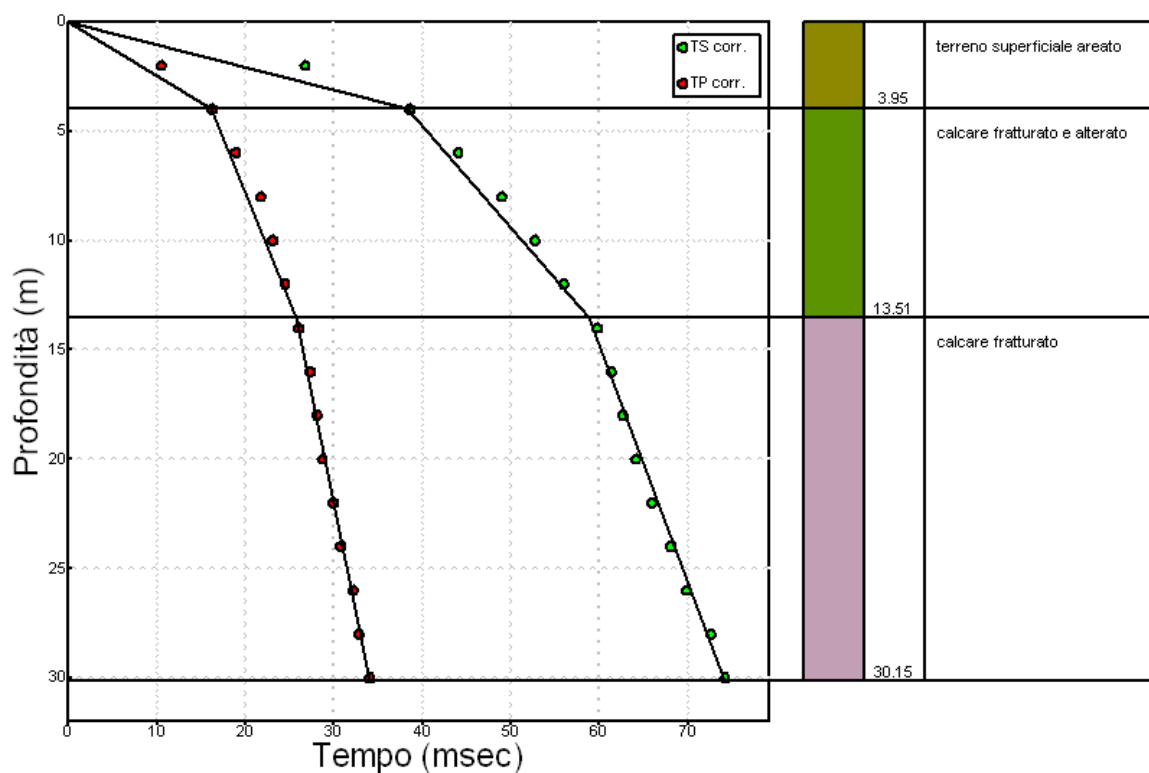
Sismostrati con metodo diretto

Descrizione (-)	Profondità (m)
terreno superficiale areato	3.95
calcare fratturato e alterato	13.51
calcare fratturato	30.00

Valori medi

Vp medio (m/s)	Vs medio (m/s)	g medio (kN/mc)	ni medio	G medio (MPa)	Ed medio (MPa)	E medio (MPa)	Ev medio (MPa)
245.34	103.24	16.03	0.39	17.42	98.39	48.52	75.16
1003.15	464.98	21	0.36	463.02	2155.04	1262.35	1537.69
1980.95	1123.57	23.93	0.26	3080.86	9576.86	7781.41	5469.05

Dromocrone



Metodo intervallo

Profondità di riferimento	30 m
VS30	466.38 m/s

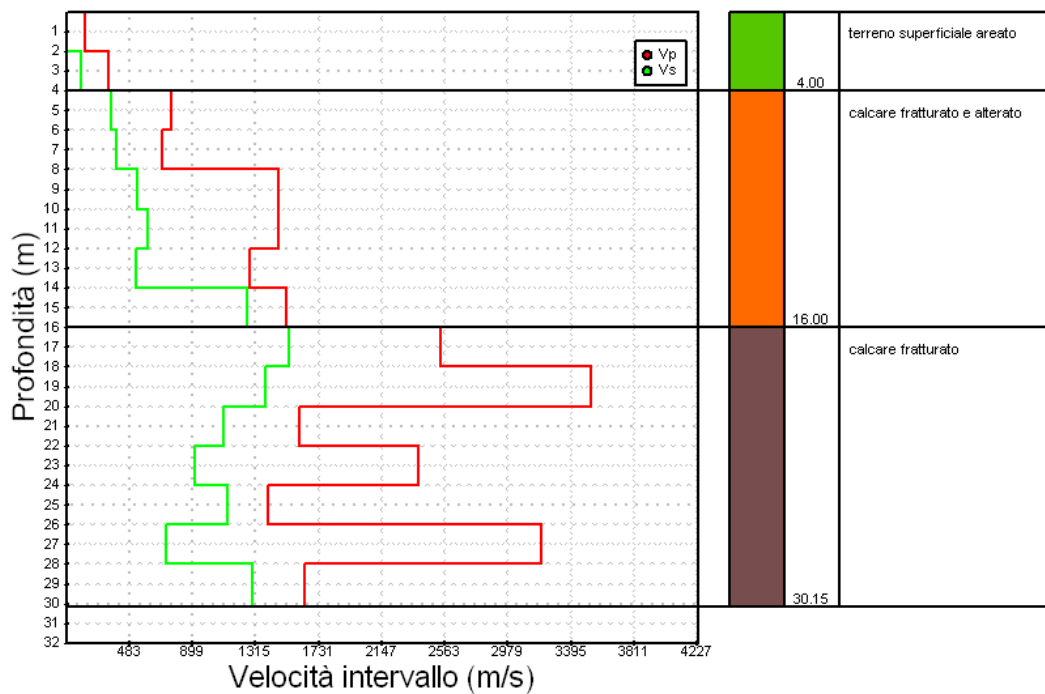
Sismostrati con metodo Intervallo

Descrizione (-)	Profondità (m)
terreno superficiale areato	4
calcare fratturato e alterato	16
calcare fratturato	30.00

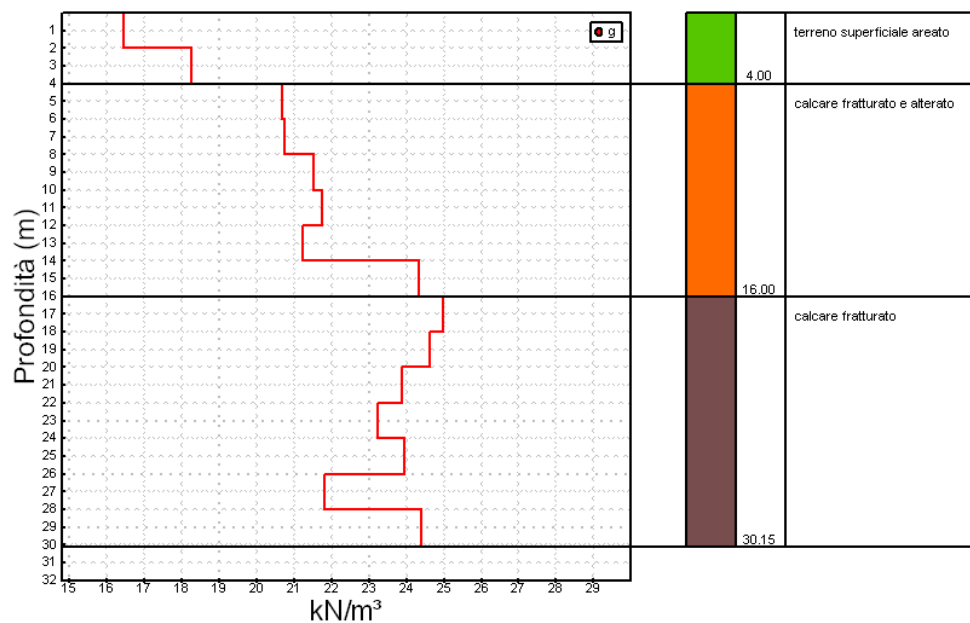
Valori medi

Vp medio (m/s)	Vs medio (m/s)	g medio (kN/mc)	ni medio	G medio (MPa)	Ed medio (MPa)	E medio (MPa)	Ev medio (MPa)
269.11	121.98	17.36	0.38	31.34	142.93	84.88	101.15
1199.92	617.78	21.71	0.36	1104.77	3510.21	2549.93	2037.18
2328.76	1156.14	23.85	0.31	3462.96	14529.18	8287.9	9911.9

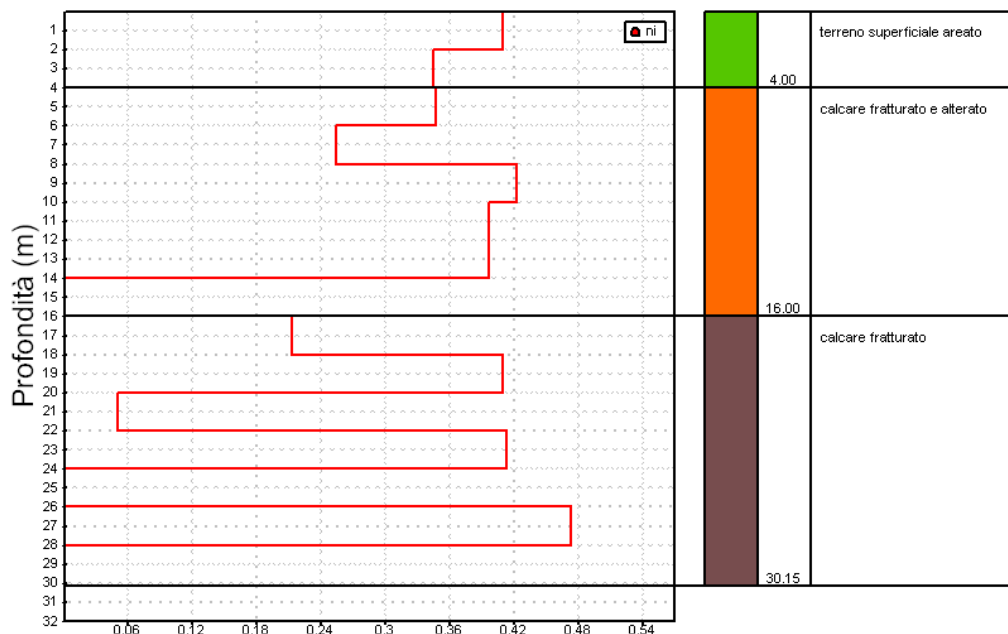
Profilo velocità di intervallo



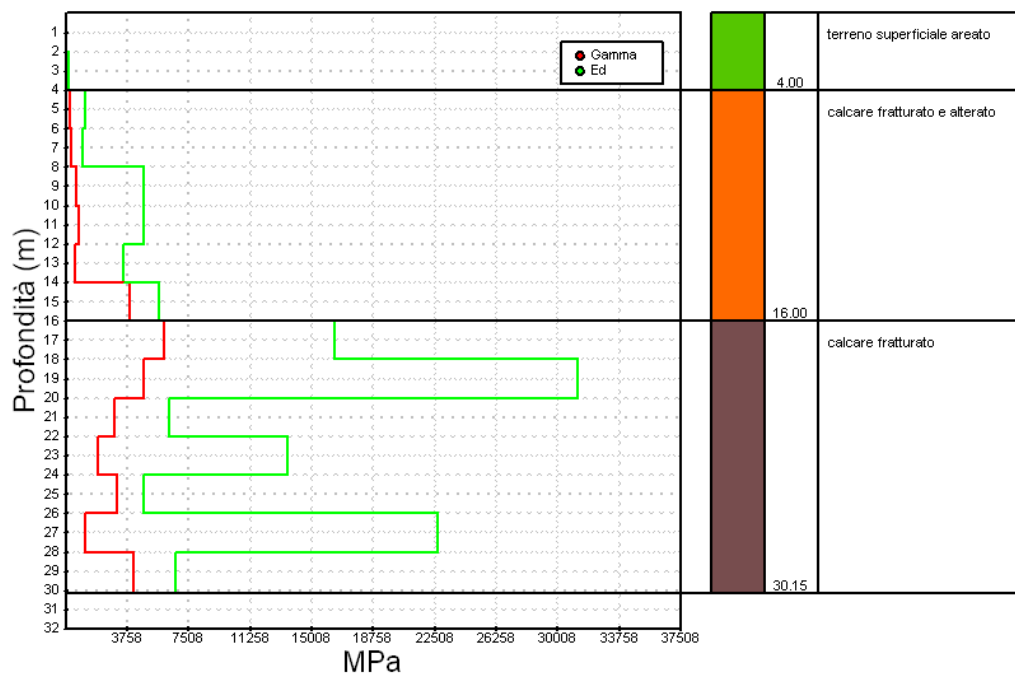
Profilo peso di volume di intervallo



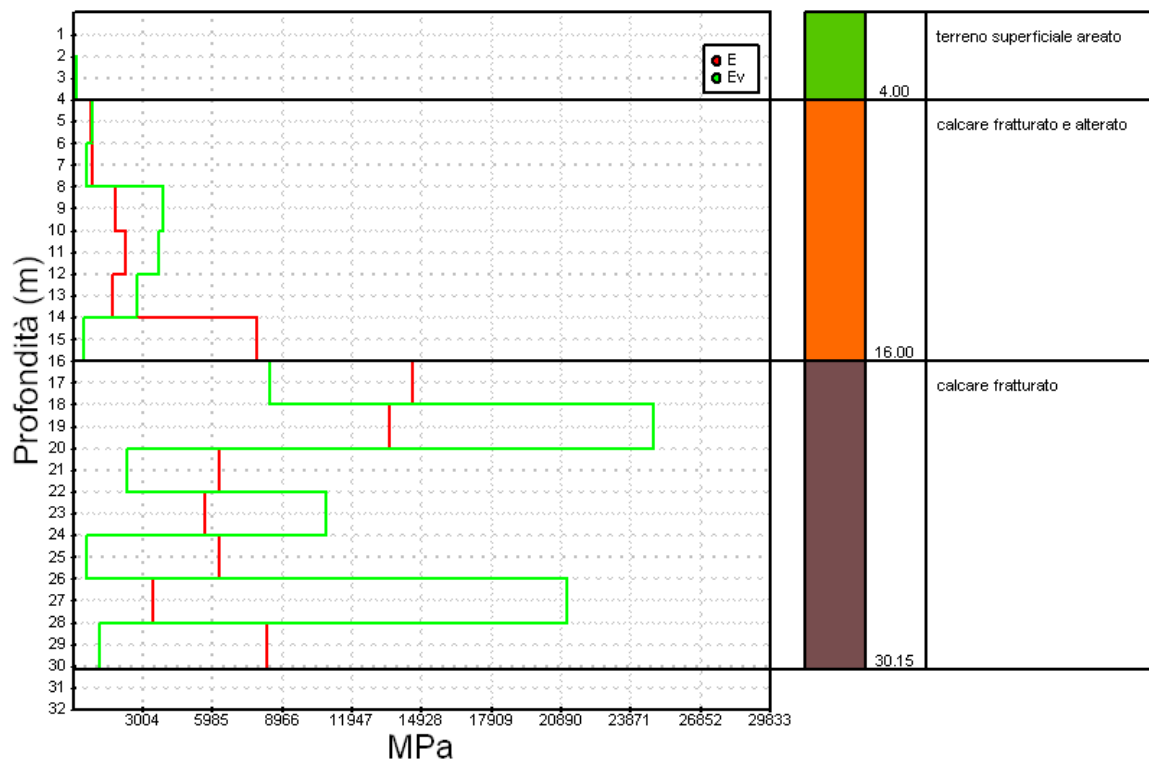
Profilo coefficiente di Poisson di intervallo



Profili modulo di deformazione a taglio e modulo di compressibilità edometrica



Profili modulo di Young e modulo di compressibilità volumetrica di intervallo



DOWN-HOLE D-H 2 (SONDAGGIO S.12)



Postazione Down-Hole D-H 2

INTERPRETAZIONE DELLE MISURE

Dati iniziali

Offset scoppio (m)	Numero di ricezioni	Posizione primo geofono (m)	Interdistanza (m)
3	15	2	2

Dati misure down hole

Registrazione Nr.	Z (m)	Tp (msec)	Ts (msec)
1	2.00	18.00	30.50
2	4.00	19.00	32.90
3	6.00	20.00	35.10
4	8.00	20.70	36.40
5	10.00	21.40	39.20
6	12.00	21.90	41.30
7	14.00	22.60	43.00
8	16.00	23.20	46.00
9	18.00	23.90	48.00
10	20.00	25.20	51.10
11	22.00	26.30	53.90
12	24.00	27.10	57.00
13	26.00	27.90	60.40
14	28.00	30.00	62.90
15	30.00	30.90	65.20

Risultati

SR (m)	Tpcorr (msec)	Tscorr (msec)
3.6056	9.9846	16.9184
5.00	15.20	26.32
6.7082	17.8885	31.3944
8.544	19.382	34.0824
10.4403	20.4975	37.5468
12.3693	21.2461	40.0669
14.3178	22.0983	42.0455
16.2788	22.8026	45.2121
18.2483	23.5748	47.3469
20.2238	24.9212	50.5347
22.2036	26.0588	53.4058
24.1868	26.8907	56.5598
26.1725	27.7161	60.0019
28.1603	29.8293	62.5421
30.1496	30.7467	64.8764

Vp (m/s)	Vs (m/s)	g (kN/mc)	ni	G (MPa)	Ed (MPa)	E (MPa)	Ev (MPa)
200.31	118.21	18.28	0.2328	26.05	74.79	64.23	40.06
383.48	212.73	19.17	0.2777	88.46	287.47	226.05	169.52
743.91	394.14	20.94	0.3049	331.71	1181.67	865.70	739.39
1339.14	744.05	22.59	0.2767	1275.26	4130.93	3256.25	2430.58
1792.92	577.30	21.73	0.4422	738.49	7122.97	2130.10	6138.32
2671.65	793.62	22.51	0.4516	1445.71	16383.77	4197.19	14456.17
2346.86	1010.81	23.57	0.3861	2455.72	13237.72	6807.75	9963.44
2839.70	631.59	21.69	0.474	882.29	17835.44	2600.99	16659.06
2590.00	936.86	23.31	0.4247	2086.27	15944.87	5944.62	13163.18
1485.44	627.39	21.54	0.3914	864.57	4846.58	2405.93	3693.82
1758.09	696.60	21.80	0.4069	1078.71	6870.97	3035.27	5432.70
2404.14	634.12	21.46	0.4626	879.94	12648.19	2574.00	11474.94
2423.06	581.04	21.13	0.4695	727.43	12650.48	2137.92	11680.58
946.43	787.34	22.03	--	1392.58	2012.20	2785.16	155.43
2180.07	856.79	23.01	0.4087	1722.44	11151.59	4852.80	8855.00

Metodo diretto

Profondità di riferimento	30 m
VS30	463.29 m/s

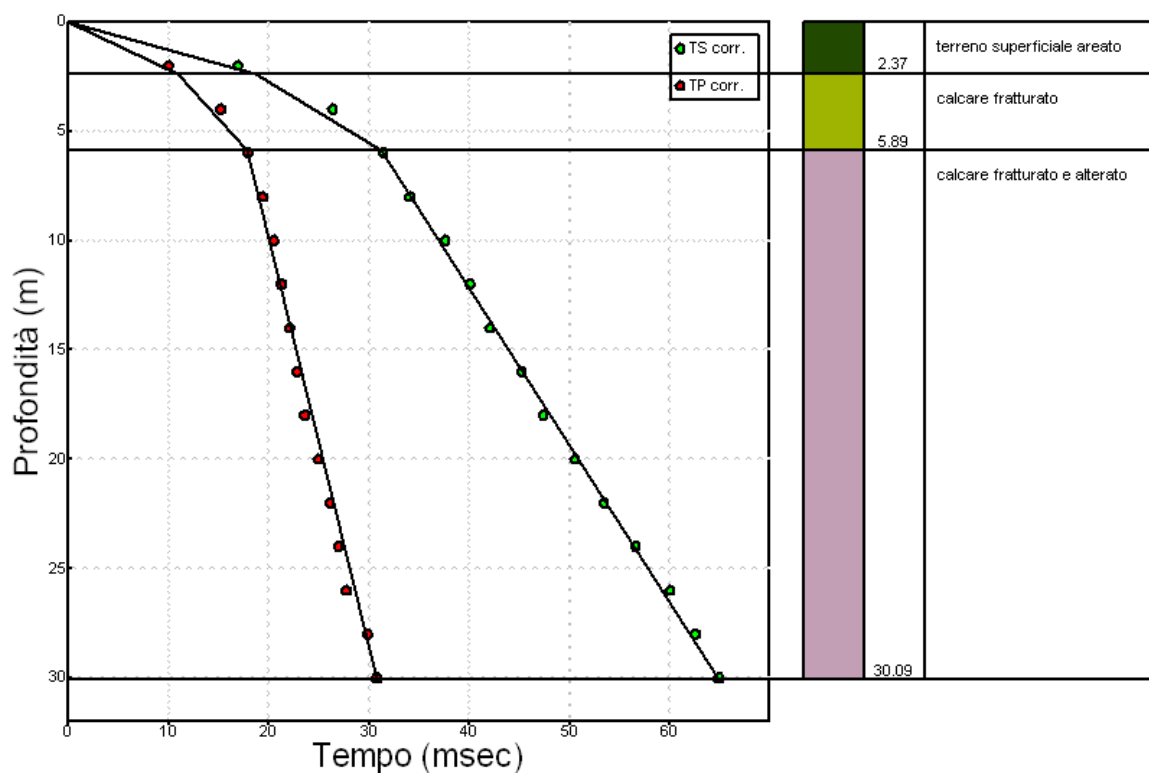
Sismostrati con metodo diretto

Descrizione (-)	Profondità (m)
terreno superficiale areato	2.37
calcare fratturato	5.89
calcare fratturato e alterato	30.00

Valori medi

Vp medio (m/s)	Vs medio (m/s)	g medio (kN/mc)	ni medio	G medio (MPa)	Ed medio (MPa)	E medio (MPa)	Ev medio (MPa)
216.44	127.01	17.39	0.24	28.6	83.07	70.79	44.93
518.41	282.5	20.07	0.29	163.37	550.13	421.1	332.31
1860.11	716.82	21.81	0.41	1142.78	7695.07	3229.03	6171.37

Dromocrone



Metodo intervallo

Profondità di riferimento	30 m
VS30	490.72 m/s

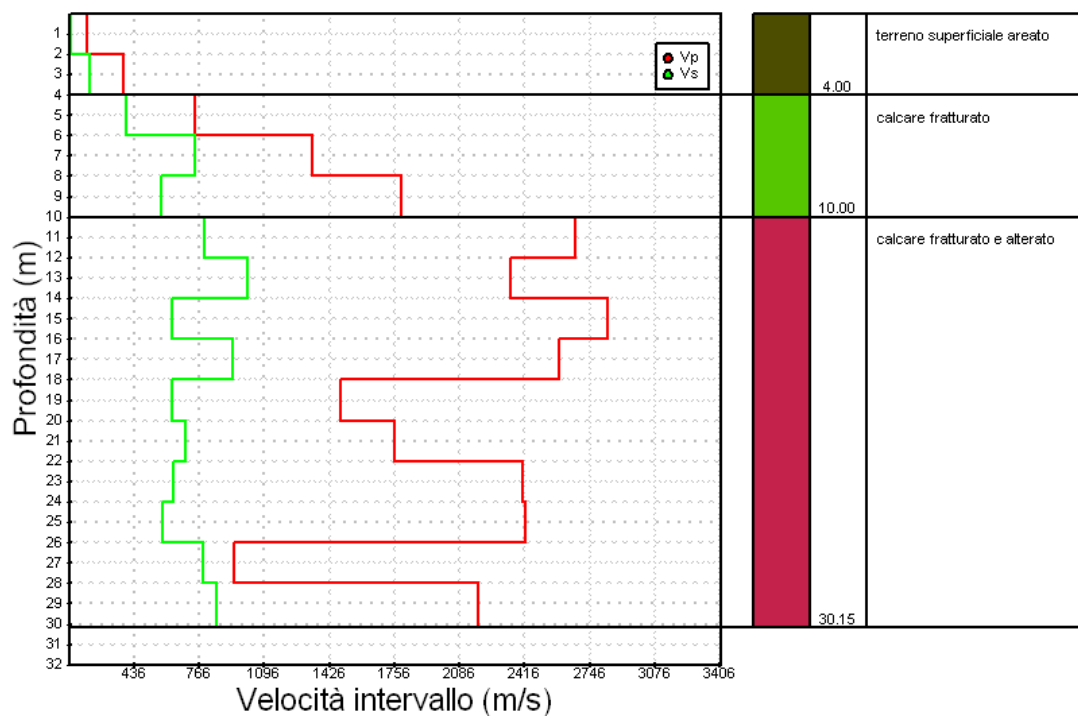
Sismostrati con metodo Intervallo

Descrizione (-)	Profondità (m)
terreno superficiale areato	4
calcare fratturato	10
calcare fratturato e alterato	30.00

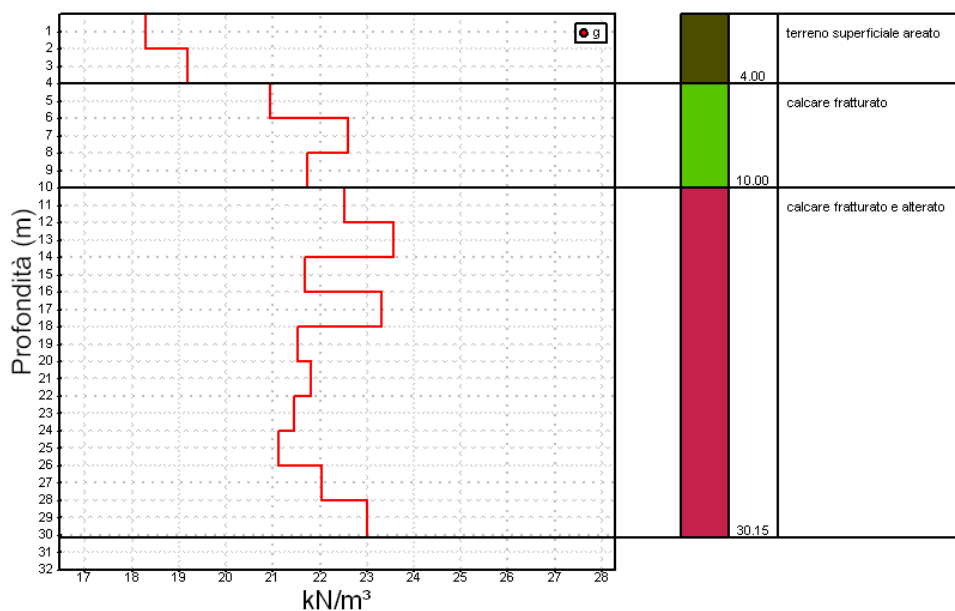
Valori medi

Vp medio (m/s)	Vs medio (m/s)	g medio (kN/mc)	ni medio	G medio (MPa)	Ed medio (MPa)	E medio (MPa)	Ev medio (MPa)
291.89	165.47	18.73	0.26	57.26	181.13	145.14	104.79
1291.99	571.83	21.75	0.34	781.82	4145.19	2084.02	3102.76
2164.54	755.62	22.2	0.43	1353.57	11358.18	3734.16	9553.43

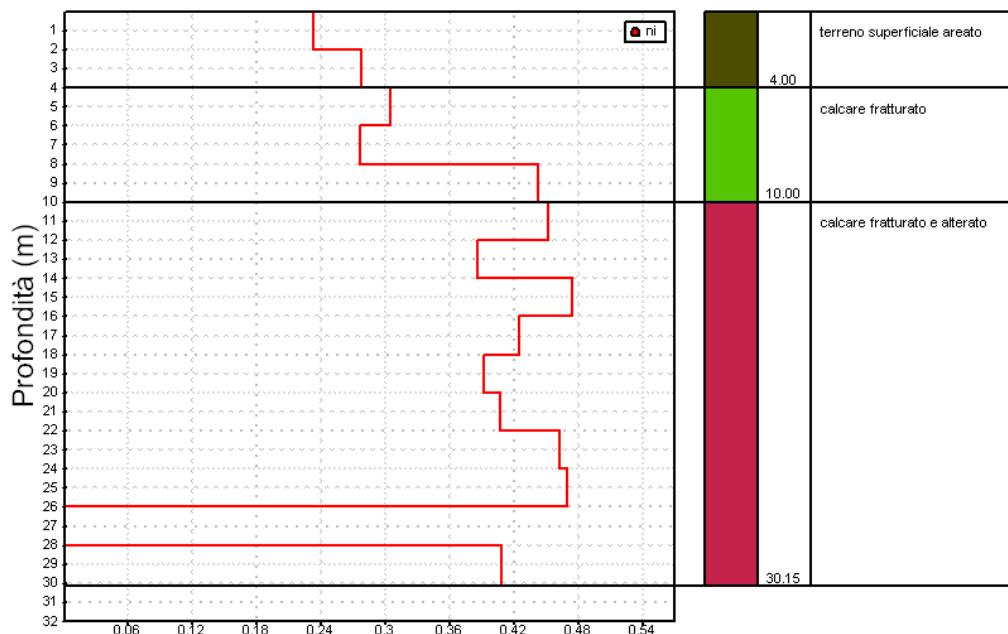
Profilo velocità di intervallo



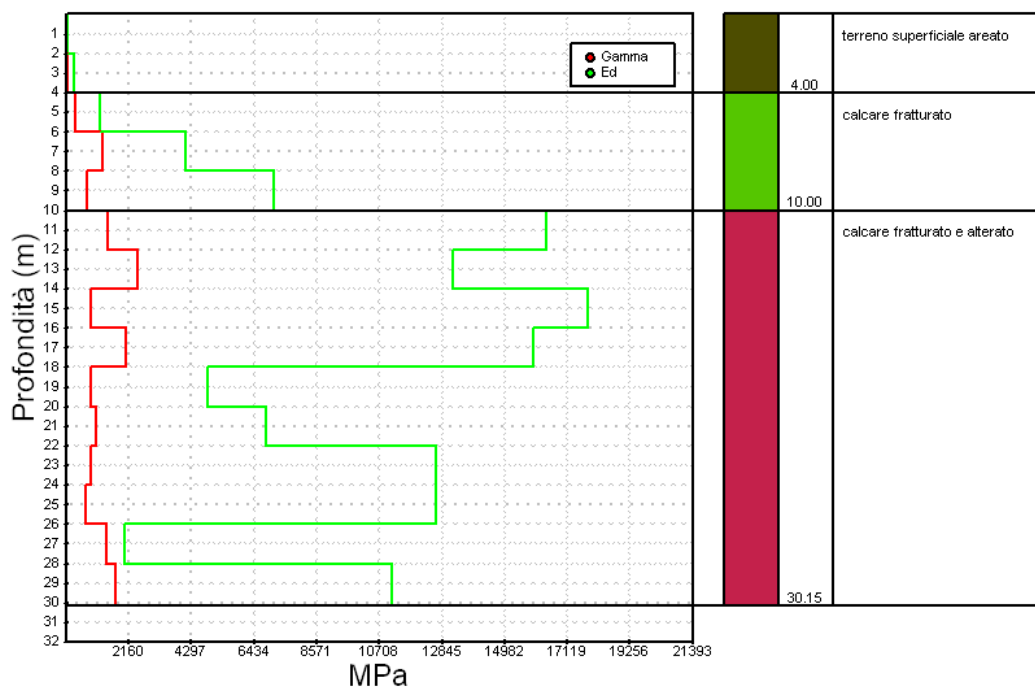
Profilo peso di volume di intervallo



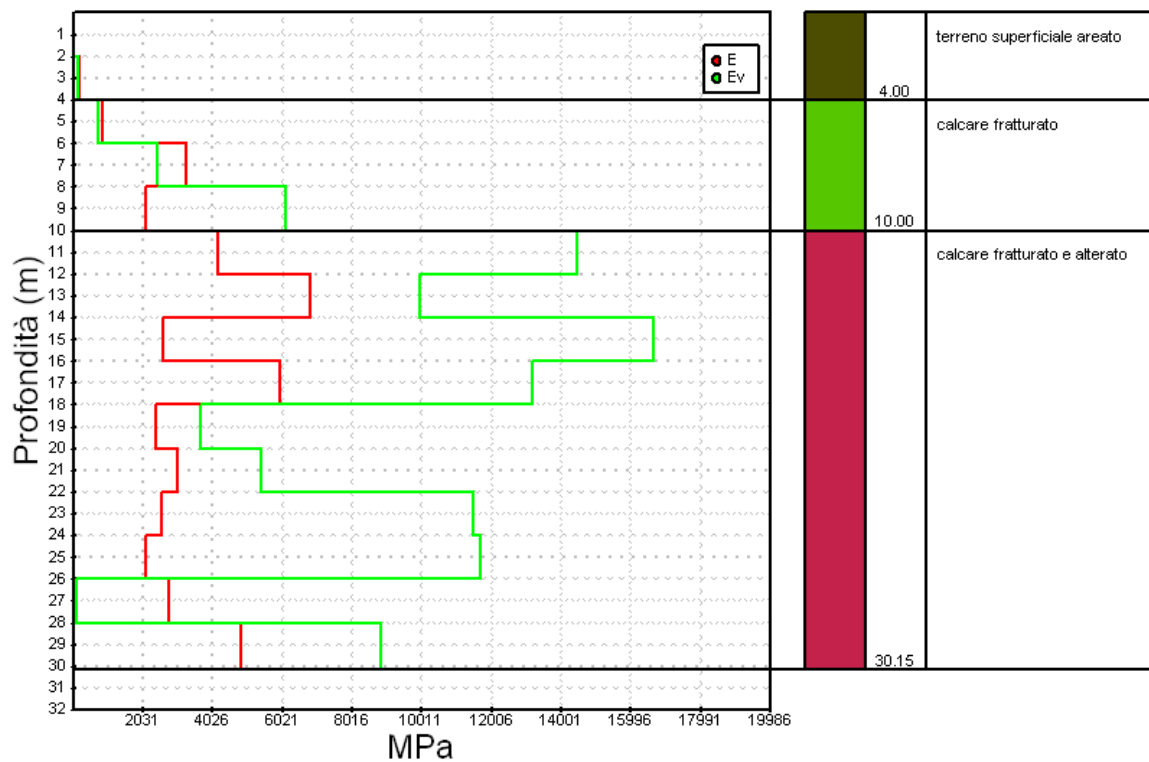
Profilo coefficiente di Poisson di intervallo



Profili modulo di deformazione a taglio e modulo di compressibilità edometrica



Profili modulo di Young e modulo di compressibilità volumetrica di intervallo



DOWN-HOLE D-H 3 (SONDAGGIO S.11)



Postazione Down-Hole D-H 3

INTERPRETAZIONE DELLE MISURE

Dati iniziali

Offset scoppio (m)	Numero di ricezioni	Posizione primo geofono (m)	Interdistanza (m)
3	15	2	2

Dati misure down hole

Registrazione Nr.	Z (m)	Tp (msec)	Ts (msec)
1	2.00	19.1	26.6
2	4.00	19.7	34.6
3	6.00	20.4	36.3
4	8.00	21.3	38
5	10.00	22.6	39.7
6	12.00	23.6	41
7	14.00	24.1	43
8	16.00	24.7	45.1
9	18.00	25.2	46.1
10	20.00	26.1	50.8
11	22.00	27	51.9
12	24.00	28.1	54.2
13	26.00	28.60	55.9
14	28.00	29.1	59.3
15	30.00	29.70	61.40

Risultati

SR (m)	Tpcorr (msec)	Tscorr (msec)
3.6056	10.5948	14.755
5.00	15.76	27.68
6.7082	18.2463	32.4677
8.544	19.9438	35.5805
10.4403	21.6469	38.0257
12.3693	22.8954	39.7758
14.3178	23.565	42.0455
16.2788	24.277	44.3275
18.2483	24.8571	45.4728
20.2238	25.8112	50.238
22.2036	26.7524	51.4241
24.1868	27.883	53.7815
26.1725	28.4115	55.5316
28.1603	28.9344	58.9625
30.1496	29.5526	61.0953

Vp (m/s)	Vs (m/s)	g (kN/mc)	ni	G (MPa)	Ed (MPa)	E (MPa)	Ev (MPa)
188.77	135.55	18.82	--	35.26	68.39	70.52	21.37
387.21	154.74	17.91	0.405	43.73	273.82	122.88	215.52
804.41	417.74	21.13	0.3154	376.00	1394.23	989.18	892.89
1178.20	642.51	22.20	0.2884	934.53	3142.46	2408.10	1896.43
1174.33	817.93	22.85	0.0289	1558.83	3213.26	3207.76	1134.82
1601.92	1142.79	23.99	--	3194.79	6277.57	6389.58	2017.84
2986.85	881.17	23.10	0.4523	1828.99	21014.46	5312.48	18575.81
2808.99	876.43	23.09	0.4461	1808.58	18578.20	5230.78	16166.76
3447.69	1746.27	25.44	0.3275	7910.78	30835.63	21003.12	20287.93
2096.22	419.71	20.17	0.4791	362.31	9037.72	1071.79	8554.64
2124.95	1686.20	25.32	--	7341.10	11658.44	14682.20	1870.31
1768.97	848.39	22.98	0.3506	1686.63	7332.81	4555.93	5083.96
3784.28	1142.79	23.99	0.4498	3194.79	35032.90	9263.61	30773.18
3824.83	582.94	21.10	0.4881	731.16	31476.47	2176.08	30501.60
3235.20	937.74	23.32	0.4541	2091.09	24889.15	6081.31	22101.03

Metodo diretto

Profondità di riferimento	30 m
VS30	491.09 m/s

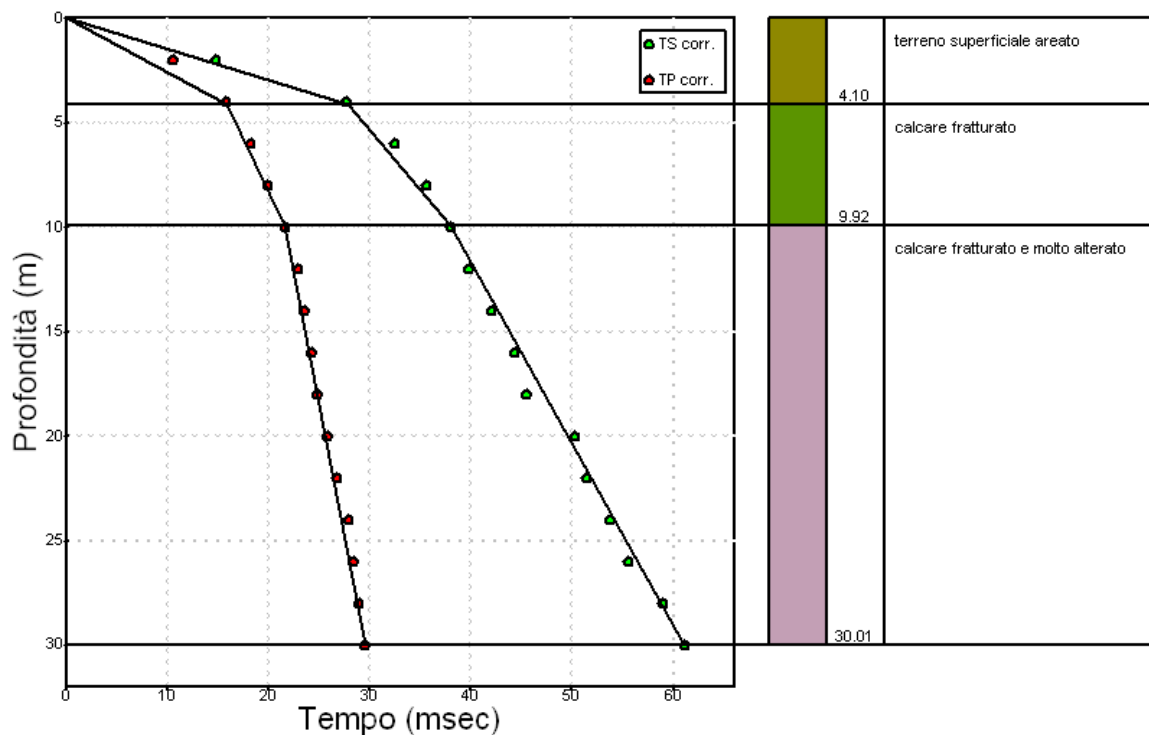
Sismostrati con metodo diretto

Descrizione (-)	Profondità (m)
terreno superficiale areato	4.1
calcare fratturato	9.92
calcare fratturato e molto alterato	30.00

Valori medi

Vp medio (m/s)	Vs medio (m/s)	g medio (kN/mc)	ni medio	G medio (MPa)	Ed medio (MPa)	E medio (MPa)	Ev medio (MPa)
258.19	146.85	17.37	0.26	38.2	118.07	96.32	67.14
1021.05	581.42	22.04	0.26	759.67	2342.84	1914.49	1329.95
2520.7	867.07	23.05	0.43	1767.09	14934.58	5064.11	12578.46

Dromocrone



Metodo intervallo

Profondità di riferimento	30 m
VS30	536.57 m/s

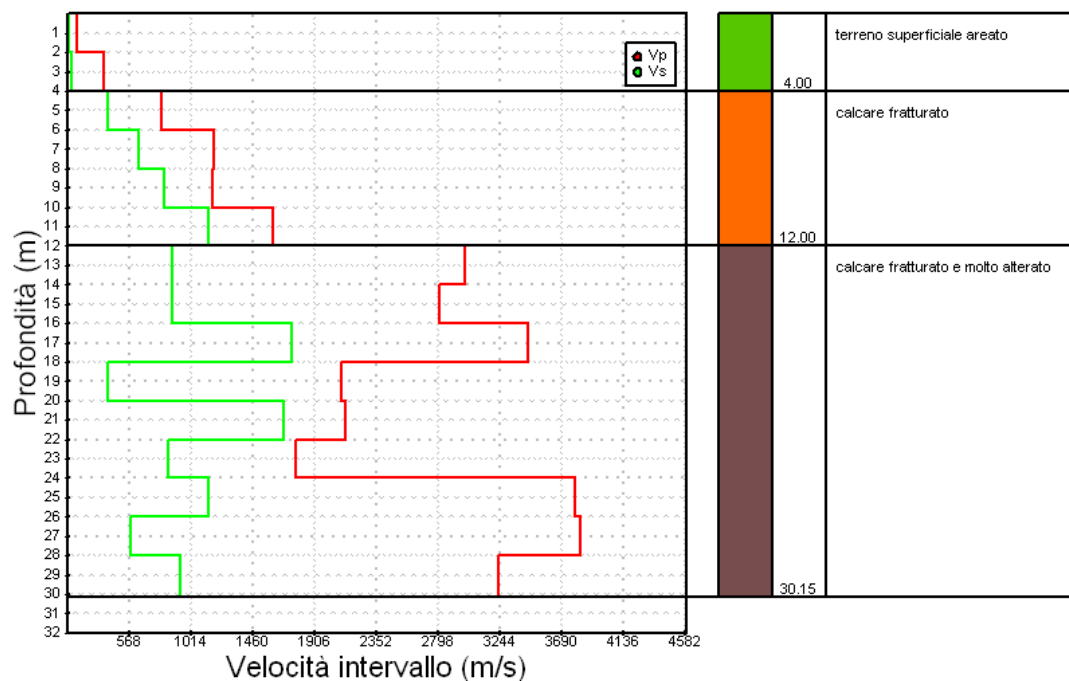
Sismostrati con metodo Intervallo

Descrizione (-)	Profondità (m)
terreno superficiale areato	4
calcare fratturato	12
calcare fratturato e molto alterato	30.00

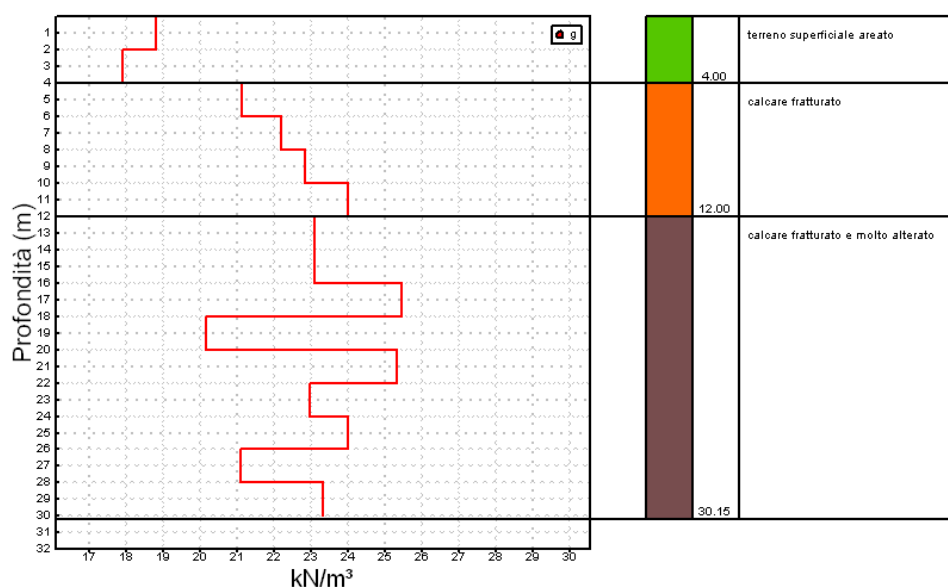
Valori medi

Vp medio (m/s)	Vs medio (m/s)	g medio (kN/mc)	ni medio	G medio (MPa)	Ed medio (MPa)	E medio (MPa)	Ev medio (MPa)
287.99	145.15	18.36	0.41	39.49	171.1	96.7	118.44
1189.71	755.24	22.54	0.21	1516.04	3506.88	3248.66	1485.49
2897.55	1013.52	23.17	0.43	2995.05	21095.09	7708.59	17101.69

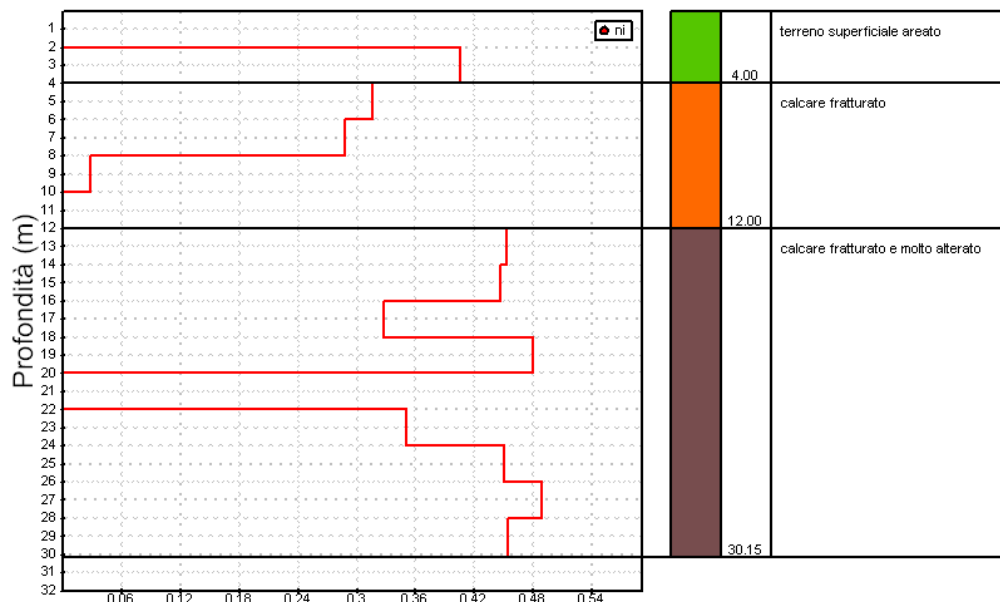
Profilo velocità di intervallo



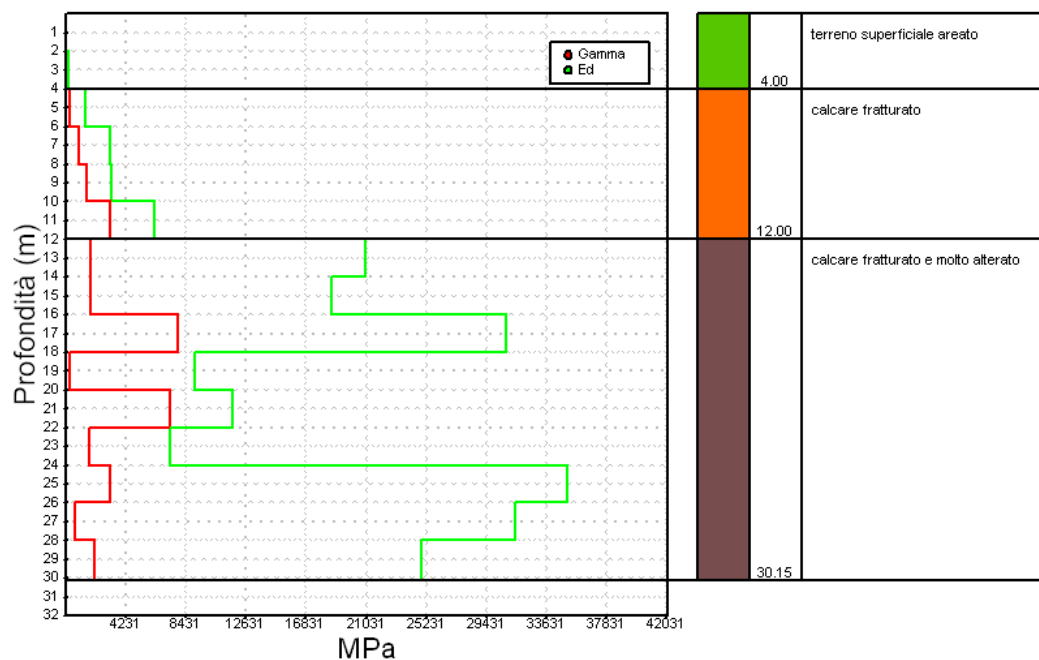
Profilo peso di volume di intervallo



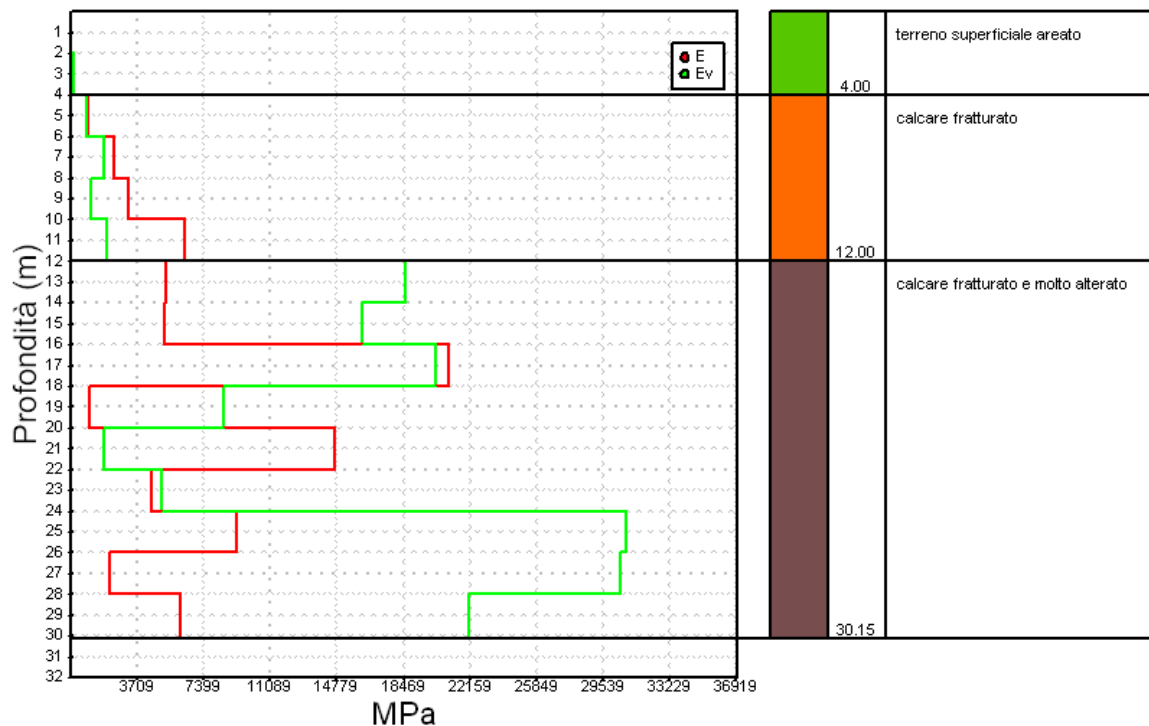
Profilo coefficiente di Poisson di intervallo



Profili modulo di deformazione a taglio e modulo di compressibilità edometrica



Profili modulo di Young e modulo di compressibilità volumetrica di intervallo



DOWN-HOLE D-H 4 (SONDAGGIO S.6)



Postazione Down-Hole D-H 4

INTERPRETAZIONE DELLE MISURE

Dati iniziali

Offset scoppio (m)	Numero di ricezioni	Posizione primo geofono (m)	Interdistanza (m)
1.5	15	2	2

Dati misure down hole

Registrazione Nr.	Z (m)	Tp (msec)	Ts (msec)
1	2.00	17.9	26.1
2	4.00	18.4	29.1
3	6.00	19.8	33.3
4	8.00	20	36
5	10.00	21	39.6
6	12.00	22.3	42.6
7	14.00	22.8	45.8
8	16.00	23.2	48.9
9	18.00	23.5	51.5
10	20.00	25	55.7
11	22.00	25.6	59.3
12	24.00	26.8	61.4
13	26.00	28.1	64.1
14	28.00	28.60	66.20
15	30.00	29.20	68.40

Risultati

SR (m)	Tpcorr (msec)	Tscorr (msec)
2.50	14.32	20.88
4.272	17.2285	27.2472
6.1847	19.2088	32.3057
8.1394	19.6574	35.3834
10.1119	20.7677	39.1619
12.0934	22.1278	42.271
14.0801	22.6703	45.5394
16.0702	23.0987	48.6865
18.0624	23.4188	51.3221
20.0562	24.93	55.544
22.0511	25.5407	59.1626
24.0468	26.7478	61.2804
26.0432	28.0534	63.9936
28.1603	28.9344	58.9625
30.1496	29.5526	61.0953

Vp (m/s)	Vs (m/s)	g (kN/mc)	ni	G (MPa)	Ed (MPa)	E (MPa)	Ev (MPa)
139.66	95.79	17.44	0.0558	16.32	34.69	34.46	12.93
687.64	314.11	20.61	0.3682	207.36	993.76	567.42	717.28
1009.95	395.37	20.95	0.4095	333.94	2179.03	941.38	1733.77
4458.31	649.84	22.23	0.4891	957.26	45056.69	2850.91	43780.34
1801.32	529.31	21.46	0.4527	613.10	7100.53	1781.30	6283.07
1470.48	643.27	21.93	0.3817	925.35	4835.44	2557.11	3601.65
3686.64	611.92	21.68	0.4858	827.80	30046.93	2459.89	28943.19
4668.53	635.51	21.71	0.4906	894.10	48250.23	2665.49	47058.10
6248.03	758.84	22.16	0.4925	1301.22	88213.54	3884.14	86478.59
1323.45	473.72	20.61	0.4265	471.63	3681.06	1345.56	3052.22
3274.93	552.70	21.07	0.4853	656.33	23043.47	1949.69	22168.36
1656.86	944.38	23.34	0.2594	2122.63	6533.59	5346.48	3703.42
1531.86	737.14	21.88	0.3493	1212.35	5235.58	3271.65	3619.12
3954.92	947.15	23.35	0.4696	2136.01	37242.74	6278.16	34394.72
3308.51	905.18	23.20	0.4595	1938.37	25895.97	5658.10	23311.48

Metodo diretto

Profondità di riferimento	30 m
VS30	439.27 m/s

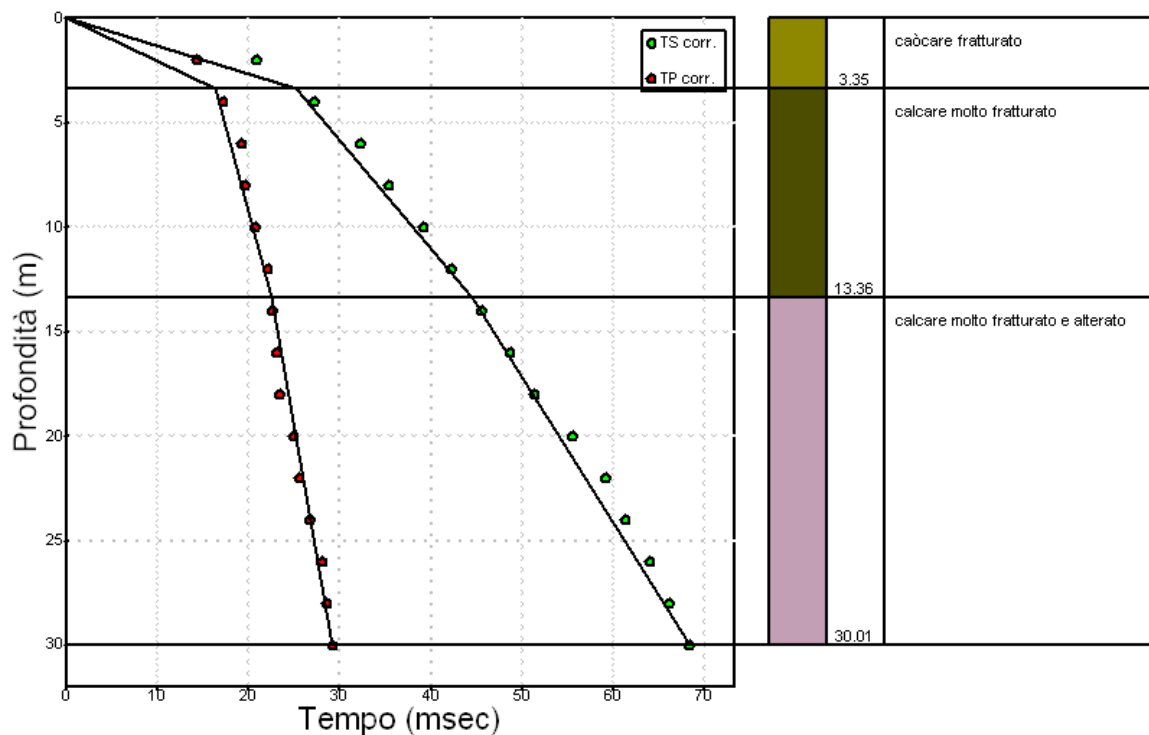
Sismostrati con metodo diretto

Descrizione (-)	Profondità (m)
calcare fratturato	3.35
calcare molto fratturato	13.36
calcare molto fratturato e alterato	30.00

Valori medi

Vp medio (m/s)	Vs medio (m/s)	g medio (kN/mc)	ni medio	G medio (MPa)	Ed medio (MPa)	E medio (MPa)	Ev medio (MPa)
205.77	133.04	17.19	0.14	31.02	74.21	70.78	32.85
1609.32	518.38	21.33	0.44	584.39	5632.32	1685.52	4853.13
2500	698.99	21.94	0.46	1092.89	13980.1	3185.98	12522.92

Dromocrone



Metodo intervallo

Profondità di riferimento	30 m
VS30	525.72 m/s

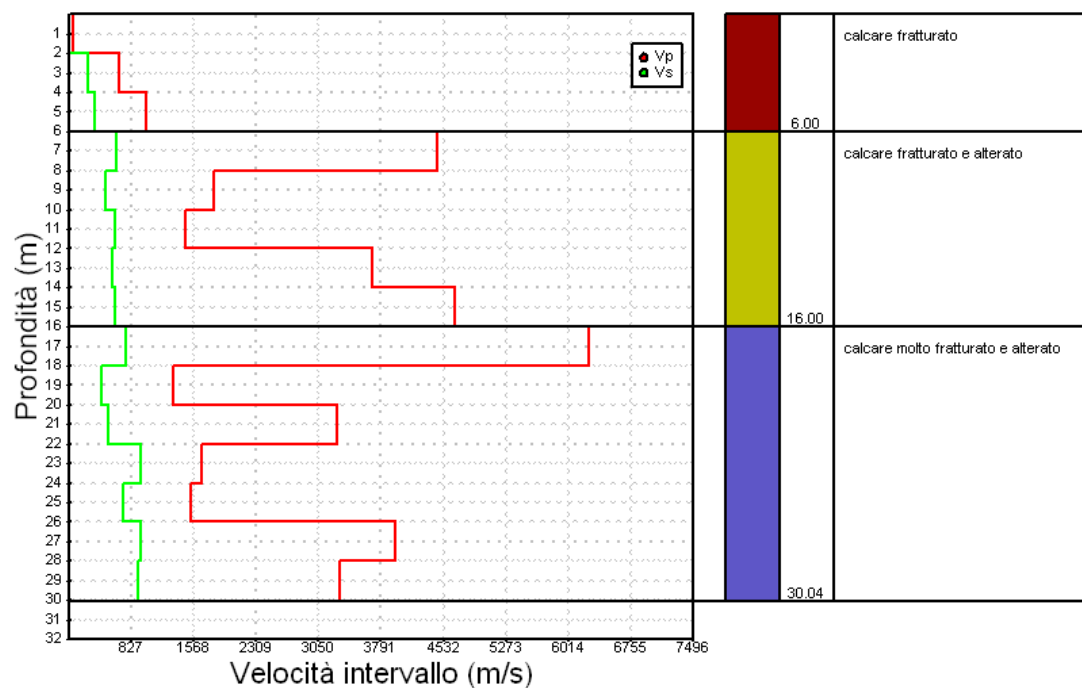
Sismostrati con metodo Intervallo

Descrizione (-)	Profondità (m)
calcare fratturato	6
calcare fratturato e alterato	16
calcare molto fratturato e alterato	30.00

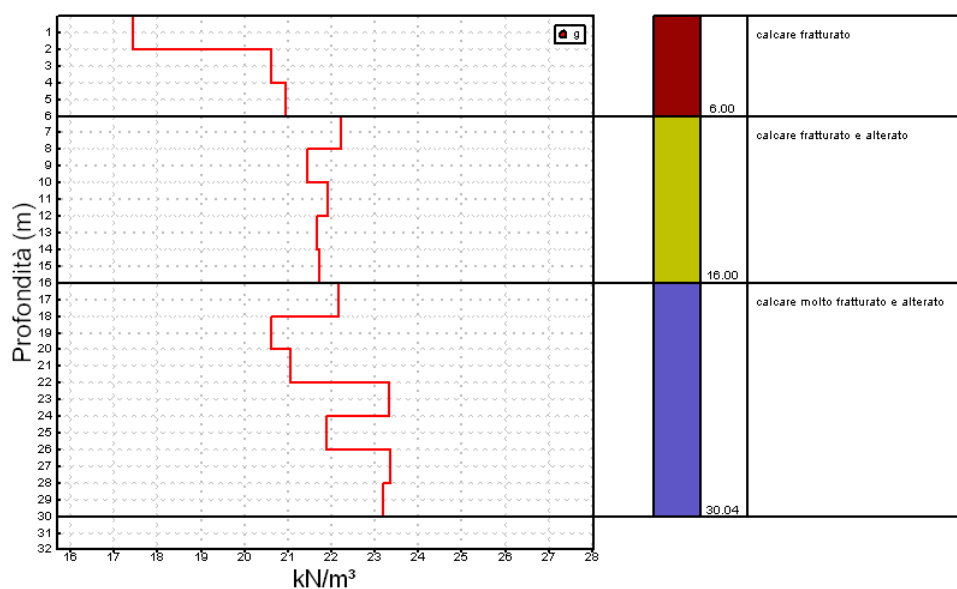
Valori medi

Vp medio (m/s)	Vs medio (m/s)	g medio (kN/mc)	ni medio	G medio (MPa)	Ed medio (MPa)	E medio (MPa)	Ev medio (MPa)
612.42	268.42	19.67	0.28	185.87	1069.16	514.42	821.33
3217.06	613.97	21.8	0.46	843.52	27057.96	2462.94	25933.27
3042.65	759.87	22.23	0.42	1405.51	27120.85	3961.97	25246.85

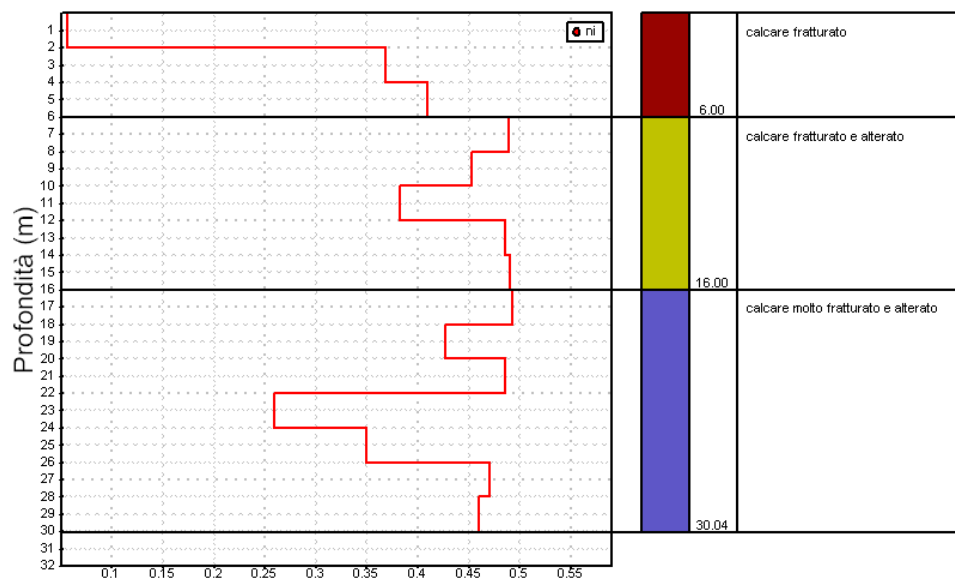
Profilo velocità di intervallo



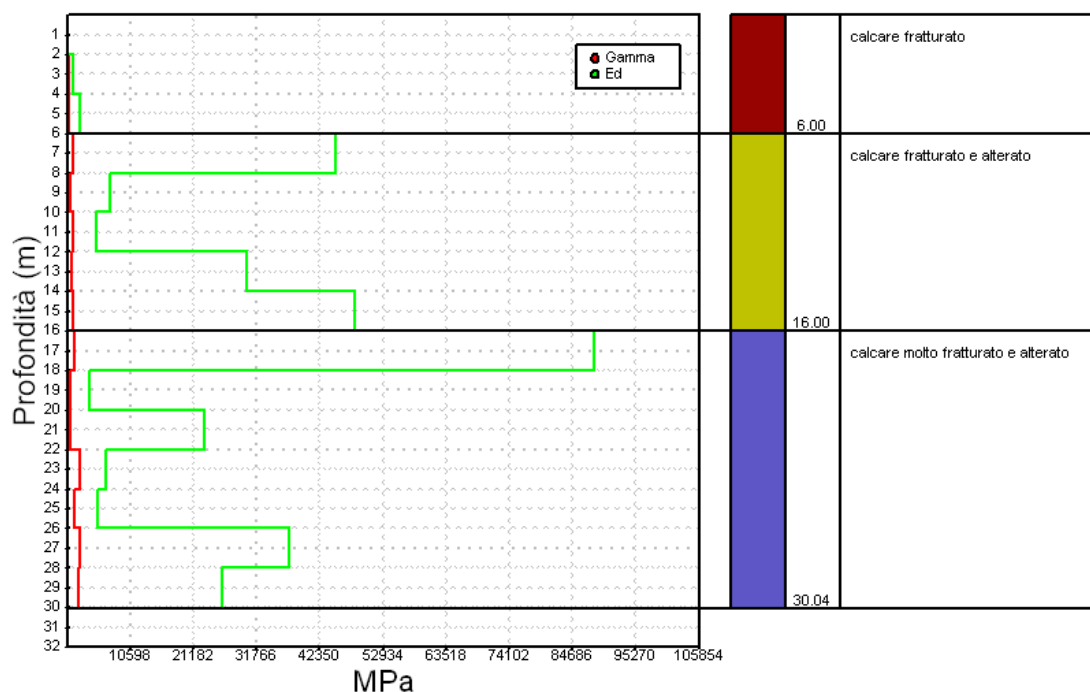
Profilo peso di volume di intervallo



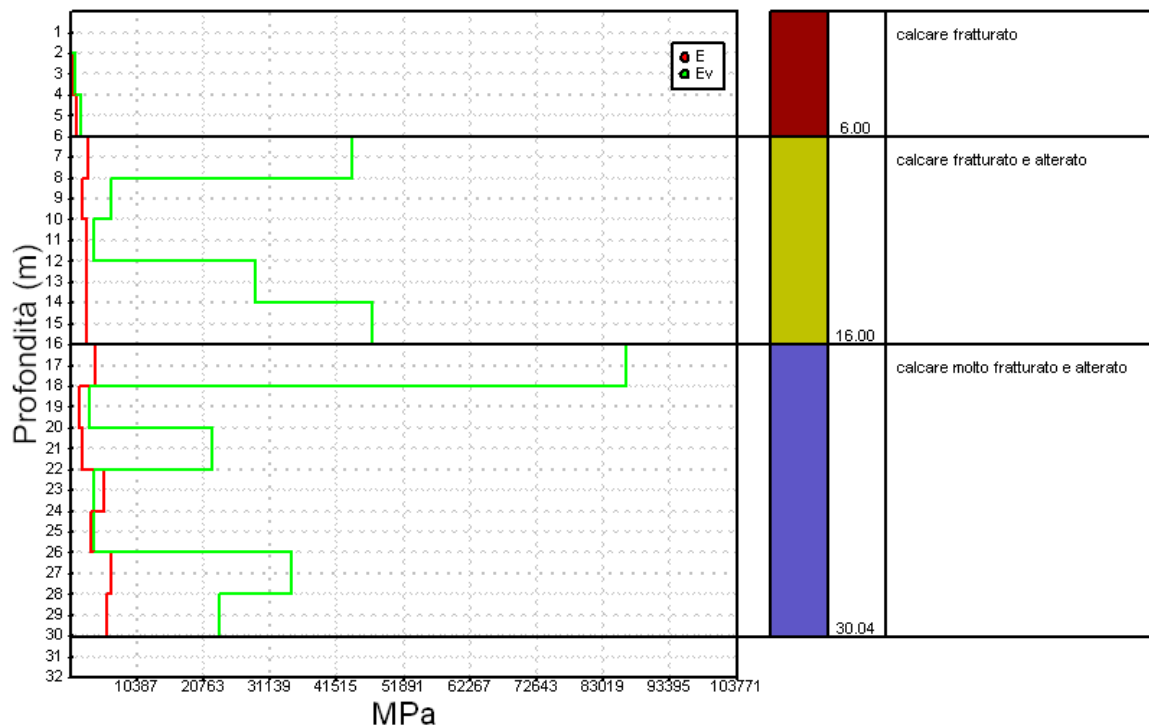
Profilo coefficiente di Poisson di intervallo



Profili modulo di deformazione a taglio e modulo di compressibilità edometrica



Profili modulo di Young e modulo di compressibilità volumetrica di intervallo



DOWN-HOLE D-H 5 (SONDAGGIO S.15)



Postazione Down-Hole D-H 5

INTERPRETAZIONE DELLE MISURE

Dati iniziali

Offset scoppio (m)	Numero di ricezioni	Posizione primo geofono (m)	Interdistanza (m)
3	15	2	2

Dati misure down hole

Registrazione Nr.	Z (m)	Tp (msec)	Ts (msec)
1	2.00	20.6	30.7
2	4.00	22.1	34.2
3	6.00	23	34.6
4	8.00	24	35.6
5	10.00	25.5	40.5
6	12.00	26.6	42
7	14.00	27.2	43.9
8	16.00	28.3	45.9
9	18.00	29.4	47.10
10	20.00	30.5	48.50
11	22.00	31.70	49.90
12	24.00	32.7	51.80
13	26.00	33.8	54.20
14	28.00	34.9	56.60
15	30.00	35.70	58.80

Risultati

SR (m)	Tpcorr (msec)	Tscorr (msec)
3.6056	11.4268	17.0293
5.00	17.68	27.36
6.7082	20.5718	30.9472
8.544	22.4719	33.3333
10.4403	24.4246	38.792
12.3693	25.8058	40.746
14.3178	26.5962	42.9255
16.2788	27.8153	45.1138
18.2483	29.00	46.4592
20.2238	30.1626	47.9634
22.2036	31.4093	49.4424
24.1868	32.4475	51.40
26.1725	33.5772	53.8428
28.1603	34.7014	56.2779
30.1496	35.5228	58.5082

Vp (m/s)	Vs (m/s)	g (kN/mc)	ni	G (MPa)	Ed (MPa)	E (MPa)	Ev (MPa)
175.03	117.44	18.25	0.0906	25.67	57.01	55.99	22.79
319.84	193.60	18.80	0.2109	71.85	196.11	174.01	100.31
691.61	557.54	22.02	--	697.99	1074.04	1395.98	143.38
1052.58	838.19	22.93	--	1642.74	2590.56	3285.48	400.24
1024.22	366.39	20.21	0.4266	276.65	2161.88	789.34	1793.01
1448.02	1023.54	23.62	0.0007	2523.30	5050.20	5050.13	1685.80
2530.36	917.64	23.24	0.4243	1995.54	15173.30	5684.50	12512.58
1640.56	913.95	23.23	0.275	1978.67	6375.48	5045.61	3737.25
1688.19	1486.55	24.89	--	5608.71	7233.47	11217.42	--
1720.28	1329.61	24.51	--	4418.46	7396.41	8836.92	1505.13
1604.24	1352.27	24.56	--	4579.67	6445.35	9159.34	339.12
1926.41	1021.66	23.61	0.3043	2512.98	8934.55	6555.36	5583.92
1770.38	818.73	22.85	0.364	1561.88	7302.95	4260.81	5220.45
1779.05	821.32	22.87	0.3646	1573.15	7381.11	4293.44	5283.58
2434.87	896.74	23.16	0.4215	1899.11	14001.33	5399.17	11469.18

Metodo diretto

Profondità di riferimento	30 m
VS30	513.51 m/s

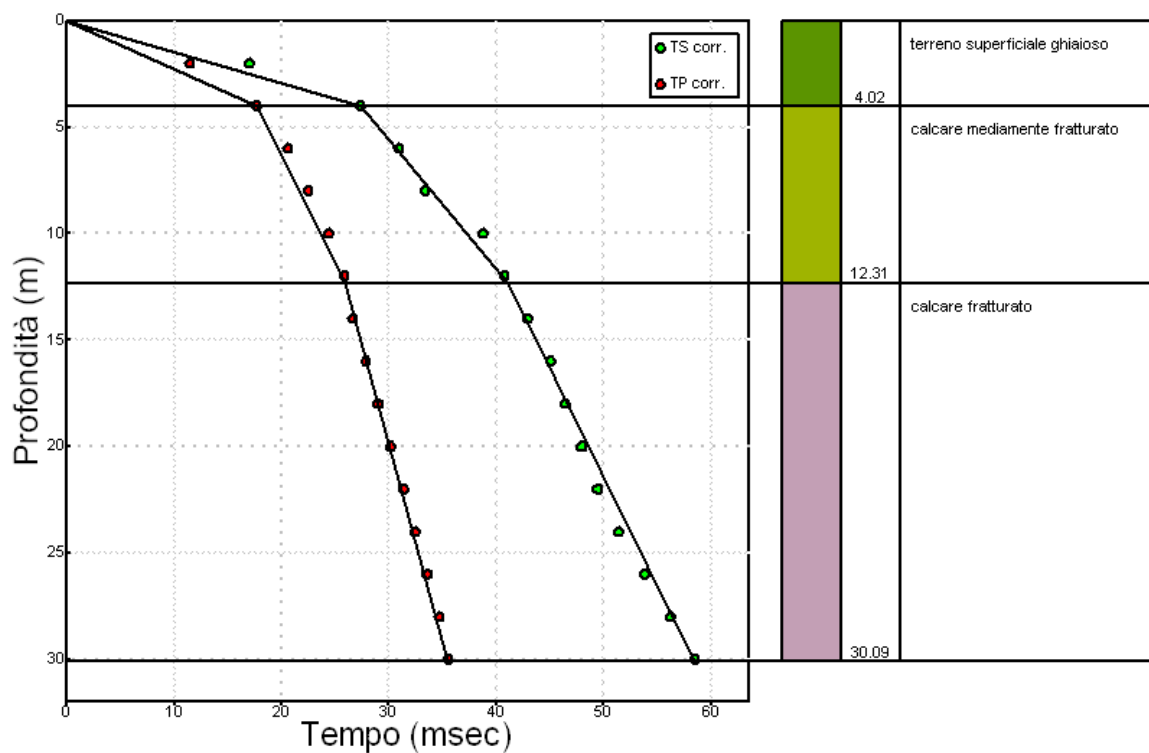
Sismostrati con metodo diretto

Descrizione (-)	Profondità (m)
terreno superficiale ghiaioso	4.02
calcare mediamente fratturato	12.31
calcare fratturato	30.00

Valori medi

Vp medio (m/s)	Vs medio (m/s)	g medio (kN/mc)	ni medio	G medio (MPa)	Ed medio (MPa)	E medio (MPa)	Ev medio (MPa)
226.99	146.72	17.39	0.14	38.16	91.35	87.1	40.46
1008.52	605.99	21.93	0.22	821.13	2274.27	1999.4	1179.43
1854.01	1020.08	23.6	0.28	2504.54	8273.43	6426.29	4934.04

Dromocrone



Metodo intervallo

Profondità di riferimento	30 m
VS30	553.96 m/s

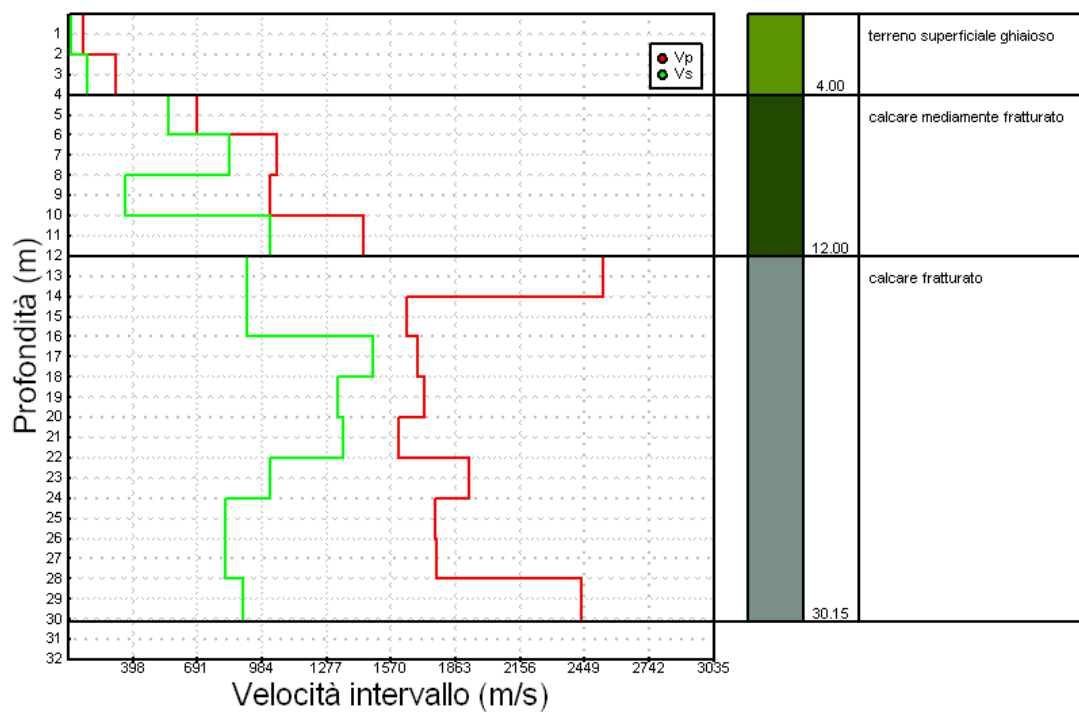
Sismostrati con metodo Intervallo

Descrizione (-)	Profondità (m)
terreno superficiale ghiaioso	4
calcare mediamente fratturato	12
calcare fratturato	30.00

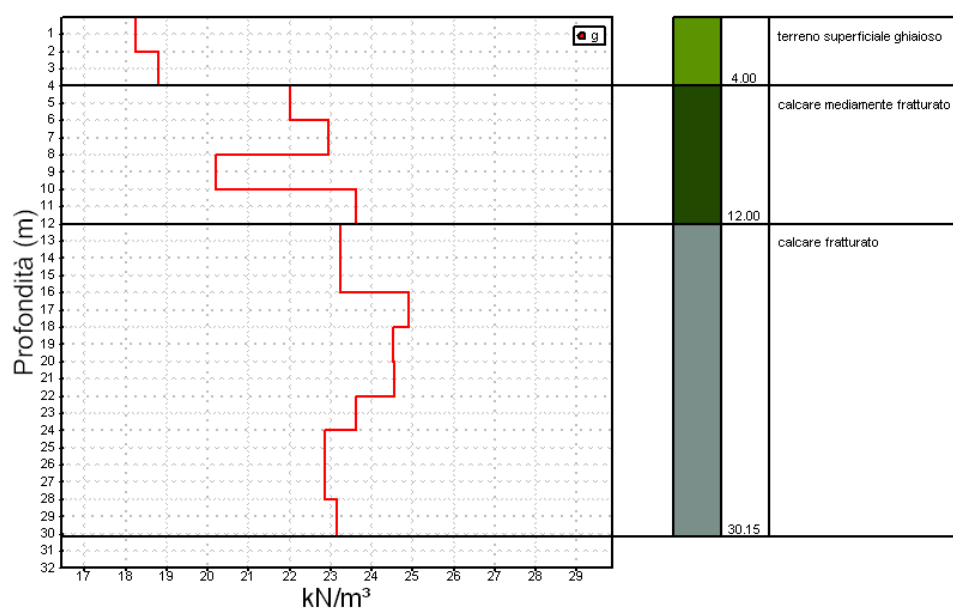
Valori medi

Vp medio (m/s)	Vs medio (m/s)	g medio (kN/mc)	ni medio	G medio (MPa)	Ed medio (MPa)	E medio (MPa)	Ev medio (MPa)
247.43	155.52	18.52	0.15	48.76	126.56	115	61.55
1054.11	696.41	22.2	0.21	1285.17	2719.17	2630.23	1005.61
1899.37	1062.05	23.66	0.36	2903.13	8916	6716.95	5706.4

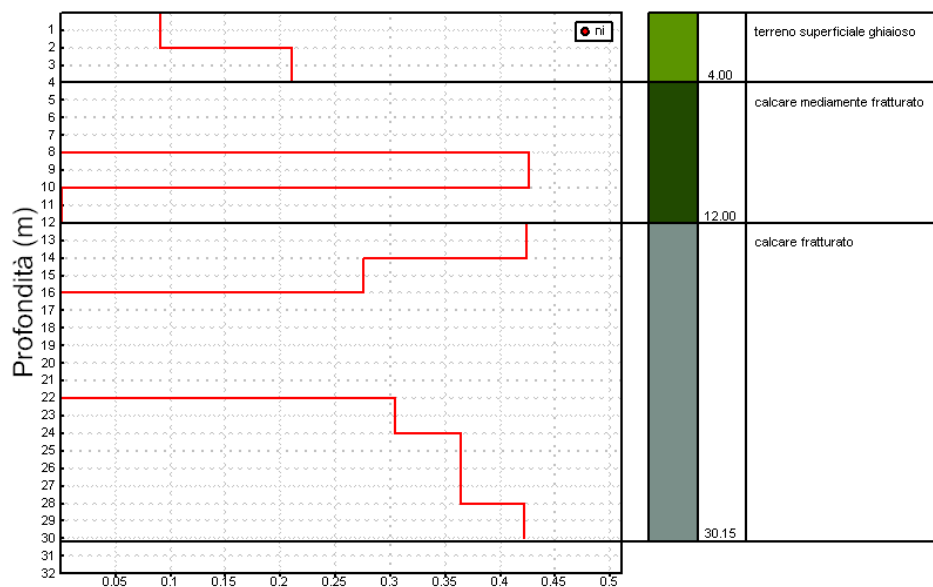
Profilo velocità di intervallo



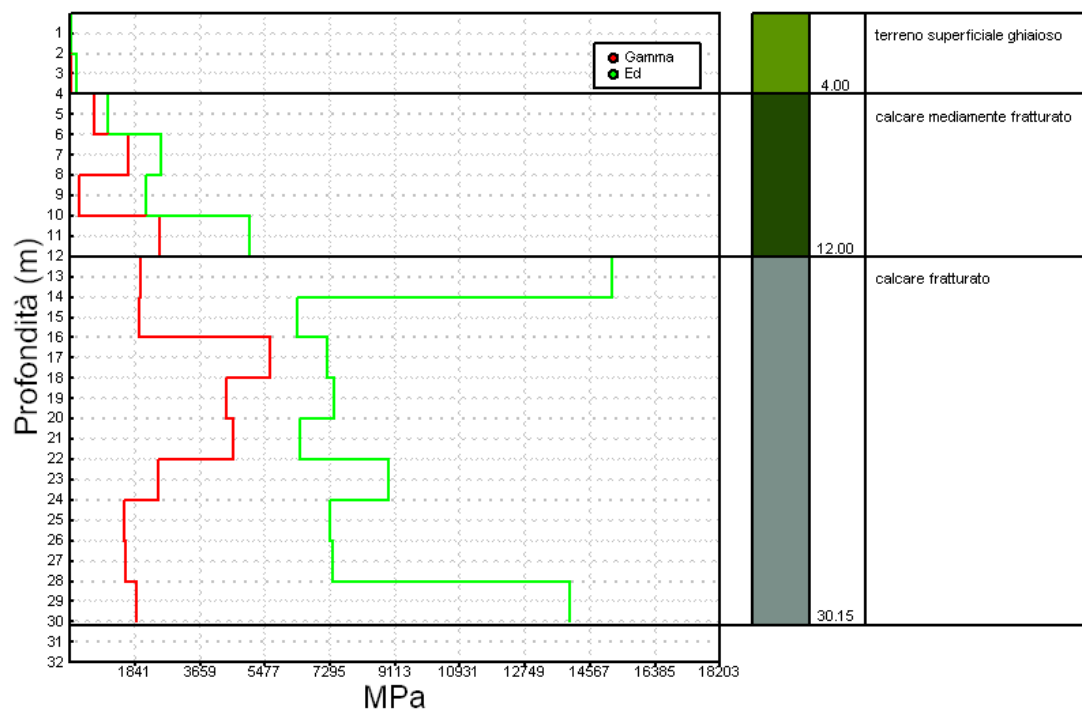
Profilo peso di volume di intervallo



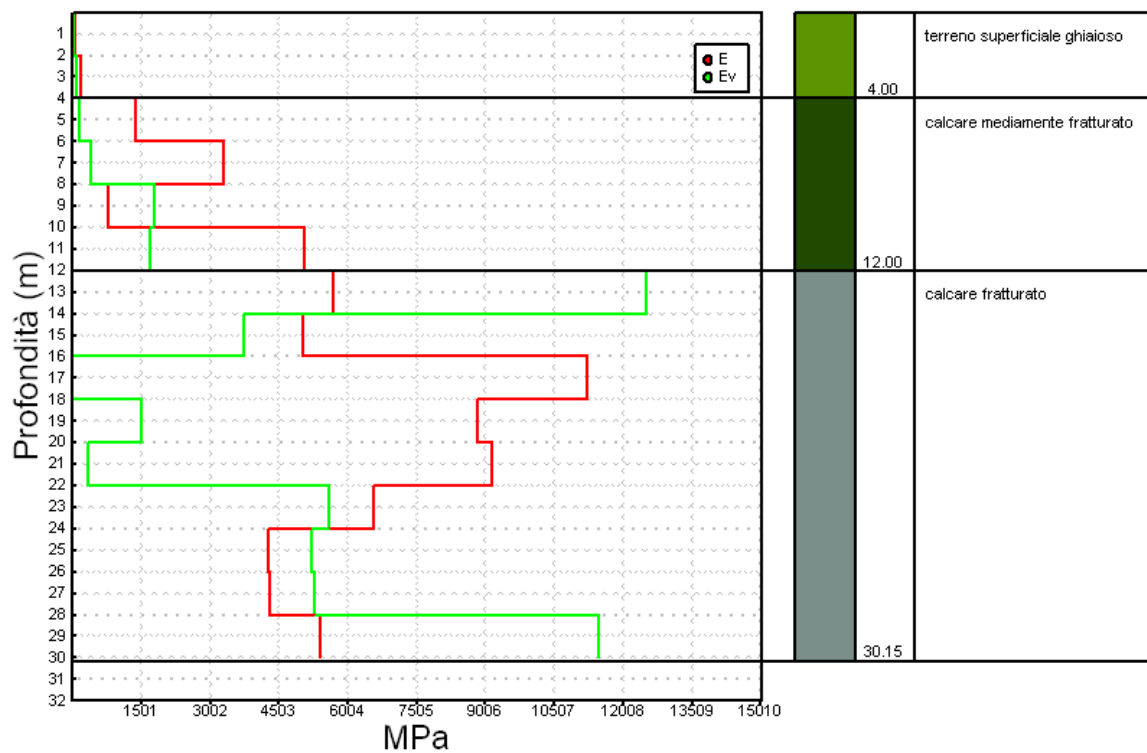
Profilo coefficiente di Poisson di intervallo



Profili modulo di deformazione a taglio e modulo di compressibilità edometrica



Profili modulo di Young e modulo di compressibilità volumetrica di intervallo



9. SISMICITA' DELL'AREA

In questo capitolo si è proceduto alla determinazione delle azioni sismiche sulle opere da realizzare, in accordo con quanto previsto dalla normativa vigente al par.3.2.2, mediante apposita analisi di risposta sismica locale, ovvero in questo caso mediante l'approccio semplificato basato sulla velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,30}$. Dalla normativa (modifiche del D.M. 14/09/2005 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n. 29 del 04/02/2008) si ha:

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Dalla indagine geofisica, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, è possibile classificare i terreni presenti in loco nella categoria B:

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

9.1 Stima della pericolosità sismica

Per la determinazione dei parametri sismici utili ai fini progettuali sono stati presi in considerazione i seguenti parametri generali del sito in parola:

Sito in esame	Area a Nord-Ovest di Molfetta
Latitudine e Longitudine	41,192402 – 16,553851
Altitudine	54 m s.l.m.
Classe d'uso in presenza di azioni sismiche	II
Vita nominale calcolata in base al tipo di costruzione (VN)	50 anni
Categoria sismica sottosuolo	B
Categoria Topografica	T1
Periodo di riferimento per l'azione sismica	50 anni (dato dal prodotto della Vita nominale per il Coefficiente d'uso)
Coefficiente d'uso Cu	1

Per l'individuazione del sito sono stati presi in esame le coordinate geografiche dei siti di riferimento riportati in tabella:

	ID	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Distanza (m)
Sito 1	31459	41,193920	16,547000	597,6
Sito 2	31460	41,192110	16,613370	4980,3
Sito 3	31682	41,142150	16,610910	7350,9
Sito 4	31681	41,143960	16,544580	5442,1

I valori di a_g (accelerazione orizzontale massima), riferiti agli stati limite riportati nel D.M. 14.01.2008 sono quelli indicati nella tabella che segue:

Stato Limite	Tr (anni)	a_g (g)	Fo	Tc' (s)
Operatività (SLO)	30	0,032	2,486	0,250
Danno (SLD)	50	0,040	2,530	0,292
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,122	2,478	0,405
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,172	2,493	0,408
Periodo di riferimento per l'azione sismica	50			

I valori del periodo di ritorno TR del sisma per ciascuno stato limite, sono stati ricavati dalla tabella che riporta i valori di TR espressi in funzione di VR:

Stati Limite di Esercizio (SLE)	SLO	30 anni \leq TR = 0.60 * VR
	SLD	TR = VR

Stati Limite Ultimi (SLU)	SLV	TR = 9.50 * VR
	SLC	TR = 19.50 * VR \leq 2475 anni

I valori dei coefficienti sismici relativi al terreno di categoria B, sono quelli sotto riportati:

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss (Amplificazione stratigrafica)	1,020	1,200	1,200	1,200
Cc (Coeff. Funzione categoria)	1,450	1,410	1,320	1,320
St (Amplificazione topografica)	1,000	1,000	1,000	1,000

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
Kh	0,008	0,010	0,035	0,050
Kv	0,004	0,005	0,018	0,025
amax (m/s²)	0,379	0,469	1,440	2,025
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

dove:

amax= $a_g / g * Ss * St$ è l'accelerazione massima attesa (componente orizzontale) in condizioni di campo libero sul sito di riferimento rigido (categoria A), con superficie topografica di categoria T1.

Fo= Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tc'=Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

10. VALUTAZIONE DEI PARAMETRI RELATIVI ALLA RESISTENZA ALLO SCAVO

Per la determinazione delle difficoltà di scavo relative alle opere di sistemazione idraulica che consisteranno nella realizzazione di un canale artificiale in cemento armato è stata effettuata una attenta analisi dei risultati delle varie indagini effettuate in sito e in laboratorio; ciò allo scopo di fornire ai progettisti utili informazioni sulla tipologia dei mezzi di scavo da utilizzare e sulla stabilità delle pareti della futura trincea da realizzare.

A tal proposito per poter esprimere un giudizio sulla difficoltà degli scavi che si andranno a realizzare e sul loro dimensionamento si è fatto riferimento alle caratteristiche geomeccaniche e geofisiche dell'ammasso calcareo presente lungo tutto il tracciato.

Sono stati presi in considerazione i seguenti parametri:

- Tenacità delle rocce;
- Resistenza a compressione;
- Velocità di propagazione delle onde P;
- Indice RQD;
- Giacitura degli strati;
- Classificazione secondo il Q-System.

Tenacità

La tenacità di una roccia è la resistenza che essa oppone a lasciarsi rompere sotto l'azione di carichi dinamici come i colpi di un martello idraulico.

Essa si determina sottoponendo la roccia, sotto forma di lastra, poggianti su un letto di sabbia, alla caduta di un peso da un'altezza crescente fino ad ottenere la rottura.

La tenacità è indipendente dalla capacità di resistere all'azione di carichi statici o progressivamente crescenti, per cui una roccia fragile può avere un'elevata resistenza a compressione.

Nel nostro caso non avendo a disposizione dati di laboratorio circa la tenacità delle rocce presenti in loco si è fatto riferimento alla tabella che segue:

Rocce	Tenacità assoluta (N)	Rocce	Tenacità assoluta (N)
Diabase inalterato	9191,6541	Arenaria feldspatica	5208,4569
Quarzite pirossenica	8272,3416	Gabbro	4901,0388
Arenaria	7770,2744	Silice concrezionata	4595,0916
Diabase alterato	7353,0291	Arenaria calcarea	4595,0916
Basalto fresco	7047,0819	Granito	4595,0916
Scisto anfibolico	6433,7166	Argilloscisto	3675,7791
Diorite	6433,7166	Gneiss granitico	3675,7791
Granito anfibolico	6433,7166	Andesite	3369,8319
Riolite	6127,7694	Calcare	3063,8847
Quarzite	5820,3513	Micascisto	3063,8847
Gneiss biotitico	5820,3513	Dolomia	3063,8847
Diorite augitica	5820,3513	Granito biotitico	3063,8847
Basalto alterato	5208,4569	Gneiss anfibolico	3063,8847

Tab. 3 – Scala di tenacità delle rocce

Resistenza a compressione

I valori di resistenza a compressione monoassiale determinati in laboratorio sono quelli riportati in tabella nel paragrafo relativo alla caratterizzazione geotecnica.

E' bene precisare che questo parametro, rispetto all'uso eventuale del martellone per procedere allo scavo della roccia calcarea, risulta meno significativo nella valutazione della resistenza della roccia rispetto all'azione del mezzo scavante; infatti i carichi generati dall'utensile del martellone agiscono per brevi intervalli di tempo e non per lunghi come quelli rispetto al quale è misurata questa caratteristica.

Tuttavia la resistenza a compressione risulta utile in quanto è indice della capacità del fondo scavo e delle zone immediatamente a ridosso delle pareti di sopportare carichi durante la fase di scavo.

Velocità di propagazione delle onde P

La velocità di propagazione delle onde P dell'ammasso roccioso è stata determinata nel corso delle indagini sismiche in foro e sismiche di superficie.

I valori misurati V_p , compresi fra 1.000–2.900 m/s, rientrano nell'intervallo dei valori di riferimento delle rocce calcaree da molto fratturate a mediamente fratturate e compatte.

In effetti la velocità media di propagazione dell'ammasso roccioso delle onde P fornisce informazioni sul tipo di risposta elasto-meccanica della roccia alle sollecitazioni datele dal martellone, che altro non è che un generatore di micro-sismi attraverso l'azione battente della punta mobile: a una velocità maggiore consegue una maggiore efficacia dell'utensile frantumante.

Indice RQD

Il valore medio dell'indice RQD dell'ammasso roccioso presente nell'area di indagine è stato determinato attraverso i sondaggi geognostici eseguiti in loco; tale valore ha consentito di quantificare la percentuale di roccia frantumata rispetto a quella compatta. Si è avuta una elevata presenza di pezzi di carota piccoli dovuta alla intensa fatturazione dell'ammasso calcareo, pertanto, è possibile supporre che durante l'utilizzo del martellone vi saranno notevoli difficoltà di scavo. In effetti, tale mezzo di scavo diventa insufficiente alle operazioni di scavo quando vi è la necessità di allontanare frequentemente il frantumato.

Giacitura degli strati

In merito a questa caratteristica è possibile affermare che maggiore è l'inclinazione degli strati minore sarà la facilità di utilizzo del martellone

idraulico. Nel nostro caso la giacitura degli strati è di pochi gradi a NE pertanto è garantita una buona efficienza del martello idraulico in fase di scavo.

Q-System

L'indice Q-System, a cui è associata la classificazione di Barton, fornisce utili informazioni sulla qualità generale dell'ammasso calcareo e in particolare, sullo stato dei giunti e delle altre discontinuità dell'ammasso roccioso che generano diversa risposta all'azione del martellone rispetto al resto dell'ammasso.

$$Q = RQD/J_n * J_r/J_a * J_w/SRF$$

dove:

RQD: è già stato definito

J_n =frequenza delle discontinuità

J_r = rugosità delle discontinuità

J_a = grado di alterazione o riempimento ai bordi delle fratture

J_w =acqua di percolazione

SRF=condizioni di sollecitazione

Nel caso specifico, facendo riferimento ai valori in tabella per ogni parametro relativi alla classificazione di Barton, sono stati utilizzati per il calcolo dell'indice Q-System i seguenti valori:

Valore RQD nominale	10%
Jn	3
Jr	4
Ja	1
Jw	1
SRF	2.5

Il valore dell'indice Q così determinato risulta nel nostro caso pari a 5.33, pertanto, l'ammasso calcareo appartiene alla classe V e viene descritto nella classificazione di Barton come "mediocre".

10.1 Analisi dei risultati e giudizio sulla difficoltà di scavo

Per poter esprimere un giudizio sulla difficoltà di realizzazione dello scavo che andrà ad interessare l'ammasso calcareo, presente nell'area indagata, si è fatto riferimento ad una tabella (da Geologi e Territorio n° 2/3-2010 pagg. 3-12) in cui sono inseriti una serie di parametri, ciascuno con il proprio peso ed un valore numerico, che sommati hanno consentito di valutare quantitativamente il coefficiente di difficoltà totale dello scavo.

parametro	valutazione	peso	categorie	valore
RQD	in situ	15/100	>50 %	5
			tra 25% e 50%	5+(RQD-25)/2,5
			<25 %	15
Vp	in situ	10/100	>2000 m/s	2
			tra 1500 m/s e 2000 m/s	2+(Vp-1500 m/s)/70
			<1500 m/s	10
			<2500 N	2
tenacità	preliminare	6/100	tra 2500 N e 3200 N	2+(tenacità-2500 N)/233,33
			>3200 N	6
			<150 kPa	2
resistenza a compressione	preliminare	6/100	<200 kPa	2+(res. a compr. - 150 kPa)/12,5
			>200 kPa	6
			orizzontale	4
giacitura	preliminare	8/100	inclinata	6
			sub verticale	8
			<250	5
Q-System	in situ	15/100	<600	5+(Q-System-250)/35
			>600	15
stabilità generale	in situ	15/100	strati a reggipoggio e assenza di blocchi removibili	5
			strati a reggipoggio e presenza di blocchi removibili	10
			strati a franapoggio	15
			nulle	3
intrusioni argillose	in situ	10/100	rare	6
			frequenti	10
			basso grado	5
carsismo	in situ	15/100	medio grado	10
			alto grado	15

Tab. 4 – Tabella di valutazione dei parametri

20-30	Elevata facilità di frantumazione
30-40	Medio-bassa resistenza alla frantumazione
40-50	Medio-alta resistenza alla frantumazione
50-60	Alta resistenza alla frantumazione

Tab. 5 - Coefficiente di resistenza alla frantumazione allo scavo

13-22	Opere di sistemazione rare
23-31	Opere di sistemazione distribuite lungo lo scavo con media frequenza
32-40	Opere di sistemazione frequenti

Tab. 6 - Coefficiente per la sistemazione dello scavo

33-40	Bassissima difficoltà
41-50	Bassa difficoltà
51-60	Medio-bassa difficoltà
61-70	Media difficoltà
71-80	Medio-alta difficoltà
81-90	Alta difficoltà
91-100	Altissima difficoltà

Tab. 7 - Coefficiente di difficoltà totale dello scavo

Pertanto, il coefficiente di difficoltà relativo allo scavo da eseguire lungo il tracciato del canale artificiale, risulta pari a 80.4 da cui si avrà una medio-alta difficoltà.

Quindi la roccia interessata dagli scavi oppone una medio-alta resistenza alla frantumazione per cui idonee opere di sistemazione saranno distribuite lungo lo scavo con medio-alta frequenza.

Parametro	Scavo/sistemazione	Caratteristica	Valore
RQD	Scavo	10%	15
Vp	Scavo	<1.500 m/s	10
Tenacità	Scavo	3064 (N)	2.4
Resistenza a compressione	Scavo	78 MPa	6
Giacitura	scavo	Orizzontale	2
Q-System	Scavo	5.33	5
Totale resistenza roccia			40.4
Stabilità generale	sistemazione	Strati a franapoggio	15
Intrusioni argillose	Sistemazione	frequenti	10
Carsismo	Sistemazione	Alto grado	15
Totale sistemazione scavo			40
Totale scavo			80.4

11. CONCLUSIONI

Il presente studio ha consentito di definire compiutamente il modello geologico, geofisico, geotecnico e idrogeologico dei terreni che saranno interessati dagli interventi di salvaguardia idraulica della zona ASI di Bari-Molfetta in località Molfetta.

L'area in esame risulta subpianeggiante con debole inclinazione verso l'attuale linea di costa. Il territorio è interessato dal processo carsico, pertanto, si ha l'alternarsi di dossi (corrispondenti a cerniere di anticlinali), intervallati da forme più depresse quali le "lame", e per l'affioramento di terreni agrari rossastri.

Le risultanze geologiche e geofisiche derivanti dalle indagini dirette e indirette eseguite in loco, testimoniano la presenza, al di sotto di una sottile coltre di terreno di copertura agraria dello spessore massimo di 1.00 m di, terreni di natura calcarea fratturati e carsificati appartenenti alla formazione geologica del "Calcarea di Bari".

Dal punto di vista idrogeologico le rocce calcaree appartengono a quelle permeabili per fessurazione e per carsismo. Nel caso specifico falde d'acqua significative sono state intercettate a profondità comprese fra 2.0 e 7.0 m nei sondaggi ubicati nelle vicinanze del mare (S.11, S.12, S.13, S.14); mentre, per i restanti sondaggi la falda risulta assente o comunque situata a profondità superiori a circa 30 m, massima raggiunta con le perforazioni.

Sulla base dei valori di RQD determinati sugli spezzoni di carota integra durante le terebrazioni, la roccia indagata è risultata molto alterata e fratturata; l'utilizzo del doppio carotiere nei tratti a minore tenacità non ha comunque consentito di ottenere carote di lunghezza superiore ai 10 cm pertanto il valore complessivo dell'RQD è risultato inferiore al 25% e la roccia classificata di qualità scadente.

L'esame visivo delle carote estratte nel corso delle perforazioni ha consentito di verificare la presenza di materiale residuale di natura limo-sabbiosa che tende a riempire parzialmente o del tutto, le fratture che interessano il substrato calcareo. Tale substrato si presenta, soprattutto nella parte superiore, stratificato e alterato per carsismo.

Il fenomeno carsico si manifesta nella roccia calcarea attraverso la presenza di numerosi vuoti, che talvolta diventano vere e proprie cavità naturali, favorendo il naturale deflusso verticale delle acque di infiltrazione meteorica.

Le tomografie elettriche hanno confermato la presenza di un substrato molto fratturato con vuoti e fratture riempite in parte da terra rossa; l'analisi delle sezioni geoelettriche ha consentito di differenziare nettamente le zone molto conduttive caratterizzate da valori di resistività anche molto bassi, solitamente inferiori a 50-60 Ohm*m, da quelle poco conduttive con valori di resistività elevati solitamente superiori a 3000 Ohm*m; la forma, spesso,

pseudo circolare delle anomalie riscontrate ha confermato la presenza di cavità sotterranee (naturali) ora completamente vuote ora parzialmente riempite di terreno residuale, limoso e sabbioso.

La caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso presente nella zona a Nord-Ovest di Molfetta ed entro cui saranno realizzate le opere di fondazione del progetto di salvaguardia idraulica è stata fatta attraverso l'applicazione della classificazione RMR-System (Bieniawsky, 1989) e della classificazione GSI (Hoek et al. 1995).

In base alle risultanze ottenute dai sondaggi meccanici effettuati nell'area di indagine e delle prove di laboratorio eseguite su n° 55 campioni rimaneggiati prelevati nel corso delle perforazioni, attribuendo a ciascun parametro il relativo punteggio è stato possibile determinare un valore dell'indice $RMR_{corretto}$ pari a 36; pertanto, nella classificazione dell'ammasso roccioso secondo Bieniawsky la roccia in esame è stata collocata nella classe IV definita "SCADENTE".

Il valore GSI determinato utilizzando il valore dell'indice RMR_{base} è risultato pari a 38, confermando la qualità scadente dell'ammasso calcareo.

Calcolato il valore dell'indice RMR_{base} è stato possibile ricavare i valori di coesione efficace e di angolo di attrito interno della roccia calcarea affiorante nell'area di indagine.

Coesione efficace	0.215	MPa
Angolo di attrito interno efficace	26.5	°

Infine, sono stati ricavati i parametri rappresentativi dell'ammasso roccioso derivanti dalla sintesi dei valori ottenuti attraverso le indagini in sito e le prove di laboratorio.

Parametro	U.M.	Valore
Peso di volume (roccia intatta)	γ (Kg/m³)	2459
Resistenza a compressione uniassiale (roccia intatta)	σ_c (MPa)	78
Modulo elastico statico tang. (roccia intatta)	E_t (GPa)	62.5
Rapporto di Poisson tang. (roccia intatta)	ν	0.28
Coesione di picco (ammasso)	C_m (MPa)	0.215
Phi di picco (ammasso)	ϕ°	26.5
Modulo elastico di deformabilità	E_d (GPa)	6.68
Resistenza a compressione di ammasso	Co_m (MPa)	2.49

Dalle indagini geofisiche eseguite nell'area di indagine, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, è stato possibile determinare un valore medio della V_{S30} pari a 463 m/s, per cui i terreni presenti in loco rientrano nella categoria B:

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

I parametri sismici utili ai fini progettuali sono quelli riportati in tabella:

Sito in esame	Area a Nord-Ovest di Molfetta
Latitudine e Longitudine Altitudine	41,192402 – 16,553851 54 m s.l.m.
Classe d'uso in presenza di azioni sismiche	II
Vita nominale calcolata in base al tipo di costruzione (VN)	50 anni
Categoria sismica sottosuolo	B
Categoria Topografica	T1
Periodo di riferimento per l'azione sismica	50 anni (dato dal prodotto della Vita nominale per il Coefficiente d'uso)
Coefficiente d'uso Cu	1

Per l'individuazione del sito sono stati presi in esame le coordinate geografiche dei siti di riferimento riportati in tabella:

	ID	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Distanza (m)
Sito 1	31459	41,193920	16,547000	597,6
Sito 2	31460	41,192110	16,613370	4980,3
Sito 3	31682	41,142150	16,610910	7350,9
Sito 4	31681	41,143960	16,544580	5442,1

I valori di a_g (accelerazione orizzontale massima), riferiti agli stati limite riportati nel D.M. 14.01.2008 sono quelli indicati nella tabella che segue:

Stato Limite	Tr (anni)	a_g (g)	Fo	Tc' (s)
Operatività (SLO)	30	0,032	2,486	0,250
Danno (SLD)	50	0,040	2,530	0,292
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,122	2,478	0,405
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,172	2,493	0,408
Periodo di riferimento per l'azione sismica	50			

I valori del periodo di ritorno TR del sisma per ciascuno stato limite, sono stati ricavati dalla tabella che riporta i valori di TR espressi in funzione di VR:

Stati Limite di Esercizio (SLE)	SLO	30 anni \leq TR = 0.60 * VR
	SLD	TR = VR

Stati Limite Ultimi (SLU)	SLV	TR = 9.50 * VR
	SLC	TR = 19.50 * VR \leq 2475 anni

I valori dei coefficienti sismici relativi al terreno di categoria B, sono quelli sotto riportati:

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss (Amplificazione stratigrafica)	1,020	1,200	1,200	1,200
Cc (Coeff. Funzione categoria)	1,450	1,410	1,320	1,320
St (Amplificazione topografica)	1,000	1,000	1,000	1,000

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
Kh	0,008	0,010	0,035	0,050
Kv	0,004	0,005	0,018	0,025
amax (m/s²)	0,379	0,469	1,440	2,025
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

dove:

amax= $a_g / g * Ss * St$ è l'accelerazione massima attesa (componente orizzontale) in condizioni di campo libero sul sito di riferimento rigido (categoria A), con superficie topografica di categoria T1.

Fo= Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tc'=Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per avere utili indicazioni sulla difficoltà dello scavo che si andrà a realizzare nei terreni calcarei è stata effettuata una attenta analisi dei risultati delle varie indagini effettuate in sito e in laboratorio; ciò allo scopo di fornire ai progettisti utili informazioni sulla tipologia dei mezzi di scavo da utilizzare e sulla stabilità delle pareti della trincea drenante in progetto.

Si è fatto riferimento ad una tabella (da Geologi e Territorio n° 2/3-2010 pagg. 3-12) in cui sono inseriti una serie di parametri, ciascuno con il proprio peso ed un valore numerico, che sommati hanno consentito di valutare quantitativamente il coefficiente di difficoltà totale dello scavo.

parametro	valutazione	peso	categorie	valore
RQD	in situ	15/100	>50 %	5
			tra 25% e 50%	$5+(RQD-25)/2,5$
			<25 %	15
Vp	in situ	10/100	>2000 m/s	2
			tra 1500 m/s e 2000 m/s	$2+(Vp-1500 \text{ m/s})/70$
			<1500 m/s	10
tenacità	preliminare	6/100	<2500 N	2
			tra 2500 N e 3200 N	$2+(\text{tenacità}-2500 \text{ N})/233,33$
			>3200 N	6
resistenza a compressione	preliminare	6/100	<150 kPa	2
			<200 kPa	$2+(\text{res. a compr.} - 150 \text{ kPa})/12,5$
			>200 kPa	6
giacitura	preliminare	8/100	orizzontale	4
			inclinata	6
			sub verticale	8
Q-System	in situ	15/100	<250	5
			<600	$5+(Q\text{-System}-250)/35$
			>600	15
stabilità generale	in situ	15/100	strati a reggipoggio e assenza di blocchi removibili	5
			strati a reggipoggio e presenza di blocchi removibili	10
			strati a franapoggio	15
intrusioni argillose	in situ	10/100	nulle	3
			rare	6
			frequenti	10
carsismo	in situ	15/100	basso grado	5
			medio grado	10
			alto grado	15

Nel caso specifico, il coefficiente di difficoltà relativo allo scavo da eseguire lungo il tracciato del canale artificiale, è risultato pari a 80.4 da cui scaturisce una medio-alta difficoltà.

Quindi la roccia interessata dagli scavi opporrà una medio-alta resistenza alla frantumazione pertanto idonee opere di sistemazione saranno distribuite lungo lo scavo con medio-alta frequenza.

Dal punto di vista idrogeologico, è bene precisare che nel territorio del Comune di Molfetta non ci sono corsi d'acqua significativi ma è solcato da impluvi naturali denominati "lame" più o meno incise, perpendicolari alla linea di costa che terminano in prossimità dello sbocco nel mare con le "cale".

L'Autorità di Bacino della Regione Puglia, nell'ambito delle sue competenze e della sua funzione di approfondimento delle tematiche relative alla difesa dal rischio idrogeologico, ha individuato una serie di reticoli interferenti con la zona gestita dal Consorzio ASI.

I reticoli interferenti, che costituiscono il complesso della "Lama Nord" si riconducono, a partire da nord verso sud, a "Lama dell'Aglio", "Lama Savorelli ", "Lama Marcinase" e dalla "Lama Scorbeto" che lambisce la zona PIP del Comune di Molfetta.

L'autorità di bacino della Puglia in seguito a successivi approfondimenti e valutazioni di tipo idrico - morfologico, ha individuato situazioni di pericolosità idraulica connesse all'idrografia del territorio e di conseguenza ha perimetrato nella zona "aree ad elevata pericolosità idraulica".

Date le condizioni morfologiche praticamente pianeggianti dell'area, la mancanza di veri e propri corsi d'acqua e l'inefficacia del sistema di smaltimento delle acque meteoriche da parte delle lame descritte, nella zona oggetto di indagine, sono frequenti, soprattutto, durante la stagione autunnale e quella invernale, allagamenti e pericolose esondazioni che arrecano notevoli danni alle colture ma, soprattutto, limitano fortemente l'utilizzo del già precario sistema infrastrutturale esistente e rallentano l'attività di numerose aziende artigianali ed industriali che operano nella zona ASI di Molfetta.

Pertanto, il progetto di salvaguardia idraulica, redatto dai tecnici dell'ASI di Bari, basato sulla deviazione a monte delle lame dell'Aglio, Savorelli, e Lama Marcinase, in unico canale deviatore passante come recapito finale nella zona sud-est dell'agglomerato industriale e precisamente ai margini della zona PIP di Molfetta, fino allo sbocco a mare nella località "Cala S. Giacomo", ripercorrendo il reticolo idrografico

della Lama Scorbeto, risulta valido dal punto di vista geologico e idrogeologico e consentirà di ridurre drasticamente il rischio idraulico.

Con il termine rischio idraulico si intende il rischio che si presenta sul territorio al manifestarsi di eventi climatici di eccezionale portata ed intensità (pioggia e neve), che possono provocare tracimazione dei corsi d'acqua o rotture arginali, e ai danni che essi producono su persone e cose.

In termini di pianificazione il rischio idraulico si esprime appunto come il prodotto tra: la probabilità del verificarsi di una inondazione e il danno potenziale che essa potrà arrecare, a sua volta rappresentato dalla combinazione del valore che attribuiamo ai beni coinvolti, con la loro attitudine ad essere più o meno danneggiati (vulnerabilità).

Il progetto in itinere riguarda, in particolare, la realizzazione di un canale in cemento armato a sezione costante che avrà inizio dai margini della zona PIP di Molfetta fino allo sbocco a mare e precisamente in prossimità della Cala San Giacomo, luogo in cui si raccolgono tutti i bacini idrografici dell'area interessata all'intervento.

I terreni entro cui si andrà a realizzare il canale appartengono alla formazione geologica del Calcere di Bari; nel complesso l'ammasso calcareo presente in loco ha qualità geotecniche scadenti tuttavia si dovrà tenere conto in fase di progettazione esecutiva della difficoltà di

scavo medio-alta che comunque questi terreni oppongono all'escavazione, mediante l'uso del martellone.

Si precisa che tutti i materiali di scavo rinvenuti dalle opere e dai lavori in questione, saranno recuperati per la formazione di rilevati stradali e delle arginature dei canali posti a monte dell'agglomerato industriale ai sensi del D.M. 161/2012.

Matera, ottobre 2013

Il geologo

Dr. Angelo CAPODILUPO