



Settore III - Territorio

## **Nuovo Piano per Insedimenti Produttivi in Ampliamento**

Progettisti:

ing. Flavio Mastropasqua

arch. Maria Gerolama Altomare

Rilievi in sito:

geom. Giuseppe Introna

Geologo:

dott. Mauro Palombella

Relazione Preliminare Ambientale:

ing. Michele de Pinto

Responsabile Unico del Procedimento

ing. Alessandro Binetti

Tecnico del Settore Territorio:

geom. Luciano Mezzina

Supporto Ufficio di Pianificazione:

ing. Mario Emilio de Gennaro

geom. Alessandro de Robertis

**Relazione geologica**

---

**G**

Marzo 2020

---

l'Assessore all'Urbanistica  
Pietro Mastropasqua

il Sindaco  
Tommaso Minervini

---

# COMUNE DI MOLFETTA

NUOVO PIANO PER INSEDIAMENTI PRODUTTIVI NELLA ZONA D/1N DEL PRGC.

## RELAZIONE GEOLOGICA

---

Descrizione	Data	Numero pagine	Redatto
Relazione geologica	23/03/2020	117	Palombella Mauro

### *STUDIO TECNICO DI GEOLOGIA*

**Ambiente & Risorse Geologiche**

70056 Molfetta (BA) – Corso Umberto, 94 - C.F. PLMMRA63A12F284A – P.I. 07072440725

Telefono +39 349 1599374 - e-mail: [maupalombella@virgilio.it](mailto:maupalombella@virgilio.it)

*Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

## INDICE

Premessa.....	4
Ubicazione dell'area .....	6
Inquadramento geologico e morfologico .....	9
Piano di bacino stralcio per l'assetto idrogeologico (P.A.I.).....	17
Lineamenti idrogeologici .....	19
Modello geologico .....	21
Sismicità.....	23
Pericolosità sismica.....	24
Caratterizzazione Geotecnica.....	39
Considerazioni conclusive .....	108

## *Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

### PREMESSA

Lo scrivente, ha ricevuto **dal Comune di Molfetta** incarico per la redazione della seguente relazione specialistica.

Pertanto, ha definito e condotto una campagna di indagini geologiche e geofisiche, al fine di definire l'assetto geologico dell' area oggetto del nuovo piano per insediamenti produttivi nella zona D/1N del PRGC, nonché per acquisire i parametri utili alla caratterizzazione geotecnica dell'area investigata.

La campagna di indagini realizzata è consistita nell'esecuzione di:

- indagini geofisiche in situ, attraverso il metodo MASW e sismica a RIFRAZIONE, al fine di acclarare l'assetto morfologico e geo-litologico dell'area.

In ottemperanza alla normativa vigente (**Legge N. 64 del 2 Febbraio 1974** (e successivi aggiornamenti, **artt. 1 e 13**; **D.M. del 11 Marzo 1988 n° 47** - regolamento ed istruzioni emanate dal **Ministero dei LL.PP.**, con circolare del **3 Giugno 1981, N. 21597**), sono stati effettuati rilievi diretti e indiretti ed è stato fatto riferimento a conoscenze bibliografiche.

Lo scrivente, per il progetto di che trattasi, nel far riferimento ai dati della cartografia geologica ufficiale ed alle note scientifiche pubblicate in letteratura specifica, relativamente alle formazioni affioranti nel territorio di Molfetta, ha ritenuto opportuno consultare, anche, relazioni geologico - tecniche già eseguite per studi di piani territoriali o per la costruzione di edifici pubblici o privati, che hanno interessato la zona di studio, quali utili strumenti di orientamento e correlazione.

Di seguito sono riportati le principali fonti di studio e di indagine utilizzate per redigere la presente relazione:

- rilevamento geologico;
- prospezione geosismica (Vs30 equivalente in base al D.M. 17.01.2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni);
- carta geologica ufficiale e note scientifiche pubblicate in letteratura specifica.

*Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

I risultati delle indagini e dei calcoli geotecnici completano lo studio geologico-geotecnico e ne costituiscono parte integrante.

Lo studio geologico e la caratterizzazione geotecnica è stato articolato secondo lo schema consigliato dalle normative vigenti, con riferimento alle norme ed alle istruzioni del:

- D.M. 21.3.1988 n° 47;
- D.M. 20.3.03 n° 3274;
- D.M. 14.01.2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni);
- D.M. 17.01.2018 (Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»).

La variabilità dell'alterazione di origine carsica, la presenza di prodotti di tale alterazione ("terre rosse") e la possibilità della presenza di cavità, evidenzia la necessità di considerare l'alta probabilità di una variabilità spaziale delle caratteristiche geomeccaniche in questo tipo di formazioni rocciose, per cui tutti gli edifici che si realizzeranno in questa area dovranno eseguire specifiche indagini geognostiche in sito e tutti gli accertamenti mirati ad individuare le caratteristiche geomeccaniche di dettaglio del singolo sito. La seguente relazione è necessariamente solo indicativa e non esaustiva in riferimento alle singole realizzazioni che saranno realizzate.

Ai fini delle valutazioni di fattibilità territoriale, geologica, è stato analizzato, in particolare, l'area perimetrata in relazione alle litologie prevalenti che affiorano nel suddetto sito e nelle aree circostanti così come riportate nella cartografia geologica ufficiale scala 1:100.000 del foglio n° 177 Bari e nella cartografia tematica regionale.

## UBICAZIONE DELL'AREA

Le aree oggetto di studio ricadono nella Tavoletta IGM "Molfetta" IV SO del F° 177 della Carta d'Italia (Fig. 1).

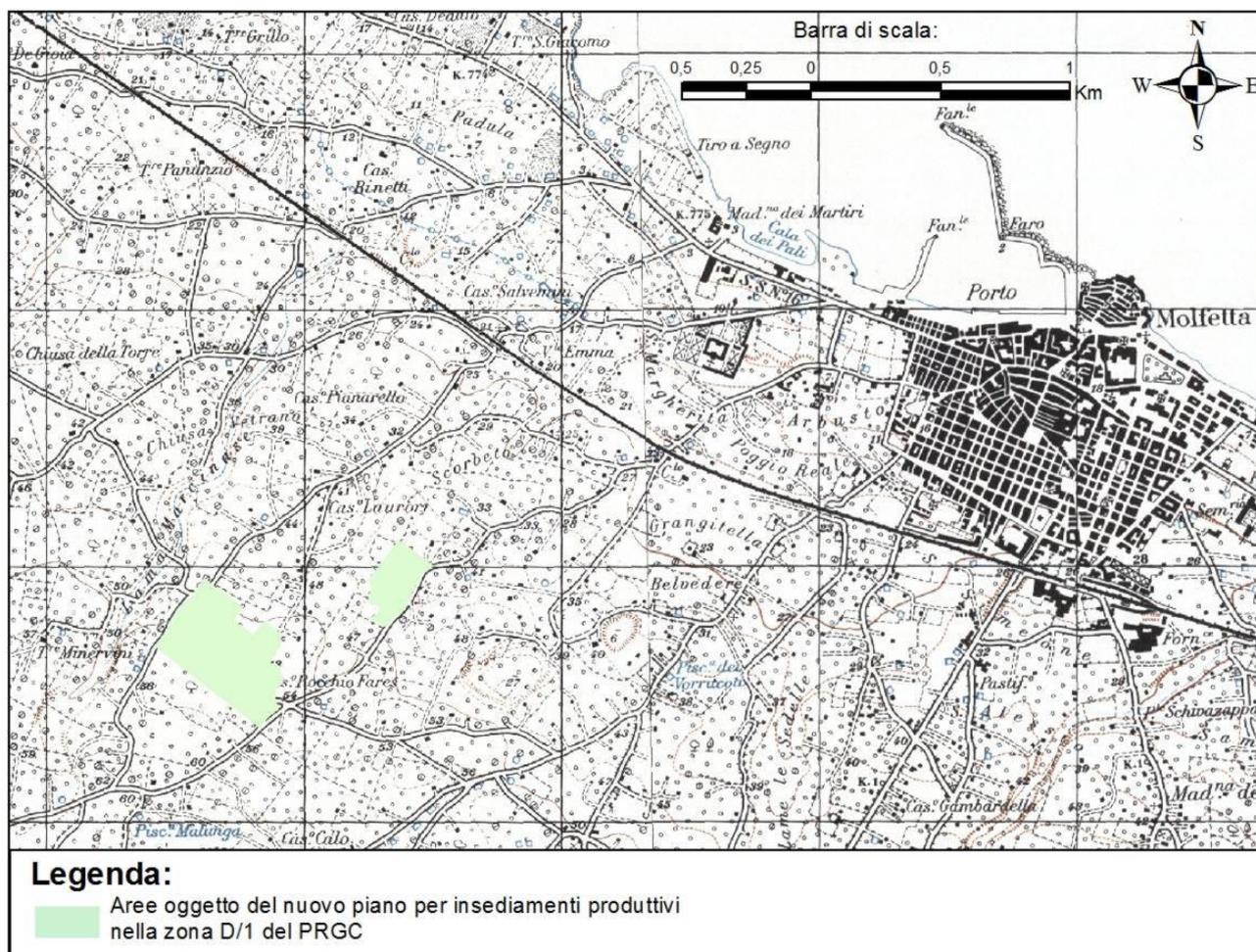


Fig.1 ubicazione del sito.

## *Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

Esse si trovano nella zona Sud-orientale della Zona Artigianale e P.i.P. esistente del Comune di Molfetta a Sud di Via degli Scalpellini; delimitate a Est dalla Strada vicinale Fondo Favale. L'area più grande (Area 1) ha una quota media di circa 48 mt. mentre l'altra (Area 2) ha una quota media di circa 43 mt.



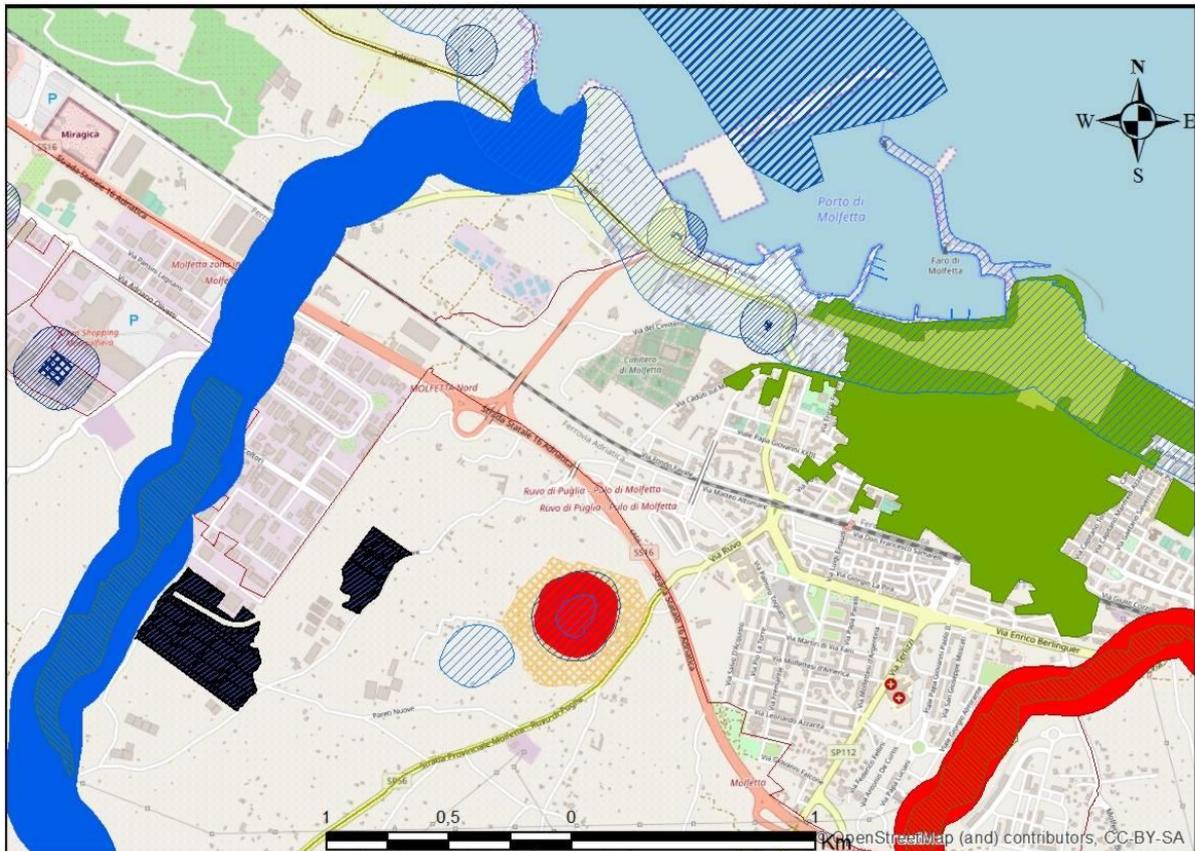
**Fig.2** indicazione dell' area di studio.

Di seguito è stata riportata l'ubicazione del sito rispetto al Piano Paesaggistico Tematico Regionale (PPTR).

# Dr. Geol. Mauro Palombella

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

- PPTR Approvato [Clicca qui](#) (Stralcio del PPTR con ubicazione del Sito):

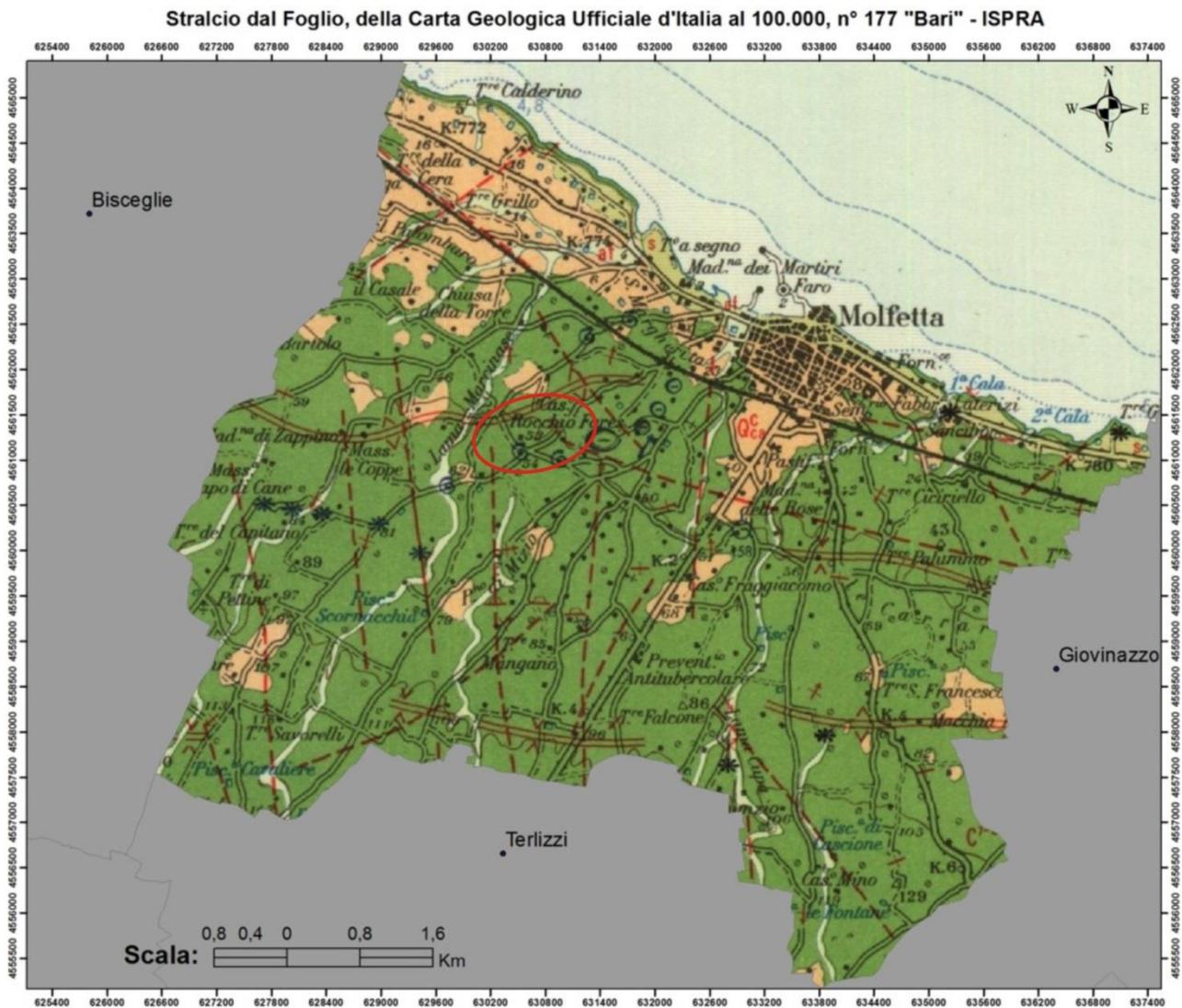


## Legenda:

	Sito		Formazioni arbustive in evoluzione naturale
	Lame e gravine		Aree di rispetto dei parchi e delle riserve regionali
	Doline		Immobili e aree di notevole interesse pubblico
	Geositi (fascia tutela)		Zone gravate da usi civici validate
	Inghiottitoi		Zone gravate da usi civici
	Cordoni dunari		Zone di interesse archeologico
	Grotte		a - siti interessati da beni storico culturali
	Versanti		b - aree appartenenti alla rete dei tratturi
	Territori costieri		c - aree a rischio archeologico
	Aree contermini ai laghi		Rete tratturi
	Fiumi e torrenti, acque pubbliche		Siti storico culturali
	Sorgenti		Zone interesse archeologico
	Reticolo idrografico di connessione della R.E.R.		Citta consolidata
	Vincolo idrogeologico		Paesaggi rurali
	Boschi		Luoghi panoramici
	Zone umide Ramsar		Luoghi panoramici (poligoni)
	Aree di rispetto dei boschi		Strade a valenza paesaggistica
	Aree umide		Strade a valenza paesaggistica (poligoni)
	Prati e pascoli naturali		Strade panoramiche
			Coni visuali

## INQUADRAMENTO GEOLOGICO E MORFOLOGICO

Il territorio amministrativo del Comune di Molfetta, in base alla suddivisione in Fogli della Carta Geologica Ufficiale d'Italia in scala **1 : 100.000**, ricade interamente nel **Foglio n. 177 "Bari"**.



Area di studio

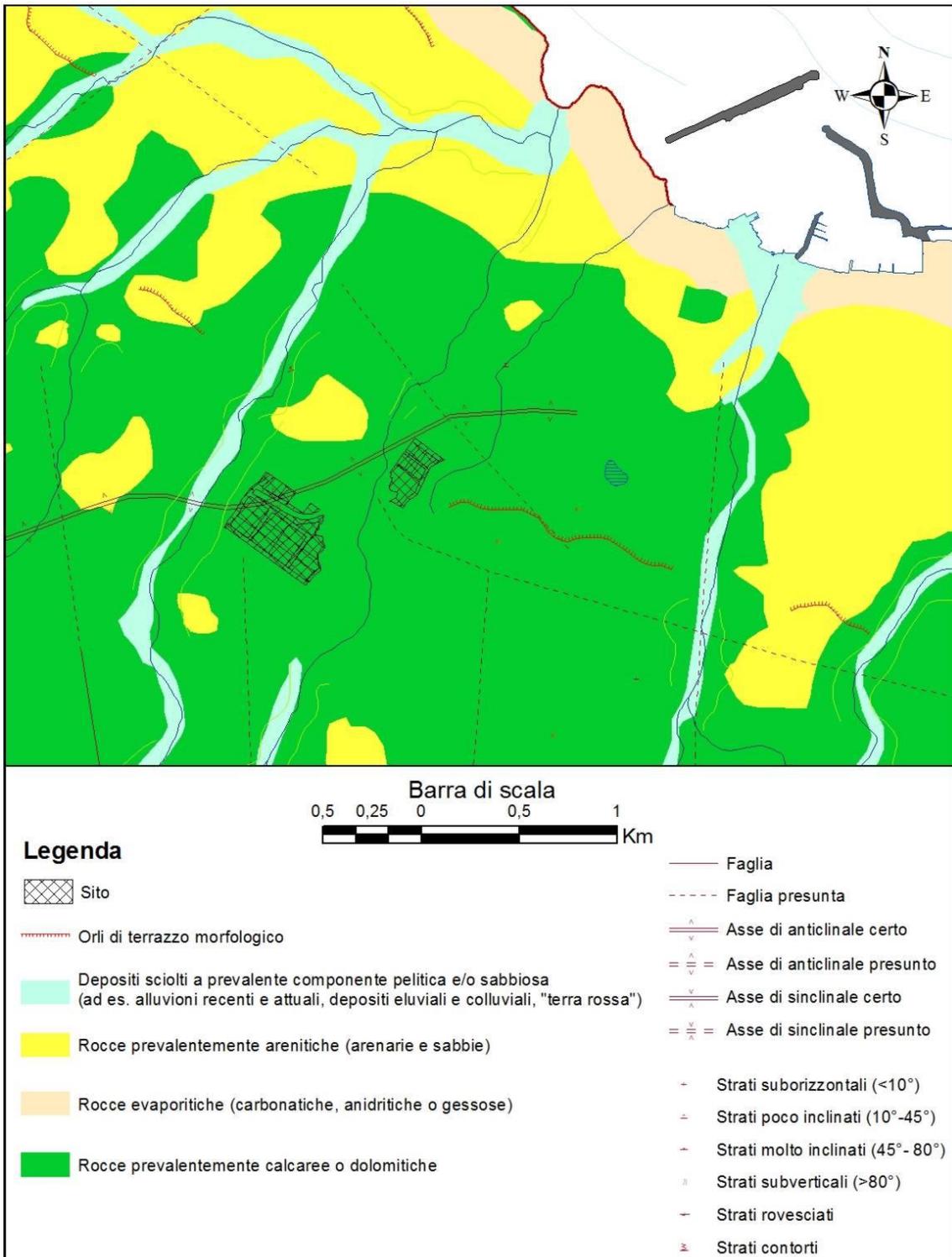
- Depositi travertinoidi ("crosta") e lembi di panchina (fascia litoranea fra Bisceglie e Bari). OLOCENE.
- Depositi alluvionali terrosi e ciottolosi, sul fondo dei solchi rovisi delle Murge ("lame") e, in terrazze, sui fianchi di questi solchi. OLOCENE-PLEISTOCENE SUPERIORE.
- Depositi calcareo-arenacei e calcareo-arenaceo-argillosi più o meno cementati, bianchi o giallastri, con frequenti livelli fossiliferi (ad *Ostrea* sp., *Pecten* sp., ecc.) e orizzonti di marne argillose (dintorni di Binetto, Ruvo, Terlizzi); in lembi residui su piattaforme di abrasione via via più recenti verso la costa. PLEISTOCENE. TUFİ DELLE MURGE.

Calcarei detritici, generalmente in strati e talora in banchi, o lastriformi ("chiancarelle"); calcari dolomitizzati e dolomie con un livello di breccia calcareo-dolomitica a cemento dolomitico; calcari massicci o in banchi a: *Chondrodonta* cfr. *joannae* (CHOFF.), *Apriscardia laevigata* (D'ORB.), *Caprina* sp., *Caprinula* sp., *Sauvagesia* sp., *S. sharpei* (BAYLE), *Durania araudi* (CHOFF.), *Nerinea* cfr. *Pseudo-nobilis* CHOFF., *Cuneolina pavonia parva* HENSON, *Nezzazata simplex* OMARA, *Nummuloculina heimi* BONET, Turoniano-Cenomaniano (livelli "Toritto" e "Sannicandro"); *Eoradiolites davidsoni* (HILL), *E. murgensis* TORRE, *Orbitolinidae* (*Coskinolina sunnilandensis* MAYNC, *C. adkinsi* BARKER, ecc), Albiano (livello "Palese"); *Toucasia* cfr. *carinata* (MATH.), *T. trasversa* PAQUIER, *Agria* sp., *Orbitolina* sp., *Cuneolina camposauri* SART. E CRESC., *C. laurenti* SART. E CRESC., *Bacinella irregularis* RAD., *Salpingoporella dinarica* RAD., Aptiano-Barremiano (livello "Corato"). TURONIANO-BARREMIANO. CALCARE DI BARI.

## Dr. Geol. Mauro Palombella

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

Recentemente la Regione Puglia, tramite l'Autorità di Bacino della Puglia, ha redatto una carta definita "Idrogeomorfologica". In quest'ultima carta i redattori hanno dato una interpretazione spiccatamente litologica partendo dalle formazioni geologiche; di seguito si riporta uno stralcio:



*Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

Il territorio in cui ricade il **Sito oggetto di indagine** è costituito da un potente basamento calcareo CRETACEO riferibile al gruppo dei CALCARI DELLE MURGE:

La formazione più antica che affiora nell'area è il CALCARE DI BARI.

Questo complesso carbonatico raggiunge spessori dell'ordine di 2000 metri ed è costituito da una potente serie di strati e/o banchi in prevalenza detritici , talora a grana fine e microcristallina di colore biancastro.

Sovrapposta al CALCARE DI BARI si rinviene a , la formazione delle CALCARENITI DI GRAVINA del PLIOCENE MEDIO (?) -PLEISTOCENE INF. , bianche o giallastre più o meno cementate (localmente dette "TUFII CALCAREI" ). Nel F° 177 Tufi delle Murge.

Su queste troviamo i depositi trasgressivi quaternari ampiamente diffusi nel territorio barese e localmente costituiti da sabbie calcareo-quarzose , gialle o rossastre , con straterelli cementati.

Nel fondo dei solchi erosivi ("Lame") si rinvergono spesso dei depositi continentali di facies alluvionale , costituiti da terre argillose bruno-rossastre a volte ciottolosi la cui età è riferibile all'OLOCENE.

**La roccia calcarea , può essere soggetta a fenomeni più o meno estesi di alterazione carsica sviluppatasi in corrispondenza di accidenti strutturali di vario genere che favoriscono una più rapida dissoluzione delle rocce ad opera delle acque di circolazione sia sotterranea che superficiali.**

Questo fenomeno non va mai sottovalutato in quanto causa nel sottosuolo di cavità più o meno ampie e/o sacche di terreni residuali.

La successione cretacea forma una estesa struttura monoclinale interessata da una tettonica di tipo plicativo (pieghe blande) e disgiuntivo (faglie dirette).

Nell'area murgiana la dislocazione dei blocchi ha originato una estesa struttura a gradinata orientata da NW a SE ed E-W.

## *Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

Le strutture disgiuntive risultano impostate su più antiche ed attenuate deformazioni plicative con prevalenti direzioni E-W e WNW-ESE , la più importante delle quali corrisponde a un'anticlinale con culminazione lungo il margine adriatico , esteso da Andria a Ostuni.

Generalmente gli strati del Calcere di Bari immergono in prevalenza a SSW con inclinazioni variabili fra i 5° ai 15°.

L'area oggetto di studio è parte di un territorio generalmente subpianeggiante , con lieve declivio verso il mare , in direzione NE.

In questo dominio geologico, sono presenti terrazzi marini plio-pleistocenici , posti a quote diverse e subparalleli alla linea di costa oltre a numerosi solchi erosivi chiamati "Lame" testimonianza di paleoalvei riattivabili in casi di eventi meteorici eccezionali.

Generalmente gli elementi morfologici minori (rilievi e depressioni) sono da mettere in relazione con strutture tettoniche.

Il territorio circostante può presentare macroforme di dissoluzione carsica ("Doline").

I caratteri geomorfologici dell'area in esame vanno letti nel contesto generale del paesaggio a cui appartengono: **"Il Paesaggio carsico pugliese"**.

Le Murge corrispondono ad un esteso altopiano allungato in direzione NW-SE avente la superficie sommitale caratterizzata da un susseguirsi di dossi e depressioni di origine carsica.

Ai margini del rilievo murgiano si distinguono i piani allungati parallelamente alla costa corrispondenti ad una serie di terrazzi marini dei quali alcuni sono ben distinguibili nel territorio di Molfetta.

**I terrazzi** individuati nel territorio murgiano sono nel complesso sedici, corrispondenti ad altrettanti episodi sedimentari. I più antichi si ritrovano a quote di 360-375 metri, i più recenti sono prossimi alle quote di 5-10 metri s.l.m.. Detti ripiani disposti a gradinata, sono delimitati verso mare da scarpate corrispondenti a ripe di abrasione, che in alcuni casi possono essere

*Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

gradini di faglia poi elaborati in modo più o meno intenso dall'azione del mare che ha fatto arretrare gli originari piani di faglia subverticali.

In un paesaggio carsico **l'idrologia** del territorio è caratterizzata dall'assenza di corsi d'acqua superficiale. Infatti, la costituzione litologica del substrato non consente la presenza di corsi d'acqua perenni, tuttavia nel territorio murgiano solchi erosivi, in pratica corrispondenti a valli morte, sono numerosi e costituiscono un reticolo assai denso, che a luoghi presenta una evidente gerarchizzazione. Nel territorio di Molfetta si riconoscono alcuni di questi, localmente chiamati "lame".

**Le lame** costiere sono delle incisioni dal fondo piatto e dai fianchi subverticali, giungono fino al mare seguendo un percorso perlò più perpendicolare alla linea di costa da SW a NE, che a luoghi mostrano brusche variazioni di direzione o andamento meandriforme. Le più estese presenti nel territorio di Molfetta hanno origine all'altezza dei comuni di Terlizzi e Ruvo di Puglia .

Esse, individuatesi in tempi remoti, sono attualmente inattive per la maggior parte dei mesi dell'anno. Comunque costituiscono le naturali linee di impluvio e pertanto possono convogliare notevoli quantità di acqua durante i periodi di intensa piovosità, causando notevoli danni e disagi. A tale riguardo si ricorda L'evento pluviometrico che ha interessato principalmente i comuni di Ruvo di Puglia, Corato, Molfetta, Terlizzi, e Bisceglie nel luglio 2016 durante il quale le piogge hanno fatto registrare cumulati di circa 100 mm alla stazione di Ruvo di Puglia, 60 mm a Bisceglie, 50 mm a Corato e in particolare ha interessato le lame Marcinase, Savorelli, Dell'Aglio che hanno causando allagamenti diffusi, cedimento di muri di sostegno e interruzioni della viabilità, con notevoli disagi per la popolazione e danni alle aziende. Come si legge nel Report d'evento stilato dalla Sezione di Protezione Civile della Regione Puglia, L'analisi dell'evento ha messo in evidenza che le precipitazioni cadute a Ruvo di Puglia hanno tempi di ritorno mediamente compresi tra 50 e

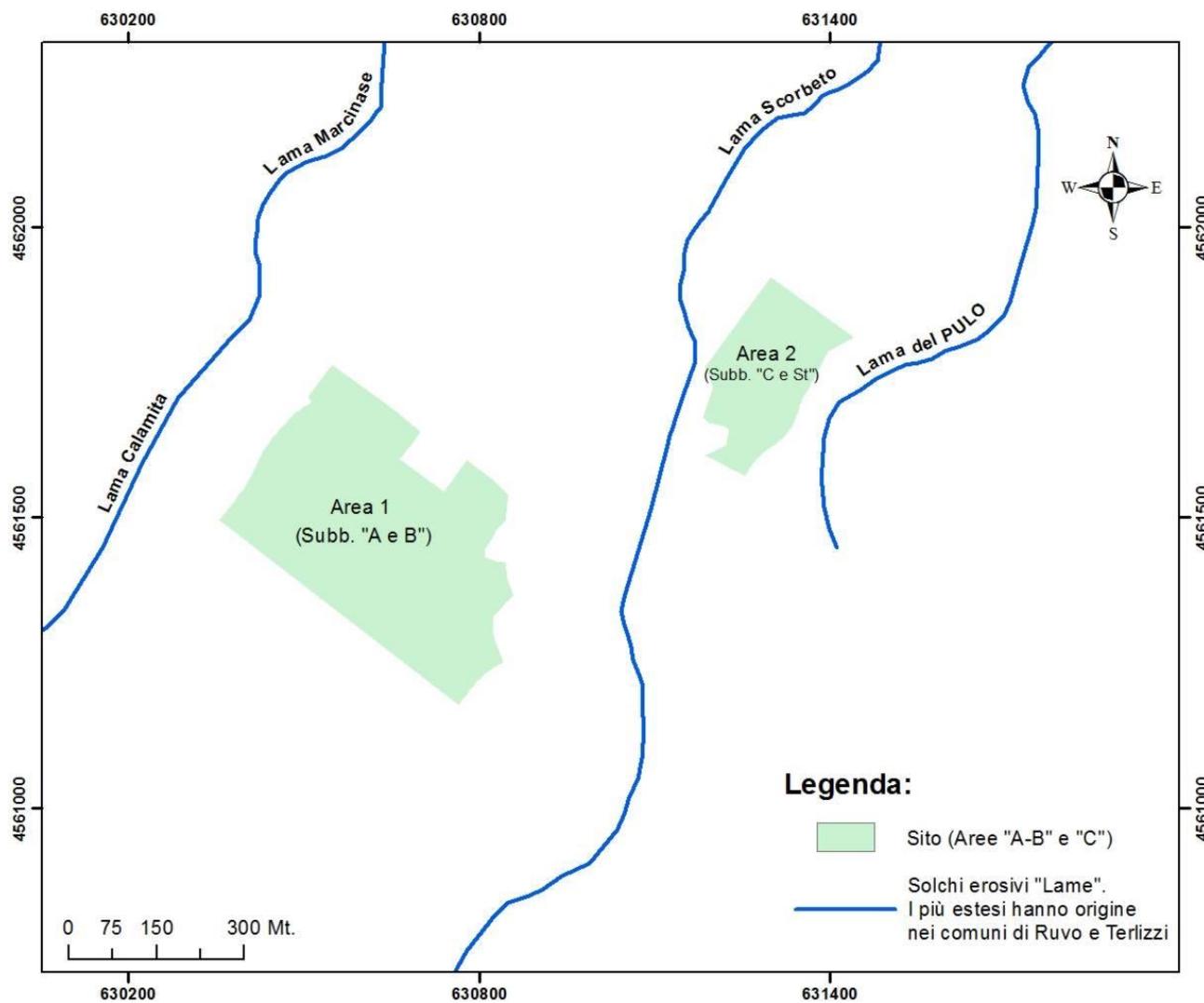
*Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

100 anni. Pertanto, sotto il profilo della Protezione Civile, l'area oggetto di studio è considerata, sotto il profilo idraulico, a minor sostenibilità ambientale.

Le maggiori "Lame" che attraversano il territorio di Molfetta hanno origine nell'entroterra, in corrispondenza delle limitrofe città di Terlizzi e Ruvo di Puglia a partire da una quota di circa 200 metri giungendo al mare seguendo un percorso in direzione prevalente SSW-NNE. Alcuni segmenti erosivi minori non giungono al ripiano sottostante e sboccano dopo poco in piccole depressioni alluvionali endoreiche. Durante il loro percorso assumono vari nomi a seconda delle zone che attraversano; Nell'area amministrativa di Molfetta procedendo da ovest verso est i più evidenti solchi erosivi sono i seguenti: "lama dell'aglio", "lama Marcinase", "lama del Pulo", "lame le sedelle" e "lama Cupa" la quale nella parte terminale prende il nome di "lama Martina", individuata nel PRGC come "lama di levante".



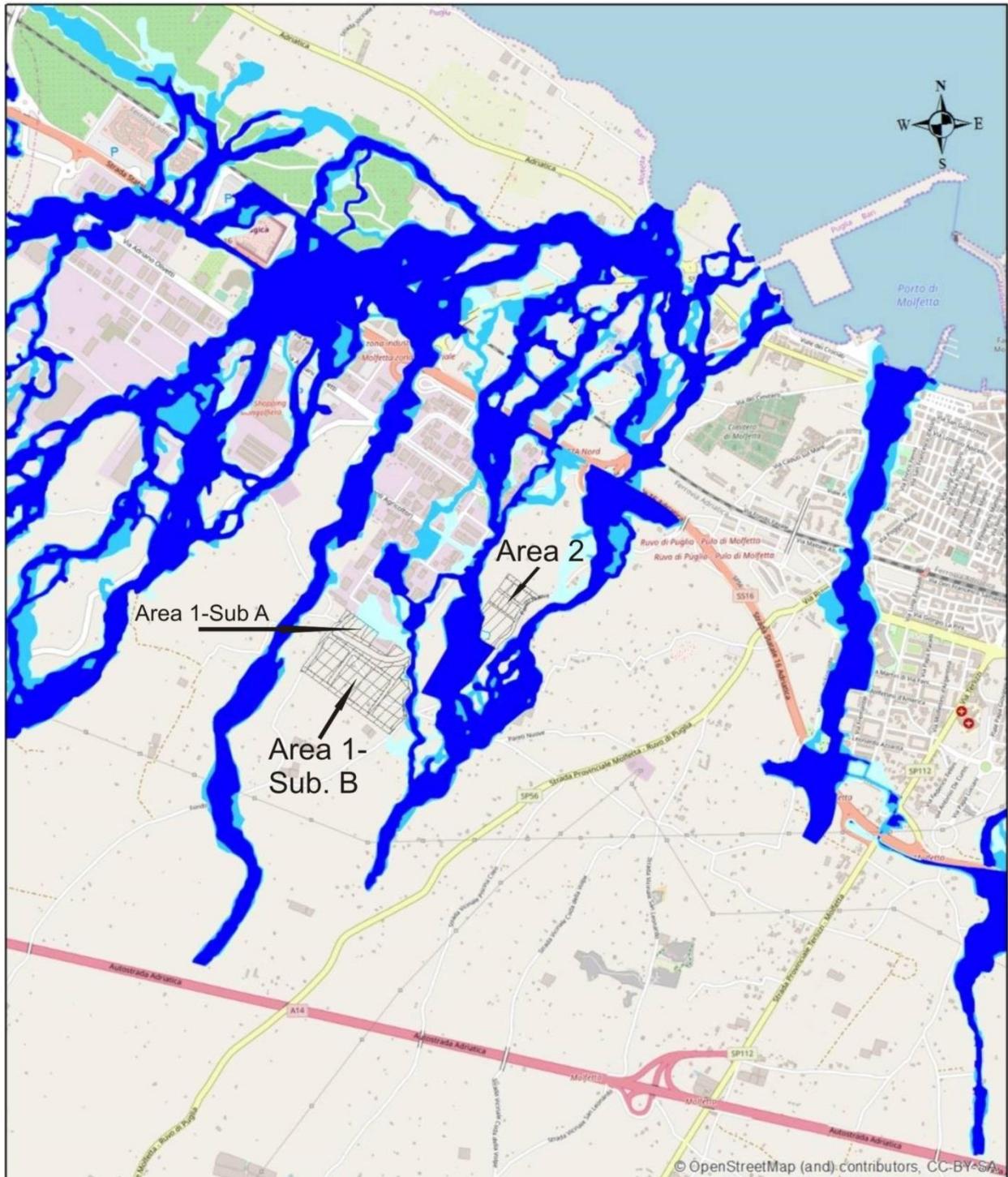


Come si può notare dal su riportato dettaglio l'Area "1" è compresa fra la "lama Calamita che più a valle assume il nome di Lama Marcinase ad Ovest e la Lama Scorbeto a Est; mentre l'Area "2" è compresa fra la "Lama Scorbeto" a Ovest e la "Lama del Pulo" ad Est.

Il reticolo idrografico presente in questa zona è stato analizzato e studiato dall'Autorità di Bacino della Puglia da un punto di vista di Pericolosità idraulica. Pertanto, nel Piano di Bacino Stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI) sono state perimetrare le aree di pericolosità idraulica riguardanti tali lame. nel paragrafo successivo è riportato lo stralcio del PAI che riguarda l'area oggetto di studio.

PIANO DI BACINO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.)

- P.A.I. con perimetri aggiornati il 19-11-2019 (stralcio dal [WebGIS](#) PAI dell'AdB Puglia) :



**Legenda**

PERICOLOSITÀ  
INONDAZIONE

 Sito

 AP  
 MP  
 BP

Barra di scala

0 0,25 0,5 1 1,5 2 Km

*Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

**Il “Sub. A” dell’Area 1, come si evince dalla su riportata figura, ricade parzialmente all'interno di aree a Bassa Pericolosità Idraulica del Piano per l’Assetto idrogeologico della Regione Puglia, pertanto in tali aree si potranno realizzare solo interventi che rispettano l’Art. 9 delle Norme Tecniche di Attuazione del P.A.I. Puglia.**

**Il “Sub. B” dell’Area 1 e l’Area 2 invece confinano con la Perimetrazione idraulica ma non l’intersecano.**

## LINEAMENTI IDROGEOLOGICI

Il territorio è caratterizzato dall'assenza di corsi d'acqua superficiali, e ciò va ascritto sia a motivi climatici che alle condizioni strutturali del basamento calcareo; infatti il calcare da origine ad una cospicua circolazione idrica sotterranea che si instaura nelle soluzioni di continuità create dal fenomeno carsico stesso.

La creazione di soluzioni di continuità nel basamento roccioso può spingersi fino a notevole profondità e ciò crea volumi di vuoti disponibili per lo stoccaggio delle acque e quindi per la formazione di una falda idrica.

L'area in esame, sotto l'aspetto idrogeologico, appartiene alla cosiddetta "Idrostruttura delle Murge", isolata dalle altre idrostrutture presenti nella Regione Puglia.

Essa costituisce un vasto e potente serbatoio, sede della falda idrica profonda, in cui si accumulano le acque sotterranee, occupando gli orizzonti più fratturati e carsificati che conferiscono all'ammasso una permeabilità "per carsismo" o "in grande".

L'acquifero murgiano è caratterizzato da una permeabilità d'insieme piuttosto bassa estremamente variabile sia in senso verticale sia orizzontale con valori compresi tra  $10^{-2}$  e  $10^{-5}$  cm/s.

La falda idrica profonda è sostenuta dall'acqua marina di ingressione e la separazione tra i due corpi idrici è costituita da un'interfaccia (zona di transizione) avente uno spessore molto variabile.

La falda di base trae alimentazione dalle precipitazioni meteoriche che cadono diffusamente su tutto il territorio murgiano; la ricarica della stessa avviene attraverso vie preferenziali d'infiltrazione dell'acqua meteorica rappresentate da fratture e forme carsiche (inghiottitoi) che in più punti costellano le aree d'affioramento dei calcari del Cretaceo.

*Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

Nell'area in esame la situazione idrogeologica è piuttosto complessa e si può così schematizzare: la parte più profonda della falda è costituita da acqua marina di ingressione continentale, essa è presente in tutto il basamento calcareo dell'intera Murgia; il pelo libero di questa "falda salata" si deprime man mano che si addentra nel basamento roccioso con un gradiente medio di circa 15 metri per ogni Km di distanza dalla linea di costa.

Tale falda salata rappresenta il substrato su cui "galleggia" la falda dolce di origine meteorica, che si infiltra in profondità nel basamento roccioso finché non incontra la falda salata sopra la quale si ferma essendo meno densa.

Lo spessore della falda dolce è variabile in rapporto alla piovosità, al periodo dell'anno nel quale si fanno le rilevazioni, e all'eventuale emungimento; anche la distanza dalla linea di costa entra in gioco a determinare lo spessore della falda dolce ed infatti tale spessore è inversamente proporzionale alla distanza dal mare.

L'interfaccia acqua dolce – acqua salata in uno stesso luogo è variabile in rapporto allo spessore della falda dolce soprastante, infatti più è spessa la falda dolce più profonda è la posizione di tale interfaccia.

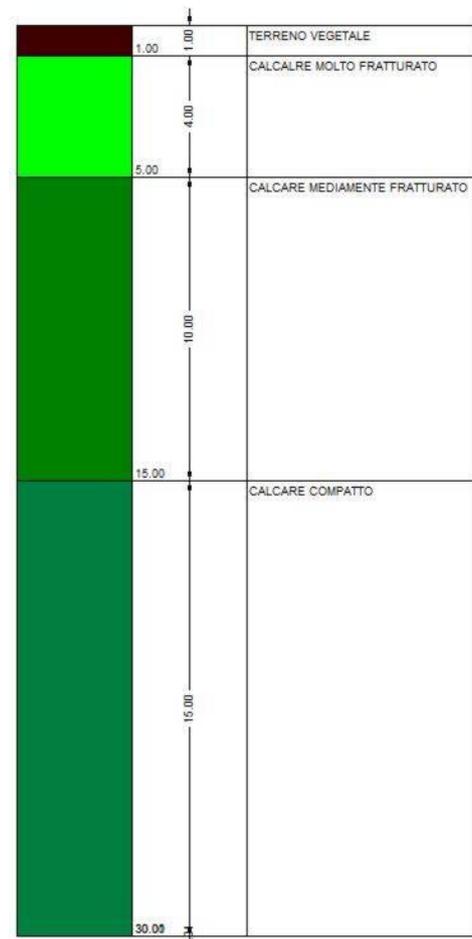
## MODELLO GEOLOGICO

Il modello geologico è stato desunto attraverso il rilevamento geologico di dettaglio della zona, oltre che dalla considerazione sulle caratteristiche elastiche dei terreni ottenute dai risultati delle indagini sismiche realizzate. Al di sotto di uno spessore di circa 1,00 m di terreno vegetale, sono stati distinti tre livelli di rocce con caratteristiche geomeccaniche distinte:

- TERRENO VEGETALE: CIRCA 1,00 m di spessore;  
PRIMO LIVELLO : CALCARE MOLTO FRATTURATO;  
SECONDO LIVELLO: CALCARE MEDIAMENTE FRATTURATO;  
TERZO LIVELLO: CALCARE COMPATTO.

Di seguito si riporta l'interpretazione stratigrafica dell'Area di studio:

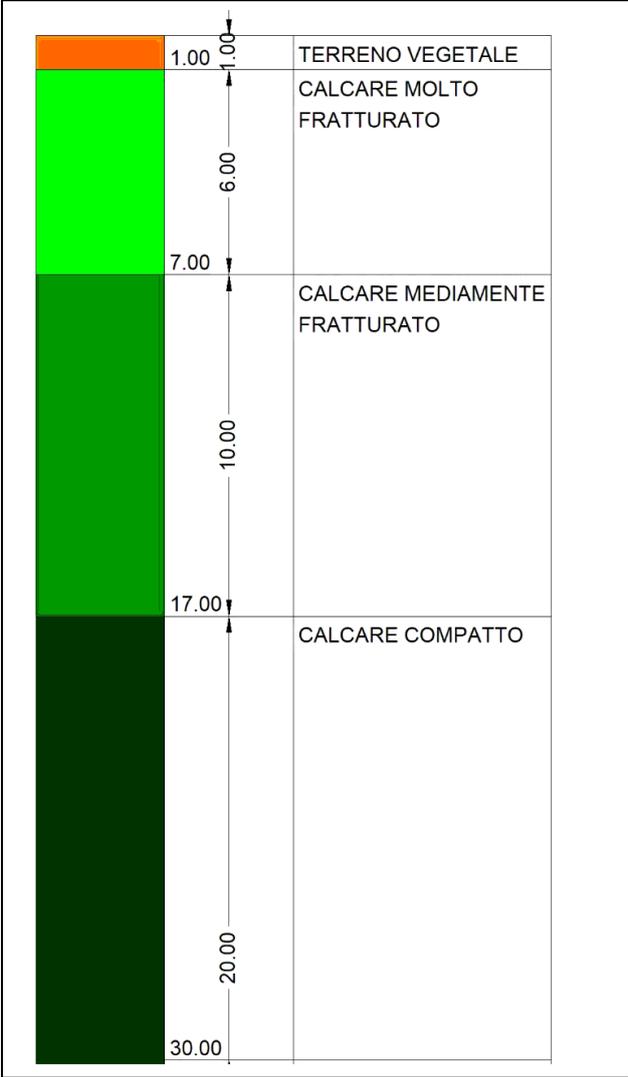
### Area 1 – Sub. A



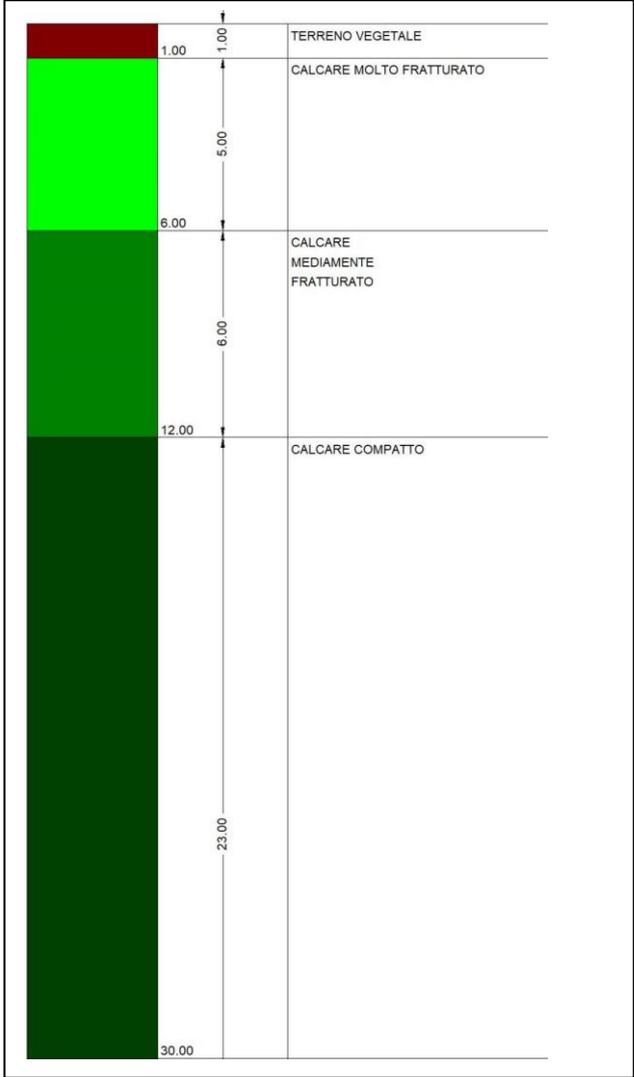
*Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

Area 1 – Sub. B



Area 2 – Sub. C e St.



## Dr. Geol. Mauro Palombella

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

### SISMICITÀ

Il territorio comunale di MOLFETTA (BA) è classificato dall' Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 23.03.2003 in zona sismica 3. Si riporta la tabella ove ciascuna zona è individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo  $a_g$ , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

Zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [ $a_g/g$ ]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [ $a_g/g$ ]
1	> 0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

Con l'entrata in vigore del D.M. 17 gennaio 2018, infatti, **la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio “sito dipendente”** e non più tramite un criterio “zona dipendente”.

L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi *stati limite* presi in considerazione viene definita partendo dalla “pericolosità di base” del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

## PERICOLOSITÀ SISMICA

### 1 PREMESSA

Per valutare se un'opera strutturale è sicura bisogna far riferimento a degli *stati limite*, che possono verificarsi durante un determinato *periodo di riferimento* della stessa opera. Quindi per poter stimare l'azione sismica che dovrà essere utilizzata nelle verifiche agli stati limite o nella progettazione, bisognerà stabilire:

- in primo luogo la *vita nominale* dell'opera, che congiuntamente alla *classe d'uso*, permette di determinare il *periodo di riferimento*;
- una volta definito il periodo di riferimento e i diversi stati limite da considerare, dopo aver definito le relative *probabilità di superamento* è possibile stabilire il *periodo di ritorno* associato a ciascun stato limite;
- a questo punto è possibile definire la **pericolosità sismica di base** per il sito interessato alla realizzazione dell'opera, facendo riferimento agli studi condotti sul territorio nazionale dal Gruppo di Lavoro 2004 nell'ambito della convenzione-progetto S1 DPC-INGV 2004-2006 e i cui risultati sono stati promulgati mediante l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3519/2006.

### 2 VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

Nel **DM 17 gennaio 2018**-Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» il periodo di riferimento, che non può essere inferiore a 35 anni, è dato dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_U \quad (2.1)$$

dove:

**VR** = periodo di riferimento

**VN** = vita nominale

**CU** = coefficiente d'uso

La vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$ , secondo le NTC 2018, è definita come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata e viene definita attraverso tre diversi valori, a seconda dell'importanza dell'opera e perciò delle esigenze di durabilità.

I valori minimi di  $V_N$  da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab. 2.1. Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

**Tab. 2.1** – Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Nel caso specifico  **$V_N = 50$  anni**.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Le NTC 2018 prevedono quattro classi d'uso a ciascuna delle quali è associato un valore del coefficiente d'uso:

**Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli. CU = 0.7;

**Classe II:** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti. CU = 1.0;

**Classe III:** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso. CU = 1.5;

**Classe IV:** Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica. CU = 2.0;

Nel caso in esame viene presa in considerazione la **classe d'uso II** a cui è associato il coefficiente d'uso **CU = 1**.

Ricavati i valori di VN e CU, è possibile calcolare il periodo di riferimento VR, che qui vale:

$$VR = 50 * 1 = 50 \text{ anni.}$$

### 3 STATI LIMITE, PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO E PERIODO DI RITORNO

Le NTC 2018 prendono in considerazione 4 possibili *stati limite* (SL) individuati facendo riferimento alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti: due sono *stati limite di esercizio* (SLE) e due sono *stati limite ultimi* (SLU). Uno stato limite è una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata.

Più in particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono essere dotate di capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (sicurezza nei confronti di SLE) e di capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e di dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone o comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera (sicurezza nei confronti di SLU).

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività** (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno** (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita** (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso** (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

## Dr. Geol. Mauro Palombella

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

Ad ogni stato limite è associata una *probabilità di superamento PVR* (Tabella 3.1), ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento VR, si verifichi almeno un evento sismico ( $n \geq 1$ ) di *ag* prefissata (*ag* = accelerazione orizzontale massima del suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza  $\lambda = 1/TR$  (*TR* = periodo di ritorno).

**Tabella 3.1-** Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento VR

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	<b>PVR = 81%</b>
Stato limite di esercizio: danno	SLD	<b>PVR = 63%</b>
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	<b>PVR = 10%</b>
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	<b>PVR = 5%</b>

Fissati VR e PVR associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica TR, espresso in anni, mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1-P_{VR})} \quad (3.1)$$

Tale relazione tra PVR (probabilità) e TR (statistica) risulta biunivoca poiché utilizza la distribuzione discreta Poissoniana.

Poiché è **VR = 50 anni**, il tempo di ritorno TR sarà:

**Tabella 3.2-** Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento VR

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	<b>TR = 30</b>
Stato limite di esercizio: danno	SLD	<b>TR = 50</b>
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	<b>TR = 475</b>
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	<b>TR = 975</b>

## 4 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, nelle NTC 2018, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima (*ag*) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale.

Per poter definire la pericolosità sismica di base le NTC 2018 si rifanno ad una procedura basata sui risultati disponibili anche sul sito web dell'INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica".

Secondo le NTC 2018 le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno TR (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'**Allegato A** alle NTC08:

**ag** = accelerazione orizzontale massima;

**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.

I tre parametri si ricavano per il 50° percentile ed attribuendo a:

**ag**, il valore previsto dalla pericolosità sismica S1

**Fo** e **TC\*** i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC08 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica S1 (il minimo è ottenuto ai minimi quadrati, su valori normalizzati).

I valori di questi parametri vengono forniti in tabella (Tabella 4.1), contenuta nell'**Allegato B** delle NTC08 (a cui le NTC 2018 fanno riferimento), per i 10751 punti di un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati dalle coordinate geografiche longitudine e latitudine.

**Tabella 4.1-** Stralcio della tabella contenuta nell'Allegato B delle NTC08, che fornisce i 3 parametri di pericolosità sismica, per diversi periodi di ritorno e per ogni nodo del reticolo che viene identificato da un ID e dalle coordinate geografiche.

ID	LON	LAT	TR = 30			TR = 50			TR = 72			TR = 101		
			ag	FO	T*c	ag	FO	T*c	ag	FO	T*c	ag	FO	T*c
13111	6.5448	45.1340	0.263	2.500	0.180	0.340	2.510	0.210	0.394	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13333	6.5506	45.0850	0.264	2.490	0.180	0.341	2.510	0.210	0.395	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13555	6.5564	45.0350	0.264	2.500	0.180	0.340	2.510	0.200	0.393	2.550	0.220	0.466	2.500	0.240
13777	6.5621	44.9850	0.263	2.500	0.180	0.338	2.520	0.200	0.391	2.550	0.220	0.462	2.510	0.240
12890	6.6096	45.1880	0.284	2.460	0.190	0.364	2.510	0.210	0.431	2.500	0.220	0.509	2.480	0.240
13112	6.6153	45.1390	0.286	2.460	0.190	0.366	2.510	0.210	0.433	2.500	0.220	0.511	2.480	0.240
13334	6.6210	45.0890	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.434	2.500	0.220	0.511	2.490	0.240
13556	6.6268	45.0390	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.433	2.510	0.220	0.510	2.490	0.240
13778	6.6325	44.9890	0.288	2.460	0.190	0.366	2.520	0.210	0.430	2.510	0.220	0.507	2.500	0.240
14000	6.6383	44.9390	0.286	2.470	0.190	0.363	2.520	0.210	0.426	2.520	0.220	0.502	2.500	0.240
14222	6.6439	44.8890	0.284	2.470	0.190	0.360	2.530	0.210	0.421	2.530	0.220	0.497	2.500	0.240
12891	6.6803	45.1920	0.306	2.430	0.200	0.389	2.500	0.210	0.467	2.470	0.230	0.544	2.490	0.230
10228	6.6826	45.7940	0.283	2.420	0.200	0.364	2.460	0.220	0.430	2.460	0.240	0.505	2.440	0.250
13113	6.6860	45.1430	0.309	2.430	0.200	0.391	2.510	0.210	0.470	2.470	0.230	0.546	2.490	0.230
10450	6.6885	45.7450	0.278	2.440	0.200	0.356	2.480	0.220	0.415	2.500	0.230	0.485	2.470	0.250
13335	6.6915	45.0930	0.310	2.430	0.200	0.392	2.510	0.210	0.470	2.480	0.230	0.546	2.500	0.230
10672	6.6942	45.6950	0.275	2.450	0.200	0.351	2.490	0.210	0.406	2.520	0.230	0.475	2.490	0.250
13557	6.6973	45.0430	0.311	2.440	0.200	0.392	2.520	0.210	0.469	2.480	0.230	0.545	2.500	0.230
13779	6.7029	44.9930	0.310	2.440	0.200	0.391	2.520	0.210	0.467	2.480	0.230	0.543	2.500	0.230

Qualora la pericolosità sismica del sito sul reticolo di riferimento non consideri il periodo di ritorno TR corrispondente alla VR e PVR fissate, il valore del generico parametro  $p$  ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione (Figura 4.1), a partire dai dati relativi ai tempi di ritorno previsti nella pericolosità di base, utilizzando la seguente espressione dell'Allegato A alle NTC08:

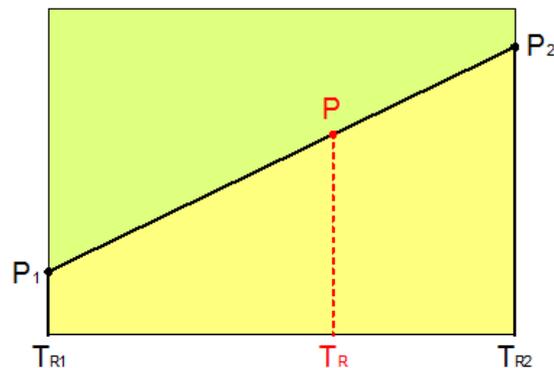
$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1} \quad (4.1)$$

nella quale  $p$  è il valore del parametro di interesse ( $ag$ ,  $FO$ ,  $TC^*$ ) corrispondente al periodo di ritorno TR desiderato, mentre  $p_1, 2$  è il valore di tale parametro corrispondente al periodo di ritorno  $TR_1, 2$ .

Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri  $p$  possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando l'espressione dell'Allegato A alle NTC08:

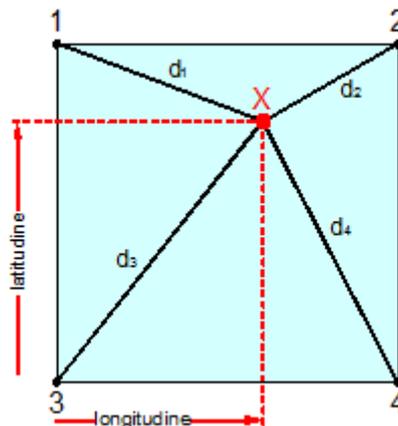
$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 p_i d_i}{\sum_{i=1}^4 d_i} \quad (4.2)$$

nella quale  $p$  è il valore del parametro di interesse ( $ag, Fo, TC^*$ ) corrispondente al punto considerato,  $p_i$  è il valore di tale parametro nell' $i$ -esimo vertice della maglia elementare contenente il punto in esame e  $d_i$  è la distanza del punto in esame dall' $i$ -esimo vertice della suddetta maglia.



**Figura 4.1** - Interpolazione dei periodi di ritorno, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.

La procedura per interpolare le coordinate geografiche è schematizzata nella Figura 4.2



**Figura 4.2** - Interpolazione delle coordinate geografiche, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.

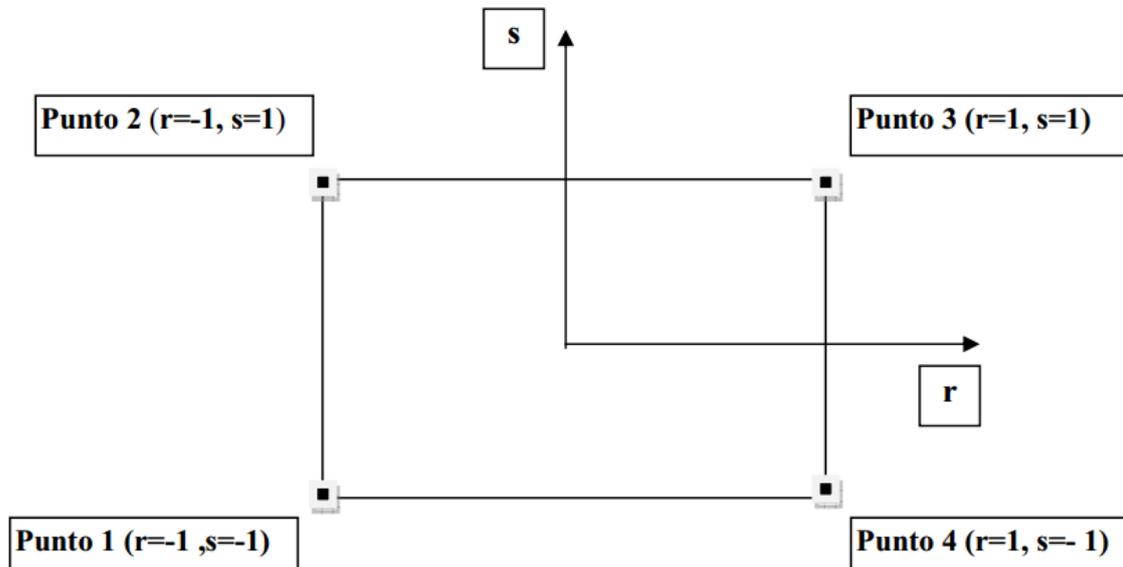
Pertanto per poter procedere all'interpolazione delle coordinate geografiche, in accordo alla procedura delle NTC08, bisogna calcolare le distanze che intercorrono tra i 4 punti del reticolo e il punto di interesse. Questo calcolo può essere eseguito approssimativamente utilizzando le formule della trigonometria sferica, che danno la distanza geodetica tra due punti, di cui siano note le coordinate geografiche. Utilizzando quindi il teorema di Eulero, la distanza  $d$  tra due punti, di cui siano note latitudine e longitudine, espresse però in radianti, si ottiene dall'espressione seguente:

$$d = R \cdot \arccos[\sin(\text{lat}\beta) \cdot \sin(\text{lat}\alpha) + \cos(\text{lat}\beta) \cdot \cos(\text{lat}\alpha) \cdot \cos(\text{lon}\alpha - \text{lon}\beta)] \quad (4.3)$$

dove  $R = 6371$  è il raggio medio terrestre in km, mentre  $\text{lat}\alpha$ ,  $\text{lon}\alpha$ ,  $\text{lat}\beta$  e  $\text{lon}\beta$  sono la latitudine e la longitudine, espresse in radianti, di due punti A e B di cui si vuole calcolare la distanza.

La formula di interpolazione sopra proposta, semplice da usare, presenta però l'inconveniente di condurre a valori di pericolosità lievemente diversi per punti affacciati ma appartenenti a maglie contigue. La modestia delle differenze (scostamenti in termini di PGA dell'ordine di  $\pm 0,01g$  ossia della precisione dei dati) a fronte della semplicità d'uso, rende tale stato di cose assolutamente accettabile.

Qualora si vogliono rappresentazioni continue della funzione interpolata, si dovrà ricorrere a metodi di interpolazione più complessi, ad esempio i polinomi di Lagrange.



**Figura 4.3** - Applicazione dell'interpolazione bilineare.

Definiti i 4 vertici di una generica maglia i polinomi di Lagrange sono così determinati:

$$h_1 = (1-r) \cdot (1-s)/4 \quad (4.4)$$

$$h_2 = (1-r) \cdot (1+s)/4 \quad (4.5)$$

$$h_3 = (1+r) \cdot (1+s)/4 \quad (4.6)$$

$$h_4 = (1+r) \cdot (1-s)/4 \quad (4.7)$$

Tra le coordinate  $x, y$  di un punto generico e le coordinate  $r, s$  dello stesso punto valgono le seguenti relazioni:

$$4x = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot x_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot x_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot x_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot x_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot x_4] \quad (4.8)$$

$$4y = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot y_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot y_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot y_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot y_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot y_4] \quad (4.9)$$

La soluzione del sistema di equazioni non lineari è ottenuta iterativamente e, tramite i valori di  $r$  ed  $s$ , si determinano i parametri  $ag, F0, Tc^*$  dall'equazione:

$$4p = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot p_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot p_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot p_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot p_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot p_4] \quad (4.10)$$

Dove  $p$  rappresenta il parametro cercato.

## 5 Pericolosità sismica di sito

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Per la singola opera o per il singolo sistema geotecnico la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A, definito al § 3.2.2).

### 5.1 Coefficienti sismici

I coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$  dipendono del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi e del tipo di opera da calcolare. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno (TR) dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1-P_{VR})} \quad (5.1)$$

Con  $V_R$  vita di riferimento della costruzione e  $P_{VR}$  probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso  $V_R$  non può essere inferiore a 35 anni.

### 5.2 Stabilità dei pendii e fondazioni

Nel caso di stabilità dei pendii i coefficienti  $k_h$  e  $k_v$  sono così determinati:

$$k_h = \beta_s \cdot \left( \frac{a_{\max}}{g} \right) \quad (5.2)$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h \quad (5.3)$$

Con

**$\beta_s$**  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

**$a_{\max}$**  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

**$g$**  accelerazione di gravità.

I valori di  $\beta_s$  sono riportati nella tabella 5.1.

**Tabella 5.1-** *Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.*

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0.2 < ag(g) \leq 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < ag(g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$ag(g) \leq 0.1$	0.20	0.20

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa al sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad (5.4)$$

## *Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

**SS** (effetto di amplificazione stratigrafica) ( $0.90 \leq S_s \leq 1.80$ ) è funzione di **F0** (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E). e del rapporto  $a_g/g$ . **ST** (effetto di amplificazione topografica), varia con il variare delle quattro categorie topografiche:

**T1:** ST = 1.0; **T2:** ST = 1.20; **T3:** ST = 1.20; **T4:** ST = 1.40.

### 5.3 Fronti scavo e rilevati

Il comportamento in condizioni sismiche dei fronti di scavo e dei rilevati può essere analizzato con gli stessi metodi impiegati per i pendii naturali; specificamente mediante metodi pseudostatici, metodi degli spostamenti e metodi avanzati di analisi dinamica.

Nei metodi pseudostatici l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso **W** del volume di terreno potenzialmente instabile. Le componenti orizzontale e verticale di tale forza devono essere ricavate in funzione delle proprietà del moto atteso nel volume di terreno potenzialmente instabile e della capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza.

In mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale della forza statica equivalente possono esprimersi come

$$F_h = k_h \cdot W \text{ ed } F_v = k_v \cdot W$$

con  $k_h$  e  $k_v$  rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale definiti nel § 7.11.3.5.2 e adottando i seguenti valori del coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito:

$\beta_s = 0.38$  nelle verifiche dello stato limite ultimo (SLV)

$\beta_s = 0.47$  nelle verifiche dello stato limite di esercizio (SLD).

Nelle verifiche di sicurezza si deve controllare che la resistenza del sistema sia maggiore delle azioni (condizione [6.2.1]) impiegando lo stesso approccio di cui al § 6.8.2 per le opere di materiali sciolti e fronti di scavo, ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici (§ 7.11.1) e impiegando le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente parziale pari a  $\gamma_R = 1.2$ .

Si deve inoltre tener conto della presenza di manufatti interagenti con l'opera.

### 5.4 Muri di sostegno

Per i muri di sostegno pendii i coefficienti  $k_h$  e  $k_v$  sono così determinati:

$$k_h = \beta_m \cdot \left( \frac{a_{\max}}{g} \right) \quad (5.5)$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h \quad (5.6)$$

Con:

**$\beta_m$**  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito, per i muri che non siano in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno assume valore unitario altrimenti assume i valori riportati di seguito.

**$\beta_m = 0.38$**  nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLV)

**$\beta_m = 0.47$**  nelle verifiche allo stato limite di esercizio (SLD).

I valori del coefficiente  $\beta_m$  possono essere incrementati in ragione di particolari caratteristiche prestazionali del muro, prendendo a riferimento il diagramma di in Figura 5.2.

**$a_{\max}$**  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

**$g$**  accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad (5.7)$$

$S$  è il coefficiente comprendente l'effetto di amplificazione stratigrafica  $S_s$  e di amplificazione topografica  $S_T$ .  
 $a_g$  accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

### 5.5 Paratie

In mancanza di studi specifici,  $a_h$  (accelerazione orizzontale) può essere legata all'accelerazione di picco  $a_{max}$  attesa nel volume di terreno significativo per l'opera mediante la relazione:

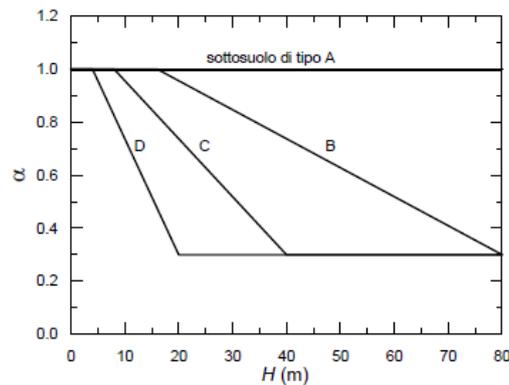
$$a_h = k_h \cdot g = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max} \quad (5.8)$$

dove:

$g$  è l'accelerazione di gravità;

$k_h$  è il coefficiente sismico in direzione orizzontale;

$\alpha \leq 1$  è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera. Può essere ricavato a partire dall'altezza complessiva  $H$  della paratia e dalla categoria di sottosuolo mediante il diagramma in Figura 5.1:

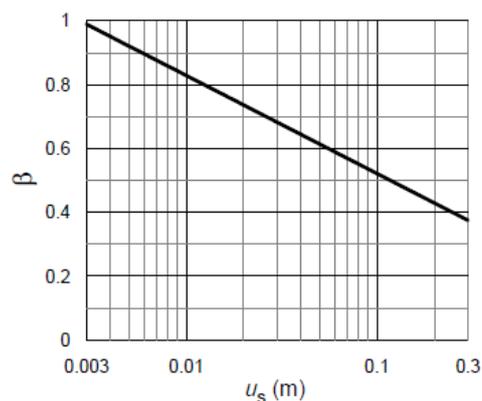


**Figura 5.1** - Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità  $\alpha$ .

Per il sottosuolo di categoria E si utilizzano le curve dei sottosuoli C o D in dipendenza dei valori assunti dalla velocità equivalente  $V_s$ . Per la valutazione della spinta nelle condizioni di equilibrio limite passivo deve porsi  $\alpha = 1$ . Il valore del coefficiente  $\beta$  può essere ricavato dal diagramma riportato in Figura 5.2, in funzione del massimo spostamento  $u_s$  che l'opera può tollerare senza riduzioni di resistenza.

Per  $u_s = 0$  si ha  $\beta = 1$ ;  $u_s \leq 0.005 \cdot H$

Se  $\alpha \cdot \beta \leq 0.2$  deve assumersi  $k_h = 0.2 \cdot a_{max}/g$



**Figura 5.2** - Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento  $\beta$ .

L'accelerazione di picco  $a_{max}$  è valutata mediante un'analisi di risposta sismica locale, ovvero come

$$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad (5.9)$$

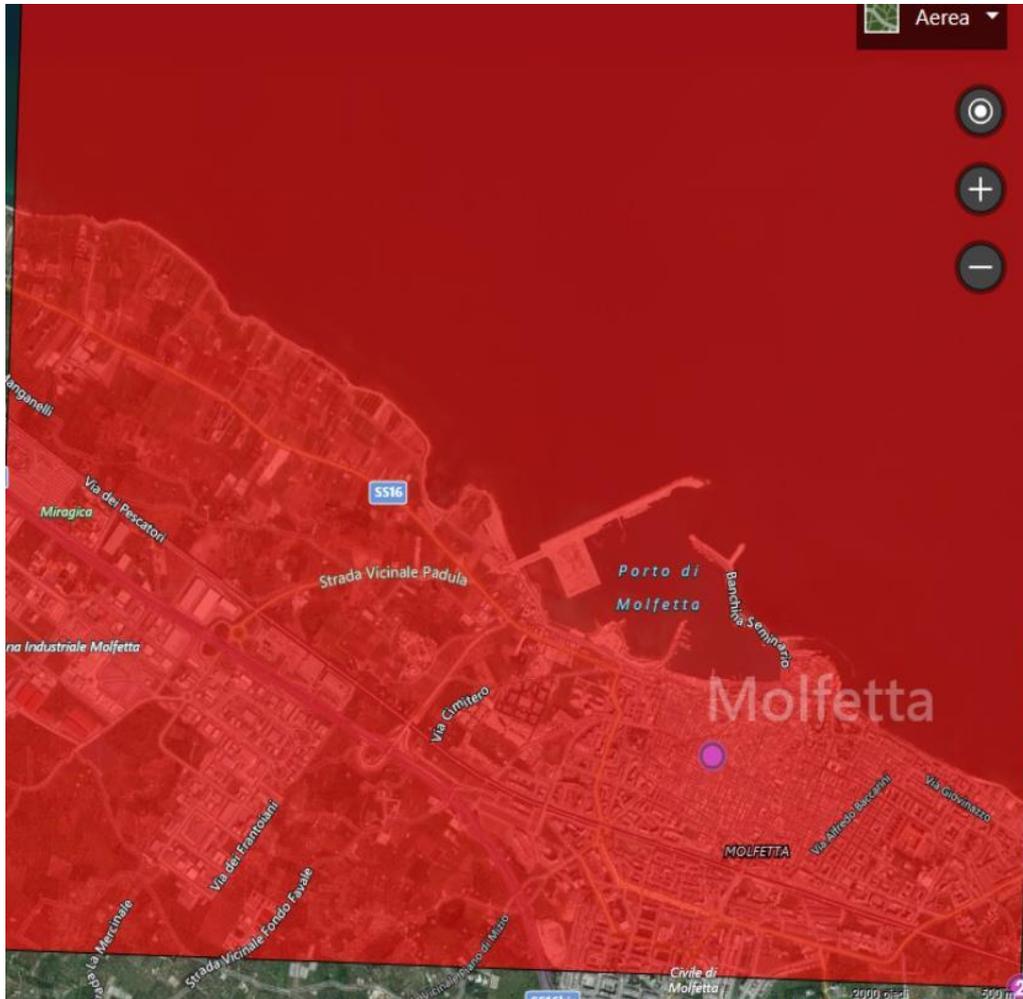
dove:

$S$  è il coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_s$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_T$ ), di cui al § 3.2.3.2;

$a_g$  è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

**PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE**

Data: 12/03/2020



Vita nominale ( $V_n$ ): 50 [anni]  
Classe d'uso: II  
Coefficiente d'uso ( $C_u$ ): 1  
Periodo di riferimento ( $V_r$ ): 50 [anni]

Periodo di ritorno ( $T_r$ ) SLO: 30 [anni]  
Periodo di ritorno ( $T_r$ ) SLD: 50 [anni]  
Periodo di ritorno ( $T_r$ ) SLV: 475 [anni]  
Periodo di ritorno ( $T_r$ ) SLC: 975 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 41.1944237 [°]  
Longitudine (WGS84): 16.5577259 [°]  
Latitudine (ED50): 41.1954002 [°]  
Longitudine (ED50): 16.5585499 [°]

*Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	31459	41.193920	16.547000	980.32
2	31460	41.192110	16.613370	4601.49
3	31238	41.242080	16.615800	7061.97
4	31237	41.243890	16.549360	5446.39

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

**Punto 1**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.032	2.489	0.251
SLD	50	0.040	2.534	0.293
	72	0.048	2.517	0.326
	101	0.057	2.563	0.342
	140	0.068	2.511	0.347
	201	0.080	2.563	0.358
SLV	475	0.125	2.472	0.403
SLC	975	0.177	2.477	0.405
	2475	0.278	2.367	0.411

*Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

**Punto 2**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.031	2.458	0.245
SLD	50	0.038	2.503	0.288
	72	0.044	2.485	0.329
	101	0.051	2.565	0.343
	140	0.058	2.638	0.355
	201	0.069	2.603	0.370
SLV	475	0.104	2.488	0.434
SLC	975	0.141	2.589	0.431
	2475	0.213	2.507	0.433

**Punto 3**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.030	2.446	0.239
SLD	50	0.037	2.491	0.287
	72	0.044	2.480	0.329
	101	0.051	2.553	0.343
	140	0.057	2.628	0.355
	201	0.067	2.556	0.401
SLV	475	0.101	2.509	0.437
SLC	975	0.136	2.604	0.435
	2475	0.201	2.540	0.439

**Punto 4**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.032	2.474	0.250
SLD	50	0.040	2.522	0.292
	72	0.047	2.494	0.328
	101	0.055	2.584	0.342
	140	0.066	2.548	0.349
	201	0.077	2.577	0.361
SLV	475	0.119	2.493	0.411
SLC	975	0.166	2.506	0.410
	2475	0.257	2.401	0.414

**Punto d'indagine**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.032	2.479	0.249
SLD	50	0.040	2.524	0.291
SLV	475	0.119	2.480	0.411
SLC	975	0.167	2.508	0.411

**PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO**

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5 %

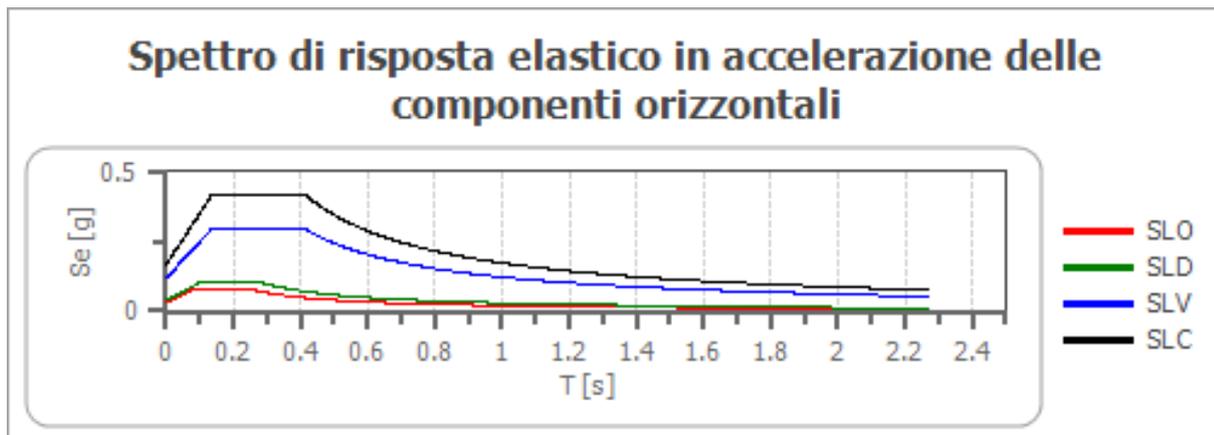
Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta=[10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ : 1.000

Categoria sottosuolo: A

Categoria topografica:

T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

**Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali**

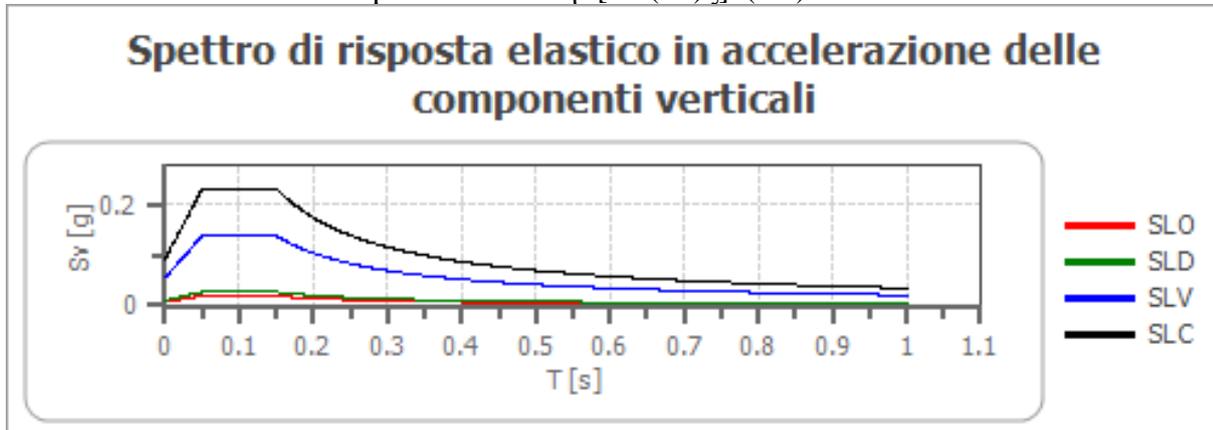


	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(T B) [g]
SLO	1.0	0.032	2.479	0.249	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.083	0.249	1.728	0.032	0.079
SLD	1.0	0.040	2.524	0.291	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.097	0.291	1.758	0.040	0.100
SLV	1.0	0.119	2.480	0.411	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.137	0.411	2.077	0.119	0.296
SLC	1.0	0.167	2.508	0.411	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.137	0.411	2.268	0.167	0.419

**Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali**

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta=[10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ : 1.000



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(T B) [g]
SLO	1.0	0.032	2.479	0.249	1	1.000	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.008	0.019
SLD	1.0	0.040	2.524	0.291	1	1.000	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.011	0.027
SLV	1.0	0.119	2.480	0.411	1	1.000	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.056	0.138
SLC	1.0	0.167	2.508	0.411	1	1.000	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.092	0.231

**Spettro di progetto**

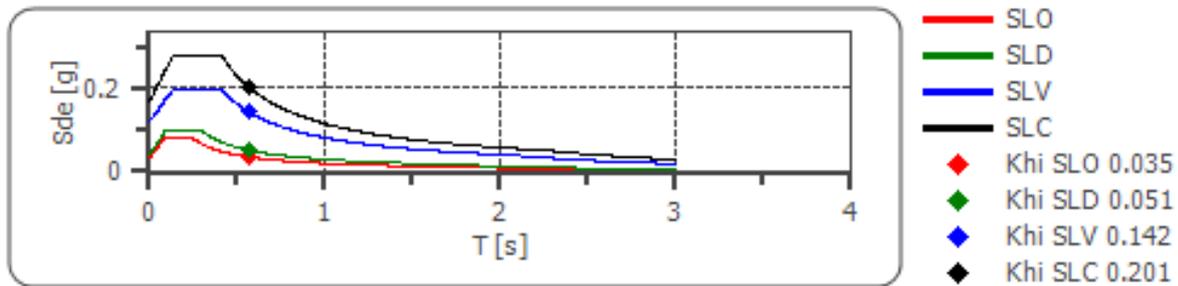
Fattore di struttura spettro orizzontale q: 1.50

Fattore di struttura spettro verticale q: 1.50

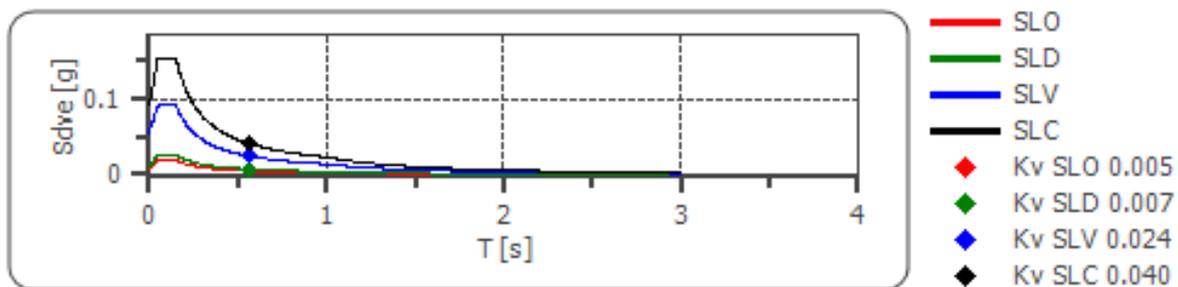
Periodo fondamentale T: 0.57 [s]

	SLO	SLD	SLV	SLC
khi = Sde(T) Orizzontale [g]	0.035	0.051	0.142	0.201
kv = Sdve(T) Verticale [g]	0.005	0.007	0.024	0.040

### Spettro di progetto delle componenti orizzontali



### Spettro di progetto delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(TB) [g]
SLO orizzontale	1.0	0.032	2.479	0.249	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.083	0.249	1.728	0.032	0.079
SLO verticale	1.0	0.032	2.479	0.249	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.008	0.019
SLD orizzontale	1.0	0.040	2.524	0.291	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.097	0.291	1.758	0.040	0.100
SLD verticale	1.0	0.040	2.524	0.291	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.011	0.027
SLV orizzontale	1.0	0.119	2.480	0.411	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500	0.137	0.411	2.077	0.119	0.197
SLV verticale	1.0	0.119	2.480	0.411	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.056	0.092
SLC orizzontale	1.0	0.167	2.508	0.411	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500	0.137	0.411	2.268	0.167	0.279
SLC verticale	1.0	0.167	2.508	0.411	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.092	0.154

## CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### INDAGINI GEOSISMICHE

E' stata eseguita dalla **SOCIETÀ GEOSERVICE SRLS**, una campagna di indagini geofisiche in situ, attraverso il metodo MASW e la sismica a RIFRAZIONE al fine di caratterizzare, dal punto di vista geomeccanico, uno spessore significativo del sottosuolo interessato all'area in esame; e definirne l'omogeneità in senso verticale ed orizzontale o la presenza di discontinuità strutturali.

La campagna di indagini geofisiche eseguite in situ dalla Società Geoservice Srls di Barletta, é stata eseguita anche, al fine di acclarare l'assetto morfologico e geolitologico dell'area.

La seguente relazione sismica comprende i seguenti elaborati tecnici:

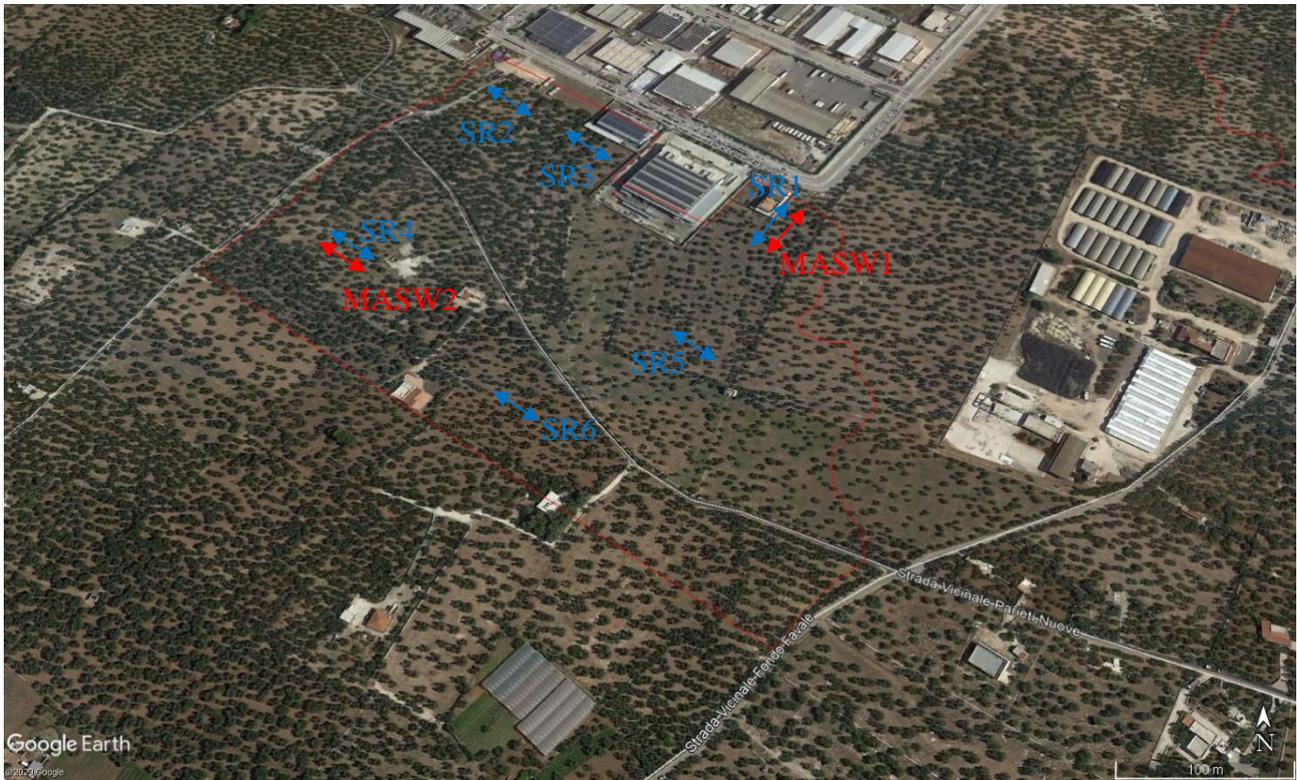
- successione litostratigrafica;
- profili sismici;
- tabella parametri sismici;
- n. 9 prospezioni sismiche a rifrazione di superficie in onde di compressione "P" e di taglio "S" con sismografo a 12 canali su basi da 12 geofoni, SR1÷SR9, tutte di lunghezza pari a 60.0 m;

n. 3 prospezioni sismiche eseguite con tecnica MASW (Masw1 ÷ Masw3), ubicate in corrispondenza di alcune delle basi sismiche suddette, al fine di stimare il valore delle Vs30 equivalente e quindi attribuire, al sottosuolo in esame, la categoria di suolo di fondazione secondo le Norme Tecniche delle Costruzioni 2018.

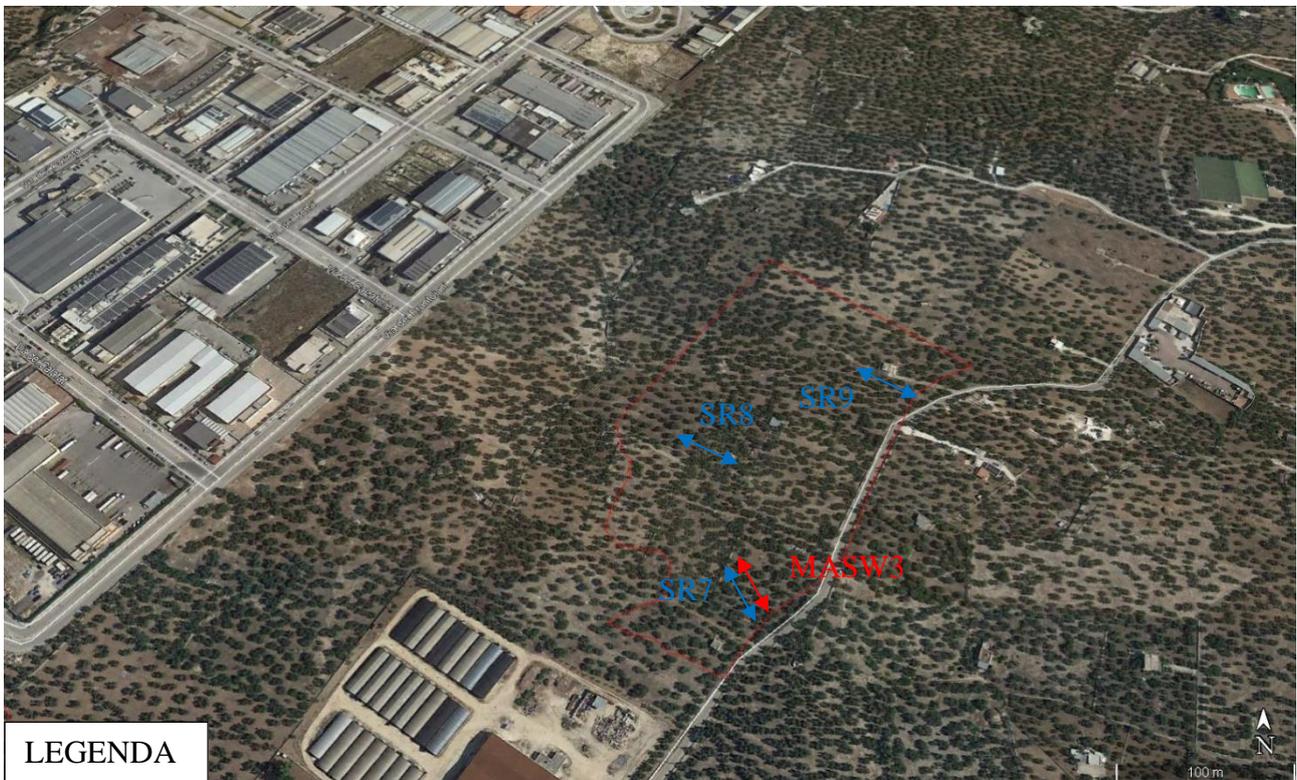
*Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

UBICAZIONE INDAGINI SISMICHE  
AREA 1



AREA 2



LEGENDA

SISMICA A RIFRAZIONE



MASW



**PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE**

**Easy Refract**

Le indagini di sismica a rifrazione consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti.

Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda  $\lambda$ , comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell.

Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore.

La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde  $\lambda$ , equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza  $\theta_i$  mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione  $\theta_r$ . La formulazione matematica è:

$$v_2 \sin \theta_i = v_1 \sin \theta_r$$

Dove  $v_1$  e  $v_2$  sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità.

Per  $v_1 > v_2$  si ha che  $\theta_i > \theta_r$  e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per  $v_1 < v_2$  si ha che  $\theta_i < \theta_r$  ed esiste un angolo

limite di incidenza per cui  $\theta_r = 90^\circ$  ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'espressione che definisce l'angolo limite è:

$$\theta_i = \arcsin(v_1 / v_2)$$

Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo  $T$  dato dalla relazione

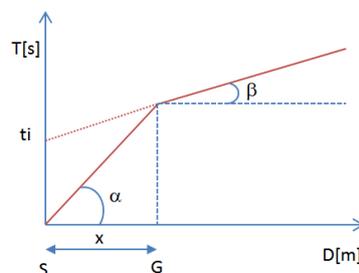
$$T = x_i / V_1$$

dove  $x_i$  è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione.

L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità  $V_1$  del primo mezzo come

$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.



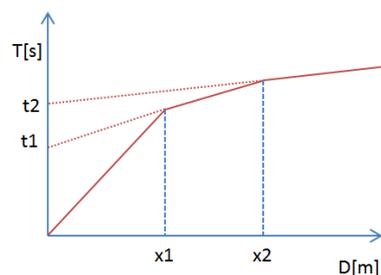
La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in

## Dr. Geol. Mauro Palombella

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo  $t_i$  che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione.

Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi.



Infine, dalla conoscenza dei tempi  $t_i$  è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

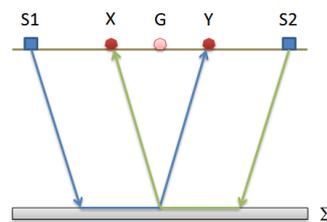
$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left( t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1V_{(i-2)}} \right)$$

In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifratte.

## Dr. Geol. Mauro Palombella

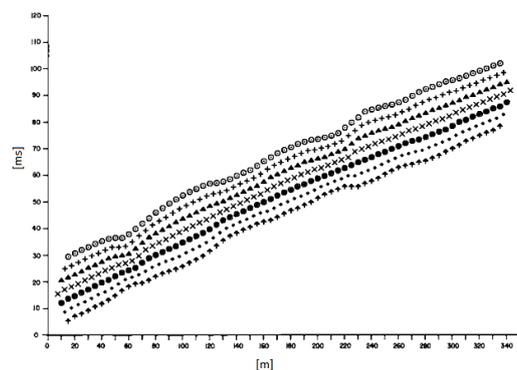
Dottore di Ricerca in Scienze della Terra



Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifratore utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione. Nelle interpretazioni multi strato, la generazione delle dromocrone può sfruttare tecniche di phantoming per sopperire alla mancanza dei dati per alcuni rifrattori.

Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione

$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$



dove  $T_{S_1Y}$  e  $T_{S_2X}$  sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre  $T_{S_1S_2}$  è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo

## Dr. Geol. Mauro Palombella

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

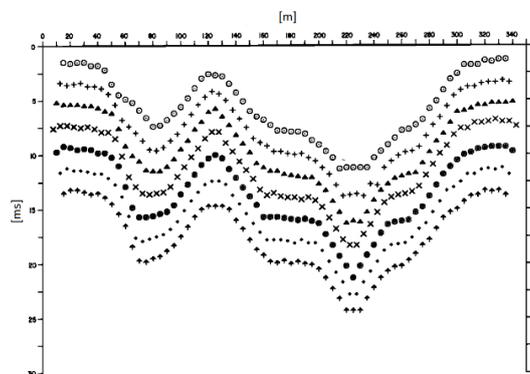
stendimento.  $T_V$  è il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

Il calcolo della funzione  $T_V$  viene eseguito per ogni valore di XY compreso tra zero e metà dello stendimento con variazione pari alla distanza reale tra i geofoni dello stendimento. La migliore retta di regressione delle funzioni velocità ottenute, permette di determinare l'XY ottimo e la velocità del rifrattore che è ricavata dal coefficiente angolare.

Per mezzo della **funzione tempo-profondità** è possibile trovare la profondità del rifrattore espressa in unità di tempo. L'espressione di tale funzione è:

$$T_G = \frac{T_{S_1Y} + T_{S_2X} - \left( T_{S_1S_2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

Dove  $V_n$  è la velocità del rifrattore.



Analogamente a quanto avviene per la funzione velocità si determinano diverse funzioni tempo-profondità per l'insieme dei valori XY di studio. Tra le funzioni trovate, quella che presenta la maggiore articolazione compete al valore di XY ottimo.

Infine, è possibile determinare lo spessore del rifrattore in corrispondenza delle posizioni dei geofoni G mediante la relazione:

$$h = T_G \sqrt{\frac{V_n XY}{2T_G}}$$

*Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifrattore è definita dall'involuppo delle semicirconferenze di raggio h.

Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20°

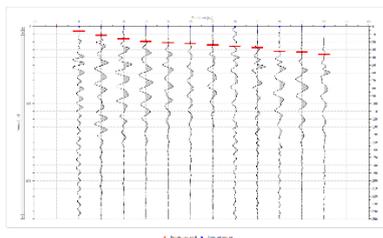
**PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO SR1**



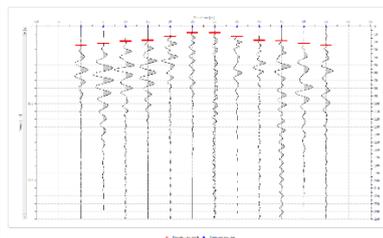
**Geometria geofoni**

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	0.0	0.0
2	5.0	0.0
3	10.0	0.0
4	15.0	0.0
5	20.0	0.0
6	25.0	0.0
7	30.0	0.0
8	35.0	0.0
9	40.0	0.0
10	45.0	0.0
11	50.0	0.0
12	55.0	0.0

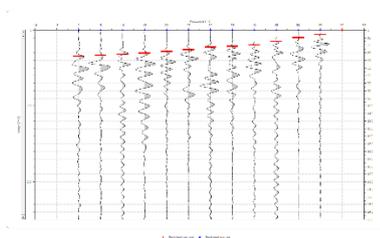
**BATTUTA 1**



**BATTUTA 2**



**BATTURA 3**



**Dati battute**

**Battuta 1**

Posizione sorgente X -5 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	6.1245
5.0	11.5112
10.0	16.1124
15.0	19.2214
20.0	21.1154
25.0	22.2541
30.0	24.1115
35.0	25.4445
40.0	27.2245
45.0	32.2211
50.0	33.1141
55.0	36.2250

**Battuta 2**

Posizione sorgente X 28 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	24.3652
5.0	22.2585
10.0	18.9858
15.0	18.0558
20.0	13.1125
25.0	8.0125
30.0	8.0102
35.0	13.1258
40.0	18.0125
45.0	18.5815
50.0	22.0036
55.0	24.1254

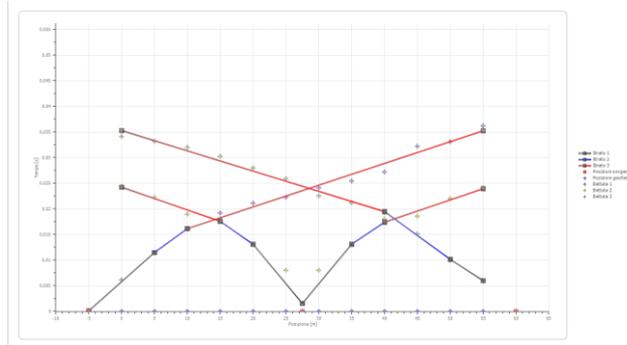
**Battuta 3**

Posizione sorgente X 60 [m]

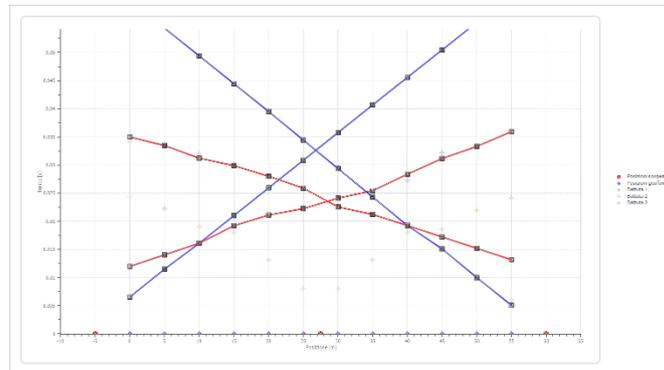
Posizione sorgente Z 0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	34.1121
5.0	33.2001
10.0	31.9852
15.0	30.2547
20.0	28.0126
25.0	25.8987
30.0	22.5587
35.0	21.2214
40.0	19.2514
45.0	15.1141
50.0	10.0114
55.0	6.0148

**Dromocrone**



**Dromocrone traslate**



**Interpretazione col metodo G.,R.M.**

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 0.0 [m]	0.7	5.1	15
G= 5.0 [m]	0.7	5.4	15
G= 10.0 [m]	0.5	5.4	15
G= 15.0 [m]	0.5	6.4	15
G= 20.0 [m]	0.5	6.4	15
G= 25.0 [m]	0.4	5.9	15
G= 30.0 [m]	0.3	5.1	15
G= 35.0 [m]	0.2	5.1	15
G= 40.0 [m]	0.1	5.7	15
G= 45.0 [m]	0.6	6.0	15
G= 50.0 [m]	0.4	6.1	15
G= 55.0 [m]	0.4	6.4	15
Velocità [m/sec]	770.8	1018.6	2420.4
Descrizione	TERRENO VEGETALE	CALCARE MOLTO FRATTURATO	CALCARE MEDIAMENTE FRATTURATO

**Altri parametri geotecnici**

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.45	0.20	0.20
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1800.00	2200.00	2200.00
Vp [m/s]	770.80	1018.55	2420.39
Vs [m/s]	232.40	623.73	1482.18
G0 [MPa]	97.22	855.89	4833.08
Ed [Mpa]	1069.43	2282.38	12888.22
M0 [MPa]	972.21	1426.49	8055.14
Ey [Mpa]	281.94	2054.15	11599.40

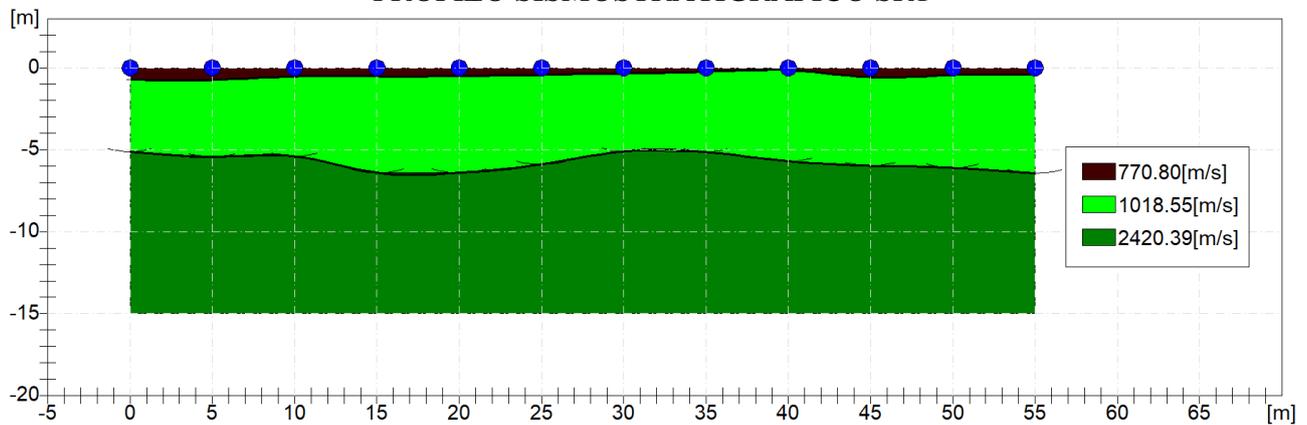
G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

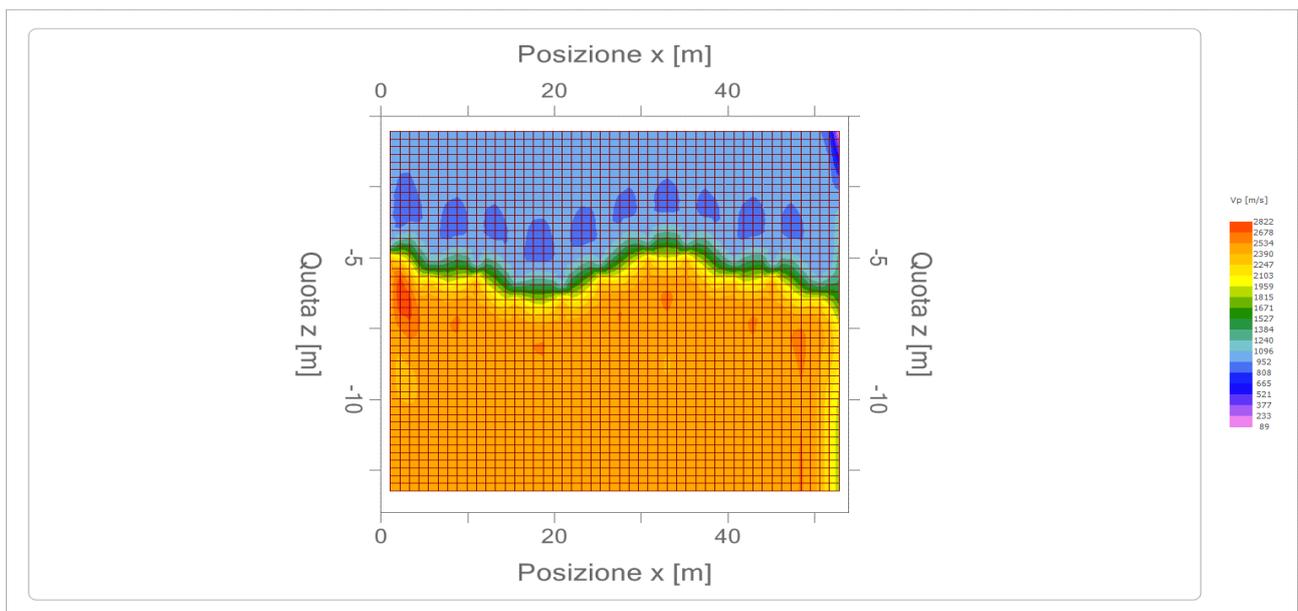
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

**PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO SR1**



**MAPPA DELLE VELOCITA'**



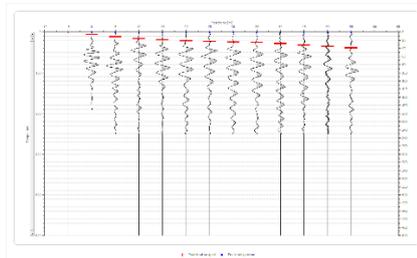
**PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO SR2**



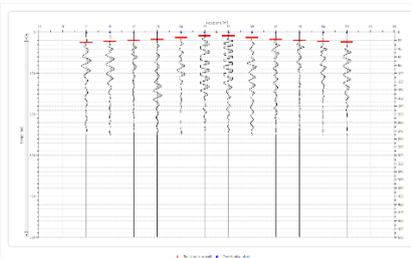
**Geometria geofoni**

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	0.0	0.0
2	5.0	0.0
3	10.0	0.0
4	15.0	0.0
5	20.0	0.0
6	25.0	0.0
7	30.0	0.0
8	35.0	0.0
9	40.0	0.0
10	45.0	0.0
11	50.0	0.0
12	55.0	0.0

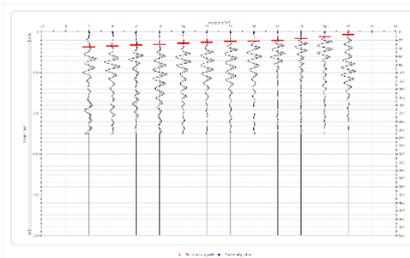
**BATTUTA 1**



**BATTUTA 2**



**BATTURA 3**



*Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

**Dati battute**

Battuta 1

Posizione sorgente X        -5 [m]

Posizione sorgente Z        0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	6.3121
5.0	11.2215
10.0	16.1154
15.0	19.2214
20.0	21.6541
25.0	23.1148
30.0	24.2221
35.0	25.2245
40.0	28.1114
45.0	32.2211
50.0	35.2250
55.0	39.1000

Battuta 2

Posizione sorgente X        28 [m]

Posizione sorgente Z        0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	23.9841
5.0	21.7844
10.0	20.0121
15.0	17.8801
20.0	13.1325
25.0	8.1212
30.0	8.1410
35.0	13.1112
40.0	17.8800
45.0	20.0112
50.0	21.8871
55.0	23.8852

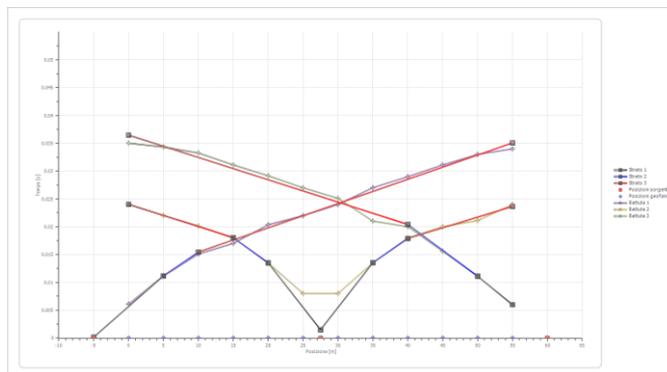
Battuta 3

Posizione sorgente X        60 [m]

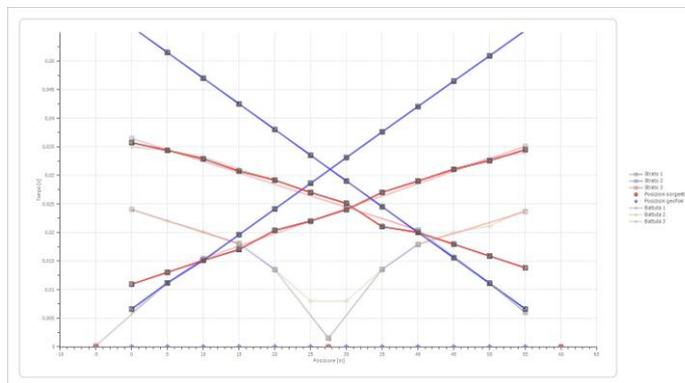
Posizione sorgente Z        0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	36.2580
5.0	34.0221
10.0	32.0225
15.0	30.1100
20.0	27.2258
25.0	25.2256
30.0	23.1025
35.0	22.4478
40.0	20.4722
45.0	16.1000
50.0	11.2114
55.0	6.3690

**Dromocrone**



**Dromocrone traslate**



**Interpretazione col metodo G.,R.M.**

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 0.0 [m]	0.8	5.0	15
G= 5.0 [m]	0.8	5.0	15
G= 10.0 [m]	0.9	5.3	15
G= 15.0 [m]	0.9	5.9	15
G= 20.0 [m]	0.9	5.6	15
G= 25.0 [m]	0.9	5.3	15
G= 30.0 [m]	0.9	4.8	15
G= 35.0 [m]	0.9	5.0	15
G= 40.0 [m]	0.8	6.2	15
G= 45.0 [m]	1.1	6.8	15
G= 50.0 [m]	1.0	7.2	15
G= 55.0 [m]	1.0	7.7	15
Velocità [m/sec]	750.2	1050.9	2361.7
Descrizione	TERRENO VEGETALE	CALCARE MOLTO FRATTURATO	CALCARE MEDIAMENTE FRATTURATO

**Altri parametri geotecnici**

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.45	0.20	0.20
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1800.00	2200.00	2200.00
Vp [m/s]	750.24	1050.92	2361.75
Vs [m/s]	226.21	643.55	1446.27
G0 [MPa]	92.10	911.15	4601.73
Ed [Mpa]	1013.14	2429.74	12271.28
M0 [MPa]	921.04	1518.58	7669.55
Ey [Mpa]	267.10	2186.76	11044.16

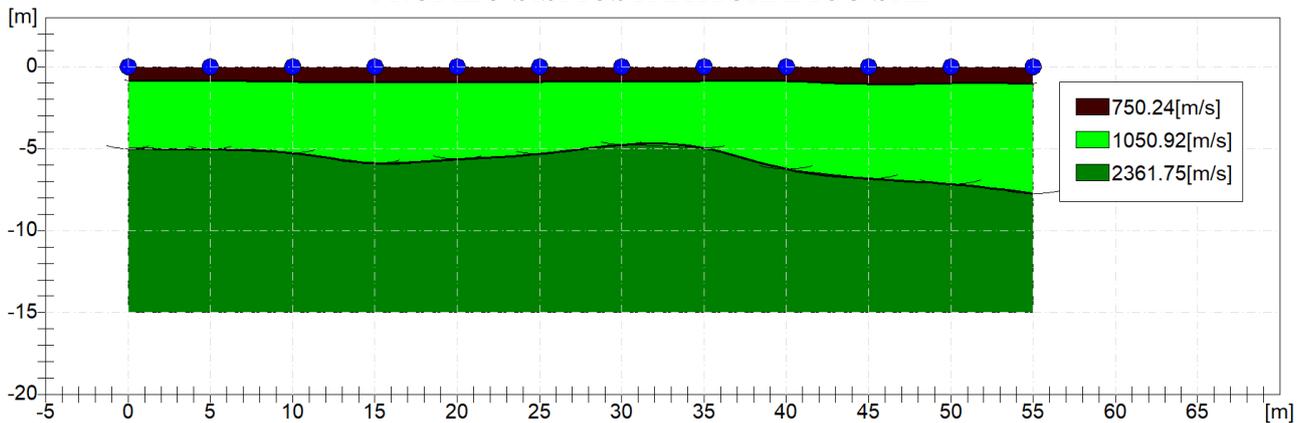
G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

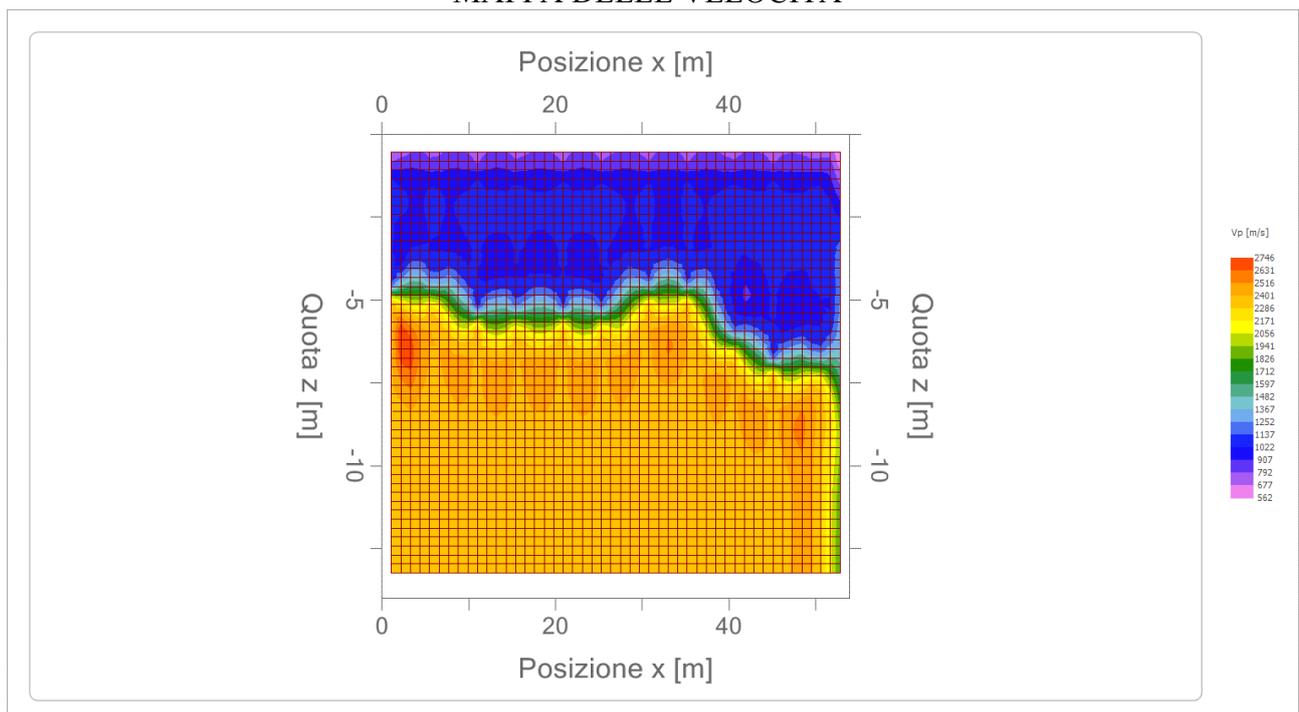
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

**PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO SR2**



**MAPPA DELLE VELOCITA'**



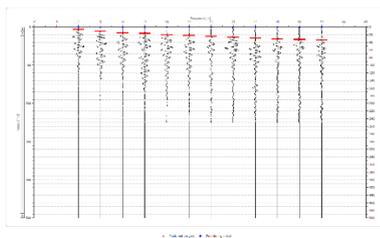
**PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO SR3**



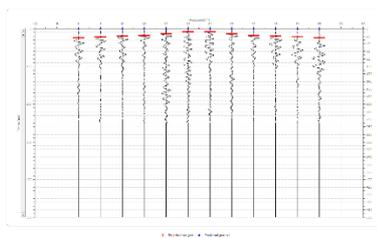
**Geometria geofoni**

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	0.0	0.0
2	5.0	0.0
3	10.0	0.0
4	15.0	0.0
5	20.0	0.0
6	25.0	0.0
7	30.0	0.0
8	35.0	0.0
9	40.0	0.0
10	45.0	0.0
11	50.0	0.0
12	55.0	0.0

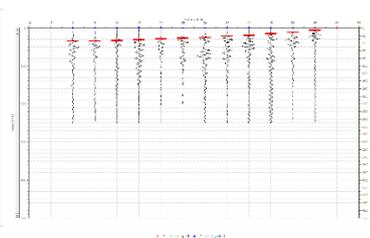
**BATTUTA 1**



**BATTUTA 2**



**BATTURA 3**



*Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

**Dati battute**

Battuta 1

Posizione sorgente X        -5 [m]

Posizione sorgente Z        0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	6.1112
5.0	11.1845
10.0	15.1121
15.0	17.0114
20.0	20.3654
25.0	22.0001
30.0	24.0112
35.0	27.0147
40.0	29.0012
45.0	31.1111
50.0	33.0001
55.0	34.0012

Battuta 2

Posizione sorgente X        28 [m]

Posizione sorgente Z        0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	24.0222
5.0	22.0204
10.0	20.1224
15.0	18.0012
20.0	13.5111
25.0	8.0033
30.0	8.0100
35.0	13.5400
40.0	17.9852
45.0	20.0021
50.0	21.1122
55.0	24.0021

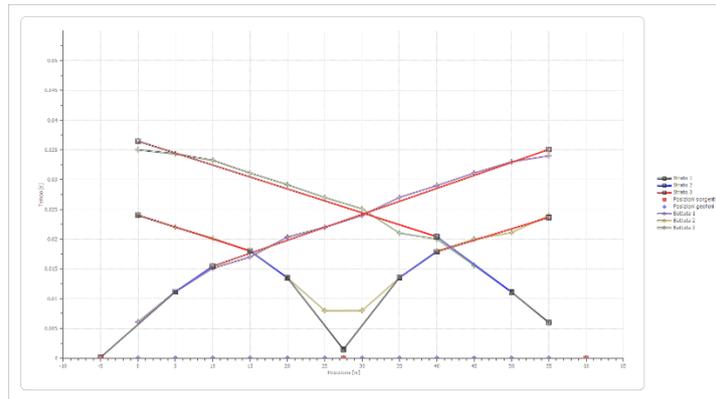
Battuta 3

Posizione sorgente X        60 [m]

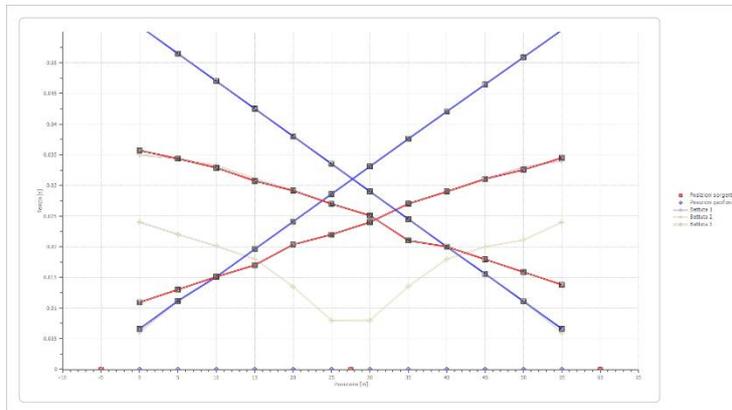
Posizione sorgente Z        0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	34.0258
5.0	32.0698
10.0	31.0111
15.0	30.5501
20.0	27.0555
25.0	24.1852
30.0	23.1017
35.0	22.4503
40.0	19.5014
45.0	14.1257
50.0	10.6024
55.0	5.1007

**Dromocrone**



**Dromocrone traslate**



**Interpretazione col metodo G.,R.M.**

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 0.0 [m]	1.2	4.8	15
G= 5.0 [m]	1.3	5.2	15
G= 10.0 [m]	1.0	5.8	15
G= 15.0 [m]	1.0	5.6	15
G= 20.0 [m]	1.0	6.7	15
G= 25.0 [m]	1.0	6.4	15
G= 30.0 [m]	1.0	6.5	15
G= 35.0 [m]	1.0	5.8	15
G= 40.0 [m]	1.0	6.4	15
G= 45.0 [m]	1.0	6.4	15
G= 50.0 [m]	0.9	6.1	15
G= 55.0 [m]	0.9	6.0	15
Velocità [m/sec]	742.0	1119.9	2344.1
Descrizione	TERRENO VEGETALE	CALCARE MOLTO FRATTURATO	CALCARE MEDIAMENTE FRATTURATO

**Altri parametri geotecnici**

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.45	0.20	0.20
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1800.00	2200.00	2200.00
Vp [m/s]	741.99	1119.94	2344.06
Vs [m/s]	223.72	685.82	1435.44
G0 [MPa]	90.09	1034.78	4533.05
Ed [Mpa]	990.98	2759.41	12088.13
M0 [MPa]	900.89	1724.63	7555.08
Ey [Mpa]	261.26	2483.47	10879.31

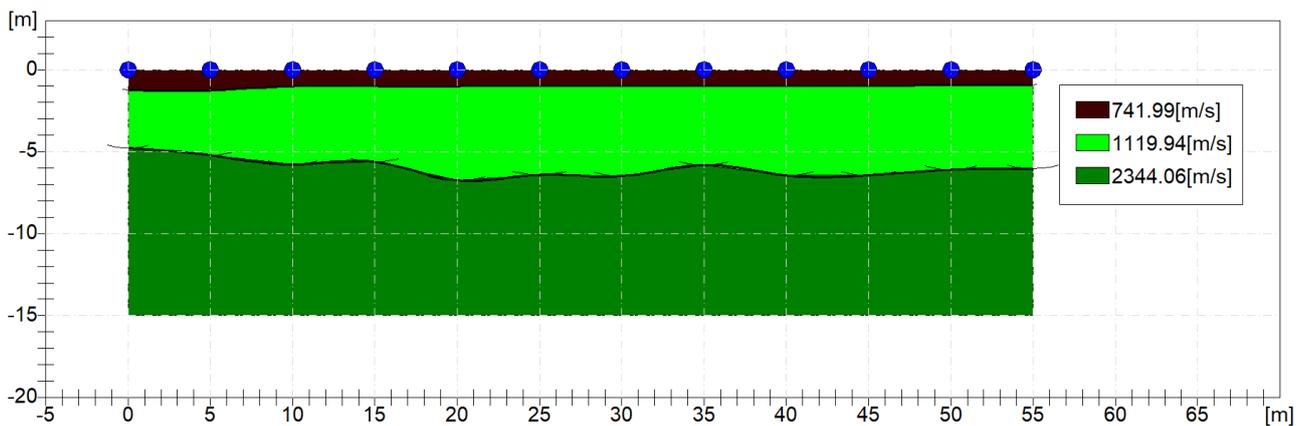
G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

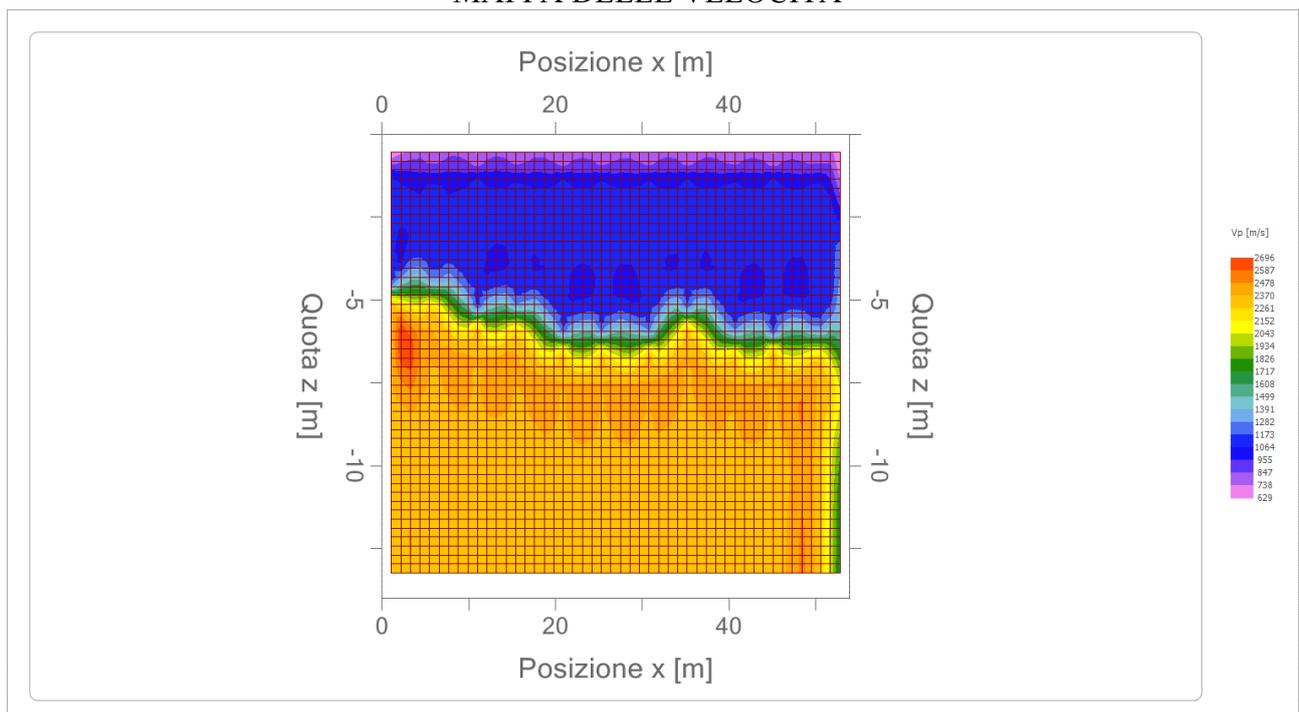
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

**PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO SR3**



**MAPPA DELLE VELOCITA'**



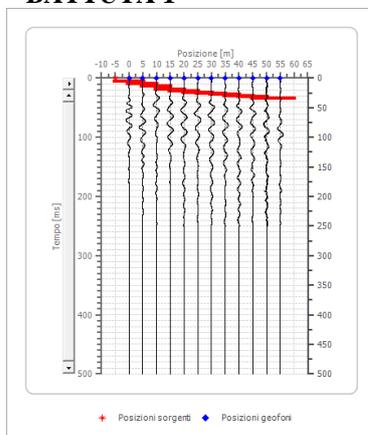
**PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO SR4**



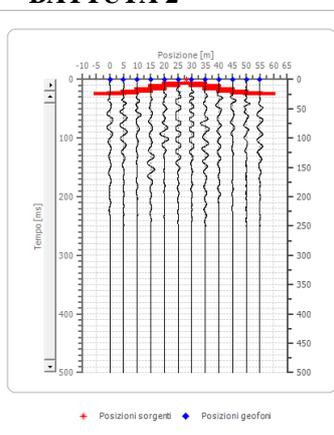
**Geometria geofoni**

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	0.0	0.0
2	5.0	0.0
3	10.0	0.0
4	15.0	0.0
5	20.0	0.0
6	25.0	0.0
7	30.0	0.0
8	35.0	0.0
9	40.0	0.0
10	45.0	0.0
11	50.0	0.0
12	55.0	0.0

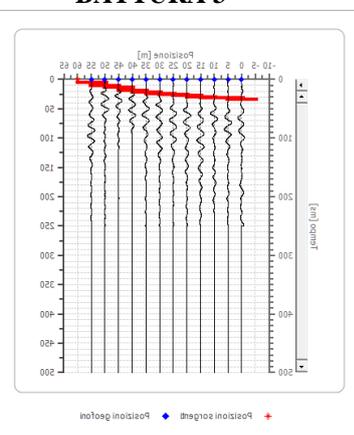
**BATTUTA 1**



**BATTUTA 2**



**BATTURA 3**



*Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

**Dati battute**

Battuta 1

Posizione sorgente X        -5 [m]

Posizione sorgente Z        0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	5.1200
5.0	10.2200
10.0	14.2124
15.0	19.1114
20.0	22.1234
25.0	24.1235
30.0	26.1258
35.0	28.0101
40.0	30.3988
45.0	32.2514
50.0	33.7878
55.0	34.6895

Battuta 2

Posizione sorgente X        28 [m]

Posizione sorgente Z        0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	25.0001
5.0	23.2001
10.0	20.9500
15.0	16.1100
20.0	11.5000
25.0	7.1114
30.0	7.1122
35.0	11.5031
40.0	16.0015
45.0	21.0042
50.0	23.2447
55.0	25.2565

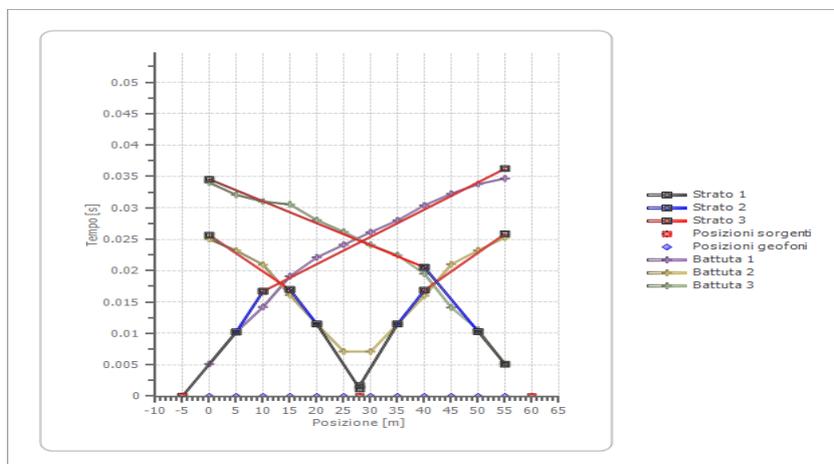
Battuta 3

Posizione sorgente X        60 [m]

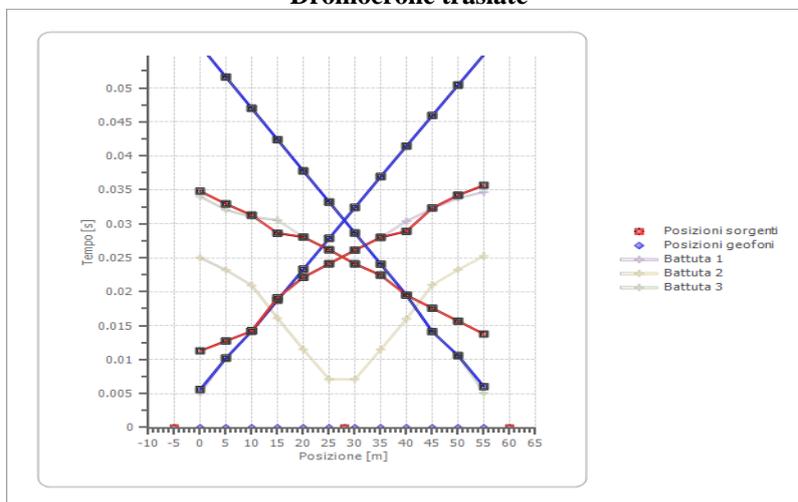
Posizione sorgente Z        0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	34.0258
5.0	32.0698
10.0	31.0111
15.0	30.5501
20.0	28.0555
25.0	26.1852
30.0	24.1017
35.0	22.4503
40.0	19.5014
45.0	14.1257
50.0	10.6024
55.0	5.1007

**Dromocrone**



**Dromocrone traslate**



**Interpretazione col metodo G<sub>r</sub>.R.M.**

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 0.0 [m]	1.1	4.8	15
G= 5.0 [m]	1.1	4.5	15
G= 10.0 [m]	0.7	4.6	15
G= 15.0 [m]	0.7	6.0	15
G= 20.0 [m]	0.6	7.5	15
G= 25.0 [m]	0.6	7.6	15
G= 30.0 [m]	0.6	7.6	15
G= 35.0 [m]	0.6	7.7	15
G= 40.0 [m]	0.5	6.4	15
G= 45.0 [m]	0.0	7.6	15
G= 50.0 [m]	0.6	7.4	15
G= 55.0 [m]	0.5	7.1	15
Velocità [m/sec]	828.6	1101.4	2375.9
Descrizione	TERRENO VEGETALE	CALCARE MOLTO FRATTURATO	CALCARE MEDIAMENTE FRATTURATO

**Altri parametri geotecnici**

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.45	0.20	0.20
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1800.00	2200.00	2200.00
Vp [m/s]	828.62	1101.40	2375.86
Vs [m/s]	249.84	674.47	1454.91
G0 [MPa]	112.35	1000.80	4656.88
Ed [Mpa]	1235.90	2668.80	12418.35
M0 [MPa]	1123.54	1668.00	7761.47
Ey [Mpa]	325.83	2401.92	11176.51

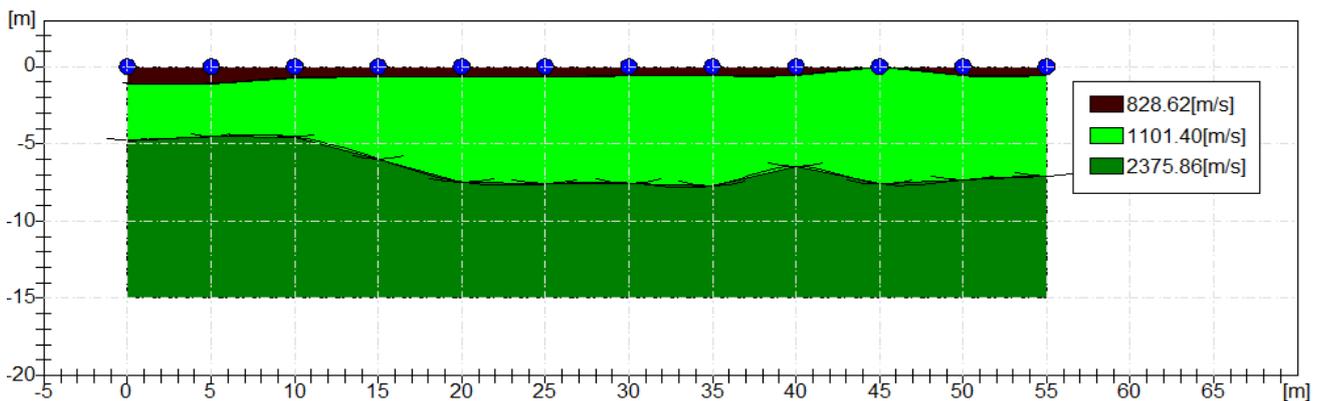
G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

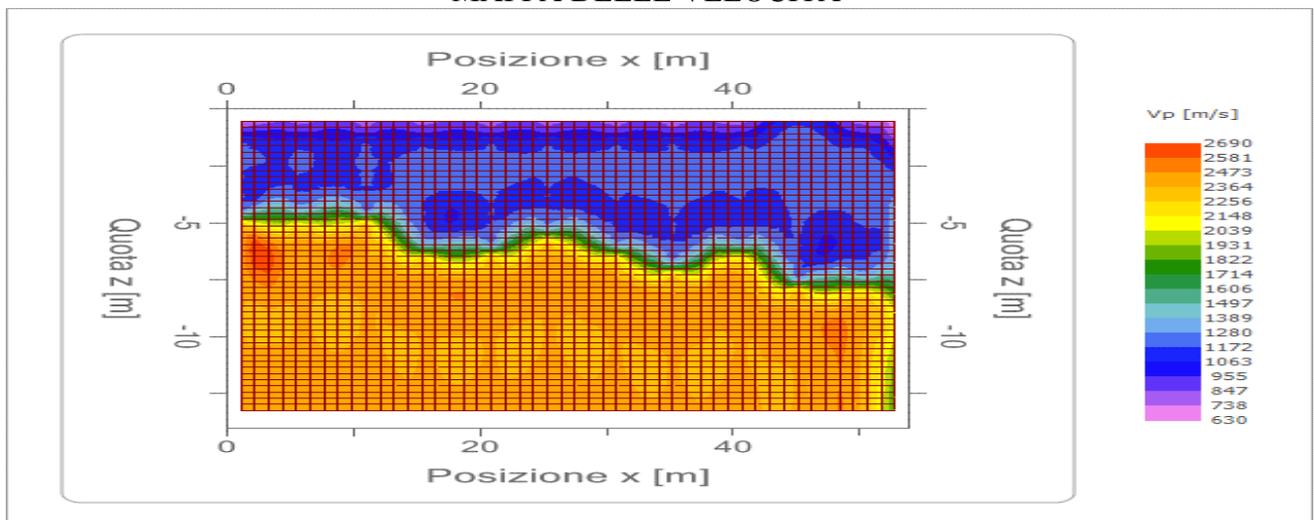
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

**PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO SR4**



**MAPPA DELLE VELOCITA'**



*Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

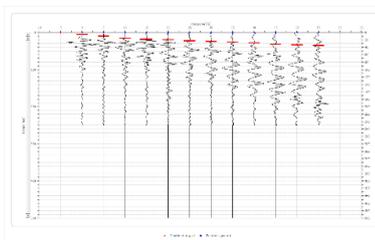
## PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO SR5



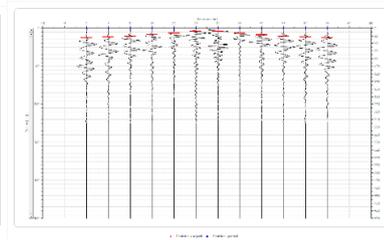
### Geometria geofoni

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	0.0	0.0
2	5.0	0.0
3	10.0	0.0
4	15.0	0.0
5	20.0	0.0
6	25.0	0.0
7	30.0	0.0
8	35.0	0.0
9	40.0	0.0
10	45.0	0.0
11	50.0	0.0
12	55.0	0.0

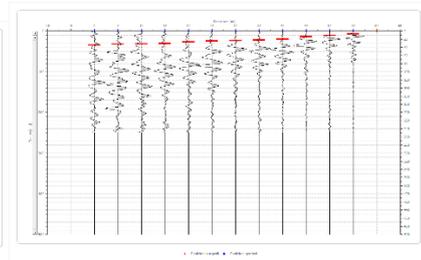
**BATTUTA 1**



**BATTUTA 2**



**BATTURA 3**



*Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

**Dati battute**

Battuta 1

Posizione sorgente X        -5 [m]

Posizione sorgente Z        0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	5.1451
5.0	10.2145
10.0	14.9854
15.0	18.2564
20.0	20.1365
25.0	23.0551
30.0	24.1125
35.0	26.1145
40.0	28.0164
45.0	32.1141
50.0	33.7811
55.0	34.6895

Battuta 2

Posizione sorgente X        28 [m]

Posizione sorgente Z        0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	25.0001
5.0	23.1985
10.0	21.5941
15.0	16.7441
20.0	12.8252
25.0	8.1444
30.0	8.1454
35.0	12.8231
40.0	17.3415
45.0	21.5741
50.0	23.1145
55.0	25.0021

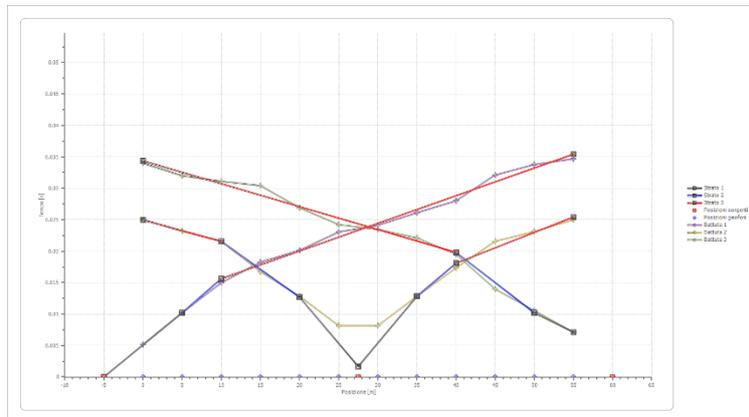
Battuta 3

Posizione sorgente X        60 [m]

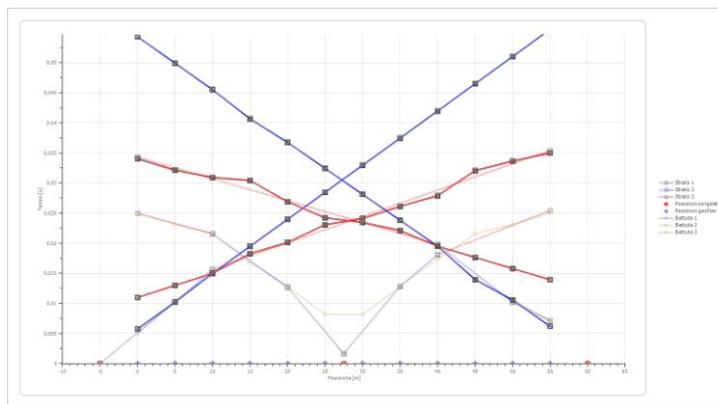
Posizione sorgente Z        0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	34.0041
5.0	32.0011
10.0	31.1115
15.0	30.4152
20.0	26.8985
25.0	24.2220
30.0	23.4574
35.0	22.1114
40.0	19.4987
45.0	13.9634
50.0	10.5521
55.0	7.1141

**Dromocrone**



**Dromocrone traslate**



**Interpretazione col metodo G.,R.M.**

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 0.0 [m]	0.4	4.9	15
G= 5.0 [m]	0.5	4.9	15
G= 10.0 [m]	0.7	5.3	15
G= 15.0 [m]	0.5	7.2	15
G= 20.0 [m]	0.8	6.0	15
G= 25.0 [m]	0.9	6.1	15
G= 30.0 [m]	1.0	6.2	15
G= 35.0 [m]	1.1	6.6	15
G= 40.0 [m]	1.2	6.0	15
G= 45.0 [m]	0.6	7.7	15
G= 50.0 [m]	1.3	7.3	15
G= 55.0 [m]	1.4	6.9	15
Velocità [m/sec]	794.3	1123.1	2447.8
Descrizione	TERRENO VEGETALE	CALCARE MOLTO FRATTURATO	CALCARE MEDIAMENTE FRATTURATO

**Altri parametri geotecnici**

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.45	0.20	0.20
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1800.00	2200.00	2200.00
Vp [m/s]	794.31	1123.10	2447.82
Vs [m/s]	239.49	687.75	1498.98
G0 [MPa]	103.24	1040.61	4943.24
Ed [Mpa]	1135.66	2774.96	13181.99
M0 [MPa]	1032.42	1734.35	8238.74
Ey [Mpa]	299.40	2497.47	11863.79

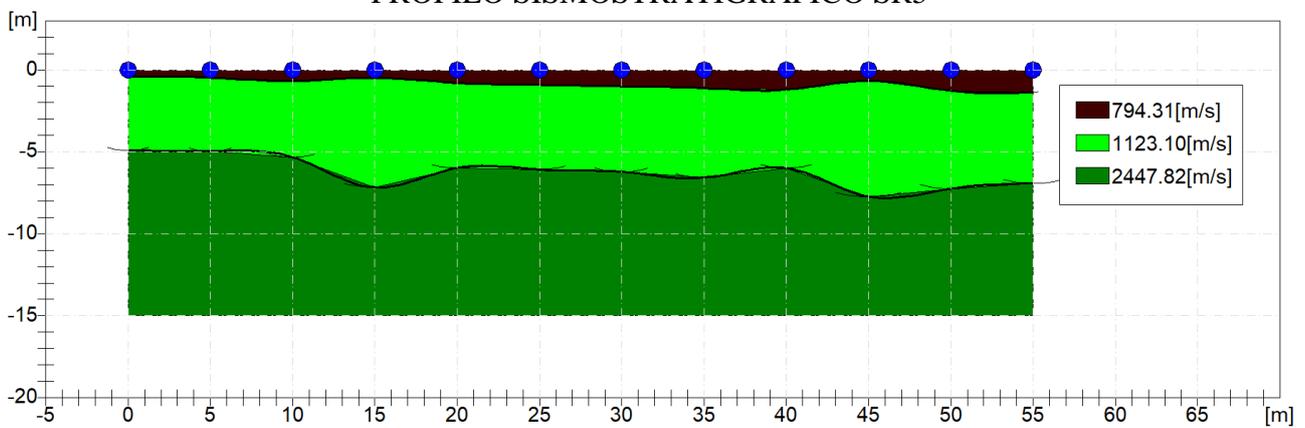
G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

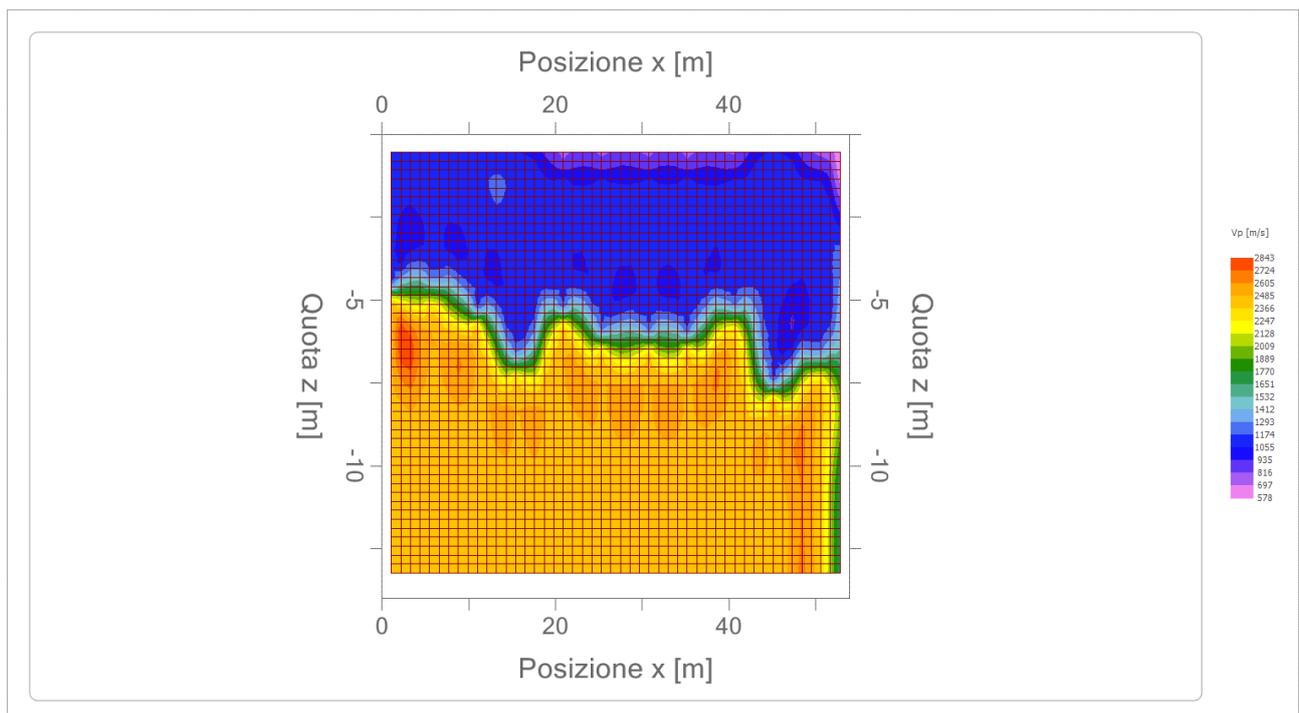
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

**PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO SR5**



**MAPPA DELLE VELOCITA'**



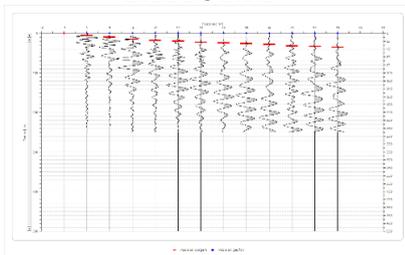
**PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO SR6**



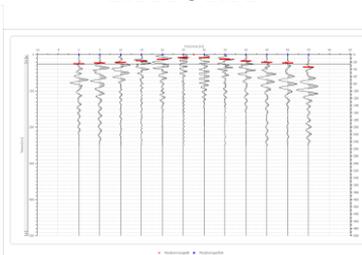
**Geometria geofoni**

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	0.0	0.0
2	5.0	0.0
3	10.0	0.0
4	15.0	0.0
5	20.0	0.0
6	25.0	0.0
7	30.0	0.0
8	35.0	0.0
9	40.0	0.0
10	45.0	0.0
11	50.0	0.0
12	55.0	0.0

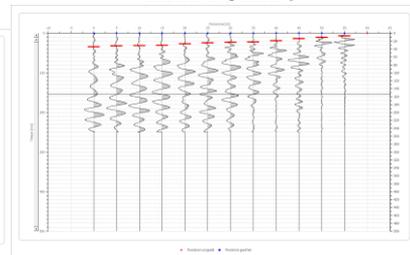
**BATTUTA 1**



**BATTUTA 2**



**BATTURA 3**



*Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

**Dati battute**

Battuta 1

Posizione sorgente X -5 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	5.1314
5.0	10.2211
10.0	15.0012
15.0	18.1254
20.0	20.1368
25.0	23.1145
30.0	24.1131
35.0	26.0012
40.0	28.1114
45.0	32.1145
50.0	33.7951
55.0	34.6895

Battuta 2

Posizione sorgente X 28 [m]

Posizione sorgente Z 0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	25.0801
5.0	23.1878
10.0	21.4448
15.0	16.6446
20.0	12.8258
25.0	8.1014
30.0	8.1104
35.0	12.8147
40.0	17.1587
45.0	21.1643
50.0	23.1784
55.0	25.1447

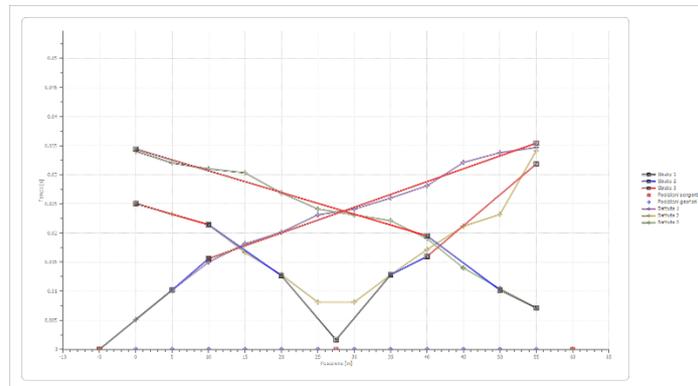
Battuta 3

Posizione sorgente X 60 [m]

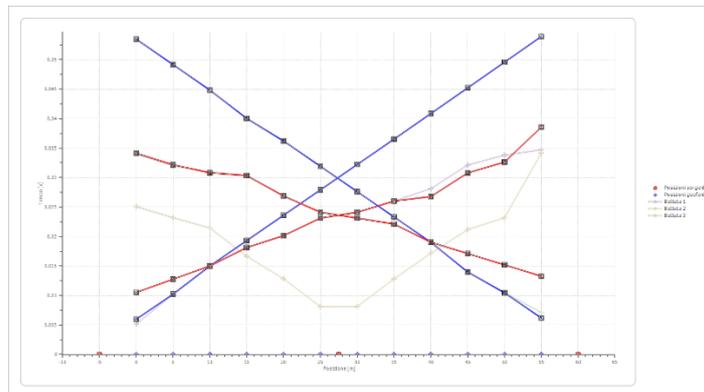
Posizione sorgente Z 0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	34.0366
5.0	32.0148
10.0	31.0144
15.0	30.3254
20.0	26.8741
25.0	24.1114
30.0	23.1140
35.0	22.1145
40.0	19.0254
45.0	13.9824
50.0	10.4548
55.0	7.1289

**Dromocrone**



**Dromocrone traslate**



**Interpretazione col metodo G.,R.M.**

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 0.0 [m]	0.8	4.4	15
G= 5.0 [m]	0.8	4.6	15
G= 10.0 [m]	1.0	5.1	15
G= 15.0 [m]	0.8	7.0	15
G= 20.0 [m]	1.0	5.9	15
G= 25.0 [m]	1.0	6.0	15
G= 30.0 [m]	1.0	6.0	15
G= 35.0 [m]	1.0	6.6	15
G= 40.0 [m]	1.1	5.1	15
G= 45.0 [m]	0.7	6.7	15
G= 50.0 [m]	1.1	6.3	15
G= 55.0 [m]	1.2	9.0	15
Velocità [m/sec]	796.2	1155.2	2365.6
Descrizione	TERRENO VEGETALE	CALCARE MOLTO FRATTURATO	CALCARE MEDIAMENTE FRATTURATO

**Altri parametri geotecnici**

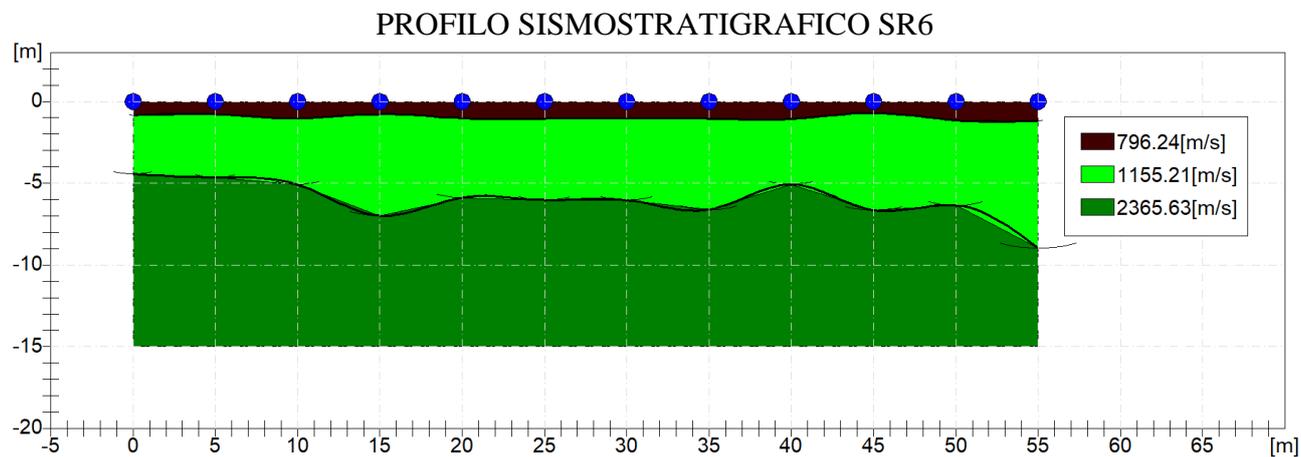
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.45	0.20	0.20
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1800.00	2200.00	2200.00
Vp [m/s]	796.24	1155.21	2365.63
Vs [m/s]	240.08	707.42	1448.65
G0 [MPa]	103.75	1100.98	4616.87
Ed [Mpa]	1141.21	2935.94	12311.64
M0 [MPa]	1037.46	1834.96	7694.78
Ey [Mpa]	300.86	2642.35	11080.48

G0: Modulo di deformazione al taglio;

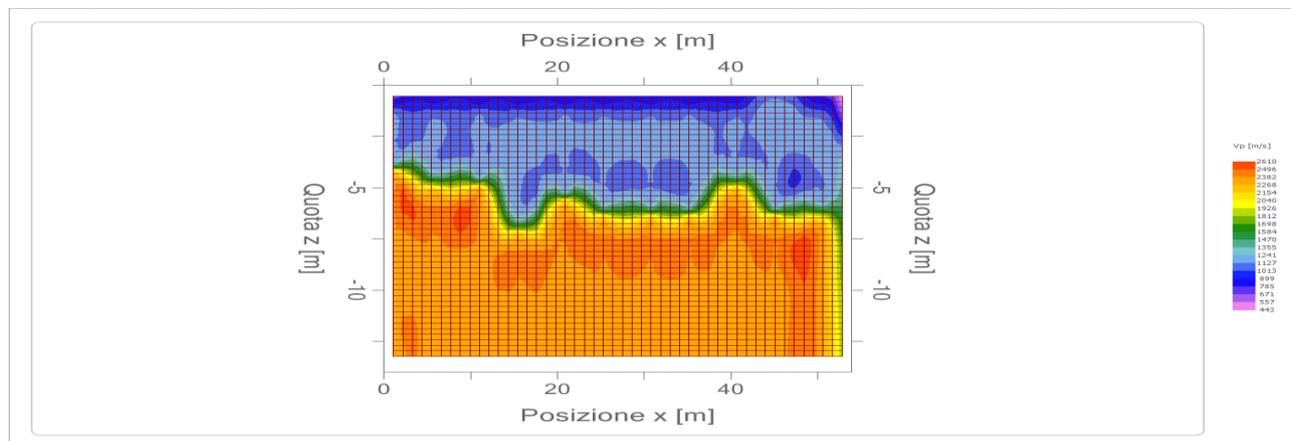
Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



**MAPPA DELLE VELOCITA'**



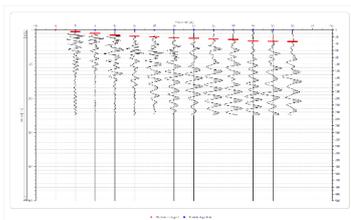
**PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO SR7**



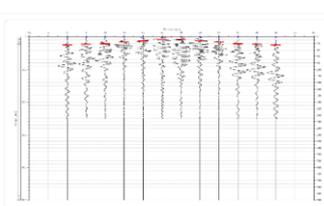
**Geometria geofoni**

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	0.0	0.0
2	5.0	0.0
3	10.0	0.0
4	15.0	0.0
5	20.0	0.0
6	25.0	0.0
7	30.0	0.0
8	35.0	0.0
9	40.0	0.0
10	45.0	0.0
11	50.0	0.0
12	55.0	0.0

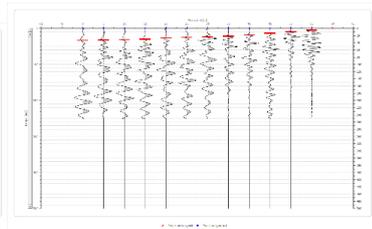
**BATTUTA 1**



**BATTUTA 2**



**BATTURA 3**



*Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

**Dati battute**

Battuta 1

Posizione sorgente X        -5 [m]

Posizione sorgente Z        0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	5.1112
5.0	10.1112
10.0	15.0025
15.0	18.2114
20.0	20.4544
25.0	23.1014
30.0	24.1104
35.0	26.8882
40.0	28.1784
45.0	32.8742
50.0	33.7221
55.0	34.6114

Battuta 2

Posizione sorgente X        28 [m]

Posizione sorgente Z        0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	25.0655
5.0	23.1587
10.0	21.1458
15.0	16.1154
20.0	12.8451
25.0	8.0145
30.0	8.1104
35.0	12.0012
40.0	16.1652
45.0	21.1484
50.0	23.1584
55.0	25.0741

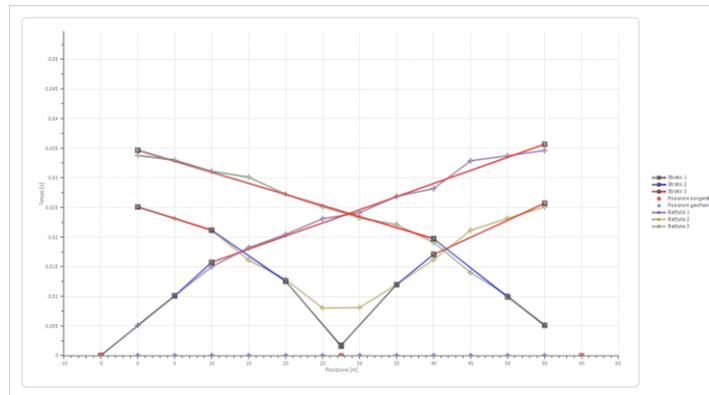
Battuta 3

Posizione sorgente X        60 [m]

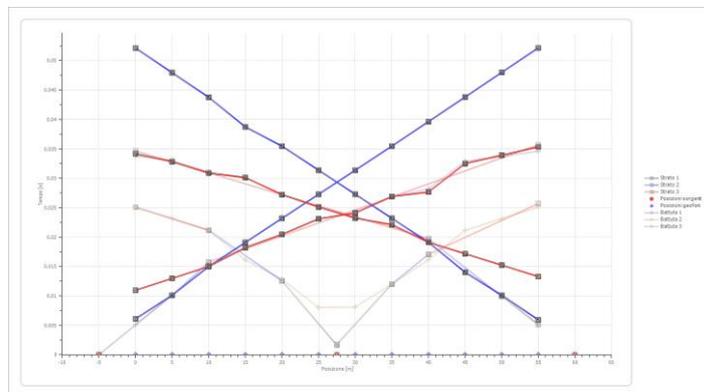
Posizione sorgente Z        0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	33.7784
5.0	32.9878
10.0	31.1114
15.0	30.1148
20.0	27.2247
25.0	25.1144
30.0	23.2250
35.0	22.1114
40.0	19.1144
45.0	14.0214
50.0	10.1114
55.0	5.1225

**Dromocrone**



**Dromocrone traslate**



**Interpretazione col metodo G.,R.M.**

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 0.0 [m]	1.2	4.7	15
G= 5.0 [m]	1.1	5.3	15
G= 10.0 [m]	1.5	5.1	15
G= 15.0 [m]	0.9	7.1	15
G= 20.0 [m]	1.4	6.4	15
G= 25.0 [m]	1.4	6.7	15
G= 30.0 [m]	1.4	6.1	15
G= 35.0 [m]	1.4	7.3	15
G= 40.0 [m]	1.4	5.7	15
G= 45.0 [m]	0.9	8.0	15
G= 50.0 [m]	1.1	7.6	15
G= 55.0 [m]	1.1	7.2	15
Velocità [m/sec]	818.8	1197.3	2377.8
Descrizione	TERRENO VEGETALE	CALCARE MOLTO FRATTURATO	CALCARE MEDIAMENTE FRATTURATO

**Altri parametri geotecnici**

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.45	0.20	0.20
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1800.00	2200.00	2200.00
Vp [m/s]	818.77	1197.34	2377.81
Vs [m/s]	246.87	733.22	1456.10
G0 [MPa]	109.70	1182.73	4664.53
Ed [Mpa]	1206.69	3153.95	12438.75
M0 [MPa]	1096.99	1971.22	7774.22
Ey [Mpa]	318.13	2838.55	11194.88

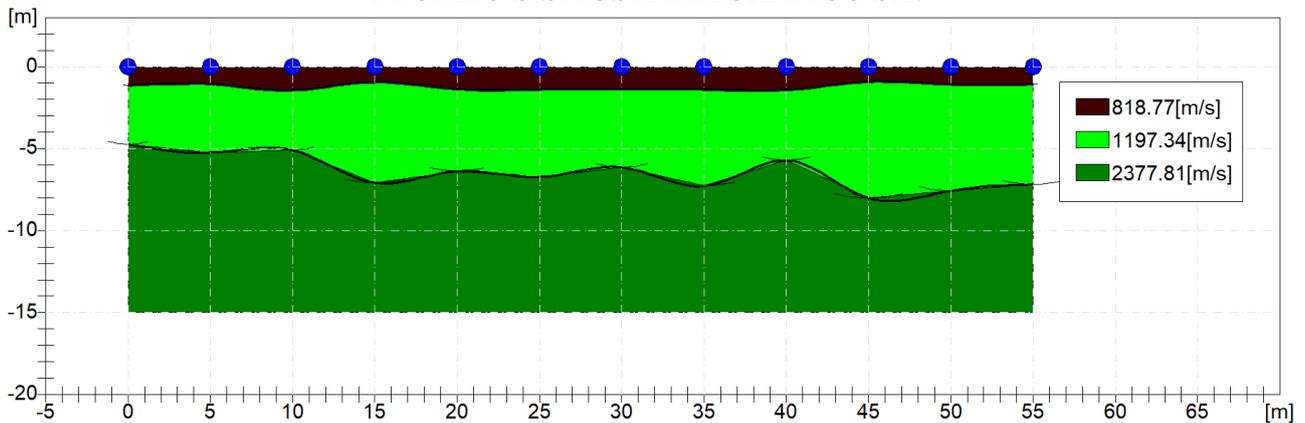
G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

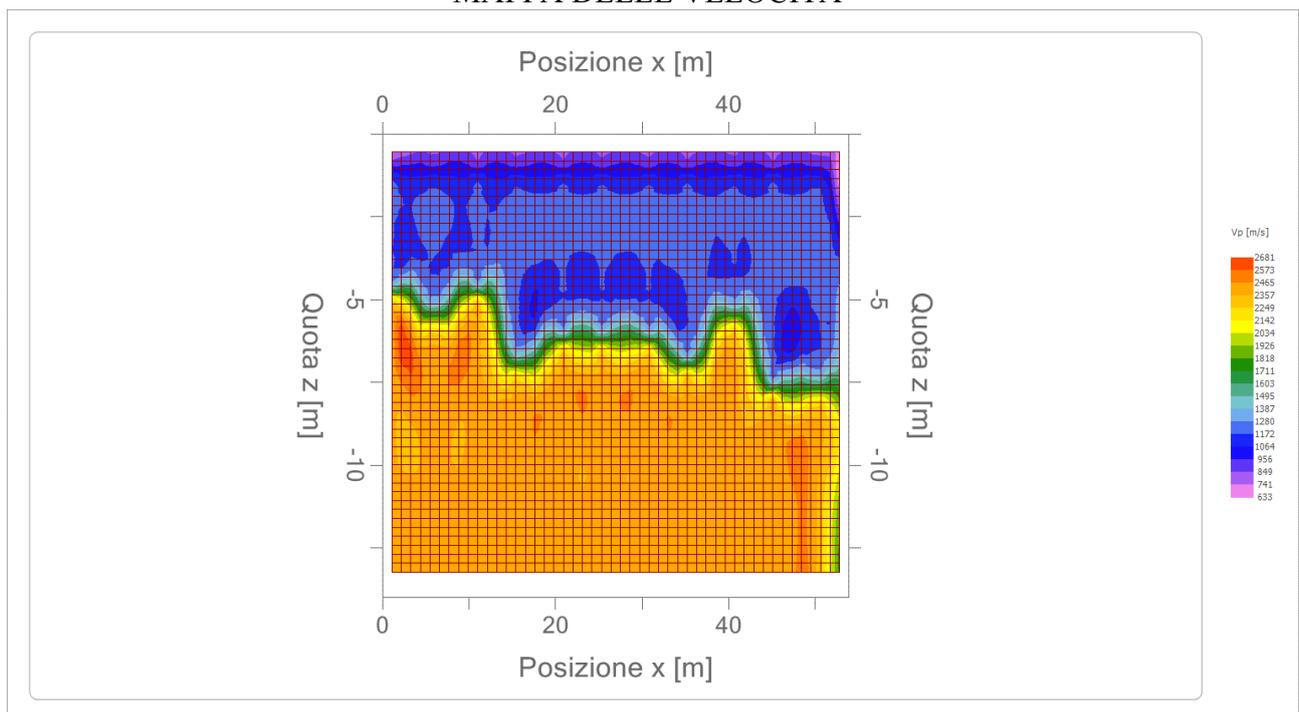
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

**PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO SR7**



**MAPPA DELLE VELOCITA'**



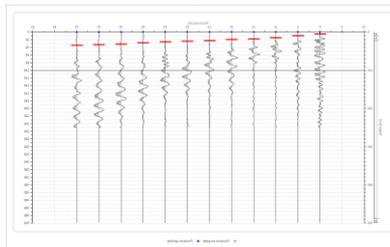
**PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO SR8**



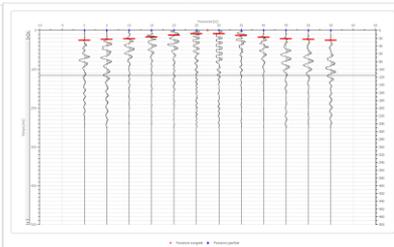
**Geometria geofoni**

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	0.0	0.0
2	5.0	0.0
3	10.0	0.0
4	15.0	0.0
5	20.0	0.0
6	25.0	0.0
7	30.0	0.0
8	35.0	0.0
9	40.0	0.0
10	45.0	0.0
11	50.0	0.0
12	55.0	0.0

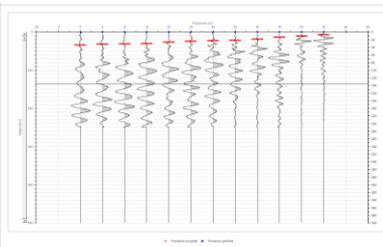
**BATTUTA 1**



**BATTUTA 2**



**BATTUTA 3**



*Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

**Dati battute**

**Battuta 1**

Posizione sorgente X        -5 [m]

Posizione sorgente Z        0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	5.1000
5.0	10.2200
10.0	15.1224
15.0	18.1447
20.0	20.1225
25.0	23.1225
30.0	24.1771
35.0	26.0552
40.0	28.1004
45.0	32.1789
50.0	33.7221
55.0	34.6801

**Battuta 2**

Posizione sorgente X        28 [m]

Posizione sorgente Z        0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	25.0014
5.0	23.1324
10.0	21.0014
15.0	16.6000
20.0	12.2555
25.0	8.1555
30.0	8.1555
35.0	12.8000
40.0	17.1500
45.0	21.1125
50.0	23.1587
55.0	25.1447

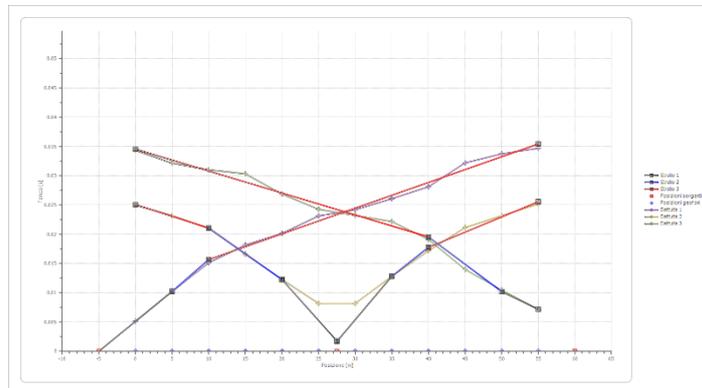
**Battuta 3**

Posizione sorgente X        60 [m]

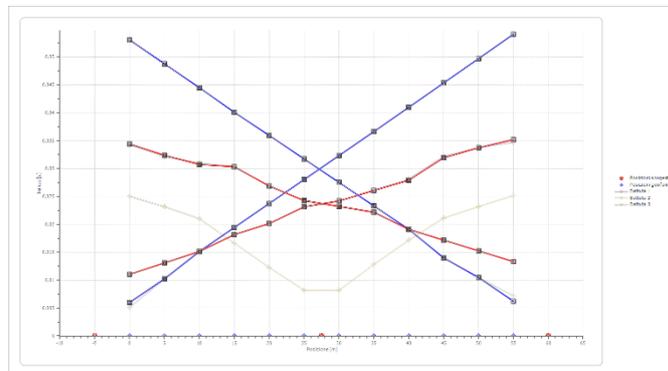
Posizione sorgente Z        0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	34.3214
5.0	32.1147
10.0	31.0014
15.0	30.3014
20.0	26.8524
25.0	24.2368
30.0	23.1987
35.0	22.1555
40.0	19.0874
45.0	13.9745
50.0	10.4548
55.0	7.1559

**Dromocrone**



**Dromocrone traslate**



**Interpretazione col metodo G.,R.M.**

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 0.0 [m]	0.7	5.2	15
G= 5.0 [m]	0.6	5.2	15
G= 10.0 [m]	1.0	5.3	15
G= 15.0 [m]	0.9	7.0	15
G= 20.0 [m]	1.0	6.0	15
G= 25.0 [m]	1.0	6.2	15
G= 30.0 [m]	1.1	6.2	15
G= 35.0 [m]	1.1	6.7	15
G= 40.0 [m]	1.2	5.9	15
G= 45.0 [m]	0.8	7.5	15
G= 50.0 [m]	1.3	7.1	15
G= 55.0 [m]	1.3	6.8	15
Velocità [m/sec]	802.1	1160.1	2406.7
Descrizione	TERRENO VEGETALE	CALCARE MOLTO FRATTURATO	CALCARE MEDIAMENTE FRATTURATO

**Altri parametri geotecnici**

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.45	0.20	0.20
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1800.00	2200.00	2200.00
Vp [m/s]	800.15	1184.05	2364.20
Vs [m/s]	241.25	725.08	1447.77
G0 [MPa]	104.77	1156.62	4611.29
Ed [Mpa]	1152.42	3084.33	12296.76
M0 [MPa]	1047.75	1027.60	7685.48
Ey [Mpa]	303.82	2765.89	11077.09

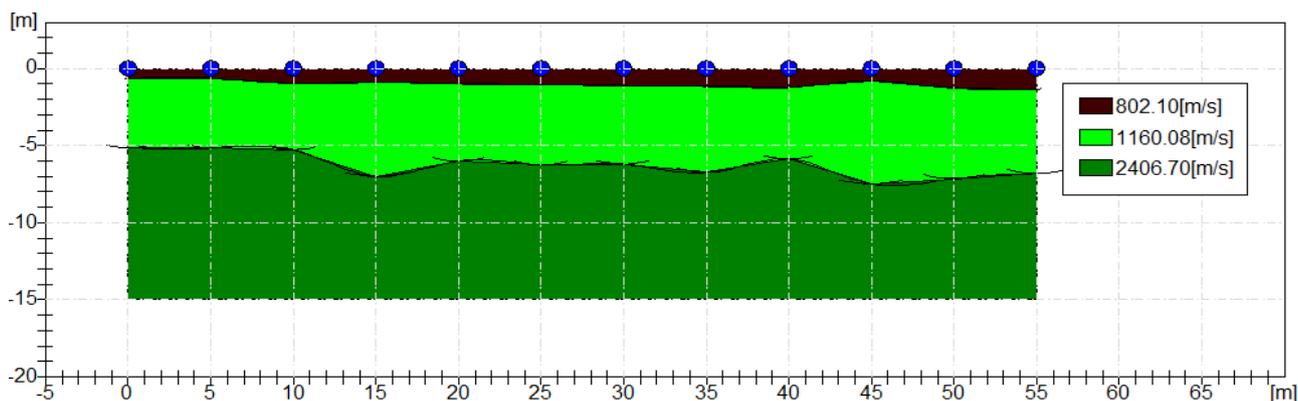
G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

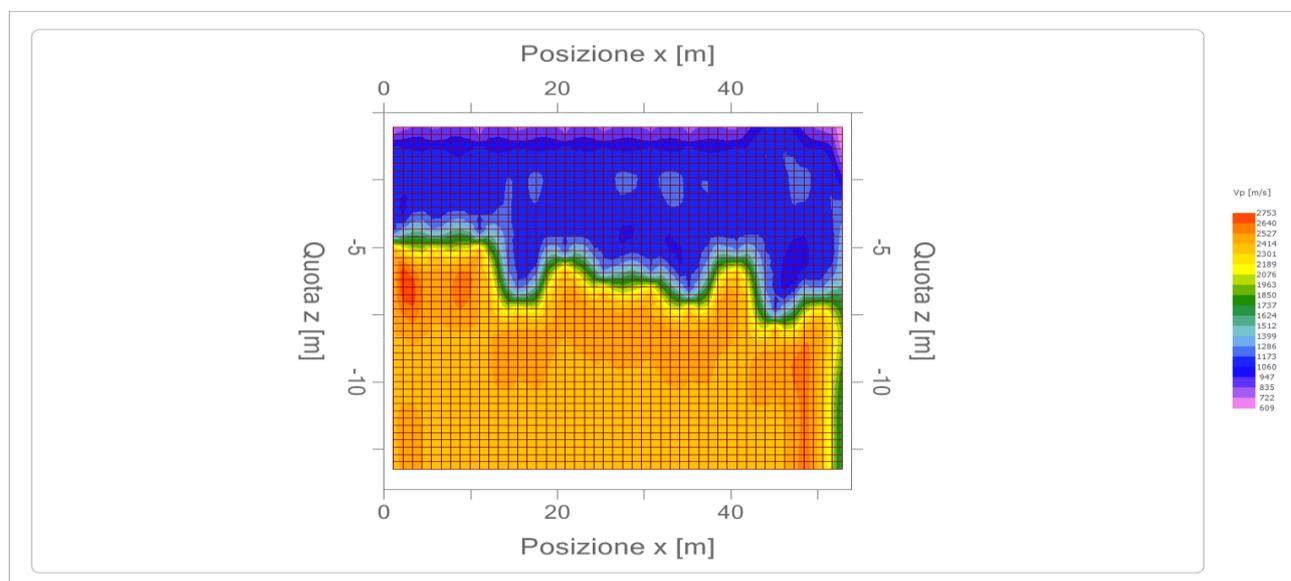
M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

**PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO SR8**



**MAPPA DELLE VELOCITA'**



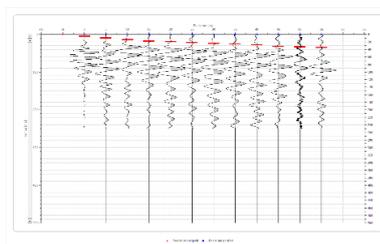
**PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO SR9**



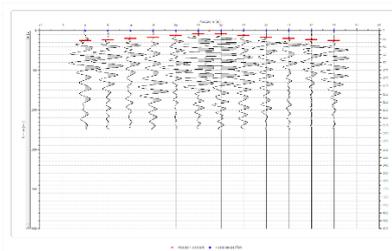
**Geometria geofoni**

	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	0.0	0.0
2	5.0	0.0
3	10.0	0.0
4	15.0	0.0
5	20.0	0.0
6	25.0	0.0
7	30.0	0.0
8	35.0	0.0
9	40.0	0.0
10	45.0	0.0
11	50.0	0.0
12	55.0	0.0

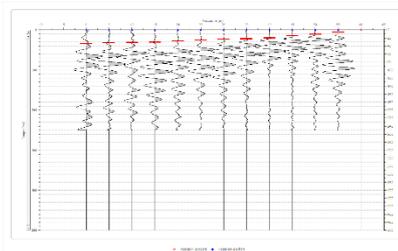
**BATTUTA 1**



**BATTUTA 2**



**BATTURA 3**



*Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

**Dati battute**

Battuta 1

Posizione sorgente X        -5 [m]

Posizione sorgente Z        0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	5.1221
5.0	10.2211
10.0	14.2111
15.0	18.1114
20.0	20.1444
25.0	22.0255
30.0	24.1858
35.0	26.0188
40.0	28.3880
45.0	32.2884
50.0	33.7880
55.0	34.8885

Battuta 2

Posizione sorgente X        28 [m]

Posizione sorgente Z        0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	25.4001
5.0	23.2444
10.0	20.0140
15.0	16.7440
20.0	12.5000
25.0	8.1000
30.0	8.1000
35.0	12.5031
40.0	16.7115
45.0	20.0042
50.0	23.2110
55.0	25.2164

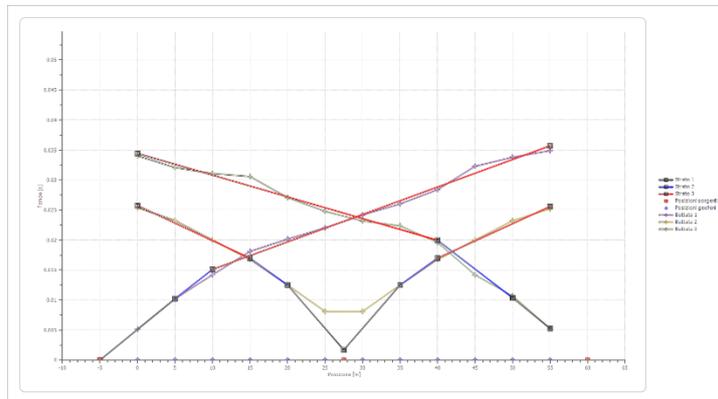
Battuta 3

Posizione sorgente X        60 [m]

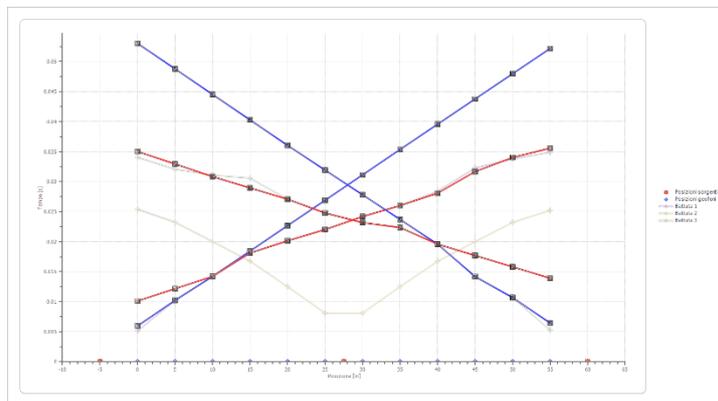
Posizione sorgente Z        0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	34.0444
5.0	32.0678
10.0	31.0777
15.0	30.5770
20.0	27.0775
25.0	24.7777
30.0	23.1770
35.0	22.3587
40.0	19.5884
45.0	14.1887
50.0	10.6880
55.0	5.2580

**Dromocrone**



**Dromocrone traslate**



**Interpretazione col metodo G.,R.M.**

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
G= 0.0 [m]	1.2	4.6	15
G= 5.0 [m]	1.2	4.6	15
G= 10.0 [m]	1.0	4.6	15
G= 15.0 [m]	1.0	6.0	15
G= 20.0 [m]	1.0	6.1	15
G= 25.0 [m]	1.1	5.8	15
G= 30.0 [m]	1.1	6.2	15
G= 35.0 [m]	1.2	6.8	15
G= 40.0 [m]	1.2	6.3	15
G= 45.0 [m]	0.6	7.8	15
G= 50.0 [m]	1.0	7.9	15
G= 55.0 [m]	1.0	7.7	15
Velocità [m/sec]	800.1	1184.0	2364.2
Descrizione	TERRENO VEGETALE	CALCARE MOLTO FRATTURATO	CALCARE MEDIAMENTE FRATTURATO

**Altri parametri geotecnici**

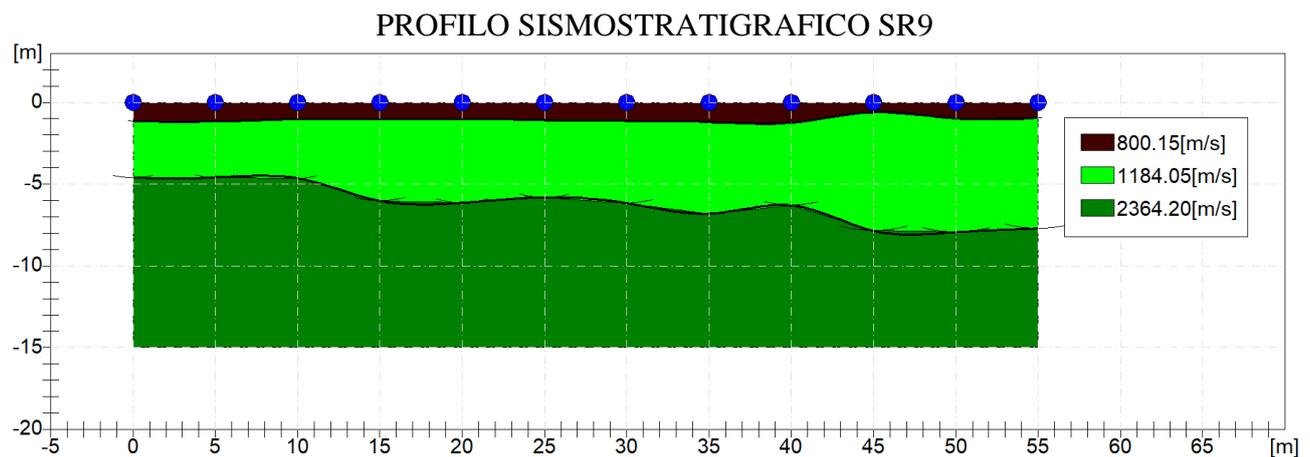
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.45	0.20	0.20
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1800.00	2200.00	2200.00
Vp [m/s]	800.15	1184.05	2364.20
Vs [m/s]	241.25	725.08	1447.77
G0 [MPa]	104.77	1156.62	4611.29
Ed [Mpa]	1152.42	3084.33	12296.76
M0 [MPa]	1047.65	1927.70	7685.48
Ey [Mpa]	303.82	2775.89	11067.09

G0: Modulo di deformazione al taglio;

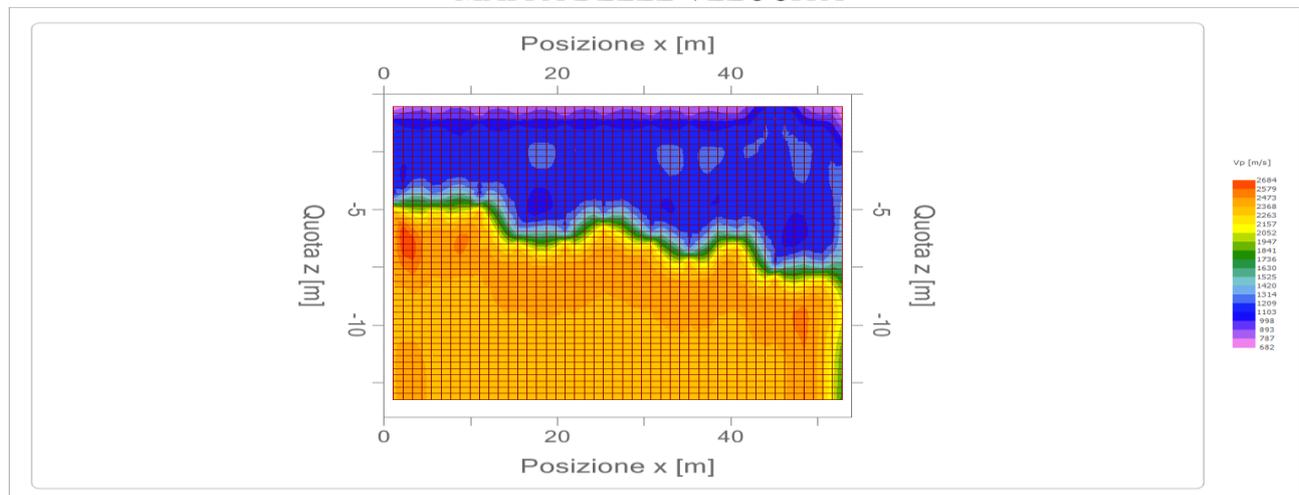
Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



**MAPPA DELLE VELOCITA'**



## **Easy MASW**

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

### **Moto del segnale sismico**

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P**-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- **S**-Trasversale: onda profonda di taglio;
- **L**-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R**-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

### **Onde di Rayleigh – “R”**

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

### **Analisi del segnale con tecnica MASW**

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il

## *Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

### **Modellizzazione**

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

### **Modi di vibrazione**

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

### **Profondità di indagine**

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

*Dr. Geol. Mauro Palombella*

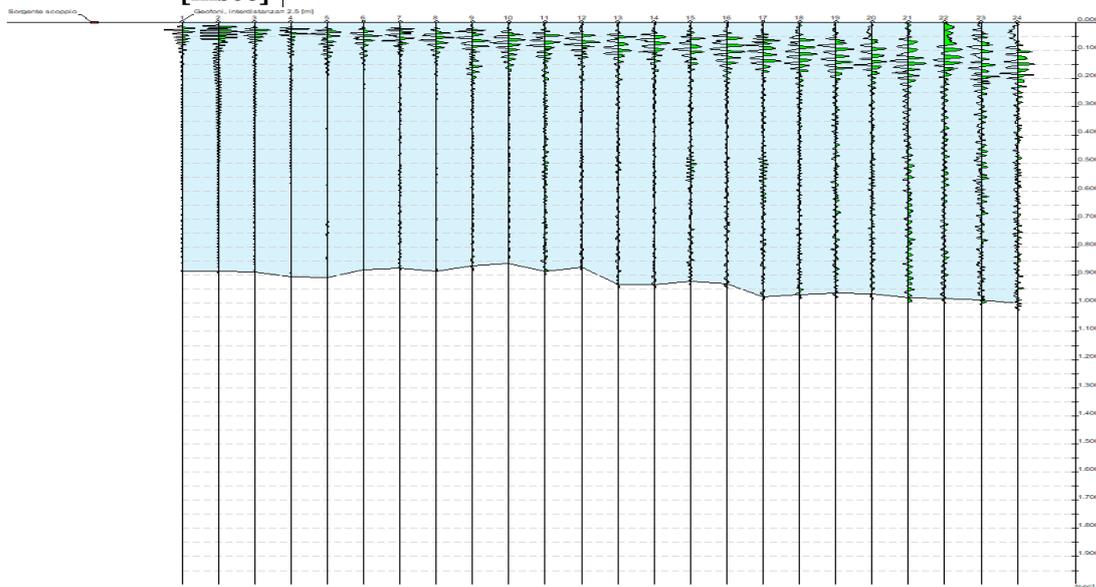
Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

**PROSPEZIONE SISMICA ATTRAVERSO IL METODO MASW  
MASW1**



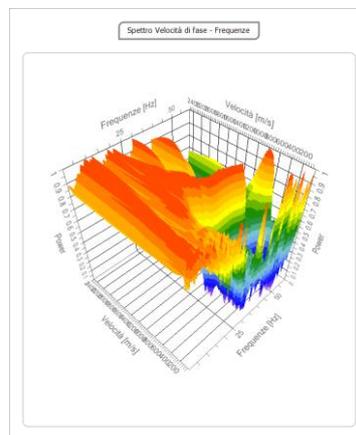
**Tracce**

**N. tracce** 24  
**Durata acquisizione** 2000.0  
**[msec]**  
**Interdistanza geofoni** 2.5  
**[m]**  
**Periodo di** 1.00  
**campionamento** [msec]



### Analisi spettrale

<b>Frequenza minima di elaborazione [Hz]</b>	1
<b>Frequenza massima di elaborazione [Hz]</b>	60
<b>Velocità minima di elaborazione [m/sec]</b>	1
<b>Velocità massima di elaborazione [m/sec]</b>	2500
<b>Intervallo velocità [m/sec]</b>	1



### Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	20.4	1745.2	0
2	21.8	1573.6	0
3	27.2	1171.6	0
4	25.3	1316.3	0
5	32.7	1024.5	0
6	40.6	946.0	0
7	44.0	910.0	0
8	47.0	854.5	0

**Inversione**

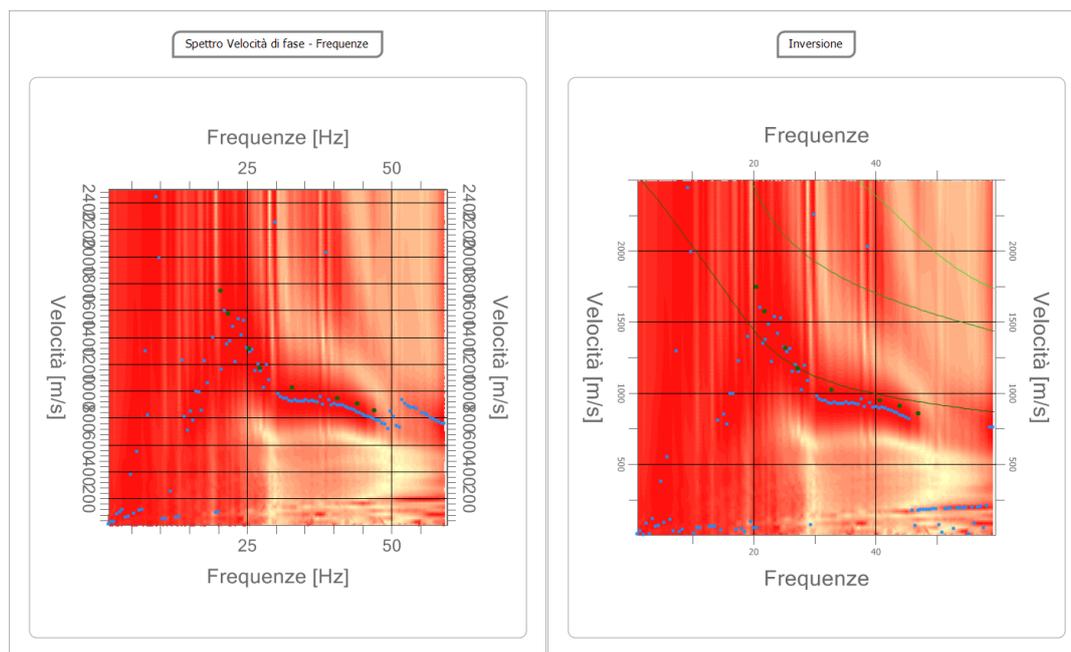
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	TERRENO VEGETALE	1.00	1.00	1700.0	0.45	No	1198.4	361.3
2	CALCALRE MOLTO FRATTURATO	5.00	4.00	2200.0	0.20	No	1384.1	847.6
3	CALCARE MEDIANTE FRATTURATO	15.00	10.00	2200.0	0.20	No	2006.7	1228.8
4	CALCARE COMPATTO	30.01	15.00	2200.0	0.20	No	2710.4	1659.8
5		oo	oo	1800.0	0.20	No	4606.0	2820.6

Percentuale di errore

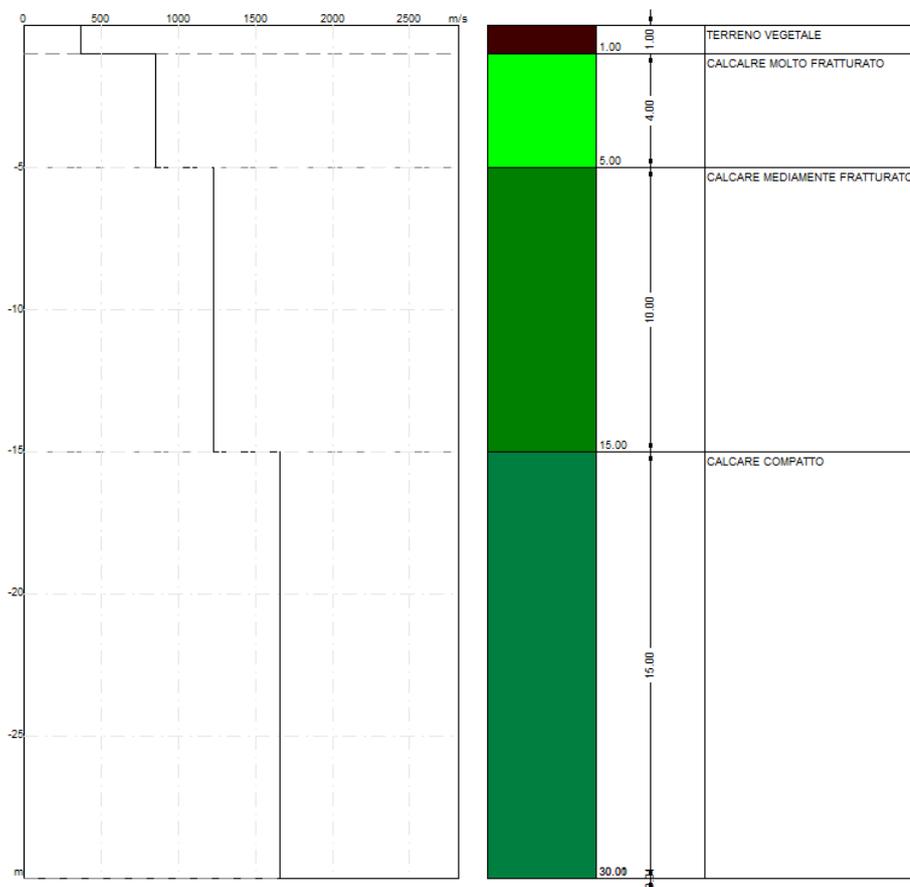
1.442 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.097



## SISMOSTRATIGRAFIA



### Risultati

Profondità piano di posa [m]	1.00
Vs,eq [m/sec] (H=0.00 m)	847.60
Categoria del suolo	A

**Suolo di tipo A:** Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

## *Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

### **Altri parametri geotecnici**

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.00	1.00	361.34	1198.42	1700.00	0.45	221.964	2441.54	2145.59	643.68	N/A	N/A
2	5.00	4.00	847.60	1384.12	2200.00	0.20	1580.54	4214.76	2107.38	3793.29	N/A	N/A
3	15.00	10.00	1228.84	2006.69	2200.00	0.20	3322.12	8858.99	4429.50	7973.10	N/A	N/A
4	30.01	15.00	1659.76	2710.37	2200.00	0.20	6060.56	16161.49	8080.74	14545.34	N/A	N/A
5	oo	oo	2820.59	4606.01	1800.00	0.20	14320.33	38187.55	19093.78	34368.80	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

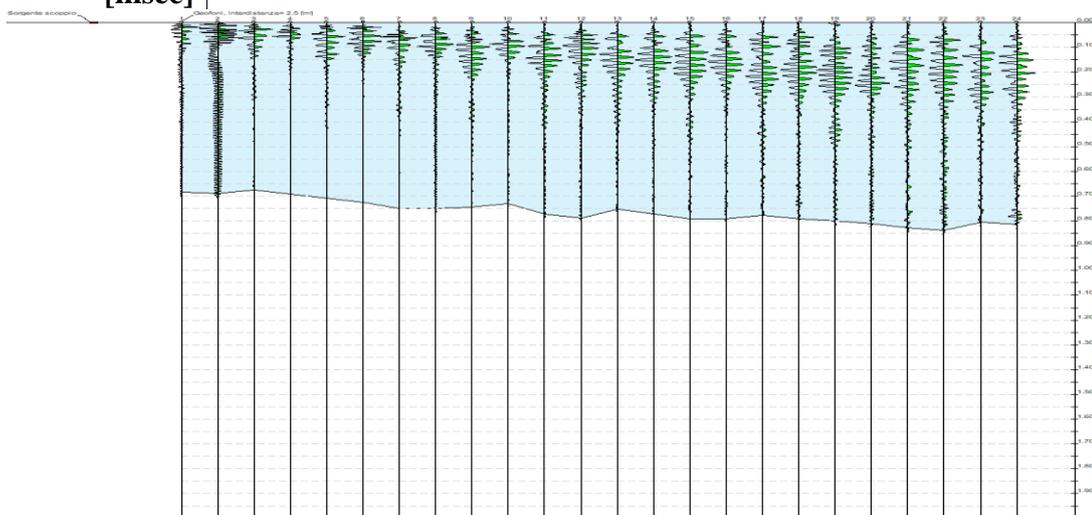
Ey: Modulo di Young;

**MASW2**



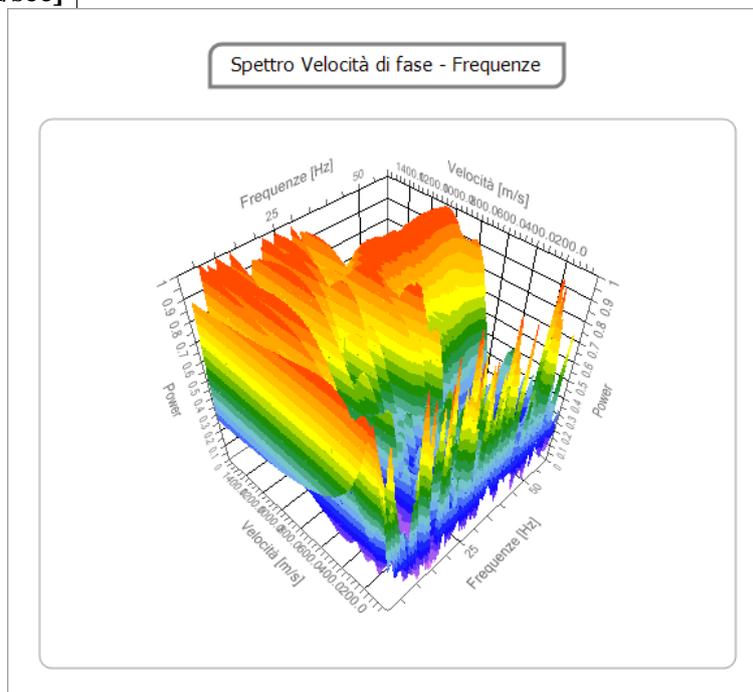
**Tracce**

**N. tracce** 24  
**Durata acquisizione** 2000.0  
[msec]  
**Interdistanza geofoni** 2.5  
[m]  
**Periodo di** 1.00  
**campionamento** [msec]



### Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz] 1  
Frequenza massima di elaborazione [Hz] 60  
Velocità minima di elaborazione [m/sec] 1  
Velocità massima di elaborazione [m/sec] 2500  
Intervallo velocità [m/sec] 1



### Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	21.8	1129.1	0
2	25.5	965.6	0
3	30.1	874.1	0
4	36.7	776.0	0
5	40.1	691.0	0
6	45.2	592.9	0
7	50.2	534.0	0
8	53.8	507.8	0

# Dr. Geol. Mauro Palombella

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

## Inversione

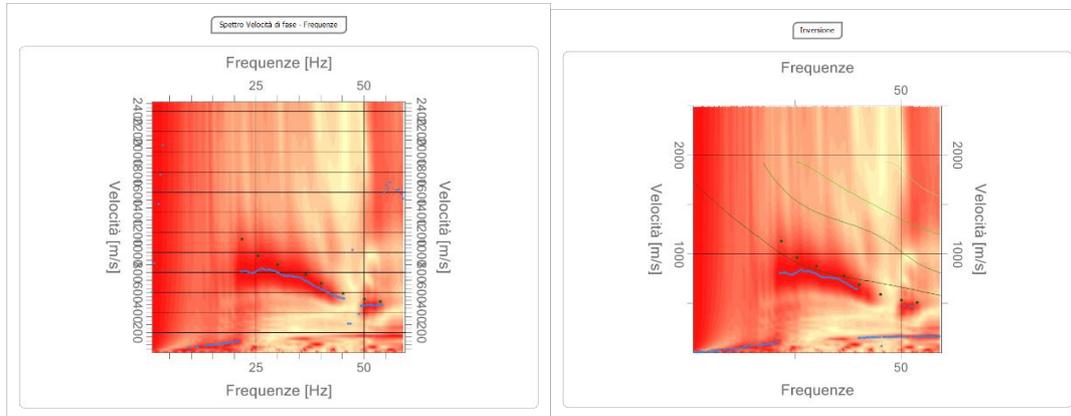
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	TERRENO VEGETALE	1.00	1.00	1700.0	0.45	No	663.3	200.0
2	CALCARE MOLTO FRATTURATO	7.00	6.00	2200.0	0.20	No	1322.9	810.1
3	CALCARE MEDIANTE FRATTURATO	17.00	10.00	2200.0	0.20	No	1638.2	1003.2
4	CALCARE COMPATTO	37.00	20.00	2200.0	0.20	No	2662.0	1630.1
5		oo	oo	1800.0	0.20	No	3158.9	1934.4

Percentuale di errore

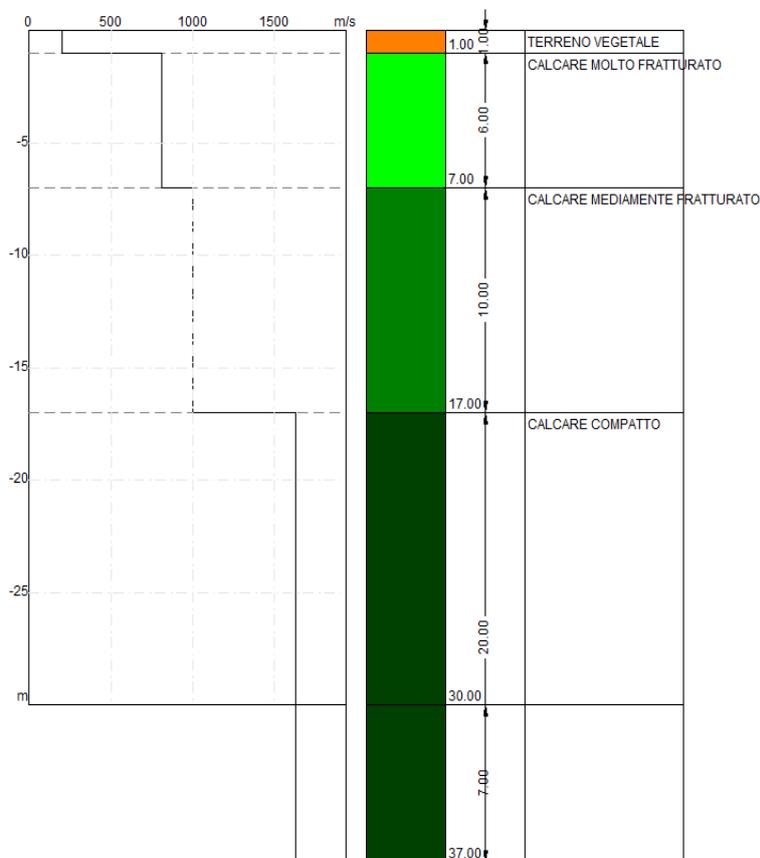
1.357 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.148



## SISMOSTRATIGRAFIA



### Risultati

### Risultati

Profondità piano di posa [m]	1.00
$V_{s,eq}$ [m/sec] (H=0.00 m)	810.12
Categoria del suolo	A

**Suolo di tipo A:** Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

*Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

**Altri parametri geotecnici**

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.00	1.00	200.00	663.32	1700.00	0.45	68.00	748.00	657.33	197.20	N/A	760.48
2	7.00	6.00	810.12	1322.92	2200.00	0.20	1443.85	3850.26	1925.13	3465.23	N/A	N/A
3	17.00	10.00	1003.18	1638.19	2200.00	0.20	2214.03	5904.07	2952.04	5313.67	N/A	N/A
4	37.00	20.00	1630.14	2662.01	2200.00	0.20	5846.18	15589.82	7794.91	14030.84	N/A	N/A
5	oo	oo	1934.43	3158.91	1800.00	0.20	6735.63	17961.68	8980.84	16165.51	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

*Dr. Geol. Mauro Palombella*

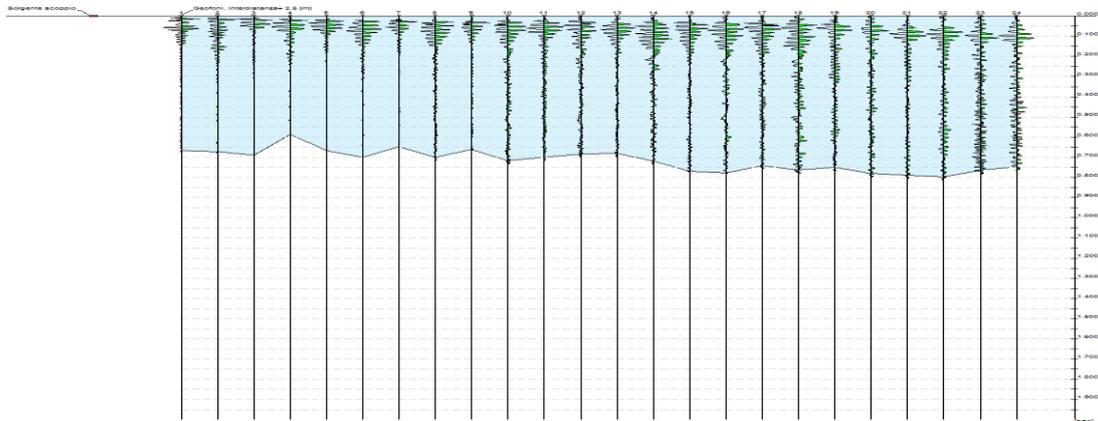
Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

**MASW3**



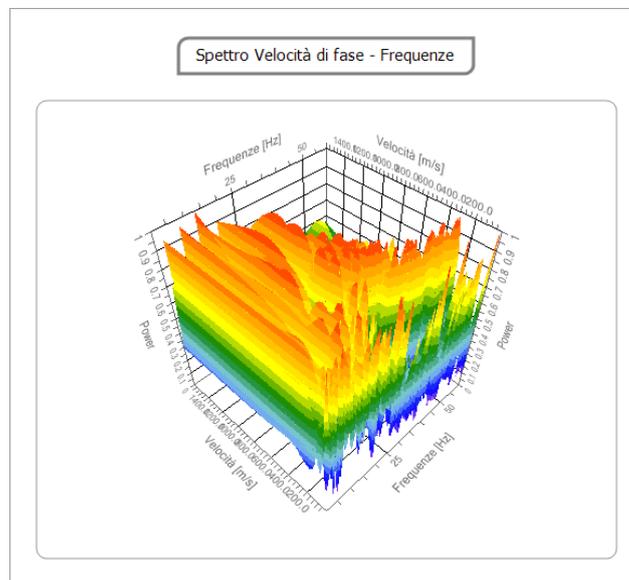
**Tracce**

<b>N. tracce</b>	24
<b>Durata acquisizione</b> [msec]	2000.0
<b>Interdistanza geofoni</b> [m]	2.5
<b>Periodo di campionamento</b> [msec]	1.00



### Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz] 1  
Frequenza massima di elaborazione [Hz] 60  
Velocità minima di elaborazione [m/sec] 1  
Velocità massima di elaborazione [m/sec] 2500  
Intervallo velocità [m/sec] 1



### Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	24.5	1702.8	0
2	21.3	2009.4	0
3	23.1	1825.4	0
4	28.1	1575.0	0
5	34.0	1431.9	0
6	37.7	1319.5	0
7	43.7	1222.4	0
8	50.0	1207.1	0

**Inversione**

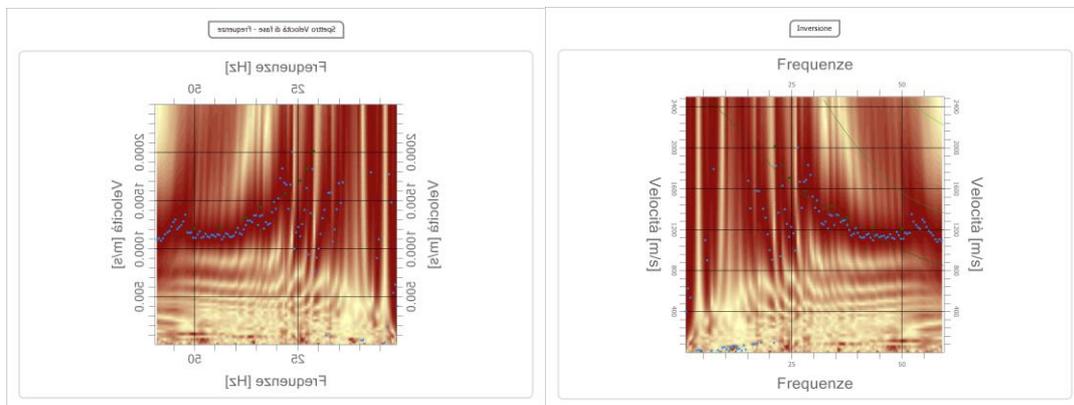
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	TERRENO VEGETALE	1.00	1.00	1800.0	0.45	No	1326.6	400.0
2	CALCARE MOLTO FRATTURATO	6.00	5.00	2201.1	0.20	No	1323.3	810.4
3	CALCARE MEDIAMENTE FRATTURATO	12.00	6.00	2200.0	0.20	No	2701.6	1654.4
4	CALCARE COMPATTO	35.00	23.00	2200.0	0.20	Si	3532.1	2163.0
5		oo	oo	1800.0	0.20	No	4910.8	3007.2

Percentuale di errore

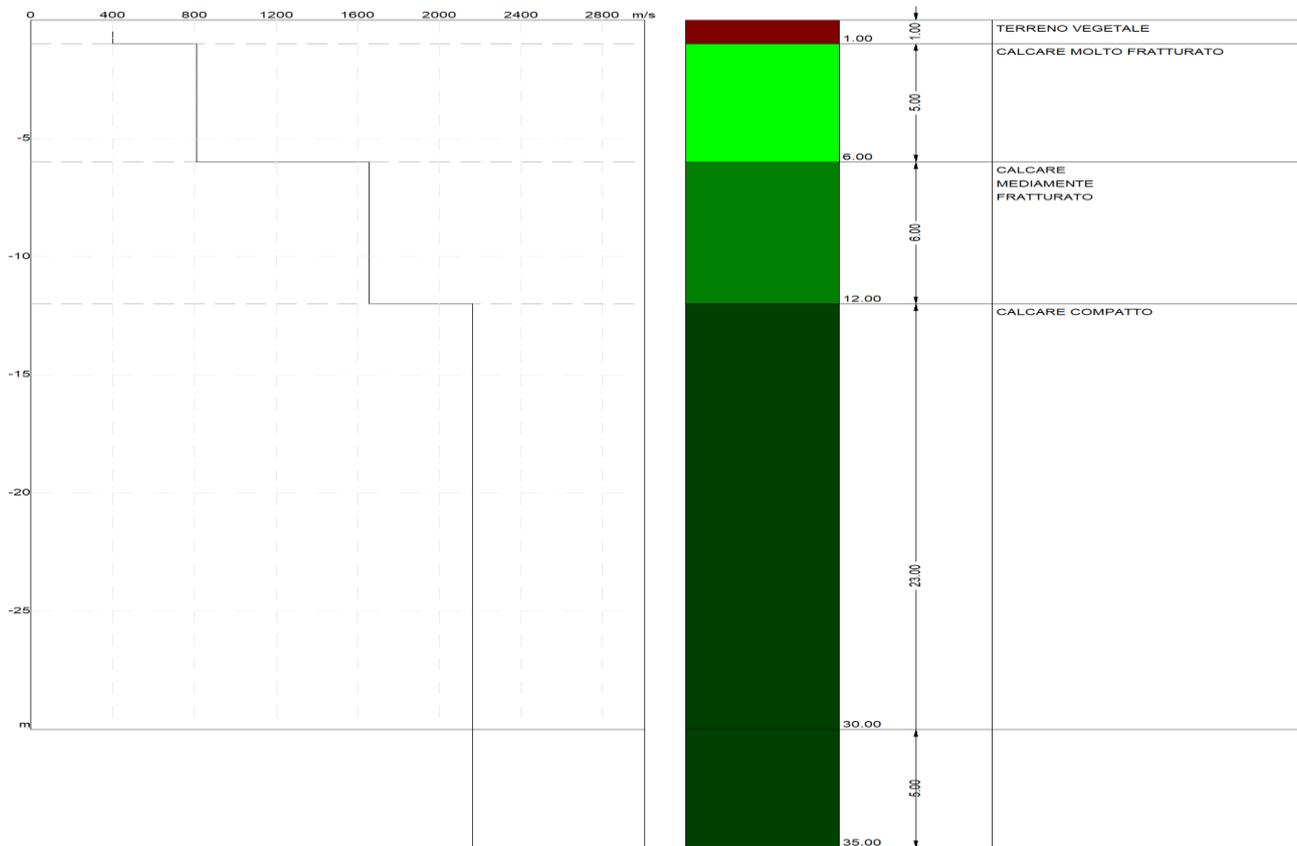
0.103 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.032



## SISMOSTRATIGRAFIA



### Risultati

Profondità piano di posa [m]	1.10
$V_{s,eq}$ [m/sec] (H=0.10 m)	810.38
Categoria del suolo	A

**Suolo di tipo A:** Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

*Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

**Altri parametri geotecnici**

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.00	1.00	400.00	1326.65	1800.00	0.45	288.00	3168.00	2784.00	835.20	N/A	N/A
2	6.00	5.00	810.38	1323.34	2201.05	0.20	1445.46	3854.57	1927.29	3469.11	N/A	N/A
3	12.00	6.00	1654.41	2701.64	2200.00	0.20	6021.56	16057.49	8028.74	14451.74	N/A	N/A
4	35.00	23.00	2162.97	3532.12	2300.00	0.20	10760.41	28694.42	14347.21	25824.98	N/A	N/A
5	oo	oo	3007.23	4910.78	1800.00	0.20	16278.13	43408.35	21704.17	39067.52	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

## **CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA**

La campagna di indagini che si proponeva di verificare la natura dei terreni affioranti e del sottosuolo, ha consentito di definire aree omogenee per quanto riguarda parametri qualitativi e quantitativi e per valutare la risposta meccanica locale dei terreni in fondazione in prospettiva sismica.

La ricostruzione delle sezioni sismostratigrafiche attraverso il metodo MASW, nella maggior parte dei casi, rivela una situazione di massima riconducibile a tre strati:

- a) uno strato superficiale areato a bassa velocità;
- b) uno strato di calcare molto fratturato a velocità media;
- c) uno strato calcareo mediamente fratturato a velocità medio alta.

In tutti i profili si evidenzia un diversità parametrica sia nei valori elastomeccanici sia nella distribuzione giaciturale del substrato roccioso ed in generale si evidenzia la presenza di " sacchi " di forma e dimensioni definibili discontinuità con riempimento di materiali limosi ed argillosi (terre rosse).

Anche l'inclinazione della superficie tabulare si presenta monoclinatica con immersioni a NE. Fenomeni di instabilità si vengono pertanto a determinare nelle zone periferiche di contatto tra i terreni di riporto, laddove i primi si assottigliano notevolmente.

L'azione dell'acqua infine aggrava il problema in quanto peggiora le caratteristiche geomeccaniche dell'orizzonte calcareo fratturato ed in particolare dell'orizzonte delle brecce calcaree, disgregandolo ed asportandone la matrice limo-argillosa.

Pertanto si dovrà procedere ad una verifica puntuale delle condizioni litologiche e geotecniche fondali durante la fase di costruzione.

Si ipotizza di utilizzare come piano di posa delle fondazioni il calcare molto fratturato. In relazione al tipo di litologie i parametri  $c$  e  $\phi$  ( $^{\circ}$ ) utili per il calcolo della portanza del terreno di fondazione sono stati valutati con la classificazione RMR elaborata da Bieniawski (1989) e successivamente modificata da altri autori per renderla maggiormente applicabile in contesti differenti.

**Classificazione di Bieniawski  
Classi di Ammassi Rocciosi**

**A. Classification Parameters And Their Ratings**

PARAMETER		RANGES OF VALUES							
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index	> 10 Mpa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	For this low range uniaxial compressive test is preferred		
		Uniaxial compressive strength	>250 Mpa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
Rating			15	12	7	4	2	1	0
2	Drill core quality RQD		90%-100%	75% -90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
		Rating	20	17	13	8	3		
3	Spacing of discontinuities		>2m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 -200 mm	<60 mm		
		Rating	20	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities		Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Sticksided surfaces Or Gouge < 5 mm thick Or Separation 1-5 mm Continuous	Soft gouge > 5 mm thick Or Separation > 5 mm. Continuous		
		Rating	30	25	20	10	0		
5	Ground water	Inflow per 10 m tunnel length	None	<10 litres/min	10-25 litres/min	5 - 125 litres/min	>125 litres/min		
		Ratio= (Joint water pressure/ (major principal stress)	0	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	> 0,5		
		General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
		Rating	15	10	7	4	0		

**B Rating Adjustment For Joint Orientations**

Strike and dip orientations of joints		Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very unfavourable
Ratings	Tunnels	0	-2	-5	-10	-12
	Foundations	0	-2	-7	-15	-25
	Slopes	0	-5	-25	-50	-60

R.M.R	100-81	80-61	60-41	40-21	<20
CLASSE	I	II	III	IV	V
DESCRIZIONE	Ottimo	Buono	Discreto	Scadente	Pessimo
COESIONE(kpa)	>400	300-400	200-300	100-200	<200
Angolo di attrito (°)	>45	35-45	25-35	15-25	<15

*Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

**RIEPILOGO DETERMINAZIONE PARAMETRI GEOTECNICI AREA 1 - Sub. A**

La classificazione degli ammassi rocciosi del Calcere molto fratturato (secondo strato) attraverso il metodo Bieniawski è:

- R1 resistenza alla compressione uniassiale della roccia intatta = 12
- R2 indice RQD= 4
- R3 spaziatura delle discontinuità= 7
- R4 condizioni delle discontinuità (rugosità, riempimento, degradazioni pareti= 20
- R5 condizioni idrauliche=15
- R6 orientamento delle discontinuità in relazione al manufatto= -25.

La classificazione definisce due valori dell'indice RMR:

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

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

**Risultato (Calcere molto fratturato)**

	<b>base</b>	<b>corretto</b>
RMR	58	33
Classe	III	IV
Descrizione	Discreto	Scadente
$\phi$ (°)	30	20
c (Kpa)	200	100

Inoltre la classificazione degli ammassi rocciosi del calcare mediamente fratturato (terzo strato) attraverso il metodo Bieniawski è:

- R1 resistenza alla compressione uniassiale della roccia intatta = 12
- R2 indice RQD=7
- R3 spaziatura delle discontinuità=20
- R4 condizioni delle discontinuità (rugosità, riempimento, degradazioni pareti= 25
- R5 condizioni idrauliche=15
- R6 orientamento delle discontinuità in relazione al manufatto= -25

**Risultato (Calcere mediamente fratturato)**

	<b>base</b>	<b>corretto</b>
RMR	79	54
Classe	II	III
Descrizione	Buono	Discreto
$\phi$ (°)	40	30
c (Kpa)	300	200

1) **Terreno vegetale** di spessore medio pari a circa **0.8-1.2 m** con i seguenti parametri geotecnici medi:

- a) peso di volume naturale: 1800 Kg/mc
- b) coesione: 0.00 Kpa
- c) angolo di attrito interno: 5°

2) **Calcere molto fratturato** di spessore medio pari a circa **6.0-7.0 m** con i seguenti parametri geotecnici medi:

- a) peso di volume naturale: 2200 Kg/mc
- b) coesione: 100 Kpa
- c) angolo di attrito interno: 20°
- d) R.Q.D.= 50 %

3) **Calcere mediamente fratturato** di spessore medio pari a circa **20 m** con i seguenti parametri geotecnici medi:

- a) peso di volume naturale: 2200 Kg/mc
- b) coesione: 200 Kpa
- c) angolo di attrito interno: 30°
- d) R.Q.D.= 70 %

*Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

**RIEPILOGO DETERMINAZIONE PARAMETRI GEOTECNICI AREA 1 - Sub. B**

La classificazione degli ammassi rocciosi del Calcarea molto fratturato (secondo strato) attraverso il metodo Bieniawski è:

- R1 resistenza alla compressione uniassiale della roccia intatta = 12
- R2 indice RQD= 7
- R3 spaziatura delle discontinuità= 7
- R4 condizioni delle discontinuità (rugosità, riempimento, degradazioni pareti= 20
- R5 condizioni idrauliche=15
- R6 orientamento delle discontinuità in relazione al manufatto= -25.

La classificazione definisce due valori dell'indice RMR:

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

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

**Risultato (Calcarea molto fratturato)**

	base	corretto
RMR	61	36
Classe	III	IV
Descrizione	Discreto	Scadente
$\phi$ (°)	32	22
c (Kpa)	250	150

Inoltre la classificazione degli ammassi rocciosi del calcarea mediamente fratturato (terzo strato) attraverso il metodo Bieniawski è:

- R1 resistenza alla compressione uniassiale della roccia intatta = 12
- R2 indice RQD=7
- R3 spaziatura delle discontinuità=20
- R4 condizioni delle discontinuità (rugosità, riempimento, degradazioni pareti= 25
- R5 condizioni idrauliche=15
- R6 orientamento delle discontinuità in relazione al manufatto= -25

**Risultato (Calcarea mediamente fratturato)**

	base	corretto
RMR	79	54
Classe	II	III
Descrizione	Buono	Discreto
$\phi$ (°)	40	30
c (Kpa)	300	200

1) **Terreno vegetale** di spessore medio pari a circa **1.0-1.5 m** con i seguenti parametri geotecnici medi:

- a) peso di volume naturale: 1800 Kg/mc
- b) coesione: 0.00 Kpa
- c) angolo di attrito interno: 5°

2) **Calcare molto fratturato** di spessore medio pari a circa **7.0-8.0 m** con i seguenti parametri geotecnici medi:

- a) peso di volume naturale: 2200 Kg/mc
- b) coesione: 150 Kpa
- c) angolo di attrito interno: 22°
- d) R.Q.D.= 50 %

3) **Calcare mediamente fratturato** di spessore medio pari a circa **20 m** con i seguenti parametri geotecnici medi:

- a) peso di volume naturale: 2200 Kg/mc
- b) coesione: 200 Kpa
- c) angolo di attrito interno: 30°
- d) R.Q.D.= 70 %

**RIEPILOGO DETERMINAZIONE PARAMETRI GEOTECNICI AREA 2**

La classificazione degli ammassi rocciosi del Calcere molto fratturato (secondo strato) attraverso il metodo Bieniawski è:

- R1 resistenza alla compressione uniassiale della roccia intatta = 12
- R2 indice RQD= 7
- R3 spaziatura delle discontinuità= 7
- R4 condizioni delle discontinuità (rugosità, riempimento, degradazioni pareti= 25
- R5 condizioni idrauliche=15
- R6 orientamento delle discontinuità in relazione al manufatto= -25.

La classificazione definisce due valori dell'indice RMR:

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

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

**Risultato (Calcere molto fratturato)**

	<b>base</b>	<b>corretto</b>
RMR	66	41
Classe	II	III
Descrizione	Buono	Discreto
$\phi$ (°)	37	27
c (Kpa)	300	200

Inoltre la classificazione degli ammassi rocciosi del calcare mediamente fratturato (terzo strato) attraverso il metodo Bieniawski è:

- R1 resistenza alla compressione uniassiale della roccia intatta = 15
- R2 indice RQD=7
- R3 spaziatura delle discontinuità=20
- R4 condizioni delle discontinuità (rugosità, riempimento, degradazioni pareti= 25
- R5 condizioni idrauliche=15
- R6 orientamento delle discontinuità in relazione al manufatto= -25

**Risultato (Calcere mediamente fratturato)**

	<b>base</b>	<b>corretto</b>
RMR	82	57
Classe	II	III
Descrizione	Buono	Discreto
$\phi$ (°)	42	32
c (Kpa)	350	250

1) **Terreno vegetale** di spessore medio pari a circa **1.0-1.5 m** con i seguenti parametri geotecnici medi:

- a) peso di volume naturale: 1800 Kg/mc
- b) coesione: 0.00 Kpa
- c) angolo di attrito interno: 5°

2) **Calcere molto fratturato** di spessore medio pari a circa **6.0-7.0 m** con i seguenti parametri geotecnici medi:

- a) peso di volume naturale: 2200 Kg/mc
- b) coesione: 200 Kpa
- c) angolo di attrito interno: 27°
- d) R.Q.D.= 50 %

3) **Calcere mediamente fratturato** di spessore medio pari a circa **20 m** con i seguenti parametri geotecnici medi:

- a) peso di volume naturale: 2200 Kg/mc
- b) coesione: 250 Kpa
- c) angolo di attrito interno: 32°
- d) R.Q.D.= 70 %

## CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'area in esame, oggetto del nuovo piano per insediamenti produttivi nella zona D/1N del PRGC, ricade parzialmente all'interno di aree a Bassa Pericolosità Idraulica del Piano per l'Assetto idrogeologico della Regione Puglia, pertanto in tali aree si potranno realizzare solo interventi che rispettano l'Art. 9 delle Norme Tecniche di Attuazione del P.A.I. Puglia.

L'indagine MASW eseguita posto il piano di sedime a -1,00 mt, ha rilevato una Vs30 equivalente con un valore minimo di 810.12 m/s al massimo di 847.60 m/s. Tale valore, ai sensi del DM/18, inserisce il suolo di fondazione del sito in studio nella categoria "A".

I risultati delle indagini geofisiche eseguite, evidenziano quanto segue:

L'area risulta caratterizzata da un assetto sismostratigrafico costituito da tre sismostrati principali. Le interpretazioni sismostratigrafiche sono state elaborate anche in base alle conoscenze geologiche e delle indagini geognostiche eseguite nell'area in esame nel periodo di FEBBRAIO 2020.

### **Il profilo sismico SR1 ha evidenziato la seguente sismostratigrafia:**

Il primo sismostrato, più superficiale, presenta uno spessore medio pari a circa 0,1 – 0,7 m. La velocità media delle onde longitudinali, in tale sismostrato, è compresa nel range 700÷800 m/s. Sulla base delle conoscenze geologiche del sito, tale orizzonte è associabile al terreno vegetale.

Il secondo sismostrato, sottoposto al precedente, presenta una profondità del letto che varia da minimo di 5,1 m. al massimo di 6,4 m. La velocità media delle onde longitudinali, in tale sismostrato, è compresa nel range 1000÷1100 m/s. Sulla base delle conoscenze geologiche del sito, tale orizzonte è associabile a terreni calcarei molto fratturati

Il terzo sismostrato, individuato fino alla massima profondità di indagine (circa 15 m dal p.c.), presenta una velocità media delle onde longitudinali compresa nel range 2400÷2500 m/s. Sulla base delle conoscenze geologiche del sito, tale orizzonte è associabile a terreni calcarei mediamente fratturati

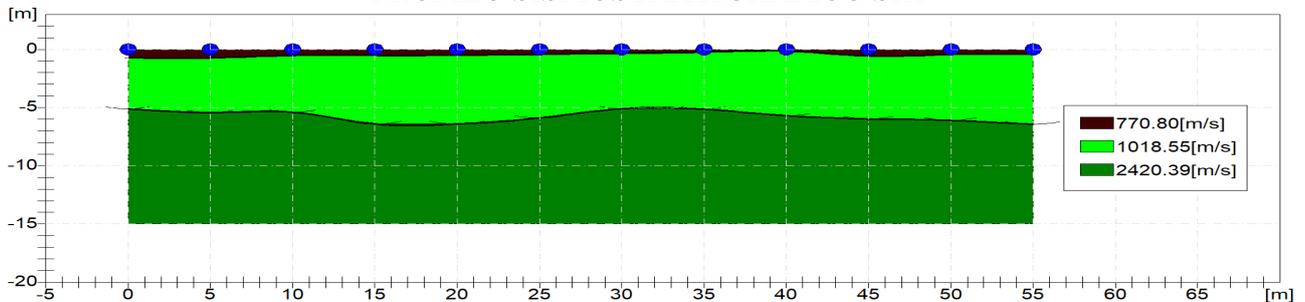
*Dr. Geol. Mauro Palombella*

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

### PARAMETRI ELASTODINAMICI

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.45	0.20	0.20
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1800.00	2200.00	2200.00
Vp [m/s]	770.80	1018.55	2420.39
Vs [m/s]	232.40	623.73	1482.18
G0 [MPa]	97.22	855.89	4833.08
Ed [Mpa]	1069.43	2282.38	12888.22
M0 [MPa]	972.21	1426.49	8055.14
Ey [Mpa]	281.94	2054.15	11599.40

### PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO SR1



**Il profilo sismico SR2 ha evidenziato la seguente sismostratigrafia:**

Il primo sismostrato, più superficiale, presenta uno spessore medio pari a circa 0,8 – 1,1 m. La velocità media delle onde longitudinali, in tale sismostrato, è compresa nel range 700÷750 m/s. Sulla base delle conoscenze geologiche del sito, tale orizzonte è associabile al terreno vegetale.

Il secondo sismostrato, sottoposto al precedente, presenta una profondità del letto che varia da minimo di 4,8 m. al massimo di 7,7 m. La velocità media delle onde longitudinali, in tale sismostrato, è compresa nel range 1000÷1100 m/s. Sulla base delle conoscenze geologiche del sito, tale orizzonte è associabile a terreni calcarei molto fratturati

Il terzo sismostrato, individuato fino alla massima profondità di indagine (circa 15 m dal p.c.), presenta una velocità media delle onde longitudinali compresa nel range 2300÷2400 m/s. Sulla base delle conoscenze geologiche del sito, tale orizzonte è associabile a terreni calcarei mediamente fratturati

**PARAMETRI ELASTODINAMICI**

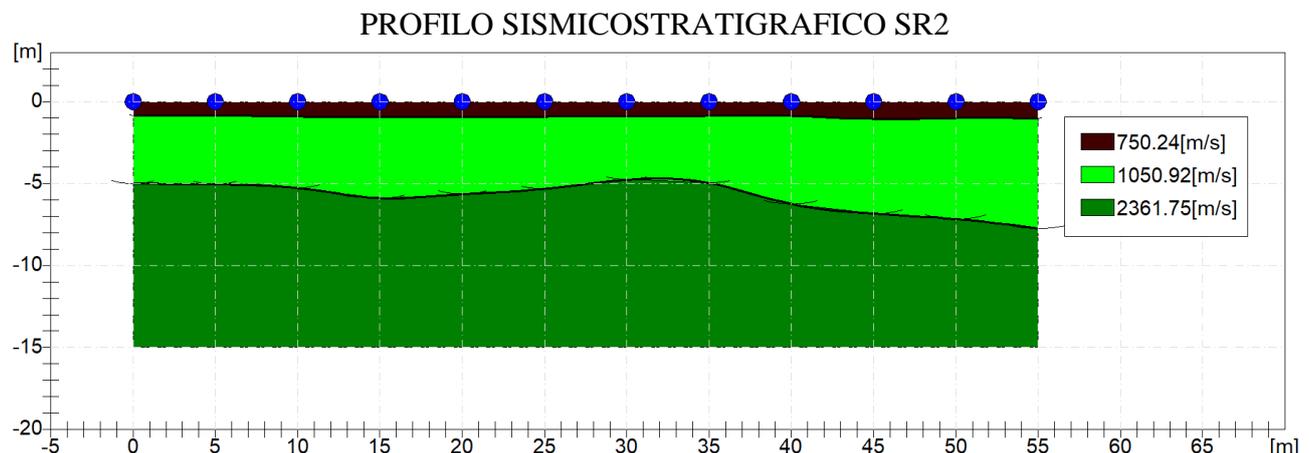
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.45	0.20	0.20
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1800.00	2200.00	2200.00
Vp [m/s]	750.24	1050.92	2361.75
Vs [m/s]	226.21	643.55	1446.27
G0 [MPa]	92.10	911.15	4601.73
Ed [Mpa]	1013.14	2429.74	12271.28
M0 [MPa]	921.04	1518.58	7669.55
Ey [Mpa]	267.10	2186.76	11044.16

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



**Il profilo sismico SR3 ha evidenziato la seguente sismostratigrafia:**

Il primo sismostrato, più superficiale, presenta uno spessore medio pari a circa 0,9 – 1,2 m. La velocità media delle onde longitudinali, in tale sismostrato, è compresa nel range 700÷800 m/s. Sulla base delle conoscenze geologiche del sito, tale orizzonte è associabile al terreno vegetale.

Il secondo sismostrato, sottoposto al precedente, presenta una profondità del letto che varia da minimo di 4,8 m. al massimo di 6,7 m. La velocità media delle onde longitudinali, in tale sismostrato, è compresa nel range 1100÷1200 m/s. Sulla base delle conoscenze geologiche del sito, tale orizzonte è associabile a terreni calcarei molto fratturati

Il terzo sismostrato, individuato fino alla massima profondità di indagine (circa 15 m dal p.c.), presenta una velocità media delle onde longitudinali compresa nel range 2300÷2400 m/s. Sulla base delle conoscenze geologiche del sito, tale orizzonte è associabile a terreni calcarei mediamente fratturati

**PARAMETRI ELASTODINAMICI**

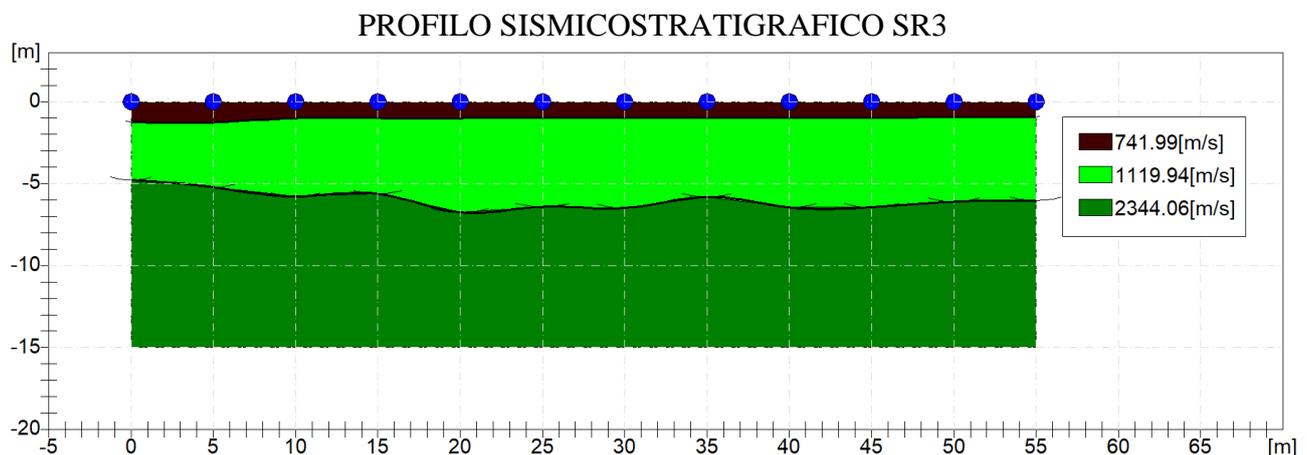
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.45	0.20	0.20
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1800.00	2200.00	2200.00
Vp [m/s]	741.99	1119.94	2344.06
Vs [m/s]	223.72	685.82	1435.44
G0 [MPa]	90.09	1034.78	4533.05
Ed [Mpa]	990.98	2759.41	12088.13
M0 [MPa]	900.89	1724.63	7555.08
Ey [Mpa]	261.26	2483.47	10879.31

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



**Il profilo sismico SR4 ha evidenziato la seguente sismostratigrafia:**

Il primo sismostrato, più superficiale, presenta uno spessore medio pari a circa 0,5 – 1,1 m. La velocità media delle onde longitudinali, in tale sismostrato, è compresa nel range 750÷850 m/s. Sulla base delle conoscenze geologiche del sito, tale orizzonte è associabile al terreno vegetale.

Il secondo sismostrato, sottoposto al precedente, presenta una profondità del letto che varia da minimo di 4,5 m. al massimo di 7,7 m. La velocità media delle onde longitudinali, in tale sismostrato, è compresa nel range 1100÷1200 m/s. Sulla base delle conoscenze geologiche del sito, tale orizzonte è associabile a terreni calcarei molto fratturati

Il terzo sismostrato, individuato fino alla massima profondità di indagine (circa 15 m dal p.c.), presenta una velocità media delle onde longitudinali compresa nel range 2300÷2400 m/s. Sulla base delle conoscenze geologiche del sito, tale orizzonte è associabile a terreni calcarei mediamente fratturati

**PARAMETRI ELASTODINAMICI**

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.45	0.20	0.20
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1800.00	2200.00	2200.00
Vp [m/s]	828.62	1101.40	2375.86
Vs [m/s]	249.84	674.47	1454.91
G0 [MPa]	112.35	1000.80	4656.88
Ed [Mpa]	1235.90	2668.80	12418.35
M0 [MPa]	1123.54	1668.00	7761.47
Ey [Mpa]	325.83	2401.92	11176.51

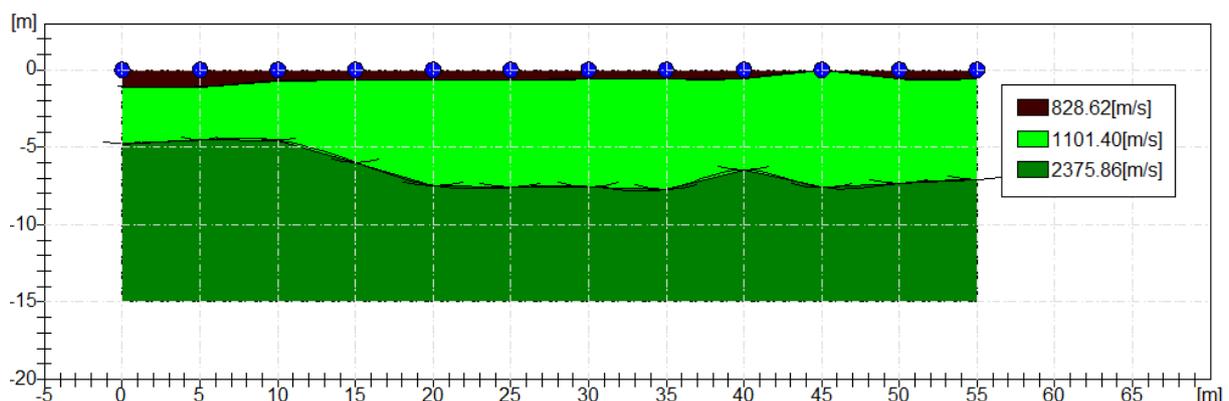
G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

**PROFILO SISMICOSTRATIGRAFICO SR4**



**Il profilo sismico SR5 ha evidenziato la seguente sismostratigrafia:**

Il primo sismostrato, più superficiale, presenta uno spessore medio pari a circa 0,4 – 1,4 m. La velocità media delle onde longitudinali, in tale sismostrato, è compresa nel range 700÷800 m/s. Sulla base delle conoscenze geologiche del sito, tale orizzonte è associabile al terreno vegetale.

Il secondo sismostrato, sottoposto al precedente, presenta una profondità del letto che varia da minimo di 4,9 m. al massimo di 7,3 m. La velocità media delle onde longitudinali, in tale sismostrato, è compresa nel range 1100÷1200 m/s. Sulla base delle conoscenze geologiche del sito, tale orizzonte è associabile a terreni calcarei molto fratturati

Il terzo sismostrato, individuato fino alla massima profondità di indagine (circa 15 m dal p.c.), presenta una velocità media delle onde longitudinali compresa nel range 2400÷2500 m/s. Sulla base delle conoscenze geologiche del sito, tale orizzonte è associabile a terreni calcarei mediamente fratturati

**PARAMETRI ELASTODINAMICI**

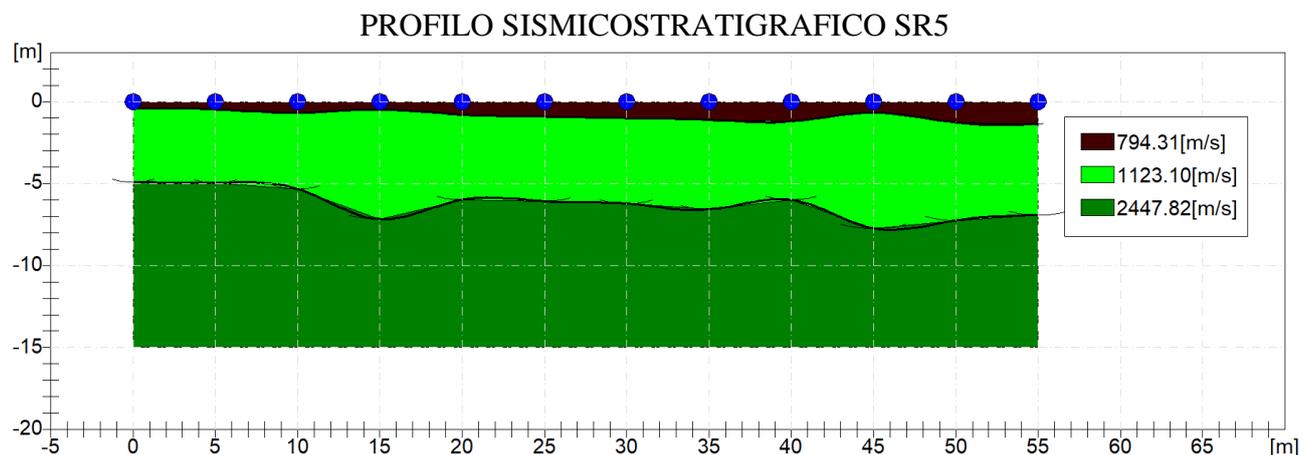
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.45	0.20	0.20
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1800.00	2200.00	2200.00
Vp [m/s]	794.31	1123.10	2447.82
Vs [m/s]	239.49	687.75	1498.98
G0 [MPa]	103.24	1040.61	4943.24
Ed [Mpa]	1135.66	2774.96	13181.99
M0 [MPa]	1032.42	1734.35	8238.74
Ey [Mpa]	299.40	2497.47	11863.79

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



**Il profilo sismico SR6 ha evidenziato la seguente sismostratigrafia:**

Il primo sismostrato, più superficiale, presenta uno spessore medio pari a circa 0,7 – 1,2 m. La velocità media delle onde longitudinali, in tale sismostrato, è compresa nel range 700÷800 m/s. Sulla base delle conoscenze geologiche del sito, tale orizzonte è associabile al terreno vegetale.

Il secondo sismostrato, sottoposto al precedente, presenta una profondità del letto che varia da minimo di 4,4 m. al massimo di 9,0 m. La velocità media delle onde longitudinali, in tale sismostrato, è compresa nel range 1100÷1200 m/s. Sulla base delle conoscenze geologiche del sito, tale orizzonte è associabile a terreni calcarei molto fratturati

Il terzo sismostrato, individuato fino alla massima profondità di indagine (circa 15 m dal p.c.), presenta una velocità media delle onde longitudinali compresa nel range 2300÷2400 m/s. Sulla base delle conoscenze geologiche del sito, tale orizzonte è associabile a terreni calcarei mediamente fratturati.

**PARAMETRI ELASTODINAMICI**

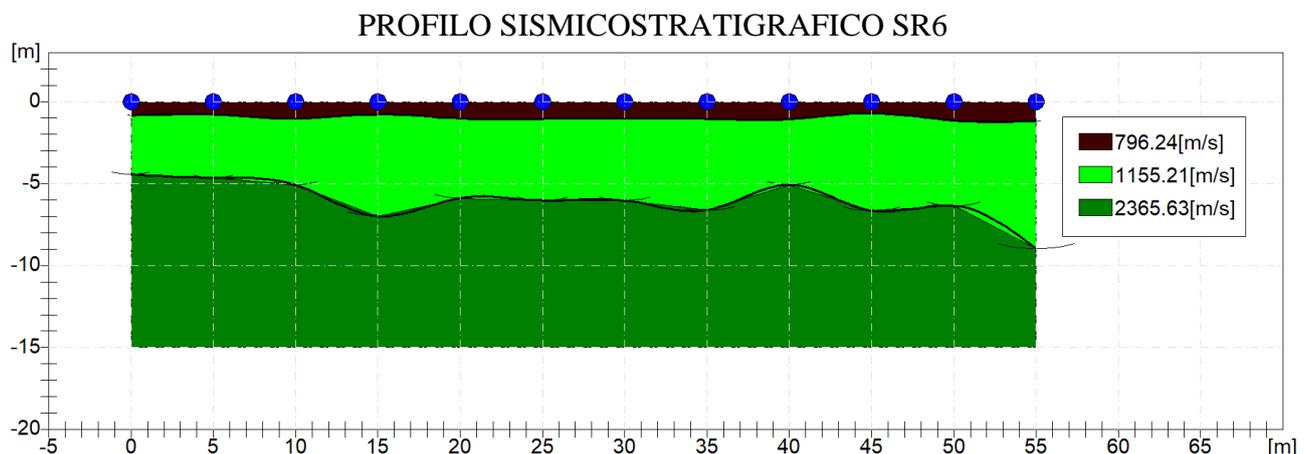
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.45	0.20	0.20
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1800.00	2200.00	2200.00
Vp [m/s]	796.24	1155.21	2365.63
Vs [m/s]	240.08	707.42	1448.65
G0 [MPa]	103.75	1100.98	4616.87
Ed [Mpa]	1141.21	2935.94	12311.64
M0 [MPa]	1037.46	1834.96	7694.78
Ey [Mpa]	300.86	2642.35	11080.48

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



**Il profilo sismico SR7 ha evidenziato la seguente sismostratigrafia:**

Il primo sismostrato, più superficiale, presenta uno spessore medio pari a circa 0,9 – 1,5 m. La velocità media delle onde longitudinali, in tale sismostrato, è compresa nel range 800÷850 m/s. Sulla base delle conoscenze geologiche del sito, tale orizzonte è associabile al terreno vegetale.

Il secondo sismostrato, sottoposto al precedente, presenta una profondità del letto che varia da minimo di 4,7 m. al massimo di 8,0 m. La velocità media delle onde longitudinali, in tale sismostrato, è compresa nel range 1200÷1300 m/s. Sulla base delle conoscenze geologiche del sito, tale orizzonte è associabile a terreni calcarei molto fratturati

Il terzo sismostrato, individuato fino alla massima profondità di indagine (circa 15 m dal p.c.), presenta una velocità media delle onde longitudinali compresa nel range 2300÷2400 m/s. Sulla base delle conoscenze geologiche del sito, tale orizzonte è associabile a terreni calcarei mediamente fratturati.

**PARAMETRI ELASTODINAMICI**

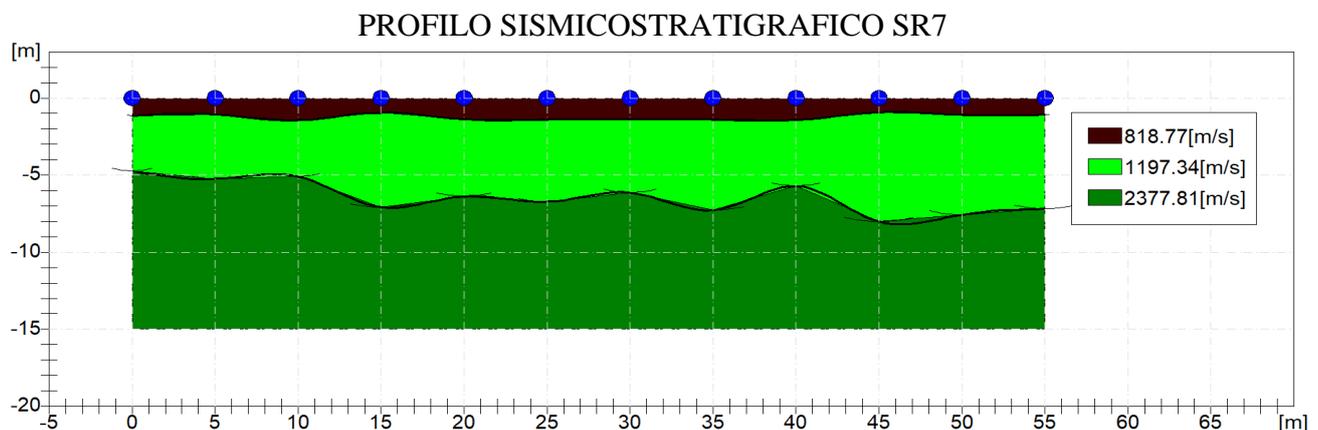
	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.45	0.20	0.20
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1800.00	2200.00	2200.00
Vp [m/s]	818.77	1197.34	2377.81
Vs [m/s]	246.87	733.22	1456.10
G0 [MPa]	109.70	1182.73	4664.53
Ed [Mpa]	1206.69	3153.95	12438.75
M0 [MPa]	1096.99	1971.22	7774.22
Ey [Mpa]	318.13	2838.55	11194.88

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;



**Il profilo sismico SR8 ha evidenziato la seguente sismostratigrafia:**

Il primo sismostrato, più superficiale, presenta uno spessore medio pari a circa 0,6 – 1,3 m. La velocità media delle onde longitudinali, in tale sismostrato, è compresa nel range 800÷850 m/s. Sulla base delle conoscenze geologiche del sito, tale orizzonte è associabile al terreno vegetale.

Il secondo sismostrato, sottoposto al precedente, presenta una profondità del letto che varia da minimo di 5,2 m. al massimo di 7,5 m. La velocità media delle onde longitudinali, in tale sismostrato, è compresa nel range 1150÷1300 m/s. Sulla base delle conoscenze geologiche del sito, tale orizzonte è associabile a terreni calcarei molto fratturati

Il terzo sismostrato, individuato fino alla massima profondità di indagine (circa 15 m dal p.c.), presenta una velocità media delle onde longitudinali compresa nel range 2400÷2500 m/s. Sulla base delle conoscenze geologiche del sito, tale orizzonte è associabile a terreni calcarei mediamente fratturati.

**PARAMETRI ELASTODINAMICI**

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.45	0.20	0.20
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1800.00	2200.00	2200.00
Vp [m/s]	802.10	1160.08	2406.70
Vs [m/s]	241.84	710.40	1473.80
G0 [MPa]	105.28	1110.27	4778.58
Ed [Mpa]	1158.06	2960.71	12742.89
M0 [MPa]	1052.78	1850.44	7964.31
Ey [Mpa]	305.31	2664.64	11468.60

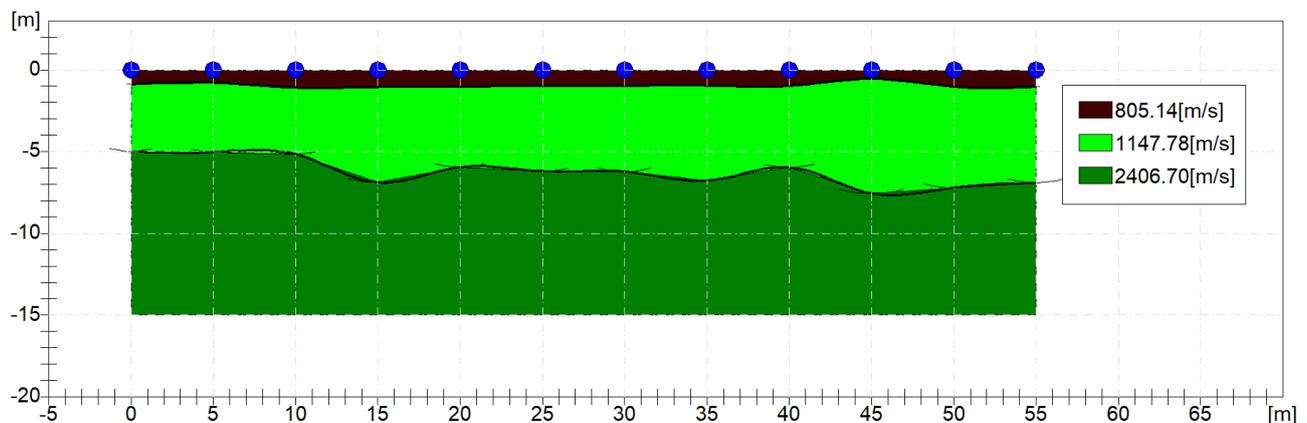
G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

**PROFILO SISMICOSTRATIGRAFICO SR8**



**Il profilo sismico SR9 ha evidenziato la seguente sismostratigrafia:**

Il primo sismostrato, più superficiale, presenta uno spessore medio pari a circa 0,6 – 1,2 m. La

## Dr. Geol. Mauro Palombella

Dottore di Ricerca in Scienze della Terra

velocità media delle onde longitudinali, in tale sismostrato, è compresa nel range 800÷850 m/s.

Sulla base delle conoscenze geologiche del sito, tale orizzonte è associabile al terreno vegetale.

Il secondo sismostrato, sottoposto al precedente, presenta una profondità del letto che varia da minimo di 4,6 m. al massimo di 7,9 m. La velocità media delle onde longitudinali, in tale sismostrato, è compresa nel range 1150÷1250 m/s. Sulla base delle conoscenze geologiche del sito, tale orizzonte è associabile a terreni calcarei molto fratturati

Il terzo sismostrato, individuato fino alla massima profondità di indagine (circa 15 m dal p.c.), presenta una velocità media delle onde longitudinali compresa nel range 2350÷2450 m/s. Sulla base delle conoscenze geologiche del sito, tale orizzonte è associabile a terreni calcarei mediamente fratturati.

### PARAMETRI ELASTODINAMICI

G0: Modulo di deformazione al taglio;

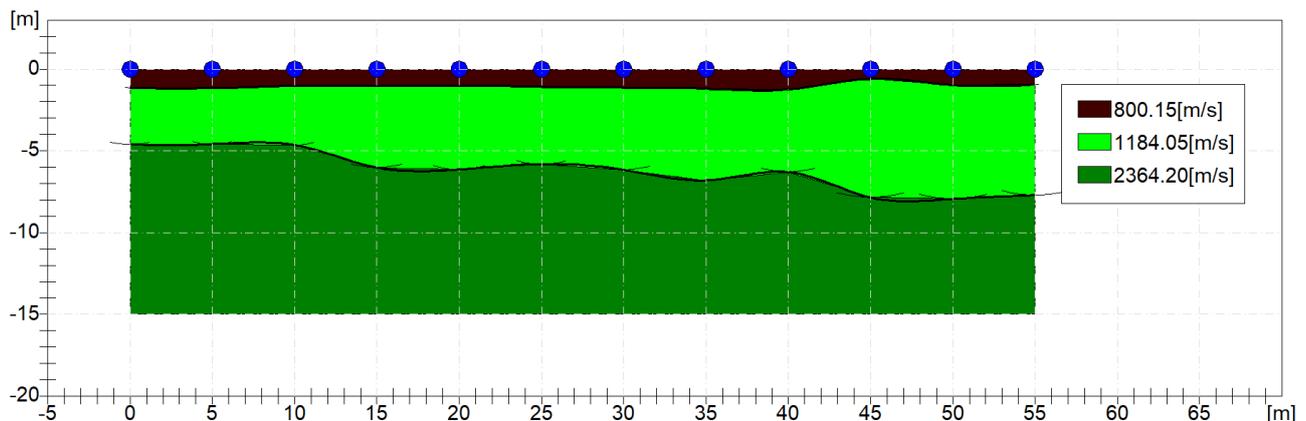
Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

	Strato n. 1	Strato n. 2	Strato n. 3
Coefficiente Poisson	0.45	0.20	0.20
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1800.00	2200.00	2200.00
Vp [m/s]	800.15	1184.05	2364.20
Vs [m/s]	241.25	725.08	1447.77
G0 [MPa]	104.77	1156.62	4611.29
Ed [Mpa]	1152.42	3084.33	12296.76
M0 [MPa]	1047.65	1927.70	7685.48
Ey [Mpa]	303.82	2775.89	11067.09

### PROFILO SISMICOSTRATIGRAFICO SR9



Tanto si doveva in espletamento dell'incarico ricevuto.

Molfetta, 23 Marzo 2020

Il Tecnico

Geol. Mauro Palombella