



Geologo Salvatore Cotone  
Via Trieste, 17  
98066 Patti (me)  
[salvatorecotone@gmail.com](mailto:salvatorecotone@gmail.com)

---

## COMUNE DI LIBRIZZI Città Metropolitana di Messina

---

**"Riqualificazione e recupero strade,  
circolazione carrabile, pedonale e parcheggio  
centro urbano**

---

### Studio Geologico

Relazione  
Elaborati Grafici

---

Geologo Salvatore Cotone (ORGS 1300)



# Relazione

## Sommario

1.	PREMESSA	2
2.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	3
3.	GEOLOGIA E TETTONICA	4
4.	GEOLITOLOGIA	5
	<b>Metamorfiti di basso grado: Filladi “Unità Mandanici”</b> .....	<b>6</b>
	<b>Metamorfiti di medio-alto grado Gneiss della “Falda Aspromonte”</b> .....	<b>6</b>
	<b>Detrito</b> .....	<b>7</b>
5.	GEOMORFOLOGIA	8
	<b>Storia morfoevolutiva del territorio</b> .....	<b>9</b>
	<b>Morfologia locale</b> .....	<b>10</b>
6.	CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE GENERALI	11
7.	INDAGINI GEOGNOSTICHE	12
	<b>- Indagini geofisiche</b> .....	<b>12</b>
	<b>- RILIEVI GEOMECCANICI E STRUTTURALI</b> .....	<b>44</b>
8.	QUADRO DI RIFERIMENTO ZONIZZAZIONE SISMICA	55
9.	PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE	61
10.	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	64

## 1. PREMESSA

Su incarico del Comune di Librizzi, in ottemperanza alle norme vigenti in materia di progettazione delle opere pubbliche (L.R. 02/08/2002, n.7, coord. L. 11/02/1994 n.109,.. e successive modifiche e integrazioni; D.P.R. 21 -12 - 1999, n. 554; Aut. Vig. LLPP – Det. n.3 27-2- 2002) e tenuto conto delle più recenti norme tecniche per le costruzioni (D.M. NTC 2018), è stato redatto il seguente studio geologico dell'area di progetto e dell'intorno significativo, relativamente al progetto di: **"riqualificazione e recupero strade, circolazione carrabile, pedonale e parcheggio centro urbano"**.

Lo studio è mirato alla definizione degli aspetti stratigrafici e geologico-morfologici di carattere generale e locale, nonché alla definizione dei caratteri geomeccanici dei terreni di interesse progettuale e alla valutazione di tutti gli aspetti e le caratteristiche sito-specifiche utili alla ricostruzione del modello geologico, al fine della corretta progettazione delle opere.

Esso è stato condotto, previa consultazione della letteratura specifica e di lavori già eseguiti dallo scrivente sul territorio, tenendo conto anche di quanto riportato nelle relative carte tematiche del Piano assetto idrogeologico (P.A.I.) di pertinenza, redatto dall'Assessorato Territorio Ambiente della Regione Siciliana.

In dettaglio lo studio è stato condotto attraverso lo sviluppo delle seguenti fasi:

- Analisi morfologica ed idrologica della zona in cui ricadono gli interventi previsti.
- Consultazione della documentazione geologica esistente e verifica dei dati raccolti attraverso un rilevamento geologico esteso ad un ampio intorno di valenza significativa;
- valutazione delle condizioni geostrutturali locali;
- definizione delle condizioni geolitologiche specifiche delle aree interessate dalle opere previste, attraverso l'osservazione accurata di sezioni naturali e/o scavi di sbancamento, nonché attraverso l'analisi dei dati geognostici ricavati da precedenti indagini eseguite in zona;
- definizione delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni interessati dal progetto.
- verifica delle condizioni di stabilità delle aree di progetto, attraverso un'accurata analisi dei fenomeni di dissesto esistenti;
- definizione delle caratteristiche di risposta sismica locale sulla base dei dati delle indagini geofisiche eseguite;
- redazione degli elaborati e stesura della presente relazione.

## 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'abitato di Librizzi è collocato sul versante tirrenico dei monti Nebrodi, sulla fascia collinare posta in sinistra fluviale del torrente Timeto, in cresta allo spartiacque destro dell'omonimo Torrente Librizzi.



In cartografia ufficiale (Carta d'Italia in scala 1:25.000, edita dall'I.G.M.) l'area può essere individuata nella porzione SO della tavoletta "Patti", Fg. 253, quadrante III, orientamento N.O.), nonché nelle sezioni 599080 e 599120 della C.T.R. Sicilia in scala 1:10.000.



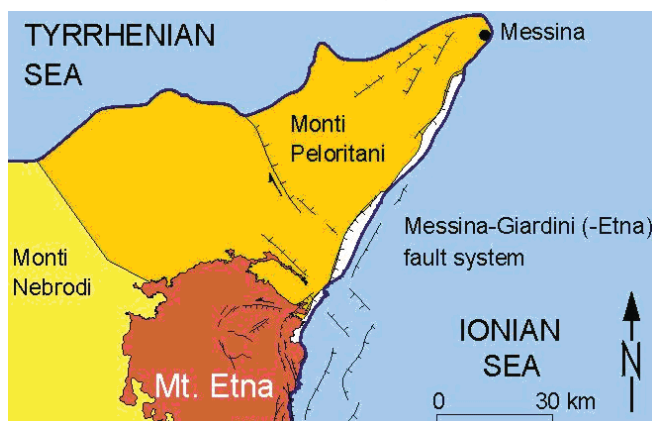
### 3. GEOLOGIA E TETTONICA

I caratteri strutturali e geologici dell'area saranno qui di seguito riassunti onde mettere in evidenza gli aspetti di maggiore importanza, ai fini della soddisfacente ricostruzione dello schema riguardante la successione tettono-stratigrafica nell'ambito del territorio studiato.

Dal punto di vista geologico-strutturale, la zona in oggetto fa parte della catena Peloritana che si estende dallo Stretto di Messina alla congiungente Taormina – Sant'Agata di Militello (geograficamente dal Torrente Timeto, verso occidente, i monti sono chiamati Nebrodi). Trattasi di una complessa catena montuosa con uno stile tettonico a falde di ricoprimento e un assetto generale grosso modo monoclinale, a prevalente immersione verso i quadranti settentrionali, a prevalente componente N-NE, con due

in corrispondenza degli Patti-Floresta e Castoreale Francavilla di Sicilia, comprese strutturali di Longi e di

Le unità stratigrafico-affiorano, dalle più basse nella meridionale alle più alte nella



depressioni  
allineamenti  
Terme -  
tra gli alti  
Taormina.  
strutturali  
parte  
parte

settentrionale della Catena, al di sotto di una estesa copertura terrigena Cenozoica, in fasce allungate in direzioni WNW-ESE più o meno ampie e discontinue.

Per quanto concerne la tettonica possono essere distinte differenti fasi:

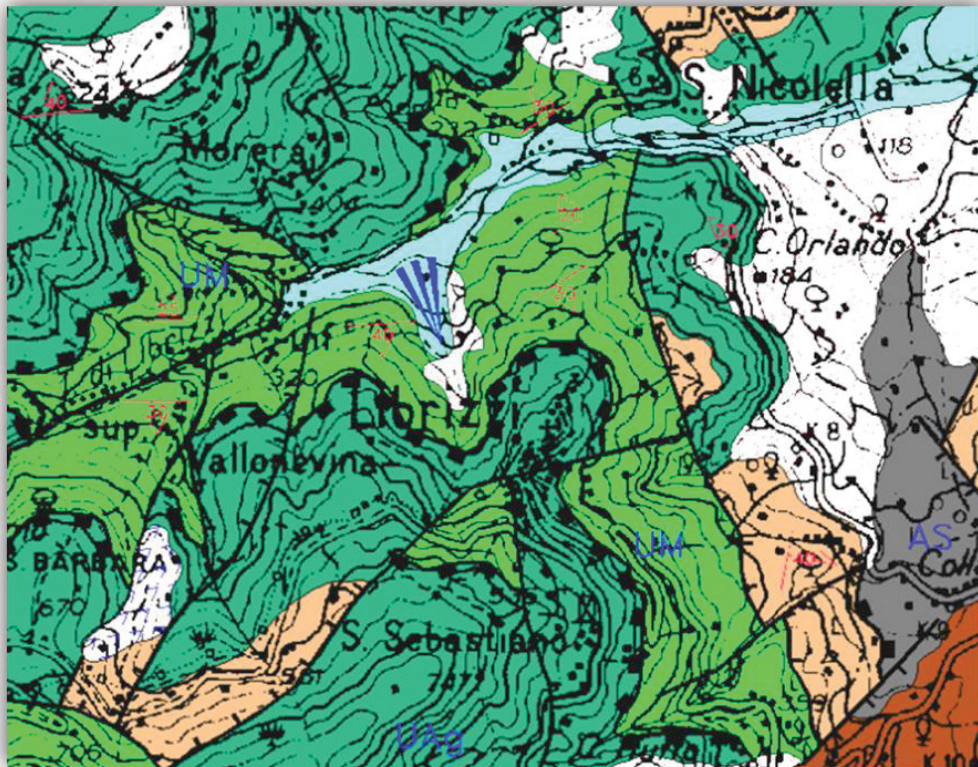
- una prima fase, compressiva, ha portato all'accavallamento delle varie unità metamorfiche con piani inclinati di circa  $20^{\circ}$ - $40^{\circ}$  e grosso modo immergenti verso nord;

- dopo la messa in posto delle unità metamorfiche inizia una sequenza sedimentaria, trasgressiva su di esse, con i depositi terrigeni del Flysch di Capo d'Orlando, costituito essenzialmente da arenarie in banchi con intercalati livelli di argille e silt (Miocene inf.). Successivamente si ha una interruzione della fase sedimentaria dovuta al sovrascorrimento della falda delle Argille Scagliose.

- a partire dal Miocene superiore si ha un generale sollevamento della regione, accompagnato dalla formazione di faglie per lo più distensive, con sedimentazione di una serie discontinua di terreni di facies marina via via sempre meno profonda (Calcareniti di Floresta), che costituiscono la vera e propria copertura.

In corrispondenza della zona in cui sorge il centro abitato di Librizzi, sulla base del rilevamento geologico di superficie, esteso ad un ampio intorno, per una più dettagliata ricostruzione della serie, sono state individuate, in affioramento, le due formazioni metamorfiche più rappresentative dell'area che, nel senso della successione dal basso verso l'alto sono catalogate in letteratura come:

- Metamorfiti di basso grado “Filladi Unità Mandanici” [UM],
- Metamorfiti di medio–alto grado “Gneiss Falda Aspromonte” [UAg].



#### 4. GEOLITOLOGIA

I rilievi su cui sorge l'abitato di Librizzi e il suo intorno, sono caratterizzati dalla presenza di un substrato di natura metamorfica, con prevalenza, nell'area di progetto, dei termini a metamorfismo medio-alto.

Alla base, al di fuori dell'area di intervento, è ampiamente diffuso il termine filladico e di micascisti della Unità Mandanici, mentre, pur meno estesi, sul versante di interesse progettuale, affiorano terreni riconducibili agli Gneiss dell'unità Aspromonte.

Tali formazioni sono ben visibili laddove i versanti non permettono l'accumulo del detrito, lasciando a nudo i tagli e le superfici di scarpata. Nei tratti a pendenza minore invece sono frequenti accumuli di detrito di falda e anche di frana, con spessori consistenti ed estensione generalmente continua.

La copertura detritica ma anche e soprattutto quella urbana limitano alquanto la precisa delimitazione delle formazioni e la individuazione di elementi strutturali, effettuate mediante ricostruzione, con l'ausilio delle indagini geognostiche.

### ***Metamorfiti di basso grado: Filladi "Unità Mandanici"***

L'Unità Mandanici, nel territorio esaminato è rappresentata da diversi affioramenti, in contatto tettonico, per sovrascorrimento, con la sovrastante falda dell'Aspromonte (gneiss); il contatto con questa è avviene spesso anche per faglia.

Affioramenti di filladi interessano un'ampia zona estesa ad Ovest e a SE del centro abitato di Librizzi, fino alla zona di Forgia Superiore, periferia meridionale dell'abitato.

La formazione è costituita da termini metamorfici di basso grado, filladi e filladi grafitose e scisti filladici di colore grigio plumbeo, con incluse lenti di quarzo di dimensioni variabili.

Questi terreni durante la loro messa in posto hanno subito uno stress tettonico non indifferente che ha provocato la formazione di diversi piani di scistosità e altre strutture tettogenetiche. In affioramento si presentano intensamente fratturati e in superficie molto alterati. L'andamento delle fratture si dispone grossomodo secondo due sistemi principali, un primo sistema, più frequente ed evidente coincide con i piani di scistosità, il secondo invece meno diffuso, è disposto con un angolo di 50°/60° rispetto al primo.

Lungo le fratture si notano di regola segni di alterazione e degradazione della roccia, che a volte si spingono fino all'argillificazione.

Nelle porzioni più superficiali della roccia, l'intensa azione degli agenti morfogenetici non fa che peggiorare tali condizioni, provocando a volte fenomeni di dissesto più o meno intensi.

Il detrito generato da tali processi è costituito da materiale granulometricamente assimilabile alla ghiaia sabbiosa, debolmente limosa e con numerosi frammenti lapidei di dimensioni decimetriche e di forma allungata.

### ***Metamorfiti di medio-alto grado Gneiss della "Falda Aspromonte"***

Affiorano prevalentemente nella parte di abitato oggetto di intervento, che partendo dalla Piazza Catena, si estende verso Nord-Est, fino alla chiesa Matrice e Porta Patti, e fin oltre l'abitato.

Trattasi di rocce metamorfiche di medio-alto grado (Gneiss e gneiss occhiadini prevalenti) con caratteristiche piuttosto varie e con presenza di vene sialiche ed intrusioni pegmatitiche. I costituenti essenziali (biotite, quarzo, plagioclasio, muscovite) sono facilmente riconoscibili macroscopicamente anche nei litotipi a grana più minuta. Il colore è grigio per i livelli inalterati e tende al rossastro o bruno nelle porzioni superficiali, maggiormente soggette a ossidazione, a seguito di processi di allentamento e degradazione ad opera degli agenti atmosferici.

Gli affioramenti osservati presentano una intensa alterazione di tipo sia chimico che fisico. L'ossidazione imprime a questi terreni una tipica colorazione giallo-rossiccia, mentre il deterioramento fisico fa osservare la presenza di fratture e microfratture che velocizzano i processi di disgregazione e degradazione della roccia.

Essi sono ricoperti, nelle porzioni di versante più depresse, da una coltre detritica superficiale, prodotta dai processi di degradazione della roccia.

La porzione superficiale dei suddetti terreni si trova in uno stato di intensa alterazione; da indagini dirette eseguite in precedenza, si è rilevato uno spessore dell'orizzonte alterato talvolta superiore a m 10.00. In alcuni sondaggi, oltre alla condizione di estrema fessurazione dei terreni, si è riscontrata la presenza di "lenti argillificate"; in tali indagini il prodotto di carotaggio, indice di fragilità della massa rocciosa, era rappresentato al più da pietrisco o ghiaia.

Il detrito generato dai processi di erosione e/o degradazione degli gneiss è costituito da materiale granulometricamente assimilabile a sabbia e ghiaia con porzioni di limo e con, inglobati, frequenti frammenti lapidei di dimensioni anche di alcuni decimetri.

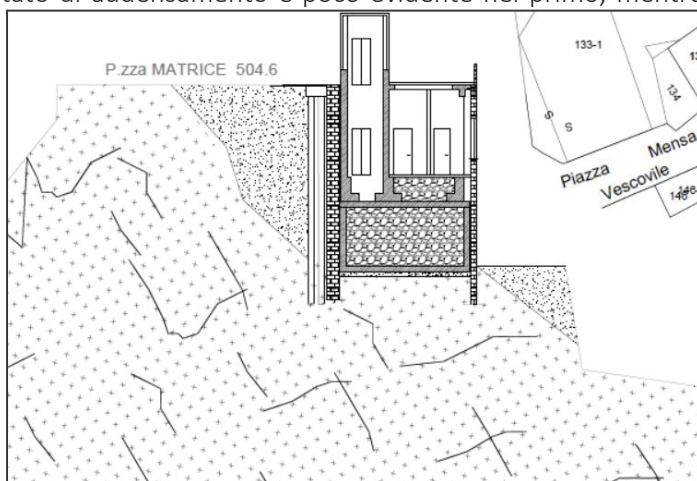
### **Detrito**

La copertura detritica, di spessore localmente rilevante, è presente soprattutto nelle aree originariamente più depresse e meno acclivi, quindi soprattutto alla base delle scarpate o dei versanti più acclivi.

Gli spessori sono variabili da decine di cm ad alcuni metri.

Gli accumuli sono dovuti ai processi di degradazione e aggradazione dei terreni metamorfici e quindi costituiti da frammenti di matura metamorfica a granulometria variabile, con prevalenza di elementi a grana medio-fine, quale matrice, e presenza di diffusi elementi di ghiaia e frammenti di pezzatura più grossolana. Gli accumuli originati dagli gneiss presentano granulometria mediamente più grossolana rispetto a quelli originatisi da filladi e scisti; in questi ultimi è presente anche una discreta matrice argillosa. I frammenti più grossolani presentano, nel primo caso forma arrotondata, nel secondo, generalmente allungata; lo stato di addensamento è poco evidente nel primo, mentre nel secondo caso aumenta sensibilmente all'aumentare della profondità.

*L'area di interesse, collocata nella parte più alta del rilievo, presenta accumuli detritici limitati. Ai fini applicativi si evidenzia schematicamente la presenza di materiali detritici e/o di riporto assimilabili a detrito, a tergo delle strutture verticali.*





## 5. GEOMORFOLOGIA

L'assetto geomorfologico generale del territorio in specie, in considerazione anche delle condizioni fisiche e strutturali dei litotipi affioranti, è caratterizzato da un'accentuata variabilità dei morfotipi che vanno da forme montuose, con dorsali ed alture interposte a vallate ed incisioni a tipica genesi tettonica, a più rare forme collinari, blandamente ondulate, interrotte da modeste scarpate ad andamento sub-verticale.

Tale assetto é in rapida evoluzione ed i profili fluviali longitudinali sono ancora allo stadio giovanile, con frequenti salti e gradini raccordanti tratti di fondovalle con pendenze più o meno accentuate (T.te Acquicella, Petrolo, Furio). I salti e le discontinuità dei profili fluviali facilitano alcuni fenomeni di assestamento che, seppur localizzati, si verificano frequentemente in periodi stagionali ben precisi, caratterizzati da forti piogge.

Il centro abitato di Librizzi si sviluppa su un promontorio limitato tra i torrenti Furio e Librizzi, affluenti del Timeto, ed è compreso tra le quote 420 e 530 m s.l.m. circa.

La dorsale che separa il versante Orientale da quello Occidentale e che funge anche da spartiacque per i bacini dei predetti torrenti, segna nettamente il limite N.O. dell'abitato, sicché quest'ultimo rimane esposto quasi interamente verso oriente estendendosi in direzione NNE – SSO e degradando in direzione del torrente Timeto.

La morfologia locale è dettata dalla presenza di un substrato roccioso di natura metamorfica che determina un andamento della superficie frastagliato e con accentuata acclività, dando origine talvolta anche a scarpate più o meno ripide ed estese.

Nella fattispecie, l'abitato è circondato, per buona parte del suo perimetro, da porzioni di versante acclivi; alcuni tratti possono raggiungere un massimo di 45° – 50° di pendenza.

Sia il versante orientale che quello occidentale del crinale suddetto sono stati nel passato interessati da numerosi eventi franosi che si sono spinti fino ad interessare l'abitato. Notizie storiche riferiscono del crollo di edifici pubblici e privati, e di consistenti danni a quelli ancora esistenti e ubicati in prossimità del ciglio superiore della scarpata.

La dissestabilità dei terreni dipende da vari fattori, quali la elevata pendenza dei versanti e la erodibilità dei litotipi (strettamente dipendente dalla composizione litologica e dal grado di alterazione e di tettonizzazione della roccia).

I movimenti franosi sono rappresentati da piccoli fenomeni di scoscendimento che talvolta evolvono, a causa delle forti pendenze, a veri e propri fenomeni di colamento, o da movimenti franosi repentini che coinvolgono, generalmente, la coltre detritica superficiale e/o l'orizzonte di alterazione del substrato.

I dissesti vengono anche aggravati dalle infiltrazioni di acque superficiali nel sottosuolo,

favorite dall'esistenza di litotipi permeabili per porosità (materiali incoerenti) o per fessurazione.

Nel passato, in corrispondenza del crinale su cui sorge il centro abitato, l' assenza di pavimentazioni impermeabilizzanti faceva sì che dette infiltrazioni giocassero un ruolo molto significativo nel verificarsi di movimenti franosi. Le estese opere di impermeabilizzazione e di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche e nere, eseguite negli ultimi tempi, hanno quasi annullato questo fattore di rischio.

L'erosione diffusa ed i movimenti franosi accennati sopra hanno generato, subito a valle dell'abitato, ed in special modo sulla porzione orientale del versante, estese falde detritiche, anche se discontinue, con spessori fino ad oltre una decina di metri.

Occorre comunque evidenziare che i depositi detritici sono localmente ricoperti da materiali di riporto o da rifiuti contenenti abbondanti residui di calcinacci e resti di suppellettili domestiche.

Gran parte del territorio studiato (cfr. allegato carta geomorfologica) è inoltre interessato da fenomeni di degradazione non evidenti come le frane, ma tanto incisivi quanto durevoli. Sono fenomeni di erosione superficiale legati a fattori fisici, meteorici e litologici. Specificatamente, lo scorrimento delle acque superficiali provoca spesso erosione sia diffusa che concentrata che causa l'asportazione nel tempo di notevoli quantità di materiale disgregato, soprattutto fini e materiale umido costituenti il suolo, e la deposizione dello stesso più a valle. Il materiale preso in carico dalle acque dilavanti acquisisce una sempre maggiore energia man mano che si appesantisce, cosicché in concomitanza con eventi piovosi eccezionali si possono formare delle vere e proprie colate di detriti, dannose se non devastanti quando invadono i terreni al di fuori del greto dei torrenti.

### ***Storia morfoevolutiva del territorio***

Da quanto è stato possibile appurare anche attraverso notizie storiche e voci popolari, sembra che in passato l'abitato abbia avuto una conformazione urbanistica diversa da quella attuale o quanto meno una diversa distribuzione. Una ipotesi verosimile è quella che il paese si estendesse anche verso Ovest, oltre Piazza Catena, e che un evento calamitoso particolarmente disastroso abbia, probabilmente nella prima metà del secolo diciannovesimo, distrutto quella parte dell'abitato.

A conferma di ciò, uno studioso dei primi anni del 1900 (Sebastiano Crinò 1921), in una sua pubblicazione sulle frane dell'area peloritana cita proprio Librizzi insieme a Montalbano Elicona, narrando che tali centri abitati sono stati colpiti da frane di grave entità che hanno distrutto interi quartieri; ulteriore prova è il ritrovamento di numerose tracce e resti di abitazioni alla base del costone lato ovest.

### **Morfologia locale**

Il quartiere Matrice, area di intervento di riqualificazione, è stato edificato su un rilievo isolato, dai versanti acclivi, il cui substrato è costituito da materiali lapidei facenti capo agli gneiss occhiadini della Falda dell'Aspromonte.

Il versante edificato è quello esposto a SE, meno acclive e ad andamento regolare, mentre quello opposto, non urbanizzato, ha morfologia aspra e pendenza molto elevata. Esso è soggetto a fenomeni erosivi, tipici dei versanti in scarpata, talora spinti fino a provocare dissesti più evidenti.



Tuttavia, recenti interventi di messa in sicurezza e consolidamento dell'intera fascia di versante hanno bloccato possibili evoluzioni di detti fenomeni.

L'area di intervento specifico, pur contornata da una morfologia aspra, allo stato è esente da fenomeni di dissesto o elementi a questi riconducibili, in atto o potenziali che siano. Ciò trova riscontro anche nel Piano per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.), redatto dall'Assessorato Territorio Ambiente della Regione Siciliana di cui si producono stralci nelle allegate Tav.3°-b e Tav.5/5bis; quest'ultima riporta anche l'area di intervento sottoposta di recente a consolidamento.

Il dissesto contrassegnato con il codice 012-5LI-031, interferente con l'area della Piazza Matrice, graficamente interferente con l'area di intervento, in realtà rimane limitato alla scarpata, a valle del muro di confine lato ONO; quest'ultimo appare al momento in buono stato di conservazione e non soggetto a deterioramento.

Per quanto detto, gli interventi in progetto, programmati nell'ottica del miglioramento delle condizioni generali, sono da ritenere compatibili con l'ambito geologico interessato e non creano pregiudizio all'equilibrio geomorfologico locale, anzi contribuiscono alla stabilità generale dell'area.

## 6. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE GENERALI

La circolazione delle acque sotterranee é legata al grado di permeabilità dei terreni, ossia alla capacità che essi hanno di lasciarsi attraversare dai “fluidi” in condizioni normali di temperatura e pressione.

La permeabilità dipende strettamente da caratteristiche peculiari quali porosità e/o fratturazione del litotipo; inoltre, essa può essere fortemente condizionata dalla distribuzione areale dei litotipi, dalla loro disposizione geometrica, nonché dalle strutture tettoniche locali.

Sotto il profilo idrogeologico i terreni esaminati e che ci interessano più da vicino sono contraddistinti da comportamenti del tutto dissimili nei riguardi della permeabilità e pertanto li possiamo raggruppare nelle seguenti classi:

- Terreni ad elevata permeabilità "primaria"
- Terreni a media permeabilità "secondaria"
- Terreni a scarsa permeabilità "secondaria"

I **terreni ad elevata permeabilità primaria** (per porosità) sono rappresentati dagli accumuli detritici; in essi le falde sono molto limitate, poiché limitati sono pure gli spessori degli stessi depositi. In tali terreni, al contatto col substrato, nei periodi maggiormente piovosi può ipotizzarsi la presenza di acqua; riscontro di ciò si è avuto in seguito alla esecuzione di indagini effettuate in passato per altri lavori.

Ai **terreni a media permeabilità “secondaria”** (per fratturazione) si ascrivono i terreni della falda dell’Aspromonte, costituiti prevalentemente da “gneiss occhiadini” intensamente fratturati. In tali litotipi la porosità primaria è praticamente assente, mentre si può riscontrare una permeabilità di tipo secondario, più o meno significativa, legata al grado di fratturazione ed all’entità delle fratture stesse.

Nella compagine litoide si possono riscontrare delle locali situazioni con permeabilità elevata, laddove esiste una fessurazione di tipo "beante", e di permeabilità piuttosto ridotta in corrispondenza di quelle porzioni di ammassi meno fratturati. Le acque di infiltrazione si muovono all’interno di tali rocce seguendo dei percorsi preferenziali, lungo le fratture esistenti, per poi affiorare ogni qualvolta si verificano particolari condizioni favorevoli quali contatti con termini litologici impermeabili, sbarramenti naturali (faglie e dislocazioni in genere), ecc....

Nel complesso, quindi, nei suddetti terreni esiste la possibilità di riscontrare falde idriche anche di notevole entità, la cui prova tangibile nell’area esaminata é data dal formarsi di alcune sorgenti individuabili in vari punti del territorio comunale.

Ai **terreni a scarsa permeabilità “secondaria”** (per fratturazione) si assimilano le filladi



appartenenti all'Unità di Mandanici, che sono caratterizzate da vari sistemi di fratture. Poiché le filladi in presenza di acqua sono soggette all' "argillificazione" dei loro minerali costituenti, le fessure nel tempo tendono ad impermeabilizzarsi. Quindi, se da un lato la circolazione delle acque è favorita, dall'altro, la stessa provoca alla lunga una parziale impermeabilizzazione dell'ammasso con conseguente limitazione della circolazione sub-superficiale.

In tali terreni esiste comunque la possibilità di rinvenire modeste falde in corrispondenza degli ammassi più fratturati e meno soggetti all'argillificazione.

Ai fini progettuali, in considerazione dei fattori geologici e morfologici che concorrono alla formazione di falde o di accumuli idrici nel substrato, nel caso specifico si escludono condizioni di interazione diretta o indiretta tra eventuali acque sub-superficiali e le strutture in progetto.

Quanto alle acque superficiali, si evidenzia la necessità di taluni accorgimenti atti al miglioramento del sistema di raccolta e allontanamento; in via generale, sarebbe bene evitare il più possibile la loro infiltrazione nel substrato, soprattutto nell'area della Piazza Matrice, lato NO, a monte delle scarpate.

## 7. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la definizione delle caratteristiche stratigrafiche e geomeccaniche dei terreni di stretto interesse progettuale, nonché per la definizione in termini geomeccanici e geofisici del sottosuolo di fondazione (NTC 2018), in considerazione della omogeneità degli affioramenti, si fa riferimento a dati provenienti da indagini effettuate nel contesto di altri studi, su terreni adiacenti all'area di progetto, appartenenti al medesimo termine litologico (gneiss della Falda dell'Aspromonte).

A tal proposito sono state utilizzate le seguenti indagini:

- *Indagini geofisiche: stendimenti sismici con elaborazione tomografica e Masw*
- *Rilievi geomeccanici e strutturali*

### - Indagini geofisiche

L'indagine è mirata alla definizione delle caratteristiche fisico dinamiche dei terreni, alla ricostruzione stratigrafica del sito e alla classificazione del sottosuolo di fondazione secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018.

## I. INDAGINE M.A.S.W

Per l'analisi del sito dal punto di vista della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ), sono state prese a riferimento acquisizioni ed analisi secondo la tecnica MASW (*Multiple Filter Analysis* – Dziewonsky et al., 1969; Herrmann, 2013; Pedersen et al., 2003).

Le procedure adottate nell'esecuzione sono in linea con le norme tecniche per le costruzioni del DM 17 gennaio 2018.

Queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito (quindi l'eventuale amplificazione dello scuotimento del suolo in caso di sisma) alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ).

La classificazione dei terreni è stata quindi svolta sulla base del valore  $V_{s,eq}$  (in m/s), che rappresenta la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio definita dalla relazione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad \text{eq. (1)}$$

in cui  $V_{s,i}$  e  $h_i$  sono rispettivamente la velocità delle onde di taglio e lo spessore dell' $i$ -esimo strato.

L'indagine realizzata, inoltre, consente di acquisire i valori delle velocità sismiche degli strati del sottosuolo, di valutare gli spessori dei vari rifrattori e di migliorare la conoscenza dell'assetto geometrico-giaciturale del substrato.

#### **Generalità sulle onde di superficie e la tecnica "masw"**

Le onde in grado di propagarsi nei pressi di una superficie libera sono conosciute come onde di superficie. Tra queste, le onde di Rayleigh, si producono alla superficie libera di un mezzo dalla combinazione delle onde longitudinali e trasversali. Possono essere trasmesse sulla superficie di un semispazio uniforme o in un mezzo in cui la velocità cambia con la profondità. Le onde superficiali si caratterizzano per una proprietà denominata "dispersione", cioè ogni componente in frequenza (e quindi lunghezza d'onda) possiede diversa velocità (chiamata velocità di fase). Lo studio della dispersione delle onde superficiali costituisce uno dei metodi utilizzati per la determinazione della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ). La velocità di propagazione delle onde Rayleigh varia tra  $0,9 V_s$  e  $0,95 V_s$ .

La velocità di propagazione delle onde di Rayleigh ( $V_r$ ) e delle onde di taglio ( $V_s$ ) sono legati dalla relazione:

$$V_r = (0,862 + 1,14 V/1+V) V_s$$

dove  $V$  rappresenta il coefficiente di Poisson.

In sintesi la  $V_r$  risulta leggermente inferiore alla  $v_s$  di un valore compreso tra 0,862 e 0,955 e può esprimersi:  $V_r = 0,91 V_s \pm 0,046$ , cioè con un errore inferiore al 5 %.

Con le registrazioni effettuate secondo la tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) metodo investigativo sviluppato da vari ricercatori, è possibile distinguere ed evidenziare, all'interno del sismogramma di registrazione, le onde di Rayleigh, le quali normalmente sono caratterizzate da un'elevata ampiezza del segnale (circa il 60% dell'energia prodotta dalla sorgente di energia si distribuisce in onde di superficie). L'analisi spettrale del segnale produce un grafico velocità di fase - frequenza all'interno del quale in cui si può distinguere il modo fondamentale ed i modi superiori di propagazione delle onde di superficie, sui quali effettuare l'operazione di "picking" per ricavare la curva di dispersione.

Per l'elaborazione dei dati acquisiti è stato utilizzato il software WinMASW che consente sia la modellazione diretta degli spettri, sia l'inversione delle curve di dispersione.

I risultati delle elaborazioni forniscono il profilo verticale delle  $V_s$  che è riferito all'estremità dello stendimento ed è relativo al volume di sottosuolo sotteso dallo stendimento realizzato in superficie.

Per analizzare le onde di Rayleigh, la tecnica operativa consiste nello stendere sul terreno un profilo lineare (array) di geofoni verticali a bassa frequenza (preferibilmente 4,5 Hz), egualmente spazati; quindi si effettuano una o più energizzazioni mediante massa battente ad impulso verticale, a diverse distanze dal primo geofono (source offset). Per ogni punto di energizzazione viene registrato il corrispondente sismogramma, che viene poi importato nel software di elaborazione.

La prospezione eseguita mediante analisi delle onde di superficie offre alcuni vantaggi rispetto alle tecniche classiche di sismica a rifrazione, tra i quali si segnala la relativa facilità di lettura del segnale anche in aree antropizzate, caratterizzate da elevato rumore di fondo e la possibilità di evidenziare la presenza di inversioni di velocità nel sottosuolo. Le limitazioni sono date dalla profondità di indagine e dall'elevata sensibilità a variazioni laterali di litologia.

La conoscenza della  $V_s$  è utile quando sia necessario valutare la variabilità geotecnica dei materiali presenti nel sottosuolo, in quanto consente di rilevarne le proprietà fisiche, poiché i valori di  $V_s$  sono proporzionali al grado di compattezza dei mezzi percorsi e, a differenza delle onde P (onde longitudinali) non sono influenzati dalle condizioni di saturazione dei sedimenti. Va precisato che la correlazione tra parametri geofisici e caratteristiche litologiche-geomeccaniche ha carattere qualitativo, soprattutto se non sussiste la possibilità di tarare l'interpretazione geofisica mediante il confronto con informazioni provenienti da indagini geognostiche di tipo diretto.

### Acquisizione ed elaborazione dati

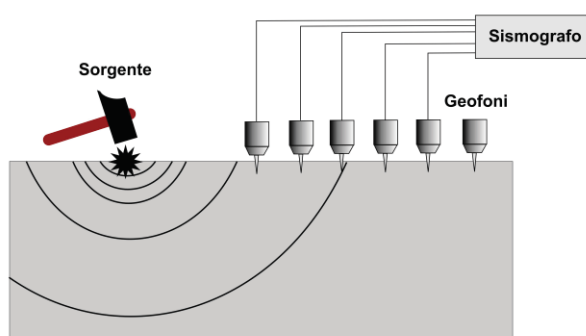
Lo studio per la scelta del profilo sismico viene svolto basandosi sulle informazioni di carattere geologico strutturale riguardanti il territorio in esame.

I rilievi speditivi sul terreno hanno consentito di ricavare un modello geologico concettuale, di effettuare la scelta dell'orientamento del tracciato in situ e predisporre i profili sismici di misura tali da ottimizzare il modello di interpretazione il quale dispone oltre che dalla geometria dello stendimento, anche dalla posizione dei punti di energizzazione e del grado di dettaglio desiderato.

L'acquisizione è avvenuta tramite sismografo a 12 canali (mod. **SARA Do.Re.Mi.**) collegato a geofoni verticali a frequenza propria di 4.5Hz (spaziatura tra geofoni 2m, 2s di acquisizione, frequenza 5.000 Hz).

Le impostazioni dei parametri di acquisizione dello strumento sono scelte in funzione del tipo di indagine eseguita, della lunghezza dello stendimento, del grado di risoluzione ricercato, delle condizioni ambientali rispetto alle fonti di rumore e tenendo conto anche della relativa uniformità delle successioni sedimentarie presenti nel substrato indagato. Al fine di incrementare il rapporto segnale/rumore, viene effettuato su tutte le registrazioni, un processo di stacking con numero di stacks variabili da tre a cinque.

Come sorgente di energia sismica è stata utilizzata una massa battente. La registrazione dei dati è avvenuta su personal computer portatile, collegato al sismografo.



**Figura 1.** Stendimento sismico. *Sollecitazioni dinamiche verticali, per la generazione delle onde P e delle onde di Rayleigh.*

Per le analisi dei dati acquisiti si è adottato il software winMASW ([www.eliosoft.it](http://www.eliosoft.it)).

I dati acquisiti (Figura 2) sono stati elaborati (determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime) per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (VS).



In sequenza l'elaborazione così si articola:

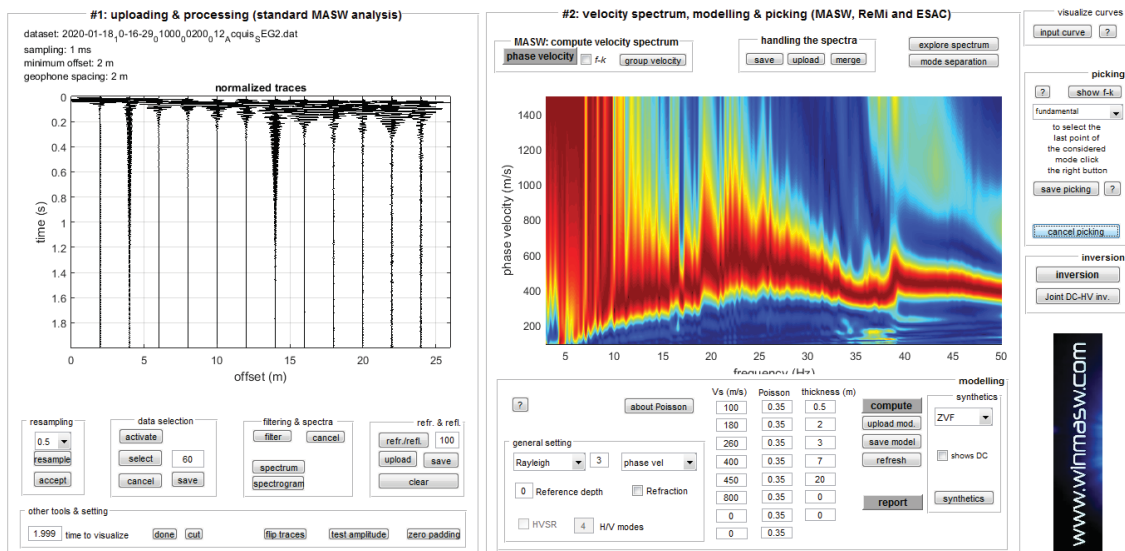
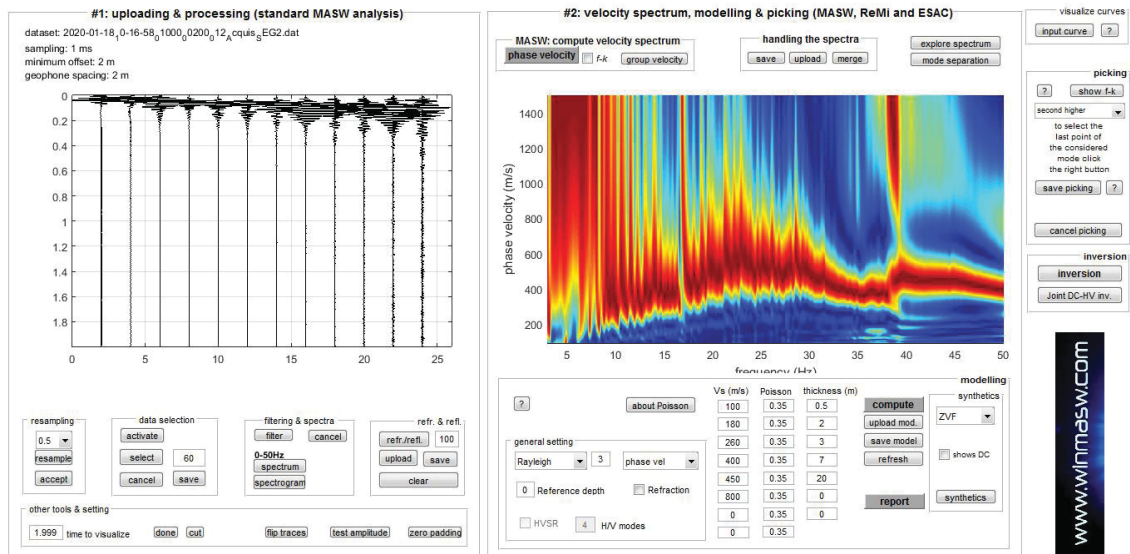
- Implementazione del file di registrazione (dataset) e delle caratteristiche geometriche del profilo;
- determinazione dello spettro di velocità;
- costruzione della curva di dispersione (picking) e/o modellazione diretta dello spettro;
- inversione della curva di dispersione (precedentemente individuata) attraverso l'utilizzo di algoritmi genetici (detti anche evolutivi) e generazione del modello di velocità delle Vs.

Gli algoritmi evolutivi (come altri analoghi) a differenza dei metodi lineari per i quali è necessario fornire un modello di partenza, offrono un'esplorazione molto più ampia delle possibili soluzioni. È sufficiente definire uno "spazio di ricerca" (search space) all'interno del quale vengono valutate diverse possibili soluzioni. Quella finale viene, infine, proposta con una stima della sua attendibilità (deviazioni standard).

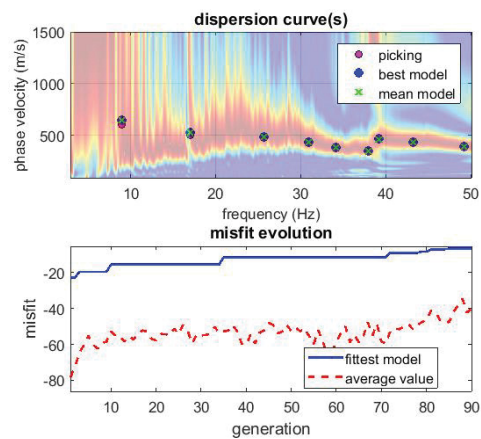
Determinato il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs è possibile procedere al calcolo della velocità equivalente e, quindi, risalire alla classificazione della categoria litologica del suolo.

Le scelte interpretative sono indirizzate a criteri di sicurezza e in presenza di biunivocità vengono preferite condizioni di spessori e valori di Vs che conducono a situazioni più sfavorevoli dal punto di vista degli effetti sismici di sito.

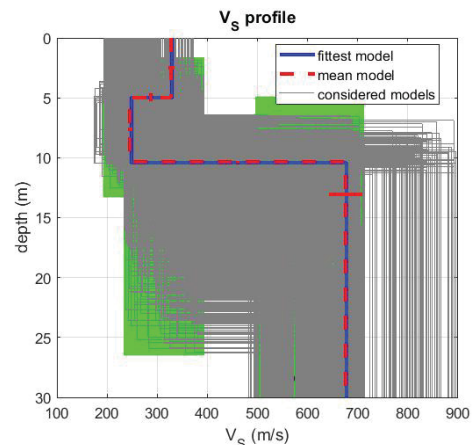
## Profilo n°1 (MW1):



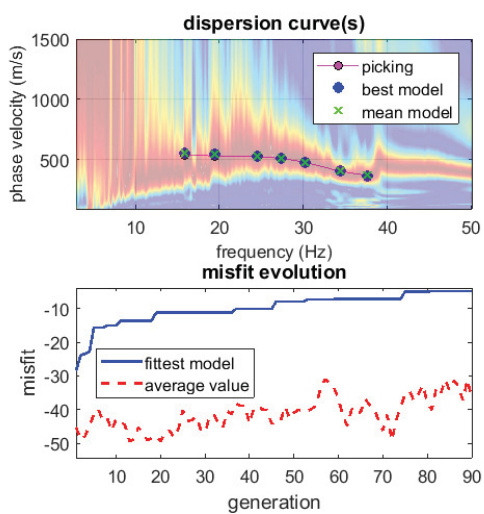
-Sulla sinistra i dati di campagna (sismogrammi acquisiti) e, sulla destra, lo spettro di dispersione.



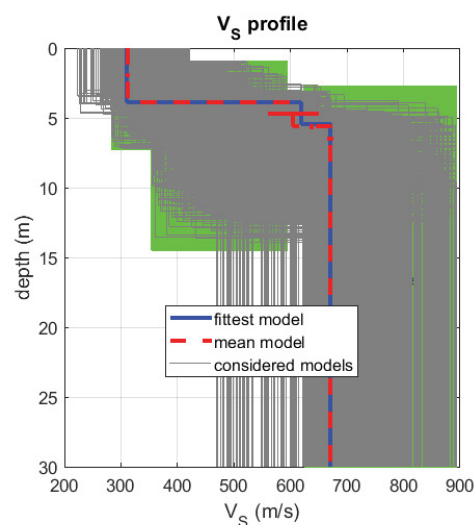
[www.winmasw.com](http://www.winmasw.com)



dataset: 2020-01-18\_10-16-58\_01000\_00200\_012\_Acquis\_SEG2.dat  
dispersion curve: 1.cdp  
Vs30 & VsE (best model): 455 455 m/s  
Vs30 & VsE (mean model): 454 454 m/s

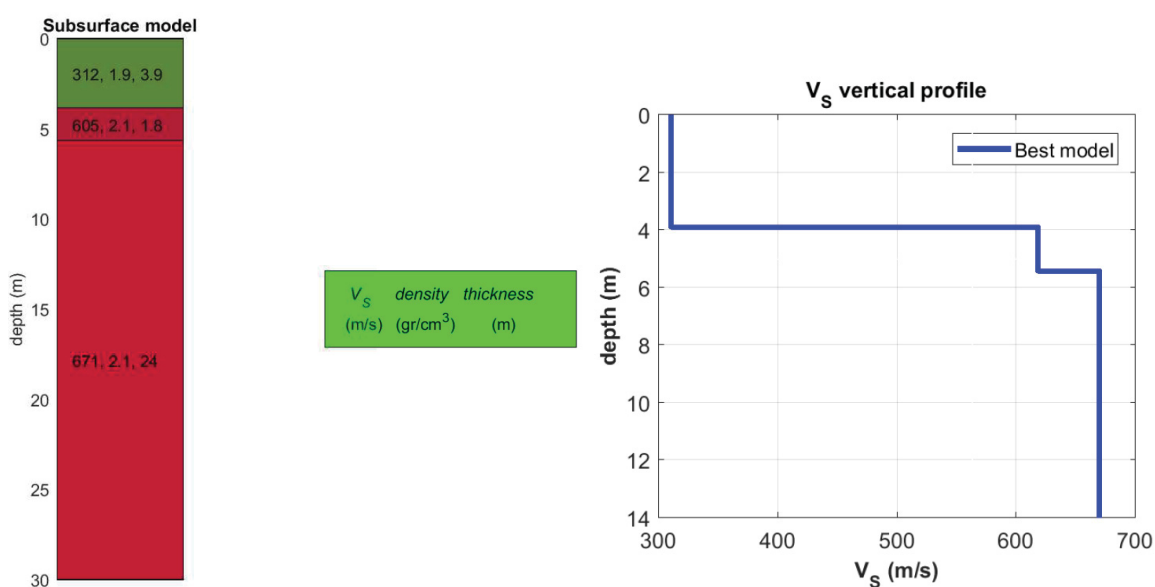
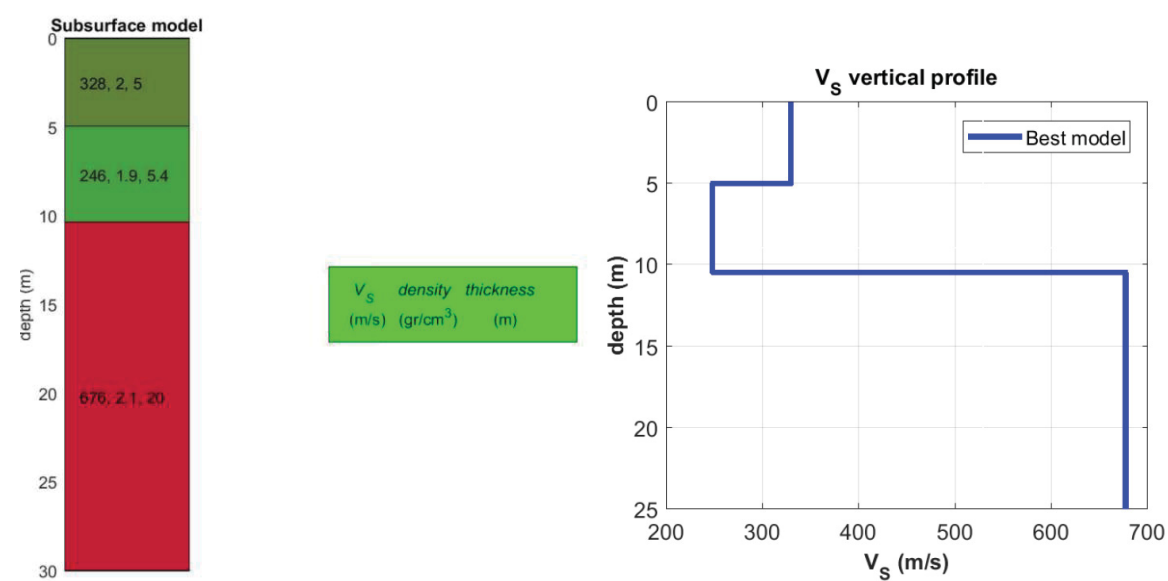


[www.winmasw.com](http://www.winmasw.com)



dataset: 2020-01-18\_10-16-29\_01000\_00200\_012\_Acquis\_SEG2.  
dispersion curve: 2.cdp  
Vs30 & VsE (best model): 581 581 m/s  
Vs30 & VsE (mean model): 581 581 m/s

-Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi di dati MASW.



- A sinistra la colonna sismostratigrafica, mentre a destra il profilo delle  $V_s$  al variare della profondità

Spessore (m)	VS (m/s) e deviazioni standard	density(gr/c mc)	Poisson	Litologia
5	328	2	0,35	Coltre d'alterazione
5,4	246	1,9	0,25	Metamorfiti alterate e fratturate
20	676	2,1	0,2	Metamorfiti parzialmente integre

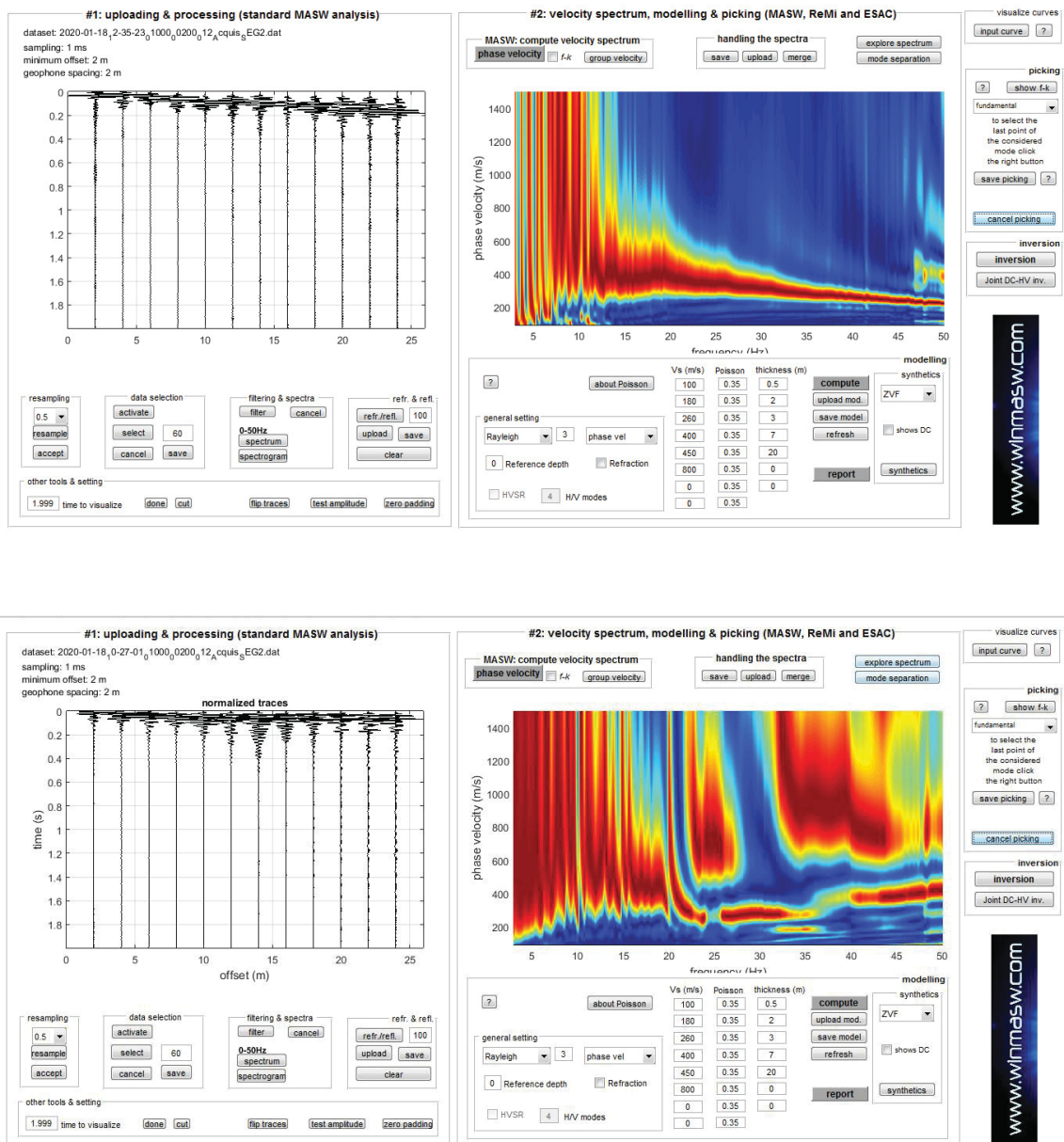
Spessore (m)	VS (m/s) e deviazioni	density(gr/c	Poisson	Litologia
--------------	-----------------------	--------------	---------	-----------

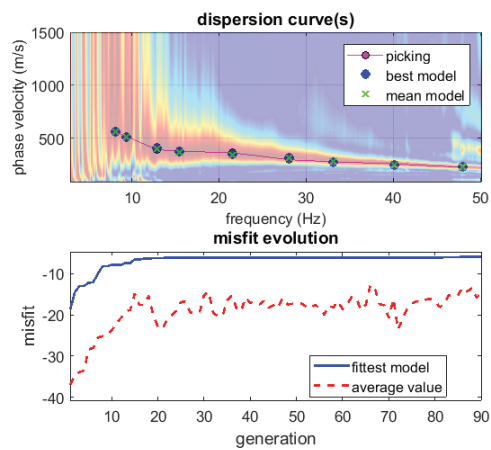


	standard	mc)		
3,9	312	1,9	0,35	Coltre d'alterazione
1,8	605	2,1	0,25	Metamorfiti alterate e fratturate
24	671	2,1	0,2	Metamorfiti parzialmente integre

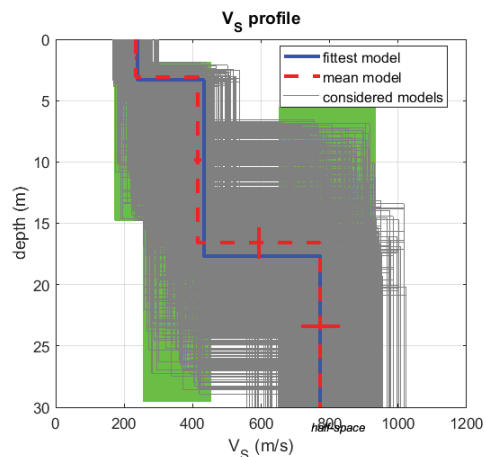
-Modello medio individuato profilo MW1.

## Profilo n°2 (MW2):

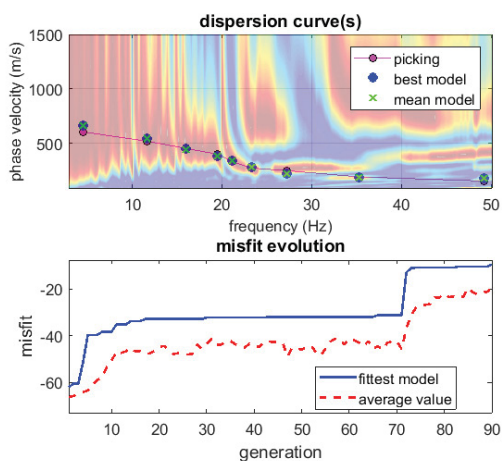




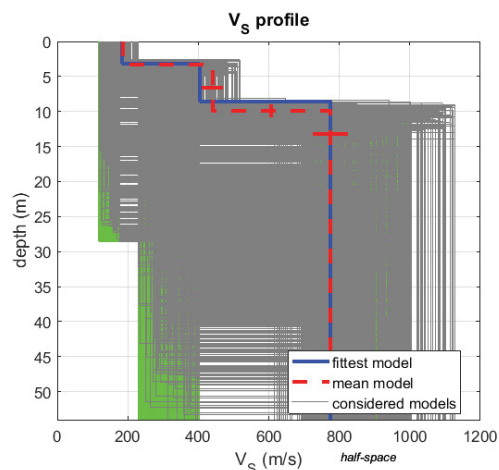
www.winmasw.com



dataset: 2020-01-18\_12-35-23\_01000\_00200\_012\_Acquis\_SEG2.dat  
dispersion curve: 1.cdp  
Vs30 & VsE (best model): 476 476 m/s  
Vs30 & VsE (mean model): 476 476 m/s

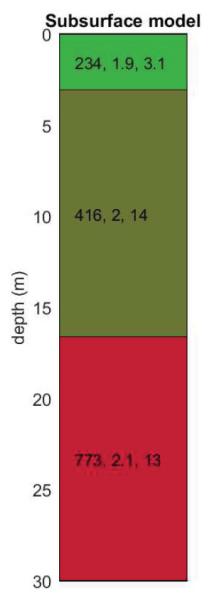


www.winmasw.com

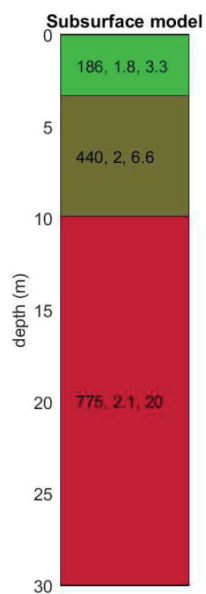
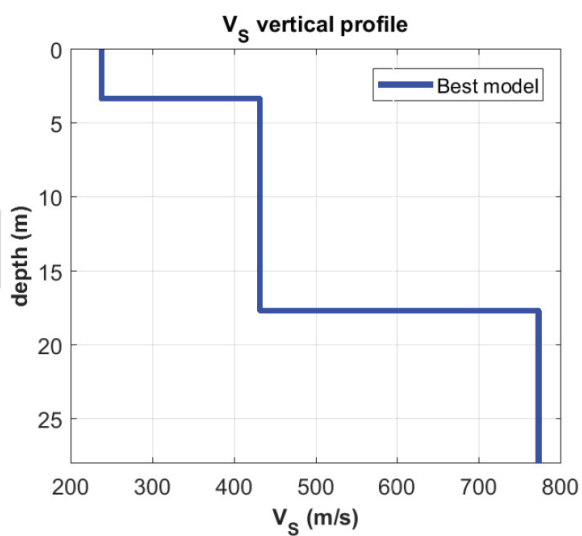


dataset: 2020-01-18\_10-27-01\_01000\_00200\_012\_Acquis\_SEG2.dat  
dispersion curve: 1.cdp  
Vs30 & VsE (best model): 516 516 m/s  
Vs30 & VsE (mean model): 511 511 m/s

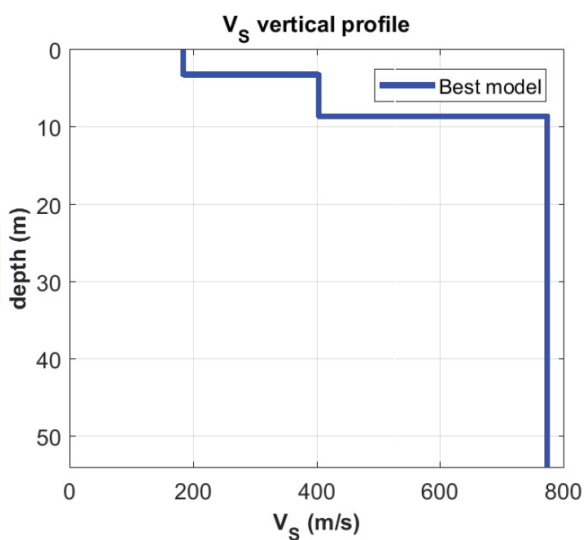
-Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi di datiMASW.



$V_s$  density thickness  
(m/s) (gr/cm<sup>3</sup>) (m)



$V_s$  density thickness  
(m/s) (gr/cm<sup>3</sup>) (m)



- A sinistra la colonna sismostratigrafica, mentre a destra il profilo delle Vs al variare della profondità

Spessore (m)	VS (m/s) e deviazioni standard	density(gr/ cmc)	Poisson	Litologia
3,9	234	1,9	0,35	Coltre d'alterazione
14	416	2	0,25	Metamorfiti alterate e fratturate
13	773	2,1	0,2	Metamorfiti parzialmente integre

Spessore (m)	VS (m/s) e deviazioni standard	density(gr/ cmc)	Poisson	Litologia
3,3	186	1,8	0,35	Coltre d'alterazione
6,6	440	2	0,25	Metamorfiti alterate e fratturate
20	775	2,1	0,2	Metamorfiti parzialmente integre

-Modello medio individuato profilo MW2.

### Risultati

L'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh a partire da dati di sismica attiva (MASW) ha consentito di determinare il profilo verticale della VS (e del modulo di taglio) e, di conseguenza, del parametro  $V_{seq} \& V_{s30}$ , risultato per il modello medio pari a **517,5 m/s** (MW1) e **493,5 m/s** (MW2)(considerando come riferimento il piano campagna).

Rispetto le norme tecniche per le costruzioni (DM 17 gennaio 2018) che sulla base del sopracitato valore individua le seguenti cinque categorie di suolo:

**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.

**B. Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti**, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

**C. Deposit**i di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

**D. Deposit**i di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

**E. Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D**, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Il sito in esame rientra quindi nella **categoria B**.

La profondità di penetrazione dell'indagine MASW è determinata dalla relazione tra velocità e frequenze rappresentate nella curva di dispersione:

$$\lambda = v f$$

L'energia delle onde superficiali si attenua esponenzialmente con la profondità in relazione al periodo di oscillazione dell'onda; onde caratterizzate da periodi maggiori (bassa frequenza) si attenuano meno, penetrando più nel sottosuolo. Generalmente la massima profondità di penetrazione è data dall'approssimazione  $\lambda/2.5-3$ .

Le variazioni di alcuni parametri fisico-meccanici del terreno, possono determinare una non coincidenza tra gli spessori litologici e i sismo-strati.

## **II. TOMOGRAFIA SISMICA**

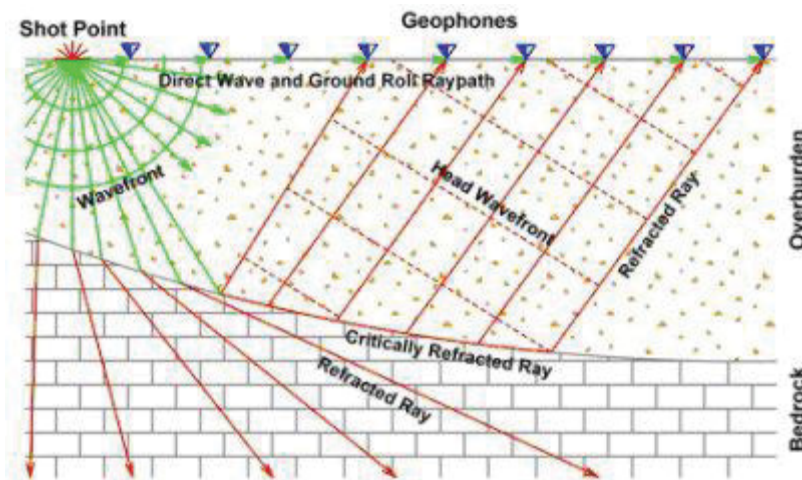
### **Metodologia sismica a rifrazione**

La tecnica di prospezione sismica a rifrazione consiste nella misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate in un punto in superficie (punto sorgente), in corrispondenza di una molteplicità di punti disposti allineati sulla superficie topografica (geofoni). Lo studio della propagazione delle onde sismiche consente di valutare le proprietà geometriche e fisico-meccaniche dei terreni.

Mediante questo tipo di indagine si può risalire alla composizione litologica di massa dei terreni, al loro grado di fratturazione, alla geometria delle prime unità sottostanti la coltre superficiale, alla profondità in cui si trova la roccia di fondo ("bedrock").

Queste indagini sfruttano 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.





Schema di acquisizione di onde rifratte

Normalmente il sottosuolo è caratterizzato da strati piano-paralleli con velocità crescente all'aumentare della profondità. In contesti più complessi (inversioni di velocità o presenza di corpi non stratificati) bisogna tener conto del modello tridimensionale del sottosuolo ed intervenire con indagini più specifiche (misure sismiche in foro), per non incorrere in errori interpretativi.

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 o, 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 o, 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

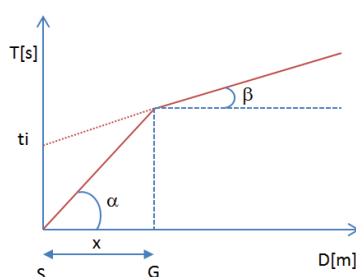
$$T = x_i / V_1$$

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

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

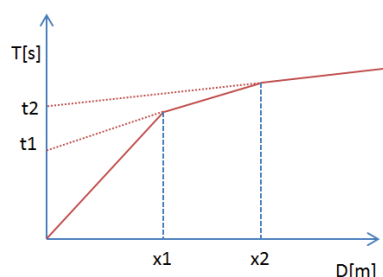
I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.



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 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.

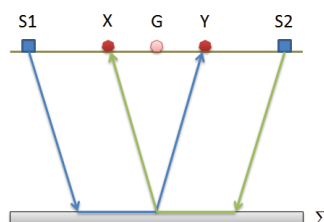


Infine, dalla conoscenza dei tempi è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

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

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 rifrattore.

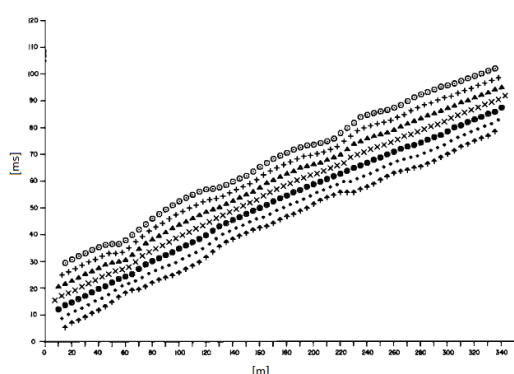


Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifrattore utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione. Nelle

interpretazioni multi strato, la generazione delle dromocrone può sfruttare tecniche di phantomng per sopperire alla mancanza dei dati per alcuni rifrattori.

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

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



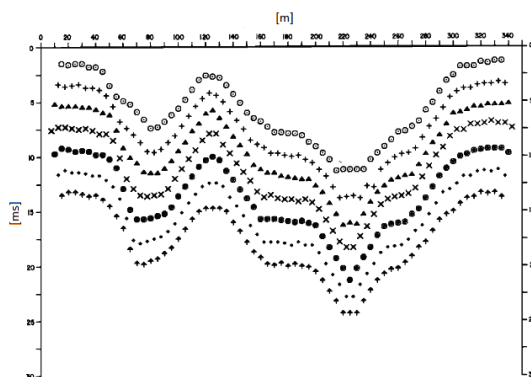
dove  $T_{S_1Y}$  e  $T_{S_2X}$  sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente  $S_1$  a  $X$  e dalla sorgente  $S_2$  a  $Y$  mentre  $T_{S_1S_2}$  è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio  $S_1$  e  $S_2$ , esternamente simmetrici rispetto allo stendimento.  $T_v$  è il tempo calcolato su un geofono  $G$  posto tra  $X$  e  $Y$ , 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:

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

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°

La tomografia, effettuata con il tempo di primo arrivo delle onde P, come l'indagine a rifrazione, è un'analisi di "imaging" per mezzo della quale è possibile condurre delle stime sulle proprietà fisiche del sottosuolo e delle loro eventuali variazioni, sia sulle direttrici laterali, sia su quelle verticali.

Tali interpretazioni danno modo di rappresentare le velocità sismiche sia secondo sismostrati e sia secondo un'imaging bidimensionale a colori.



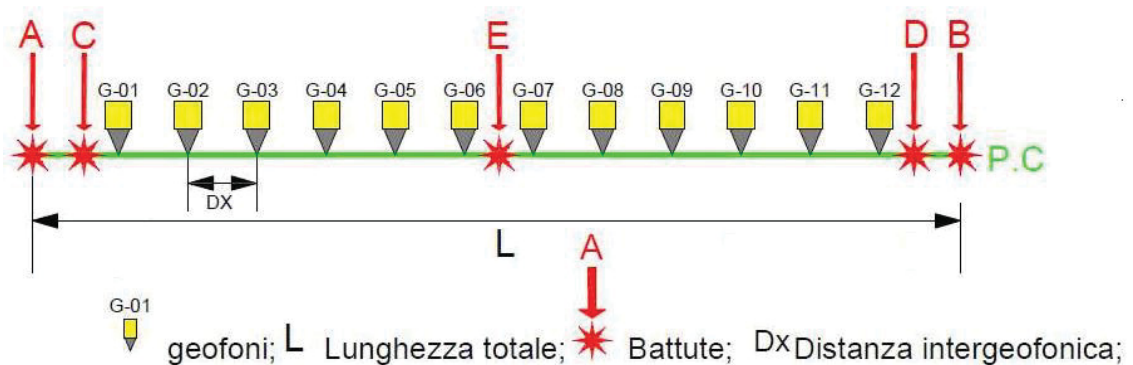
### Acquisizione ed elaborazione dati

I parametri geometrici dei profili sono riassunti nella tabella seguente:

	Lunghezza (m)	Distanza geofonica (m)
Profilo sismico T1	30	2,0
Profilo sismico T2	30	2,0
Profilo sismico T3	30	2,0

-Parametri geometrici profili

Di seguito è mostrato lo schema geometrico di acquisizione:



Il picking delle onde sismiche è stato effettuato sui sismogrammi sperimentali dopo un opportuno filtraggio delle tracce. I primi arrivi sono riportati nei diagrammi tempo-distanza “dromocrone”.

L’acquisizione è avvenuta tramite sismografo a 12 canali (mod. **SARA Do.Re.Mi.**) collegato a geofoni verticali afrequenza propria di 4.5Hz (spaziatura tra geofoni 2m, 0,5s di acquisizione, frequenza 2.000 Hz).

I dati registrati possono essere scaricati, organizzati, archiviati, visualizzati e analizzati tramite il software “*smartRefract*”.

### Profilo sismico T1:

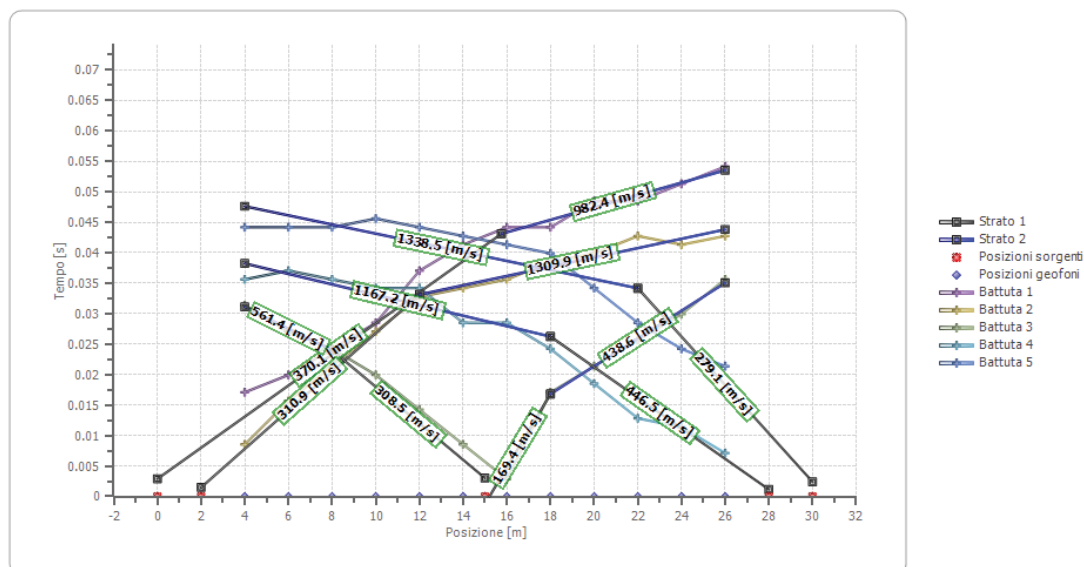
Zona Matrice

Latitudine 38.098493[°]

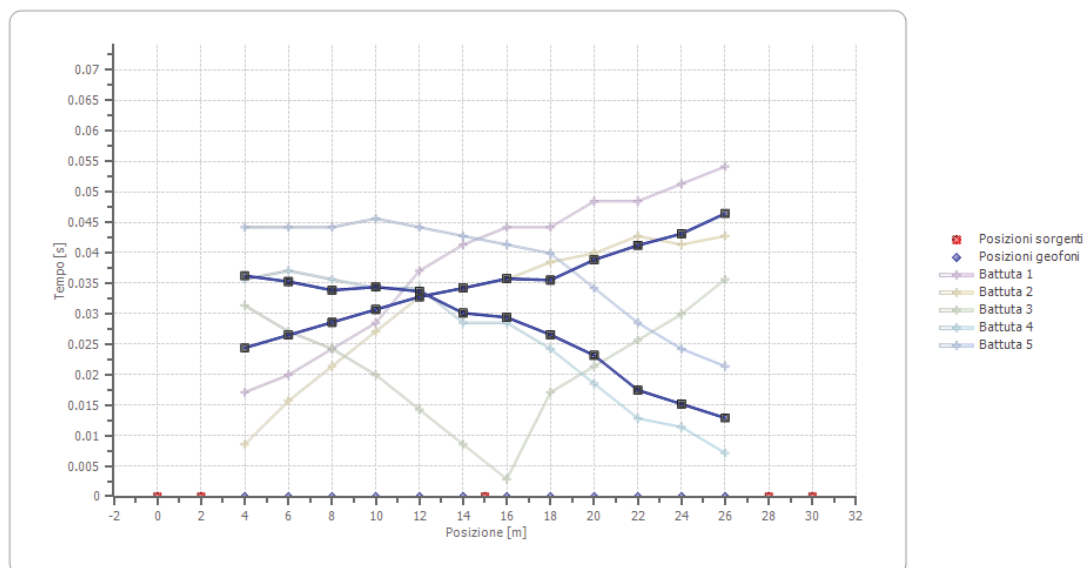
Longitudine 14.959042[°]

Altitudine 485[m]

### Dromocrone



### Dromocrone traslate



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

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 4.0 [m]	2.8	--
G= 6.0 [m]	3.0	--
G= 8.0 [m]	3.1	--
G= 10.0 [m]	3.5	--
G= 12.0 [m]	3.8	--
G= 14.0 [m]	3.4	--
G= 16.0 [m]	3.6	--
G= 18.0 [m]	3.0	--
G= 20.0 [m]	3.0	--
G= 22.0 [m]	2.5	--
G= 24.0 [m]	2.4	--
G= 26.0 [m]	2.6	--
Velocità [m/sec]	314.1	984.8
Descrizione		

## Altri parametri geotecnici

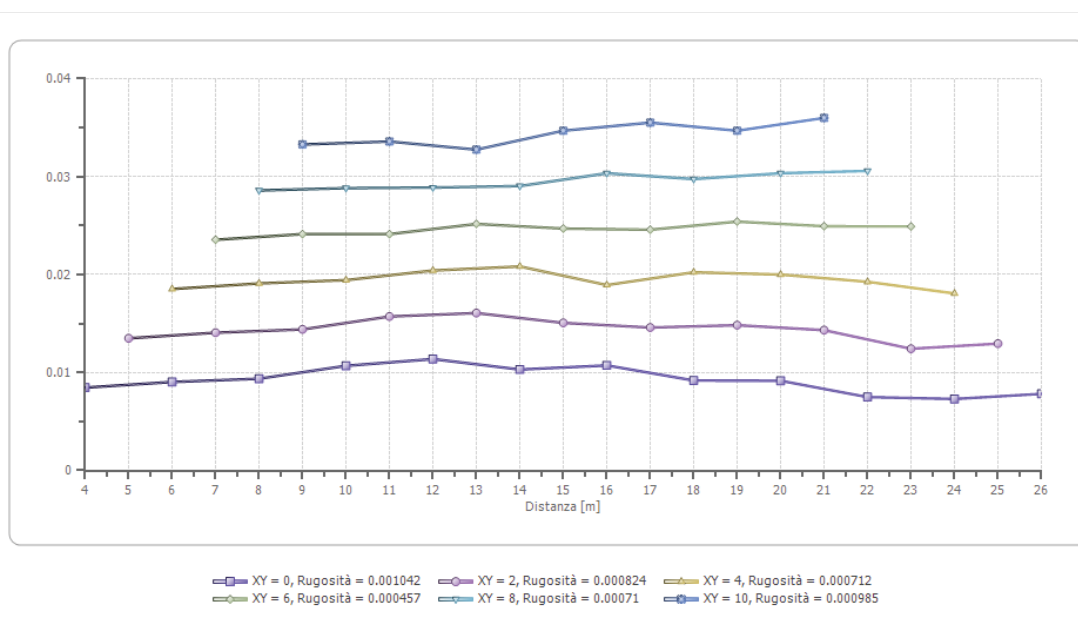
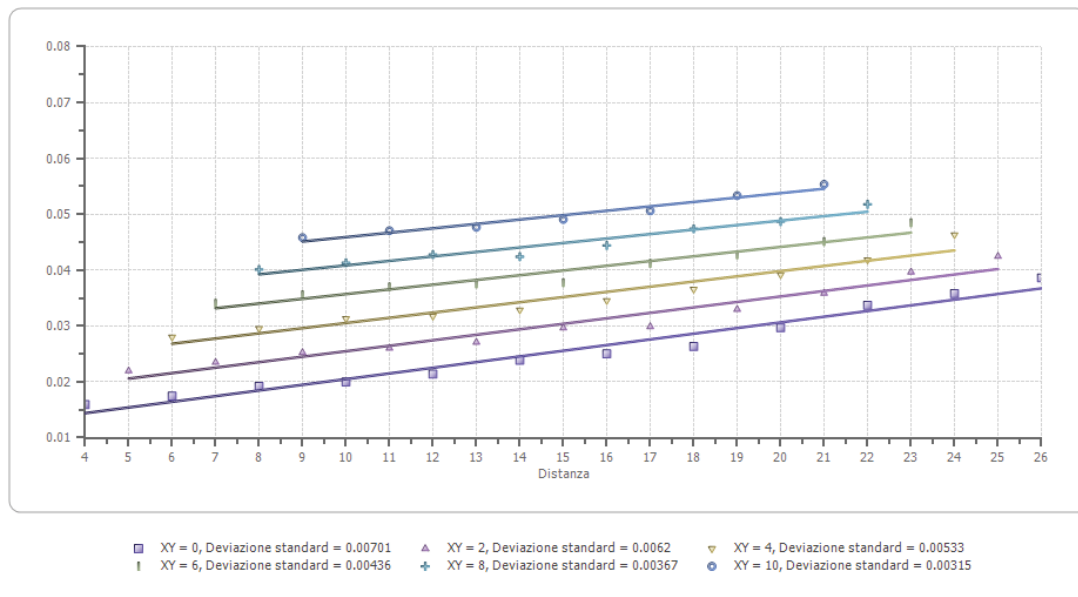
	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1800.00	1800.00
Vp [m/s]	314.09	984.82
Vs [m/s]	150.89	473.09
G0 [MPa]	40.98	402.87
Ed [Mpa]	177.58	1745.77
M0 [MPa]	136.60	1342.90
Ey [Mpa]	110.64	1087.75

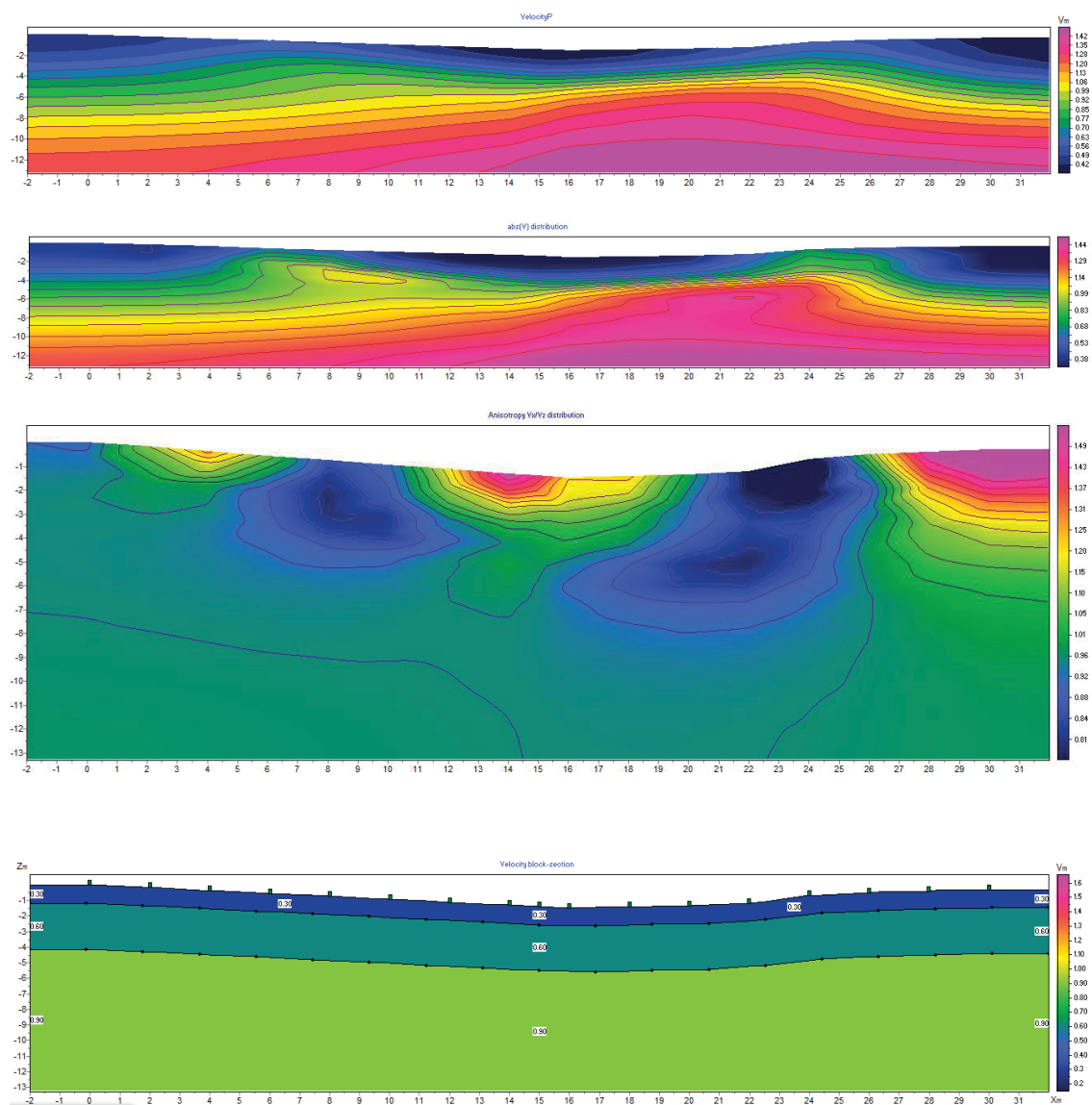
G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;





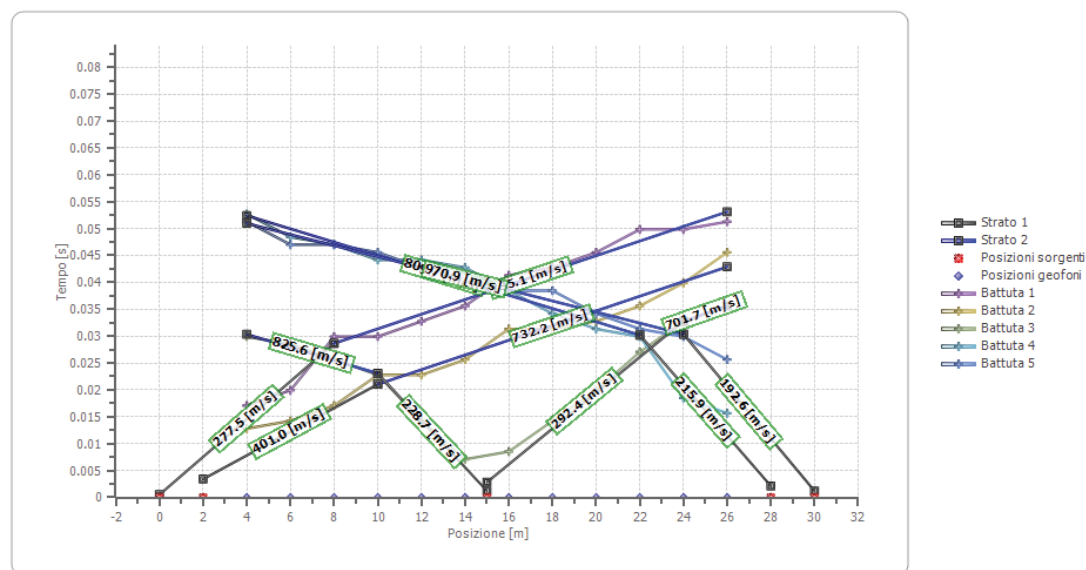
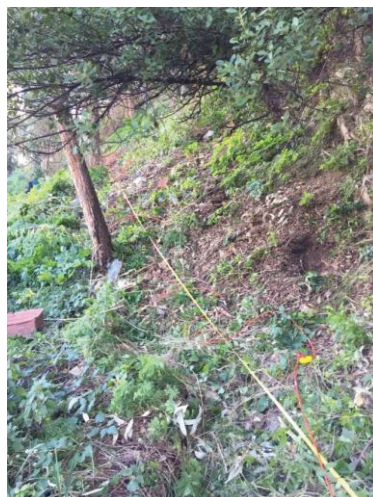


## Profilo sismico T2:

### Dati generali

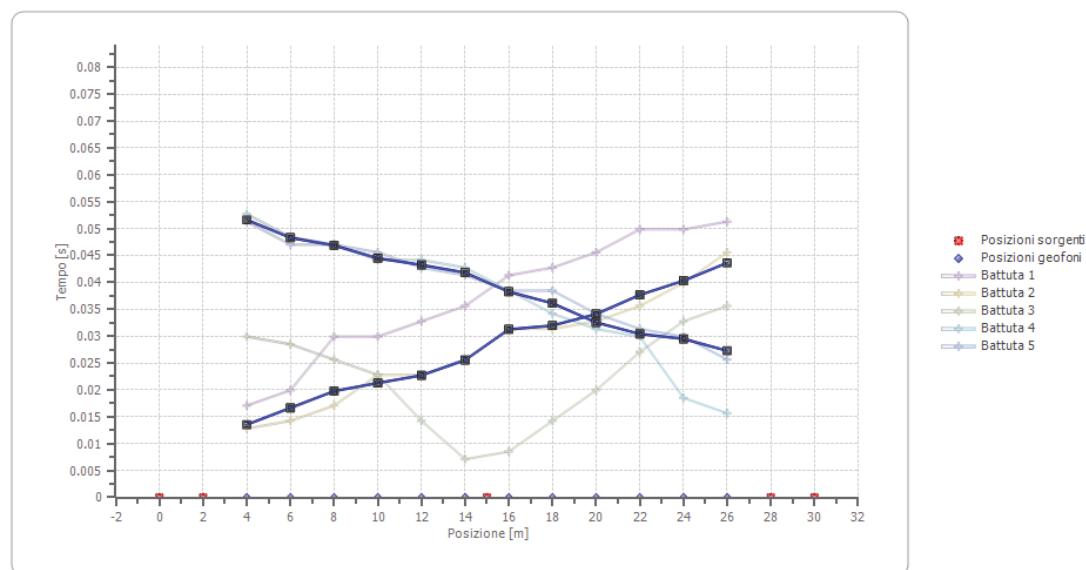
Zona	Matrice
Latitudine	38.097864[°]
Longitudine	14.958512[°]
Altitudine	476[m]

### Dromocrone



Drom

### ocrone traslate



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

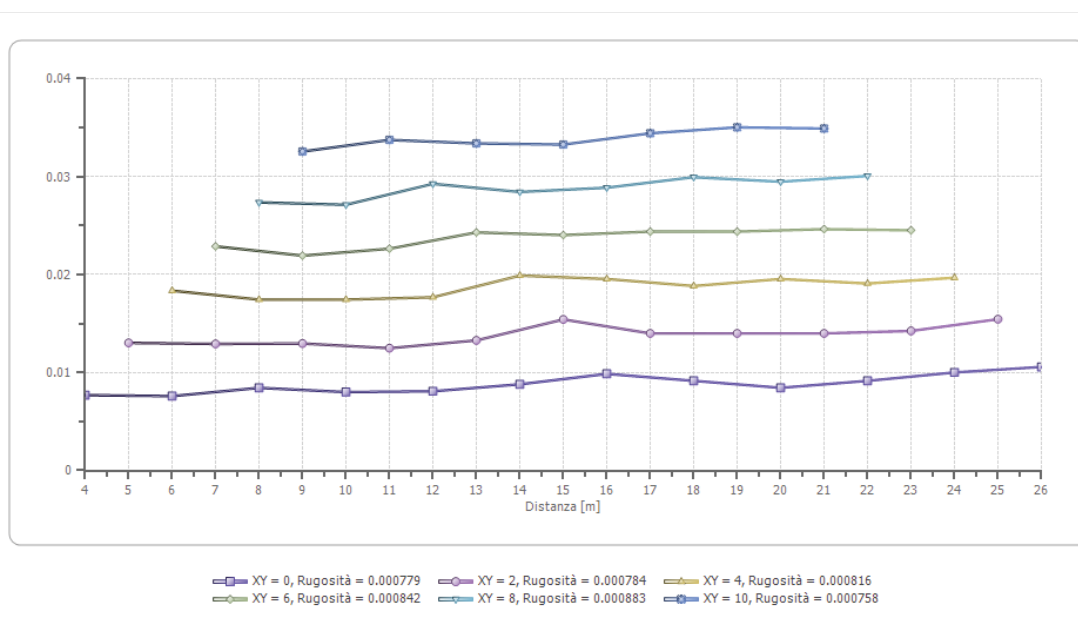
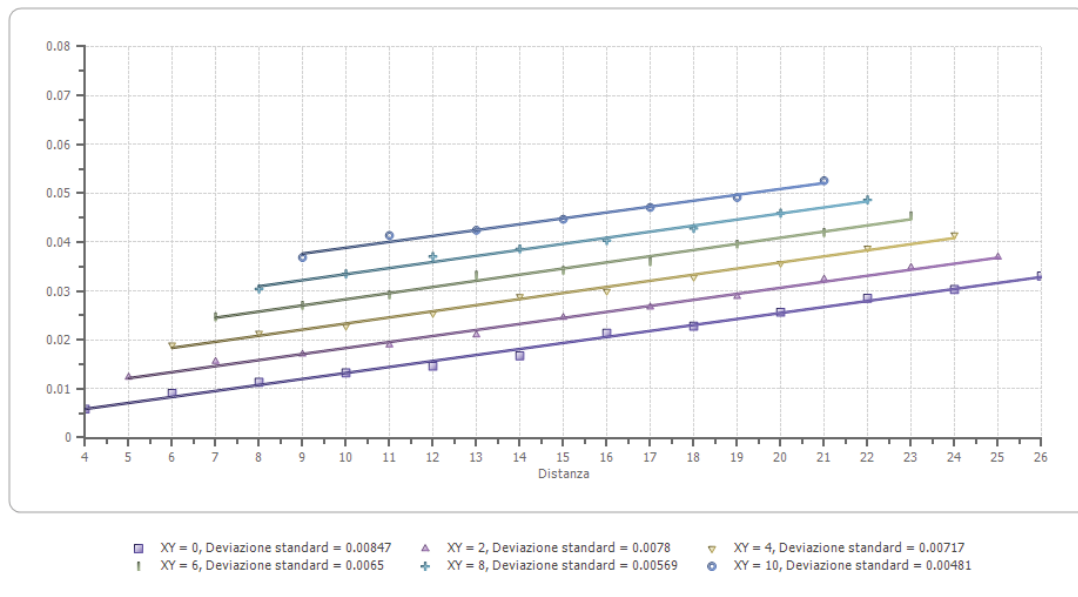
XY: 0

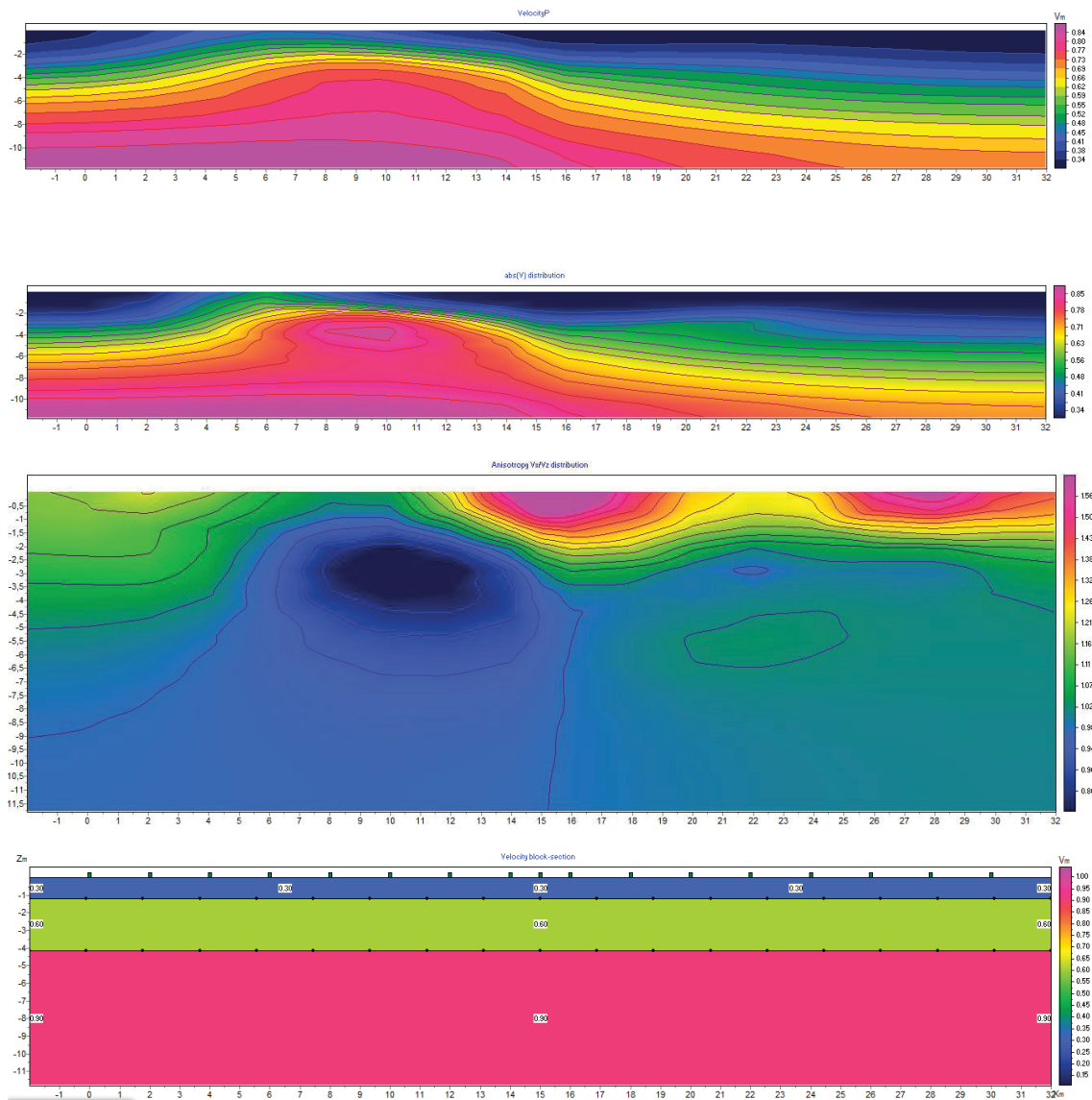
	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 4.0 [m]	2.2	--
G= 6.0 [m]	2.2	--
G= 8.0 [m]	2.4	--
G= 10.0 [m]	2.3	--
G= 12.0 [m]	2.3	--
G= 14.0 [m]	2.5	--
G= 16.0 [m]	2.8	--
G= 18.0 [m]	2.6	--
G= 20.0 [m]	2.4	--
G= 22.0 [m]	2.6	--
G= 24.0 [m]	2.8	--
G= 26.0 [m]	3.0	--
Velocità [m/sec]	268.0	814.9
Descrizione		

**Altri parametri geotecnici**

	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	1800.00	1800.00
V <sub>p</sub> [m/s]	268.03	814.94
V <sub>s</sub> [m/s]	128.76	391.49
G <sub>0</sub> [MPa]	29.84	275.87
E <sub>d</sub> [Mpa]	129.31	1195.43
M <sub>0</sub> [MPa]	99.47	919.56
E <sub>y</sub> [Mpa]	80.57	744.85

G<sub>0</sub>: Modulo di deformazione al taglio;E<sub>d</sub>: Modulo edometrico;M<sub>0</sub>: Modulo di compressibilità volumetrica;E<sub>y</sub>: Modulo di Young;





### Profilo sismico T3:

Zona Matrice

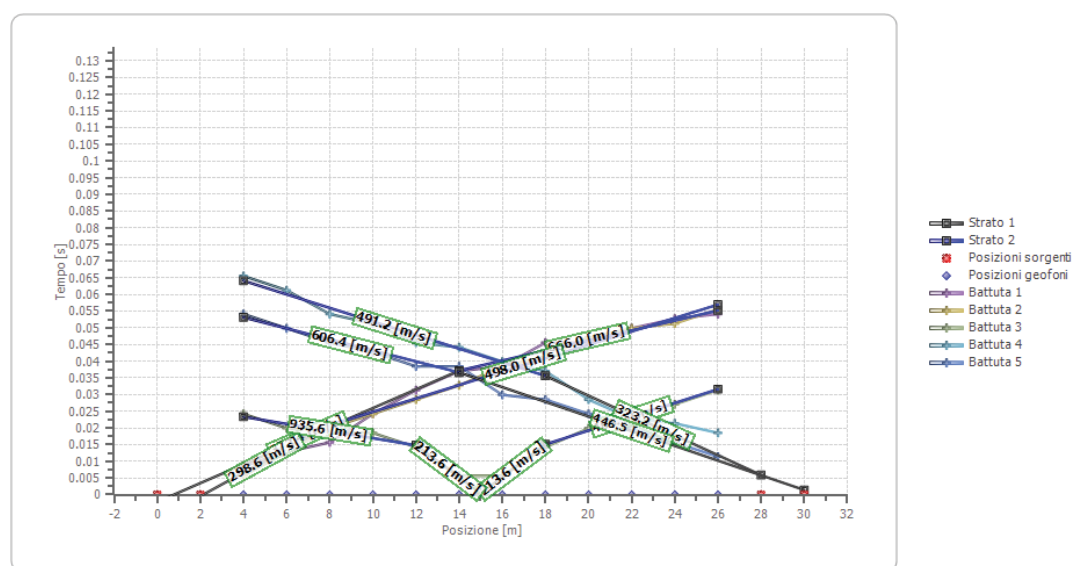
Latitudine 38.098426[°]

Longitudine 14.959335[°]

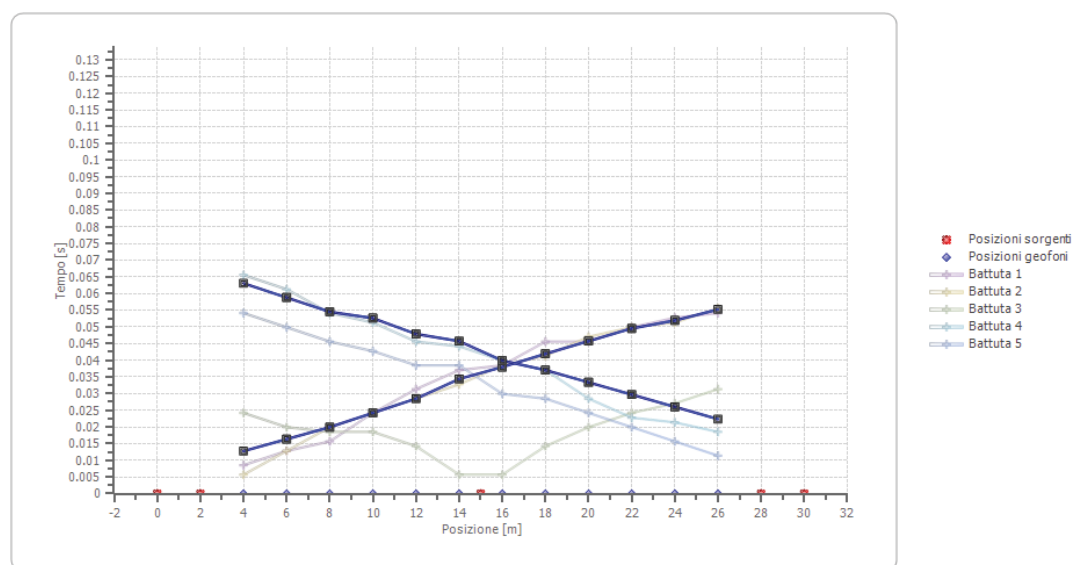
Altitudine 491[m]



### Dromocrone



### Dromocrone traslate



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

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 4.0 [m]	2.4	--
G= 6.0 [m]	2.2	--
G= 8.0 [m]	2.1	--
G= 10.0 [m]	2.6	--
G= 12.0 [m]	2.5	--
G= 14.0 [m]	3.2	--
G= 16.0 [m]	2.8	--
G= 18.0 [m]	3.0	--
G= 20.0 [m]	3.0	--
G= 22.0 [m]	3.0	--
G= 24.0 [m]	2.8	--
G= 26.0 [m]	2.7	--
Velocità [m/sec]	311.5	520.9
Descrizione		

## Altri parametri geotecnici

	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m³]	1800.00	1800.00
Vp [m/s]	311.48	520.90
Vs [m/s]	149.63	250.23
G0 [MPa]	40.30	112.71
Ed [Mpa]	174.64	488.41
M0 [MPa]	134.34	375.70
Ey [Mpa]	108.81	304.32

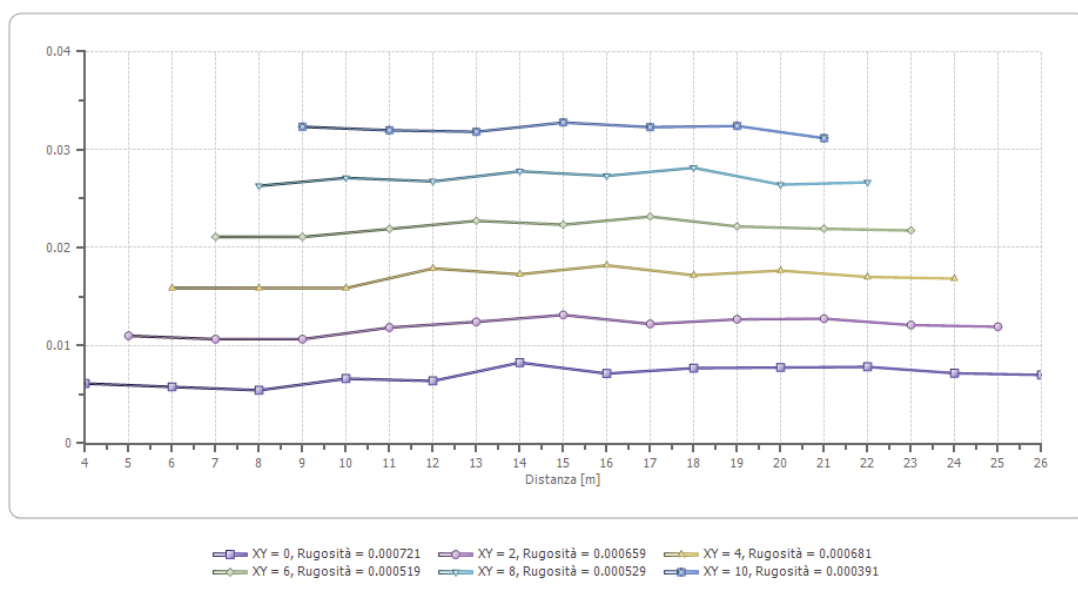
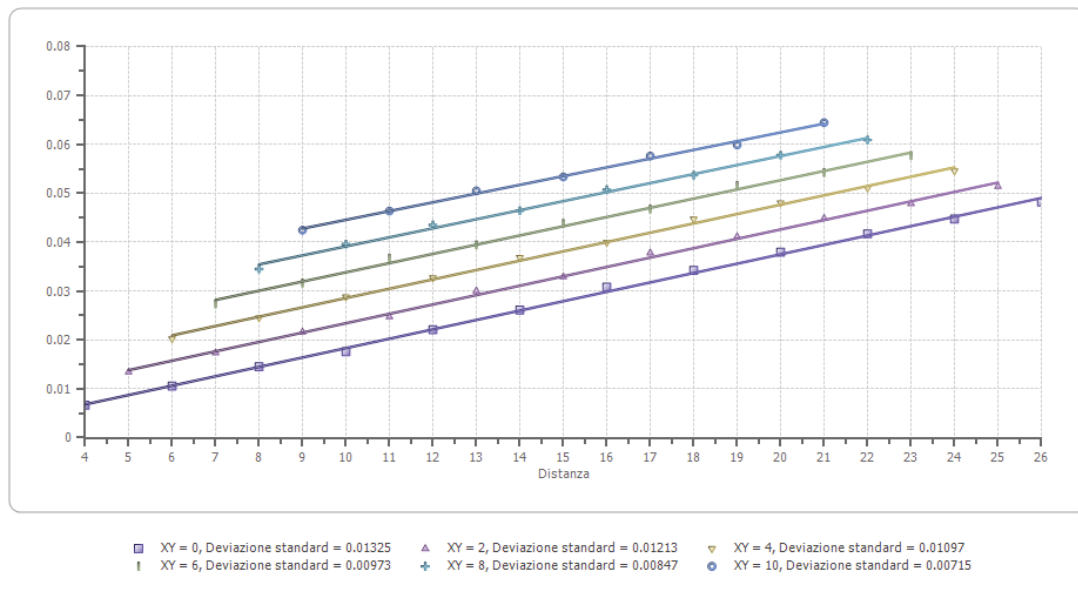
G0: Modulo di deformazione al taglio;

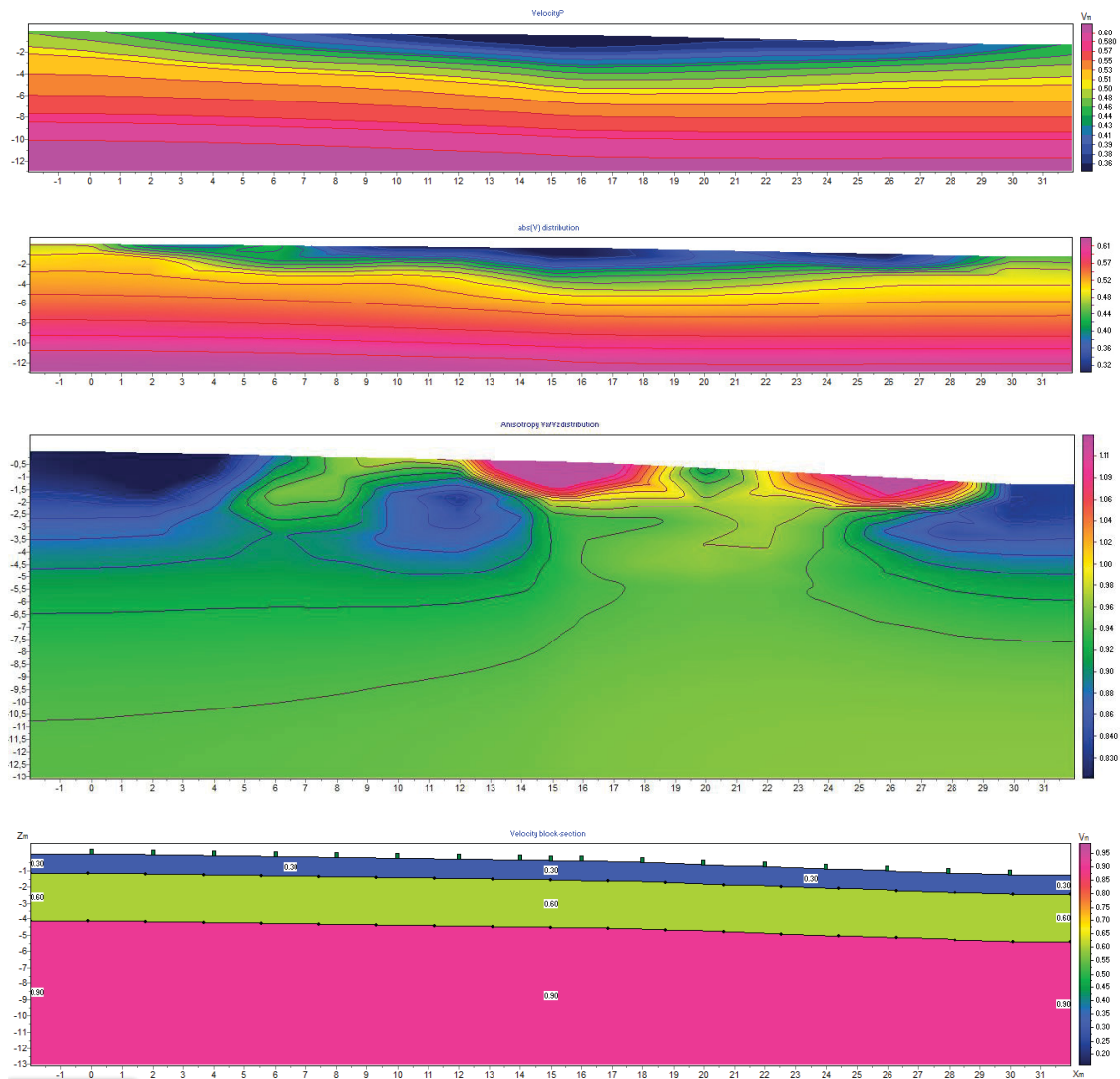
Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;







## Risultati

L'elaborazione dei dati ha permesso di ricostruire il sottosuolo secondo 3 "sismostrati", così caratterizzati:

1. Il **primo sismostrato** (si approfondisce fino a 1.2 mt circa dal p.c.) ha velocità  $V_p$  di 314.09 m/s e  $V_s$  di 150.89 m/s;
2. Il **secondo sismostrato** (è profondo mediamente da 1.2 fino a 4.1 mt dal p.c.) ha velocità  $V_p$  di 520.90 m/s e  $V_s$  di 250.23 m/s;
3. Il **substrato rifrattore** ha velocità  $V_p$  di 984.82 m/s e  $V_s$  di 473.99 m/s.

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

1. Il **primo sismostrato** è associabile a *coltre di alterazione*;
2. Il **secondo sismostrato** è associabile a *Metamorfiti alterate, degradate e fratturate*;
3. Il **substrato rifrattore** è associabile a *Metamorfiti parzialmente integre*.

I **moduli dinamici** e le **velocità** delle onde sismiche riscontrate sono schematizzati nella seguente tabella. Le velocità  $V_s$  sono state ricavate dall'indagine sismica MASW eseguita:

Profondità media strato	$V_p$	$V_s$	$\sigma$	$\gamma$	E	G	K
0÷1.2	314.09	186	0.35	1800	177.58	40.98	136.60
1.2÷4.1	520.9	440	0.25	1800	744.85	275.87	919.56
>4.1	984.82	775	0.2	1800	1745.77	402.87	1342.90

$V_p$  = velocità onde longitudinali in m/s

$V_s$  = velocità onde trasversali in m/s

$\sigma$  = coefficiente di Poisson

$\gamma$  = peso di volume in g/cm<sup>3</sup>

E = modulo dinamico di Young in Mpa

G = modulo dinamico di taglio in Mpa

K = modulo dinamico di compressibilità in Mpa

## - RILIEVI GEOMECCANICI E STRUTTURALI

I dati utilizzati per la classificazione dell'ammasso sono relativi a 5 stazioni di rilievo geostrutturale effettuata sull'affioramento lato NO del promontorio/rilievo, unica area libera e in cui è ampiamente affiorante la formazione (Cfr. Tav.7).

### III. Classificazione RMR

Per quel che concerne la caratterizzazione geomeccanica del corpo metamorfico fessurato è stata utilizzata la classificazione di Bieniawski nota come **"Rock Mass Rating (RMR) System"**.

Tale classificazione permette di ricavare la coesione, l'angolo di attrito interno e il modulo di deformazione, dopo aver ricavato l'indice di qualità della roccia RMR di base (BRMR);

L'indice BRMR è la somma di sei parametri ( $R_{1-6}$ ), dove:

$R_1$  = resistenza a compressione uniassiale (kN/m<sup>2</sup>);

$R_2$  = RQD secondo Barton et al. (1974)

$R_3$  = spaziatura delle discontinuità;

$R_4$  = condizioni delle discontinuità;

$R_5$  = condizioni idrauliche;

$R_6$  = orientamento delle discontinuità rispetto al versante.

I coefficienti numerici che vengono assegnati ai vari parametri sono indicati nelle tabelle seguenti:

PARAMETRI	INTERVALLI VALORI				
Resistenza comp. (kg/cm <sup>2</sup> )	> 2500	1000-2500	500-1000	250-500	0-250
R1 val. parametro	15	12	7	4	2
R.Q.D. (%)	90-100	75-90	50-75	25-50	< 25
R2 val. parametro	20	17	13	8	3
spaziatura (m)	> 2	0.6-2	0.2-0.6	0.06-0.2	< 0.06
R3 val. parametro	20	15	10	8	5
condizioni discontinuità	sup. molto rugosa, non alterata; discontinuità chiusa e non continua	sup. rugosa, poco alterata; discontinuità poco aperta	sup. rugosa, molto alterata; discontinuità poco aperta	sup. liscia, riempimento < 5 mm; discontinuità aperta	Sup. liscia, riempimento molle; discontinuità aperta
R4 val. parametro	30	25	20	10	0
cond. idrauliche	asciutto	umido	bagnato	stillicidio	venute d'acqua
R5 val. parametro	15	10	7	4	0
Giacitura rispetto alla stabilità	molto favorevole franapoggio – (Caotico)	favorevole franapoggio = Verticali	mediocre frana poggio + travapoggio	sfavorevole Orizzontali massivo	molto sfavorevole reggipoggio
R6 Val. parametro	3	6	10	13	15
CLASSI DI AMMASSI ROCCIOSI					
R.M.R. corretto	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20
classe	I	II	III	IV	V
descrizioni	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
-----------------------	------	-------	-------	-------	------

Il parametro  $R_1$  (resistenza a compressione monoassiale) è stato ricavato effettuando varie misure con lo sclerometro per roccia (**Martello di Schmidt**), lungo i piani di frattura.

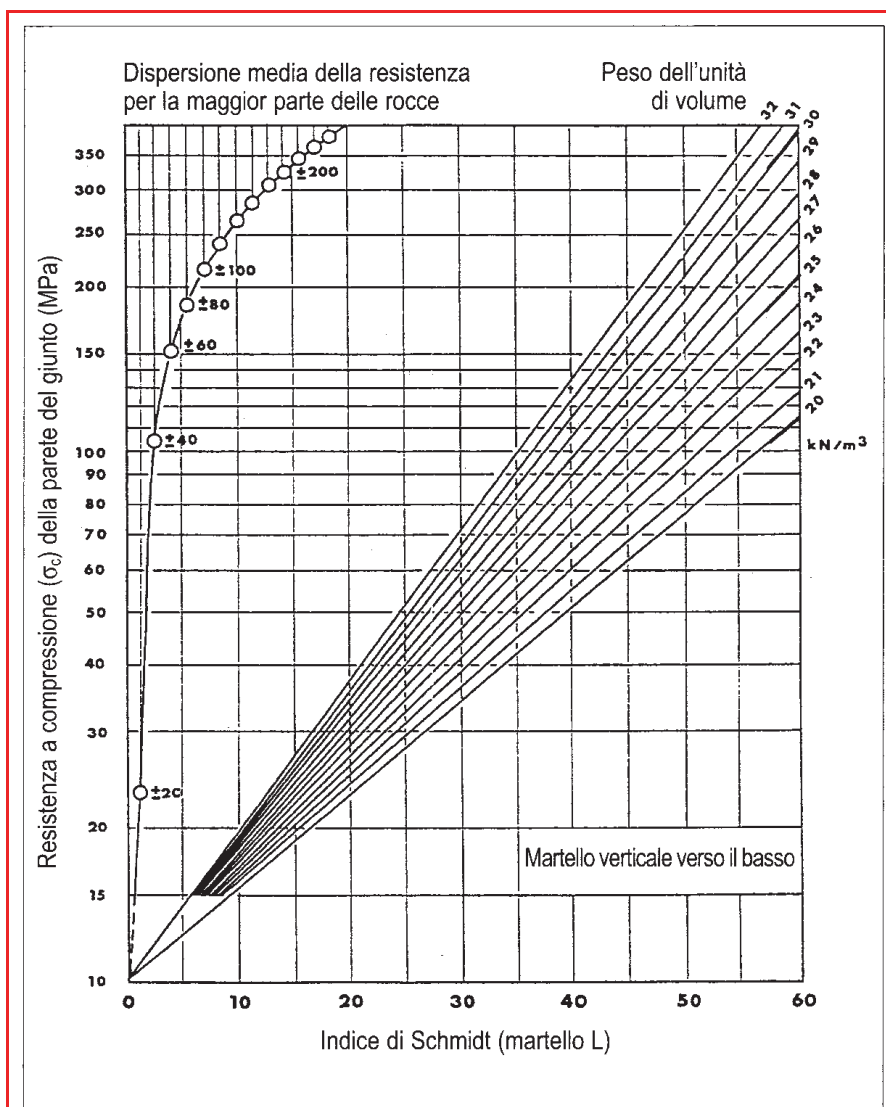


Figura 1: Determinazione della resistenza a compressione delle pareti del giunto mediante Martello di Schmit.

Il “Martello di Schmidt”, strumento costituito da un cilindro con punta rientrante, misura l’altezza di rimbalzo di una massa nota sulle pareti di roccia delle discontinuità. L’altezza di rimbalzo è definita per mezzo di un indice che è proporzionale alla resistenza a compressione della roccia. Misurando il rimbalzo della massa battente dopo un urto, si è in grado di stimare l’assorbimento anelastico della roccia e quindi la sua resistenza all’urto.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	M	b	JCS	
St_1																		Mpa	
	1	A	30	28	32	34	32	36	34	38	34	36	40	36	32	30	33,7	45	44
	2	B	8	10	10	10	12	10	12	12	16	12	14	10	12	14	11,6	0	17
St_2																			
	1	C	30	42	50	52	48	48	50	46	50	44	46	42	44	44	45,4	0	77
	2	C'	22	32	36	38	35	36	38	42	40	38	40	36	36	38	36,2	0	50
St_3																			
	1	D	22	24	18	20	26	24	26	20	22	28	26	22	30	28	24,0	45	28
	2	E	16	18	22	20	20	20	16	18	20	22	20	24	24	22	20,1	0	29
St_4																			
	1	F	28	34	40	42	38	28	36	40	32	40	38	42	36	44	37,0	0	53
	2	G	34	32	36	22	24	30	34	36	42	44	46	40	38	36	35,3	0	49
St_5																			
	1	H	10	12	12	12	13	14	12	13	13	14	15	13	13	14	12,9	0	18
	2	I	12	14	16	16	17	18	16	15	14	12	12	14	14	16	14,7	0	19
	3	L	10	12	11	12	13	10	12	10	11	11	13	13	12	14	11,7	0	17

Figura 2: Classificazione dei profili di scabrezza secondo Barton e corrispondenti valori del parametro JRC

Il parametro  $R_2 = RQD$  (*Rock Quality Designation*) è stato calcolato come recupero percentuale di carotaggio riferito alla somma degli spezzoni di carota con lunghezza maggiore o uguale a 100 mm.

I parametri  $R_3$ ,  $R_5$  e  $R_6$  sono stati desunti dal campionamento mesostrutturale, relativo ai vari giunti.

Infine il parametro  $R_4$  è stato ricavato mediante l'utilizzo di un profilometro, noto come *pettine di Barton*, il quale ha permesso di ricavare i profili di rugosità **Joint Roughness Coefficient (JRC)** che è una stima della rugosità della superficie della discontinuità.

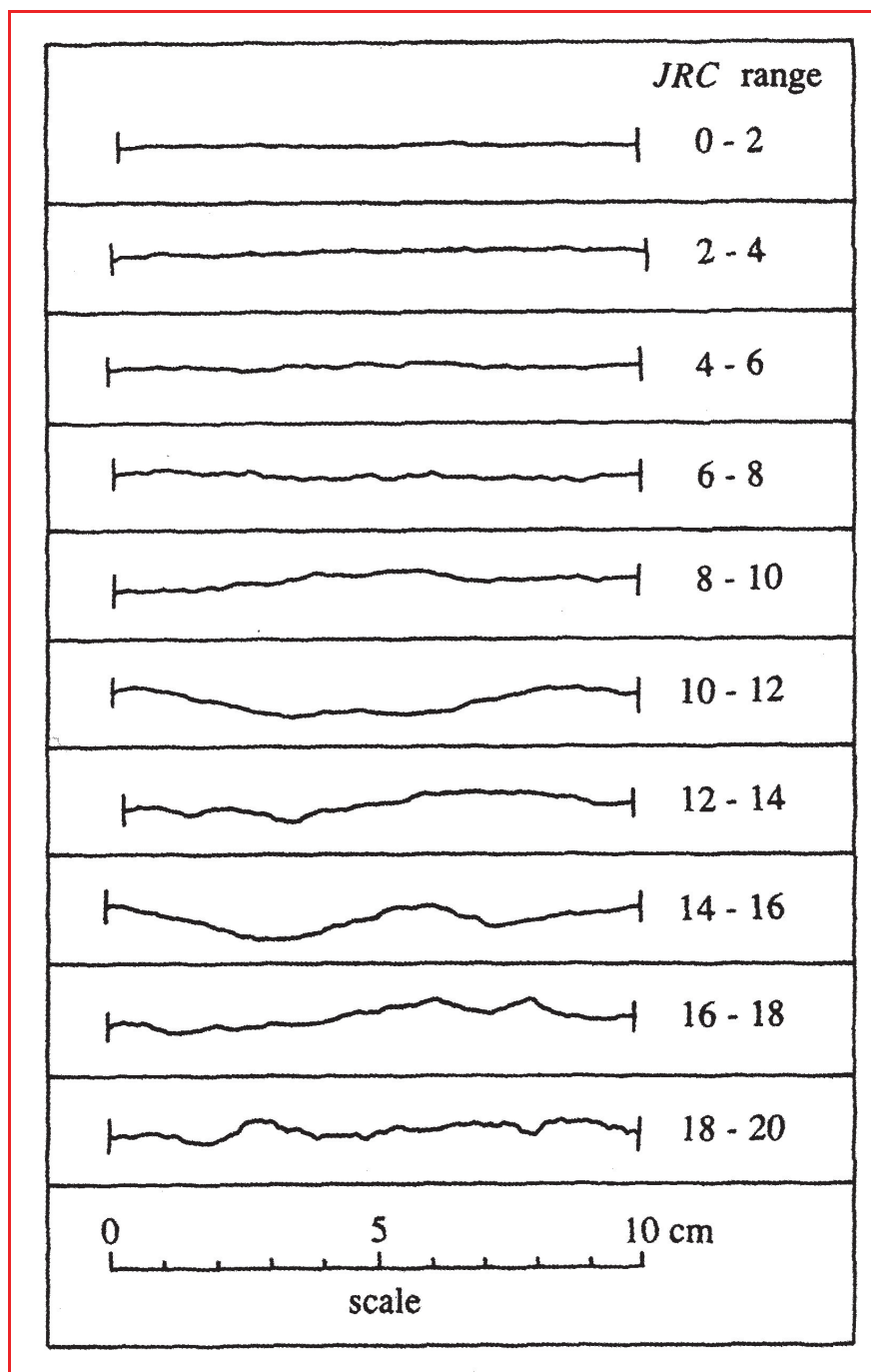


Figura 3: Classificazione dei profili di scabrezza secondo Barton e corrispondenti valori del parametro JRC



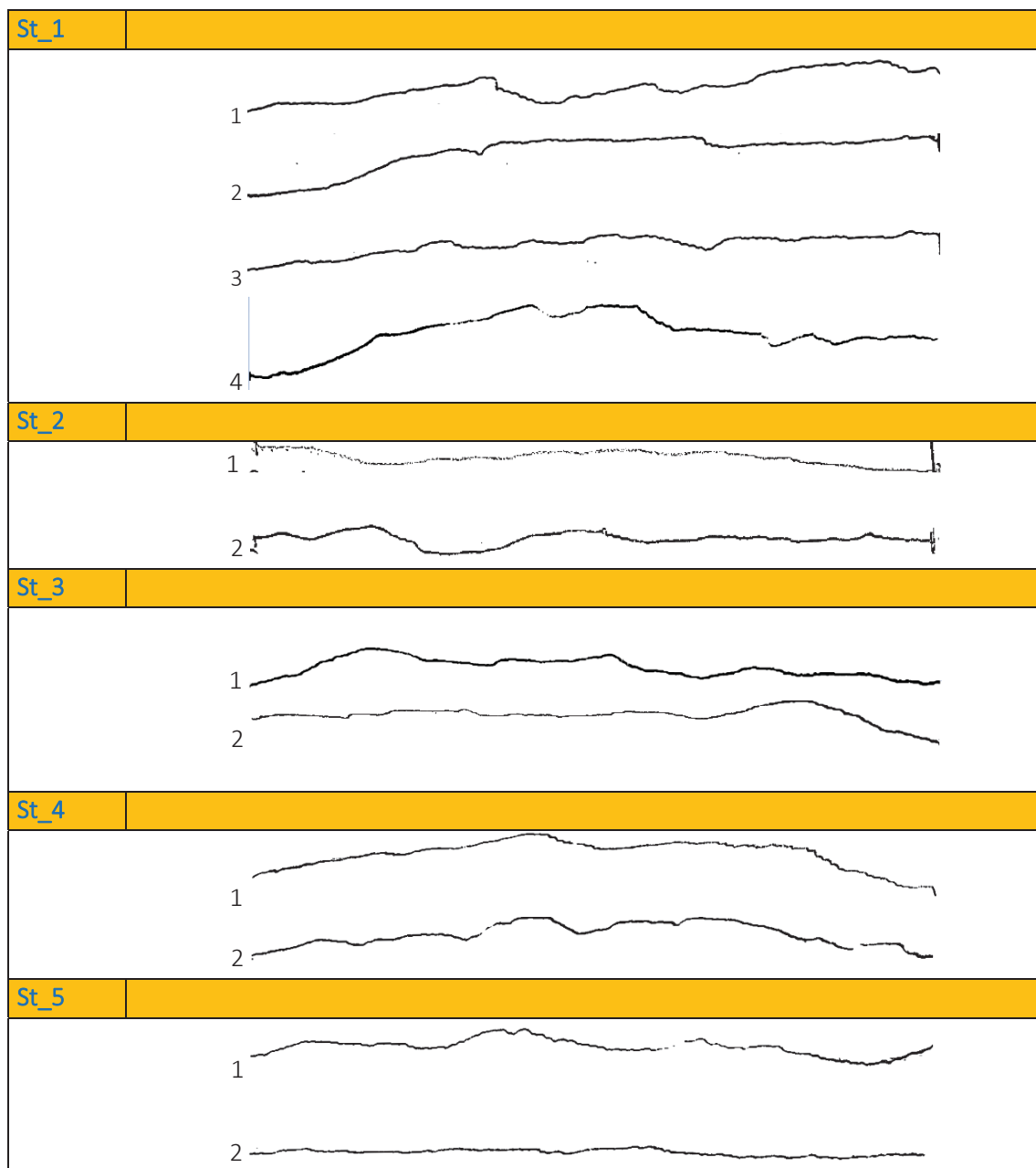


Figura 4: Profili di scabrezza principali discontinuità, riprodotti mediante "pettine di Barton"

Tale parametro viene determinato confrontando il profilo di rugosità del giunto, ricavato appoggiando un profilometro sulla superficie della discontinuità, con alcuni profili standard proposti da Barton & Choubey (1977; Figura 2 ). Visto che la lunghezza dei profili standard è pari a 10 cm, l'indice JRC fornisce indicazione sulle asperità a scala millimetrica. Teoricamente, la direzione lungo la quale va determinata la rugosità deve essere quella coincidente con la direzione di scivolamento del blocco

(infatti la rugosità delle superfici delle pareti ha un peso importante nel definire la resistenza nei confronti delle tensioni tangenziali che può essere mobilitata lungo la superficie di un giunto). Se questa non è nota a priori si può utilizzare come direzione di misura quella di immersione del piano di discontinuità o quella parallela alla linea di intersezione tra il piano di discontinuità di interesse e un altro piano di discontinuità adiacente.

La sommatoria dei precedenti parametri consente di ricavare l'indice BRMR

$$\mathbf{BRMR = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6}$$

Questo indice consente di ottenere, con le seguenti relazioni proposte da Bienawski, i parametri principali dell'ammasso roccioso:

$$\mathbf{coesione\ c = 5*BRMR\ (KPa)}$$

$$\mathbf{angolo\ di\ attrito\ f = 5 + BRMR/2\ (^{\circ})}$$

$$\mathbf{modulo\ di\ deformazione\ E\ (GPa) = 2*BRMR - 100}$$

## Stazione 1

$$\text{BRMR} = 4 + 8 + 8 + 15 + 13 + 10 = 58$$

Pertanto: L'ammasso roccioso appartiene alla

**Classe III – Discreto**

$$\text{coesione } c = 5 \cdot \text{BRMR (KPa)} = 290 \text{ KPa} = 2,96 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{angolo di attrito } f = 5 + \text{BRMR}/2 (^\circ) = 34^\circ$$

$$\text{modulo di deformazione } E \text{ (GPa)} = 2 \cdot \text{BRMR} - 100 = 16 \text{ GPa}$$

Il peso di volume naturale assegnato è pari a

$$g_n = 2,20 \text{ Kg/cm}^3$$

STAZIONE MESOSTRUTTURALE <u>St_1</u> : TIPO DI ROCCIA <u>GNEISS</u>										
$\Sigma_i = 58 = [\text{classe II}] \quad c (5 \times \text{BMR}) = 290 \text{ kPa}; \quad \Phi (5 + \text{BMR}/2) = 34^\circ$										
SPAZIATURA ( $x_t \cdot \text{scanline}$ )	prossime (0-2 cm)	molto vicine (2-6 cm)	vicine (6-20 cm)	distanti (20-60 cm)		molto distanti (60-200 cm)		lontane (200-600 cm)	molto lontane (> 600 cm)	
			X							
PERSISTENZA	molto bassa (0-1 m)		bassa (1-3 m)		media (3-10 m)		alta (10-20 m)		molto alta (> 20 m)	
	X									
SCABREZZA	piano (JRC $\cong$ 0-8)			ondulato (JRC $\cong$ 9-15)			a gradini (JRC $\cong$ 16-20)			
	striato (IX)	liscio (VIII)	scabro (VII)	striato (VI)	liscio (V)	scabro (IV)	striato (III)	liscio (II)	scabro (I)	
						X				
GRADO DI ALTERAZIONE	integra (I) ( $R_6 > 250 \text{ MPa}$ )		debolmente alterata (II) ( $100 < R_5 < 250 \text{ Mpa}$ )		mediamente alterata (III) ( $50 < R_4 < 100 \text{ Mpa}$ )		molto alterata (IV) ( $25 < R_3 < 50 \text{ Mpa}$ )		completamente alterata (V) ( $5 < R_2 < 25n \text{ Mpa}$ )	suolo residuale (VI) ( $1 < R_1 < 5\text{Mpa}$ )
							X			
APERTURA	chiuse (0-0,5 mm)			beanti (0,5-10 mm)			aperte (10-1000 mm)			
				X						
RIEMPIMENTO CIRCOLAZIONE IDRICA	assente									
	asciutta			umida			satura			
				X						
TIPO DI AMMASSO	massiccio		a blocchi $a \cong b \cong c$		lastriforme $a << b \cong c$		colonnare $a \cong b << c$		irregolare $a \neq b \neq c$	fratturato $a \neq b \neq c$
									X	
RESISTENZA DELLA ROCCIA INTEGRA	molto alta > 250 Mpa		alta 100-250 Mpa		media 50-100 Mpa		moderata 25-50 Mpa		bassa 5-25 Mpa	molto bassa 1-5 Mpa
							X			
RQD% $100 \times S_{x_i} (>0.1\text{m})$ scanline	eccellente 90%-100%		buona 75%-90%		media 50%-75%		bassa 25%-50%		molto bassa < 25%	
							X			

## Stazione 2

$$\text{BRMR} = 7 + 8 + 8 + 15 + 13 + 10 = 61$$

Pertanto: L'ammasso roccioso appartiene alla

**Classe II – Buono**

$$\text{coesione } c = 5 \cdot \text{BRMR (KPa)} = 305 \text{ KPa} = 3,11 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{angolo di attrito } f = 5 + \text{BRMR}/2 (^\circ) = 35,5^\circ$$

$$\text{modulo di deformazione } E \text{ (GPa)} = 2 \cdot \text{BRMR} - 100 = 22 \text{ GPa}$$

Il peso di volume naturale assegnato è pari a

$$g_n = 2,20 \text{ Kg/cm}^3$$

STAZIONE MESOSTRUTTURALE: <u>St_2</u> TIPO DI ROCCIA <u>GNEISS</u>										
$\Sigma_i = 61 = [\text{classe III}] \quad c (5 \times \text{BMR}) = 305 \text{ kPa}; \quad \phi (5 + \text{BMR}/2) = 35,5^\circ$										
SPAZIATURA ( $X_t$ * scanline)	prossime (0-2 cm)	molto vicine (2-6 cm)	vicine (6-20 cm)	distanti (20-60 cm)		molto distanti (60-200 cm)		lontane (200-600 cm)	molto lontane (> 600 cm)	
			X							
PERSISTENZA	molto bassa (0-1 m)		bassa (1-3 m)		media (3-10 m)		alta (10-20 m)		molto alta (> 20 m)	
	X									
SCABREZZA	piano (JRC $\cong$ 0-8)			ondulato (JRC $\cong$ 9-15)			a gradini (JRC $\cong$ 16-20)			
	striato (IX)	liscio (VIII)	scabro (VII)	striato (VI)	liscio (V)	scabro (IV)	striato (III)	liscio (II)	scabro (I)	
						X				
GRADO DI ALTERAZIONE	integra (I) ( $R_6 > 250 \text{ MPa}$ )		debolmente alterata (II) ( $100 < R_5 < 250 \text{ Mpa}$ )		mediamente alterata (III) ( $50 < R_4 < 100 \text{ Mpa}$ )		molto alta (IV) ( $25 < R_3 < 50 \text{ Mpa}$ )		completamente alterata (V) ( $5 < R_2 < 25n \text{ Mpa}$ )	suolo residuale (VI) ( $1 < R_1 < 5\text{Mpa}$ )
							X			
APERTURA	chiuse (0-0,5 mm)			beanti (0,5-10 mm)			aperte (10-1000 mm)			
				X						
RIEMPIMENTO CIRCOLAZIONE IDRICA	assente									
	asciutta			umida			satura			
				X						
TIPO DI AMMASSO	massiccio		a blocchi $a \cong b \cong c$		lastriforme $a \ll b \cong c$		colonnare $a \cong b \ll c$		irregolare $a \neq b \neq c$	fratturato $a \neq b \neq c$
									X	
RESISTENZA DELLA ROCCIA INTEGRA	molto alta > 250 Mpa		alta 100-250 Mpa		media 50-100 Mpa		moderata 25-50 Mpa		bassa 5-25 Mpa	molto bassa 1-5 Mpa
					X					
RQD% $100 \times S_x / (>0.1\text{m})$ scanline	eccellente 90%-100%		buona 75%-90%		media 50%-75%		bassa 25%-50%		molto bassa < 25%	
							X			

### Stazione 3

$$\text{BRMR} = 4 + 13 + 8 + 13 + 13 + 10 = 61$$

Pertanto: L'ammasso roccioso appartiene alla

**Classe II – Buono**

$$\text{coesione } c = 5 \cdot \text{BRMR (KPa)} = 305 \text{ KPa} = 3,11 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{angolo di attrito } f = 5 + \text{BRMR}/2 (^\circ) = 35,5^\circ$$

$$\text{modulo di deformazione } E \text{ (GPa)} = 2 \cdot \text{BRMR} - 100 = 22 \text{ GPa}$$

Il peso di volume naturale assegnato è pari a

$$g_n = 2,20 \text{ Kg/cm}^3$$

STAZIONE MESOSTRUTTURALE <u>St 3</u> : TIPO DI ROCCIA <u>GNEISS</u>										
$\Sigma_i = 61 = [\text{classe III}] \quad c \text{ (5 x BMR)} = 305 \text{ kPa}; \quad \phi \text{ (5 + BMR/2)} = 35,5^\circ$										
SPAZIATURA ( $X_t \cdot \text{scanline}$ )	prossime (0-2 cm)	molto vicine (2-6 cm)	vicine (6-20 cm)	distanti (20-60 cm)		molto distanti (60-200 cm)		lontane (200-600 cm)	molto lontane (> 600 cm)	
			X							
PERSISTENZA	molto bassa (0-1 m)		bassa (1-3 m)		media (3-10 m)		alta (10-20 m)		molto alta (> 20 m)	
	X									
SCABREZZA	piano (JRC $\cong$ 0-8)			ondulato (JRC $\cong$ 9-15)			a gradini (JRC $\cong$ 16-20)			
	striato (IX)	liscio (VIII)	scabro (VII)	striato (VI)	liscio (V)	scabro (IV)	striato (III)	liscio (II)	scabro (I)	
						X				
	GRADO DI ALTERAZIONE		integra (I) ( $R_6 > 250 \text{ MPa}$ )	debolmente alterata (II) ( $100 < R_5 < 250 \text{ MPa}$ )		mediamente alterata (III) ( $50 < R_4 < 100 \text{ MPa}$ )		molto alterata (IV) ( $25 < R_3 < 50 \text{ MPa}$ )		completamente alterata (V) ( $5 < R_2 < 25 \text{ MPa}$ )
						X				
APERTURA	chiuse (0-0,5 mm)			beanti (0,5-10 mm)			aperte (10-1000 mm)			
				X						
RIEMPIMENTO CIRCOLAZIONE IDRICA	assente									
	asciutta			umida			satura			
				X						
TIPO DI AMMASSO	massiccio	a blocchi $a \cong b \cong c$		lastriforme $a \ll b \cong c$		colonnare $a \cong b \ll c$		irregolare $a \neq b \neq c$	fratturato $a \neq b \neq c$	
								X		
RESISTENZA DELLA ROCCIA INTEGRA	molto alta > 250 Mpa	alta 100-250 Mpa		media 50-100 Mpa		moderata 25-50 Mpa		bassa 5-25 Mpa	molto bassa 1-5 Mpa	
						X				
RQD% $100 \times S_x / (>0.1\text{m})$ scanline	eccellente 90%-100%		buona 75%-90%		media 50%-75%		bassa 25%-50%		molto bassa < 25%	
					X					

## Stazione 4

$$\text{BRMR} = 7 + 8 + 8 + 16 + 13 + 10 = 62$$

Pertanto: L'ammasso roccioso appartiene alla

**Classe II – Buono**

$$\text{coesione } c = 5 \cdot \text{BRMR (KPa)} = 310 \text{ KPa} = 3,16 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{angolo di attrito } f = 5 + \text{BRMR}/2 (\text{°}) = 36^\circ$$

$$\text{modulo di deformazione } E \text{ (GPa)} = 2 \cdot \text{BRMR} - 100 = 24 \text{ GPa}$$

Il peso di volume naturale assegnato è pari a

$$g_n = 2,20 \text{ Kg/cm}^3$$

STAZIONE MESOSTRUTTURALE <u>St_4</u> : TIPO DI ROCCIA <u>GNEISS</u>															
$\Sigma_i = 62 = [\text{classe III}] \quad c (5 \times \text{BMR}) = 310 \text{ kPa}; \quad \phi (5 + \text{BMR}/2) = 36^\circ$															
SPAZIATURA ( $X_t \cdot \text{scanline}$ )	prossime (0-2 cm)	molto vicine (2-6 cm)		vicine (6-20 cm)		distanti (20-60 cm)		molto distanti (60-200 cm)		lontane (200-600 cm)	molto lontane (> 600 cm)				
				<div>X</div>											
PERSISTENZA	molto bassa (0-1 m)			bassa (1-3 m)		media (3-10 m)		alta (10-20 m)		molto alta (> 20 m)					
	<div>X</div>														
SCABREZZA	piano (JRC $\cong$ 0-8)				ondulato (JRC $\cong$ 9-15)				a gradini (JRC $\cong$ 16-20)						
	striato (IX)		liscio (VIII)		scabro (VII)		striato (VI)		liscio (V)		scabro (IV)		striato (III)	liscio (II)	scabro (I)
															<div>X</div>
GRADO DI ALTERAZIONE	integra (I) ( $R_6 > 250 \text{ MPa}$ )		debolmente alterata (II) ( $100 < R_5 < 250 \text{ Mpa}$ )		mediamente alterata (III) ( $50 < R_4 < 100 \text{ Mpa}$ )		molto alterata (IV) ( $25 < R_3 < 50 \text{ Mpa}$ )		completamente alterata (V) ( $5 < R_2 < 25n \text{ Mpa}$ )		suolo residuale (VI) ( $1 < R_1 < 5\text{Mpa}$ )				
							<div>X</div>								
APERTURA	chiuse (0-0,5 mm)				beanti (0,5-10 mm)				aperte (10-1000 mm)						
					<div>X</div>										
RIEMPIMENTO CIRCOLAZIONE IDRICA	assente														
	asciutta				umida				satura						
					<div>X</div>										
TIPO DI AMMASSO	massiccio		a blocchi $a \cong b \cong c$		lastriforme $a \ll b \cong c$		colonnare $a \cong b \ll c$		irregolare $a \neq b \neq c$		fratturato $a \neq b \neq c$				
									<div>X</div>						
RESISTENZA DELLA ROCCIA INTEGRA	molto alta > 250 Mpa		alta 100-250 Mpa		media 50-100 Mpa		moderata 25-50 Mpa		bassa 5-25 Mpa		molto bassa 1-5 Mpa				
					<div>X</div>										
RQD% $100 \times S_{X_i}(>0.1\text{m})$ scanline	eccellente 90%-100%			buona 75%-90%		media 50%-75%		bassa 25%-50%		molto bassa < 25%					
								<div>X</div>							

## Stazione 5

$$\text{BRMR} = 2 + 13 + 8 + 10 + 13 + 10 = 56$$

Pertanto: L'ammasso roccioso appartiene alla

**Classe III – Discreto**

**coesione  $c = 5 \cdot \text{BRMR (KPa)} = 280 \text{ KPa} = 2,85 \text{ Kg/cm}^2$**

**angolo di attrito  $f = 5 + \text{BRMR}/2 (^\circ) = 33^\circ$**

**modulo di deformazione  $E \text{ (GPa)} = 2 \cdot \text{BRMR} - 100 = 12 \text{ GPa}$**

Il peso di volume naturale assegnato è pari a

**$g_n = 2,10 \text{ Kg/cm}^3$**

STAZIONE MESOSTRUTTURALE <u>St 5</u> : TIPO DI ROCCIA <u>GNEISS</u>									
$\Sigma_i = 56 = [\text{classe III}] \quad c (5 \times \text{BMR}) = 2800 \text{ kPa}; \quad \phi (5 + \text{BMR}/2) = 33^\circ$									
SPAZIATURA ( $x_t \cdot \text{scanline}$ )	prossime (0-2 cm)	molto vicine (2-6 cm)	vicine (6-20 cm)	distanti (20-60 cm)	molto distanti (60-200 cm)		lontane (200-600 cm)	molto lontane (> 600 cm)	
			X						
PERSISTENZA	molto bassa (0-1 m)		bassa (1-3 m)	media (3-10 m)		alta (10-20 m)		molto alta (> 20 m)	
	X								
SCABREZZA	piano (JRC $\cong$ 0-8)			ondulato (JRC $\cong$ 9-15)			a gradini (JRC $\cong$ 16-20)		
	striato (IX)	liscio (VIII)	scabro (VII)	striato (VI)	liscio (V)	scabro (IV)	striato (III)	liscio (II)	scabro (I)
						X			
	GRADO DI ALTERAZIONE	integra (I) ( $R_6 > 250 \text{ MPa}$ )		debolmente alterata (II) ( $100 < R_5 < 250 \text{ MPa}$ )	mediamente alterata (III) ( $50 < R_4 < 100 \text{ MPa}$ )	molto alterata (IV) ( $25 < R_3 < 50 \text{ MPa}$ )		completamente alterata (V) ( $5 < R_2 < 25 \text{ MPa}$ )	
				X					
APERTURA	chiuse (0-0,5 mm)			beanti (0,5-10 mm)			aperte (10-1000 mm)		
				X					
RIEMPIMENTO CIRCOLAZIONE IDRICA	assente								
	asciutta			umida			satura		
				X					
TIPO DI AMMASSO	massiccio	a blocchi $a \cong b \cong c$		lastriforme $a \ll b \cong c$	colonnare $a \cong b \ll c$		irregolare $a \neq b \neq c$		fratturato $a \neq b \neq c$
							X		
RESISTENZA DELLA ROCCIA INTEGRA	molto alta > 250 Mpa	alta 100-250 Mpa		media 50-100 Mpa	moderata 25-50 Mpa		bassa 5-25 Mpa		molto bassa 1-5 Mpa
							X		
RQD% $100 \times S_{x_i}(>0.1\text{m})$ scanline	eccellente 90%-100%		buona 75%-90%	media 50%-75%		bassa 25%-50%		molto bassa < 25%	
				X					



#### IV. caratteristiche geomeccaniche

Alla luce dei dati acquisiti, atteso che i terreni di fondazione, appartengono al substrato metamorfico, talora ricoperto da orizzonti o lembi detritici originati dallo stesso substrato, e sono costituiti da gneiss occhiadini fratturati e alterati, e considerato quanto emerge dalla classificazione dell'ammasso roccioso, a tali materiali possono essere cautelativamente associati i seguenti parametri geomeccanici:

**Coperture detritiche** costituite da **sabbie limose, con ghiaie**.

(a questi possono essere assimilati anche i materiali di riporto di P.zza Matrice)

- peso di volume ( $\gamma$ ) = 1,85 t/mc
- angolo d'attrito interno ( $\varphi$ )  $\geq 28^\circ$
- coesione: 0,00 Kg/cm<sup>2</sup>

**Formazione litoide** costituita da **gneiss** occhiadini molto fessurati.

(terreni di fondazione di P.zza Matrice – sala convegni)

- peso di volume ( $\gamma$ ) = 2,2 t/mc
- angolo d'attrito interno ( $\varphi$ )  $\geq 34-36^\circ$
- coesione: 0,00 Kg/cm<sup>2</sup>
- modulo elastico dinamico (E) = 2.000-4.000 kg/cm<sup>2</sup>

#### 8. QUADRO DI RIFERIMENTO ZONIZZAZIONE SISMICA

Nella storia sismica della Sicilia Orientale si annoverano una serie di eventi sismici catastrofici che nei secoli hanno segnato più volte la vita della popolazione; a questi sono ovviamente susseguite altrettante ricostruzioni dei centri cittadini, luoghi di culto ecc.

Tra i più disastrosi eventi a partire dall'anno mille si enumerano i seguenti:

Anno 1169 SICILIA ORIENTALE - Uno degli eventi più antichi per il quale sia possibile una (pur se parziale) ricostruzione storica degli effetti. Le notizie disponibili sono spesso incerte e confuse, non solo circa i danni prodotti e l'esatta estensione dell'area colpita, ma finanche sull'ora esatta in cui si è verificata la scossa principale. E' possibile che la scossa più violenta sia avvenuta poco dopo il tramonto, come testimoniarebbe il fatto che un gran numero di persone rimaste uccise si trovava all'interno della cattedrale di Catania. Il numero complessivo di morti nella sola città di Catania oscilla tra 15.000 e 20.000. La città di Messina è stata raggiunta da un maremoto, prodotto dall'evento sismico, e l'onda di marea ha inoltre risalito per 6 km il corso del fiume Simeto distruggendo totalmente il villaggio di Casal Simeto, che non venne mai più ricostruito. L'epicentro è stato in mare, lungo la costa tra Catania e Siracusa.

DICEMBRE 1542 SICILIA - Sembra essere stato il meno disastroso tra le catastrofi sismiche che la storia della Sicilia orientale ricordi. L'evento di maggior intensità si è verificato intorno alle quattro del pomeriggio del 10 Dicembre nell'area di Siracusa. I centri urbani che hanno subito effetti di distruzione totale sono quelli di Siracusa, Sortino, Melilli e Grammichele. Danni gravi sono stati registrati anche a Catania, Augusta, Noto, Caltagirone, Militello e in numerosissimi castelli della Val di Noto. L'evento sismico principale è stato seguito da numerose repliche protrattesi per circa 40 giorni.

11 GENNAIO 1693 SICILIA ORIENT. - CALABRIA MERIDIONALE - Rappresenta, assieme al terremoto del 1908, l'evento catastrofico di maggiori dimensioni che abbia colpito il territorio italiano in tempi storici. L'evento ha provocato la distruzione totale di oltre 45 centri abitati, interessando con effetti pari o superiori al IX grado MCS una superficie di circa 5600 Km<sup>2</sup> e causando circa 60.000 vittime. La sequenza sismica che comprende questo terremoto con effetti davvero devastanti, è iniziata il giorno 9 Gennaio 1693 e si è protratta per circa 2 anni con un numero elevatissimo di repliche (circa 1500 eventi). L'evento principale (XI grado MCS) si è verificato alle ore 9 della sera dell'11 Gennaio, dopo che alcune scosse di minore intensità (circa VIII grado MCS) si erano già fatte sentire la sera del giorno 9 e la mattina dello stesso giorno 11. Il numero più elevato di vittime è stato registrato nella città di Catania, dove sono morti circa i 2/3 della popolazione.

Le caratteristiche dell'evento principale consentono di considerarlo, per molti aspetti, simile al terremoto del 4 Febbraio 1169 e suggeriscono che la struttura sismogenetica sia posta in mare, non lontano dalla costa tra Catania e Siracusa. Una indiretta conferma di questa ipotesi è fornita dal maremoto associato all'evento sismico che, anche in questo caso come nel 1169, ha colpito la costa ionica della Sicilia. La profondità ipocentrale stimata per l'evento principale è di circa 20 Km.

5 MARZO 1823 SICILIA - Non è certamente uno dei terremoti più gravi che si sia verificato in questa regione, ma va ricordato per l'ampia estensione della zona gravemente colpita. L'area maggiormente colpita dal terremoto comprende il tratto di costa tra Capo d'Orlando e Capo Calavà e, nell'entroterra, i centri abitati di Patti e di Naso; quest'ultimo è certamente quello che ha subito i maggiori danni. L'epicentro del terremoto è da porsi certamente in mare, come confermato anche dall'onda di marea che colpì un esteso tratto di costa, anche se comunemente si tende a identificarlo con l'abitato di Naso, dove fu registrato il massimo danno. A Naso la catastrofe fu evitata grazie al verificarsi dei due eventi precursori avvertiti nelle prime ore del pomeriggio, che spinse la maggior parte della popolazione ad abbandonare le proprie case rifugiandosi nei campi; questa fortunata condizione fece sì che il numero delle vittime fosse limitato a due. Pur in un siffatto contesto di spiccata asimmetria del campo macrosismico, risulta comunque singolare la constatazione degli effetti a Palermo, ad una distanza di circa 100 Km dall'epicentro, dove fu registrato il crollo totale di numerosi

edifici, la morte di 19 persone ed il grave ferimento di altre 25.

28 DICEMBRE 1908 CALABRIA MERIDIONALE - SICILIA ORIENTALE - Il terremoto del 28 Dicembre 1908 rappresenta, come già ricordato a proposito del terremoto della Val di Noto del 1693, uno dei due eventi sismici più catastrofici che la storia italiana ricordi. L'evento sismico di maggior intensità (XI grado MCS) si è verificato nelle prime ore del mattino del 28 Dicembre ed è stato seguito, nello stesso giorno, da tre repliche che hanno raggiunto intensità massima pari all'VIII grado della scala MCS. La profondità ipocentrale dell'evento principale è stata stimata a circa 15-20 Km, in corrispondenza dello Stretto di Messina.

Malgrado il terremoto venga comunemente ricordato in letteratura come il "terremoto di Messina", gli effetti di massima intensità sono stati registrati nella città di Reggio Calabria, dove i danni percentuali al patrimonio edilizio e la perdita di vite umane sono stati certamente più elevati. I danni assoluti sono stati, però, decisamente maggiori a Messina, e ciò in virtù del fatto che la città di Messina era a quel tempo molto più densamente popolata (circa 90.000 abitanti contro i 27.000 di Reggio Calabria). Ampia incertezza sussiste ancora sul numero totale di vittime che, secondo i diversi Autori, oscilla tra 60.000 e 120.000.

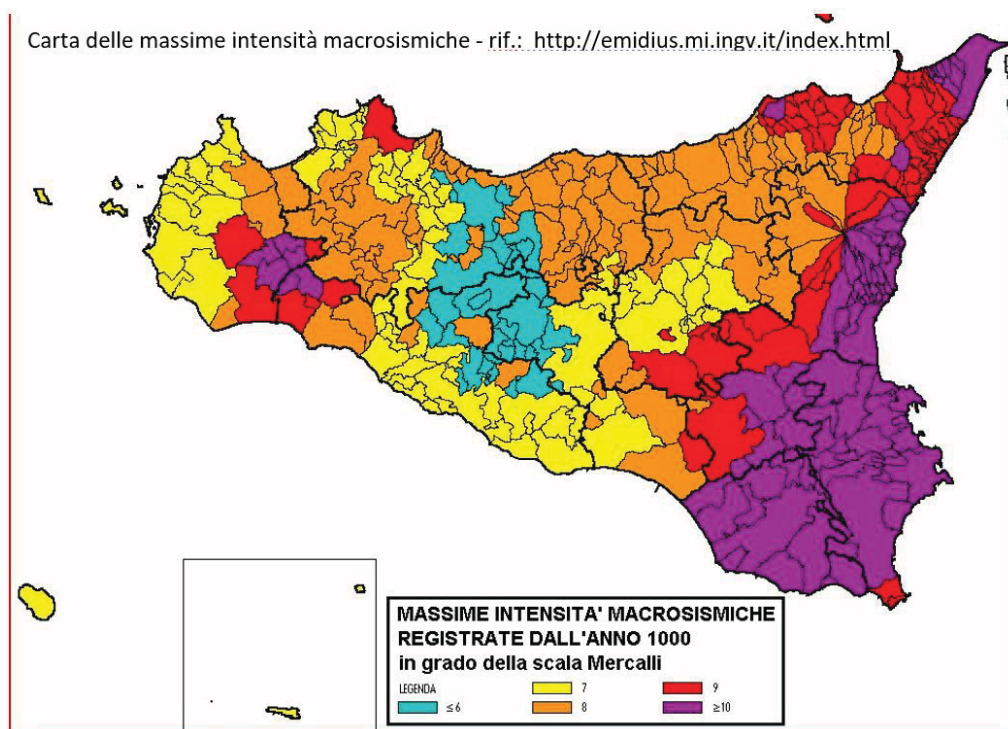
Il terremoto è stato associato ad una violenta onda di marea che ha interessato le coste siciliana e calabrese, confermando la localizzazione in mare dell'epicentro.

15 GENNAIO 1968 SICILIA (BELICE) L'attività sismica ha cominciato a manifestarsi con una serie di eventi precursori di minore intensità che hanno avuto inizio il giorno precedente il terremoto principale e si sono protratti con una serie di repliche registrate fino all'estate dello stesso anno. Considerando nei dettagli le caratteristiche del sisma è opportuno rilevare che nella fattispecie non si è trattato di una singola scossa distruttiva ma di una sequenza costituita da almeno tre eventi di uguale intensità, due dei quali verificatisi il giorno 15 Gennaio, a mezzora l'uno dall'altro, seguiti da un terzo, verificatosi nel pomeriggio del giorno successivo. Un quarto evento, di intensità leggermente inferiore ma tuttavia in grado di produrre seri danni in un territorio già provato dagli eventi precedenti, è stato registrato nella mattinata del 25 Gennaio.

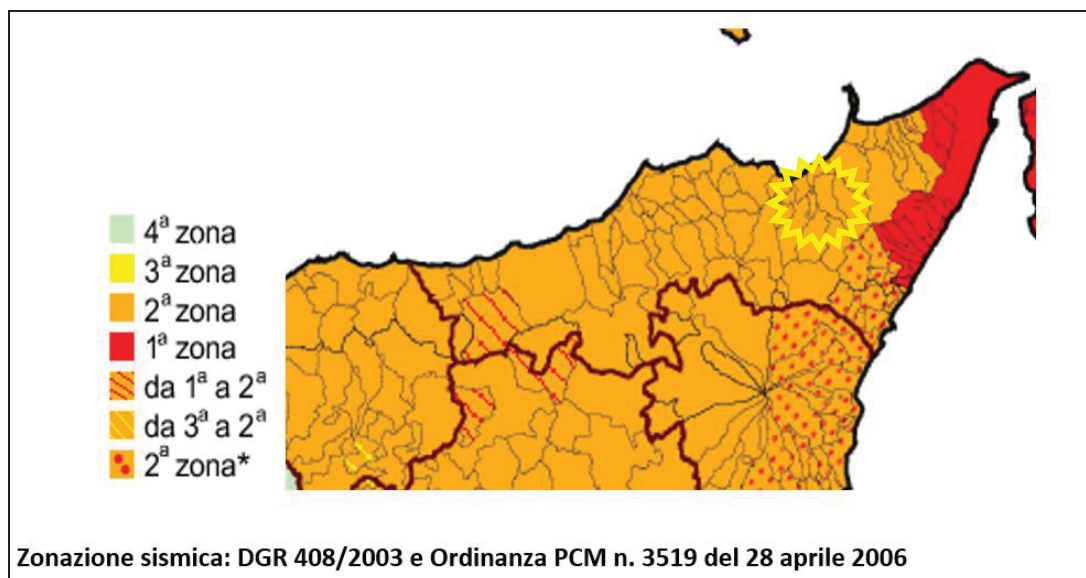
I centri abitati di S. Ninfa, Gibellina, Salaparuta, Montevago e S. Margherita Belice hanno subito effetti di distruzione pressoché totale, e gravemente danneggiati sono risultati anche gli abitati di Salemi, Poggioreale e Partanna

Con i dati relativi agli eventi registrati l'INGV ha redatto la carta delle massime intensità macrosismiche per l'Italia; la regione Sicilia, ed in particolare la parte orientale dell'isola risulta essere l'area più soggetta a fenomeni sismici di forte intensità, tuttavia i tempi di ritorno in relazione alla

magnitudo sono piuttosto alti (450-500 anni).



La Legge 2.2.1974, n. 64, all'articolo 3, stabilisce che tutte le costruzioni da realizzare in zone dichiarate sismiche la cui sicurezza può interessare la pubblica incolumità sono disciplinate, oltre che da norme tecniche generali riguardanti i vari elementi costruttivi (progettazione, esecuzione e collaudo di edifici e di altre opere speciali; carichi e sovraccarichi; verifica di sicurezza; indagini su terreni e rocce; opere di sostegno e fondazione; protezione dagli incendi), da specifiche norme tecniche, differenziate in funzione dei diversi gradi di sismicità, riguardanti l'altezza massima, le distanze minime, il dimensionamento e la verifica delle diverse parti della costruzione, le fondazioni e le parti in elevazione. L'articolo 4 dispone inoltre che devono essere esaurientemente accertate le caratteristiche generali e le proprietà fisico meccaniche dei terreni di fondazione da estendere, nel caso di costruzioni su pendii, al di fuori dell'area edificatoria. Nelle zone sismiche, il soggetto che intende costruire deve inoltrare una richiesta al Genio Civile competente attendendo, per l'inizio dei lavori, l'autorizzazione scritta.



Il successivo D.M. (LL.PP.) del 16.1.1996 definiva sia i criteri generali di progettazione che le disposizioni generali relative agli edifici ed alle opere di sostegno dei terreni da applicare per le costruzioni in zone dichiarate sismiche. Con Ordinanza del Presidente del consiglio dei Ministri n. 3274 del 20.03.2003 concernente “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”, nelle more dell’espletamento degli adempimenti dell’art. 93 del D. Lgs n. 112/1998, con le integrazioni tecniche apportate dalle successive Ordinanze n. 3431 del 3.05.2005 e n. 3519 del 28.04.2006, vengono introdotti e approvati:

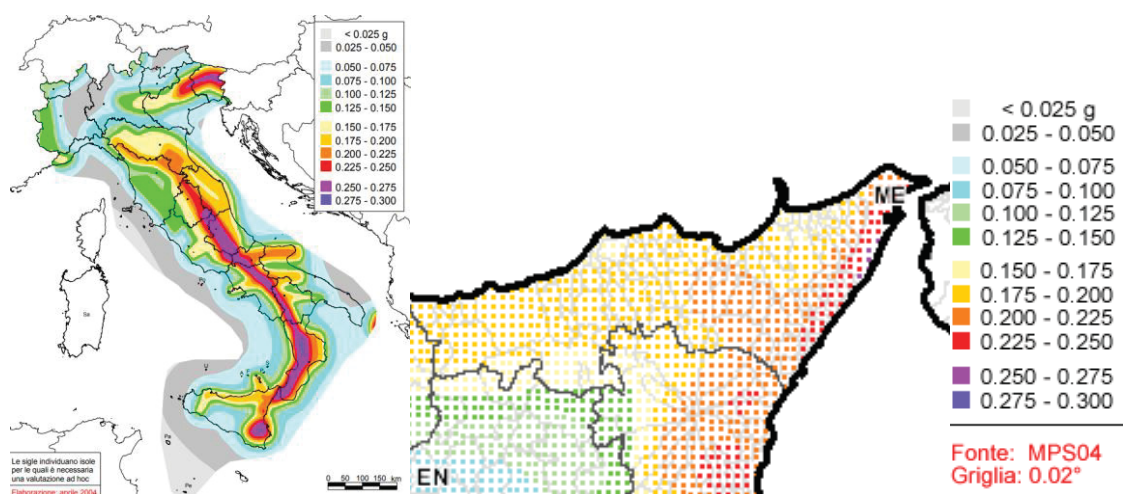
- ✓ i “Criteri per l’individuazione delle zone sismiche – individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”;
- ✓ le “Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l’adeguamento sismico degli edifici”;
- ✓ le “Norme tecniche per il progetto sismico dei ponti”;
- ✓ le “Norme tecniche per il progetto sismico delle opere di fondazione e sostegno dei terreni”.

Secondo i nuovi criteri classificativi il territorio regionale risulta suddiviso in 4 zone sismiche, in base ai valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo, con probabilità di superamento del 10% in 50 anni:

- ✓ zona 1: accelerazione orizzontale  $> 0,25$  g;
- ✓ zona 2: accelerazione orizzontale  $0,15g - 0,25$  g;
- ✓ zona 3: accelerazione orizzontale  $0,05g - 0,15$  g;
- ✓ zona 4: accelerazione orizzontale  $< 0,05$  g.

Con l'Ordinanza PCM n. 3519 del 28 aprile 2006 sono stati aggiornati gli elenchi delle zone sismiche. Il Dm 14 settembre 2005 (pubblicato sul Supplemento Ordinario n. 159 della G.U. n. 222 del 23 settembre 2005) "Norme tecniche per le costruzioni" contiene un riordino sistemico delle normative tecniche e si propone come riferimento normativo nel campo della costruzione delle opere civili. Le disposizioni incluse negli allegati dell'Ordinanza 3274/2003 e s.m.i., continuano comunque a trovare vigenza quali documenti applicativi di dettaglio.

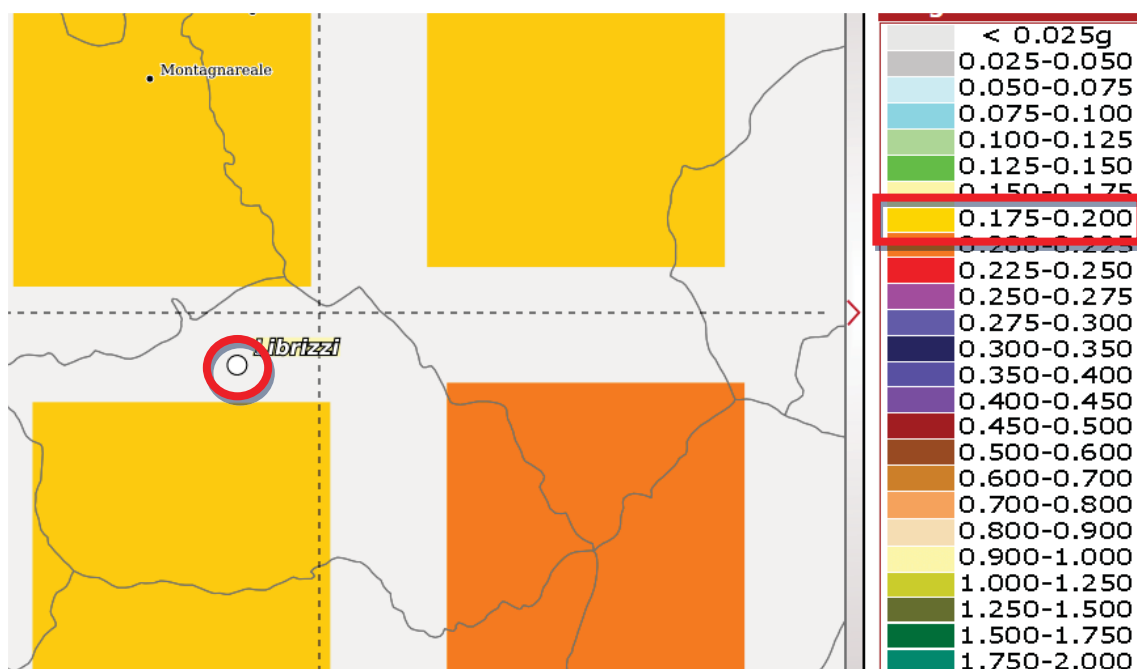
Con Delibera della Giunta Regionale n. 408 del 19 dicembre 2003, la Regione Sicilia ha provveduto alla riqualificazione sismica, del proprio territorio.



Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006, All. 1b "Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale" (Fonte: INGV - <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>)

- area d'indagine – Comune di LIBRIZZI

La più recente Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006, che ha aggiornato gli elenchi delle zone sismiche a livello nazionale conferma la classificazione ad esso attribuita dalla precedente Ordinanza 3274/2003, ovvero l'inserisce in Zona Sismica 2, con valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo variabili tra 0,175 e 0,225 g il territorio del Comune (cfr fig. precedente). Con riferimento specifico all'area di progetto le accelerazioni orizzontali definite sono comprese tra 0,175 e 0,200 g.



## 9. PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

La zonizzazione sismica (caratterizzazione sismica locale) consiste nell'identificare aree a risposta omogenea in riferimento alla pericolosità sismica, attraverso l'individuazione di un insieme di criteri volti a valutare gli effetti di un terremoto al suolo.

Il comportamento di un sito, quando interessato da un evento sismico, dipende da molteplici fattori: geolitologici, geomorfologici, idrogeologici, geofisici e altri ancora.

Gli effetti che si manifestano durante un sisma possono essere molto diversificati in località tra loro anche vicine, a causa di una differente risposta sismica locale.

Le caratteristiche con cui si presenta un sisma in un dato sito sono fortemente dipendenti, oltre che dalle proprietà sismotettoniche e dalle modalità di rilascio dell'energia alla sorgente, anche dal percorso di propagazione delle onde sismiche e da fattori di risposta locale che modificano la composizione spettrale dello stesso.

### Criteri e metodologie per la determinazione della risposta del sito

La risposta sismica di un'area è funzione di diversi fattori concomitanti, di ciò bisogna tener conto, valutando se questi rappresentano un fattore di amplificazione.

Aree a elevata acclività, zone di cresta, di scarpata, di dorsale etc. possono dare origine a fenomeni di rifrazione o focalizzazione delle onde sismiche che determinano concentrazioni locali di sollecitazione dinamica tali da esaltare gli effetti di un terremoto. Allo stesso modo, anche le aree



caratterizzate da discontinuità tettoniche e da sistemi di fratturazione in genere, che rappresentano elementi di debolezza, di disomogeneità e/o anisotropia, possono essere interessate da importanti interazioni sismiche.

In tali circostanze è presumibile che si determinano meccanismi di assorbimento, di trasferimento e di concentrazione degli sforzi dinamici, che indipendentemente dalla potenzialità sismogenetica possono determinare un'esaltazione dell'ampiezza delle onde sismiche.

A tali fattori va aggiunta la rigidità sismica che rappresenta un parametro legato all'incidenza dei danni; questi ultimi, tendono a diminuire all'aumentare del modulo G dei terreni.

### Riferimenti normativi e categorie di sottosuoli

La nuova normativa sismica italiana, come riportato nel D.M. 14/01/2018 "Norme Tecniche sulle Costruzioni", definisce l'azione sismica di progetto basandosi sulla categoria sismica di sottosuolo su cui sarà realizzata l'opera.

La classificazione del sottosuolo è convenzionalmente eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio, nel caso in esame entro 30 m di profondità ( $V_{s30}$ ), non essendo presente prima il bedrock.

Per  $V_{s30}$  s'intende, quindi, la media pesata delle velocità delle onde S negli strati fino a 30 m di profondità, misurati dal piano di posa della fondazione. Questa, viene calcolata secondo la seguente relazione definita al punto 3.2.2 delle citate NTC:

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

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

Sulla base del suddetto valore vengono individuate le categorie di sottosuolo riportate nella tabella seguente e in generale il fenomeno dell'amplificazione diventa più accentuato passando dalla classe A alla classe E (cfr tab. NTC 2018).

Nel contesto preso in esame, tenuto conto della stratigrafia locale e delle caratteristiche meccaniche dei litotipi presenti, nonché dei risultati d'indagini sismiche utilizzate, il suolo di

fondazione, per configurazioni semplici, è associabile alla categoria sismica “B”, con valori di  $VS_{30}/VS_{eq}$  compresi tra 360 e 800 m/s (Vedi paragrafo indagini geofisiche).

**Tabella 3.2.II (NTC 2018) –** *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato*

Categoria	Descrizione
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.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

### condizioni topografiche

La risposta sismica di un'area, come già accennato in precedenza, risente anche delle condizioni topografiche locali; queste, qualora presentino configurazioni superficiali semplici, possono essere valutate, come dettato dal DM 2018, attraverso la classificazione riportata nella tabella seguente:

**Tabella 3.2.IV –** *Categorie topografiche*

Cat.	Caratteristiche della superficie topografica	
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	

Con riferimento alla risposta sismica locale, il sito di stretto interesse, tenuto conto della sua morfologia con configurazione superficiale semplice e delle sue condizioni topografiche, può ascrivere alla categoria “T4” (*Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media  $i > 30^\circ$* ) come previsto dalla tabella (Tab. 3.2.IV del DM 14/01/2008), con valori di amplificazione topografica  $ST \geq 1.4$ .

## 10. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Tenuto conto di quanto fin qui trattato, circa le condizioni morfologiche, litologiche ed idrogeologiche dei terreni in specie ed in relazione alle opere da realizzare, si riportano le seguenti considerazioni conclusive:

- Il sito di progetto è caratterizzato dalla presenza di terreni noti in letteratura specialistica come “Gneiss occhiadini” dell’Unità dell’Aspromonte.
- I terreni di stretto interesse progettuale, rappresentati da ammassi rocciosi fratturati e parzialmente alterati in superficie ed integri e compatti in profondità, sono dotati di buone caratteristiche di stabilità e portanza.
- L’area oggetto di interventi ricade all’interno dell’abitato di Librizzi centro ed è collocata in prossimità della linea di cresta, che si sviluppa in senso NNE SSW e che funge da spartiacque idrografico tra i torrenti Furio e Librizzi, affluenti del T.te Timeto.
- I versanti SE e NW che caratterizzano tale dorsale sono contraddistinti da acclività generalmente superiori a 30° con alcuni tratti che possono raggiungere un massimo di 45° – 50° di pendenza.
- il versante di interesse progettuale, esposto a sud-est e su cui ricade parte del centro abitato ivi compresa l’area di intervento, pur acclive, è caratterizzato da un assetto essenzialmente stabile e non soggetto a prevedibili fenomeni di dinamica morfologica;
- aree di dissesto, già interessate da interventi di consolidamento sono presenti soprattutto sul versante NO dell’abitato e della zona Matrice;

Gli interventi in programma tendono al miglioramento dell’esistente mediante il rifacimento di pavimentazioni e impianti e al miglioramento strutturale di una struttura esistente, mediante la ricostruzione in condizioni di sicurezza (è prevista anche la realizzazione a tergo di una paratia/berlinese).

Le opere in progetto, non comportano pertanto modifiche sostanziali e/o incisive della superficie, peraltro interamente urbanizzata) e pertanto non incideranno sullo stato di equilibrio geomorfologico locale e del versante.

Ai fini della realizzazione delle strutture di fondazione e in particolare della paratia di berlinesi, si rileva ed evidenzia la particolare collocazione topografica in ambito urbano, in presenza di materiali, si litoidi, ma molto alterati e fratturati, pertanto dovranno essere adottati, in via cautelativa, adeguati sistemi di perforazione e iniezione.

Tenuto conto della posizione sommitale del sito, della morfologia locale e delle caratteristiche idrogeologiche dei terreni in specie, è verosimile affermare che sulla verticale dello stesso non sono presenti falde acquifere, o acqua in altre forme che possa avere rilevanza ai fini geotecnici in relazione

al progetto o che possa direttamente o indirettamente avere interazione con le opere di fondazione dell'opera da realizzare.

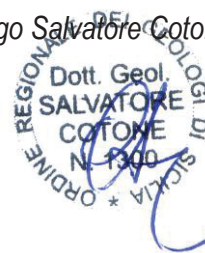
Il sito in esame, tenuto conto della morfologia a configurazione superficiale semplice che lo caratterizza e delle sue condizioni topografiche, ai sensi del DM 2018 "Norme Tecniche sulle Costruzioni", può ascrivere alla categoria topografica "T4".

Sempre ai sensi del suddetto decreto, in considerazione della stratigrafia locale e delle caratteristiche meccaniche dei litotipi presenti, nonché dei risultati di indagini geofisiche, il suolo di fondazione può essere associato alla categoria sismica "B", con valori di  $VS_{30}$  compresi tra 360 e 800 m/s.

In conclusione, tenuto conto delle risultanze dello studio eseguito, sopra riassunte, si ritiene che la realizzazione di quanto previsto in progetto sia ampiamente compatibile con le condizioni geologiche dell'area.

Patti-Librizzi Febbraio 2022

Geologo Salvatore Cotone (ORGS 1300)

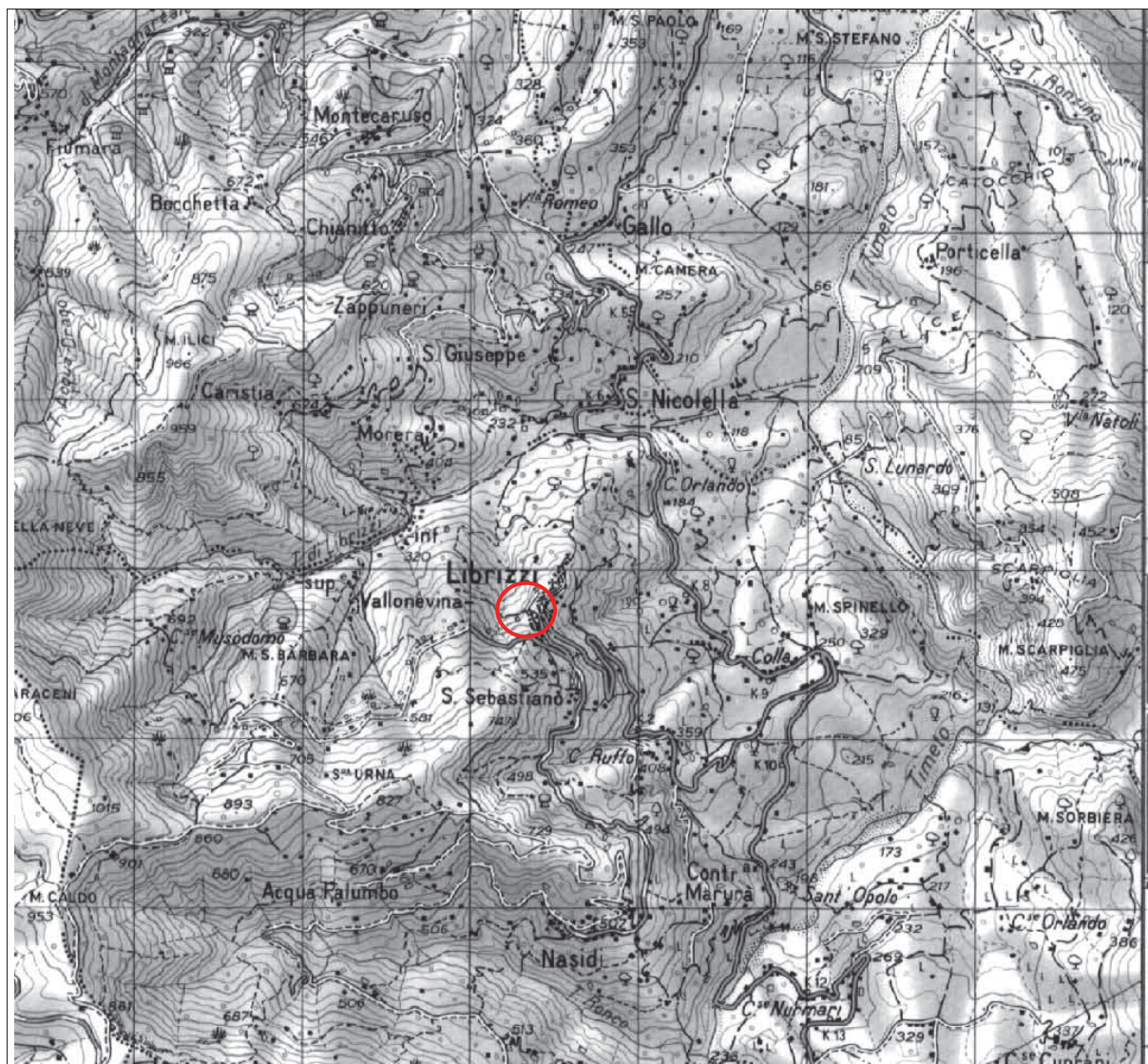


## B – ELABORATI GRAFICI

- -Tav.1 - INQUADRAMENTO CARTA D'ITALIA
- Tav.2 - COROGRAFIA
- -Tav.3a-c - Stralcio carte --P.A.I -
- Tav.4 - Carta geolitologica
- Tav.5 - Carta geomorfologica
- Tav.5bis - Carta geomorfologica (dettaglio)
- Tav.6 - Ctr e profilo geologico crinale
- Tav.7 - Planimetria indagini
- Tav.8 - Planimetria area di intervento
- Tav.9 - Sezione geolitologica schematica A-A'
- Tav.10 - Sezione geolitologica schematica B-B'



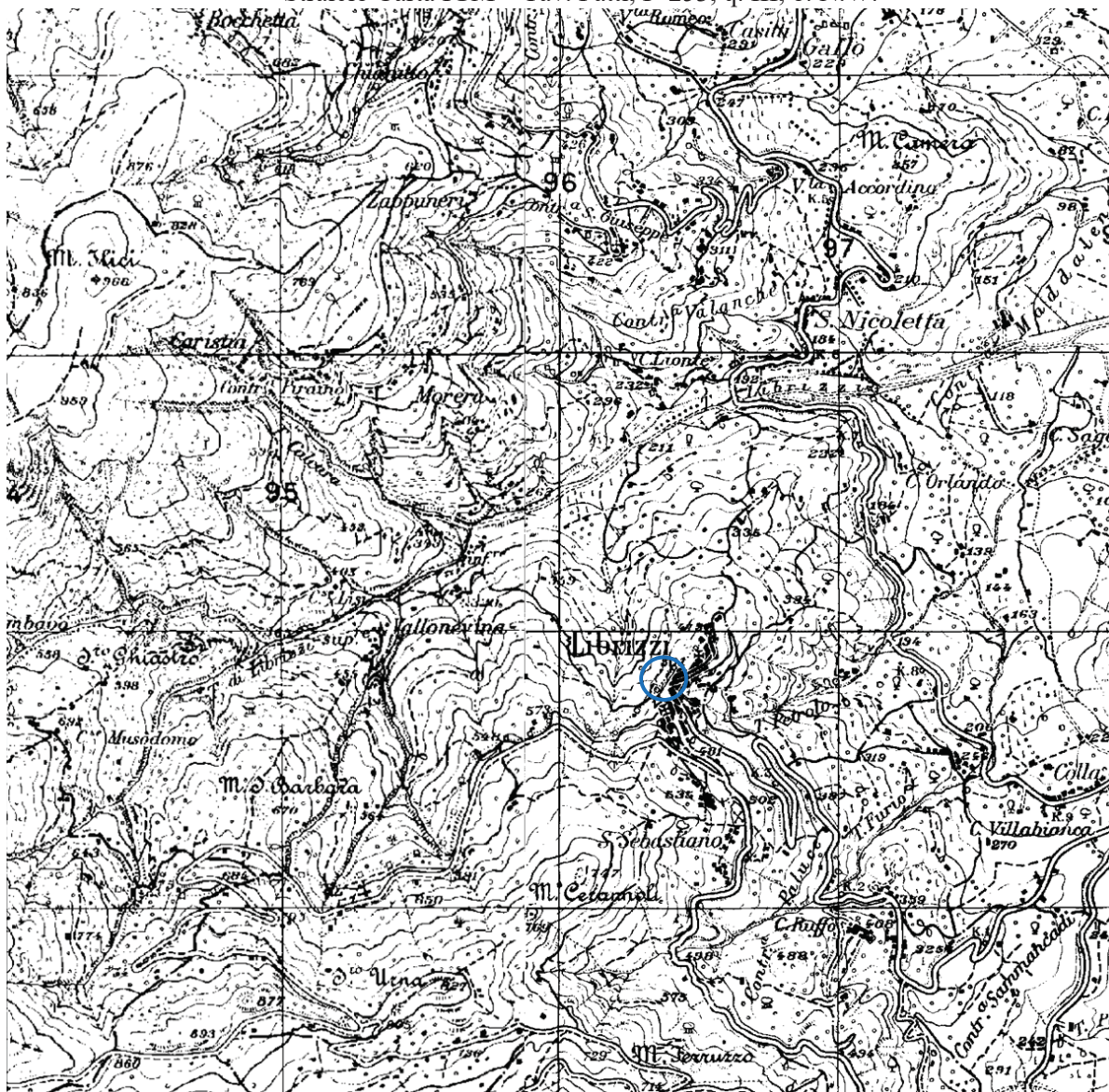
FOGLIO N° 599-PATTI  
SERIE M792, FOGLIONJ 33-6-a5, EDIZIONE 1-IGMI





-Tav.2 - COROGRAFIA

Stralcio Carta IGM – Tav. Patti, F°253, q. III, o. N.W.



Siti di progetto

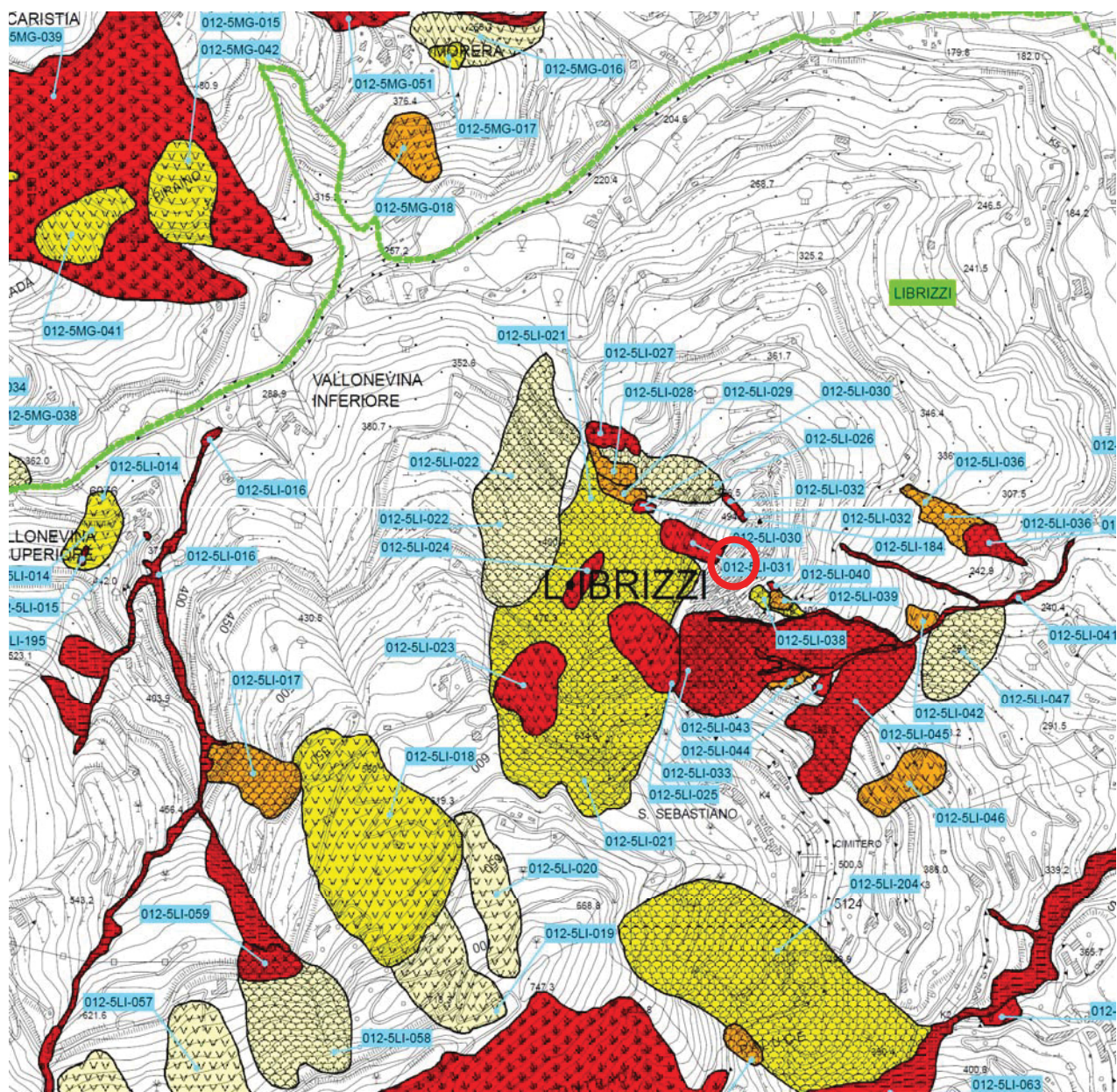
LAT.: 38.099659°

LONG.: 14.959993°



--P.A.I.-- C.T.R. 599080-599120

# STRALCIO CARTA DEI DISSESTI



## FENOMENI FRANOSI

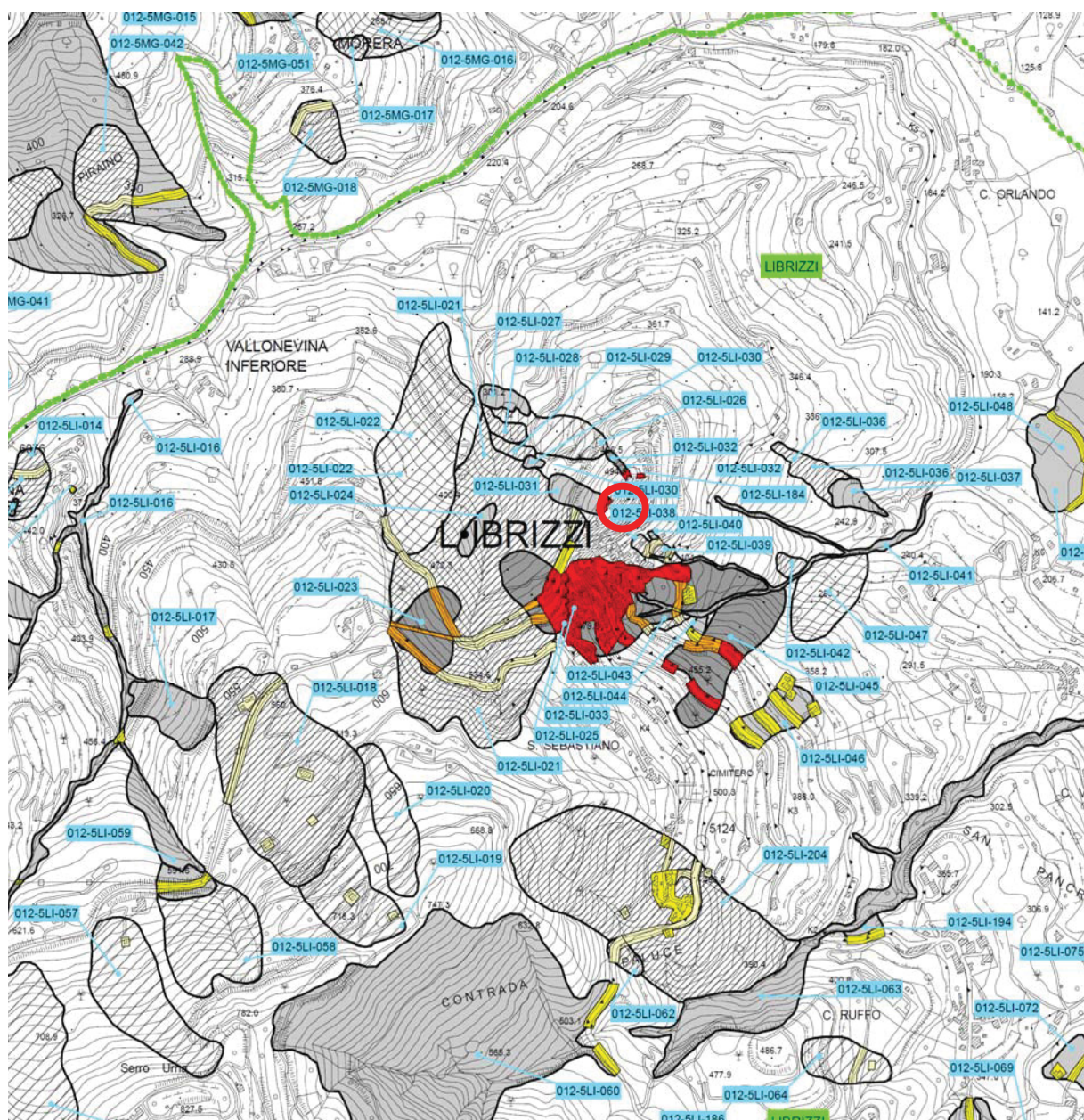
	Crollo e/o ribaltamento
	Colamento rapido
	Sprofondamento
	Scorrimento
	Frana complessa
	Espansione laterale o deformazione gravitativa (DGPV)
	Colamento lento
	Area a franosità diffusa
	Deformazione superficiale lenta
	Calanco
	Dissesti conseguenti ad erosione accelerata

## STATO DI ATTIVITA'






	Attivo
	Inattivo
	Quiescente
	Stabilizzato artificialmente o naturalmente
	Sito di progetto







## STRALCIO CARTA DELLA PERICOLOSITA' E DEL RISCHIO GEOMORFOLOGICO




## LIVELLI DI PERICOLOSITA'

	P0 molto basso
	P1 moderato
	P2 medio
	P3 elevato
	P4 molto elevato

## LIVELLI DI RISCHIO

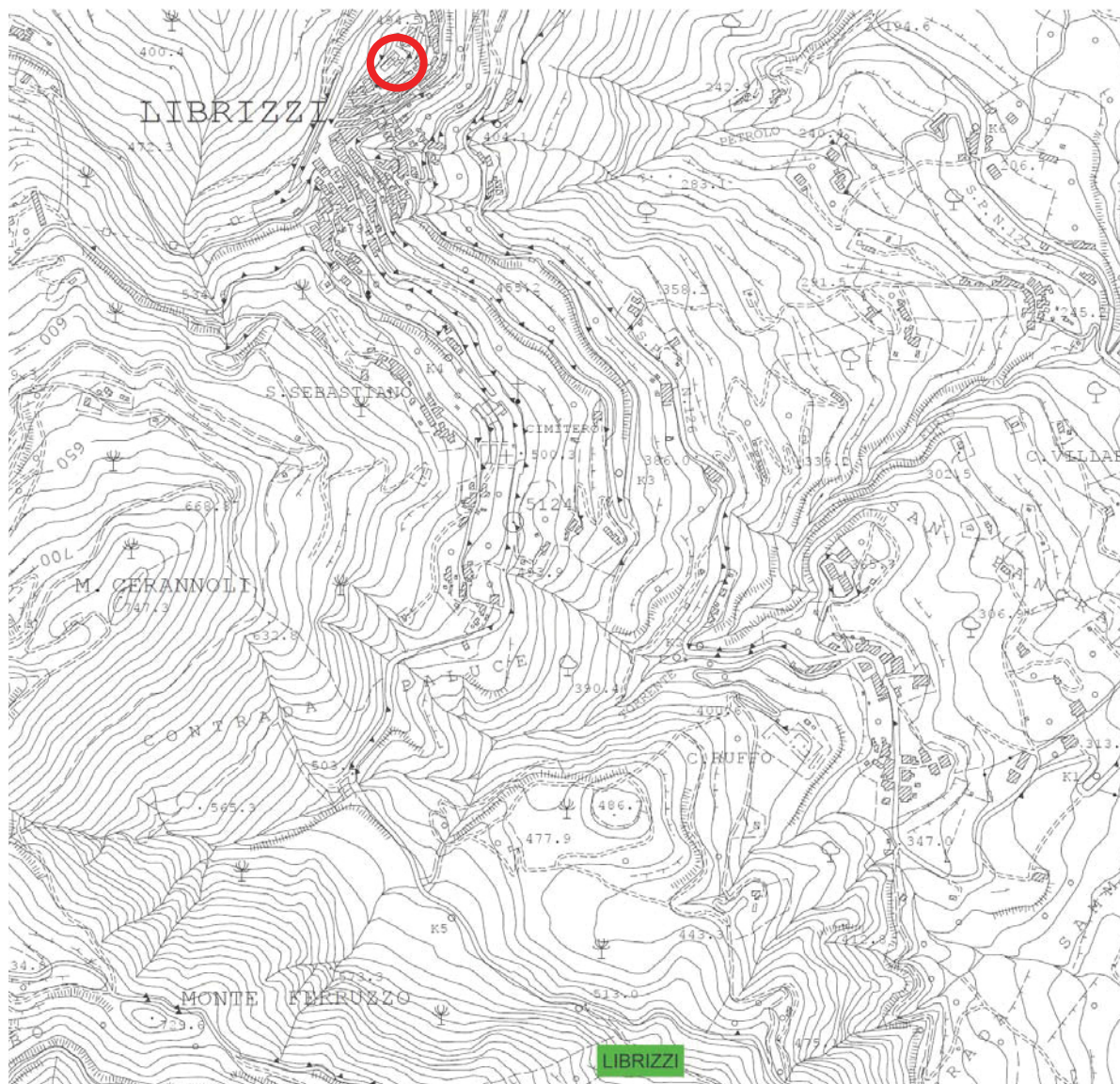
	R1 moderato
	R2 medio
	R3 elevato
	R4 molto elevato

 Sito di progetto




--P.A.I --- C.T.R. 599080-599120

# STRALCIO CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA PER FENOMENI DI ESONDAZIONE



## LIVELLI DI PERICOLOSITA'

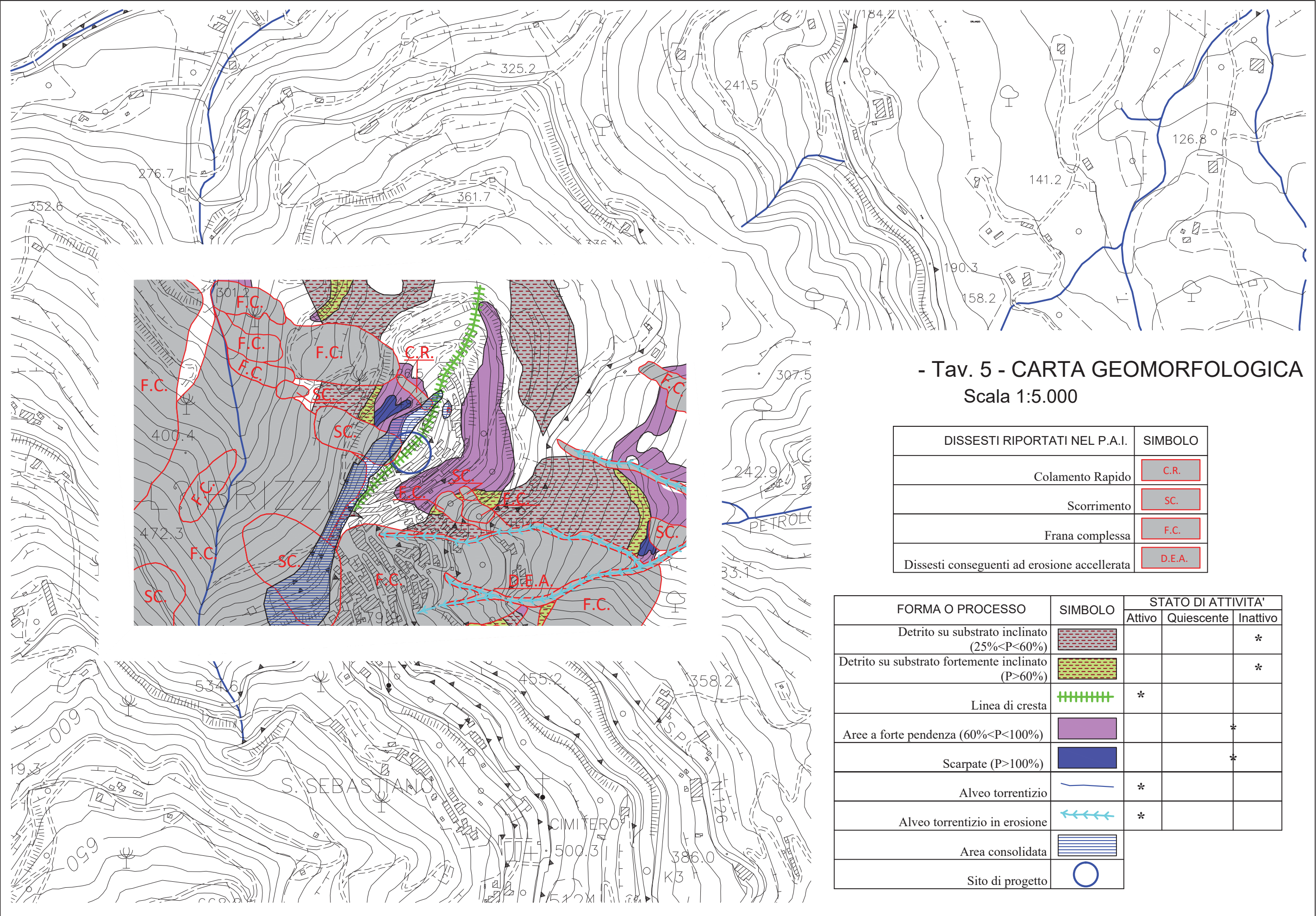


 Sito di progetto







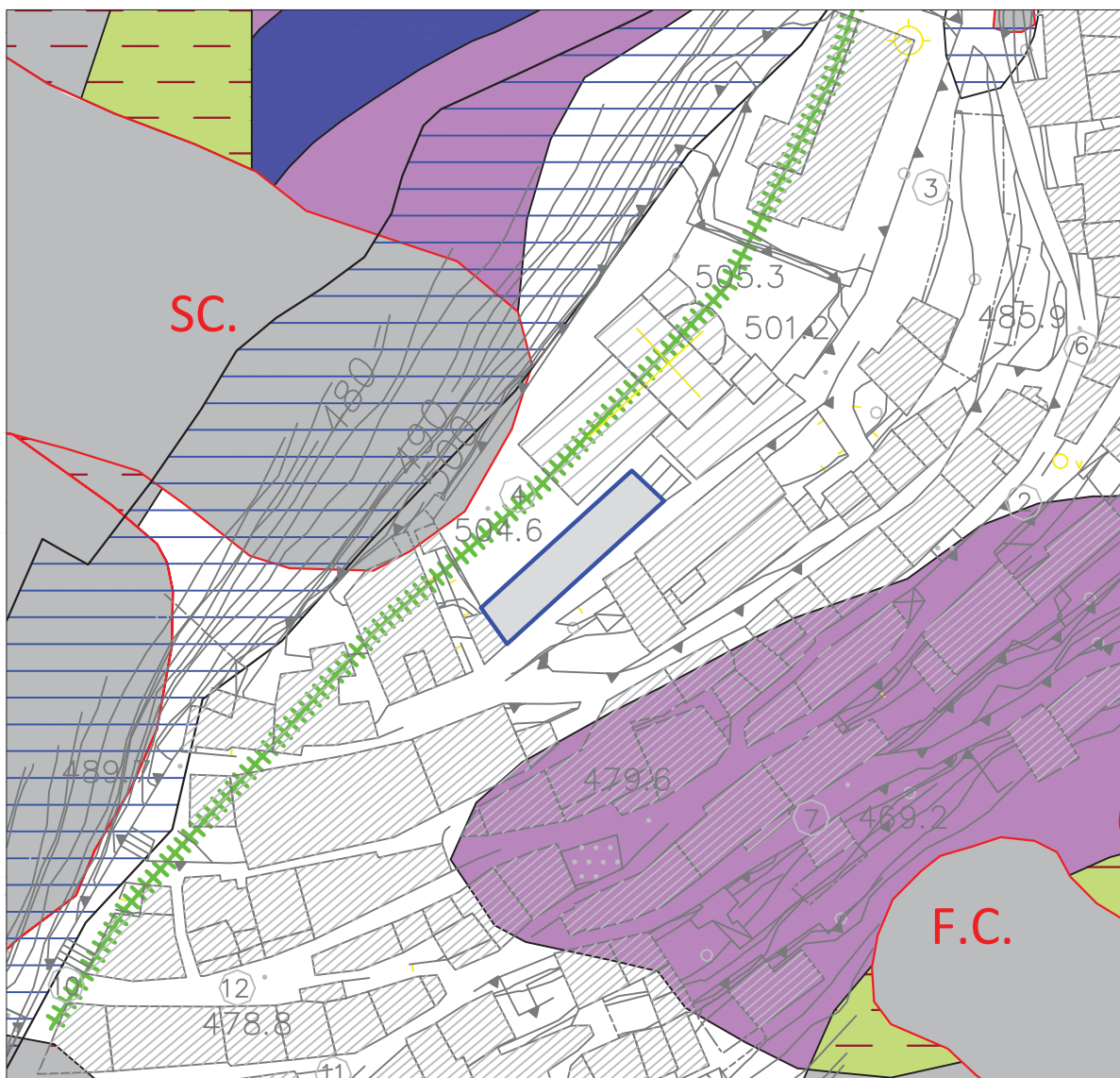


- Tav. 5 - CARTA GEOMORFOLOGICA  
Scala 1:5.000

DISSESTI RIPORTATI NEL P.A.I.	SIMBOLO
Colamento Rapido	C.R.
Scorrimento	SC.
Frana complessa	F.C.
Dissesti conseguenti ad erosione accelerata	D.E.A.

FORMA O PROCESSO	SIMBOLO	STATO DI ATTIVITA'		
		Attivo	Quiescente	Inattivo
Detrito su substrato inclinato (25%<P<60%)				*
Detrito su substrato fortemente inclinato (P>60%)				*
Linea di cresta		*		
Aree a forte pendenza (60%<P<100%)				*
Scarpate (P>100%)				*
Alveo torrentizio		*		
Alveo torrentizio in erosione		*		
Area consolidata				
Sito di progetto				

- Tav.5is - CARTA GEOMORFOLOGICA  
Dettaglio - Scala 1:1.000

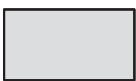


FORMA O PROCESSO	SIMBOLO	STATO DI ATTIVITA'		
		Attivo	Quiescente	Inattivo
Detrito su substrato inclinato (25%<P<60%)				*
Detrito su substrato fortemente inclinato (P>60%)				*
Linea di cresta		*		
Aree a forte pendenza (60%<P<100%)				*
Scarpate (P>100%)				*
Alveo torrentizio		*		
Alveo torrentizio in erosione		*		
Area consolidata				
Sito di progetto				





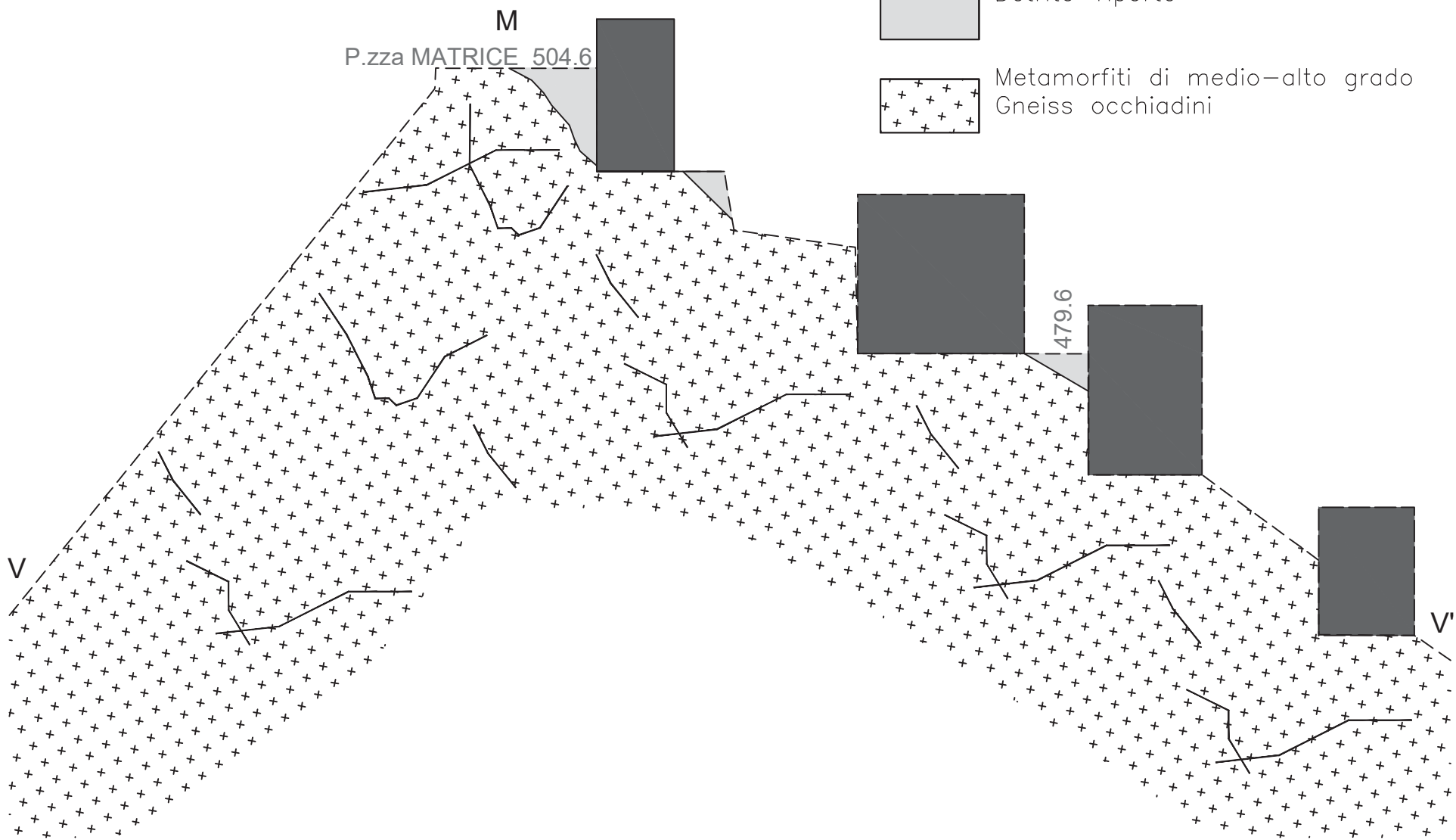
LEGENDA

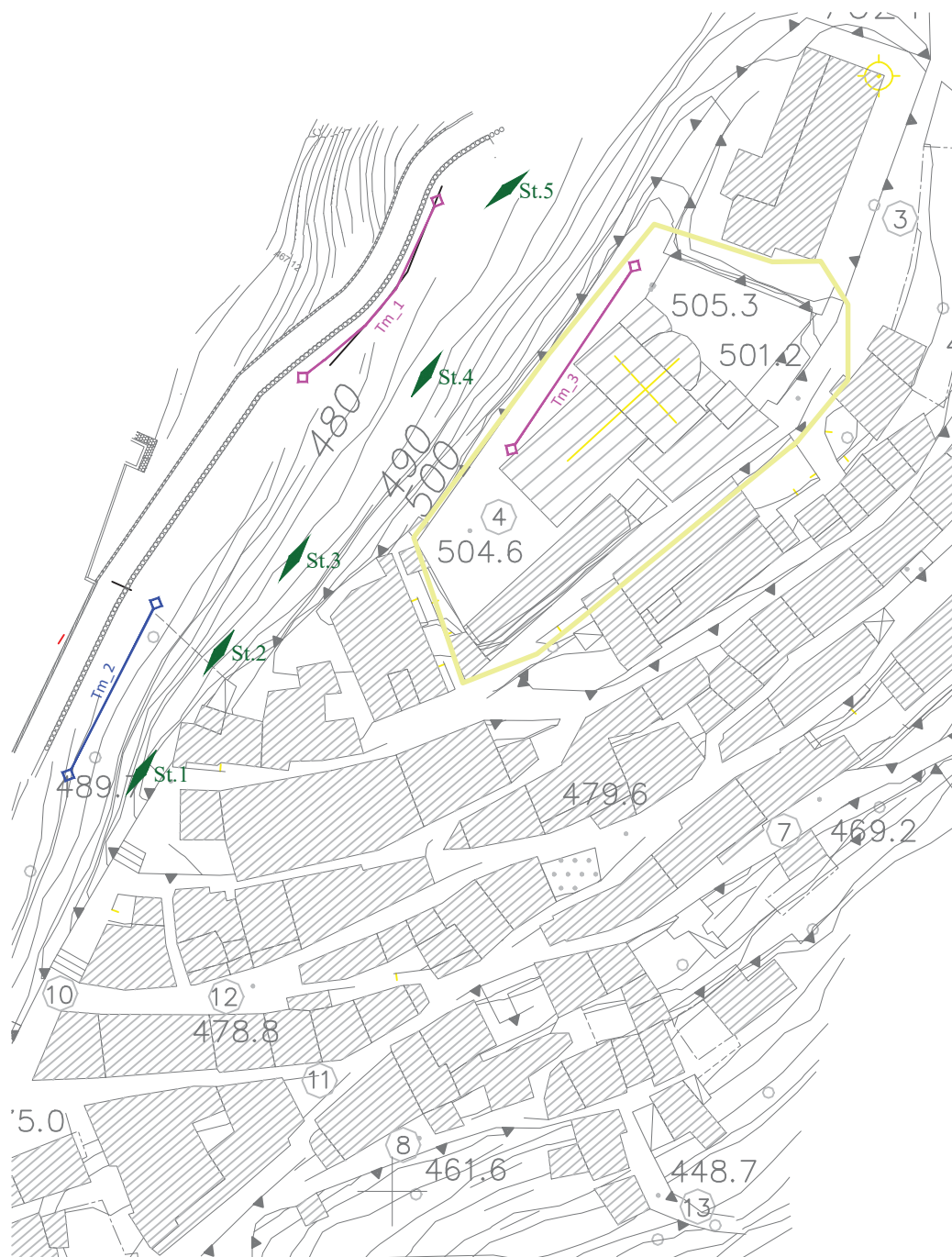


Detrito-riporto







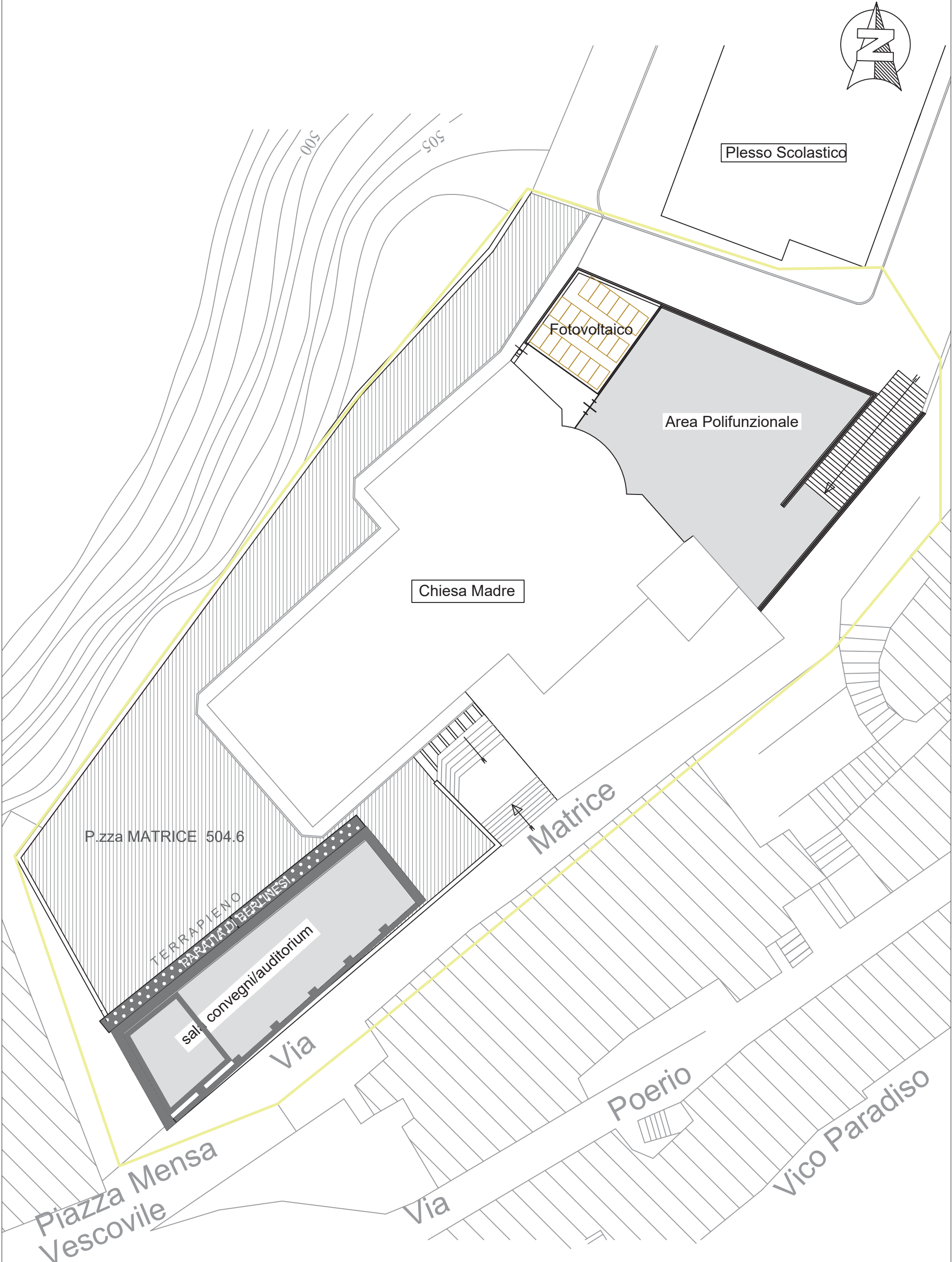
Metamorfiti di medio-alto grado  
Gneiss occhiadini





## Legenda

-  T.1 Traccia stendimento sismico (tomografia)
-  T.1 Traccia stendimento sismico (tomografia+masw)
-  St.1 Stazione di rilievo geostrutturale
-  Area di intervento

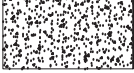




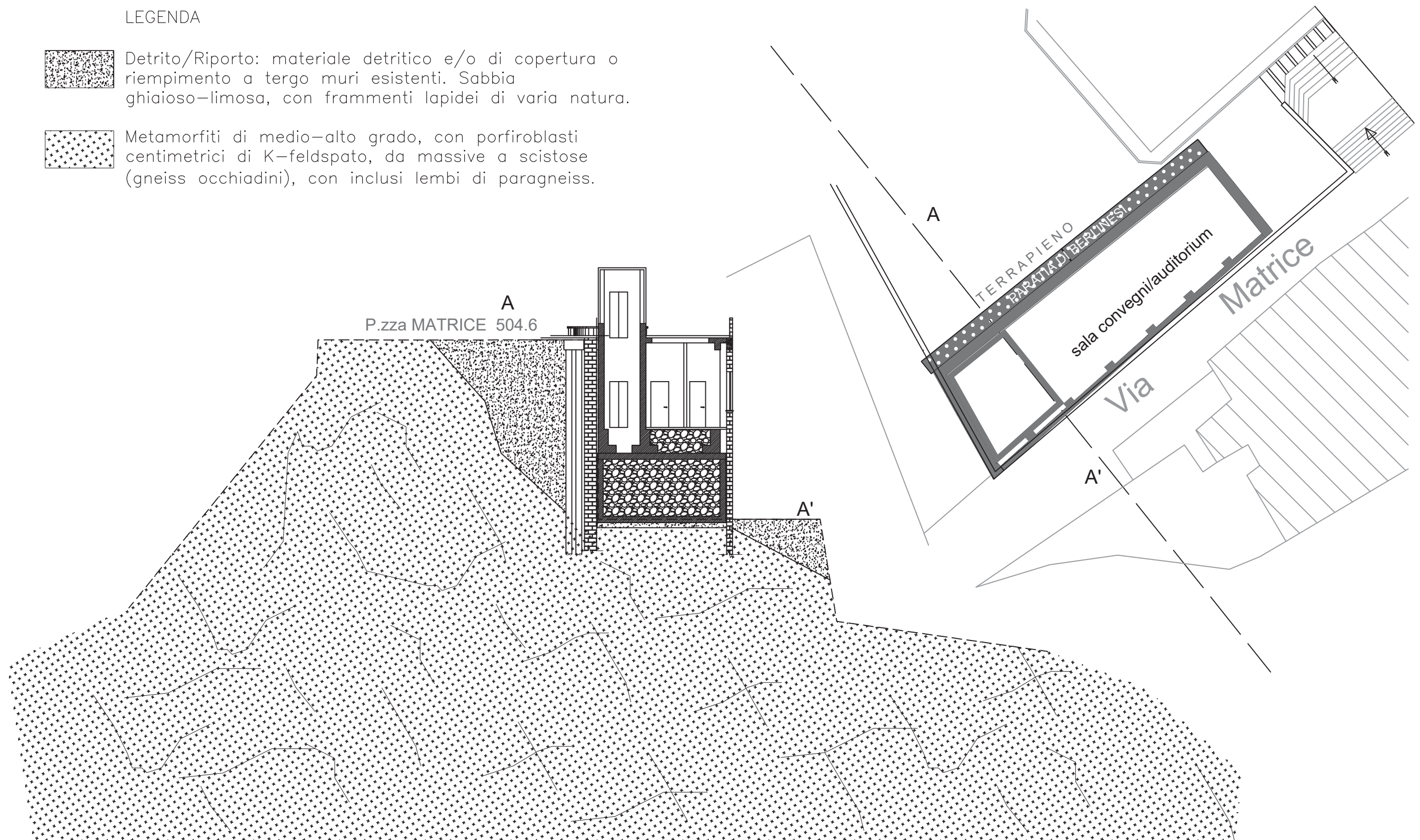
Tav. 9 SEZIONE GEOLITOLOGICA SCHEMATICA

Scala 1:200

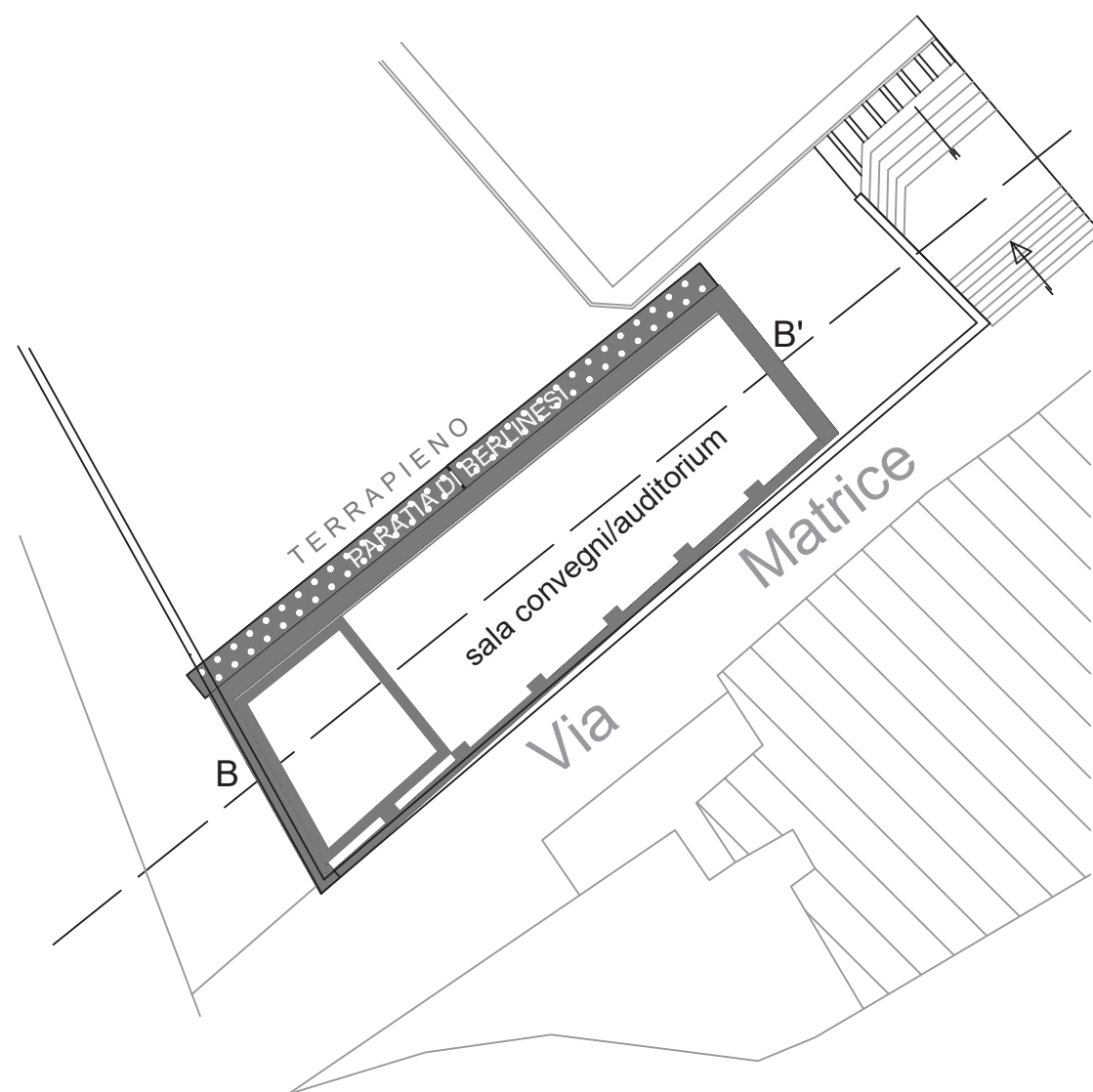
LEGENDA

 Detrito/Riporto: materiale detritico e/o di copertura o riempimento a tergo muri esistenti. Sabbia ghiaioso-limosa, con frammenti lapidei di varia natura.

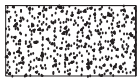

 Metamorfiti di medio-alto grado, con porfiroblasti centimetrici di K-feldspato, da massive a scistose (gneiss occhiadini), con inclusi lembi di paragneiss.



Tav. 8 SEZIONE GEOLITOLOGICA SCHEMATICA Scala 1:200



LEGENDA

-  Detrito/Riporto: materiale detritico e/o di copertura o riempimento a tergo muri esistenti. Sabbia ghiaioso-limosa, con frammenti lapidei di varia natura.
-  Metamorfiti di medio-alto grado, con porfiroblasti centimetrici di K-feldspato, da massive a scistose (gneiss occhiadini), con inclusi lembi di paragneiss.

