# COMUNE DI MONEGLIA

**(CITTA' METROPOLITANA DI GENOVA)**

INTERVENTO DI ADEGUAMENTO IDRAULICO DEI TRATTI TERMINALI

DEL TORRENTE SAN LORENZO E DEL RIO SORBA

FINALIZZATO ALLA MESSA IN SICUREZZA DELLA ZONA DI PONENTE

DEL CENTRO STORICO DELLA CITTÀ DI MONEGLIA

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

(D. Lgs. n° 50/2016 - art. 23 comma 5 e comma 6)

## RELAZIONE GEOLOGICA

**COMMITTENTE:** COMUNE DI MONEGLIA

**PROGETTISTI:** STUDIO TECNICO ASSOCIATO
ING. SERGIO BRIZZOLARA & ING. STEFANO STURLA

**INDICE DEI CAPITOLI**

1. PREMESSE
2. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI
3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO
5. SONDAGGI GEOGNOSTICI
    - 5.1 CLASSIFICAZIONE RQD (ROCK QUALITY DESIGNATION INDEX)
    - 5.2 CARATTERISTICHE DELLE DISCONTINUITA'
    - 5.3 PROVE IN SITU: STANDARD PENETRATION TEST
6. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE MEDIO –LEGGERE
7. PROSPEZIONE SISMICA
    - 7.1 ELABORAZIONE DATI
    - 7.2 RISULTATI:STESA 1
    - 7.3 RISULTATI:STESA 2
    - 7.4 RISULTATI:STESA 3
    - 7.5 RISULTATI:STESA 4
    - 7.6 DETERMINAZIONE DEL PARAMETRO $V_{S30}$
8. MODELLO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO
9. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE DELLE COPERTURE
10. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA PRELIMINARE DELL'AMMASSO ROCCIOSO
    - 10.1 SISTEMI CLASSIFICATIVI
    - 10.2 STAZIONE DI RILEVAMENTO A1
    - 10.3 STAZIONE DI RILEVAMENTO A2
    - 10.4 STAZIONE DI RILEVAMENTO B
    - 10.5 SINTESI DELLA CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA
11. CARATTERIZZAZIONE SISMICA
12. CONCLUSIONI

**ALLEGATI**

TAV. 1: COROGRAFIA

TAV. 2: STRALCIO DI CARTA GEOLOGICA

TAV. 3: PLANIMETRIA TECNICA: UBICAZIONE PROSPEZIONI GEOGNOSTICHE

TAV. 4: DIAGRAMMI DI INFISSIONE PENETROMETRICA

TAV. 5: INDAGINE SISMICA

TAV. 6: CARTA GEOLOGICA – GEOMORFOLOGICA DI DETTAGLIO

TAV. 7: PROFILO LONGITUDINALE GEOLOGICO-GEOMECCANICO DEL CANALE SCOLMATORE

TAV. 8: DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

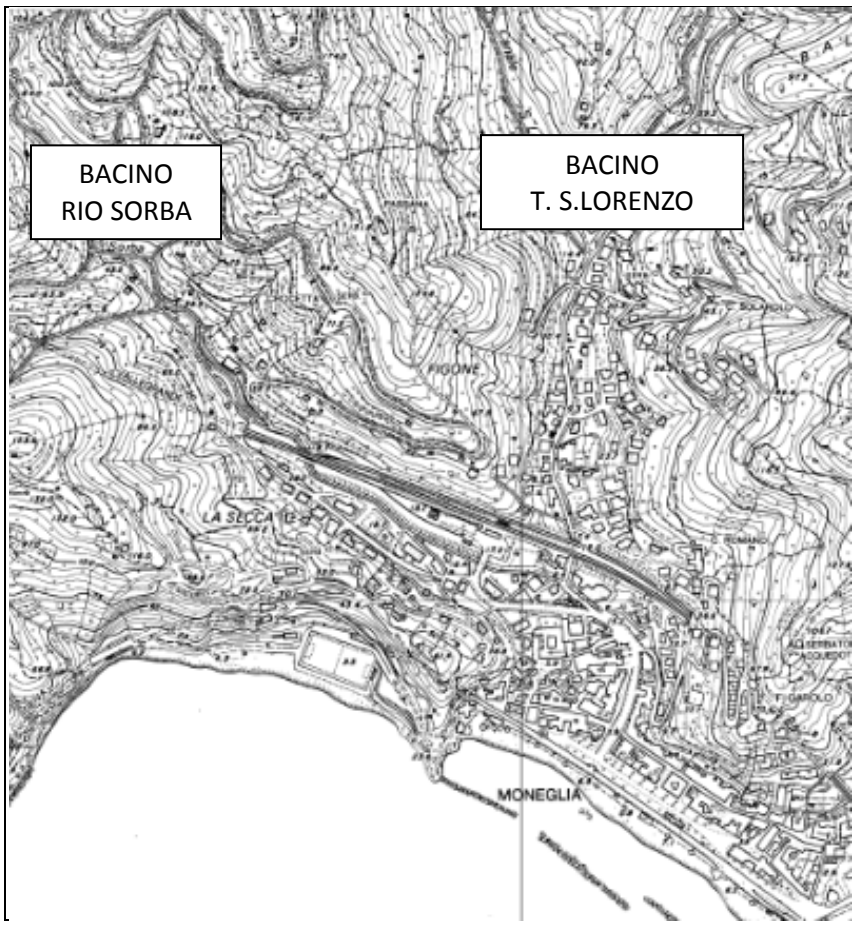
TAV. 8 a-b: SEZIONI GEOLOGICO INTERPRETATIVE

## 1. PREMESSE

E' stato ricevuto incarico dall'Amministrazione Comunale di Moneglia di effettuare un'indagine geologica a carattere preliminare a supporto della progettazione specificata in epigrafe.

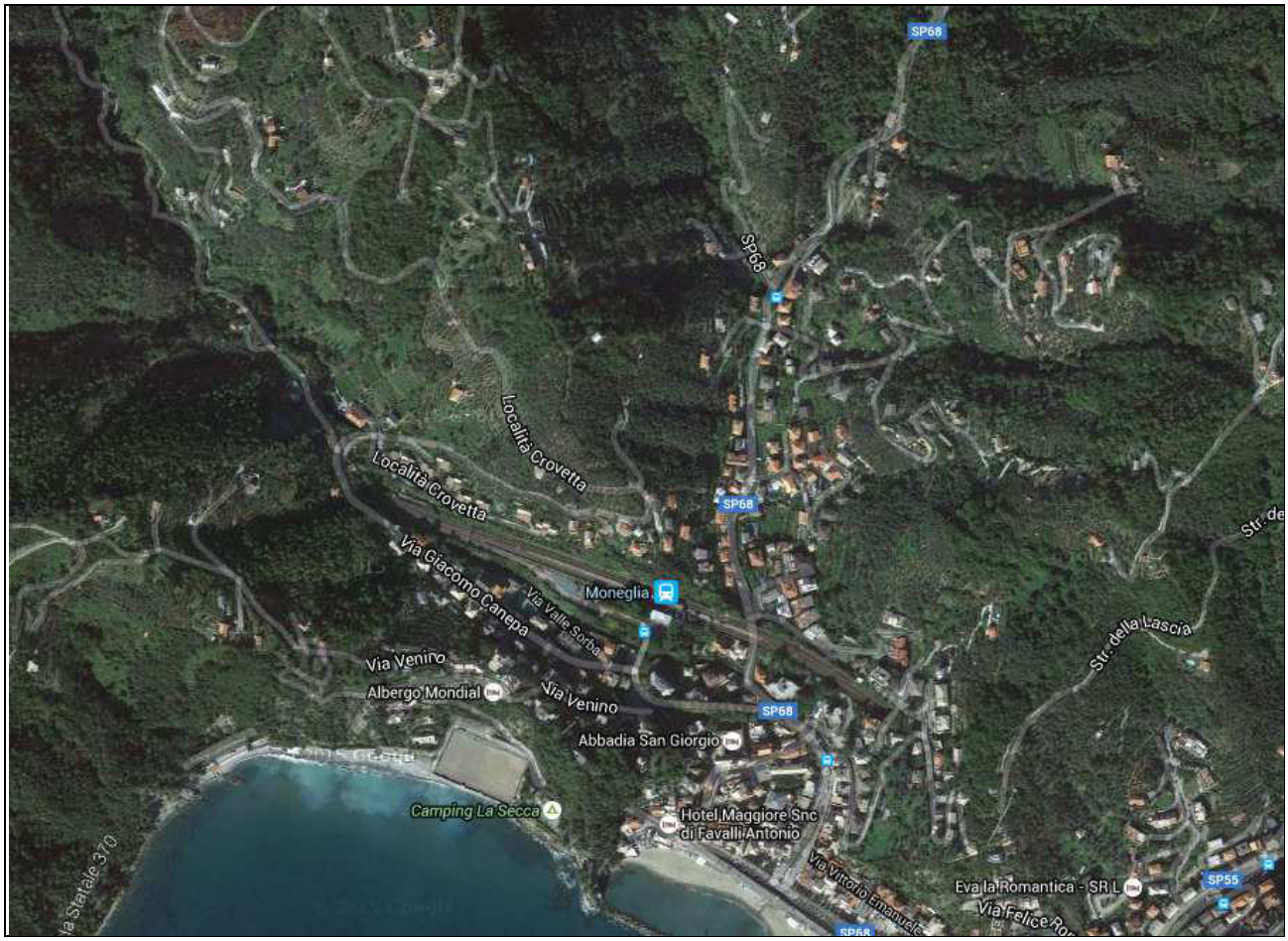
Gli interventi previsti nell'ambito della progettazione sono di seguito schematizzati:

- Interventi di adeguamento sponda destra e sinistra del t. San Lorenzo a monte della copertura esistente in prossimità della foce
- Rifacimento della copertura tratto terminale del torrente Sam Lorenzo
- Realizzazione canale scolmatore rio Sorba prima della confluenza con il torrente San Lorenzo.




TAV. 1: COROGRAFIA

Il contesto d'intervento è assai diversificato, sarà infatti interessato il centro cittadino a tessuto urbano compatto ma anche la zona retrostante costituita dalle aree collinari immediatamente retrostanti la linea costiera e caratterizzate da insediamenti sparsi.




L'indagine intrapresa ha l'obiettivo di ricostruire il "modello geologico preliminare" dell'area interessata dall'opera, ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008 ("Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni") e relativa circolare ministeriale n° 617 del 02/02/09 ("Istruzioni per l'applicazione delle NCT di cui al D.M. 14 gennaio 2008") onde consentire ai progettisti la scelta delle più adeguate soluzioni progettuali.

A tal fine sono stati eseguiti i seguenti approfondimenti geognostici:

| |
|---|
| A. ANALISI DATI BIBLIOGRAFICI |
| B. RILEVAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO |
| C. RILEVAMENTO GEOMECCANICO |
| D. N° 3 SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO |
| E. PROVE GEOTECNICHE IN SITU |
| F. PROVE GEOTECNICHE – GEOMECCANICHE DI LABORATORIO (in corso) |
| G. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE MEDIO-LEGGERE |
| H. N°3 STESE SISMICHE DI TOMOGRAFIA SISMICA A RIFRAZIONE ONDE P E ONDE S |

Si precisa che la scelta dell'ubicazione e della tipologia delle indagini eseguite è stata condizionata dall'effettiva accessibilità dei luoghi d'intervento nonché dalle risorse economiche rese disponibili dall'Amministrazione Comunale.

Si sottolinea ancora che alla data di redazione del presente documento sono in itinere alcuni tests di laboratorio per cui appena gli stessi saranno disponibili sarà predisposta riedizione aggiornata della relazione.

## 2. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

Prendendo in esame gli scenari idraulici predisposti dai progettisti e tenuto conto delle determinazioni del Piano di bacino, si evincono gravi criticità per il centro urbano, sia in relazione alle geometrie delle sezioni idrauliche che, soprattutto, in relazione alla presenza della copertura nel tratto vallivo urbano del torrente San Lorenzo.

Tenuto conto di ciò ed alla luce di eventi alluvionali accaduti in territori a caratteristiche geomorfologiche-idrogeologiche analoghe, nell'ambito della scelta della soluzione più adeguata, oltre ai risultati delle modellazioni idrauliche si è tenuto in debito conto la suscettività al dissesto dei versanti incombenti sulle aste torrentizie e - qualitativamente - il potenziale trasporto solido anomalo in caso di evento alluvionale, soprattutto per quanto riguarda la realizzazione del canale scolmatore.

Come si dirà in seguito, la suscettività al dissesto da Piano di Bacino evidenzia una situazione del territorio non favorevole e le criticità aumentano significativamente prendendo in esame i movimenti franosi effettivamente manifestatisi negli ultimi anni, ubicati con maggiore frequenza entro il bacino del torrente San Lorenzo.

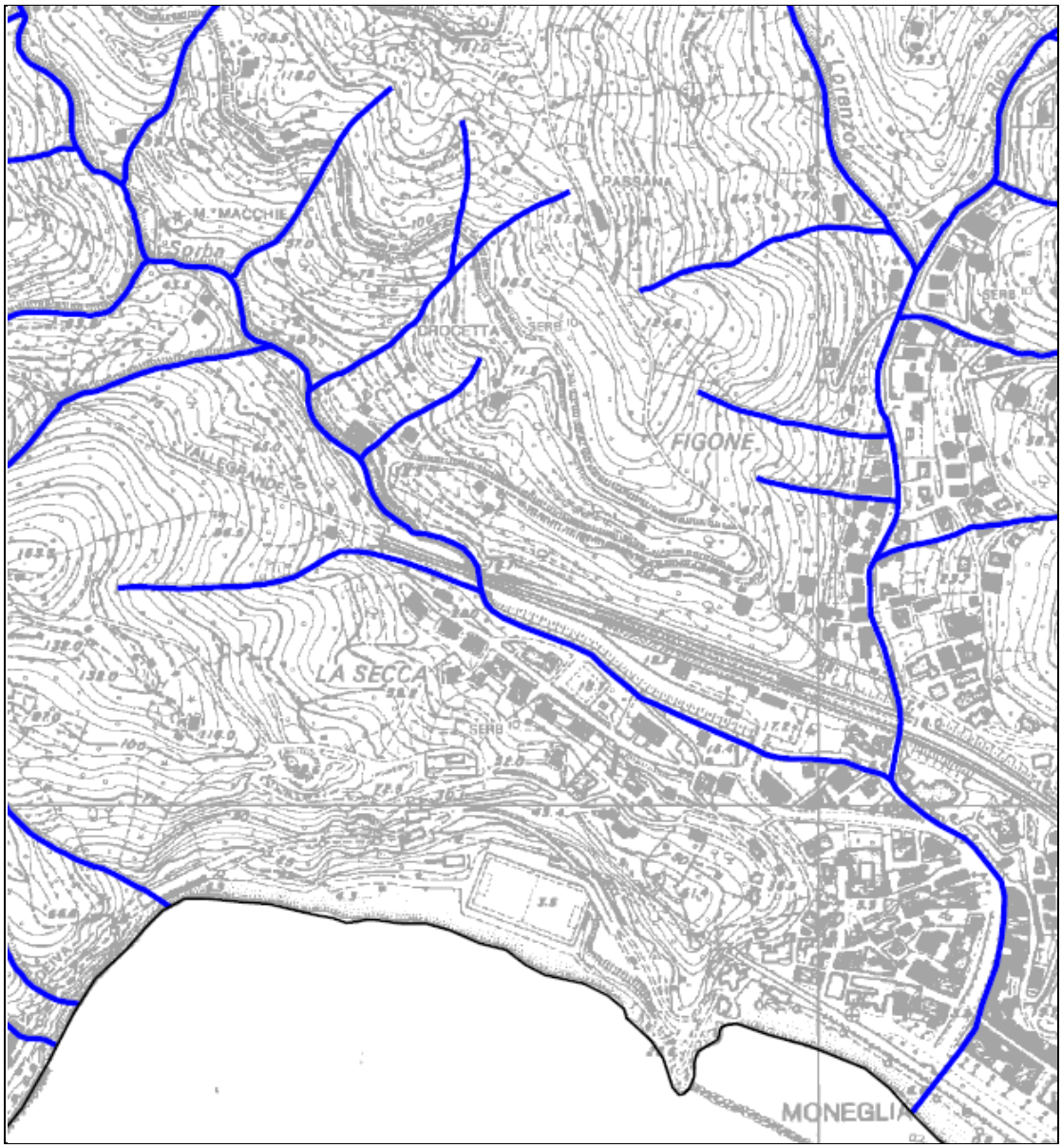
In prima analisi e ferma restando la necessità di prevedere adeguati sistemi di trattenuta del materiale trasportato dal torrente, è dunque parso più pertinente immaginare uno scolmatore per il torrente Sorba rispetto ad uno per il torrente San Lorenzo.

Nell'ambito di valutazioni più generali ed ancora in termini di trasporto solido, non si potrà inoltre prescindere dalle conseguenze provocate dallo scarico a mare dello scolmatore sull'ecosistema costiero e sugli assetti litoranei (geomorfologici- subacquei) ad oggi consolidati.

## 3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

In fase introduttiva si è provveduto a verificare l'inquadramento dell'area rispetto al Piano di Bacino vigente Ambito 17 – Torrente Bisagno e al Piano Urbanistico Comunale.
Dalla consultazione del Piano suddetto, dal quale sono estrapolate in stralcio le cartografie allegate, si sono ricavate le seguenti classificazioni.

Carta della Rete Idrografica: l'intervento non interferisce con rivi classificati nel reticolo idrografico




LEGENDA

Limite del bacino idrografico

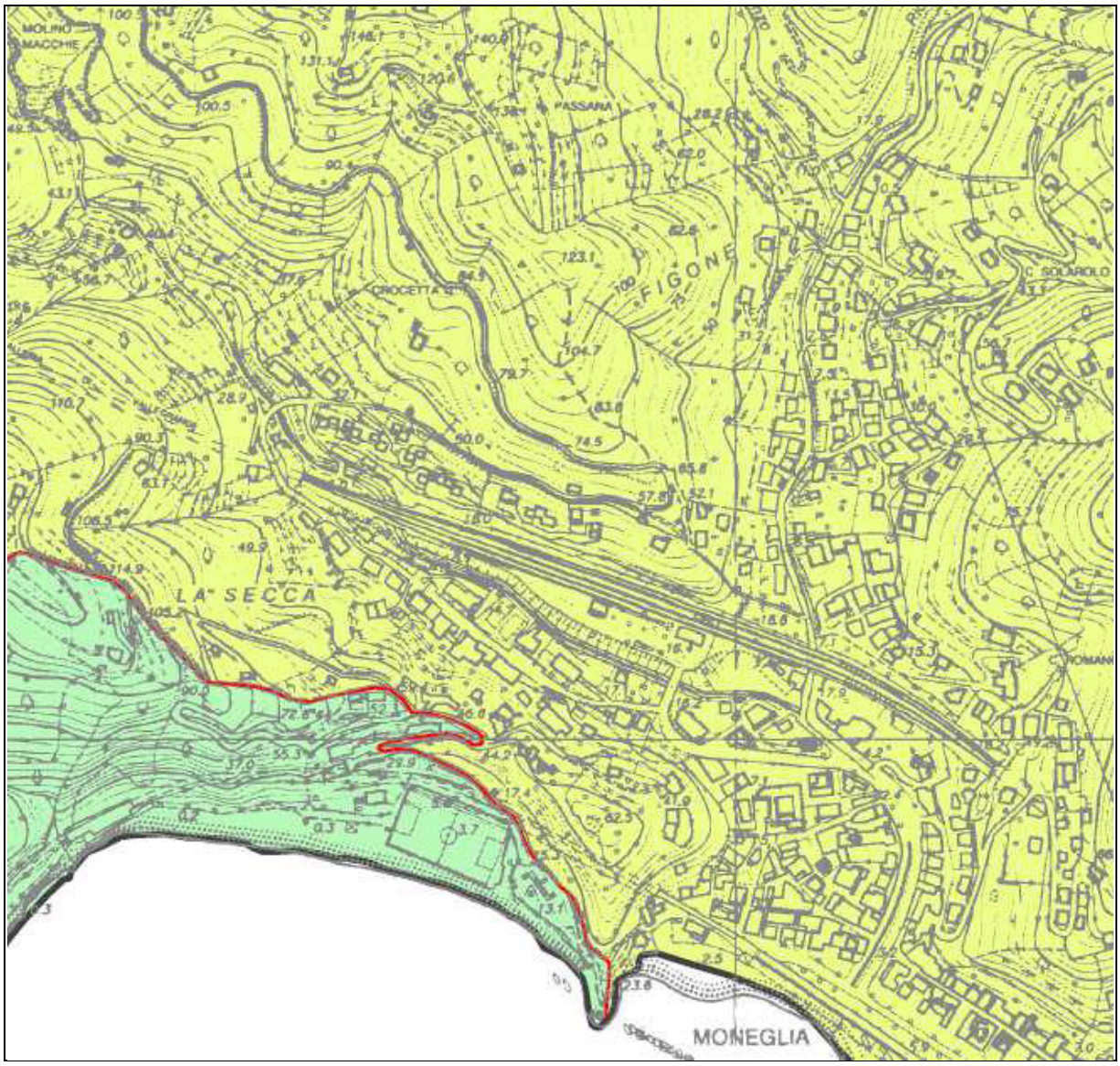
Reticolo idrografico

Carta della Suscettività al dissesto: la galleria è compresa in un'area a media suscettività al dissesto (Pg2) e, parzialmente, in un'area a suscettività al dissesto molto alta (Pg4).






Carta delle aree sottoposte a Vincolo Idrogeologico: l'area d'intervento è parzialmente sottoposta a Vincolo Idrogeologico




AREE SOTTOPOSTE A VINCOLO IDROGEOLOGICO

AREE NON SOTTOPOSTE A VINCOLO IDROGEOLOGICO

LIMITE DEL PIANO DI BACINO

## 4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Il versante in oggetto è caratterizzato sotto il profilo geolitologico, da Ovest verso Est, dal passaggio tra la Formazione delle Argille a palombini, i soprastanti Scisti della Val Lavagna nella facies zonata e le Arenarie di Monte Gottero (TAV. 2).

Mediamente le tre Formazioni propongono immersioni da W a SW dimostrando un passaggio di tipo stratigrafico "diritto".

In particolare le estese emergenze del substrato lungo il litorale e nell'incisione del rio Sorba, hanno consentito di attribuire le litologie presenti alla Formazione delle Argille a Palombini, che rappresentano il termine più antico della serie dei terreni che affiorano nella zona considerata.

Detta Formazione è costituita essenzialmente da scisti argillosi e argilloso marnosi con intercalazioni di calcare palombino e di arenaria molto fine.

Si riportano di seguito le caratteristiche dei litotipi che costituiscono le alternanze tipiche.

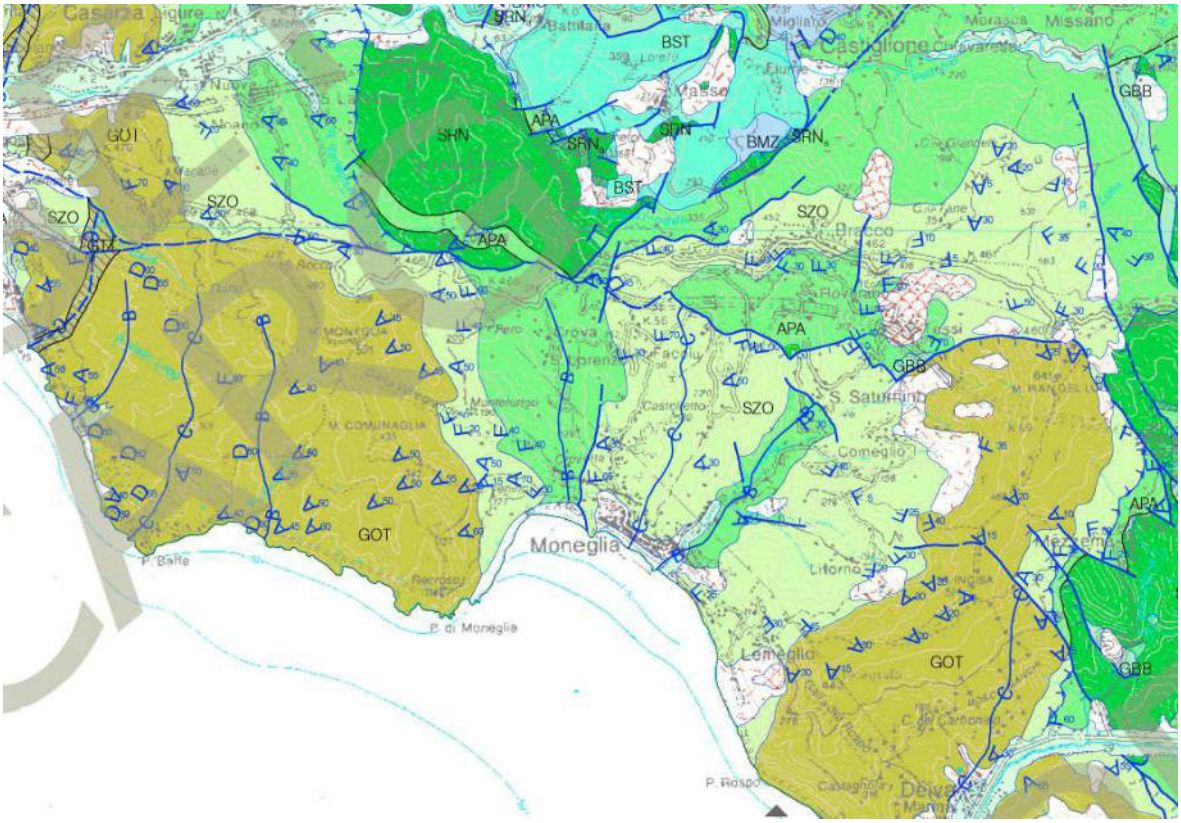
ARGILLOSCISTI: si tratta di scisti argillosi generalmente dotati di fittissimi piani di scistosità, lamellari, lucidi, taglienti; il colore prevalente è il grigio ed il grigio - nero, non mancano però colori grigio verdognoli; formano strati di potenza assai variabile, da pochi centimetri (talora addirittura sotto forma di veli millimetrici), a valori superiori al metro; la scistosità si presenta in qualche caso leggermente obliqua rispetto ai piani di stratificazione; presentano in talune zone fitti ripiegamenti, altrove invece sistemi di fratture trasversali ai piani di scistosità, tanto che ne deriva una divisibilità in scaglie irregolari ed in prismi allungati;

CALCARI PALOMBINI: formano le intercalazioni negli scisti argillosi ora descritti; si tratta generalmente di calcari compatti, a frattura concoide, di colore grigio in varie tonalità, fino a grigio nero; il colore di alterazione superficiale è biancastro, talvolta giallo terroso o bruno scuro se in presenza di manganese; formano strati di potenza variabile da pochi centimetri a più di un metro che presentano spesso forme di erosione ad incudine ed a clessidra e frequenti vene di calcite bianca, generalmente trasversali ai piani di stratificazione; nell'ambito delle variazioni di litofacies dei calcari palombini si è notato che vi sono dei tipi che presentano una notevole percentuale di

argilla così da dar luogo a calcari decisamente marnosi, talora scistosi; altrove l'arricchimento è nella componente detritica così da aversi dei calcari palombini chiaramente arenacei; questa seconda litofacies compare soprattutto nella parte alta della formazione; a volte lo strato di calcare palombino è mascherato, nella sua testata affiorante sugli spaccati, da una cotica terrosa manganesifera potente anche parecchi centimetri, che si attacca a tetto ed a letto a straterelli di natura argilloso – arenacea;

SCISTI ARGILLOSO - MARNOSI E MARNOSCISTI: si tratta di scisti argillosi rispettivamente con debole e notevole componente marnosa che, sia pure presenti generalmente in quantità subordinata, si associano e si alternano ai più tipici argilloscisti nell'ambito della formazione; si differenziano chiaramente da questi ultimi, oltre che per la composizione, anche per il colore biancastro di alterazione, talora giallo terroso, sul tipo cioè di quello dell'ardesia, e per la pasta più morbida al taglio fresco; il colore è grigio plumbeo e la scistosità è quasi sempre molto accentuata; talvolta, ove il palombino assume una litofacies decisamente marnosa, si può osservare il graduale passaggio dal calcare al marnoscisto e quindi all'argilloscisto; in alcuni luoghi il litotipo è del tutto simile a quello delle ardesie classiche, appartenenti a più alti piani del Cretaceo;

SCISTI ARGILLOSO - ARENACEI E ARENARIE: si tratta di scisti argillosi a notevole componente arenacea e di arenarie a grana molto fine, che formano rispettivamente pacchi e straterelli dotati spesso di fitta fratturazione trasversale; il Terranova ha notato che in taluni punti della formazione gli strati di fine arenaria e di arenoscisto si infittiscono fino a diventare nettamente predominanti sui calcari palombini, lo stesso Autore ha osservato ancora che nella parte inferiore ed in quella mediana della formazione sono decisamente prevalenti gli straterelli molto sottili di arenaria fine (della potenza di pochi centimetri) mentre nella parte alta si fanno sempre più frequenti quelli di arenaria compatta e manganesifera.




**ARENARIE DI MONTE GOTTERO** (Arenarie di Monte Zatta *Auct.*)

GOT Arenarie quarzoso-feldspatiche in strati e banchi alternate ad argilliti. Verso la base sono presenti intercalazioni decametriche di argilliti policrome sottilmente stratificate con strati di marne e lenti di brecciole (argilliti di M. Vallai *Auct*, $GOT_a$).

$GOT_a$ CAMPANIANO SUP. – PALEOCENE p.p.

GRUPPO DEL LAVAGNA

Comprende le seguenti formazioni: Scisti Zonati, Ardesie di M. Verzi e Scisti Manganesiferi, a composizione argillosc-marnoso-arenacea, con rapporti spaziali di non chiara risoluzione. Rapporti di parziale eteropia sono possibili, oltre che tra le tre formazioni, anche tra Scisti Manganesiferi e Argille a Palombini e tra Scisti Zonati e la porzione inferiore delle Arenarie di Monte Gottero.

SZO **SCISTI ZONATI**
Torbiditi siltoso-arenacee in strati sottili con rari strati di marne localmente anche di spessore notevole.
CAMPANIANO SUP.

**ARDESIE DI MONTE VERZI**

AMV Torbiditi marnose in strati e banchi con caratteristica scistosità ardesiaca intercalate ad argilliti grigie e torbiditi siltoso-arenacee in strati da sottili a medi, localmente prevalenti.

$AMV_a$ Litofacies arenacea: torbiditi arenacee in strati e banchi alternate ad argilliti grigie scure e a marne ardesiache in strati da spessi a molto spessi (arenarie di Cogorno-Cavi, $AMV_a$).
CAMPANIANO SUP. - MAASTRICHTIANO INF. p.p.

**SCISTI MANGANESIFERI**

SMG Argilliti finemente fogliettate di colore grigio-bruno con patine di ossidi di Fe e Mn, con rari livelli di calciluti grigie ("pseudopalombini").
SANTONIANO ? -CAMPANIANO

**ARGILLE A PALOMBINI**

APA Argilliti grigie e siltiti intercalate a strati di calcare micritico di colore grigio scuro (palo mbino), raramente a base calcarenitica; verso il tetto gli strati di palombino possono ma ncare.
Olistoliti rari di serpentiniti (sr) e basalti (**β**); intercalazioni alla base di calcari a Calpionelle (cc) e gabbri (**Γ**).
HAUTERIVIANO SUP. – SANTONIANO SUP

**CALCARI A CALPIONELLE**

CCL Calciluti bianche o grigio chiare, con rare selci, con subordinate intercalazioni di argilliti, localmente marnose, più abbondanti verso il tetto.
TITONIANO SUP. – VALANGINIANO INF.

TAV. 2: STRALCIO DI CARTA GEOLOGICA (APAT)

Le condizioni morfologiche dell'immediato entroterra e delle colline che risalgono verso la statale del Bracco evidenziano la tipica situazione di sistemazione a terrazzi, con coltri di copertura generalmente di spessore inferiore a 3-4m.

Nella zona costiera si rilevano invece le alte falesie rocciose generalmente in erosione e lento arretramento.

Il litorale cittadino di Moneglia ospita la foce dei due principali corsi d'acqua che attraversano il territorio comunale: il torrente Bisagno (zona a levante) e il torrente San Lorenzo (zona a Ponente).

Ivi si configura una piana, di contenute dimensioni e completamente urbanizzata, generata dall'interazione e interdigitazione tra i sedimenti alluvionali e le deposizioni marine.

Sotto il profilo geomorfologico si sottolinea come un censimento delle frane manifestatesi negli ultimi anni a seguito degli eventi alluvionali accaduti (cfr. carta delle criticità allegata al Piano di Emergenza in itinere) evidenzia un forte numero di dissesti (frane di scivolamento, debris flow, ecc.) soprattutto sui versanti del torrente San Lorenzo, tutti esterni alle perimetrazioni di alta suscettività del Piano di Bacino, molti direttamente incombenti sul corso d'acqua e sui suoi affluenti.

Gli interventi connessi a tali dissesti, succedutisi nel tempo, sono stati finalizzati al ripristino di infrastrutture per cui permangono tuttora le pericolosità insite con i cinematismi.

Analizzando il progetto in rapporto alle condizioni geomorfologiche specifiche delle aree, si possono fornire questi ulteriori elementi.

Il torrente San Lorenzo scorre sulla piana di fondovalle ed attraversa tombinato la piana retrostante la linea di costa ascrivibile evidentemente a spiagge.

Il materasso di copertura assume spessori da plurimetrici (a monte) a circa decametrici (a valle) così come sarà meglio dettagliato nel capitolo riguardante la campagna geognostica.

Ivi la falda è attestata circa alla quota del livello del mare tuttavia notizie storiche riferiscono di escursioni di entità metrica.

Laddove inciso (a monte della tombinatura) i versanti risalgono con pendenza variabile, più acclivi in destra orografica e più dolci sul versante opposto.

In sponda destra prevalgono rimaneggiamenti e riporti derivanti dalla realizzazione della strada e dalla costruzioni dei limitrofi edifici; in sponda opposta si alternano aree rimaneggiate a terrazzamenti agricoli.

In corrispondenza della tombinatura si manifesta una interdigitazione tra i depositi di spiaggia marina e quelli alluvionali che configurano una conoide torrentizia condizionata dalla originaria divagazione del corso d'acqua.

Lungo il rio Sorba si riscontrano modificazioni al suo assetto originario dettate dai lavori per la costruzione della limitrofa linea ferroviaria.

Il greto del rio scorre in roccia affiorante e significativi affioramenti sono stati osservati in sponda sinistra a monte del ponte ferroviario; a valle sono invece presenti alti muri che contengono i riporti dell'infrastruttura e le aree attigue.

In sponda destra il versante propone una maggiore acclività ed anche in questo caso muri limitrofi alla pedonale che corre in fregio al rio mascherano la situazione stratigrafica tuttavia è lecito immaginare la presenza di coltri di spessore contenuto entro i 3-5m a copertura del profilo roccioso.

Sul versante orografico destro è inoltre necessario rilevare la presenza di edifici, infrastrutture e sistemazioni che hanno comportato modificazioni e rimaneggiamenti nei primi strati del sottosuolo.

Sul lato meridionale della dorsale che verrà attraversata dal canale scolmatore gli aspetti geomorfologici presentano una condizione mediamente di roccia affiorante e subaffiorante su pendii dotati di significativa acclività; ivi gli insediamenti, per quanto significativi, appaiono sparsi e discontinui.

In prossimità della località la Secca e del campo sportivo si osserva il taglio morfologico generato dal passaggio dell'originaria sede ferroviaria ora "strada delle gallerie".

## 5. SONDAGGI GEOGNOSTICI

Come già anticipato sono stati eseguiti n°3 sondaggi a carotaggio continuo, denominati S1 – S2 – S3 e spinti rispettivamente alle seguenti profondità:

S1: fino a -15m da pc (in corrispondenza della tombinatura esistente)

S2: fino a -12m da pc (imbocco scolmatore rio Sorba)

S3: fino a -25m da pc (sbocco scolmatore rio Sorba)

.

L'analisi visuale dei campioni di terreno e di roccia prelevati mediante il carotaggio ha consentito la ricostruzione della stratigrafia di cui si propone di seguito una sintesi.

| **SONDAGGIO S1** | |
|---|---|
| PROFONDITA' (m) | DESCRIZIONE |
| 0.00-3.80 | Riporti e rimaneggiamenti, caratterizzati da una frazione grossolana (ghiaia e ciottoli) costituiti da frammenti sub angolosi di roccia e laterizi, la frazione fine è costituita da sabbia fine con limo e argilla poco plastici subordinati.<br>Colore bruno-grigio |
| 3.80-5.70 | Sedimenti alluvionali costituiti da ghiaia ed in subordine ciottoli a morfologia prevalentemente sub angolosa, in percentuali minori sono presenti sabbia e frazione coesiva mediamente plastica (limo argilloso).<br>Colore bruno. |
| 5.70-8.00 | Depositi alluvionali frammisti a coltre colluviale , costituiti da una prevalente frazione granulare ghiaiosa, a morfologia sub angolosa, in matrice limoso-argillosa.<br>Colore bruno ocra |
| 8.00-13.00 | Eluvio argilloscistoso con relitti di struttura (ghiaia limoso-argillosa con sabbia).<br>Colore grigio |
| 13.00-15.00 | Substrato roccioso alterato e fratturato costituito da alternanze di argilliti/argilloscisti, calcari marnosi (Formazione delle Argille a Palombini). |

| **SONDAGGIO S2** | |
|---|---|
| PROFONDITA' (m) | DESCRIZIONE |
| 0.00 – 3.80 | Riporti e coltre rimaneggiata, granulometria eterometrica ghiaia limoso- argillosa con sabbia.<br>Colore bruno-grigio |
| 3.80 – 12.00 | Substrato roccioso mediamente alterato e fratturato costituito da alternanze di argilliti/argilloscisti, calcari marnosi (Formazione delle Argille a Palombini). Sono presenti lnterstrati argilloscistosi molto alterati e talvolta di consistenza terrosa. |

| **SONDAGGIO S3** | |
|---|---|
| PROFONDITA' (m) | DESCRIZIONE |
| 0.00 – 5.70 | Riporti e coltre rimaneggiata, granulometria eterometrica ghiaia limosa con sabbia sono presenti anche ciottoli e frammenti di blocchi (lapidei – cementizi-laterizi)<br>Colore bruno |
| 5.70 - 6.20 | Cappellaccio di alterazione del substrato, costituito da roccia completamente fratturata |
| 6.20-25.00 | Substrato roccioso mediamente alterato e molto fratturato costituito da alternanze di argilliti/argilloscisti, calcari marnosi i (Formazione delle Argille a Palombini). Sono presenti interstrati argilloscistosi molto alterati e talvolta di consistenza terrosa in particolare allaseguenti profondità: 20.50-23.00m da pc |

## 5.1 CLASSIFICAZIONE RQD (ROCK QUALITY DESIGNATION INDEX)

Dall'analisi degli spezzoni di roccia prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi è stato possibile effettuare la classificazione RQD (Rock Quality Designation Index – Deere, 1964).

Tale sistema classificativo è volto ad ottenere informazioni circa la qualità della roccia a partire dalla percentuale di recupero in una carota di sondaggio attraverso la relazione:

$$RQD = \Sigma L_c / L_t * 100$$

Lc = somma degli spezzoni di carota > 100 mm
Lt = lunghezza totale del tratto in cui si è misurata Lc

| RQD | QUALITA' DELL'AMMASSO |
|---|---|
| <25 | MOLTO SCADENTE |
| 25-50 | SCADENTE |
| 50-75 | MEDIOCRE |
| 75-90 | BUONA |
| 90-100 | MOLTO BUONA |

Tabella di riferimento

Valutazione RQD per ml: SONDAGGIO S1

| PROFONDITA'(m da pc) | RQD (%) | QUALITA' DELL'AMMASSO |
|---|---|---|
| 13.00-14.00 | 0 | MOLTO SCADENTE |
| 14.00-15.00 | 18 | MOLTO SCADENTE |

$RQD_{medio}$: <25 %

Qualità dell'ammasso: MOLTO SCADENTE

Valutazione RQD per ml: SONDAGGIO S2

| PROFONDITA'(m da pc) | RQD (%) | QUALITA' DELL'AMMASSO |
|---|---|---|
| 4.00-5.00 | 0 | MOLTO SCADENTE |
| 5.00-6.00 | 50 | SCADENTE |
| 6.00-7.00 | 0 | MOLTO SCADENTE |
| 7.00-8.00 | 20 | MOLTO SCADENTE |
| 8.00-9.00 | 46 | SCADENTE |
| 9.00-10.00 | 15 | MOLTO SCADENTE |
| 10.00-11.00 | 70 | MEDIOCRE |
| 11.00-12.00 | 25 | MOLTO SCADENTE |

$RQD_{MIN}$ 0 $RQD_{MAX}$ 70

$RQD_{medio}$:28 %

Qualità dell'ammasso: SCADENTE

Valutazione RQD per ml: SONDAGGIO S3

| PROFONDITA'(m da pc) | RQD (%) | QUALITA' DELL'AMMASSO |
|---|---|---|
| 6.20-7.00 | 17 | MOLTO SCADENTE |
| 7.00-8.00 | 21 | MOLTO SCADENTE |
| 8.00-9.00 | 28 | SCADENTE |
| 9.00-10.00 | 0 | MOLTO SCADENTE |
| 10.00-11.00 | 25 | MOLTO SCADENTE |
| 11.00-12.00 | 23 | MOLTO SCADENTE |
| 12.00-13.00 | 10 | MOLTO SCADENTE |
| 13.00-14.00 | 10 | MOLTO SCADENTE |
| 14.00-15.00 | 10 | MOLTO SCADENTE |
| 15.00-16.00 | 37 | SCADENTE |
| 16.00-17.00 | 0 | MOLTO SCADENTE |
| 17.00-18.00 | 0 | MOLTO SCADENTE |
| 18.00-19.00 | 22 | MOLTO SCADENTE |
| 19.00-20.00 | 10 | MOLTO SCADENTE |
| 20.00-21.00 | 0 | MOLTO SCADENTE |
| 21.00-22.00 | 0 | MOLTO SCADENTE |
| 22.00-23.00 | 0 | MOLTO SCADENTE |
| 23.00-24.00 | 40 | SCADENTE |
| 24.00-25.00 | 0 | MOLTO SCADENTE |

$RQD_{MIN}$ 0 $RQD_{MAX}$ 40

$RQD_{medio}$: <25%

Qualità dell'ammasso: MOLTO SCADENTE

## 5.2 CARATTERISTICHE DELLE DISCONTINUITA'

Le discontinuità presenti negli spezzoni di roccia prelevati durante i sondaggi sono stati caratterizzate mediante di un dettagliato rilevamento geomeccanico e sono risultate molto simili in tutte e tre le prospezioni.

SONDAGGIO S1

| Set | Incl. (°) | Spaziatura (m) | Morfologia | JRC | Grado di alterazione | Apertura (mm) | Riempimento |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S0 | 0-20° | <0.06<br>0.20 – 0.60 | Piana<br>Discontinua | 5-9 | Mod. Alterata<br>Molto Alterata | 1-5<br>>5 | Assente/<br>Calcitico<br>/Plastico |
| F1 | Subvert. | - | Discontinua | 11-13 | Mod. Alterata<br>Alterata | 1-5<br>>5 | Assente/Calcitico |

SONDAGGIO S2

| Set | Incl. (°) | Spaziatura (m) | Morfologia | JRC | Grado di alterazione | Apertura (mm) | Riempimento |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S0 | 20-30° | 0.20 – 0.60 | Discontinua | 9-13 | Mod. Alterata | 1-5 | Assente/Plastico |
| F1 | Subvert. | - | Discontinua | 11-15 | Molto Alterata | 1-5 | Assente/Plastico (tracce di ossidazione) |
| F2 | 50-60° | 0.20 – 0.60<br>0.06-0.20 | Piana | 5-7 | Mod. Alterata<br>Alterata | 1-5<br>>5<br>0.1-1.0 | Assente/Calcitico |

SONDAGGIO S3

| Set | Incl. (°) | Spaziatura (m) | Morfologia | JRC | Grado di alterazione | Apertura (mm) | Riempimento |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S0 | 10-20° | 0.06 – 0.20 | Ondulata/Piana | 5-11 | Mod. Alterata | 0.1-1.0/1-5 | Assente/Plastico |
| F1 | Subvert. | - | Piana (argilloscisto) /Discontinua (calcare marnoso) | 5-7<br>13/17 | Molto Alterata | >5<br>1-5 | Assente/Plastico (tracce di ossidazione)/Calcitica |
| F2 | 70° | 0.06 – 0.20 | Ondulata | 7-9 | Mod. Alterata<br>Alterata | 1-5<br>>5<br>0.1-1.0 | Assente/Calcitico |

### 5.3 PROVE IN SITU: STANDARD PENETRATION TEST

Durante l'avanzamento della perforazione S1 sono state eseguite le seguenti prove SPT:

S1 SPT1 (1.50-1.95): 7/7/9

S1 SPT2 (3.00-3.45): 7/9/8

S1 SPT3 (4.50-4.95): 4/8/11

S1 SPT4 (6.00-6.45): 16/30/42

S1 SPT5 (7.50-7.95): 25/30/41

S1 SPT6 (9.00-9.45): 29/34/29

Dall'elaborazione delle prove si sono ricavati i seguenti parametri geotecnici rappresentativi, si precisa che il valore di NSPT è stato corretto in funzione della presenza di falda idrica impostata alla quota dell'alveo del torrente San Lorenzo.

**SONDAGGIO S1**

| | Nspt | Prof. Strato (m) |
|---|---|---|
| S1 SPT1 | 16 | 1.95 |
| S1 SPT2 | 17 | 3.45 |
| S1 SPT3 | 19 | 4.95 |
| S1 SPT4 | 72 | 6.45 |
| S1 SPT5 | 71 | 7.95 |
| S1 SPT6 | 63 | 9.45 |

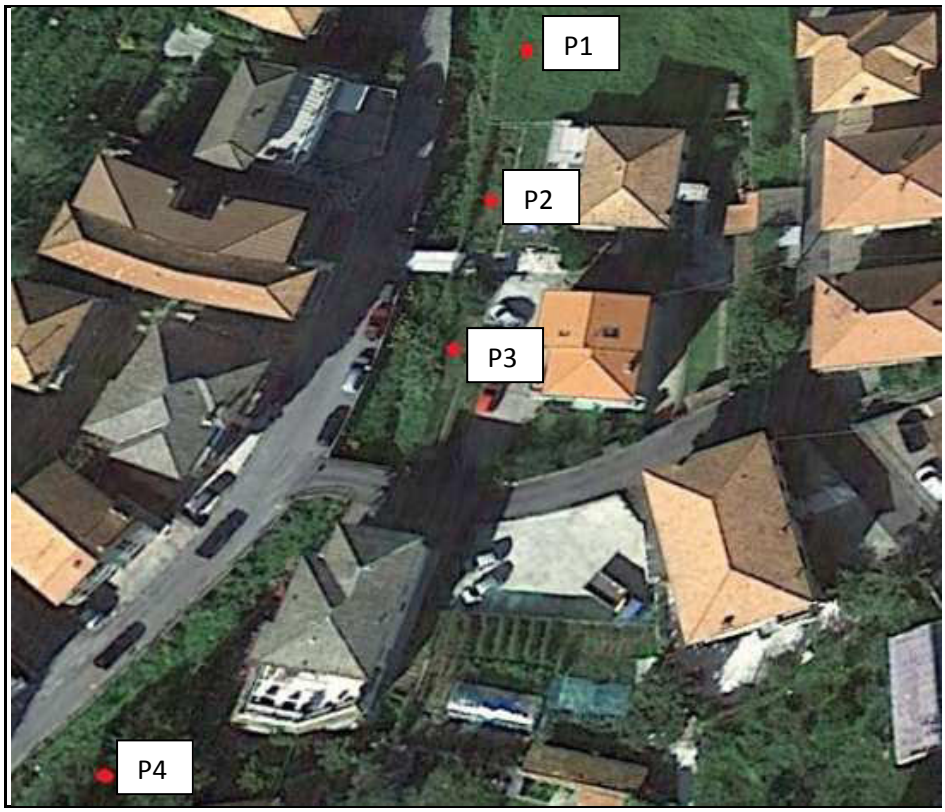
| Densità relativa (Gibbs & Holtz) (%) | Classificazione AGI 1977 | Peso di volume (Meyerhof) (t/m³) | Peso di volume sat (Terzaghi-Peck) (t/m³) | Angolo d'attrito (Peck – Hanson - Meyerhof (°) | Modulo di Young (Schultze) (Kg/cm²) | Poisson (A.G.I.) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 89 | MODERATAMENTE ADDENSATO | 1.91 | 1.96 | 31.6 | 190 | 0,32 |
| 78 | MODERATAMENTE ADDENSATO | 1.93 | 1.96 | 31.9 | 200 | 0,32 |
| 72 | MODERATAMENTE ADDENSATO | 1.93 | 1.96 | 31.9 | 200 | 0,32 |
| 100 | MOLTO ADDENSATO | 2.22 | 2.5 | 39.4 | 500 | 0,30 |
| 99 | MOLTO ADDENSATO | 2.21 | 2.5 | 39.3 | 510 | 0,30 |
| 89 | MOLTO ADDENSATO | 2.20 | 2.5 | 38.1 | 461 | 0,30 |

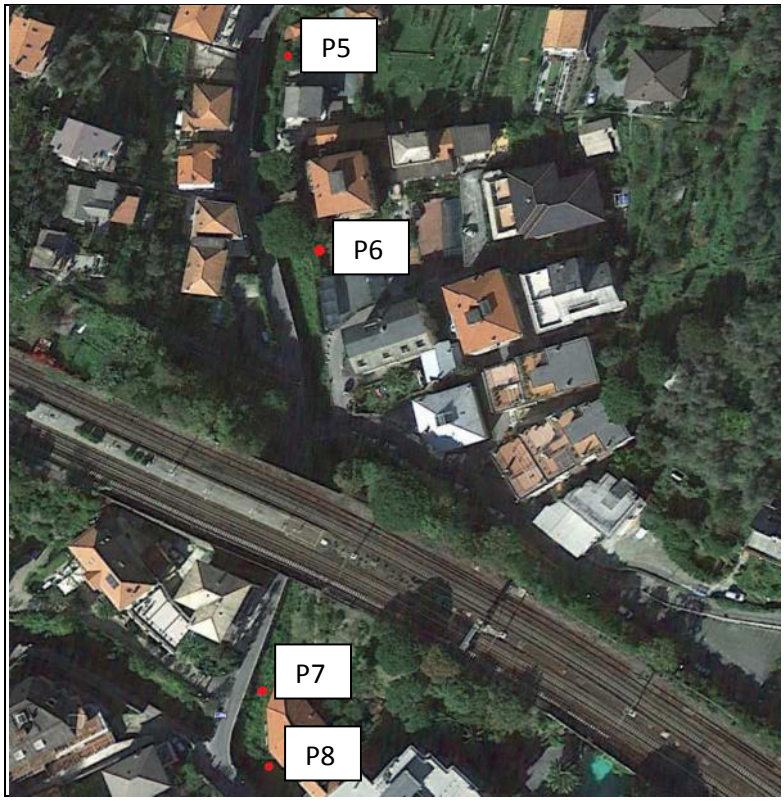
## 6. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE MEDIO-LEGGERE

Come già anticipato sono state eseguite N°8 prove penetrometriche dinamiche medio leggere in corrispondenza delle opere previste lungo l'argine sinistro.

L'ubicazione delle stesse è stata condizionata dall'accessibilità alle proprietà private presenti lungo l'asta torrentizia.

Quota di rifiuto P1: -2.20m da pc
Quota di rifiuto P2: -2.20m da pc
Quota di rifiuto P3: -1.60m da pc
Quota di rifiuto P4: -2.10m da pc
Quota di rifiuto P5: -6.10m da pc (aste bagnate da -3.30m da pc)
Quota di rifiuto P6: -6.00m da pc (aste bagnate da -3.70m da pc)
Quota di rifiuto P7: -2.00m da pc (aste bagnate da -0.90m da pc)
Quota di rifiuto P8: -1.00m da pc (aste bagnate da -0.80m da pc)


P1
P2
P3
P4


P5
P6
P7
P8

Le prospezioni sono state eseguite con il penetro metro dinamico Deep Drill DM30(60°) le cui caratteristiche tecnico-strumentali sono di seguito specificate:

| | |
|---|---|
| *Riferimento Norme* | *DIN 4094* |
| *Peso Massa battente* | *30 Kg* |
| *Altezza di caduta libera* | *0.20m* |
| *Peso sistema di battuta* | *13Kg* |
| *Diametro punta conica* | *35.70mm* |
| *Area di base punta* | *10cm²* |
| *Lunghezza delle aste* | *1m* |
| *Peso aste a metro* | *2.93Kg/m* |
| *Profondità giunzione prima asta* | *0.80m* |
| *Avanzamento punta* | *0.10 m* |
| *Numero colpi per punta* | *N(10)* |
| *Coefficiente Correlazione* | *0.766* |
| *Angolo di apertura punta* | *60°* |

La correlazione tra i valori $N_{10}$ e quelli $N_{SPT}$ è espressa dalla seguente relazione: $\mathbf{N_{SPT} = \beta_t N_{10}}$

$\beta_t$ = $Q/Q_{SPT}$
Q = Energia specifica per colpo
$Q_{SPT}$ = Energia riferita alla prova SPT
L'energia specifica per colpo viene calcolata con la relazione:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

M = Peso massa battente
M' = Peso aste
H = Altezza di caduta
A = Area base punta conica
δ = Passo di avanzamento

La valutazione della Resistenza Dinamica alla Punta Rpd è effettuata attraverso la Formula degli Olandesi:

$$Rpd = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

Rpd = Resistenza dinamica punta (area A)
e = Infissione media per colpo (δ / N)
M = Peso massa battente (altezza caduta H)
P = Peso totale aste e sistema battuta.
Le elaborazioni sono state effettuate mediante l'applicazione di correlazione note in letteratura in funzione del modello geologico stratigrafico redatto. Si riportano quindi i risultati ottenuti:

PROVA P1

Densità relativa

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Densità relativa (%) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 2,96 | DA PC A 1,90 | Gibbs & Holtz 1957 | 40 |

Classificazione AGI

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Classificazione AGI |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 2,96 | DA PC A 1,90 | Classificazione A.G.I. 1977 | SCIOLTO |

Peso unità di volume

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma (t/m³) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO VI | 2,96 | DA PC A 1,90 | Meyerhof ed altri | 1,50 |

Peso unità di volume saturo

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma Saturo (t/m³) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 2,96 | DA PC A 1,90 | Terzaghi-Peck | 1,87 |

Angolo di resistenza al taglio

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Angolo d'attrito (°) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 2,96 | DA PC A 1,90 | Meyerhof (1956) | 22.0 |

Modulo di Young

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Modulo di Young (Kg/cm²) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 2,96 | DA PC A 1,90 | Schmertmann (1978) | <25 |

Modulo di Poisson

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Poisson |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 2,96 | DA PC A 1,90 | (A.G.I.) | 0,34 |

PROVA P2

Densità relativa

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Densità relativa (%) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 3.23 | DA PC A 2.10 | Gibbs & Holtz 1957 | 41 |

Classificazione AGI

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Classificazione AGI |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 3.23 | DA PC A 2.10 | Classificazione A.G.I. 1977 | SCIOLTO |

Peso unità di volume

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma ($t/m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 3.23 | DA PC A 2.10 | Meyerhof ed altri | 1.55 |

Peso unità di volume saturo

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma Saturo ($t/m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 3.23 | DA PC A 2.10 | Terzaghi-Peck | 1.88 |

Angolo di resistenza al taglio

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Angolo d'attrito (°) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 3.23 | DA PC A 2.10 | Meyerhof (1956) | 22.5 |

Modulo di Young

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Modulo di Young ($Kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 3.23 | DA PC A 2.10 | Schmertmann (1978) | 25 |

Modulo di Poisson

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Poisson |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 3.23 | DA PC A 2.10 | (A.G.I.) | 0.34 |

PROVA P3

Densità relativa

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Densità relativa (%) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 2.81 | DA PC A 1.40 | Gibbs & Holtz 1957 | 40 |

Classificazione AGI

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Classificazione AGI |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 2.81 | DA PC A 1.40 | Classificazione A.G.I. 1977 | SCIOLTO |

Peso unità di volume

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma ($t/m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 2.81 | DA PC A 1.40 | Meyerhof ed altri | 1.50 |

Peso unità di volume saturo

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma Saturo ($t/m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 2.81 | DA PC A 1.40 | Terzaghi-Peck | 1.87 |

Angolo di resistenza al taglio

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Angolo d'attrito (°) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 2.81 | DA PC A 1.40 | Meyerhof (1956) | 21.8 |

Modulo di Young

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Modulo di Young ($Kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 2.81 | DA PC A 1.40 | Schmertmann (1978) | <25 |

Modulo di Poisson

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Poisson |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 2.81 | DA PC A 1.40 | (A.G.I.) | 0.34 |

PROVA P4

Densità relativa

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Densità relativa (%) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 4.35 | DA PC A 1.90 | Gibbs & Holtz 1957 | 48 |

Classificazione AGI

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Classificazione AGI |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 4.35 | DA PC A 1.90 | Classificazione A.G.I. 1977 | SCIOLTO |

Peso unità di volume

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma ($t/m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 4.35 | DA PC A 1.90 | Meyerhof ed altri | 1.58 |

Peso unità di volume saturo

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma Saturo ($t/m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 4.35 | DA PC A 1.90 | Terzaghi-Peck | 1.90 |

Angolo di resistenza al taglio

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Angolo d'attrito (°) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 4.35 | DA PC A 1.90 | Meyerhof (1956) | 23.2 |

Modulo di Young

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Modulo di Young ($Kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 4.35 | DA PC A 1.90 | Schmertmann (1978) | 35 |

Modulo di Poisson

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Poisson |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 4.35 | DA PC A 1.90 | (A.G.I.) | 0.34 |

PROVA P5

Densità relativa

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Densità relativa (%) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 1.7 | DA PC A 2.70 | Gibbs & Holtz 1957 | 29 |
| LIVELLO S | 13.14 | -2.70 A 6.00 | Gibbs & Holtz 1957 | 68 |

Classificazione AGI

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Classificazione AGI |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 1.7 | DA PC A 2.70 | Classificazione A.G.I. 1977 | SCIOLTO |
| LIVELLO S | 13.14 | -2.70 A 6.00 | Classificazione A.G.I. 1977 | MODERATAMENTE ADDENSATO |

Peso unità di volume

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma (t/m³) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 1.7 | DA PC A 2.70 | Meyerhof ed altri | 1.45 |
| LIVELLO S | 13.14 | -2.70 A 6.00 | Meyerhof ed altri | 1.83 |

Peso unità di volume saturo

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma Saturo (t/m³) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 1.7 | DA PC A 2.70 | Terzaghi-Peck | 1.87 |
| LIVELLO S | 13.14 | -2.70 A 6.00 | Terzaghi-Peck | 1.94 |

Angolo di resistenza al taglio

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Angolo d'attrito (°) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 1.7 | DA PC A 2.70 | Meyerhof (1956) | 20.5 |
| LIVELLO S | 13.14 | -2.70 A 6.00 | Peck-Hanson | 30.7 |

Modulo di Young

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Modulo di Young (Kg/cm²) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 1.7 | DA PC A 2.70 | Schmertmann (1978) | <25 |
| LIVELLO S | 13.14 | -2.70 A 6.00 | Schultze | 156 |

Modulo di Poisson

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Poisson |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 1.7 | DA PC A 2.70 | (A.G.I.) | 0.34 |
| LIVELLO S | 13.14 | -2.70 A 6.00 | (A.G.I.) | 0.33 |

PROVA P6

Densità relativa

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Densità relativa (%) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 4.2 | DA PC A 3.20 | Gibbs & Holtz 1957 | 45 |
| LIVELLO S | 13.5 | -3.20 A 5.90 | Gibbs & Holtz 1957 | 68 |

Classificazione AGI

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Classificazione AGI |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 4.2 | DA PC A 3.20 | Classificazione A.G.I. 1977 | POCO ADDENSATO |
| LIVELLO S | 13.5 | -3.20 A 5.90 | Classificazione A.G.I. 1977 | MODERATAMENTE ADDENSATO |

Peso unità di volume

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma ($t/m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 4.2 | DA PC A 3.20 | Meyerhof ed altri | 1.50 |
| LIVELLO S | 13.5 | -3.20 A 5.90 | Meyerhof ed altri | 1.84 |

Peso unità di volume saturo

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma Saturo ($t/m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 4.2 | DA PC A 3.20 | Terzaghi-Peck | 1.88 |
| LIVELLO S | 13.5 | -3.20 A 5.90 | Terzaghi-Peck | 1.94 |

Angolo di resistenza al taglio

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Angolo d'attrito (°) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 4.2 | DA PC A 3.20 | Meyerhof (1956) | 21.2 |
| LIVELLO S | 13.5 | -3.20 A 5.90 | Peck-Hanson | 30.9 |

Modulo di Young

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Modulo di Young ($Kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 4.2 | DA PC A 3.20 | Schmertmann (1978) | <25 |
| LIVELLO S | 13.5 | -3.20 A 5.90 | Schultze | 160 |

Modulo di Poisson

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Poisson |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 4.2 | DA PC A 3.20 | (A.G.I.) | 0.34 |
| LIVELLO S | 13.5 | -3.20 A 5.90 | (A.G.I.) | 0.33 |

PROVA P7

Densità relativa

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Densità relativa (%) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO S | 10.4 | DA PC A 1.90 | Gibbs & Holtz 1957 | 74 |

Classificazione AGI

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Classificazione AGI |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO S | 10.4 | DA PC A 1.90 | Classificazione A.G.I. 1977 | MODERATAMENTE ADDENSATO |

Peso unità di volume

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma ($t/m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO S | 10.4 | DA PC A 1.90 | Meyerhof ed altri | 1.74 |

Peso unità di volume saturo

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma Saturo ($t/m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO S | 10.4 | DA PC A 1.90 | Terzaghi-Peck | 1.92 |

Angolo di resistenza al taglio

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Angolo d'attrito (°) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO S | 10.4 | DA PC A 1.90 | Peck-Hanson | 30.0 |

Modulo di Young

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Modulo di Young ($Kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO S | 10.4 | DA PC A 1.90 | Schmertmann (1978) | 135 |

Modulo di Poisson

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Poisson |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO S | 10.4 | DA PC A 1.90 | (A.G.I.) | 0.33 |

PROVA P8

Densità relativa

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Densità relativa (%) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO S | 9.13 | DA PC A 0.90 | Gibbs & Holtz 1957 | 73 |

Classificazione AGI

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Classificazione AGI |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO S | 9.13 | DA PC A 0.90 | Classificazione A.G.I. 1977 | POCO ADDENSATO |

Peso unità di volume

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma ($t/m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO S | 9.13 | DA PC A 0.90 | Meyerhof ed altri | 1.70 |

Peso unità di volume saturo

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma Saturo ($t/m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO S | 9.13 | DA PC A 0.90 | Terzaghi-Peck | 1.91 |

Angolo di resistenza al taglio

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Angolo d'attrito (°) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO S | 9.13 | DA PC A 0.90 | Peck-Hanson | 29.6 |

Modulo di Young

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Modulo di Young ($Kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO S | 9.13 | DA PC A 0.90 | Schmertmann (1978) | 108 |

Modulo di Poisson

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Poisson |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO S | 9.13 | DA PC A 0.90 | (A.G.I.) | 0.34 |

## 7. PROSPEZIONE SISMICA

Premettendo che la scelta dell'ubicazione delle prospezioni è stata fortemente condizionata dalle urbanizzazioni presenti si precisa che l'indagine è consistita in quattro prove di tomografia sismica a rifrazione per ottenere la distribuzione 2D delle velocità delle onde compressionali (Vp), tre prove per la determinazione delle velocità delle onde trasversali (Vs) e di quattro prove MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) per ottenere il profilo verticale 1D (sondaggio verticale) delle velocità Vs, che hanno consentito di stimare il parametro Vs30.

*Figura 1*




*Posizionamento delle quattro stese S1-S4. Per le stese S1 -S3 si sono adottati sia geofoni verticali che orizzontali, per la stesa S4 solo verticali.*

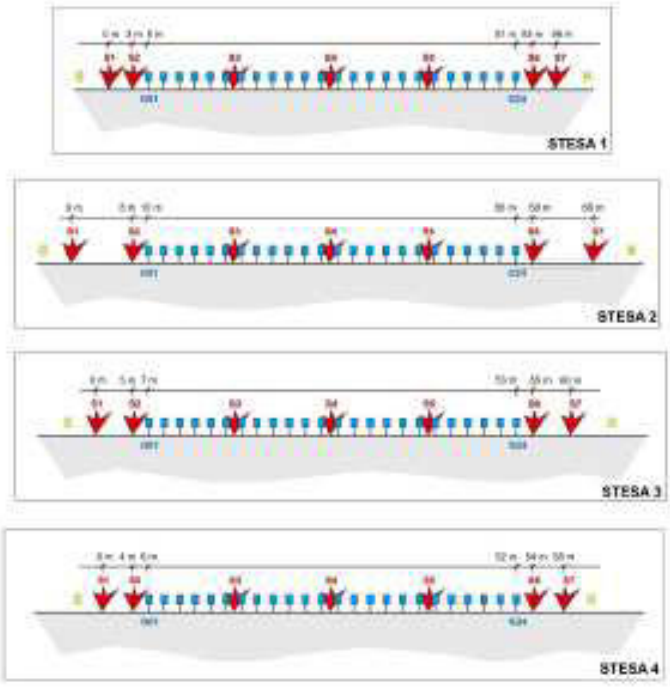
Per l'indagine è stato utilizzato un sismometro DMT Summit a 24 canali, dinamica 24 bit, geofoni verticali a 4.5 Hz, mazza di battuta da 8 Kg su piatto in alluminio.

Le caratteristiche del sismometro DMT Summit sono riportate nella tabella seguente.

**Technical Specifications**

| | |
|---|---|
| **Sample Interval** | 1/48, 1/32, 1/16, 1/8, 1/4, 1/2, 1, 2, 4, 8 ms |
| **Record Length** | 0.5 K samples, ..., 120 K samples |
| **Preamp Gain** | 0 dB, 20 dB or 40 dB |
| **A/D Converter** | 24 bit delta sigma technology |
| **Maximum Input Signal** | 2.0 Volt RMS<br>5.6 Volt peak to peak |
| **Input Impedance** | 20 kOhm |
| **Instantaneous Dynamic Range** | > 120 dB @ 2 ms sampling interval |
| **Equivalent Input Noise** | Less than 0.2 µV RMS @ 2 ms sampling interval and 40 dB preamp gain |
| **Crosstalk** | > 112 dB (between channels) |
| **Total Harmonic Distortion** | < 0.0008% |
| **Common Mode Rejection Ratio** | > 100 dB |
| **Gain Accuracy** | Typical 1 % (between all channels) |
| **Time Accuracy** | Typical 5 ppm (between all channels) |
| **Analog Anti-Alias Filter** | 7.2 kHz, 6 dB/octave |
| **Analog Low-Cut Filter** | 1 Hz, 6 dB/octave |
| **Digital Anti-Alias Filter** | 0.8 x Nyquist |
| **Rejection at Nyquist Frequencies** | -120 dB |
| **Passband Ripple** | +/- 0.05 dB |

La geometria delle quattro stese è riportata nella sottostante Fig.2. tutte le stese sono costituite da 24 geofoni (G01-G24) in configurazione verticale per tutte le stese ST1-ST4 ed orizzontale per le stese S1,S2,S3 con spaziatura 2m e 7 punti di energizzazione (S1-S7).



Di seguito vengono sinteticamente specificati i parametri di acquisizione:

Campionamento : 0.125 ms
Numero campioni : 4096
Durata : 512ms
Canali: 24
Spaziatura geofoni: 2 m
Geofoni verticali stese ST1, ST2, ST3, ST4
Geofoni orizzontali stese ST1, ST2, ST3
Lunghezza totale stese: 56m(ST1), 66m(ST2), 60m(ST3), 58m(ST4)
Energizzazioni tomografia P e S: 7 posizioni (S1-S7)
Energizzazioni MASW: 4 posizioni (S1,S2,S6,S7)




*Fig.3 – Documentazione fotografica*

### 7.1 ELABORAZIONE DATI

Dai sette sismogrammi registrati per ogni stesa si sono ricavati i primi arrivi delle onde P e S dirette e rifratte, ottenendo le relative dromocrone. I primi arrivi sono stati assegnati ai diversi rifrattori ed elaborati tramite inversione con il fronte d'onda. Si è ottenuta quindi, per ognuna delle stese, una sezione 2D verticale delle Velocità Vp ed una Vs che sono state usate come modello iniziale dell'inversione tomografica;per il calcolo è stato utilizzato il pacchetto software ReflexW 4.2 della Sandmeier Software.

Per l'elaborazione MASW, ai sismogrammi è stata applicata la trasformata *f-v*, che consiste sostanzialmente nella trasformata di Fourier bidimensionale del sismogramma (trasformata *f-k*) da cui si ricava la velocità considerando che $\lambda$ =1/k e $v = \lambda * f$; il risultato finale è il modello delle velocità Vs al variare della profondità.

Si specifica che per quanto riguarda l'energizzazione S nelle stese 2 e 3 non è stato possibile operare al di sotto del manto stradale e interrompere il traffico veicolare e pedonale, ciò ha comportato un elevato disturbo al segnale rendendo problematica l'individuazione di primi arrivi, di conseguenza non è stato possibile elaborare i dati di tali stendimenti.

### 7.2 RISULTATI: STESA 1

Seguendo la procedura sopra indicata si sono ottenuti i seguenti modelli tomografici di velocità onde P e S.

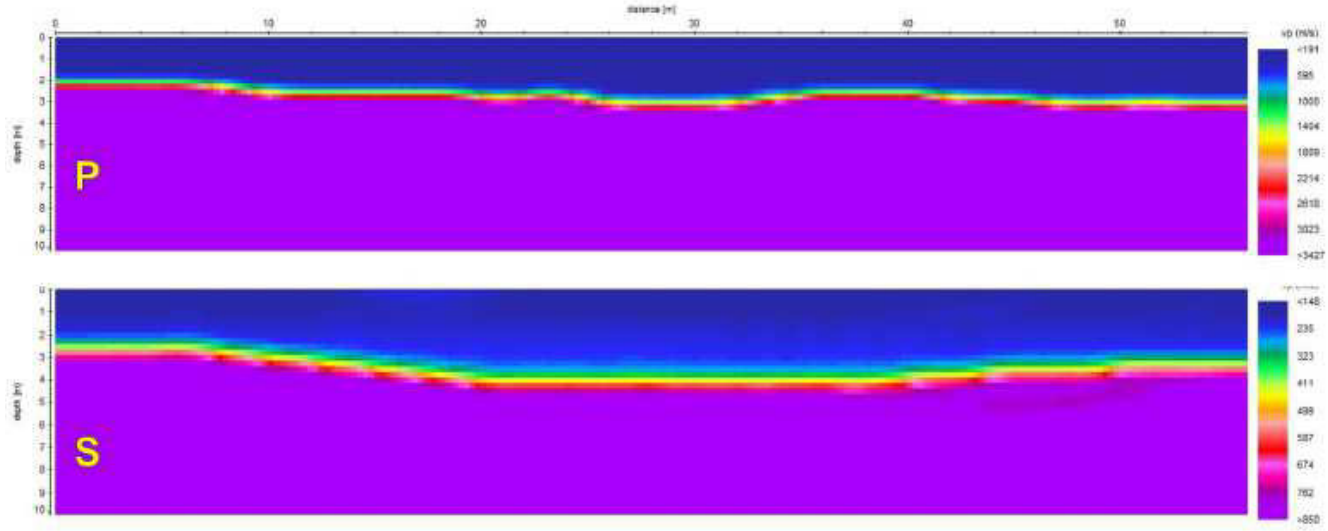



*Fig.4*

Entrambi i modelli evidenziano una coltre superficiale con basse velocità tipiche di coltri non costipate. A profondità variabili lungo il profilo comprese tra 2 e 4m si ha un passaggio ad un sismostrato caratterizzato da velocità P dell'ordine di 3500m/s e velocità S dell'ordine di 850m/s tipiche di un substrato roccioso.

Per quanto riguarda il modello MASW ottenuto dall'analisi delle onde di superficie conferma sostanzialmente le risultanze ottenute dall'indagine a rifrazione.

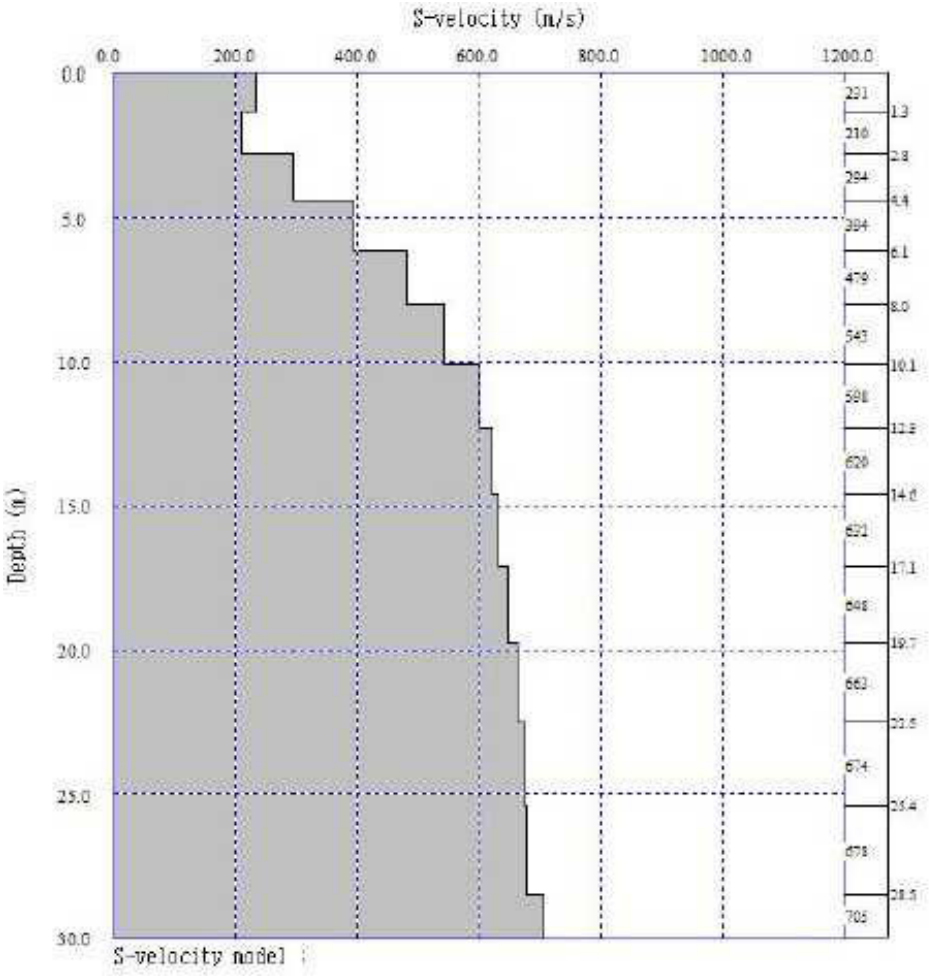



*Fig.5 – Modello MASW stesa ST1*

### 7.3 RISULTATI: STESA 2

Il profilo tomografico ottenuto è il seguente:

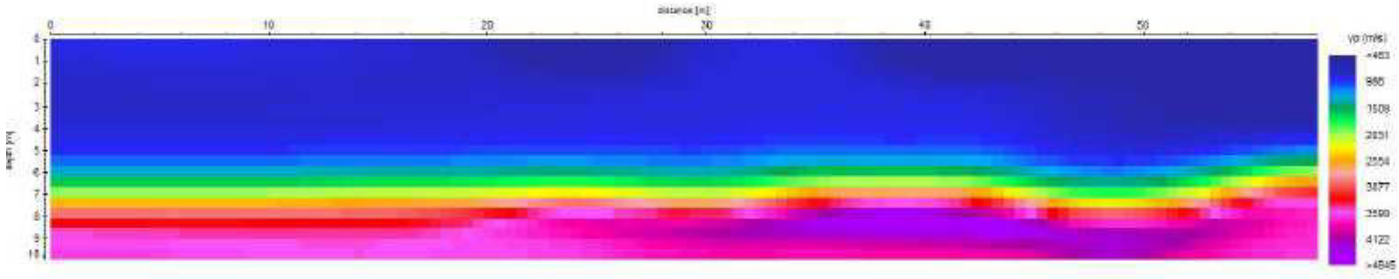


*Fig.6*

Le velocità della coltre risultano dell'ordine 500di m/s ed oltre probabilmente a causa del compattamento. Il passaggio al sottostante sismostrato avviene a profondità dal piano campagna di circa 6m, con velocità dell'ordine dei 3500m/s, associabili al substrato roccioso.

Il modello MASW, relativo alla stratigrafia delle onde S evidenzia un passaggio al substrato roccioso graduale senza evidenziare un contrasto netto.

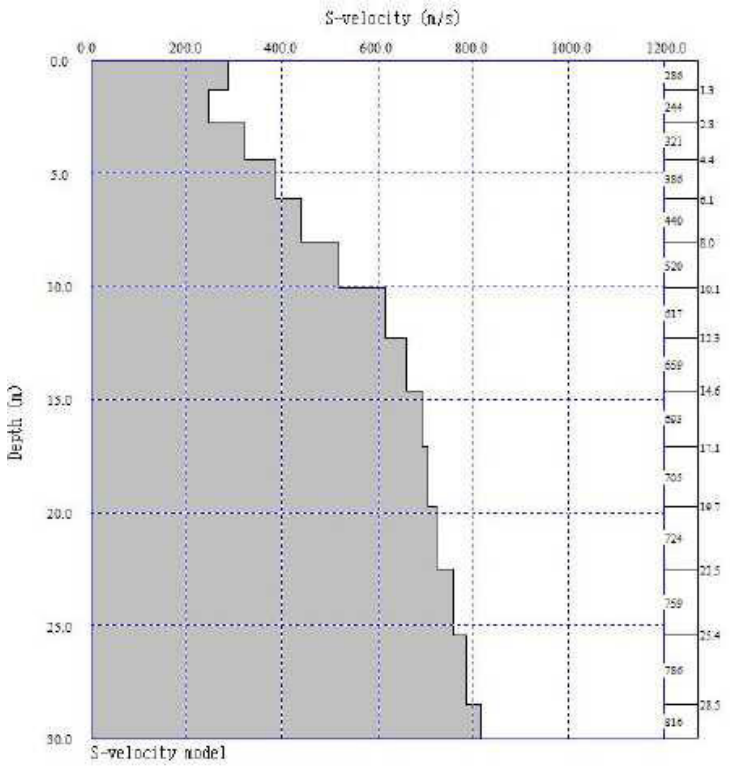



*Fig.7 – Modello MASW stesa ST2*

### 7.4 RISULTATI: STESA 3

Il profilo tomografico ottenuto è il seguente:

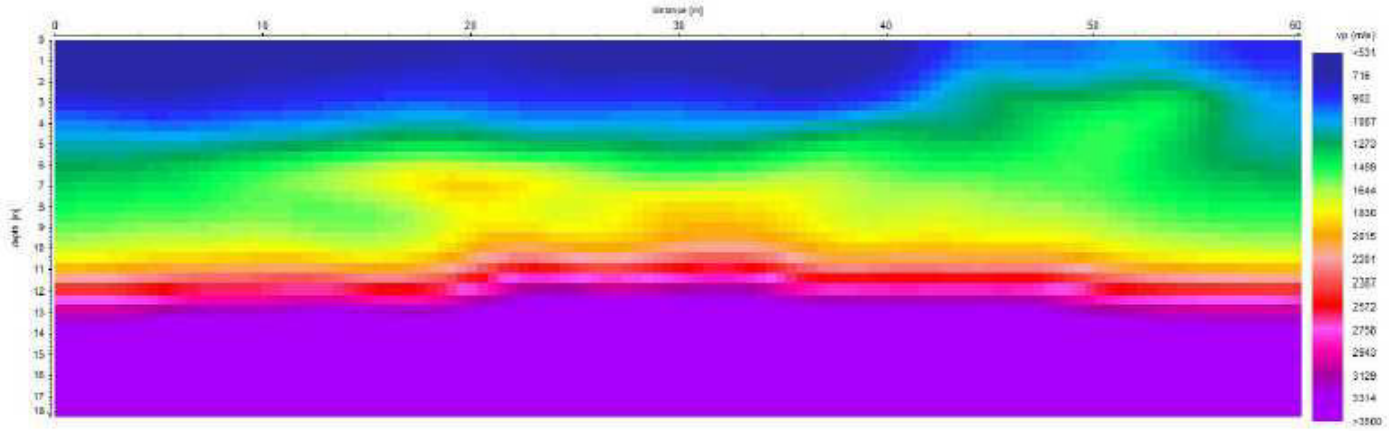


*Fig.8*

Le velocità della coltre risultano dell'ordine di 500m/s ed aumentano gradualmente sino alla profondità di circa 6m. A questa profondità si evidenzia un primo rifrattore che indica la presenza di un sismostrato con velocità dell'ordine di 1600m/s. A circa 12m si individua un ulteriore rifrattore con velocità dell'ordine 3500m/s identificabile con il passaggio al substrato roccioso.

Il modello MASW ottenuto evidenzia un passaggio al substrato roccioso graduale senza evidenziare un netto contrasto, con velocità in graduale aumento dai 5 ai 12m di pofondità.

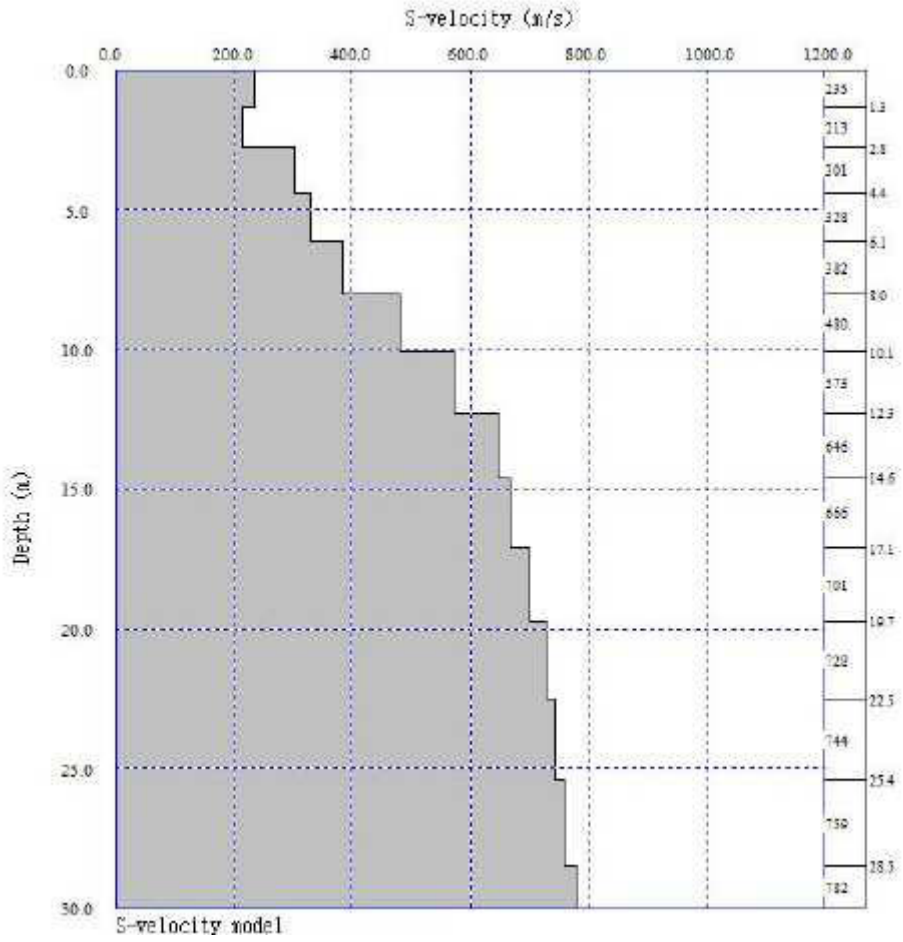



*Fig.9 – Modello MASW stesa ST3*

### 7.5 RISULTATI: STESA 4

Il profilo tomografico ottenuto è il seguente:

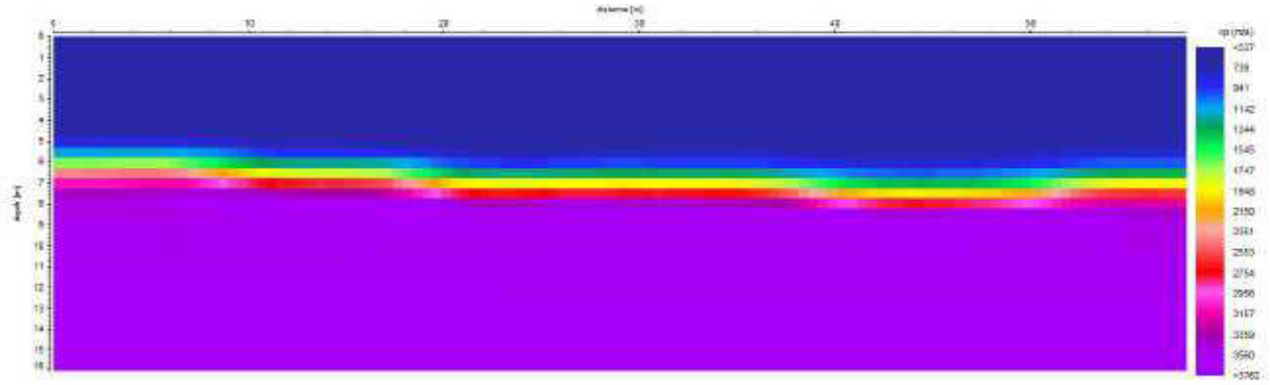


*Fig.10*

Le velocità P della coltre risultano dell'ordine di 500m/s o di poco superiori. A profondità comprese tra 6 e 7m è presente un rifrattore caratterizzato da un netto aumento delle velocità che passano a valori dell'ordine di 3500m/s associabili al substrato roccioso.

Il modello MASW rivela un passaggio al substrato graduale senza evidenziare un contrasto netto, con un graduale aumento delle velocità dai 6 ai 12m di profondità.

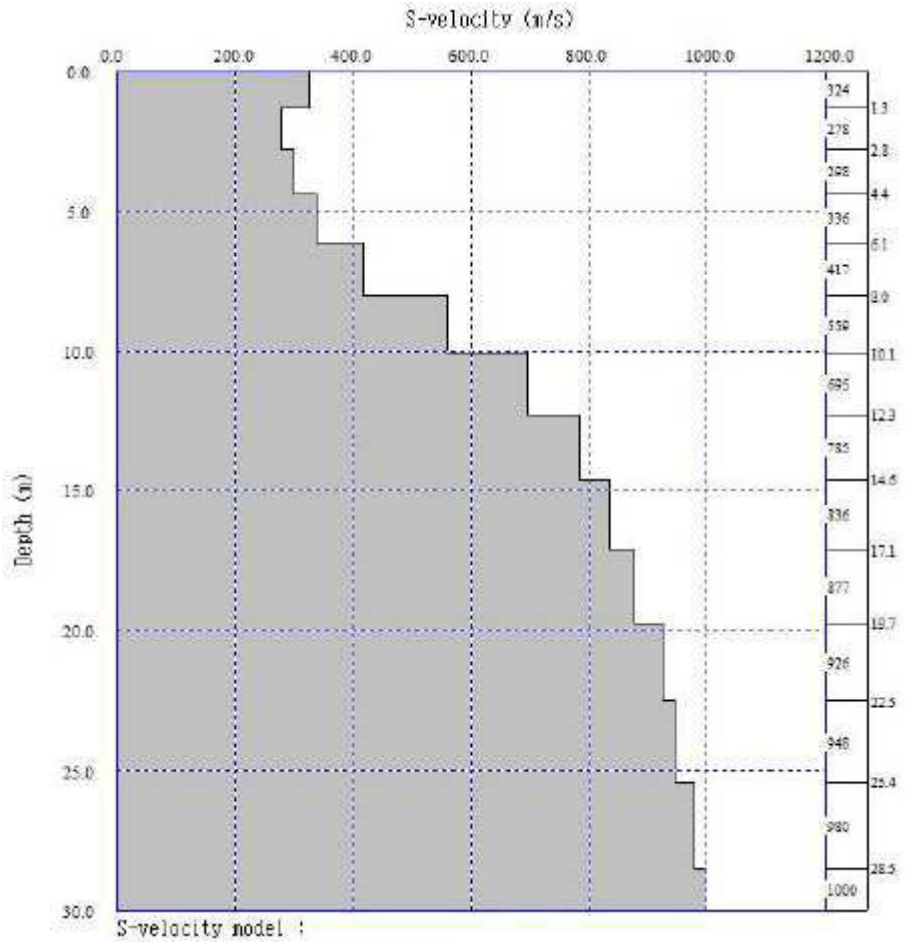



*Fig.11 – Modello MASW stesa ST4*

### 7.6 DETERMINAZIONE DEL PARAMETRO $V_{S30}$

In base ai valori di $V_s$ presentati in precedenza è possibile stimare il parametro Vs30 definito come la velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30m del sottosuolo, in questo caso con riferimento al piano campagna secondo la seguente relazione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_i \frac{h_i}{V_i}}$$

$h_i$ spessore strato *i*-esimo

$V_i$ velocità strato *i*-esimo

Si sono quindi ottenuti i seguenti valori di $V_{S30}$:

- STESA ST1: $V_{s30}$ = 492m/s
- STESA ST2: $V_{s30}$ = 533m/s
- STESA ST3: $V_{s30}$ = 492m/s
- STESA ST4: $V_{s30}$ = 589m/s

## 8. MODELLO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO

Si è già detto che il territorio ove si intende realizzare la galleria è caratterizzato da una fascia di transizione tra la Formazione delle Argille a palombini (stratigraficamente sottostante) e quella degli Scisti di val Lavagna (soprastante e passante da Est verso Ovest in facies zonata): le emergenze rilevate nel corso dei sopralluoghi evidenziano tale condizione pur delineando una prevalenza della prima rispetto alla seconda.

Lo stesso sondaggio geognostico testimonia un sottosuolo costituito prevalentemente da litologie marnoso calcaree alternate a pacchi argilloscistosi di spessore decisamente subordinato.

Il contatto summenzionato appare soprattutto determinare un significativo disturbo strutturale dell'ammasso, sia in termini di orientazione giaciturale che di orientazione delle famiglie di discontinuità.

Questo aspetto, evidenziato chiaramente dalla frammentazione delle carote di sondaggio è ulteriormente consolidato dalla "lettura" di pieghe e pieghe-faglie sugli estesi affioramenti reperiti cia nel grato del rio Sorba che sui versanti in loc. La Secca.

Per queste ragioni, le modellazioni geologiche e geomeccaniche proposte, basandosi su valutazioni statistiche delle misure effettuate, rappresentano un'interpretazione media e preliminare da affinare per quanto possibile nel corso delle successive fasi progettuali e soprattutto nel corso dei lavori attraverso ulteriori prospezioni e una puntuale assistenza geologica a supporto della Direzione Lavori.

Nei capitoli successivi vengono presi in esame singolarmente, sotto i profili stratigrafico, geotecnico e geomeccanico, i principali orizzonti riconosciuti nel corso delle indagini.

## 9. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE DELLE COPERTURE

I materiali sciolti di copertura presenti nell'area possono essere ricondotti ai fini progettuali ai tre seguenti principali livelli in materiali sciolti di cui si riporta la relativa parametrizzazione in termini di parametri medi (fm), parametri caratteristici (fk) e parametri di progetto (fd) conformemente alla normativa vigente (DM 14/01/2008), a questo proposito si specifica che i parametri medi vengono posti uguali a quelli caratteristici in relazione agli elevati volumi di terreno coinvolti nella progettazione.

Dr = densità relativa
$\gamma$ = peso di volume
$\gamma$sat = peso di volume saturo
$\phi$= angolo di attrito efficace
*c'* = coesione efficace
*cu* = coesione apparente
$E_{st}$ = Modulo di Young statico
$\nu_{st}$ = Coefficiente di Poisson statico

**LIVELLO R**: RIPORTI E RIMANEGGIAMENTI:

Laddove siano stati riconosciuti terreni rimaneggiati e frammisti a materiale di riporto antropico, si sono rilevate modalità di messa in posto caotiche; trattasi dunque di terreni fortemente eterometrici costituiti da una frazione predominante granulare (ciottoli-ghiaia-sabbia) e da una frazione fine di natura limosa scarsamente coesiva.

In relazione alla posizione delle prove, quasi ovunque sono stati reperiti livelli di riporto o di rimaneggiamento di spessore significativo, valore eterogeneo di entità da metrica a plurimetrica.

| **VALORI MEDI:** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Dr (%) | $\gamma_m$ (T/mc) | $\gamma sat_m$ (T/mc) | $\phi_m$ (°) | $c'_m$ *(kPa)* | $cu_m$ *(kPa)* | $E_{st\ m}$ *(Kg/cmq)* | $\nu_m$ |
| 83 | 1.92 | 1.96 | 31.7 | 0.0 | 0.0 | 150-200 | 0.32 |

| **VALORI DI PROGETTO** | M1 | M2 |
|---|---|---|
| $\gamma_d$(T/mc) | 1.92 | 1.92 |
| $\phi_d$ (°) | 31.7 | 26.3 |
| $c_d'$ *(kg/cmq)* | 0.0 | 0.0 |
| $cu_d$ *(kPa)* | 0.0 | 0.0 |

**LIVELLO V**: TERRENO AGRICOLO/VEGETALE:

Si tratta di un orizzonte superficiale rilevato lungo la sponda sinistra del torrente San Lorenzo mediante l'esecuzione delle prove penetrometriche medio-leggere.

Sotto il profilo granulometrico è costituito da sabbia medio fine con limo argilloso (SC-SM), il grado di addensamento è estremamente basso.

Si tratta di un orizzonte con caratteristiche geotecniche estremamente scadenti.

Relativamente agli spessori di detti materiali, gli stessi risultano eterogenei, generalmente da 1,5m a 3m in relazione alla morfologia sepolta, anche conseguentemente alle modificazioni antropiche avvenute in epoca storica.

| **VALORI MEDI:** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Dr (%) | $\gamma_m$ (T/mc) | $\gamma sat_m$ (T/mc) | $\phi_m$ (°) | $c'_m$ *(kPa)* | $cu_m$ *(kPa)* | $E_{st\ m}$ *(Kg/cmq)* | $\nu_m$ |
| 40 | 1.51 | 1.88 | 21.9 | 0.0 | 0.0 | <25 | 0.34 |

| **VALORI DI PROGETTO** | M1 | M2 |
|---|---|---|
| $\gamma_d$(T/mc) | 1.51 | 1.51 |
| $\phi_d$ (°) | 21.9 | 17.8 |
| $c_d'$ *(kg/cmq)* | 0.0 | 0.0 |
| $cu_d$ *(kPa)* | 0.0 | 0.0 |

**LIVELLO S**: SEDIMENTI ALLUVIONALI

Si tratta di un orizzonte rilevato in ambito urbano lungo la sponda sinistra del torrente San Lorenzo mediante l'esecuzione del sondaggio S1.

Sotto il profilo granulometrico è costituito da una percentuale prevalente di natura granulare, sabbia e ghiaia (SC-SM /GC-GM) nettamente subordinata la frazione coesiva.

Gli spessori sono eterogenei in quanto alternati a livelli di riporto e orizzonti marini; complessivamente nel sondaggio cui si fa riferimento le alluvioni sono stati valutati in circa 4-5m.

| **VALORI MEDI:** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Dr (%) | $\gamma_m$ (T/mc) | $\gamma sat_m$ (T/mc) | $\phi_m$ (°) | $c'_m$ *(kPa)* | $cu_m$ *(kPa)* | $E_{st\ m}$ *(Kg/cmq)* | $\nu_m$ |
| 79 | 1.92 | 2.10 | 33.1 | 0.0 | 0.0 | 150-250 | 0.32 |

| **VALORI DI PROGETTO** | M1 | M2 |
|---|---|---|
| $\gamma_{d(T/mc)}$ | 1.92 | 1.92 |
| $\phi_d$ (°) | 33.1 | 27.5 |
| $c_d'$ *(kg/cmq)* | 0.0 | 0.0 |
| $cu_d$ *(kPa)* | 0.0 | 0.0 |

**LIVELLO E**: COLTRE ELUVIALE

Sotto il profilo granulometrico è costituito da ghiaia limoso-argillosa con sabbia (GC-GM)

Questo orizzonte è stato riconosciuto con buona frequenza nel corso delle prove ad immediata copertura del cappellaccio roccioso di alterazione del substrato roccioso.

Il suo spessore è risultato eterogeneo in ragione della litologia locale e del grado di esposizione del contesto; se mediamente l'eluvio non supera spessori metrici, sul fondovalle in prossimità della linea di costa lo stesso assume valori fino a 4-5m.

| **VALORI MEDI:** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Dr (%) | $\gamma_m$ (T/mc) | $\gamma sat_m$ (T/mc) | $\phi_m$ (°) | $c'_m$ *(kPa)* | $cu_m$ *(kPa)* | $E_{st\ m}$ *(Kg/cmq)* | $\nu_m$ |
| 89 | 2.20 | 2.50 | 38.1 | 0.0 | 0.0 | 400-500 | 0.30 |

| **VALORI DI PROGETTO** | M1 | M2 |
|---|---|---|
| $\gamma_{d(T/mc)}$ | 2.20 | 2.20 |
| $\phi_d$ (°) | 38.1 | 32.1 |
| $c_d$ ' *(kg/cmq)* | 0.0 | 0.0 |
| $cu_d$ *(kPa)* | 0.0 | 0.0 |

## 10. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA PRELIMINARE DELL'AMMASSO ROCCIOSO

Per quanto illustrato, la realizzazione degli interventi interferirà con l'ammasso roccioso, in particolare per quanto riguarda lo scolmatore del rio Sorba, che è costituito da una galleria di cinque metri di diametro, di conseguenza tali modificazioni morfologiche al territorio imposte dal progetto determineranno interferenze con il substrato roccioso delineando in esso possibili alterazioni dello stato tensionale naturale, fenomeno ovviamente da rapportarsi alla tipologia dei lavori a progetto

Richiamati gli aspetti litologici formazionali essenziali già trattati in precedenza i lavori interverranno su un ammasso roccioso fratturato, l'approccio suggerito per le necessarie verifiche è quello "continuo equivalente" attraverso il quale tenere conto dell'effetto delle discontinuità in senso globale.

In relazione alla fase "preliminare" dell'analisi oltre all'esecuzione dei carotaggi geognostici si è effettuata una campagna di rilevamento geomeccanico sufficientemente dettagliata al fine di raccogliere i dati essenziali da cui ricavare la classificazione degli ammassi e valori indicativi in termini di resistenza e deformabilità.

## 10.1 SISTEMI CLASSIFICATIVI

La metodologia d'indagine applicata al presente studio è quella tipica prevista per l'esecuzione di un rilievo geomeccanico nel corso del quale, oltre al riconoscimento delle differenti litologie e dei rapporti tra loro intercorrenti, particolare attenzione è stata rivolta a registrare tutti i parametri, qualitativi e quantitativi, che concorrono a formare il giudizio di qualità dell'ammasso roccioso mediante l'applicazione di tre criteri di classificazione disponibili in letteratura (Bieniawski, Barton e GSI) e in definitiva formulare una ragionevole ipotesi preliminare circa il suo comportamento.
In particolare sono state eseguite due stazioni di rilevamento geomeccanico, rispettivamente:
STAZ**A1** - STAZ**A2** – STAZ**B.**

Inoltre ai fini classifIcativi sono state considerate anche le determinazioni geomeccaniche eseguite sull'ammasso roccioso indagato mediante carotaggio.
Sono stati rilevati i seguenti dati:

- Orientazione ed inclinazione dei piani di discontinuità
- Morfologia dei giunti a scala metrica
- Coefficiente di rugosità JRC a scala decimetrica
- Spaziatura dei giunti
- Apertura dei giunti
- Stato di alterazione delle pareti dei giunti
- Eventuale presenza e natura del materiale di riempimento delle discontinuità
- Condizioni idrauliche
- Resistenza della roccia adiacente la superficie dei giunti

I dati raccolti sono stati successivamente analizzati ed interpretati ai fini classificativi.
Come anticipato sono stati applicati tre criteri per ogni stazione di rilevamento, di cui si riportano in sintesi le principali caratteristiche.

Il sistema di Bieniawski consiste nell'attribuzione di valori numerici a parametri qualitatitivi e quantitativi caratteristici, consentendo l'elaborazione dell'indice RMR che è ricavato mediante la seguente relazione: $RMR_{corretto} = (A1+A2+A3+A4+A5+A6)$

A1 = valore numerico derivato dalla resistenza della roccia intatta
A2 = valore numerico derivato dall'indice RQD
A3 = valore numerico derivato dalla spaziatura delle discontinuità
A4 = valore numerico derivato dalle condizioni delle discontinuità
A5 = valore numerico derivato dalle condizioni idrauliche
A6 = orientamento delle discontinuità

In seguito sono stati calcolati i valori dei parametri geomeccanici rappresentativi per ogni stazione mediante l'applicazione delle seguenti relazioni:

Coesione (kPa) = 5*RMR (Bieniawski)

Angolo d'attrito (°) = 0.5 * RMR + 5(Bieniawski)

$E_{st}$ – modulo di deformazione (GPa) = $10^{(RMR\ -10)/40}$ (Serafim e Pereira)

$E_{st}$ – modulo di deformazione (GPa) = 2 * RMR -100 (Bieniawski)

La classificazione di Barton è stata sviluppata al Norwegian Geotechnical Institute nel 1974; l'utilizzo principale della sua applicazione è in campo sotterraneo (gallerie e caverne); secondo una recente revisione (Barton 2002) il valore dell'indice Q, risultato di tale sistema, si ottiene mediante l'applicazione della seguente relazione:

$Q = RQD/Jn \times Jr/Ja \times Jw/SRF$ dove:

RQD = che tiene conto della suddivisione della massa rocciosa
Jn (Joint Set Number) = dipende dal numero di giunti presenti nell'ammasso roccioso
Jr ( Joint Roughness Number) = dipende dalla rugosità della famiglia più sfavorevole
Ja (Joint Alteration Number) = dipende dal grado di alterazione delle fratture, dallo spessore e dalla natura del riempimento, e che viene ugualmente determinato sulla famiglia più sfavorevole
Jw (Joint Water Number) = dipende dalle condizioni idrogeologiche

SRF (Stress Reduction Factor) = funzione dello stato tensionale in rocce massive o dal disturbo tettonico

Infine si è determinato anche l'indice GSI (Geological Strenght Index), secondo il sistema proposto da Hoek nel 1980 e modificato nel corso degli anni, che fornisce un indice di qualità della roccia in base alle osservazioni esperite in situ permettendo l'applicazione del criterio di rottura di Hoek – Brown e consentendo di ricavare conseguentemente parametri indicativi di resistenza dell'ammasso.

Il GSI nella sua forma più recente vede la propria valutazione affidata all'utilizzo di un semplice grafico dove le caratteristiche strutturali dell'ammasso, in termini di grado di fratturazione e disturbo tettonico, sono correlate con le caratteristiche della superficie delle discontinuità in termini di rugosità, alterazione e riempimento della frattura.

In relazione alla determinazione dei parametri necessari si specifica quanto segue:

- per il parametro relativo alla resistenza della roccia sono stati utilizzati gli esiti delle prove di compressione monoassiale eseguite in laboratorio unitamente ai valori medi dell'indice di rimbalzo R ottenuti dalle prove sclerometriche eseguite sugli affioramenti, correlati alla resistenza alla compressione uniassiale mediante la relazione di Irfan e Dearman (1978),:

$$Su = 0.775R + 21.3$$

- si è utilizzato il valore di RQD derivante dai sondaggi unitamente a quello determinato mediante il rilevamento calcolato attraverso la relazione di Palmstrom, che permette di ricavare tale valore dal numero di famiglie di discontinuità e dalla loro spaziatura:

$$RQD = 115 – 3.3\ jv$$

  Jv (n° di fratture per $m^3$ di roccia) = 1/S1 + 1/S2 + 1/S3 + Nr/5

  Si = spaziatura della famiglia "i"

  Nr = numero di famiglie random eventualmente presenti

- i set delle discontinuità sono stati caratterizzati mediante un'analisi morfologica e qualitativa delle superfici di giunto.

Per quanto riguarda il fattore Jw si precisa che è stato determinato secondo le seguenti ipotesi:

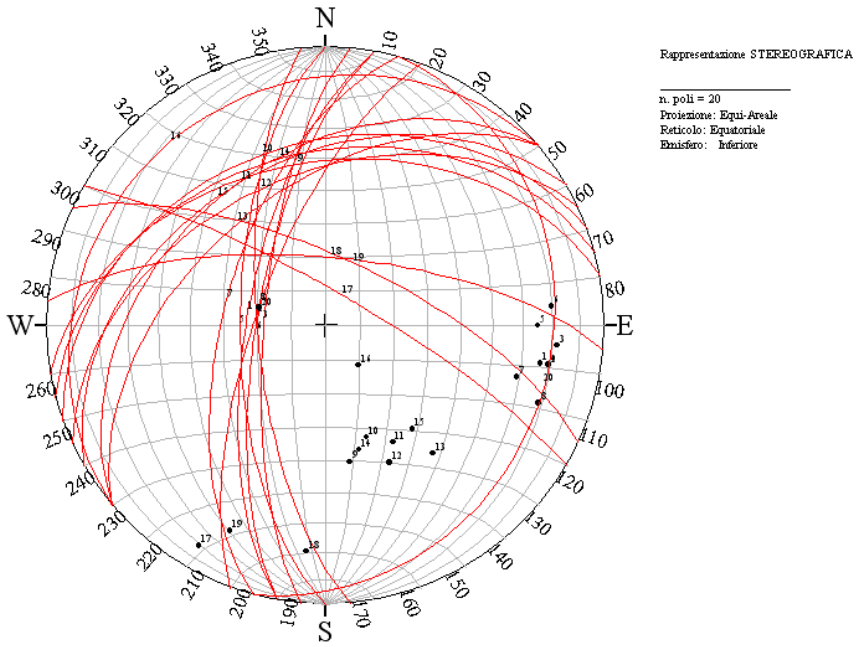
- buona connettività idraulica in relazione ai bassi valori di RQD

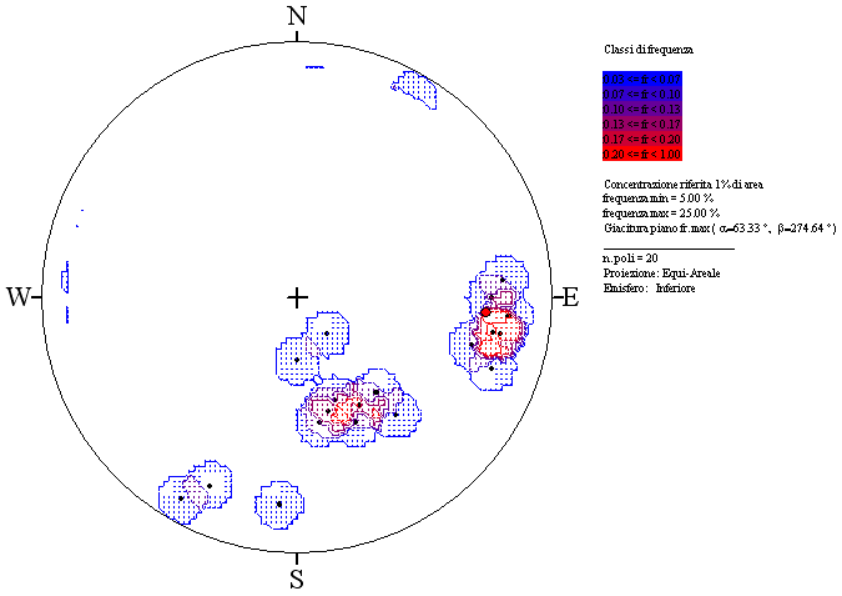
- altezze di ricoprimento comprese tra 5-25m

Per ogni stazione è stato quindi determinato un range di valori rappresentativi degli indici.

## 10.2 STAZIONE DI RILEVAMENTO A1

S0 – GIACITURE DI STRATO






RMR$_c$ (Bieniawski 1989)

| | MIN | MAX | Indice MIN | Indice MAX |
|---|---|---|---|---|
| A1<br>Resistenza roccia integra (MPa) | 5-25 | 25-50 | 2 | 4 |
| A2<br>RQD (%) | <25 | 25-50 | 3 | 8 |
| A3<br>Spaziatura discontinuità (m) | <0.06 | 0.2-0.6 | 5 | 8 |
| A4<br>Condizioni dei giunti | - | - | 10 | 20 |
| A5<br>Condizioni idrauliche | asciutto | asciutto | 15 | 15 |
| A6<br>Orientazione Discontinuità più sfavorevole | mediocre | mediocre | -5 | -5 |
| RMR$_c$ | | | 30<br>Classe IV scadente | 50<br>Classe III Mediocre |
| GSI | | | 30 | 50 |
| Coesione (kPa) | | | 175 | 275 |
| $\phi$ (°) | | | 22.5 | 32.5 |
| $E_{st}$ (GPa) | | | 4 | 10 |

Q (Barton 2002)

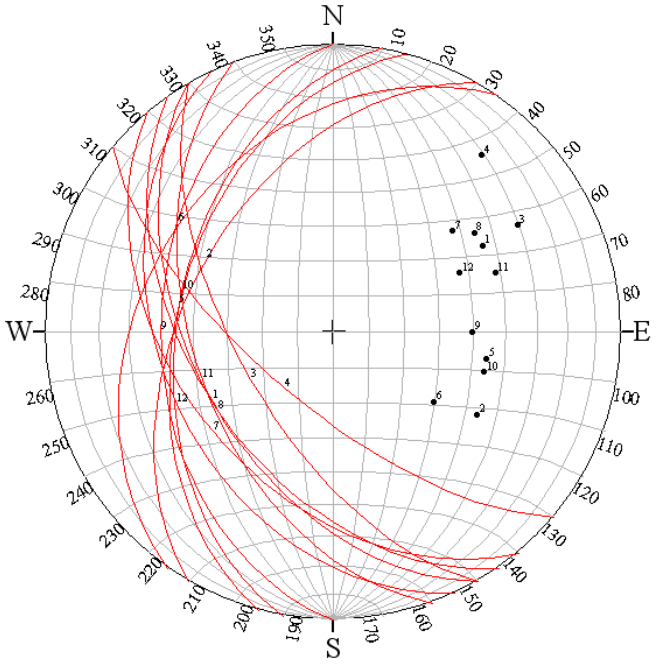
| | MIN | MAX | Indice MIN | Indice MAX |
|---|---|---|---|---|
| RQD (%) | 10 | 37 | 10 | 37 |
| Jn | 3 sistemi | 3 sistemi | 9 | 9 |
| Jr | Giunti scabri e planari | Giunti lisci/ond. | 1.5 | 2 |
| Ja | Argilla >5mm | Assente | 8 | 0.75 |
| Jw | Afflusso medio | Afflusso medio | 0.66 | 0.66 |
| SRF | Condizioni di bassa copertura (<50m) | Condizioni di bassa copertura (<50m) | 2.50 | 2.5 |
| Q | | | 0.06<br>Classe VIII<br>Estr. scadente | 2.89<br>Classe VI<br>Scadente |

Criterio di Hoek e Brown

| | MIN | MAX |
|---|---|---|
| σc (MPa) | 25 | 50 |
| GSI | 30 | 50 |
| mi | 8 | 8 |
| (D) | 0 | 0 |
| mb | 0.657 | 1.341 |
| s | 0.0004 | 0.0039 |
| a | 0.522 | 0.506 |
| $\sigma_t$ (MPa) | 0.02 | 0.144 |
| $\sigma_c$ (MPa) | 0.43 | 3.01 |
| $\sigma_{triass}$ (MPa) | 2.4 | 7.8 |

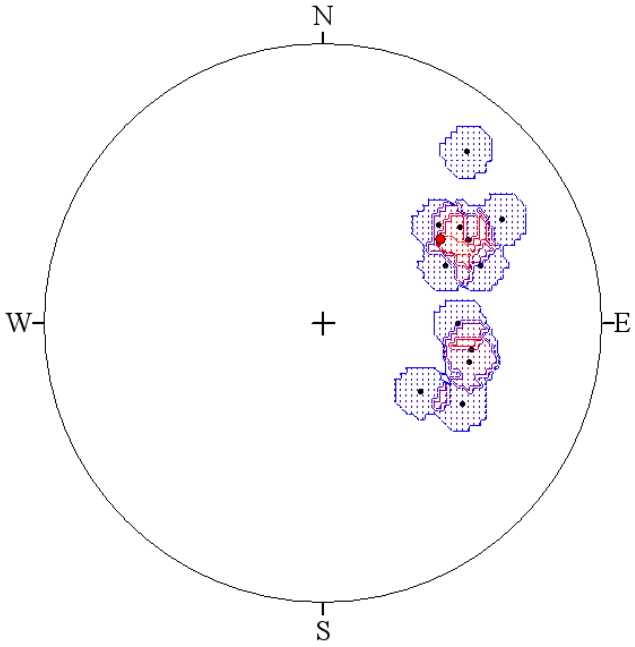
## 10.3 STAZIONE DI RILEVAMENTO A2

S0 – GIACITURE DI STRATO




Rappresentazione STEREOGRAFICA

n. poli = 12
Proiezione: Equi-Areale
Reticolo: Equatoriale
Emisfero: Inferiore




Classi di frequenza

0.04 <= fr < 0.08
0.08 <= fr < 0.12
0.12 <= fr < 0.17
0.17 <= fr < 0.21
0.21 <= fr < 0.25
0.25 <= fr < 1.00

Concentrazione riferita 1% di area
frequenza min = 8.33 %
frequenza max = 33.33 %
Giacitura piano fr. max ( α=42.81 °, β=234.46 °)

n. poli = 12
Proiezione: Equi-Areale
Emisfero: Inferiore

$RMR_c$ (Bieniawski 1989)

| | MIN | MAX | Indice MIN | Indice MAX |
|---|---|---|---|---|
| A1<br>Resistenza roccia integra (MPa) | 1-5 | 25-50 | 1 | 4 |
| A2<br>RQD (%) | <25 | 25-50 | 3 | 8 |
| A3<br>Spaziatura discontinuità (m) | <0.06 | 0.2-0.6 | 5 | 8 |
| A4<br>Condizioni dei giunti | - | - | 10 | 20 |
| A5<br>Condizioni idrauliche | asciutto | asciutto | 15 | 15 |
| A6<br>Orientazione Discontinuità più sfavorevole. | mediocre | mediocre | -5 | -5 |
| $RMR_c$ | | | 29<br>Classe IV Scadente | 50<br>Classe III Mediocre |
| GSI | | | 29 | 50 |
| Coesione (kPa) | | | 170 | 275 |
| $\phi$ (°) | | | 22.0 | 32.5 |
| $E_{st}$ (GPa) | | | 4 | 10 |

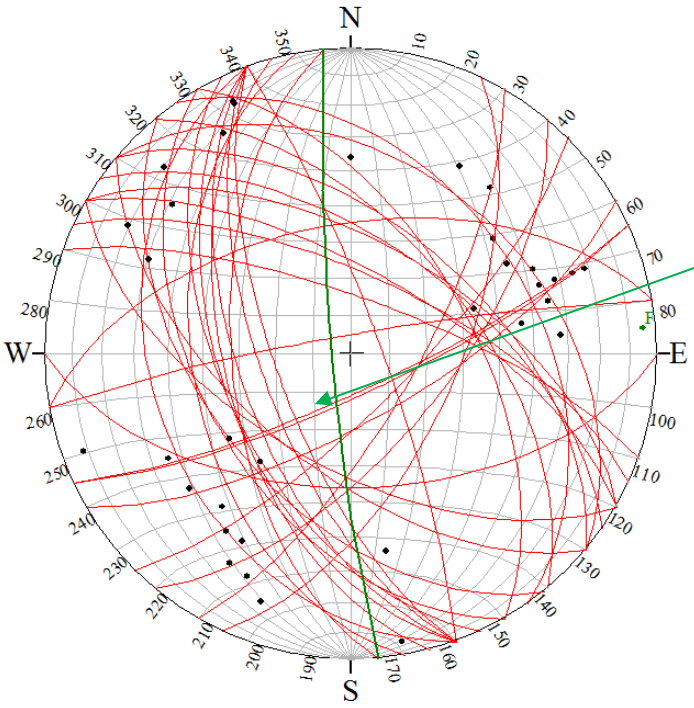
Q (Barton 2002)

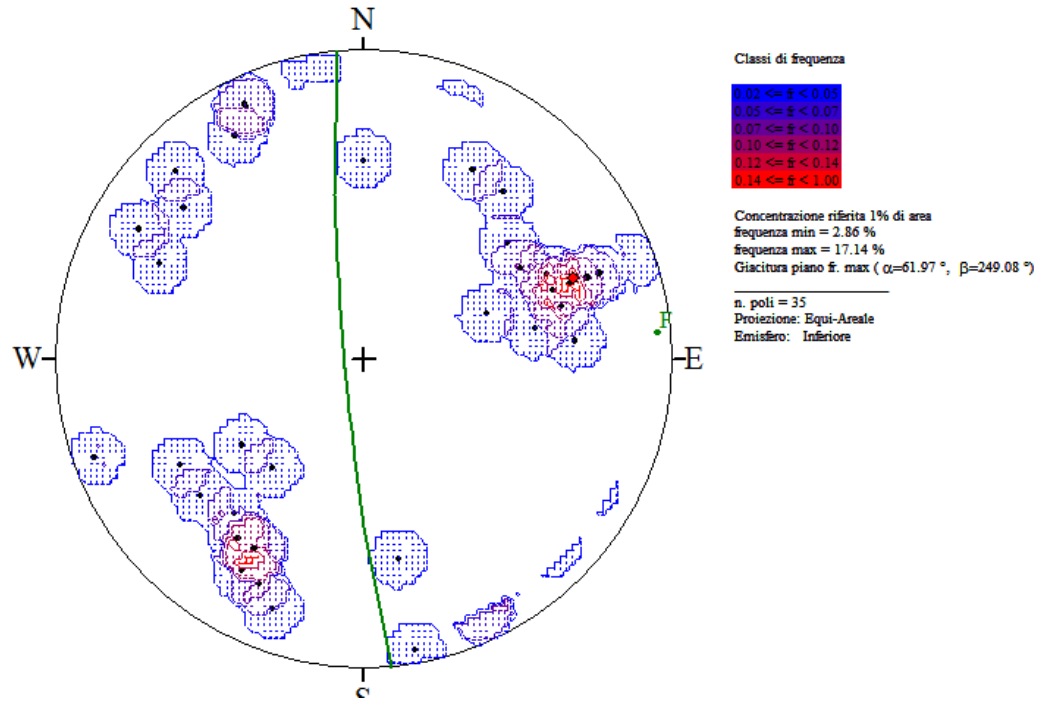
| | MIN | MAX | Indice MIN | Indice MAX |
|---|---|---|---|---|
| RQD (%) | 10 | 37 | 10 | 37 |
| Jn | 3 sistemi | 3 sistemi | 9 | 9 |
| Jr | Disc. riemp. argilloso | Giunti lisci/ondulati | 1 | 2.0 |
| Ja | Argilla >5mm | Ossidazione | 15 | 1.0 |
| Jw | Afflusso medio | Afflusso medio | 0.66 | 0.66 |
| SRF | Condizioni di bassa copertura (<50m) | Condizioni di bassa copertura | 2.50 | 2.50 |
| Q | | | 0.03<br>Classe VIII<br>Estr. scadente | 2.17<br>Classe VI<br>Scadente |

Criterio di Hoek e Brown

| | MIN | MAX |
|---|---|---|
| σc (MPa) | 5 | 50 |
| GSI | 29 | 50 |
| mi | 8 | 8 |
| (D) | 0 | 0 |
| mb | 0.634 | 1.341 |
| s | 0.0004 | 0.0039 |
| a | 0.524 | 0.506 |
| $\sigma_t$ (MPa) | 0.003 | 0.144 |
| $\sigma_c$ (MPa) | 0.080 | 3.011 |
| $\sigma_{triass}$ (MPa) | 0.476 | 7.848 |

## 10.4 STAZIONE DI RILEVAMENTO B



Si precisa che nella stazione B data la sua prossimità con lo sbocco della galleria sono state riportate in plottaggio sia le misure relative al sistema S0 che ai due principali sistemi di frattura rilevati, F1 e F2.

$RMR_c$ (Bieniawski 1989)

| | MIN | MAX | Indice MIN | Indice MAX |
|---|---|---|---|---|
| A1<br>Resistenza roccia integra (MPa) | 5-25 | 25-50 | 2 | 4 |
| A2<br>RQD (%) | <25 | 25-50 | 3 | 8 |
| A3<br>Spaziatura discontinuità (m) | <0.06 | 0.2-0.6 | 5 | 10 |
| A4<br>Condizioni dei giunti | - | - | 10 | 20 |
| A5<br>Condizioni idrauliche | asciutto | asciutto | 15 | 15 |
| A6<br>Orientazione Discontinuità più sfavorevole. | mediocre | mediocre | -5 | -5 |
| $RMR_c$ | | | 30<br>Classe IV scadente | 52<br>Classe III Mediocre |
| GSI | | | 30 | 52 |
| Coesione (kPa) | | | 175 | 285 |
| $\phi$ (°) | | | 22.5 | 33.5 |
| $E_{st}$ (GPa) | | | 4 | 14 |

Q (Barton 2002)

| | MIN | MAX | Indice MIN | Indice MAX |
|---|---|---|---|---|
| RQD (%) | 10 | 37 | 10 | 37 |
| Jn | 3 sistemi | 3 sistemi | 9 | 9 |
| Jr | Disc. riemp. argilloso | Giunti scabri/planari/ | 1 | 1.5 |
| Ja | Argilla >5mm | Assente | 15 | 0.75 |
| Jw | Afflusso medio | Afflusso medio | 0.66 | 0.66 |
| SRF | Condizioni di bassa copertura (<50m) | Condizioni di bassa copertura | 2.50 | 2.50 |
| Q | | | 0.02<br>Classe VIII<br>Estr. scadente | 2.17<br>Classe VI<br>Scadente |

Criterio di Hoek e Brown

| | MIN | MAX |
|---|---|---|
| σc (MPa) | 25 | 50 |
| GSI | 30 | 52 |
| mi | 8 | 8 |
| (D) | 0 | 0 |
| mb | 0.657 | 1.441 |
| s | 0.0004 | 0.0048 |
| a | 0.522 | 0.505 |
| $\sigma_t$ (MPa) | 0.02 | 0.168 |
| $\sigma_c$ (MPa) | 0.43 | 3.383 |
| $\sigma_{triass}$ (MPa) | 2.4 | 8.2 |

### 10.5 SINTESI DELLA CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA

Per quanto riguarda l'interazione delle opere previste lungo l'asta torrentizia del t. San Lorenzo con l'ammasso roccioso si propongono le seguenti parametrizzazioni geomeccaniche, rispettivamente per il livello di alterazione del substrato roccioso(LIVELLO R1) il cosiddetto "cappellaccio" e per il bedrock propriamente detto (LIVELLO R2)

**LIVELLO R1**

VALORI MEDI:

| $\gamma_m$ (T/mc) | $\phi'_m$ (°) | $c_m$ *(kPa)* | $E_{stm}$ *(GPa)* |
|---|---|---|---|
| 2.55 | 22.0 | 170 | 4 |

| VALORI DI PROGETTO | M1 | M2 |
|---|---|---|
| $\gamma_d$ (T/mc) | 2.55 | 2.55 |
| $\phi_d$ (°) | 22.0 | 17.9 |
| $C_d$ *(kPa)* | 170 | 136 |

**LIVELLO R2**

VALORI MEDI:

| $\gamma_m$ (T/mc) | $\phi'_m$ (°) | $c_m$ *(kPa)* | $E_{stm}$ *(GPa)* |
|---|---|---|---|
| 2.65 | 27.5 | 225 | 6 |

| VALORI DI PROGETTO | M1 | M2 |
|---|---|---|
| $\gamma_d$ (T/mc) | 2.65 | 2.65 |
| $\phi_d$ (°) | 27.5 | 22.6 |
| $C_d$ *(kPa)* | 225 | 180 |

Con riferimento all'interazione tra l'ammasso roccioso e il tracciato della galleria richiamati altresì i risultati delle analisi di cui ai capitoli precedenti, viene proposta la seguente tabella riassuntiva.

| | MIN | MEDIO | MAX |
|---|---|---|---|
| RMRc | 29<br>Classe IV Scadente | 40<br>Classe IV Scadente | 52<br>Classe III Mediocre |
| RMR | 34<br>Classe IV Scadente | 45<br>Classe III Mediocre | 57<br>Classe III Mediocre |
| Coesione (kPa) | 170 | 225 | 285 |
| $\phi$ (°) | 22.0 | 27.5 | 33.5 |
| Est (GPa) | 4 | 6 | 14 |
| GSI | 29 | 40 | 52 |
| Q | 0.02<br>Classe VIII<br>Estr. scadente | 1.2<br>Classe VI<br>Scadente | 2.89<br>Classe VI<br>Scadente |
| mb | 0.634 | 1.016 | 1.441 |
| s | 0.0004 | 0.0023 | 0.0048 |
| a | 0.522 | 0.514 | 0.506 |
| $\sigma_t$ (MPa) | 0.003 | 0.083 | 0.168 |
| $\sigma_c$ (MPa) | 0.080 | 1.22 | 3.383 |
| $\sigma_{triass}$ (MPa) | 0.476 | 4.85 | 8.2 |

Peso di volume unitario medio $\gamma$ = 2.55-2.65T/$m^3$ (valori da letteratura)

La coincidenza tra gli indici calcolati mediante le classificazioni di Bieniawski e Barton è stata verificata mediante l'applicazione della seguente relazione proposta da Barton (1995), ), che indica una discreta corrispondenza tra gli indici di classificazione.

$$RMR = 50 + 15 \log Q$$

| | Q min | Q medio | Q max |
|---|---|---|---|
| RMR | 25 | 51 | 57 |

Richiamate le NTC stabilite dal D.M. 14/01/2008, per i parametri rappresentativi dell'ammasso roccioso si propone la seguente parametrizzazione preliminare in termini di valori medi (fm).

VALORI MEDI:

| $\gamma_m$ (T/mc) | $\phi'_m$ (°) | $c_m$ *(kPa)* | $E_{stm}$ *(GPa)* |
|---|---|---|---|
| 2.6 | 27.5 | 225 | 6 |

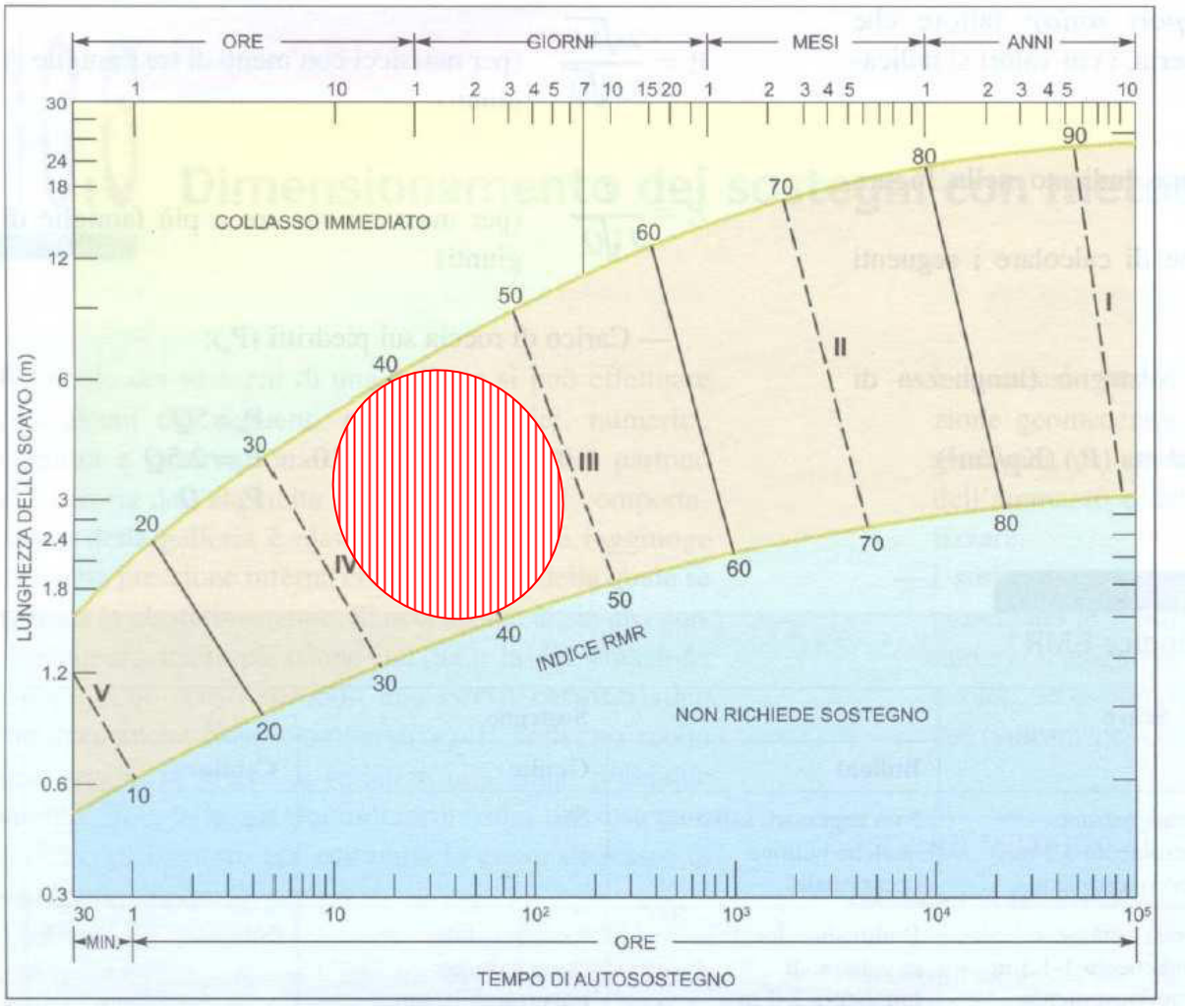
| VALORI DI PROGETTO | M1 | M2 |
|---|---|---|
| $\gamma_d$ (T/mc) | 2.6 | 2.6 |
| $\phi_d$ (°) | 27.5 | 22.6 |
| $C_d$ *(kPa)* | 225 | 180 |

Di seguito vengono allegate alcune tabelle di inquadramento e grafici richiamati dalla bibliografia dai quali possono essere tratte utili indicazioni circa i provvedimenti da attuare nel corso dei lavori.

## Classificazione di Bieniawski o dell'indice RMR

- Classificazione dell'ammasso roccioso secondo Bieniawski (da Bieniawski, Z. T,., 1979)

| RMR = Σ ni | 0 – 20 | 21 – 40 | 41 – 60 | 61 – 80 | 81 – 100 |
|---|---|---|---|---|---|
| Classe di roccia | V | IV | III | II | I |
| Descrizione della roccia | molto scadente | scadente | discreta | buona | ottima |
| c (KPa) | < 100 | 100 – 150 | 150 – 200 | 200 – 300 | > 300 |
| φ | < 30° | 30° – 35° | 35° – 40° | 40° – 45° | > 45° |
| Giudizio sulle difficoltà di scavo | nessuna difficoltà | può essere scavato facilmente. Frammentazione notevole | discreta difficoltà | si scava con difficoltà. Frammenti di notevoli dimensioni | notevoli difficoltà di scavo |
| T<br>L(m) | 10 min<br>0,5 | 5 ore<br>1,5 | 1 settimana<br>3 | 6 mesi<br>4 | 10 anni<br>5 |


ORE
GIORNI
MESI
ANNI
COLLASSO IMMEDIATO
NON RICHIEDE SOSTEGNO
INDICE RMR
LUNGHEZZA DELLO SCAVO (m)
TEMPO DI AUTOSOSTEGNO
MIN.
ORE
I
II
III
IV
V

# Classificazione di Bieniawski o dell'indice RMR

– Modalità di avanzamento e armature in funzione delle cinque classi previste dal RMR (da Bieniawski, Z. T., 1976)

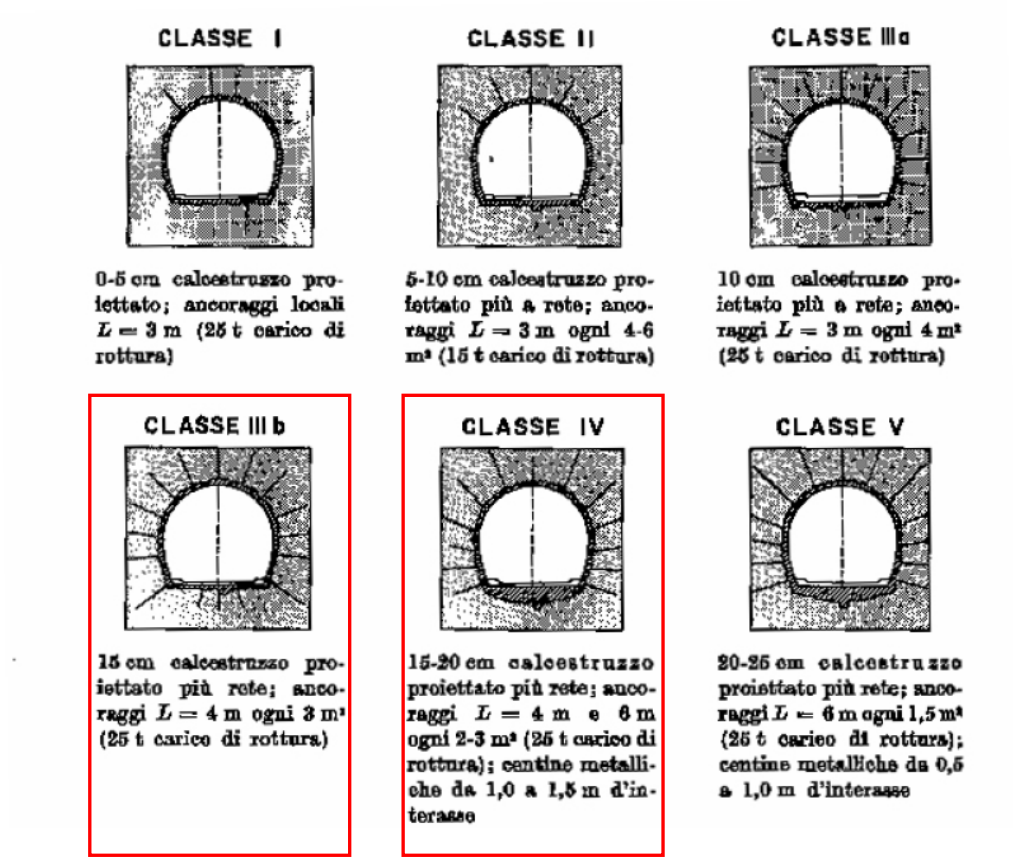
| Classe ammasso | | V | | IV | | III | | II | | I |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RMR | 0 | | 20 | | 40 | | 60 | | 80 | 100 |
| Avanzamento | a sezione parziale | avanzamento con cunicoli e allarghi | 0,5-1 m dal prerivestimento | a 1-1,5 m dal prerivestimento | avanzamento in calotta | a 1,5-3 m dal prerivestimento | a piena sezione | a 1-1,5 m dal prerivestimento | a 3 m dal prerivestimento |
| sostegni provvisori | Bulloni | Lunghezza 5-6 m disposti regolarmente con spaziatura 1-1,5 m in calotta e sulla parete, con rete metallica. Bulloni in arco rovescio | Lunghezza 4-5 m disposti regolarmente con spaziatura 1-1,5 m in calotta e sulle pareti, con rete metallica | Lunghezza 3-4 m disposti regolarmente con spaziatura 1,5-2 m in calotta e sulle pareti con rete metallica in calotta | Non è richiesto rivestimento a eccezione di qualche bullone isolato | | | | |
| | Calcestruzzo proiettato | 150-200 mm in calotta, 150 mm sulle pareti e 50 mm sul fronte di scavo. Applicare il più presto possibile dopo aver usato gli esplosivi | 100-150 mm in calotta, 100 mm sulle pareti. Può essere applicato anche mentre si effettua lo scavo | 50-100 mm in calotta, 30 mm sulle pareti. | | 50-100 mm in calotta come base per impermeabilizzare | | | |
| | Centine | Profilati pesanti in acciaio inossidabile a distanza di 1,5m; traverse in arco rovescio | Profilati leggeri a distanza di 1,5 m se necessari | Non necessarie | | Non necessarie | | | |

A compendio di quanto illustrato è stata applicata la Classificazione di Rabcewicz che, come noto, costituisce una sintesi delle esperienze maturate nell'applicazione del Nuovo Metodo Austriaco alla costruzione delle gallerie. Il metodo trae vantaggio dalla capacità dell'ammasso roccioso di autosostenersi attraverso il controllo del processo di ridistribuzione delle forze nell'anello di roccia che lo circonda adattando la scelta delle opere di sostegno allo scavo,

# CLASSIFICAZIONE DI RABCEWICZ

| Classi di roccia | Descrizione del comportamento della roccia | Scavo | | | | Misure di sicurezza e di sostegno | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Sezione | Lunghezza volate | Metodo | Tempo di autosostegno | Intervento | Tempo di posa in opera |
| I Stabile | Roccia sana massiva. Lo scavo si autosostiene e le tensioni al contorno non superano la resistenza della roccia. | Sezione piena | Dipende dalle condizioni locali | Con esplosivo | Settimane in calotta, illimitato in parete | Ancoraggi locali + rete in calotta o calcestruzzo proiettato | Senza limiti, a scavo avvenuto in caso di rilasci locali |
| II Leggermente fratturata | Roccia stratificata e leggermente fratturata. Nella fase di decompressione le tensioni tangenziali in calotta superano la resistenza della roccia con conseguenti distacchi Sono necessarie opere di sostegno sistematiche in calotta. Le pareti dello scavo si mantengono stabili salvo possibili distacchi locali. | Sezione piena | max 3 m | Con esplosivo | Giorni in calotta, settimane in parete | Ancoraggi sistematici in calotta + rete + calcestruzzo proiettato (anche in parete per bloccare rilasci locali) | Ultimazione a 40 m max dal fronte scavo |
| III *a* Fratturata<br>III *b* Poco spingente | Roccia da fratturata a molto fratturata. Il limite di resistenza della roccia viene raggiunto in parete e superato in calotta. Sono necessarie opere di sostegno sistematiche e l'inserimento dell'arco rovescio per la possibilità di rottura del fondo dello scavo. | Sezione piena con volate brevi. Preferibilmente sezione parzializzata (calotta più 1 strozzo) | Max 1,5 m per scavo a sezione piena. Max 3 m per scavo a sezione parzializzata | Esplosivi con cautela localmente a macchina | Ore in calotta giorni in parete | Ancoraggi sistematici + rete + calcestruzzo proiettato in calotta e in parete. Arco rovescio | Inizio subito dopo lo scavo e completamento a 20 m max dal fronte scavo |
| IV Spingente | Roccia alterata, scisota, fagliata. La resistenza della roccia viene superata su tutto il contorno dello scavo. Sono necessarie opere di sostegno sistematiche, l'inserimento dell'arco rovescio e la protezione del fronte dello scavo. | Sezione parzializzata (calotta con più di 1 strozzo) | da 1 m a 1,5 m in calotta | a macchina | Molto breve, in calotta, alcune ore in parete | Ancoraggi sistematici + rete + calcestruzzo proiettato + centine metalliche in calotta e in parete Arco rovescio e protezione del fronte dello scavo con calcestruzzo proiettato | Inizio subito dopo lo scavo parziale Il getto dell'arco rovescio a breve scadenza in funzione delle condizioni locali (misure in sito) |
| V Molto spingente | Roccia molto alterata, completamente milonitizzata. L'apertura dello scavo provoca l'insorgere di forti pressioni in tutte le direzioni. L'anello di roccia intorno allo scavo è completamente plasticizzato e tende verso l'interno con sensibile riduzione della sezione. | È necessaria una suddivisione in diverse sezioni parziali in funzione anche della stabilità del fronte dello scavo | da 0,5 a 1,0 m in calotta | a macchina | Nessuno in calotta, fino a poche ore in parete e sul fronte | Ancoraggi sistematici + rete + calcestruzzo proiettato + centine metalliche in calotta e in pareteì Arco rovescio e protezione del fronte dello scavo con calcestruzzo proiettato | Tutte le superfici devono essere sostenute non appena aperto lo scavo. La successione delle operazioni e l'inserimento dell'arco rovescio devono essere definiti in funzione delle condizioni locali (misure in sito) |
| VI Materiale sciolto | Questa classe comprende tutti i terreni sciolti, franosi, per i quali lo scavo non può essere affrontato con i metodi convenzionali. | Lo scavo si regola in funzione dei metodi di sostegno | | | | Misure speciali quali congelamento, iniezioni di miscele chimiche ecc. | |

# Opere di sostegno dello scavo per le classi di roccia

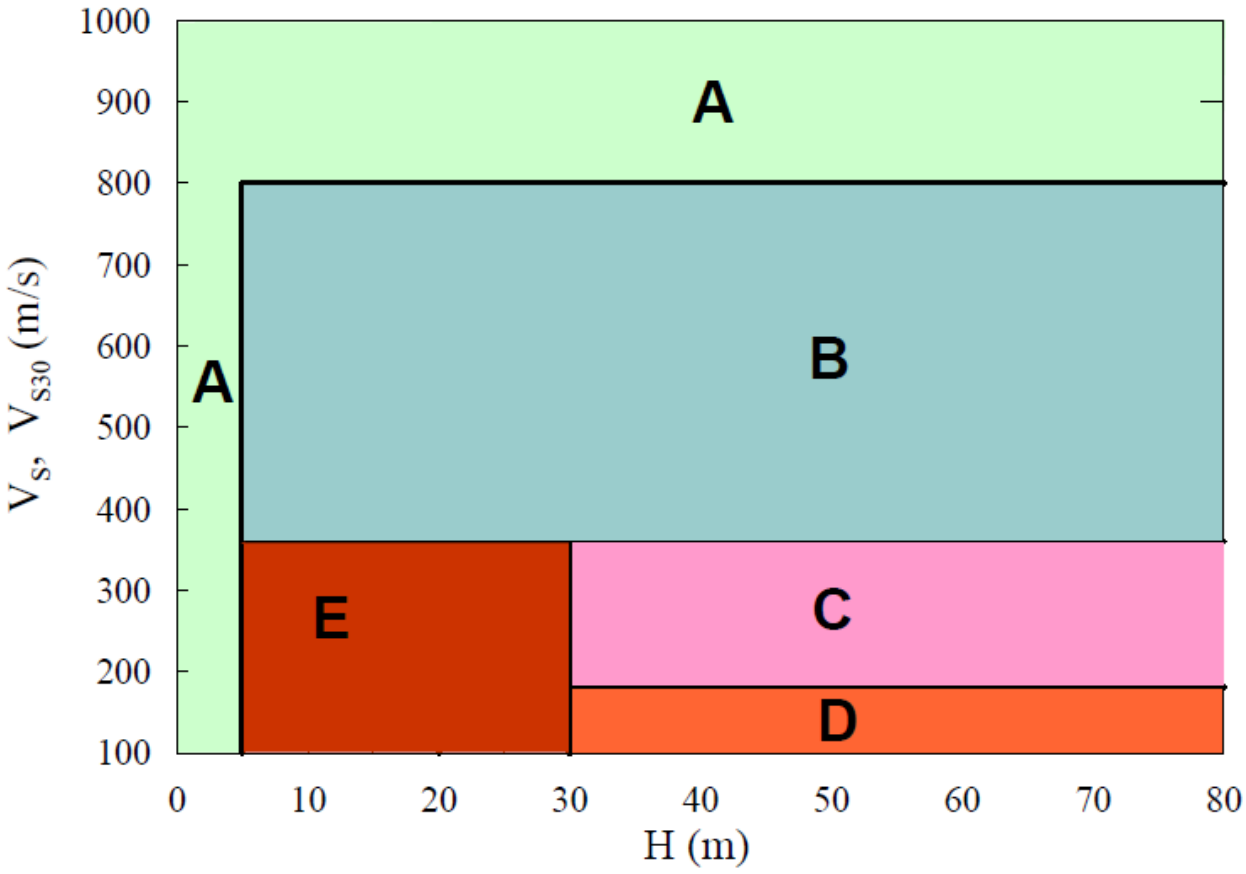



I due metodi esaminati dimostrano convergenza nelle soluzioni da adottare; si rimanda per maggiori dettagli alle valutazione dei progettisti.

## 11 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Con la D.G.R. 19/11/10, n. 1362, pubblicata sul Bollettino Ufficiale della Regione Liguria (B.U.R.L.) n. 50 del 15/12/10, parte II, è stata approvata la nuova classificazione sismica (che ha sostituito la precedente di cui alla D.G.R. 24/10/08, n. 1308), entrata in vigore il 1° gennaio 2011, ed il Comune di Moneglia è stato inserito in classe sismica 3 con pga = 0,15g.

La normativa tecnica, ai fini del calcolo dell'azione sismica, prescrive di determinare la categoria del suolo di fondazione. Nel caso specifico si forniscono cautelativamente i seguenti parametri determinati sulla base delle risultanze delle indagini eseguite e i criteri interpretativi delle NTC08 (cfr Tab.1)




*Tab.1: "le categorie di sottosuolo delle NTC08 limiti di applicabilità di Vs30" – G.Lanzo – CNR, Univ. La Sapienza Roma*

OPERE LUNGO IL SAN LORENZO (con riferimento al piano campagna attuale)

- CAT. B: relativa a "Depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30' compresi tra 360m/s e 800ms/s"
- CATEGORIA TOPOGRAFICA: T1

CANALE SCOLMATORE RIO SORBA:

- CAT. A: relativa ad "Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800m/s eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m".
- CATEGORIA TOPOGRAFICA: T3

*LEGENDA TABELLE DI SEGUITO ALLEGATE*

| | |
|---|---|
| $V_N$ | vita nominale della struttura |
| $C_u$ | coefficiente che dipende dalla classe d'uso |
| $V_R$ | periodo di riferimento dell'azione sismica |
| $P_{VR}$ | periodo di ritorno per la definizione dell'azione sismica |
| $T_R$ | tempo di ritorno |
| $a_g$ | accelerazione orizzontale di riferimento massima su suolo rigido (Cat. A |
| $F_o$ | fattore di amplificazione spettrale massima su suolo rigido |
| $T_c$ | periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro |
| $S_s$ | coefficiente di amplificazione stratigrafica |
| $C_c$ | coefficiente correttivo del periodo Tc |
| $S_t$ | coefficiente di correzione topografica |
| $a_{max}$ | accelerazione orizzontale massima attesa al sito |
| $\beta$ | coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito |
| **kh** | coefficiente sismico orizzontale |
| **kv** | coefficiente sismico verticale |

## FONDAZIONI

| Parametri sismici | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | SLE | | SLU | |
| | | SLO | SLD | SLV | SLC |
| Cat.suolo | | B | | | |
| Cat. Top. | | T1 | | | |
| Classe uso | | II | | | |
| $V_N$ | anni | 50 | | | |
| $C_u$ | | 1 | | | |
| $V_R$ | anni | 50 | | | |
| $P_{VR}$ | % | 81 | 63 | 10 | 5 |
| $T_R$ | anni | 30 | 50 | 475 | 975 |
| $a_g$ | g | 0.035 | 0.044 | 0.110 | 0.144 |
| $F_o$ | | 2.517 | 2.521 | 2.405 | 2.394 |
| $T_c$ | s | 0.209 | 0.237 | 0.287 | 0.290 |
| $S_s$ | | 1.200 | 1.200 | 1.200 | 1.200 |
| $C_c$ | | 1.500 | 1.470 | 1.410 | 1.410 |
| $S_t$ | | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| $a_{max}$ | $m/s^2$ | 0.415 | 0.514 | 1.299 | 1.700 |
| β | | 0.200 | 0.200 | 0.240 | 0.240 |
| kh | | 0.008 | 0.010 | 0.032 | 0.042 |
| kv | ± | 0.004 | 0.005 | 0.016 | 0.021 |

## OPERE DI SOSTEGNO

| Parametri sismici | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | SLE | | SLU | |
| | | SLO | SLD | SLV | SLC |
| Cat.suolo | | B | | | |
| Cat. Top. | | T1 | | | |
| Classe uso | | II | | | |
| $V_N$ | anni | 50 | | | |
| $C_u$ | | 1 | | | |
| $V_R$ | anni | 50 | | | |
| $P_{VR}$ | % | 81 | 63 | 10 | 5 |
| $T_R$ | anni | 30 | 50 | 475 | 975 |
| $a_g$ | g | 0.035 | 0.044 | 0.110 | 0.144 |
| $F_o$ | | 2.517 | 2.521 | 2.405 | 2.394 |
| $T_c$ | s | 0.209 | 0.237 | 0.287 | 0.290 |
| $S_s$ | | 1.200 | 1.200 | 1.200 | 1.200 |
| $C_c$ | | 1.500 | 1.470 | 1.410 | 1.410 |
| $S_t$ | | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| $a_{max}$ | $m/s^2$ | 0.415 | 0.514 | 1.299 | 1.700 |
| β | | 0.180 | 0.180 | 0.240 | 0.240 |
| kh | | 0.008 | 0.009 | 0.032 | 0.042 |
| kv | ± | 0.004 | 0.005 | 0.016 | 0.021 |

## FONDAZIONI

| Parametri sismici | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | SLE | | SLU | |
| | | SLO | SLD | SLV | SLC |
| Cat.suolo | | A | | | |
| Cat. Top. | | T3 | | | |
| Classe uso | | II | | | |
| $V_N$ | anni | 50 | | | |
| $C_u$ | | 1 | | | |
| $V_R$ | anni | 50 | | | |
| $P_{VR}$ | % | 81 | 63 | 10 | 5 |
| $T_R$ | anni | 30 | 50 | 475 | 975 |
| $a_g$ | g | 0.035 | 0.044 | 0.110 | 0.144 |
| $F_o$ | | 2.517 | 2.521 | 2.405 | 2.394 |
| $T_c$ | s | 0.209 | 0.237 | 0.287 | 0.290 |
| $S_s$ | | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| $C_c$ | | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| $S_t$ | | 1.200 | 1.200 | 1.200 | 1.200 |
| $a_{max}$ | $m/s^2$ | 0.415 | 0.514 | 1.299 | 1.700 |
| β | | 0.200 | 0.200 | 0.270 | 0.270 |
| kh | | 0.008 | 0.010 | 0.036 | 0.047 |
| kv | ± | 0.004 | 0.005 | 0.018 | 0.023 |

OPERE DI SOSTEGNO

| Parametri sismici | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | SLE | | SLU | |
| | | SLO | SLD | SLV | SLC |
| Cat.suolo | | A | | | |
| Cat. Top. | | T3 | | | |
| Classe uso | | II | | | |
| $V_N$ | anni | 50 | | | |
| $C_u$ | | 1 | | | |
| $V_R$ | anni | 50 | | | |
| $P_{VR}$ | % | 81 | 63 | 10 | 5 |
| $T_R$ | anni | 30 | 50 | 475 | 975 |
| $a_g$ | g | 0.035 | 0.044 | 0.110 | 0.144 |
| $F_o$ | | 2.517 | 2.521 | 2.405 | 2.394 |
| $T_c$ | s | 0.209 | 0.237 | 0.287 | 0.290 |
| $S_s$ | | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| $C_c$ | | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| $S_t$ | | 1.200 | 1.200 | 1.200 | 1.200 |
| $a_{max}$ | $m/s^2$ | 0.415 | 0.514 | 1.299 | 1.700 |
| β | | 0.200 | 0.200 | 0.290 | 0.290 |
| kh | | 0.008 | 0.010 | 0.038 | 0.050 |
| kv | ± | 0.004 | 0.005 | 0.019 | 0.025 |

Data la presenza di una falda subsuperficiale e la natura granulare dei terreni lungo il corso del torrente San Lorenzo, si è presa in considerazione la criticità alla liquefazione; in relazione a ciò bisogna specificare che, in accordo con il D.M. 14/01/2008, tale verifica può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti cinque circostanze:

1. eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;

3. profondità media stagionale della falda superiore a 15m da pc, per piano di campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N1)60 >30;
5. distribuzione granulometrica esterna ai fusi granulometrici di riferimento riportati in Normativa in funzione del coefficiente di uniformità (Uc).

Si è dunque eseguita una verifica della magnitudo M attesa nei quattro siti di riferimento in relazione allo stato limite SLV (Stato Limite di Salvaguardia della Vita) così come indicato in normativa e a tal fine è stata consultata la mappa di pericolosità sismica disponibile sul sito dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) nonchè i grafici di disaggregazione della pericolosità sismica.

A scopo chiarificativo si riporta sinteticamente un estratto dell'articolo: "Disaggregazione della pericolosità sismica in termini di M-R-ε" - D. Spallarossa, S. Barani - Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse, Università di Genova.

La disaggregazione (o deaggregazione) della pericolosità sismica (McGuire, 1995; Bazzurro and Cornell, 1999) è un'operazione che consente di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito.

La forma più comune di disaggregazione è quella bidimensionale in magnitudo e distanza (M-R) che permette di definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M.

Espresso in altri termini il processo di disaggregazione in M-R fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso.

Analogamente alla disaggregazione in M-R è possibile definire la disaggregazione tridimensionale in M-R-ε dove ε rappresenta il numero di deviazioni standard per cui lo scuotimento (logaritmico) devia dal valore mediano predetto da una data legge di attenuazione dati M ed R.

Lo studio affronta la disaggregazione della pericolosità sismica italiana (Gruppo di Lavoro MPS, 2004). L'analisi di disaggregazione è stata condotta per 16852 siti corrispondenti ai nodi della

griglia adottata per la redazione delle mappe di pericolosità sismica del territorio nazionale (Gruppo di Lavoro MPS, 2004).

Le mappe conclusive di pericolosità sismica, ottenute impiegando il formalismo ad albero logico, sono state elaborate in termini di mediana della distribuzione dei valori di pericolosità anziché in termini di valori medi; pertanto la disaggregazione è stata condotta adottando quali input i modelli ed i valori dei parametri lungo il ramo dell'albero logico a cui corrispondono i valori di pericolosità più prossimi a quelli mediani di riferimento.

In particolare, sono stati disaggregati i valori mediani di scuotimento (relativi a suolo rigido), espresso in termini di accelerazione orizzontale di picco (PGA), corrispondenti a 9 periodi di ritorno (RP): 30, 50, 72, 100, 140, 200, 475, 1000 e 2500 anni.

Per ciascun sito, i risultati sono stati restituiti in termini di distribuzioni M-R-ε da cui sono stati ricavati i valori medi e modali di tali parametri.

Da questi sono state elaborate le mappe di M, R ed ε per l'intero territorio nazionale. E' stato dunque evidenziato che all'aumentare del periodo di ritorno aumenta il contributo alla pericolosità di un dato sito da parte di terremoti forti a brevi distanze.

Gli esiti dello studio possono risultare utili nella selezione di accelerogrammi a scopi di progettazione e/o per analisi dinamiche (es. analisi numeriche di risposta sismica locale).

I risultati delle analisi effettuate sono i seguenti:

| | ID | Magnitudo M | Distanza (km) | ε |
|---|---|---|---|---|
| SITO1 | 17813 | 4.880 | 15.400 | 0.871 |
| SITO2 | 17814 | 4.870 | 12.800 | 0.869 |
| SITO3 | 17592 | 4.880 | 12.200 | 0.955 |
| SITO4 | 17591 | 4.850 | 12.200 | 0.847 |

Nei siti di riferimento risulta quindi che la magnitudo attesa, in riferimento allo SLV, è sempre minore di 5 conseguentemente la verifica alla liquefazione in prima analisi può essere omessa.

## 12 CONCLUSIONI

Le indagini svolte, articolate in rilevamenti di superficie integrati da una preliminare campagna geognostica (sondaggia carotaggio continuo, prospezioni geofisiche e prove penetro metriche), nei limiti suggeriti dall'attuale fase progettuale, hanno comunque consentito di fornire ai progettisti un primo modello geologico-geotecnico dal quale ricavare gli elementi essenziali per la progettazione delle opere previste.

Conseguentemente agli esiti delle indagini è stato possibile suggerire - tra l'altro - gli approntamenti per la mitigazione dei problemi in sotterraneo connessi alla delicata esecuzione dell'opera nonché valutare le soluzioni più adeguate volte al consolidamento dei limitati tratti di versante "a giorno" interferenti con gli imbocchi.

Attraverso le ricostruzioni effettuate sono state inoltre fornite indicazioni circa le principali problematiche lungo i fondovalle ed in ambito urbano. Tali considerazioni sono state ampliamente discusse con i progettisti e trasferite nel progetto preliminare di cui trattasi.

Resta inteso che nelle successive fasi di progettazione e soprattutto nel corso dei lavori le tematiche geologico-applicative dovranno essere adeguatamente affinate, anche attraverso ulteriori prospezioni di dettaglio e l'assistenza geologica continuativa a supporto della direzione Lavori.

Sestri Levante, Marzo 2017

Dott. geol. Giovanni Rizzi

Dott. geol. Barbara Musante

# COMUNE DI MONEGLIA

**(CITTA' METROPOLITANA DI GENOVA)**

INTERVENTO DI ADEGUAMENTO IDRAULICO DEI TRATTI TERMINALI

DEL TORRENTE SAN LORENZO E DEL RIO SORBA

FINALIZZATO ALLA MESSA IN SICUREZZA DELLA ZONA DI PONENTE

DEL CENTRO STORICO DELLA CITTÀ DI MONEGLIA

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

(D. Lgs. n° 50/2016 - art. 23 comma 5 e comma 6)

## RELAZIONE GEOLOGICA

**COMMITTENTE:** COMUNE DI MONEGLIA

**PROGETTISTI:** STUDIO TECNICO ASSOCIATO
ING. SERGIO BRIZZOLARA & ING. STEFANO STURLA

**INDICE DEI CAPITOLI**

1. PREMESSE
2. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI
3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO
5. SONDAGGI GEOGNOSTICI
    - 5.1 CLASSIFICAZIONE RQD (ROCK QUALITY DESIGNATION INDEX)
    - 5.2 CARATTERISTICHE DELLE DISCONTINUITA'
    - 5.3 PROVE IN SITU: STANDARD PENETRATION TEST
6. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE MEDIO –LEGGERE
7. PROSPEZIONE SISMICA
    - 7.1 ELABORAZIONE DATI
    - 7.2 RISULTATI:STESA 1
    - 7.3 RISULTATI:STESA 2
    - 7.4 RISULTATI:STESA 3
    - 7.5 RISULTATI:STESA 4
    - 7.6 DETERMINAZIONE DEL PARAMETRO $V_{S30}$
8. MODELLO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO
9. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE DELLE COPERTURE
10. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA PRELIMINARE DELL'AMMASSO ROCCIOSO
    - 10.1 SISTEMI CLASSIFICATIVI
    - 10.2 STAZIONE DI RILEVAMENTO A1
    - 10.3 STAZIONE DI RILEVAMENTO A2
    - 10.4 STAZIONE DI RILEVAMENTO B
    - 10.5 SINTESI DELLA CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA
11. CARATTERIZZAZIONE SISMICA
12. CONCLUSIONI

**ALLEGATI**

TAV. 1: COROGRAFIA

TAV. 2: STRALCIO DI CARTA GEOLOGICA

TAV. 3: PLANIMETRIA TECNICA: UBICAZIONE PROSPEZIONI GEOGNOSTICHE

TAV. 4: DIAGRAMMI DI INFISSIONE PENETROMETRICA

TAV. 5: INDAGINE SISMICA

TAV. 6: CARTA GEOLOGICA – GEOMORFOLOGICA DI DETTAGLIO

TAV. 7: PROFILO LONGITUDINALE GEOLOGICO-GEOMECCANICO DEL CANALE SCOLMATORE

TAV. 8: DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

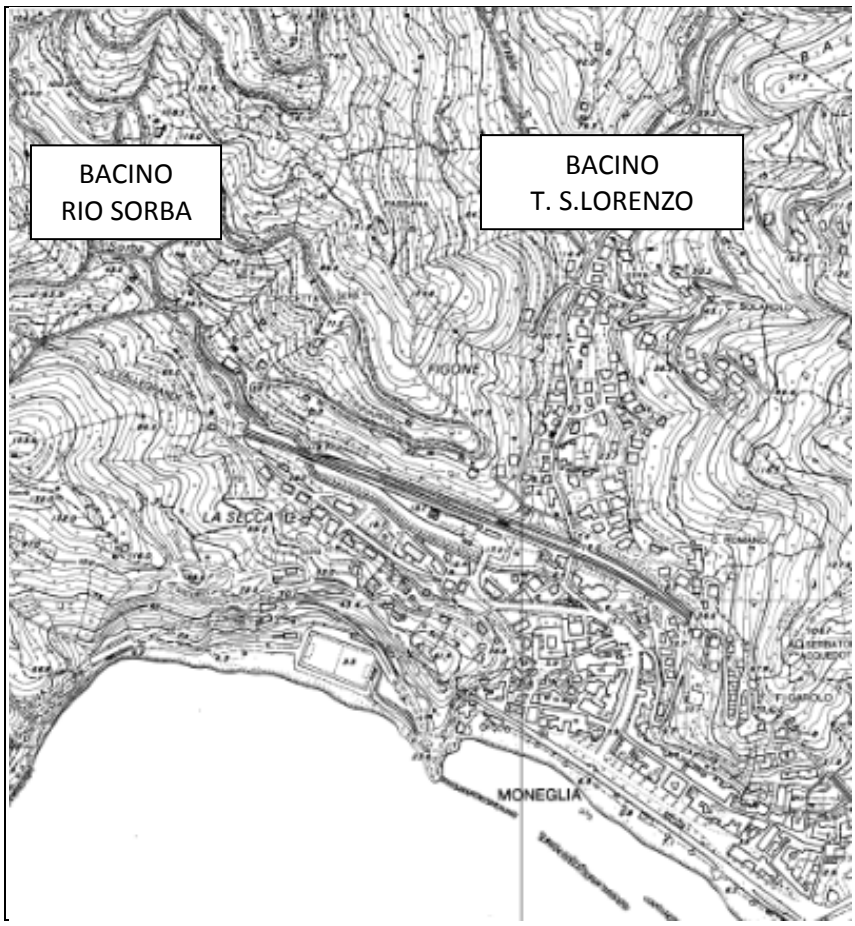
TAV. 8 a-b: SEZIONI GEOLOGICO INTERPRETATIVE

## 1. PREMESSE

E' stato ricevuto incarico dall'Amministrazione Comunale di Moneglia di effettuare un'indagine geologica a carattere preliminare a supporto della progettazione specificata in epigrafe.

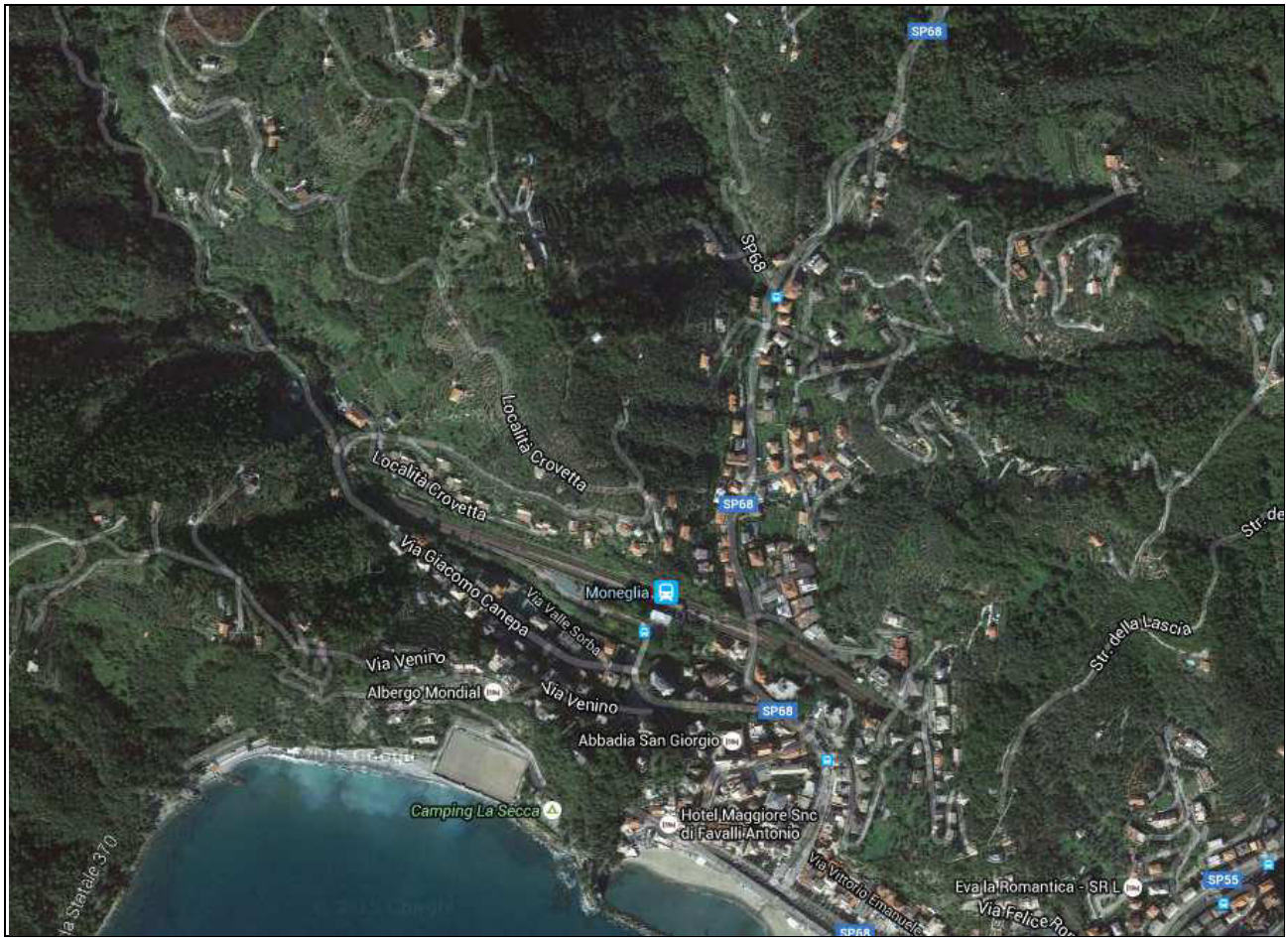
Gli interventi previsti nell'ambito della progettazione sono di seguito schematizzati:

- Interventi di adeguamento sponda destra e sinistra del t. San Lorenzo a monte della copertura esistente in prossimità della foce
- Rifacimento della copertura tratto terminale del torrente Sam Lorenzo
- Realizzazione canale scolmatore rio Sorba prima della confluenza con il torrente San Lorenzo.




TAV. 1: COROGRAFIA

Il contesto d'intervento è assai diversificato, sarà infatti interessato il centro cittadino a tessuto urbano compatto ma anche la zona retrostante costituita dalle aree collinari immediatamente retrostanti la linea costiera e caratterizzate da insediamenti sparsi.




L'indagine intrapresa ha l'obiettivo di ricostruire il "modello geologico preliminare" dell'area interessata dall'opera, ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008 ("Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni") e relativa circolare ministeriale n° 617 del 02/02/09 ("Istruzioni per l'applicazione delle NCT di cui al D.M. 14 gennaio 2008") onde consentire ai progettisti la scelta delle più adeguate soluzioni progettuali.

A tal fine sono stati eseguiti i seguenti approfondimenti geognostici:

| |
|---|
| A. ANALISI DATI BIBLIOGRAFICI |
| B. RILEVAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO |
| C. RILEVAMENTO GEOMECCANICO |
| D. N° 3 SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO |
| E. PROVE GEOTECNICHE IN SITU |
| F. PROVE GEOTECNICHE – GEOMECCANICHE DI LABORATORIO (in corso) |
| G. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE MEDIO-LEGGERE |
| H. N°3 STESE SISMICHE DI TOMOGRAFIA SISMICA A RIFRAZIONE ONDE P E ONDE S |

Si precisa che la scelta dell'ubicazione e della tipologia delle indagini eseguite è stata condizionata dall'effettiva accessibilità dei luoghi d'intervento nonché dalle risorse economiche rese disponibili dall'Amministrazione Comunale.

Si sottolinea ancora che alla data di redazione del presente documento sono in itinere alcuni tests di laboratorio per cui appena gli stessi saranno disponibili sarà predisposta riedizione aggiornata della relazione.

## 2. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

Prendendo in esame gli scenari idraulici predisposti dai progettisti e tenuto conto delle determinazioni del Piano di bacino, si evincono gravi criticità per il centro urbano, sia in relazione alle geometrie delle sezioni idrauliche che, soprattutto, in relazione alla presenza della copertura nel tratto vallivo urbano del torrente San Lorenzo.

Tenuto conto di ciò ed alla luce di eventi alluvionali accaduti in territori a caratteristiche geomorfologiche-idrogeologiche analoghe, nell'ambito della scelta della soluzione più adeguata, oltre ai risultati delle modellazioni idrauliche si è tenuto in debito conto la suscettività al dissesto dei versanti incombenti sulle aste torrentizie e - qualitativamente - il potenziale trasporto solido anomalo in caso di evento alluvionale, soprattutto per quanto riguarda la realizzazione del canale scolmatore.

Come si dirà in seguito, la suscettività al dissesto da Piano di Bacino evidenzia una situazione del territorio non favorevole e le criticità aumentano significativamente prendendo in esame i movimenti franosi effettivamente manifestatisi negli ultimi anni, ubicati con maggiore frequenza entro il bacino del torrente San Lorenzo.

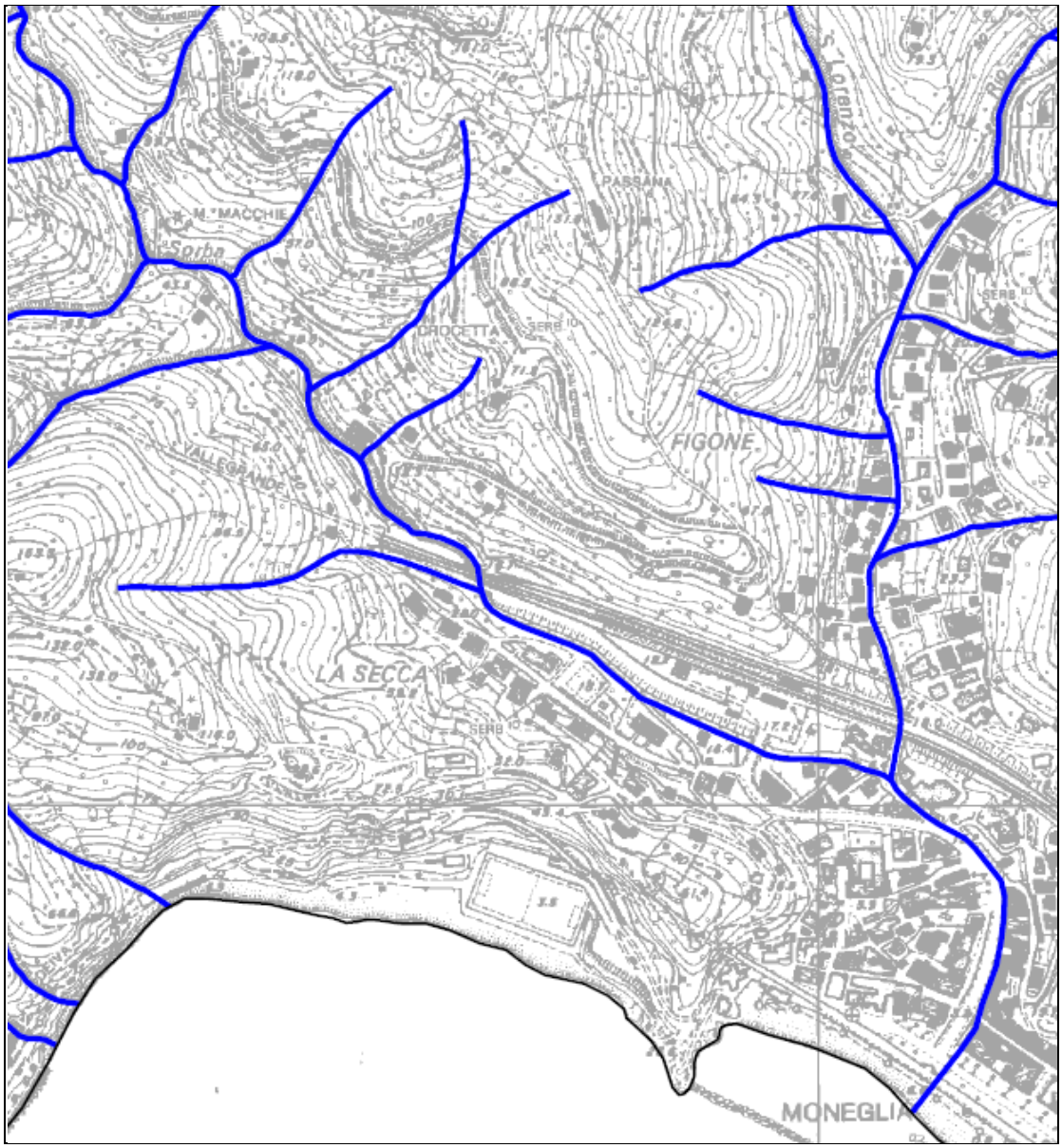
In prima analisi e ferma restando la necessità di prevedere adeguati sistemi di trattenuta del materiale trasportato dal torrente, è dunque parso più pertinente immaginare uno scolmatore per il torrente Sorba rispetto ad uno per il torrente San Lorenzo.

Nell'ambito di valutazioni più generali ed ancora in termini di trasporto solido, non si potrà inoltre prescindere dalle conseguenze provocate dallo scarico a mare dello scolmatore sull'ecosistema costiero e sugli assetti litoranei (geomorfologici- subacquei) ad oggi consolidati.

## 3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

In fase introduttiva si è provveduto a verificare l'inquadramento dell'area rispetto al Piano di Bacino vigente Ambito 17 – Torrente Bisagno e al Piano Urbanistico Comunale.
Dalla consultazione del Piano suddetto, dal quale sono estrapolate in stralcio le cartografie allegate, si sono ricavate le seguenti classificazioni.

Carta della Rete Idrografica: l'intervento non interferisce con rivi classificati nel reticolo idrografico




LEGENDA

Limite del bacino idrografico

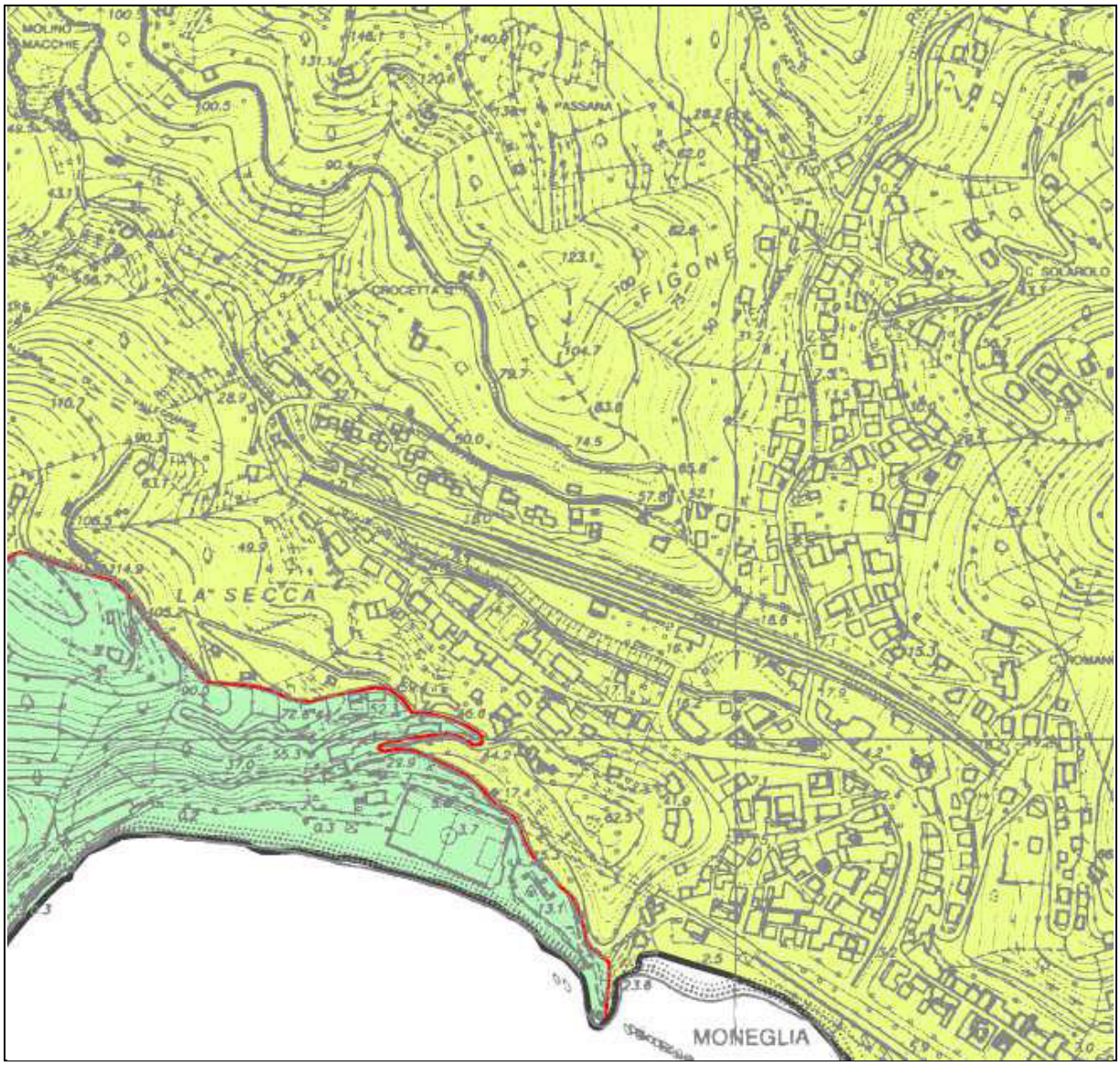
Reticolo idrografico

Carta della Suscettività al dissesto: la galleria è compresa in un'area a media suscettività al dissesto (Pg2) e, parzialmente, in un'area a suscettività al dissesto molto alta (Pg4).






Carta delle aree sottoposte a Vincolo Idrogeologico: l'area d'intervento è parzialmente sottoposta a Vincolo Idrogeologico




AREE SOTTOPOSTE A VINCOLO IDROGEOLOGICO

AREE NON SOTTOPOSTE A VINCOLO IDROGEOLOGICO

LIMITE DEL PIANO DI BACINO

## 4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Il versante in oggetto è caratterizzato sotto il profilo geolitologico, da Ovest verso Est, dal passaggio tra la Formazione delle Argille a palombini, i soprastanti Scisti della Val Lavagna nella facies zonata e le Arenarie di Monte Gottero (TAV. 2).

Mediamente le tre Formazioni propongono immersioni da W a SW dimostrando un passaggio di tipo stratigrafico "diritto".

In particolare le estese emergenze del substrato lungo il litorale e nell'incisione del rio Sorba, hanno consentito di attribuire le litologie presenti alla Formazione delle Argille a Palombini, che rappresentano il termine più antico della serie dei terreni che affiorano nella zona considerata.

Detta Formazione è costituita essenzialmente da scisti argillosi e argilloso marnosi con intercalazioni di calcare palombino e di arenaria molto fine.

Si riportano di seguito le caratteristiche dei litotipi che costituiscono le alternanze tipiche.

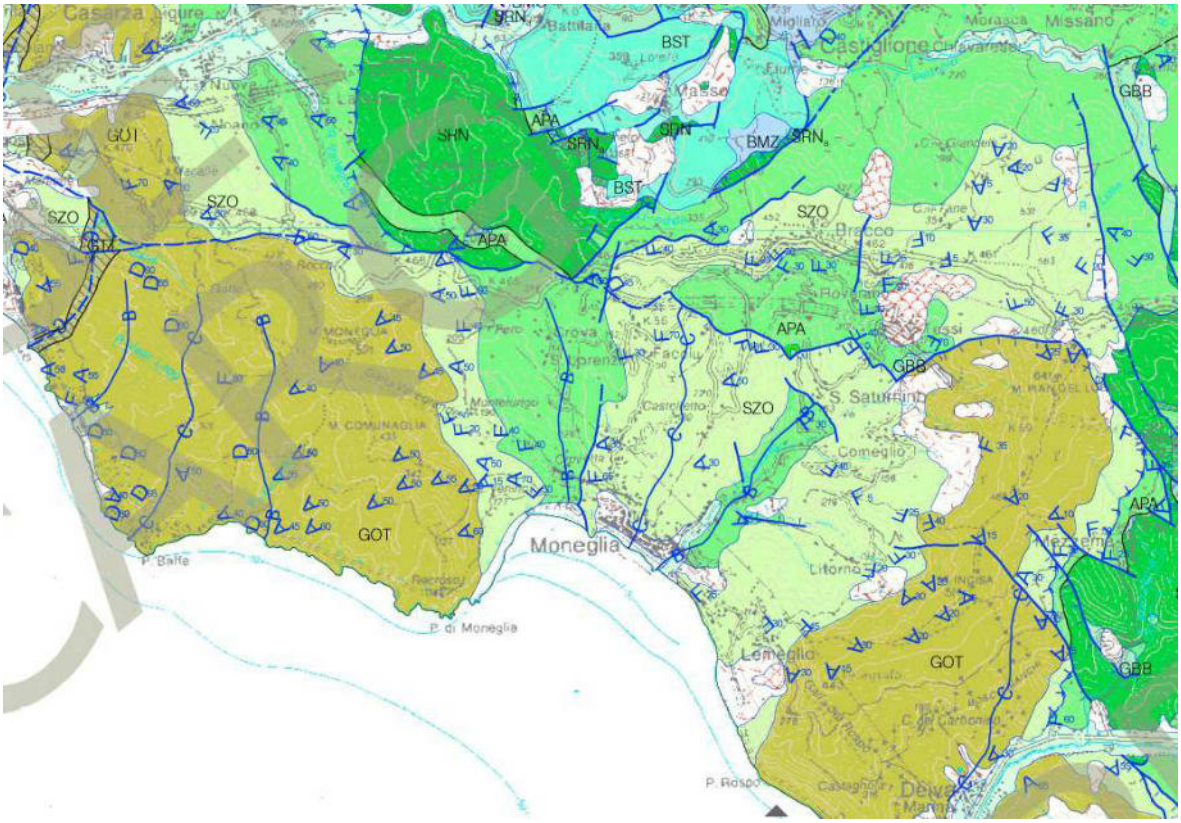
ARGILLOSCISTI: si tratta di scisti argillosi generalmente dotati di fittissimi piani di scistosità, lamellari, lucidi, taglienti; il colore prevalente è il grigio ed il grigio - nero, non mancano però colori grigio verdognoli; formano strati di potenza assai variabile, da pochi centimetri (talora addirittura sotto forma di veli millimetrici), a valori superiori al metro; la scistosità si presenta in qualche caso leggermente obliqua rispetto ai piani di stratificazione; presentano in talune zone fitti ripiegamenti, altrove invece sistemi di fratture trasversali ai piani di scistosità, tanto che ne deriva una divisibilità in scaglie irregolari ed in prismi allungati;

CALCARI PALOMBINI: formano le intercalazioni negli scisti argillosi ora descritti; si tratta generalmente di calcari compatti, a frattura concoide, di colore grigio in varie tonalità, fino a grigio nero; il colore di alterazione superficiale è biancastro, talvolta giallo terroso o bruno scuro se in presenza di manganese; formano strati di potenza variabile da pochi centimetri a più di un metro che presentano spesso forme di erosione ad incudine ed a clessidra e frequenti vene di calcite bianca, generalmente trasversali ai piani di stratificazione; nell'ambito delle variazioni di litofacies dei calcari palombini si è notato che vi sono dei tipi che presentano una notevole percentuale di

argilla così da dar luogo a calcari decisamente marnosi, talora scistosi; altrove l'arricchimento è nella componente detritica così da aversi dei calcari palombini chiaramente arenacei; questa seconda litofacies compare soprattutto nella parte alta della formazione; a volte lo strato di calcare palombino è mascherato, nella sua testata affiorante sugli spaccati, da una cotica terrosa manganesifera potente anche parecchi centimetri, che si attacca a tetto ed a letto a straterelli di natura argilloso – arenacea;

SCISTI ARGILLOSO - MARNOSI E MARNOSCISTI: si tratta di scisti argillosi rispettivamente con debole e notevole componente marnosa che, sia pure presenti generalmente in quantità subordinata, si associano e si alternano ai più tipici argilloscisti nell'ambito della formazione; si differenziano chiaramente da questi ultimi, oltre che per la composizione, anche per il colore biancastro di alterazione, talora giallo terroso, sul tipo cioè di quello dell'ardesia, e per la pasta più morbida al taglio fresco; il colore è grigio plumbeo e la scistosità è quasi sempre molto accentuata; talvolta, ove il palombino assume una litofacies decisamente marnosa, si può osservare il graduale passaggio dal calcare al marnoscisto e quindi all'argilloscisto; in alcuni luoghi il litotipo è del tutto simile a quello delle ardesie classiche, appartenenti a più alti piani del Cretaceo;

SCISTI ARGILLOSO - ARENACEI E ARENARIE: si tratta di scisti argillosi a notevole componente arenacea e di arenarie a grana molto fine, che formano rispettivamente pacchi e straterelli dotati spesso di fitta fratturazione trasversale; il Terranova ha notato che in taluni punti della formazione gli strati di fine arenaria e di arenoscisto si infittiscono fino a diventare nettamente predominanti sui calcari palombini, lo stesso Autore ha osservato ancora che nella parte inferiore ed in quella mediana della formazione sono decisamente prevalenti gli straterelli molto sottili di arenaria fine (della potenza di pochi centimetri) mentre nella parte alta si fanno sempre più frequenti quelli di arenaria compatta e manganesifera.




**ARENARIE DI MONTE GOTTERO** (Arenarie di Monte Zatta *Auct.*)

GOT Arenarie quarzoso-feldspatiche in strati e banchi alternate ad argilliti. Verso la base sono presenti intercalazioni decametriche di argilliti policrome sottilmente stratificate con strati di marne e lenti di brecciole (argilliti di M. Vallai *Auct*, $GOT_a$).

$GOT_a$ CAMPANIANO SUP. – PALEOCENE p.p.

GRUPPO DEL LAVAGNA

Comprende le seguenti formazioni: Scisti Zonati, Ardesie di M. Verzi e Scisti Manganesiferi, a composizione argillosc-marnoso-arenacea, con rapporti spaziali di non chiara risoluzione. Rapporti di parziale eteropia sono possibili, oltre che tra le tre formazioni, anche tra Scisti Manganesiferi e Argille a Palombini e tra Scisti Zonati e la porzione inferiore delle Arenarie di Monte Gottero.

SZO **SCISTI ZONATI**
Torbiditi siltoso-arenacee in strati sottili con rari strati di marne localmente anche di spessore notevole.
CAMPANIANO SUP.

**ARDESIE DI MONTE VERZI**

AMV Torbiditi marnose in strati e banchi con caratteristica scistosità ardesiaca intercalate ad argilliti grigie e torbiditi siltoso-arenacee in strati da sottili a medi, localmente prevalenti.

$AMV_a$ Litofacies arenacea: torbiditi arenacee in strati e banchi alternate ad argilliti grigie scure e a marne ardesiache in strati da spessi a molto spessi (arenarie di Cogorno-Cavi, $AMV_a$).
CAMPANIANO SUP. - MAASTRICHTIANO INF. p.p.

**SCISTI MANGANESIFERI**

SMG Argilliti finemente fogliettate di colore grigio-bruno con patine di ossidi di Fe e Mn, con rari livelli di calciluti grigie ("pseudopalombini").
SANTONIANO ? -CAMPANIANO

**ARGILLE A PALOMBINI**

APA Argilliti grigie e siltiti intercalate a strati di calcare micritico di colore grigio scuro (palo mbino), raramente a base calcarenitica; verso il tetto gli strati di palombino possono ma ncare.
Olistoliti rari di serpentiniti (sr) e basalti (**β**); intercalazioni alla base di calcari a Calpionelle (cc) e gabbri (**Γ**).
HAUTERIVIANO SUP. – SANTONIANO SUP

**CALCARI A CALPIONELLE**

CCL Calciluti bianche o grigio chiare, con rare selci, con subordinate intercalazioni di argilliti, localmente marnose, più abbondanti verso il tetto.
TITONIANO SUP. – VALANGINIANO INF.

TAV. 2: STRALCIO DI CARTA GEOLOGICA (APAT)

Le condizioni morfologiche dell'immediato entroterra e delle colline che risalgono verso la statale del Bracco evidenziano la tipica situazione di sistemazione a terrazzi, con coltri di copertura generalmente di spessore inferiore a 3-4m.

Nella zona costiera si rilevano invece le alte falesie rocciose generalmente in erosione e lento arretramento.

Il litorale cittadino di Moneglia ospita la foce dei due principali corsi d'acqua che attraversano il territorio comunale: il torrente Bisagno (zona a levante) e il torrente San Lorenzo (zona a Ponente).

Ivi si configura una piana, di contenute dimensioni e completamente urbanizzata, generata dall'interazione e interdigitazione tra i sedimenti alluvionali e le deposizioni marine.

Sotto il profilo geomorfologico si sottolinea come un censimento delle frane manifestatesi negli ultimi anni a seguito degli eventi alluvionali accaduti (cfr. carta delle criticità allegata al Piano di Emergenza in itinere) evidenzia un forte numero di dissesti (frane di scivolamento, debris flow, ecc.) soprattutto sui versanti del torrente San Lorenzo, tutti esterni alle perimetrazioni di alta suscettività del Piano di Bacino, molti direttamente incombenti sul corso d'acqua e sui suoi affluenti.

Gli interventi connessi a tali dissesti, succedutisi nel tempo, sono stati finalizzati al ripristino di infrastrutture per cui permangono tuttora le pericolosità insite con i cinematismi.

Analizzando il progetto in rapporto alle condizioni geomorfologiche specifiche delle aree, si possono fornire questi ulteriori elementi.

Il torrente San Lorenzo scorre sulla piana di fondovalle ed attraversa tombinato la piana retrostante la linea di costa ascrivibile evidentemente a spiagge.

Il materasso di copertura assume spessori da plurimetrici (a monte) a circa decametrici (a valle) così come sarà meglio dettagliato nel capitolo riguardante la campagna geognostica.

Ivi la falda è attestata circa alla quota del livello del mare tuttavia notizie storiche riferiscono di escursioni di entità metrica.

Laddove inciso (a monte della tombinatura) i versanti risalgono con pendenza variabile, più acclivi in destra orografica e più dolci sul versante opposto.

In sponda destra prevalgono rimaneggiamenti e riporti derivanti dalla realizzazione della strada e dalla costruzioni dei limitrofi edifici; in sponda opposta si alternano aree rimaneggiate a terrazzamenti agricoli.

In corrispondenza della tombinatura si manifesta una interdigitazione tra i depositi di spiaggia marina e quelli alluvionali che configurano una conoide torrentizia condizionata dalla originaria divagazione del corso d'acqua.

Lungo il rio Sorba si riscontrano modificazioni al suo assetto originario dettate dai lavori per la costruzione della limitrofa linea ferroviaria.

Il greto del rio scorre in roccia affiorante e significativi affioramenti sono stati osservati in sponda sinistra a monte del ponte ferroviario; a valle sono invece presenti alti muri che contengono i riporti dell'infrastruttura e le aree attigue.

In sponda destra il versante propone una maggiore acclività ed anche in questo caso muri limitrofi alla pedonale che corre in fregio al rio mascherano la situazione stratigrafica tuttavia è lecito immaginare la presenza di coltri di spessore contenuto entro i 3-5m a copertura del profilo roccioso.

Sul versante orografico destro è inoltre necessario rilevare la presenza di edifici, infrastrutture e sistemazioni che hanno comportato modificazioni e rimaneggiamenti nei primi strati del sottosuolo.

Sul lato meridionale della dorsale che verrà attraversata dal canale scolmatore gli aspetti geomorfologici presentano una condizione mediamente di roccia affiorante e subaffiorante su pendii dotati di significativa acclività; ivi gli insediamenti, per quanto significativi, appaiono sparsi e discontinui.

In prossimità della località la Secca e del campo sportivo si osserva il taglio morfologico generato dal passaggio dell'originaria sede ferroviaria ora "strada delle gallerie".

## 5. SONDAGGI GEOGNOSTICI

Come già anticipato sono stati eseguiti n°3 sondaggi a carotaggio continuo, denominati S1 – S2 – S3 e spinti rispettivamente alle seguenti profondità:

S1: fino a -15m da pc (in corrispondenza della tombinatura esistente)

S2: fino a -12m da pc (imbocco scolmatore rio Sorba)

S3: fino a -25m da pc (sbocco scolmatore rio Sorba)

.

L'analisi visuale dei campioni di terreno e di roccia prelevati mediante il carotaggio ha consentito la ricostruzione della stratigrafia di cui si propone di seguito una sintesi.

| **SONDAGGIO S1** | |
|---|---|
| PROFONDITA' (m) | DESCRIZIONE |
| 0.00-3.80 | Riporti e rimaneggiamenti, caratterizzati da una frazione grossolana (ghiaia e ciottoli) costituiti da frammenti sub angolosi di roccia e laterizi, la frazione fine è costituita da sabbia fine con limo e argilla poco plastici subordinati.<br>Colore bruno-grigio |
| 3.80-5.70 | Sedimenti alluvionali costituiti da ghiaia ed in subordine ciottoli a morfologia prevalentemente sub angolosa, in percentuali minori sono presenti sabbia e frazione coesiva mediamente plastica (limo argilloso).<br>Colore bruno. |
| 5.70-8.00 | Depositi alluvionali frammisti a coltre colluviale , costituiti da una prevalente frazione granulare ghiaiosa, a morfologia sub angolosa, in matrice limoso-argillosa.<br>Colore bruno ocra |
| 8.00-13.00 | Eluvio argilloscistoso con relitti di struttura (ghiaia limoso-argillosa con sabbia).<br>Colore grigio |
| 13.00-15.00 | Substrato roccioso alterato e fratturato costituito da alternanze di argilliti/argilloscisti, calcari marnosi (Formazione delle Argille a Palombini). |

| **SONDAGGIO S2** | |
|---|---|
| PROFONDITA' (m) | DESCRIZIONE |
| 0.00 – 3.80 | Riporti e coltre rimaneggiata, granulometria eterometrica ghiaia limoso- argillosa con sabbia.<br>Colore bruno-grigio |
| 3.80 – 12.00 | Substrato roccioso mediamente alterato e fratturato costituito da alternanze di argilliti/argilloscisti, calcari marnosi (Formazione delle Argille a Palombini). Sono presenti lnterstrati argilloscistosi molto alterati e talvolta di consistenza terrosa. |

| **SONDAGGIO S3** | |
|---|---|
| PROFONDITA' (m) | DESCRIZIONE |
| 0.00 – 5.70 | Riporti e coltre rimaneggiata, granulometria eterometrica ghiaia limosa con sabbia sono presenti anche ciottoli e frammenti di blocchi (lapidei – cementizi-laterizi)<br>Colore bruno |
| 5.70 - 6.20 | Cappellaccio di alterazione del substrato, costituito da roccia completamente fratturata |
| 6.20-25.00 | Substrato roccioso mediamente alterato e molto fratturato costituito da alternanze di argilliti/argilloscisti, calcari marnosi i (Formazione delle Argille a Palombini). Sono presenti interstrati argilloscistosi molto alterati e talvolta di consistenza terrosa in particolare allaseguenti profondità: 20.50-23.00m da pc |

## 5.1 CLASSIFICAZIONE RQD (ROCK QUALITY DESIGNATION INDEX)

Dall'analisi degli spezzoni di roccia prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi è stato possibile effettuare la classificazione RQD (Rock Quality Designation Index – Deere, 1964).

Tale sistema classificativo è volto ad ottenere informazioni circa la qualità della roccia a partire dalla percentuale di recupero in una carota di sondaggio attraverso la relazione:

$$RQD = \Sigma L_c / L_t * 100$$

Lc = somma degli spezzoni di carota > 100 mm
Lt = lunghezza totale del tratto in cui si è misurata Lc

| RQD | QUALITA' DELL'AMMASSO |
|---|---|
| <25 | MOLTO SCADENTE |
| 25-50 | SCADENTE |
| 50-75 | MEDIOCRE |
| 75-90 | BUONA |
| 90-100 | MOLTO BUONA |

Tabella di riferimento

Valutazione RQD per ml: SONDAGGIO S1

| PROFONDITA'(m da pc) | RQD (%) | QUALITA' DELL'AMMASSO |
|---|---|---|
| 13.00-14.00 | 0 | MOLTO SCADENTE |
| 14.00-15.00 | 18 | MOLTO SCADENTE |

$RQD_{medio}$: <25 %

Qualità dell'ammasso: MOLTO SCADENTE

Valutazione RQD per ml: SONDAGGIO S2

| PROFONDITA'(m da pc) | RQD (%) | QUALITA' DELL'AMMASSO |
|---|---|---|
| 4.00-5.00 | 0 | MOLTO SCADENTE |
| 5.00-6.00 | 50 | SCADENTE |
| 6.00-7.00 | 0 | MOLTO SCADENTE |
| 7.00-8.00 | 20 | MOLTO SCADENTE |
| 8.00-9.00 | 46 | SCADENTE |
| 9.00-10.00 | 15 | MOLTO SCADENTE |
| 10.00-11.00 | 70 | MEDIOCRE |
| 11.00-12.00 | 25 | MOLTO SCADENTE |

$RQD_{MIN}$ 0 $RQD_{MAX}$ 70

$RQD_{medio}$:28 %

Qualità dell'ammasso: SCADENTE

Valutazione RQD per ml: SONDAGGIO S3

| PROFONDITA'(m da pc) | RQD (%) | QUALITA' DELL'AMMASSO |
|---|---|---|
| 6.20-7.00 | 17 | MOLTO SCADENTE |
| 7.00-8.00 | 21 | MOLTO SCADENTE |
| 8.00-9.00 | 28 | SCADENTE |
| 9.00-10.00 | 0 | MOLTO SCADENTE |
| 10.00-11.00 | 25 | MOLTO SCADENTE |
| 11.00-12.00 | 23 | MOLTO SCADENTE |
| 12.00-13.00 | 10 | MOLTO SCADENTE |
| 13.00-14.00 | 10 | MOLTO SCADENTE |
| 14.00-15.00 | 10 | MOLTO SCADENTE |
| 15.00-16.00 | 37 | SCADENTE |
| 16.00-17.00 | 0 | MOLTO SCADENTE |
| 17.00-18.00 | 0 | MOLTO SCADENTE |
| 18.00-19.00 | 22 | MOLTO SCADENTE |
| 19.00-20.00 | 10 | MOLTO SCADENTE |
| 20.00-21.00 | 0 | MOLTO SCADENTE |
| 21.00-22.00 | 0 | MOLTO SCADENTE |
| 22.00-23.00 | 0 | MOLTO SCADENTE |
| 23.00-24.00 | 40 | SCADENTE |
| 24.00-25.00 | 0 | MOLTO SCADENTE |

$RQD_{MIN}$ 0 $RQD_{MAX}$ 40

$RQD_{medio}$: <25%

Qualità dell'ammasso: MOLTO SCADENTE

## 5.2 CARATTERISTICHE DELLE DISCONTINUITA'

Le discontinuità presenti negli spezzoni di roccia prelevati durante i sondaggi sono stati caratterizzate mediante di un dettagliato rilevamento geomeccanico e sono risultate molto simili in tutte e tre le prospezioni.

SONDAGGIO S1

| Set | Incl. (°) | Spaziatura (m) | Morfologia | JRC | Grado di alterazione | Apertura (mm) | Riempimento |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S0 | 0-20° | <0.06<br>0.20 – 0.60 | Piana<br>Discontinua | 5-9 | Mod. Alterata<br>Molto Alterata | 1-5<br>>5 | Assente/<br>Calcitico<br>/Plastico |
| F1 | Subvert. | - | Discontinua | 11-13 | Mod. Alterata<br>Alterata | 1-5<br>>5 | Assente/Calcitico |

SONDAGGIO S2

| Set | Incl. (°) | Spaziatura (m) | Morfologia | JRC | Grado di alterazione | Apertura (mm) | Riempimento |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S0 | 20-30° | 0.20 – 0.60 | Discontinua | 9-13 | Mod. Alterata | 1-5 | Assente/Plastico |
| F1 | Subvert. | - | Discontinua | 11-15 | Molto Alterata | 1-5 | Assente/Plastico (tracce di ossidazione) |
| F2 | 50-60° | 0.20 – 0.60<br>0.06-0.20 | Piana | 5-7 | Mod. Alterata<br>Alterata | 1-5<br>>5<br>0.1-1.0 | Assente/Calcitico |

SONDAGGIO S3

| Set | Incl. (°) | Spaziatura (m) | Morfologia | JRC | Grado di alterazione | Apertura (mm) | Riempimento |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S0 | 10-20° | 0.06 – 0.20 | Ondulata/Piana | 5-11 | Mod. Alterata | 0.1-1.0/1-5 | Assente/Plastico |
| F1 | Subvert. | - | Piana (argilloscisto) /Discontinua (calcare marnoso) | 5-7<br>13/17 | Molto Alterata | >5<br>1-5 | Assente/Plastico (tracce di ossidazione)/Calcitica |
| F2 | 70° | 0.06 – 0.20 | Ondulata | 7-9 | Mod. Alterata<br>Alterata | 1-5<br>>5<br>0.1-1.0 | Assente/Calcitico |

### 5.3 PROVE IN SITU: STANDARD PENETRATION TEST

Durante l'avanzamento della perforazione S1 sono state eseguite le seguenti prove SPT:

S1 SPT1 (1.50-1.95): 7/7/9

S1 SPT2 (3.00-3.45): 7/9/8

S1 SPT3 (4.50-4.95): 4/8/11

S1 SPT4 (6.00-6.45): 16/30/42

S1 SPT5 (7.50-7.95): 25/30/41

S1 SPT6 (9.00-9.45): 29/34/29

Dall'elaborazione delle prove si sono ricavati i seguenti parametri geotecnici rappresentativi, si precisa che il valore di NSPT è stato corretto in funzione della presenza di falda idrica impostata alla quota dell'alveo del torrente San Lorenzo.

**SONDAGGIO S1**

| | Nspt | Prof. Strato (m) |
|---|---|---|
| S1 SPT1 | 16 | 1.95 |
| S1 SPT2 | 17 | 3.45 |
| S1 SPT3 | 19 | 4.95 |
| S1 SPT4 | 72 | 6.45 |
| S1 SPT5 | 71 | 7.95 |
| S1 SPT6 | 63 | 9.45 |

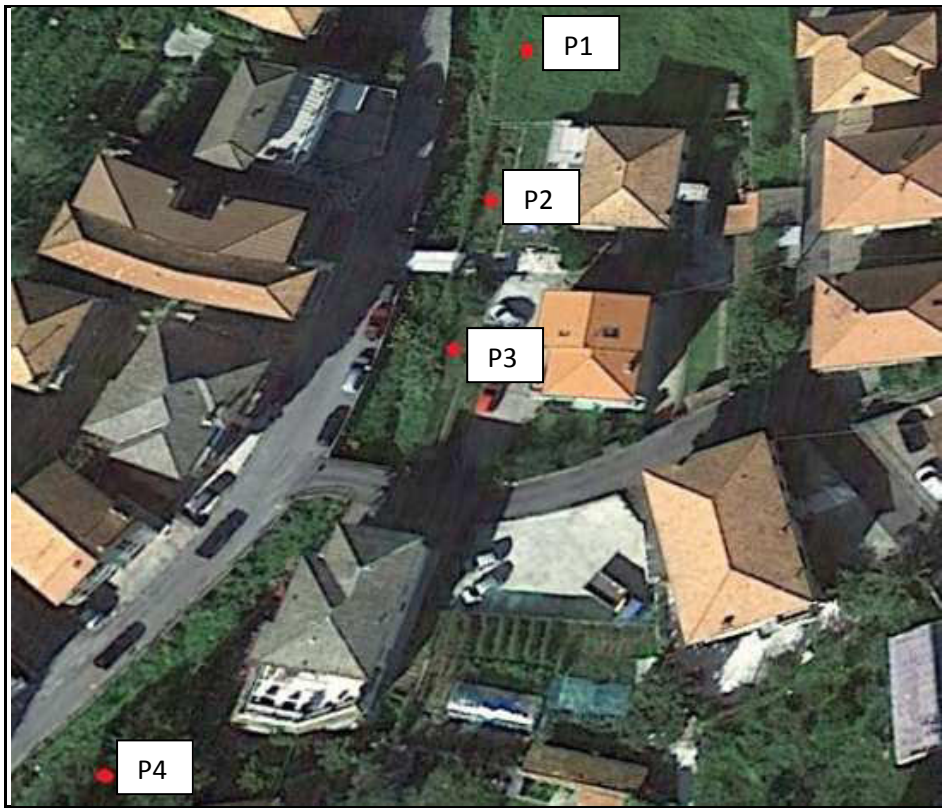
| Densità relativa (Gibbs & Holtz) (%) | Classificazione AGI 1977 | Peso di volume (Meyerhof) (t/m³) | Peso di volume sat (Terzaghi-Peck) (t/m³) | Angolo d'attrito (Peck – Hanson - Meyerhof (°) | Modulo di Young (Schultze) (Kg/cm²) | Poisson (A.G.I.) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 89 | MODERATAMENTE ADDENSATO | 1.91 | 1.96 | 31.6 | 190 | 0,32 |
| 78 | MODERATAMENTE ADDENSATO | 1.93 | 1.96 | 31.9 | 200 | 0,32 |
| 72 | MODERATAMENTE ADDENSATO | 1.93 | 1.96 | 31.9 | 200 | 0,32 |
| 100 | MOLTO ADDENSATO | 2.22 | 2.5 | 39.4 | 500 | 0,30 |
| 99 | MOLTO ADDENSATO | 2.21 | 2.5 | 39.3 | 510 | 0,30 |
| 89 | MOLTO ADDENSATO | 2.20 | 2.5 | 38.1 | 461 | 0,30 |

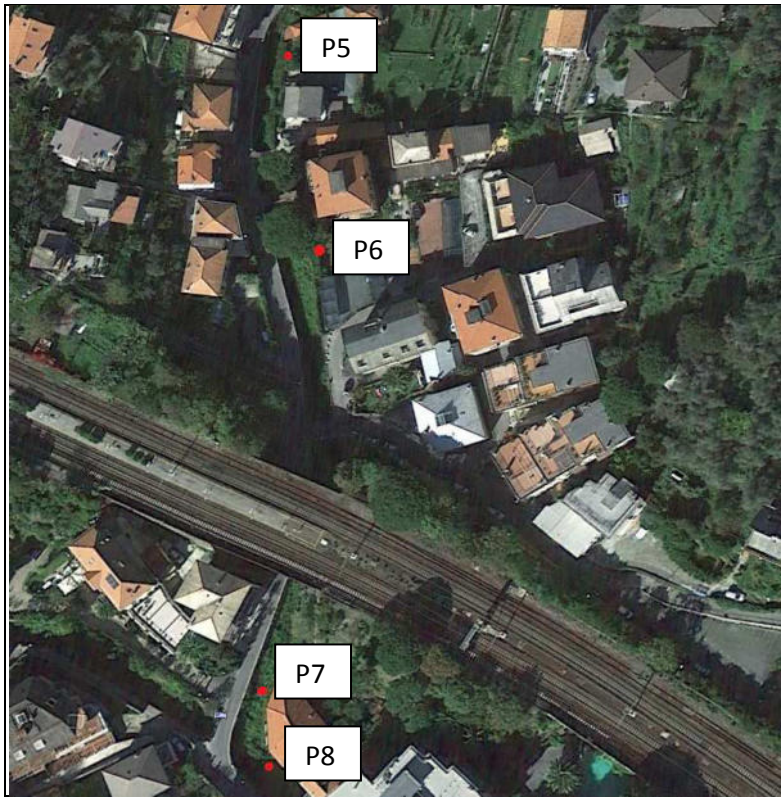
## 6. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE MEDIO-LEGGERE

Come già anticipato sono state eseguite N°8 prove penetrometriche dinamiche medio leggere in corrispondenza delle opere previste lungo l'argine sinistro.

L'ubicazione delle stesse è stata condizionata dall'accessibilità alle proprietà private presenti lungo l'asta torrentizia.

Quota di rifiuto P1: -2.20m da pc
Quota di rifiuto P2: -2.20m da pc
Quota di rifiuto P3: -1.60m da pc
Quota di rifiuto P4: -2.10m da pc
Quota di rifiuto P5: -6.10m da pc (aste bagnate da -3.30m da pc)
Quota di rifiuto P6: -6.00m da pc (aste bagnate da -3.70m da pc)
Quota di rifiuto P7: -2.00m da pc (aste bagnate da -0.90m da pc)
Quota di rifiuto P8: -1.00m da pc (aste bagnate da -0.80m da pc)


P1
P2
P3
P4


P5
P6
P7
P8

Le prospezioni sono state eseguite con il penetro metro dinamico Deep Drill DM30(60°) le cui caratteristiche tecnico-strumentali sono di seguito specificate:

| | |
|---|---|
| *Riferimento Norme* | *DIN 4094* |
| *Peso Massa battente* | *30 Kg* |
| *Altezza di caduta libera* | *0.20m* |
| *Peso sistema di battuta* | *13Kg* |
| *Diametro punta conica* | *35.70mm* |
| *Area di base punta* | *10cm²* |
| *Lunghezza delle aste* | *1m* |
| *Peso aste a metro* | *2.93Kg/m* |
| *Profondità giunzione prima asta* | *0.80m* |
| *Avanzamento punta* | *0.10 m* |
| *Numero colpi per punta* | *N(10)* |
| *Coefficiente Correlazione* | *0.766* |
| *Angolo di apertura punta* | *60°* |

La correlazione tra i valori $N_{10}$ e quelli $N_{SPT}$ è espressa dalla seguente relazione: $\mathbf{N_{SPT} = \beta_t N_{10}}$

$\beta_t$ = $Q/Q_{SPT}$
Q = Energia specifica per colpo
$Q_{SPT}$ = Energia riferita alla prova SPT
L'energia specifica per colpo viene calcolata con la relazione:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

M = Peso massa battente
M' = Peso aste
H = Altezza di caduta
A = Area base punta conica
δ = Passo di avanzamento

La valutazione della Resistenza Dinamica alla Punta Rpd è effettuata attraverso la Formula degli Olandesi:

$$Rpd = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

Rpd = Resistenza dinamica punta (area A)
e = Infissione media per colpo (δ / N)
M = Peso massa battente (altezza caduta H)
P = Peso totale aste e sistema battuta.
Le elaborazioni sono state effettuate mediante l'applicazione di correlazione note in letteratura in funzione del modello geologico stratigrafico redatto. Si riportano quindi i risultati ottenuti:

PROVA P1

Densità relativa

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Densità relativa (%) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 2,96 | DA PC A 1,90 | Gibbs & Holtz 1957 | 40 |

Classificazione AGI

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Classificazione AGI |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 2,96 | DA PC A 1,90 | Classificazione A.G.I. 1977 | SCIOLTO |

Peso unità di volume

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma (t/m³) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO VI | 2,96 | DA PC A 1,90 | Meyerhof ed altri | 1,50 |

Peso unità di volume saturo

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma Saturo (t/m³) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 2,96 | DA PC A 1,90 | Terzaghi-Peck | 1,87 |

Angolo di resistenza al taglio

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Angolo d'attrito (°) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 2,96 | DA PC A 1,90 | Meyerhof (1956) | 22.0 |

Modulo di Young

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Modulo di Young (Kg/cm²) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 2,96 | DA PC A 1,90 | Schmertmann (1978) | <25 |

Modulo di Poisson

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Poisson |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 2,96 | DA PC A 1,90 | (A.G.I.) | 0,34 |

PROVA P2

Densità relativa

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Densità relativa (%) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 3.23 | DA PC A 2.10 | Gibbs & Holtz 1957 | 41 |

Classificazione AGI

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Classificazione AGI |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 3.23 | DA PC A 2.10 | Classificazione A.G.I. 1977 | SCIOLTO |

Peso unità di volume

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma ($t/m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 3.23 | DA PC A 2.10 | Meyerhof ed altri | 1.55 |

Peso unità di volume saturo

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma Saturo ($t/m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 3.23 | DA PC A 2.10 | Terzaghi-Peck | 1.88 |

Angolo di resistenza al taglio

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Angolo d'attrito (°) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 3.23 | DA PC A 2.10 | Meyerhof (1956) | 22.5 |

Modulo di Young

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Modulo di Young ($Kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 3.23 | DA PC A 2.10 | Schmertmann (1978) | 25 |

Modulo di Poisson

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Poisson |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 3.23 | DA PC A 2.10 | (A.G.I.) | 0.34 |

PROVA P3

Densità relativa

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Densità relativa (%) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 2.81 | DA PC A 1.40 | Gibbs & Holtz 1957 | 40 |

Classificazione AGI

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Classificazione AGI |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 2.81 | DA PC A 1.40 | Classificazione A.G.I. 1977 | SCIOLTO |

Peso unità di volume

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma ($t/m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 2.81 | DA PC A 1.40 | Meyerhof ed altri | 1.50 |

Peso unità di volume saturo

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma Saturo ($t/m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 2.81 | DA PC A 1.40 | Terzaghi-Peck | 1.87 |

Angolo di resistenza al taglio

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Angolo d'attrito (°) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 2.81 | DA PC A 1.40 | Meyerhof (1956) | 21.8 |

Modulo di Young

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Modulo di Young ($Kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 2.81 | DA PC A 1.40 | Schmertmann (1978) | <25 |

Modulo di Poisson

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Poisson |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 2.81 | DA PC A 1.40 | (A.G.I.) | 0.34 |

PROVA P4

Densità relativa

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Densità relativa (%) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 4.35 | DA PC A 1.90 | Gibbs & Holtz 1957 | 48 |

Classificazione AGI

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Classificazione AGI |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 4.35 | DA PC A 1.90 | Classificazione A.G.I. 1977 | SCIOLTO |

Peso unità di volume

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma ($t/m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 4.35 | DA PC A 1.90 | Meyerhof ed altri | 1.58 |

Peso unità di volume saturo

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma Saturo ($t/m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 4.35 | DA PC A 1.90 | Terzaghi-Peck | 1.90 |

Angolo di resistenza al taglio

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Angolo d'attrito (°) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 4.35 | DA PC A 1.90 | Meyerhof (1956) | 23.2 |

Modulo di Young

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Modulo di Young ($Kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 4.35 | DA PC A 1.90 | Schmertmann (1978) | 35 |

Modulo di Poisson

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Poisson |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 4.35 | DA PC A 1.90 | (A.G.I.) | 0.34 |

PROVA P5

Densità relativa

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Densità relativa (%) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 1.7 | DA PC A 2.70 | Gibbs & Holtz 1957 | 29 |
| LIVELLO S | 13.14 | -2.70 A 6.00 | Gibbs & Holtz 1957 | 68 |

Classificazione AGI

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Classificazione AGI |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 1.7 | DA PC A 2.70 | Classificazione A.G.I. 1977 | SCIOLTO |
| LIVELLO S | 13.14 | -2.70 A 6.00 | Classificazione A.G.I. 1977 | MODERATAMENTE ADDENSATO |

Peso unità di volume

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma ($t/m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 1.7 | DA PC A 2.70 | Meyerhof ed altri | 1.45 |
| LIVELLO S | 13.14 | -2.70 A 6.00 | Meyerhof ed altri | 1.83 |

Peso unità di volume saturo

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma Saturo ($t/m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 1.7 | DA PC A 2.70 | Terzaghi-Peck | 1.87 |
| LIVELLO S | 13.14 | -2.70 A 6.00 | Terzaghi-Peck | 1.94 |

Angolo di resistenza al taglio

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Angolo d'attrito (°) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 1.7 | DA PC A 2.70 | Meyerhof (1956) | 20.5 |
| LIVELLO S | 13.14 | -2.70 A 6.00 | Peck-Hanson | 30.7 |

Modulo di Young

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Modulo di Young ($Kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 1.7 | DA PC A 2.70 | Schmertmann (1978) | <25 |
| LIVELLO S | 13.14 | -2.70 A 6.00 | Schultze | 156 |

Modulo di Poisson

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Poisson |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 1.7 | DA PC A 2.70 | (A.G.I.) | 0.34 |
| LIVELLO S | 13.14 | -2.70 A 6.00 | (A.G.I.) | 0.33 |

PROVA P6

Densità relativa

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Densità relativa (%) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 4.2 | DA PC A 3.20 | Gibbs & Holtz 1957 | 45 |
| LIVELLO S | 13.5 | -3.20 A 5.90 | Gibbs & Holtz 1957 | 68 |

Classificazione AGI

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Classificazione AGI |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 4.2 | DA PC A 3.20 | Classificazione A.G.I. 1977 | POCO ADDENSATO |
| LIVELLO S | 13.5 | -3.20 A 5.90 | Classificazione A.G.I. 1977 | MODERATAMENTE ADDENSATO |

Peso unità di volume

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma ($t/m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 4.2 | DA PC A 3.20 | Meyerhof ed altri | 1.50 |
| LIVELLO S | 13.5 | -3.20 A 5.90 | Meyerhof ed altri | 1.84 |

Peso unità di volume saturo

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma Saturo ($t/m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 4.2 | DA PC A 3.20 | Terzaghi-Peck | 1.88 |
| LIVELLO S | 13.5 | -3.20 A 5.90 | Terzaghi-Peck | 1.94 |

Angolo di resistenza al taglio

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Angolo d'attrito (°) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 4.2 | DA PC A 3.20 | Meyerhof (1956) | 21.2 |
| LIVELLO S | 13.5 | -3.20 A 5.90 | Peck-Hanson | 30.9 |

Modulo di Young

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Modulo di Young ($Kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 4.2 | DA PC A 3.20 | Schmertmann (1978) | <25 |
| LIVELLO S | 13.5 | -3.20 A 5.90 | Schultze | 160 |

Modulo di Poisson

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Poisson |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO V | 4.2 | DA PC A 3.20 | (A.G.I.) | 0.34 |
| LIVELLO S | 13.5 | -3.20 A 5.90 | (A.G.I.) | 0.33 |

PROVA P7

Densità relativa

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Densità relativa (%) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO S | 10.4 | DA PC A 1.90 | Gibbs & Holtz 1957 | 74 |

Classificazione AGI

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Classificazione AGI |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO S | 10.4 | DA PC A 1.90 | Classificazione A.G.I. 1977 | MODERATAMENTE ADDENSATO |

Peso unità di volume

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma ($t/m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO S | 10.4 | DA PC A 1.90 | Meyerhof ed altri | 1.74 |

Peso unità di volume saturo

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma Saturo ($t/m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO S | 10.4 | DA PC A 1.90 | Terzaghi-Peck | 1.92 |

Angolo di resistenza al taglio

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Angolo d'attrito (°) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO S | 10.4 | DA PC A 1.90 | Peck-Hanson | 30.0 |

Modulo di Young

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Modulo di Young ($Kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO S | 10.4 | DA PC A 1.90 | Schmertmann (1978) | 135 |

Modulo di Poisson

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Poisson |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO S | 10.4 | DA PC A 1.90 | (A.G.I.) | 0.33 |

PROVA P8

Densità relativa

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Densità relativa (%) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO S | 9.13 | DA PC A 0.90 | Gibbs & Holtz 1957 | 73 |

Classificazione AGI

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Classificazione AGI |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO S | 9.13 | DA PC A 0.90 | Classificazione A.G.I. 1977 | POCO ADDENSATO |

Peso unità di volume

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma ($t/m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO S | 9.13 | DA PC A 0.90 | Meyerhof ed altri | 1.70 |

Peso unità di volume saturo

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Gamma Saturo ($t/m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO S | 9.13 | DA PC A 0.90 | Terzaghi-Peck | 1.91 |

Angolo di resistenza al taglio

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Angolo d'attrito (°) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO S | 9.13 | DA PC A 0.90 | Peck-Hanson | 29.6 |

Modulo di Young

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Modulo di Young ($Kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO S | 9.13 | DA PC A 0.90 | Schmertmann (1978) | 108 |

Modulo di Poisson

| | Nspt | Prof. Strato (m) | Correlazione | Poisson |
|---|---|---|---|---|
| LIVELLO S | 9.13 | DA PC A 0.90 | (A.G.I.) | 0.34 |

## 7. PROSPEZIONE SISMICA

Premettendo che la scelta dell'ubicazione delle prospezioni è stata fortemente condizionata dalle urbanizzazioni presenti si precisa che l'indagine è consistita in quattro prove di tomografia sismica a rifrazione per ottenere la distribuzione 2D delle velocità delle onde compressionali (Vp), tre prove per la determinazione delle velocità delle onde trasversali (Vs) e di quattro prove MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) per ottenere il profilo verticale 1D (sondaggio verticale) delle velocità Vs, che hanno consentito di stimare il parametro Vs30.

*Figura 1*




*Posizionamento delle quattro stese S1-S4. Per le stese S1 -S3 si sono adottati sia geofoni verticali che orizzontali, per la stesa S4 solo verticali.*

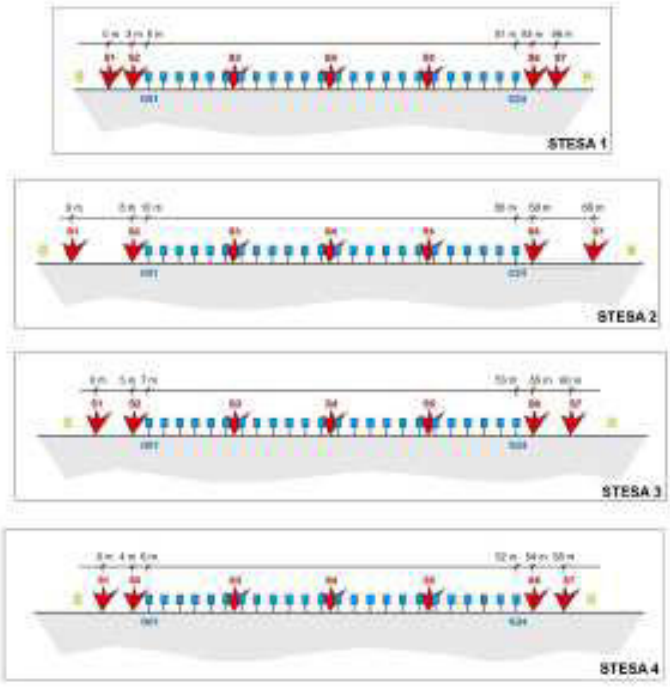
Per l'indagine è stato utilizzato un sismometro DMT Summit a 24 canali, dinamica 24 bit, geofoni verticali a 4.5 Hz, mazza di battuta da 8 Kg su piatto in alluminio.

Le caratteristiche del sismometro DMT Summit sono riportate nella tabella seguente.

**Technical Specifications**

| | |
|---|---|
| **Sample Interval** | 1/48, 1/32, 1/16, 1/8, 1/4, 1/2, 1, 2, 4, 8 ms |
| **Record Length** | 0.5 K samples, ..., 120 K samples |
| **Preamp Gain** | 0 dB, 20 dB or 40 dB |
| **A/D Converter** | 24 bit delta sigma technology |
| **Maximum Input Signal** | 2.0 Volt RMS<br>5.6 Volt peak to peak |
| **Input Impedance** | 20 kOhm |
| **Instantaneous Dynamic Range** | > 120 dB @ 2 ms sampling interval |
| **Equivalent Input Noise** | Less than 0.2 µV RMS @ 2 ms sampling interval and 40 dB preamp gain |
| **Crosstalk** | > 112 dB (between channels) |
| **Total Harmonic Distortion** | < 0.0008% |
| **Common Mode Rejection Ratio** | > 100 dB |
| **Gain Accuracy** | Typical 1 % (between all channels) |
| **Time Accuracy** | Typical 5 ppm (between all channels) |
| **Analog Anti-Alias Filter** | 7.2 kHz, 6 dB/octave |
| **Analog Low-Cut Filter** | 1 Hz, 6 dB/octave |
| **Digital Anti-Alias Filter** | 0.8 x Nyquist |
| **Rejection at Nyquist Frequencies** | -120 dB |
| **Passband Ripple** | +/- 0.05 dB |

La geometria delle quattro stese è riportata nella sottostante Fig.2. tutte le stese sono costituite da 24 geofoni (G01-G24) in configurazione verticale per tutte le stese ST1-ST4 ed orizzontale per le stese S1,S2,S3 con spaziatura 2m e 7 punti di energizzazione (S1-S7).



Di seguito vengono sinteticamente specificati i parametri di acquisizione:

Campionamento : 0.125 ms
Numero campioni : 4096
Durata : 512ms
Canali: 24
Spaziatura geofoni: 2 m
Geofoni verticali stese ST1, ST2, ST3, ST4
Geofoni orizzontali stese ST1, ST2, ST3
Lunghezza totale stese: 56m(ST1), 66m(ST2), 60m(ST3), 58m(ST4)
Energizzazioni tomografia P e S: 7 posizioni (S1-S7)
Energizzazioni MASW: 4 posizioni (S1,S2,S6,S7)




*Fig.3 – Documentazione fotografica*

### 7.1 ELABORAZIONE DATI

Dai sette sismogrammi registrati per ogni stesa si sono ricavati i primi arrivi delle onde P e S dirette e rifratte, ottenendo le relative dromocrone. I primi arrivi sono stati assegnati ai diversi rifrattori ed elaborati tramite inversione con il fronte d'onda. Si è ottenuta quindi, per ognuna delle stese, una sezione 2D verticale delle Velocità Vp ed una Vs che sono state usate come modello iniziale dell'inversione tomografica;per il calcolo è stato utilizzato il pacchetto software ReflexW 4.2 della Sandmeier Software.

Per l'elaborazione MASW, ai sismogrammi è stata applicata la trasformata *f-v*, che consiste sostanzialmente nella trasformata di Fourier bidimensionale del sismogramma (trasformata *f-k*) da cui si ricava la velocità considerando che $\lambda$ =1/k e $v = \lambda * f$; il risultato finale è il modello delle velocità Vs al variare della profondità.

Si specifica che per quanto riguarda l'energizzazione S nelle stese 2 e 3 non è stato possibile operare al di sotto del manto stradale e interrompere il traffico veicolare e pedonale, ciò ha comportato un elevato disturbo al segnale rendendo problematica l'individuazione di primi arrivi, di conseguenza non è stato possibile elaborare i dati di tali stendimenti.

### 7.2 RISULTATI: STESA 1

Seguendo la procedura sopra indicata si sono ottenuti i seguenti modelli tomografici di velocità onde P e S.

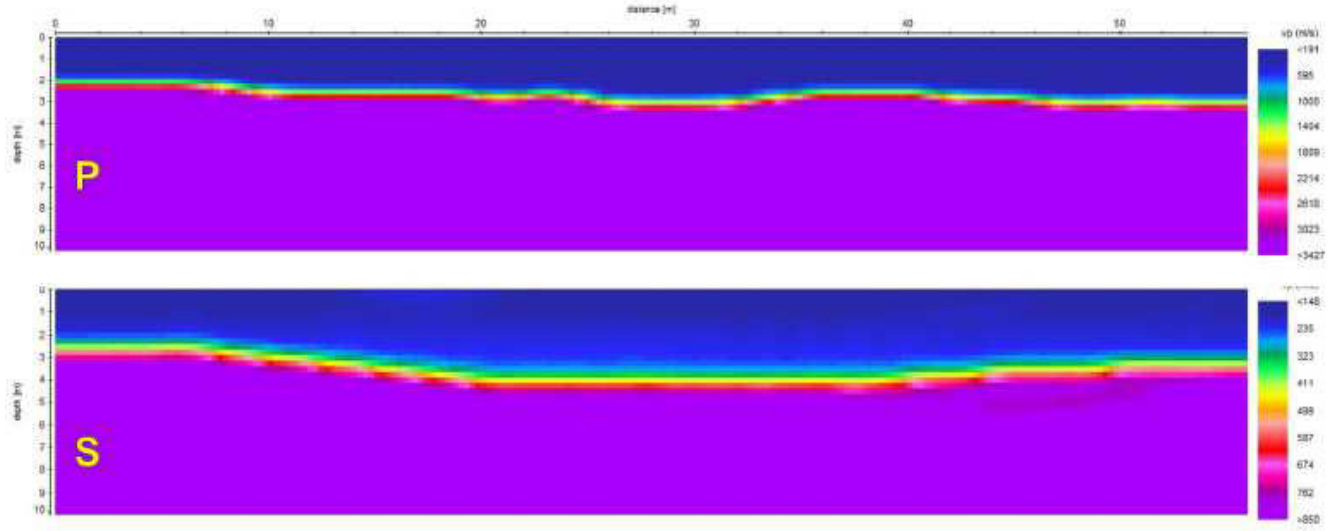



*Fig.4*

Entrambi i modelli evidenziano una coltre superficiale con basse velocità tipiche di coltri non costipate. A profondità variabili lungo il profilo comprese tra 2 e 4m si ha un passaggio ad un sismostrato caratterizzato da velocità P dell'ordine di 3500m/s e velocità S dell'ordine di 850m/s tipiche di un substrato roccioso.

Per quanto riguarda il modello MASW ottenuto dall'analisi delle onde di superficie conferma sostanzialmente le risultanze ottenute dall'indagine a rifrazione.

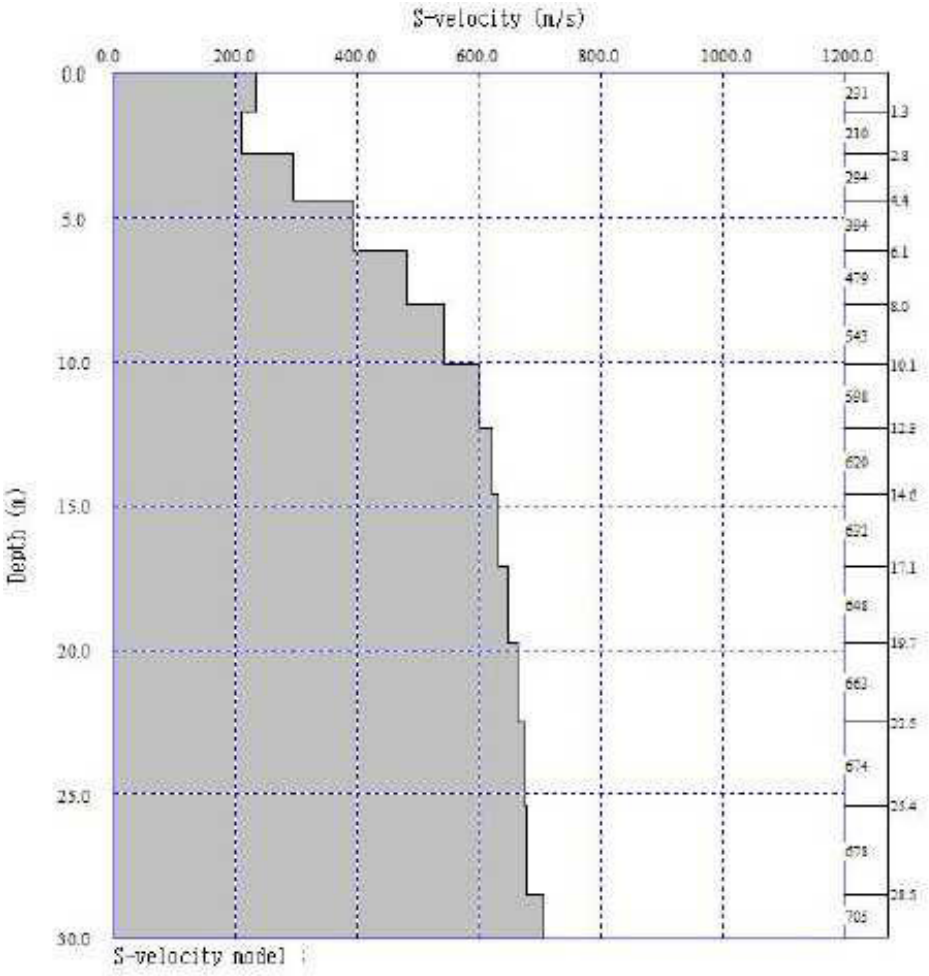



*Fig.5 – Modello MASW stesa ST1*

### 7.3 RISULTATI: STESA 2

Il profilo tomografico ottenuto è il seguente:

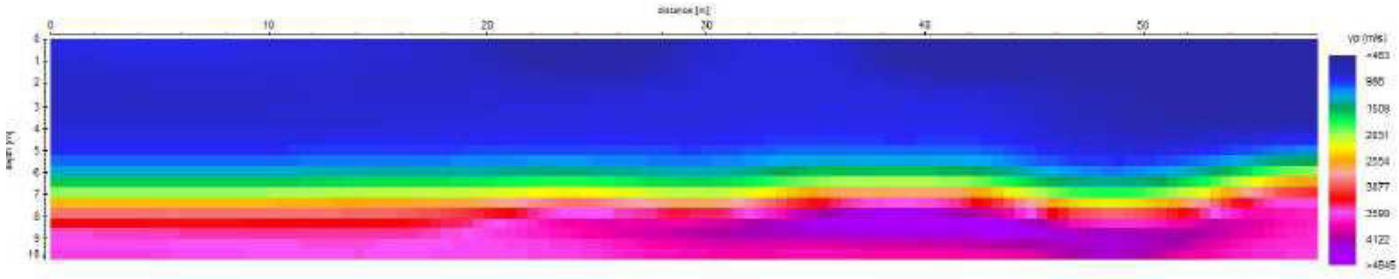


*Fig.6*

Le velocità della coltre risultano dell'ordine 500di m/s ed oltre probabilmente a causa del compattamento. Il passaggio al sottostante sismostrato avviene a profondità dal piano campagna di circa 6m, con velocità dell'ordine dei 3500m/s, associabili al substrato roccioso.

Il modello MASW, relativo alla stratigrafia delle onde S evidenzia un passaggio al substrato roccioso graduale senza evidenziare un contrasto netto.

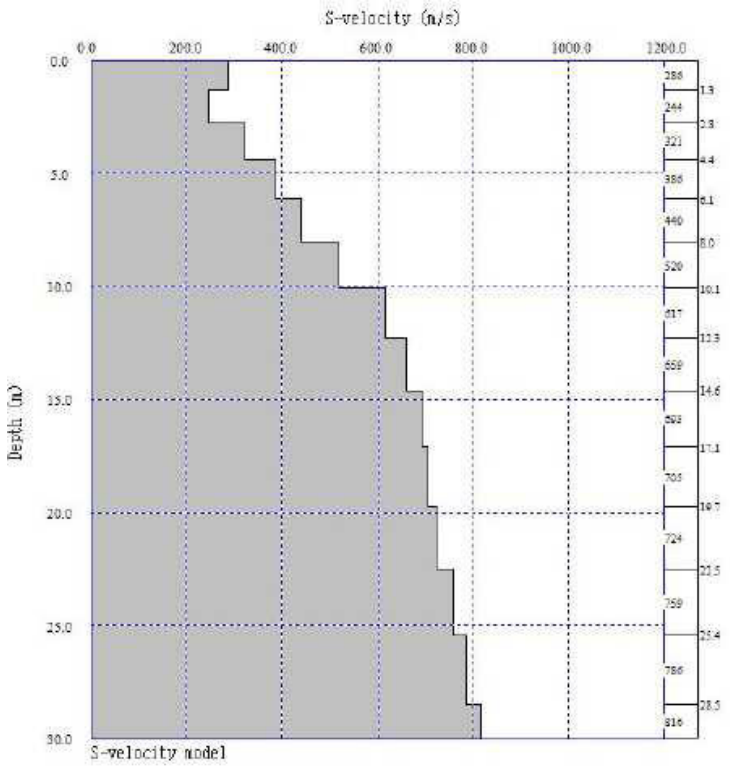



*Fig.7 – Modello MASW stesa ST2*

### 7.4 RISULTATI: STESA 3

Il profilo tomografico ottenuto è il seguente:

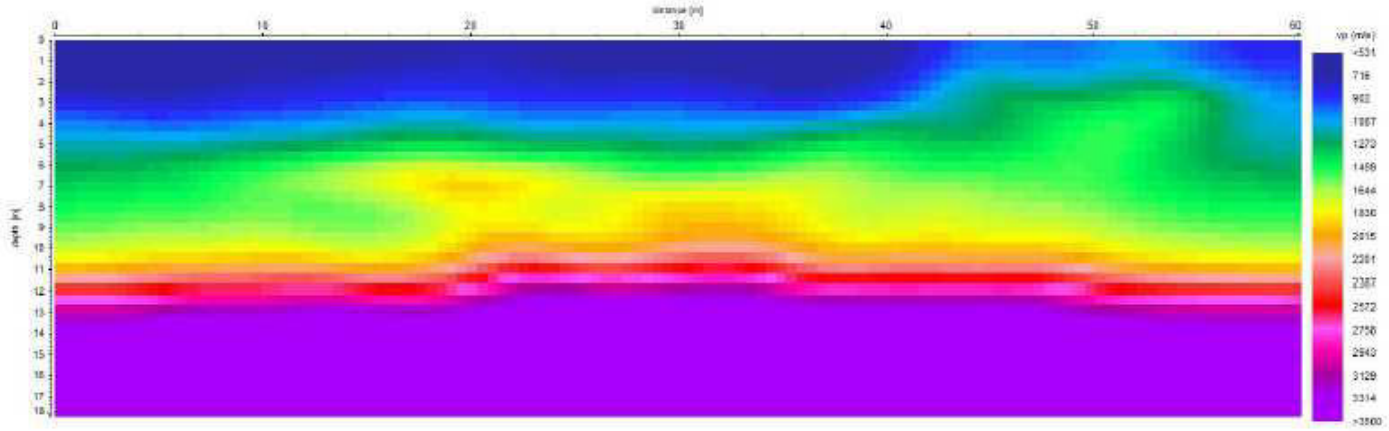


*Fig.8*

Le velocità della coltre risultano dell'ordine di 500m/s ed aumentano gradualmente sino alla profondità di circa 6m. A questa profondità si evidenzia un primo rifrattore che indica la presenza di un sismostrato con velocità dell'ordine di 1600m/s. A circa 12m si individua un ulteriore rifrattore con velocità dell'ordine 3500m/s identificabile con il passaggio al substrato roccioso.

Il modello MASW ottenuto evidenzia un passaggio al substrato roccioso graduale senza evidenziare un netto contrasto, con velocità in graduale aumento dai 5 ai 12m di pofondità.

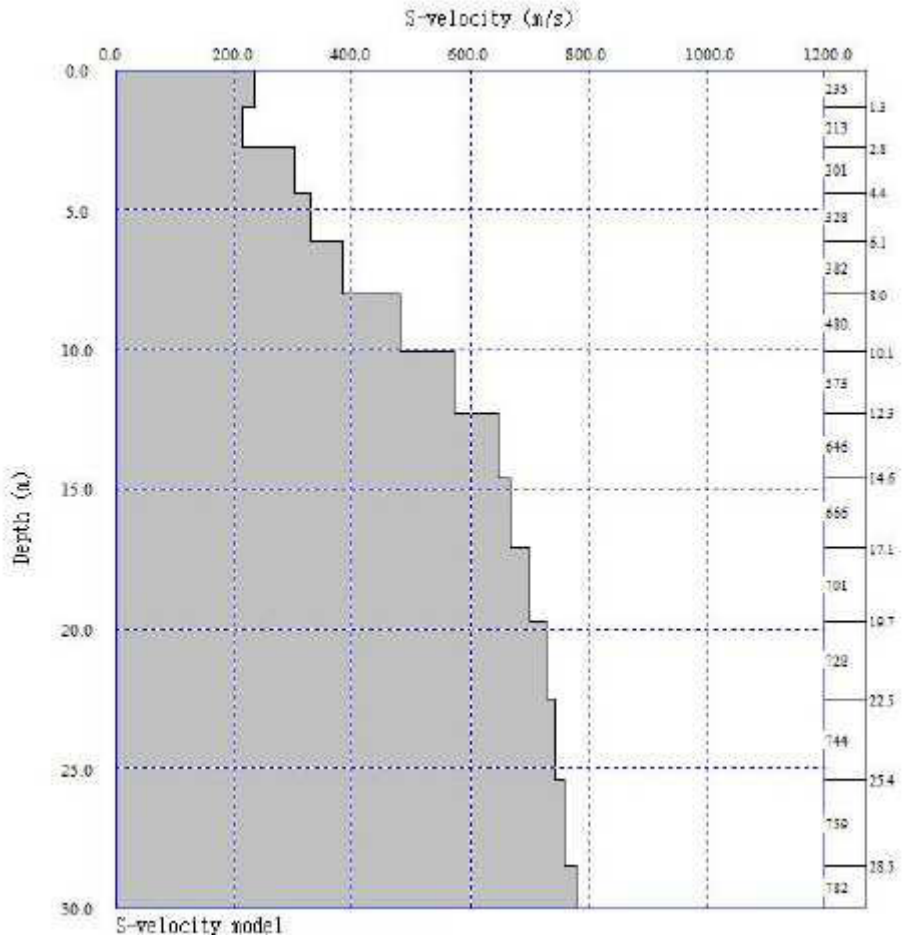



*Fig.9 – Modello MASW stesa ST3*

### 7.5 RISULTATI: STESA 4

Il profilo tomografico ottenuto è il seguente:

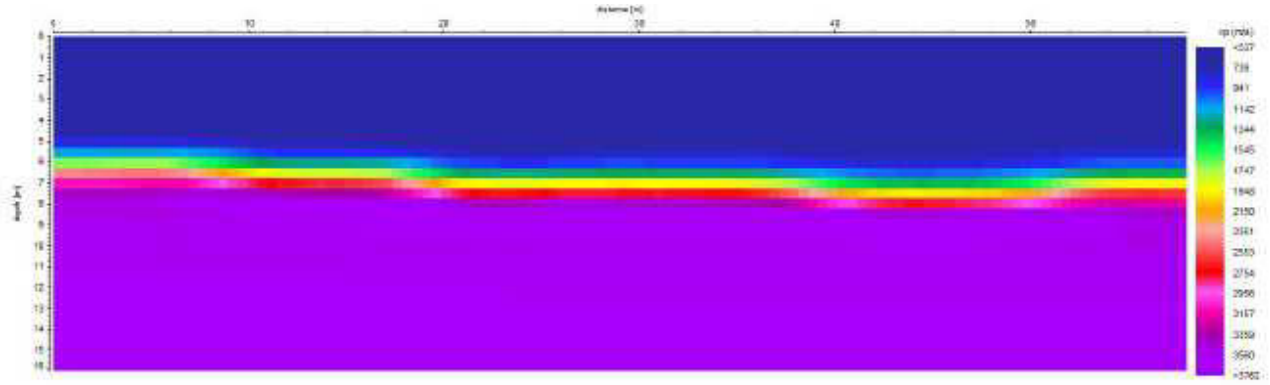


*Fig.10*

Le velocità P della coltre risultano dell'ordine di 500m/s o di poco superiori. A profondità comprese tra 6 e 7m è presente un rifrattore caratterizzato da un netto aumento delle velocità che passano a valori dell'ordine di 3500m/s associabili al substrato roccioso.

Il modello MASW rivela un passaggio al substrato graduale senza evidenziare un contrasto netto, con un graduale aumento delle velocità dai 6 ai 12m di profondità.

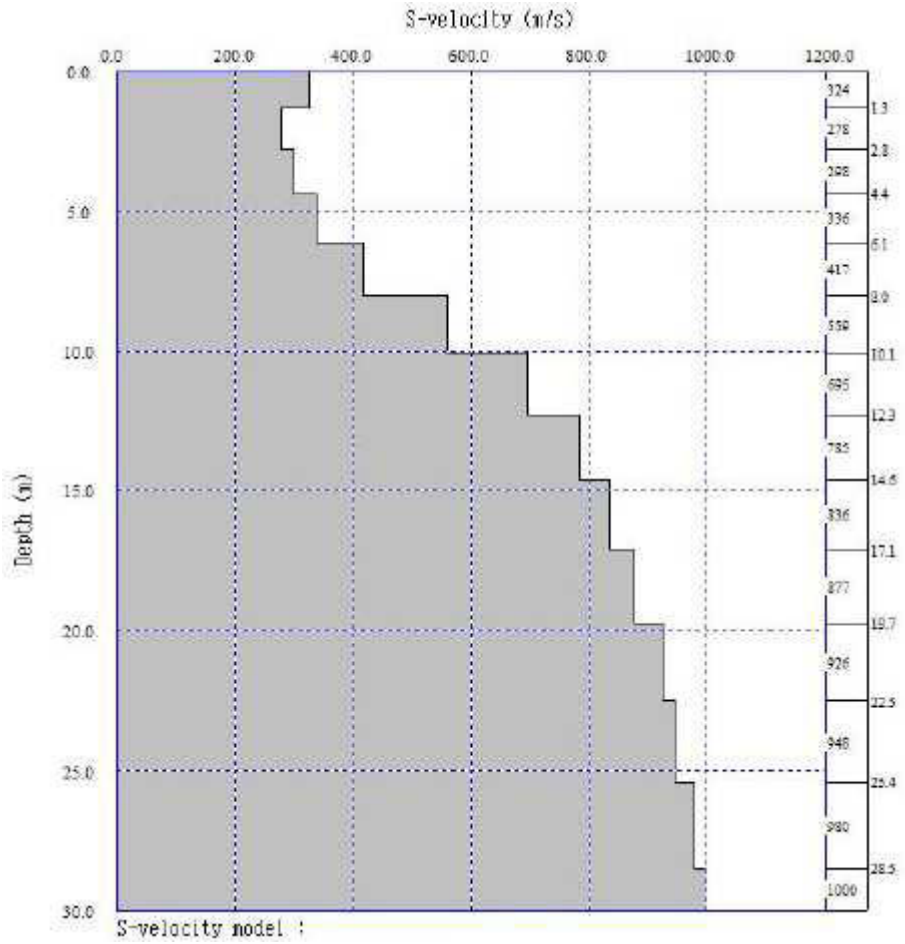



*Fig.11 – Modello MASW stesa ST4*

### 7.6 DETERMINAZIONE DEL PARAMETRO $V_{S30}$

In base ai valori di $V_s$ presentati in precedenza è possibile stimare il parametro Vs30 definito come la velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30m del sottosuolo, in questo caso con riferimento al piano campagna secondo la seguente relazione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_i \frac{h_i}{V_i}}$$

$h_i$ spessore strato *i*-esimo

$V_i$ velocità strato *i*-esimo

Si sono quindi ottenuti i seguenti valori di $V_{S30}$:

- STESA ST1: $V_{s30}$ = 492m/s
- STESA ST2: $V_{s30}$ = 533m/s
- STESA ST3: $V_{s30}$ = 492m/s
- STESA ST4: $V_{s30}$ = 589m/s

## 8. MODELLO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO

Si è già detto che il territorio ove si intende realizzare la galleria è caratterizzato da una fascia di transizione tra la Formazione delle Argille a palombini (stratigraficamente sottostante) e quella degli Scisti di val Lavagna (soprastante e passante da Est verso Ovest in facies zonata): le emergenze rilevate nel corso dei sopralluoghi evidenziano tale condizione pur delineando una prevalenza della prima rispetto alla seconda.

Lo stesso sondaggio geognostico testimonia un sottosuolo costituito prevalentemente da litologie marnoso calcaree alternate a pacchi argilloscistosi di spessore decisamente subordinato.

Il contatto summenzionato appare soprattutto determinare un significativo disturbo strutturale dell'ammasso, sia in termini di orientazione giaciturale che di orientazione delle famiglie di discontinuità.

Questo aspetto, evidenziato chiaramente dalla frammentazione delle carote di sondaggio è ulteriormente consolidato dalla "lettura" di pieghe e pieghe-faglie sugli estesi affioramenti reperiti cia nel grato del rio Sorba che sui versanti in loc. La Secca.

Per queste ragioni, le modellazioni geologiche e geomeccaniche proposte, basandosi su valutazioni statistiche delle misure effettuate, rappresentano un'interpretazione media e preliminare da affinare per quanto possibile nel corso delle successive fasi progettuali e soprattutto nel corso dei lavori attraverso ulteriori prospezioni e una puntuale assistenza geologica a supporto della Direzione Lavori.

Nei capitoli successivi vengono presi in esame singolarmente, sotto i profili stratigrafico, geotecnico e geomeccanico, i principali orizzonti riconosciuti nel corso delle indagini.

## 9. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE DELLE COPERTURE

I materiali sciolti di copertura presenti nell'area possono essere ricondotti ai fini progettuali ai tre seguenti principali livelli in materiali sciolti di cui si riporta la relativa parametrizzazione in termini di parametri medi (fm), parametri caratteristici (fk) e parametri di progetto (fd) conformemente alla normativa vigente (DM 14/01/2008), a questo proposito si specifica che i parametri medi vengono posti uguali a quelli caratteristici in relazione agli elevati volumi di terreno coinvolti nella progettazione.

Dr = densità relativa
$\gamma$ = peso di volume
$\gamma$sat = peso di volume saturo
$\phi$= angolo di attrito efficace
*c'* = coesione efficace
*cu* = coesione apparente
$E_{st}$ = Modulo di Young statico
$\nu_{st}$ = Coefficiente di Poisson statico

**LIVELLO R**: RIPORTI E RIMANEGGIAMENTI:

Laddove siano stati riconosciuti terreni rimaneggiati e frammisti a materiale di riporto antropico, si sono rilevate modalità di messa in posto caotiche; trattasi dunque di terreni fortemente eterometrici costituiti da una frazione predominante granulare (ciottoli-ghiaia-sabbia) e da una frazione fine di natura limosa scarsamente coesiva.

In relazione alla posizione delle prove, quasi ovunque sono stati reperiti livelli di riporto o di rimaneggiamento di spessore significativo, valore eterogeneo di entità da metrica a plurimetrica.

| **VALORI MEDI:** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Dr (%) | $\gamma_m$ (T/mc) | $\gamma sat_m$ (T/mc) | $\phi_m$ (°) | $c'_m$ *(kPa)* | $cu_m$ *(kPa)* | $E_{st\ m}$ *(Kg/cmq)* | $\nu_m$ |
| 83 | 1.92 | 1.96 | 31.7 | 0.0 | 0.0 | 150-200 | 0.32 |

| **VALORI DI PROGETTO** | M1 | M2 |
|---|---|---|
| $\gamma_d$(T/mc) | 1.92 | 1.92 |
| $\phi_d$ (°) | 31.7 | 26.3 |
| $c_d'$ *(kg/cmq)* | 0.0 | 0.0 |
| $cu_d$ *(kPa)* | 0.0 | 0.0 |

**LIVELLO V**: TERRENO AGRICOLO/VEGETALE:

Si tratta di un orizzonte superficiale rilevato lungo la sponda sinistra del torrente San Lorenzo mediante l'esecuzione delle prove penetrometriche medio-leggere.

Sotto il profilo granulometrico è costituito da sabbia medio fine con limo argilloso (SC-SM), il grado di addensamento è estremamente basso.

Si tratta di un orizzonte con caratteristiche geotecniche estremamente scadenti.

Relativamente agli spessori di detti materiali, gli stessi risultano eterogenei, generalmente da 1,5m a 3m in relazione alla morfologia sepolta, anche conseguentemente alle modificazioni antropiche avvenute in epoca storica.

| **VALORI MEDI:** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Dr (%) | $\gamma_m$ (T/mc) | $\gamma sat_m$ (T/mc) | $\phi_m$ (°) | $c'_m$ *(kPa)* | $cu_m$ *(kPa)* | $E_{st\ m}$ *(Kg/cmq)* | $\nu_m$ |
| 40 | 1.51 | 1.88 | 21.9 | 0.0 | 0.0 | <25 | 0.34 |

| **VALORI DI PROGETTO** | M1 | M2 |
|---|---|---|
| $\gamma_d$(T/mc) | 1.51 | 1.51 |
| $\phi_d$ (°) | 21.9 | 17.8 |
| $c_d'$ *(kg/cmq)* | 0.0 | 0.0 |
| $cu_d$ *(kPa)* | 0.0 | 0.0 |

**LIVELLO S**: SEDIMENTI ALLUVIONALI

Si tratta di un orizzonte rilevato in ambito urbano lungo la sponda sinistra del torrente San Lorenzo mediante l'esecuzione del sondaggio S1.

Sotto il profilo granulometrico è costituito da una percentuale prevalente di natura granulare, sabbia e ghiaia (SC-SM /GC-GM) nettamente subordinata la frazione coesiva.

Gli spessori sono eterogenei in quanto alternati a livelli di riporto e orizzonti marini; complessivamente nel sondaggio cui si fa riferimento le alluvioni sono stati valutati in circa 4-5m.

| **VALORI MEDI:** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Dr (%) | $\gamma_m$ (T/mc) | $\gamma sat_m$ (T/mc) | $\phi_m$ (°) | $c'_m$ *(kPa)* | $cu_m$ *(kPa)* | $E_{st\ m}$ *(Kg/cmq)* | $\nu_m$ |
| 79 | 1.92 | 2.10 | 33.1 | 0.0 | 0.0 | 150-250 | 0.32 |

| **VALORI DI PROGETTO** | M1 | M2 |
|---|---|---|
| $\gamma_{d(T/mc)}$ | 1.92 | 1.92 |
| $\phi_d$ (°) | 33.1 | 27.5 |
| $c_d'$ *(kg/cmq)* | 0.0 | 0.0 |
| $cu_d$ *(kPa)* | 0.0 | 0.0 |

**LIVELLO E**: COLTRE ELUVIALE

Sotto il profilo granulometrico è costituito da ghiaia limoso-argillosa con sabbia (GC-GM)

Questo orizzonte è stato riconosciuto con buona frequenza nel corso delle prove ad immediata copertura del cappellaccio roccioso di alterazione del substrato roccioso.

Il suo spessore è risultato eterogeneo in ragione della litologia locale e del grado di esposizione del contesto; se mediamente l'eluvio non supera spessori metrici, sul fondovalle in prossimità della linea di costa lo stesso assume valori fino a 4-5m.

| **VALORI MEDI:** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Dr (%) | $\gamma_m$ (T/mc) | $\gamma sat_m$ (T/mc) | $\phi_m$ (°) | $c'_m$ *(kPa)* | $cu_m$ *(kPa)* | $E_{st\ m}$ *(Kg/cmq)* | $\nu_m$ |
| 89 | 2.20 | 2.50 | 38.1 | 0.0 | 0.0 | 400-500 | 0.30 |

| **VALORI DI PROGETTO** | M1 | M2 |
|---|---|---|
| $\gamma_{d(T/mc)}$ | 2.20 | 2.20 |
| $\phi_d$ (°) | 38.1 | 32.1 |
| $c_d$ ' *(kg/cmq)* | 0.0 | 0.0 |
| $cu_d$ *(kPa)* | 0.0 | 0.0 |

## 10. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA PRELIMINARE DELL'AMMASSO ROCCIOSO

Per quanto illustrato, la realizzazione degli interventi interferirà con l'ammasso roccioso, in particolare per quanto riguarda lo scolmatore del rio Sorba, che è costituito da una galleria di cinque metri di diametro, di conseguenza tali modificazioni morfologiche al territorio imposte dal progetto determineranno interferenze con il substrato roccioso delineando in esso possibili alterazioni dello stato tensionale naturale, fenomeno ovviamente da rapportarsi alla tipologia dei lavori a progetto

Richiamati gli aspetti litologici formazionali essenziali già trattati in precedenza i lavori interverranno su un ammasso roccioso fratturato, l'approccio suggerito per le necessarie verifiche è quello "continuo equivalente" attraverso il quale tenere conto dell'effetto delle discontinuità in senso globale.

In relazione alla fase "preliminare" dell'analisi oltre all'esecuzione dei carotaggi geognostici si è effettuata una campagna di rilevamento geomeccanico sufficientemente dettagliata al fine di raccogliere i dati essenziali da cui ricavare la classificazione degli ammassi e valori indicativi in termini di resistenza e deformabilità.

## 10.1 SISTEMI CLASSIFICATIVI

La metodologia d'indagine applicata al presente studio è quella tipica prevista per l'esecuzione di un rilievo geomeccanico nel corso del quale, oltre al riconoscimento delle differenti litologie e dei rapporti tra loro intercorrenti, particolare attenzione è stata rivolta a registrare tutti i parametri, qualitativi e quantitativi, che concorrono a formare il giudizio di qualità dell'ammasso roccioso mediante l'applicazione di tre criteri di classificazione disponibili in letteratura (Bieniawski, Barton e GSI) e in definitiva formulare una ragionevole ipotesi preliminare circa il suo comportamento.
In particolare sono state eseguite due stazioni di rilevamento geomeccanico, rispettivamente:
STAZ**A1** - STAZ**A2** – STAZ**B.**

Inoltre ai fini classifIcativi sono state considerate anche le determinazioni geomeccaniche eseguite sull'ammasso roccioso indagato mediante carotaggio.
Sono stati rilevati i seguenti dati:

- Orientazione ed inclinazione dei piani di discontinuità
- Morfologia dei giunti a scala metrica
- Coefficiente di rugosità JRC a scala decimetrica
- Spaziatura dei giunti
- Apertura dei giunti
- Stato di alterazione delle pareti dei giunti
- Eventuale presenza e natura del materiale di riempimento delle discontinuità
- Condizioni idrauliche
- Resistenza della roccia adiacente la superficie dei giunti

I dati raccolti sono stati successivamente analizzati ed interpretati ai fini classificativi.
Come anticipato sono stati applicati tre criteri per ogni stazione di rilevamento, di cui si riportano in sintesi le principali caratteristiche.

Il sistema di Bieniawski consiste nell'attribuzione di valori numerici a parametri qualitatitivi e quantitativi caratteristici, consentendo l'elaborazione dell'indice RMR che è ricavato mediante la seguente relazione: $RMR_{corretto} = (A1+A2+A3+A4+A5+A6)$

A1 = valore numerico derivato dalla resistenza della roccia intatta
A2 = valore numerico derivato dall'indice RQD
A3 = valore numerico derivato dalla spaziatura delle discontinuità
A4 = valore numerico derivato dalle condizioni delle discontinuità
A5 = valore numerico derivato dalle condizioni idrauliche
A6 = orientamento delle discontinuità

In seguito sono stati calcolati i valori dei parametri geomeccanici rappresentativi per ogni stazione mediante l'applicazione delle seguenti relazioni:

Coesione (kPa) = 5*RMR (Bieniawski)

Angolo d'attrito (°) = 0.5 * RMR + 5(Bieniawski)

$E_{st}$ – modulo di deformazione (GPa) = $10^{(RMR\ -10)/40}$ (Serafim e Pereira)

$E_{st}$ – modulo di deformazione (GPa) = 2 * RMR -100 (Bieniawski)

La classificazione di Barton è stata sviluppata al Norwegian Geotechnical Institute nel 1974; l'utilizzo principale della sua applicazione è in campo sotterraneo (gallerie e caverne); secondo una recente revisione (Barton 2002) il valore dell'indice Q, risultato di tale sistema, si ottiene mediante l'applicazione della seguente relazione:

$Q = RQD/Jn \times Jr/Ja \times Jw/SRF$ dove:

RQD = che tiene conto della suddivisione della massa rocciosa
Jn (Joint Set Number) = dipende dal numero di giunti presenti nell'ammasso roccioso
Jr ( Joint Roughness Number) = dipende dalla rugosità della famiglia più sfavorevole
Ja (Joint Alteration Number) = dipende dal grado di alterazione delle fratture, dallo spessore e dalla natura del riempimento, e che viene ugualmente determinato sulla famiglia più sfavorevole
Jw (Joint Water Number) = dipende dalle condizioni idrogeologiche

SRF (Stress Reduction Factor) = funzione dello stato tensionale in rocce massive o dal disturbo tettonico

Infine si è determinato anche l'indice GSI (Geological Strenght Index), secondo il sistema proposto da Hoek nel 1980 e modificato nel corso degli anni, che fornisce un indice di qualità della roccia in base alle osservazioni esperite in situ permettendo l'applicazione del criterio di rottura di Hoek – Brown e consentendo di ricavare conseguentemente parametri indicativi di resistenza dell'ammasso.

Il GSI nella sua forma più recente vede la propria valutazione affidata all'utilizzo di un semplice grafico dove le caratteristiche strutturali dell'ammasso, in termini di grado di fratturazione e disturbo tettonico, sono correlate con le caratteristiche della superficie delle discontinuità in termini di rugosità, alterazione e riempimento della frattura.

In relazione alla determinazione dei parametri necessari si specifica quanto segue:

- per il parametro relativo alla resistenza della roccia sono stati utilizzati gli esiti delle prove di compressione monoassiale eseguite in laboratorio unitamente ai valori medi dell'indice di rimbalzo R ottenuti dalle prove sclerometriche eseguite sugli affioramenti, correlati alla resistenza alla compressione uniassiale mediante la relazione di Irfan e Dearman (1978),:

$$Su = 0.775R + 21.3$$

- si è utilizzato il valore di RQD derivante dai sondaggi unitamente a quello determinato mediante il rilevamento calcolato attraverso la relazione di Palmstrom, che permette di ricavare tale valore dal numero di famiglie di discontinuità e dalla loro spaziatura:

$$RQD = 115 – 3.3\ jv$$

  Jv (n° di fratture per $m^3$ di roccia) = 1/S1 + 1/S2 + 1/S3 + Nr/5

  Si = spaziatura della famiglia "i"

  Nr = numero di famiglie random eventualmente presenti

- i set delle discontinuità sono stati caratterizzati mediante un'analisi morfologica e qualitativa delle superfici di giunto.

Per quanto riguarda il fattore Jw si precisa che è stato determinato secondo le seguenti ipotesi:

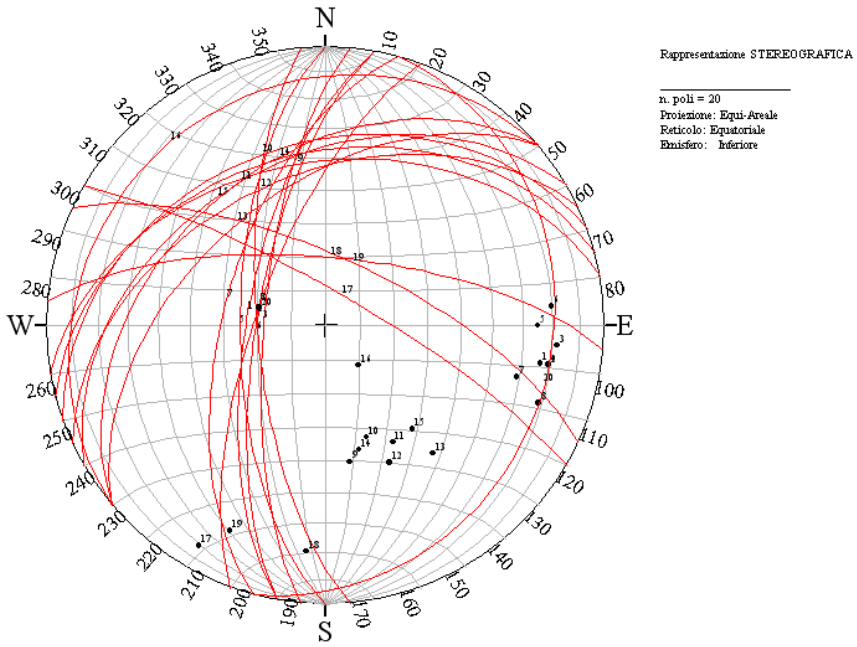
- buona connettività idraulica in relazione ai bassi valori di RQD

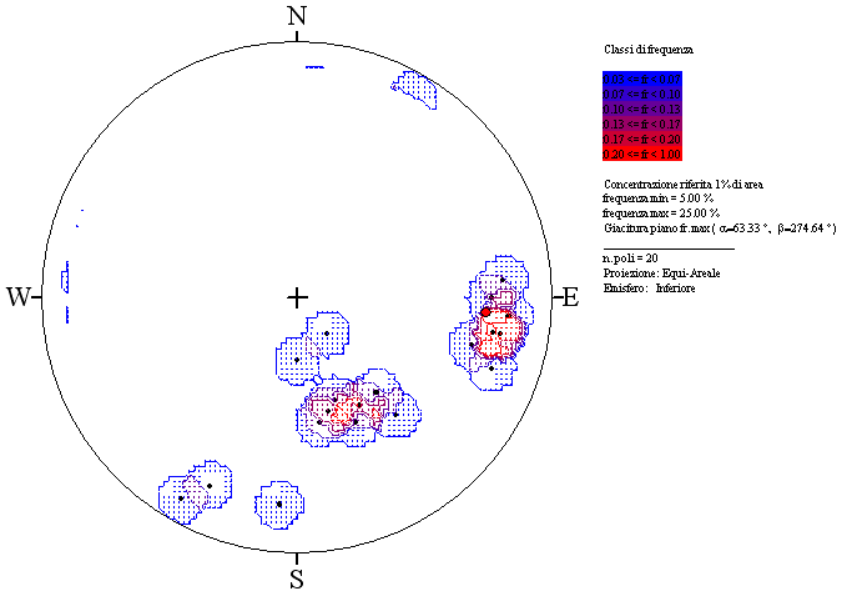
- altezze di ricoprimento comprese tra 5-25m

Per ogni stazione è stato quindi determinato un range di valori rappresentativi degli indici.

## 10.2 STAZIONE DI RILEVAMENTO A1

S0 – GIACITURE DI STRATO






RMR$_c$ (Bieniawski 1989)

| | MIN | MAX | Indice MIN | Indice MAX |
|---|---|---|---|---|
| A1<br>Resistenza roccia integra (MPa) | 5-25 | 25-50 | 2 | 4 |
| A2<br>RQD (%) | <25 | 25-50 | 3 | 8 |
| A3<br>Spaziatura discontinuità (m) | <0.06 | 0.2-0.6 | 5 | 8 |
| A4<br>Condizioni dei giunti | - | - | 10 | 20 |
| A5<br>Condizioni idrauliche | asciutto | asciutto | 15 | 15 |
| A6<br>Orientazione Discontinuità più sfavorevole | mediocre | mediocre | -5 | -5 |
| RMR$_c$ | | | 30<br>Classe IV scadente | 50<br>Classe III Mediocre |
| GSI | | | 30 | 50 |
| Coesione (kPa) | | | 175 | 275 |
| $\phi$ (°) | | | 22.5 | 32.5 |
| $E_{st}$ (GPa) | | | 4 | 10 |

Q (Barton 2002)

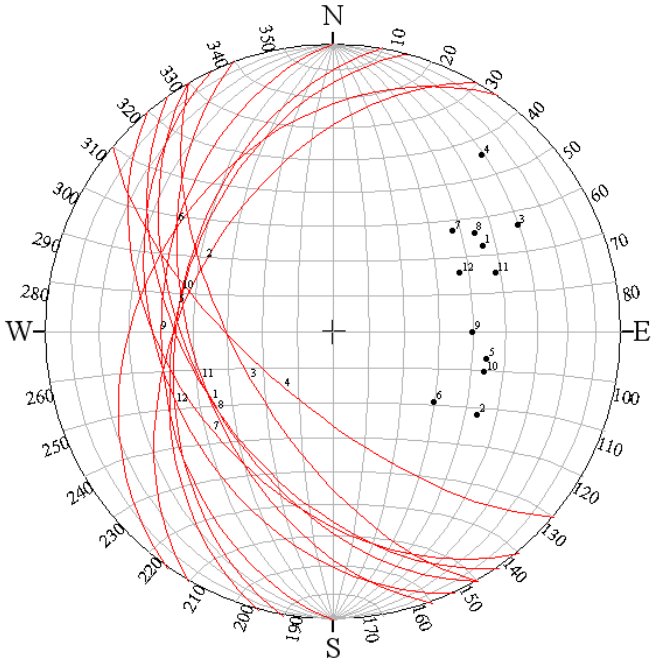
| | MIN | MAX | Indice MIN | Indice MAX |
|---|---|---|---|---|
| RQD (%) | 10 | 37 | 10 | 37 |
| Jn | 3 sistemi | 3 sistemi | 9 | 9 |
| Jr | Giunti scabri e planari | Giunti lisci/ond. | 1.5 | 2 |
| Ja | Argilla >5mm | Assente | 8 | 0.75 |
| Jw | Afflusso medio | Afflusso medio | 0.66 | 0.66 |
| SRF | Condizioni di bassa copertura (<50m) | Condizioni di bassa copertura (<50m) | 2.50 | 2.5 |
| Q | | | 0.06<br>Classe VIII<br>Estr. scadente | 2.89<br>Classe VI<br>Scadente |

Criterio di Hoek e Brown

| | MIN | MAX |
|---|---|---|
| σc (MPa) | 25 | 50 |
| GSI | 30 | 50 |
| mi | 8 | 8 |
| (D) | 0 | 0 |
| mb | 0.657 | 1.341 |
| s | 0.0004 | 0.0039 |
| a | 0.522 | 0.506 |
| $\sigma_t$ (MPa) | 0.02 | 0.144 |
| $\sigma_c$ (MPa) | 0.43 | 3.01 |
| $\sigma_{triass}$ (MPa) | 2.4 | 7.8 |

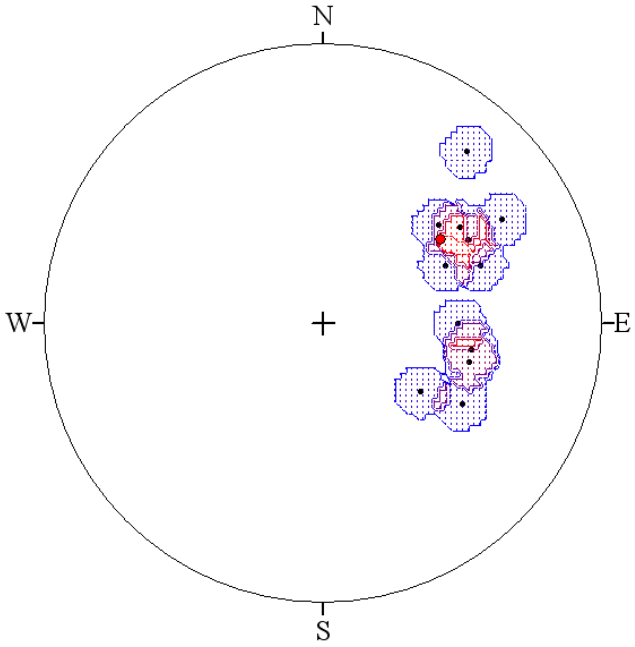
## 10.3 STAZIONE DI RILEVAMENTO A2

S0 – GIACITURE DI STRATO




Rappresentazione STEREOGRAFICA

n. poli = 12
Proiezione: Equi-Areale
Reticolo: Equatoriale
Emisfero: Inferiore




Classi di frequenza

0.04 <= fr < 0.08
0.08 <= fr < 0.12
0.12 <= fr < 0.17
0.17 <= fr < 0.21
0.21 <= fr < 0.25
0.25 <= fr < 1.00

Concentrazione riferita 1% di area
frequenza min = 8.33 %
frequenza max = 33.33 %
Giacitura piano fr. max ( α=42.81 °, β=234.46 °)

n. poli = 12
Proiezione: Equi-Areale
Emisfero: Inferiore

$RMR_c$ (Bieniawski 1989)

| | MIN | MAX | Indice MIN | Indice MAX |
|---|---|---|---|---|
| A1<br>Resistenza roccia integra (MPa) | 1-5 | 25-50 | 1 | 4 |
| A2<br>RQD (%) | <25 | 25-50 | 3 | 8 |
| A3<br>Spaziatura discontinuità (m) | <0.06 | 0.2-0.6 | 5 | 8 |
| A4<br>Condizioni dei giunti | - | - | 10 | 20 |
| A5<br>Condizioni idrauliche | asciutto | asciutto | 15 | 15 |
| A6<br>Orientazione Discontinuità più sfavorevole. | mediocre | mediocre | -5 | -5 |
| $RMR_c$ | | | 29<br>Classe IV Scadente | 50<br>Classe III Mediocre |
| GSI | | | 29 | 50 |
| Coesione (kPa) | | | 170 | 275 |
| $\phi$ (°) | | | 22.0 | 32.5 |
| $E_{st}$ (GPa) | | | 4 | 10 |

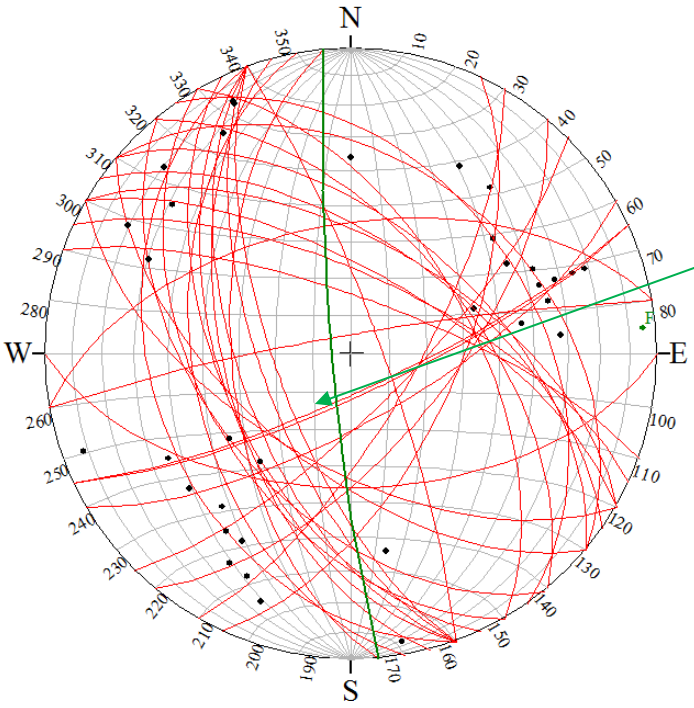
Q (Barton 2002)

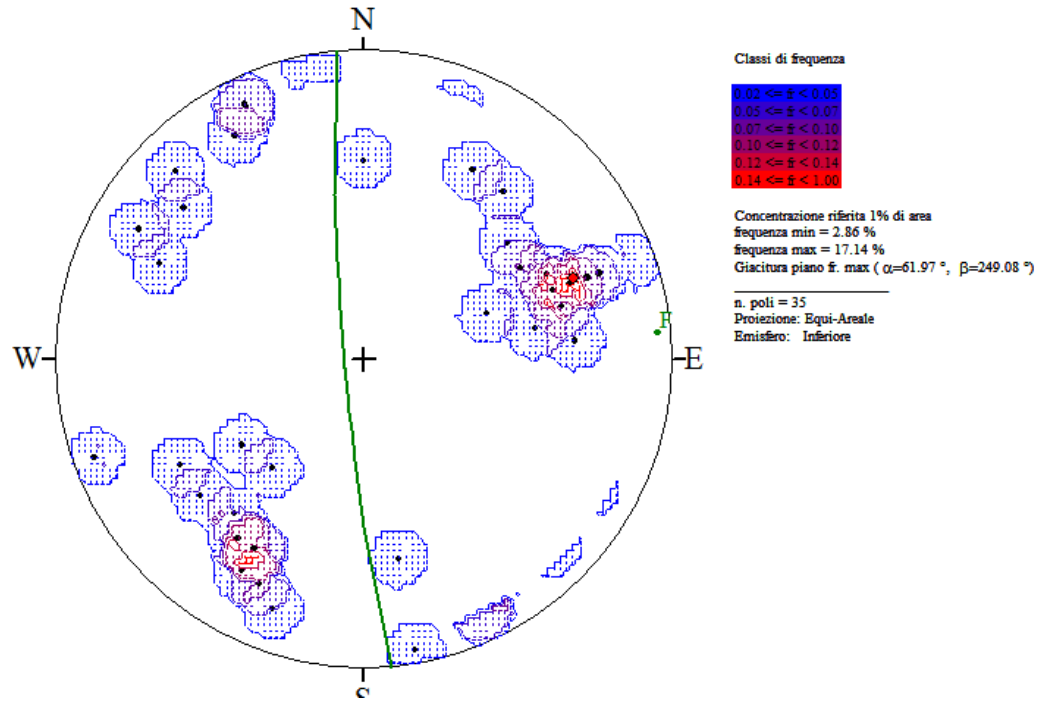
| | MIN | MAX | Indice MIN | Indice MAX |
|---|---|---|---|---|
| RQD (%) | 10 | 37 | 10 | 37 |
| Jn | 3 sistemi | 3 sistemi | 9 | 9 |
| Jr | Disc. riemp. argilloso | Giunti lisci/ondulati | 1 | 2.0 |
| Ja | Argilla >5mm | Ossidazione | 15 | 1.0 |
| Jw | Afflusso medio | Afflusso medio | 0.66 | 0.66 |
| SRF | Condizioni di bassa copertura (<50m) | Condizioni di bassa copertura | 2.50 | 2.50 |
| Q | | | 0.03<br>Classe VIII<br>Estr. scadente | 2.17<br>Classe VI<br>Scadente |

Criterio di Hoek e Brown

| | MIN | MAX |
|---|---|---|
| σc (MPa) | 5 | 50 |
| GSI | 29 | 50 |
| mi | 8 | 8 |
| (D) | 0 | 0 |
| mb | 0.634 | 1.341 |
| s | 0.0004 | 0.0039 |
| a | 0.524 | 0.506 |
| $\sigma_t$ (MPa) | 0.003 | 0.144 |
| $\sigma_c$ (MPa) | 0.080 | 3.011 |
| $\sigma_{triass}$ (MPa) | 0.476 | 7.848 |

## 10.4 STAZIONE DI RILEVAMENTO B



Si precisa che nella stazione B data la sua prossimità con lo sbocco della galleria sono state riportate in plottaggio sia le misure relative al sistema S0 che ai due principali sistemi di frattura rilevati, F1 e F2.

$RMR_c$ (Bieniawski 1989)

| | MIN | MAX | Indice MIN | Indice MAX |
|---|---|---|---|---|
| A1<br>Resistenza roccia integra (MPa) | 5-25 | 25-50 | 2 | 4 |
| A2<br>RQD (%) | <25 | 25-50 | 3 | 8 |
| A3<br>Spaziatura discontinuità (m) | <0.06 | 0.2-0.6 | 5 | 10 |
| A4<br>Condizioni dei giunti | - | - | 10 | 20 |
| A5<br>Condizioni idrauliche | asciutto | asciutto | 15 | 15 |
| A6<br>Orientazione Discontinuità più sfavorevole. | mediocre | mediocre | -5 | -5 |
| $RMR_c$ | | | 30<br>Classe IV scadente | 52<br>Classe III Mediocre |
| GSI | | | 30 | 52 |
| Coesione (kPa) | | | 175 | 285 |
| $\phi$ (°) | | | 22.5 | 33.5 |
| $E_{st}$ (GPa) | | | 4 | 14 |

Q (Barton 2002)

| | MIN | MAX | Indice MIN | Indice MAX |
|---|---|---|---|---|
| RQD (%) | 10 | 37 | 10 | 37 |
| Jn | 3 sistemi | 3 sistemi | 9 | 9 |
| Jr | Disc. riemp. argilloso | Giunti scabri/planari/ | 1 | 1.5 |
| Ja | Argilla >5mm | Assente | 15 | 0.75 |
| Jw | Afflusso medio | Afflusso medio | 0.66 | 0.66 |
| SRF | Condizioni di bassa copertura (<50m) | Condizioni di bassa copertura | 2.50 | 2.50 |
| Q | | | 0.02<br>Classe VIII<br>Estr. scadente | 2.17<br>Classe VI<br>Scadente |

Criterio di Hoek e Brown

| | MIN | MAX |
|---|---|---|
| σc (MPa) | 25 | 50 |
| GSI | 30 | 52 |
| mi | 8 | 8 |
| (D) | 0 | 0 |
| mb | 0.657 | 1.441 |
| s | 0.0004 | 0.0048 |
| a | 0.522 | 0.505 |
| $\sigma_t$ (MPa) | 0.02 | 0.168 |
| $\sigma_c$ (MPa) | 0.43 | 3.383 |
| $\sigma_{triass}$ (MPa) | 2.4 | 8.2 |

### 10.5 SINTESI DELLA CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA

Per quanto riguarda l'interazione delle opere previste lungo l'asta torrentizia del t. San Lorenzo con l'ammasso roccioso si propongono le seguenti parametrizzazioni geomeccaniche, rispettivamente per il livello di alterazione del substrato roccioso(LIVELLO R1) il cosiddetto "cappellaccio" e per il bedrock propriamente detto (LIVELLO R2)

**LIVELLO R1**

VALORI MEDI:

| $\gamma_m$ (T/mc) | $\phi'_m$ (°) | $c_m$ *(kPa)* | $E_{stm}$ *(GPa)* |
|---|---|---|---|
| 2.55 | 22.0 | 170 | 4 |

| VALORI DI PROGETTO | M1 | M2 |
|---|---|---|
| $\gamma_d$ (T/mc) | 2.55 | 2.55 |
| $\phi_d$ (°) | 22.0 | 17.9 |
| $C_d$ *(kPa)* | 170 | 136 |

**LIVELLO R2**

VALORI MEDI:

| $\gamma_m$ (T/mc) | $\phi'_m$ (°) | $c_m$ *(kPa)* | $E_{stm}$ *(GPa)* |
|---|---|---|---|
| 2.65 | 27.5 | 225 | 6 |

| VALORI DI PROGETTO | M1 | M2 |
|---|---|---|
| $\gamma_d$ (T/mc) | 2.65 | 2.65 |
| $\phi_d$ (°) | 27.5 | 22.6 |
| $C_d$ *(kPa)* | 225 | 180 |

Con riferimento all'interazione tra l'ammasso roccioso e il tracciato della galleria richiamati altresì i risultati delle analisi di cui ai capitoli precedenti, viene proposta la seguente tabella riassuntiva.

| | MIN | MEDIO | MAX |
|---|---|---|---|
| RMRc | 29<br>Classe IV Scadente | 40<br>Classe IV Scadente | 52<br>Classe III Mediocre |
| RMR | 34<br>Classe IV Scadente | 45<br>Classe III Mediocre | 57<br>Classe III Mediocre |
| Coesione (kPa) | 170 | 225 | 285 |
| $\phi$ (°) | 22.0 | 27.5 | 33.5 |
| Est (GPa) | 4 | 6 | 14 |
| GSI | 29 | 40 | 52 |
| Q | 0.02<br>Classe VIII<br>Estr. scadente | 1.2<br>Classe VI<br>Scadente | 2.89<br>Classe VI<br>Scadente |
| mb | 0.634 | 1.016 | 1.441 |
| s | 0.0004 | 0.0023 | 0.0048 |
| a | 0.522 | 0.514 | 0.506 |
| $\sigma_t$ (MPa) | 0.003 | 0.083 | 0.168 |
| $\sigma_c$ (MPa) | 0.080 | 1.22 | 3.383 |
| $\sigma_{triass}$ (MPa) | 0.476 | 4.85 | 8.2 |

Peso di volume unitario medio $\gamma$ = 2.55-2.65T/$m^3$ (valori da letteratura)

La coincidenza tra gli indici calcolati mediante le classificazioni di Bieniawski e Barton è stata verificata mediante l'applicazione della seguente relazione proposta da Barton (1995), ), che indica una discreta corrispondenza tra gli indici di classificazione.

$$RMR = 50 + 15 \log Q$$

| | Q min | Q medio | Q max |
|---|---|---|---|
| RMR | 25 | 51 | 57 |

Richiamate le NTC stabilite dal D.M. 14/01/2008, per i parametri rappresentativi dell'ammasso roccioso si propone la seguente parametrizzazione preliminare in termini di valori medi (fm).

VALORI MEDI:

| $\gamma_m$ (T/mc) | $\phi'_m$ (°) | $c_m$ *(kPa)* | $E_{stm}$ *(GPa)* |
|---|---|---|---|
| 2.6 | 27.5 | 225 | 6 |

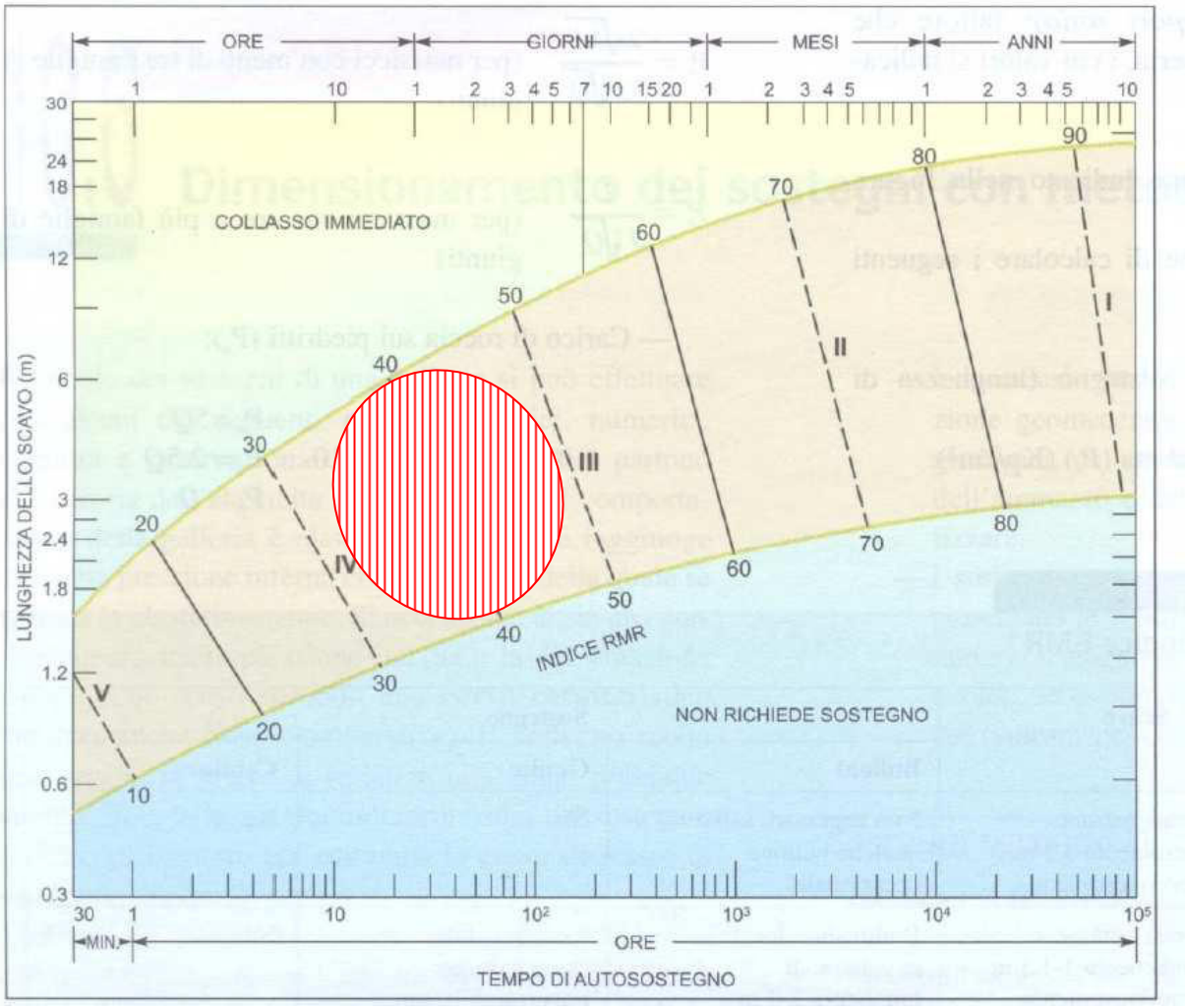
| VALORI DI PROGETTO | M1 | M2 |
|---|---|---|
| $\gamma_d$ (T/mc) | 2.6 | 2.6 |
| $\phi_d$ (°) | 27.5 | 22.6 |
| $C_d$ *(kPa)* | 225 | 180 |

Di seguito vengono allegate alcune tabelle di inquadramento e grafici richiamati dalla bibliografia dai quali possono essere tratte utili indicazioni circa i provvedimenti da attuare nel corso dei lavori.

## Classificazione di Bieniawski o dell'indice RMR

- Classificazione dell'ammasso roccioso secondo Bieniawski (da Bieniawski, Z. T,., 1979)

| RMR = Σ ni | 0 – 20 | 21 – 40 | 41 – 60 | 61 – 80 | 81 – 100 |
|---|---|---|---|---|---|
| Classe di roccia | V | IV | III | II | I |
| Descrizione della roccia | molto scadente | scadente | discreta | buona | ottima |
| c (KPa) | < 100 | 100 – 150 | 150 – 200 | 200 – 300 | > 300 |
| φ | < 30° | 30° – 35° | 35° – 40° | 40° – 45° | > 45° |
| Giudizio sulle difficoltà di scavo | nessuna difficoltà | può essere scavato facilmente. Frammentazione notevole | discreta difficoltà | si scava con difficoltà. Frammenti di notevoli dimensioni | notevoli difficoltà di scavo |
| T<br>L(m) | 10 min<br>0,5 | 5 ore<br>1,5 | 1 settimana<br>3 | 6 mesi<br>4 | 10 anni<br>5 |


ORE
GIORNI
MESI
ANNI
COLLASSO IMMEDIATO
NON RICHIEDE SOSTEGNO
INDICE RMR
LUNGHEZZA DELLO SCAVO (m)
TEMPO DI AUTOSOSTEGNO
MIN.
ORE
I
II
III
IV
V

# Classificazione di Bieniawski o dell'indice RMR

– Modalità di avanzamento e armature in funzione delle cinque classi previste dal RMR (da Bieniawski, Z. T., 1976)

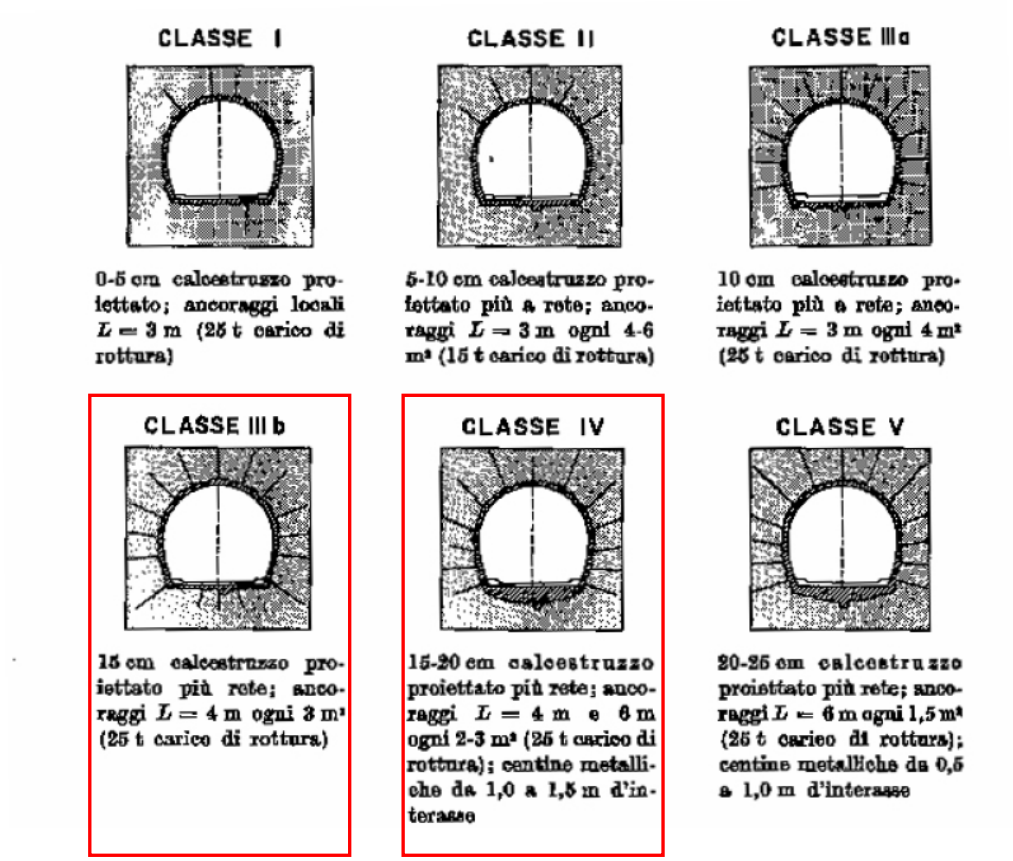
| Classe ammasso | | V | | IV | | III | | II | | I |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RMR | 0 | | 20 | | 40 | | 60 | | 80 | 100 |
| Avanzamento | a sezione parziale | avanzamento con cunicoli e allarghi | 0,5-1 m dal prerivestimento | a 1-1,5 m dal prerivestimento | avanzamento in calotta | a 1,5-3 m dal prerivestimento | a piena sezione | a 1-1,5 m dal prerivestimento | a 3 m dal prerivestimento |
| sostegni provvisori | Bulloni | Lunghezza 5-6 m disposti regolarmente con spaziatura 1-1,5 m in calotta e sulla parete, con rete metallica. Bulloni in arco rovescio | Lunghezza 4-5 m disposti regolarmente con spaziatura 1-1,5 m in calotta e sulle pareti, con rete metallica | Lunghezza 3-4 m disposti regolarmente con spaziatura 1,5-2 m in calotta e sulle pareti con rete metallica in calotta | Non è richiesto rivestimento a eccezione di qualche bullone isolato | | | | |
| | Calcestruzzo proiettato | 150-200 mm in calotta, 150 mm sulle pareti e 50 mm sul fronte di scavo. Applicare il più presto possibile dopo aver usato gli esplosivi | 100-150 mm in calotta, 100 mm sulle pareti. Può essere applicato anche mentre si effettua lo scavo | 50-100 mm in calotta, 30 mm sulle pareti. | | 50-100 mm in calotta come base per impermeabilizzare | | | |
| | Centine | Profilati pesanti in acciaio inossidabile a distanza di 1,5m; traverse in arco rovescio | Profilati leggeri a distanza di 1,5 m se necessari | Non necessarie | | Non necessarie | | | |

A compendio di quanto illustrato è stata applicata la Classificazione di Rabcewicz che, come noto, costituisce una sintesi delle esperienze maturate nell'applicazione del Nuovo Metodo Austriaco alla costruzione delle gallerie. Il metodo trae vantaggio dalla capacità dell'ammasso roccioso di autosostenersi attraverso il controllo del processo di ridistribuzione delle forze nell'anello di roccia che lo circonda adattando la scelta delle opere di sostegno allo scavo,

# CLASSIFICAZIONE DI RABCEWICZ

| Classi di roccia | Descrizione del comportamento della roccia | Scavo | | | | Misure di sicurezza e di sostegno | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Sezione | Lunghezza volate | Metodo | Tempo di autosostegno | Intervento | Tempo di posa in opera |
| I Stabile | Roccia sana massiva. Lo scavo si autosostiene e le tensioni al contorno non superano la resistenza della roccia. | Sezione piena | Dipende dalle condizioni locali | Con esplosivo | Settimane in calotta, illimitato in parete | Ancoraggi locali + rete in calotta o calcestruzzo proiettato | Senza limiti, a scavo avvenuto in caso di rilasci locali |
| II Leggermente fratturata | Roccia stratificata e leggermente fratturata. Nella fase di decompressione le tensioni tangenziali in calotta superano la resistenza della roccia con conseguenti distacchi Sono necessarie opere di sostegno sistematiche in calotta. Le pareti dello scavo si mantengono stabili salvo possibili distacchi locali. | Sezione piena | max 3 m | Con esplosivo | Giorni in calotta, settimane in parete | Ancoraggi sistematici in calotta + rete + calcestruzzo proiettato (anche in parete per bloccare rilasci locali) | Ultimazione a 40 m max dal fronte scavo |
| III *a* Fratturata<br>III *b* Poco spingente | Roccia da fratturata a molto fratturata. Il limite di resistenza della roccia viene raggiunto in parete e superato in calotta. Sono necessarie opere di sostegno sistematiche e l'inserimento dell'arco rovescio per la possibilità di rottura del fondo dello scavo. | Sezione piena con volate brevi. Preferibilmente sezione parzializzata (calotta più 1 strozzo) | Max 1,5 m per scavo a sezione piena. Max 3 m per scavo a sezione parzializzata | Esplosivi con cautela localmente a macchina | Ore in calotta giorni in parete | Ancoraggi sistematici + rete + calcestruzzo proiettato in calotta e in parete. Arco rovescio | Inizio subito dopo lo scavo e completamento a 20 m max dal fronte scavo |
| IV Spingente | Roccia alterata, scisota, fagliata. La resistenza della roccia viene superata su tutto il contorno dello scavo. Sono necessarie opere di sostegno sistematiche, l'inserimento dell'arco rovescio e la protezione del fronte dello scavo. | Sezione parzializzata (calotta con più di 1 strozzo) | da 1 m a 1,5 m in calotta | a macchina | Molto breve, in calotta, alcune ore in parete | Ancoraggi sistematici + rete + calcestruzzo proiettato + centine metalliche in calotta e in parete Arco rovescio e protezione del fronte dello scavo con calcestruzzo proiettato | Inizio subito dopo lo scavo parziale Il getto dell'arco rovescio a breve scadenza in funzione delle condizioni locali (misure in sito) |
| V Molto spingente | Roccia molto alterata, completamente milonitizzata. L'apertura dello scavo provoca l'insorgere di forti pressioni in tutte le direzioni. L'anello di roccia intorno allo scavo è completamente plasticizzato e tende verso l'interno con sensibile riduzione della sezione. | È necessaria una suddivisione in diverse sezioni parziali in funzione anche della stabilità del fronte dello scavo | da 0,5 a 1,0 m in calotta | a macchina | Nessuno in calotta, fino a poche ore in parete e sul fronte | Ancoraggi sistematici + rete + calcestruzzo proiettato + centine metalliche in calotta e in pareteì Arco rovescio e protezione del fronte dello scavo con calcestruzzo proiettato | Tutte le superfici devono essere sostenute non appena aperto lo scavo. La successione delle operazioni e l'inserimento dell'arco rovescio devono essere definiti in funzione delle condizioni locali (misure in sito) |
| VI Materiale sciolto | Questa classe comprende tutti i terreni sciolti, franosi, per i quali lo scavo non può essere affrontato con i metodi convenzionali. | Lo scavo si regola in funzione dei metodi di sostegno | | | | Misure speciali quali congelamento, iniezioni di miscele chimiche ecc. | |

# Opere di sostegno dello scavo per le classi di roccia

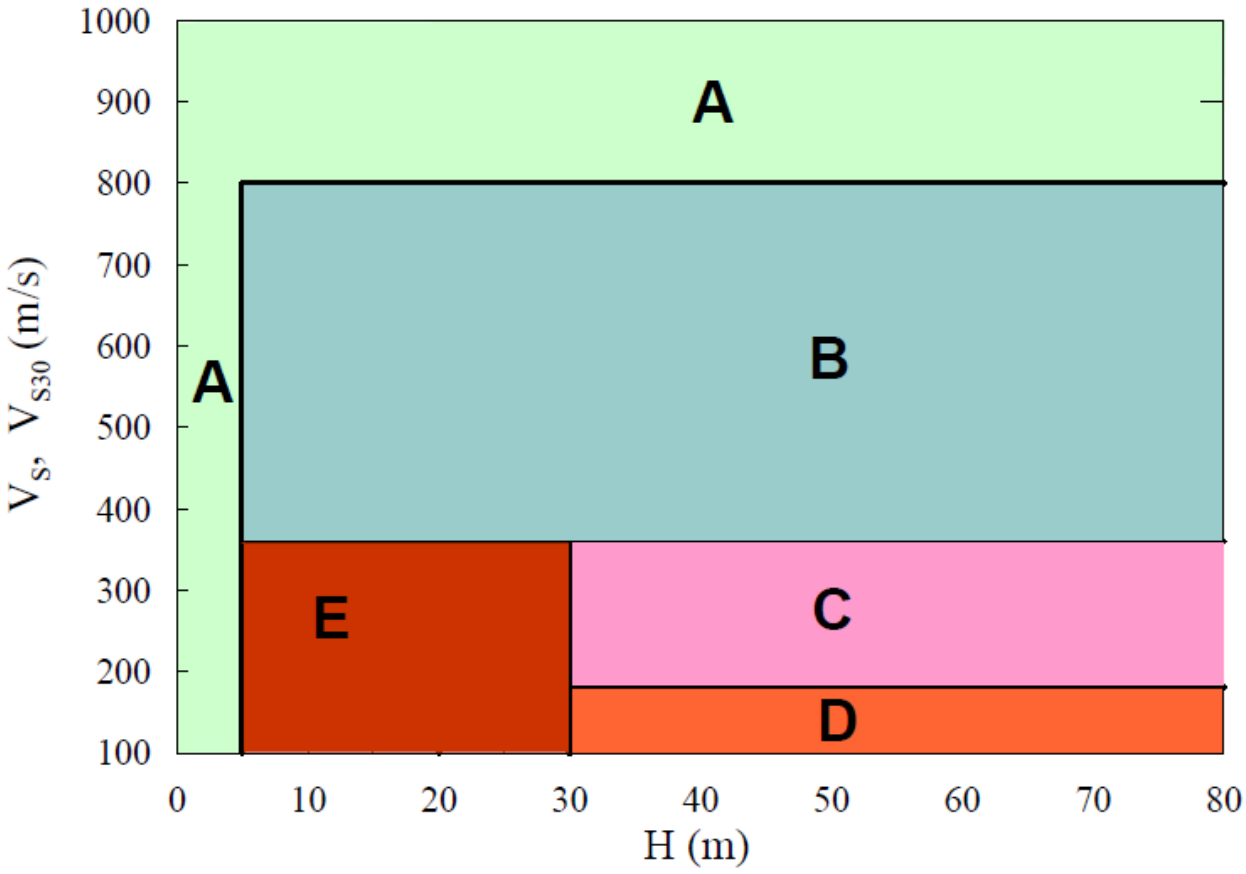



I due metodi esaminati dimostrano convergenza nelle soluzioni da adottare; si rimanda per maggiori dettagli alle valutazione dei progettisti.

## 11 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Con la D.G.R. 19/11/10, n. 1362, pubblicata sul Bollettino Ufficiale della Regione Liguria (B.U.R.L.) n. 50 del 15/12/10, parte II, è stata approvata la nuova classificazione sismica (che ha sostituito la precedente di cui alla D.G.R. 24/10/08, n. 1308), entrata in vigore il 1° gennaio 2011, ed il Comune di Moneglia è stato inserito in classe sismica 3 con pga = 0,15g.

La normativa tecnica, ai fini del calcolo dell'azione sismica, prescrive di determinare la categoria del suolo di fondazione. Nel caso specifico si forniscono cautelativamente i seguenti parametri determinati sulla base delle risultanze delle indagini eseguite e i criteri interpretativi delle NTC08 (cfr Tab.1)




*Tab.1: "le categorie di sottosuolo delle NTC08 limiti di applicabilità di Vs30" – G.Lanzo – CNR, Univ. La Sapienza Roma*

OPERE LUNGO IL SAN LORENZO (con riferimento al piano campagna attuale)

- CAT. B: relativa a "Depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30' compresi tra 360m/s e 800ms/s"
- CATEGORIA TOPOGRAFICA: T1

CANALE SCOLMATORE RIO SORBA:

- CAT. A: relativa ad "Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800m/s eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m".
- CATEGORIA TOPOGRAFICA: T3

*LEGENDA TABELLE DI SEGUITO ALLEGATE*

| | |
|---|---|
| $V_N$ | vita nominale della struttura |
| $C_u$ | coefficiente che dipende dalla classe d'uso |
| $V_R$ | periodo di riferimento dell'azione sismica |
| $P_{VR}$ | periodo di ritorno per la definizione dell'azione sismica |
| $T_R$ | tempo di ritorno |
| $a_g$ | accelerazione orizzontale di riferimento massima su suolo rigido (Cat. A |
| $F_o$ | fattore di amplificazione spettrale massima su suolo rigido |
| $T_c$ | periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro |
| $S_s$ | coefficiente di amplificazione stratigrafica |
| $C_c$ | coefficiente correttivo del periodo Tc |
| $S_t$ | coefficiente di correzione topografica |
| $a_{max}$ | accelerazione orizzontale massima attesa al sito |
| $\beta$ | coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito |
| **kh** | coefficiente sismico orizzontale |
| **kv** | coefficiente sismico verticale |

## FONDAZIONI

| Parametri sismici | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | SLE | | SLU | |
| | | SLO | SLD | SLV | SLC |
| Cat.suolo | | B | | | |
| Cat. Top. | | T1 | | | |
| Classe uso | | II | | | |
| $V_N$ | anni | 50 | | | |
| $C_u$ | | 1 | | | |
| $V_R$ | anni | 50 | | | |
| $P_{VR}$ | % | 81 | 63 | 10 | 5 |
| $T_R$ | anni | 30 | 50 | 475 | 975 |
| $a_g$ | g | 0.035 | 0.044 | 0.110 | 0.144 |
| $F_o$ | | 2.517 | 2.521 | 2.405 | 2.394 |
| $T_c$ | s | 0.209 | 0.237 | 0.287 | 0.290 |
| $S_s$ | | 1.200 | 1.200 | 1.200 | 1.200 |
| $C_c$ | | 1.500 | 1.470 | 1.410 | 1.410 |
| $S_t$ | | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| $a_{max}$ | $m/s^2$ | 0.415 | 0.514 | 1.299 | 1.700 |
| β | | 0.200 | 0.200 | 0.240 | 0.240 |
| kh | | 0.008 | 0.010 | 0.032 | 0.042 |
| kv | ± | 0.004 | 0.005 | 0.016 | 0.021 |

## OPERE DI SOSTEGNO

| Parametri sismici | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | SLE | | SLU | |
| | | SLO | SLD | SLV | SLC |
| Cat.suolo | | B | | | |
| Cat. Top. | | T1 | | | |
| Classe uso | | II | | | |
| $V_N$ | anni | 50 | | | |
| $C_u$ | | 1 | | | |
| $V_R$ | anni | 50 | | | |
| $P_{VR}$ | % | 81 | 63 | 10 | 5 |
| $T_R$ | anni | 30 | 50 | 475 | 975 |
| $a_g$ | g | 0.035 | 0.044 | 0.110 | 0.144 |
| $F_o$ | | 2.517 | 2.521 | 2.405 | 2.394 |
| $T_c$ | s | 0.209 | 0.237 | 0.287 | 0.290 |
| $S_s$ | | 1.200 | 1.200 | 1.200 | 1.200 |
| $C_c$ | | 1.500 | 1.470 | 1.410 | 1.410 |
| $S_t$ | | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| $a_{max}$ | $m/s^2$ | 0.415 | 0.514 | 1.299 | 1.700 |
| β | | 0.180 | 0.180 | 0.240 | 0.240 |
| kh | | 0.008 | 0.009 | 0.032 | 0.042 |
| kv | ± | 0.004 | 0.005 | 0.016 | 0.021 |

## FONDAZIONI

| Parametri sismici | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | SLE | | SLU | |
| | | SLO | SLD | SLV | SLC |
| Cat.suolo | | A | | | |
| Cat. Top. | | T3 | | | |
| Classe uso | | II | | | |
| $V_N$ | anni | 50 | | | |
| $C_u$ | | 1 | | | |
| $V_R$ | anni | 50 | | | |
| $P_{VR}$ | % | 81 | 63 | 10 | 5 |
| $T_R$ | anni | 30 | 50 | 475 | 975 |
| $a_g$ | g | 0.035 | 0.044 | 0.110 | 0.144 |
| $F_o$ | | 2.517 | 2.521 | 2.405 | 2.394 |
| $T_c$ | s | 0.209 | 0.237 | 0.287 | 0.290 |
| $S_s$ | | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| $C_c$ | | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| $S_t$ | | 1.200 | 1.200 | 1.200 | 1.200 |
| $a_{max}$ | $m/s^2$ | 0.415 | 0.514 | 1.299 | 1.700 |
| β | | 0.200 | 0.200 | 0.270 | 0.270 |
| kh | | 0.008 | 0.010 | 0.036 | 0.047 |
| kv | ± | 0.004 | 0.005 | 0.018 | 0.023 |

OPERE DI SOSTEGNO

| Parametri sismici | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | SLE | | SLU | |
| | | SLO | SLD | SLV | SLC |
| Cat.suolo | | A | | | |
| Cat. Top. | | T3 | | | |
| Classe uso | | II | | | |
| $V_N$ | anni | 50 | | | |
| $C_u$ | | 1 | | | |
| $V_R$ | anni | 50 | | | |
| $P_{VR}$ | % | 81 | 63 | 10 | 5 |
| $T_R$ | anni | 30 | 50 | 475 | 975 |
| $a_g$ | g | 0.035 | 0.044 | 0.110 | 0.144 |
| $F_o$ | | 2.517 | 2.521 | 2.405 | 2.394 |
| $T_c$ | s | 0.209 | 0.237 | 0.287 | 0.290 |
| $S_s$ | | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| $C_c$ | | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| $S_t$ | | 1.200 | 1.200 | 1.200 | 1.200 |
| $a_{max}$ | $m/s^2$ | 0.415 | 0.514 | 1.299 | 1.700 |
| β | | 0.200 | 0.200 | 0.290 | 0.290 |
| kh | | 0.008 | 0.010 | 0.038 | 0.050 |
| kv | ± | 0.004 | 0.005 | 0.019 | 0.025 |

Data la presenza di una falda subsuperficiale e la natura granulare dei terreni lungo il corso del torrente San Lorenzo, si è presa in considerazione la criticità alla liquefazione; in relazione a ciò bisogna specificare che, in accordo con il D.M. 14/01/2008, tale verifica può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti cinque circostanze:

1. eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;

3. profondità media stagionale della falda superiore a 15m da pc, per piano di campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N1)60 >30;
5. distribuzione granulometrica esterna ai fusi granulometrici di riferimento riportati in Normativa in funzione del coefficiente di uniformità (Uc).

Si è dunque eseguita una verifica della magnitudo M attesa nei quattro siti di riferimento in relazione allo stato limite SLV (Stato Limite di Salvaguardia della Vita) così come indicato in normativa e a tal fine è stata consultata la mappa di pericolosità sismica disponibile sul sito dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) nonchè i grafici di disaggregazione della pericolosità sismica.

A scopo chiarificativo si riporta sinteticamente un estratto dell'articolo: "Disaggregazione della pericolosità sismica in termini di M-R-ε" - D. Spallarossa, S. Barani - Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse, Università di Genova.

La disaggregazione (o deaggregazione) della pericolosità sismica (McGuire, 1995; Bazzurro and Cornell, 1999) è un'operazione che consente di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito.

La forma più comune di disaggregazione è quella bidimensionale in magnitudo e distanza (M-R) che permette di definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M.

Espresso in altri termini il processo di disaggregazione in M-R fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso.

Analogamente alla disaggregazione in M-R è possibile definire la disaggregazione tridimensionale in M-R-ε dove ε rappresenta il numero di deviazioni standard per cui lo scuotimento (logaritmico) devia dal valore mediano predetto da una data legge di attenuazione dati M ed R.

Lo studio affronta la disaggregazione della pericolosità sismica italiana (Gruppo di Lavoro MPS, 2004). L'analisi di disaggregazione è stata condotta per 16852 siti corrispondenti ai nodi della

griglia adottata per la redazione delle mappe di pericolosità sismica del territorio nazionale (Gruppo di Lavoro MPS, 2004).

Le mappe conclusive di pericolosità sismica, ottenute impiegando il formalismo ad albero logico, sono state elaborate in termini di mediana della distribuzione dei valori di pericolosità anziché in termini di valori medi; pertanto la disaggregazione è stata condotta adottando quali input i modelli ed i valori dei parametri lungo il ramo dell'albero logico a cui corrispondono i valori di pericolosità più prossimi a quelli mediani di riferimento.

In particolare, sono stati disaggregati i valori mediani di scuotimento (relativi a suolo rigido), espresso in termini di accelerazione orizzontale di picco (PGA), corrispondenti a 9 periodi di ritorno (RP): 30, 50, 72, 100, 140, 200, 475, 1000 e 2500 anni.

Per ciascun sito, i risultati sono stati restituiti in termini di distribuzioni M-R-ε da cui sono stati ricavati i valori medi e modali di tali parametri.

Da questi sono state elaborate le mappe di M, R ed ε per l'intero territorio nazionale. E' stato dunque evidenziato che all'aumentare del periodo di ritorno aumenta il contributo alla pericolosità di un dato sito da parte di terremoti forti a brevi distanze.

Gli esiti dello studio possono risultare utili nella selezione di accelerogrammi a scopi di progettazione e/o per analisi dinamiche (es. analisi numeriche di risposta sismica locale).

I risultati delle analisi effettuate sono i seguenti:

| | ID | Magnitudo M | Distanza (km) | ε |
|---|---|---|---|---|
| SITO1 | 17813 | 4.880 | 15.400 | 0.871 |
| SITO2 | 17814 | 4.870 | 12.800 | 0.869 |
| SITO3 | 17592 | 4.880 | 12.200 | 0.955 |
| SITO4 | 17591 | 4.850 | 12.200 | 0.847 |

Nei siti di riferimento risulta quindi che la magnitudo attesa, in riferimento allo SLV, è sempre minore di 5 conseguentemente la verifica alla liquefazione in prima analisi può essere omessa.

## 12 CONCLUSIONI

Le indagini svolte, articolate in rilevamenti di superficie integrati da una preliminare campagna geognostica (sondaggia carotaggio continuo, prospezioni geofisiche e prove penetro metriche), nei limiti suggeriti dall'attuale fase progettuale, hanno comunque consentito di fornire ai progettisti un primo modello geologico-geotecnico dal quale ricavare gli elementi essenziali per la progettazione delle opere previste.

Conseguentemente agli esiti delle indagini è stato possibile suggerire - tra l'altro - gli approntamenti per la mitigazione dei problemi in sotterraneo connessi alla delicata esecuzione dell'opera nonché valutare le soluzioni più adeguate volte al consolidamento dei limitati tratti di versante "a giorno" interferenti con gli imbocchi.

Attraverso le ricostruzioni effettuate sono state inoltre fornite indicazioni circa le principali problematiche lungo i fondovalle ed in ambito urbano. Tali considerazioni sono state ampliamente discusse con i progettisti e trasferite nel progetto preliminare di cui trattasi.

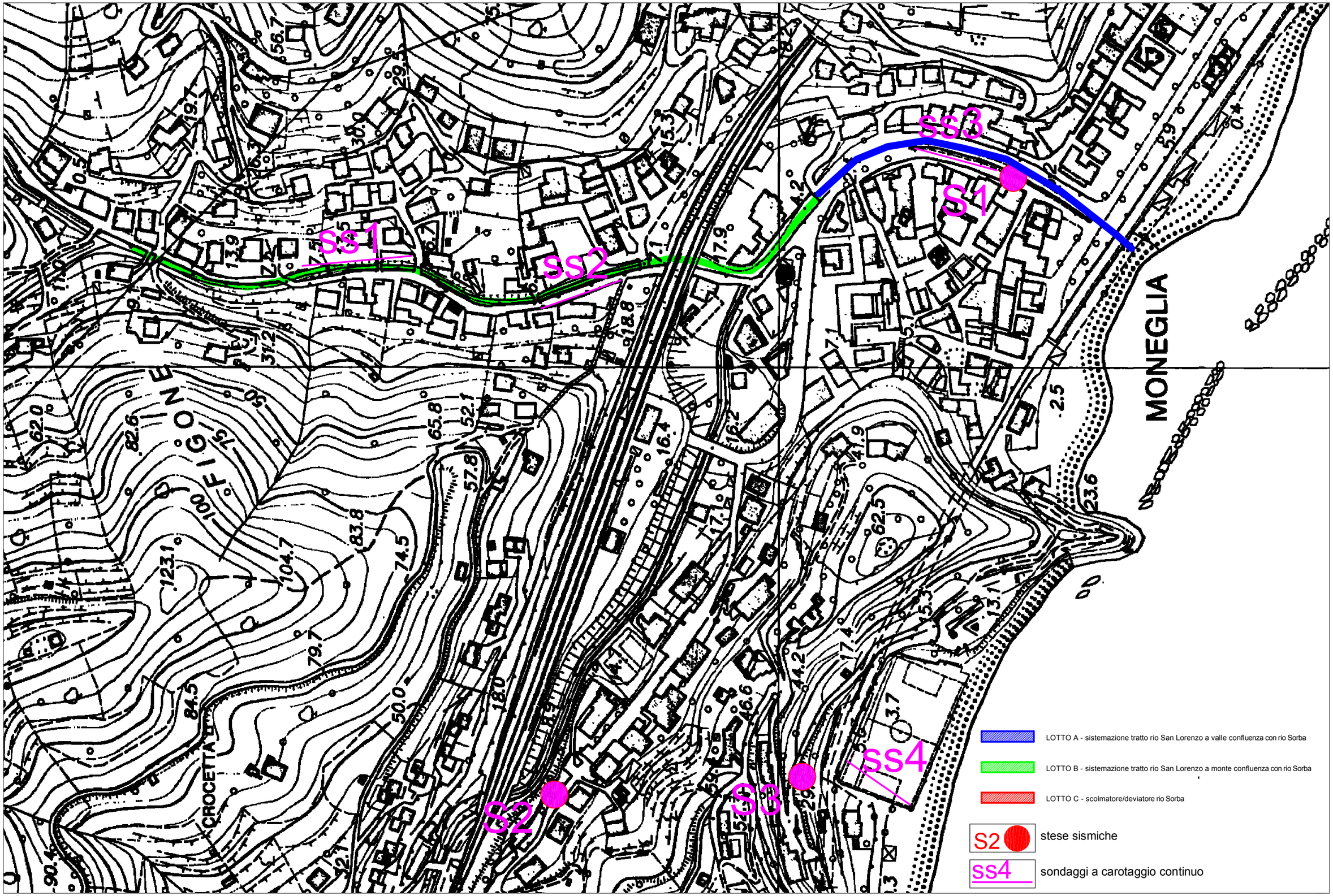
Resta inteso che nelle successive fasi di progettazione e soprattutto nel corso dei lavori le tematiche geologico-applicative dovranno essere adeguatamente affinate, anche attraverso ulteriori prospezioni di dettaglio e l'assistenza geologica continuativa a supporto della direzione Lavori.

Sestri Levante, Marzo 2017

Dott. geol. Giovanni Rizzi

Dott. geol. Barbara Musante

TAV. 3: PLANIMETRIA TECNICA - UBICAZIONE PROSPEZIONI GEOGNOSTICHE



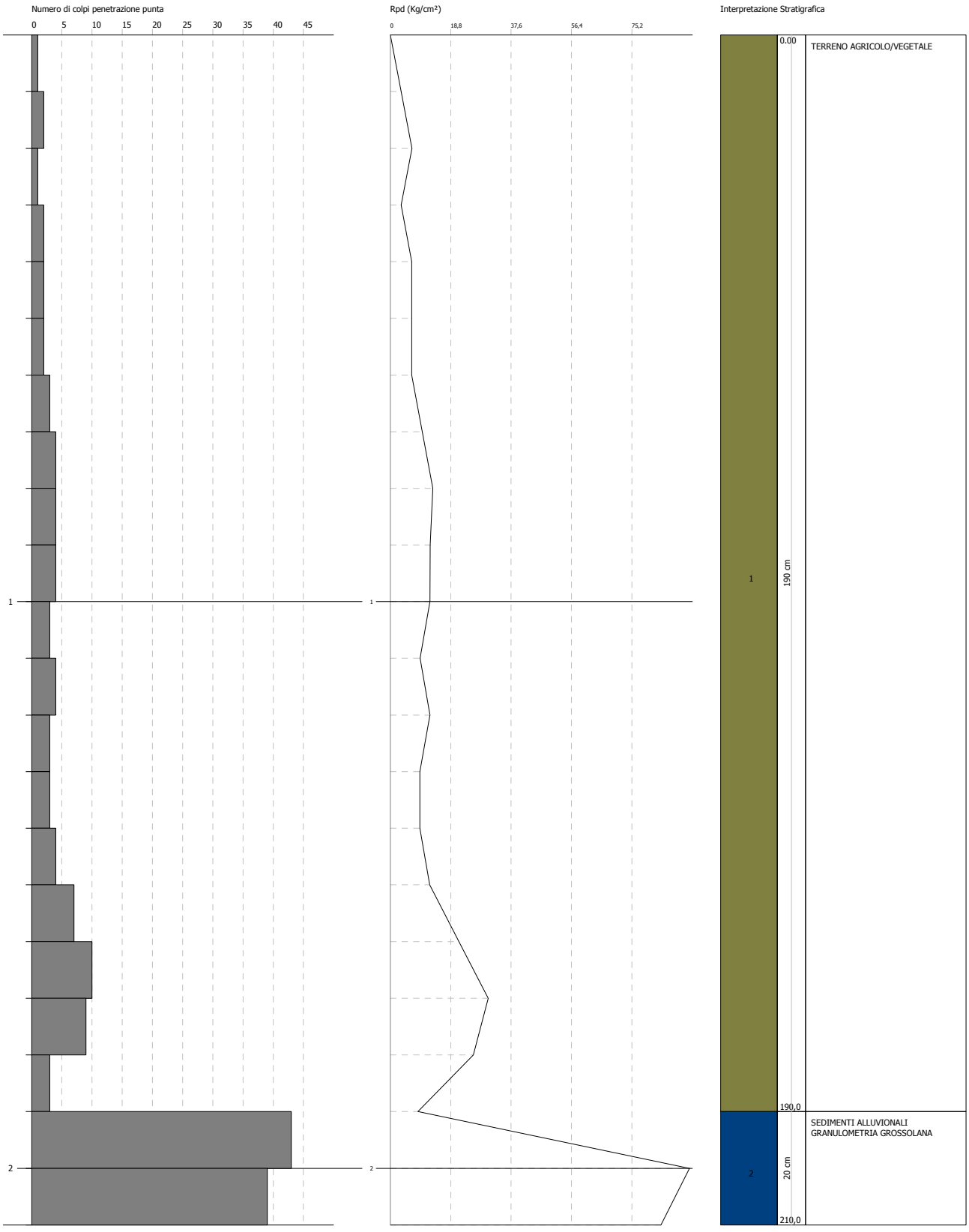
# TAV.4: DIAGRAMMI DI INFISSIONE PENETROMETRICA

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P1
Strumento utilizzato... DM30 (60°)

Committente: COMUNE DI MONEGLIA
Cantiere: SISTEMAZIONE IDRAULICA T. S. LORENZO
Località: MONEGLIA

Data: 08/03/2016

Scala 1:10

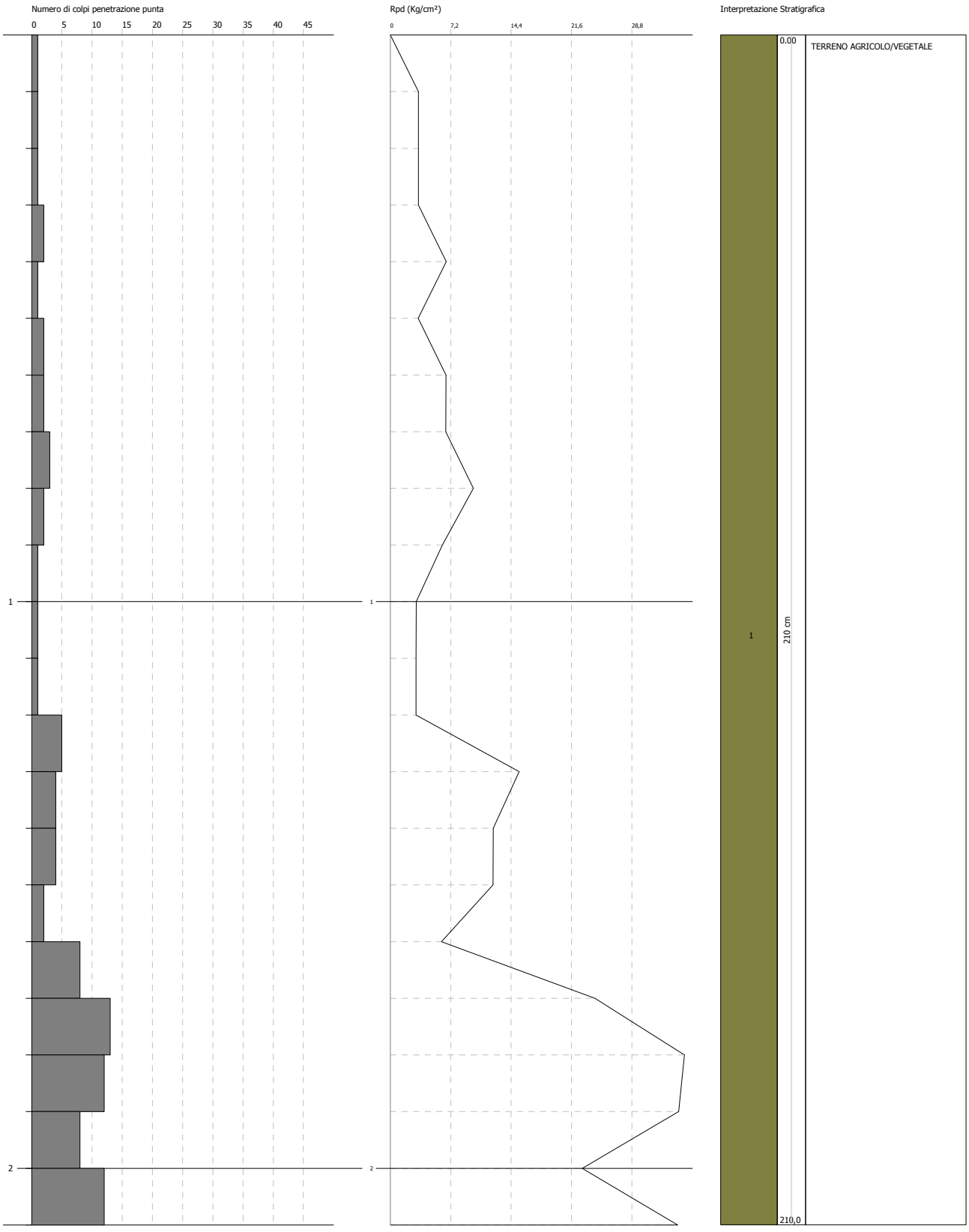


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P2
Strumento utilizzato... DM30 (60°)

Committente: COMUNE DI MONEGLIA
Cantiere: SISTEMAZIONE IDRAULICA T. S. LORENZO
Località: MONEGLIA

Data: 08/03/2016

Scala 1:10

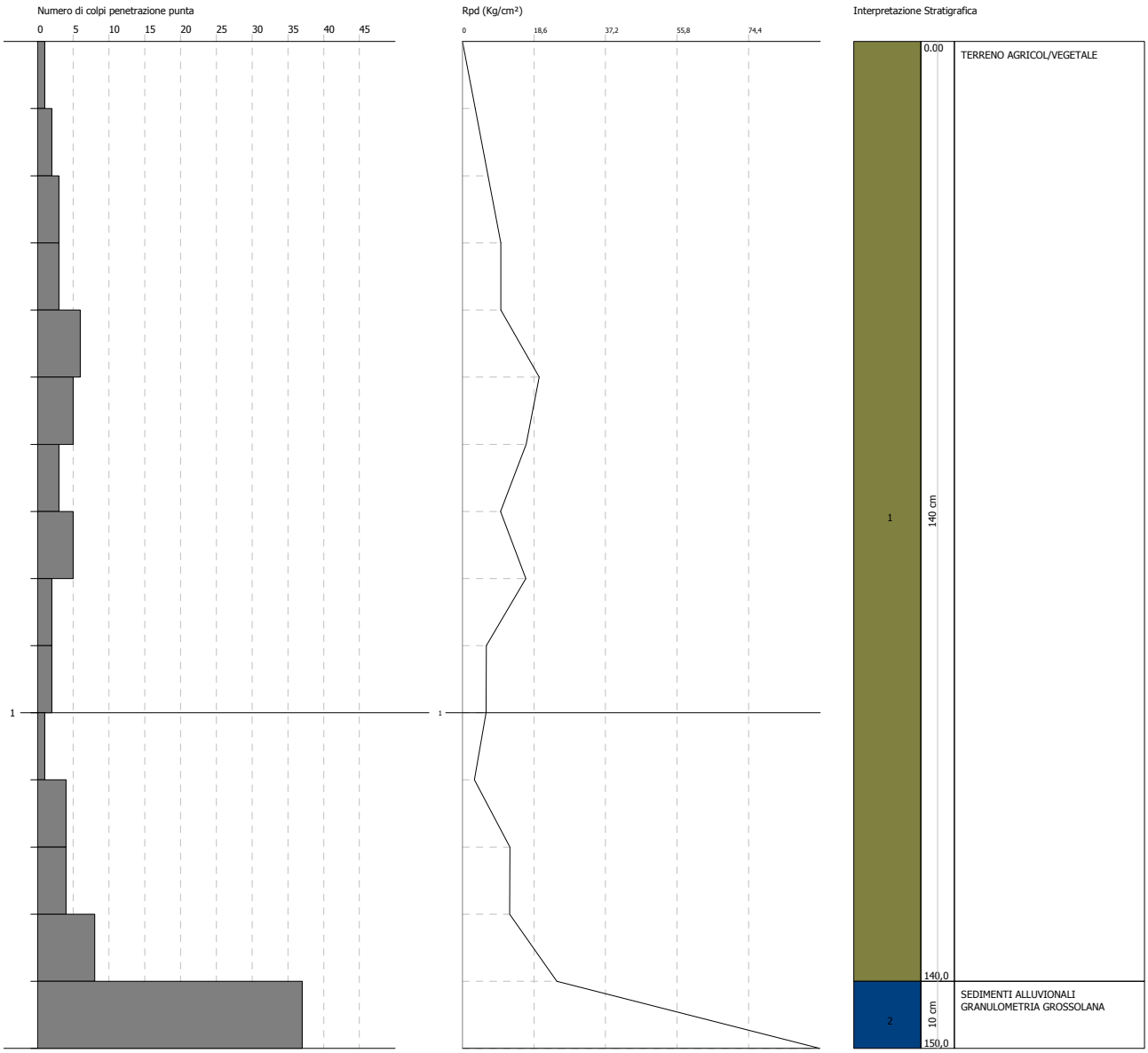


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P3
Strumento utilizzato... DM30 (60°)

Committente: COMUNE DI MONEGLIA
Cantiere: SISTEMAZIONE IDRAULICA T. S. LORENZO
Località: MONEGLIA

Data: 08/03/2016

Scala 1:10

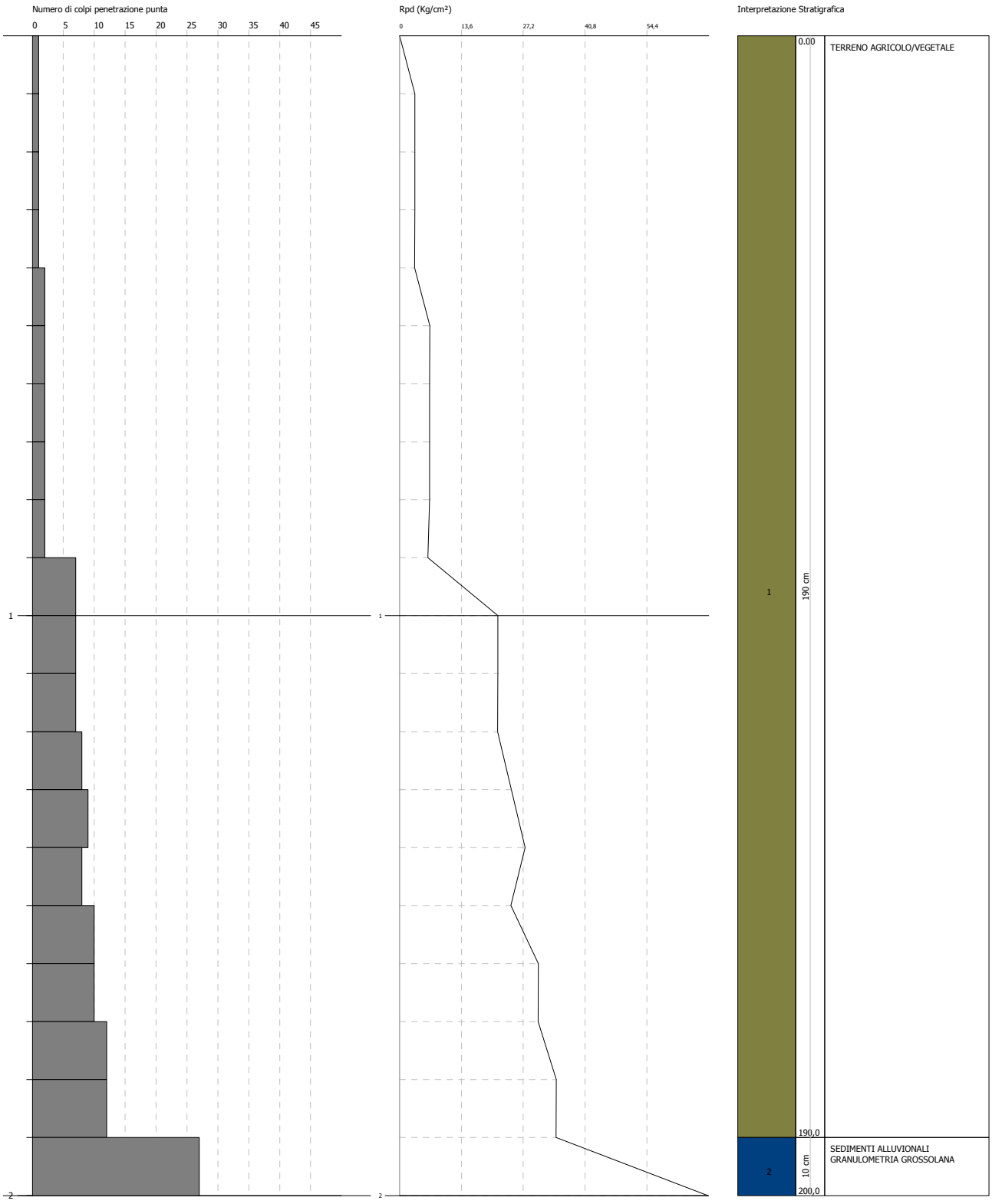


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P4
Strumento utilizzato... DM30 (60°)

Committente: COMUNE DI MONEGLIA
Cantiere: SISTEMAZIONE IDRAULICA T. S. LORENZO
Località: MONEGLIA

Data: 08/03/2016

Scala 1:10

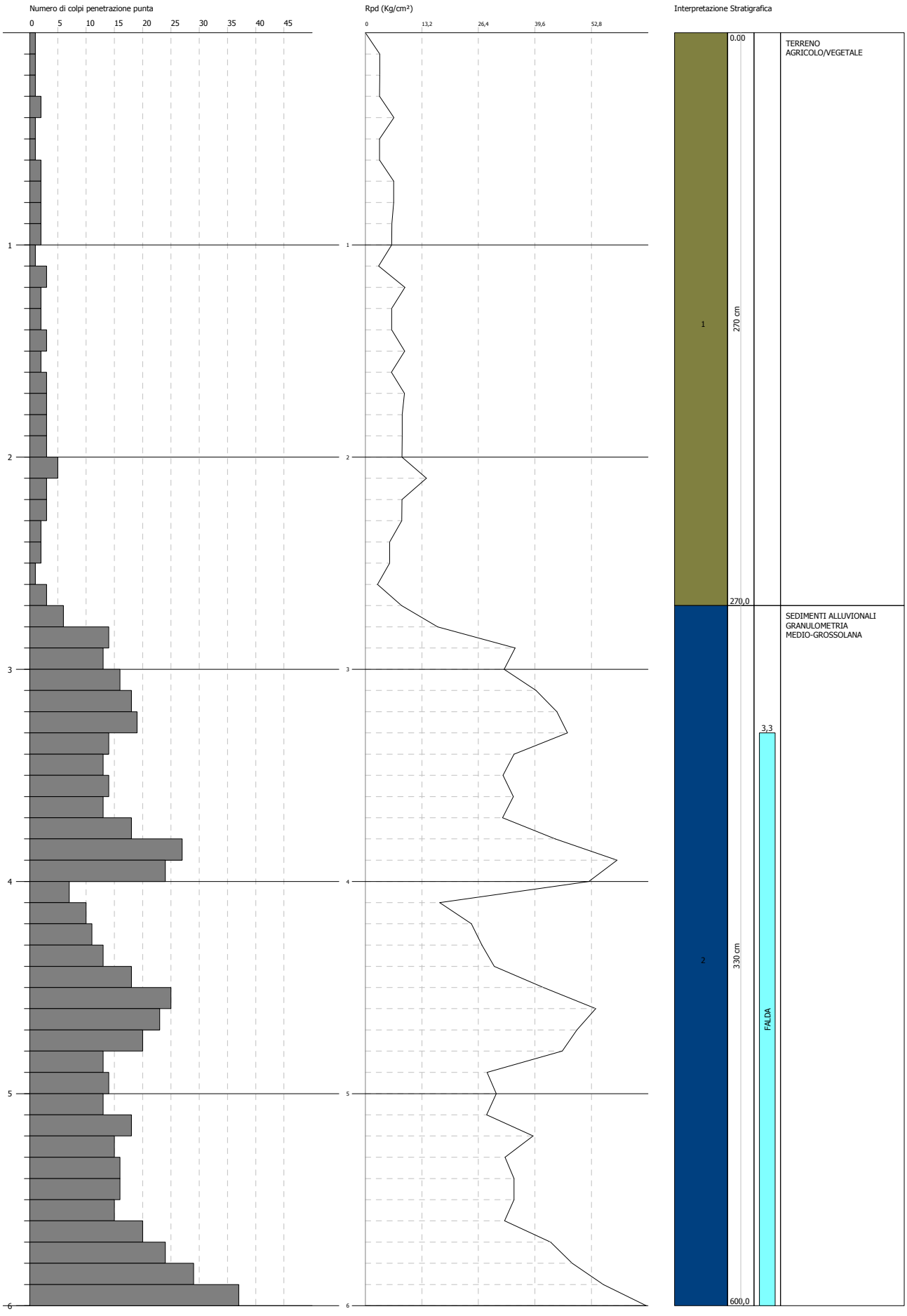


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P5
Strumento utilizzato... DM30 (60°)

Committente: COMUNE DI MONEGLIA
Cantiere: SISTEMAZIONE IDRAULICA T. S. LORENZO
Località: MONEGLIA

Data: 08/03/2016

Scala 1:25

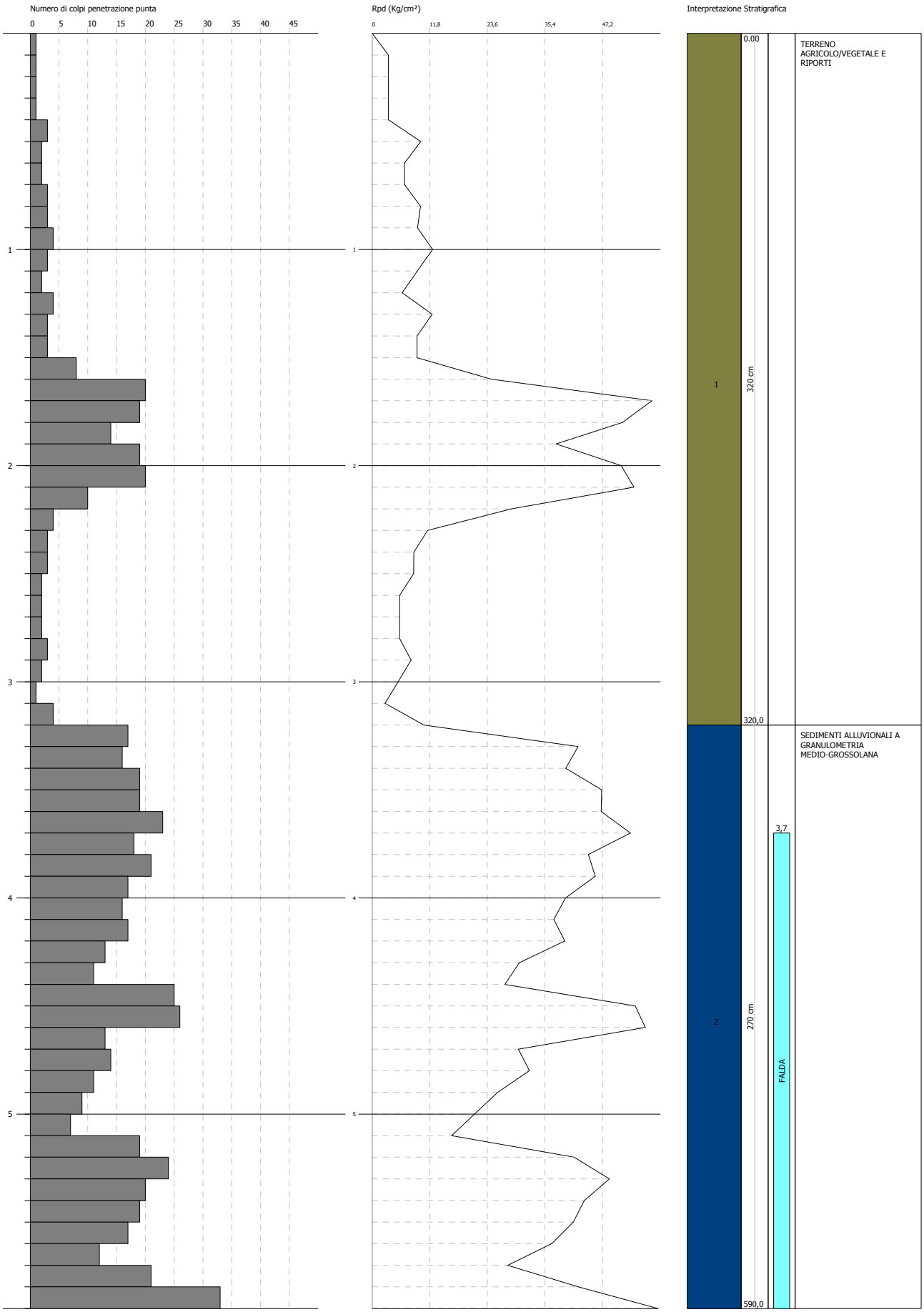


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P6
Strumento utilizzato... DM30 (60°)

Committente: COMUNE DI MONEGLIA
Cantiere: SISTEMAZIONE IDRAULICA T. S. LORENZO
Località: MONEGLIA

Data: 08/03/2016

Scala 1:25

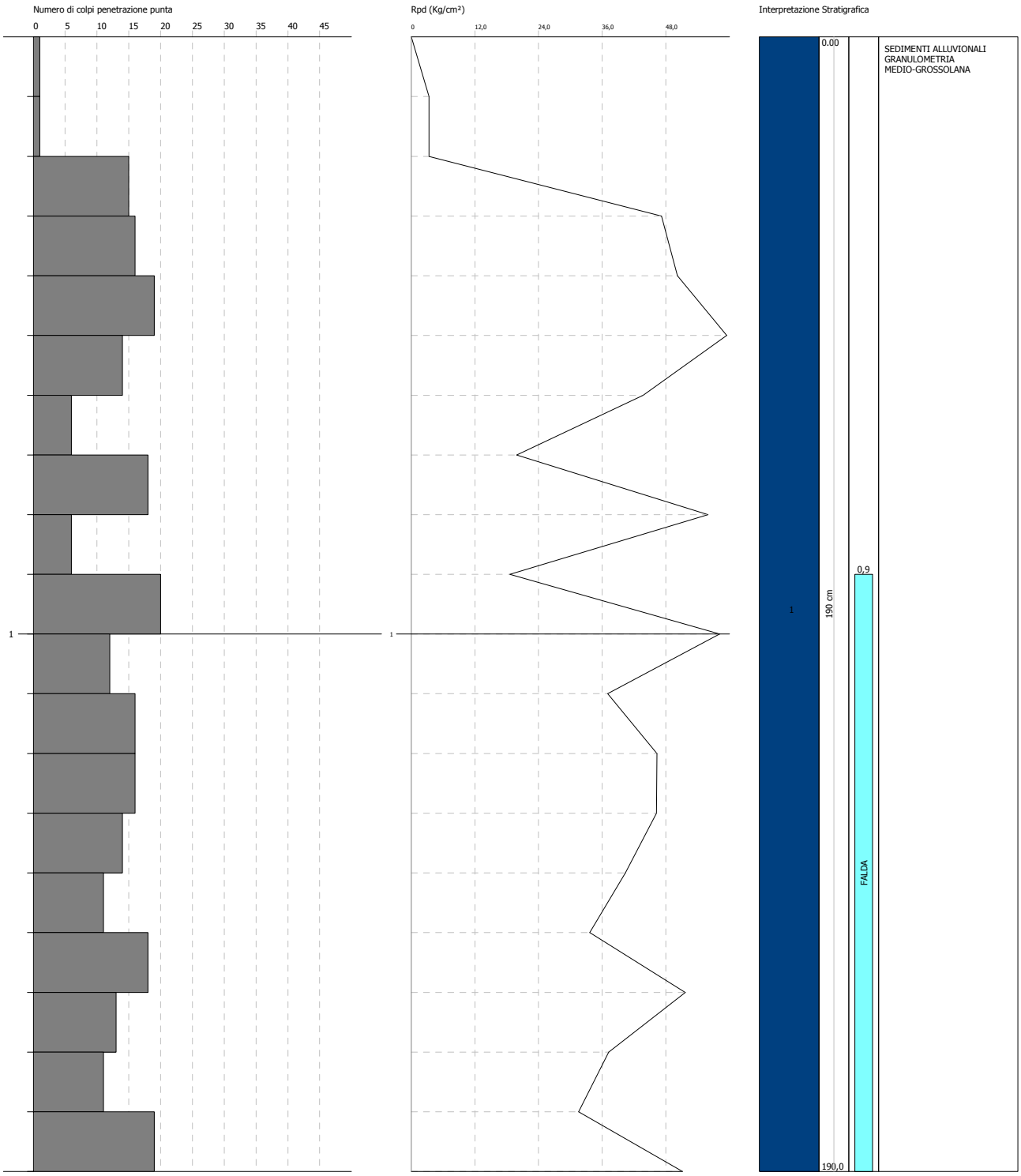


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P7
Strumento utilizzato... DM30 (60°)

Committente: COMUNE DI MONEGLIA
Cantiere: SISTEMAZIONE IDRAULICA T. S. LORENZO
Località: MONEGLIA

Data: 08/03/2016

Scala 1:10



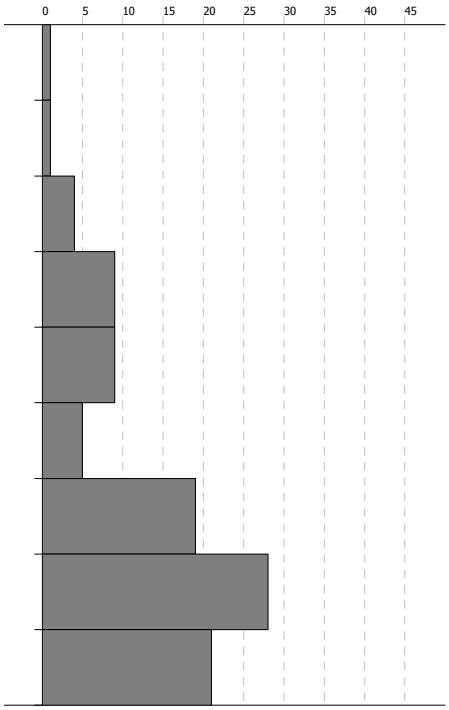
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA P8
Strumento utilizzato... DM30 (60°)

Committente: COMUNE DI MONEGLIA
Cantiere: SISTEMAZIONE IDRAULICA T. S. LORENZO
Località: MONEGLIA

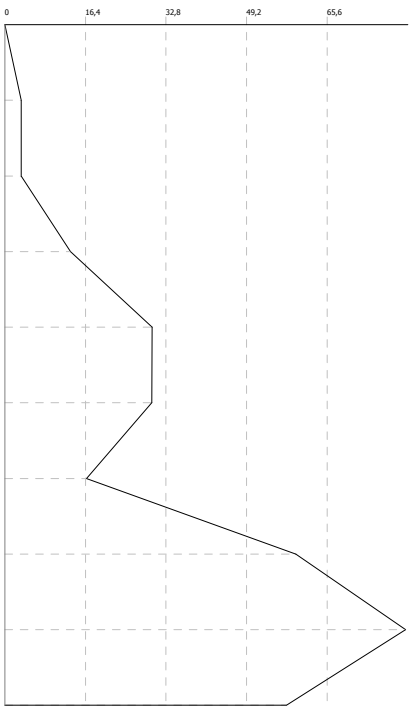
Data: 08/03/2016

Scala 1:10

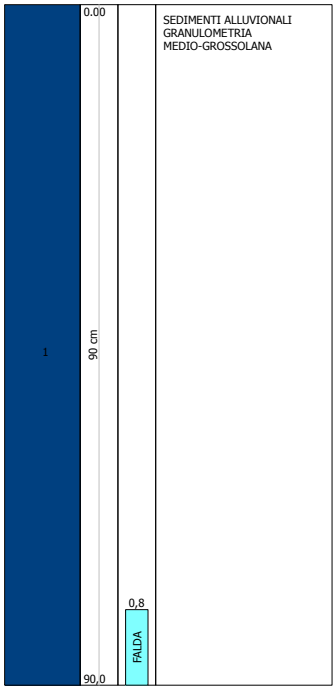
Numero di colpi penetrazione punta




Rpd (Kg/cm²)




Interpretazione Stratigrafica



# TAV.5: INDAGINE SISMICA

Dott. Geol. Franco Montaldo
Geologia & Geofisica applicata

# indagine geofisica

## di sismica a rifrazione per la determinazione della sismo-stratigrafia Vp e Vs, relativa alla sistemazione idraulica del Torrente S.Lorenzo

## Progetto preliminare

NS rif 10140SA

*Dott. Geol. Franco Montaldo*
*Cell. 3495545915*
*e-mail: franco.montaldo61@gmail.com*

*P.IVA 03509620104*
*Via Orlando 18/16*
*16146 Genova*

## 1. Premessa

Obiettivo della presente relazione è la determinazione del profilo sismico in varie aree nel Comune di Moneglia interessate dal progetto preliminare di opere di mitigazione del rischio idraulico del Torrente S.Lorenzo,. L'indagine sismica effettuata è consistita in quattro prove di tomografia sismica a rifrazione per ottenere la distribuzione 2D delle velocità delle onde compressionali (Vp), tre prove per la determinazione delle velocità delle onde trasversali (Vs) e di quattro prove MASW (Multichannel Analysis of SurfaceWaves) per ottenere il profilo verticale 1D (sondaggio verticale) delle velocità Vs. Da quest'ultimo si è poi stimato il parametro $V_{S30}$. La localizzazione delle quattro stese è illustrata in fig. 1.




*Fig. 1 - Posizionamento delle quattro stese S1-S4. Per le stese S1 -S3 si sono adottati sia geofoni verticali che orizzontali, per la stesa S4 solo verticali.*

## 2. Metodologia

### 2.1 Tomografia a rifrazione

Nella tomografia sismica a rifrazione i dati vengono acquisiti nel modo standard della sismica a rifrazione, valutando i primi arrivi delle onde compressionali P e S ottenute con geofoni verticali ed orizzontali rispettivamente. Le dromocrone relative alle diverse energizzazioni vengono dapprima interpretate tramite inversione col metodo del fronte d'onda, considerato il più affidabile e meno approssimato tra i metodi tradizionali di interpretazione della sismica a rifrazione. Il modello ottenuto viene poi utilizzato come modello iniziale dal software di inversione tomografica per ottenere un modello 2D delle velocità delle onde P ed S che si propagano in maniera curvilinea a causa dei gradienti di velocità verticali.

### 2.2 MASW

Nelle indagini MASW (Multichannel Analysis of SurfaceWaves) vengono studiate le velocità delle onde superficiali di Rayleigh al variare della frequenza, ricavandone un sondaggio delle velocità Vs delle onde di taglio. Infatti le onde di superficie di Rayleigh interessano una porzione di terreno fino a una profondità dell'ordine della metà della loro lunghezza d'onda $\lambda$. Una volta che si è ricavata la frequenza relative a diverse lunghezza d'onda tramite trasformata fk, se ne ricava la velocità ottenendo la cosiddetta curva di dispersione *f*-V. Da questa, tramite inversione, si ricava l'andamento delle Vs con la profondità, ottenendo quindi un sondaggio verticale.

## 3. Strumentazione

Per l'indagine è stato utilizzato un sismometro DMT Summit a 24 canali, dinamica 24 bit, geofoni verticali a 4.5 Hz, mazza di battuta da 8 Kg su piatto in alluminio.

Le caratteristiche del sismometro DMT Summit sono riportate nella tabella seguente.

**Technical Specifications**

| | |
|---|---|
| **Sample Interval** | 1/48, 1/32, 1/16, 1/8, 1/4, 1/2, 1, 2, 4, 8 ms |
| **Record Length** | 0.5 K samples, ..., 120 K samples |
| **Preamp Gain** | 0 dB, 20 dB or 40 dB |
| **A/D Converter** | 24 bit delta sigma technology |
| **Maximum Input Signal** | 2.0 Volt RMS<br>5.6 Volt peak to peak |
| **Input Impedance** | 20 kOhm |
| **Instantaneous Dynamic Range** | > 120 dB @ 2 ms sampling interval |
| **Equivalent Input Noise** | Less than 0.2 µV RMS @ 2 ms sampling interval and 40 dB preamp gain |
| **Crosstalk** | > 112 dB (between channels) |
| **Total Harmonic Distortion** | < 0.0008% |
| **Common Mode Rejection Ratio** | > 100 dB |
| **Gain Accuracy** | Typical 1 % (between all channels) |
| **Time Accuracy** | Typical 5 ppm (between all channels) |
| **Analog Anti-Alias Filter** | 7.2 kHz; 6 dB/octave |
| **Analog Low-Cut Filter** | 1 Hz; 6 dB/octave |
| **Digital Anti-Alias Filter** | 0.8 x Nyquist |
| **Rejection at Nyquist Frequencies** | -120 dB |
| **Passband Ripple** | +/- 0.05 dB |

In particolare, oltre all'ovvio vantaggio di acquisire contemporaneamente 24 canali, l'elevata dinamica dello strumento permette di lavorare senza dover applicare fattori di amplificazione differenti sui diversi canali (maggiori per i canali più distanti). Questo è fondamentale in quanto, oltre alle variazioni nel tempo (periodo o frequenza), nelle tecniche MASW occorre rilevare le variazioni delle onde nello spazio (lunghezza o numero d'onda) tramite analisi di Fourier. Una distorsione delle ampiezze dovuta ad amplificazione non costante determinerebbe un errore nell'individuazione della lunghezza d'onda.

## 4. Parametri di acquisizione e geometrie

La geometria delle quattro stese è illustrata in fig. 2. Tutte le stese sono costituite da 24 geofoni (G01 – G24) in configurazione verticale per tutte le stese ST1-ST4 ed orizzontale per le stese S1, S2, S3) con spaziatura 2 m e 7 punti di energizzazione (S1 - S7).

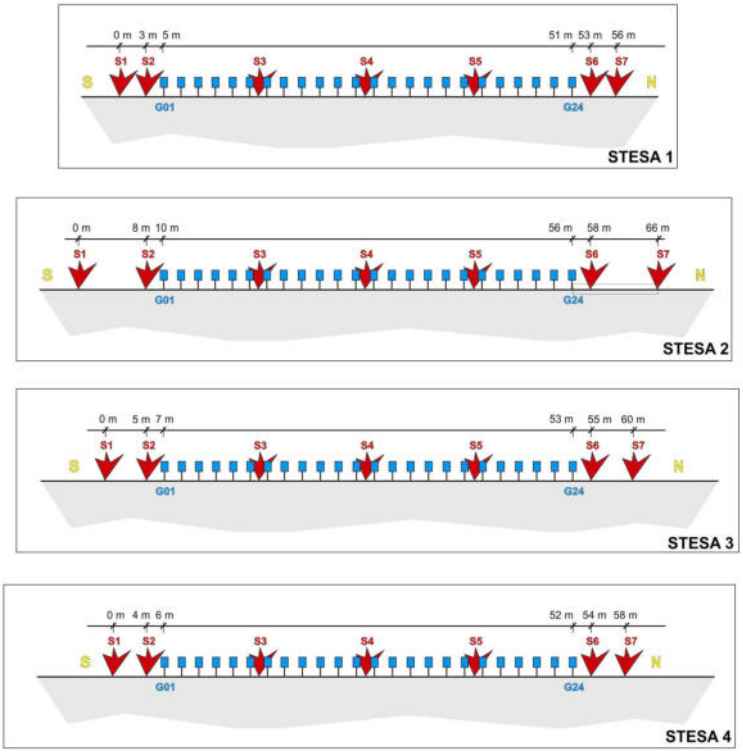



*Fig. 2 - Geometria delle due stese. Si noti il diverso orientamento delle due stese, qui presentate come sono state effettivamente acquisite in campagna.*

Di seguito vengono riassunti i parametri di acquisizione:

Campionamento: 0.125 ms
Numero campioni: 4096
Durata: 512 ms
Canali: 24
Spaziatura geofoni: 2 m
Geofoni verticali: stese ST1, ST2, ST3, ST4
Geofoni orizzontali: stese ST1, ST2, ST3
Lunghezza totale stese: 56 m (ST1), 66 m (ST2), 60 m (ST3), 58 m (ST4)
Energizzazioni tomografia P e S: 7 posizioni (S1-S7 in fig. 2)
Energizzazioni MASW: 4 posizioni (S1, S2, S6, S7 in fig. 2)

Nelle stese ST1, ST2 e ST3 sono state eseguite misure sia con geofoni verticali (per il rilevamentedei primi arrivi delle onde P) sia orizzontali (onde S). Nel caso delle stese ST2 ed ST3, entrambe eseguite direttamente sul manto stradale, la particolare configurazione della piastra di battuta per l'energizzazione S e le necessarie modalità operative corrispondenti non hanno consentito di eseguire l'energizzazione S al di sotto dell'asfalto del manto stradale. In aggiunta all'elevato rumore di fondo dovuto al traffico veicolare e pedonale (in particolare per la stesa S3 localizzata nel pieno centro urbano), questo ha reso estremamente problematico l'individuazione dei primi arrivi S. Di conseguenza, per le stese S2 ed S3, vengono presentati e discussi i soli modelli tomografici basati sulle onde P.

Le caratteristiche delle stese, della strumentazione e il contesto ambientale in cui si è operato sono visibili nelle foto di fig. 3.




*Fig. 3 - Documentazione fotografica.*

## 5. Acquisizione dati

In fig. 4 sono riportati alcuni esempi di sismogrammi acquisiti. La qualità dei sismogrammi ha risentito delle particolari condizioni di acquisizione. In particolare le stese S2 e S3 sono risultate rumorose a causa dell'inevitabile traffico veicolare e pedonale in prossimità della stese stesse.

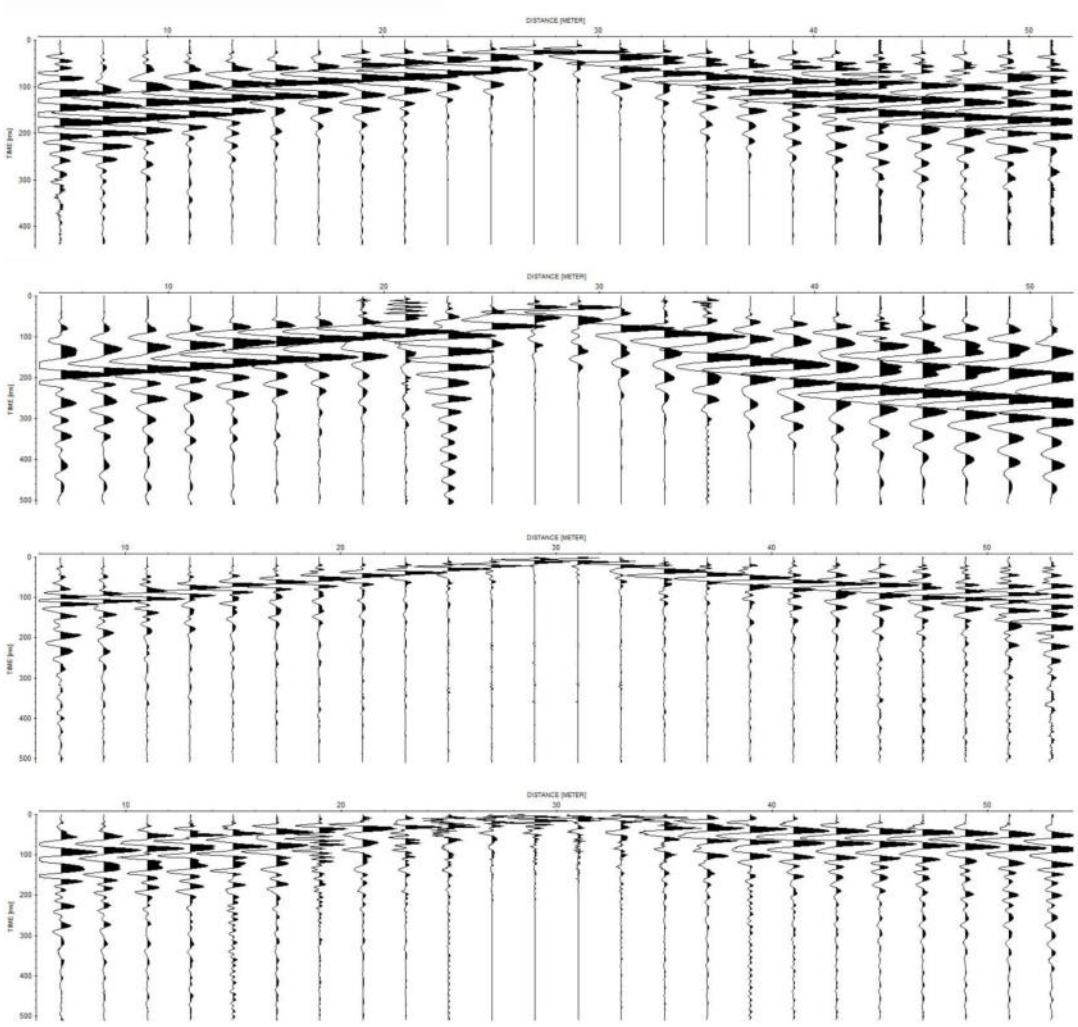


*Fig. 4 - Esempi di sismogrammi. Dall'alto: stesa S1, energizzazione S4, acquisizione P e S; stesa S3, energizzazione S4, acquisizione P e S.*

## 6. Elaborazione dati

Dai sette sismogrammi registrati per ogni stesa si sono ricavati i primi arrivi delle onde P ed S dirette e rifratte, ottenendo le relative dromocrone. I primi arrivi sono stati assegnati ai diversi rifrattori ed elaborati tramite inversione col metodo del fronte d'onda. Si è ottenuta quindi, per ognuna delle stese, una sezione 2D verticale delle velocità Vp ed una Vs che sono state usate come modello iniziale dell'inversione tomografica. Si è utilizzato il pacchetto software ReflexW 4.2 della Sandmeier Software. Il sottosuolo è stato discretizzato tramite una maglia discreta con spaziatura 0.25 m o 0.5 m. Le dromocrone misurate sono poi state confrontate con quelle calcolate relative al modello proposto.

Per l'elaborazione MASW, ai sismogrammi è stata stata applicata la trasformata *f-v*, che consiste sostanzialmente nella trasformata di Fourier bidimensionale del sismogramma (trasformata *f-k*) da cui si ricava la velocità considerando che $\lambda=1/k$ e $v=\lambda*f$ . In ordinata è rappresentata la frequenza *f* del segnale (Hz), in ascissa la velocità (m/s). Il treno d'onda corrispondente ad una certa coppia *f-v*, essendo più energetico del rumore di fondo, sarà caratterizzato da elevata ampiezza dello spettro (in blu). Le coppie *f , v* che corrispondono alle onde superficiali di diversa velocità vengono quindi individuate in corrispondenza dei massimi dello spettro. Da queste coppie (punti dello spettro) si ottiene la curva di dispersione. Dall'inversione della curva di dispersione si ottiene il modello delle velocità Vs al variare della profondità.

## 7. Stesa ST1

Le dromocrone relative ai primi arrivi P ed S sono presentate in Fig. 5.

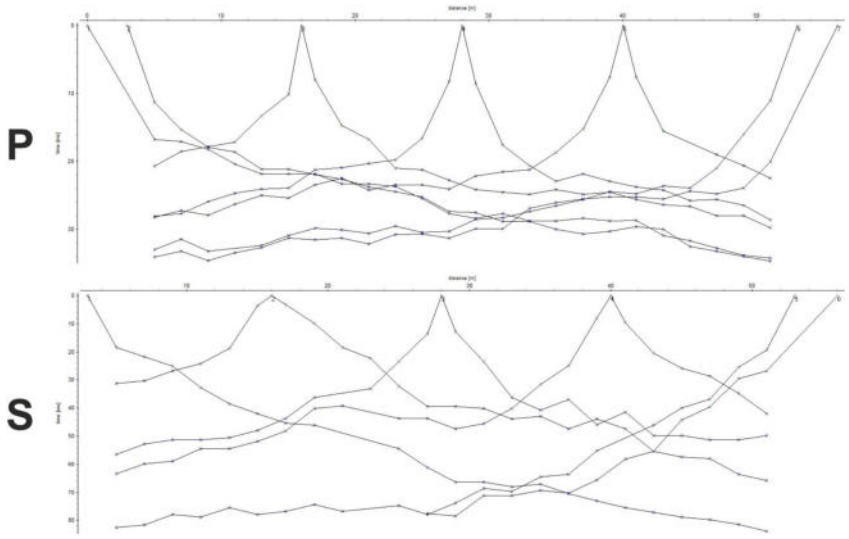



*Fig. 5 – Dromocrone stesa ST1; in alto primi arrivi P, in basso S*

Seguendo la procedura descritta al precedente paragrafo 6, si sono ottenuti i due seguenti modelli (Fig. 6) tomografici di velocità onde P ed S.

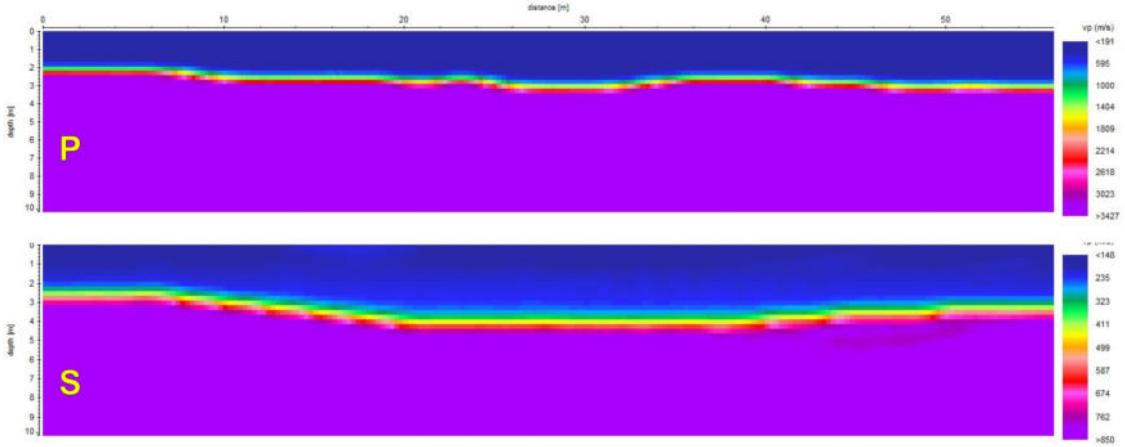



*Fig. 6 – Modelli tompografici onde P (in alto) ed S (in basso).*

Entrambi i modelli evidenziano una coltre superficiale con basse velocità tipiche di coltri non costipate. A profondità variabili lungo il profilo comprese tra 2 e 4 m si ha un

passaggio ad un sismostrato caratterizzato da velocità P dell'ordine di 3500 m/s e velocità S dell'ordine di 850 m/s tipiche di un substrato roccioso.

Il confronto tra le dromocrone misurate e quelle calcolate è presentato nella seguente figura 7.

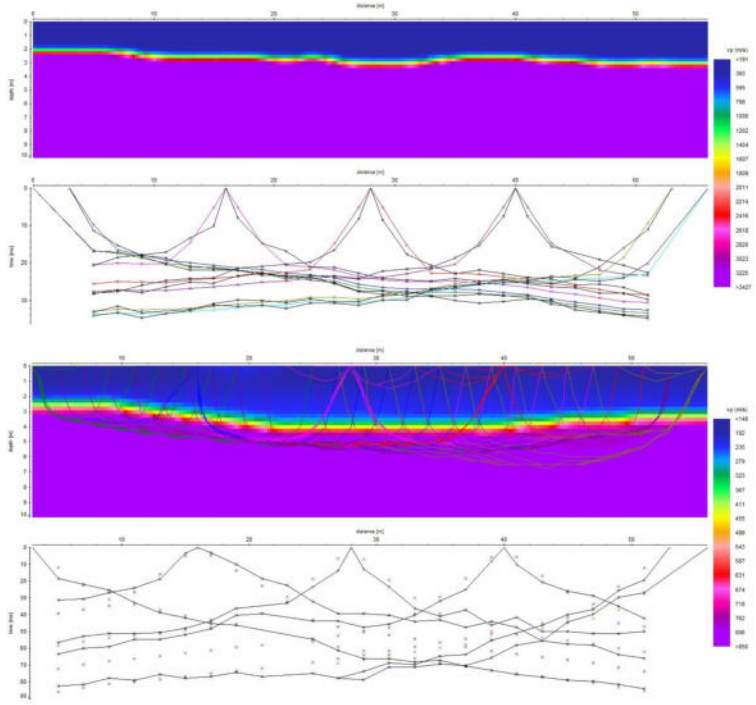


*Fig. 7 – Percorso dei raggi e confronto tra dromocrone misurate (in nero) e calcolate (in diversi colori). Onde P in alto, S in basso)*

In figura 8 è presentato il modello MASW ottenuto dall'analisi delle onde di superficie. Il modello ottenuto conferma le risultanze ottenute dall'indagine a rifrazione

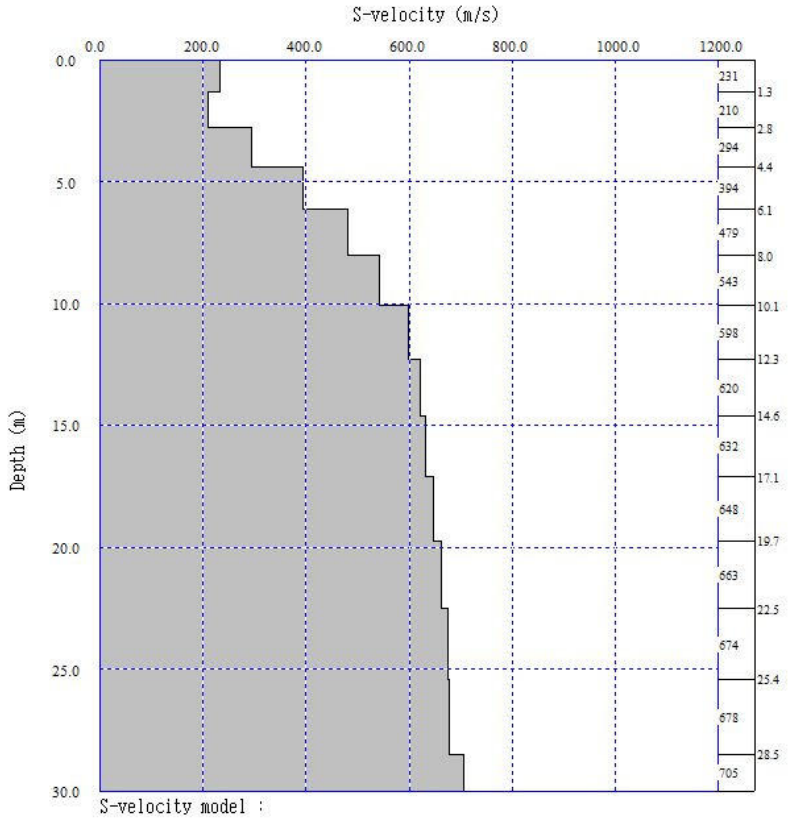



*Fig. 8 – Modello MASW relativo alla stesa ST1*

## 8. Stesa ST2

Le dromocrone relative ai primi arrivi P sono presentate in Fig. 9.

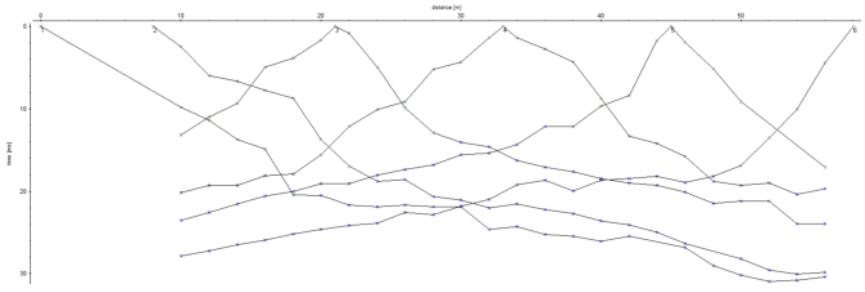


*Fig. 9 – Dromocrone stesa ST2, onde P*

Il corrispondente modello tomografico è presentato in figura 10.

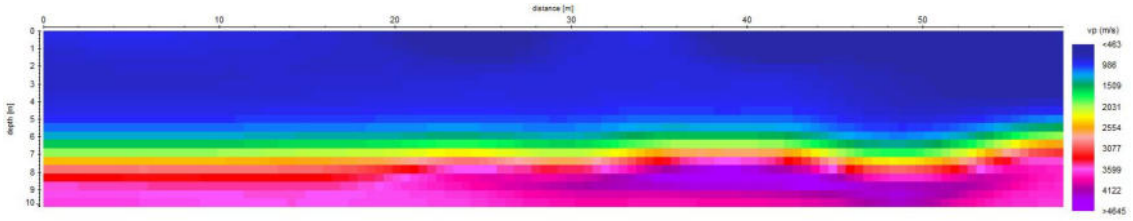



*Fig. 10 – Modello tomografico stesa ST2, onde P*

Le velocità della coltre risultano dell'ordine di 500 m/s ed oltre, a causa del compattamento. Il passaggio al sottostante sismostrato avviene a profondità dal piano campagna di circa 6 m, con velocità dell'ordine dei 3500 m/s, associabili al substrato roccioso.

Il confronto tra le dromocrone misurate e quelle calcolate è presentato nella seguente figura 11.

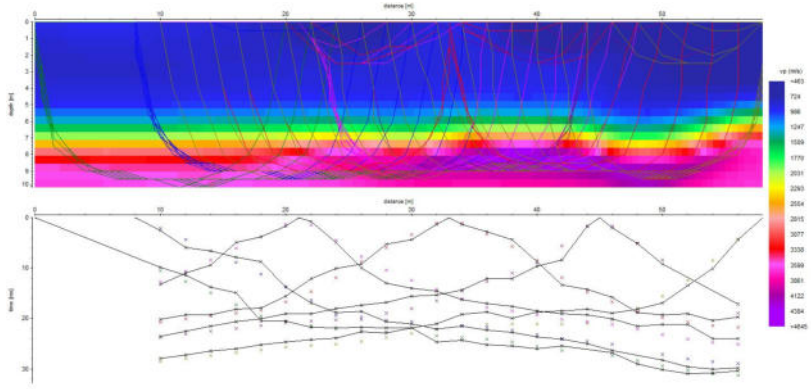


*Fig. 11 – Percorso dei raggi e confronto tra dromocrone misurate (in nero) e calcolate (in diversi colori).*

Il modello MASW relativo alla stratigrafia delle onde S è presentato in Fig. 12. Il passaggio al substrato roccioso risulta graduale senza evidenziare un netto contrasto.

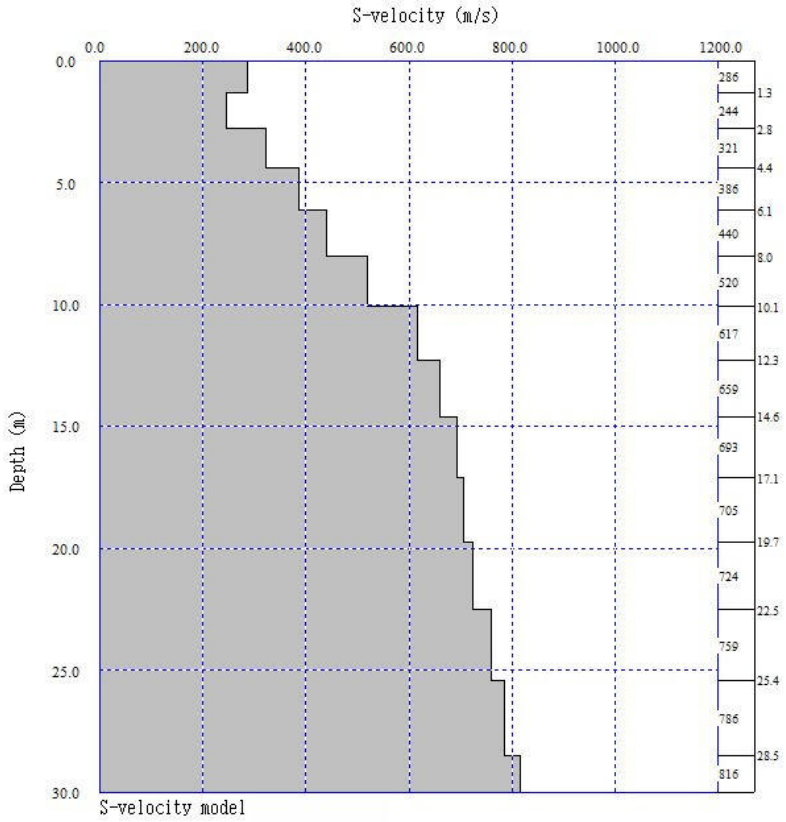



*Fig. 12 – Modello MASW relativo alla stesa ST2*

## 9. Stesa ST3

Le dromocrone relative ai primi arrivi P sono presentate in Fig. 13.

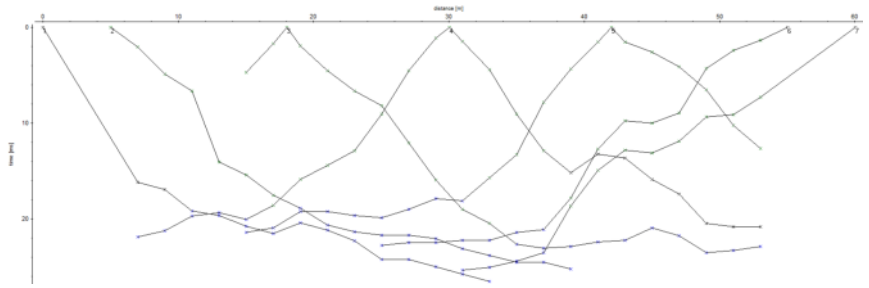


*Fig. 13 – Dromocrone stesa ST3, onde P*

Il corrispondente modello tomografico è presentato in figura 14. Il modello è stato ottenuto tenendo conto delle risultanze del sondaggio meccanico effettuato a circa 10 m a valle dell'inizio del profilo sismico.

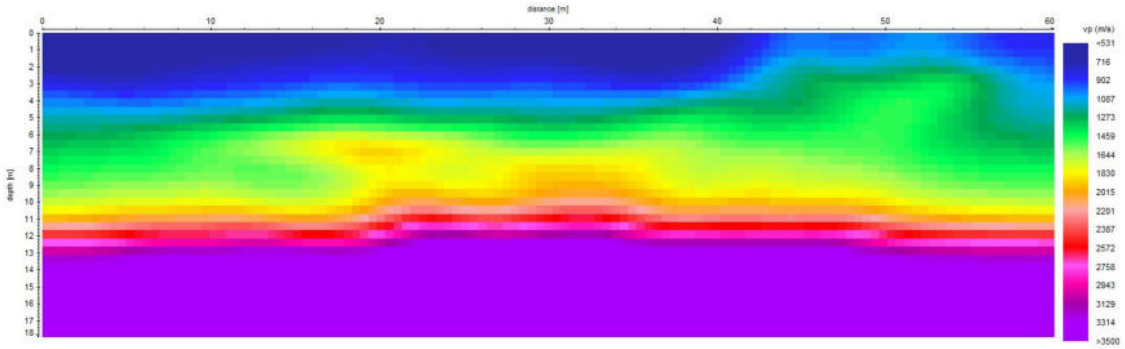


Fig. 14 – Modello tomografico stesa ST3, onde P

Le velocità della coltre risultano dell'ordine di 500 m/s ed aumentano gradualmente sino alla profondità di circa 6 m. A questa profondità si evidenzia un primo rifrattore (si veda il percorso dei raggi sismici in Fig. 15) che indica la presenza di un sismostrato con velocità dell'ordine di 1600 m/s. A circa 12 m si individua un ulteriore rifrattore con velocità dell'ordine 3500 m/s, identificabile con il passaggio al substrato roccioso.

Il confronto tra le dromocrone misurate e quelle calcolate è presentato nella seguente figura 15.

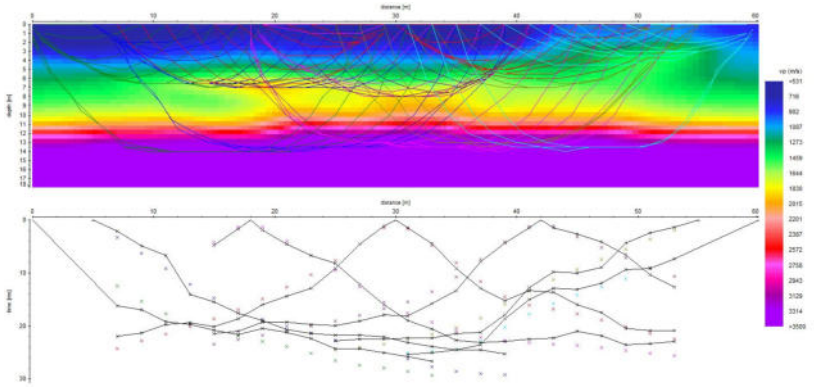


*Fig. 15 – Percorso dei raggi e confronto tra dromocrone misurate (in nero) e calcolate (in diversi colori).*

Il modello MASW relativo alla stratigrafia delle onde S è presentato in Fig. 16. Il passaggio al substrato roccioso risulta graduale senza evidenziare un netto contrasto, con velocità in graduale aumento dai 5 ai 12 m di profondità.

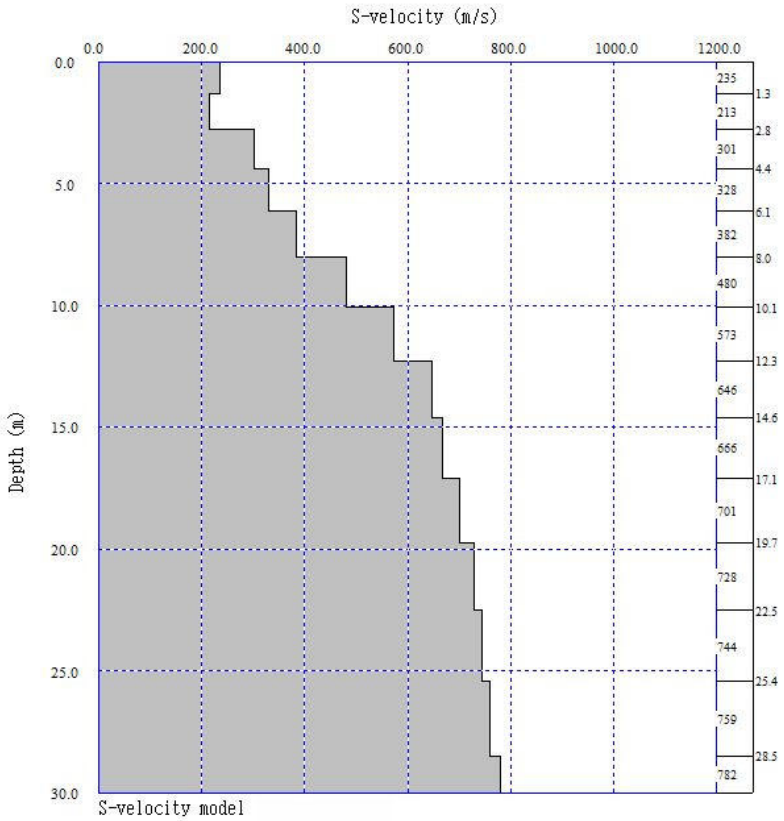



Fig. 16 – Modello MASW relativo alla stesa ST3

## 10. Stesa ST4

Le dromocrone relative ai primi arrivi della stesa ST4 P sono presentate in Fig. 17.

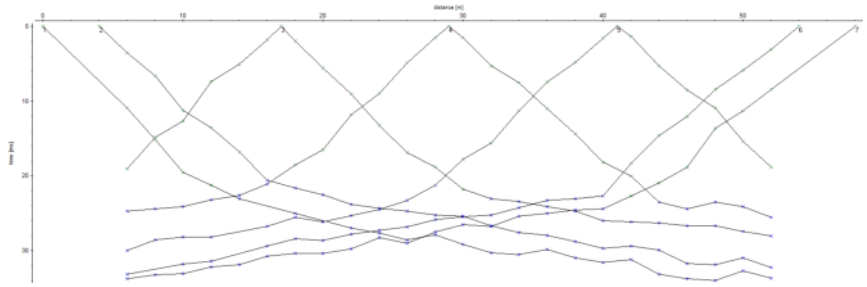


*Fig. 17 – Dromocrone stesa ST4, onde P*

Il corrispondente modello tomografico è presentato in figura 18.

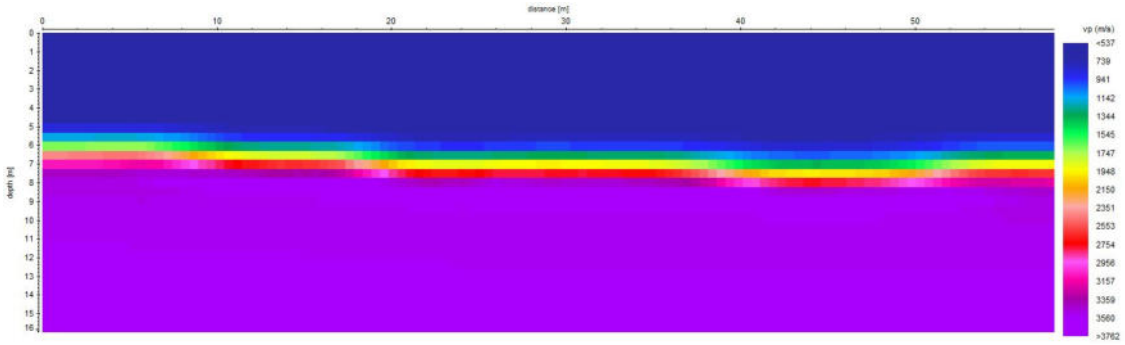


*Fig. 18 – Modello tomografico stesa ST4, onde P*

Le velocità P della coltre risultano dell'ordine di 500 m/s o di poco superiori. A profondità comprese tra 6 e 7 m è presente un rifrattore caratterizzato da un netto aumento delle velocità che passano a valori dell'ordine di 3500 m/s, associabili al substrato roccioso.

Il confronto tra le dromocrone misurate e quelle calcolate è presentato nella seguente figura 19.

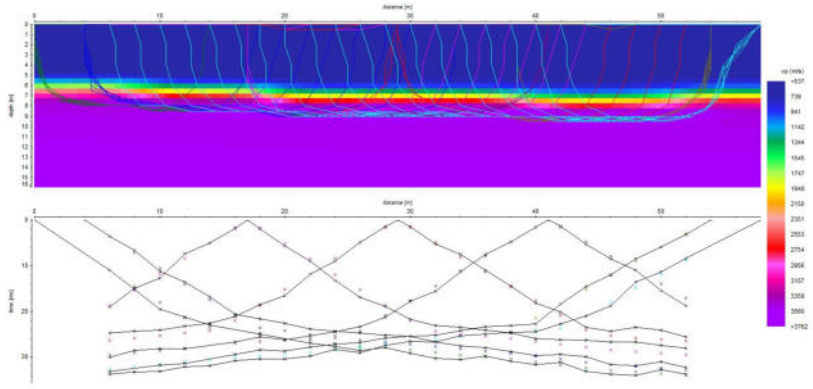


*Fig. 19 – Percorso dei raggi e confronto tra dromocrone misurate (in nero) e calcolate (in diversi colori).*

Il modello MASW relativo alla stratigrafia delle onde S è presentato in Fig. 20. Il passaggio al substrato roccioso risulta graduale senza evidenziare un netto contrasto, con velocità in graduale aumento dai 6 ai 12 m di profondità.

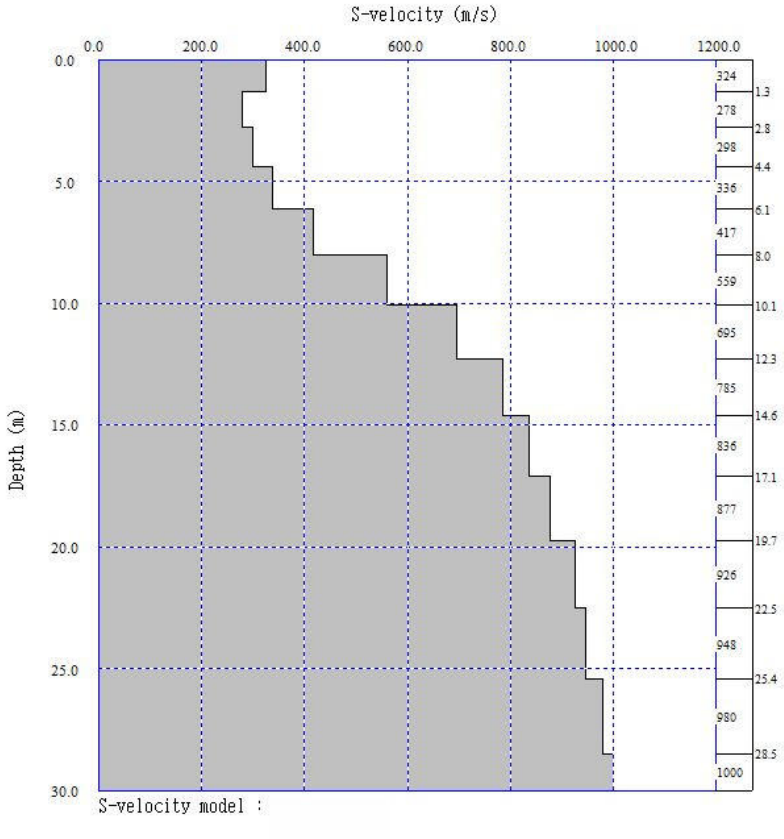



*Fig. 20 – Modello MASW relativo alla stesa ST4*

## 11. Determinazione del parametro $V_{S,30}$

In base ai valori Vs presentati nei modelli discussi ai paragrafi precedenti, è possibile stimare il parametro Vs30 definito come la velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m del sottosuolo, a partire dal piano di posa delle fondazioni, secondo la seguente relazione:

$$V_{S,30} = \frac{30}{\sum_i \frac{h_i}{V_i}}$$

essendo:

$h_i$ spessore strato *i*-esimo

$V_i$ velocità strato *i*-esimo

Dai dati riportati nei grafici di fig. , a partire dal piano campagna, si ottiene un valore di Vs30 pari a:

Stesa ST1: Vs30 = 492 m/s

Stesa ST2: Vs30 = 533 m/s

Stesa ST3: Vs30 = 492 m/s

Stesa ST4: Vs30 = 589 m/s

I risultati risultano tra loro comparabili.

**9. Conclusioni**

L'indagine sismica tomografica con onde P ed S e l'indagine MASW hanno permesso di ottenere l'andamento della velocità Vp e Vs rispetto alla profondità come riportato nei rispettivi modelli delle quattro stese.

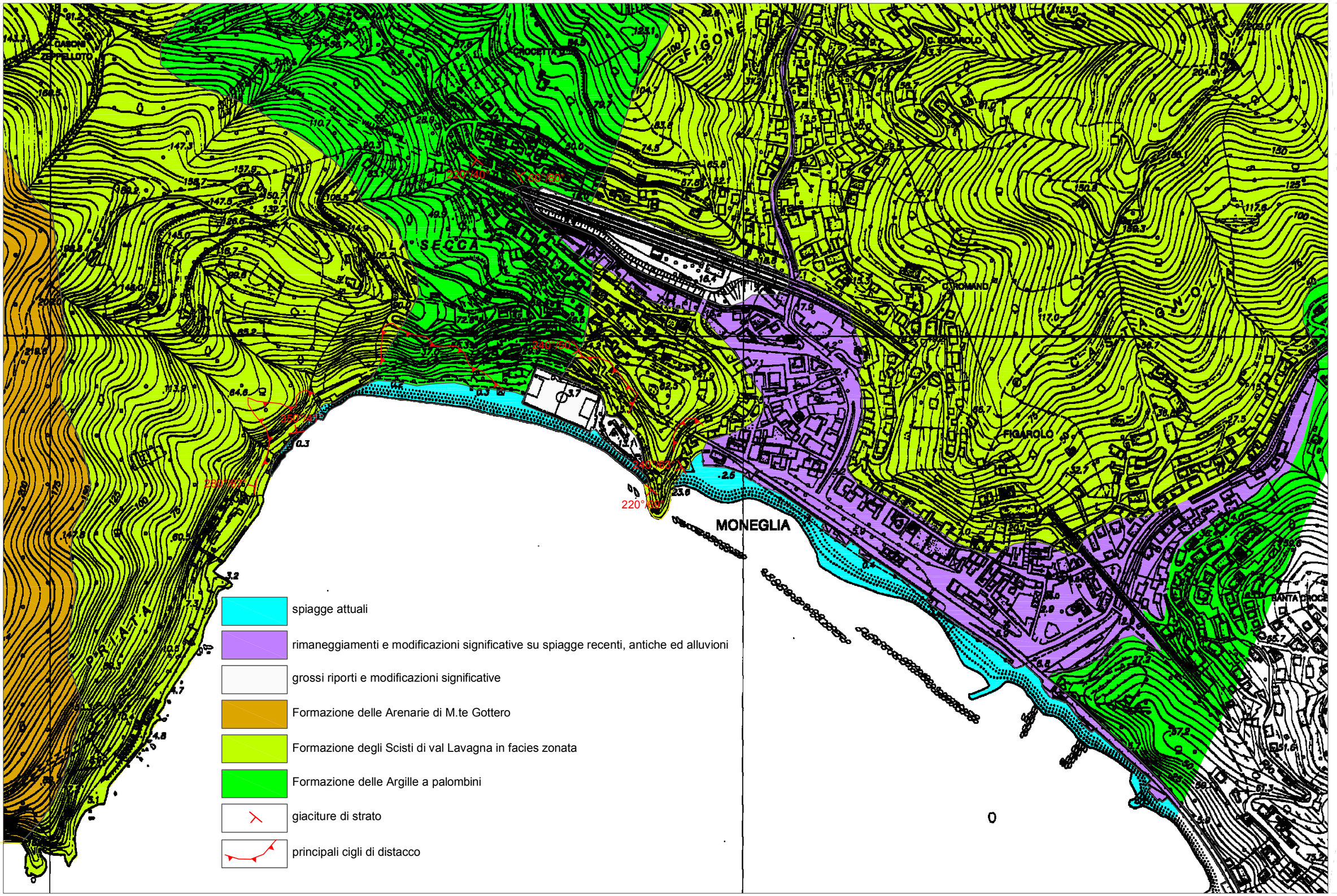
Lo spessore della coltre, messo in evidenza in particolare dalla tomografia P, è risultato compreso tra 2 e 13 m, con velocità Vp dell'ordine di 300 – 600 m/s. Il substrato roccioso presenta velocità Vp dell'ordine di 3500 m/s.

Il parametro $V_{S,30}$ , calcolato a partire dal piano campagna tramite metodologia MASW, è risultato compreso nei quattro siti tra 492 m/s e 589 m/s:

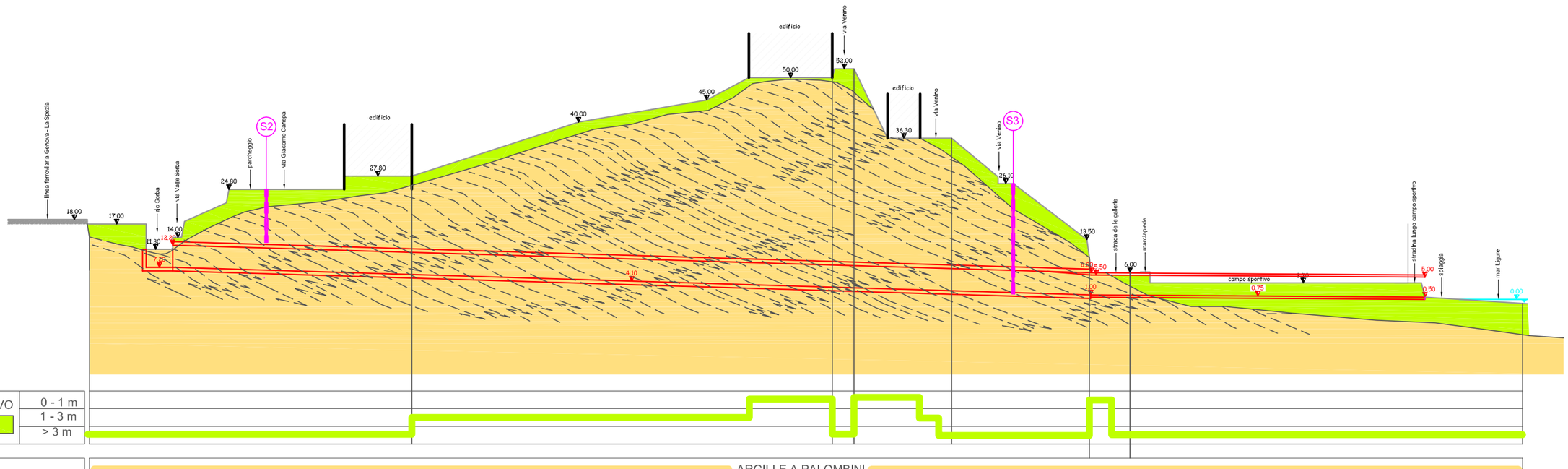
Genova, 12 marzo 2016

dott. Geol. Franco Montaldo

TAV. 6: CARTA GEOLOGICA - GEOMORFOLOGICA DI DETTAGLIO 1:5.000

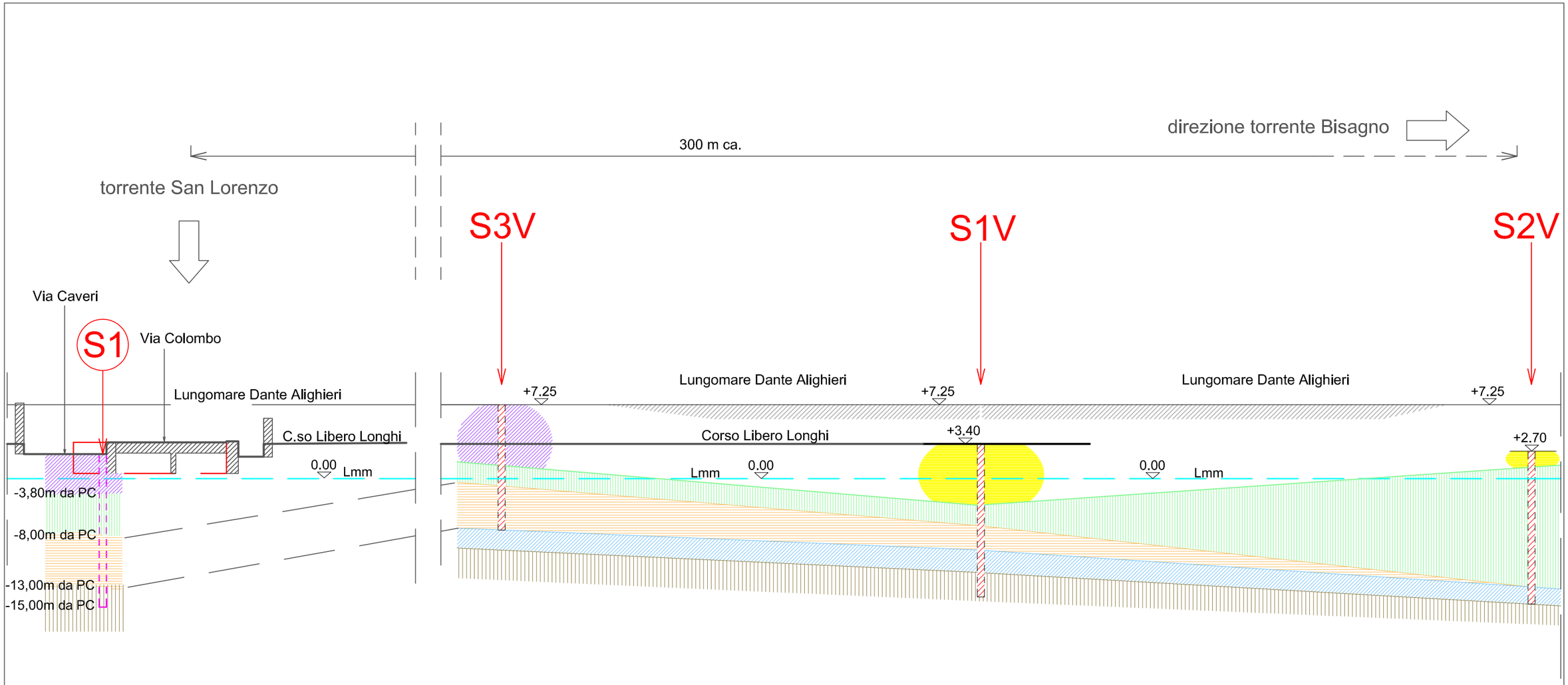


# TAV. 7: PROFILO LONGITUDINALE GEOLOGICO - GEOMECCANICO DEL TRACCIATO - SCALA 1:1000




| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| SPESSORE INDICATIVO COPERTURE | 0 - 1 m<br>1 - 3 m<br>> 3 m | | | |
| LITOLOGIA | | ARGILLE A PALOMBINI | | |
| STAZIONI DI RILEVAMENTO | | B | A1-A2 | |
| RMRb (Bieniawski, 1989) | | 30 - 52<br>IV - III | 35 - 55<br>IV - III | 34 - 55<br>IV - III |
| CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE | $\gamma$ (kN/mc) | 25-26 | 25-26 | |
| | C (kPa) | 175 - 285 | 175 - 275 | 170 - 275 |
| | $\phi$ (°) | 22,5 - 33,5 | 22,5 - 32,5 | 22,0 - 32,5 |
| | $E_{st}$ (GPa) | 4 - 14 | 4 - 10 | 3 - 10 |

# TAV. 8a: SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA 22 - SCALA 1:400




Materiali di riporto (rilevato ex FF.SS.)

Depositi marini (sabbia e rara ghiaia, più abbondante verso il basso)

Sedimenti alluvionali frammisti a coltre eluvio-colluviale, granulometria medio-grossolana

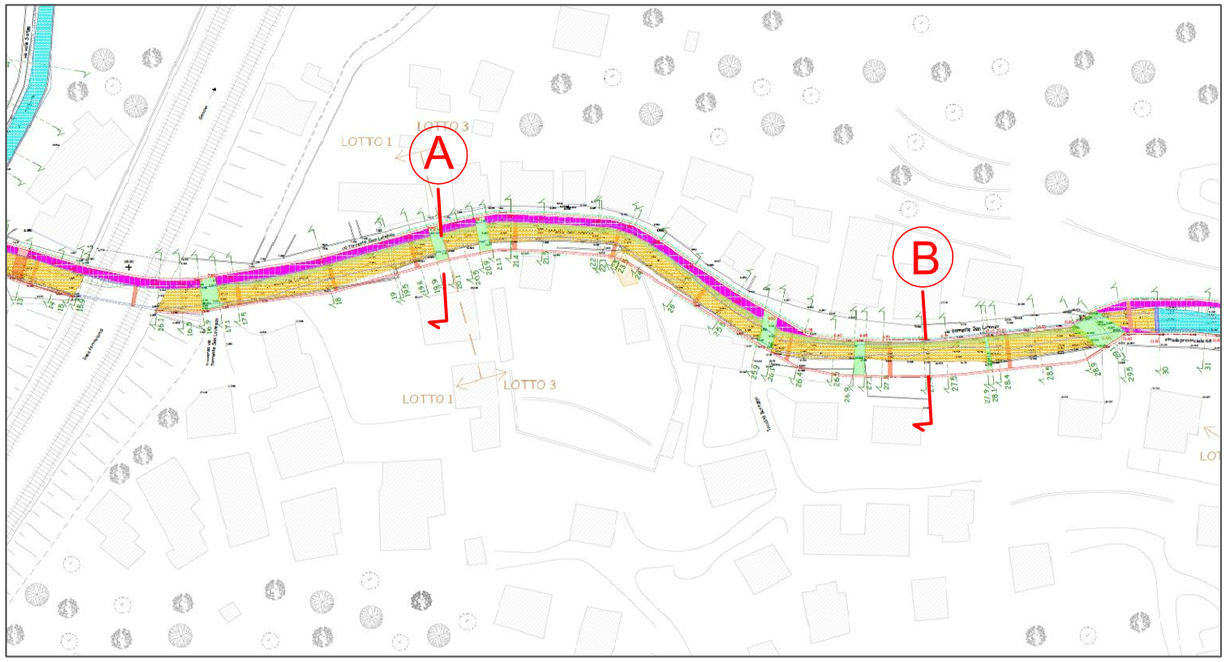
Eluvio con relitti di struttura

Cappellaccio di alterazione del substrato

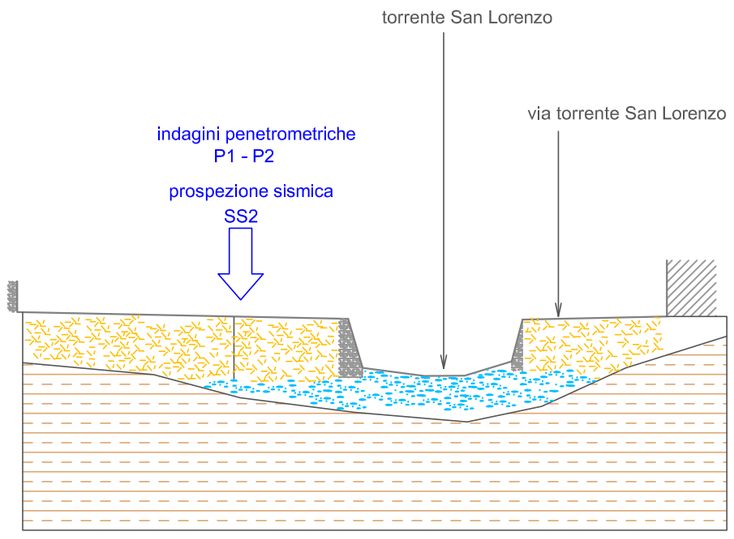
Substrato roccioso

# TAV. 8b: SEZIONI GEOLOGICHE INTERPRETATIVE - SCALA 1:200

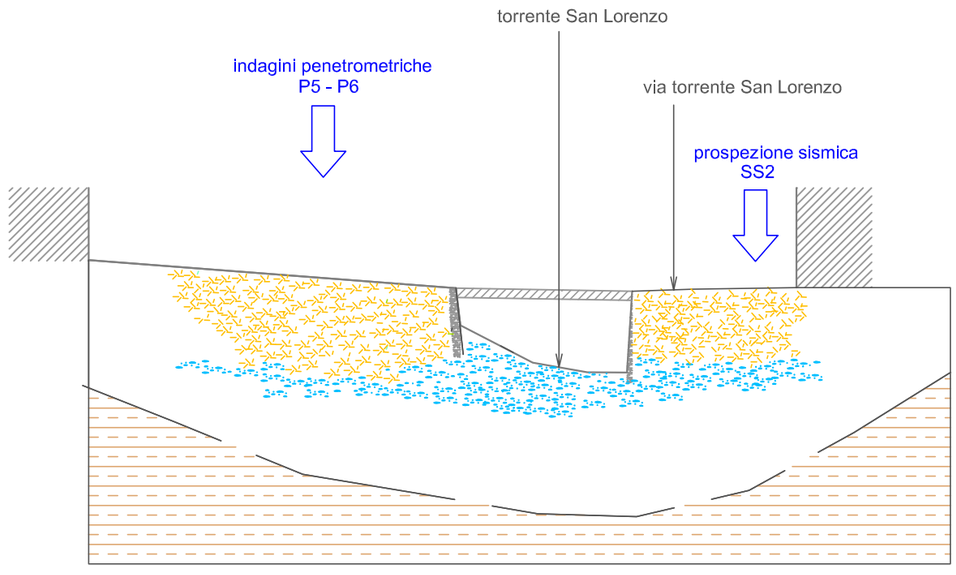
UBICAZIONE SEZIONI GEOLOGICHE SU PLANIMETRIA DI PROGETTO (FUORI SCALA)




## SEZ. A




## SEZ. B



# TAV.8: DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

## ***SONDAGGIO S1***



*postazione S1*



*prospezione S1: pc /-5m*



*prospezione S1: -5m/-10m da pc*



*prospezione S1: -10m/-15m da pc*

## ***SONDAGGIO S2***



*postazione S2*



*prospezione S2: pc /-5m*



*prospezione S2: -5m/-10m da pc*



*prospezione S2: -10m/-12m da pc*

## ***SONDAGGIO S3***



*postazione S3*



*prospezione S3: pc /-5m*



*prospezione S3: -5m/-10m da pc*



*prospezione S3: -10m/-15m da pc*



*prospezione S3: -15m/-20m da pc*



*prospezione S3: -20m/-25m da pc*