

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01

TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI PROGETTO ESECUTIVO

**GALLERIA NATURALE INTERCONNESSIONE III VALICO - VOLTRI
Binario Pari da PK 0+236.278 a PK 2+356.986
Relazione geotecnica**

| | |
|--|----------------------|
| GENERAL CONTRACTOR | DIRETTORE DEI LAVORI |
| Consorzio Cociv Ing. E.Pagani | |

| | | | | | | | |
|----------|-------|------|------|-----------|------------------|--------|------|
| COMMESSA | LOTTO | FASE | ENTE | TIPO DOC. | OPERA/DISCIPLINA | PROGR. | REV. |
| I G 5 1 | 0 4 | E | C V | R B | G N 2 2 D X | 0 0 1 | A |

Progettazione:

| Rev | Descrizione | Redatto | Data | Verificato | Data | Progettista Integratore | Data | IL PROGETTISTA |
|-----|---|--------------|------------|--------------|------------|-------------------------|------------|---|
| A00 | Emissione | Rocksoil | 25/07/2014 | Rocksoil | 28/07/2014 | A. Palomba | 30/07/2014 | Consorzio Collegamenti Integrati Veloci Dott. Ing. Aldo Mancarella Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R |
| A01 | Revisione a seguito RdM IG51-05-E-CV-RM-GN22-D0-002 | Rocksoil | 16/11/2015 | Rocksoil | 23/11/2015 | A. Mancarella | 27/11/2015 | |
| A02 | Modifica lotto costruttivo a seguito 2° A.M. (18.12.2015) - RdM IG5104ECVRMG N22D0001 | Rocksoil | 07/03/2016 | Rocksoil | 09/03/2016 | A. Mancarella | 11/03/2016 | |

| | |
|-----------|---------------------------------------|
| n. Elab.: | File: IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02 |
|-----------|---------------------------------------|

| | |
|---|---|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p> | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> |
| | <p>IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02</p> <p>Foglio 3 di 99</p> |

INDICE

| | |
|--|----|
| INDICE..... | 3 |
| 1 PREMESSA..... | 5 |
| 2 DOCUMENTAZIONE, NORMATIVA E STRUMENTI TERRITORIALI DI RIFERIMENTO | |
| 6 | |
| 2.1 Documentazione di riferimento..... | 6 |
| 2.2 Normative, raccomandazioni e strumenti territoriali di riferimento | 6 |
| 3 INQUADRAMENTO GENERALE..... | 8 |
| 3.1 Inquadramento dell'opera | 8 |
| 3.2 Inquadramento geologico-geomorfologico | 10 |
| 3.3 Inquadramento idrogeologico | 13 |
| 3.3.1 Considerazioni generali..... | 13 |
| 3.4 Sintesi delle criticità geomeccaniche lungo il tracciato..... | 16 |
| 4 INDAGINI GEOGNOSTICHE..... | 19 |
| 5 CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA/GEOMECCANICA | 20 |
| 5.1 Note generali | 20 |
| 5.2 Formazioni rocciose..... | 20 |
| 5.2.1 Generalità | 20 |
| 5.2.2 Valutazione del parametro RMR'89 | 21 |
| 5.2.3 Criteri di rottura..... | 23 |
| 5.2.4 Caratteristiche di deformabilità | 28 |
| 6 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA – GEOMECCANICA DELLE PRINCIPALI FORMAZIONI INTERAGENTI CON L'OPERA | 30 |
| 6.1 Argillite a Palombini (Argilloscisti filladici)..... | 30 |
| 6.1.1 Analisi completa campione risultati indagini pregresse..... | 31 |
| 6.1.2 Analisi campione risultati correlata alle caratteristiche di fratturazione dell'ammasso | 56 |
| 6.1.3 Classificazione GSI dell'ammasso sul campione analizzato | 64 |
| 6.1.4 Caratterizzazione Geo-meccanica degli argilloscisti..... | 68 |
| 6.1.5 Considerazioni sul fenomeno di squeezing..... | 76 |
| 6.2 Metabasalti (B')..... | 84 |
| 6.2.1 Introduzione..... | 84 |
| 6.2.2 Note generali | 84 |
| 6.2.3 Caratterizzazione fisica | 86 |
| 6.2.4 Caratterizzazione meccanica | 87 |
| 6.2.5 Parametri di deformabilità | 89 |
| 6.2.6 Quadro di sintesi caratterizzazione geotecnica..... | 90 |
| 6.3 Calcari di Erzelli (cE) | 91 |
| 6.3.1 Note generali | 91 |
| 6.3.2 Caratterizzazione fisica | 92 |
| 6.3.3 Caratterizzazione meccanica | 92 |
| 6.3.4 Parametri di deformabilità | 93 |
| 6.3.5 Quadro di sintesi caratterizzazione geotecnica..... | 95 |
| 7 BIBLIOGRAFIA..... | 97 |
| 8 ALLEGATI..... | 99 |

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02

Foglio
4 di 99

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02 |
| | Foglio 5 di 99 |

1 PREMESSA

Oggetto della presente relazione è la caratterizzazione geomeccanica/geotecnica delle formazioni attraversate dallo scavo del binario pari della galleria di Interconnessione III Valico-Voltri relativa alla WBS GN22D, facente parte del tracciato della linea ferroviaria del “Terzo Valico dei Giovi”.

Il progetto, nel suo complesso, prevede la realizzazione di una galleria a doppio binario, scavata in naturale, con interasse tra le due canne per gran parte dello sviluppo dell’opera superiore a 100 m.

Lo scavo della WBS in oggetto si sviluppa tra le pk 0+236.278 e 2+356.986, per una lunghezza complessiva di circa 2.1 km, interamente nell’unità tettonometamorfica Figogna , attraversando le Formazioni delle “Argilliti a Palombini del Passo della Bocchetta”, i Metabasalti del Monte Figona e i Metacalcari di Erzelli.

La relazione si articola come segue:

- il **capitolo 2** elenca i documenti, le normative e la bibliografia di riferimento.
- il **capitolo 3** propone un inquadramento generale dell’opera e l’inquadramento geologico e idrogeologico di sintesi riprendendo quanto descritto nella relazione geologica e idrogeologica di progetto; vengono inoltre delineati in maniera organica gli elementi geologici essenziali ai fini della caratterizzazione geomeccanica.
- il **capitolo 4** riporta un riepilogo delle indagini geotecniche disponibili effettuate in più fasi per la progettazione preliminare, definitiva e per l’attuale fase di progettazione esecutiva;
- il **capitolo 5** descrive i criteri di interpretazione delle indagini geotecniche,
- il **capitolo 6** riporta la caratterizzazione geotecnica / geomeccanica degli ammassi rocciosi presenti nell’area di intervento, quali risultano sia dagli studi di carattere geologico (cfr. profilo geologico), sia dall’interpretazione delle indagini e dei rilievi eseguiti, effettuata in base ai criteri descritti nel § 5, definendo infine la sintesi dei parametri geotecnici.

Il documento revisiona, ove necessario, ed integra gli aspetti geotecnici del Progetto Definitivo.

| | |
|---|--|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  |
| | <p>IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 6 di 99</p> |

2 DOCUMENTAZIONE, NORMATIVA E STRUMENTI TERRITORIALI DI RIFERIMENTO

2.1 Documentazione di riferimento

Nella stesura della relazione si è fatto riferimento a quanto elencato di seguito.

- Profilo geologico - geotecnico longitudinale lungo il tracciato di linea e delle finestre
- Profilo geologico in corrispondenza della tratta interessata dall'intervento a progetto
- Studi a carattere geologico, composti dai seguenti elaborati:
 - o Carta geologico-geomorfologica
 - o Carta idrogeologica
 - o Profilo geologico ed idrogeologico
- Indagini geognostiche eseguite durante la fase di Progetto Preliminare della galleria di linea.
- Indagini in situ eseguite durante lo scavo della prima tratta dei cunicoli esplorativi Vallemme e Castagnola
- Elaborazione ed analisi di tutti i rilievi strutturali dei fronti di scavo
- Indagini effettuate durante la fase di Progetto Definitivo.
- Indagini effettuate per la presente fase di Progetto Esecutivo.

2.2 Normative, raccomandazioni e strumenti territoriali di riferimento

Per l'attività di caratterizzazione geotecnica-geomeccanica delle formazioni interagenti con l'opera e, più in generale, per l'analisi di tutti gli aspetti progettuali legati al contesto geologico-geomeccanico, sono state prese a riferimento le seguenti normative di legge e strumenti territoriali di riferimento:

- D.M. 11.03.1988 e s.m.i. "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e le scarpate, i criteri generali, e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"
- Istruzioni relative alle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" - Cir. Dir. Cen. Tecn. n°97/81.
- Circ. LL.PP. 24 settembre 1988 n. 30483 "Norme tecniche per terreni e fondazioni - Istruzioni applicative"

| | | |
|---|--|---------------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  | |
| | <p>IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02</p> | <p>Foglio 7 di 99</p> |

- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003. “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3316. “Modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20.03.03”.
- Variante al P.T.C. Bacini Padani” (VBP) redatto dalla Provincia di Genova.
- Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico PAI - (Autorità di Bacino del Fiume Po).
- "Indagine geologica per verifiche di compatibilità idraulica ed idrogeologica del P.A.I." - Comunità Montana Alta Val Lemme Alto Ovadese
- EN 1997 Eurocodice 7 “Geotechnical Design”
 - Part 1: General rules
 - Part 2: Standards for laboratory testing
 - Part 3: Standards for field testing.
- ASTM D1557 “Test method for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort”.
- CNR UNI 10009 “Costruzione e manutenzione delle strade – Tecnica di impiego delle terre”.

3 INQUADRAMENTO GENERALE

3.1 Inquadramento dell'opera

L'opera in oggetto rientra nella realizzazione della Linea AV/AC Milano- Genova III Valico ed in particolare riguarda il binario pari della galleria di Interconnessione III Valico-Voltri relativa alla WBS GN22D.

La tratta in oggetto si estende per una lunghezza complessiva di circa 2.1 km, dalla pk 0+236.278, in cui la galleria si innesta nel camerone di collegamento con la linea storica, fino alla pk 2+356.986, dove il tracciato si immetterà nella Galleria di Valico tramite il camerone GN14B

Alla pk 0+236.276, in corrispondenza del camerone, il tracciato della galleria si sviluppa in affiancamento della bretella di collegamento Genova-Voltri, con distanza in estradosso dei rivestimenti ravvicinata per circa 150m. La galleria prosegue in affiancamento al binario dispari (WBS GN23C e GN23E), con distanze tra gli assi per larga parte del tracciato superiore ai 200 m, fino ad immettersi alla pk 2+356.986 nel camerone GN14B.

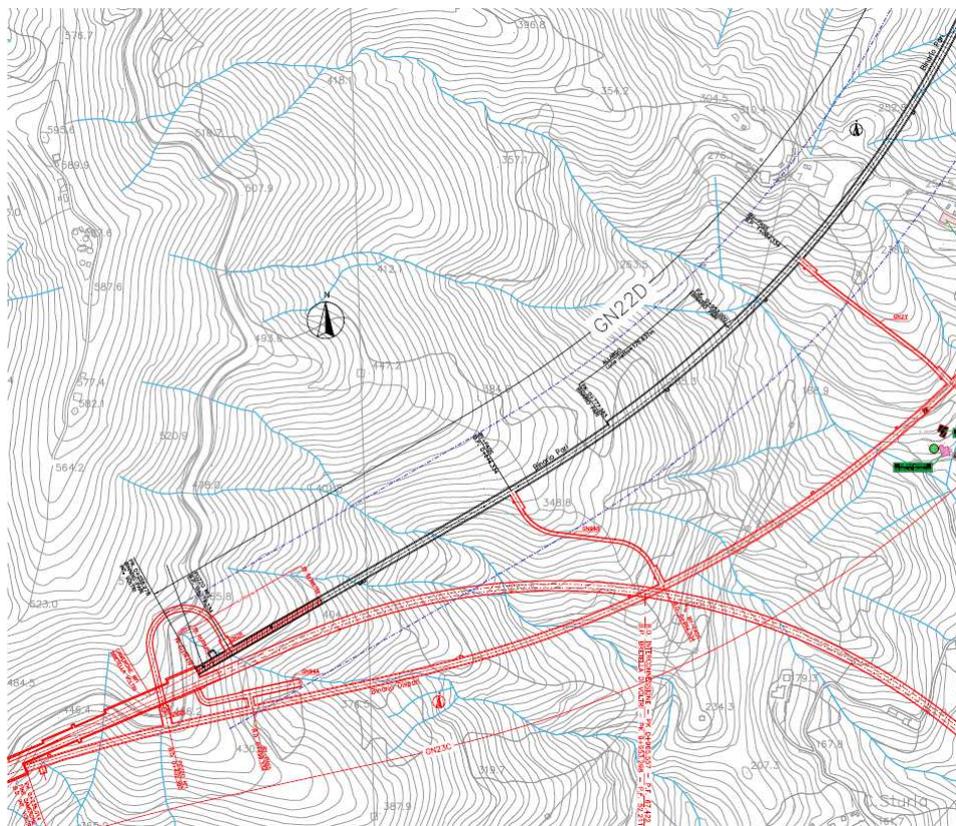


Figura 3-1: Galleria d'Interconnessione WBS GN22D - Planimetria da pk 0+236.278 a pk 1+400 ca.

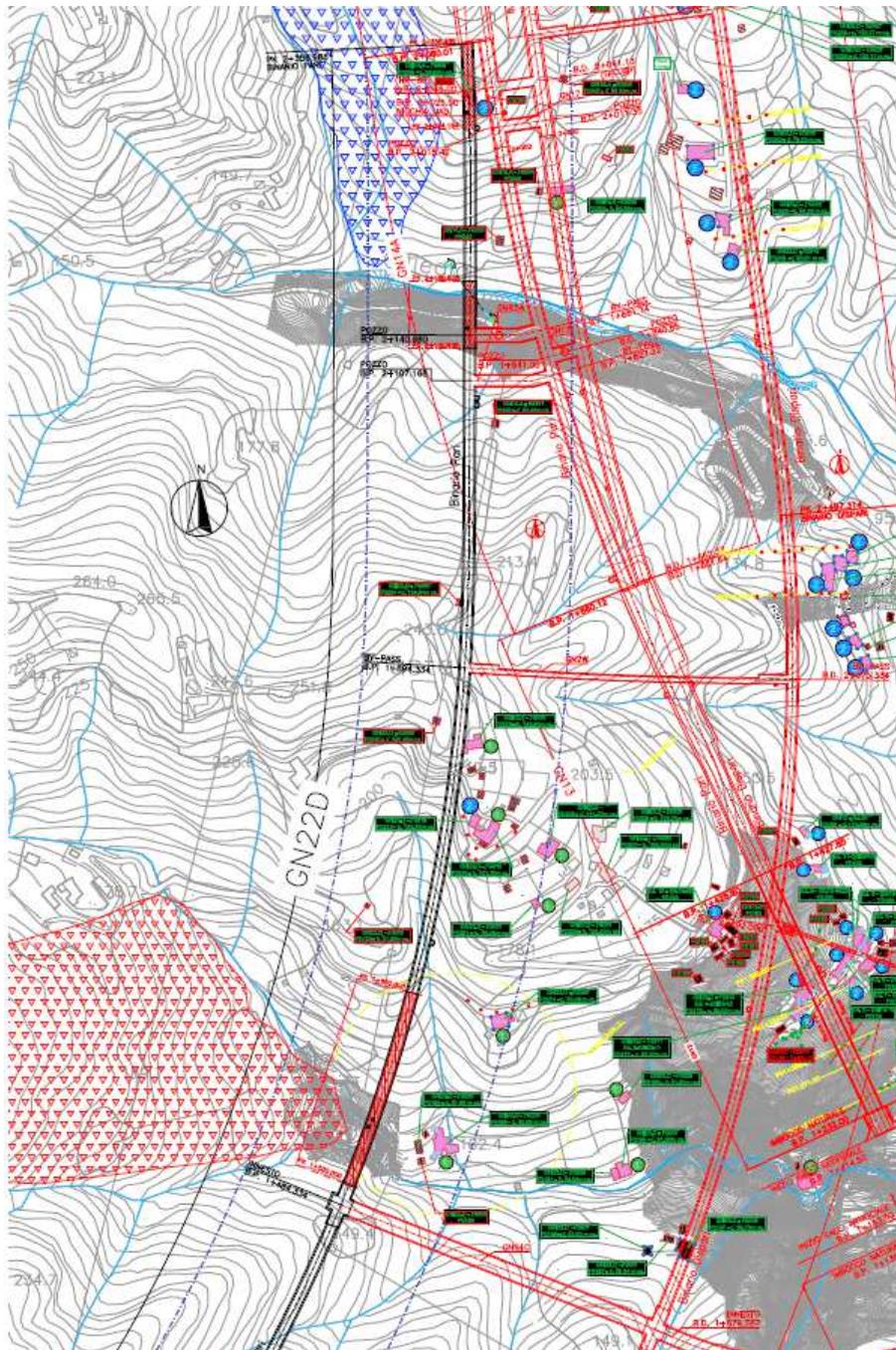


Figura 3-2: Galleria d'Interconnessione WBS GN22D - Planimetria da pk 1+400 ca. fino a pk 2+356.986

Le coperture in chiave calotta lungo il tracciato variano da un massimo di circa 380m ad un minimo di 20m circa.

La sezione corrente adottata per consentire il traffico ferroviario è caratterizzata da un raggio interno in chiave calotta di 3.10m e da una sagoma esterna variabile in funzione della sezione tipo, con area di scavo massima circa pari a 76 m^2 . Lungo il tracciato sono inoltre previste delle tratte in cui la galleria procede in sezione allargata, caratterizzate da un raggio interno in chiave calotta di circa 5.05m e area massima di scavo di circa 118 m^2 .

| | |
|---|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  |
| | IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02 Foglio 10 di 99 |

3.2 Inquadramento geologico-geomorfologico

La galleria di Interconnessione III Valico-Voltri ricade all'interno della zona di giustapposizione tra i domini orogenici alpino e appenninico, nota in letteratura come "nodo collisionale ligure" (Laubscher et al., 1992), ed ubicata nell'areale di affioramento della Zona Sestri-Voltaggio (ZSV).

La Zona Sestri-Voltaggio è in contatto, a est, con le unità tettoniche di basso grado che compongono il dominio dei Flysch Appenninici e, a ovest, con le unità tettonometamorfiche Voltri e Palmaro-Caffarella. Il contatto occidentale è sottolineato da una discontinuità regionale con direzione N-S, nota in bibliografia come *Linea Sestri-Voltaggio*; classicamente ritenuto il limite fisico tra la catena alpina e quella appenninica.

Le formazioni interessate dallo scavo appartengono in particolare all'unità tettonometamorfica ofiolitica Figogna e sono costituite da:

- Metabasalti del Monte Figogna(B');
- Metacalcari di Erzelli (cE);
- Argille a Palombini del Passo della Bocchetta (aP).

Si riporta di seguito una descrizione delle formazioni interessate dallo scavo, prestando attenzione, essenzialmente, agli elementi di natura geologica influenti ai fini del comportamento geo-meccanico dell'ammasso in risposta all'apertura del cavo. La trattazione specifica degli aspetti geologici è pertanto demandata alla Relazione Geologica.

Dalla pk 0+236.278 alla pk 0+910 ca. lo scavo interesserà i Metabasalti del Monte Figogna (B'), costituiti da metabasalti massivi e a pillow, con orizzonti di brecce basaltiche a tessitura fluidale, più raramente in filoni massicci a tessitura doleritica e con locali filoni decimetrico-metrici di metadioriti. I metabasalti si presentano poco deformati; mentre un accenno di scistosità è più evidente dove si osserva lo stiramento dei pillow, che raramente è accentuato.

Dalla pk 0+950 ca. fino alla pk 2+356.986 si prevede l'attraversamento delle Argille a Palombini del Passo della Bocchetta (aP), distinte nella cartografia CARG (Capponi et al., 2009) dal punto di vista litologico in due facies: gli Argilloscisti di Costagiutta (codice CARG: AGI) e gli Argilloscisti di Murta (codice CARG: AGF).

Gli Argilloscisti di Costagiutta (aP/AGI) sono costituiti da alternanze di argilloscisti e di calcari cristallini ("Palombini" auct.), metapeliti scistose grigio-nerastre, più o meno siltose, metasiltiti e metaareniti in strati centimetrici, con intercalazioni di metacalcilutiti siltose più o meno marnose, di colore grigio o grigio-bruno in strati e banchi, più frequenti alla base della successione. I cosiddetti "Palombini" sono rappresentati da calcari cristallini comprendenti calcari micritici silicei, di colore grigio scuro tendente al grigio azzurro, a tessitura massiva, più raramente stratificata, calcari arenacei e meno frequenti calcari marnosi, che formano strati e banchi di potenza variabile da pochi cm a 1.5-2 m.

Gli Argilloscisti di Murta(aP/AGI), a differenza dei precedenti, sono privi dei caratteristici interstrati calcarei. Sono rappresentati da un'alternanza di argilloscisti filladici color grigio scuro e grigio argenteo a patina sericitica, con intercalazioni di sottili straterelli calcarei, di metasiltiti e di

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02 Foglio 12 di 99 |

L'unità AGI prevale nel settore a W del tracciato della galleria, anche se in superficie la zona è caratterizzata dall'affioramento diffuso di argiloscisti privi di orizzonti calcarei. Il contatto tra le unità AGI e AGF non è individuabile con precisione, trattandosi di un passaggio transizionale tra litofacies molto simili.

In affioramento si osservano argiloscisti a tessitura fittamente laminata, con una diffusa alterazione nei primi metri dalla superficie, principalmente per ossidazione, dissoluzione del carbonato e argillificazione parziale delle fasi feldspatiche; il grado di alterazione tende a ridursi significativamente entro i primi 5 metri circa.

Il passaggio tra i Metabasalti del Monte Figogna (B') e le Argille a Palombini del Passo della Bocchetta(aP) avviene tra la pk 0+910 ca. e la pk 0+950 ca., mediante l'attraversamento dei Metacalcari di Erzelli (cE).

Tale formazione risulta costituita da calcari grigi microcristallini a patina d'alterazione bianco-cinerina, finemente arenacei, di spessore fino a pluridecimetrico, con giunti pelitici. Accentuati processi di ricristallizzazione sono evidenziati dalla presenza di strati foliati con livelli di fillosilicati concentrati nell'intervallo pelitico maggiormente marnoso. Gli strati calcarei maggiormente arenacei conservano alla base evidenti laminazioni sedimentarie e mostrano le caratteristiche di originarie torbiditi.

La WBS in esame si sviluppa interamente in galleria, a profondità tale da non interferire in alcun modo con le formazioni superficiali. Si rimanda per ulteriori approfondimenti alle tavole dei profili geomeccanici, di cui si riporta di seguito uno stralcio.

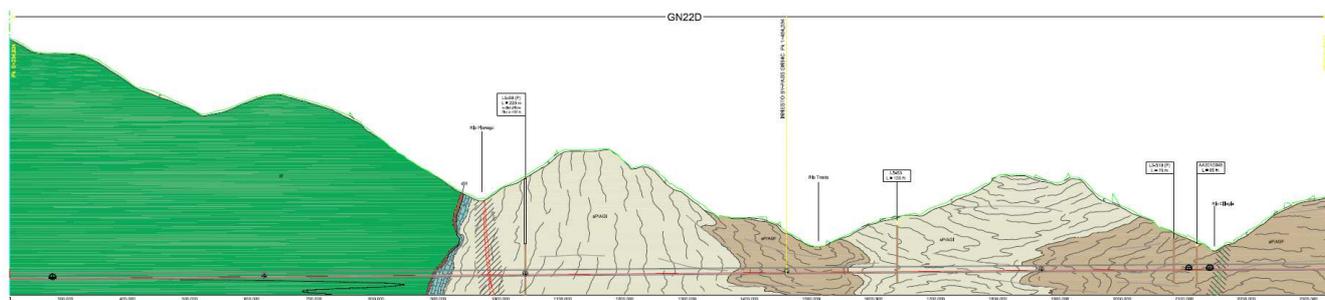


Figura 3-4 – Stralcio del profilo geomeccanico della Galleria di Interconnessione – WBS GN22D

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02 |
| | Foglio 13 di 99 |

3.3 Inquadramento idrogeologico

3.3.1 Considerazioni generali

La zona interessata dallo sviluppo della linea MI-GE è stata suddivisa su base litologica in diversi *complessi idrogeologici* a permeabilità differente, distinguendo lungo l'asse delle gallerie settori con comportamento idrogeologico omogeneo.

Gli argilloscisti della formazione delle Argille a Palombini appartengono al complesso idrogeologico 15, e sono caratterizzati da permeabilità per fratturazione da bassa a molto bassa, non costituendo quindi un acquifero significativo; in assenza di faglie dunque ci si aspetta che lo scavo avvenga in condizioni generalizzate di umidità e solo localmente caratterizzato da stillicidi da deboli a diffusi, in particolare nelle zone con debole copertura, dove gli scisti sono alterati e maggiormente permeabili.

La permeabilità all'interno delle zone di faglia minori non differisce di molto rispetto a quella dell'ammasso in normale stato di fratturazione, poiché la tessitura fortemente scistosa e la dominante componente fillosilicatica degli argilloscisti prevengono lo sviluppo di larghe fasce di fratturazione, accomodando parte della deformazione attraverso scorrimenti intra-scistosità. I piani di faglia principali, associati allo sviluppo di prodotti di frizione a forte componente argillosa (gouge) possono addirittura svolgere un'azione di compartimentazione dell'acquifero, piuttosto che rappresentare canali a maggiore conduttività, data la bassa permeabilità delle rocce di faglia argillose.

I metabasalti del Monte Figogna appartengono al complesso idrogeologico 17, e risultano caratterizzati da un grado di permeabilità per fratturazione maggiore rispetto agli Argilloscisti, tale da far prevedere manifestazioni idriche di maggiore entità. In corrispondenza dell'attraversamento dei Calcari di Erzelli invece, formazione appartenente al complesso idrogeologico 16, stante la possibilità che siano interessati da locali brevi circuiti carsici, si potranno verificare venute d'acqua di entità intermedia tra quelle previste nei basalti e quelle degli argilloscisti.

Si può stimare che il carico idraulico in galleria, in assenza di drenaggio del cavo e riferito alla quota calotta, sia inferiore a 50 m solo in corrispondenza delle tratte a minore copertura, coincidenti con gli assi delle due valli del Rio Trasta (pk 1+490/1+590 ca.) e del Rio Ciliegia (pk 2+100/2+230 ca.). Al di fuori di questa zona il carico idraulico è verosimilmente di poco inferiore alla copertura topografica.

Non sono da escludere venute puntuali lungo possibili discontinuità in collegamento idraulico con gli alvei dei corsi d'acqua che incidono il versante soprastante il tracciato, nelle zone a minor copertura topografica.

Si riportano di seguito cenni sulle permeabilità attese per le formazioni di interesse, rimandando per ulteriori approfondimenti alla relazione idrogeologica.

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02 |
| | Foglio 14 di 99 |

Complesso 15 (aP, dM, d", f, Mn, Se")

La formazione delle Argille a Palombini del Passo della Bocchetta (aP) appartiene al complesso idrogeologico 15. I litotipi di questo complesso idrogeologico fanno parte di unità metamorfiche ove la permeabilità è sostanzialmente legata al grado di fratturazione dell'ammasso roccioso, a sua volta dipendente dalla reologia del tipo di roccia considerato.

I test idraulici disponibili sull'intera area di progetto indicano per l'ammasso roccioso al di fuori delle zone di faglia, conducibilità idrauliche prevalenti variabili tra 1×10^{-7} e 1×10^{-8} m/s, meno frequentemente tendenti 1×10^{-6} m/s.

Localmente si possono riscontrare valori di conducibilità idraulica fino a 1×10^{-10} m/s, riconducibili a situazioni in cui la frazione fillosilicatica, essendo predominante, abbassa ulteriormente i valori di conducibilità dell'ammasso roccioso.

L'ammasso roccioso detensionato nei primi metri al di sotto della superficie (indicativamente da 5 fino a 20m) presenta invece conducibilità molto più elevate, comprese tra 1×10^{-5} e 1×10^{-7} m/s.

Dall'analisi dei sondaggi e dal confronto con i dati di terreno sono state individuate delle zone di faglia ove sono state eseguite delle prove di tipo idraulico e la conducibilità nelle faglie è distribuita in un intervallo tra 10^{-6} e 10^{-7} m/s nelle prove eseguite a profondità più basse (fino a 100 m), mentre l'intervallo si sposta tra 10^{-7} e 10^{-9} m/s man mano che la profondità aumenta. Dalle osservazioni di terreno si può ipotizzare che lungo le faglie di questo complesso le permeabilità maggiori siano relative alle zone di danneggiamento, mentre le zone di nucleo possono presentare un effetto di compartimentazione per lo sviluppo di rocce di faglia a granulometria fine e con componente argillosa generalmente impermeabile.

Complesso 16 (cE, cV, cG, eN, MyI)

La formazione dei Metacalcari di Erzelli (cE) fa parte del complesso idrogeologico 16. I litotipi appartenenti a questo complesso presentano una composizione carbonatica dominante; tuttavia, a vari livelli nelle successioni esistono degli interstrati di varia potenza (da centimetrica a decimetrica), con composizione fillosilicatica prevalente.

La permeabilità è secondaria e supportata dalla fratturazione, poiché la porosità primaria può essere considerata irrilevante ai fini pratici.

Non esistono test idraulici realizzati direttamente all'interno delle formazioni litostratigrafiche che costituiscono il complesso tuttavia, sulla base delle osservazioni di terreno, si può ragionevolmente ipotizzare che esso sia caratterizzato da un grado di permeabilità basso, quando si consideri un ammasso in normale stato di fratturazione, con conducibilità che oscillano tra 10^{-7} e 10^{-8} m/s. Sono però da ritenersi possibili aumenti fino a 10^{-6} m/s e riduzioni fino a 10^{-9} m/s.

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02 |
| | Foglio 15 di 99 |

Complesso 17 (B', B'', mG)

I Metabasalti del Monte Figogna(B') appartengono al complesso idrogeologico 17.

I litotipi di questo complesso idrogeologico presentano generalmente un comportamento reologico fragile tale da determinare una elevata persistenza e spesso anche pervasività delle fratture; ne segue che il grado di permeabilità atteso, anche in condizioni di normale stato di fratturazione (ovverosia fuori dalle zone di faglia), risulta maggiore che negli altri complessi.

I test idraulici disponibili sull'intera area di progetto indicano per l'ammasso roccioso al di fuori delle zone di faglia, conducibilità idrauliche prevalenti variabili tra 1×10^{-6} e 1×10^{-7} m/s. Localmente si sono riscontrate anche conducibilità minori (fino a 1×10^{-8} m/s), che possono essere correlate a un basso stato di fratturazione o a una scarsa apertura delle fratture legata alla elevata copertura topografica.

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02 Foglio 16 di 99 |

3.4 Sintesi delle criticità geomeccaniche lungo il tracciato

Il presente paragrafo sintetizza le criticità geomeccaniche relative allo scavo del binario pari della Galleria Naturale di Interconnessione tra la linea III Valico e la linea di Voltri, nell'intera tratta dalla pk 0+236.278 e la pk 2+356.986 (WBS GN22D), di lunghezza complessiva pari a 2122.100 m.

Fra la pk 0+236.278 (sezione finale del camerone RFI) e la pk 0+910 ca. lo scavo attraversa la formazione dei **Metabasalti del Monte Figogna (B')**, con coperture (H) variabili tra 380 m e 150 m. I Metabasalti del Monte Figogna sono generalmente massicci o privi di foliazione, così da escludere scistosità e anisotropia strutturale, ma presentano un grado di fratturazione medio-alto. I test idraulici disponibili sull'intera area di progetto indicano per l'ammasso una conducibilità idraulica prevalente (k) variabile tra $1 \cdot 10^{-6}$ e $1 \cdot 10^{-7}$ m/s. In regime imperturbato, il carico idraulico (H_w) massimo riferito alla quota calotta della galleria è stimabile pari a 350 m, con andamento funzione della copertura; le letture piezometriche, eseguite in aree limitrofe a quella di interesse, forniscono una soggiacenza della falda da p.c. variabile tra 1 m e 7 m. In regime transitorio gli afflussi idrici in galleria a 1 giorno dallo scavo (Qt_{1g}) sono stimabili in classe 3, ovvero compresi tra 0.4 l/s e 2 l/s per 10m di galleria.

| pk | Formazione | Fratturazione | H (m) | Scistosità/ Anisotropia | k (m/s) | $H_{w,max}$ (m) | Qt_{1g} (l/s/10m) |
|----------------------|------------|---------------|-----------|-------------------------|--|-----------------|---------------------|
| 0+236.278 ÷ 0+910 ca | B' | medio ÷ alta | 390 ÷ 150 | NO | $1 \cdot 10^{-6} \div 1 \cdot 10^{-7}$ | 350 m | 0.4 ÷ 2 |

Fra la pk 0+910 e la pk 0+950 circa, in corrispondenza di coperture prossime ai 150 m, è probabile che lo scavo attraversi un livello a spessore molto variabile, ma pluridecimetrico (30-50 m) di Metacalcari di Erzelli (cE). Al **contatto tra Metabasalti e Metacalcari** è associata la presenza di sottili lembi discontinui di **Metasedimenti silicei** della Madonna della Guardia (dM). I Metabasalti nelle porzioni vicine al contatto geologico è possibile si presentino foliati e associati a metasedimenti silicei, mentre si presentano anisotropie strutturali nei Metacalcari dovute alla presenza della marcata stratificazione, costituita da bancate calcaree, con interstati pelitico-marnosi. Gli afflussi idrici in fase di scavo sono stimati tra 0.16 e 0.4 l/s per 10 m di galleria, dovuti in particolare al possibile sviluppo all'interno dei calcari di reticoli o condotti carsici compartimentati con aperture di entità centimetrico-decimetrica.

| pk | Formazione | Fratturazione | H (m) | Scistosità/ Anisotropia | k (m/s) | $H_{w,max}$ (m) | Qt_{1g} (l/s/10m) |
|------------------|-------------------------------|---------------|-------|-------------------------|--|-----------------|---------------------|
| 0+910 ÷ 0+950 ca | cE (+B'+dM) Contatto Geol. | Medio | 150 | SI' | $1 \cdot 10^{-6} \div 1 \cdot 10^{-7}$ | 150 m | 0.16 ÷ 0.4 |

Il tratto di scavo successivo alla pk 0+950 ca. attraversa la formazione delle **Argilliti a Palombini del Passo della Bocchetta (aP)**, con coperture variabili tra 200 m ca. e valori minimi dell'ordine dei 30 m in corrispondenza della pk 1+530 (sottoattraversamento del Rio Trasta) e 20 m alla pk 2+170 (sottoattraversamento del Rio Ciliegia). Tra le pk 1+000 e 1+050 ca. è previsto l'attraversamento di una zona di faglia principale, direttamente riscontrata; un'altra faglia presunta è stata posizionata

| | |
|---|--|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  |
| | <p>IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 17 di 99</p> |

sulla base delle indicazioni della cartografia CARG all'altezza della pk 2+200 circa. Diverse faglie minori (strutture discordanti e/o piani di taglio), potranno invece essere incontrate in più punti lungo lo scavo senza che queste modifichino significativamente le caratteristiche dell'ammasso rispetto alle zone fuori faglia.

L'ammasso è caratterizzato da notevole omogenità litologica che da una forte anisotropia strutturale, dovuta alla presenza di una fitta foliazione e a frequenti variazioni di giacitura riscontrabili a tutte le scale. Al di fuori delle zone di faglia l'ammasso è quindi sostanzialmente omogeneo alla scala dell'intero sviluppo dell'opera, ma strutturalmente eterogeneo alla scala del fronte di scavo.

I rilievi geologici e geomorfologici di dettaglio realizzati in corrispondenza dell'intersezione con la valle del Rio Trasta ed in corrispondenza dell'intersezione con la valle del Rio Ciliegia hanno permesso di indagare la situazione geologico-strutturale nei punti a minor copertura. Lungo il Rio trasta il punto a minor copertura ha circa 30 m di roccia tra calotta del tunnel e l'alveo, con spessore delle alluvioni trascurabile, e solo in alcuni tratti ridotto a meno di un metro. Sono inoltre assenti faglie di rilievo, per cui la qualità geomeccanica dell'ammasso roccioso e la relativa permeabilità dovrebbero mantenersi sui valori tipici degli argilloscisti.

Lungo il Rio Ciliegia la copertura topografica è di circa 20m, con l'alveo che incide direttamente il substrato prequaternario costituito dagli argilloscisti. L'ammasso roccioso esposto lungo alveo risulta in buone condizioni dal punto di vista geomeccanico, poco fratturato e non rilasciato. Per maggiori dettagli si rimanda alle carte e sezioni geologiche presenti nell'elaborato IG51-05-E-CV-GZ-GN22-D0-001-A00.

In prossimità del tratto da pk 1+500 a pk 1+650 lo scavo sotto-ataversa, con con coperture variabili tra 30m ed 80m, un tratto soggetto ad una frana per crollo e ribaltamento.

Le argilliti hanno permeabilità per fratturazione da bassa a molto bassa e non costituiscono quindi un acquifero significativo. In base ai dati idrogeologici raccolti durante lo scavo delle Finestre Castagnola e Val Lemme, le tratte scavate in argilloscisti hanno attraversato un ammasso sostanzialmente impermeabile. Nella galleria in esame si attendono quindi, in assenza di faglie, condizioni generalizzate di umidità e solo localmente stillicidi da deboli a diffusi, in particolare nelle zone a bassa copertura, dove la roccia è alterata e l'ammasso maggiormente permeabile. Durante il sottoattraversamento del Rio Ciliegia e del Rio Trasta, i corsi d'acqua potrebbero alimentare la falda nell'ammasso fratturato, tuttavia la bassa permeabilità degli argilloscisti e l'assenza di zone di faglia fanno ritenere che la presenza di acqua lungo lo scavo sia molto limitata.

La permeabilità all'interno delle zone di faglia minori non differisce di molto rispetto a quella dell'ammasso in normale stato di fratturazione in ragione delle caratteristiche mineralogiche e tessiture delle argilliti. I piani di faglia principali, associati allo sviluppo di prodotti di frizione a forte componente argillosa possono addirittura svolgere un'azione di compartimentazione dell'acquifero, piuttosto che rappresentare canali a maggiore conduttività, data la bassa permeabilità delle rocce di faglia argillose. Le fasce idraulicamente più trasmissive, legate alle faglie, sono quindi limitate a uno spessore di pochi metri di roccia intensamente fratturata, ai lati dei piani di taglio principali. Gli afflussi idrici in fase di scavo fuori faglia sono di ridotta entità e compresi tra 0 e 0,16 l/s per 10m di

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02 Foglio 18 di 99 |

galleria; in corrispondenza della zona tettonizzata si prevede invece un locale aumento di tali afflussi, ricadenti in classe 3 ($0.4 \div 2$ l/s per 10m di galleria).

In determinate situazioni geo-meccaniche e di copertura, la formazione degli Argilloscisti risulta potenzialmente suscettibile al fenomeno dello squeezing, anche con manifestazioni localmente molto importanti e pertanto non trascurabili. Tale problematica viene discussa e analizzata in dettaglio al §6.1.5.

| pk | Formazione | Fratturazione | H (m) | Scistosità/ Anisotropia | k (m/s) | H _{w,max} (m) | Qt _{1g} (l/s/10m) |
|------------------------------|------------|---------------|--------|-------------------------|---|------------------------|----------------------------|
| 0+950 ca. ÷ 2+356.986 ca. | aP | Medio | 20÷150 | SI' | $1 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-8}$ | 150 | 0.0 ÷ 0.16 |
| | | | | | faglia $1 \cdot 10^{-6} \div 1 \cdot 10^{-7}$ | | faglia: 0.4 ÷ 2 |

Per eventuali criticità relative all'interferenza con le sorgenti presenti nelle aree circostanti lo scavo, si rimanda alle relazioni specifiche.

| | | |
|---|--|----------------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  | |
| | <p>IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02</p> | <p>Foglio 19 di 99</p> |

4 INDAGINI GEOGNOSTICHE

In allegato viene riportato l'elenco completo dei sondaggi utilizzati ai fini della caratterizzazione geomeccanica delle formazioni intercettate lungo il tracciato ferroviario della WBS in esame. Allo scopo di ottenere un set di dati significativo, la campagna di indagini direttamente ricadenti nell'area in esame è stata integrata attraverso i sondaggi ricadenti in aree limitrofe ed afferenti alle medesime formazioni.

Per i dettagli delle singole stratigrafie, si rimanda alla relazione geologica e ai documenti disponibili, prodotti dalle ditte incaricate dell'esecuzione delle indagini.

| | |
|---|--|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  |
| | <p>IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 20 di 99</p> |

5 CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA/GEOMECCANICA

5.1 Note generali

A livello generale, dal punto di vista dei criteri di caratterizzazione geotecnica relativi alla linea di Valico, si distinguono tre tipologie di materiale:

- materiali a grana medio-fine
- materiali a grana fine
- rocce metamorfiche

L'individuazione del tipo di materiale, e quindi la scelta del metodo di interpretazione, è fatta principalmente sulla base:

- della descrizione stratigrafica dei sondaggi;
- delle prove di laboratorio sui campioni di terreno e sulle carote di roccia.

Nei paragrafi che seguono sono pertanto illustrati solamente i criteri adottati per la caratterizzazione dei materiali inerenti allo scavo dell'opera in esame. :

5.2 Formazioni rocciose

5.2.1 Generalità

La caratterizzazione geotecnica delle formazioni rocciose verrà fatta con riferimento alla classificazione dell'ammasso roccioso proposta da Bieniawski (1989), allo schema concettuale di mezzo continuo (omogeneo o stratificato) e ai criteri di rottura proposti e aggiornati da Hoek & Brown a partire dal 1980.

In particolare:

- 1 Il parametro **RMR** "Rock Mass Rating" sarà stimato sulla base di quanto descritto nel **paragrafo 5.2.2**; il parametro **GSI** (Geological Strength Index) verrà valutato con la seguente espressione (vedi Sjöberg, 1997):

$$GSI = RMR_{'89} - 5$$

- 2 L'involuppo delle resistenze dell'ammasso roccioso in condizioni "undisturbed" o "disturbed" verrà valutato sulla base di quanto riportato in Brown & Hoek (1988), Hoek & Brown (1988), Hoek, Kaiser & Bawden (1995), Hoek et al (2002) (vedi il **paragrafo 5.2.3**).

3 Le caratteristiche di deformabilità dell'ammasso roccioso verranno stimate sulla base di quanto riportato nel paragrafo 5.2.4.

5.2.2 Valutazione del parametro RMR'89

Per ogni litotipo il parametro RMR'89 viene stimato in accordo a quanto proposto in Bieniawski (1989), ovvero come somma dei seguenti 8 indici (I1→I8):

- Resistenza alla compressione semplice della roccia intatta (I1)

| | |
|---|----|
| Resistenza alla compressione semplice σ_c (MPa) | I1 |
| > 250 | 15 |
| 100÷250 | 12 |
| 50÷100 | 7 |
| 25÷50 | 4 |
| 5÷25 | 2 |
| 1÷5 | 1 |
| < 1 | 0 |

- Qualità della roccia RQD (I2)

| | |
|---------|----|
| RQD (%) | I2 |
| 90÷100 | 20 |
| 75÷90 | 17 |
| 50÷75 | 13 |
| 25÷50 | 8 |
| < 25 | 3 |

- Spaziatura delle discontinuità (I3)

| | |
|---------------|----|
| S | I3 |
| > 2 m | 20 |
| 0.6 m÷2 m | 15 |
| 200 mm÷600 mm | 10 |
| 60 mm÷200 mm | 8 |
| < 60 mm | 4 |

- Lunghezza delle discontinuità (I4)

| | |
|-----------|----|
| L | I4 |
| < 1 m | 6 |
| 1 m÷3 m | 4 |
| 3 m÷10 m | 2 |
| 10 m÷20 m | 1 |
| > 20 m | 0 |

- Apertura delle discontinuità (I5)

| | |
|-------------|----|
| H | I5 |
| 0 mm | 6 |
| > 0.1 mm | 5 |
| 0.1 mm÷1 mm | 4 |
| 1 mm÷5 mm | 1 |
| > 5 mm | 0 |

- Condizioni delle superfici di discontinuità in termini di scabrezza (I6)

| | |
|--------------|----|
| Descrizione | I6 |
| Molto rugose | 6 |
| Rugose | 5 |
| Poco rugose | 3 |
| Ondulate | 1 |
| Lisce | 0 |

- Caratteristiche del riempimento delle discontinuità (I7)

| | |
|------------------------|----|
| Descrizione – spessore | I7 |
| Assente | 6 |
| Compatto – < 5 mm | 4 |
| Compatto – > 5 mm | 2 |
| Tenero – < 5 mm | 2 |
| Tenero – > 5 mm | 0 |

- Condizioni delle superfici di discontinuità in termini di alterazione (I8)

| | |
|----------------|----|
| Descrizione | I8 |
| Non alterate | 6 |
| Poco alterate | 4 |
| Alterate | 2 |
| Molto alterate | 2 |
| Decomposte | 0 |

Tendenzialmente nella valutazione di RMR'89:

- Non si terrà conto dell'indice che descrive qualitativamente l'orientamento più o meno favorevole delle discontinuità (incluse quelle dovute alla stratificazione) rispetto alle opere da realizzare; ove rilevante/possibile tale aspetto verrà messo in conto nella definizione del modello geometrico da utilizzare nelle analisi di progetto.
- L'indice legato alla presenza dell'acqua verrà assunto pari a quello associabili a condizioni "dry". Gli effetti della presenza dell'acqua verranno messi in conto nella definizione del modello geotecnico da utilizzare nelle analisi di progetto.

5.2.3 Criteri di rottura

In accordo a quanto riportato in Brown & Hoek (1988), Hoek & Brown (1988) e Hoek, Kaiser & Bawden (1995) (vedi anche Sjöberg, 1997), Hoek et al. (2002) l'ammasso roccioso verrà descritto per ogni litotipo dal seguente criterio di rottura:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_c \cdot \left(m_b \cdot \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + s \right)^\alpha$$

essendo:

$$m_b = m_i \cdot e^{\frac{GSI-100}{28-14D}}$$

$$s = e^{\frac{GSI-100}{9-3D}}$$

D = 0 per "undisturbed rock masses"

D = 0.3 per "disturbed rock masses" – situazione associata alla condizione residua dell'ammasso.

$$\alpha = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \cdot \left(e^{\frac{-GSI}{15}} - e^{\frac{-20}{3}} \right)$$

| | |
|---|--|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  |
| | <p>IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 24 di 99</p> |

$GSI = RMR'89 - 5$

RMR'89 = vedi il paragrafo 5.2.2

m_i = coefficiente relativo alla roccia intatta

σ_1' = tensione principale efficace maggiore

σ_3' = tensione principale efficace minore

σ_c = resistenza alla compressione semplice della roccia intatta.

Nell'applicazione del criterio di rottura sopra riportato valgono le seguenti precisazioni:

1. In generale, per ogni litotipo il coefficiente m_i verrà valutato sulla base dei risultati di prove triassiali su provini di roccia intatta e di un criterio di rottura analogo a quello dell'ammasso roccioso, con $GSI = 100$. In mancanza di dati sperimentali si farà riferimento a quanto riportato ad una serie di valori di letteratura come riferimento (tabella **8.4**).
2. L'applicazione di criteri di rottura analoghi per la roccia intatta e per l'ammasso roccioso, ove l'unica differenza è rappresentata dai valori di GSI , implica che, per $m_i = 10$, il rapporto tra la resistenza a trazione e la resistenza a compressione semplice della roccia intatta, è pari a $\cong 1/m_i$.
3. In presenza di ammassi rocciosi caratterizzati da marcata eterogeneità, ovvero da alternanza di strati competenti e di strati con caratteristiche geotecniche più scadenti, il valore di GSI valutato sulla base di RMR'_{89} verrà messo a confronto anche con quello stimabile sulla base della carta proposta da Hoek et al. (1998) e da Marinou & Hoek (2000) per formazioni flyshoidi (prospetto **8.5**) Alla resistenza alla compressione semplice σ_c ed al coefficiente m_i della roccia intatta verranno inoltre assegnati valori "pesati" in base a quanto riportato nella **tab.8.6**.
4. In accordo a Sjöberg (1997), ai termini "undisturbed" e "disturbed" verrà attribuito un significato legato anche alle modalità di utilizzo dei parametri di resistenza nelle analisi ingegneristiche; in particolare:
 - Il criterio di rottura relativo alle "undisturbed rock masses" rappresenta la resistenza di picco dell'ammasso roccioso quando esso si trova in condizioni di pre-rottura.
 - Il criterio di rottura relativo alle "disturbed rock masses" rappresenta la resistenza media disponibile lungo superfici di scivolamento critiche in condizioni di incipiente rottura;

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02 Foglio 25 di 99 |

ricorrendo a terminologie proprie della meccanica dei terreni tale resistenza può essere denominata “softened”.

Sotto tali presupposti, nei casi rappresentati da situazioni non caratterizzate da dissesti pregressi o in atto, si opererà come segue:

- In analisi di stabilità o di interazione terreno-struttura eseguite con metodi ove non è possibile riprodurre il comportamento “strain softening” si farà riferimento ai parametri dell’ammasso relativi alle condizioni “disturbed”;
- In analisi di stabilità o di interazione terreno-struttura condotte con metodi in grado di riprodurre la caduta di resistenza tra condizioni di picco e condizioni “softened” verranno presi come riferimento sia il criterio di rottura relativo alle condizioni “undisturbed” che quello relativo alle condizioni “disturbed”. Verranno inoltre ipotizzate diverse leggi di degrado dei parametri di resistenza, fra cui quella che contempla una repentina caduta di resistenza dalle condizioni di picco a quelle “softened”.

5. I criteri di rottura espressi in termini di tensioni efficaci principali σ_1' e σ_3' possono essere trasformati in termini di tensioni di taglio τ e di tensioni efficaci normali alla superficie di rottura σ_n' . A tale proposito valgono le seguenti equazioni:

$$\frac{\delta\sigma_1'}{\delta\sigma_3'} = 1 + a \cdot m_b \cdot \left(\frac{m_b \cdot \sigma_3'}{\sigma_c} + s \right)^{a-1}$$

$$\sigma_n' = \frac{\sigma_1' + \sigma_3'}{2} - \frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{2} \cdot \frac{\frac{\delta\sigma_1'}{\delta\sigma_3'} - 1}{\frac{\delta\sigma_1'}{\delta\sigma_3'} + 1}$$

$$\tau = (\sigma_1' - \sigma_3') \cdot \frac{\sqrt{\frac{\delta\sigma_1'}{\delta\sigma_3'}}}{\frac{\delta\sigma_1'}{\delta\sigma_3'} + 1}$$

6. L’involuppo di rottura in termini di tensioni di taglio τ e di tensioni efficaci normali alla superficie di rottura σ_n' verrà interrotto per valori di σ_n' negativi (trazione) inferiori a 0 kPa; in corrispondenza di valori di σ_n' negativi (trazione) le resistenze al taglio saranno assunte pari a 0 kPa (“tension cut off”).

| Rock type | Class | Group | Texture | | | |
|-------------|-------------------|-------------|---|---|--|---------------------------------------|
| | | | Coarse | Medium | Fine | Very fine |
| SEDIMENTARY | Clastic | | Conglomerates* (21 ± 3) | Sandstones 17 ± 4 | Siltstones 7 ± 2 | Claystones 4 ± 2 |
| | | | Breccias (19 ± 5) | | Greywackes (18 ± 3) | Shales (6 ± 2) Marls (7 ± 2) |
| | Non-Clastic | Carbonates | Crystalline Limestone (12 ± 3) | Sparitic Limestones (10 ± 2) | Micritic Limestones (9 ± 2) | Dolomites (9 ± 3) |
| | | Evaporites | | Gypsum 8 ± 2 | Anhydrite 12 ± 2 | |
| | Organic | | | | Chalk 7 ± 2 | |
| METAMORPHIC | Non Foliated | | Marble 9 ± 3 | Hornfels (19 ± 4) Metasandstone (19 ± 3) | Quartzites 20 ± 3 | |
| | Slightly foliated | | Migmatite (29 ± 3) | Amphibolites 26 ± 6 | | |
| | Foliated** | | Gneiss 28 ± 5 | Schists 12 ± 3 | Phyllites (7 ± 3) | Slates 7 ± 4 |
| IGNEOUS | Plutonic | Light | Granite 32 ± 3 Granodiorite (29 ± 3) | Diorite 25 ± 5 | | |
| | | Dark | Gabbro 27 ± 3 Norite 20 ± 5 | Dolerite (16 ± 5) | | |
| | Hypabyssal | | Porphyries (20 ± 5) | | Diabase (15 ± 5) | Peridotite (25 ± 5) |
| | Volcanic | Lava | | Rhyolite (25 ± 5) Andesite 25 ± 5 | Dacite (25 ± 3) Basalt (25 ± 5) | Obsidian (19 ± 3) |
| | | Pyroclastic | Agglomerate (19 ± 3) | Breccia (19 ± 5) | Tuff (13 ± 5) | |

* Conglomerates and breccias may present a wide range of m_i values depending on the nature of the cementing material and the degree of cementation, so they may range from values similar to sandstone to values used for fine grained sediments.

** These values are for intact rock specimens tested normal to bedding or foliation. The value of m_i will be significantly different if failure occurs along a weakness plane.

Tabella 5-1. Valori di riferimento della costante m_i della roccia intatta in base al tipo di roccia (i valori indicati tra parentesi sono stimati) (Hoek, Kaiser e Bawden, 1995)

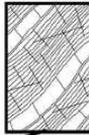
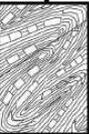
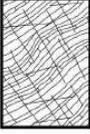
| GSI FOR HETEROGENEOUS ROCK MASSES SUCH AS FLYSCH (Marinos.P and Hoek. E, 2000) | | SURFACE CONDITIONS OF DISCONTINUITIES (Predominantly bedding planes) | | SURFACE CONDITIONS OF DISCONTINUITIES (Predominantly bedding planes) | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|--|---|--|---|---|---|--|---|--|---|--|---|-----------------------------------|---|-----------------------------------|--|--|
| <p>From a description of the lithology, structure and surface conditions (particularly of the bedding planes), choose a box in the chart. Locate the position in the box that corresponds to the condition of the discontinuities and estimate the average value of GSI from the contours. Do not attempt to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than giving GSI = 35. Note that the Hoek-Brown criterion does not apply to structurally controlled failures. Where unfavourably oriented continuous weak planar discontinuities are present, these will dominate the behaviour of the rock mass. The strength of some rock masses is reduced by the presence of groundwater and this can be allowed for by a slight shift to the right in the columns for fair, poor and very poor conditions. Water pressure does not change the value of GSI and it is dealt with by using effective stress analysis.</p> <p>COMPOSITION AND STRUCTURE</p> | | VERY GOOD - Very rough, fresh unweathered surfaces | GOOD - Rough, slightly weathered surfaces | FAIR - Smooth, moderately weathered and altered surfaces | POOR - Very smooth, occasionally slickensided surfaces with compact coatings or fillings with angular fragments | VERY POOR - Very smooth slickensided or highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings | | | | | | | | | | | | |
|  <p>A. Thick bedded, very blocky sandstone The effect of pelitic coatings on the bedding planes is minimized by the confinement of the rock mass. In shallow tunnels or slopes these bedding planes may cause structurally controlled instability.</p> | | 70 | 60 | A | | | | | | | | | | | | | | |
|  <p>B. Sandstone with thin inter-layers of siltstone</p> |  <p>C. Sandstone and siltstone in similar amounts</p> |  <p>D. Siltstone or silty shale with sandstone layers</p> |  <p>E. Weak siltstone or clayey shale with sandstone layers</p> | 50 | 40 | B C D E | | | | | | | | | | | | |
| <p>C, D, E and G - may be more or less folded than illustrated but this does not change the strength. Tectonic deformation, faulting and loss of continuity moves these categories to F and H.</p> | |  <p>F. Tectonically deformed, intensively folded/faulted, sheared clayey shale or siltstone with broken and deformed sandstone layers forming an almost chaotic structure</p> | | 30 | 20 | F | | | | | | | | | | | | |
|  <p>G. Undisturbed silty or clayey shale with or without a few very thin sandstone layers</p> |  <p>H. Tectonically deformed silty or clayey shale forming a chaotic structure with pockets of clay. Thin layers of sandstone are transformed into small rock pieces.</p> | | | G | H | 10 | | | | | | | | | | | | |
| <p>→ : Means deformation after tectonic disturbance</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>Flysch type see Table 4.</th> <th>Proportions of values for each rock type to be included in rock mass property determination</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A and B</td> <td>Use values for sandstone beds</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Reduce sandstone values by 20% and use full values for siltstone</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>Reduce sandstone values by 40% and use full values for siltstone</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>Reduce sandstone values by 40% and use full values for siltstone</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>Reduce sandstone values by 60% and use full values for siltstone</td> </tr> <tr> <td>G</td> <td>Use values for siltstone or shale</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>Use values for siltstone or shale</td> </tr> </tbody> </table> | Flysch type see Table 4. | Proportions of values for each rock type to be included in rock mass property determination | A and B | Use values for sandstone beds | C | Reduce sandstone values by 20% and use full values for siltstone | D | Reduce sandstone values by 40% and use full values for siltstone | E | Reduce sandstone values by 40% and use full values for siltstone | F | Reduce sandstone values by 60% and use full values for siltstone | G | Use values for siltstone or shale | H | Use values for siltstone or shale |  | |
| Flysch type see Table 4. | Proportions of values for each rock type to be included in rock mass property determination | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A and B | Use values for sandstone beds | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C | Reduce sandstone values by 20% and use full values for siltstone | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| D | Reduce sandstone values by 40% and use full values for siltstone | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| E | Reduce sandstone values by 40% and use full values for siltstone | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| F | Reduce sandstone values by 60% and use full values for siltstone | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G | Use values for siltstone or shale | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | Use values for siltstone or shale | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabella 5-2 Prospetto per la Classificazione Geomeccanica (GSI) degli ammassi rocciosi eterogenei (Flysch) secondo Marinos-Hoek (2000).

| Tipo di ammasso | Criterio di valutazione di σ_c e di m_i |
|-----------------|--|
| A e B | Valori relativi al litotipo più competente |
| C | Valori del litotipo più competente ridotti del 20% e pieni valori del litotipo di caratteristiche più scadenti |
| D e E | Valori del litotipo più competente ridotti del 40% e pieni valori del litotipo di caratteristiche più scadenti |
| F | Valori del litotipo più competente ridotti del 60% e pieni valori del litotipo di caratteristiche più scadenti |
| G | Valori del litotipo di caratteristiche più scadenti |
| H | Valori del litotipo di caratteristiche più scadenti |

Tabella 5-3: Ammassi rocciosi eterogenei – Criteri di valutazione di σ_c e di m_i (Hoek et al.,1998; Marinos & Hoek, 2000)

5.2.4 Caratteristiche di deformabilità

Moduli iniziali

I moduli iniziali di taglio (G_{o1}) e di Young (E_{o1}) iniziali, corrispondenti alle pressioni efficaci geostatiche medie p_o' , possono essere ricavati dai valori delle velocità delle onde di taglio V_s utilizzando le seguenti equazioni:

$$G_{o1} = \frac{\gamma_t}{9,81} \cdot (V_s)^2 \quad (\text{kPa})$$

$$E_{o1} = G_{o1} \cdot 2 \cdot (1 + \nu')$$

essendo:

γ_t = peso di volume naturale del terreno in kN/m³

ν' = rapporto di Poisson del terreno = 0,15 ÷ 0,20

V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio in m/sec.

La velocità di propagazione delle onde di taglio V_s può essere ricavata direttamente dalle prove geofisiche down hole.

I moduli iniziali di taglio (G_o) e di Young (E_o) iniziali, corrispondenti alle pressioni efficaci medie generiche p' , possono essere ricavati dalle seguenti espressioni:

$$G_o = G_{o1} \cdot \left(\frac{p'}{p_o} \right)^{0.3} \quad (\text{kPa})$$

$$E_o = G_o \cdot 2 \cdot (1 + \nu') \quad (\text{kPa})$$

Moduli "operativi"

I moduli di Young "operativi" E_{op} dell'ammasso roccioso, utilizzabili in analisi con modelli costitutivi elastico-lineari o elastico-lineari-plastici, possono essere stimati sulla base delle seguenti espressioni (Hoek et Diederichs, 2006) in MPa:

$$E_{op} = 100000 \cdot \left(1 - \frac{D}{2}\right) \frac{1}{1 + e^{(75+25D-GSI)/11}}$$

con D = coefficiente di disturbo, variabile tra 0 e 1.

Oppure

$$E_{op} = E_i \cdot \left(0.02 + \frac{1 - D/2}{1 + e^{(60+15D-GSI)/11}}\right)$$

dove E_i è il modulo di deformazione della roccia intatta pari al prodotto tra il valore di MR e la resistenza a compressione monoassiale.

In presenza di formazioni flyshoidi (prospetto **8.5**, Marinos & Hoek - 2000) il modulo elastico della roccia intatta verrà determinato pesando i singoli moduli elastici della matrice rocciosa afferenti alle due componenti litologiche dell'ammasso, utilizzando i "pesi" indicati in **tab.8.6**.

Il modulo elastico d'ammasso in condizioni residue è determinato secondo l'espressione di cui sopra, assumendo per il fattore di disturbo D il valore 0.3. I moduli valutati con le espressioni sopra indicate si intenderanno riferiti alle tensioni efficaci geostatiche; quelli relativi alle tensioni efficaci correnti verranno scalati utilizzando le stesse espressioni indicate per i moduli iniziali.

Per quanto riguarda i parametri operativi ricavabili dalle onde sismiche, in base a quanto indicato nel grafico sotto riportato, considerando una deformazione $\gamma_s = 1\%$ tipico per le gallerie, si ottiene un fattore riduttivo compreso tra 1/10-1/5.

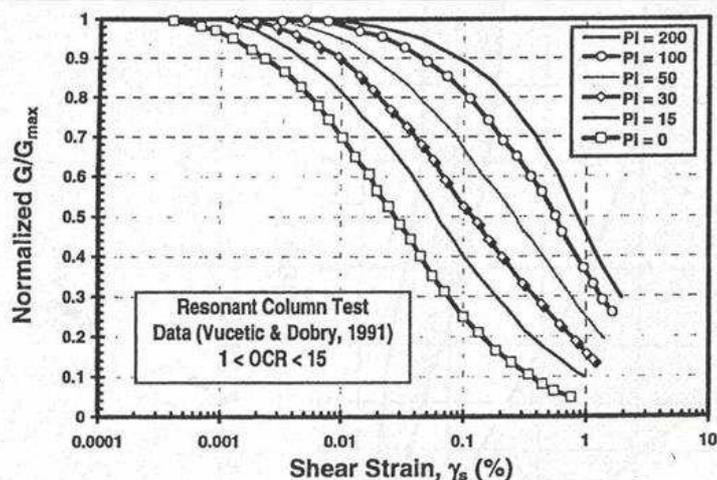


Figura 5-1. Curve di decadimento secondo Vucetic e Dobry, 1991

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02 Foglio 30 di 99 |

6 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA – GEOMECCANICA DELLE PRINCIPALI FORMAZIONI INTERAGENTI CON L'OPERA

Oggetto del presente capitolo è la caratterizzazione geotecnica-geomeccanica delle principali formazioni interagenti con lo scavo della Galleria di Valico – Tratta 3. La Formazione delle Argille a Palombini sarà quella che interagirà maggiormente con l'opera ma, come descritto nell'inquadramento geologico, si potranno incontrare durante gli scavi lenti di Metabasalto; nel seguito pertanto verranno riportate le caratteristiche entrambi le formazioni.

6.1 Argillite a Palombini (Argilloscisti filladici)

Oggetto del presente capitolo è la caratterizzazione geotecnica-geomeccanica della formazione costituita da Argilloscisti filladici, appartenenti alle Formazioni degli "Argilloscisti di Murta" (AGF) e degli "Argilloscisti di Costagiutta" (AGI). Tali formazioni rappresentano, nella nuova cartografia ufficiale, Foglio "Genova" n. 213-230 in scala 1:50.000, la ex Formazione delle "Argilliti a Palombini del Passo della Bocchetta". Dal punto vista geomeccanico le due formazioni sono completamente equivalenti alla ex formazione delle "Argille a Palombini del Passo della Bocchetta. Nel seguito il documento continuerà a riportare la terminologia "Argilliti a Palombini".

Si propone nel seguito la schema logico/operativo dell'attività di studio condotta al fine di pervenire alla caratterizzazione finale dell'ammasso:

1. **FASE:** analisi completa del campione di risultati raccolti nell'ambito delle campagne di indagini geognostiche eseguite fino al momento della stesura del presente studio (PP-PD-PE 1° lotto), con particolare attenzione alle seguenti proprietà della matrice rocciosa:
 - **Caratteristiche petrografiche;**
 - **Caratteristiche fisiche** (peso di volume naturale/secco, conducibilità idraulica);
 - **Caratteristiche di resistenza** (compressione mono-assiale, trazione indiretta);
 - **Caratteristiche di deformabilità** (moduli elastici da prove in laboratorio di compressione mono-assiale a controllo di deformazione, moduli elastici da prove dilatometriche in foro di sondaggio)
 - **Stato tensionale in sito**

L'elaborazione dati è confluita nell'analisi della distribuzione delle suddette proprietà fisico-meccaniche, desunte dai campioni provenienti dai sondaggi a carotaggio continuo, in relazione alla collocazione geografica delle corrispondenti verticali di indagine e alla profondità dal piano campagna dei campioni stessi. Si è valutata altresì la distribuzione di frequenza del campione oggetto di analisi, con particolare riferimento alla resistenza a

| | |
|---|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  |
| | IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02 Foglio 31 di 99 |

compressione mono-assiale della matrice rocciosa (caratterizzata dalla maggior numerosità del campione).

2. **FASE:** analisi del campione di risultati emersi dalle campagne di indagini geognostiche pregresse correlata alle caratteristiche di fratturazione dell'ammasso, ovvero all'indice RQD, considerato quale primo elemento rappresentativo delle condizioni geo-meccaniche dell'ammasso.
3. **FASE:** classificazione dell'ammasso roccioso, tramite attribuzione del parametro GSI, condotta sia sui campioni estratti dalle verticali di indagine e testati in laboratorio sia sulle carote associate ai punti di esecuzione delle prove in foro di sondaggio (prove dilatometriche, prove di permeabilità LUGEON). Obiettivo della presente fase di studio è la determinazione dei gruppi geomeccanici associati alla formazione delle Argilliti a Palombini. Si evidenzia sin d'ora che, nell'attività di classificazione dell'ammasso, si è adottata, quale criterio guida, la ripartizione in gruppi geo-meccanici emersa dalla campagna di indagine condotta nell'ambito dello scavo delle tratte dei cunicoli esplorativi Vallemme e Castagnola.
4. **FASE:** caratterizzazione geotecnica-geomeccanica delle Argilliti a Palombini, con definizione dei parametri fisico-meccanici rappresentativi di ogni gruppo geomeccanico individuato nella fase precedente. L'esito finale di tale attività è disceso dall'analisi comparata delle risultanze emerse dall'elaborazione condotta sui dati derivati dalle campagne geognostiche del PP-PD-PE e del completo quadro conoscitivo emerso dallo scavo dei cunicoli esplorativi.

6.1.1 *Analisi completa campione risultati indagini pregresse*

Caratteristiche petrografiche

Oggetto del presente paragrafo è la sintesi delle analisi mineralogiche petrografiche condotte sulla formazione degli Argilloscisti Filladici. L'attività di studio in merito è stata condotta in maniera più organica in sede di redazione del Progetto Definitivo, nell'ambito delle prove di laboratorio condotte presso la Sezione di Torino dell'Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria (IGAG-CNR) nel periodo aprile 2004-marzo 2005.

Sono state eseguite una serie di analisi su campioni rappresentativi prelevati dalle carote pervenute in laboratorio, allo scopo di :

- individuare gli ambienti di formazione delle rocce di studio e le fasi mineralogiche presenti;
- individuare la presenza di minerali ascrivibili alla classe degli asbesti e definire la relativa pericolosità secondo il D.M. 14/05/1996, attraverso la determinazione dell'indice di rilascio da prova di automacinazione, o tramite indice di rilascio stimato in presenza di campioni con peso non sufficiente alla quantificazione della polvere rilasciata per automacinazione ;
- individuare la presenza di minerali argillosi rigonfianti, potenzialmente pericolosi per la statica delle opere sotterranee, attraverso tecniche di diffrazione a raggi X,.

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02 |
| | Foglio 32 di 99 |

I campioni oggetto di analisi sono elencati nelle tabelle che seguono (rispettivamente 1° e 2° serie di carote pervenute ai laboratori).

| Sond. | Località | Campione | da m | a m | Lunghezza | Form. Geologica | Litotipo presunto |
|-------|-----------------|----------|--------|--------|-----------|---------------------|-------------------|
| SR 11 | Pietralavezzara | CR 2 | 198,40 | 198,90 | 0,50 | Argille a Palombini | Argilliti |
| SR 11 | Pietralavezzara | CR 3 | 310,50 | 10,90 | 0,40 | Argille a Palombini | Serpentinoscisti |
| SR 11 | Pietralavezzara | CR 5 | 379,30 | 379,70 | 0,40 | Argille a Palombini | Anidriti |
| SR 12 | Pietralavezzara | R1 | 85,25 | 85,80 | 0,55 | Argille a Palombini | Argilliti |
| SR 12 | Pietralavezzara | R2 | 121,20 | 121,60 | 0,40 | Argille a Palombini | Serpentinoscisti |
| SR 13 | Pietralavezzara | R1 | 142,30 | 142,90 | 0,60 | Argille a Palombini | Argilliti |

| Campione | Sond. | Profondità (m) | Litotipo presunto |
|----------|-------|----------------|------------------------------------|
| C.84 | SR 11 | 414.50 | Serpentinoscisti |
| C.90 | SR 12 | 446.00 | Argilloscisti/Anidriti |
| C.75 | SR 14 | 319.60 | Argilloscisti |
| C.78 | SR 14 | 331.20 | Argilloscisti |
| C.86 | SR 14 | 371.60 | Breccia di faglia in argilloscisti |
| C.87 | SR 14 | 376.00 | Breccia di faglia in argilloscisti |
| C.87 | SR 14 | 379.00 | Breccia di faglia in argilloscisti |
| C.88 | SR 14 | 381.60 | Breccia di faglia in argilloscisti |
| C.88A | SR 14 | 384.40 | Breccia di faglia in argilloscisti |
| C.91 | SR 14 | 396.00 | Breccia di faglia in argilloscisti |
| C.117 | SR 14 | 529.60 | Breccia serpentinitica |
| C.119 | SR 14 | 538.60 | Breccia serpentinitica |
| C.121 | SR 14 | 545.50 | Breccia serpentinitica |
| C.35 | SR 15 | 168.00 | Breccia basaltico serpentinitica |
| C.22 | SR 15 | - | - |

Tabella 6-1. Campioni e sondaggi di riferimento per la caratterizzazione minero-petrografiche di PD (prima e seconda serie).

Tali campioni sono stati sottoposti a caratterizzazione dal punto di vista minero-petrografico mediante tecniche di diffrazione a raggi X, cui è ha fatto seguito la predisposizione di analisi di approfondimento in relazione alla presenza di minerali asbestosi o rigonfianti, finalizzata rispettivamente alla verifica della possibilità di rilascio di minerali in forma fibrosa (con riferimento alle disposizioni di normativa vigente – DM 178 del 14/05/1996 – determinazione Indice di Rilascio) ed alla valutazione della potenzialità di rigonfiamento (saturazione con glicole etilenico delle frazioni granulometriche inferiori ai 16 micron).

Tutti i campioni relativi alla prima serie, rappresentativi della formazione degli argilloscisti e parte dei campioni di seconda serie, sono caratterizzati, mediamente, dalle seguenti specie mineralogiche, elencate in ordine di composizione percentuale crescente:

- Calcite
- Quarzo – Talco – Magnesite
- Clorite (tipo Clinocloro)
- Mica (tipo Muscovite o Illite)

I grafici che seguono forniscono la composizione mineralogica media della matrice degli Argilloscisti Filladici, come da Relazione Geomeccanica Generale del Progetto Definitivo.

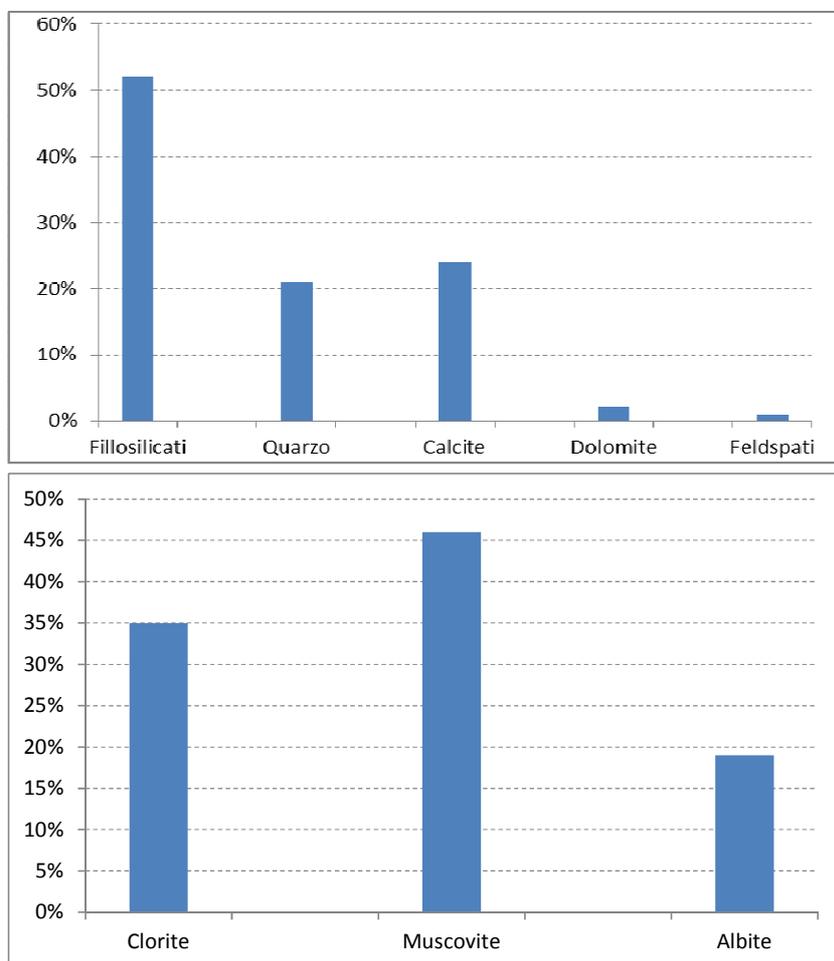


Figura 6-1. Composizione mineralogica media della matrice degli Argilloscisti Filladici (da PD)

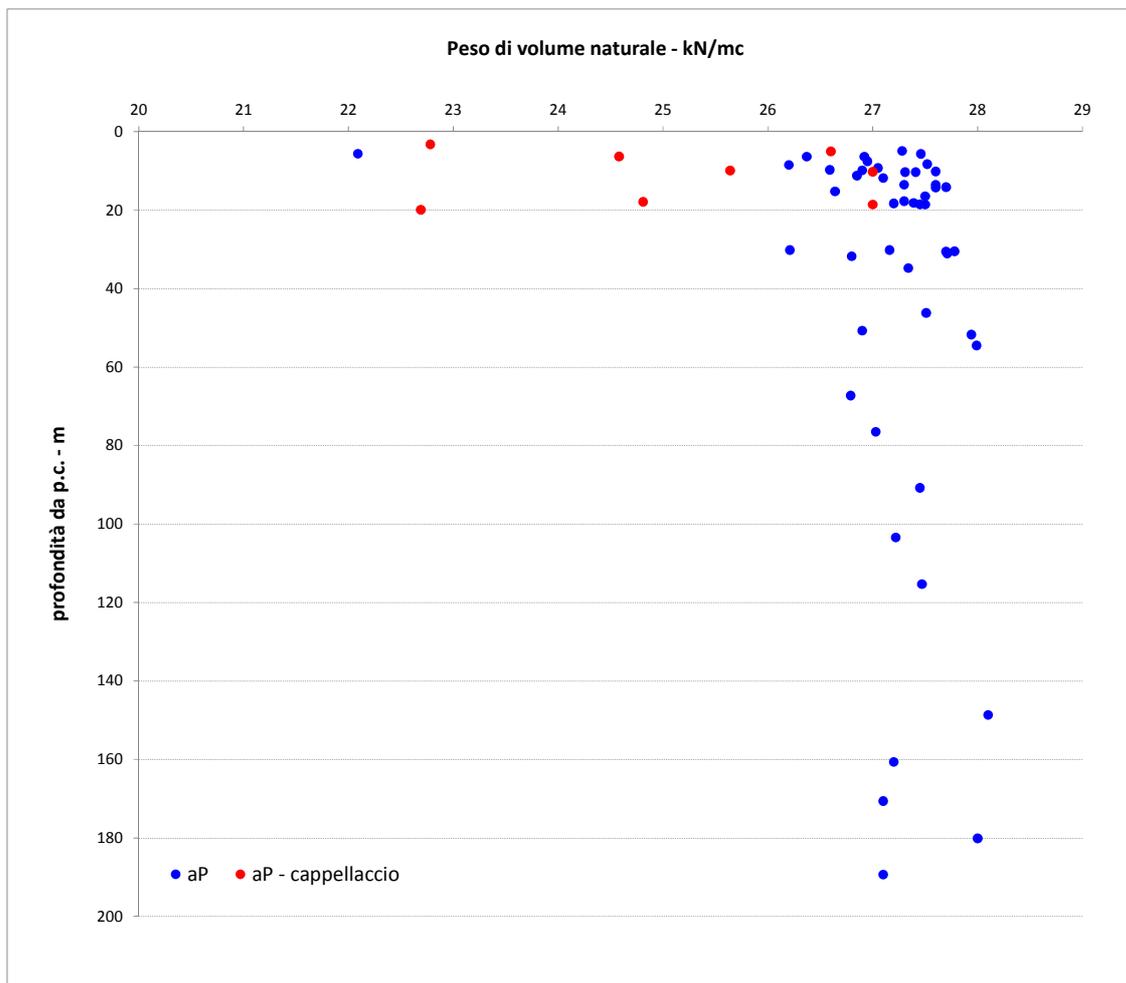
Limitatamente ai campioni con litotipo proprio degli argilloscisti, si evidenzia che gli elementi codificati con CR3 e R2 hanno evidenziato la presenza di materiali asbestosi, cui tuttavia si associa una non-pericolosità nei riguardi del rilascio di fibre. Le risultanze delle analisi dei campioni non hanno evidenziato la presenza di minerali argillosi rigonfianti.

Caratteristiche fisiche

Si propongono nel seguito, in forma grafica, i risultati delle prove di laboratorio condotte sui campioni estratti dai fori di sondaggio eseguiti nelle campagne di indagine di PD e PE lotto 1.

Sono forniti i valori puntuali di peso di volume naturale e peso di volume del secco associati alla profondità dal p.c. del rispettivo campione di determinazione. Le serie di valori rappresentati si riferiscono in modo distinto alla formazione delle argilliti a Palombini e all'alterazione superficiale delle stesse (cappellaccio).

A corredo dei grafici sono esplicitati in forma tabellare i parametri essenziali della distribuzione di dati, al fine di favorire l'interpretazione critica del campione analizzato.

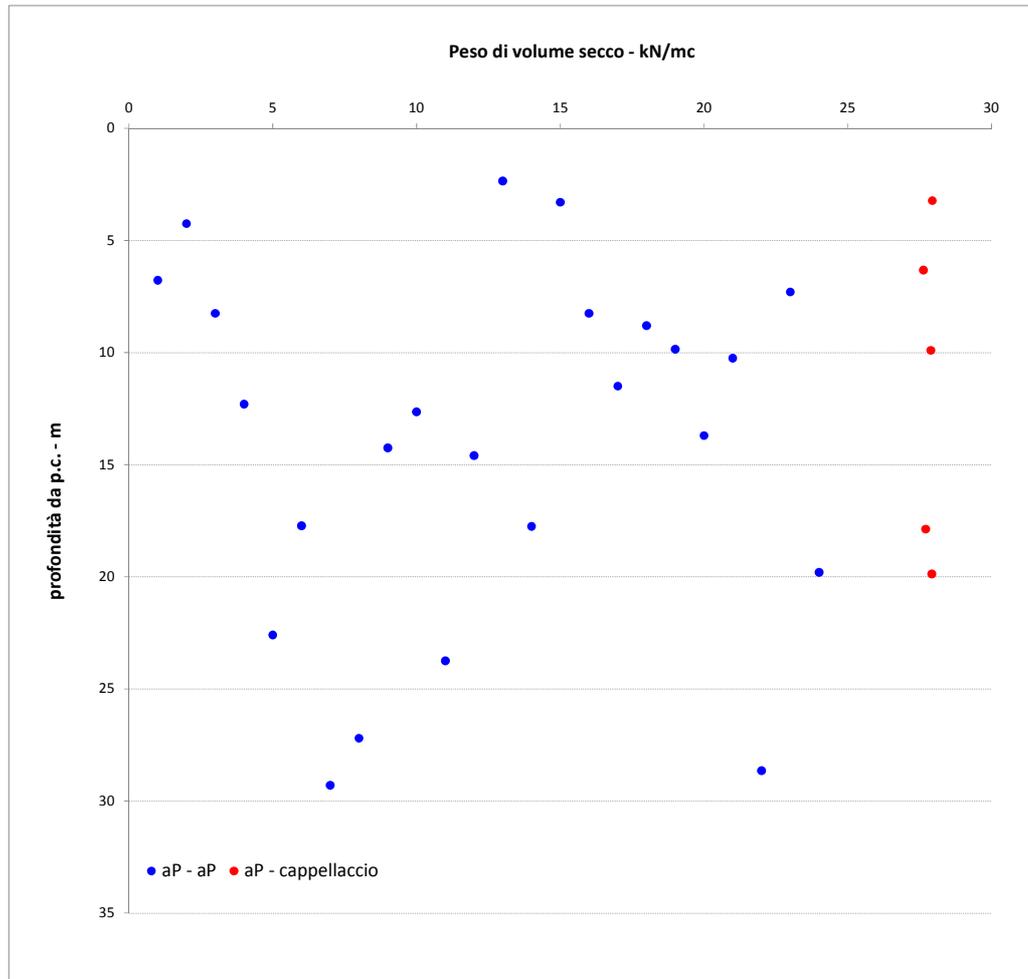


| Formazione | aP | aP - cappellaccio |
|----------------------------|----|-------------------|
| numerosità campione | 48 | 8 |
| Yn max – kN/m ³ | 28 | 27 |
| Yn Min – kN/m ³ | 22 | 23 |
| Yn Med – kN/m ³ | 27 | 25 |
| Yn Sqm – kN/m ³ | 1 | 2 |
| sqm/med | 5% | 7% |

Figura 6-2. Risultati delle prove di laboratorio per la determinazione del peso di volume naturale

Dall'osservazione della distribuzione dei valori di peso naturale con la profondità, non appare evidente una correlazione con quest'ultima. La distribuzione dei valori è significativamente uniforme, concentrata attorno al valore medio di 27 kN/m³ per la formazione aP, e di 25 kN/m³ per la fascia alterata. Si evidenzia, specie in relazione alla cospicua numerosità del campione riferito alle argilliti a Palombini, la modesta incidenza della deviazione standard rispetto al valor medio.

Il dato sul peso di volume secco, riportato a seguire per completezza di esposizione, non è caratterizzato da particolare significatività ai fini progettuali. Si evidenzia peraltro la numerosità del campione inferiore rispetto alla determinazione del peso di volume naturale.



| formazione | aP | aP - cappellaccio |
|----------------------------|----|-------------------|
| numerosità campione | 28 | 5 |
| Ys max – kN/m ³ | 28 | 28 |
| Ys Min – kN/m ³ | 22 | 28 |
| Ys Med – kN/m ³ | 27 | 28 |
| Ys Sqm – kN/m ³ | 2 | 0 |
| sqm/med | 6% | 1% |

Figura 6-3. Risultati delle prove di laboratorio per la determinazione del peso di volume secco

Si propongono a seguire i risultati delle prove di permeabilità LUGEON condotte in foro di sondaggio. Il campione di dati proposto è suddiviso per campagna di indagine di esecuzione. L'analisi statistica del campione globale fornisce un valor medio della conducibilità idraulica pari a 1.5 E-6 m/s , con buona concentrazione della distribuzione attorno al valore medio.

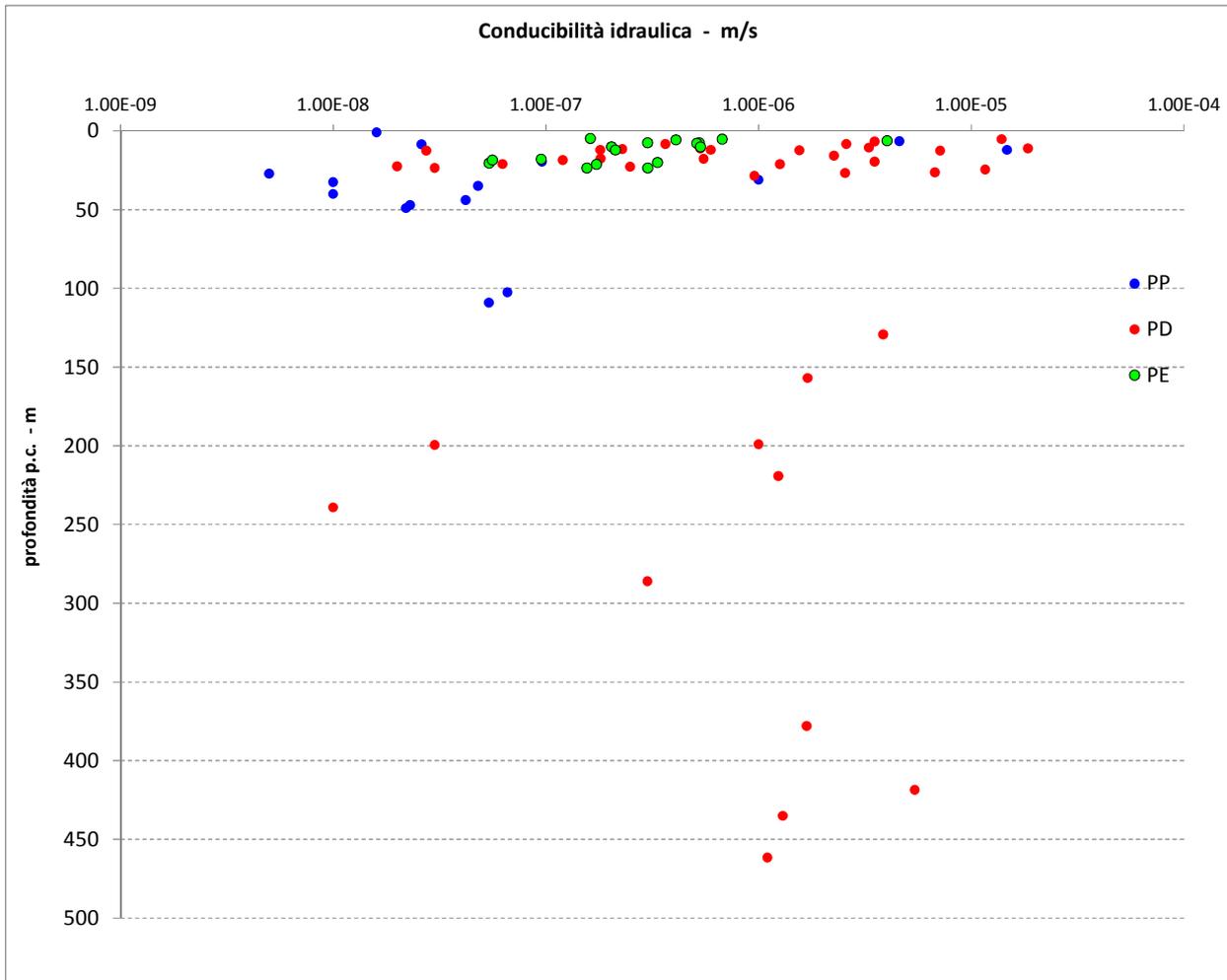


Figura 6-4. Risultati delle prove di permeabilità Lugeon in foro di sondaggio

Caratteristiche di resistenza

L'analisi del dato sulla resistenza a compressione monoassiale - UCS - degli argilloscisti è discesa dai risultati delle prove di compressione mono-assiale condotte in laboratorio nelle differenti campagne di PP, PD, PE 1° lotto e dall'interpretazione dell'esito delle prove di Point-Load Test eseguite sulle carote estratte dai sondaggi geognostici.

In letteratura vi è ampio riscontro (Hoek-Brown, 1980) circa l'interpretazione delle prove di Point Load Test per la ragionevole stima fornita del valore di UCS. E' tuttavia data indicazione (Greminger, 1982; Seshangiri Rao, 1987) della notevole dispersione del fattore di correlazione K50

fra la resistenza a compressione mono-assiale e il valore di I_s (Point Load Strenght Index) associato a campioni di 50 mm di spessore, in presenza di una struttura della matrice rocciosa chiaramente anisotropa. Ai fini dell'interpretazione dei Point Load Strenght Index, si evidenzia dunque quest'ultimo aspetto quale elemento di criticità nel caso degli argilloscisti oggetto di analisi, caratterizzati da una foliazione con presenza di struttura a pieghe fino alla microscala.

In relazione alla notevole numerosità del campione di I_{50} (ottenuto aggregando i dati delle campagne PP-PD-PE) rispetto alle prove di compressione monoassiale, si è pertanto verificata con attenzione la calibratura del fattore di correlazione k_{50} (con $UCS = K_{50} \cdot I_{s50}$), alla luce dei dati sperimentali disponibili e della letteratura tecnica (Palmström A.: RMI – a rock mass characterization system for rock engineering purposes, 1994).

Il grafico che segue raccoglie le coppie di determinazioni congiunte I_{s50} – UCS (laboratorio), sul medesimo campione di matrice rocciosa (profondità di sondaggio), desunte dalla campagna di indagine del progetto preliminare.

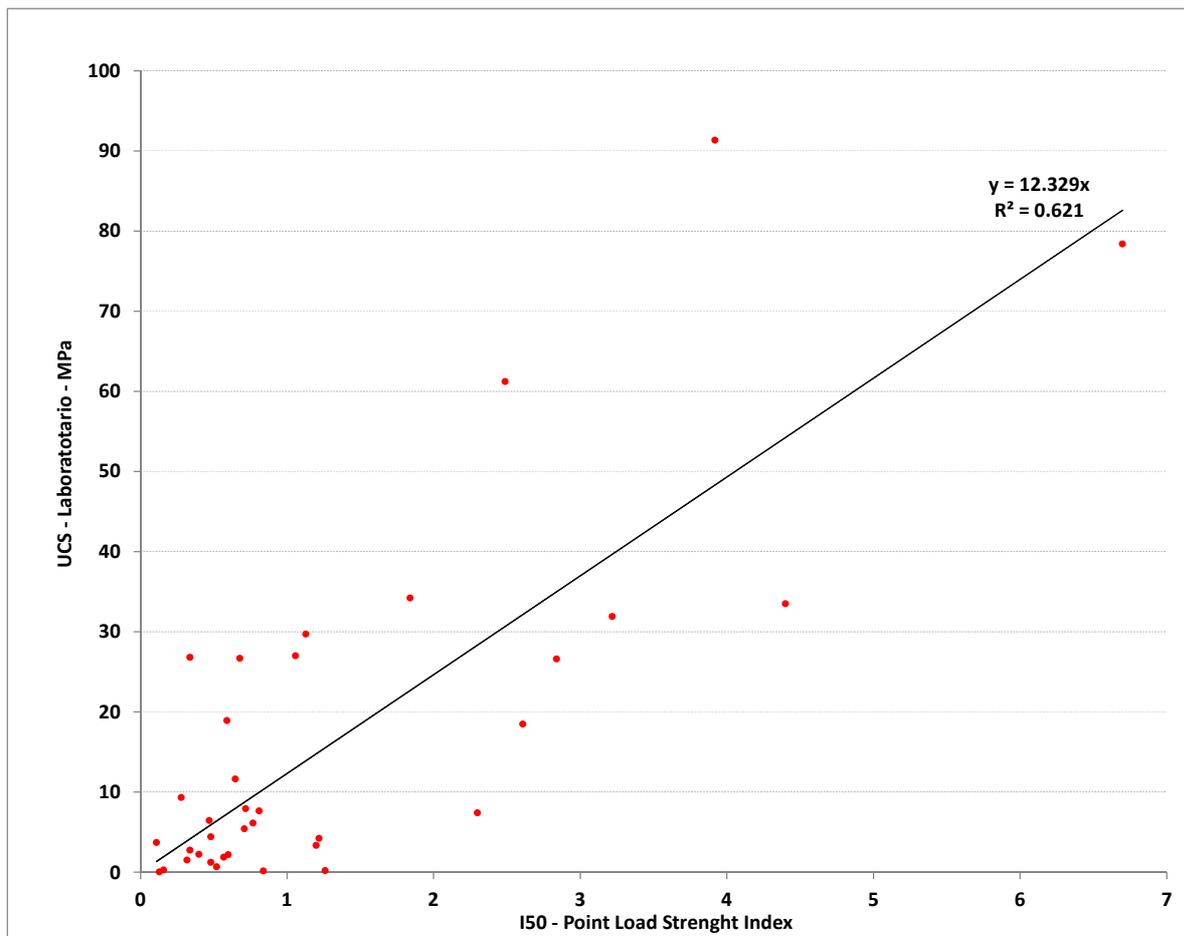


Figura 6-5. Correlazione UCS – I_{50} Point Load Strenght Index (elaborazione risultati campagna PP)

A conferma di quanto sopra esposto in merito alle formazioni caratterizzate da marcata anisotropia, alla retta interpolante i punti sperimentali (con pendenza pari all'indice $K_{50} = 12.3$), è associato un valore del fattore di correlazione al quadrato pari a 0.62. Il fattore K_{50} così determinato è tuttavia in linea con le indicazioni di letteratura mostrate nella tabella che segue.

| σ_c (MPa) | $I_{s\ 50}$ (MPa) | k_{50} |
|-----------------------|-------------------|----------|
| 25 ^{*)} - 50 | 1.8 - 3.5 | 14 |
| 50 - 100 | 3.5 - 6 | 16 |
| 100 - 200 | 6 - 10 | 20 |
| > 200 | > 10 | 25 |

Tabella 6-2. Valori k_{50} suggeriti, al variare della resistenza a compressione (Palmsrom – 1994)

In assenza di informazioni specifiche per la formazione in disamina, è suggerita l'adozione di fattori k_{50} varianti con la resistenza della matrice rocciosa. Si evince, nello specifico che il valore di k_{50} determinato dall'analisi incrociata dei dati su I_{50} e UCS (ottenuti dalle indagini di PP) si colloca in corrispondenza del range di UCS compreso fra 25-50 MPa, rappresentativo degli argilloscisti oggetto della presente attività di caratterizzazione.

L'intero campione di dati Point Load Strength Index (PP+PD+PE) è stato dunque analizzato con riferimento a fattori di correlazione k_{50} compresi fra 14-16, al variare del dato I_{50} trattato, d'accordo con le indicazioni di letteratura.

I grafici che seguono presentano il campione di dati desunto dalle prove UCS, laddove disponibili, e dall'interpretazione dei risultati delle prove di Point Load Strength.

I valori di resistenza sono mostrati dapprima accorpando i dati delle singole campagne d'indagine, quindi per comune formazione geologica (aP o ma – meta-argilliti, formazione già assimilata nelle fasi progettuali pregresse agli argilloscisti, per affinità di comportamento geomeccanico).

Tutti i dati sono graficati in funzione della profondità dal piano campagna del campione oggetto di prova, quindi rispetto alla posizione planimetrica del sondaggio riferita alla progressiva chilometrica della linea.

I valori di UCS sono disponibili sino ad una profondità massima di 450 m ca. Dall'esame delle distribuzioni così ottenute, non si evidenzia alcuna forma di correlazione fra la resistenza a compressione della matrice e la profondità o la collocazione planimetrica della verticale di indagine.

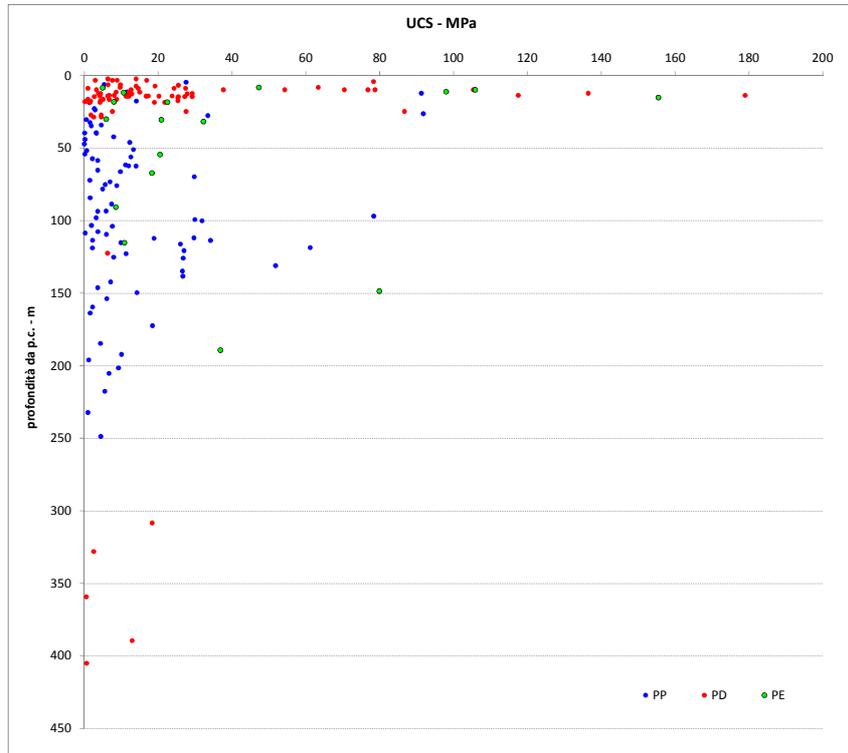


Figura 6-6. Rappresentazione grafica UCS – profondità di campionamento

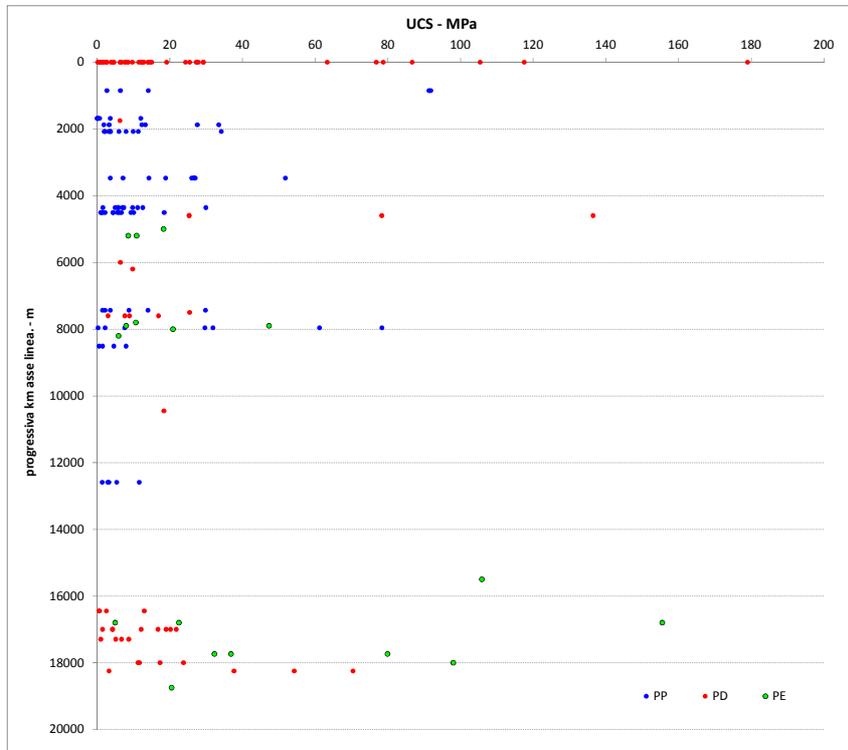


Figura 6-7. Rappresentazione grafica UCS – posizione planimetrica sondaggio di riferimento (pk linea)

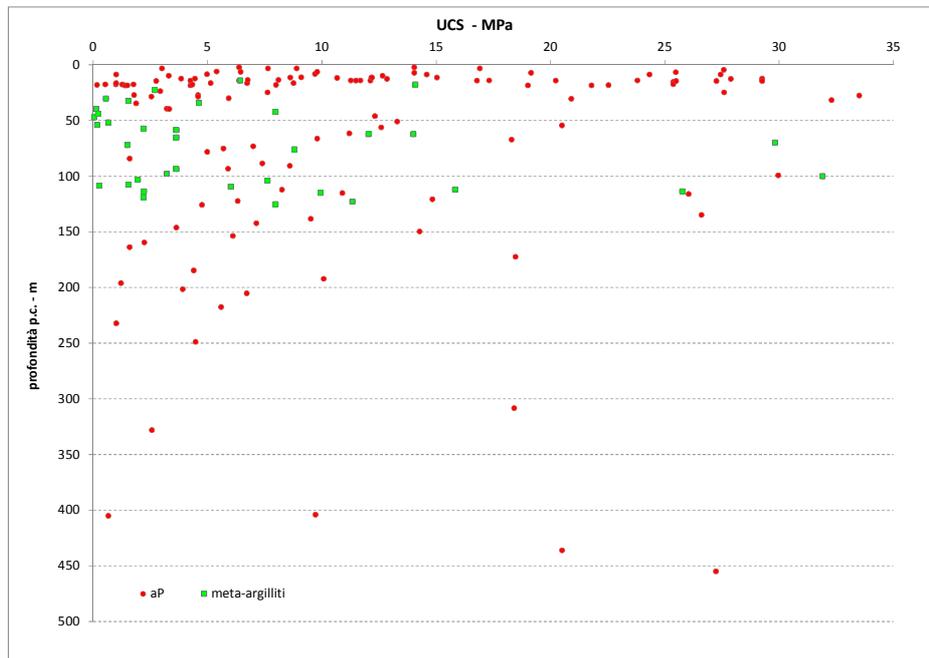


Figura 6-8. Correlazione UCS – I50 Point Load Strength Index (elaborazione risultati campagna PP)

Si forniscono inoltre i seguenti diagrammi che danno immediata evidenza della distribuzione dei risultati. La frequenza dei dati è presentata come numerosità del campione rappresentativo di ciascun range di resistenze.

E' mostrata rispettivamente mostra la distribuzione di frequenza nell'ambito delle singole campagne di indagine e con riferimento alla totalità dei risultati derivanti dall'aggregazione delle campagne stesse.

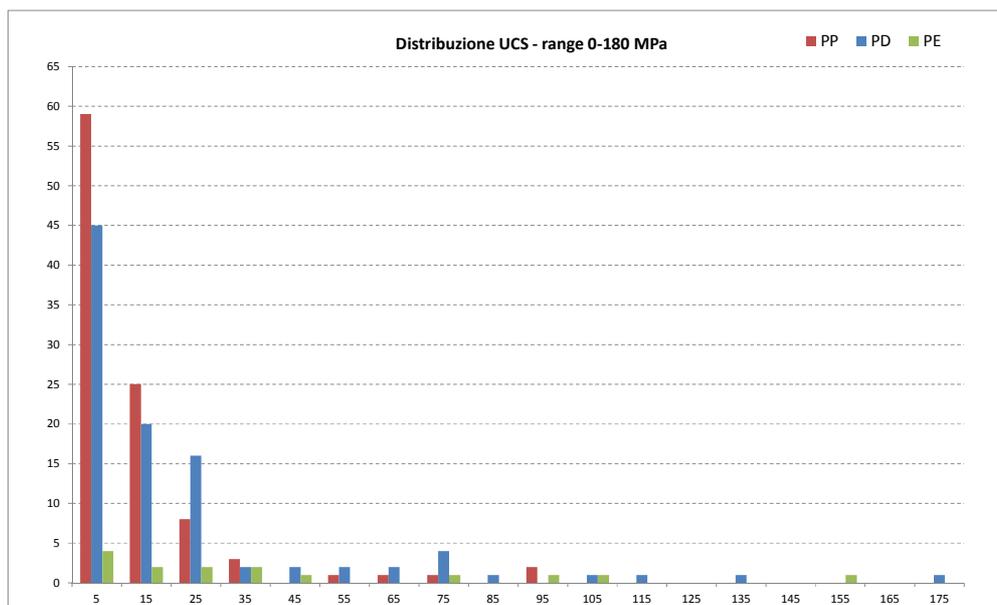


Figura 6-9. Numerosità campione UCS in relazione a intervalli di 10 MPa (per campagne di indagine)

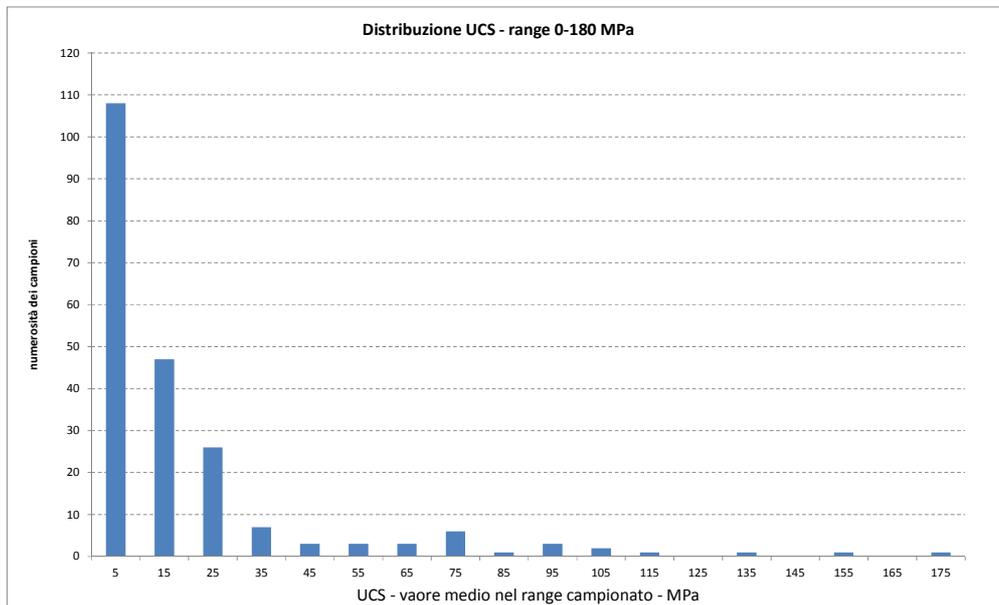


Figura 6-10. Numerosità campione UCS in relazione a intervalli di 10 MPa (campione aggregato)

Da una prima visione d'insieme della distribuzione dei punti sperimentali, emerge la decisa concentrazione di valori nel range 5-25 MPa, con presenza più rarefatta di resistenze a compressione oltre i 40 MPa. Si rileva infatti che, su un campione complessivo di oltre 180 dati, circa 20 elementi (pari al 10%) si collocano su valori superiori ai 35-40 MPa.

A tal proposito, è opportuno notare che solamente 12 di questi ultimi derivano da prove di compressione in laboratorio e pertanto possono essere considerati maggiormente attendibili. Nello specifico, tali prove di compressione mono-assiale hanno fornito valori di resistenza compresi fra 65 – 150 MPa, con valore medio intorno ai 100 MPa, su campioni prelevati anche superficialmente (10-100 m).

Dall'esame delle prove a compressione eseguite in sede di progettazione esecutiva, è possibile associare tali valori di resistenza ad una matrice calcarea moto compatta caratterizzante il provino testato, chiaramente attribuibile all'incluso costituito dal palombino. E' ragionevole dunque ricondurre la gran parte di valori di resistenza superiori alla soglia dei 35 MPa, derivati dall'elaborazione dei dati raccolti nelle campagne di PP e PD, proprio agli inclusi calcarei caratterizzanti la formazione degli argilloscisti a palombini.

Nell'ottica di focalizzare l'analisi esclusivamente sul dato rappresentativo della matrice argillitica, si propongono, nei grafici seguenti, le distribuzioni di frequenza (come numerosità del dato nei singoli range di resistenza e come frequenza % rispetto al totale delle determinazioni disponibili fra le varie campagne di indagini geognostiche), relative al campione di UCS decurtato dei valori superiori al suddetto limite dei 35-40 MPa.

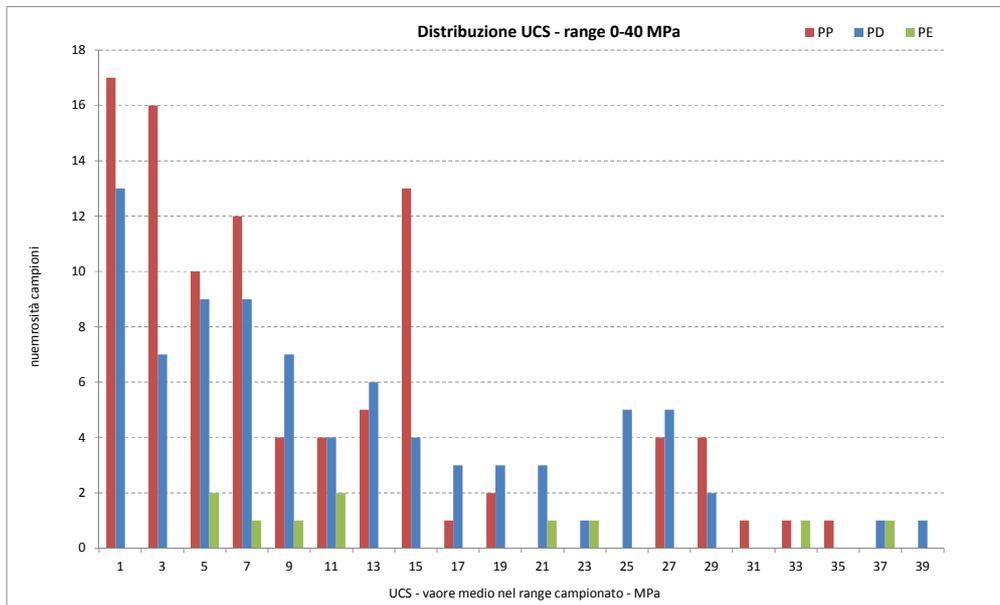


Figura 6-11. Numerosità campione UCS in relazione a intervalli di 2 MPa (per campagne di indagine)

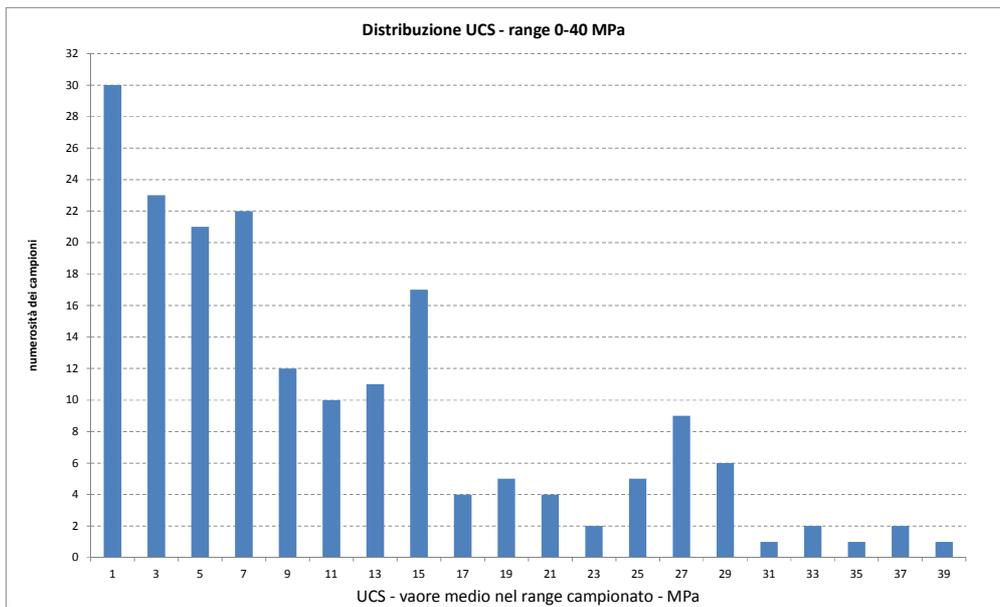


Figura 6-12. Numerosità campione UCS in relazione a intervalli di 2 MPa (campione aggregato)

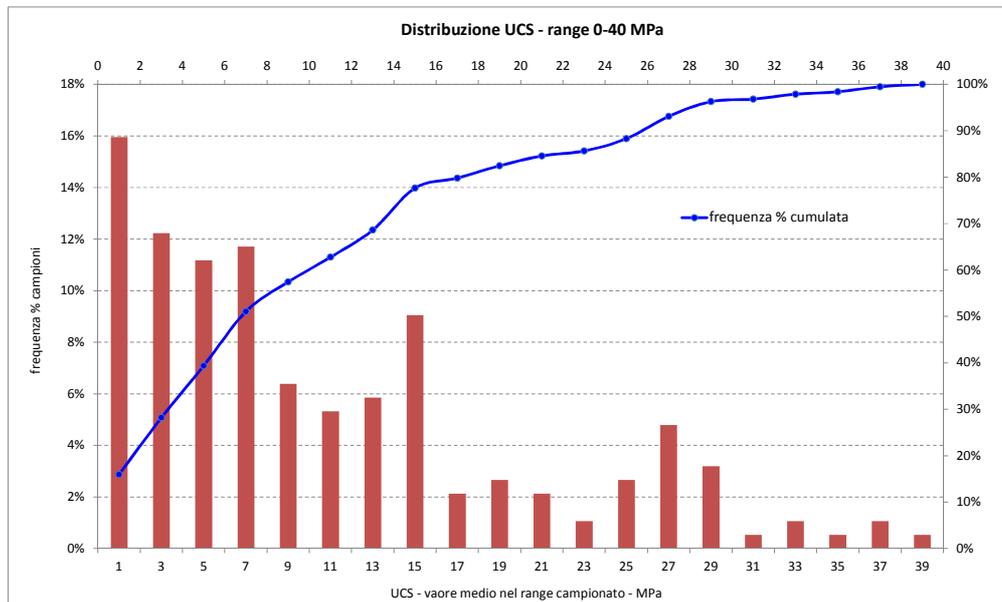


Figura 6-13. Frequenza % campione UCS in relazione a intervalli di 2 MPa (campione aggregato) con rappresentazione della curva di frequenza cumulata

L'analisi statistica della distribuzione di UCS decurtata dei valori superiori al limite suddetto dei 35-40 MPa, come detto considerato rappresentativo degli inclusi *palombinici* (ca 160 risultati sperimentali), conduce ad un valor medio intorno ai 10-11 MPa. Come risulta evidente dalla curva di frequenza cumulata, tale determinazione è significativamente condizionata dalla numerosità di dati associati a valori di resistenza compresi nel range 5-10 MPa.

Questo risultato è ascrivibile alla natura marcatamente anisotropa della matrice rocciosa, caratterizzata dalla foliazione intensa propria degli argilloscisti, con seguente riduzione della resistenza a compressione in condizioni di sollecitazione sub-parallela alla direzione prevalente della foliazione stessa.

A conferma di ciò è significativo il dato emerso dall'elaborazione delle resistenze a compressione mono-assiale ottenute in laboratorio, nell'ambito della campagna di indagine del PD (2004), in presenza di condizioni di prova omogenee caratterizzate dall'applicazione del carico in direzione parallela ai piani di scistosità.

Emerge infatti che, indipendentemente dai valori di RQD rilevati alle quote di prelievo dei campioni testati, la resistenza media a compressione si colloca sul medesimo valore dei 10 MPa evidenziato dalla distribuzione globale dei risultati prima esposta.

La tabella di sintesi, proposta nel seguito, fornisce i parametri statistici rappresentativi delle distribuzioni di UCS derivate dall'elaborazione congiunta delle prove di laboratorio e dei Point Load tests.

| Range di resistenza a compressione considerato | 0-180 MPa | 0-35 MPa | 0-35 MPa (cut off 5 MPa) |
|--|-------------|-------------|--------------------------|
| numerosità campione | 182 | 160 | 101 |
| Max - MPa | 179 | 37 | 37 |
| Min - MPa | 0 | 0 | 5 |
| med- MPa | 20 | 10.8 | 15.6 |
| Sqm - MPa | 29 | 9 | 9 |
| sqm/med | 144% | 87% | 55% |

Tabella 6-3. Parametri statistici rappresentativi delle distribuzioni di UCS derivate dall'elaborazione congiunta delle prove di laboratorio e dei Point Load tests.

Sono stati analizzati i seguenti tre campioni di dati:

- UCS fra 0 e 180 MPa (rappresentativo del dato globale di tutte le prove condotte)
- UCS fra 0 e 35 MPa (rappresentativo del dato decurtato delle resistenze a compressione ascrivibili agli inclusi calcarei - palombini)
- UCS fra 0 e 35 MPa, con cut-off inferiore posto sul valore dei 5 MPa, considerato come limite minimo rappresentativo, da un punto di vista ingegneristico, delle resistenze a compressione misurate in direzione sub-parallela alla foliazione.

Come si evince dal rapporto fra deviazione standard e media aritmetica, le distribuzioni sono significativamente asimmetriche, con tendenza comunque verso una distribuzione normale di probabilità, per campioni decurtati dei valori esterni ai limiti superiore ed inferiore (rispettivamente 35-40 MPa e 5 MPa).

Caratteristiche di deformabilità

Come descritto al paragrafo 5.3.4, i moduli di Young "operativi" E_{op} dell'ammasso roccioso, utilizzabili in analisi con modelli costitutivi elastico-lineari o elastico-lineari-plastici, discendono dalle espressioni (Hoek et Diederichs, 2006), noti i moduli elastici E_i della matrice rocciosa (o roccia intatta), l'indice GSI di classificazione dell'ammasso ed il coefficiente di disturbo.

Oggetto del presente paragrafo è dunque l'elaborazione delle risultanze emerse dalle campagne di indagini geognostiche pregresse, con riferimento alle caratteristiche di deformabilità di derivazione diretta dalle prove in situ ed in laboratorio. Non sarà pertanto analizzato in questa sede il tema delle caratteristiche di deformabilità d'ammasso derivate secondo le citate relazioni di Hoek et Diederichs.

| | |
|---|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  |
| | IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02 Foglio 45 di 99 |

Nello specifico saranno analizzate le seguenti determinazioni dirette del parametro di deformabilità:

- Modulo di deformazione da prove dilatometriche in foro di sondaggio;
- Modulo di scarico (unloading) da prove dilatometriche in foro di sondaggio;
- Modulo elastico da prove di carotaggio sonico;
- Modulo elastico secante da prove di compressione mono-assiale;
- Modulo elastico tangente da prove di compressione mono-assiale.

Congiuntamente alla determinazione diretta sopracitata, sarà altresì derivato il modulo elastico della matrice rocciosa per mezzo del rapporto di modulo MR (modulus ratio), secondo la formulazione di Deere, Palmstrom e Singh.

Ai fini della selezione del valore di MR, si è elaborata la serie congiunta di dati costituita da resistenza a compressione mono-assiale e relativi moduli elastici secanti/tangenti misurati a controllo di deformazione durante lo svolgimento delle prove di laboratorio. I grafici che seguono riportano le UCS (misurate in laboratorio) ed i corrispondenti valori di MR determinato come rapporto fra E_{tang} (misurato al 50% UCS) ed UCS (si è conservativamente assunto il valor medio fra E_{tang} - E_{sec} in presenza di valori di E_{tan} significativamente superiori a E_{sec}).

Si presentano dapprima i valori di MR desunti dai risultati delle prove di resistenza a compressione mono-assiale compresi nel range 0-35 MPa (identificativo della matrice rocciosa argillitica), quindi, per completezza, i risultati associati ai valori di UCS ricadenti nel range 35-180 MPa (rappresentativo degli inclusi calcarei). Si evidenzia comunque che la determinazione diretta di MR, in funzione della successiva definizione del modulo elastico della matrice rocciosa, per mezzo della relazione di Deere-Palmstrom-Singh, assume significatività nel range 0-35 MPa (proprio, come detto, della matrice rocciosa).

Dall'esame dei dati risulta evidente la distribuzione dei valori di MR attorno al valore medio di circa 700, con riferimento al range UCS 0-35 MPa. Tale risultanza è avvallata peraltro dai valori indicati in letteratura per il modulus ratio (MR) attribuito agli scisti, compreso nel range 250-1100, con valor medio pari a 675. I valori di MR derivati dal range UCS 35-180 MPa si attestano, con dispersione maggiore, attorno al valor medio 500.

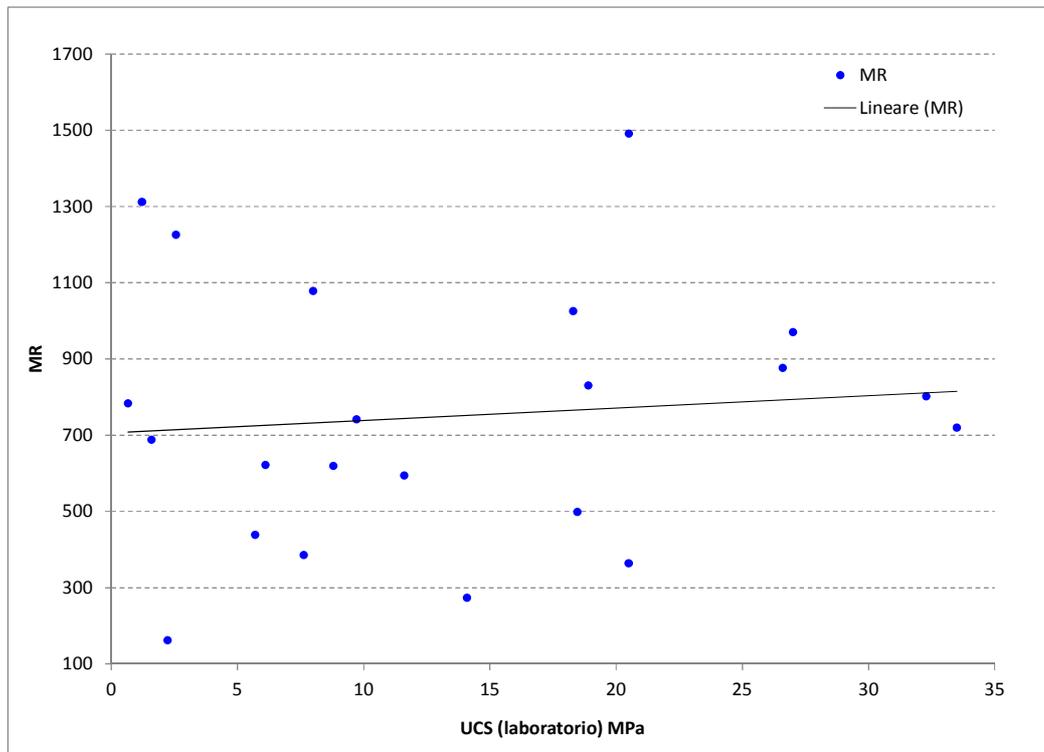


Figura 6-14. Modulus Ratio (MR) associato alle determinazioni in laboratorio UCS (range 0-35 MPa)

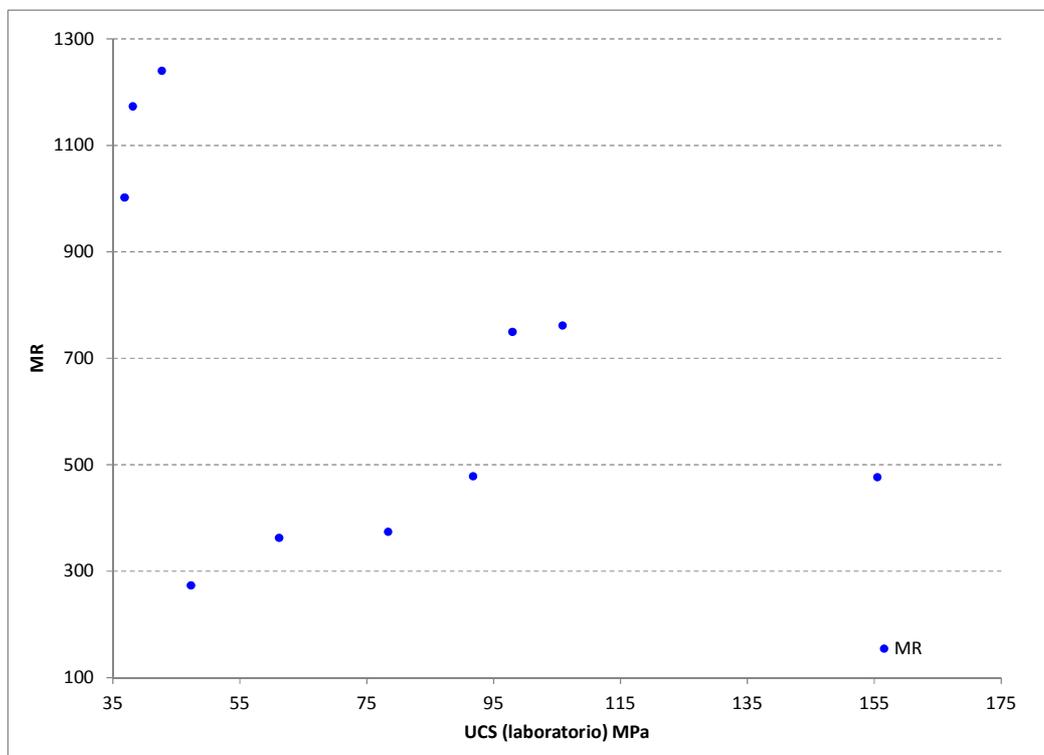


Figura 6-15. Modulus Ratio (MR) associato alle determinazioni in laboratorio UCS (range 35-180 MPa)

Il valore di MR 700, determinato dai dati sperimentali, è stato pertanto utilizzato per la determinazione dei moduli elastici della matrice rocciosa (Deere-Palmstrom-Singh), data la serie di

UCS ottenute per via diretta dalle prove di compressione mono-assiale e derivate dai Point Load Strength Index, come esposto al paragrafo precedente.

Nei grafici che seguono sono proposti nell'ordine, in relazione alla profondità dal p.c. del campione cui è associata la determinazione, i seguenti parametri di deformabilità (da campagne PP, PD, PE):

- **Modulo di deformazione da prova dilatometrica** (determinato come media dei moduli di deformazione associati ad ogni ciclo di carico, o alternativamente misurato come rapporto fra la tensione massima di prova raggiunta al ciclo superiore e la deformazione totale corrispondente);
- **Modulo di scarico – unloading – da prova dilatometrica** (determinato come media dei moduli unloading associati ad ogni ciclo di scarico) e **modulo elastico da carotaggio sonico**.

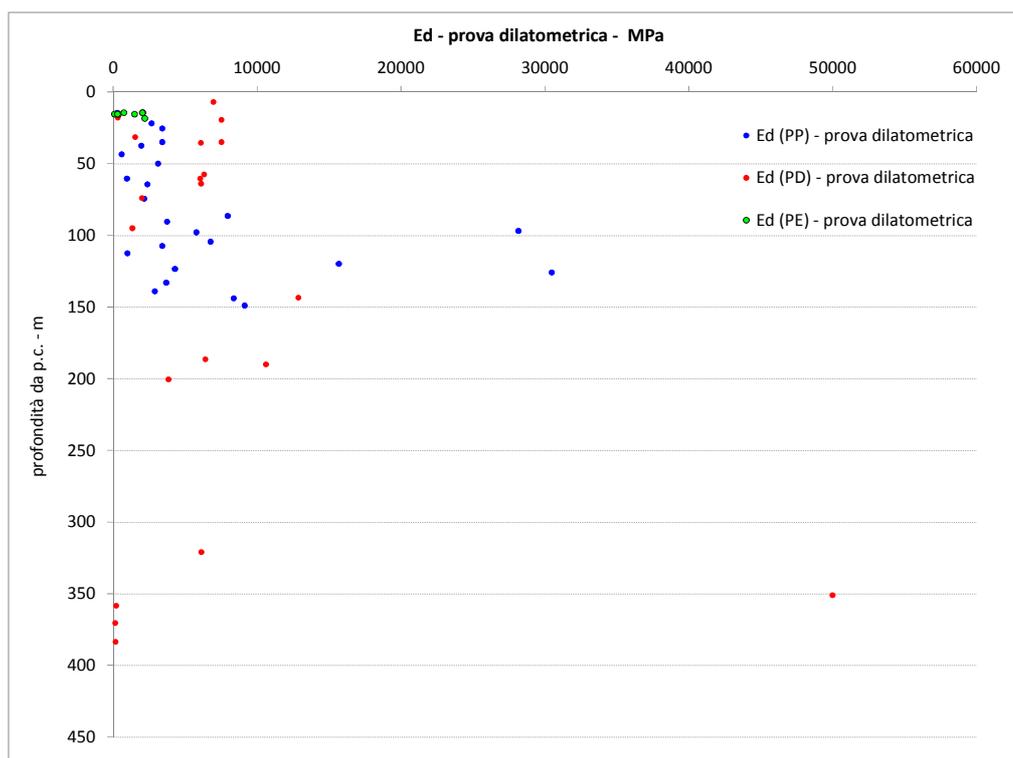


Figura 6-16. Moduli di deformazione da prova dilatometrica in foro di sondaggio, rappresentati in funzione della profondità di misurazione da p.c.

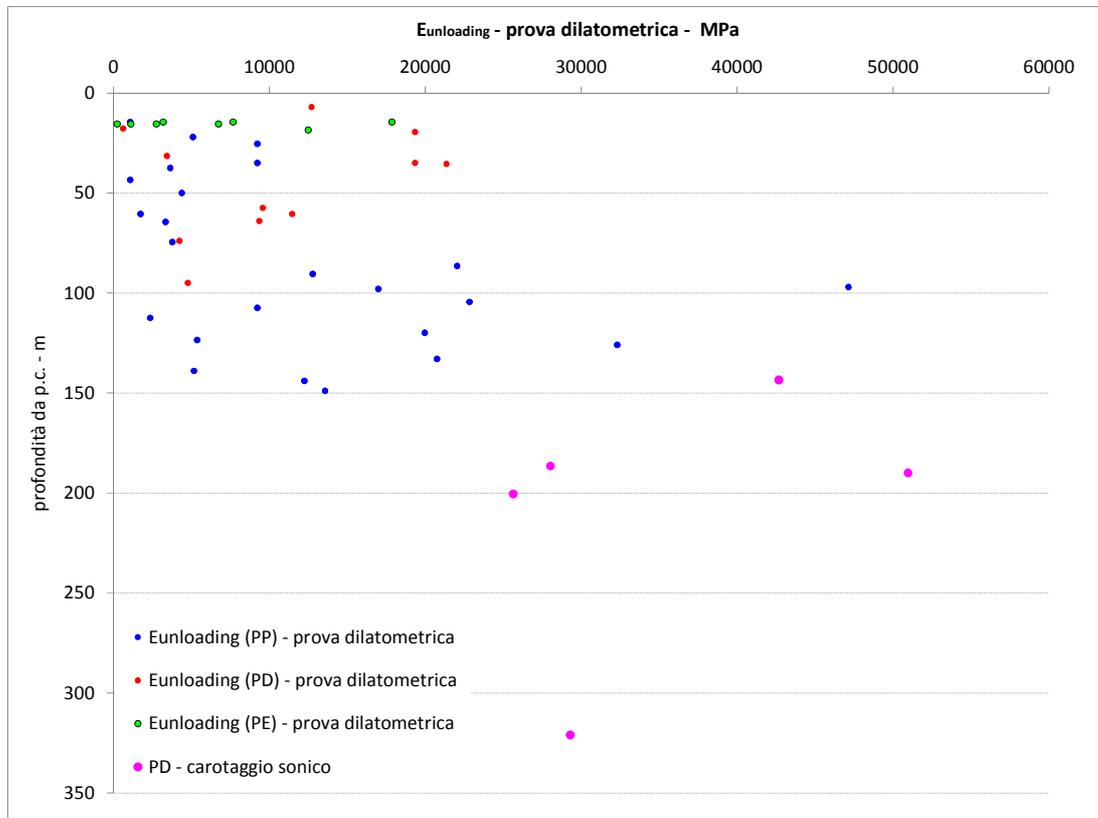


Figura 6-17. Moduli di scarico – unloading - da prova dilatometrica in foro di sondaggio, rappresentati in funzione della profondità di misurazione da p.c.

Nel grafico seguente, la serie di determinazioni desunte dalle prove in foro di sondaggio (dilatometro e carotaggio sonico) è associata ai valori di E_i (modulo elastico della matrice) derivato per via indiretta tramite il fattore MR 700.

Si propongono rispettivamente il campione dati completo e lo stesso circostanziato nel range di profondità di interesse progettuale 50-450 m, con inquadramento dell'area a maggior concentrazione di valori (0-25000 MPa).

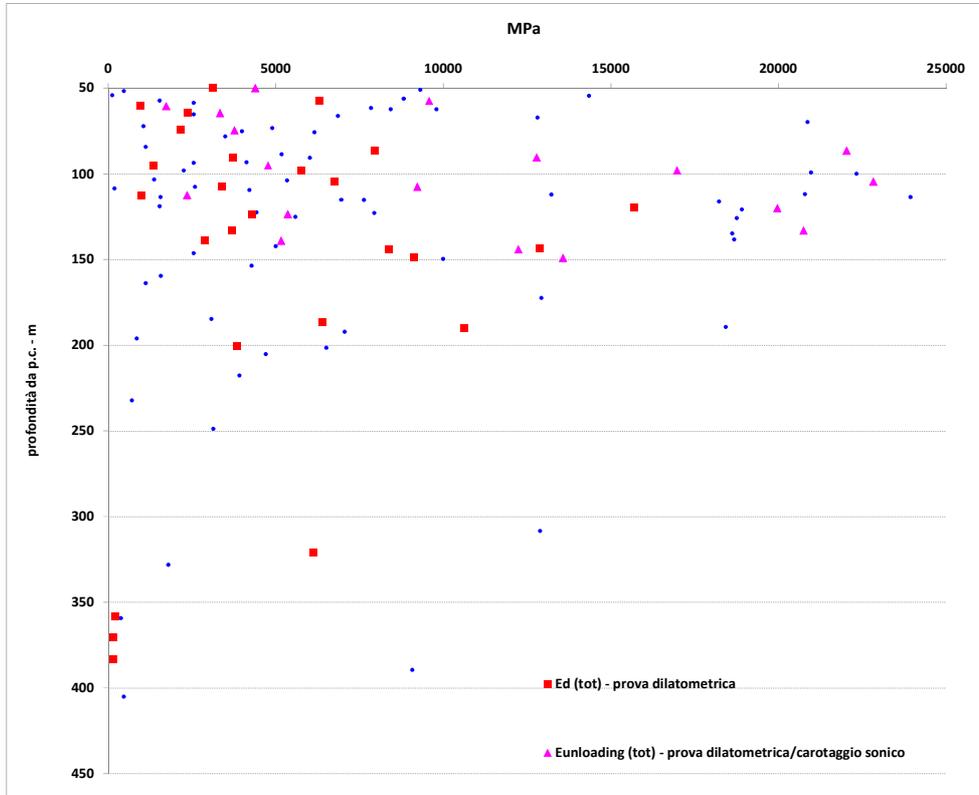
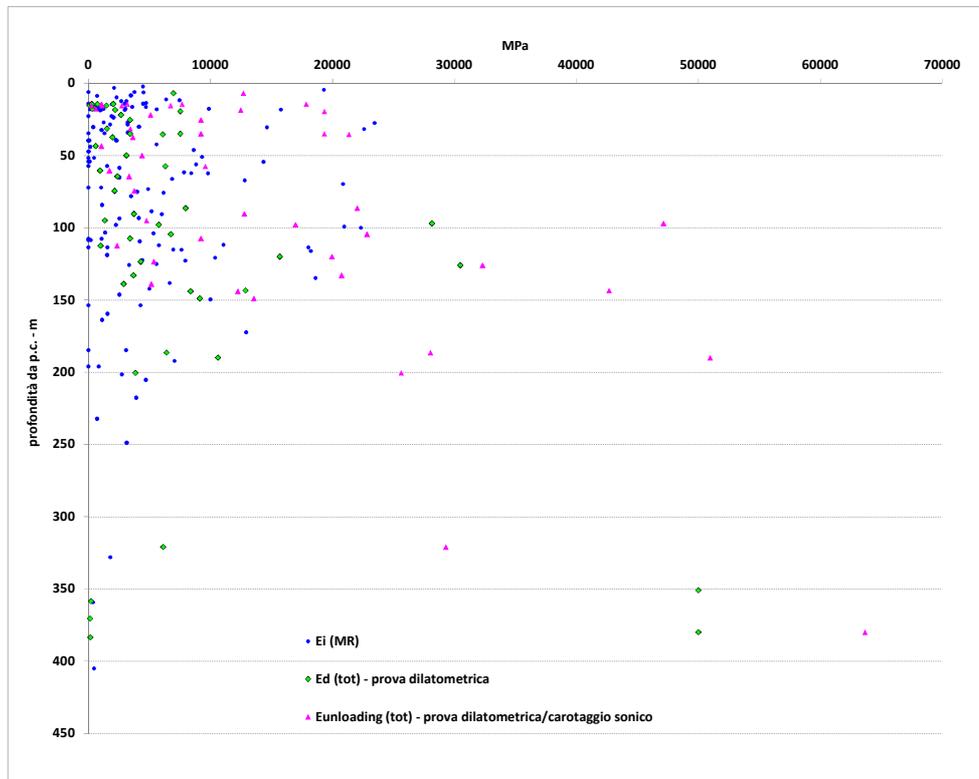


Figura 6-18. Moduli di deformazione e scarico da prova dilatometrica e moduli Ei ottenuti tramite correlazione MR-UCS, rappresentati in funzione della profondità dal p.c. della determinazione (prova in foro/campione-carota testati)

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02 |
| | Foglio 50 di 99 |

Dall'esame del campione di dati risulta quanto segue:

- non si riscontra in generale una marcata dipendenza dei parametri di deformabilità con la profondità, pur presentando i valori dei moduli di unloading ottenuti da prova dilatometrica e dei moduli elastici da carotaggio sonico una sensibile correlazione con la quota s.l.m. del punto di rilevazione.
- Nel range “operativo” limitato al valore di 25000 MPa e compreso fra le profondità di 50-200 m (intervallo con maggior frequenza di dati sperimentali), si riscontra una consistente uniformità dei parametri di deformabilità derivati da prove in situ o interpretati da prove UCS; è evidente tuttavia la notevole estensione del range di variazione del modulo, crescente con continuità da 2000 a 10000 MPa, con concentrazioni attorno ai valori di 13000 MPa e 18000-22000 MPa.

Tale variabilità è riconducibile, analogamente a quanto emerso dall'analisi della distribuzione statistica degli UCS, alla anisotropia della matrice rocciosa caratterizzante gli argilloscisti, nonché alla presenza locale di inclusi calcarei cui attribuire i valori massimali di modulo raggiunti.

La tabella di sintesi proposta nel seguito fornisce i parametri statistici rappresentativi delle distribuzioni del parametro di deformabilità derivato secondo Deere-Palmstrom e dalle prove in foro di sondaggio.

Sono analizzati i seguenti campioni di dati:

- **E_i** derivato dal campione di **UCS fra 0 e 35 MPa** (rappresentativo del dato decurtato delle resistenze a compressione ascrivibili agli inclusi calcarei - palombini);
- **E_i** derivato dal campione di **UCS fra 0 e 35 MPa**, con cut-off inferiore posto sul valore dei 5 MPa, considerato come limite minimo rappresentativo, da un punto di vista ingegneristico, delle resistenze a compressione misurate in direzione sub-parallela alla foliazione;
- **moduli di deformazione e di unloading** ottenuti dalle prove dilatometriche.

| | Ei (MR 700) | | E (dilatometro) | |
|-------------------|--------------|-----------------------|-----------------|--------------|
| | 0-35 MPa | 0-35 MPa (cut off) | Es | Etang |
| # campione | 158 | 100 | 24 | 24 |
| max | 23940 | 23940 | 30488 | 47146 |
| min | 34 | 3597 | 277 | 1070 |
| med | 7449 | 10806 | 6346 | 11889 |
| sqm | 6473 | 5899 | 7859 | 11234 |
| sqm/med | 87% | 55% | 124% | 94% |

Tabella 6-4 Parametri statistici rappresentativi delle distribuzioni del parametro di deformabilità derivato secondo Deere-Palmstrom e dalle prove in foro di sondaggio

Pur considerando la notevole dispersione delle singole distribuzioni, i valori medi si attestano, con una certa uniformità, nel range 6400-12000 MPa.

Stato tensionale in situ

Nell'ambito dello scavo dei cunicoli esplorativi Vallemme e Castagnola, l'esecuzione di prove di fratturazione idraulica (3*3 prove fino a coperture massime di 140 m) ha condotto ad un rapporto fra tensione principale orizzontale e tensione verticale varia in media tra 1.5 e 2.0.

Con maggior dettaglio, si riporta sinteticamente nel seguito l'esito delle singole prove condotte.

Cunicolo Vallemme – sezione L1

tensione principale verticale (direzione imposta) 3.0 MPa
 tensione orizzontale maggiore 5.4 MPa
 tensione orizzontale minore 2.3 MPa

Direzione degli sforzi: circa parallela all'asse del cunicolo.

k0 massimo pari a: k0=1.8

Cunicolo Vallemme – sezione L2

tensione principale verticale (direzione imposta) 1.70 MPa
 tensione orizzontale maggiore 4.21 MPa
 tensione orizzontale minore 1.75 MPa

Direzione degli sforzi: circa parallela all'asse del cunicolo..

k0 massimo pari a: k0=2.5

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02 Foglio 52 di 99 |

Cunicolo Vallemme – sezione nicchia

| | |
|---|----------|
| tensione principale verticale (direzione imposta) | 2.00 MPa |
| tensione orizzontale maggiore | 5.00 MPa |
| tensione orizzontale minore | nd |

Direzione degli sforzi: circa parallela all'asse del cunicolo.

k0 massimo pari a: $k_0=2.5$

Cunicolo Castagnola – sezione C1

| | |
|---|----------|
| tensione principale verticale (direzione imposta) | 2.40 MPa |
| tensione orizzontale maggiore | 5.00 MPa |
| tensione orizzontale minore | 3.10 MPa |

Direzione degli sforzi: leggermente inclinata (30° circa) rispetto all'asse del cunicolo.

k0 massimo pari a: $k_0=2.1$

In merito alle determinazioni sopra esposte è opportuno precisare quanto segue:

- dalle prove eseguite non è stato possibile ottenere indicazioni riguardanti un suo possibile cambiamento con la profondità, pertanto, alle profondità maggiori non ancora investigate tramite l'indagine in sito, tale rapporto è da ritenersi tuttora incognito ed esso andrà ricercato attraverso prove dirette alla ripresa dei lavori;
- l'esame relativo all'andamento delle singole prove ha messo in luce il possibile condizionamento dei risultati delle prove dal disturbo arrecato dallo scavo stesso evidenziato dalla riduzione del valore di "shut in" nelle prove più prossime alla parete dello scavo, determinando in tal modo che i valori dei k_0 valutati possano in realtà risultare diversi da quelli strettamente deducibili dallo stato tensionale registrato;
- la tensione principale verticale in corrispondenza della sezione L2 del cunicolo Vallemme è notevolmente inferiore a quella derivabile dall'azione della gravità ($27 \cdot 135 = 3.65$ MPa). Tale differenza è da considerarsi anomala nel contesto della totalità delle prove eseguite e può attribuirsi all'effetto sull'ammasso del forte disturbo tettonico registrato nella zona delle prove cui si associa la deviazione dei flussi tensionali con concentrazione sulle zone più rigide dell'ammasso.

Emerge in definitiva dalle prove in cunicolo, un quadro tensionale caratterizzato dalla predominanza della tensione orizzontale principale sulla tensione verticale, coerentemente con un rapporto k_0 compreso mediamente fra 2 e 2.5.

| | |
|---|--|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  |
| | <p>IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 53 di 99</p> |

In sede di Progettazione Esecutiva – 1° lotto (2012-2013), i risultati ottenuti dalle prove di fratturazione idraulica eseguite nel sondaggio SLI2, rispettivamente alla profondità di m 138.2 e m 145.5 dal piano campagna, hanno rilevato:

- una direzione Est-Ovest di massima compressione ($\Psi \max = (94-274)^\circ \pm 26^\circ$).
- indipendenza dalla copertura delle direzioni principali di tensione
- variazione lineare con la copertura delle tensioni principali
- variazione del rapporto k_0 , indipendentemente dalla copertura, in funzione della direzione, nell'intervallo:

$$K_{0MAX} = SH/SV = 2.32$$

$$K_{0MIN} = Sh/SV = 1.18$$

Si riportano nel seguito i plottaggi delle componenti di tensione con la profondità, come discende dall'interpretazione delle prove di fratturazione idraulica e gli stereogrammi raffiguranti il tensore degli sforzi corrispondente alla profondità di 150 m.

In conclusione, pur considerando gli ampi limiti di confidenza dello stato tensionale in situ, connessi all'esiguo numero di prove condotte nelle Campagne di Indagine ad oggi condotte, è ragionevole ipotizzare uno stato tensionale caratterizzato da tensioni orizzontali uguali o maggiori della tensione verticale, cui associare, allo stato attuale della conoscenza, un rapporto k_0 variabile nel range 1.0-2.0 definito anche alla luce dei fattori di incertezza connessi alla rilevazione strumentale (si vedano le considerazioni in merito alle prove di fratturazione idraulica in cunicolo).

STRESS FIELD PLOT N. 2

— maximum horizontal stress SH
— minimum horizontal stress Sh
— vertical stress Sv
■ range of the test Ps values
● Test HF

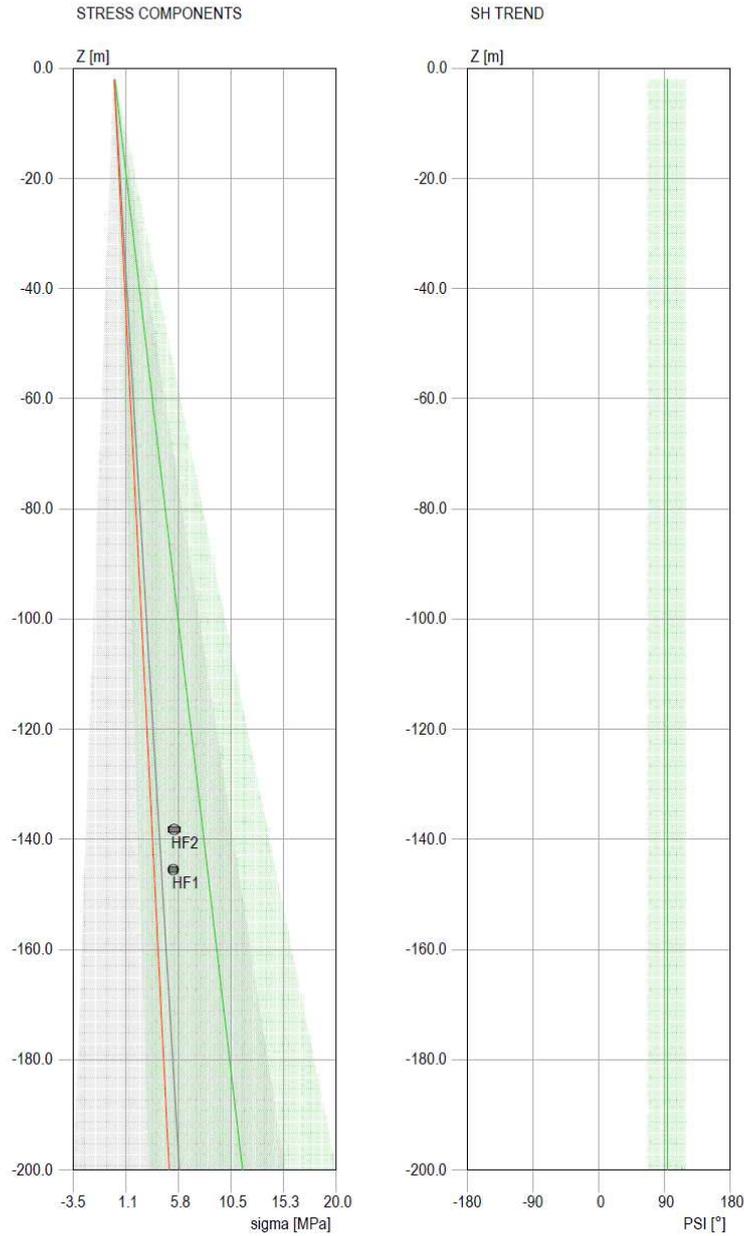


Figura 6-19. Interpretazione prove di fratturazione idraulica

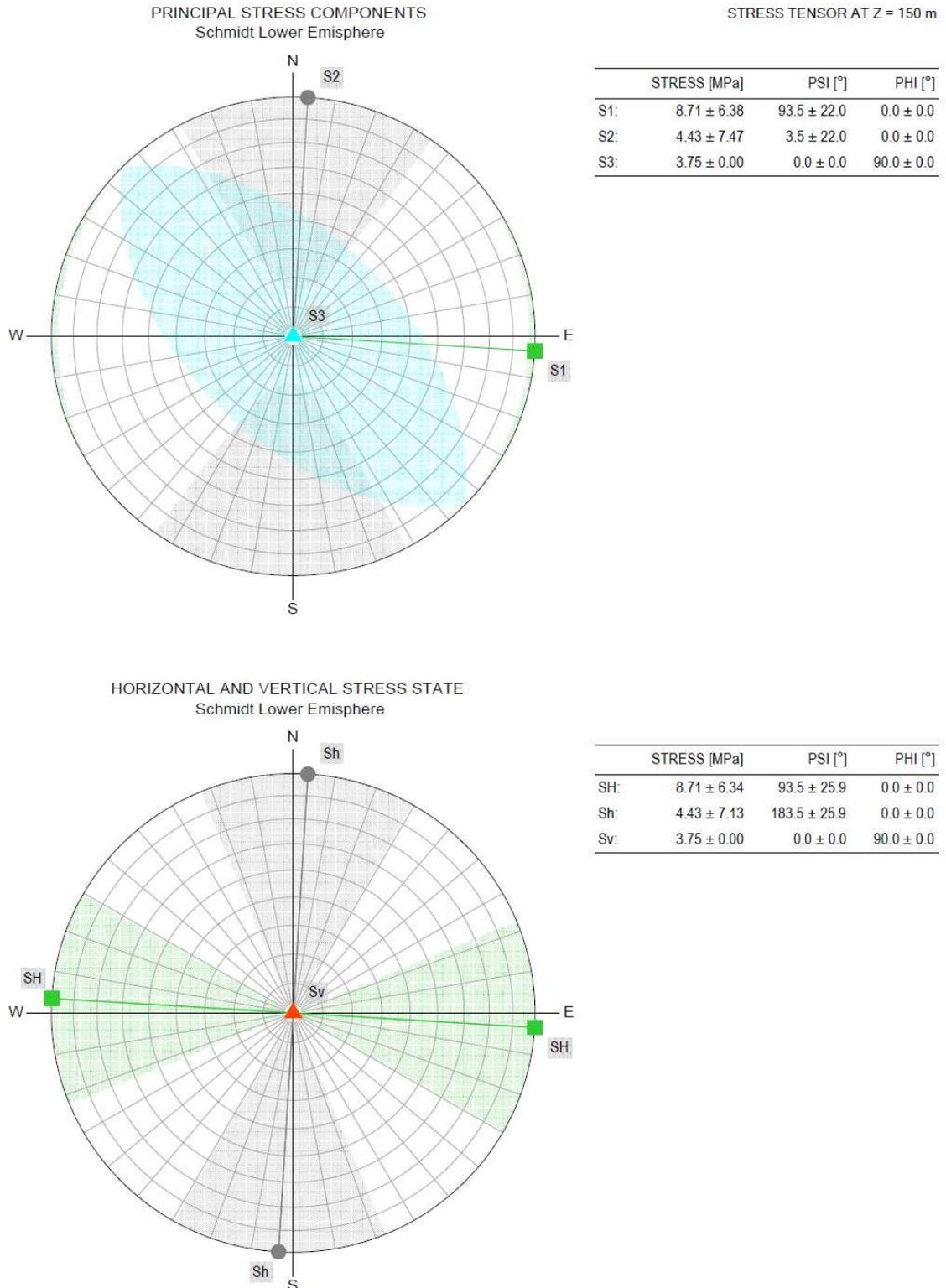


Figura 6-20. Interpretazione prove di fratturazione idraulica

6.1.2 Analisi campione risultati correlata alle caratteristiche di fratturazione dell'ammasso

Note generali

Scopo della Fase di analisi in oggetto è la valutazione della distribuzione dei parametri fisico-meccanici, il cui campione globale è stato esaminato alla fase precedente, in relazione alle caratteristiche di fratturazione dell'ammasso, esplicitate dal parametro RQD.

Si sono pertanto associati i valori di RQD misurati in corrispondenza delle profondità di esecuzione delle prove in situ e del prelievo di campioni per le prove di laboratorio, alle rispettive determinazioni sperimentali.

In considerazione dell'elevato numero dei sondaggi a disposizione (campagne di PP, PD, PE), tale operazione è stata limitata alle verticali di indagine più vicine all'asse di tracciamento della linea.

Caratteristiche fisiche

Si riportano nel seguito i grafici del peso di volume naturale e della conducibilità idraulica rappresentati in funzione dei valori di RQD.

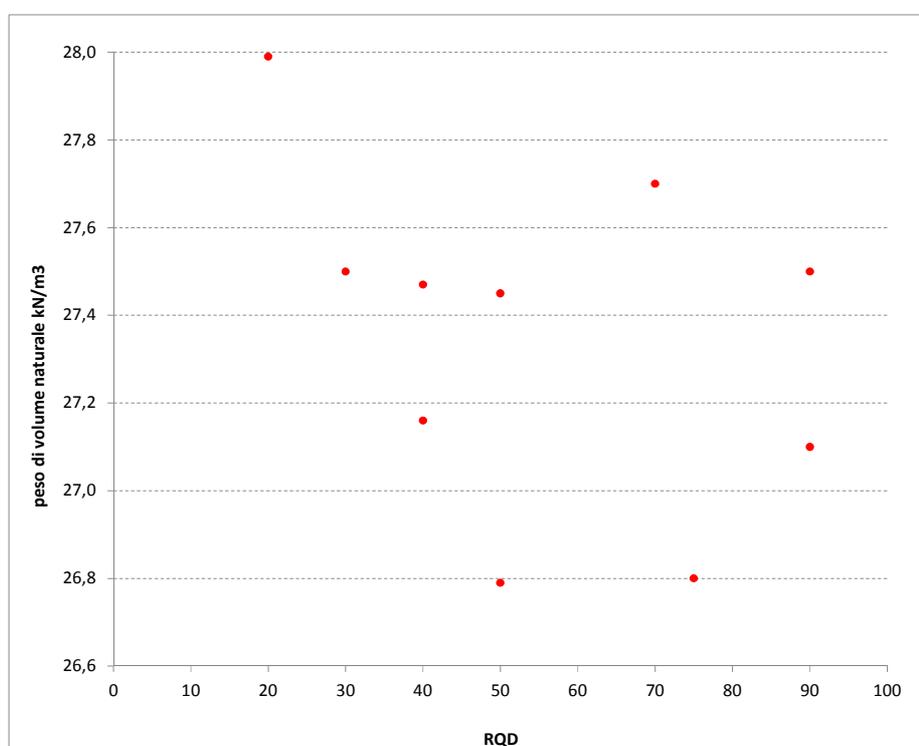


Figura 6-21. Peso di volume naturale in funzione dell'indice RQD proprio del settore di determinazione

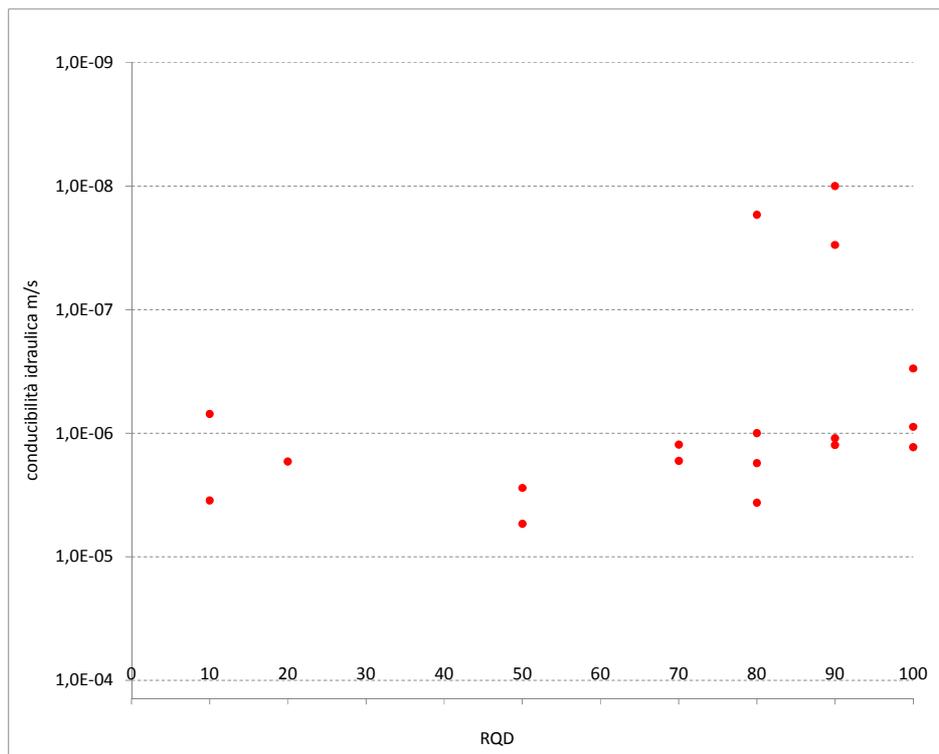


Figura 6-22. Conducibilità idraulica in funzione dell'indice RQD proprio del settore di determinazione

A fronte di una distribuzione uniforme del peso di volume naturale in relazione all'RQD, si evidenzia un legame di proporzionalità inversa fra conducibilità idraulica e RQD. La tabella che segue fornisce i parametri rappresentativi delle distribuzioni dei valori di conducibilità idraulica associate alle tre concentrazioni di punti sperimentali individuabili (pur nella esiguità del campione complessivamente analizzato).

| RQD | 70-100 | ≅ 50 | < 20 |
|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| numerosità campione | 16 | 4 | 9 |
| max – m/s | 8.56E-06 | 6.40E-06 | 1.16E-05 |
| Min – m/s | 1.00E-08 | 1.58E-06 | 2.00E-08 |
| Med – m/s | 1.96E-06 | 4.05E-06 | 3.74E-06 |
| Sqm – m/s | 2.72E-06 | 2.24E-06 | 3.69E-06 |
| sqm/med | 139% | 55% | 99% |

Tabella 6-5. Parametri rappresentativi delle distribuzioni dei valori di conducibilità idraulica associate alle tre concentrazioni di indici RQD emerse dalla rappresentazione grafica

Caratteristiche di resistenza

Si riportano nel seguito, in funzione dei valori di RQD, i seguenti parametri di resistenza:

- **Compressione mono-assiale - UCS;**
- **Resistenza a trazione indiretta** da prova brasiliana;
- **Parametro mi** di Hoek-Brown.

Tale parametro è stato calcolato interpolando le coppie di valori di tensioni principali a rottura ($\sigma_1 - \sigma_3$) desunte dalle prove di compressione triassiale condotte nell'ambito della campagna di indagini propedeutica alla progettazione definitiva. Stante il limitato numero di prove di compressione triassiale condotte, si riportano nel grafico anche i punti sperimentali relativi alla formazione classificata come fascia milonitica di isoverde, assimilabile, da un punto di vista geo-meccanico, alla formazione degli argilloscisti.

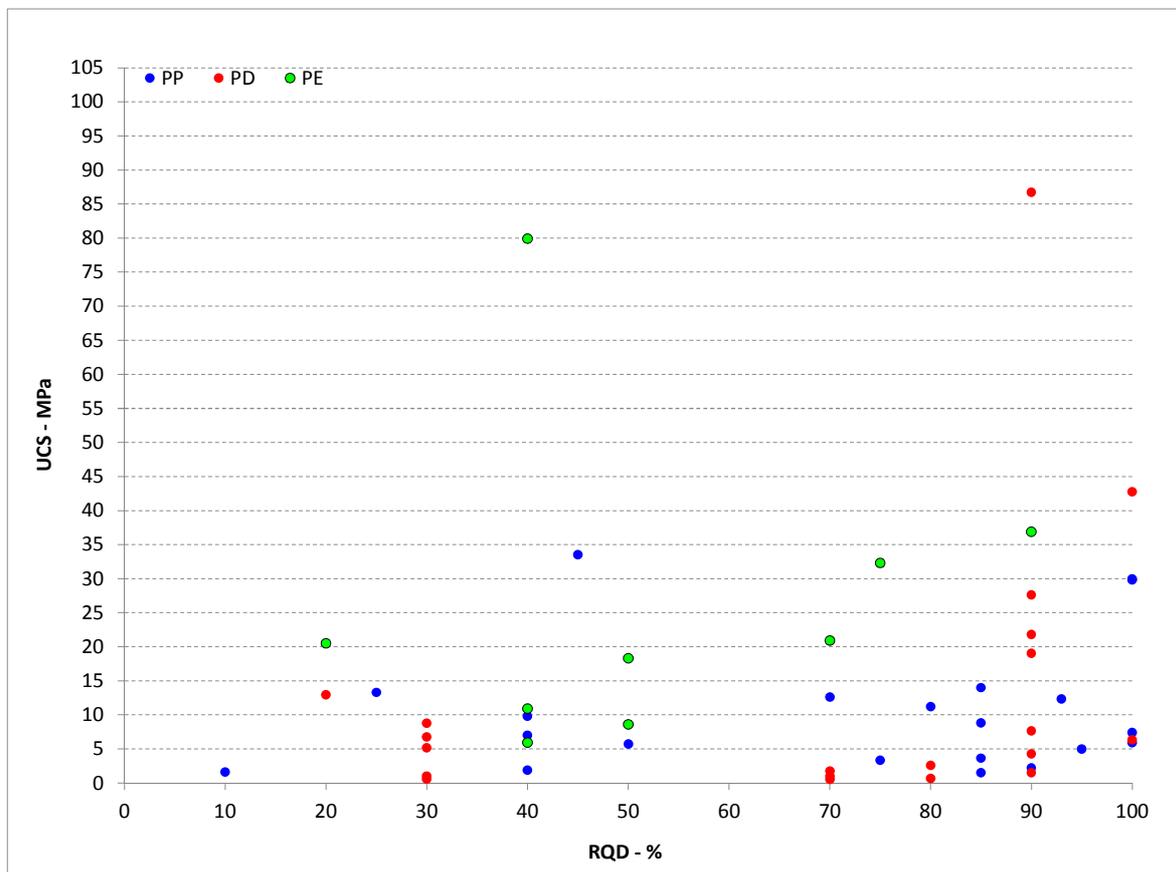


Figura 6-23. UCS in funzione dell'indice RQD proprio del settore di determinazione

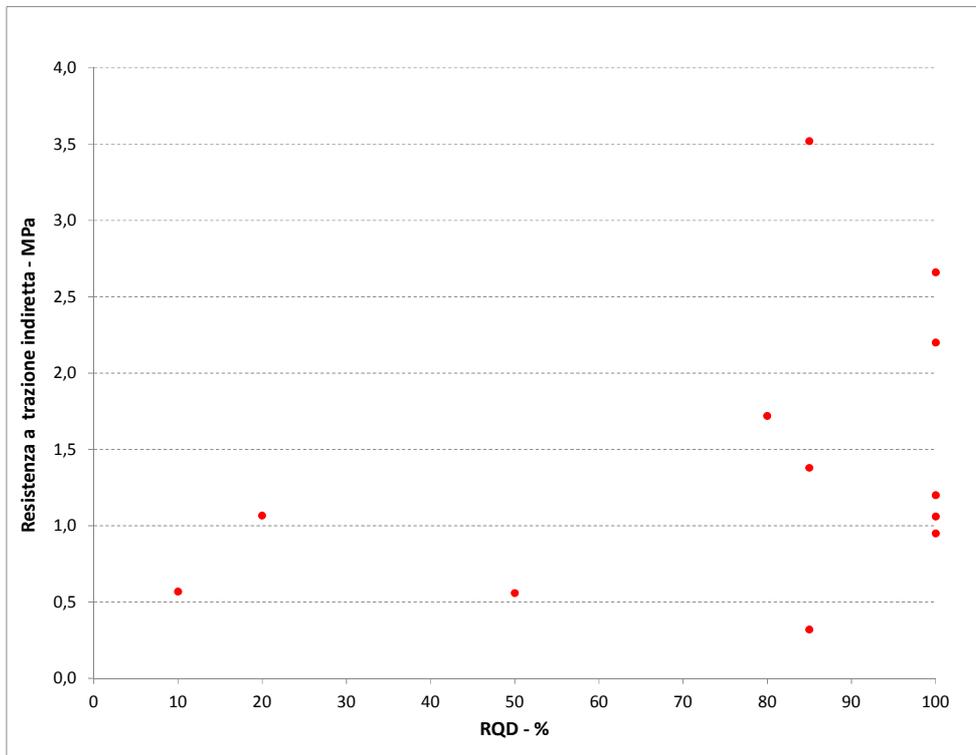


Figura 6-24. Resistenza a trazione indiretta in funzione dell'indice RQD proprio del settore di determinazione

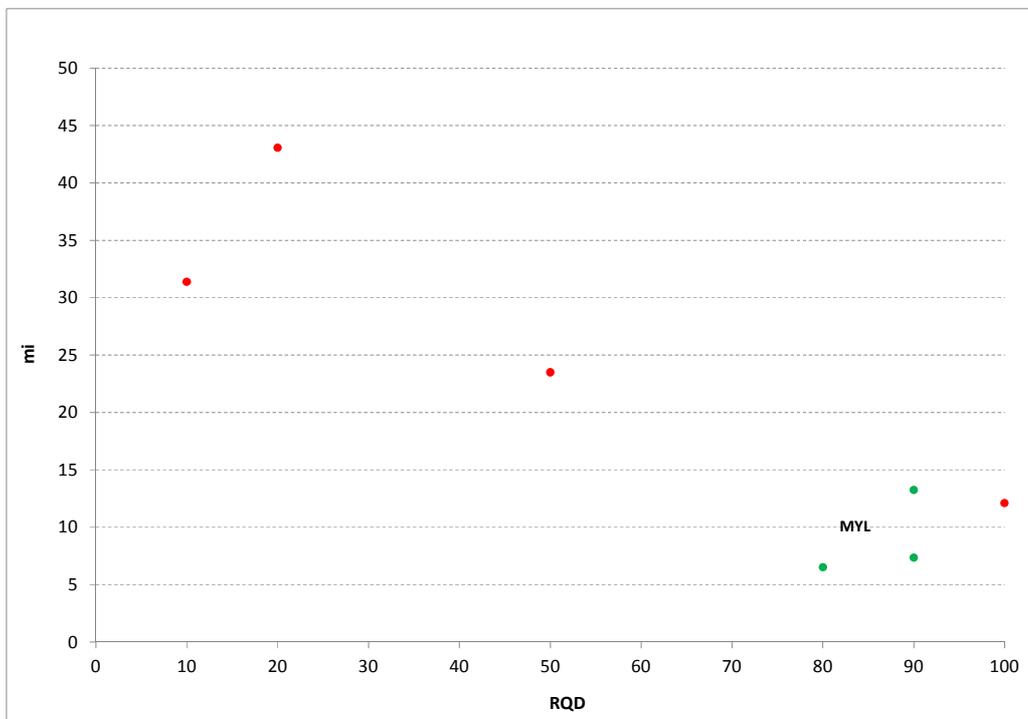


Figura 6-25. Parametri mi Hoek-Brown in funzione dell'indice RQD proprio del settore di determinazione

Dall'esame della distribuzione delle determinazioni congiunte parametri di resistenza – RQD, è possibile rilevare quanto segue:

- sia la resistenza a compressione UCS (campione a buona numerosità) che la resistenza a trazione indiretta mostrano una relazione di proporzionalità diretta con l'indice RQD;
- il valore del parametro m_i di Hoek Brown, pur considerando la modesta rappresentatività del risultato, in relazione all'esiguità di risultati sperimentali a disposizione, evidenzia una proporzionalità inversa con l'indice RQD.

Analogamente a quanto evidenziato per le caratteristiche fisiche al paragrafo precedente, si riportano, nelle tabelle che seguono, i parametri rappresentativi delle distribuzioni delle caratteristiche di resistenza associate alle tre concentrazioni di punti sperimentali similmente individuabili (pur nella esiguità del campione complessivamente analizzato, specie con riferimento ai valori di trazione indiretta e m_i).

Si precisa che l'analisi statistica della distribuzione di valori relativa agli UCS è stata condotta escludendo dal campione i due punti sperimentali associati a valori di resistenza compresi fra 80-90 MPa, considerando gli stessi rappresentativi degli inclusi calcarei (palombini) e non della matrice rocciosa degli argilloscisti. Si evidenzia inoltre la scarsa rappresentatività dell'unico dato riferito al range UCS < 20-25 MPa, pur considerando la collocazione dello stesso nell'ambito della tendenza globale di proporzionalità UCS –RQD, risultante dall'analisi del campione nella sua totalità.

Le tabelle che seguono, si riferiscono rispettivamente alla distribuzione UCS-RQD limitata al range 0-35/40 MPa ed alla medesima con cut-off inferiore posto sul valore dei 5 MPa, considerato come limite minimo rappresentativo, da un punto di vista ingegneristico, delle resistenze a compressione misurate in direzione sub-parallela alla foliazione.

| RQD | 70-100 | $\cong 50$ | < 20-25 |
|----------------------|-------------|------------|------------|
| numerosità campione | 28 | 15 | 1 |
| σ_c max - MPa | 32,3 | 33,5 | - |
| σ_c min - MPa | 0,5 | 0,5 | - |
| σ_c med - MPa | 10,6 | 9,1 | 3-5 |
| Sqm - MPa | 10,1 | 8,2 | - |
| sqm/med | 95% | 90% | - |

Tabella 6-6. Parametri rappresentativi delle distribuzioni dei valori di UCS associate alle tre concentrazioni di indici RQD emerse dalla rappresentazione grafica – campione 0-35/40 MPa

| RQD | 70-100 | $\cong 50$ | < 20-25 |
|----------------------|-------------|-------------|------------|
| numerosità campione | 21 | 14 | 1 |
| σc max - MPa | 42,8 | 33,5 | - |
| σc min - MPa | 3,3 | 5,1 | - |
| σc med - MPa | 17,1 | 11,9 | 3-5 |
| Sqm - MPa | 11,9 | 7,8 | - |
| sqm/med | 70% | 65% | - |

Tabella 6-7. Parametri rappresentativi delle distribuzioni dei valori di UCS associate alle tre concentrazioni di indici RQD emerse dalla rappresentazione grafica – campione 0-35/40 MPa, con cut-off inferiore pari a 5 MPa (limite minimo rappresentativo delle resistenze a compressione misurate in direzione sub-parallela alla foliazione)

| RQD | 70-100 | $\cong 50$ | < 20-25 |
|----------------------|------------|------------|------------|
| numerosità campione | 8 | 1 | 2 |
| σt max - MPa | 3,5 | 0,6 | 1,1 |
| σt min - MPa | 0,3 | 0,6 | 0,6 |
| σt med - MPa | 1,6 | 0,6 | 0,8 |
| Sqm - MPa | 1,0 | 1 | 2 |
| sqm/med | 64% | 0,6 | 1,1 |

Tabella 6-8. Parametri rappresentativi delle distribuzioni dei valori di resistenza a trazione indiretta (brasiliiana) associate alle tre concentrazioni di indici RQD emerse dalla rappresentazione grafica

| RQD | 70-100 | $\cong 50$ | < 20-25 |
|---------------------|-----------|------------|-----------|
| numerosità campione | 4 | 1 | 2 |
| mi Max | 13 | 24 | 43 |
| mi Min | 7 | 24 | 31 |
| mi Med | 10 | 24 | 37 |
| mi Sqm | 3 | - | 8 |
| sqm/med | 34% | - | 22% |

Tabella 6-9. Parametri rappresentativi delle distribuzioni dei valori dei parametri mi di Hoek-Brown associate alle tre concentrazioni di indici RQD emerse dalla rappresentazione grafica

Caratteristiche di deformabilità

Si riportano nel grafico che segue, in funzione dei valori di RQD, i seguenti parametri di deformabilità:

- **Modulo di deformazione da prove dilatometriche** in foro di sondaggio;
- **Modulo di scarico (unloading) da prove dilatometriche** in foro di sondaggio e **Modulo elastico da prove di carotaggio sonico**;
- **Modulo elastico secante** da prove di compressione mono-assiale;
- **Modulo elastico tangente** da prove di compressione mono-assiale.
- **Modulo elastico della matrice E_i** determinato secondo Deere-Palmstrom.

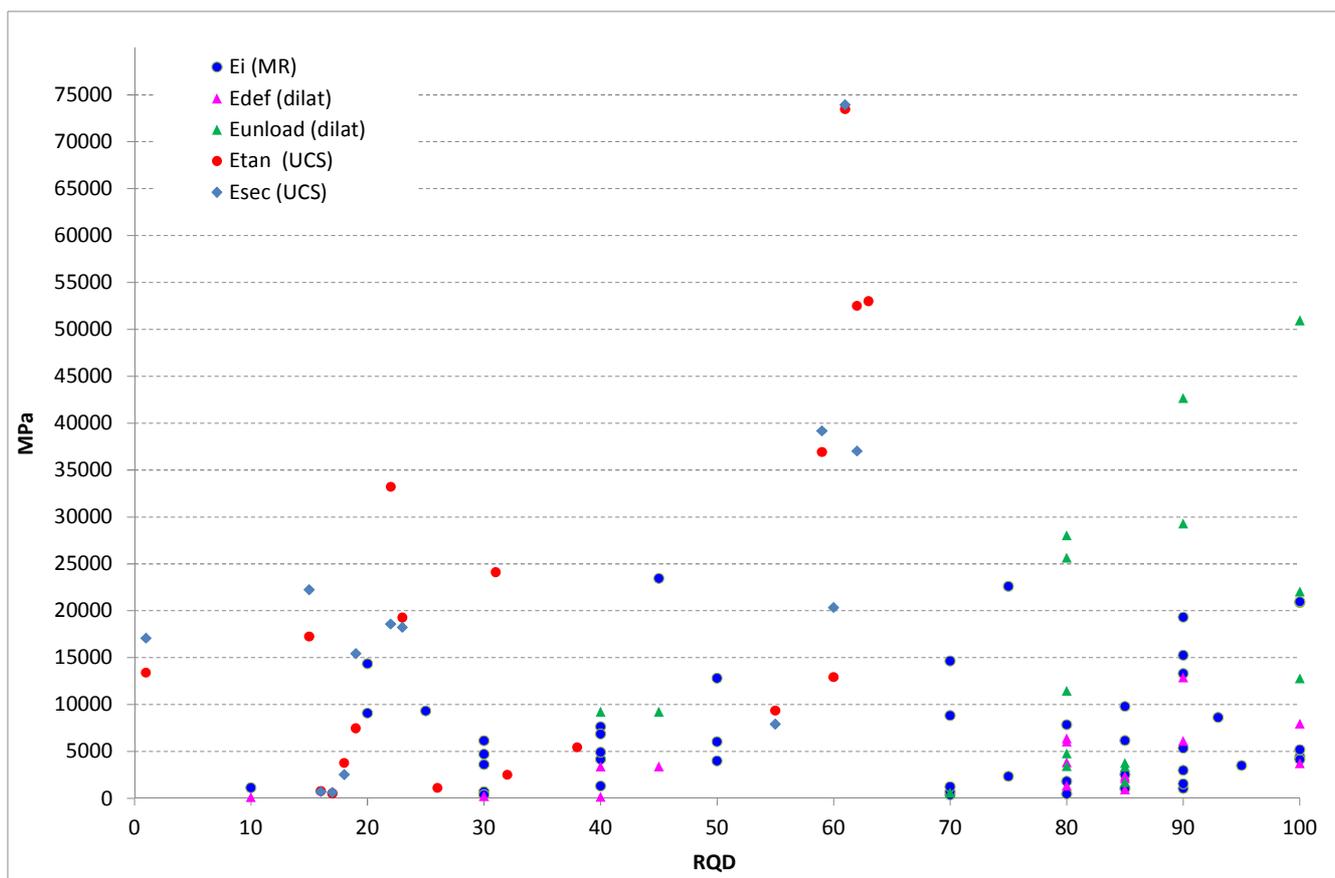


Figura 6-26. Caratteristiche di deformabilità in funzione dell'indice RQD proprio del settore di determinazione

Dall'esame della distribuzione di risultati sperimentali deriva quanto segue:

- si rileva una relazione di proporzionalità diretta fra i parametri di deformabilità e l'indice RQD, maggiormente delineata con l'esclusione dal campione dei punti sperimentali aventi valori dei moduli superiori ai 50000 MPa e collocati nel range RQD 60-65 (dati da prove di compressione mono-assiale);
- si riscontra in generale una discreta uniformità dei parametri di deformabilità derivati da prove in situ o interpretati da prove UCS; è evidente inoltre la notevole estensione del range dei valori, variabili con continuità fra i 2000 e i 30000 MPa e, con valori dispersi oltre tale limite superiore.

Tale variabilità è riconducibile, analogamente a quanto emerso dall'analisi della distribuzione statistica degli UCS, alla anisotropia della matrice rocciosa caratterizzante gli argilloscisti, nonché alla presenza locale di inclusi calcarei cui attribuire i valori massimali di modulo raggiunti.

Come evidenziato per le caratteristiche di resistenza al paragrafo precedente, si riportano, nella tabella che segue, gli intervalli di valori rappresentativi delle tre concentrazioni di punti sperimentali individuabili anche con riferimento alle distribuzioni del parametro di deformabilità (si escludono dal campione i punti sperimentali con valori dei moduli superiori ai 50000 MPa, collocati nel range RQD 60-65).

| RQD | 70-100 | ≅ 50 | < 20-25 |
|-------------|--------|-------|---------|
| E min - MPa | 3000 | 2000 | 1000 |
| E max - MPa | 40000 | 25000 | 20000 |

Tabella 6-10. Parametri di deformabilità (min/max) delle rappresentativi delle tre concentrazioni di punti sperimentali individuabili per via grafica.

Si precisa che i valori minimo e massimo individuati non discendono da analisi statistica ma da valutazioni ingegneristiche consideranti in particolare le differenti metodologie di derivazione dei moduli.

Si specifica inoltre che i parametri di deformabilità così definiti, in ragione della tipologia di prova o della formulazione teorica di derivazione, sono assimilabili alle caratteristiche elastiche della matrice rocciosa.

Si evidenzia nuovamente la tipica estensione del range dei valori, variabili con continuità all'interno di ogni intervallo, riconducibile all'anisotropia della matrice rocciosa caratterizzante gli argilloscisti, nonché alla presenza locale di inclusi calcarei cui attribuire i valori massimali di modulo raggiunti.

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02 Foglio 64 di 99 |

6.1.3 Classificazione GSI dell'ammasso sul campione analizzato

Note generali

Il presente paragrafo propone la classificazione dell'ammasso roccioso, tramite attribuzione del parametro GSI, condotta sia sui campioni estratti dalle verticali di indagine e testati in laboratorio che sulle carote associate ai punti di esecuzione delle prove in foro di sondaggio (prove dilatometriche, prove di permeabilità LUGEON). Obiettivo è dunque la determinazione dei gruppi geomeccanici associati alla formazione degli argilloscisti filladici.

Si evidenzia che, nell'attività di classificazione dell'ammasso, si è adottata, quale criterio guida, la ripartizione in gruppi geo-meccanici emersa dalla campagna di indagine condotta nell'ambito dello scavo delle tratte dei cunicoli esplorativi Vallemme e Castagnola. Tale criterio di classificazione geomeccanica sarà illustrato nel paragrafo che segue.

La classificazione della roccia è stata condotta considerando l'ammasso roccioso nella sua globalità, senza distinzione di matrice e discontinuità, applicando il metodo degli indici di qualità. Nel merito, si è ricorso alla determinazione del GSI (Geological Strength Index) proposto da Hoek (1991).

Il parametro GSI che quantifica lo stato strutturale di un ammasso roccioso, è stato stimato, nel caso in oggetto, utilizzando direttamente i ratings della classificazione di Bieniawski, adottando la seguente formula di conversione:

$$GSI = RMR89 - 5$$

Come mostrato nel seguito, la determinazione del parametro GSI è stata condotta con riferimento ai punti sperimentali RQD – caratteristiche fisico-meccaniche oggetto di analisi nella precedente FASE 2.

Criterio di classificazione geomeccanica definito dallo scavo dei cunicoli esplorativi

Sulla base dei dati raccolti, scaturiti dai rilievi strutturali, dalle colonne stratigrafiche ricavate dai sondaggi, nonché dai rilievi del fronte di scavo durante l'avanzamento del cunicolo esplorativo, è stato possibile effettuare una suddivisione dell'ammasso roccioso in 3 differenti gruppi geomeccanici (gruppi 1, 2 e 3). Per la descrizione dettagliata di tale fase di studio, si rimanda alla Relazione Geomeccanica Generale del Progetto Definitivo – documento A301-00-D-CV-RO-GN000X-003-A.

L'omogeneità e l'assimilabilità nell'ambito di ciascun gruppo sono state definite in base a criteri litologici (composizione mineralogica e petrografica, percentuale di palombino relativamente alla matrice argillitica, grado di alterazione).

I principali fattori considerati per l'individuazione di tali gruppi sono:

- **Criteri litologici** (composizione mineralogica e petrografica, percentuale di palombino relativamente alla matrice argillitica, grado di alterazione, eventuale presenza di acqua)

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02 |
| | Foglio 65 di 99 |

- **Criteri strutturali** (caratteristiche delle strutture di separazione, indice RDQ, intensità della foliazione, intensità della tettonizzazione come ad esempio la presenza di struttura a pieghe fino alla microscaia,
- **Criteri litomeccanici** (con riferimento ad una prima valutazione delle proprietà fisiche, di resistenza e deformabilità).

Nel seguito si fornisce una sommaria descrizione dei gruppi geomeccanici individuati:

Gruppo geomeccanico 1

L'ammasso presenta discrete proprietà geomeccaniche. L'RQD è mediamente maggiore del 50-60%; si individua chiaramente la foliazione regolarmente spaziata anche se la struttura non è intensamente piegata fino alla microscaia. Le superfici dei giunti sono prive di alterazione e la circolazione idrica è scarsa o assente. La presenza dei palombini può superare il 50% fino a condizionare completamente il comportamento generale dell'ammasso; gli strati calcarei sono però poco fratturati e poco alterati. Mediamente nel corso dello scavo questo gruppo litologico è stato incontrato con una percentuale pari al 28%.

Gruppo geomeccanico 2

L'ammasso mostra scadenti proprietà geomeccaniche. L'RQD è variabile mediamente tra il 20 e il 50%; si individua ancora chiaramente la foliazione regolarmente e fittamente spaziata ma con struttura più intensamente piegata, fino alla microscaia. Le superfici dei giunti sono da poco alterate ad alterate e la circolazione idrica è scarsa. I palombini, quando presenti (non oltre il 50%), risultano da fratturati a molto fratturati e localmente alterati. Mediamente nel corso dello scavo è stato incontrato con una percentuale pari al 55%.

Gruppo geomeccanico 3

L'ammasso che ricade in questo gruppo appartiene a zone particolarmente tettonizzate o alterate e mostra proprietà geomeccaniche molto scadenti. L'RQD è inferiore mediamente al 20%; la foliazione è talmente intensa ed irregolarmente e fittamente spaziata che può non essere più riconoscibile (ammasso destrutturato con perdita di coesione); la struttura, quando riconoscibile, è intensamente piegata fino alla microscaia. Le superfici dei giunti sono da alterate a molto alterate e la circolazione idrica può essere significativa. I palombini, quando presenti (non oltre il 30%), risultano intensamente fratturati ed alterati. Mediamente nel corso dello scavo è stato incontrato con una percentuale pari al 17%.

In sintesi:

- il **Gruppo 1** può essere considerato rappresentativo delle condizioni migliori d'ammasso roccioso;
- il **Gruppo 2** può essere considerato rappresentativo delle caratteristiche medie dell'ammasso roccioso;
- il **Gruppo 3** può essere considerato rappresentativo del comportamento dell'ammasso roccioso delle zone a bassa copertura o in corrispondenza di importanti strutture geologiche (es. faglie, nuclei di pieghe, sovrascorrimenti, ecc.).

Implementazione della classificazione geomeccanica

La determinazione del BRMR è stata condotta secondo la procedura operativa descritta la 5.3.2 della presente relazione geotecnica.

Si precisa in particolare quanto segue:

- il **punteggio 1** è stato attribuito considerando il dato RQD associato ad ogni punto sperimentale oggetto di analisi in fase 2;
- la somma dei **punteggi 2 e 3** è stata definita coerentemente con le indicazioni fornite dal grafico sotto riportato, noto il dato sull'indice RQD;

CHART D Chart for Correlation between RQD and Discontinuity Spacing

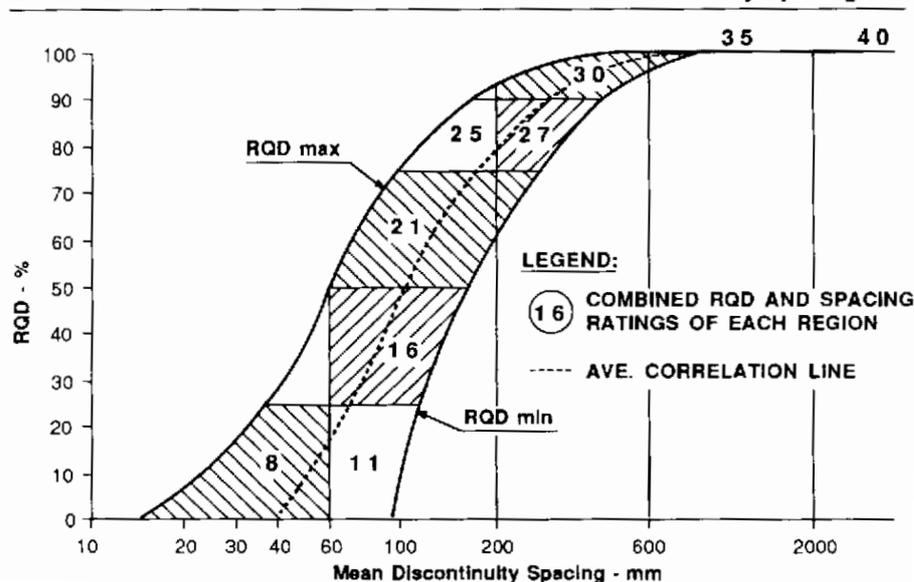


Figura 6-27. Nomogramma per la determinazione del punteggio combinato associato allo stato di fratturazione dell'ammasso (RQD) ed alla spaziatura delle discontinuità, nell'ambito della definizione dell'indice RMR.

- il **punteggio 4** è stato definito assumendo tre tipologie tipiche di discontinuità, ognuna riconducibile ai tre gruppi geo-meccanici emersi dalle analisi condotte in seguito allo scavo dei cunicoli esplorativi. L'attribuzione dei ratings propri delle condizioni di rugosità e alterazione delle superfici di giunto, delle caratteristiche fisiche e geometriche del materiale di riempimento è stata dunque dettata dalle indicazioni contenute in merito nelle descrizioni sommarie degli stessi gruppi geomeccanici riportate al paragrafo precedente. Il punteggio assegnato alla persistenza è stato definito sulla base delle informazioni ottenute dai rilievi geo-strutturali di superficie (PP), inerenti la formazione in esame, già presentati al paragrafo 4.2

Si è dunque considerata la seguente variabilità del punteggio 4, per ognuno dei gruppi geomeccanici:

- gruppo G1: min 19 max 22
- gruppo G2: min 8 max 18 (15)
- gruppo G3: min 3 max 8

- il **punteggio 5** è stato posto pari a 15, coerentemente con l'assunzione di condizioni asciutte per l'ammasso, finalizzata alla conversione del BRMR in GSI.

A valle della definizione di valori minimo/massimo del BRMR per ogni punto sperimentale (derivati dal range imposto al punteggio 4 – condizioni di giunto), si è ottenuta, per ogni gruppo geomeccanico, composto dai punti sperimentali aventi valore di RQD compreso nel rispettivo intervallo di pertinenza (0-20 / 20-55 / 55-100), la distribuzione di GSI descritta nel prospetto che segue.

| GRUPPO G1 | | | | GRUPPO G2 | | | | GRUPPO G3 | | | |
|---------------------|------------|------------|------------|---------------------|------------|------------|------------|---------------------|------------|------------|------------|
| Numerosità campione | 32 | | | Numerosità campione | 15 | | | Numerosità campione | 3 | | |
| GSI | min | max | avg | GSI | min | max | avg | GSI | min | max | avg |
| max | 68 | 71 | 70 | max | 38 | 48 | 43 | max | 26 | 31 | 29 |
| min | 51 | 54 | 53 | min | 35 | 45 | 40 | min | 22 | 27 | 25 |
| med | 58 | 61 | 60 | med | 36 | 46 | 41 | med | 25 | 30 | 27 |
| sqm | 5 | 5 | 5 | sqm | 1 | 1 | 1 | sqm | 2 | 2 | 2 |
| sqm/med | 8% | 8% | 8% | sqm/med | 2% | 2% | 2% | sqm/med | 9% | 8% | 9% |

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02 |
| | Foglio 68 di 99 |

Sulla base dell'analisi dei risultati delle prove di laboratorio ed in foro di sondaggio, associate alle verticali di indagini condotte in sede di PP, PD, PE 1° lotto, si delineano dunque i seguenti intervalli di GSI, per ognuno dei gruppi-geomeccanici classificati secondo i criteri dettati dall'esperienza dei cunicoli esplorativi:

- gruppo **G1**: 50 - 60 (*)
- gruppo **G2**: 35 - 50
- gruppo **G3**: 20 - 30

(*) Si è posto il limite superiore pari a 60 (valore medio della distribuzione dei GSI max), in linea con le indicazioni di letteratura in merito alle formazioni scistose. Si sottolinea inoltre la debole rappresentatività del risultato ricavato per il gruppo 3, in virtù del basso numero di campioni a disposizione.

6.1.4 Caratterizzazione Geo-meccanica degli argilloscisti

Note generali

La caratterizzazione geotecnica-geomeccanica delle Argilliti a Palombini descritta nel seguito, conduce definizione dei parametri fisico-meccanici rappresentativi di ogni gruppo geomeccanico individuato nella fase precedente.

L'esito finale di tale attività è disceso dall'analisi comparata delle risultanze dell'elaborazione condotta sui dati derivati dalle campagne geognostiche del PP-PD-PE e del quadro conoscitivo completo emerso dallo scavo dei cunicoli esplorativi.

Caratteristiche fisiche

L'esito delle analisi condotte nel presente studio, avente come oggetto tutti i sondaggi rappresentativi della formazione degli argilloscisti (PP+PD+PE), è in linea con le determinazioni ottenute dallo scavo dei cunicoli esplorativi. Si definiscono pertanto i seguenti parametri, per i tre gruppi geomeccanici:

- **Gruppo G1**

- Peso di volume: 27 kN/m³
- Coefficiente di Poisson. 0.25-0.30
- Conducibilità idraulica: 1E-6 m/s / 1E-7 m/s

- **Gruppo G2**

- Peso di volume: 27 kN/m³
- Coefficiente di Poisson. 0.25-0.30
- Conducibilità idraulica: 4E-6 m/s

- **Gruppo G3**

- Peso di volume: 26 kN/m³
- Coefficiente di Poisson. 0.30
- Conducibilità idraulica: 4E-6 m/s

Caratteristiche di resistenza

Come emerso al paragrafo 6.1.1, la concentrazione di punti sperimentali individuabili con riferimento alle distribuzioni delle caratteristiche di resistenza, mostra una notevole dispersione dei risultati, associabile alla marcata anisotropia della matrice (sensibilità del risultato alla giacitura della scistosità rispetto alla direzione di carico) ed alla presenza di inclusi palombinici. Tale variabilità era peraltro emersa anche dalla campagna di indagini condotta durante lo scavo dei cunicoli esplorativi, per cui si rimanda alla Relazione Geomeccanica Generale del Progetto Definitivo – documento A301-00-D-CV-RO-GN000X-003-A.

La tabella che segue mostra i range di UCS, associati ai medesimi gruppi geo-meccanici, derivanti dalle indagini sui cunicoli e dalle elaborazioni oggetto del presente studio (sondaggi PP, PD, PE 1° lotto). Si fornisce infine il range di variazione derivato, secondo le considerazioni esposte nel seguito, dagli esiti delle citate analisi (scavo cunicoli e sondaggi).

| Formazione | UCS (MPa) | | |
|---|-----------|---------------------|----------------|
| | cunicoli | sondaggi (PP+PD+PE) | PE |
| aP-G1 | 37 | 10 (17) (*) | 30 - 40 |
| aP-G2 | 12 | 9 (12) (*) | 10 - 12 |
| aP-G3 | 7 | 3-5 (**) | 5 - 7 |
| (*) media distribuzione con cut-off inferiore a 5 MPa | | | |
| (**) scarsa numerosità campione | | | |

Tabella 6-11. Resistenza a compressione mono-assiale per i gruppi geomeccanici rappresentativi degli Argilloscisti Filladici.

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02 Foglio 70 di 99 |

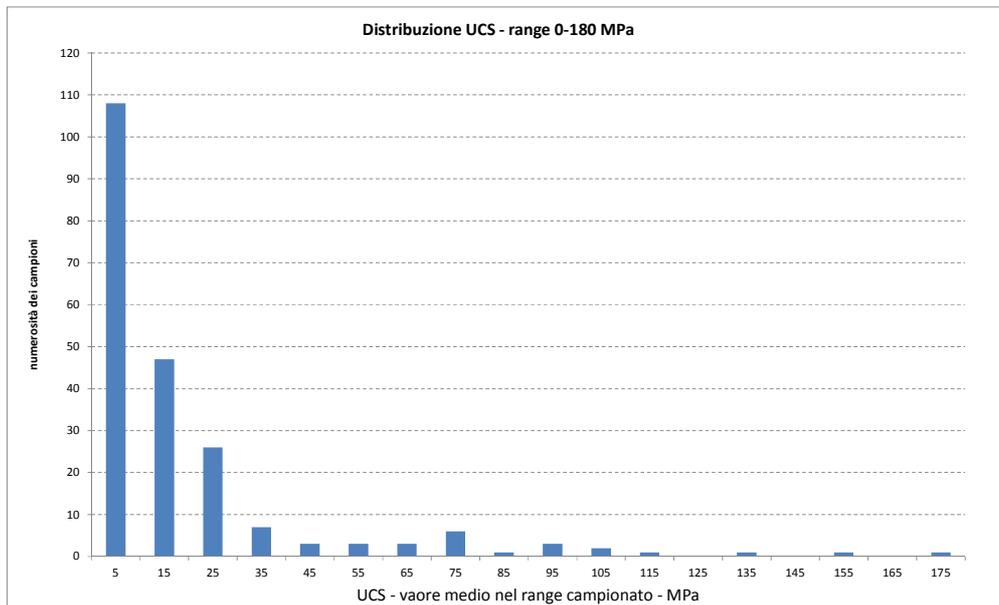
Con riferimento al **gruppo geo-meccanico G1**, il range 10-17 MPa, ottenuto dall'analisi completa dei sondaggi di PP – PD - PE, discende dai valori medi delle 2 distribuzioni analizzate, ovvero:

- distribuzione UCS-RQD limitata al range 0-35/40 MPa, rappresentativo della matrice argillitica;
- distribuzione UCS-RQD limitata al range 0-35/40 MPa con cut-off inferiore posto sul valore dei 5 MPa, considerato come limite minimo rappresentativo, da un punto di vista ingegneristico, delle resistenze a compressione misurate in direzione sub-parallela alla foliazione.

Si rammenta che entrambe le distribuzioni sono state ottenute escludendo dal campione i due punti sperimentali associati a valori di UCS compresi fra 80-90 MPa, considerando gli stessi rappresentativi degli inclusi calcarei (palombini) e non della matrice rocciosa degli argilloscisti. Si aggiunge inoltre che il limite inferiore di 10 MPa (prima distribuzione) è significativamente influenzato dal contributo di valori di resistenza nel range 3-7 MPa, valori riconducibili alla natura marcatamente anisotropa della matrice rocciosa, caratterizzata dalla foliazione intensa propria degli argilloscisti, con seguente riduzione della resistenza a compressione in condizioni di sollecitazione sub-parallela alla direzione prevalente della foliazione stessa. Si ricorda comunque che la rappresentatività del valor medio 10 MPa è confermata dai risultati delle prove di laboratorio (campagna di indagine del PD - 2004) caratterizzate dall'applicazione del carico in direzione parallela ai piani di scistosità, dalle quali si è ottenuto che la resistenza media a compressione si colloca sul medesimo valore dei 10 MPa.

Secondo i criteri di classificazione dei gruppi geomeccanici, emessi in sede di analisi dell'attività di scavo dei cunicoli, il gruppo G1 è caratterizzato da una presenza di strati calcarei poco alterati e poco fratturati (palombini) che può superare il 50% fino a condizionare il comportamento generale dell'ammasso.

Dall'analisi completa dei dati di resistenza a compressione mono-assiale, è emerso che, su un campione complessivo di oltre 180 dati, circa 20 (pari al 10%) si collocano su valori superiori ai 35-40 MPa. Dall'esame delle prove a compressione eseguite in sede di progettazione esecutiva, è stato possibile associare tali valori di resistenza ad una componente calcarea molto compatta caratterizzante il provino testato, rappresentativa del palombino. E' ragionevole dunque ricondurre la gran parte di valori di resistenza superiori alla soglia dei 35-40 MPa agli inclusi calcarei caratterizzanti la formazione degli argilloscisti a palombini. Si riporta per completezza il medesimo grafico con distribuzione di frequenza delle UCS, proposto al par. 6.2.1, dal quale si riscontra una concentrazione di risultati sperimentali nel **range 50-80 MPa**, cui è possibile associare dunque il valore di resistenza media a compressione rappresentativo degli inclusi calcarei.



**Figura 6-28. Numerosità campione UCS in relazione a intervalli di 10 MPa
(campione aggregato PP+PD+PE)**

Considerando quindi una presenza di palombini pari al 50%, con resistenza a compressione di 50-70 MPa, ed un valore di resistenza della matrice nell'ordine dei 10 MPa (come detto rappresentativa dell'influenza della foliazione), si delinea una resistenza media nel range dei 30-40 MPa caratterizzante il comportamento generale dell'ammasso.

L'attribuzione del range di variabilità di UCS, per i gruppi geomeccanici **G2 e G3**, discende dall'affinità delle determinazioni ottenute dall'analisi dei sondaggi realizzati nelle campagne di PP, PD e PE e le risultanze associate allo scavo dei cunicoli esplorativi.

Si evidenzia, in merito al gruppo geo-meccanico G3, l'adozione del valore di 5 MPa quale limite inferiore del range di variazione. Come già dichiarato, tale valore è assunto quale minimo rappresentativo, da un punto di vista ingegneristico, delle resistenze a compressione misurate in direzione sub-parallela alla foliazione.

Con riferimento alla **resistenza a trazione indiretta della matrice rocciosa**, viste le caratteristiche delle distribuzioni di punti sperimentali discusse al 6.1.1 della presente relazione tecnica, si attribuiscono i range di variazione del parametro per i tre gruppi-geomeccanici, come elencato nella tabella che segue. Si evidenzia il carattere locale delle determinazioni, stante l'esiguità del campione sperimentale a disposizione, specie con riferimento ai gruppi G2 - G3.

| Resistenza a trazione indiretta della matrice rocciosa | |
|--|-------------|
| aP-G1 -MPa | 1.00 - 2.50 |
| aP-G2 - MPa | 0.50-1.00 |
| aP-G3 - MPa | ≅ 0.50 |

Tabella 6-12. Resistenza a trazione indiretta per i gruppi geomeccanici rappresentativi degli Argilloscisti Filladici.

L'attribuzione del parametro m_i di Hoek-Brown deriva altresì dall'analisi comparata delle determinazioni da sondaggi ed indagini in cunicolo, come espresso nella tabella qui di seguito. A fronte di un dato ben delineato per i gruppi G1 e G2 (peraltro confermato dalla letteratura) risulta evidente la discrepanza relativa alle determinazioni per il gruppo G3, peraltro condizionate dall'esiguità del campione a disposizione. Si è assunto pertanto un valore di m_i pari a 19, come da letteratura specifica, associando l'ammasso roccioso appartenente al gruppo geomeccanico 3 ad una breccia.

L'ammasso che ricade in questo gruppo, infatti, appartiene a zone particolarmente tettonizzate o alterate e mostra proprietà geomeccaniche molto scadenti. La foliazione è talmente intensa ed irregolarmente e fittamente spaziata che può non essere più riconoscibile (ammasso destrutturato con perdita di coesione).

| Formazione | mi (Hoek-Brown) | | |
|------------|-----------------|---------------------|---------|
| | cunicoli | sondaggi (PP+PD+PE) | PE |
| aP-G1 | 19 | 10 +- 2 | 15 - 20 |
| aP-G2 | 16 | 20 +- 2 | 25 - 25 |
| aP-G3 | 2 | > 20 | 19 |

Tabella 6-13. Parametro m_i di Hoek-Brown per i gruppi geomeccanici rappresentativi degli Argilloscisti Filladici.

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02 Foglio 73 di 99 |

Caratteristiche di deformabilità.

Come ottenuto dall'analisi condotta in Fase 2, gli intervalli di valori rappresentativi delle tre concentrazioni dei parametri di deformabilità della matrice rocciosa in funzione della fratturazione d'ammasso, mostrano la tipica estensione del range riconducibile all'anisotropia della matrice rocciosa caratterizzante gli argilloscisti, nonché alla presenza locale di inclusi calcarei cui attribuire i valori massimali di modulo raggiunti.

Nella tabella che segue si propone una sintesi dei parametri di deformabilità della matrice, attribuendo alle concentrazioni di cui al punto precedente la funzione di gruppo geo-meccanico, e definendo per il modulo elastico un limite superiore di significato ingegneristico.

Tale limite è determinato in funzione della percentuale di inclusi calcarei nella matrice argillitica, in misura variabile dal 50% al 30% (si veda descrizione dei Gruppi Geo-meccanici), pesando dunque il contributo dei palombini stessi sulla matrice argillitica, in termini di caratteristiche meccaniche di deformabilità (analogamente a quanto considerato per la valutazione dell'UCS).

Contestualmente è fornita la variazione del modulo elastico d'ammasso E_m , condotta secondo la relazione di Hoek-Diederichs (2006) e calcolata in condizioni indisturbate ($D=0$), associando i minimi ed i massimi del range GSI agli estremi dell'intervallo di E_i – modulo elastico della matrice.

| Gruppo geo-meccanico | G1 | G2 | G3 |
|-----------------------------------|----------|----------|---------|
| | MPa | MPa | MPa |
| Ei min – matrice | 3000 | 2000 | 1000 |
| Ei max– inclusi calcarei | 40000 | 25000 | 20000 |
| % inclusi calcarei | 50% | 40% | 30% |
| Ei max – matrice+inclusi calcarei | 21500 | 11200 | 6700 |
| Erm (Rock Mass): min - max | 700-8700 | 250-2500 | 100-800 |

Tabella 6-14. Parametri di deformabilità della matrice rocciosa e dell'ammasso in condizioni indisturbate rappresentativi dei tre gruppi geo-meccanici, da analisi aggregata sondaggi PP + PD + PE 1° lotto.

Da un primo esame dei moduli d'ammasso, appare evidente l'ampia variabilità degli stessi nell'ambito del medesimo gruppo geo-meccanico, effetto del processo di derivazione del valore del modulo, per mezzo dell' E_i (matrice) a sua volta condizionato dai modesti valori di resistenza a compressione associati alla marcata anisotropia della matrice.

Ai fini della valutazione finale del modulo d'ammasso, è significativo il confronto con i moduli d'ammasso derivanti dalle prove di laboratorio e dalle prove in situ eseguite nell'ambito dello scavo dei cunicoli Vallemme e Castagnola.

Nel prospetto è data quindi evidenza delle valutazioni ingegneristiche condotte comparando le varie sorgenti di dati a disposizione, pervenendo al valore di progetto del modulo elastico d'ammasso per i tre gruppi geo-meccanici.

| Formazione | Erm (rock mass) (MPa) | | | |
|------------|---|---------------------|------------------------|------------------|
| | $E_{unloading}$ dilatometro media – (min – max) | Erm (TX-UCS-IDT) | sondaggi (PP+PD+PE) | PE |
| aP-G1 | 7900 (3100-20100) | 4300-7700 | 700-8700 | 3000-7800 |
| aP-G2 | 850 (280 – 1700) | 1400-2500 | 250-2500 | 1000-2000 |
| aP-G3 | 590 (280-1690) | 730-1000 | 100-800 | 600-1200 |

Tabella 6-15. Parametri di deformabilità dell'ammasso, in condizioni indisturbato, rappresentativi dei tre gruppi geo-meccanici, da indagini in cunicolo, analisi aggregata sondaggi PP + PD + PE 1° lotto e determinazione valori di progetto esecutivo.

L'operazione di sintesi delle indagini condotte su più fronti è confluita essenzialmente nella soluzione così determinata, per ogni gruppo geo-meccanico:

- Limiti superiori degli intervalli di variazione del modulo dettati dalla buona affinità dei risultati desunti da fonti differenti e secondo approcci teorico/procedurali distinti;
- Limiti inferiori degli intervalli di variazione del modulo allineati con le determinazioni sperimentali caratterizzate da una maggiore rappresentatività delle reali condizioni in situ, ovvero con i risultati delle indagini in cunicolo. Questi risultano essere generalmente associati a valori superiori dei moduli elastici d'ammasso.

Quadro di sintesi caratterizzazione geomeccanica

Si riporta nella tabella seguente un quadro di sintesi di caratterizzazione geomeccanica per i 3 gruppi individuati, con ulteriore partizione dei gruppi G2 e G3 a vantaggio della versatilità della classificazione rispetto alle esigenze progettuali e costruttive. I parametri geotecnici/geomeccanici di calcolo adottati per ogni gruppo geomeccanico individuato, verranno espressi nella relativa relazione di calcolo.

| Formazione | γ | ν | E_{op} | σ_c | m_i | GSI |
|------------|----------------------|----------|----------|------------|-------|-------|
| | [kN/m ³] | [-] | [GPa] | [MPa] | [-] | [-] |
| GR1 | 27 | 0,25-0,3 | 3.0÷7.8 | 30÷40 | 15÷20 | 45÷55 |
| GR2a | 27 | 0,25-0,3 | 1.5÷2.0 | 10÷12 | 20÷25 | 40÷45 |
| GR2b | 27 | 0,25-0,3 | 1.0÷1.5 | | 15÷20 | 35÷40 |
| GR3a | 26 | 0,3 | 0.6÷1.2 | 5÷7 | 19 | 30÷35 |
| GR3b | 26 | 0,3 | | | 19 | 25÷30 |

Tabella 6-16. Quadro di sintesi di caratterizzazione geomeccanica per i 3 gruppi geomeccanici

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02 |
| | Foglio 76 di 99 |

6.1.5 Considerazioni sul fenomeno di squeezing

Note introduttive

Oggetto del presente paragrafo è la *valutazione del rischio* associato all'insorgere del fenomeno di *squeezing* durante lo scavo delle gallerie per la nuova linea AC Genova-Milano all'interno della formazione degli argilloscisti filladici, in special modo sotto le alte coperture previste.

Con la denominazione di *squeezing* si identifica il fenomeno di intensa deformazione, dipendente dal tempo, che si manifesta all'intorno di una cavità sotterranea ed è principalmente connessa con l'instaurarsi di un fenomeno di "creep" per valori di tensioni che superano la resistenza al taglio del mezzo. La deformazione può terminare durante la fase di costruzione o continuare anche per molto tempo dopo ("International Society for Rock Mechanics", ISRM, Barla, 1995). Il fenomeno implica pertanto una lenta deformazione di tipo plastico e/o viscoso a carico di una fascia più o meno ampia di ammasso roccioso a diretto contatto con il tunnel o la cavità sotterranea in generale.

La valutazione dell'intensità dello *squeezing* potenzialmente connesso con le operazioni di scavo condotte in un determinato ammasso, è stata condotta ricorrendo alle metodologie di natura empirica derivanti dall'analisi di esperienze raccolte su una vasta gamma di contesti geo-meccanici.

I paragrafi che seguono forniscono una rapida illustrazione dei seguenti criteri adottati nella presente analisi del potenziale rischio di *squeezing*:

- *Criterio di GOEL (1994)*
- *Criterio di BARLA (1995)*
- *Criterio di HOEK & MARINOS (2000)*

Contestualmente alla trattazione teorica delle metodologie di analisi, per ogni criterio di valutazione, saranno presentati in forma grafica i limiti associati ai differenti livelli di rischio, derivati in funzione delle caratteristiche fisico-meccaniche proprie dei gruppi geo-meccanici rappresentativi della formazione degli argilloscisti filladici.

Criterio di GOEL (1994)

L'autore propone un criterio per la determinazione dello *squeezing* basato sulla stima dell'indice Q di Barton relativo all'ammasso roccioso sulla base di una casistica di circa un centinaio di opere in sotterraneo scavate in Scandinavia, Regno Unito e India.

Goel definisce tre gradi/intensità di *squeezing* che chiama leggero, moderato e severo.

La determinazione empirica di questi gradi richiede solo la conoscenza della copertura H, delle dimensioni del tunnel B e dell'indice Q di Barton secondo gli intervalli espressi nella seguente tabella.

| | |
|--------------------|---|
| Squeezing Assente | $H < 275 * Q^{0,33} * B^{-0,1}$ |
| Squeezing Leggero | $275 * Q^{0,33} * B^{-0,1} < H < 450 * Q^{0,33} * B^{-0,1}$ |
| Squeezing Moderato | $450 * Q^{0,33} * B^{-0,1} < H < 630 * Q^{0,33} * B^{-0,1}$ |
| Squeezing Severo | $630 * Q^{0,33} * B^{-0,1} < H$ |

Tabella 6-17. Potenziale di squeezing secondo Goel (1994)

Si è pertanto derivato l'indice Q, attraverso l'indice RMR, secondo la nota relazione di Bieniawski, dal valore medio di GSI identificativo di ogni gruppo geo-meccanico, ottenendo le curve di potenziale di *squeezing* in funzione della copertura della galleria e dello stesso GSI identificativo dell'ammasso. Nelle determinazioni si è assunto il diametro equivalente di scavo pari a 10/11 m.

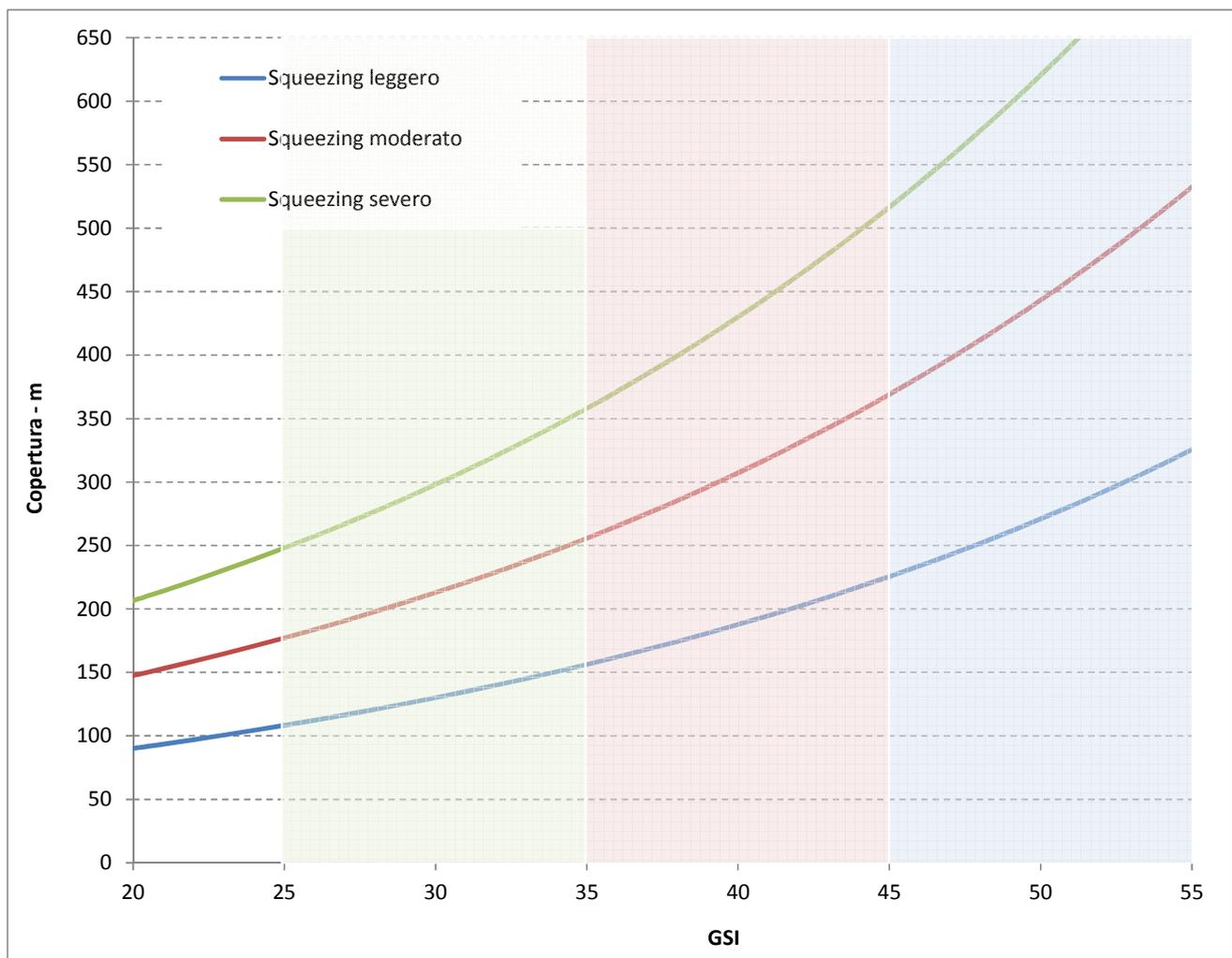


Figura 6-29. Curve Potenziale di squeezing secondo Goel (1994)

Nel grafico sono campite le fasce corrispondenti ai range di variazione di GSI per i tre gruppi geo-meccanici G1, G2, G3. Le curve rappresentano il limite inferiore associato all'intensità del fenomeno dichiarata.

Si evince che solamente in presenza di un ammasso roccioso riferibile al gruppo geo-meccanico G1, l'insorgenza di fenomeni di *squeezing* risulta comunque di intensità moderata fin quasi alle massime coperture previste (630 m). In tutti gli altri casi l'ammasso, in presenza di coperture medio-alte, variabili nel range da 250 m a 500 m, in relazione al gruppo geo-meccanico coinvolto, mostrerà invece fenomeni di *squeezing* severo.

Criterio di BARLA (1995)

L'autore propone una stima del fenomeno sulla base del calcolo del rapporto:

$$\sigma_{c\text{ amm}} / \gamma * z$$

dove $\sigma_{c\text{ amm}}$ è la resistenza a compressione dell'ammasso roccioso, calcolata nel caso in esame tramite la relazione di Hoek (2000) – si veda paragrafo successivo - , γ il peso di volume naturale della roccia soprastante e z è la copertura sopra la galleria.

Anche in questo caso si definiscono tre gradi di *squeezing* in funzione del valore assunto dal precedente rapporto, secondo quanto espresso nella tabella seguente:

| Grado di squeezing | Rapporto $\sigma_{c\text{ amm}} / \gamma * z$ |
|--------------------|---|
| Assente | >1,0 |
| Leggero | 0,4 – 1,0 |
| Moderato | 0,2 – 0,4 |
| Alto | < 0,2 |

Tabella 6-18. Potenziale di squeezing secondo Barla (1995)

Il diagramma che segue mostra graficamente i limiti associati alle intensità del fenomeno in oggetto, espressi come metri copertura in funzione della resistenza a compressione dell'ammasso $\sigma_{c\text{ amm}}$. Le linee rappresentano il limite inferiore associato all'intensità del fenomeno dichiarata. Nel grafico sono campite le fasce corrispondenti ai range di variazione di resistenza a compressione dell'ammasso roccioso, calcolata per i tre gruppi geo-meccanici G1, G2, G3.

Emerge che il gruppo geo-meccanico G1, anche in presenza delle massime coperture previste, risulta essere interessato da fenomeni di squeezing da leggero a moderato; di contro l'insorgere di episodi di intensità elevata è potenzialmente riscontrabile già a partire da profondità di 100 m, in presenza del gruppo geo-meccanico G3: La corrispondente soglia, riferita al gruppo G2 è posta sui 200 m circa.

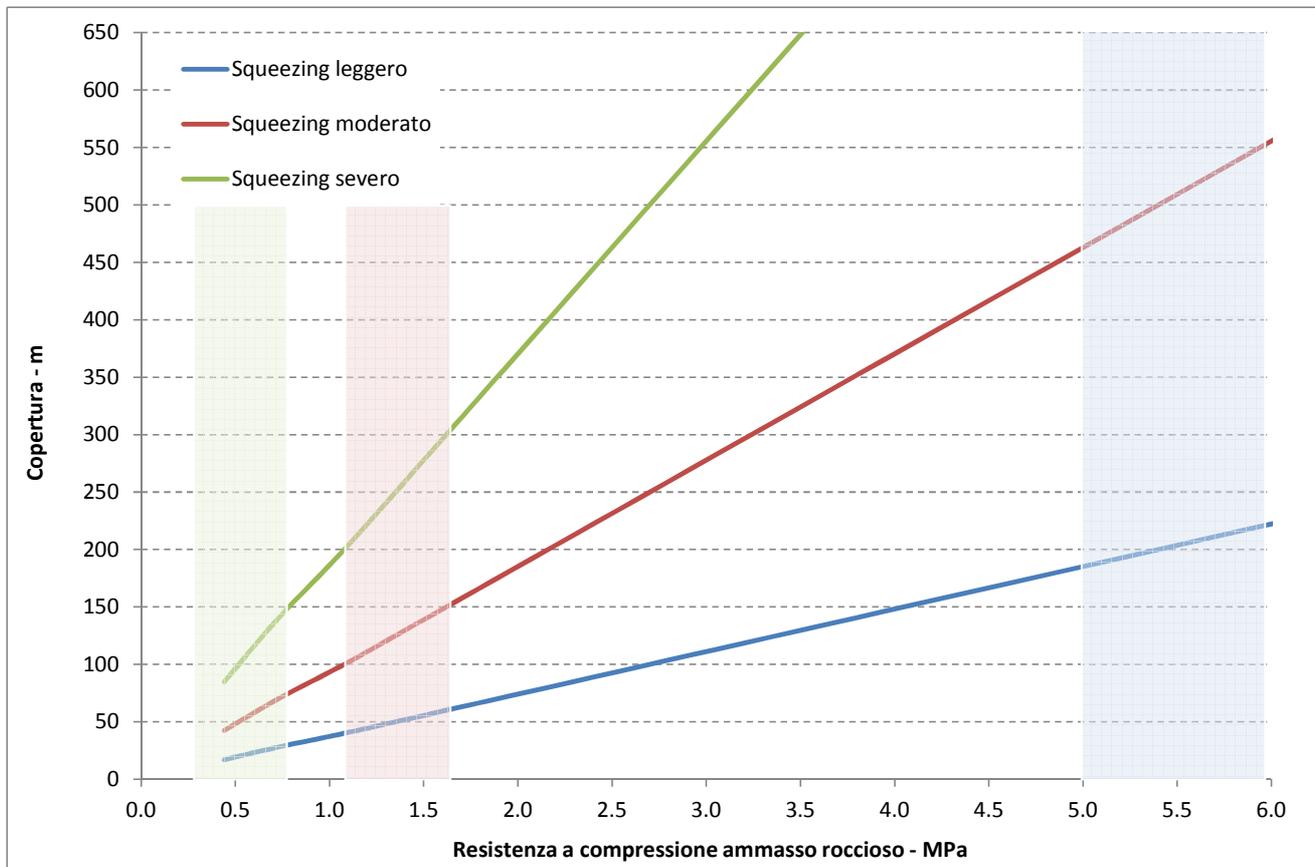


Figura 6-30. Potenziale di squeezing secondo Barla (1995)

Critero di HOEK & MARINOS (2000)

Il grado di *squeezing* è determinato sulla base del rapporto $\sigma_{c\ amm} / p_0$, dove $\sigma_{c\ amm}$ è la resistenza a compressione dell'ammasso roccioso e p_0 è, in senso più generale, il valore della tensione principale in situ. I parametri citati sono stati determinati in accordo alle seguenti espressioni:

$$\sigma_{c\ amm} = (0,0034m_i^{0,8})\sigma_c[1,029+0,025e^{(-0,1m_i)}]^{GSI} \quad p_0 = \gamma z$$

dove σ_c è la resistenza a compressione semplice della matrice rocciosa; m_i è la costante del Criterio di rottura di Hoek & Brown; GSI è il Geological Strength Index dell'ammasso roccioso; γ è il peso specifico della roccia e z è la copertura della galleria.

La stima della convergenza attesa all'interno della galleria, espressa in termini di deformazione percentuale ε (%) rispetto al diametro, discende dalla seguente espressione di natura empirica.

$$\varepsilon = 0,2(\sigma_{c\ amm} / p_0)^2$$

L'intensità del fenomeno di squeezing è dunque tarata sulla deformazione % diametrale, come espresso nella seguente tabella.

| Classe | Convergenza $\epsilon(\%)$ | Grado di squeezing |
|--------|----------------------------|--------------------|
| A | < 1,0% | Assente |
| B | 1,0% - 2,5% | Leggero |
| C | 2,5% - 5,0% | Moderato |
| D | 5,0% - 10,0% | Severo |
| E | > 10,0% | Estremo |

Tabella 6-19. Potenziale di squeezing secondo Hoek-Marinos (2000)

Il diagramma che segue mostra graficamente i limiti associati alle intensità del fenomeno in oggetto, espressi come metri copertura in funzione della resistenza a compressione dell'ammasso $\sigma_{c\text{ amm}}$. Le linee rappresentano il limite inferiore associato all'intensità del fenomeno dichiarata. Nel grafico sono inoltre campite le fasce corrispondenti ai range di variazione di resistenza a compressione dell'ammasso roccioso, calcolata per i tre gruppi geo-meccanici G1, G2, G3.

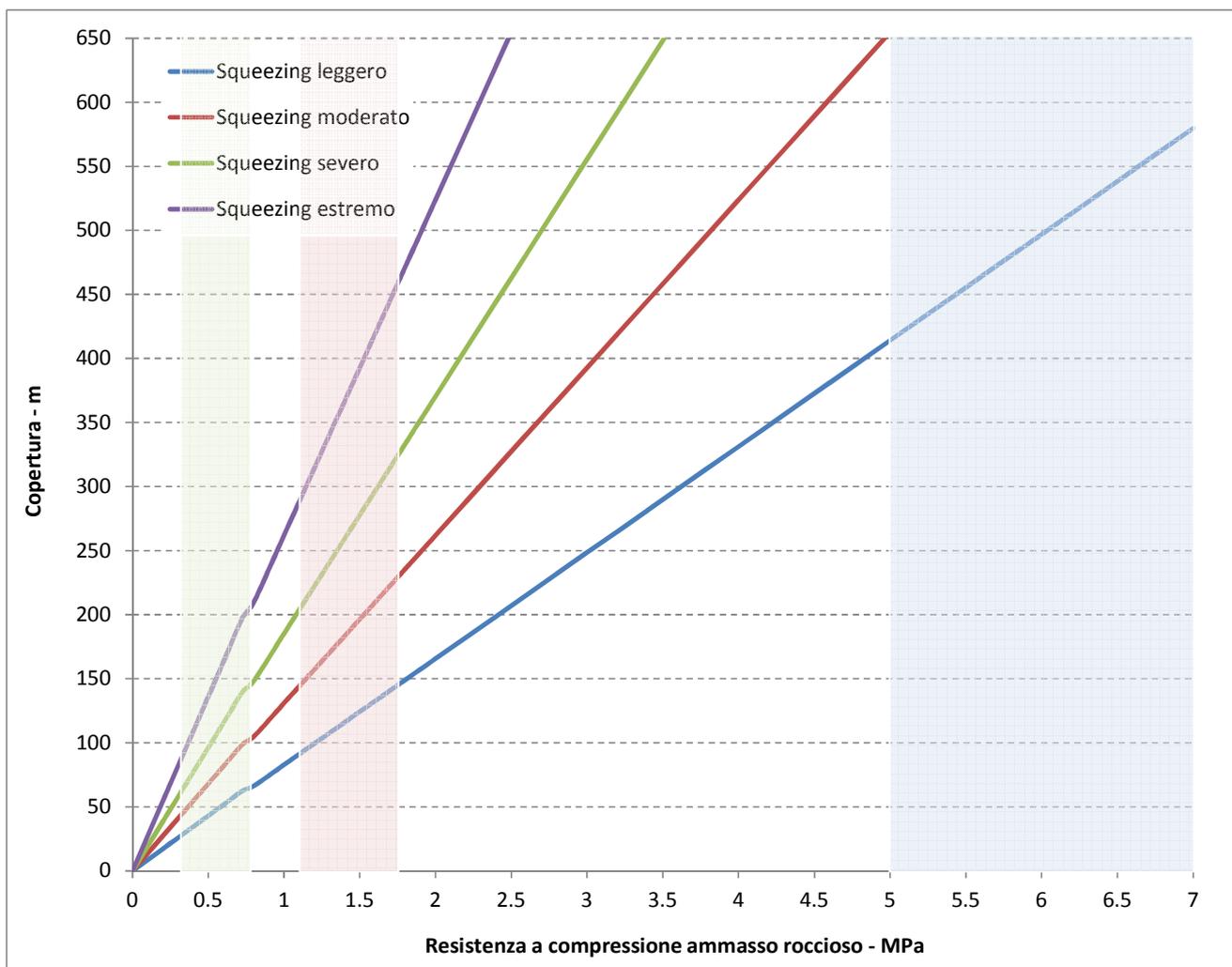


Figura 6-31. Potenziale di squeezing secondo Hoek-Marinos (2000)

Si evince che il gruppo geo-meccanico G1, anche in presenza delle massime coperture previste, è potenzialmente interessato da fenomeni di squeezing di intensità comunque da leggera a moderata. Al contrario, si rileva il rischio di fenomeni di natura severa se non estrema, già a partire da profondità di rispettivamente 75-100 m, in presenza del gruppo geo-meccanico G3, e di 200-300 m per il gruppo G2.

Analisi comparata dei risultati

Il prospetto che segue costituisce il quadro di sintesi delle determinazioni ottenute ai paragrafi precedenti, in merito ai limiti di copertura connessi con l'insorgere potenziale del fenomeno di squeezing, nelle varie intensità previste dai criteri di valutazione di Goel, Barla e Hoek-Marinos.

| Gruppo Geomeccanico | | G1 | G2a | G2b | G3a | G3b |
|--|--------------|------|-----|-----|-----|-----|
| Squeezing assente (copertura massima in metri) | Goel | 270 | 200 | 170 | 145 | 120 |
| | Barla | 225 | 65 | 40 | 30 | 15 |
| | Hoek-Marinos | 500 | 140 | 90 | 60 | 40 |
| Squeezing leggero (copertura massima in metri) | Goel | 440 | 330 | 275 | 240 | 200 |
| | Barla | 560 | 160 | 105 | 70 | 40 |
| | Hoek-Marinos | 795 | 225 | 150 | 100 | 60 |
| Squeezing moderato (copertura massima in metri) | Goel | 620 | 465 | 385 | 330 | 280 |
| | Barla | 1120 | 320 | 210 | 140 | 85 |
| | Hoek-Marinos | 1120 | 320 | 210 | 140 | 85 |
| Squeezing severo (copertura massima in metri) | Goel | -- | -- | -- | -- | -- |
| | Barla | -- | -- | -- | -- | -- |
| | Hoek-Marinos | 1590 | 450 | 300 | 200 | 120 |

Tabella 6-20. Quadro di sintesi dei limiti di copertura connessi con l'insorgere potenziale del fenomeno di squeezing, nelle varie intensità previste dai criteri di valutazione di Goel, Barla e Hoek-Marinos.

Dall'analisi comparata dei limiti di copertura ottenuti secondo i differenti criteri di valutazione, emerge quanto segue:

- il criterio di Goel determina limiti più conservativi – mediamente inferiori del 45%, rispetto alla formulazione di Hoek-Marinos, in condizioni buone/elevate di ammasso proprie del gruppo G1;
- i criteri di Hoek-Marinos e Barla, in linea comune nella definizione dei limiti di comportamento, esprimono risultati più cautelativi per condizioni di ammasso medio/basse – gruppi G2-G3, con livelli di copertura mediamente inferiori di un 55-60% rispetto ai limiti secondo Goel in corrispondenza di intensità leggere del fenomeno di squeezing, fino a valori

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02 |
| | Foglio 82 di 99 |

inferiori del 30 - 70%, più spiccatamente con il decadimento delle caratteristiche geo-meccaniche dell'ammasso (G2a→G3b).

In linea generale si delinea pertanto un quadro del potenziale di squeezing così strutturato:

- Gruppi geo-meccanici **G1 – G2a**: l'attività di scavo sotto coperture comunque elevate non è associabile, all'attuale livello conoscitivo, a fenomeni di squeezing severo. Limitatamente al gruppo G2a si delinea un livello di attenzione collocato intorno ai 400 m di copertura oltre il quale è possibile attendersi l'insorgere di squeezing di intensità notevole.
- Gruppi geo-meccanici **G2b – G3a**: la formazione degli argilloscisti in tale condizione di ammasso può essere suscettibile a fenomeni di squeezing con avviamento per range di copertura di 200-300 MPa:
- Gruppo geo-meccanico **G3b**: lo scavo in condizioni di ammasso fortemente tettonizzato ed alterato è correlabile con probabili fenomeni di squeezing severo, anche per coperture inferiori e comunque nell'ordine dei 100 m (stima ottimistica secondo Goel \cong 250 m).

Tale rischio potenziale connesso all'insorgenza del fenomeno potrà determinare l'adozione, nell'ambito delle previste sezioni di scavo ed avanzamento, dei limiti superiori indicati nel campo di variabilità degli interventi.

In conclusione delle analisi svolte, appare evidente che, in determinate situazioni geo-meccaniche e di copertura, la formazione degli Argilloscisti risulta potenzialmente suscettibile al fenomeno dello squeezing, anche con manifestazioni localmente molto importanti e pertanto non trascurabili, pur sussistendo le seguenti limitazioni riguardo la completa rappresentatività dei risultati ottenuti:

- la determinazione del potenziale di squeezing è discesa dall'assunzione, nelle formulazioni empiriche, di una tensione principale massima pari al carico geostatico, eludendo pertanto l'eventualità di tensioni orizzontali superiori alla verticale geostatica, peraltro emersa localmente dall'esito delle prove di fratturazione idraulica in foro di sondaggio;
- i dati acquisiti nelle campagne di indagine di PP, PD e PE sono limitati ad una profondità massima di indagine di circa 400 m, con significativa concentrazione del campione di rilevazioni entro profondità di 200 m.

In relazione dunque alle coperture identificate quali potenziali soglie per l'insorgenza dello squeezing, superiori ai 250 m, la valutazione del potenziale di squeezing, derivata estrapolando le caratteristiche geo-meccaniche attualmente disponibili, è da considerarsi non priva di margini di incertezza.

| | | |
|---|--|----------------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  | |
| | <p>IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02</p> | <p>Foglio 83 di 99</p> |

Si sottolinea comunque che, sulla base delle distribuzioni attualmente note di GSI e UCS, non è determinabile alcuna forma di correlazione delle stesse con la profondità dal p.c. e pertanto non è possibile allo stato attuale estrapolare un'eventuale aumento con la profondità del valore della σ_{camm} media.

- i dati disponibili non consentono di determinare l'ampiezza della fascia plasticizzata al contorno della galleria né di poter tentare una stima, seppur grossolana, dei tempi in cui tale fenomeno si potrà evolvere;
- il carattere indicativo delle risultanze delle precedenti formulazioni è legato all'esperienza diretta dello scavo dei cunicoli Vallemme e Castagnola, nell'ambito del quale, pur essendo state incontrate zone con gruppo geomeccanico pari a 3, il monitoraggio tenso-deformativo dei rivestimenti nel tempo non ha evidenziato alcuna anomalia.

6.2 Metabasalti (B')

6.2.1 Introduzione

Ai fini della caratterizzazione geotecnica/geomeccanica dei metabasalti sono stati elaborati i risultati derivanti sia dai sondaggi geognostici eseguiti in corrispondenza della WBS in esame sia da quelli realizzati nel territorio appartenente alla WBS NV01 in fase di progetto definitivo:

6.2.2 Note generali

La caratterizzazione geotecnica/geomeccanica dei metabasalti deriva dall'esame dei risultati ottenuti nell'ambito delle prove di laboratorio condotte presso la Sezione di Torino dell'Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria (IGAG-CNR), nel periodo aprile 2004-marzo 2005, e dall'elaborazione effettuata sui dati derivanti dai sondaggi geognostici elencati nella tabella seguente.

| Sondaggio | Fase progettuale |
|-----------|------------------|
| SL32 | PD |
| SL33 | PD |
| SL34 | PD |
| SL47B | PD |
| L5-S04 | PE |

Tabella 6-21. Sondaggi geognostici eseguiti in corrispondenza dei Metabasalti

Tali sondaggi sono stati inoltre integrati mediante i risultati ottenuti nell'ambito delle prove di laboratorio condotte presso la Sezione di Torino dell'Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria (IGAG-CNR), nel periodo aprile 2004-marzo 2005.

I Metabasalti rinvenuti hanno colore verdastro e violaceo, tessitura microcristallina, durezza medio-alta, struttura prevalentemente omogenea, localmente brecciata e zonata. La roccia si presenta abbastanza compatta, con alcune fratture che presentano inclinazione variabile da pochi gradi a subverticali, da ondulate a irregolari. Le fratture sono da moderatamente ravvicinate a ravvicinate, prevalentemente chiuse-beanti, da ondulate a irregolari. Si evidenzia tuttavia la presenza di livelli metrici più fratturati e alterati con roccia parzialmente destrutturata.

Si sono analizzate inoltre le ricostruzioni stratigrafiche e geomeccaniche dei sondaggi SA e SB, eseguiti nella campagna integrativa di PE. Per i dettagli si veda quanto contenuto nel documento di PE "NUOVA VIABILITA' TRATTA VIA ERZELLI VIA BORZOLI - GEOLOGIA E GEOTECNICA - FASCICOLO INDAGINI GEOGNOSTICHE".

E' stato ricostruito l'indice GSI (vedi tabelle di seguito), il quale ha evidenziato 3 gruppi di valori ben distinguibili.

SA

| | | | |
|-----------------|-------------|-----------|-----------|
| Profondità [m] | 25-30 | 30-35 | 35-45 |
| SIGMAc [Mpa] | 36,76 | 3,14 | 62 |
| R1 | 4,5 | 1 | 6 |
| RQD * [%] | 90 | 10 | 65 |
| R2 | 18 | 4 | 13 |
| SPAZIATURA [cm] | 5-50 | | 5-50 |
| R3 | 8 | 5 | 8 |
| DISCONTINUITA' | | | |
| R4 | 20 | 7 | 20 |
| ACQUA * | | | |
| R5 | 15 | 15 | 15 |
| | | | |
| RMR base | 65,5 | 32 | 62 |
| GSI | 60,5 | 27 | 57 |

SB

| | | |
|-----------------|-----------|-------------|
| Profondità [m] | 30-50 | 30-50 |
| SIGMAc [Mpa] | 30 | 25 |
| R1 | 4 | 3,5 |
| RQD * [%] | 55 | 45 |
| R2 | 11 | 9 |
| SPAZIATURA [cm] | 5-50 | 5-50 |
| R3 | 8 | 8 |
| DISCONTINUITA' | | |
| R4 | 20 | 7 |
| ACQUA * | | |
| R5 | 15 | 15 |
| | | |
| RMR base | 58 | 42,5 |
| GSI | 53 | 37,5 |

In particolare, nel sondaggio SA si ottengono valori di GSI pari a 60.5 e 57 in corrispondenza dell'ammasso poco fratturato, e un valore inferiore a 30, nel tratto con RQD molto bassi e prossimi allo 0 (associati alle zone intensamente fratturate e cataclosate).

Il sondaggio SB, che ricade nel secondo macro tratto, non ha evidenziato la presenza di materiali appartenente al gruppo 3. Risultano evidenti, invece, passaggi da materiali mediamente fratturati a materiali poco fratturati, ben distinti dai valori di RQD. Si individua un limite di recupero percentuale di carota intorno al 50%-60% sopra il quale l'aspetto del materiale appare più integro e riconducibile al gruppo geomeccanico 1, già ritrovato nel sondaggio SA. Al di sotto di tale valore si ottengono valori di GSI variabili da 35 a 50, che sono proprio di un'ammasso da mediamente a molto fratturato. Da ora definito gruppo geomeccanico 2.

Risultati analoghi sono desumibili dalla campagna geognostica di progetto definitivo, come brevemente riportato di seguito (sondaggio SL32 orizzontale – SL33 verticale).

| Sondaggio SL32 - orizzontale | | | Sondaggio SL33 | | |
|------------------------------|-----------|-------------|-----------------|-------------|-------------|
| Profondità [m] | 0-35 | 0-35 | Profondità [m] | 40-60 | 40-60 |
| SIGMAc [Mpa] | 31 | 20 | SIGMAc [Mpa] | 60 | 30 |
| R1 | 4 | 3 | R1 | 6,2 | 4 |
| RQD * [%] | 50 | 30 | RQD * [%] | 90 | 80 |
| R2 | 10 | 6,5 | R2 | 18 | 6,5 |
| SPAZIATURA [cm] | 6-10 | 6-10 | SPAZIATURA [cm] | 20 | 12 |
| R3 | 7 | 7 | R3 | 8 | 7 |
| DISCONTINUITA' | | | DISCONTINUITA' | | |
| R4 | 15 | 7 | R4 | 21 | 7 |
| ACQUA * | | | ACQUA * | | |
| R5 | 15 | 15 | R5 | 15 | 15 |
| | | | | | |
| RMR base | 51 | 38,5 | RMR base | 68,2 | 39,5 |
| GSI | 46 | 33,5 | GSI | 63,2 | 34,5 |

Dall'esame dei log stratigrafici relativi alle verticali di indagine sopra menzionate, è dunque possibile stimare un range di GSI (derivato tramite la correlazione con il BRMR - $GSI = BRMR - 5$) compreso fra **40-60**, riconducibile, rispettivamente alla condizione d'ammasso fratturata/alterata e compatta rilevate nell'ambito dei sondaggi geognostici condotti.

6.2.3 Caratterizzazione fisica

Si riporta nel diagramma che segue la distribuzione dei valori del peso di volume con la profondità di prelievo del campione.

Si evidenzia una discreta omogeneità della distribuzione caratterizzata da un valor medio pari a 28.2 kN/m^3 (con scarto quadratico medio percentualmente molto basso $\cong 3\%$). Non si rileva correlazione del dato con la profondità.

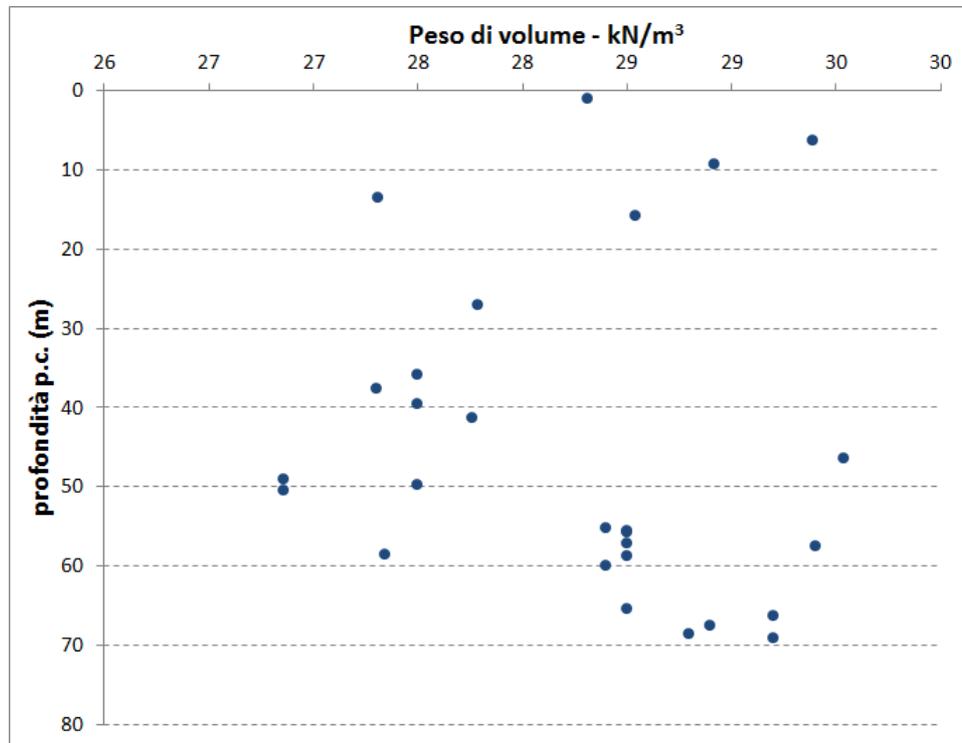


Figura 6-32. Distribuzione del peso di volume con la profondità

6.2.4 Caratterizzazione meccanica

Nella tabella seguente si riportano i risultati essenziali relativi alle prove di laboratorio condotte presso la Sezione di Torino dell'Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria (IGAG-CNR), nel periodo aprile 2004-marzo 2005.

| VELOCITA' ONDE ELASTICHE | | | | | COMPRESSIONE SEMPLICE | | | | | | TRAZIONE INDIRETTA |
|--------------------------|---------------|------------|------------|-------|-----------------------|----------|-------|----------|------|----------|--------------------|
| V.O.E.P (m/s) | V.O.E.T (m/s) | Edin (MPa) | Gdin (MPa) | vdin | σ_c (MPa) | Es (MPa) | vs | Et (MPa) | vt | Ed (MPa) | σ_t (MPa) |
| 4556 | 2847 | 54198 | 22996 | 0.177 | 44.08 | 43526 | 0.113 | 42519 | 0.17 | 251605 | 10.69 |

Tabella 6-22. Esito Prove di laboratorio geomeccanico - sondaggio SF11 – PD (2004-2005)

Il grafico che segue mostra la distribuzione delle resistenze a compressione monoassiale derivate da prove di compressione semplice in laboratorio e dall'elaborazione dei risultati dei Test di Point Load Strength condotti su provini e carote relativi ai sondaggi SL32, SL33, SL34 e SL47B.

La distribuzione di valori è compresa in un range molto ampio 5 - 70/80 MPa. Il valor medio si colloca nell'intervallo 20-25 MPa. Valori localmente superiori si rilevano a profondità comprese fra i 30 e 50 m.

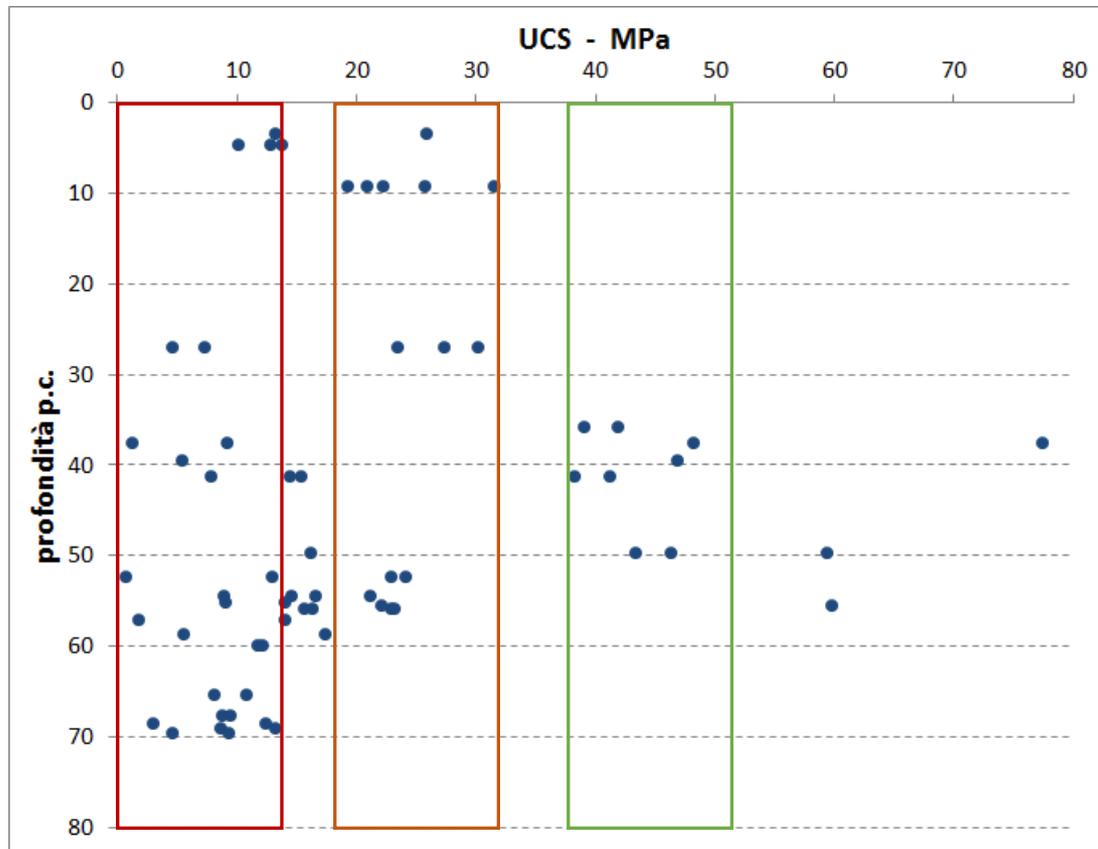


Figura 6-33. Distribuzione dell'UCS con la profondità

I risultati ottenuti, confrontati con la profondità di prova, nonché con la descrizione del sondaggio, evidenziano i seguenti aspetti:

- Gruppo 1: Il basalto sano o poco fratturato risulta caratterizzato da valori di resistenza mediamente compresi tra i 40 e i 50 MPa, sebbene siano stati ottenuti valori anche molto superiori. Il comportamento a rottura è governato dalle macro scistosità presenti.
- Gruppo 2: Nei tratti caratterizzati da fratturazione da media a elevata, mostrano una notevole dispersione di risultati, non essendo facilmente individuabile il limite inferiore del gruppo, che spesso può essere confuso con zone fagliate o fortemente fratturate. In generale, risultano comunque individuabili valori compresi tra 20Mpa e 30 MPa.
- Gruppo 3: In tale gruppo si evidenzia una forte dispersione di valori; si raggiungono limiti inferiori di 1-3 MPa anche se mediamente si ottengono resistenze superiori ai 10 MPa.

6.2.5 Parametri di deformabilità

Si riporta nel grafico seguente la distribuzione di valori dei parametri di deformabilità ottenuti secondo le metodologie:

1. Correlazione con il modulo della roccia intatta E_i secondo Hoek et Diederichs(2006) (vedi §5.2.4). Si è considerato un valore dell'indice MR da letteratura pari a 350 e GSI medio pari a 40;
2. E ricavato dalle prove dilatometriche.

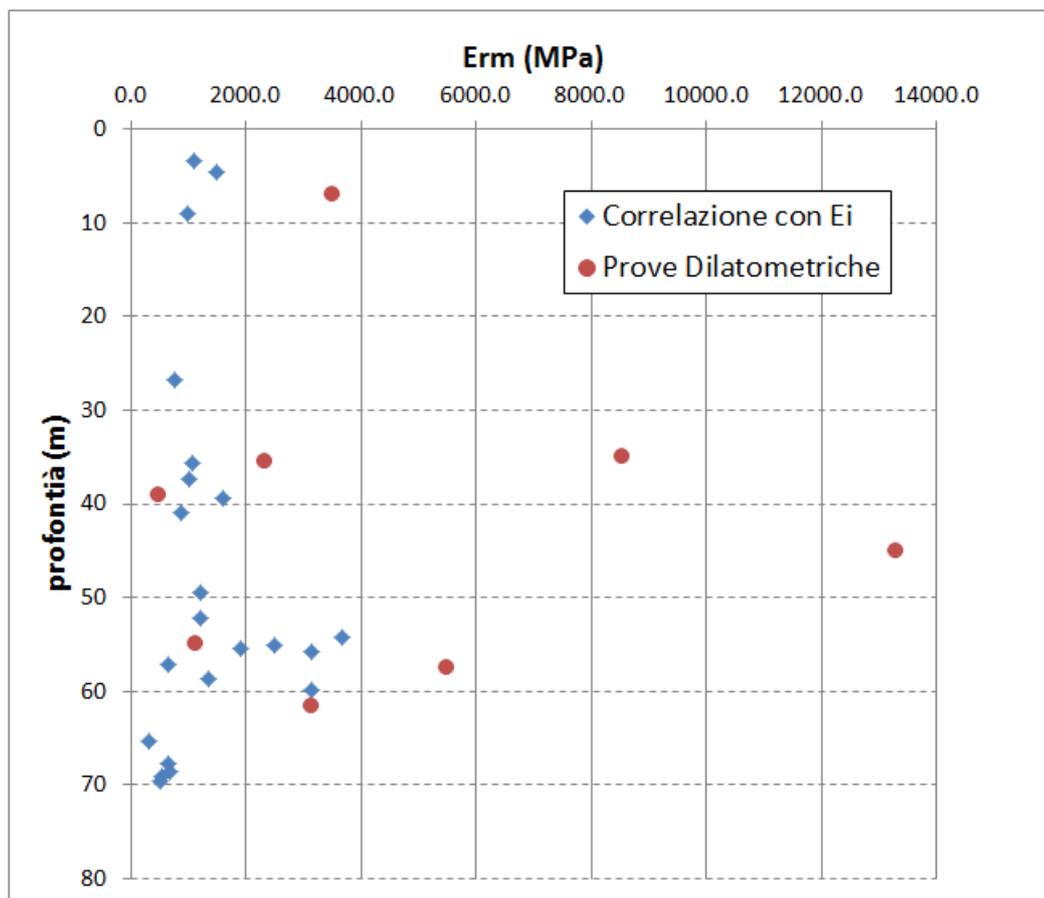


Figura 6-34. Distribuzione dei parametri di deformabilità con la profondità

In fase di progetto esecutivo sono state inoltre realizzate delle prove dilatometriche ad elevate profondità che hanno restituito i seguenti valori:

- $z_m = 350$ m , $E = 13577$ MPa
- $z_m = 365$ m , $E = 10215$ MPa

Si rilevano dei valori del modulo elastico d'ammasso variabili tra i 500 e 14000 MPa, con valori medi che si attestano intorno ai 2000 MPa e significativi dell'ammasso in normale stato di fratturazione. Valori sensibilmente più alti invece si rilevano per la frazione più compatta della formazione in esame.

6.2.6 Quadro di sintesi caratterizzazione geotecnica

Si riporta nella tabella che segue la caratterizzazione geomeccanica dei metabasalti: è proposta la suddivisione della formazione in tre gruppi geo-meccanici rappresentativi delle condizioni d'ammasso rinvenute nell'ambito delle verticali di indagine realizzate, ovvero dello stato fratturato/alterato e compatto. I parametri geotecnici/geomeccanici di calcolo da adottare verranno espressi nella relativa relazione di calcolo.

| Formazione | γ | ν | UCS | σ_t | m_i | GSI | E_{rm} - indisturbato |
|-----------------------|----------------------|-------|-------|------------|-------|-------|-------------------------|
| | [kN/m ³] | [-] | [MPa] | [MPa] | [-] | [-] | [MPa] |
| B' – compatto | 28 | 0,25 | 40 | 10 | 25+-5 | 50-60 | 5000÷10000 |
| B' – fratturato | 27-28 | 0,30 | 20-25 | 8 | 25+-5 | 40-50 | 1200÷3000 |
| B' – molto fratturato | 24-26 | 0,30 | 3-15 | 1-5 | 19 | 20-30 | 600÷1200 |

Tabella 6-23. Formazione dei Metabasalti: quadro di sintesi

6.3 Calcari di Erzelli (cE)

Di seguito viene riportata la caratterizzazione geomeccanica della formazione dei Calcari di Erzelli(cE), presumibilmente attraversata tra le pk 0+910 ca. e la pk 0+950 circa, con coperture intorno ai 200m.

6.3.1 Note generali

A causa della carenza di informazioni su tale formazione non è stato possibile effettuare un'accurata caratterizzazione dell'ammasso pertanto è stata presa come riferimento la caratterizzazione meccanica eseguita in fase di progettazione definitiva. Nel seguito verranno comunque presentate le risultanze di tali indagini in modo da effettuare un confronto con i parametri di calcolo che si adotteranno.

Come anticipato le uniche informazioni reperite derivano dai sondaggi condotti all'interno della Nuova Viabilità Borzoli-Erzelli (WBS NV01 – Lotto 1) nelle differenti fasi di progettazione (SL8 ed SD eseguiti rispettivamente nelle fasi di PD e PE).

| WBS | Sondaggio | Fase progettuale |
|------|-----------|------------------|
| NV01 | SL8 | PD |
| NV01 | SD | PE |

Tabella 6-24. Sondaggi geognostici eseguiti in corrispondenza dei Calcari di Erzelli

È stato possibile definire un range di variazione del parametro GSI come si mostra nel seguito.

| Sondaggi SL8 e SD | |
|-------------------|--------------|
| Sigma C [MPa] | 25-50 |
| R1 | 2 4 |
| RQD [%] | 50-75 |
| R2 | 8 12 |
| SPAZIATURA [mm] | 60<s<200 |
| R3 | 5 8 |
| DISCONTINUITA' | |
| R4 | 7 14 |
| ACQUA | |
| R5 | 15 |
| GSI | 32-48 |

Come si può notare sono stati definiti dei range di variazione per tutti gli indici presenti (Ri) in tabella in funzione delle condizioni delle carote estratte. I valori più bassi sono da attribuire agli strati più superficiali dove la fratturazione è più marcata e i valori di RQD sono compresi tra il 30% e il 50%, in

profondità si osserva un ammasso più compatto (RQD=65%) e di conseguenza migliori caratteristiche meccaniche.

6.3.2 Caratterizzazione fisica

Si riporta nel diagramma che segue la distribuzione dei valori del peso di volume con la profondità di prelievo del campione.

Si evidenzia una discreta omogeneità della distribuzione caratterizzata da un valor medio pari circa a 26 kN/m³.

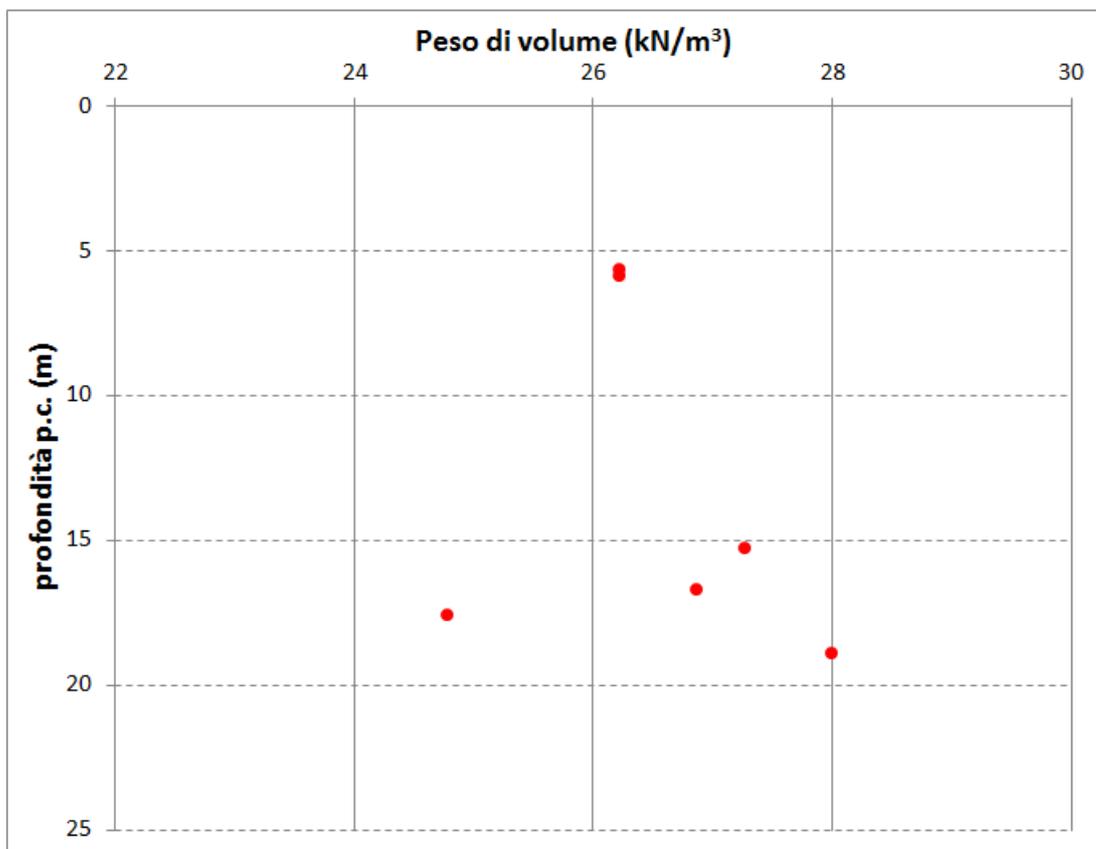


Figura 6-35. Distribuzione del peso di volume con la profondità

6.3.3 Caratterizzazione meccanica

Si riportano di seguito i valori di UCS ottenuti a partire dai risultati dei Test di Point Load utilizzando cautelativamente un fattore di conversione k_{50} pari a 16 (valore che ritenuto cautelativo per tale formazione). Tale prova è stata condotta sulle carote estratte dal sondaggio SL8. Dal grafico si notano valori compresi tra 6 MPa e 30 MPa.

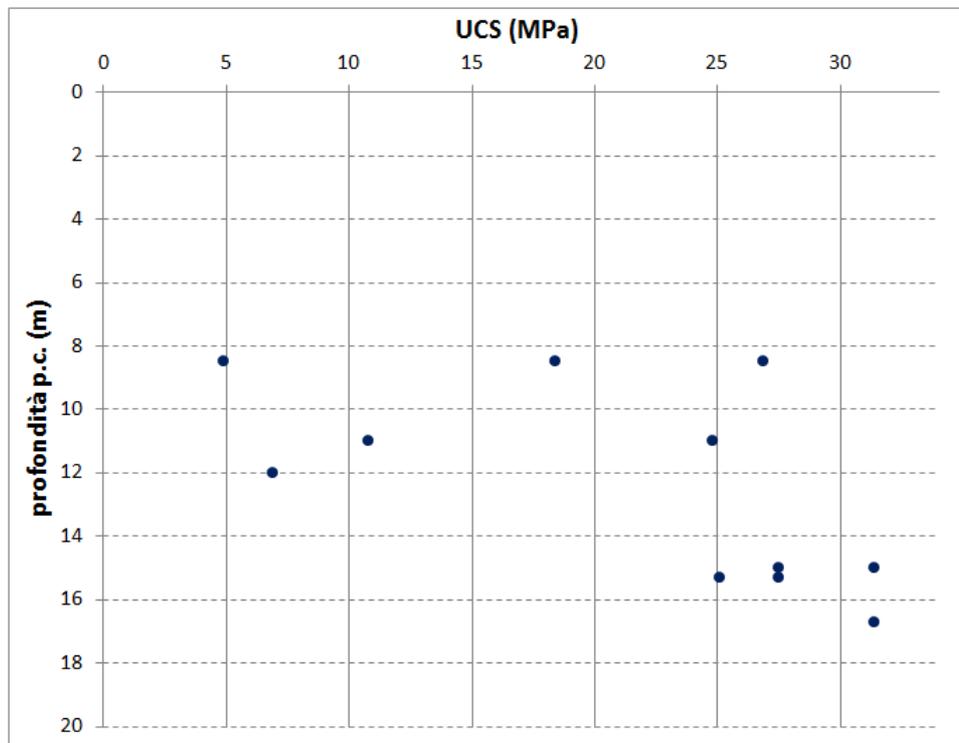


Figura 6-36: Variazione del valore di UCS con la profondità

Dal grafico si evidenzia la presenza di tre gruppi di valori a ciascuno dei quali potrà essere associato un grado di fratturazione della roccia. Nel primo rientrano i provini che hanno fornito valori di UCS prossimi ai 30 MPa mentre il terzo comprende i valori minimi compresi tra 6-10 MPa. È presente un solo punto invece nella fascia intermedia dove si è voluto individuare il secondo gruppo di resistenze per i valori che si aggirano sui 18 MPa.

6.3.4 Parametri di deformabilità

Si riportano i risultati della prova dilatometrica eseguita all'interno del sondaggio SD ad una profondità di 10 m dal piano campagna.

6.3.5 Quadro di sintesi caratterizzazione geotecnica

Nella tabella si riporta la caratterizzazione meccanica assunta per la fase di calcolo e derivante dalla precedente fase di progettazione. Sono stati considerati tre gruppi geomeccanici rappresentativi di differenti gradi di fratturazione della roccia, nel seguito si mostrano i valori adottati secondo il criterio di Mohr-Coulomb.

| Calcarei d'Erselli- Parametri di calcolo (Linearizzazione Modello Mohr-Coulomb) | | | | | | | |
|---|----------|----------|-------|-------|----------------------|-------|----------|
| Gruppo Geomeccanico | ϕ_p | ϕ_r | c_p | c_r | γ | ν | E_{op} |
| | [°] | [°] | [kPa] | [kPa] | [kN/m ³] | [-] | [MPa] |
| GR1 | 32 | 27 | 700 | 500 | 26 | 0,25 | 4000 |
| GR2 | 28 | 22 | 500 | 350 | | 0,3 | 3400 |
| GR3 | 24 | 18 | 300 | 200 | | 0,3 | 1500 |

Tabella 6-25. Formazione dei Calcarei di Erzelli: quadro di sintesi

Confronto con risultanze di indagini

Nel seguito si vuole effettuare un confronto tra la caratterizzazione presa in esame e i parametri ricavati dai sondaggi SL8 ed SD. Si precisa che tali sondaggi si spingono fino ad una profondità massima di 20 m mentre la galleria di Interconnessione attraverserà la formazione dei Calcarei di Erzelli con una copertura compresa tra 100 m e 200 m pertanto i risultati che si mostreranno sono da ritenere del tutto indicativi.

Per proseguire con il confronto è necessario individuare i tre gruppi geomeccanici.

| Gruppo Geomeccanico | γ | ν | UCS | m_i | GSI |
|---------------------|----------------------|-------|-------|-------|-----|
| | [kN/m ³] | [-] | [MPa] | [-] | [-] |
| GR1 | 26 | 0,25 | 30 | 12 | 48 |
| GR2 | 26 | 0,3 | 18 | 12 | 40 |
| GR3 | 26 | 0,3 | 8 | 12 | 32 |

Si precisa che il parametro m_i è stato fissato sulla base dei dati di letteratura presenti sui calcari.

A partire da tali parametri e linearizzando in funzione della copertura (compresa tra 100 m e 200 m) prevista per la galleria si ottengono i seguenti valori di coesione ed angolo d'attrito.

| Gruppo Geomeccanico | ϕ_p | ϕ_r | c_p | c_r |
|---------------------|----------|----------|---------|---------|
| | [°] | [°] | [kPa] | [kPa] |
| GR1 | 46-41 | 43-38 | 500-750 | 440-650 |
| GR2 | 39-34 | 36-31 | 350-530 | 300-450 |
| GR3 | 31-26 | 27-22 | 210-340 | 190-300 |

Si nota come gli angoli d'attrito assunti siano inferiori a quelli ottenuti dalle linearizzazioni mentre la coesione rientra sempre nei range ricavati. Visti i confronti la caratterizzazione assunta può essere considerata una stima cautelativa delle effettive proprietà meccaniche della roccia. Per quanto riguarda il modulo elastico, l'unica prova dilatometrica a disposizione fornisce un valore simile a

| | | |
|---|--|----------------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  | |
| | <p>IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02</p> | <p>Foglio 96 di 99</p> |

quello adottato per il gruppo geomeccanico 3: per i restanti si è deciso di assumere un valore 2-3 volte superiore ritenendo che alla profondità del tunnel un materiale compatto possa essere ben più rigido rispetto a quello investigato con la prova in sito.

Rientrano infine nel Gruppo Geomeccanico 3 i risultati delle prove di taglio eseguite sui campioni prelevati all'interno del sondaggio SL8. Le prove infatti forniscono valori di angolo d'attrito compresi tra 27° e 33° e una coesione variabile da 155 kPa a 285 kPa.

| | |
|---|--|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  |
| | <p>IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 97 di 99</p> |

7 BIBLIOGRAFIA

- Allasinaz A., Gelati R., Gnaccolini M., Martinis B., Orombelli G., Pasquarè G. & Rossi P.M. (1971) – Note illustrative e Carta Geologica d'Italia, scala 1:100.000, foglio 82, Genova. Nuova tecnica Grafica, roma, pp134.
- Barla (1995) – “Tunnelling under squeezing rock conditions”, International Society for rock mechanics, ISRM
- Boni A. & Casnedi R. (1970) – Note illustrative e Carta Geologica d'Italia, scala 1:100.000, fogli 69, Asti e 70, Alessandria. Poligrafica & Cartevalori, Ercolano (Na), pp. 64.
- Capponi, G., Cortesogno, L., Crispini, L., Gaggero, L., Bonci, M.C., Perilli, N., Piazza, M., Vannucci, G., Firpo, M., Piccazzo, M., Pacciani, G. & Ramella, A. (2007) - Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 213-230 “Genova”. S.EL.CA. Firenze.
- Capponi, G., Crispini, L., Cortesogno, L., Gaggero, L., Firpo, M., Piccazzo, M., Cabella, R., Nosengo, S., Bonci, M.C., Vannucci, G., Piazza, M., Ramella, A., Perilli, N., et alii (2009) - Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 213-230 – Genova.
- Cortesogno L. & Haccard D. (1984) – Carta Geologica della zona Sestri – Voltaggio. – Mem. Soc. Geol. It.
- Cortesogno L. & Haccard D. (1984) – Note illustrative alla carta Geologica della zona Sestri – Voltaggio. – Mem. Soc. Geol. It., Geol. It., 1984 (28).
- Hoek – Marinos (2005)- Characterisation and engineering properties of tectonically undisturbed but lithologically varied sedimentary rock masses - 2005
- Italferr (2001) – Progetto Preliminare. Tratta A.C. Milano-Genova, III Valico.
- Italferr (2005) – Progetto Definitivo. Tratta A.C. Milano-Genova, III Valico.
- Marini M. (1997) – Carta Geologica della Val Polcevera e zone limitrofe (Appennino Settentrionale) alla scala 1:25000.
- Marini M. (1998) – Carta Geologica della Val Polcevera e zone limitrofe (Appennino Settentrionale) alla scala 1:25000. Note illustrative. – Atti Tic. Sc. Terra, vol.40.
- Ministero dell’Ambiente, Servizio Valutazione Impatto Ambientale – Richiesta integrazione A.C. Genova-Milano. Protocollo N°10784/VIA/A.O/13.G ,Roma, 5 Settembre 2000.
- Piana, F., Falletti, P., Fioraso, G., Irace, A., Mosca, P., et alii (in prep.) – Carta geologica del Piemonte in scala 1:250.000. Consiglio Nazionale delle Ricerche, IGG Torino; Università degli Studi di Torino, DST; Politecnico di Torino, DIATI.

| | |
|---|--|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  |
| | <p>IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02</p> <p>Foglio 98 di 99</p> |

- Provincia di Genova (1998) – Area 06: Difesa del suolo, Opere Ambientali e Piano di Bacino – Torrente Chiaravagna e Torrente Polcevera. Piano di bacino stralcio per la difesa idrogeologica, geomorfologica, per la salvaguardia della rete idrografica e per la compatibilità delle attività estrattive. Consultabile su: <http://cartogis.provincia.genova.it/cartogis/pdb/>.
- Soc. Geol.It. (1991) – Alpi Liguri. Collana Guide Geologiche Regionali vol.2 – BE.MA.

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



IG51-04-E-CV-RB-GN22-DX-001-A02

Foglio
99 di 99

8 ALLEGATI

| ELENCO SONDAGGI - PROVE DI LABORATORIO | | | | | |
|--|-----------|----------|-------------------|----------------|-------|
| Campagna | Sondaggio | Campione | WBS | z _m | Unità |
| [-] | [-] | [-] | [-] | [m] | [-] |
| PE (L2-L5) | L4-S18 | CAR-01 | GN15B-GN14C | 80.00 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S18 | CAR-02 | GN15B-GN14C | 91.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S18 | CAR-03 | GN15B-GN14C | 98.25 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S18 | CAR-04 | GN15B-GN14C | 131.65 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S18 | CAR-05 | GN15B-GN14C | 141.30 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S14 | C-01 | GN15B-GN14C | 198.14 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S14 | C-02 | GN15B-GN14C | 208.77 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S14 | C-03 | GN15B-GN14C | 223.49 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S14 | C-04 | GN15B-GN14C | 236.60 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S14 | C-05 | GN15B-GN14C | 241.67 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S14 | C-06 | GN15B-GN14C | 249.49 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S14 | C-07 | GN15B-GN14C | 265.55 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S14 | A | GN15B-GN14C | 473.15 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S14 | B | GN15B-GN14C | 480.20 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S14 | R1 | GN15D | 197.45 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S14 | R2 | GN15D | 234.48 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S14 | R3 | GN15D | 252.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S14 | R4 | GN15D | 267.83 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S14 | R5 | GN15D | 290.58 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S14 | R6 | GN15D | 297.65 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S15 | CR-01 | GN14E-GN15F | 175.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S15 | CR-02 | GN14E-GN15F | 185.60 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S15 | CR-03 | GN14E-GN15F | 195.55 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S15 | CR-04 | GN14E-GN15F | 205.25 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S15 | CR-06 | GN14E-GN15F | 222.80 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S16 | CR-01 | GN14E-GN15F | 25.23 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S16 | CR-02 | GN14E-GN15F | 30.20 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S16 | CR-03 | GN14E-GN15F | 35.23 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S16 | CR-04 | GN14E-GN15F | 40.15 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S16 | CR-05 | GN14E-GN15F | 45.15 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S18 | CR-01 | GN14F-GN15G | 45.25 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S18 | CR-02 | GN14F-GN15G | 55.25 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S18 | CR-03 | GN14F-GN15G | 60.55 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S19 | CAR-01 | GN14F-GN15G | 84.45 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S19 | CAR-02 | GN14F-GN15G | 93.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S19 | CAR-03 | GN14F-GN15G | 119.55 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S19 | CAR-04 | GN14F-GN15G | 124.48 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S19 | CAR-05 | GN14F-GN15G | 128.55 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-CR2 | C-05 | GN14H-GN14F-GN15G | 64.46 | B' |
| PE (L2-L5) | L2-CR5 | G | GN15H-GN14G | 280.85 | B' |
| PE (L2-L5) | L4-S17 | A | GN14J-GN15J | 473.15 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S17 | B | GN14J-GN15J | 480.20 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S17 | C | GN14J-GN15J | 490.18 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S17 | D | GN14J-GN15J | 495.15 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S17 | E | GN14J-GN15J | 500.80 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S17 | F | GN14J-GN15J | 505.30 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S17 | G | GN14J-GN15J | 515.20 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S17 | H | GN14J-GN15J | 525.20 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S17 | L | GN14J-GN15J | 545.20 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-AS1 | R-01 | GN14K-GN15K | 457.60 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-AS1 | R-02 | GN14K-GN15K | 468.25 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-AS1 | R-03 | GN14K-GN15K | 478.35 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-AS1 | R-04 | GN14K-GN15K | 488.35 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-AS1 | R-05 | GN14K-GN15K | 493.35 | aP |

| Campagna | Sondaggio | Campione | WBS | z_m | Unità |
|------------|-----------|----------|-------------|--------|-------|
| [-] | [-] | [-] | [-] | [m] | [-] |
| PE (L2-L5) | L2-S04bis | R-02 | GN15L | 510.85 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S04bis | R-03 | GN15L | 530.30 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S04bis | R-04 | GN15L | 541.45 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S04bis | R-05 | GN15L | 550.40 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S04bis | R-08 | GN15L | 565.10 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S04bis | R-09 | GN15L | 570.30 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S04 | R-01 | GN15N-GN14M | 488.40 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S04 | R-02 | GN15N-GN14M | 496.40 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S04 | R-03 | GN15N-GN14M | 514.25 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S04 | R-04 | GN15N-GN14M | 525.55 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S04 | R-05 | GN15N-GN14M | 535.25 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S04 | R-06 | GN15N-GN14M | 542.25 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S04 | R-07 | GN15N-GN14M | 551.60 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S04 | R-08 | GN15N-GN14M | 554.15 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S04 | R-09 | GN15N-GN14M | 560.85 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S04 | R-10 | GN15N-GN14M | 565.00 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S30 | C-01 | GN14Q-GN14P | 98.45 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S30 | C-02 | GN14Q-GN14P | 138.70 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S30 | C-03 | GN14Q-GN14P | 164.68 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S30 | C-04 | GN14Q-GN14P | 184.25 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S30 | C-06 | GN14Q-GN14P | 218.31 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S30 | C-07 | GN14Q-GN14P | 230.23 | aP |
| PE (L2-L5) | L3-S18bis | C-01 | GN14R-GN15R | 164.67 | B' |
| PE (L2-L5) | L3-S18bis | C-02 | GN14R-GN15R | 167.44 | B' |
| PE (L2-L5) | L3-S18bis | C-03 | GN14R-GN15R | 171.20 | B' |
| PE (L2-L5) | L3-S18bis | C-04 | GN14R-GN15R | 174.22 | B' |
| PE (L2-L5) | L3-S18bis | C-05 | GN14R-GN15R | 176.22 | B' |
| PE (L2-L5) | L3-S18bis | C-06 | GN14R-GN15R | 191.17 | B' |
| PE (L2-L5) | L3-S18bis | C-07 | GN14R-GN15R | 202.22 | B' |
| PE (L2-L5) | L3-S18bis | C-08 | GN14R-GN15R | 208.83 | B' |
| PE (L2-L5) | L3-S18bis | C-09 | GN14R-GN15R | 218.57 | aP |
| PE (L2-L5) | L3-S18bis | C-10 | GN14R-GN15R | 233.23 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S05 | C-01 | GN15M | 202.30 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S05 | C-02 | GN15M | 209.21 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S05 | C-03 | GN15M | 213.60 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S05 | C-04 | GN15M | 215.27 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S05 | C-05 | GN15M | 258.90 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S05 | C-06 | GN15M | 263.90 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S05 | C-07 | GN15M | 271.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S05 | C-08 | GN15M | 284.19 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S05 | C-09a | GN15M | 292.37 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S05 | C-09b | GN15M | 292.37 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S06 | C-01 | GN15M | 30.25 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S06 | C-02 | GN15M | 52.20 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S06 | C-03 | GN15M | 69.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S06 | C-04 | GN15M | 89.56 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S06 | C-05 | GN15M | 102.48 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S06 | C-06 | GN15M | 112.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S06 | C-07 | GN15M | 132.15 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S06 | C-08 | GN15M | 136.27 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S06 | C-09 | GN15M | 155.27 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S06 | C-10 | GN15M | 164.35 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S06 | C-11 | GN15M | 175.66 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S31 | C-01 | GN14Q | 81.18 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S31 | C-02 | GN14Q | 95.52 | aP |

| Campagna | Sondaggio | Campione | WBS | z_m | Unità |
|------------|-----------|----------|-------|--------|-------|
| [-] | [-] | [-] | [-] | [m] | [-] |
| PE (L2-L5) | L2-S31 | C-03 | GN14Q | 130.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S31 | C-04 | GN14Q | 149.59 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S31 | C-05 | GN14Q | 169.80 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S31 | C-06 | GN14Q | 202.55 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S31 | C-07 | GN14Q | 215.65 | aP |
| PE (L1) | SLI-12 | A | GN14Q | 148.60 | aP |
| PE (L1) | SLI-12 | B | GN14Q | 160.60 | aP |
| PE (L1) | SLI-12 | C | GN14Q | 170.60 | aP |
| PE (L1) | SLI-12 | D | GN14Q | 180.10 | aP |
| PE (L1) | SLI-12 | E | GN14Q | 189.35 | aP |
| PP | AA301G047 | 1 | GN15C | 56.22 | aP |
| PP | AA301G047 | 2 | GN15C | 61.70 | aP |
| PP | AA301G047 | 3 | GN15C | 66.30 | aP |
| PP | AA301G047 | 4 | GN15C | 73.30 | aP |
| PP | AA301G047 | 5 | GN15C | 75.20 | aP |
| PP | AA301G047 | 6 | GN15C | 78.23 | aP |
| PP | AA301G047 | 7 | GN15C | 84.32 | aP |
| PP | AA301G047 | 8 | GN15C | 88.68 | aP |
| PP | AA301G047 | 9 | GN15C | 93.39 | aP |
| PP | AA301G047 | 10 | GN15C | 99.32 | aP |
| PP | AA301G048 | 1 | GN15A | 27.60 | aP |
| PP | AA301G048 | 2 | GN15A | 34.71 | aP |
| PP | AA301G048 | 3 | GN15A | 39.80 | aP |
| PP | AA301G048 | 4 | GN15A | 40.60 | aP |
| PP | AA301G048 | 5 | GN15A | 46.20 | aP |
| PP | AA301G048 | 6 | GN15A | 51.05 | aP |
| PP | AA301G050 | 1 | GN15B | 112.20 | aP |
| PP | AA301G050 | 2 | GN15B | 116.15 | aP |
| PP | AA301G050 | 3 | GN15B | 120.81 | aP |
| PP | AA301G050 | 4 | GN15B | 125.88 | aP |
| PP | AA301G050 | 5 | GN15B | 131.15 | aP |
| PP | AA301G050 | 6 | GN15B | 134.86 | aP |
| PP | AA301G050 | 7 | GN15B | 138.32 | aP |
| PP | AA301G050 | 8 | GN15B | 139.77 | aP |
| PP | AA301G050 | 9 | GN15B | 142.30 | aP |
| PP | AA301G050 | 10 | GN15B | 146.30 | aP |
| PP | AA301G050 | 11 | GN15B | 149.67 | aP |
| PP | AA301G027 | 1 | GN14J | 6.14 | aP |
| PP | AA301G027 | 2 | GN14J | 11.32 | aP |
| PP | AA301G027 | 3 | GN14J | 18.70 | aP |
| PP | AA301G027 | 4 | GN14J | 23.70 | aP |
| PP | AA301G027 | 5 | GN14J | 39.40 | aP |
| PP | AA301G116 | 1 | GN15C | 153.76 | aP |
| PP | AA301G116 | 2 | GN15C | 159.60 | aP |
| PP | AA301G116 | 3 | GN15C | 163.80 | aP |
| PP | AA301G116 | 4 | GN15C | 172.47 | aP |
| PP | AA301G116 | 6 | GN15C | 184.72 | aP |
| PP | AA301G116 | 7 | GN15C | 192.25 | aP |
| PP | AA301G116 | 8 | GN15C | 196.11 | aP |
| PP | AA301G116 | 9 | GN15C | 201.59 | aP |
| PP | AA301G116 | 10 | GN15C | 205.26 | aP |
| PP | AA301G116 | 11 | GN15C | 217.66 | aP |
| PP | AA301G116 | 12 | GN15C | 224.51 | aP |
| PP | AA301G116 | 14 | GN15C | 232.29 | aP |
| PP | AA301G116 | 15 | GN15C | 248.82 | aP |

| Campagna | Sondaggio | Campione | WBS | z_m | Unità |
|----------|-----------|----------|-------|--------|-------|
| [-] | [-] | [-] | [-] | [m] | [-] |
| PP | AA301G045 | 1 | GN13 | 39.63 | aP |
| PP | AA301G045 | 2 | GN13 | 44.08 | aP |
| PP | AA301G045 | 3 | GN13 | 47.25 | aP |
| PP | AA301G045 | 4 | GN13 | 51.75 | aP |
| PP | AA301G045 | 5 | GN13 | 54.20 | aP |
| PP | AA301G045 | 6 | GN13 | 58.61 | aP |
| PP | AA301G045 | 7 | GN13 | 62.28 | aP |
| PP | 7A301G046 | 2 | GN11 | 12.32 | aP |
| PP | 7A301G046 | 3 | GN11 | 14.12 | aP |
| PP | 7A301G046 | 4 | GN11 | 17.70 | aP |
| PP | 7A301G046 | 5 | GN11 | 22.83 | aP |
| PP | 7A301G046 | 6 | GN11 | 26.36 | aP |
| PP | AA301G049 | 1 | GN15A | 93.65 | aP |
| PP | AA301G049 | 2 | GN15A | 98.10 | aP |
| PP | AA301G049 | 3 | GN15A | 103.37 | aP |
| PP | AA301G049 | 4 | GN15A | 107.70 | aP |
| PP | AA301G049 | 5 | GN15A | 113.69 | aP |
| PP | AA301G049 | 6 | GN15A | 118.93 | aP |
| PP | AA301G049 | 7 | GN15A | 122.90 | aP |
| PP | AA301G049 | 8 | GN15A | 125.20 | aP |
| PP | AA301G049 | 9 | GN15A | 109.47 | aP |
| PP | AA301G049 | 10 | GN15A | 115.18 | aP |
| PP | SA301G051 | CR1 | GN15F | 57.33 | aP |
| PP | SA301G051 | CR2 | GN15F | 62.42 | aP |
| PP | SA301G051 | CR3 | GN15F | 65.30 | aP |
| PP | SA301G051 | CR4 | GN15F | 69.83 | aP |
| PP | SA301G051 | CR5 | GN15F | 72.24 | aP |
| PP | SA301G051 | CR6 | GN15F | 75.86 | aP |
| PP | AA301G052 | 1 | GN15G | 96.94 | aP |
| PP | AA301G052 | 2 | GN15G | 100.08 | aP |
| PP | AA301G052 | 3 | GN15G | 103.90 | aP |
| PP | AA301G052 | 4 | GN15G | 108.60 | aP |
| PP | AA301G052 | 5 | GN15G | 111.88 | aP |
| PP | AA301G052 | 6 | GN15G | 113.60 | aP |
| PP | AA301G052 | 7 | GN15G | 118.60 | aP |
| PP | 6A301G054 | CR1 | GN15G | 30.37 | aP |
| PP | 6A301G054 | CR2 | GN15G | 32.40 | aP |
| PP | 6A301G054 | CR3 | GN15G | 34.18 | aP |
| PP | 6A301G054 | CR4 | GN15G | 36.91 | aP |
| PP | 6A301G054 | CR5 | GN15G | 42.34 | aP |
| PP | SA301G058 | 1 | GN15E | 69.17 | aP |
| PP | SA301G058 | 2 | GN15E | 72.20 | aP |
| PP | SA301G058 | 3 | GN15E | 76.70 | aP |
| PP | SA301G058 | 4 | GN15E | 80.49 | aP |
| PP | SA301G058 | 5 | GN15E | 83.72 | aP |
| PP | SA301G058 | 6 | GN15E | 87.90 | aP |
| PP | SA301G058 | 7 | GN15E | 89.55 | aP |
| PP | AA301D014 | R2 | TR11 | 20.85 | aP |
| PP | AA301D014 | R4 | TR11 | 40.45 | aP |
| PP | AA301D015 | R2 | TR11 | 31.40 | aP |
| PP | AA301D015 | R3 | TR11 | 40.45 | aP |
| PP | AA301D015 | R4 | TR11 | 46.45 | aP |
| PP | AA301G016 | R2 | TR11 | 19.30 | aP |
| PP | AA301G016 | R3 | TR11 | 42.70 | aP |
| PP | AA301G017 | R3 | TR11 | 22.15 | aP |

| Campagna | Sondaggio | Campione | WBS | z _m | Unità |
|------------|------------|----------|------------|----------------|-------|
| [-] | [-] | [-] | [-] | [m] | [-] |
| PP | AA301G017 | R4 | TR11 | 40.75 | aP |
| PP | AA301G017 | R5 | TR11 | 48.75 | aP |
| PP | AA301G018 | CR2 | TR11 | 23.15 | aP |
| PP | AA301G018 | CR4 | TR11 | 54.70 | aP |
| PE (L2-L5) | TR11-02 | C | TR11 | 29.25 | aP |
| PE (L1) | SI-06 | C | TR11 | 26.20 | aP |
| PE (L1) | NVVA1-1 | R1 | TR11 | 21.85 | aP |
| PE (L1) | GA1A-1 | R1 | TR11 | 11.25 | aP |
| PE (L1) | GA1A-1 | R2 | TR11 | 24.25 | aP |
| PE (L1) | SLI-07 | R1 | GN15E | 67.25 | aP |
| PE (L1) | SLI-07 | R2 | GN15E | 76.50 | aP |
| PE (L1) | SLI-07 | R3 | GN15E | 90.75 | aP |
| PE (L1) | SLI-07 | R4 | GN15E | 103.40 | aP |
| PE (L1) | SLI-07 | R5 | GN15E | 115.30 | aP |
| PE (L1) | SLI-06 | R1 | GN15E | 105.75 | aP |
| PE (L1) | SLI-06 | R2 | GN15E | 111.30 | aP |
| PE (L1) | SLI-06 | R3 | GN15E | 125.20 | aP |
| PE (L1) | SI-08 | A | NV08 | 6.35 | aP |
| PE (L1) | SI-08 | B | NV08 | 18.50 | aP |
| PE (L1) | NV08-SI-01 | R01 | NV08 | 16.25 | aP |
| PE (L1) | NV08-SI-01 | R02 | NV08 | 28.45 | aP |
| PE (L1) | SMAR-01 | A | NV08 | 11.85 | aP |
| PE (L1) | SMAR-01 | B | NV08 | 20.60 | aP |
| PE (L1) | SMAR-01 | C | NV08 | 28.38 | aP |
| PE (L1) | SMAR-02 | A | NV08 | 11.25 | aP |
| PE (L1) | SMAR-02 | B | NV08 | 16.35 | aP |
| PE (L1) | SMAR-02 | C | NV08 | 27.30 | aP |
| PE (L1) | SMAR-03 | A | NV08 | 17.80 | aP |
| PE (L1) | SMAR-03 | B | NV08 | 20.70 | aP |
| PE (L1) | SMAR-03 | C | NV08 | 25.30 | aP |
| PE (L1) | SMAR-04 | A | NV08 | 11.50 | aP |
| PE (L1) | SMAR-04 | B | NV08 | 16.25 | aP |
| PE (L1) | SMAR-04 | C | NV08 | 26.80 | aP |
| PE (L1) | SMAR-05 | A | NV08 | 9.15 | aP |
| PE (L1) | SMAR-05 | B | NV08 | 12.20 | aP |
| PE (L1) | SMAR-05 | C | NV08 | 28.35 | aP |
| PE (L1) | SRIV-01 | R1 | NV08 | 14.68 | aP |
| PE (L1) | SRIV-02 | R1 | NV08 | 10.75 | aP |
| PE (L1) | SRIV-02 | R2 | NV08 | 21.60 | aP |
| PE (L1) | SRIV-03 | R1 | NV08 | 13.35 | aP |
| PE (L1) | SRIV-04 | R1 | NV08 | 9.75 | aP |
| PE (L1) | SRIV-04 | R2 | NV08 | 19.30 | aP |
| PD | SLI-04 | B | GN15E-GA1D | 16.30 | aP |
| PD | SLI-04 | C | GN15E-GA1D | 23.55 | aP |
| PE (L1) | NV08-SI-02 | A | NV08 | 11.35 | aP |
| PE (L1) | NV08-SI-02 | B | NV08 | 20.85 | aP |
| PE (L1) | NV08-SI-02 | C | NV08 | 25.40 | aP |
| PE (L1) | SI-09 | A | NV09 | 8.25 | aP |
| PE (L1) | SI-09 | B | NV09 | 18.15 | aP |
| PE (L1) | SI-56 | B | NV32 | 11.80 | aP |
| PE (L1) | SMAG-01 | R1 | NV32 | 21.60 | aP |
| PE (L1) | SMAG-02 | R1 | NV32 | 16.15 | aP |
| PE (L1) | SI-55 | C | NV32 | 30.55 | aP |
| PE | SI-46 | 1 | NV22 | 5.20 | B' |
| PE | SI-46 | 2 | NV22 | 14.75 | B' |

| Campagna | Sondaggio | Campione | WBS | z_m | Unità |
|----------|-----------|----------|-------|-------|--------|
| [-] | [-] | [-] | [-] | [m] | [-] |
| PE | SI-46 | 3 | NV22 | 23.25 | B' |
| PE | SI-22 | C | GN14Q | 18.55 | aP |
| PE | SI-23 | B | GN14Q | 11.15 | aP |
| PE | SI-24 | R1(1) | NV14 | 30.50 | aP |
| PE | SI-24 | R1(2) | NV14 | 31.10 | aP |
| PE | SI-24 | R2 | NV14 | 54.50 | aP |
| PE | SI-25 | R1 | NV14 | 34.75 | aP |
| PE | SI-25 | R2 | NV14 | 46.20 | aP |
| PE | SI-25 | R3 | NV14 | 51.70 | aP |
| PE | SI-26 | R1 | NV14 | 48.15 | aP |
| PE | SI-26 | R2 | NV14 | 59.35 | aP |
| PE | SI-27 | R1 | NV14 | 28.55 | aP |
| PE | SI-27 | R2 | NV14 | 44.35 | aP |
| PE | SI-28 | R1 | NV14 | 50.70 | aP |
| PD | SF-13 | CR5-CR6 | GA1D | 17.45 | aP |
| PD | SL-09 | R3 | GA1D | 2.35 | aP |
| PD | SL-09 | R3 | GA1D | 2.35 | aP |
| PD | SL-09 | R4 | GA1D | 7.30 | aP |
| PD | SL-09 | R4 | GA1D | 7.30 | aP |
| PD | SL-09 | R5 | GA1D | 12.65 | aP |
| PD | SL-09 | R5 | GA1D | 12.65 | aP |
| PD | SL-09 | R6 | GA1D | 14.25 | aP |
| PD | SL-09 | R6 | GA1D | 14.25 | aP |
| PD | SL-09 | R7 | GA1D | 17.75 | aP |
| PD | SL-09 | R7 | GA1D | 17.75 | aP |
| PD | SL-09 | R8 | GA1D | 27.20 | aP |
| PD | SL-09 | R8 | GA1D | 27.20 | aP |
| PD | SL-09 | R2 | GA1D | 28.65 | aP |
| PD | SL-09 | R2 | GA1D | 28.65 | aP |
| PD | SL-12 | R2 | NV07 | 14.15 | aP |
| PD | SL-12 | R3 | NV07 | 18.13 | aP |
| PD | SL-36 | R2 | NV07 | 12.45 | aP |
| PD | SL-36 | R2 | NV07 | 12.45 | aP |
| PD | SL-36 | R2 | NV07 | 12.45 | aP |
| PD | SL-38 | R2 | NV07 | 7.15 | aP |
| PD | SP-04 | - | GN14Q | - | c - aP |
| PD | SP-02 | R1 | NV13 | 9.85 | aP |
| PD | SP-02 | R1 | NV13 | 9.85 | aP |
| PD | SP-02 | R1 | NV13 | 9.85 | aP |
| PD | SP-02 | R1 | NV13 | 9.85 | aP |
| PD | SP-25 | R1 | GN14Q | 14.15 | aP |
| PD | SP-25 | R1 | GN14Q | 14.15 | aP |
| PD | SP-25 | R1 | GN14Q | 14.15 | aP |
| PD | SP-25 | R1 | GN14Q | 14.15 | aP |
| PD | SP-26 | R3 | NV13 | 16.45 | aP |
| PD | SP-26 | R3 | NV13 | 16.45 | aP |
| PD | SP-26 | R3 | NV13 | 16.45 | aP |
| PD | SP-26 | R3 | NV13 | 16.45 | aP |
| PD | SL-28 | A | NV03 | 8.25 | aP |
| PD | SL-28 | A | NV03 | 8.25 | aP |
| PD | SL-28 | B | NV03 | 8.80 | aP |
| PD | SL-28 | B | NV03 | 8.80 | aP |
| PD | SL-28 | B | NV03 | 8.80 | aP |
| PD | SL-28 | B | NV03 | 8.80 | aP |
| PD | SL-28 | C | NV03 | 9.85 | aP |

| Campagna | Sondaggio | Campione | WBS | z_m | Unità |
|----------|-----------|----------|------|-------|-------|
| [-] | [-] | [-] | [-] | [m] | [-] |
| PD | SL-28 | C | NV03 | 9.85 | aP |
| PD | SL-28 | C | NV03 | 9.85 | aP |
| PD | SL-28 | C | NV03 | 9.85 | aP |
| PD | SL-28 | D | NV03 | 13.70 | aP |
| PD | SL-28 | D | NV03 | 13.70 | aP |
| PD | SL-28 | D | NV03 | 13.70 | aP |
| PD | SL-28 | D | NV03 | 13.70 | aP |
| PD | SL-28 | E | NV03 | 14.60 | aP |
| PD | SL-28 | E | NV03 | 14.60 | aP |
| PD | SL-28 | E | NV03 | 14.60 | aP |
| PD | SL-28 | E | NV03 | 14.60 | aP |
| PD | SL-29 | R1 | NV03 | 11.50 | aP |
| PD | SL-29 | R1 | NV03 | 11.50 | aP |
| PD | SL-29 | R1 | NV03 | 11.50 | aP |
| PD | SL-30 | R1 | NV03 | 11.50 | aP |
| PD | SL-05 | 1 | NV03 | 17.73 | aP |
| PD | SL-05 | 1 | NV03 | 17.73 | aP |
| PD | SL-05 | 1 | NV03 | 17.73 | aP |
| PD | SL-05 | 2 | NV03 | 24.80 | aP |
| PD | SL-05 | 2 | NV03 | 24.80 | aP |
| PD | SL-05 | 2 | NV03 | 24.80 | aP |
| PD | SL-05 | 3 | NV03 | 29.30 | aP |
| PD | SL-21 | 2 | NV02 | 17.10 | aP |
| PD | SL-21 | 2 | NV02 | 17.10 | aP |
| PD | SL-21 | 2 | NV02 | 17.10 | aP |
| PD | SL-21 | 3 | NV02 | 17.60 | aP |
| PD | SL-21 | 3 | NV02 | 17.60 | aP |
| PD | SL-08 | B+3 | GASC | 5.33 | cE |
| PD | SL-08 | B+3 | GASC | 5.33 | cE |
| PD | SL-08 | B+3 | GASC | 5.33 | cE |
| PD | SL-08 | C | GASC | 8.25 | cE |
| PD | SL-08 | C | GASC | 8.25 | cE |
| PD | SL-08 | D | GASC | 10.90 | cE |
| PD | SL-08 | D | GASC | 10.90 | cE |
| PD | SL-08 | E | GASC | 11.95 | cE |
| PD | SL-08 | F | GASC | 14.95 | cE |
| PD | SL-08 | F | GASC | 14.95 | cE |
| PD | SL-08 | 5 | GASC | 15.15 | cE |
| PD | SL-08 | 6 | GASC | 16.55 | cE |
| PD | SL-08 | G | GASC | 16.78 | cE |
| PD | SL-08 | 7 | GASC | 17.45 | cE |
| PD | SL-08 | I | GASC | 19.60 | cE |
| PD | SL-32 | 1 | GNSA | 0.80 | B' |
| PD | SL-32 | 2 | GNSA | 3.40 | B' |
| PD | SL-32 | 2 | GNSA | 3.40 | B' |
| PD | SL-32 | 3 | GNSA | 4.60 | B' |
| PD | SL-32 | 4+4bis | GNSA | 5.38 | B' |
| PD | SL-32 | 4+4bis | GNSA | 5.38 | B' |
| PD | SL-32 | 5 | GNSA | 8.40 | B' |
| PD | SL-32 | 6 | GNSA | 9.05 | B' |
| PD | SL-32 | 6 | GNSA | 9.05 | B' |
| PD | SL-32 | 6 | GNSA | 9.05 | B' |
| PD | SL-32 | 6 | GNSA | 9.05 | B' |
| PD | SL-32 | 6 | GNSA | 9.05 | B' |
| PD | SL-32 | 7 | GNSA | 19.20 | B' |
| PD | SL-32 | 8 | GNSA | 21.45 | B' |

| Campagna | Sondaggio | Campione | WBS | z_m | Unità |
|----------|-----------|----------|------|-------|-------|
| [-] | [-] | [-] | [-] | [m] | [-] |
| PD | SL-32 | 10 | GNSA | 26.25 | B' |
| PD | SL-32 | 10 | GNSA | 26.25 | B' |
| PD | SL-32 | 11 | GNSA | 27.55 | B' |
| PD | SL-32 | 11 | GNSA | 27.55 | B' |
| PD | SL-33 | 1 | GASB | 26.75 | B' |
| PD | SL-33 | 1 | GASB | 26.75 | B' |
| PD | SL-33 | 1 | GASB | 26.75 | B' |
| PD | SL-33 | 1 | GASB | 26.75 | B' |
| PD | SL-33 | 1 | GASB | 26.75 | B' |
| PD | SL-33 | 2 | GASB | 33.85 | B' |
| PD | SL-33 | 3 | GASB | 40.90 | B' |
| PD | SL-33 | 3 | GASB | 40.90 | B' |
| PD | SL-33 | 3 | GASB | 40.90 | B' |
| PD | SL-33 | 3 | GASB | 40.90 | B' |
| PD | SL-33 | 3 | GASB | 40.90 | B' |
| PD | SL-33 | 4 | GASB | 46.30 | B' |
| PD | SL-33 | 5+6 | GASB | 48.80 | B' |
| PD | SL-33 | 5+6 | GASB | 48.80 | B' |
| PD | SL-33 | 5+6 | GASB | 48.80 | B' |
| PD | SL-33 | 7 | GASB | 52.25 | B' |
| PD | SL-33 | 7 | GASB | 52.25 | B' |
| PD | SL-33 | 7 | GASB | 52.25 | B' |
| PD | SL-33 | 7 | GASB | 52.25 | B' |
| PD | SL-33 | 8 | GASB | 54.30 | B' |
| PD | SL-33 | 8 | GASB | 54.30 | B' |
| PD | SL-33 | 8 | GASB | 54.30 | B' |
| PD | SL-33 | 8 | GASB | 54.30 | B' |
| PD | SL-33 | 9 | GASB | 55.70 | B' |
| PD | SL-33 | 9 | GASB | 55.70 | B' |
| PD | SL-33 | 9 | GASB | 55.70 | B' |
| PD | SL-33 | 9 | GASB | 55.70 | B' |
| PD | SL-33 | 10 | GASB | 58.00 | B' |
| PD | SL-33 | 10 | GASB | 58.00 | B' |
| PD | SL-33 | 10 | GASB | 58.00 | B' |
| PD | SL-34 | A | GNSB | 35.60 | B' |
| PD | SL-34 | A | GNSB | 35.60 | B' |
| PD | SL-34 | B | GNSB | 37.30 | B' |
| PD | SL-34 | B | GNSB | 37.30 | B' |
| PD | SL-34 | B | GNSB | 37.30 | B' |
| PD | SL-34 | B | GNSB | 37.30 | B' |
| PD | SL-34 | R2 | GNSB | 39.35 | B' |
| PD | SL-34 | R2 | GNSB | 39.35 | B' |
| PD | SL-34 | C | GNSB | 49.40 | B' |
| PD | SL-34 | C | GNSB | 49.40 | B' |
| PD | SL-34 | C | GNSB | 49.40 | B' |
| PD | SL-34 | C | GNSB | 49.40 | B' |
| PD | SL-47bis | R4 | GNSB | 55.15 | B' |
| PD | SL-47bis | R4 | GNSB | 55.15 | B' |
| PD | SL-47bis | R5 | GNSB | 55.40 | B' |
| PD | SL-47bis | R5 | GNSB | 55.40 | B' |
| PD | SL-47bis | CR6 | GNSB | 55.65 | B' |
| PD | SL-47bis | R7 | GNSB | 57.10 | B' |
| PD | SL-47bis | R7 | GNSB | 57.10 | B' |
| PD | SL-47bis | CR8 | GNSB | 57.35 | B' |
| PD | SL-47bis | R9 | GNSB | 58.70 | B' |

| Campagna | Sondaggio | Campione | WBS | z _m | Unità |
|----------|-----------|------------|-------|----------------|-----------|
| [-] | [-] | [-] | [-] | [m] | [-] |
| PD | SL-47bis | R9 | GNSB | 58.70 | B' |
| PD | SL-47bis | R10 | GNSB | 59.90 | B' |
| PD | SL-47bis | R10 | GNSB | 59.90 | B' |
| PD | SL-47bis | R11 | GNSB | 65.35 | B' |
| PD | SL-47bis | R11 | GNSB | 65.35 | B' |
| PD | SL-47bis | CR12 | GNSB | 66.15 | B' |
| PD | SL-47bis | CR13 | GNSB | 67.35 | B' |
| PD | SL-47bis | R14 | GNSB | 67.65 | B' |
| PD | SL-47bis | R14 | GNSB | 67.65 | B' |
| PD | SL-47bis | R15 | GNSB | 68.60 | B' |
| PD | SL-47bis | R15 | GNSB | 68.60 | B' |
| PD | SL-47bis | R16 | GNSB | 69.10 | B' |
| PD | SL-47bis | R16 | GNSB | 69.10 | B' |
| PD | SL-47bis | R17 | GNSB | 69.60 | B' |
| PD | SL-47bis | R17 | GNSB | 69.60 | B' |
| PD | SL-56 | CR1 | NV01 | 13.53 | B' faglia |
| PD | SL-56 | CR2 | NV01 | 6.30 | B' faglia |
| PD | SL-56 | CR3 | NV01 | 8.35 | B' faglia |
| PD | SL-56 | CR4 | NV01 | 10.65 | B' faglia |
| PD | SL-56 | CR5 | NV01 | 17.35 | B' faglia |
| PD | SL-56 | CR6 | NV01 | 20.90 | B' faglia |
| PD | SL-56 | CR7-CR7bis | NV01 | 23.50 | B' faglia |
| PD | SL-57 | CR2 | NV01 | 7.50 | B' faglia |
| PD | SL-57 | CR3 | NV01 | 11.50 | B' faglia |
| PD | SL-57 | CR3bis | NV01 | 12.50 | B' faglia |
| PD | SL-57 | CR4 | NV01 | 13.35 | B' faglia |
| PD | SL-57 | CR5-CR6 | NV01 | 14.30 | B' faglia |
| PD | SL-16 | R1 | NV09 | 3.30 | aP |
| PD | SL-16 | R1 | NV09 | 3.30 | aP |
| PD | SL-16 | R1 | NV09 | 3.30 | aP |
| PD | SL-16 | R1 | NV09 | 3.30 | aP |
| PD | SL-39 | 2 | NV08 | 6.40 | aP |
| PD | SL-39 | 2 | NV08 | 6.40 | aP |
| PD | SL-55 | CR2 | NV09 | 6.78 | aP |
| PD | SF-11 | CO_MB_01 | NV03 | 35.30 | B' |
| PD | SF-11 | CO_MB_02 | NV03 | 36.93 | B' |
| PD | SF-11 | CO_MB_03 | NV03 | 21.85 | B' |
| PD | SF-11 | BME 1 | NV03 | 35.10 | B' |
| PD | SF-11 | BME 2 | NV03 | 35.45 | B' |
| PD | SF-11 | BME 3 | NV03 | 35.65 | B' |
| PD | SF-11 | BME 4 | NV03 | 21.20 | B' |
| PD | SF-11 | BME 5 | NV03 | 21.40 | B' |
| PD | SF-11 | TG 102/3/4 | NV03 | | B' |
| PD | SR-13 | CO_AR_01 | GN15J | 214.00 | aP |
| PD | SR-13 | CO_AR_02 | GN15J | 214.50 | aP |
| PD | SR-13 | CO_AR_03 | GN15J | 404.00 | aP |
| PD | SR-13 | CO_AR_04 | GN15J | 404.60 | aP |
| PD | SR-13 | T_AR_01 | GN15J | 213.25 | aP |
| PD | SR-13 | T_AR_02 | GN15J | 214.25 | aP |
| PD | SR-13 | T_AR_03 | GN15J | 186.70 | aP |
| PD | SR-14 | CO_AR_05 | GN14N | 405.10 | aP |
| PD | SR-14 | CO_AR_10 | GN14N | 405.60 | aP |
| PD | SR-14 | CO_AR_11 | GN14N | 328.10 | aP |
| PD | SR-14 | T_AR_04 | GN14N | 347.60 | aP |
| PD | SR-14 | T_AR_08 | GN14N | 322.70 | aP |

| Campagna | Sondaggio | Campione | WBS | z_m | Unità |
|------------|-----------|----------|-------|--------|-------|
| [-] | [-] | [-] | [-] | [m] | [-] |
| PD | SC-18 | CO_AR_06 | GN23E | 124.00 | aP |
| PD | SC-18 | CO_AR_07 | GN23E | 123.55 | aP |
| PD | SC-18 | CO_AR_08 | GN23E | 122.45 | aP |
| PD | SC-18 | T_AR_05 | GN23E | 122.45 | aP |
| PD | SC-18 | T_AR_06 | GN23E | 122.25 | aP |
| PD | SC-18 | T_AR_07 | GN23E | 122.00 | aP |
| PD | SC-18 | T_AR_09 | GN23E | 120.55 | aP |
| PD | SC-18 | T_AR_10 | GN23E | 120.75 | aP |
| PD | SC-18 | T_AR_11 | GN23E | 120.75 | aP |
| PD | SC-21 | T_AR_12 | GN15C | 358.55 | aP |
| PD | SC-21 | T_AR_13 | GN15C | 357.20 | aP |
| PD | SC-21 | T_AR_14 | GN15C | 357.78 | aP |
| PD | SC-21 | T_AR_15 | GN15C | 357.66 | aP |
| PD | SC-21 | T_AR_16 | GN15C | 355.25 | aP |
| PD | SC-21 | T_AR_17 | GN15C | 355.40 | aP |
| PD | SR-13 | BAR 1 | GN15J | 213.80 | aP |
| PD | SR-13 | BAR 2 | GN15J | 213.90 | aP |
| PD | SR-13 | BAR 4 | GN15J | 213.25 | aP |
| PD | SR-13 | BAR 5 | GN15J | 211.60 | aP |
| PD | SR-13 | BAR 6 | GN15J | 211.70 | aP |
| PD | SR-13 | BAR 7 | GN15J | 211.15 | aP |
| PD | SR-13 | BAR 7* | GN15J | 210.10 | aP |
| PD | SR-13 | BAR 8 | GN15J | 210.20 | aP |
| PD | SR-13 | BAR 9 | GN15J | 210.20 | aP |
| PD | SR-13 | BAR 10 | GN15J | 211.80 | aP |
| PD | SR-13 | BAR 11 | GN15J | 211.80 | aP |
| PD | SR-13 | BAR 12 | GN15J | 185.70 | aP |
| PD | SR-13 | BAR 13 | GN15J | 187.35 | aP |
| PD | SR-13 | BAR 14 | GN15J | 187.35 | aP |
| PD | SR-13 | BAR 15 | GN15J | 187.55 | aP |
| PD | SR-13 | BAR 16 | GN15J | 187.55 | aP |
| PD | SR-13 | BAR 17 | GN15J | 189.55 | aP |
| PD | SR-13 | BAR 18 | GN15J | 189.55 | aP |
| PD | SR-14 | BAR 19 | GN14N | 321.30 | aP |
| PD | SR-14 | BAR 20 | GN14N | 323.10 | aP |
| PD | SR-14 | BAR 21 | GN14N | 323.10 | aP |
| PD | SR-14 | BAR 22 | GN14N | 323.30 | aP |
| PD | SR-14 | BAR 23 | GN14N | 324.50 | aP |
| PD | SR-14 | BAR 24 | GN14N | 335.60 | aP |
| PD | SR-14 | BAR 25 | GN14N | 335.72 | aP |
| PD | SR-14 | BAR 30 | GN14N | 340.47 | aP |
| PD | SR-14 | BAR 32 | GN14N | 348.30 | aP |
| PD | SR-14 | BAR 34 | GN14N | 349.80 | aP |
| PD | SR-14 | BAR 35 | GN14N | 350.20 | aP |
| PD | SR-14 | BAR 36 | GN14N | 350.40 | aP |
| PD | SC-18 | BAR 38 | GN23E | 121.50 | aP |
| PD | SC-18 | BAR 41 | GN23E | 124.55 | aP |
| PD | SC-18 | BAR 43 | GN23E | 124.55 | aP |
| PD | - | TG | | | aP |
| PE (L1) | SI-52 | A | NV32 | 4.90 | aP |
| PE (L1) | SI-52 | B | NV32 | 10.28 | aP |
| PE (L1) | SI-52 | C | NV32 | 30.15 | aP |
| PE (L1) | SI-54 | A | NV32 | 7.55 | aP |
| PE (L1) | SI-54 | B | NV32 | 10.10 | aP |
| PE (L2-L5) | L5- S04 | A | GN23C | 300.72 | B' |

| Campagna | Sondaggio | Campione | WBS | z_m | Unità |
|------------|-----------|----------|------------|--------|-----------------|
| [-] | [-] | [-] | [-] | [m] | [-] |
| PE (L2-L5) | L5- S04 | B | GN23C | 314.80 | B' |
| PE (L2-L5) | L5- S04 | C | GN23C | 324.42 | B' |
| PE (L2-L5) | L5- S04 | D | GN23C | 345.17 | B' |
| PE (L2-L5) | L5- S04 | E | GN23C | 354.15 | B' |
| PE (L2-L5) | L5- S04 | F | GN23C | 359.70 | B' |
| PE (L2-L5) | L5- S08 | A | GN23C | 150.15 | aP |
| PE (L2-L5) | L5- S08 | B | GN23C | 160.15 | aP |
| PE (L2-L5) | L5- S08 | C | GN23C | 172.15 | aP |
| PE (L2-L5) | L5- S08 | D | GN23C | 181.15 | aP |
| PE (L2-L5) | L5- S08 | E | GN23C | 192.40 | aP |
| PE (L2-L5) | L5- S08 | F | GN23C | 201.70 | aP |
| PE (L2-L5) | L5- S08 | G | GN23C | 211.15 | aP |
| PE (L2-L5) | L5- S08 | H | GN23C | 218.20 | aP |
| PE (L2-L5) | L5- S03 | R01 | GN22D | 40.45 | aP |
| PE (L2-L5) | L5- S03 | R3 | GN22D | 59.55 | aP |
| PE (L2-L5) | L5- S03 | R4 | GN22D | 70.90 | aP |
| PE (L2-L5) | L5- S03 | R5 | GN22D | 74.70 | aP |
| PE (L2-L5) | L5- S03 | R6 | GN22D | 80.30 | aP |
| PE (L2-L5) | L5- S03 | R7 | GN22D | 96.10 | aP |
| PE (L2-L5) | L3-S49 | R1 | GN15M | 8.65 | B' |
| PE (L2-L5) | L3-S49 | R2 | GN15M | 20.65 | B' |
| PP | XA301A008 | K | NV13-GN15M | 34.55 | aP-B' alteranza |
| PP | XA301A007 | C | NV22 | 24.65 | aP-B' alteranza |
| PP | XA301A007 | D | NV22 | 30.30 | aP-B' alteranza |
| PP | XA301A007 | E | NV22 | 37.80 | aP-B' alteranza |
| PE (L1) | SLI-09 | 2 | GN14Q | 13.50 | aP |
| PE (L1) | SLI-09 | 3 | GN14Q | 31.75 | aP |

| ELENCO SONDAGGI - PROVE IN SITU | | | | | |
|---------------------------------|-----------|--------------|-------------|----------------|--------|
| Campagna | Sondaggio | CODICE PROVA | WBS | z _m | UNITA' |
| [-] | [-] | [-] | [-] | [m] | [-] |
| PE (L2-L5) | L4-S18 | D1 | GN15B-GN14C | 130.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S18 | D2 | GN15B-GN14C | 144.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S18 | LU1 | GN15B-GN14C | 81.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S18 | LU2 | GN15B-GN14C | 100.20 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S18 | LU3 | GN15B-GN14C | 119.20 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S18 | LU4 | GN15B-GN14C | 139.20 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S14 | D1 | GN15B-GN14C | 262.00 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S14 | D2 | GN15B-GN14C | 239.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S14 | LU1 | GN15B-GN14C | 194.725 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S14 | LU2 | GN15B-GN14C | 200.275 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S14 | LU3 | GN15B-GN14C | 210.8 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S14 | LU4 | GN15B-GN14C | 231.7 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S14 | LU5 | GN15B-GN14C | 254.75 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S14 | HF | GN15B-GN14C | | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S14 | D1 | GN15D | 325.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S14 | D2 | GN15D | 340.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S14 | LU1 | GN15D | 250.00 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S14 | LU2 | GN15D | 274.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S14 | LU3 | GN15D | 300.80 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S14 | LU4 | GN15D | 331.30 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S14 | HF | GN15D | | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S15 | LU1 | GN14E-GN15F | 156.10 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S15 | LU2 | GN14E-GN15F | 180.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S15 | LU3 | GN14E-GN15F | 197.90 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S15 | LU4 | GN14E-GN15F | 217.30 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S16 | D1 | GN14E-GN15F | 45.00 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S16 | LU1 | GN14E-GN15F | 30.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S16 | LU2 | GN14E-GN15F | 34.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S18 | D1 | GN14F-GN15G | 60.00 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S18 | LU1 | GN14F-GN15G | 51.00 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S18 | LU2 | GN14F-GN15G | 70.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S19 | LU1 | GN14F-GN15G | 81.20 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S19 | LU2 | GN14F-GN15G | 104.00 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S19 | LU3 | GN14F-GN15G | 119.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S17 | D1 | GN14J-GN15J | 520.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S17 | D2 | GN14J-GN15J | 533.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S17 | LU1 | GN14J-GN15J | 483.20 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S17 | LU2 | GN14J-GN15J | 507.30 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S17 | LU3 | GN14J-GN15J | 525.00 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S17 | LU4 | GN14J-GN15J | 546.35 | aP |
| PE (L2-L5) | L4-S17 | HF | GN14J-GN15J | | aP |
| PE (L2-L5) | L2-AS1 | LU1 | GN14K-GN15K | 493.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-AS1 | LU2 | GN14K-GN15K | 466.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S04bis | D1 | GN15L | 540.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S04bis | D2 | GN15L | 564.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S04bis | LU1 | GN15L | 503.05 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S04bis | LU2 | GN15L | 517.00 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S04bis | LU3 | GN15L | 530.05 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S04bis | LU4 | GN15L | 550.00 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S04bis | LU5 | GN15L | 569.30 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S04bis | HF | GN15L | | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S04 | LU1 | GN15N-GN14M | 485.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S04 | LU2 | GN15N-GN14M | 498.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S04 | LU3 | GN15N-GN14M | 509.50 | aP |

| Campagna | Sondaggio | CODICE PROVA | WBS | Z _m | UNITA' |
|------------|-----------|--------------|-------------|----------------|--------|
| [-] | [-] | [-] | [-] | [m] | [-] |
| PE (L2-L5) | L2-S04 | LU4 | GN15N-GN14M | 520.00 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S04 | LU5 | GN15N-GN14M | 530.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S04 | LU6 | GN15N-GN14M | 539.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S04 | LU7 | GN15N-GN14M | 549.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S04 | LU8 | GN15N-GN14M | 563.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-AS3 | LU1 | GN14N | 473.20 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-AS3 | LU2 | GN14N | 500.20 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S30 | D1 | GN14Q-GN14P | 239.60 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S30 | D2 | GN14Q-GN14P | 229.60 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S30 | LU1 | GN14Q-GN14P | 199.75 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S30 | LU2 | GN14Q-GN14P | 199.75 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S30 | LU3 | GN14Q-GN14P | 219.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S30 | LU4 | GN14Q-GN14P | 236.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-AS4bis | LU1 | GN14R-GN15R | 180.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L3-S18bis | D1 | GN14R-GN15R | 176.00 | B' |
| PE (L2-L5) | L3-S18bis | D2 | GN14R-GN15R | 167.50 | B' |
| PE (L2-L5) | L3-S18bis | LU1 | GN14R-GN15R | 162.80 | B' |
| PE (L2-L5) | L3-S18bis | LU2 | GN14R-GN15R | 172.73 | B' |
| PE (L2-L5) | L3-S18bis | LU3 | GN14R-GN15R | 176.73 | B' |
| PE (L2-L5) | L3-S18bis | LU4 | GN14R-GN15R | 197.65 | B' |
| PE (L2-L5) | L3-S18bis | HF | GN14R-GN15R | | B' |
| PE (L2-L5) | L2-S05 | D1 | GN15M | 290.00 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S05 | D2 | GN15M | 263.00 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S05 | LU1 | GN15M | 235.775 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S05 | LU2 | GN15M | 251.275 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S05 | LU3 | GN15M | 262.975 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S05 | LU4 | GN15M | 277.675 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S06 | D1 | GN15M | 77.50 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S06 | LU1 | GN15M | 103.80 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S06 | LU2 | GN15M | 138.40 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S06 | LU3 | GN15M | 152.05 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S06 | LU4 | GN15M | 171.00 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S06 | HF | GN15M | | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S31 | D1 | GN14Q | 197.00 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S31 | D2 | GN14Q | 146.00 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S31 | LU1 | GN14Q | 128.20 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S31 | LU2 | GN14Q | 158.40 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S31 | LU3 | GN14Q | 189.40 | aP |
| PE (L2-L5) | L2-S31 | LU4 | GN14Q | 219.90 | aP |
| PP | AA301G047 | D1 | GN15C | 86.50 | aP |
| PP | AA301G047 | D2 | GN15C | 90.50 | aP |
| PP | AA301G047 | LE1 | GN15C | 83.00 | aP |
| PP | AA301G047 | LU1 | GN15C | 98.50 | aP |
| PP | AA301G048 | D1 | GN15A | 25.50 | aP |
| PP | AA301G048 | D2 | GN15A | 35.00 | aP |
| PP | AA301G048 | D3 | GN15A | 45.00 | aP |
| PP | AA301G048 | LU1 | GN15A | 13.50 | aP |
| PP | AA301G048 | LU2 | GN15A | 22.50 | aP |
| PP | AA301G048 | LU3 | GN15A | 30.50 | aP |
| PP | AA301G048 | LU4 | GN15A | 48.75 | aP |
| PP | AA301G048 | LU5 | GN15A | 53.50 | aP |
| PP | AA301G048 | LE1 | GN15A | 40.00 | aP |
| PP | AA301G050 | D1 | GN15B | 120.00 | aP |
| PP | AA301G050 | D2 | GN15B | 126.00 | aP |
| PP | AA301G050 | D3 | GN15B | 133.00 | aP |

| Campagna | Sondaggio | CODICE PROVA | WBS | z _m | UNITA' |
|----------|-----------|--------------|-------|----------------|--------|
| [-] | [-] | [-] | [-] | [m] | [-] |
| PP | AA301G050 | D4 | GN15B | 139.00 | aP |
| PP | AA301G050 | D5 | GN15B | 144.00 | aP |
| PP | AA301G050 | D6 | GN15B | 149.00 | aP |
| PP | AA301G027 | LU1 | GN14J | 8.90 | aP |
| PP | AA301G027 | LU2 | GN14J | 18.93 | aP |
| PP | AA301G027 | LU3 | GN14J | 27.15 | aP |
| PP | AA301G045 | D1 | GN13 | 34.00 | aP |
| PP | AA301G045 | D2 | GN13 | 41.50 | aP |
| PP | AA301G045 | D3 | GN13 | 50.00 | aP |
| PP | AA301G045 | D4 | GN13 | 57.00 | aP |
| PP | AA301G045 | D5 | GN13 | 63.70 | aP |
| PP | AA301G045 | LE1 | GN13 | 31.00 | aP |
| PP | AA301G045 | LU1 | GN13 | 37.50 | aP |
| PP | AA301G045 | LU2 | GN13 | 44.50 | aP |
| PP | AA301G045 | LU3 | GN13 | 54.00 | aP |
| PP | AA301G045 | LU4 | GN13 | 60.00 | aP |
| PP | AA301G045 | LU5 | GN13 | 66.50 | aP |
| PP | 7A301G046 | D1 | GN11 | 14.50 | aP |
| PP | 7A301G046 | D2 | GN11 | 22.00 | aP |
| PP | 7A301G046 | LU1 | GN11 | 19.80 | aP |
| PP | AA301G049 | D1 | GN15A | 97.00 | aP |
| PP | AA301G049 | D2 | GN15A | 107.50 | aP |
| PP | AA301G049 | D3 | GN15A | 123.50 | aP |
| PP | AA301G049 | LU1 | GN15A | 71.50 | aP |
| PP | AA301G049 | LU2 | GN15A | 83.25 | aP |
| PP | AA301G049 | LU3 | GN15A | 92.50 | aP |
| PP | AA301G049 | LU4 | GN15A | 99.50 | aP |
| PP | AA301G049 | LU5 | GN15A | 110.50 | aP |
| PP | AA301G049 | LU6 | GN15A | 116.50 | aP |
| PP | SA301G051 | D1 | GN15F | 60.50 | aP |
| PP | SA301G051 | D2 | GN15F | 64.50 | aP |
| PP | SA301G051 | D3 | GN15F | 74.50 | aP |
| PP | SA301G051 | LU1 | GN15F | 47.50 | aP |
| PP | SA301G051 | LU2 | GN15F | 55.60 | aP |
| PP | SA301G051 | LU3 | GN15F | 68.10 | aP |
| PP | SA301G051 | LU4 | GN15F | 77.70 | aP |
| PP | AA301G052 | D1 | GN15G | 98.00 | aP |
| PP | AA301G052 | D2 | GN15G | 104.50 | aP |
| PP | AA301G052 | D3 | GN15G | 112.50 | aP |
| PP | AA301G052 | LU1 | GN15G | 102.50 | aP |
| PP | AA301G052 | LU2 | GN15G | 109.00 | aP |
| PP | AA301G052 | LU3 | GN15G | 117.50 | aP |
| PP | 6A301G054 | DH | GN15G | 50.00 | aP |
| PP | 6A301G054 | CH | GN15G | 50.00 | aP |
| PP | 6A301G054 | D1 | GN15G | 37.50 | aP |
| PP | 6A301G054 | D2 | GN15G | 43.50 | aP |
| PP | 6A301G054 | LU1 | GN15G | 33.40 | aP |
| PP | 6A301G054 | LU2 | GN15G | 40.70 | aP |
| PP | 6A301G054 | LU3 | GN15G | 46.35 | aP |
| PP | 6A301G054 | LU4 | GN15G | 49.85 | aP |
| PP | SA301G058 | D1 | GN15E | 76.00 | aP |
| PP | SA301G058 | D2 | GN15E | 82.50 | aP |
| PP | SA301G058 | D3 | GN15E | 86.00 | aP |
| PP | SA301G058 | LU1 | GN15E | 31.25 | aP |
| PP | SA301G058 | LU2 | GN15E | 84.00 | aP |

| Campagna | Sondaggio | CODICE PROVA | WBS | z _m | UNITA' |
|------------|------------|--------------|-------|----------------|------------------|
| [-] | [-] | [-] | [-] | [m] | [-] |
| PP | SA301G058 | LU3 | GN15E | 88.90 | aP |
| PP | SA301G025 | LU1 | GN14Q | 21.00 | aP |
| PP | SA301G025 | LU2 | GN14Q | 29.00 | aP |
| PP | SA301G025 | LU3 | GN14Q | 40.00 | aP |
| PP | SA301G026 | LE1 | GN14Q | 33.20 | aP |
| PP | SA301G026 | LU1 | GN14Q | 9.45 | aP |
| PP | SA301G026 | LU2 | GN14Q | 22.45 | aP |
| PP | SA301G026 | LU3 | GN14Q | 38.00 | aP |
| PP | SA301G026 | LU4 | GN14Q | 45.45 | aP |
| PP | SA301G114 | LE2 | GN14Q | 23.50 | aP |
| PP | SA301G114 | LE3 | GN14Q | 34.50 | aP |
| PP | SA301G114 | LE4 | GN14Q | 58.50 | aP |
| PP | SA301G114 | LU1 | GN14Q | 44.80 | aP |
| PP | SA301G114 | LU2 | GN14Q | 70.30 | aP |
| PP | SA301G114 | LU3 | GN14Q | 81.00 | aP |
| PP | SA301G114 | LU4 | GN14Q | 90.50 | aP |
| PP | AA301D014 | LE1 | TR11 | 13.75 | aP cappellaccio |
| PP | AA301D014 | LE3 | TR11 | 30.50 | aP alterate |
| PP | AA301D015 | LE2 | TR11 | 40.20 | aP |
| PP | AA301D015 | LU1 | TR11 | 19.75 | aP destrutturate |
| PP | AA301G016 | LE1 | TR11 | 10.10 | aP cappellaccio |
| PP | AA301G016 | LU1 | TR11 | 28.10 | aP |
| PP | AA301G016 | LU2 | TR11 | 48.10 | aP |
| PP | AA301G017 | LE2 | TR11 | 17.10 | aP cappellaccio |
| PP | AA301G017 | LU1 | TR11 | 27.00 | aP |
| PP | AA301G017 | LU2 | TR11 | 38.00 | aP |
| PP | AA301G018 | LE1 | TR11 | 15.00 | aP cappellaccio |
| PP | AA301G018 | LU1 | TR11 | 25.50 | aP |
| PP | AA301G018 | LU2 | TR11 | 33.00 | aP |
| PE (L2-L5) | TR11-02 | D1 | TR11 | 25.00 | aP |
| PE (L2-L5) | TR11-02 | L1 | TR11 | 28.25 | aP |
| PE (L1) | SI-06 | D1 | TR11 | 15.50 | aP |
| PE (L1) | SI-06 | LU1 | TR11 | 28.25 | aP |
| PE (L1) | NVVA1-1 | LU1 | TR11 | 21.85 | aP |
| PE (L1) | SI-01 | D1 | TR11 | 20.50 | aP alterate |
| PE (L1) | GA1A-1 | D1 | TR11 | 18.50 | aP |
| PE (L1) | GA1A-1 | LU1 | TR11 | 24.50 | aP |
| PE (L1) | SLI-07 | LU1 | GN15E | 71.50 | aP |
| PE (L1) | SLI-07 | LU2 | GN15E | 81.50 | aP |
| PE (L1) | SLI-07 | LU3 | GN15E | 93.50 | aP |
| PE (L1) | SLI-07 | LU4 | GN15E | 118.50 | aP |
| PE (L1) | SLI-06 | D1 | GN15E | 116.50 | aP |
| PE (L1) | SLI-06 | LU1 | GN15E | 128.50 | aP |
| PE (L1) | SLI-06 | LU2 | GN15E | 113.50 | aP |
| PE (L1) | SI-08 | LU1 | NV08 | 8.75 | aP |
| PE (L1) | SI-08 | D1 | NV08 | 15.50 | aP |
| PE (L1) | NV08-SI-01 | D1 | NV08 | 17.70 | aP |
| PE (L1) | NV08-SI-01 | LU1 | NV08 | 7.50 | aP |
| PE (L1) | NV08-SI-01 | LU2 | NV08 | 19.50 | aP |
| PE (L1) | SMAR-01 | LU1 | NV08 | 17.70 | aP |
| PE (L1) | SMAR-01 | LU2 | NV08 | 28.35 | aP |
| PE (L1) | SMAR-01 | D1 | NV08 | 25.50 | aP |
| PE (L1) | SMAR-02 | LU1 | NV08 | 15.00 | aP |
| PE (L1) | SMAR-02 | LU2 | NV08 | 26.00 | aP |
| PE (L1) | SMAR-02 | D1 | NV08 | 22.20 | aP |

| Campagna | Sondaggio | CODICE PROVA | WBS | z _m | UNITA' |
|----------|------------|--------------|------------|----------------|------------------|
| [-] | [-] | [-] | [-] | [m] | [-] |
| PE (L1) | SMAR-03 | LU1 | NV08 | 9.35 | aP |
| PE (L1) | SMAR-03 | LU2 | NV08 | 21.50 | aP |
| PE (L1) | SMAR-03 | D1 | NV08 | 16.00 | aP |
| PE (L1) | SMAR-04 | LU1 | NV08 | 18.25 | aP |
| PE (L1) | SMAR-04 | LU2 | NV08 | 25.25 | aP |
| PE (L1) | SMAR-04 | D1 | NV08 | 15.50 | aP |
| PE (L1) | SMAR-05 | LU1 | NV08 | 10.85 | aP |
| PE (L1) | SMAR-05 | LU2 | NV08 | 21.20 | aP |
| PE (L1) | SMAR-05 | D1 | NV08 | 15.50 | aP |
| PE (L1) | SRIV-01 | LU1 | NV08 | 16.75 | aP |
| PE (L1) | SRIV-01 | D1 | NV08 | 27.50 | aP |
| PE (L1) | SRIV-02 | LU1 | NV08 | 23.00 | aP |
| PE (L1) | SRIV-02 | D1 | NV08 | 15.50 | aP |
| PE (L1) | SRIV-03 | LU1 | NV08 | 28.50 | aP |
| PE (L1) | SRIV-03 | D1 | NV08 | 19.50 | aP |
| PE (L1) | SRIV-04 | LU1 | NV08 | 19.50 | aP |
| PE (L1) | SRIV-04 | D1 | NV08 | 10.50 | aP |
| PD | SLI-04 | D1 | GN15E-GA1D | 17.70 | aP |
| PD | SLI-04 | LU1 | GN15E-GA1D | 15.90 | aP |
| PD | SLI-04 | LU2 | GN15E-GA1D | 28.20 | aP |
| PE (L1) | NV08-SI-02 | D1 | NV08 | 17.50 | aP |
| PE (L1) | NV08-SI-02 | LU1 | NV08 | 12.85 | aP |
| PE (L1) | NV08-SI-02 | LU2 | NV08 | 23.50 | aP |
| PE (L1) | SI-09 | D1 | NV09 | 14.50 | aP |
| PE (L1) | SI-09 | LU1 | NV09 | 7.50 | aP |
| PE (L1) | SI-56 | D1 | NV32 | 14.50 | aP |
| PE (L1) | SI-56 | LU1 | NV32 | 10.15 | aP |
| PE (L1) | SMAG-01 | LU1 | NV32 | 23.00 | aP |
| PE (L1) | SI-55 | D1 | NV32 | 18.50 | aP |
| PE (L1) | SI-46 | LU1 | NV22 | 9.50 | B' |
| PE (L1) | SI-46 | LU2 | NV22 | 13.50 | B' |
| PE (L1) | SI-46 | D1 | NV22 | 19.50 | B' |
| PE (L1) | SI-24 | LU1 | NV14 | 36.50 | aP |
| PE (L1) | SI-24 | D1 | NV14 | 29.50 | aP |
| PE (L1) | SI-25 | LU1 | NV14 | 16.50 | aP |
| PE (L1) | SI-25 | LU2 | NV14 | 26.50 | aP |
| PE (L1) | SI-25 | D1 | NV14 | 35.50 | aP |
| PE (L1) | SI-26 | D1 | NV14 | 28.50 | aP |
| PE (L1) | SI-26 | LU1 | NV14 | 52.00 | aP |
| PE (L1) | SI-27 | LU1 | NV14 | 21.50 | aP |
| PE (L1) | SI-27 | LU2 | NV14 | 32.50 | aP |
| PE (L1) | SI-27 | D1 | NV14 | 42.50 | aP |
| PE (L1) | SI-28 | LU1 | NV14 | 20.50 | aP |
| PE (L1) | SI-28 | LU2 | NV14 | 32.50 | aP |
| PE (L1) | SI-28 | D1 | NV14 | 25.50 | aP destrutturate |
| PD | SF-13 | LU1 | GA1D | 23.5 | aP |
| PD | SF-06 | LU1 | GN11 | 12.5 | aP |
| PD | SL-11 | LE2 | TR11 | 19.5 | aP cappellaccio |
| PD | SL-05 | LU1 | NV03 | 24.50 | aP |
| PD | SL-05 | LU2 | NV03 | 29.30 | aP |
| PD | SL-05 | D1 | NV03 | 31.50 | aP |
| PD | SL-05 | D2 | NV03 | 17.80 | aP |
| PD | SL-08 | LE1 | GASC | 3.05 | cE |
| PD | SL-08 | LU1 | GASC | 10.55 | cE |
| PD | SL-09 | LU1 | GA1D | 21.00 | aP |

| Campagna | Sondaggio | CODICE PROVA | WBS | z _m | UNITA' |
|----------|-----------|--------------|-------|----------------|----------------------|
| [-] | [-] | [-] | [-] | [m] | [-] |
| PD | SL-21 | LE2 | NV02 | 12.50 | aP cappellaccio |
| PD | SL-24 | LU1 | NV07 | 21.10 | aP |
| PD | SL-24 | D1 | NV07 | 16.00 | aP |
| PD | SL-32 | LU1 | GNSA | 14.00 | B' |
| PD | SL-32 | LU2 | GNSA | 23.90 | B' |
| PD | SL-32 | LU3 | GNSA | 38.00 | B' |
| PD | SL-32 | D1 | GNSA | 35.00 | B' |
| PD | SL-32 | D2 | GNSA | 19.50 | B' |
| PD | SL-32 | D3 | GNSA | 7.00 | B' |
| PD | SL-33 | LU1 | GASB | 32.00 | B' |
| PD | SL-33 | LU2 | GASB | 41.50 | B' |
| PD | SL-33 | LU3 | GASB | 51.60 | B' |
| PD | SL-33 | D1 | GASB | 55.00 | B' |
| PD | SL-33 | D2 | GASB | 45.00 | B' |
| PD | SL-33 | D3 | GASB | 35.00 | B' |
| PD | SL-34 | LU1 | GNSB | 32.00 | B' |
| PD | SL-34 | LU2 | GNSB | 57.50 | B' |
| PD | SL-34 | D1 | GNSB | 57.50 | B' |
| PD | SL-34 | D2 | GNSB | 35.50 | B' |
| PD | SL-35 | LU1 | NV07 | 18.50 | aP |
| PD | SL-41 | LE1 | GN15G | 14.25 | aP destrutturate |
| PD | SL-41 | LE2 | GN15G | 21.75 | aP destrutturate |
| PD | SL-41 | LE3 | GN15G | 37.50 | aP destrutturate |
| PD | SL-47bis | LU1 | GNSB | 36.50 | B' |
| PD | SL-47bis | LU2 | GNSB | 55.00 | B' |
| PD | SL-47bis | D1 | GNSB | 61.50 | B' |
| PD | SL-47bis | D2 | GNSB | 39.00 | B' |
| PD | SL-56 | LU1 | NV01 | 22.50 | B' faglia |
| PD | SL-58 | LU1 | NV01 | 23.00 | B' faglia |
| PD | SP-03 | LU1 | NV13 | 13.00 | c (aP) + aP contatto |
| PD | SP-04 | LU1 | NV13 | 12.00 | aP |
| PD | SP-05 | LU1 | NV13 | 8.25 | aP |
| PD | SP-25 | LU1 | NV13 | 12.50 | aP |
| PD | SP-26 | LU1 | NV13 | 17.50 | aP |
| PD | SP-34 | LE1 | NV14 | 5.25 | aP frana |
| PD | SP-34 | LE2 | NV14 | 11.25 | aP frana |
| PD | SP-34 | LE3 | NV14 | 26.00 | aP frana |
| PD | SP-34 | LE4 | NV14 | 37.40 | aP frana |
| PD | SP-35 | LE1 | NV14 | 5.25 | aP frana |
| PD | SP-35 | LE2 | NV14 | 18.75 | aP frana |
| PD | SP-35 | LE3 | NV14 | 32.25 | aP frana |
| PD | SP-36 | LE1 | NV14 | 8.25 | aP frana |
| PD | SP-36 | LE2 | NV14 | 14.25 | aP frana |
| PD | SP-36 | LE3 | NV14 | 26.25 | aP frana |
| PD | SP-37 | LE1 | NV14 | 7.25 | aP frana |
| PD | SP-37 | LE2 | NV14 | 13.10 | aP frana |
| PD | SP-37 | LE3 | NV14 | 18.50 | aP frana |
| PD | SP-38 | LE1 | NV14 | 9.00 | aP frana |
| PD | SP-38 | LE2 | NV14 | 15.70 | aP frana |
| PD | SP-38 | LE3 | NV14 | 26.70 | aP frana |
| PD | SP-39 | LE1 | NV14 | 6.75 | aP frana |
| PD | SP-39 | LE2 | NV14 | 17.25 | aP frana |
| PD | SP-39 | LE3 | NV14 | 31.75 | aP frana |
| PD | SP-47 | LE1 | NV14 | 8.50 | aP frana |
| PD | SP-47 | LE2 | NV14 | 18.50 | aP frana |

| Campagna | Sondaggio | CODICE PROVA | WBS | z _m | UNITA' |
|------------|-----------|--------------|-------|----------------|------------------|
| [-] | [-] | [-] | [-] | [m] | [-] |
| PD | SR-11 | D3 | GN14J | 250.50 | B' |
| PD | SR-12 | LU3 | GN14J | 431.50 | aP |
| PD | SR-12 | HF6 | GN14J | 410.50 | aP |
| PD | SR-13 | CS | GN15J | 145.00 | aP |
| PD | SR-13 | CS | GN15J | 189.50 | aP |
| PD | SR-13 | D1 | GN15J | 143.50 | aP |
| PD | SR-13 | D2 | GN15J | 190.00 | aP |
| PD | SR-13 | LU2 | GN15J | 324.00 | aP |
| PD | SR-13 | LU3 | GN15J | 413.50 | aP |
| PD | SR-13 | LU4 | GN15J | 445.00 | aP |
| PD | SR-13 | LU5 | GN15J | 508.00 | aP |
| PD | SR-13 | LU6 | GN15J | 556.50 | aP |
| PD | SC-18 | LU1 | GN23E | 87.30 | aP |
| PD | SC-18 | LU2 | GN23E | 105.50 | aP |
| PD | SC-18 | D1 | GN23E | 95.00 | aP |
| PD | SC-21 | LU1 | GN15C | 157.00 | aP |
| PD | SC-21 | LU2 | GN15C | 199.00 | aP |
| PD | SC-21 | LU3 | GN15C | 286.00 | aP |
| PD | SC-21 | LU4 | GN15C | 378.00 | aP |
| PD | SC-21 | D1 | GN15C | 186.50 | aP |
| PD | SC-21 | D2 | GN15C | 200.50 | aP |
| PD | SC-21 | D3 | GN15C | 321.00 | aP |
| PD | SC-21 | D4 | GN15C | 351.00 | aP |
| PD | SF-05 | LE1 | TR11 | 28.50 | aP destrutturate |
| PD | SF-11 | LU1 | NV03 | 21.65 | B' |
| PD | SF-11 | LU2 | NV03 | 33.95 | B' |
| PE (L1) | SI-52 | LE1 | NV32 | 6.25 | aP cappellaccio |
| PE (L1) | SI-52 | LU1 | NV32 | 12.20 | aP |
| PE (L1) | SI-52 | D1 | NV32 | 15.50 | aP |
| PE (L1) | SI-54 | LE1 | NV33 | 5.25 | aP cappellaccio |
| PE (L1) | SI-54 | LU1 | NV34 | 11.45 | aP |
| PE (L1) | SI-54 | D1 | NV35 | 15.00 | aP |
| PE (L2-L5) | L5- S4 | LU1 | GN23C | 314.80 | B' |
| PE (L2-L5) | L5- S4 | LU2 | GN23C | 324.42 | B' |
| PE (L2-L5) | L5- S4 | LU3 | GN23C | 345.17 | B' |
| PE (L2-L5) | L5- S4 | LU4 | GN23C | 354.15 | B' |
| PE (L2-L5) | L5- S4 | D1 | GN23C | 350.00 | B' |
| PE (L2-L5) | L5- S4 | D2 | GN23C | 365.00 | B' |
| PE (L2-L5) | L5- S8 | LU1 | GN23C | 167.30 | aP |
| PE (L2-L5) | L5- S8 | LU2 | GN23C | 181.00 | aP |
| PE (L2-L5) | L5- S8 | LU3 | GN23C | 195.10 | aP |
| PE (L2-L5) | L5- S8 | LU4 | GN23C | 203.10 | aP |
| PE (L2-L5) | L5- S8 | D1 | GN23C | 210.00 | aP |
| PE (L2-L5) | L5- S8 | D2 | GN23C | 200.00 | aP |
| PE (L2-L5) | L5- S3 | LU1 | GN22D | 97.00 | aP |
| PE (L1) | SI-23 | LU1 | GN14Q | 10 | aP cappellaccio |
| PE (L1) | SI-23 | LU2 | GN14Q | 23.5 | aP alterate |
| PE (L1) | SLI-12 | D1 | GN14Q | 164.5 | aP |
| PE (L1) | SLI-12 | D2 | GN14Q | 172.5 | aP |
| PE (L1) | SLI-12 | LU1 | GN14Q | 159.5 | aP |
| PE (L1) | SLI-12 | LU2 | GN14Q | 168 | aP |
| PE (L1) | SLI-12 | LU3 | GN14Q | 178 | aP |
| PE (L1) | SLI-12 | LU4 | GN14Q | 195 | aP |
| PE (L1) | NVVA1-1 | LE1 | TR11 | 9.00 | aP alterate |
| PE (L1) | TR11-03 | LE2 | TR11 | 19.25 | aP alterate |

| Campagna | Sondaggio | CODICE PROVA | WBS | z_m | UNITA' |
|------------|-----------|--------------|-------|-------|---------------------|
| [-] | [-] | [-] | [-] | [m] | [-] |
| PE (L1) | SI-01 | LE1 | TR11 | 8.25 | aP alterate |
| PE (L1) | SI-01 | LE2 | TR11 | 15.75 | aP alterate |
| PE (L1) | GA1A-1 | LE1 | TR11 | 6.75 | aP alterate |
| PE (L1) | SI-24 | LE1 | NV14 | 15.00 | aP destrutturate |
| PE (L1) | SI-26 | LE1 | NV14 | 12.00 | aP destrutturate |
| PE (L1) | SLI-02 | LU1 | GA1B | 19.75 | aP |
| PE (L1) | SLI-02 | D1 | GA1B | 20.50 | aP |
| PE (L1) | SLI-03 | LU1 | GN12 | 19.70 | aP |
| PE (L1) | SLI-03 | LU2 | GN12 | 27.00 | aP |
| PE (L1) | SLI-03 | D1 | GN12 | 21.50 | aP |
| PE (L1) | SLH-10 | DH | GN14Q | 80.00 | aP |
| PE (L1) | SLH-10 | FH | GN14Q | | aP |
| PE (L1) | SLH-11 | DH | GN14Q | 55.00 | aP |
| PE (L1) | SLH-11 | FH | GN14Q | | aP |
| PE (L2-L5) | L3-S49 | LU1 | GN15M | 9.50 | B' |
| PE (L2-L5) | L3-S49 | LU2 | GN15M | 27.10 | B' |
| PE (L2-L5) | L3-S49 | D1 | GN15M | 15.00 | B' |
| PP | XA301A007 | LE1 | NV22 | 9.00 | c (aP-B' alteranza) |
| PP | XA301A007 | LU1 | NV22 | 27.25 | aP-B' alteranza |
| PE (L1) | SLI-09 | LU1 | GN14Q | 18.50 | aP |
| PE (L1-L5) | SLI-09 | LU2 | GN14Q | 37.50 | aP |
| PE (L1-L5) | SLI-09 | D1 | GN14Q | 11.00 | aP |
| PE (L1-L5) | SLI-09 | D2 | GN14Q | 26.00 | aP |