

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 Dispari da PK 2+497.314 a PK 4+160.705  
Relazione geotecnica**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio <b>Cociv</b> 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 3 E X	0 0 1	A

Progettazione:

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Emissione	Rocksoil <i>A. Palomba</i>	25/07/2014	Rocksoil <i>Pomani</i>	28/07/2014	A. Palomba <i>[Signature]</i>	30/07/2014	 Consorzio Collegamenti Integrati Veloci Dott. Ing. Aldo Mancarella Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R
A01	Verifica generale tracciamento per minimali affinamenti post RdM IG5105ECVRMGN23C0002 e IG5105ECVRMGN22D0002	Rocksoil <i>A. Palomba</i>	16/11/2015	Rocksoil <i>Pomani</i>	23/11/2015	A. Mancarella <i>[Signature]</i>	27/11/2015	
A02	Modifica lotto costruttivo a seguito 2ª.M. (18.12.2015) verifica generale tracciamento per minimali affinamenti post RdM IG5103ECVRMGN23C0002 e IG5104ECVRMGN22D0002	Rocksoil <i>A. Palomba</i>	07/03/2016	Rocksoil <i>Pomani</i>	09/03/2016	A. Mancarella <i>[Signature]</i>	11/03/2016	

n. Elab.:

File: IG51-04-E-CV-RB-GN23-EX-001-A02

CUP: F81H92000000008



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-04-E-CV-RB-GN23-EX-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 3 di 85</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 .....	12
3.3.1 Considerazioni generali.....	12
3.4 Sintesi delle criticità geomeccaniche lungo il tracciato.....	14
4 INDAGINI GEOGNOSTICHE .....	16
5 CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA/GEOMECCANICA .....	17
5.1 Note generali .....	17
5.2 Formazioni rocciose.....	17
5.2.1 Generalità .....	17
5.2.2 Valutazione del parametro RMR'89 .....	18
5.2.3 Criteri di rottura.....	20
5.2.4 Caratteristiche di deformabilità .....	25
6 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA – GEOMECCANICA DELLE PRINCIPALI FORMAZIONI INTERAGENTI CON L'OPERA .....	27
6.1 Argillite a Palombini (Argilloscisti filladici).....	27
6.1.1 Analisi completa campione risultati indagini pregresse.....	28
6.1.2 Analisi campione risultati correlata alle caratteristiche di fratturazione dell'ammasso .....	54
6.1.3 Classificazione GSI dell'ammasso sul campione analizzato .....	62
6.1.4 Caratterizzazione Geo-meccanica degli argilloscisti.....	67
6.1.5 Considerazioni sul fenomeno di squeezing.....	75

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



IG51-04-E-CV-RB-GN23-EX-001-A02

Foglio  
4 di 85

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN23-EX-001-A02
	Foglio 5 di 85

## 1 PREMESSA

Oggetto della presente relazione è la caratterizzazione geomeccanica/geotecnica delle formazioni attraversate dallo scavo del binario dispari della galleria di Interconnessione III Valico-Voltri relativa alla WBS GN23E, 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 2+497.314 e 4+160.705, per una lunghezza complessiva di circa 1.66 km, interamente nell’unità tettonometamorfica Figogna , ed in particolare attraversando le Formazioni delle “Argilliti a Palombini del Passo della Bocchetta.”

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-GN23-EX-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 6 di 85</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-GN23-EX-001-A02</p>	<p>Foglio 7 di 85</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 la galleria di Interconnessione III Valico- Voltri binario dispari relativa alla WBS GN23E.

La tratta in oggetto si estende per una lunghezza complessiva di circa 1.66 km, dalla pk 2+497.314, termine della tratta relativa alla WBS GN23C, fino alla pk 4+160.705, dove il tracciato si immetterà nella Galleria di Valico tramite il camerone GN15B

A partire dalla pk 2+497.314 la galleria si sviluppa in affiancamento al binario dispari della Galleria di Valico (WBS GN15A), con distanze tra gli assi per larga parte del tracciato superiore ai 100 m. Segue il progressivo avvicinamento delle due gallerie, le quali si immettono alla pk 4+160.705 nel camerone GN15B con distanza tra l'estradosso dei rivestimenti di pochi metri.

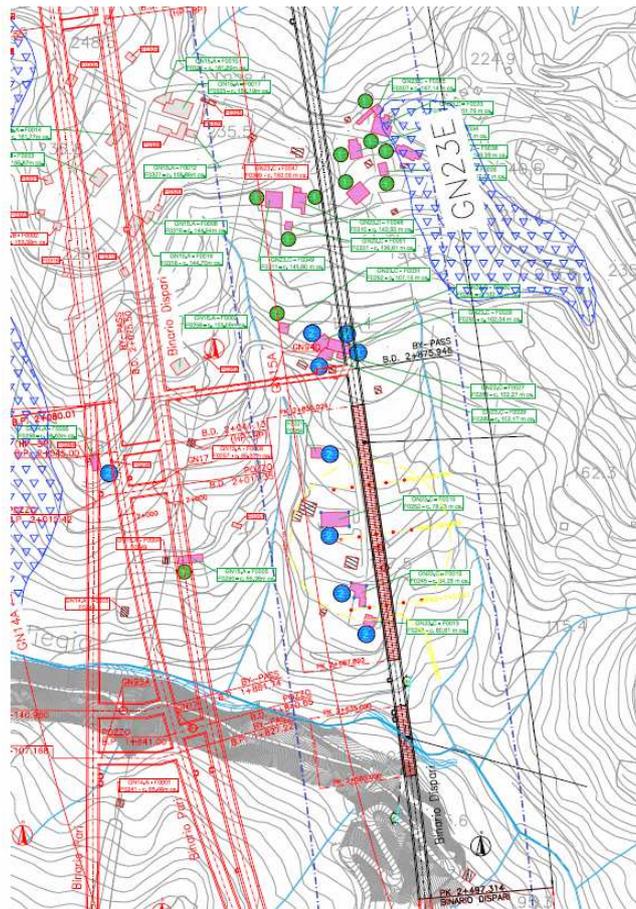


Figura 3-1: Planimetria da pk 2+497.314 a pk 3+125 circa



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN23-EX-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 10 di 85</span>

### 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 della Galleria d'Interconnessione appartengono all'unità tettonometamorfica ofiolitica Ficogna e sono costituite da:

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

Lo scavo della WBS in esame in particolare interessa unicamente la formazione delle Argille a Palombini, della quale si riporta di seguito una descrizione 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

Le Argille a Palombini del Passo della Bocchetta (aP) sono 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).

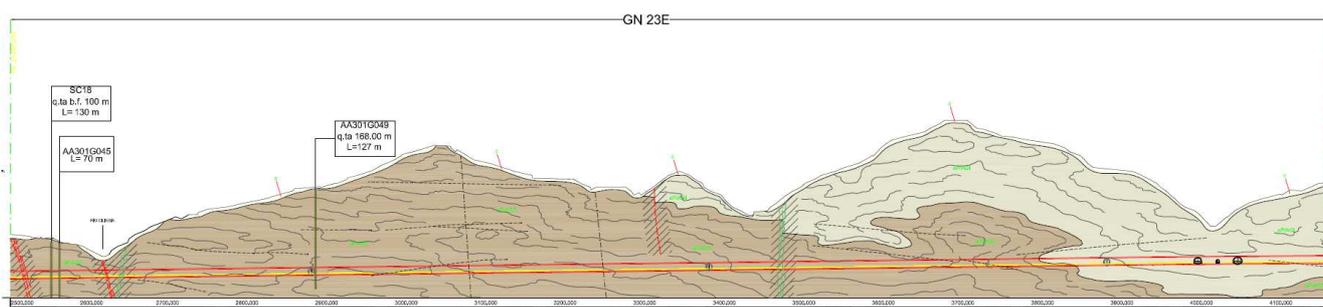
Gli Argilloscisti di Costagiutta (aP/AGI) sono costituiti da alternanze di argilloscisti e di calcari cristallini ("Palombini" auct.), metapeliti scistose grigio-nerastre, più o meno siltose, metasiltiti e metaareniti in strati centimetrici, con intercalazioni di metacalcolutiti siltose più o meno marnose, 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 metaareniti fini, color grigio chiaro, nocciola in alterazione, con laminazioni piano-parallele localmente convolute. Gli strati hanno generalmente spessore da centimetrico a decimetrico; sono presenti orizzonti con strati fino a 30 cm di argilliti e metasiltiti.

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 argilloscisti 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.

Si rimanda per ulteriori approfondimenti alle tavole dei profili geomeccanici, di cui si riporta di seguito uno stralcio.



**Figura 3-3: Stralcio del profilo geomeccanico della Galleria di Interconnessione – WBS GN23E**

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN23-EX-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 12 di 85</span>

### 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.

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, coincidente con l'asse della valle del Rio Ciliegia (pk 2+560/2+640 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.

#### 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  $1 \times 10^{-7}$  e  $1 \times 10^{-8}$  m/s, meno frequentemente tendenti  $1 \times 10^{-6}$  m/s.

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-04-E-CV-RB-GN23-EX-001-A02</p>	<p>Foglio 13 di 85</p>

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  $1 \times 10^{-5}$  e  $1 \times 10^{-7}$  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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN23-EX-001-A02
	Foglio 14 di 85

### 3.4 Sintesi delle criticità geomeccaniche lungo il tracciato

Il presente paragrafo sintetizza le criticità geomeccaniche relative allo scavo del binario dispari della Galleria Naturale di Interconnessione tra la linea III Valico e la linea di Voltri, nella tratta tra la pk 2+497.314 e la pk 4+160.705 (WBS **GN23E**), di lunghezza complessiva pari a 1663 m.

Lo scavo attraversa la formazione delle **Argilliti a Palombini del Passo della Bocchetta** (aP), con coperture variabili tra 180 m ca. e valori minimi dell'ordine di 20 m alla pk 2+610 (sottoattraversamento del Rio Ciliegia); proprio nella tratta iniziale a basse coperture è previsto l'attraversamento di due faglie principali e di una faglia presunta sulla base delle indicazioni della cartografia CARG.

È previsto inoltre l'attraversamento di una zona di faglia presunta in prossimità della pk 3+465 a coperture di 80 m ca. 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.

Nella tratta a basse coperture, tra la pk 2+497.314 e la pk 2+640 circa, è previsto l'attraversamento di due faglie principali e di una faglia presunta sulla base delle indicazioni della cartografia CARG. Mediante rilievi geologici e geomorfologici di dettaglio realizzati in tale zona in corrispondenza dell'intersezione con la valle del Rio Ciliegia è stata indagata la situazione geologico-strutturale nei punti a minor copertura.

Nel settore in esame si riscontra la presenza di uno spessore di detrito dell'ordine di alcuni metri in sinistra, e di meno di 2 metri in destra. Lo spessore di tali depositi non contribuisce al sostegno dello scavo, ma grava passivamente sul setto in roccia che si frappone fra la volta del tunnel e l'interfaccia roccia detrito; tale criticità permane fino quando non si raggiunga uno spessore in roccia sopra alla calotta dell'ordine dei 20 m. Dall'analisi strutturale inoltre non sono risultate strutture tettoniche significative laddove affiora il substrato, che si presenta interessato da fenomeni di alterazione e fratturazione/rilascio. Tale rilascio risulta non pervasivo, ma interessa settori localizzati e in parte legato alla presenza di piccoli piani di taglio a basso angolo, con cataclasi di spessore centimetrico-decimetrico e giunti aperti. Per maggiori dettagli si rimanda alle carte e sezioni geologiche presenti nell'elaborato IG51-05-E-CV-GZ-GN23-E0-001-A00.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN23-EX-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 15 di 85</span>

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 argiloscisti 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, il corso d'acqua potrebbe alimentare la falda nell'ammasso fratturato e nonostante la bassa permeabilità degli argiloscisti, la presenza di zone di faglia fanno ritenere che la presenza di acqua lungo lo scavo possa non essere 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 galleria; in corrispondenza della zona tettonizzata si prevede invece un locale aumento di tali afflussi, ricadenti in classe 2 (0.16 ÷ 0.4 l/s per 10 m di galleria).

pk (m)	Formazione	Fratturazione	H (m)	Scistosità/ Anisotropia	k (m/s)	H <sub>w,max</sub> (m)	Qt <sub>1g</sub> (l/s/10m)
2494 ÷ 4161 ca	aP	Medio	20÷180	SI'	$1 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-8}$	150 m	0.0 ÷ 0.16
					faglia $1 \cdot 10^{-6} \div 1 \cdot 10^{-7}$		faglia: 0.16 ÷ 0.4

In determinate situazioni geo-meccaniche e di copertura, la formazione degli Argiloscisti 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 §6.1.6.

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

Data la posizione dell'opera prevista rispetto alla superficie, l'influenza di fenomeni geomorfologici superficiali e di fenomeni gravitativi di versante è da ritenersi di scarsa rilevanza.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-04-E-CV-RB-GN23-EX-001-A02</p>	<p>Foglio 16 di 85</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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN23-EX-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 17 di 85</span>

## 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 $\sigma_c$ (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.

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN23-EX-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 21 di 85</span>

$GSI = RMR'89 - 5$

$RMR'89$  = vedi il paragrafo 5.2.2

$m_i$  = coefficiente relativo alla roccia intatta

$\sigma_1'$  = tensione principale efficace maggiore

$\sigma_3'$  = tensione principale efficace minore

$\sigma_c$  = 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  $\sigma_c$  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;

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  $\sigma_1'$  e  $\sigma_3'$  possono essere trasformati in termini di tensioni di taglio  $\tau$  e di tensioni efficaci normali alla superficie di rottura  $\sigma_n'$ . A tale proposito valgono le seguenti equazioni:

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

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

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

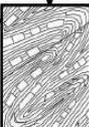
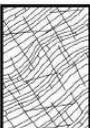
6. L’involuppo di rottura in termini di tensioni di taglio  $\tau$  e di tensioni efficaci normali alla superficie di rottura  $\sigma_n'$  verrà interrotto per valori di  $\sigma_n'$  negativi (trazione) inferiori a 0 kPa; in corrispondenza di valori di  $\sigma_n'$  negativi (trazione) le resistenze 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><b>A. Thick bedded, very blocky sandstone</b> 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	<b>A</b>														
 <p><b>B. Sandstone with thin inter-layers of siltstone</b></p>	 <p><b>C. Sandstone and siltstone in similar amounts</b></p>	 <p><b>D. Siltstone or silty shale with sandstone layers</b></p>	 <p><b>E. Weak siltstone or clayey shale with sandstone layers</b></p>	50	40	<b>B C D E</b>												
<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><b>F. Tectonically deformed, intensively folded/faulted, sheared clayey shale or siltstone with broken and deformed sandstone layers forming an almost chaotic structure</b></p>		30	20	<b>F</b>												
 <p><b>G. Undisturbed silty or clayey shale with or without a few very thin sandstone layers</b></p>	 <p><b>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.</b></p>				10	<b>G H</b>												
<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 i (Flysch) secondo Marinos-Hoek (2000).**

Tipo di ammasso	Criterio di valutazione di $\sigma_c$ 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  $\sigma_c$  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:

$\gamma_t$  = peso di volume naturale del terreno in kN/m<sup>3</sup>

$\nu'$  = 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 seguente 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 determinando 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.

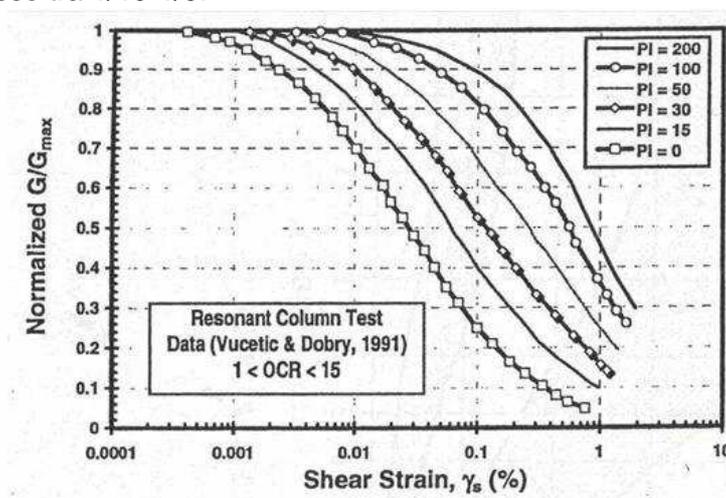


Figura 5-1. Curve di decadimento secondo Vucetic e Dobry, 1991

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RB-GN23-EX-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 27 di 85</span>

## 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 (Argiloscisti filladici)

Oggetto del presente capitolo è la caratterizzazione geotecnica-geomeccanica della formazione costituita da Argiloscisti filladici, appartenenti alle Formazioni degli "Argiloscisti di Murta" (AGF) e degli "Argiloscisti 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°otto), 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 compressione mono-assiale della matrice rocciosa (caratterizzata dalla maggior numerosità del campione).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN23-EX-001-A02
	Foglio 28 di 85

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,.

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	-	-

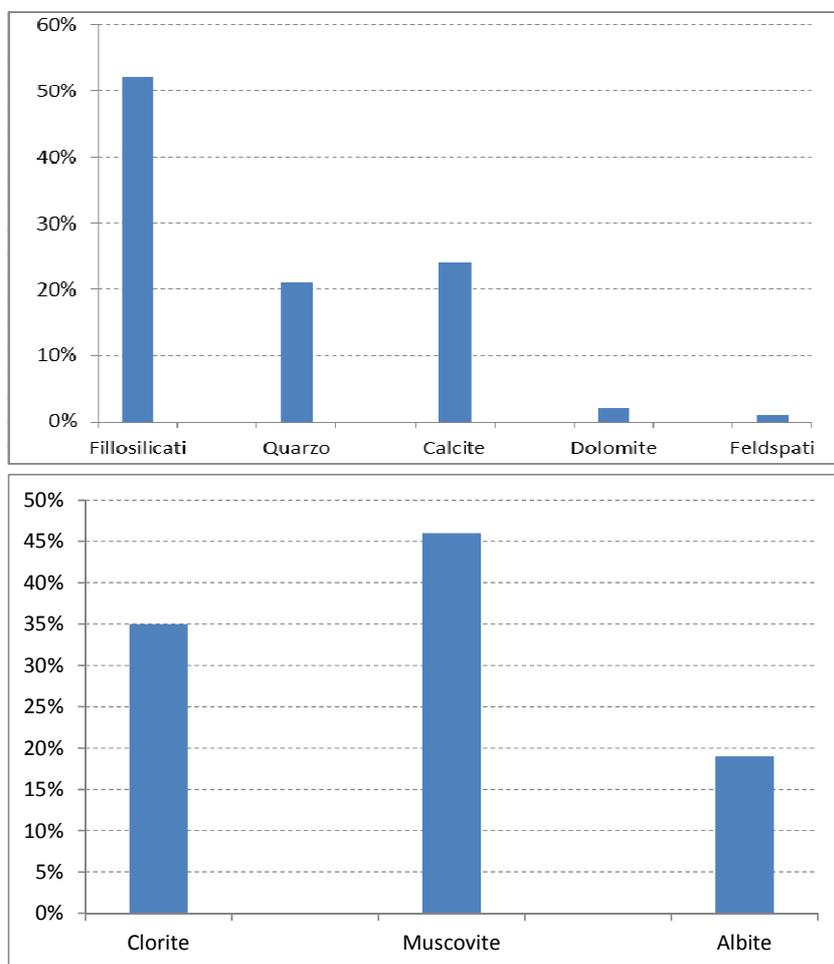
**Tabella 6-1. Campioni e sondaggi di riferimento per la caratterizzazione minero-petrografiche di PD (prima e seconda serie).**

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)**

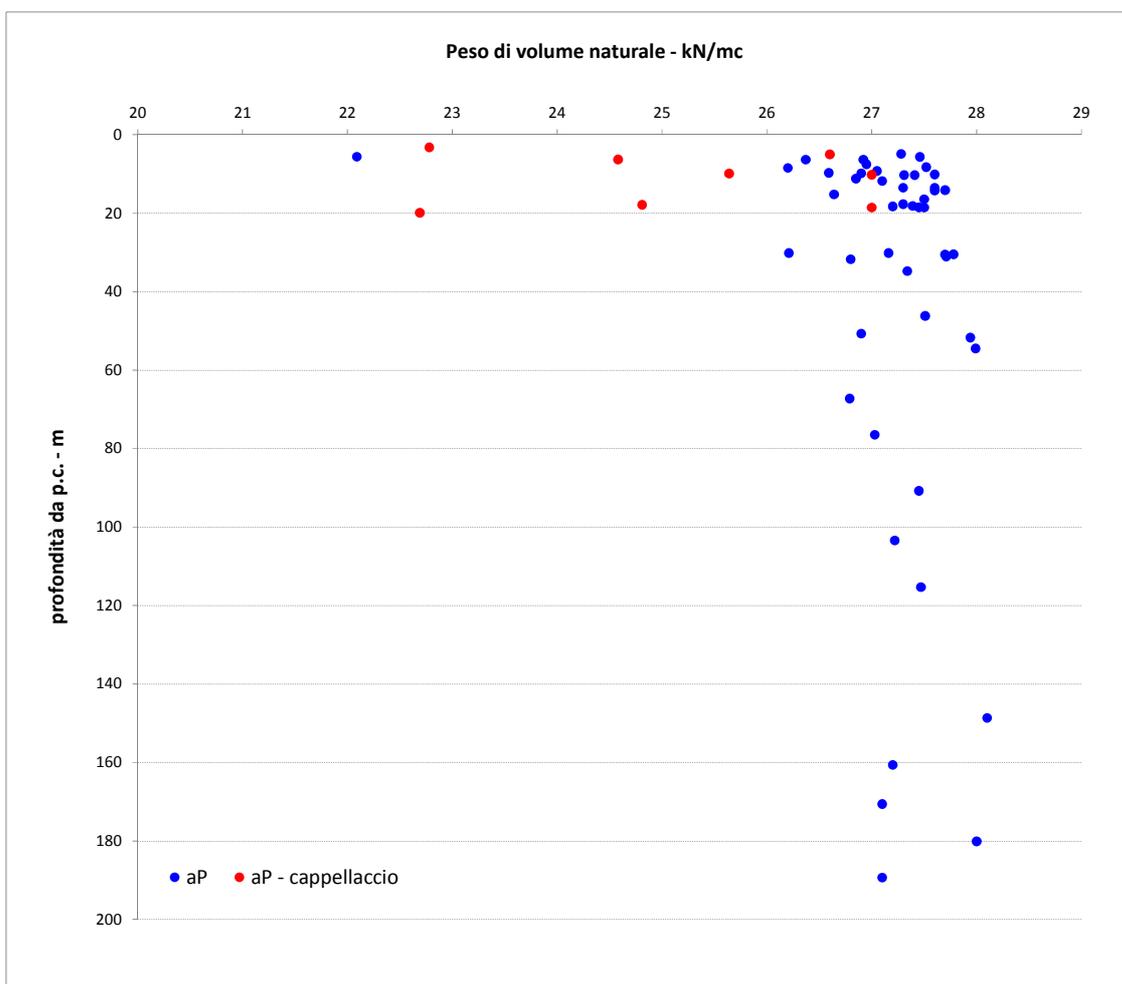
Limitatamente ai campioni con litotipo proprio degli argilloscisti, si evidenzia che gli elementi codificati con CR3 e R2 hanno evidenziato la presenza di materiali asbestosi, cui tuttavia si associa una non-pericolosità nei riguardi del rilascio di fibre. Le risultanze delle analisi dei campioni non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

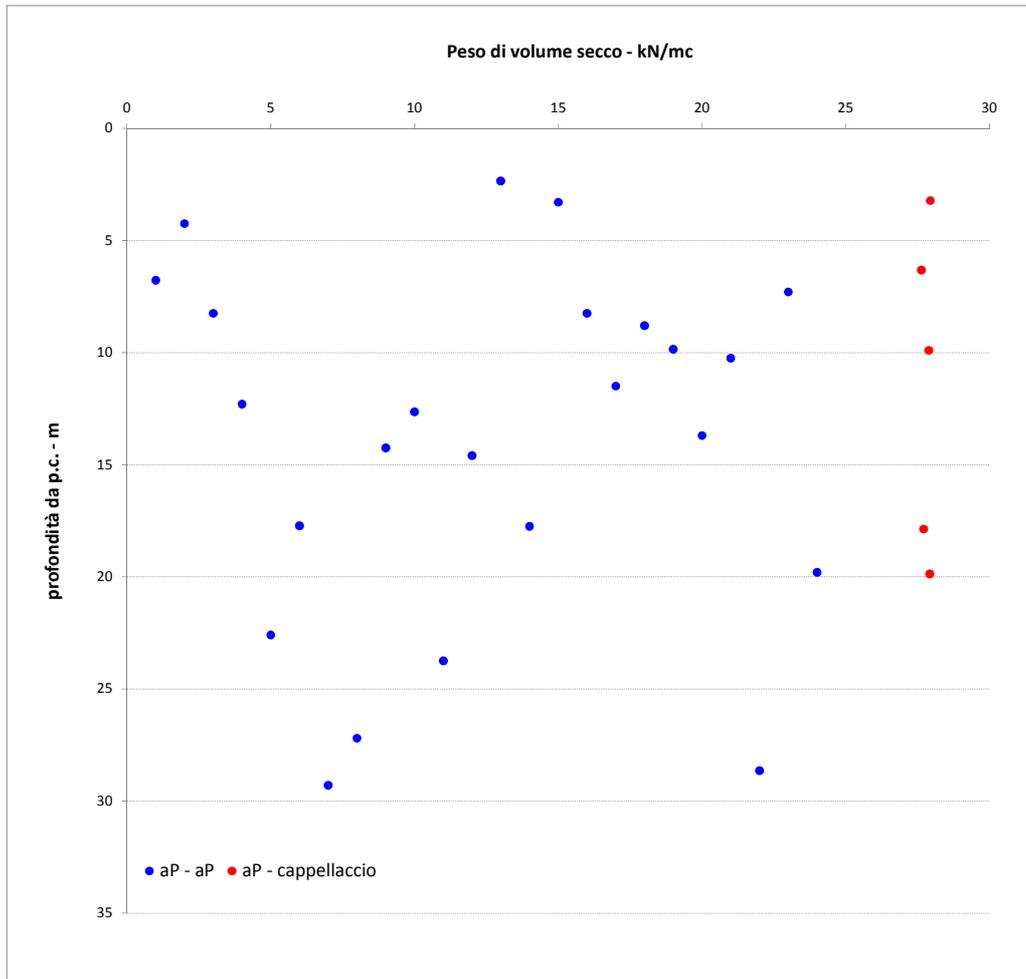


Formazione	aP	aP - cappellaccio
numerosità campione	48	8
Yn max – kN/m <sup>3</sup>	28	27
Yn Min – kN/m <sup>3</sup>	22	23
Yn Med – kN/m <sup>3</sup>	27	25
Yn Sqm – kN/m <sup>3</sup>	1	2
sqm/med	5%	7%

**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/m<sup>3</sup> per la formazione aP, e di 25 kN/m<sup>3</sup> 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.

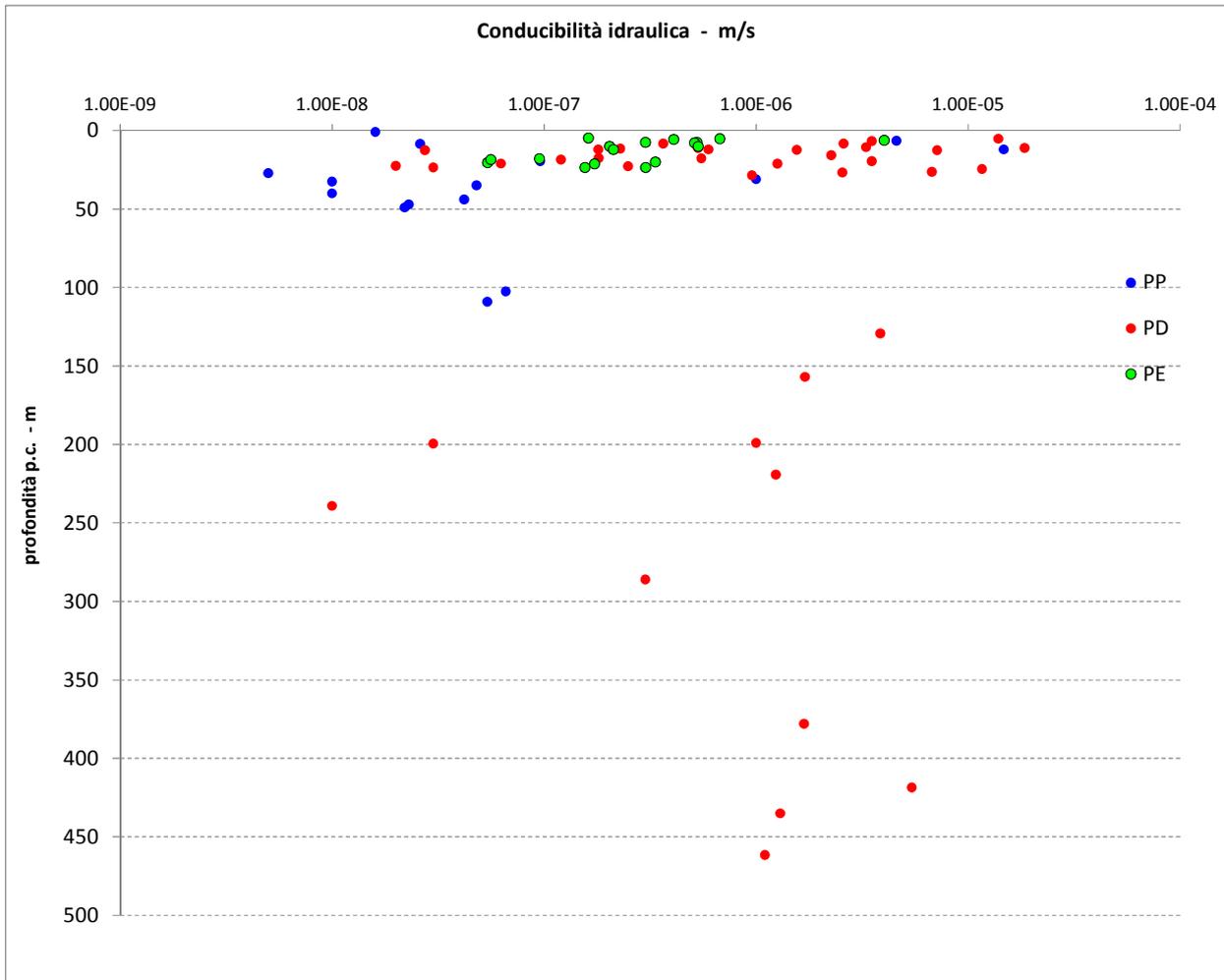
Il dato sul peso di volume secco, riportato a seguire per completezza di esposizione, non è caratterizzato da particolare significatività ai fini progettuali. Si evidenzia peraltro la numerosità del campione inferiore rispetto alla determinazione del peso di volume naturale.



formazione	aP	aP - cappellaccio
numerosità campione	28	5
Ys max – kN/m3	28	28
Ys Min – kN/m3	22	28
Ys Med – kN/m3	27	28
Ys Sqm – kN/m3	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  $1.5 \text{ E-6 m/s}$ , con buona concentrazione della distribuzione attorno al valore medio.



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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN23-EX-001-A02
	Foglio 34 di 85

### 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 Is (Point Load Strength 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 Strength 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 I50 (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 k50 (con  $UCS = K50 \cdot Is50$ ), 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 Is50 – UCS (laboratorio), sul medesimo campione di matrice rocciosa (profondità di sondaggio), desunte dalla campagna di indagine del progetto preliminare.

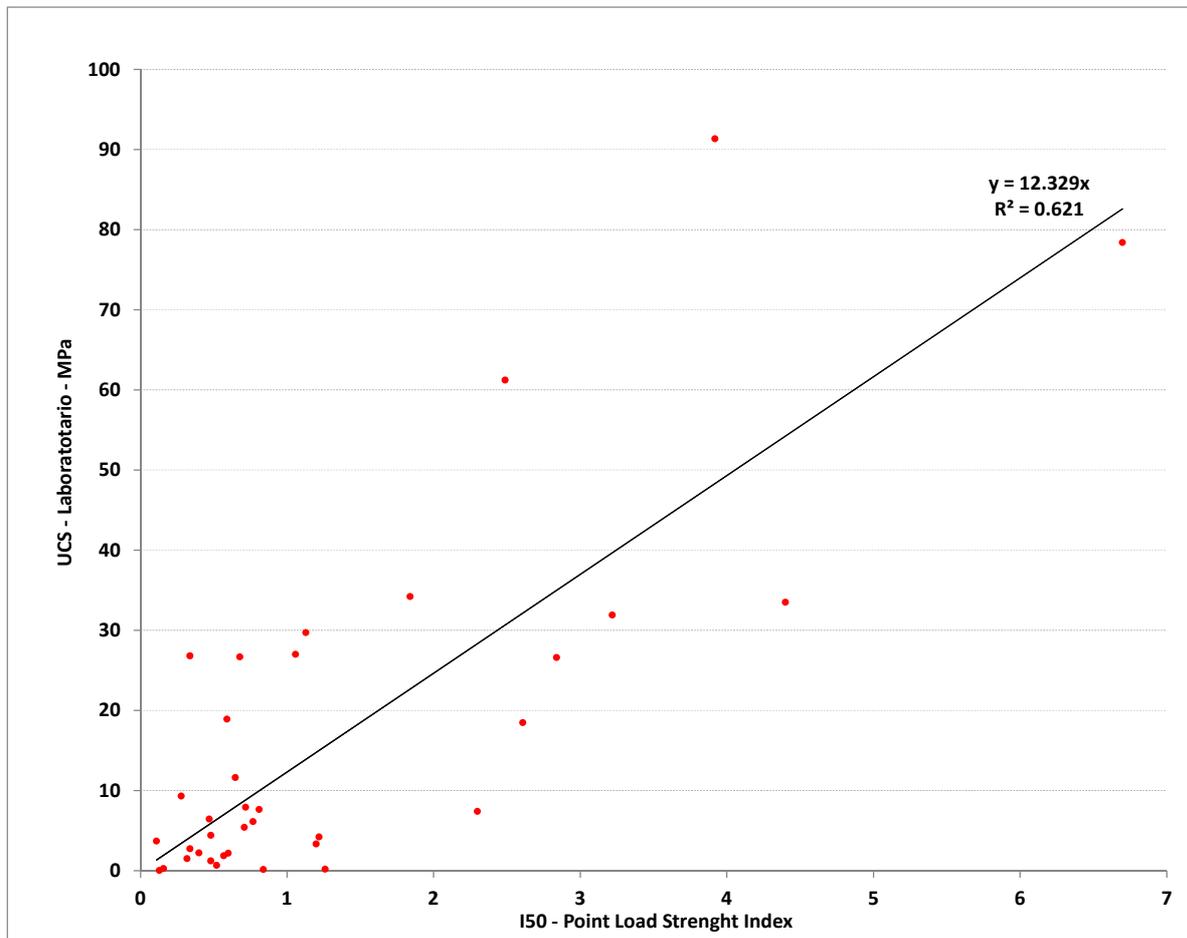


Figura 6-5. Correlazione UCS – I50 Point Load Strength Index (elaborazione risultati campagna PP)

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.

$\sigma_c$ (MPa)	$I_{s\ 50}$ (MPa)	$k_{50}$
25 <sup>*)</sup> - 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 I50 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 accorparendo 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.

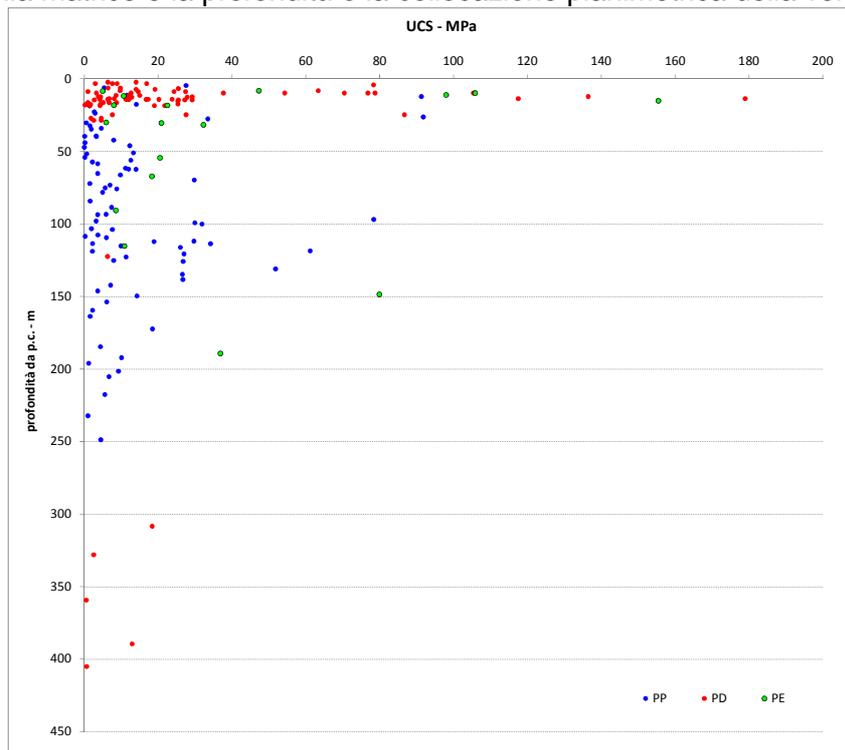


Figura 6-6. Rappresentazione grafica UCS – profondità di campionamento

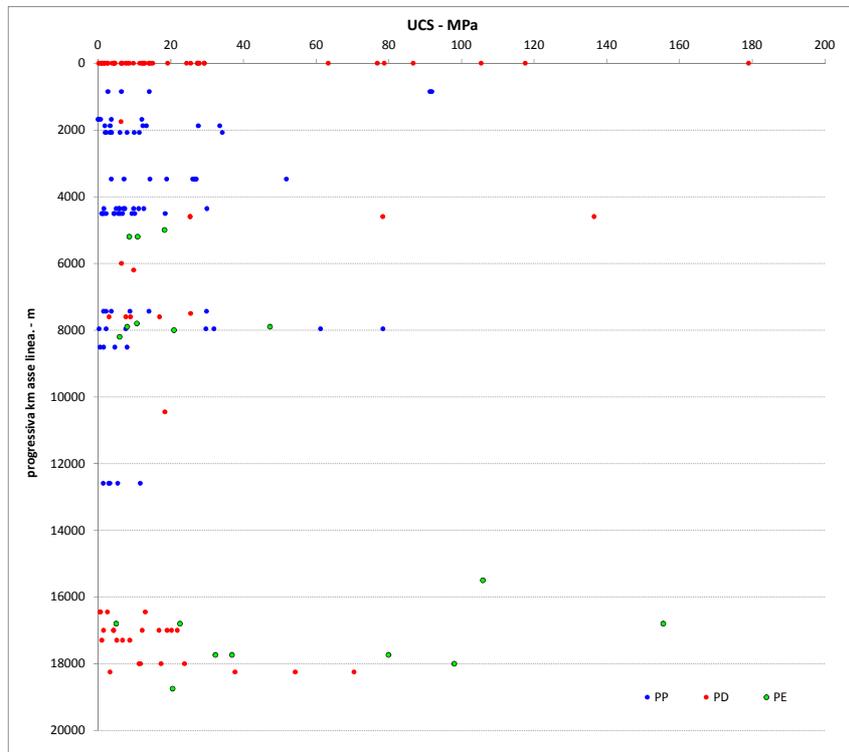


Figura 6-7. Rappresentazione grafica UCS – posizione planimetrica sondaggio di riferimento (pk linea)

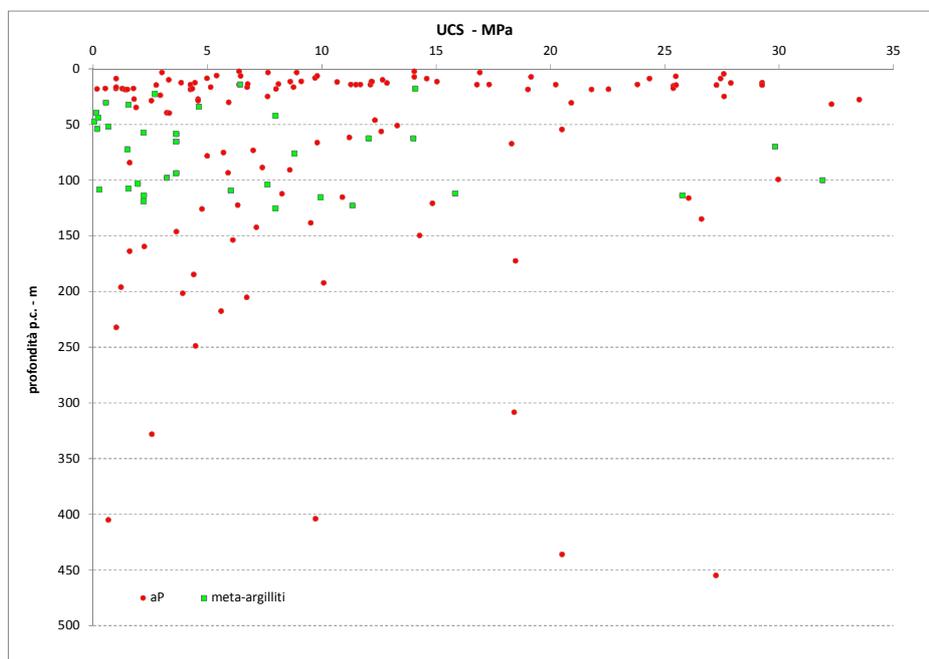
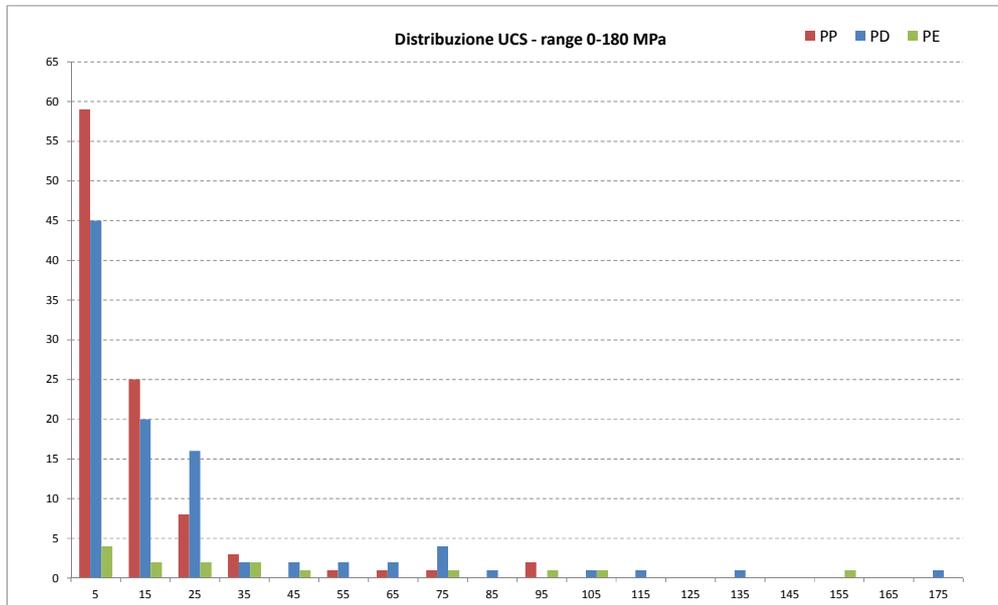


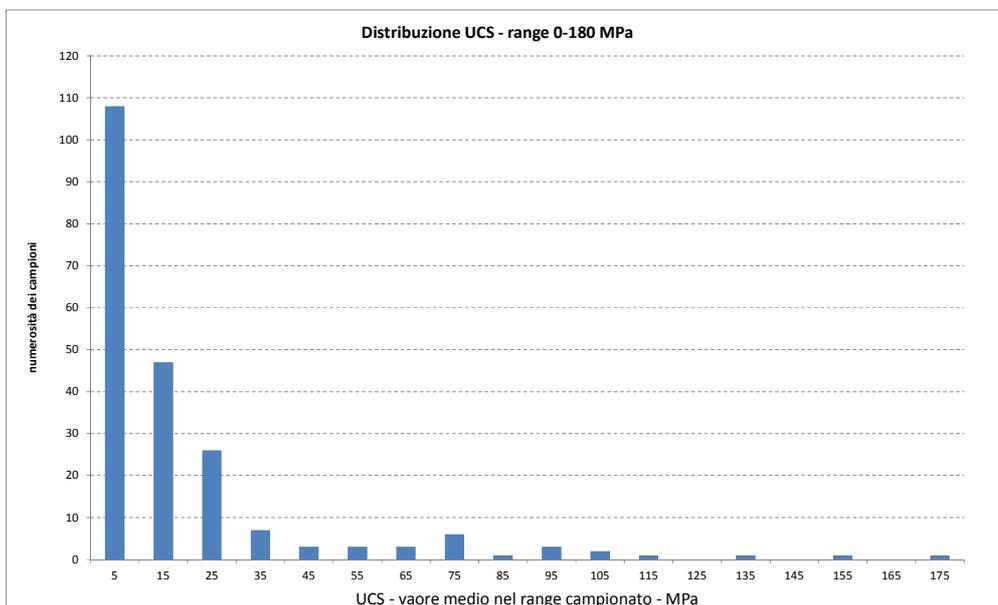
Figura 6-8. Correlazione UCS – I50 Point Load Strength Index (elaborazione risultati campagna PP)

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)**



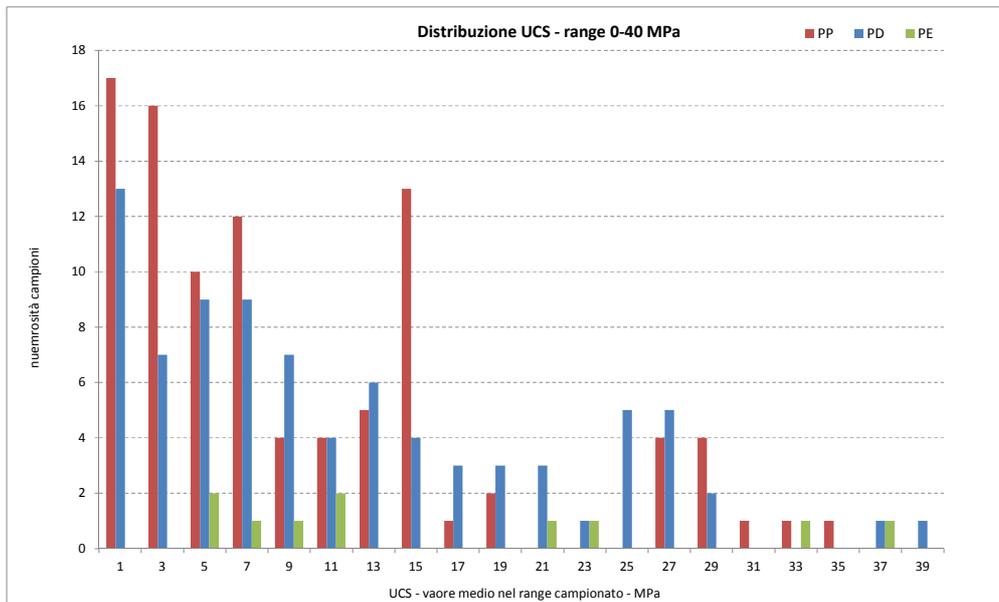
**Figura 6-10. Numerosità campione UCS in relazione a intervalli di 10 MPa (campione aggregato)**

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.

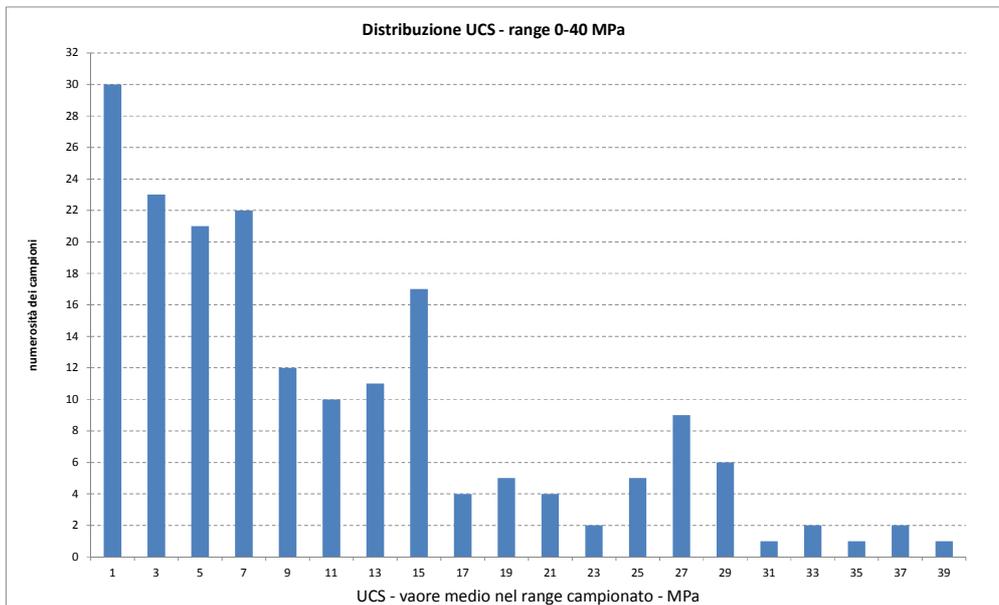
A tal proposito, è opportuno notare che solamente 12 di questi ultimi derivano da prove di compressione in laboratorio e pertanto possono essere considerati maggiormente attendibili. Nello specifico, tali prove di compressione mono-assiale hanno fornito valori di resistenza compresi fra 65 – 150 MPa, 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.

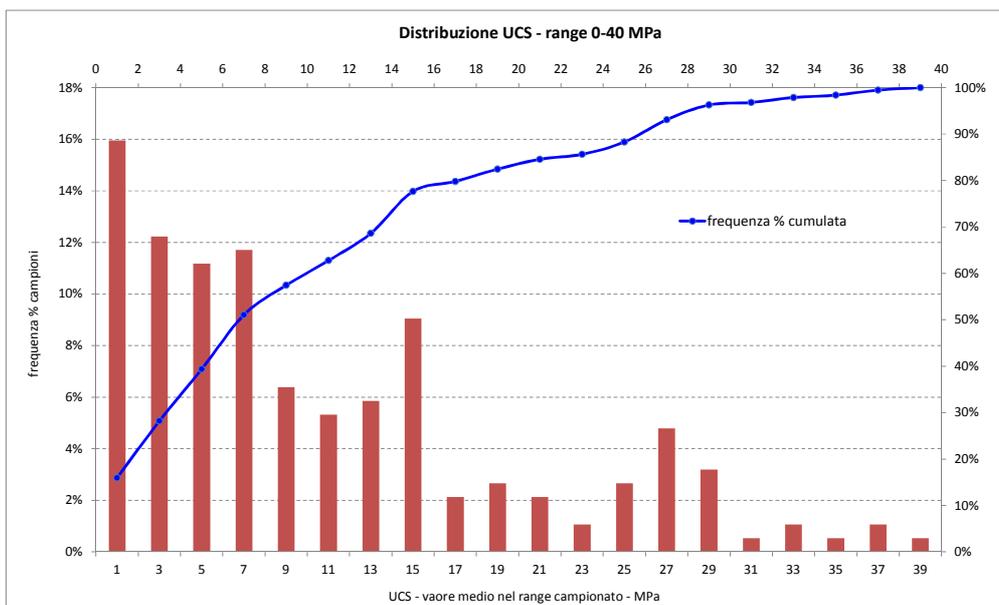
Nell'ottica di focalizzare l'analisi esclusivamente sul dato rappresentativo della matrice argillitica, si propongono, nei grafici seguenti, le distribuzioni di frequenza (come numerosità del dato nei singoli range di resistenza e come frequenza % rispetto al totale delle determinazioni disponibili fra 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	<b>179</b>	<b>37</b>	<b>37</b>
Min - MPa	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5</b>
med- MPa	<b>20</b>	<b>10.8</b>	<b>15.6</b>
Sqm - MPa	<b>29</b>	<b>9</b>	<b>9</b>
sqm/med	<b>144%</b>	<b>87%</b>	<b>55%</b>

**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.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RB-GN23-EX-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 42 di 85</span>

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.

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.

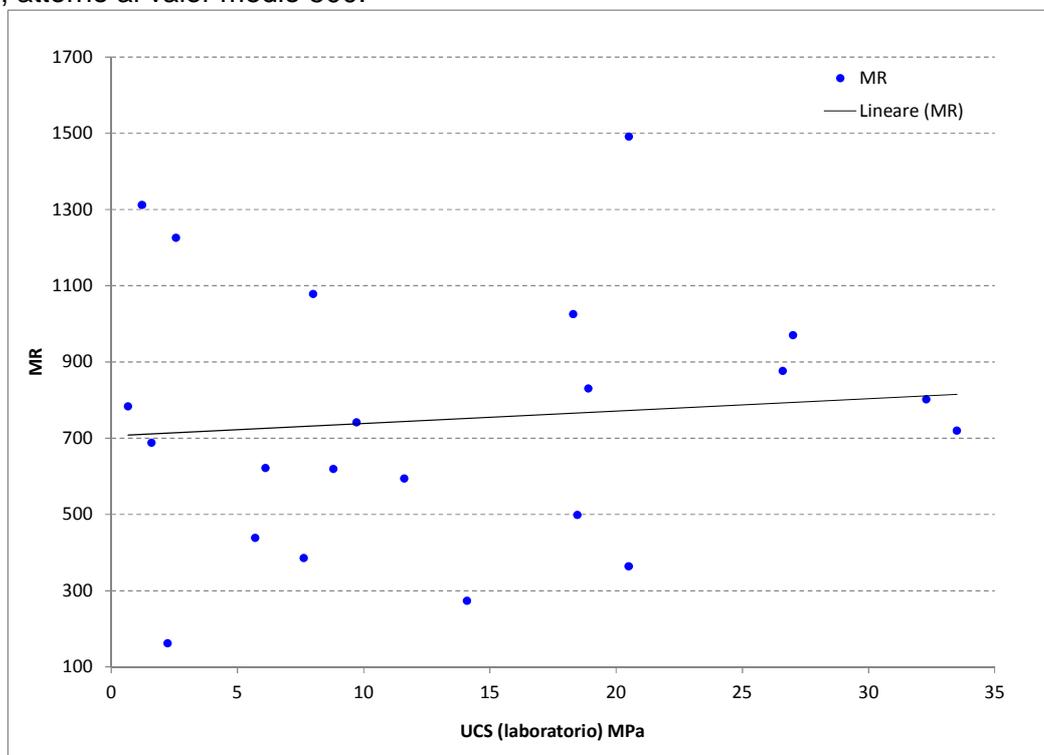
Congiuntamente alla determinazione diretta sopracitata, sarà altresì derivato il modulo elastico della matrice rocciosa per mezzo del rapporto di modulo MR (modulus ratio), secondo la formulazione di Deere, Palmstrom e Singh.

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  $E_{sec}$ ).

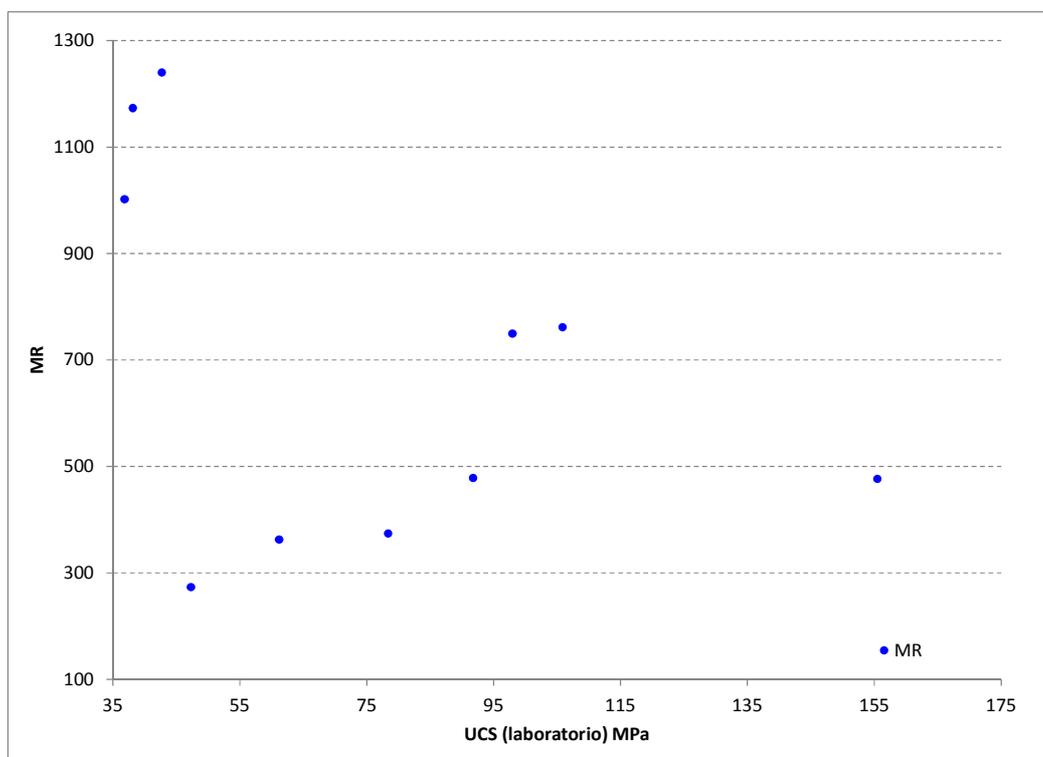
Si presentano dapprima i valori di MR desunti dai risultati delle prove di resistenza a compressione mono-assiale compresi nel range 0-35 MPa (identificativo della matrice rocciosa argillitica), quindi,

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)**

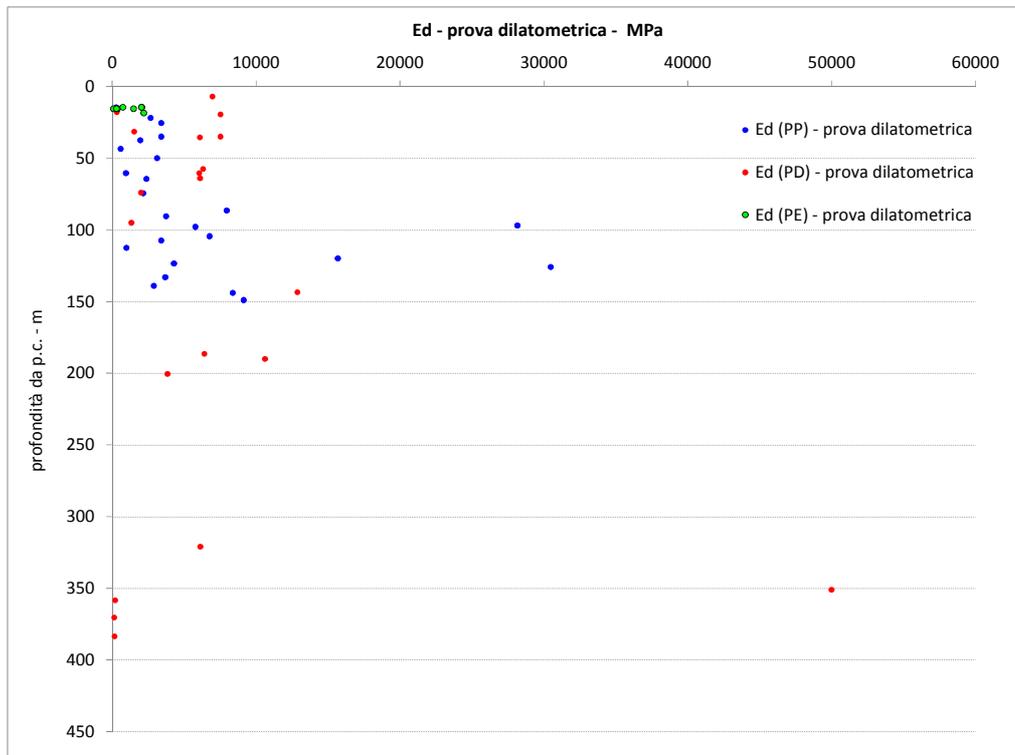


**Figura 6-15. Modulus Ratio (MR) associato alle determinazioni in laboratorio UCS (range 35-180 MPa)**

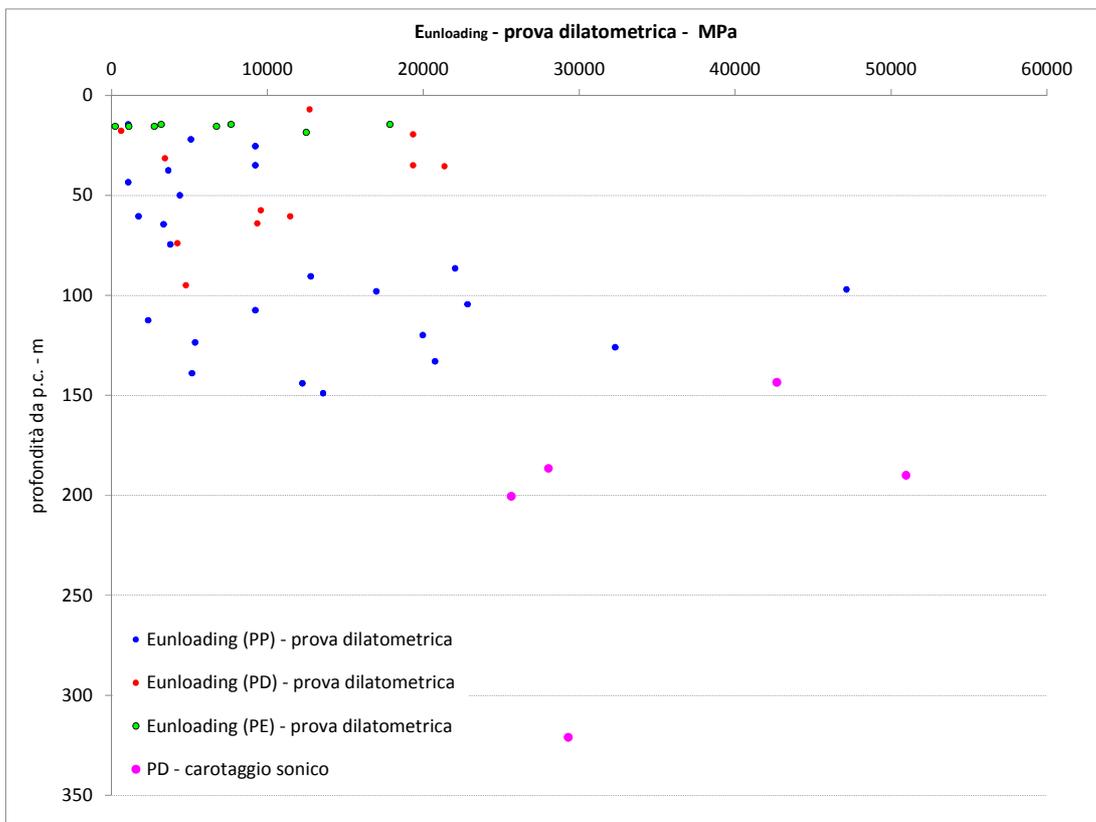
Il valore di MR 700, determinato dai dati sperimentali, è stato pertanto utilizzato per la determinazione dei moduli elastici della matrice rocciosa (Deere-Palmstrom-Singh), data la serie di UCS ottenute per via diretta dalle prove di compressione mono-assiale e derivate dai Point Load Strength Index, 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**.



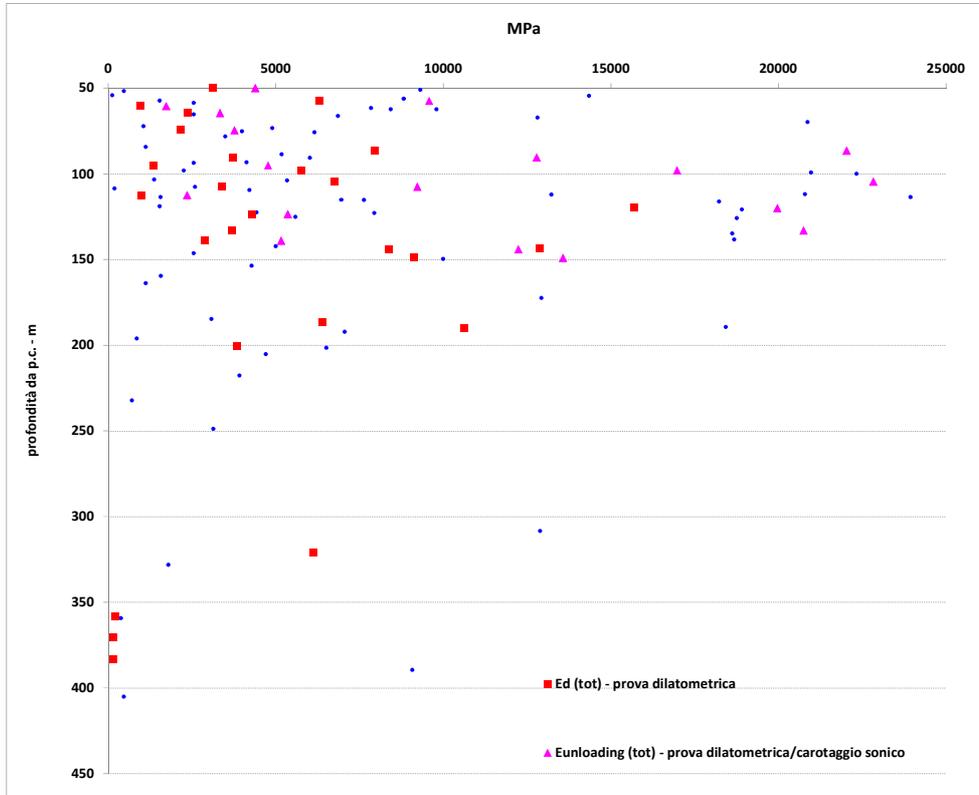
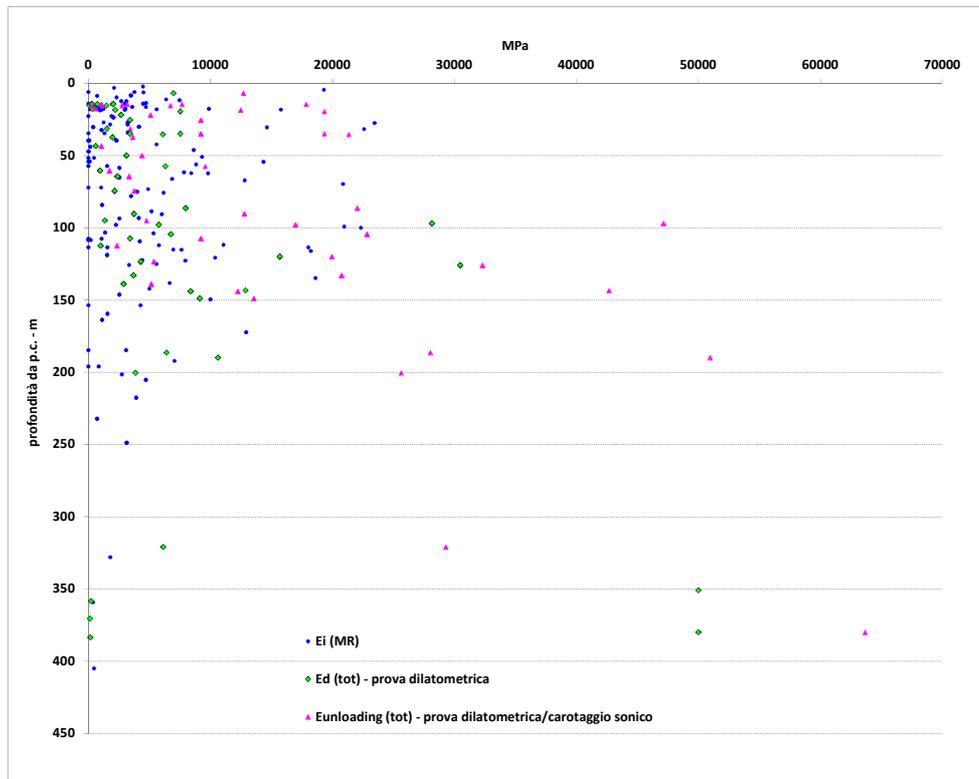
**Figura 6-16. Moduli di deformazione da prova dilatometrica in foro di sondaggio, rappresentati in funzione della profondità di misurazione da p.c.**



**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  $E_i$  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-GN23-EX-001-A02
	Foglio 48 di 85

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:

- **Ei** derivato dal campione di **UCS fra 0 e 35 MPa** (rappresentativo del dato decurtato delle resistenze a compressione ascrivibili agli inclusi calcarei - palombini);
- **Ei** 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
<b># campione</b>	158	100	24	24
<b>max</b>	<b>23940</b>	<b>23940</b>	<b>30488</b>	<b>47146</b>
<b>min</b>	<b>34</b>	<b>3597</b>	<b>277</b>	<b>1070</b>
<b>med</b>	<b>7449</b>	<b>10806</b>	<b>6346</b>	<b>11889</b>
<b>sqm</b>	<b>6473</b>	<b>5899</b>	<b>7859</b>	<b>11234</b>
<b>sqm/med</b>	<b>87%</b>	<b>55%</b>	<b>124%</b>	<b>94%</b>

**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-GN23-EX-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 50 di 85</span>

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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN23-EX-001-A02
	Foglio 51 di 85

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 ( $\Psi \text{ max} = (94-274)^\circ \pm 26^\circ$ ).
- 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:

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

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

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

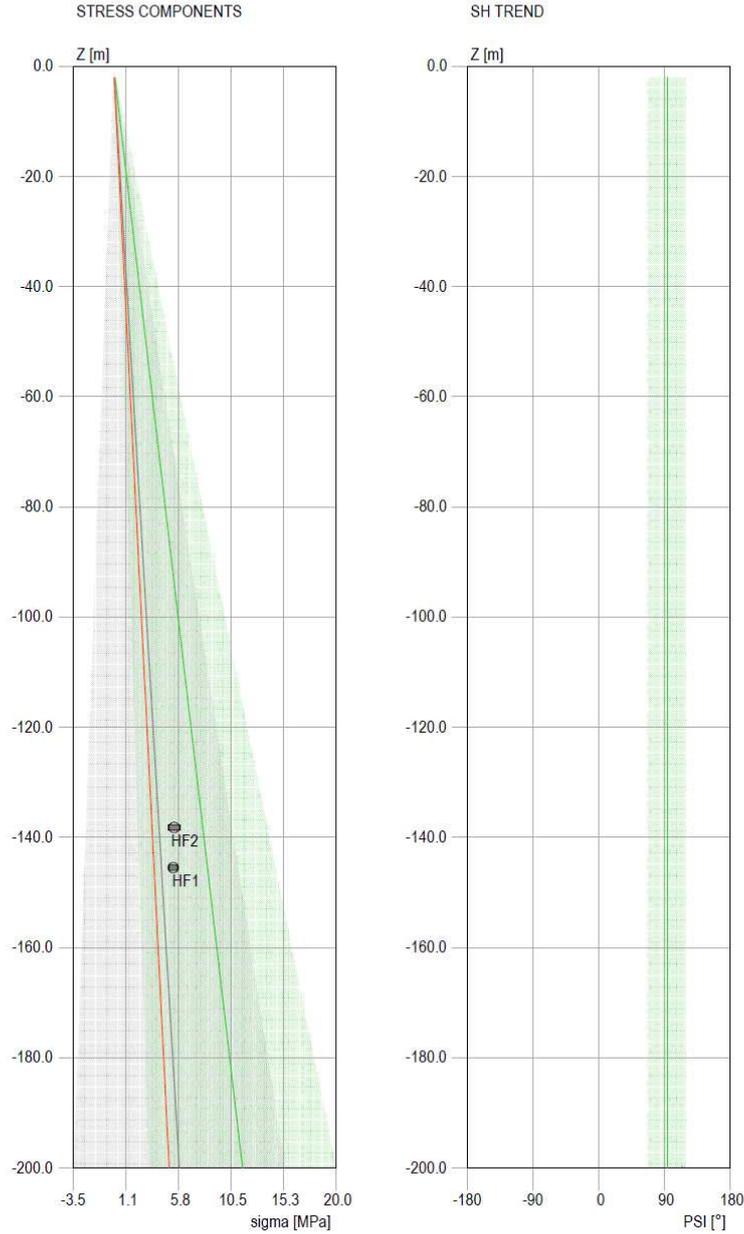
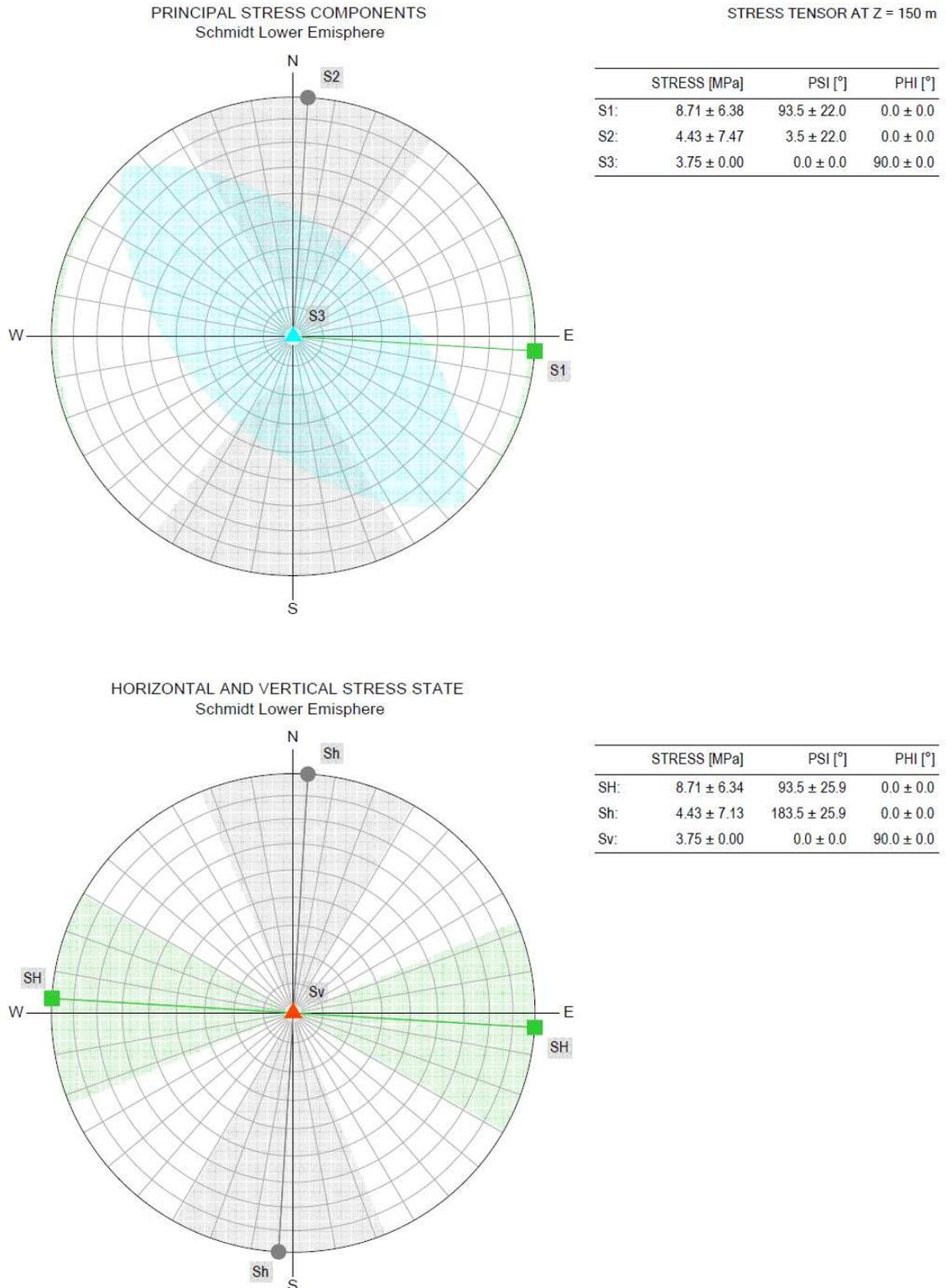


Figura 6-19. Interpretazione prove di fratturazione idraulica



**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.

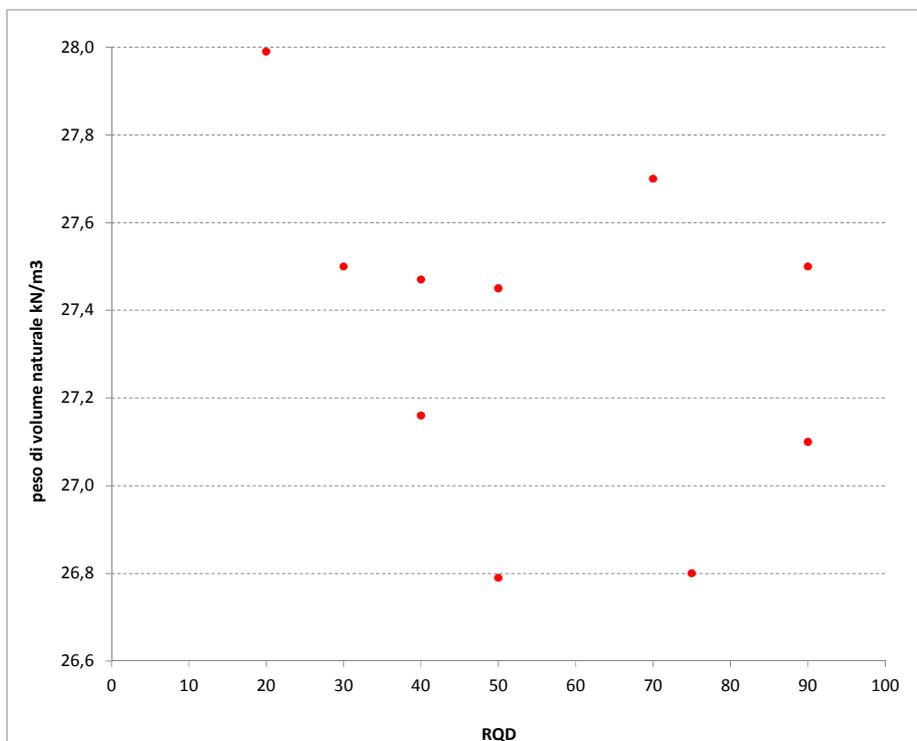


Figura 6-21. Peso di volume naturale in funzione dell'indice RQD proprio del settore di determinazione

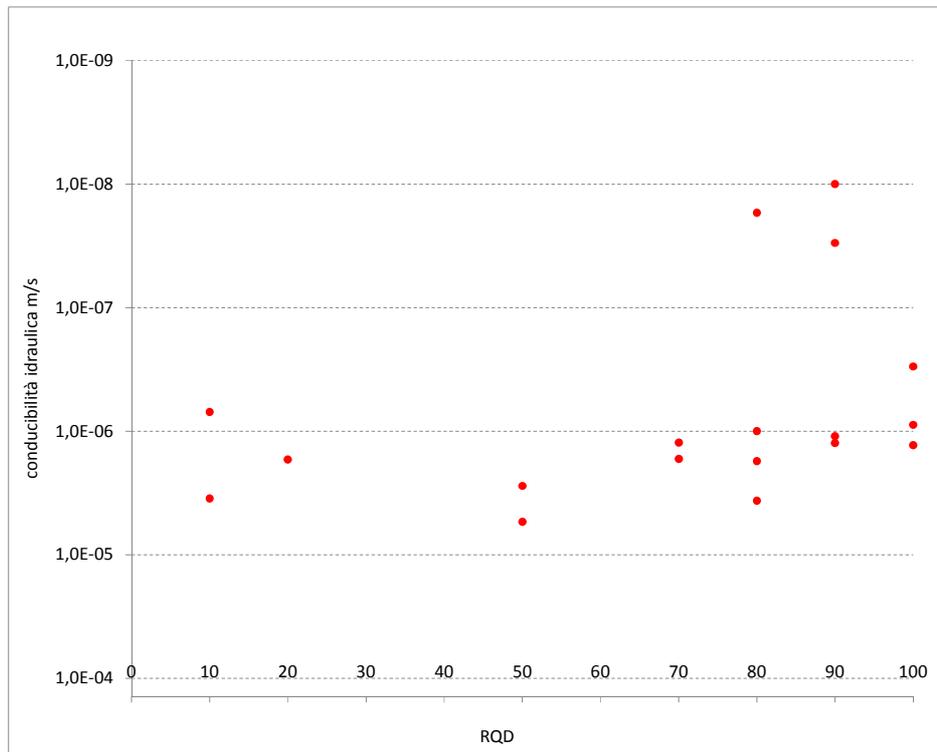


Figura 6-22. Conducibilità idraulica in funzione dell'indice RQD proprio del settore di determinazione

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	<b>1.96E-06</b>	<b>4.05E-06</b>	<b>3.74E-06</b>
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  $m_i$**  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.

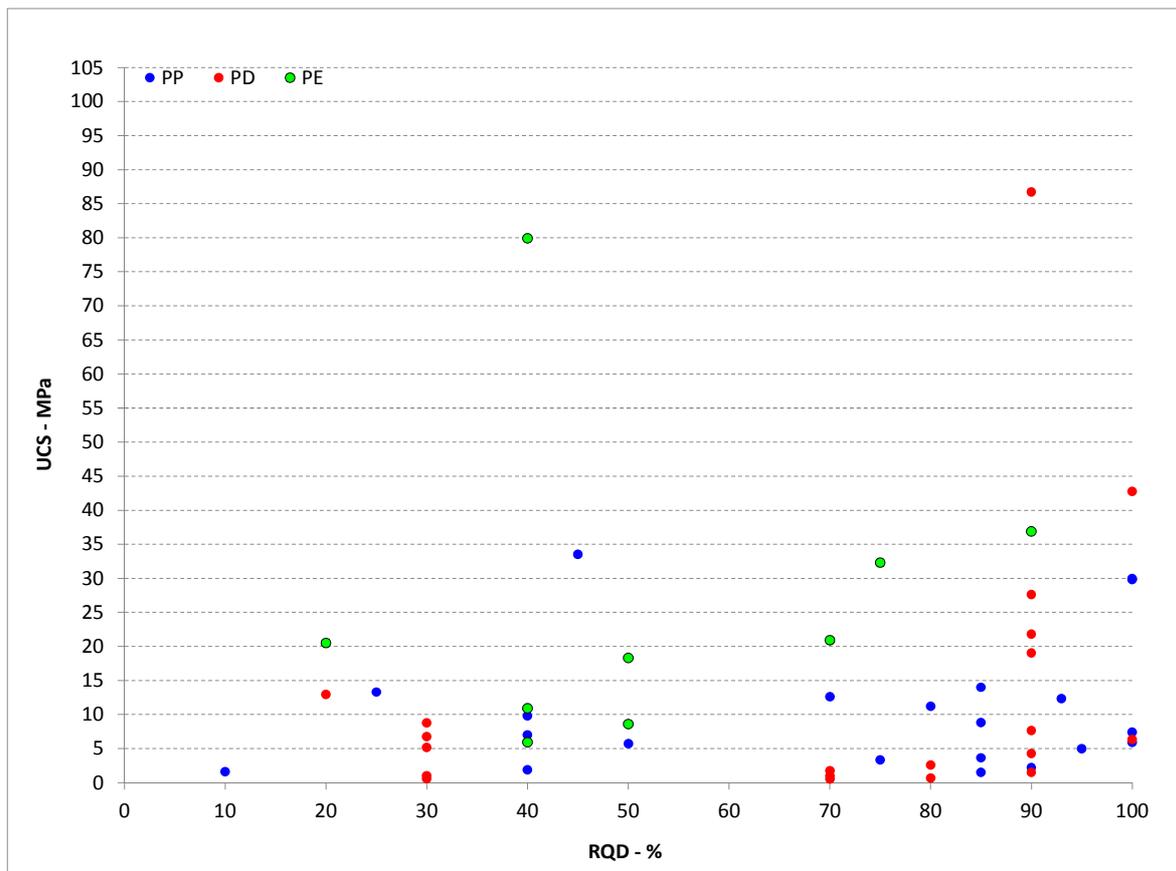


Figura 6-23. UCS in funzione dell'indice RQD proprio del settore di determinazione

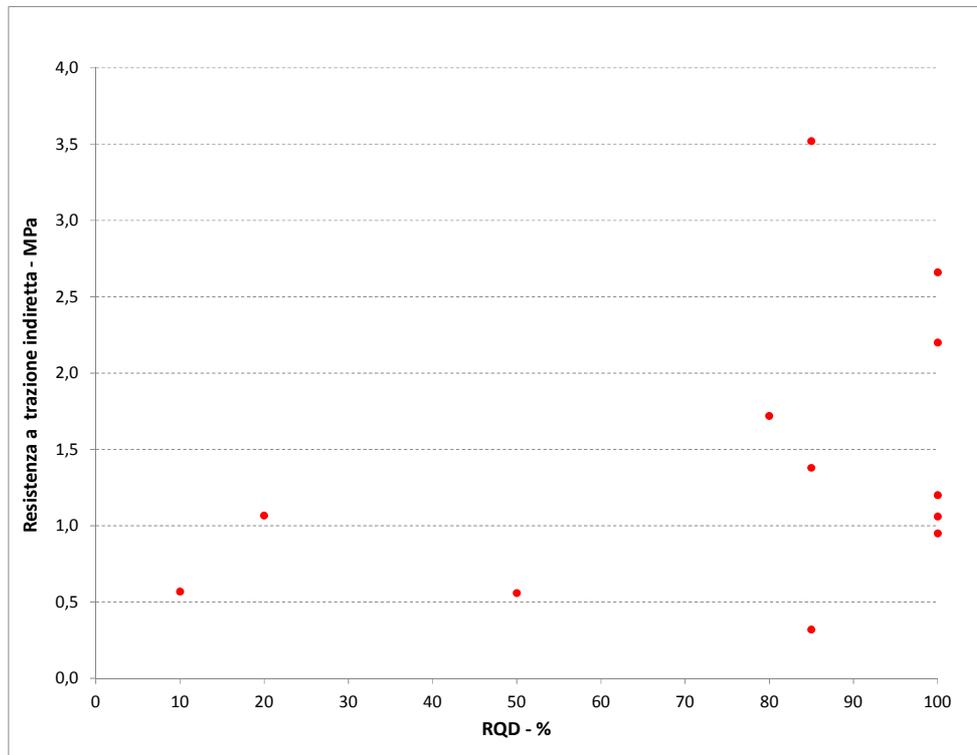


Figura 6-24. Resistenza a trazione indiretta in funzione dell'indice RQD proprio del settore di determinazione

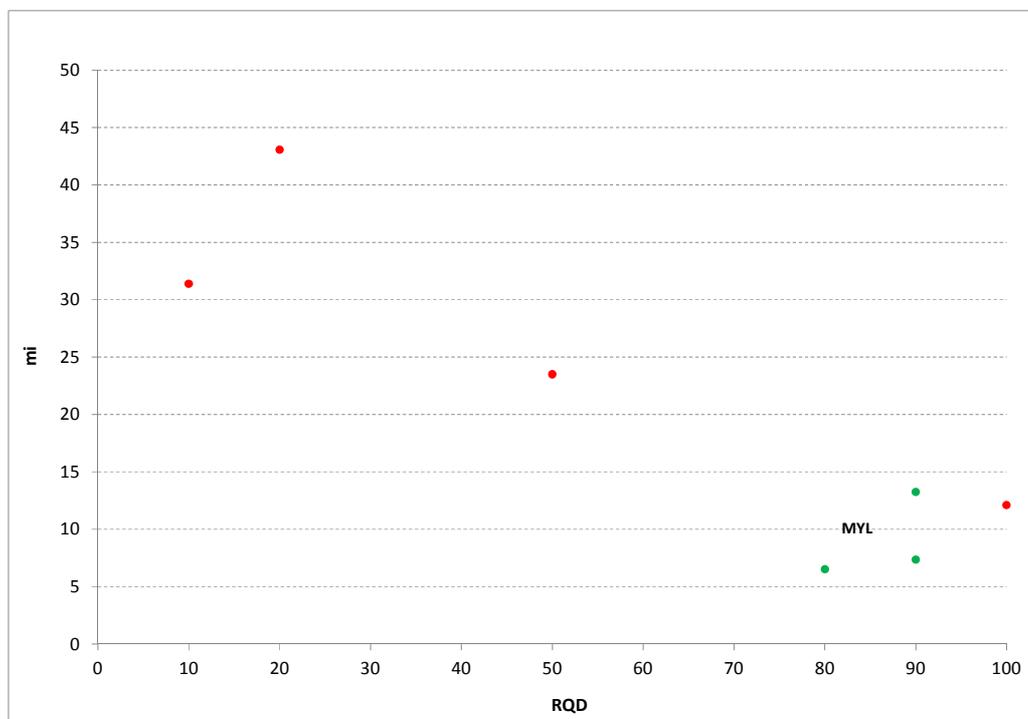


Figura 6-25. Parametri mi Hoek-Brown in funzione dell'indice RQD proprio del settore di determinazione

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
$\sigma_c$ max - MPa	32,3	33,5	-
$\sigma_c$ min - MPa	0,5	0,5	-
$\sigma_c$ med - MPa	<b>10,6</b>	<b>9,1</b>	<b>3-5</b>
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	≅ 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	<b>17,1</b>	<b>11,9</b>	<b>3-5</b>
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	≅ 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	<b>1,6</b>	<b>0,6</b>	<b>0,8</b>
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 (brasiliana) associate alle tre concentrazioni di indici RQD emerse dalla rappresentazione grafica**

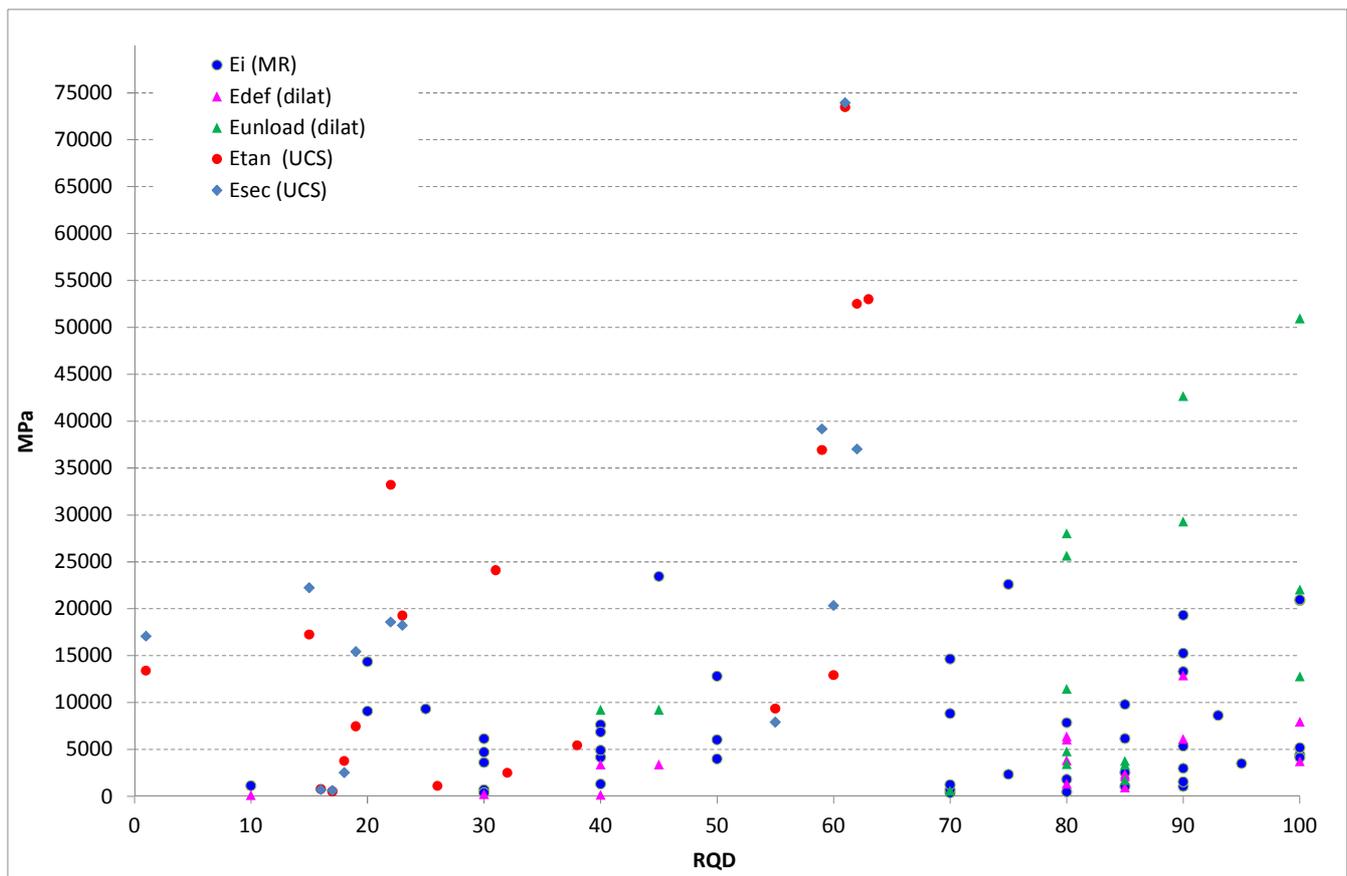
RQD	70-100	≅ 50	< 20-25
numerosità campione	4	1	2
mi Max	13	24	43
mi Min	7	24	31
mi Med	<b>10</b>	<b>24</b>	<b>37</b>
mi Sqm	3	-	8
sqm/med	34%	-	22%

**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 rappresentative 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-GN23-EX-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 62 di 85</span>

### 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-GN23-EX-001-A02
	Foglio 63 di 85

- **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 microscala,
- **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 microscala. 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 microscala. 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 microscala. 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.).

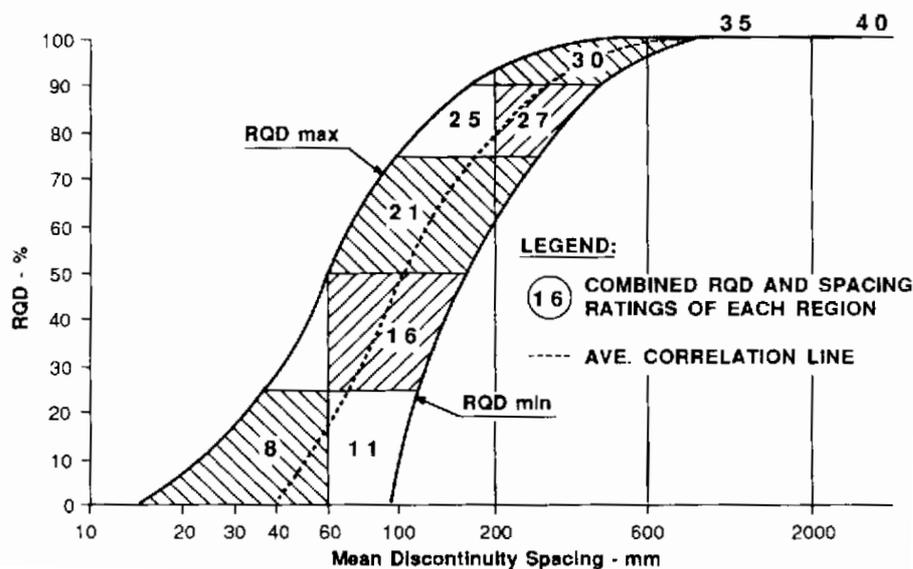
### Implementazione della classificazione geomeccanica

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.**

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN23-EX-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 65 di 85</span>

- 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		
<b>GSI</b>	<b>min</b>	<b>max</b>	<b>avg</b>	<b>GSI</b>	<b>min</b>	<b>max</b>	<b>avg</b>	<b>GSI</b>	<b>min</b>	<b>max</b>	<b>avg</b>
<b>max</b>	68	<b>71</b>	70	<b>max</b>	38	<b>48</b>	43	<b>max</b>	26	<b>31</b>	29
<b>min</b>	<b>51</b>	54	53	<b>min</b>	<b>35</b>	45	40	<b>min</b>	<b>22</b>	27	25
<b>med</b>	58	61	60	<b>med</b>	36	46	41	<b>med</b>	25	30	27
<b>sqm</b>	5	5	5	<b>sqm</b>	1	1	1	<b>sqm</b>	2	2	2
<b>sqm/med</b>	8%	8%	8%	<b>sqm/med</b>	2%	2%	2%	<b>sqm/med</b>	9%	8%	9%

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-04-E-CV-RB-GN23-EX-001-A02	Foglio 66 di 85

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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN23-EX-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 67 di 85</span>

#### 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/m<sup>3</sup>
  - Coefficiente di Poisson. 0.25-0.30
  - Conducibilità idraulica: 1E-6 m/s / 1E-7 m/s
  
- **Gruppo G2**
  - Peso di volume: 27 kN/m<sup>3</sup>
  - Coefficiente di Poisson. 0.25-0.30
  - Conducibilità idraulica: 4E-6 m/s
  
- **Gruppo G3**
  - Peso di volume: 26 kN/m<sup>3</sup>
  - 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.**

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:

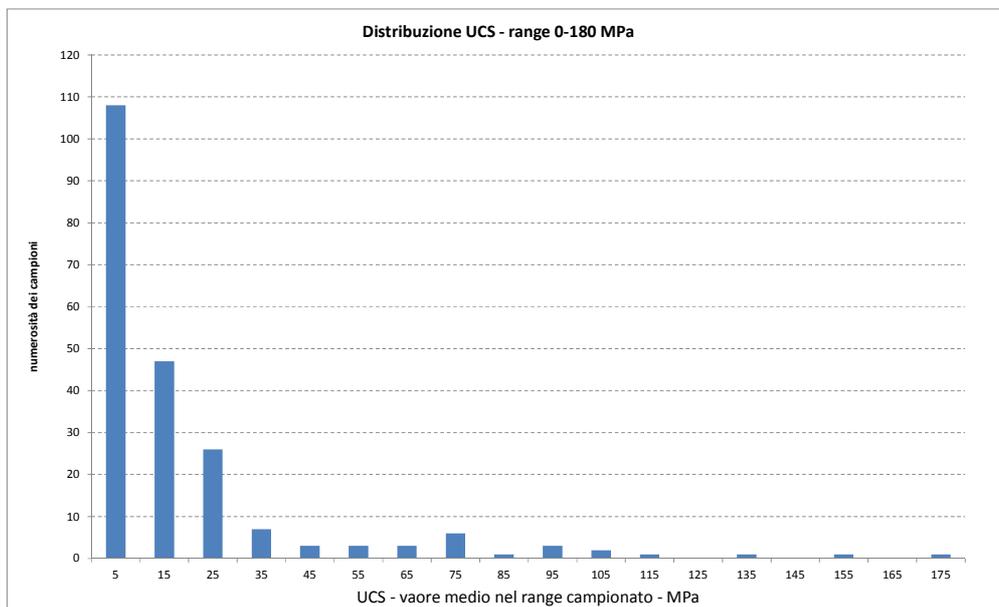
- distribuzione UCS-RQD limitata al range 0-35/40 MPa, rappresentativo della matrice argillitica;
- distribuzione UCS-RQD limitata al range 0-35/40 MPa con cut-off inferiore posto sul valore dei 5 MPa, considerato come limite minimo rappresentativo, da un punto di vista ingegneristico, delle resistenze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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN23-EX-001-A02
	Foglio 69 di 85

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-GN23-EX-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 72 di 85</span>

### 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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN23-EX-001-A02
	Foglio 73 di 85

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	<b>7900 (3100-20100)</b>	<b>4300-7700</b>	<b>700-8700</b>	<b>3000-7800</b>
aP-G2	<b>850 (280 – 1700)</b>	<b>1400-2500</b>	<b>250-2500</b>	<b>1000-2000</b>
aP-G3	<b>590 (280-1690)</b>	<b>730-1000</b>	<b>100-800</b>	<b>600-1200</b>

**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.

### 6.1.5 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	$\gamma$	$\nu$	$E_{op}$	$\sigma_c$	$m_i$	GSI
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[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 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RB-GN23-EX-001-A02 <span style="float: right;">Foglio 75 di 85</span>

## 6.1.6 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.

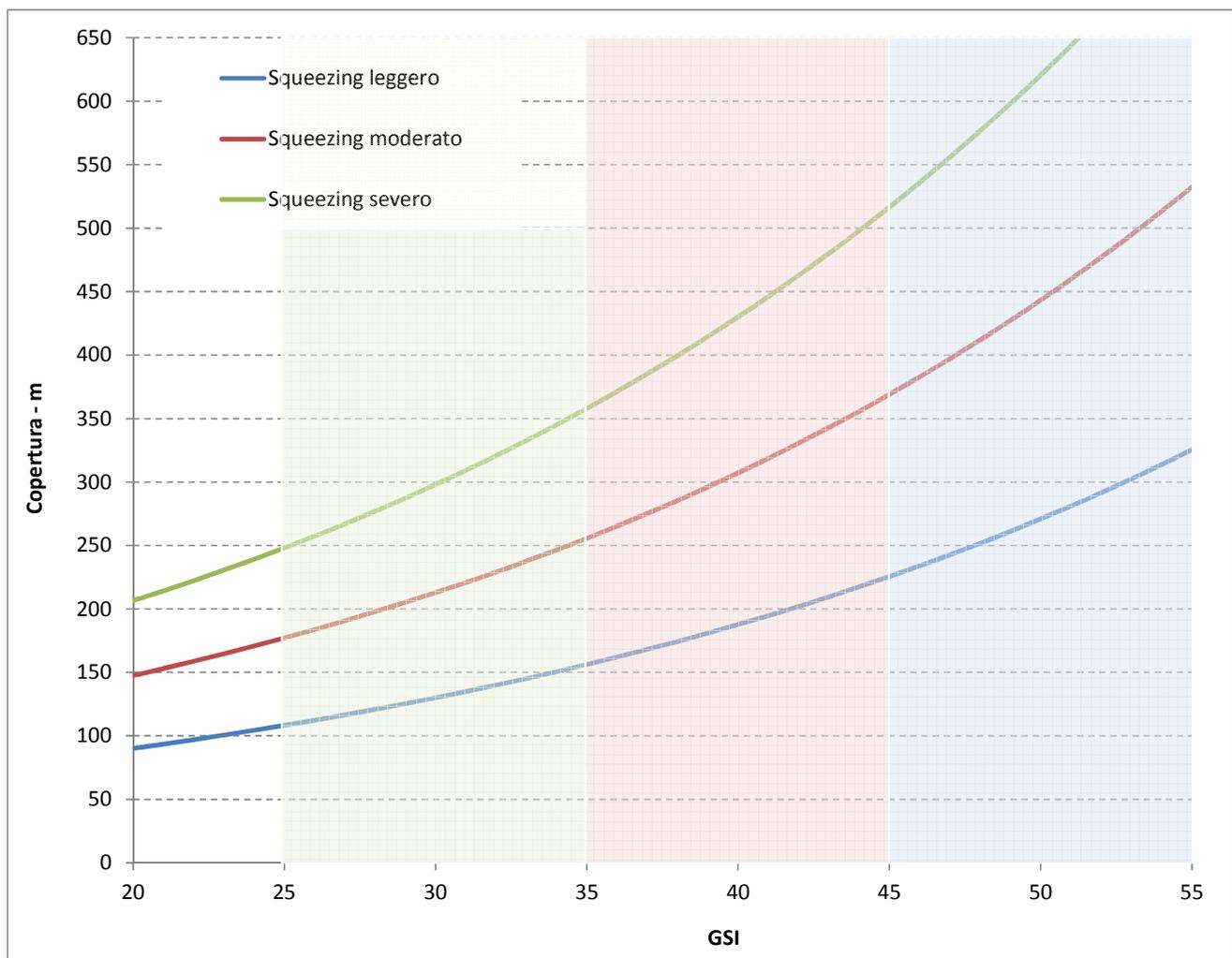
Goel definisce tre gradi/intensità di *squeezing* che chiama leggero, moderato e severo.

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)**

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN23-EX-001-A02
	Foglio 77 di 85

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.

### Critério 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 - ,  $\gamma$  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.

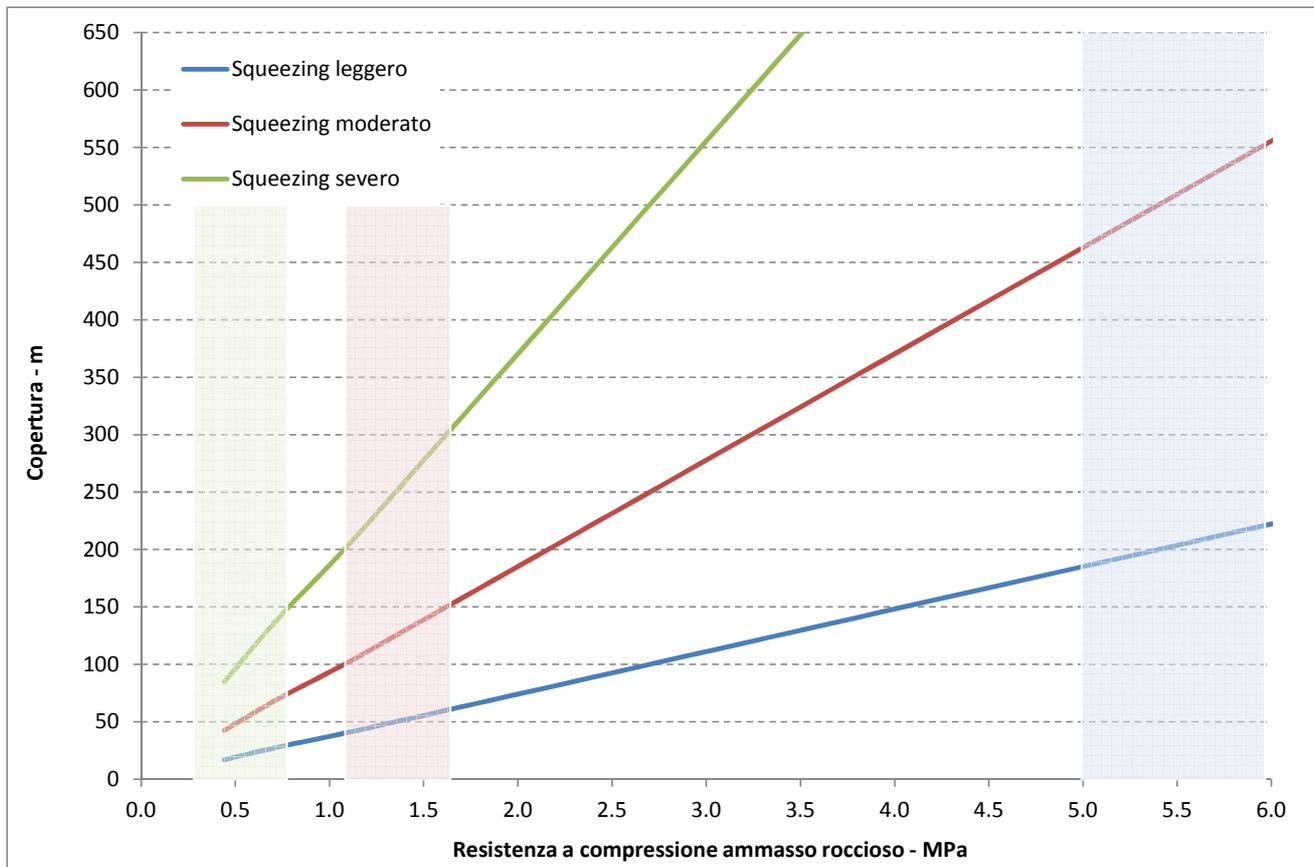


Figura 6-30. Potenziale di squeezing secondo Barla (1995)

### Critério 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  $\sigma_c$  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;  $\gamma$  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  $\varepsilon(\%)$  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.

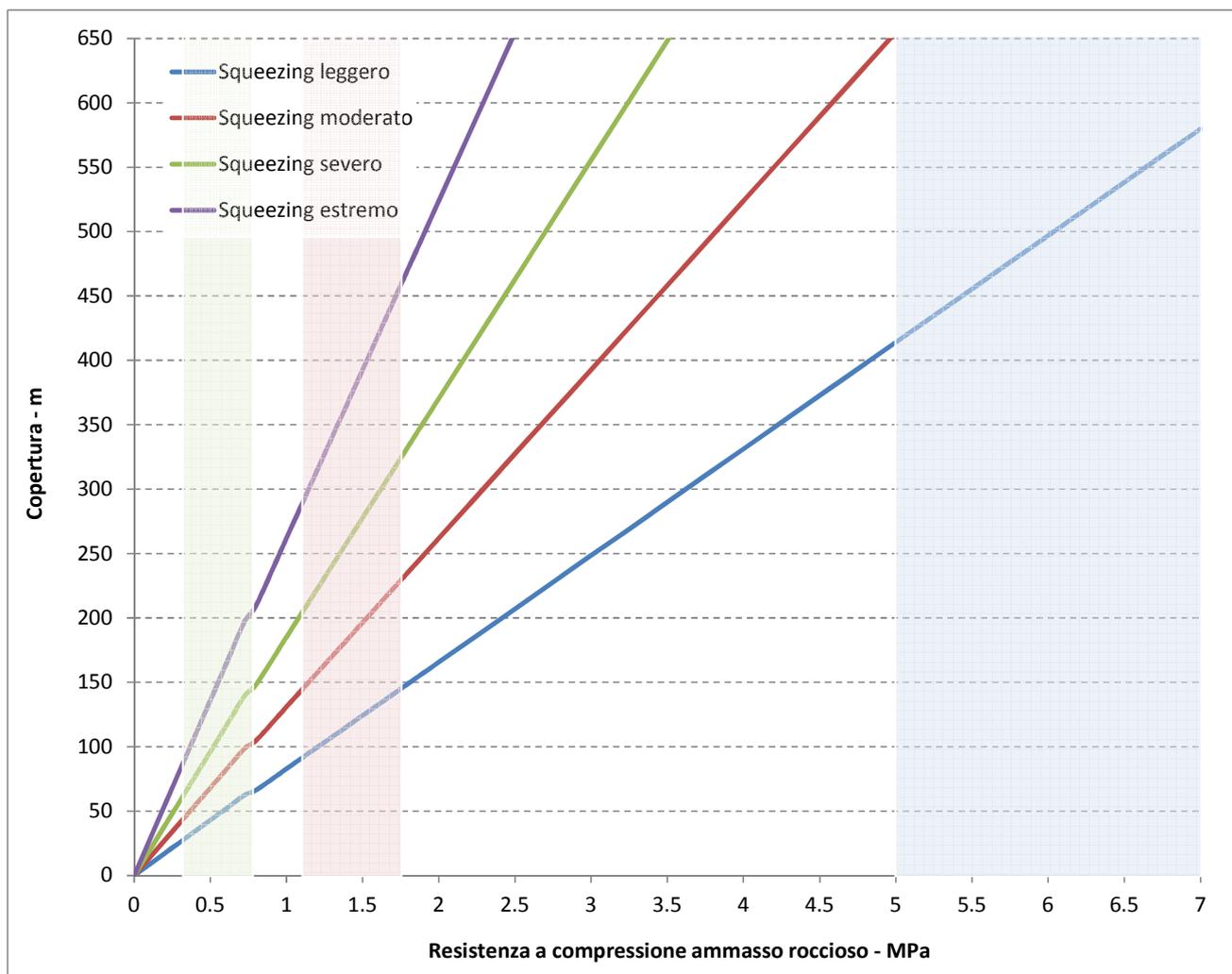


Figura 6-31. Potenziale di squeezing secondo Hoek-Marinos (2000)

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-GN23-EX-001-A02
	Foglio 81 di 85

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-GN23-EX-001-A02</p>	<p>Foglio 82 di 85</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  $\sigma_{camm}$  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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-04-E-CV-RB-GN23-EX-001-A02</p> <p style="text-align: right;">Foglio 83 di 85</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-GN23-EX-001-A02</p> <p>Foglio 84 di 85</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-GN23-EX-001-A02

Foglio  
85 di 85

## 8 ALLEGATI

<b>ELENCO SONDAGGI - PROVE DI LABORATORIO</b>					
<b>Campagna</b>	<b>Sondaggio</b>	<b>Campione</b>	<b>WBS</b>	<b>z<sub>m</sub></b>	<b>Unità</b>
[-]	[-]	[-]	[-]	[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)	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

<b>Campagna</b>	<b>Sondaggio</b>	<b>Campione</b>	<b>WBS</b>	<b>z<sub>m</sub></b>	<b>Unità</b>
[-]	[-]	[-]	[-]	[m]	[-]
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
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-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

<b>Campagna</b>	<b>Sondaggio</b>	<b>Campione</b>	<b>WBS</b>	<b>z<sub>m</sub></b>	<b>Unità</b>
[-]	[-]	[-]	[-]	[m]	[-]
PE (L2-L5)	L2-S31	C-01	GN14Q	81.18	aP
PE (L2-L5)	L2-S31	C-02	GN14Q	95.52	aP
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

Campagna	Sondaggio	Campione	WBS	z <sub>m</sub>	Unità
[-]	[-]	[-]	[-]	[m]	[-]
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
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

Campagna	Sondaggio	Campione	WBS	z <sub>m</sub>	Unità
[-]	[-]	[-]	[-]	[m]	[-]
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
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

Campagna	Sondaggio	Campione	WBS	$z_m$	Unità
[-]	[-]	[-]	[-]	[m]	[-]
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-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

Campagna	Sondaggio	Campione	WBS	$z_m$	Unità
[-]	[-]	[-]	[-]	[m]	[-]
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
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

Campagna	Sondaggio	Campione	WBS	z <sub>m</sub>	Unità
[-]	[-]	[-]	[-]	[m]	[-]
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-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	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
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

Campagna	Sondaggio	Campione	WBS	z <sub>m</sub>	Unità
[-]	[-]	[-]	[-]	[m]	[-]
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- 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
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

<b>Campagna</b>	<b>Sondaggio</b>	<b>Campione</b>	<b>WBS</b>	<b><math>z_m</math></b>	<b>Unità</b>
[-]	[-]	[-]	[-]	[m]	[-]
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

<b>ELENCO SONDAGGI - PROVE IN SITU</b>					
<b>Campagna</b>	<b>Sondaggio</b>	<b>CODICE PROVA</b>	<b>WBS</b>	<b>z<sub>m</sub></b>	<b>UNITA'</b>
[-]	[-]	[-]	[-]	[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

Campagna	Sondaggio	CODICE PROVA	WBS	z <sub>m</sub>	UNITA'
[-]	[-]	[-]	[-]	[m]	[-]
PE (L2-L5)	L2-S04	LU2	GN15N-GN14M	498.50	aP
PE (L2-L5)	L2-S04	LU3	GN15N-GN14M	509.50	aP
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)	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
PP	AA301G050	D4	GN15B	139.00	aP
PP	AA301G050	D5	GN15B	144.00	aP
PP	AA301G050	D6	GN15B	149.00	aP

Campagna	Sondaggio	CODICE PROVA	WBS	z <sub>m</sub>	UNITA'
[-]	[-]	[-]	[-]	[m]	[-]
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	LE1	GN11	6.80	c (aP)
PP	7A301G046	LE2	GN11	12.50	c (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

Campagna	Sondaggio	CODICE PROVA	WBS	z <sub>m</sub>	UNITA'
[-]	[-]	[-]	[-]	[m]	[-]
PP	SA301G058	LU2	GN15E	84.00	aP
PP	SA301G058	LU3	GN15E	88.90	aP
PP	SA301G025	LE1	GN14Q	7.65	c (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	LE1	GN14Q	10.50	c (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	LE1	TR11	5.55	c (aP)
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	LE1	TR11	5.00	c (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

Campagna	Sondaggio	CODICE PROVA	WBS	z <sub>m</sub>	UNITA'
[-]	[-]	[-]	[-]	[m]	[-]
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
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	LE1	NV32	4.75	c (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-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	LE1	TR11	10.5	c (aP)

Campagna	Sondaggio	CODICE PROVA	WBS	z <sub>m</sub>	UNITA'
[-]	[-]	[-]	[-]	[m]	[-]
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-09	LU1	GA1D	21.00	aP
PD	SL-21	LE2	NV02	12.50	aP cappellaccio
PD	SL-24	LE1	NV07	4.50	c (aP)
PD	SL-24	LU1	NV07	21.10	aP
PD	SL-24	D1	NV07	16.00	aP
PD	SL-29	LE1	NV03	4.25	c (aP)
PD	SL-35	LE1	NV07	7.80	c (aP)
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-55	LE1	NV09	4.50	c (aP)
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
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

Campagna	Sondaggio	CODICE PROVA	WBS	z <sub>m</sub>	UNITA'
[-]	[-]	[-]	[-]	[m]	[-]
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
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- 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)	TR11-02	LE1	TR11	10.50	c (aP)
PE (L1)	SI-06	LE1	TR11	13.00	c (aP)
PE (L1)	NVVA1-1	LE1	TR11	9.00	aP alterate
PE (L1)	TR11-03	LE2	TR11	19.25	aP alterate
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)	SRIV-01	LE1	NV08	5.50	c (aP)
PE (L1)	SRIV-02	LE1	NV08	5.50	c (aP)
PE (L1)	SRIV-03	LE1	NV08	8.25	c (aP)
PE (L1)	SRIV-04	LE1	NV08	6.75	c (aP)
PE (L1)	SMAG-02	LE1	NV32	5.50	c (aP)
PE (L1)	SI-55	LE1	NV32	4.75	c (aP)
PE (L1)	SI-55	LE2	NV32	10.25	c (aP)
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

Campagna	Sondaggio	CODICE PROVA	WBS	z <sub>m</sub>	UNITA'
[-]	[-]	[-]	[-]	[m]	[-]
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
PP	XA301A007	LE1	NV22	9.00	c (aP-B' alteranza)
PP	XA301A007	LU1	NV22	27.25	aP-B' alteranza
PE (L2-L5)	L4-S28	LE1	GN14Q	7.40	c (aP)
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