

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 DI VALICO
GALLERIA A SINGOLO BINARIO
Tratta 3 – WBS GN14K, GN14M, GN15K, GN15N
Relazione geotecnica**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio Cociv Ing. N. Meistro	

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

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Prima emissione	COCIV	25/05/2017	A. Di Salvo	25/05/2017	A. Mancarella	25/05/2017	 COCIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci Dott. Ing. Aldo Mancarella Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R

n. Elab.:	File: IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00
-----------	---------------------------------------

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 3 di 101</p>

INDICE

INDICE.....	3
1 PREMESSA.....	5
2 DOCUMENTAZIONE, NORMATIVA E STRUMENTI TERRITORIALI DI RIFERIMENTO	
7	
2.1 Documentazione di riferimento.....	7
2.2 Normative, raccomandazioni e strumenti territoriali di riferimento	7
3 INQUADRAMENTO GENERALE.....	9
3.1 Inquadramento dell'opera	9
3.2 Inquadramento geologico-geomorfologico	12
3.2.1 L'unità tettonometamorfica Figogna	17
3.2.2 Il Bacino Terziario Piemontese.....	21
3.3 Condizioni geologiche attese in corrispondenza dell'opera	21
3.4 Inquadramento idrogeologico	23
3.4.1 Considerazioni generali	23
3.4.2 Complessi idrogeologici.....	23
3.5 Condizioni idrogeologiche attese in corrispondenza dell'opera	26
4 INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	28
4.1 Note generali	28
5 CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA/GEOMECCANICA	29
5.1 Note generali	29
5.2 Formazioni rocciose.....	29
5.2.1 Generalità	29
5.2.2 Valutazione del parametro RMR'89	30
5.2.3 Criteri di rottura.....	32
5.2.4 Caratteristiche di deformabilità	37
6 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA – GEOMECCANICA DELLE PRINCIPALI FORMAZIONI INTERAGENTI CON L'OPERA	39
6.1 Argillite a Palombini (Argilloscisti filladici).....	39
6.1.1 Analisi completa campione risultati indagini pregresse.....	40
6.1.2 Analisi campione risultati correlata alle caratteristiche di fratturazione dell'ammasso	65
6.1.3 Classificazione GSI dell'ammasso sul campione analizzato	73
6.1.4 Caratterizzazione Geo-meccanica degli argilloscisti.....	77
6.1.5 Considerazioni sul fenomeno di squeezing.....	85
6.2 Metabasalti (B').....	93
6.2.1 Introduzione.....	93
6.2.2 Note generali	93
6.2.3 Caratterizzazione fisica	95
6.2.4 Caratterizzazione meccanica	96
6.2.5 Parametri di deformabilità	97
6.2.6 Quadro di sintesi caratterizzazione geotecnica.....	98
7 BIBLIOGRAFIA.....	100

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00

Foglio
4 di 101

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00 <div style="float: right;">Foglio 5 di 101</div>

1 PREMESSA

Oggetto della presente relazione è la descrizione delle principali problematiche legate allo scavo di una tratta della galleria di Valico, facente parte del tracciato della linea ferroviaria del “Terzo Valico dei Giovi” che si estende da Genova a Tortona. Il progetto nel suo complesso prevede la realizzazione di una galleria prevalentemente a doppia canna di 27 km a binario, di cui 5.3km circa verranno eseguiti mediante scavo meccanizzato mentre la restante parte verrà scavata in tradizionale.

Il presente documento, introdotto nella WBS GN00, è relativo allo sviluppo delle seguenti tratte:

Binario pari:

- GN14K da pk12+673.50 a 14+760.97
- GN14M da pk 14+860.97 a 16+275.50

Binario dispari:

- GN15K da pk12+683.53 a 14+771.00
- GN15N da pk 14+871.00 a 16+258.53

Queste tratte, riassunte nel seguito come “Tratta 3”, sono realizzate mediante scavo tradizionale impiegando due canne a singolo binario di sezione policentrica poste ad interasse pari a 35m.

Lo scavo della tratta 3, di lunghezza complessiva pari a 7.0 km considerando entrambi i binari, avviene interamente nella Formazione degli Argilloscisti filladici, appartenenti alle Formazioni degli “Argilloscisti di Murta” (AGF) e degli “Argilloscisti di Costagiutta” (AGI); queste due 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 si impiegherà tale denominazione in analogia ai documenti della precedente fase progettuale.

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;

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00</p>	<p>Foglio 6 di 101</p>

- 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-GN00-00-002-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 7 di 101</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-GN00-00-002-A00</p>	<p>Foglio 8 di 101</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 della galleria di Valico-tratta 3.

Come descritto in precedenza, la tratta in oggetto consta di due canne ed è composta da più WBS, per una lunghezza totale considerando i due binari di circa 7.0 km. Si riportano per chiarezza le progressive relative ad ogni WBS e per brevità il profilo longitudinale relativo al solo binario pari. Si rimanda per ulteriori approfondimenti alle tavole dei profili geomeccanici.

Binario pari:

- GN14K da pk12+673.50 a 14+760.97
- GN14M da pk 14+860.97 a 16+275.50

Binario dispari:

- GN15K da pk12+683.53 a 14+771.00
- GN15N da pk 14+871.00 a 16+258.53

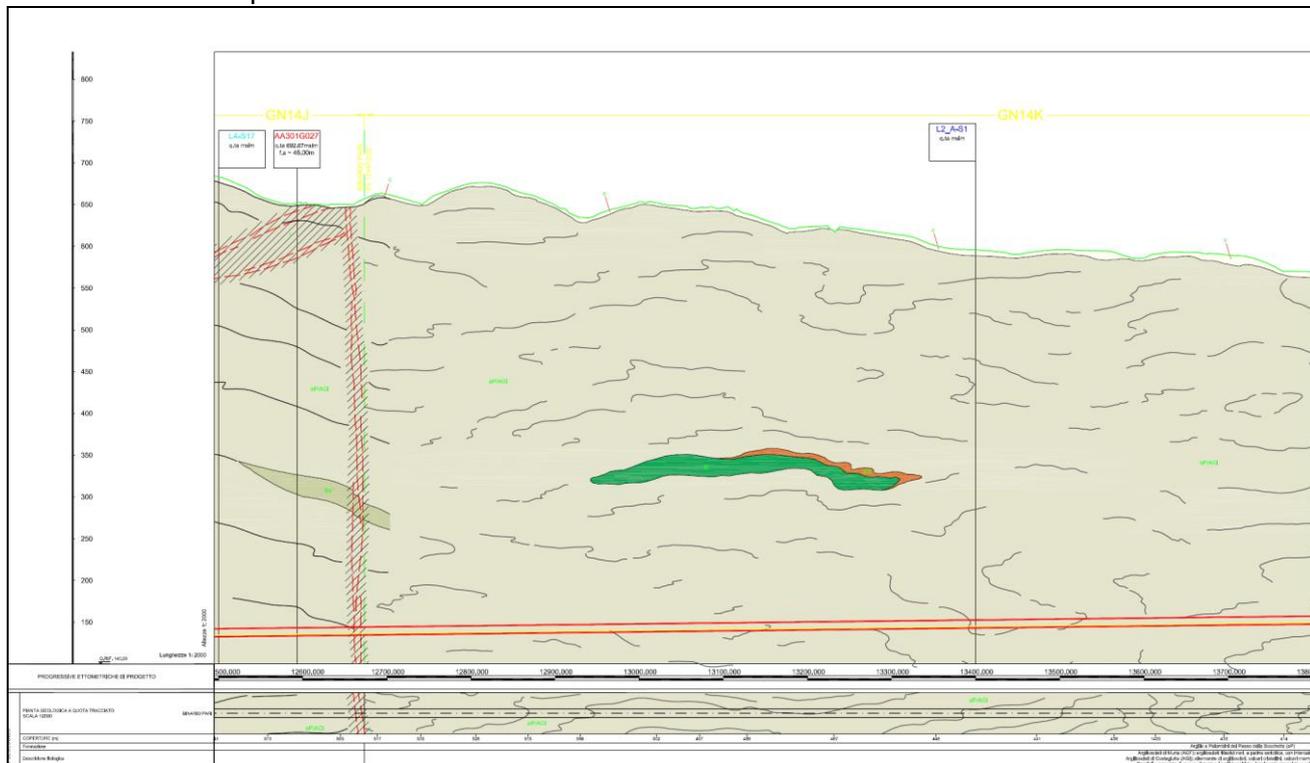


Figura 3-1. Stralcio del profilo longitudinale – binario pari GN14K

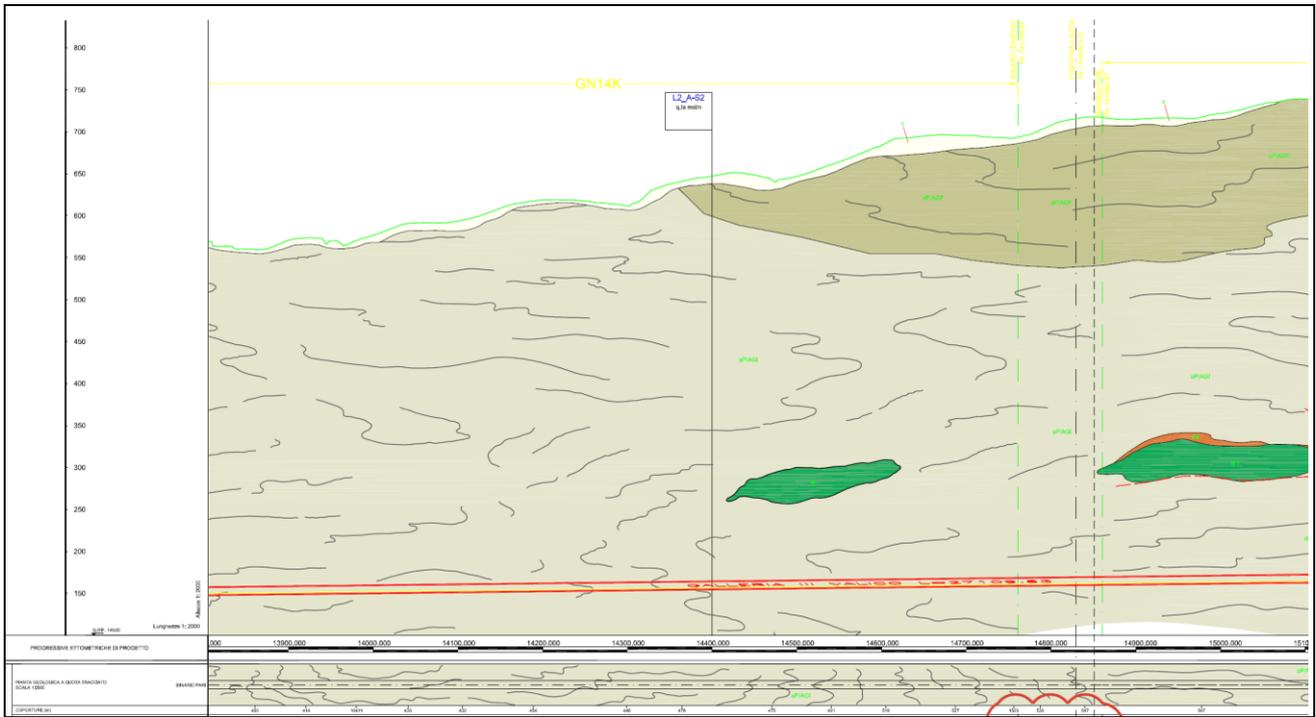


Figura 3-2. Stralcio del profilo longitudinale – binario pari GN14K-GN14M

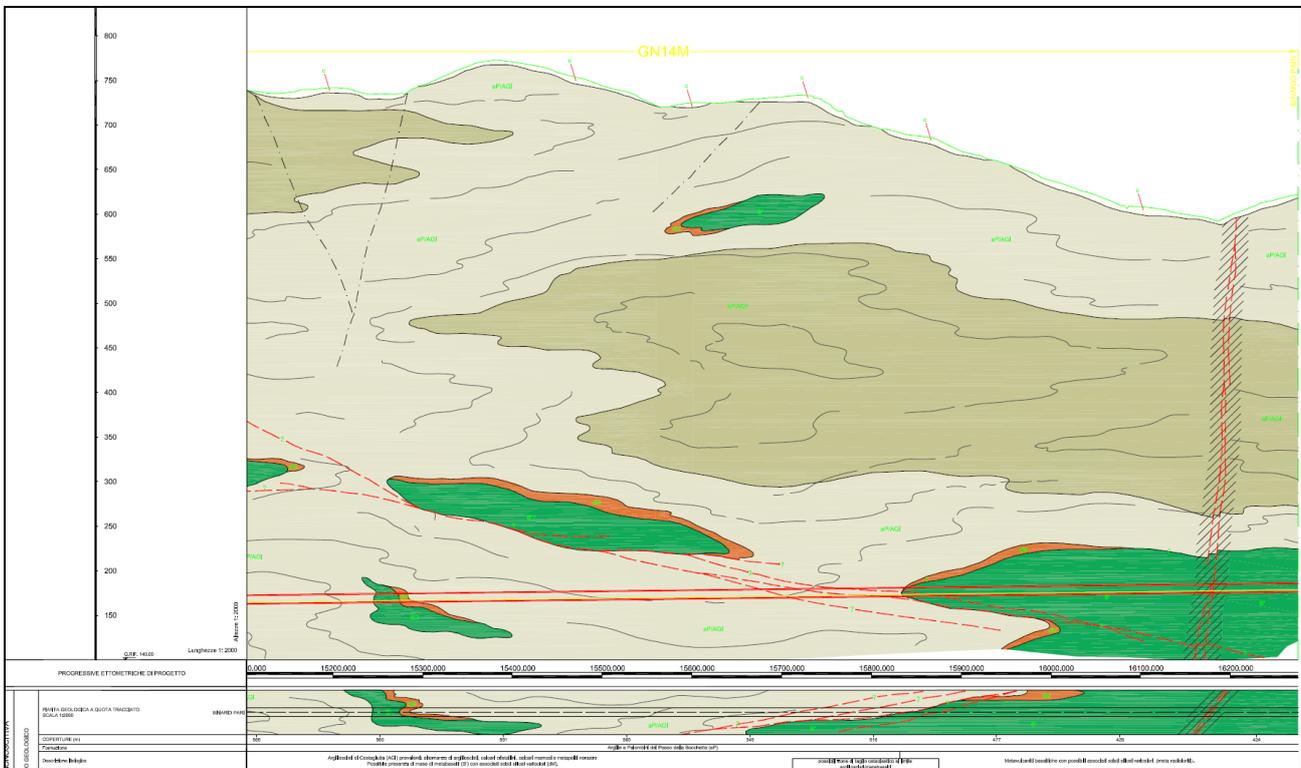


Figura 3-3. Profilo longitudinale – binario pari tacco GN14M

Il tratto di galleria in esame presenta quindi una lunghezza di circa 3500m per canna, con coperture massime di circa 600m. La sezione corrente adottata, per consentire il traffico ferroviario, è caratterizzata da un raggio interno in chiave calotta di 3.75m e da una larghezza massima misurata in intradosso pari a 8.40m. La sagoma esterna presenta invece geometria variabile in funzione della sezione tipo.

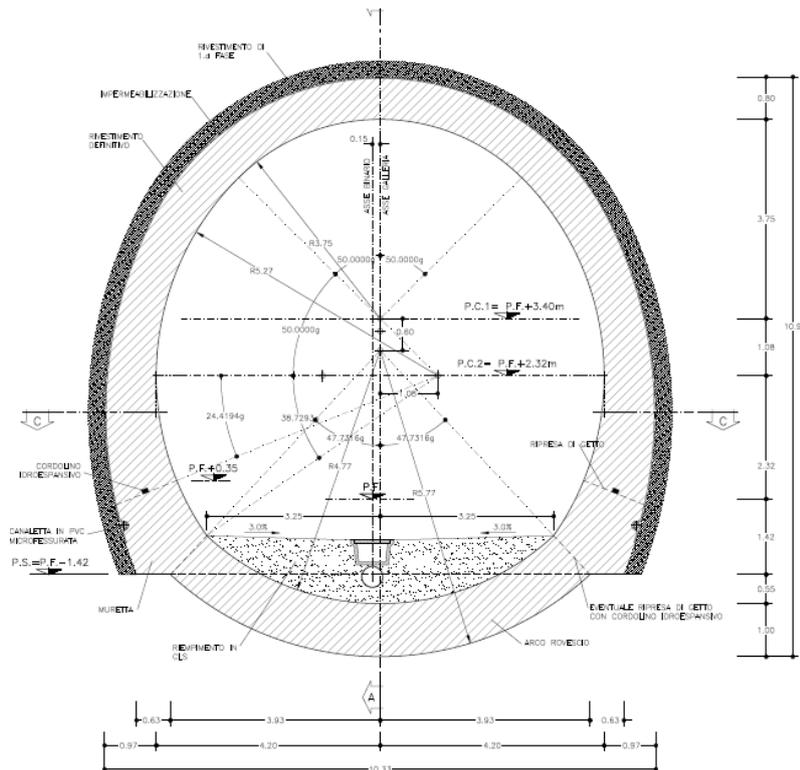


Figura 3-4. Sezione corrente

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00 Foglio 12 di 101

3.2 Inquadramento geologico-geomorfologico

L'area di studio si colloca nella zona di giustapposizione tra i domini orogenici alpino e appenninico (Figura 3-6), nota in letteratura come "nodo collisionale ligure" (Laubscher at. al., 1992).

Nell'area del Foglio Genova è possibile distinguere, da W verso E, tre settori caratterizzati dall'associazione di unità di crosta oceanica e di mantello, unità di margine continentale e unità costituite da flysch (Figura 3-6):

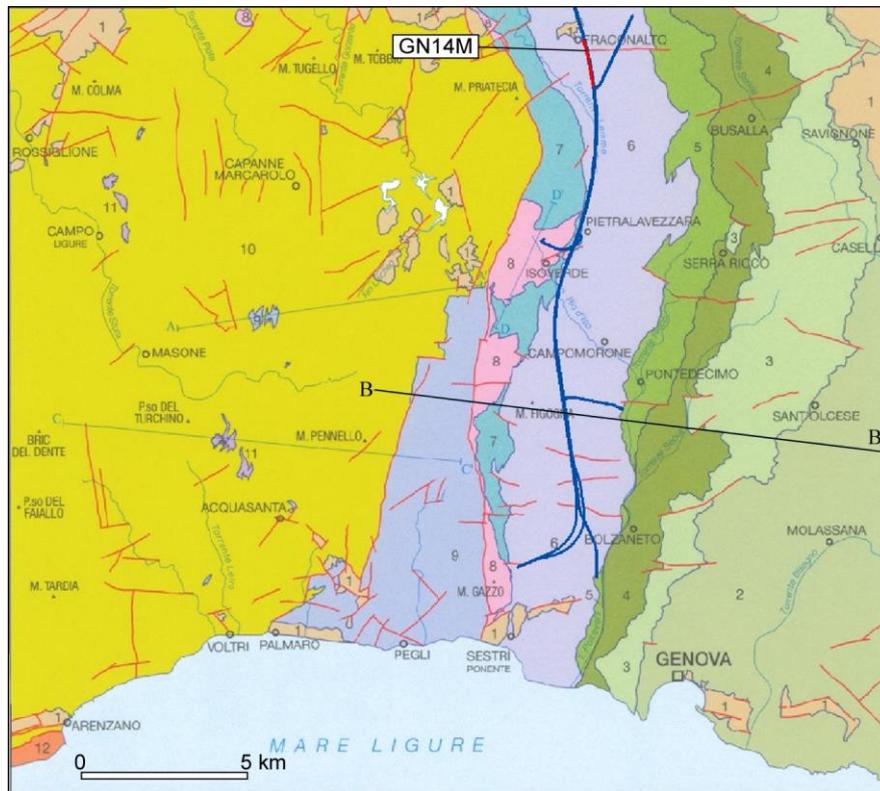
1. le **unità tettonometamorfiche¹ Voltri e Palmaro-Caffarella** ("*Gruppo di Voltri*" *auct.*): sono costituite dalle associazioni pre-cenomaniane di ofioliti e metasedimenti carbonatici del dominio oceanico ligure-piemontese. La distinzione sicura tra i litotipi delle due unità è in genere possibile solo a scala microscopica, in base ai caratteri mineralogico-petrografici.
2. la **Zona Sestri-Voltaggio** *auct.* (nel seguito ZSV): è costituita da tre unità tettonometamorfiche, di cui due ofiolitiche (Cravasco-Voltaggio e Figogna) e una di margine continentale (Gazzo-Isoverde). Il livello del metamorfismo è progressivamente decrescente passando dalle unità Cravasco-Voltaggio e Gazzo-Isoverde (facies scisti blu) all'Unità Figogna (facies pumpellyite-actinolite).
3. Il **dominio dei Flysch Appenninici**: è rappresentato dalle quattro unità tettoniche Mignanego, Montanesi, Ronco e Antola, sovrapposte con vergenza europea. Procedendo verso est, il grado metamorfico decresce da basso a bassissimo nelle prime tre unità fino ad arrivare a condizioni di diagenesi per l'Unità Antola.

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*; questo lineamento strutturale è classicamente ritenuto il limite fisico tra la catena alpina e quella appenninica, anche se le interpretazioni sulla sua natura sono spesso state tra loro discordanti: faglia trascorrente (Elter & Pertusati, 1973), sovrascorrimento (Cortesogno & Haccard, 1984) o faglia estensionale (Hoogerduijn Strating, 1994).

Il tracciato della linea AC/AV Milano-Genova si sviluppa, in territorio ligure, a cavallo delle unità tettonometamorfiche Palmaro-Caffarella e Sestri-Voltaggio. A scala locale, il territorio in cui si colloca il sito di intervento è ubicato nell'areale di affioramento della ZSV e più precisamente entro la formazione delle "Argille a Palombini del Passo della Bocchetta" (aP), dell'unità tettonometamorfica Figogna.

Nel settore in esame, alla sommità del rilievo montuoso su cui sorge l'abitato di Fraconalto, affiorano litotipi di pertinenza delle successioni sedimentarie terrigene, prevalentemente silicoclastiche, riferibili al settore meridionale del Bacino Terziario Piemontese (BTP). Queste unità (cfr. casella di legenda 1: "depositi tardo e post-orogenici" in Figura 3-6) poggiano in discordanza sulle unità

¹ Con il termine di "unità tettonometamorfica" si intende un volume roccioso caratterizzato da incompatibilità metamorfiche e strutturali rispetto ai volumi adiacenti.



- | | |
|----|--|
| 1 | DEPOSITI TARDO- E POST-OROGENICI
Successione del Bacino Terziario Piemontese, depositi pliocenici e quaternari |
| 2 | UNITÀ TETTONICA ANTOLA
Unità costituita da flysch, non metamorfica |
| 3 | UNITÀ TETTONICA RONCO
Unità costituita da flysch, a metamorfismo di anchizona |
| 4 | UNITÀ TETTONICA MONTANESI
Unità costituita da flysch, a metamorfismo di anchizona |
| 5 | UNITÀ TETTONICA MIGNANEGO
Unità costituita da flysch, a metamorfismo di anchizona |
| 6 | UNITÀ TETTONOMETAMORFICA FIGOGNA
Unità di crosta oceanica, a metamorfismo in facies pumpellyite-actinolite |
| 7 | UNITÀ TETTONOMETAMORFICA CRAVASCO - VOLTAGGIO
Unità di crosta oceanica, a metamorfismo in facies Scisti Blu (albite, clorite, Na-anfibolo, Na-prosseno, lawsonite, pumpellyite, epidoto), con retrocessione moderata |
| 8 | UNITÀ TETTONOMETAMORFICA GAZZO - ISOVERDE
Unità di margine continentale, a sovrainpronta metamorfica di alta pressione |
| 9 | UNITÀ TETTONOMETAMORFICA PALMARO - CAFFARELLA
Unità di crosta oceanica, a metamorfismo in facies Scisti Blu (giaderite, Na-anfibolo, lawsonite), con retrocessione in facies Scisti Verdi più o meno pervasiva |
| 10 | UNITÀ TETTONOMETAMORFICA VOLTRI
Unità di crosta oceanica e di mantello, a metamorfismo in facies Scisti Blu con eclogiti e riequilibratura in facies Scisti Verdi spesso pervasiva |
| 11 | UNITÀ TETTONOMETAMORFICA ANGASSINO - TERMA
Unità di margine continentale, a sovrainpronta metamorfica di alta pressione |
| 12 | UNITÀ TETTONOMETAMORFICA ARENZANO
Costituita da un Complesso di margine continentale, monometamorfico, a sovrainpronta metamorfica alpina da alta pressione a Scisti Verdi e da un Complesso di margine continentale, polimetamorfico, a metamorfismo pre-alpino in facies Anfibolitica e sovrainpronta metamorfica alpina da alta pressione a Scisti Verdi |
- Limite stratigrafico
 — Contatto tettonico
 — Faglia
 A—A' Traccia di sezione geologica

Figura 3-6. Schema tettonico dell'area interessata dal progetto (tratto dal foglio CARG "Genova"); è riportata la tratta del tracciato di linea, per la parte inclusa nel taglio cartografico.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00
	Foglio 15 di 101

Foglio 213-230 Genova Cartografia Geologica d'Italia Scala 1:50.000			Tratta AC/AV Milano-Genova "Terzo Valico dei Giovi" Progetto Definitivo			Tratta AC/AV Milano-Genova "Terzo Valico dei Giovi" Progetto Esecutivo		
Unità Figogna	Argilloscisti di Murta	AGF	Unità Timone – Bric Teiolo	Argilliti a Palombini del passo della Bocchetta	aP	Unità Figogna	Argille a Palombini del passo della Bocchetta	aP
	Argilloscisti di Costagiutta	AGI		Calcarei di Erselli	cE		Metacalcarei di Erselli	cE
	Metacalcarei di Erzelli	ERZ		Scisti silicei	d'		Metasedimenti silicei della madonna della Guardia	dM
	Metasedimenti silicei della madonna della Guardia	MHF		Metabasalti	B'		Metabasalti del Monte Figogna	B'
	Metabasalti del Monte Figogna	MBF		Serpentiniti, serpentinoscisti e oficalci	Se'		Serpentiniti del Bric dei Corvi	Se'
	Serpentiniti del Bric dei Corvi	SPF		-	-		Metaoficalciti di Pietralavezzara	of'
	Metaoficalciti di Pietralavezzara	PLV						
Unità Cravasco-Voltaggio	Scisti filladici del monte Larvego	LRV	Unità Cravasco-Voltaggio	Metargilliti filladiche	f	Unità Cravasco-Voltaggio	Argilloscisti filladici del monte Larvego	f
	Calcarei di Voltaggio	VOL		Calcarei di Voltaggio	cV		Calcarei di Voltaggio	cV
	Metasedimenti silicei dell'Osteria dello zucchero	MHC		-	-		Metasedimenti silicei dell'Osteria dello zucchero	d''
	Metabasalti di Cravasco	CVS		Metabasalti	B''		Metabasalti di Cravasco	B''
	Metagabbri del Monte Lecco	MGC		Metagabbri	mG		Metagabbri	mG
	Serpentiniti di Case Bardane	SPV		Serpentiniti e serpentinoscisti	Se''		Serpentiniti di Case Bardane	Se''
							Metaoficalciti	of''
Unità Gazzo-Isoverde	Meta-argilliti di Bessega	MBG	Unità Monte Gazzo-Isoverde	Metargilliti nere	Mn	Unità Gazzo - Isoverde	Meta-argilliti di Bessega	Mn
	Calcarei di Lencisa	LEN		Calcarei di Gallaneto	cG		Calcarei di Lencisa	eN
	Calcarei di Gallaneto	GLL		Gessi, anidriti e carnirole	gc		Calcarei di Gallaneto	cG
	Gessi del Rio Riasso	GSR		Calcarei dolomiti del Monte Gazzo	dG		Gessi, anidriti e carnirole (Gessi del Rio Riasso)	gc
	Dolomie del Monte Gazzo	MDG					Dolomie del Monte Gazzo	dG

Tabella 3-1. Tabella nomenclaturale riassuntiva delle unità litostratigrafiche della Zona Sestri-Voltaggio presenti in letteratura, messi a confronto con i termini e le sigle adottate nelle fasi di progettazione Definitiva ed Esecutiva.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00

Foglio
16 di
101

CARTA GEOLOGICA DEL PIEMONTE alla scala 1:250.000 (in prep).	CATALOGO delle FORMAZIONI ITALIANE e CARIMATI (cfr. Carta geologica d'Italia, scala 1:100.000 e PROGETTO CARG, scala 1:50.000)		Tratta AC/AV Milano-Genova "Terzo Valico dei Giovi" PROGETTO DEFINITIVO		Tratta AC/AV Milano-Genova "Terzo Valico dei Giovi" PROGETTO ESECUTIVO	
Successioni terrigene messiniane, S6a	Gruppo della Gessoso-Solfifera	Formazione di Cassano Spinola, CSS	Conglomerati di Cassano Spinola, cC		Gruppo della Gessoso-Solfifera	Conglomerati di Cassano Spinola, cC
Evaporiti clastiche messiniane, S5a		Complesso Caotico della Valle Versa, CTV	Formazione Gessoso-Solfifera, gS			<u>Complesso Caotico della Valle Versa, gS</u>
Successioni marnose tortoniano-messiniane, S4a	Marne di S. Agata Fossili, SAF		Marne di S. Agata Fossili	marne e peliti, mA1	Marne di S. Agata Fossili	marne e peliti, mA1
Corpi arenaceo-conglomeratici tortoniano-messiniani, S4b				areniti fini, mA2		areniti fini, mA2
Successioni arenaceo-pelitiche ed arenacee serravalliano-tortoniane, S3b	Formazione di Serravalle, SEV		Arenarie di Serravalle, aS		Arenarie di Serravalle, aS	
Successioni arenaceo-pelitiche e marnose burdigaliano-langhiane, S3a	Marne di Cessole, CES		Marne di Cessole, mC		Marne di Cessole, mC	
	Formazione di Costa Areasa		Formazione di Costa Areasa, fC		Formazione di Costa Areasa, fC <u>Formazione di Costa Areasa, areniti medie e fini, fCa</u>	
Successioni prevalentemente carbonatiche burdigaliane, S2a	Formazione di Rigoroso, RIO		Membro di Costa Montada	marne e areniti, uMc	Formazione di Costa Montada	<u>alternanze di marne e areniti, uMc</u>
Depositi silicei aquitaniano-burdigaliani, S1d				arenarie medie, uMb		<u>areniti medio-grossolane, uMb</u>
				Marne, uMa		<u>marne e marne silicizzate, uMa</u>
Successioni marnose rupeliano-aquitaniene, S1b			Marne di Rigoroso	areniti e marne, fR	Formazione di Rigoroso	<u>marne con livelli arenacei, fR</u>
				marne grigie, mR		<u>marne siltose, mR</u>
				Membro arenaceo, FMa		<u>Litofacies arenacea, FMa</u>
				Membro conglomeratico cementato, FMc		<u>Litofacies siltoso-pelitica, FMc</u>
Successioni arenacee e arenaceo-pelitiche rupeliane, S1a	Formazione di Molare, MOR – Conglomerati di Savignone, SAV		Formazione di Molare	Conglomerati poligenici, FMp	Formazione di Molare	<u>Litofacies rudistica calcarea, FMc</u>
				Breccie della Costa di Cravara, FMbc		<u>Litofacies rudistica poligenica, FMp</u> <u>Litofacies brecciosa, FMbc</u>
-	Breccie della Costa di Cravara, CRA		Breccie della Costa di Cravara		<u>Breccie della Costa di Cravara</u>	

Tabella 3-2. Tabella nomenclaturale riassuntiva delle unità stratigrafiche del Bacino Terziario Piemontese presenti in letteratura messi a confronto con i termini e le sigle di progetto nelle fasi Definitiva ed Esecutiva. In corsivo sottolineato sono evidenziati i termini oggetto di revisione (come terminologia, gerarchia e/o come descrizione) in fase di Progetto Esecutivo.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00 <table border="1" data-bbox="1420 230 1532 313"> <tr> <td>Foglio 17 di 101</td> </tr> </table>	Foglio 17 di 101
Foglio 17 di 101		

3.2.1 L'unità tettonometamorfica Figogna

L'unità tettonometamorfica Figogna è costituita da un basamento metaofiolitico e dalla relativa copertura metasedimentaria; la successione-tipo presenta alcuni caratteri peculiari rispetto alle sequenze di crosta oceanica delle altre unità: nei basalti, generalmente con tessitura a *pillow*, sono presenti livelli di ialoclastiti e breccie più o meno rimaneggiate, filoni basaltici e dioritici. I gabbri, generalmente ben rappresentati nelle altre unità, sono volumetricamente molto ridotti.

L'unità Figogna corrisponde all'unità denominata "Timone - Bric Teiolo" dagli autori pre-CARG, denominazione adottata anche nel Progetto Definitivo (2004); essa include le seguenti formazioni (cfr. Figure successive):

- Argille a Palombini del Passo della Bocchetta (aP) (suddivise nella cartografia CARG nelle due sottunità degli "argilloscisti di Murta, AGF" e degli "argilloscisti di Costagiutta, AGI");
- Metacalcari di Erzelli;
- Metasedimenti silicei della Madonna della Guardia;
- Metabasalti del M. Figogna;
- Serpentiniti del Bric dei Corvi (zona di deformazione di Scarpino).

Uno schema sintetico dei rapporti stratigrafici all'interno dell'unità Figogna è presentato nella successiva Figura 3-9, da cui si osserva come la successione scisti silicei / metacalcari / argilloscisti costituisca la copertura del substrato ofiolitico costituito essenzialmente da metabasalti + serpentiniti.

Nelle seguenti immagini si riporta lo stralcio del foglio CARG "Genova", con individuazione delle WBS in esame e dei sondaggi geognostici realizzati in fase di PP e PD. Per la legenda si veda la Tabella 3-1.

Cenni sull'evoluzione strutturale nell'unità Figogna

All'interno dell'unità Figogna i limiti stratigrafici originari sono sovente trasposti ma localmente possono ancora essere considerati come contatti stratigrafici.

L'evoluzione strutturale che caratterizza le unità tettonometamorfiche presenti nell'area è definita da quattro eventi deformativi principali (Capponi & Crispini, 1997). Le associazioni strutturali legate a questi quattro eventi sono riferibili a traiettorie seguite dai volumi rocciosi attraverso livelli crostali via via più superficiali. Nel seguito della relazione si farà riferimento a questi eventi deformativi principali (D1-D2-D3-D4), descritti in dettaglio in relazione geologica.

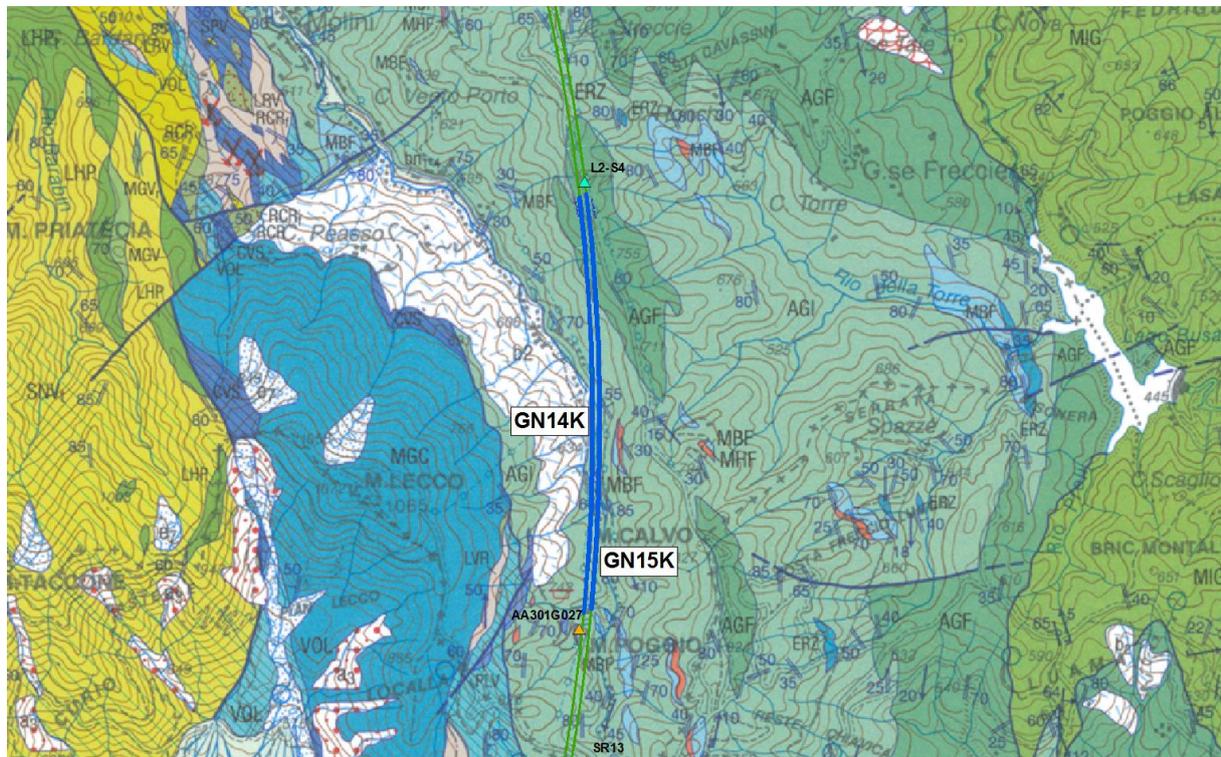


Figura 3-7. Stralcio della carta geologica relativa alle WBS GN14K GN15K e ubicazione indagini

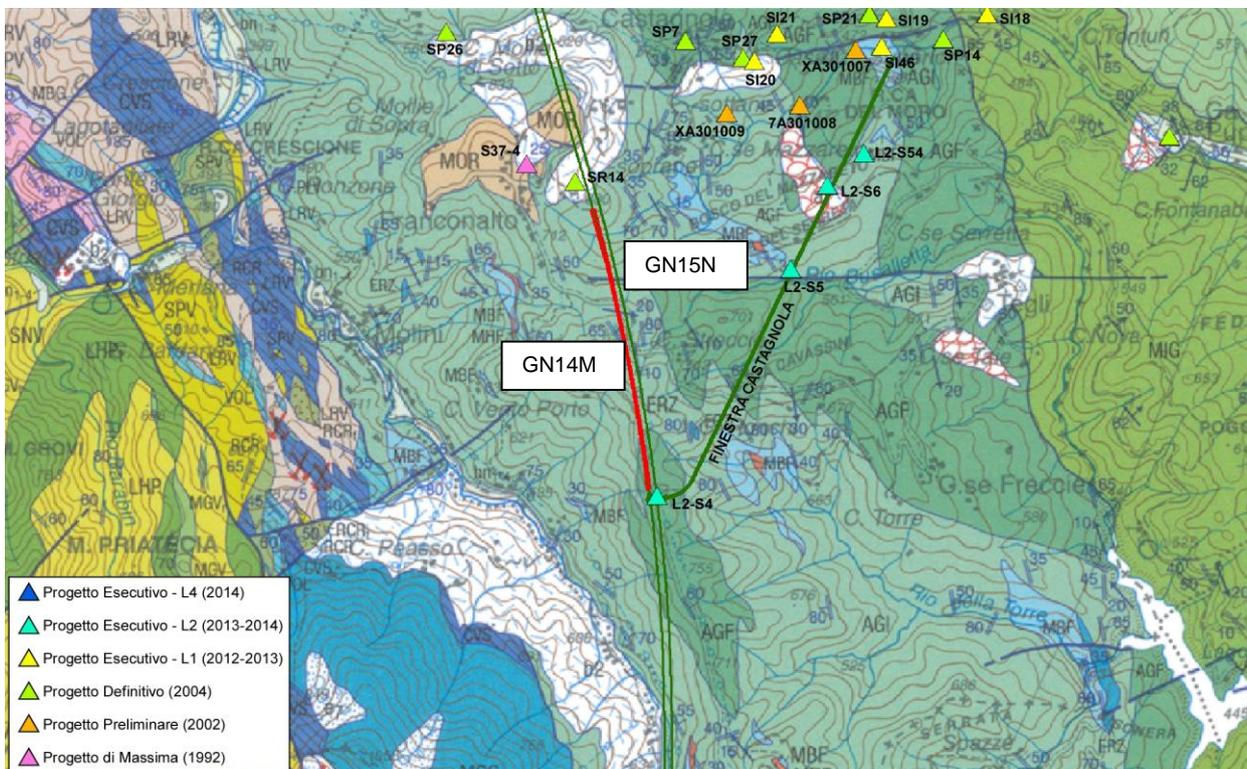


Figura 3-8. Stralcio della carta geologica relativa alle WBS GN14M GN15N e ubicazione indagini

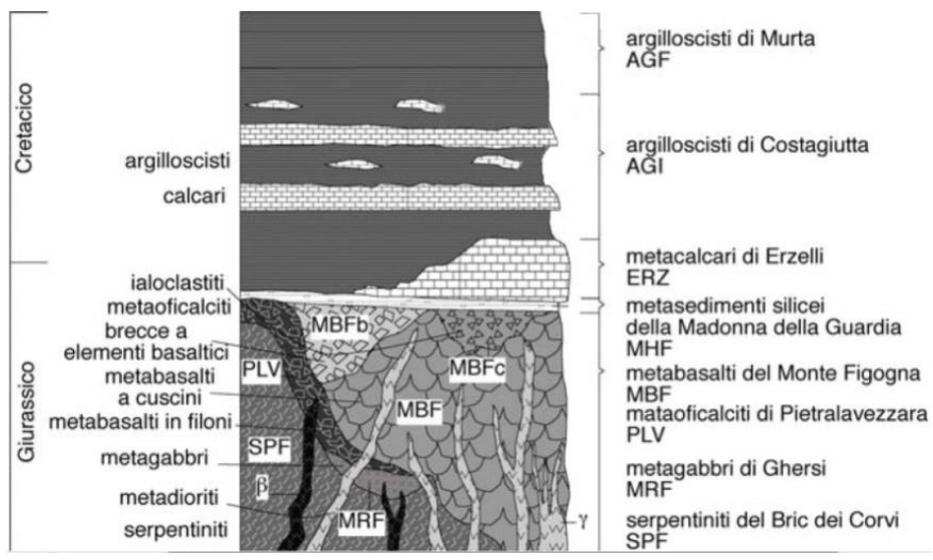


Figura 3-9. Schema dei rapporti stratigrafici tra le varie formazioni che costituiscono l'unità tettonometamorfica Figogna (Capponi et al., 2008).

Argille a Palombini del Passo della Bocchetta aP, AGI, AGF (Cretaceo inf.)

L'unità delle "Argille a Palombini del Passo della Bocchetta", descritta come un complesso litostratigrafico unico dagli autori pre-CARG e dal Progetto Definitivo, è stata successivamente suddivisa nel foglio CARG Genova in due sottounità (cfr. Figura 3-9):

- argiloscisti di Costagiutta (codice CARG: AGI);
- argiloscisti di Murta (codice CARG: AGF).

Per coerenza con il Progetto Definitivo e per evitare eccessive confusioni, si è scelto di mantenere la terminologia e il codice pre-CARG (aP), indicando, dove possibile, l'attribuzione dei litotipi affioranti all'una o all'altra delle due sottounità CARG sopra citate e distinguendo cartograficamente, sempre ove possibile, le due litofacies principali.

Le due sottounità AGI e AGF occupano posizioni strutturalmente e litostratigraficamente distinte: gli argiloscisti di Costagiutta in posizione soprastante, gli argiloscisti di Murta in posizione sottostante; i rapporti reciproci a scala regionale sono esemplificati dal profilo geologico di Figura 3-10, estratto dal foglio CARG "Genova". Il profilo ha un'orientazione E-W e passa per la sommità del M. Figogna, appena a sud del tracciato della finestra Polcevera. I rapporti geometrico-strutturali tra le due unità sono complicati dalla presenza di sistemi di pieghe ovest-vergenti, riferibili in gran parte all'evento deformativo D3 (§ 3.2.1).

Dal punto di vista litostratigrafico, la sottounità degli **argiloscisti di Costagiutta** è costituita da alternanze di argiloscisti e di calcari cristallini ("Palombini" auct.), metapeliti scistose grigio-nerastre, più o meno siltose, metasiltiti e metaareniti in strati centimetrici, con intercalazioni di metacalcilutiti siltose più o meno marnose, di colore grigio o grigio-bruno in strati e banchi, più frequenti alla base della successione. I cosiddetti "Palombini" sono rappresentati da calcari cristallini comprendenti calcari micritici silicei, di colore grigio scuro tendente al grigio azzurro, a tessitura massiva, più

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00 Foglio 20 di 101

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.

Le giaciture individuate sono frequentemente la media di una stratificazione disturbata da serie di pieghe più o meno frammentate; la scistosità descrive frequentemente pieghe a ginocchio con cerniere più o meno acute e pieghe serrate, a scala da centimetrica a pluridecamentrica. Gli argilloscisti di Costagiutta affiorano diffusamente a E della dorsale del M. Figogna e, in misura minore, sul suo lato occidentale, dove sono in contatto tettonico con le unità Gazzo e Cravasco-Voltaggio. Nel settore meridionale del Foglio Genova affiorano soprattutto lungo il T. Chiaravagna e sono segnalati in scavi di fondazione e sondaggi; nel settore settentrionale si estendono diffusamente oltre il confine regionale, da Pietralavezzara a Fraconalto (AL).

Gli **Argilloscisti di Murta** a differenza dei precedenti sono privi dei caratteristici interstrati calcarei, i “Palombini” auct. che hanno dato il nome all’intera formazione. Sono rappresentati da un’alternanza di argilloscisti filladici color grigio scuro e grigio argenteo (Figura 3-11), 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.

L’unità affiora in una fascia allungata N-S, da Sampierdarena a Campomorone e oltre, in territorio piemontese, separando verso est gli argilloscisti di Costagiutta dall’unità flyschoidi di Mignanego (dominio dei Flysch Appenninici). L’età presunta è cretacea.

Le giaciture della stratificazione sono vergenti ad E presso il contatto con il Flysch di Mignanego, mentre nella direzione opposta (verso W) le giaciture sono raramente significative, poiché la stratificazione è disturbata da fitte sequenze di pieghe strizzate alla macroscale con assi orientati circa NNE-SSW.

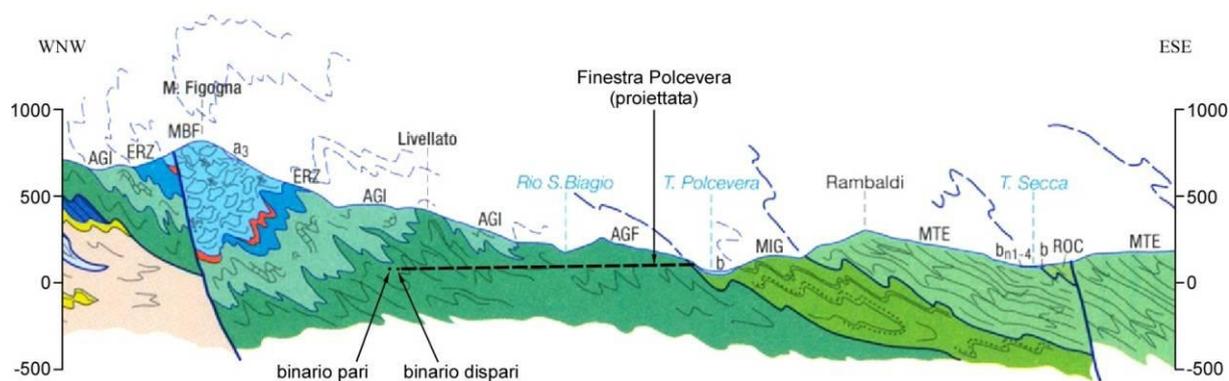


Figura 3-10. Stralcio del profilo geologico BB’ attraverso la Val Polcevera e la dorsale del M. Figogna; il profilo si colloca in corrispondenza della pk 4+764 (binario pari).

Le Argille a Palombini nell’area di studio

Nel settore oggetto di studio affiorano, in superficie, i litotipi della formazione delle “Argille a Palombini del Passo della Bocchetta” (aP); secondo quanto riportato nel Foglio CARG “Genova”, il

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00 Foglio 21 di 101

settore interessato dallo scavo delle WBS in oggetto ricade a cavallo di due aree in cui affiorano sia l'unità degli Argilloscisti di Murta (AGF), sia l'unità degli Argilloscisti di Costagiutta (AGI), strutturalmente soprastante.

In sintesi, le due litofacies si differenziano per la presenza (Argilloscisti di Costagiutta, AGI) o l'assenza (Argilloscisti di Murta, AGF) di livelli di calcari micritici silicei a grana fine ("Palombini").

Per quanto riguarda una più dettagliata descrizione delle caratteristiche per ogni WBS della formazione si rimanda alle specifiche relazioni.



Figura 3-11. Argilloscisti in sponda destra del Rio Trasta, a sud dell'area di intervento.

3.2.2 Il Bacino Terziario Piemontese

Il Bacino Terziario Piemontese (BTP) è rappresentato, nell'area di studio, dalla sola Formazione di Molare, che affiora in corrispondenza della sommità del rilievo montuoso su cui sorge l'abitato di Fraconalto (AL), senza interessare lo sviluppo delle gallerie di linea in corrispondenza delle WBS in esame. Pertanto per una descrizione dettagliata di tale Unità si rimanda a quanto riportato nelle relazioni geologiche.

3.3 Condizioni geologiche attese in corrispondenza dell'opera

Il tratto di galleria considerato si sviluppa all'interno della formazione delle Argille a Palombini del P.so della Bocchetta (aP), costituita da argilloscisti, localmente con interstrati calcarei o calcareo-marnosi, riferibili alle due litofacies di Murta (AGF, senza interstrati calcarei) e Costagiutta (AGI, con interstrati calcarei o "Palombini").

Quali siano gli esatti rapporti geometrici e stratigrafici tra queste due litofacies alla quota del tunnel può essere definito solo a livello ipotetico: è presumibile che per gran parte predomini in galleria la

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00 <div style="float: right;">Foglio 22 di 101</div>

litofacies a Palombini (AGI), con subordinati settori a prevalenti argilloscisti non carbonatici (AGF) e, localmente, con la possibile presenza di masse di metavulcaniti basaltiche di dimensioni da pluridecametriche a pluriettometriche. Ai metabasalti possono essere associati livelli di scisti silicei varicolori, che in genere indicano al posizione del top stratigrafico.

Lo scavo della galleria verrà realizzato in un ammasso roccioso caratterizzato da una discreta omogeneità litologica ma da una forte anisotropia strutturale.

Al di fuori delle zone di faglia, gli argilloscisti saranno quindi abbastanza omogenei, se considerati alla scala dell'intero sviluppo dell'opera, ma strutturalmente eterogenei alla scala del fronte di scavo: il motivo geometrico dominante lungo lo sviluppo dell'opera sarà la presenza di pieghe aperte e disarmoniche, da centimetriche a pluridecametriche, con vergenza prevalente verso W o WSW, probabilmente associate a piccoli piani di taglio cataclastico, immergenti verso E-ENE, con cinematismo prevalentemente inverso, sviluppati parallelamente al piano assiale delle pieghe e più frequenti in zona di cerniera e di fianco inverso.

All'interno di eventuali lenti tettoniche di metabasalti, è prevedibile una situazione di maggiore omogeneità tessiturale e strutturale, anche in presenza di facies di breccie basaltiche; ai bordi delle masse di metabasalto, è invece prevedibile che si possano concentrare deformazioni di taglio, anche legate al contrasto di competenza con gli argilloscisti incassanti, che potrebbero essere associate a un netto peggioramento delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso.

Nel settore d'indagine non è stata direttamente riscontrata la presenza di faglie in affioramento, soprattutto per l'estesa copertura di detrito, suolo e vegetazione, che limitano fortemente la percentuale di affioramento.

Non si prevedono faglie significative in grado di intercettare gli assi delle WBS GN14K e GN15K mentre vi sono almeno una o forse due zone di faglia maggiori che probabilmente andranno ad intersecare l'asse del tracciato delle GN14M e GN15N.

Va segnalato inoltre che alcuni fotolineamenti potrebbero essere riconducibili a strutture tettoniche rappresentate da faglie minori eventualmente presenti alla quota della galleria.

A livello locale (alla scala del fronte di scavo), saranno molto probabilmente presenti diversi piccoli piani di taglio a basso-medio angolo, inoltre, saranno probabilmente incontrate diverse faglie subverticali minori, con spessore della zona di deformazione cataclastica inferiore a 1 m e con damage zone estesa per 1-2 m al massimo ai due lati del piano principale. La posizione di questo insieme di strutture però non è determinabile con precisione.

Il grado di fratturazione al di fuori delle zone di faglia può variare da medio a basso, con sviluppo di fratture più nette all'interno di livelli più compatti e di clivaggi di fratturazione pervasivi nei livelli più fillosilicatici.

Per quanto riguarda la valutazione qualitativa del grado di stabilità del fronte di scavo, sono state stimate condizioni di stabilità a breve-medio termine, al di fuori delle zone di faglia; condizioni di instabilità localizzata, con possibili splaccamenti, localizzati principalmente in calotta o sul paramento sinistro (considerando una direzione di avanzamento verso Nord), potranno verificarsi

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00
	Foglio 23 di 101

nel caso che la foliazione intersechi l'asse tunnel con direzione ad esso subparallela, immersione prevalente verso Ovest e inclinazione a medio-basso angolo (20-50° dall'orizzontale).

3.4 Inquadramento idrogeologico

3.4.1 Considerazioni generali

L'area di studio è stata suddivisa su base litologica in diversi complessi idrogeologici a permeabilità differente, distinguendo lungo l'asse della galleria settori con comportamento idrogeologico omogeneo. Riferendosi alla permeabilità del substrato cristallino, si possono distinguere due diversi contesti:

1. ammasso roccioso in normali condizioni di fratturazione;
2. zone di faglia.

Il contesto di tipo 1 è quello largamente dominante; la permeabilità è indotta dalla presenza di un reticolo di fratture poco persistenti lateralmente (metri-decametri), o al più da faglie discrete con zona di tettonizzazione cataclastica di spessore modesto (dell'ordine del metro) e persistenza anch'essa modesta (metri-decametri). Ciò significa che a scala decimetrica, o metrica, talora, si possono avere permeabilità anche piuttosto elevate, determinate dalla presenza di singole fratture aperte o faglie discrete, ma a scala decametrico-ettometrica la permeabilità media risulta per lo più bassa, poiché le fratture hanno un grado d'interconnessione reciproca non molto elevato.

Il contesto di tipo 2 è subordinato e correlato alla presenza di zone di faglia cataclastiche principali di spessore plurimetrico fino a decametrico, in cui oltre a una densità di fratturazione molto elevata, possono essere presenti anche livelli di brecce tettoniche (materiale pseudo-poroso). In questo contesto la permeabilità è generalmente piuttosto alta, poiché il grado di interconnessione tra le fratture è elevato e sovente le fratture presentano riempimenti granulari poco coesivi (brecce e microbrecce). Si deve comunque tenere conto del fatto che nelle zone di faglia le rocce cataclastiche più permeabili costituiscono due salbande dette "zone di danneggiamento" poste sui due lati di una fascia maggiormente deformata detta "zona di nucleo". In questa fascia può essere presente una maggior quantità di materiale a grana fine (gouge) poco permeabile. La zona di nucleo può pertanto costituire un setto poco permeabile più o meno potente, interno alla fascia permeabile.

3.4.2 Complessi idrogeologici

La zona interessata dal progetto della linea del III Valico è stata suddivisa, su base litologica, in diversi *complessi idrogeologici* a permeabilità differente, distinguendo lungo l'asse delle gallerie settori con comportamento idrogeologico omogeneo.

I sistemi di flusso idrico sotterraneo possono svilupparsi all'interno di un solo complesso idrogeologico, quando questo è limitato lateralmente da complessi meno permeabili, oppure possono attraversare più complessi permeabili adiacenti.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00 Foglio 24 di 101

La formazione delle “Argille a Palombini del Passo della Bocchetta” (aP) corrisponde, insieme ad altre unità litostratigrafiche, al complesso idrogeologico 15, mentre i “Metabasalti del M. Figogna” corrispondono al complesso idrogeologico 17.

Complesso 15 (aP, dM, d”, f, Mn, Se”)

I litotipi di questo complesso idrogeologico fanno parte di unità metamorfiche ove la permeabilità è sostanzialmente legata al grado di fratturazione dell’ammasso roccioso, a sua volta dipendente dalla reologia del tipo di roccia considerato.

I test idraulici disponibili sull’intera area di progetto indicano per l’ammasso roccioso al di fuori delle zone di faglia, conducibilità idrauliche prevalenti variabili tra 1×10^{-7} e 1×10^{-8} m/s, meno frequentemente tendenti 1×10^{-6} m/s, come evidenziato dal diagramma di Figura 3-12.

Il grafico evidenzia altresì valori per la conducibilità fino a 1×10^{-10} m/s, che possono essere riconducibili a situazioni locali in cui la frazione fillosilicatica, essendo predominante, abbassa ulteriormente i valori di conducibilità dell’ammasso roccioso.

Dall’osservazione dei sondaggi è stato possibile inserire nel diagramma di Figura 3-12 una serie di dati che rappresentano la permeabilità dell’ammasso roccioso detensionato nei primi metri al di sotto della superficie (indicativamente da 5 fino a 20 m); tali dati mostrano conducibilità molto più elevate, comprese tra 1×10^{-5} e 1×10^{-7} m/s.

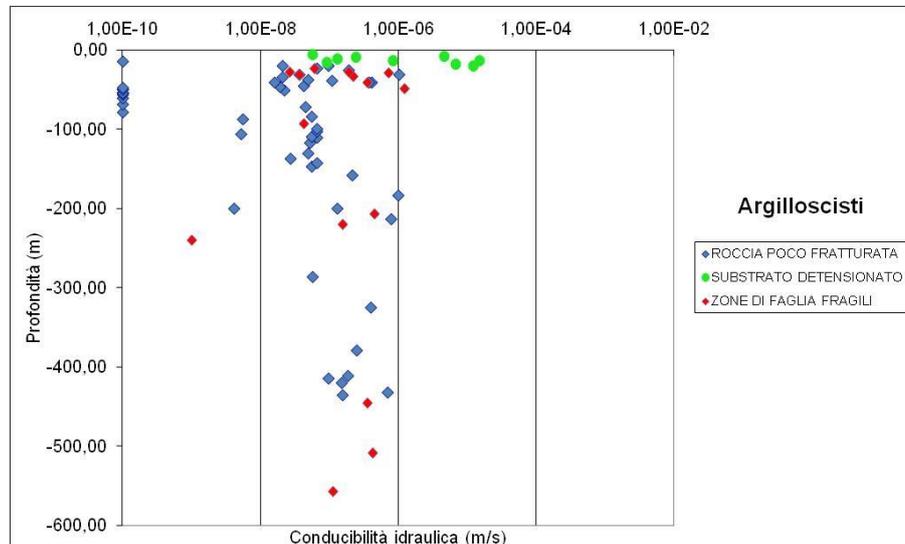


Figura 3-12. Grafico delle conducibilità idrauliche per gli argillocisti da prove in foro

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. Il grafico (Figura 3-12) mostra una certa dispersione dei valori, anche se si può osservare che 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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00 Foglio 25 di 101

compartimentazione per lo sviluppo di rocce di faglia a granulometria fine e con componente argillosa (gouge di faglia) generalmente impermeabile.

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

I litotipi di questo complesso idrogeologico presentano un comportamento reologico generalmente più fragile rispetto a quello dei litotipi della maggior parte degli altri complessi. Ciò determina una maggior persistenza e spesso anche pervasività, delle fratture; pertanto il grado di permeabilità, anche in condizioni di normale stato di fratturazione (ovverosia fuori dalle zone di faglia), risulta maggiore che negli altri complessi.

I test idraulici disponibili sull'intera area di progetto indicano per l'ammasso roccioso al di fuori delle zone di faglia, conducibilità idrauliche prevalenti variabili tra $1E-06$ e $1E-07$ m/s come evidenziato dal diagramma di Figura 3-13.

Localmente si sono riscontrate anche conducibilità minori (fino a $1E-08$ m/s), che possono essere correlate a un basso stato di fratturazione o a una scarsa apertura delle fratture legata alla elevata copertura topografica.

Nelle zone di faglia non sono stati eseguiti test idraulici. Per questi elementi tettonici sono comunque state stimate delle conducibilità idrauliche dell'ordine di $1E-04$ - $1E-07$ m/s. Infatti, le osservazioni di terreno hanno messo in luce la presenza di faglie mediamente caratterizzate da un'ampia zona di danneggiamento in cui il grado di fratturazione e quindi la permeabilità, sono più elevate. La zona di nucleo generalmente non è caratterizzata dalla presenza di rocce di faglia ma da un piano di frattura principale con permeabilità analoghe a quelle della zona di danneggiamento. Pertanto fenomeni di compartimentazione lungo la faglia, pur non potendo essere esclusi, sono ritenuti poco probabili.

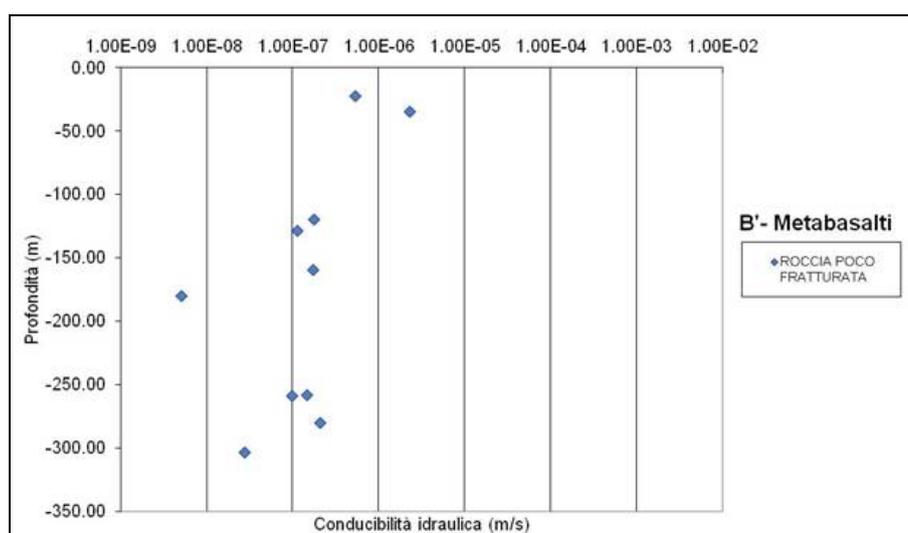


Figura 3-13. Grafico delle conducibilità idrauliche per i metabasalti da prove in foro di sondaggi del Progetto Preliminare e Definitivo.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00 <div style="float: right;">Foglio 26 di 101</div>

3.5 Condizioni idrogeologiche attese in corrispondenza dell'opera

Durante lo scavo del tratto della galleria di linea in oggetto, potranno essere incontrate condizioni idrogeologiche di due tipi (cfr. § 3.4.1):

1. ammasso roccioso in normali condizioni di fratturazione (con eventuali zone di faglia minori);
2. zone di faglia maggiori.

Nel primo caso non si attendono problematiche particolari dal punto di vista idrogeologico, considerata la bassa permeabilità dei litotipi attraversati; le condizioni idrogeologiche saranno analoghe a quelle incontrate nello scavo della finestra Val Lemme, con umidità e deboli stillicidi.

Alle zone di faglia potranno essere associate venute d'acqua di debole entità (stillicidi concentrati e/o piccole venute puntuali) in rapido esaurimento nel tempo, ma con carico idraulico che, almeno nella fase iniziale, potrà anche essere elevato.

Dagli approfondimenti di superficie svolti durante il Progetto Esecutivo e dall'analisi dei sondaggi eseguiti nell'area in oggetto, è stata rilevata la presenza all'interno degli argilloscisti di lenti di dimensioni da metriche a decametriche di metabasalti del M. Figogna. È stata quindi ipotizzata la presenza di lenti anche a quota galleria, pur se di collocazione incerta. I metabasalti sono caratterizzati da una permeabilità più elevata rispetto agli argilloscisti, legata al più intenso grado di fratturazione.

Nel complesso è quindi ipotizzabile, durante lo scavo del tratto di galleria in oggetto, la presenza per brevi tratti di litotipi a maggiore permeabilità (metabasalti), che potranno dare luogo a venute d'acqua di modesta entità, in rapido esaurimento, trattandosi di masse di metabasalto di dimensioni limitate, annegate in un mezzo a bassa permeabilità rappresentato dagli argilloscisti e nella maggior parte dei casi non in comunicazione idraulica con la superficie; una volta drenato il mezzo fratturato a permeabilità più elevata, le portate in galleria torneranno a essere condizionate essenzialmente dalla permeabilità del litotipo dominante, cioè gli argilloscisti.

Il carico idraulico in regime imperturbato è valutato in base alle indicazioni fornite dai piezometri collocati in diversi sondaggi posti lungo l'asse di linea nell'unità delle Argille a Palombini e attrezzati con cella Casagrande, che indicano un livello di falda in roccia, oscillante tra 2-3 m e 10-15 m dal p.c. (escludendo i valori estremi), a seconda della posizione del foro e delle variazioni stagionali.

Ciò premesso, si può stimare che il carico idraulico in galleria, riferito alla quota del piano del ferro, sia sempre superiore a 200 m.

Con riferimento alle classi di portata indicate nella tabella sottostante e riportate nel profilo geologico-idrogeologico previsionale, gli afflussi idrici stimati per questa tratta, in fase di scavo (regime transitorio), rientrano nella classe 1 (tra 0 e 0.16 l/s per 10 m di galleria) come condizione dominante, con occasionale aumento fino a 2 l/s/10 m (classe 3).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00 Foglio 27 di 101

classe	da	a	unità di misura
1	0	0.16	
2	0.16	0.4	l/s per 10 m di galleria
3	0.4	2	
4	> 2		

Tabella 3-3. Classi di portata delle venute d'acqua in galleria utilizzate nel profilo geologico-idrogeologico previsionale.

Per quanto riguarda invece l'interferenza con le sorgenti presenti in sito, tutti i punti d'acqua localizzati nella zona di influenza dello scavo della galleria di linea in questa tratta presentano pericolosità trascurabile trattandosi prevalentemente di emergenze di tipo superficiale, in assenza di lineamenti tettonici rilevanti connessi a tali sorgenti ed essendo la galleria prevista a profondità elevata.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00	Foglio 28 di 101

4 INDAGINI GEOGNOSTICHE

4.1 Note generali

Si riportano di seguito i sondaggi al momento disponibili nella zona la tratta in esame, eseguiti in fase di di PP e di PD; i seguenti sondaggi sono stati utilizzati, ove possibile, per una caratterizzazione più specifica del tratto in esame dal punto di vista geologico-idrogeologico e geotecnico-geomeccanico, e per una verifica dello stato dell'ammasso roccioso in profondità, in relazione a quanto osservato sul terreno. Sono ancora in via d'esecuzione alcuni sondaggi di PE lungo la tratta in esame.

FASE	SONDAGGIO
PP	AA301G027
PD	SR13
PD	SR14

Tabella 4-1. Elenco dei sondaggi eseguiti lungo la tratta

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 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00	Foglio 29 di 101

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**).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00 Foglio 30 di 101

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

5.2.2 Valutazione del parametro RMR'89

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

- Resistenza alla compressione semplice della roccia intatta (I1)

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

- Qualità della roccia RQD (I2)

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

- Spaziatura delle discontinuità (I3)

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

- Lunghezza delle discontinuità (I4)

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

- Apertura delle discontinuità (I5)

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

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

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

- Caratteristiche del riempimento delle discontinuità (I7)

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00 Foglio 32 di 101

- 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 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00	Foglio 33 di 101

GSI = RMR'89 –5

RMR'89 = vedi il paragrafo 5.2.2

m_i = coefficiente relativo alla roccia intatta

σ_1' = tensione principale efficace maggiore

σ_3' = tensione principale efficace minore

σ_c = resistenza alla compressione semplice della roccia intatta.

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

1. In generale, per ogni litotipo il coefficiente m_i verrà valutato sulla base dei risultati di prove triassiali su provini di roccia intatta e di un criterio di rottura analogo a quello dell'ammasso roccioso, con GSI = 100. In mancanza di dati sperimentali si farà riferimento a quanto riportato ad una serie di valori di letteratura come riferimento (tabella **8.4**).
2. L'applicazione di criteri di rottura analoghi per la roccia intatta e per l'ammasso roccioso, ove l'unica differenza è rappresentata dai valori di GSI, implica che, per $m_i = 10$, il rapporto tra la resistenza a trazione e la resistenza a compressione semplice della roccia intatta, è pari a $\cong 1/m_i$.
3. In presenza di ammassi rocciosi caratterizzati da marcata eterogeneità, ovvero da alternanza di strati competenti e di strati con caratteristiche geotecniche più scadenti, il valore di GSI valutato sulla base di RMR₈₉ verrà messo a confronto anche con quello stimabile sulla base della carta proposta da Hoek et al. (1998) e da Marinos & Hoek (2000) per formazioni flyshoidi (prospetto **8.5**) Alla resistenza alla compressione semplice σ_c ed al coefficiente m_i della roccia intatta verranno inoltre assegnati valori "pesati" in base a quanto riportato nella **tab.8.6**.
4. In accordo a Sjöberg (1997), ai termini "undisturbed" e "disturbed" verrà attribuito un significato legato anche alle modalità di utilizzo dei parametri di resistenza nelle analisi ingegneristiche; in particolare:
 - Il criterio di rottura relativo alle "undisturbed rock masses" rappresenta la resistenza di picco dell'ammasso roccioso quando esso si trova in condizioni di pre-rottura.
 - Il criterio di rottura relativo alle "disturbed rock masses" rappresenta la resistenza media disponibile lungo superfici di scivolamento critiche in condizioni di incipiente rottura;

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00 Foglio 34 di 101

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00 Foglio 37 di 101

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

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

5.2.4 Caratteristiche di deformabilità

Moduli iniziali

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

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

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

essendo:

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

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

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

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

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

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

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

Moduli “operativi”

I moduli di Young “operativi” E_{op} dell’ammasso roccioso, utilizzabili in analisi con modelli costitutivi elastico-lineari o elastico-lineari-plastici, possono essere stimati sulla base delle 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.

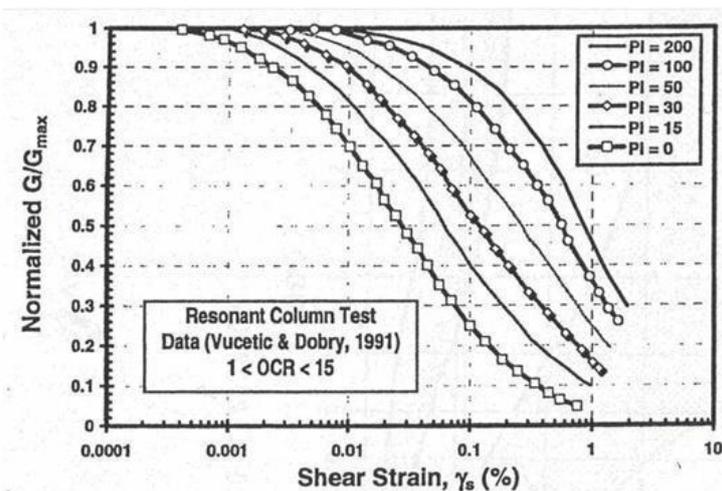


Figura 5-1. Curve di decadimento secondo Vucetic e Dobry, 1991

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00 Foglio 39 di 101

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

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

6.1 Argillite a Palombini (Argilloscisti filladici)

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00	Foglio 40 di 101

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

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

6.1.1 *Analisi completa campione risultati indagini pregresse*

Caratteristiche petrografiche

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00 Foglio 41 di 101

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

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

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

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

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

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

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

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

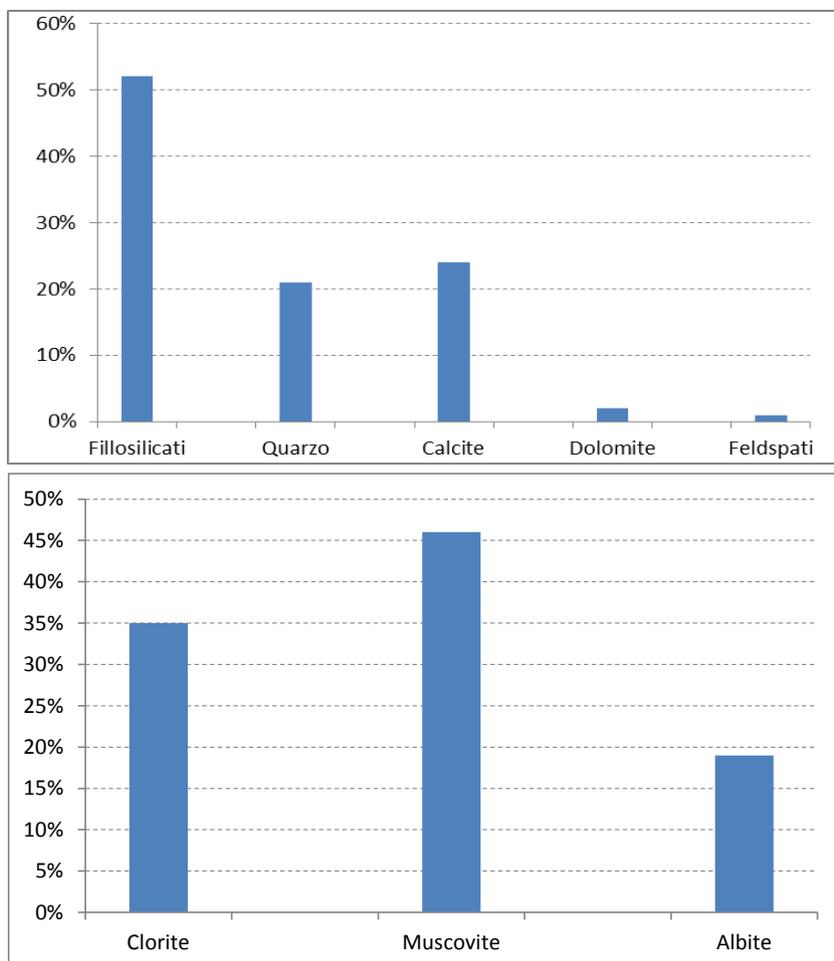


Figura 6-1. Composizione mineralogica media della matrice degli Argilloscisti Filladici (da PD)

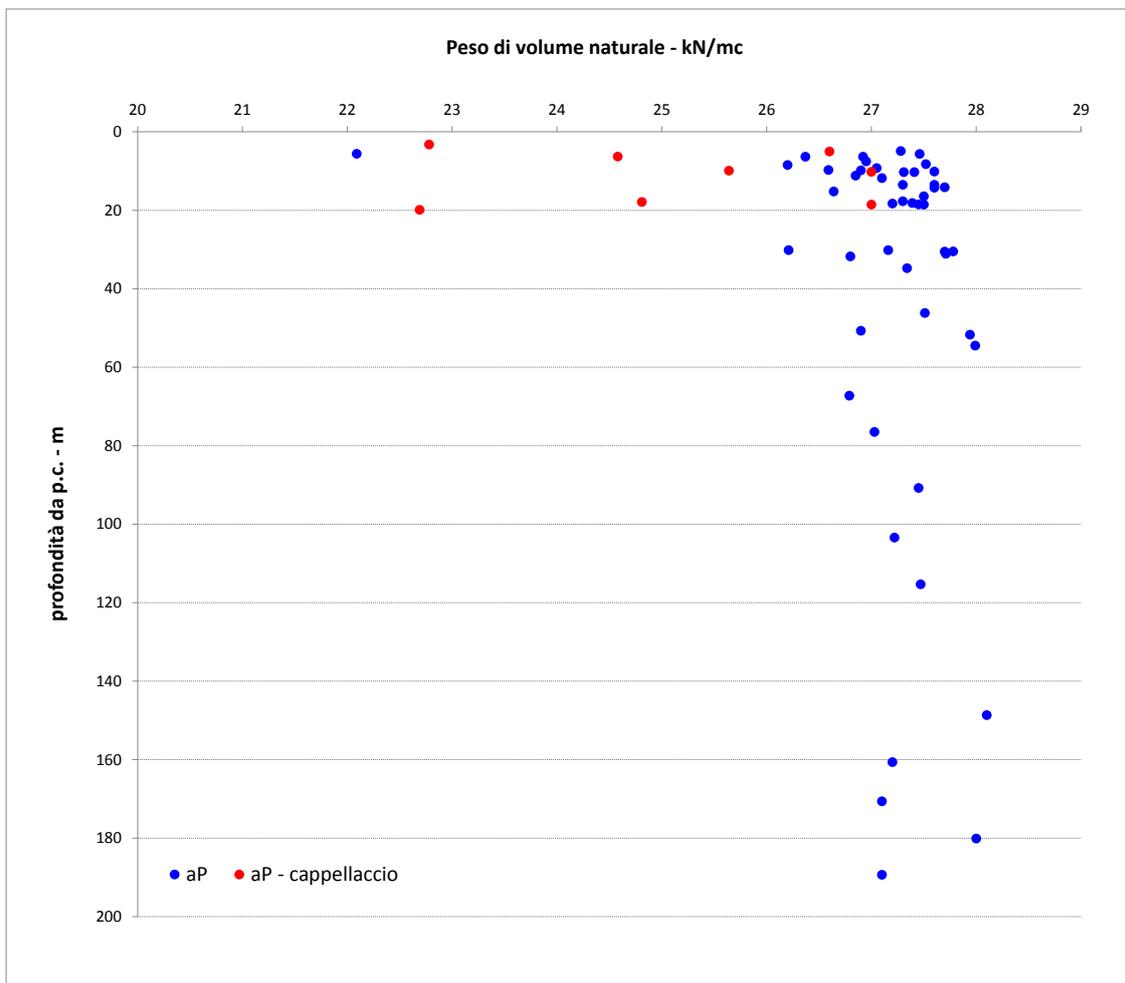
Limitatamente ai campioni con litotipo proprio degli argilloscisti, si evidenzia che gli elementi codificati con CR3 e R2 hanno evidenziato la presenza di materiali asbestosi, cui tuttavia si associa una non-pericolosità nei riguardi del rilascio di fibre. Le risultanze delle analisi dei campioni non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

Caratteristiche fisiche

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

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

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

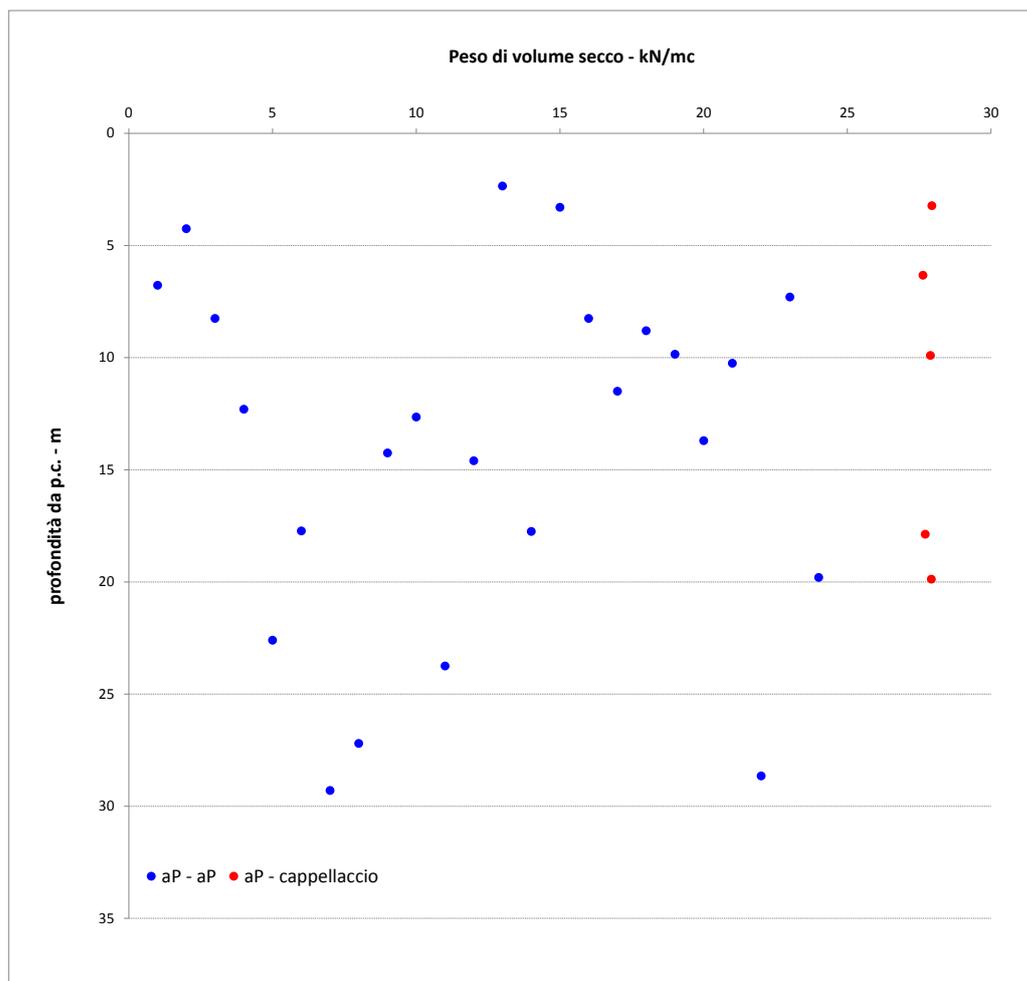


Formazione	aP	aP - cappellaccio
numerosità campione	48	8
Yn max – kN/m ³	28	27
Yn Min – kN/m ³	22	23
Yn Med – kN/m ³	27	25
Yn Sqm – kN/m ³	1	2
sqm/med	5%	7%

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

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

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



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

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

Si propongono a seguire i risultati delle prove di permeabilità LUGEON condotte in foro di sondaggio. Il campione di dati proposto è suddiviso per campagna di indagine di esecuzione. L'analisi statistica del campione globale fornisce un valor medio della conducibilità idraulica pari a $1.5 \cdot 10^{-6}$ m/s, con buona concentrazione della distribuzione attorno al valore medio.

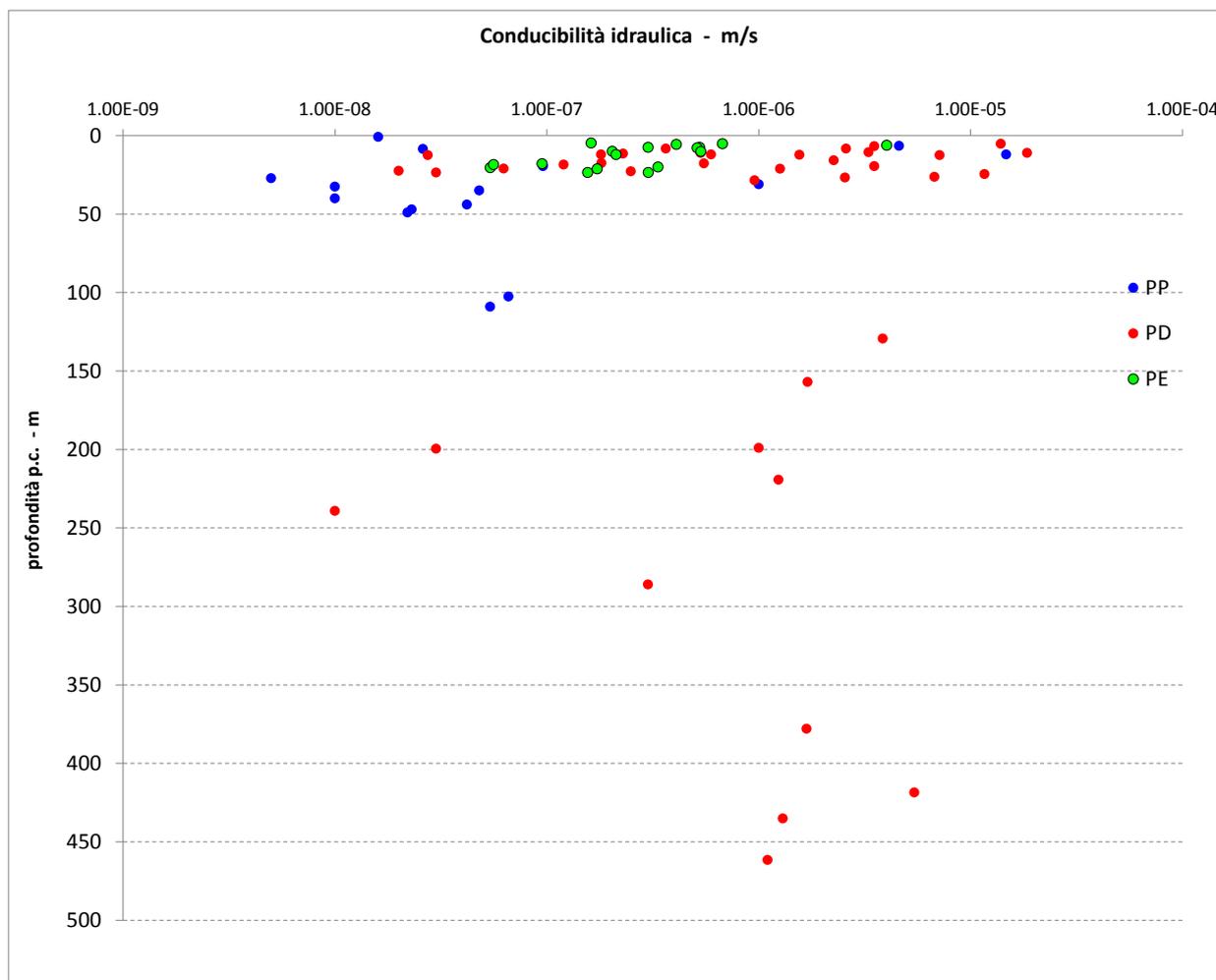


Figura 6-4. Risultati delle prove di permeabilità Lugeon in foro di sondaggio

Caratteristiche di resistenza

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

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

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

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

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

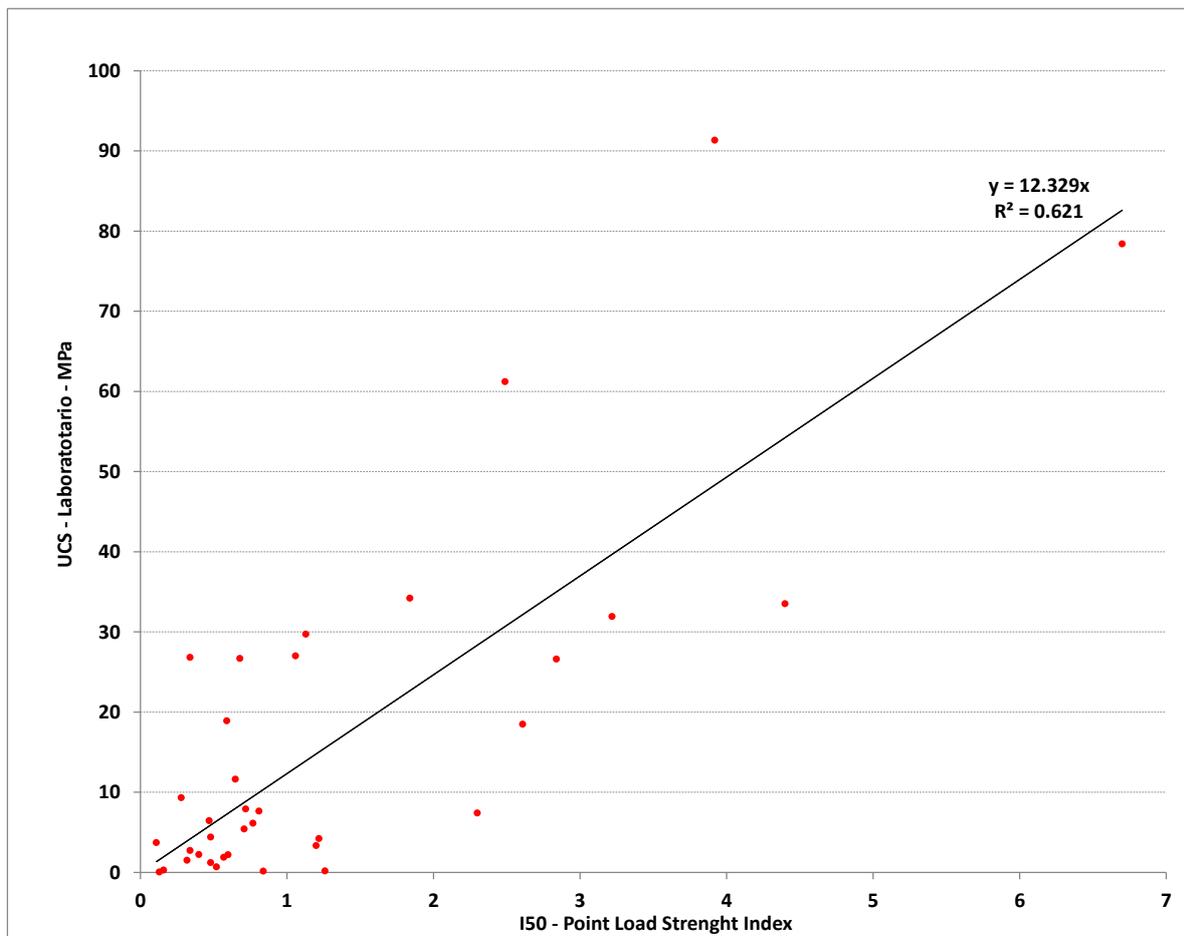


Figura 6-5. Correlazione UCS – I50 Point Load Strenght Index (elaborazione risultati campagna PP)

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00 Foglio 47 di 101

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

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

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

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

L'intero campione di dati Point Load Strenght 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.

La serie completa delle elaborazioni è fornita in allegato alla presente relazione. 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 Strenght.

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

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

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

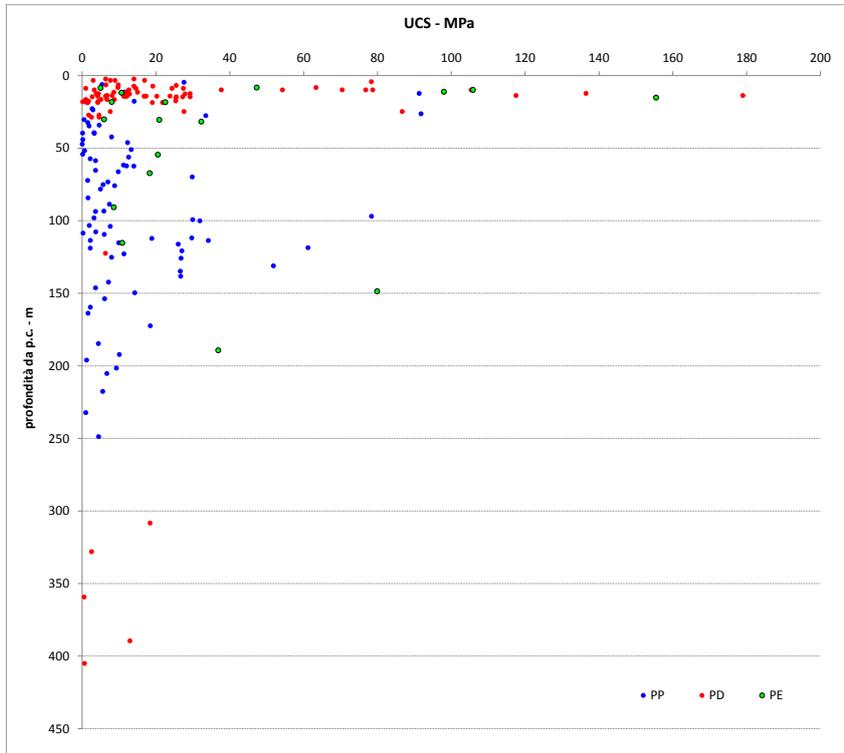


Figura 6-6. Rappresentazione grafica UCS – profondità di campionamento

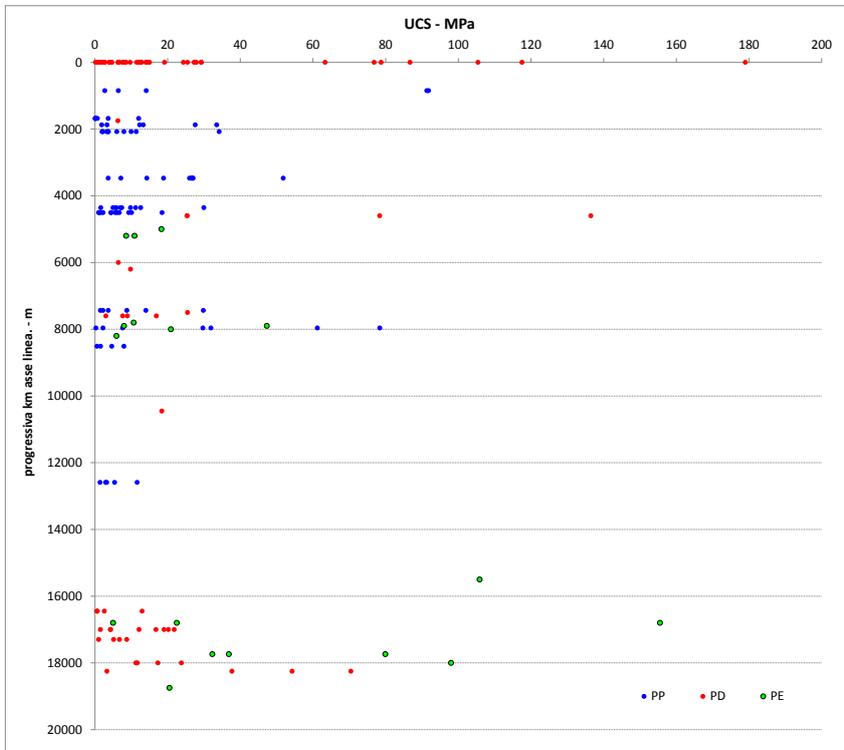


Figura 6-7. Rappresentazione grafica UCS – posizione planimetrica sondaggio di riferimento (pk linea)

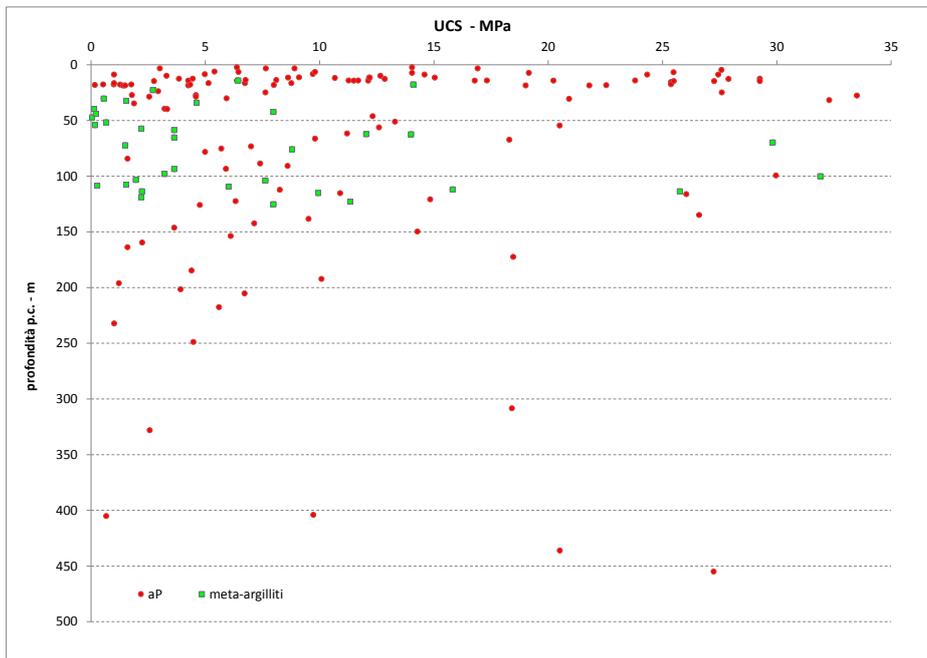


Figura 6-8. Correlazione UCS – I50 Point Load Strength Index (elaborazione risultati campagna PP)

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

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

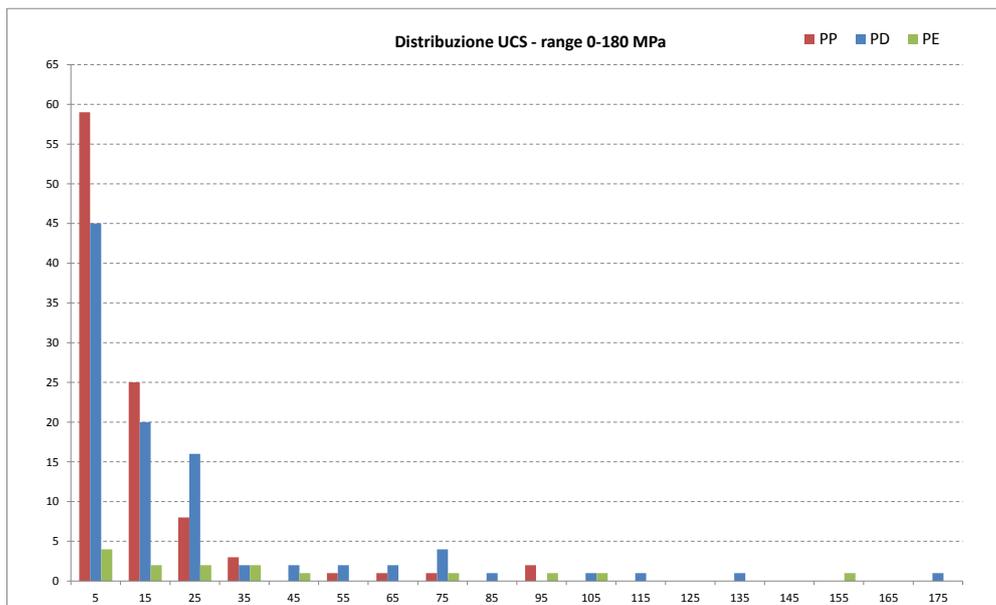


Figura 6-9. Numerosità campione UCS in relazione a intervalli di 10 MPa (per campagne di indagine)

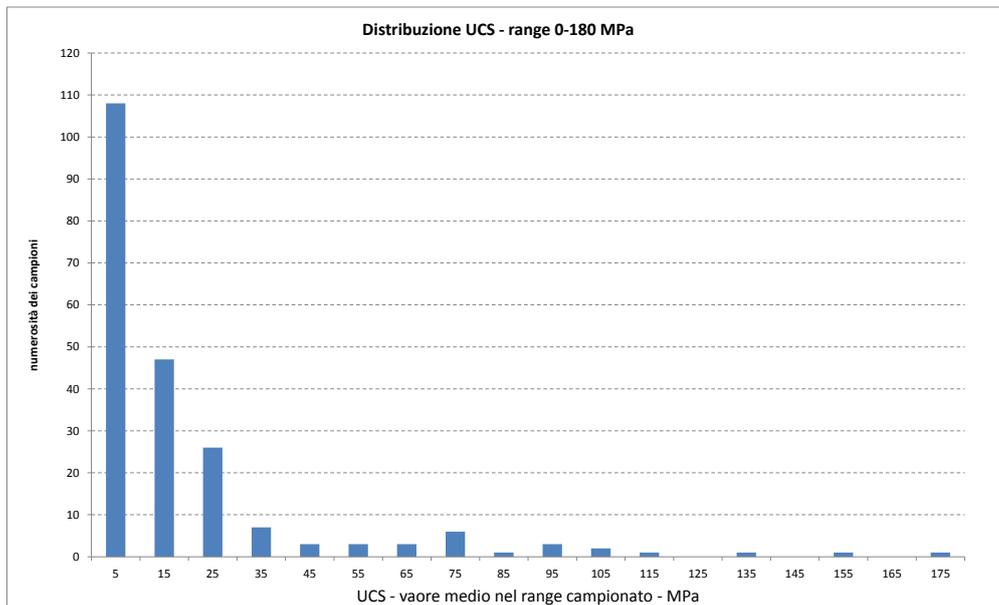


Figura 6-10. Numerosità campione UCS in relazione a intervalli di 10 MPa (campione aggregato)

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

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

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

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

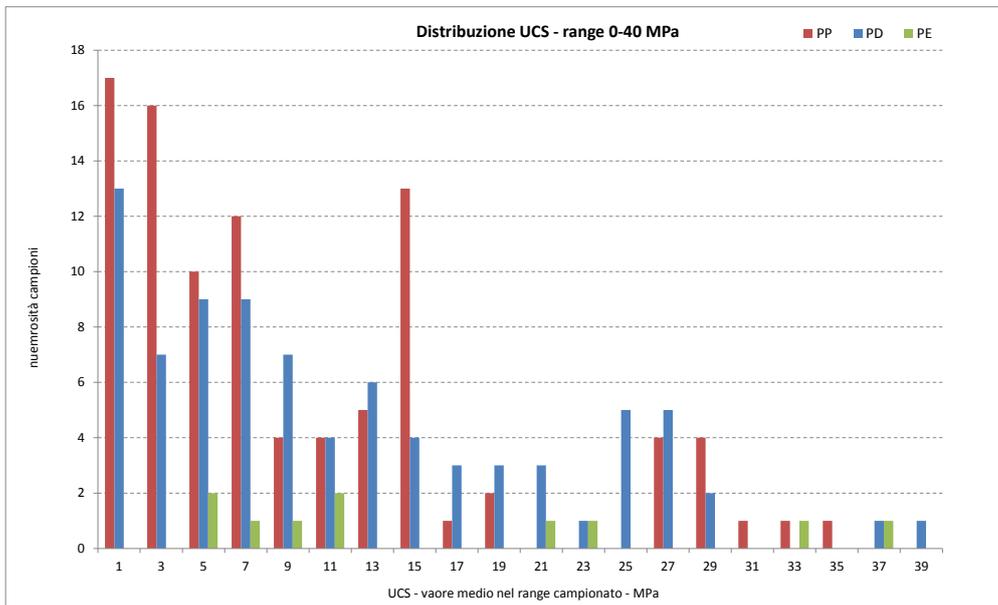


Figura 6-11. Numerosità campione UCS in relazione a intervalli di 2 MPa (per campagne di indagine)

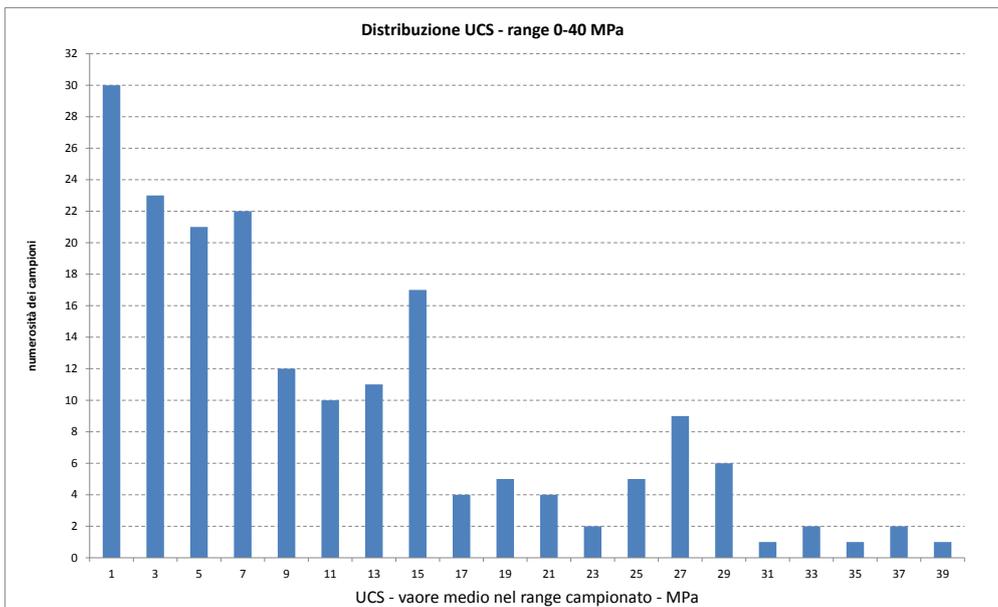


Figura 6-12. Numerosità campione UCS in relazione a intervalli di 2 MPa (campione aggregato)

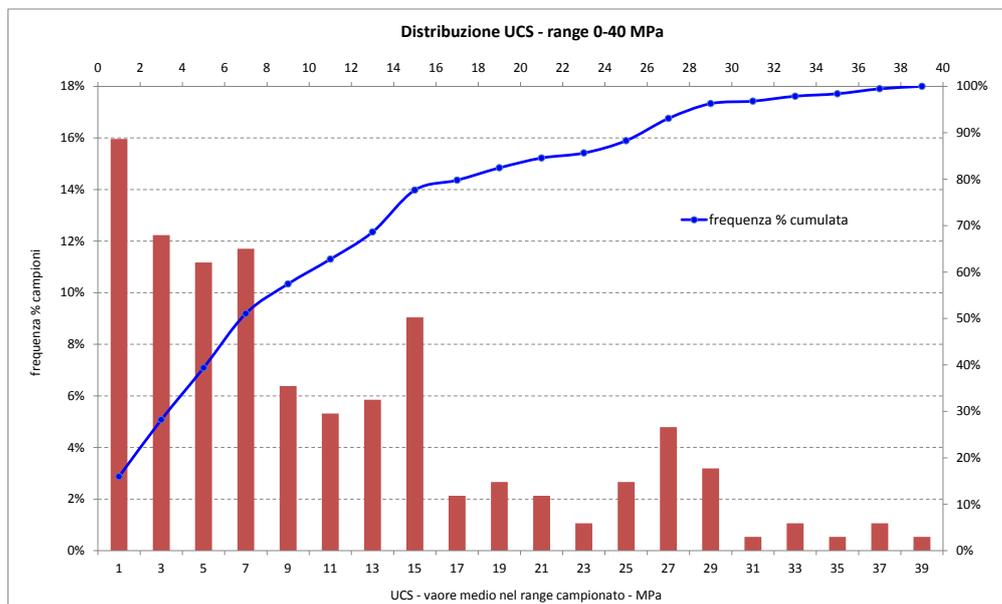


Figura 6-13. Frequenza % campione UCS in relazione a intervalli di 2 MPa (campione aggregato) con rappresentazione della curva di frequenza cumulata

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

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

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

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

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

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

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

Sono stati analizzati i seguenti tre campioni di dati:

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

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

Caratteristiche di deformabilità

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00	Foglio 54 di 101

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 avallata 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.

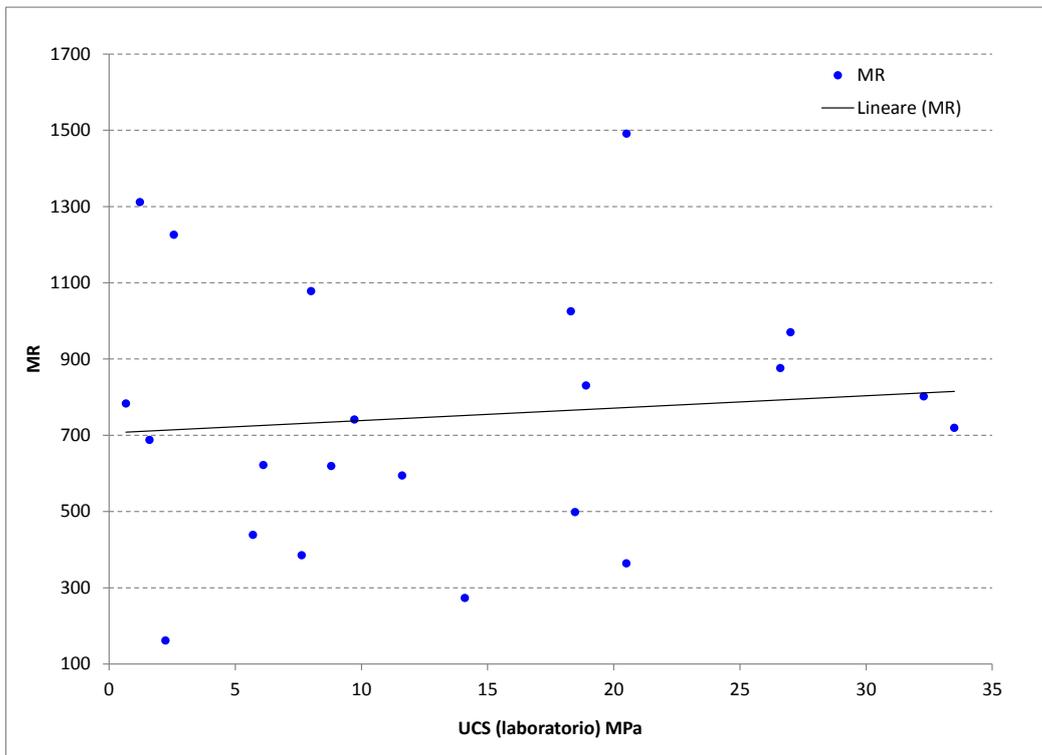


Figura 6-14. Modulus Ratio (MR) associato alle determinazioni in laboratorio UCS (range 0-35 MPa)

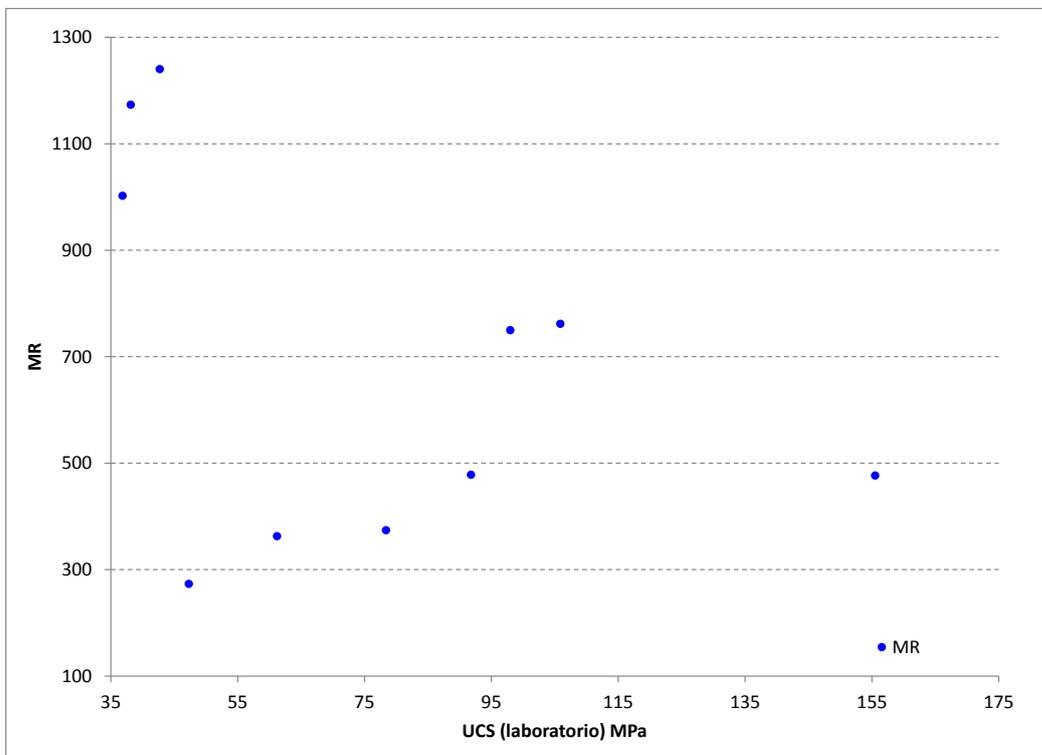


Figura 6-15. Modulus Ratio (MR) associato alle determinazioni in laboratorio UCS (range 35-180 MPa)

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00 Foglio 56 di 101

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**.

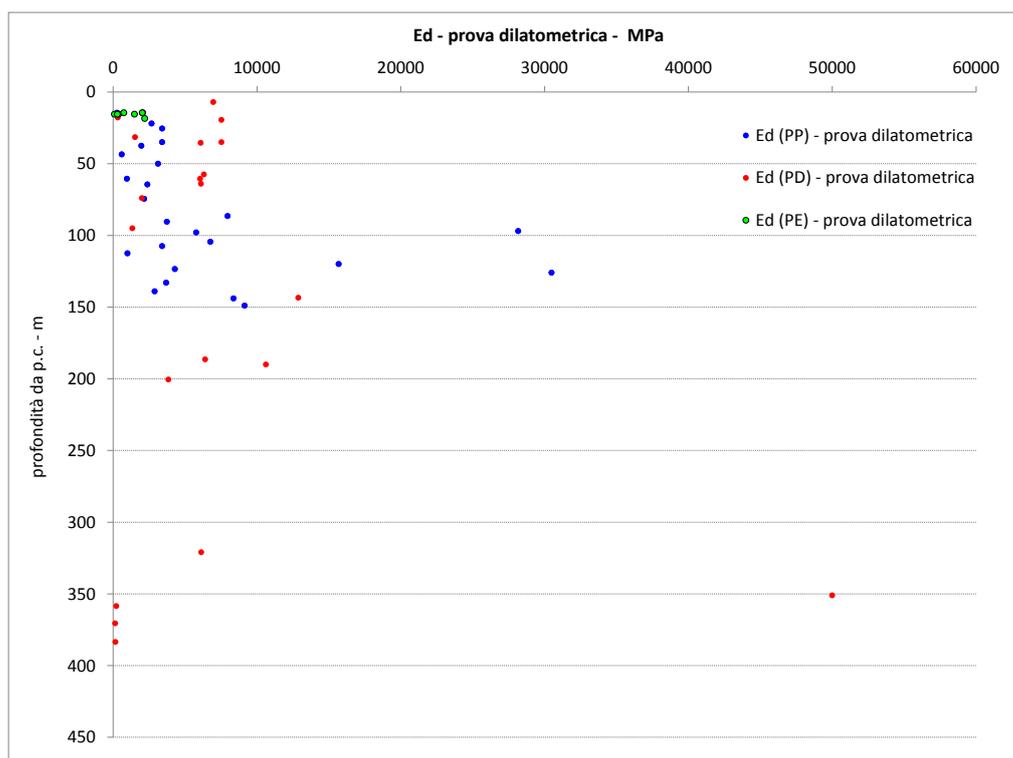


Figura 6-16. Moduli di deformazione da prova dilatometrica in foro di sondaggio, rappresentati in funzione della profondità di misurazione da p.c.

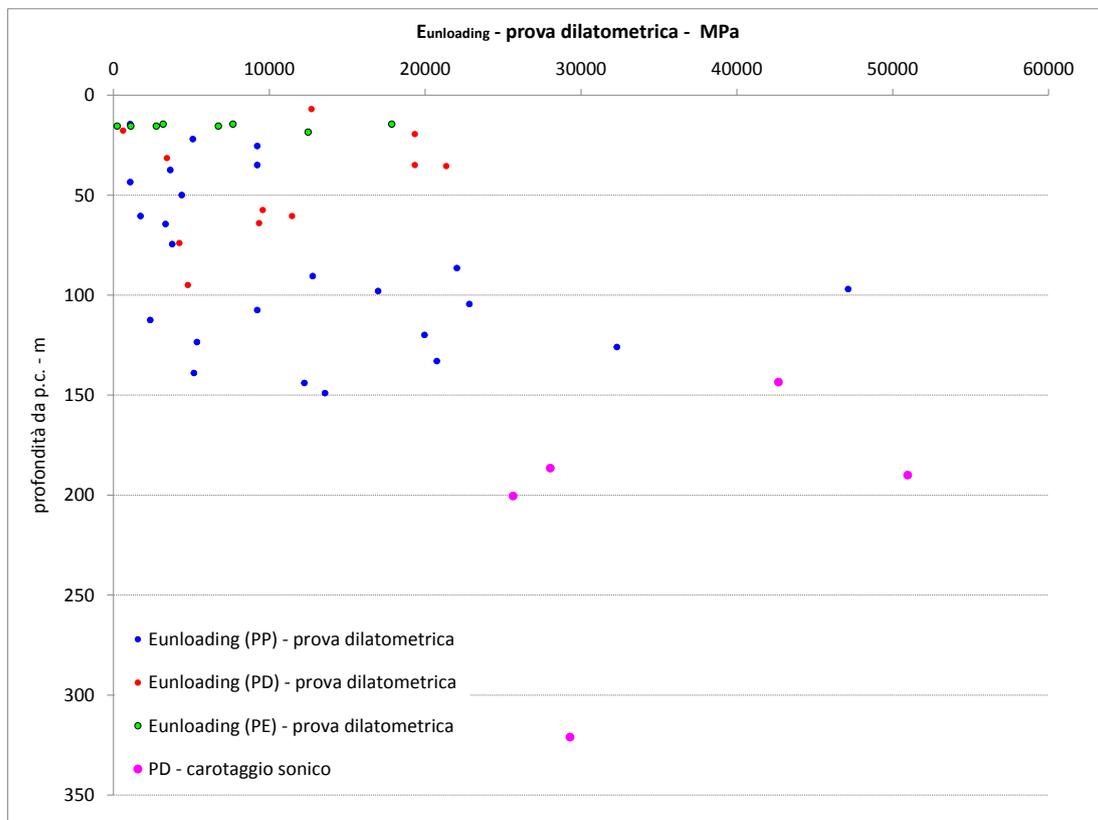


Figura 6-17. Moduli di scarico – unloading - da prova dilatometrica in foro di sondaggio, rappresentati in funzione della profondità di misurazione da p.c.

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).

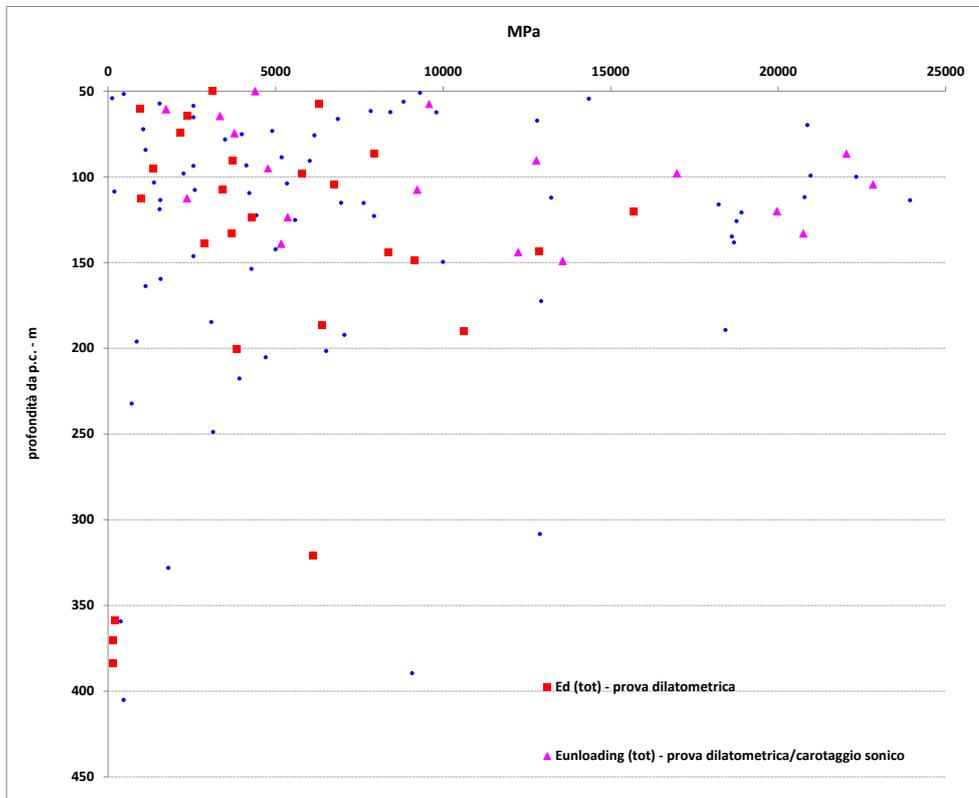
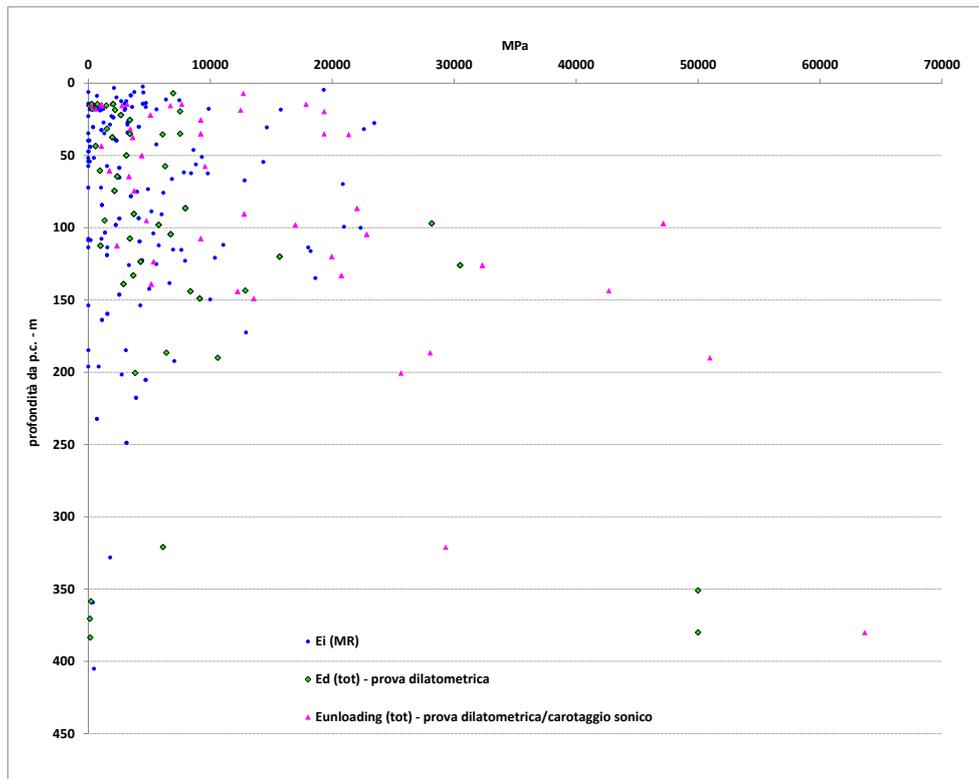


Figura 6-18. Moduli di deformazione e scarico da prova dilatometrica e moduli E_i ottenuti tramite correlazione MR-UCS, rappresentati in funzione della profondità dal p.c. della determinazione (prova in foro/campione-carota testati)

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00	Foglio 59 di 101

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
# campione	158	100	24	24
max	23940	23940	30488	47146
min	34	3597	277	1070
med	7449	10806	6346	11889
sqm	6473	5899	7859	11234
sqm/med	87%	55%	124%	94%

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

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

Stato tensionale in situ

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

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

Cunicolo Vallemme – sezione L1

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

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

k0 massimo pari a: k0=1.8

Cunicolo Vallemme – sezione L2

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

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

k0 massimo pari a: k0=2.5

Cunicolo Vallemme – sezione nicchia

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00 Foglio 61 di 101

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: k0=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: k0=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 k0 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 ko compreso mediamente fra 2 e 2.5.

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:

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00	Foglio 62 di 101

- 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

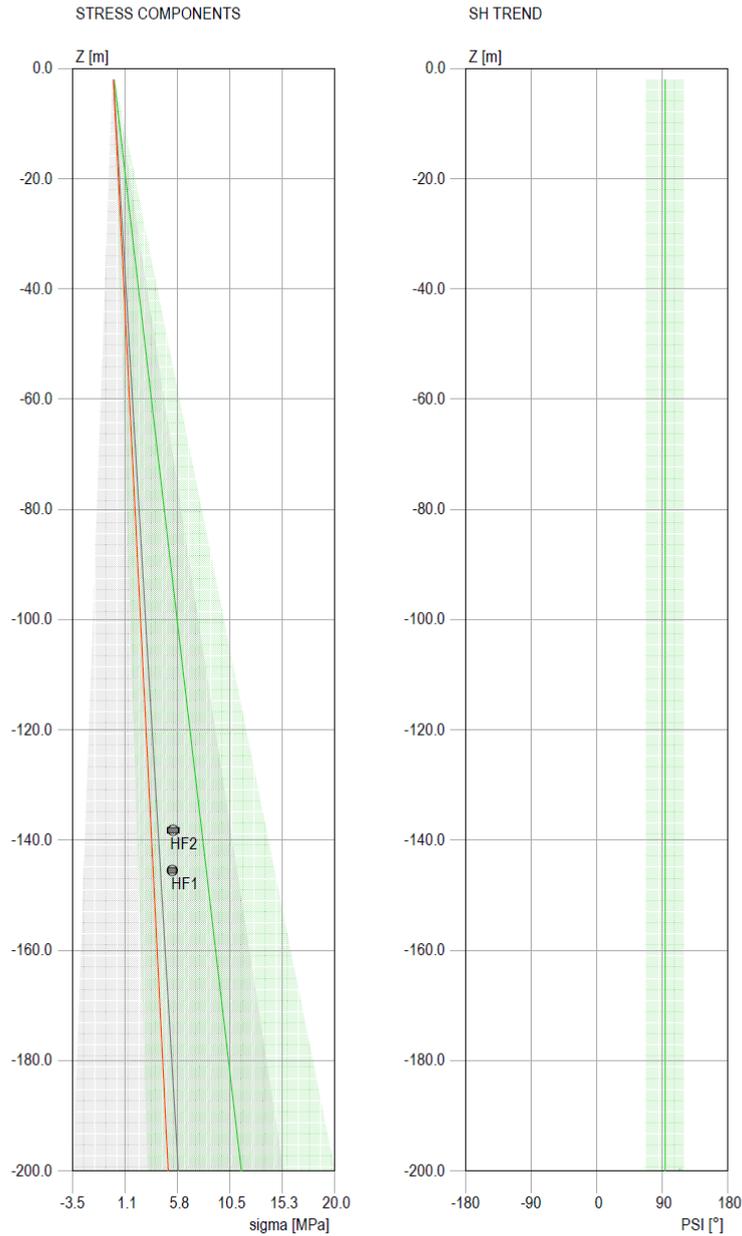
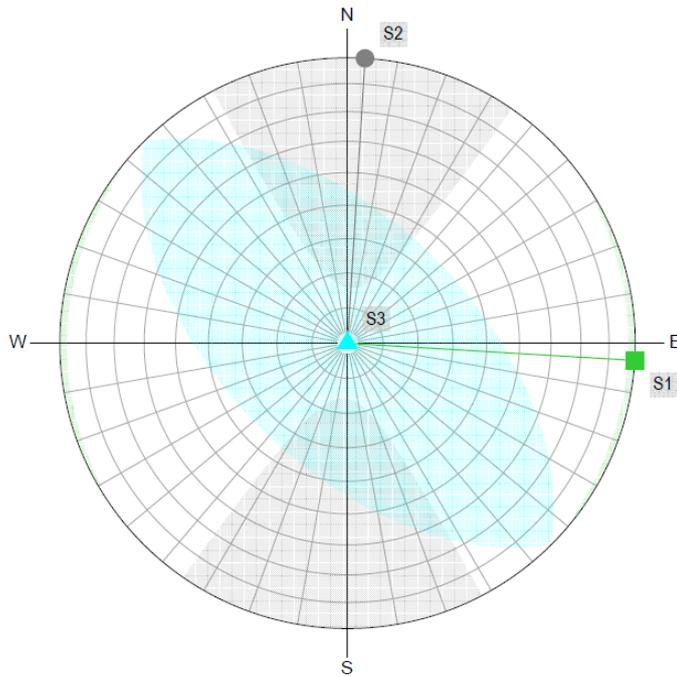


Figura 6-19. Interpretazione prove di fratturazione idraulica

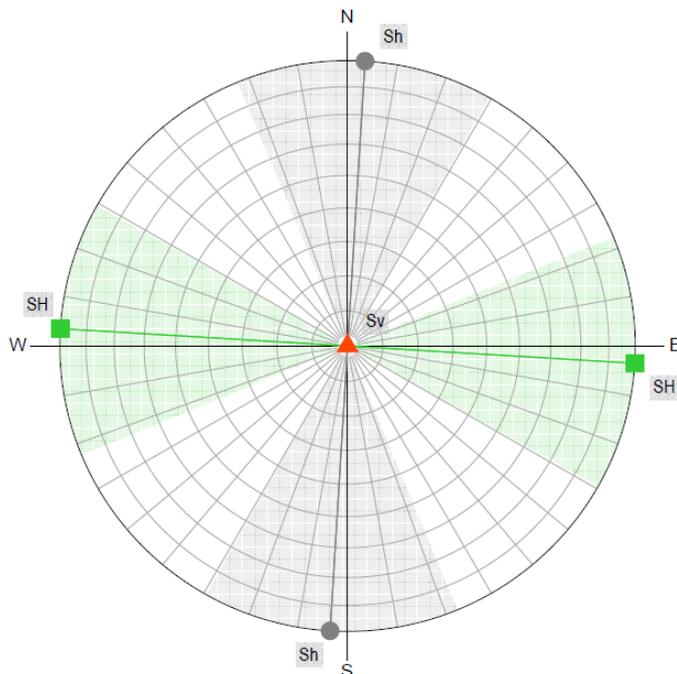
PRINCIPAL STRESS COMPONENTS
Schmidt Lower Emisphere

STRESS TENSOR AT Z = 150 m



	STRESS [MPa]	PSI [°]	PHI [°]
S1:	8.71 ± 6.38	93.5 ± 22.0	0.0 ± 0.0
S2:	4.43 ± 7.47	3.5 ± 22.0	0.0 ± 0.0
S3:	3.75 ± 0.00	0.0 ± 0.0	90.0 ± 0.0

HORIZONTAL AND VERTICAL STRESS STATE
Schmidt Lower Emisphere



	STRESS [MPa]	PSI [°]	PHI [°]
SH:	8.71 ± 6.34	93.5 ± 25.9	0.0 ± 0.0
Sh:	4.43 ± 7.13	183.5 ± 25.9	0.0 ± 0.0
Sv:	3.75 ± 0.00	0.0 ± 0.0	90.0 ± 0.0

Figura 6-20. Interpretazione prove di fratturazione idraulica

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00 Foglio 65 di 101

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.

Le tabelle complete contenenti tutte le determinazioni sono contenute in allegato.

Caratteristiche fisiche

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

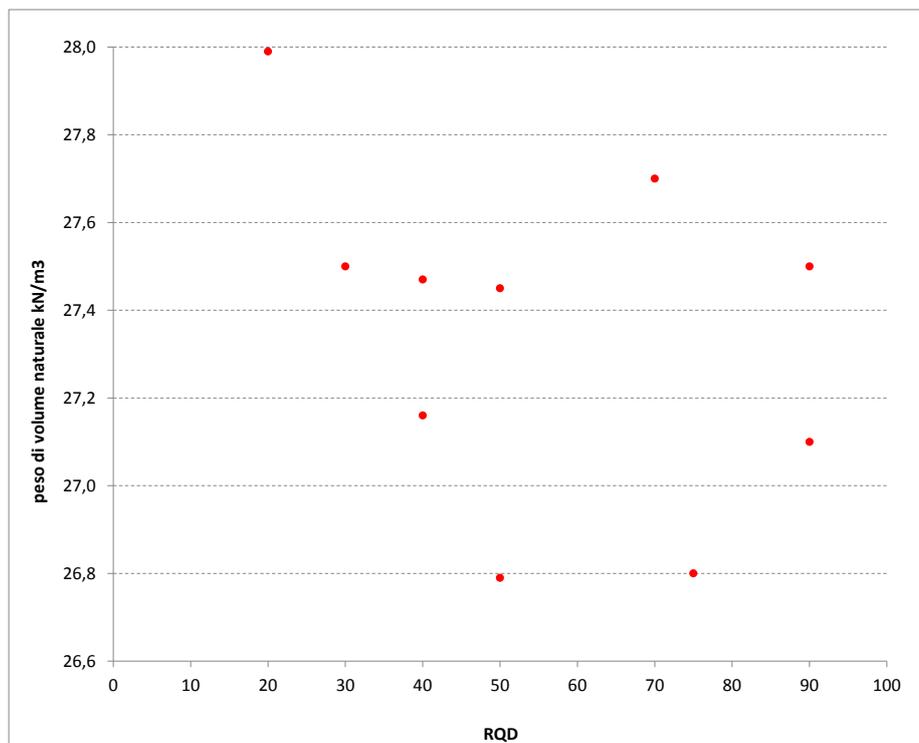


Figura 6-21. Peso di volume naturale in funzione dell'indice RQD proprio del settore di determinazione

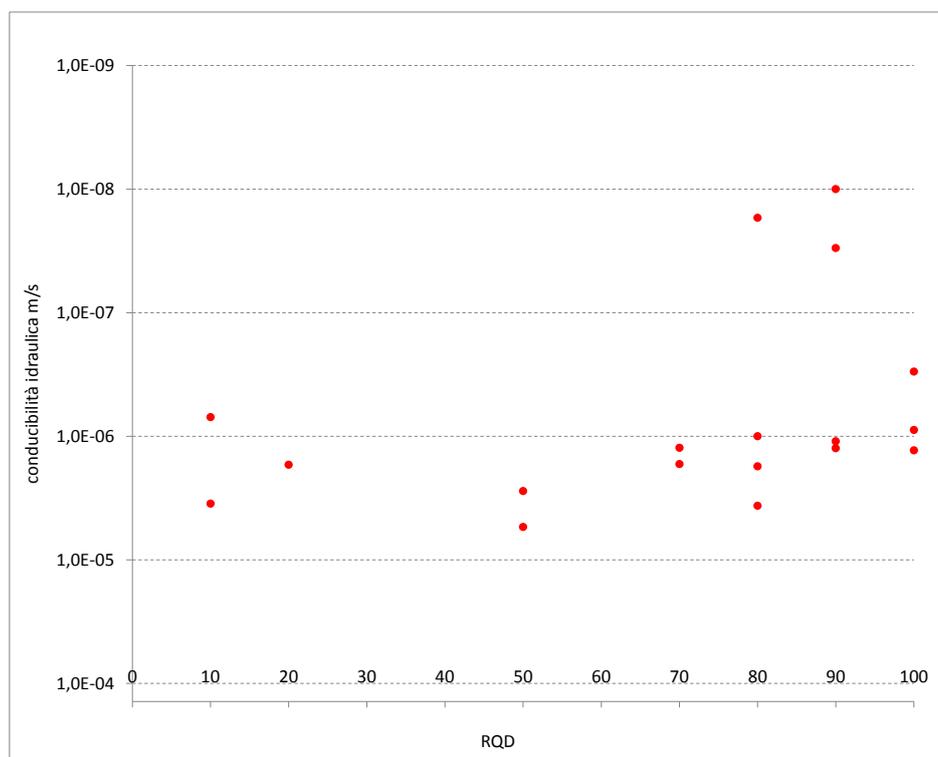


Figura 6-22. Conducibilità idraulica in funzione dell'indice RQD proprio del settore di determinazione

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

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

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

Caratteristiche di resistenza

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

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

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

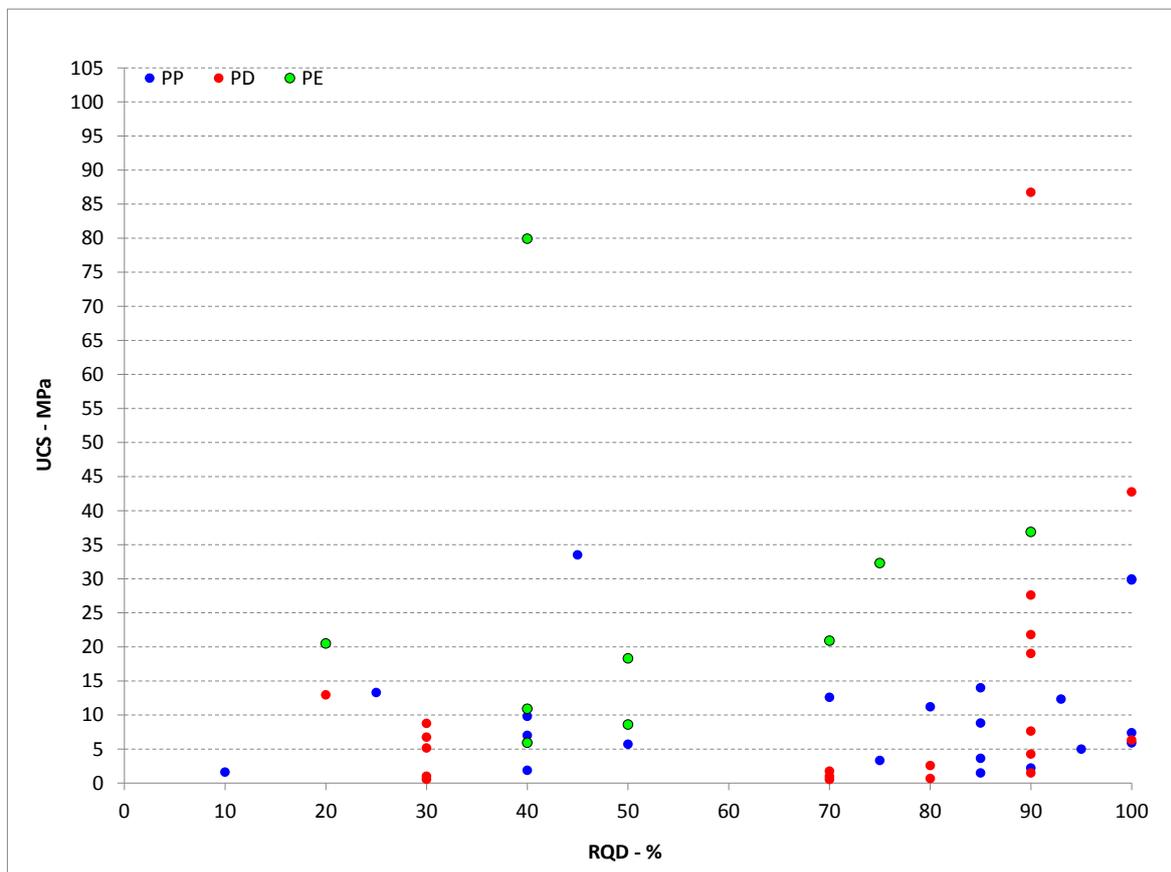


Figura 6-23. UCS in funzione dell'indice RQD proprio del settore di determinazione

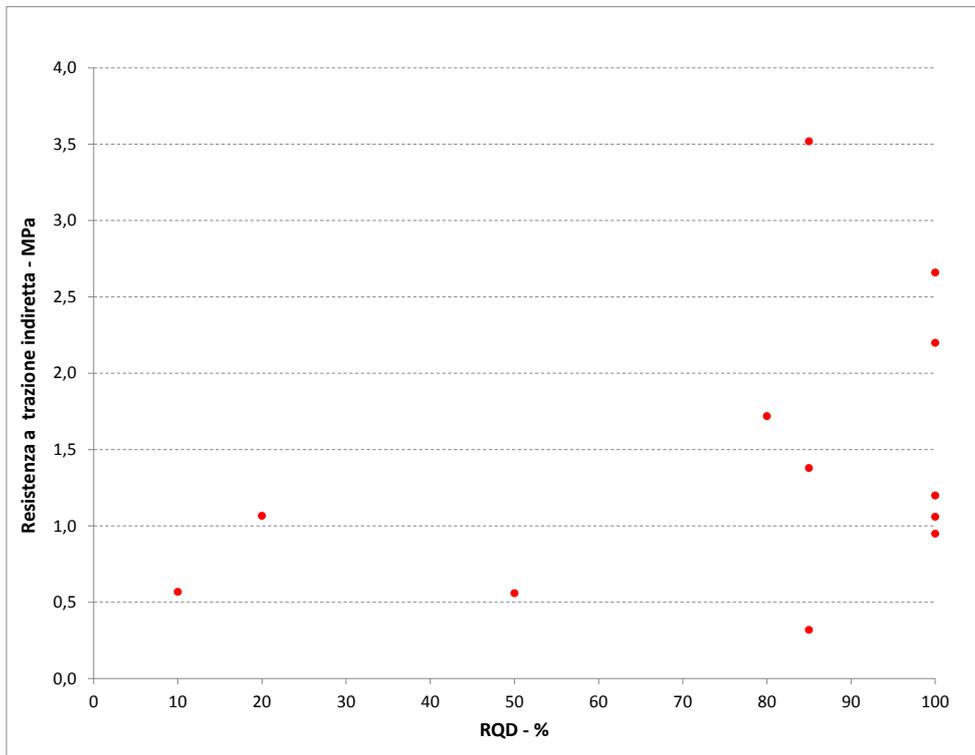


Figura 6-24. Resistenza a trazione indiretta in funzione dell'indice RQD proprio del settore di determinazione

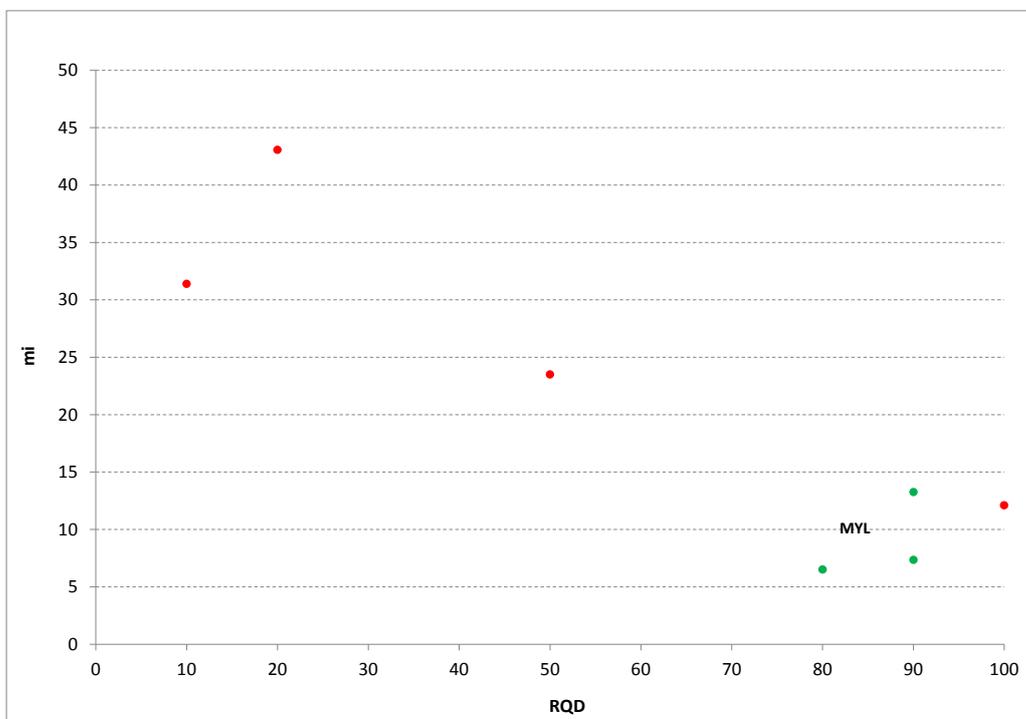


Figura 6-25. Parametri mi Hoek-Brown in funzione dell'indice RQD proprio del settore di determinazione

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00 Foglio 69 di 101

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00
	Foglio 70 di 101

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	17,1	11,9	3-5
Sqm - MPa	11,9	7,8	-
sqm/med	70%	65%	-

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

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

Tabella 6-8. Parametri rappresentativi delle distribuzioni dei valori di resistenza a trazione indiretta (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	10	24	37
mi Sqm	3	-	8
sqm/med	34%	-	22%

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

Caratteristiche di deformabilità

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

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

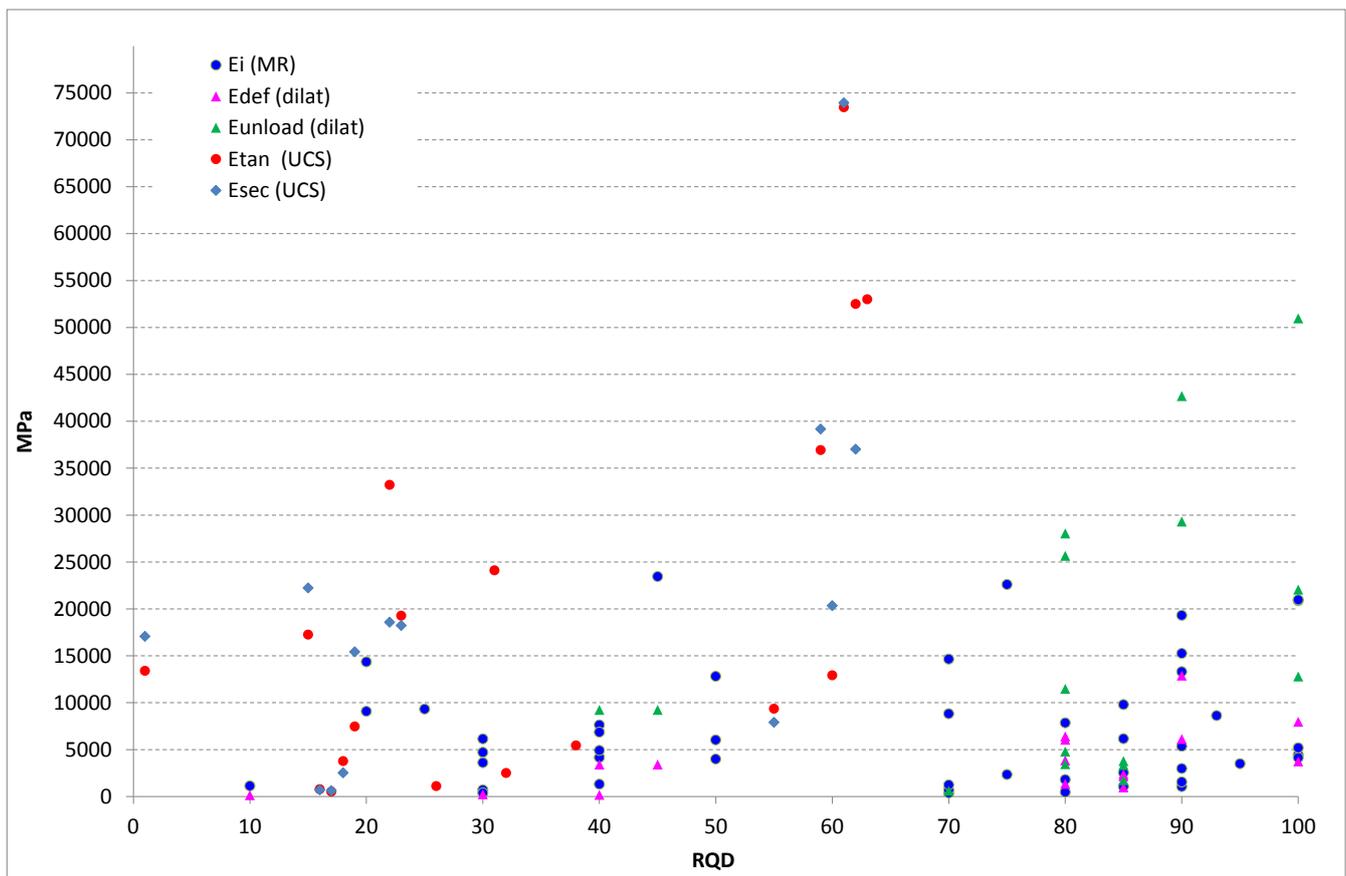


Figura 6-26. Caratteristiche di deformabilità in funzione dell'indice RQD proprio del settore di determinazione

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00 Foglio 72 di 101

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

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

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

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

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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00
	Foglio 73 di 101

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 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00	Foglio 74 di 101

- **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

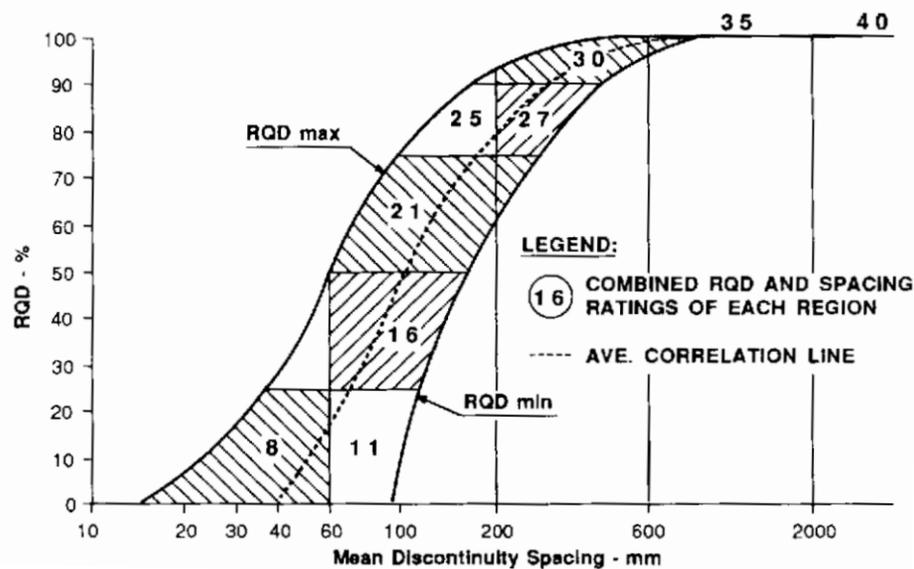


Figura 6-27. Nomogramma per la determinazione del punteggio combinato associato allo stato di fratturazione dell'ammasso (RQD) ed alla spaziatura delle discontinuità, nell'ambito della definizione dell'indice RMR.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00 Foglio 76 di 101

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

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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00	Foglio 77 di 101

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

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

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

6.1.4 Caratterizzazione Geo-meccanica degli argilloscisti

Note generali

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

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

Caratteristiche fisiche

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

- **Gruppo G1**
 - Peso di volume: 27 kN/m³
 - Coefficiente di Poisson. 0.25-0.30
 - Conducibilità idraulica: 1E-6 m/s / 1E-7 m/s

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00 Foglio 78 di 101

- **Gruppo G2**

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

- **Gruppo G3**

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

Caratteristiche di resistenza

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00 Foglio 79 di 101

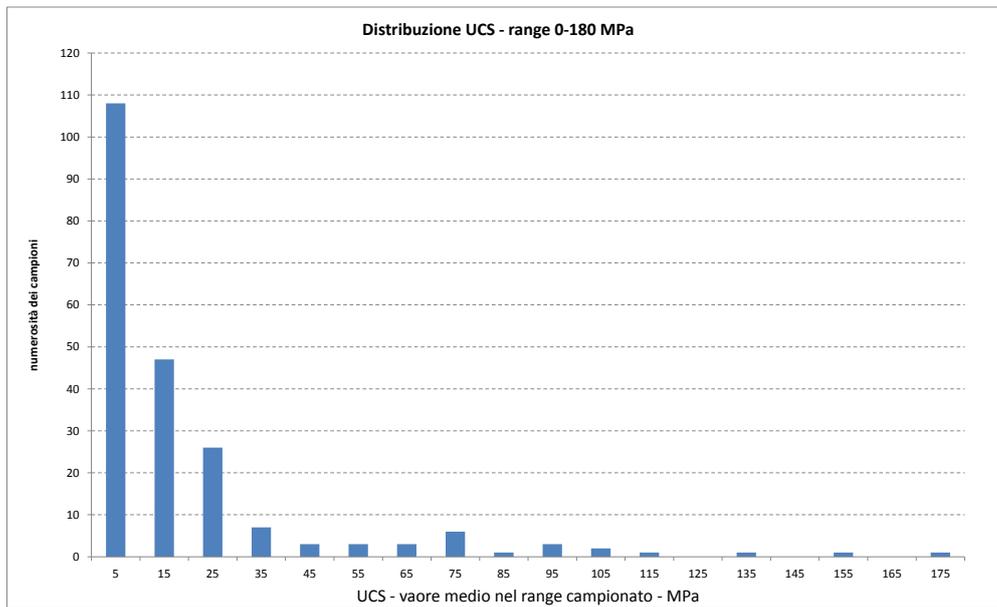
Con riferimento al **gruppo geo-meccanico G1**, il range 10-17 MPa, ottenuto dall'analisi completa dei sondaggi di PP – PD - PE, discende dai valori medi delle 2 distribuzioni analizzate, ovvero:

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

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

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

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



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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00 Foglio 81 di 101

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	m_i (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-GN00-00-002-A00 Foglio 82 di 101

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-GN00-00-002-A00 Foglio 83 di 101

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00 Foglio 84 di 101

Quadro di sintesi caratterizzazione geomeccanica

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00	Foglio 85 di 101

6.1.5 Considerazioni sul fenomeno di squeezing

Note introduttive

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

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

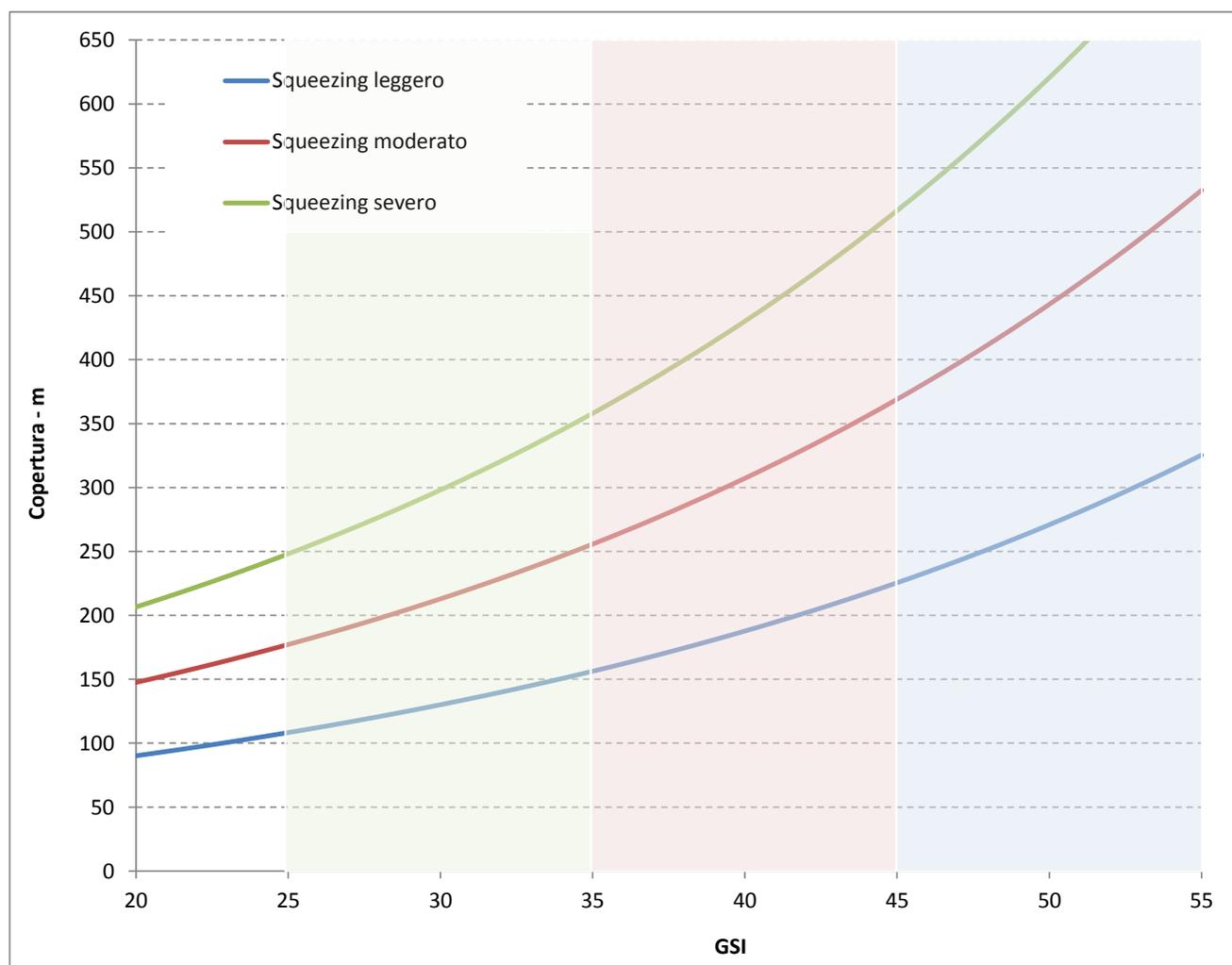


Figura 6-29. Curve Potenziale di squeezing secondo Goel (1994)

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00 Foglio 87 di 101

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 - , γ il peso di volume naturale della roccia soprastante e z è la copertura sopra la galleria.

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

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

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

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

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

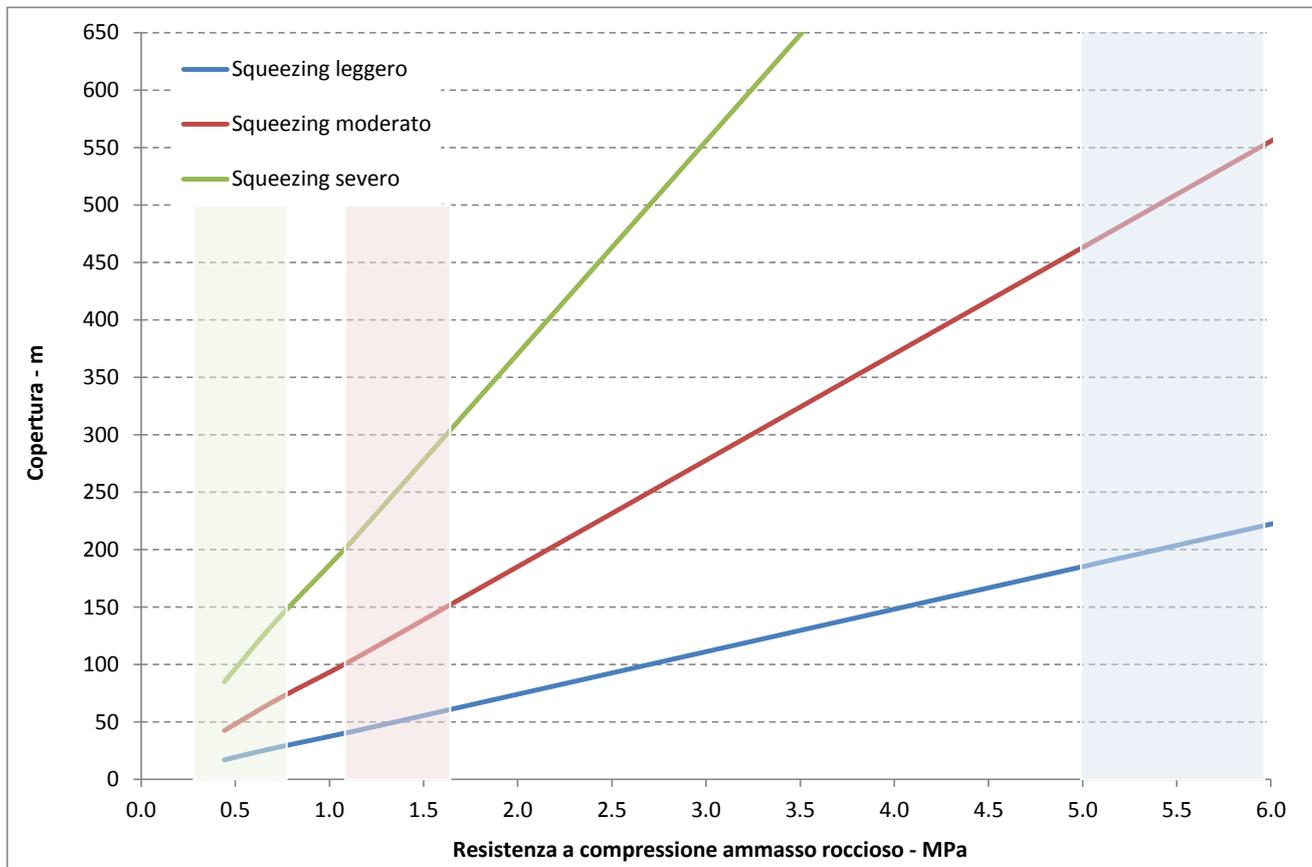


Figura 6-30. Potenziale di squeezing secondo Barla (1995)

Critero di HOEK & MARINOS (2000)

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

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

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

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

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

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

Classe	Convergenza ε (%)	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.

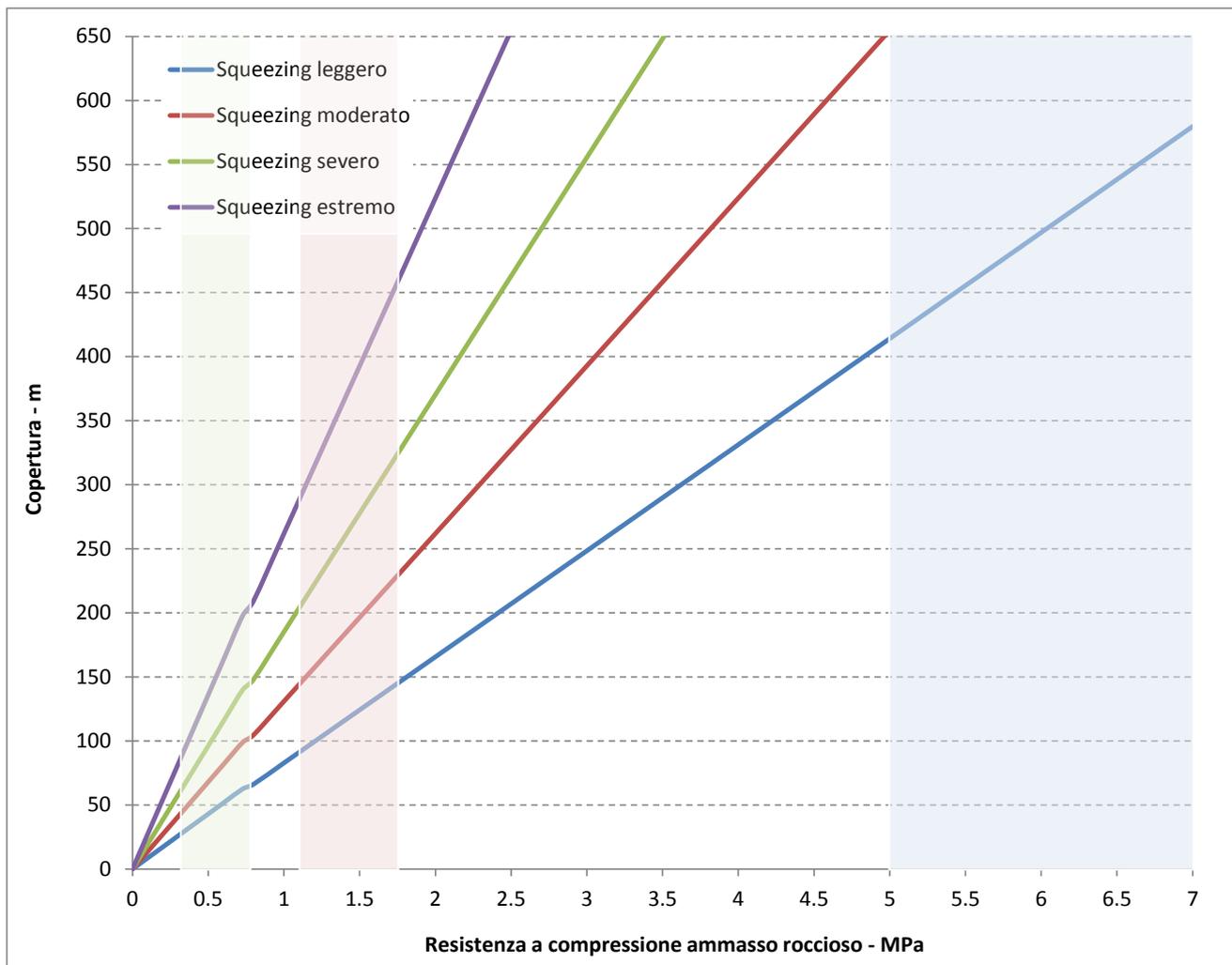


Figura 6-31. Potenziale di squeezing secondo Hoek-Marinos (2000)

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00 Foglio 90 di 101

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 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00	Foglio 91 di 101

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.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00	Foglio 92 di 101

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00 Foglio 93 di 101

6.2 Metabasalti (B')

6.2.1 Introduzione

I sondaggi eseguiti lungo la tratta nonostante intersechino le lenti di metabasalto descritte in relazione geologica, tuttavia non forniscono dati sufficienti per approfondire la caratterizzazione geomeccanica di questa formazione eseguita in precedenza in altre zone della tratta di valico. Si riporta pertanto per chiarezza nei seguenti paragrafi la caratterizzazione eseguita nella suddetta formazione. Come si vedrà, i dati disponibili sono relativi a profondità ridotte rispetto alle coperture in gioco nella tratta in esame. Tuttavia appare al momento cautelativo, in assenza di sondaggi specifici, considerare valida tale caratterizzazione.

6.2.2 Note generali

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

WBS	Sondaggio	Fase progettuale
NV01	SL32	PD
NV01	SL33	PD
NV01	SL34	PD
NV01	SL47B	PD

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

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

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

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

SA

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

SB

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

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

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

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

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

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

6.2.3 Caratterizzazione fisica

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

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

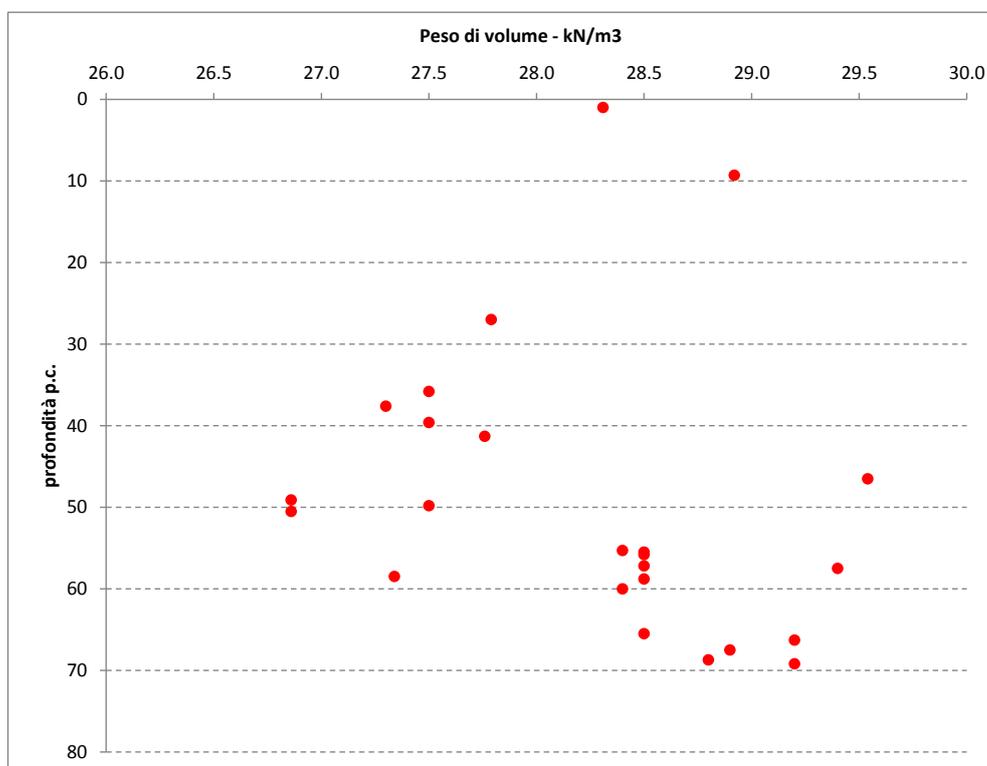


Figura 6-32. Distribuzione del peso di volume con la profondità

6.2.4 Caratterizzazione meccanica

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

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

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

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

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

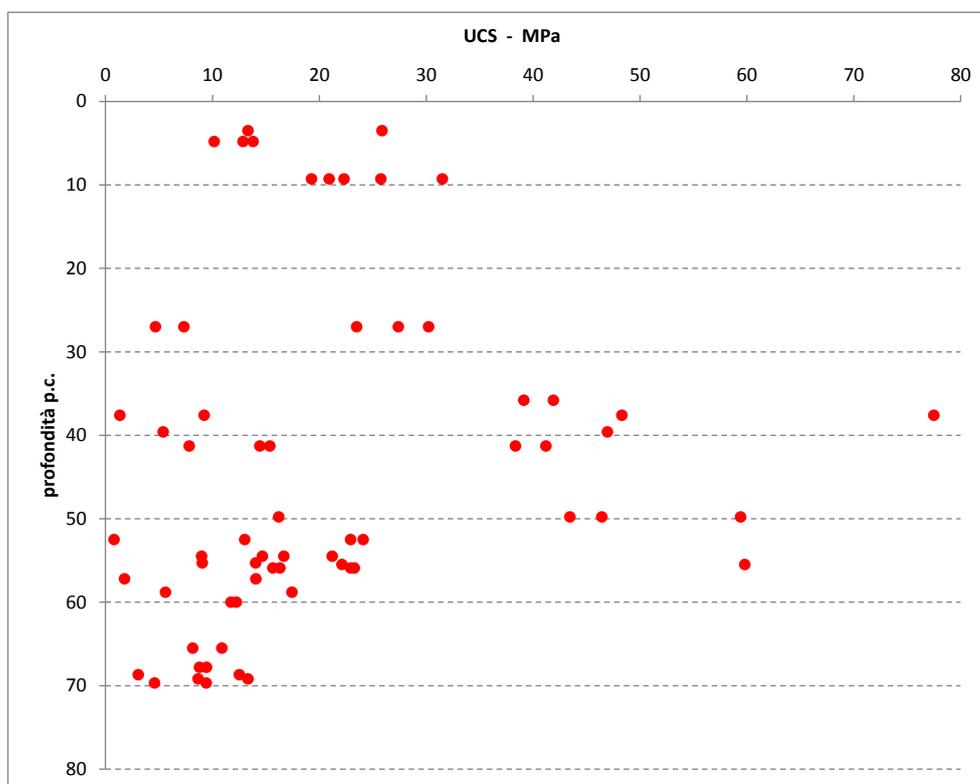


Figura 6-33. Distribuzione dell'UCS con la profondità

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

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

6.2.5 Parametri di deformabilità

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

1. E_i (rock matrix) secondo Deere-Palmstrom-Sigh (MR da letteratura pari a 350);
2. E deformazione dalle prove dilatometriche (media tre cicli di carico/scarico);
3. E tangente derivato dalle prove di compressione mono-assiale.

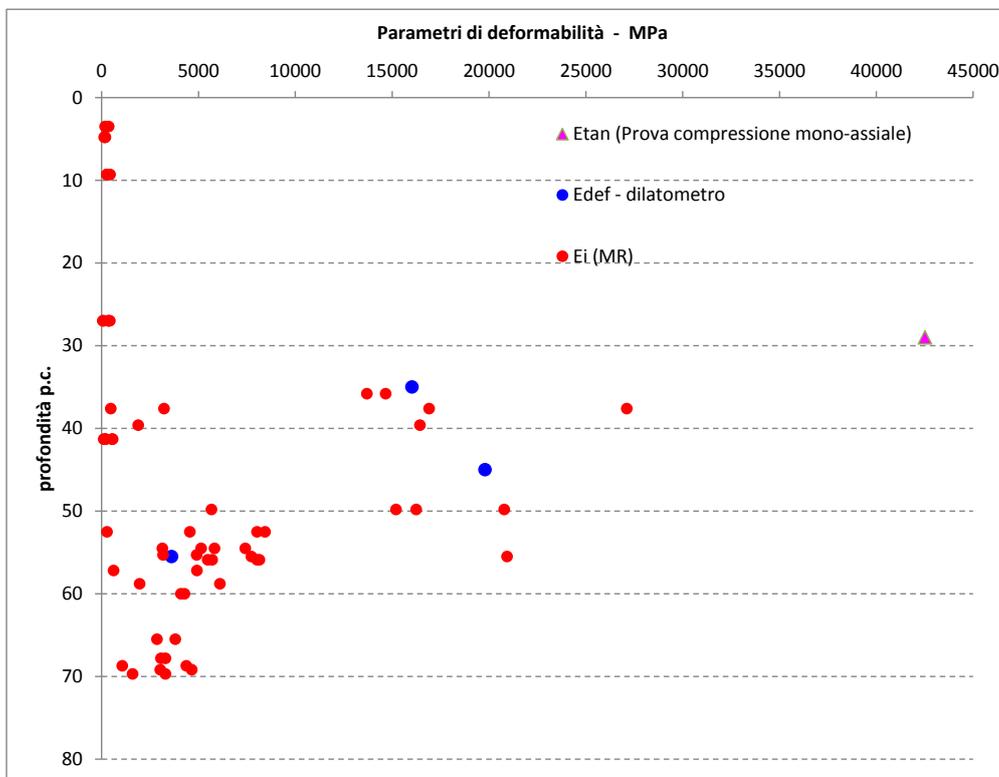


Figura 6-34. Distribuzione dei parametri di deformabilità con la profondità

Si rileva una distribuzione significativamente ampia dei parametri di deformabilità associabili alla matrice rocciosa; si identifica l'intervallo significativo ai fini progettuali compreso fra **5000 – 20000 MPa**.

6.2.6 Quadro di sintesi caratterizzazione geotecnica

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

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

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00</p>	<p>Foglio 99 di 101</p>

Si vuole precisare che tali parametri sono stati determinati a partire da campioni estratti a profondità massime di 70 m mentre l'opera in esame avrà una copertura compresa tra i 400m e i 600 m. Essi sono ritenuti comunque delle stime cautelative. Per una caratterizzazione più accurata si dovranno attendere i risultati dei sondaggi relativi alla fase di PE.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-04-E-CV-RB-GN00-00-002-A00</p>	<p>Foglio 100 di 101</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-GN00-00-002-A00</p>	<p>Foglio 101 di 101</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.