

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
Finestra Cravasco
Relazione geotecnica**

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

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

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Emissione	Rocksoil 	15/07/2013	Rocksoil 	15/07/2013	A. Palomba 	19/07/2013	 Consorzio Collegamenti Integrati Veloci Dott. Ing. Aldo Mancarella Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R
B00	Revisione per MT000114/2	Rocksoil 	17/11/2014	Rocksoil 	19/11/2014	A. Palomba 	21/11/2014	
C00	Revisione generale	Rocksoil 	27/07/2015	Rocksoil 	27/07/2015	A. Mancarella 	28/07/2015	

n. Elab.:

File: IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00

CUP: F81H92000000008

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00</p>	<p>Foglio 3 di 63</p>

INDICE

INDICE.....	3
1. PREMESSA	5
2. DOCUMENTAZIONE, NORMATIVA E STRUMENTI TERRITORIALI DI RIFERIMENTO	6
2.1 Documentazione di riferimento	6
2.2 Normative, raccomandazioni e strumenti territoriali di riferimento.....	6
3. INQUADRAMENTO DELL'OPERA.....	8
3.1 Inquadramento generale.....	8
3.2 Inquadramento geologico-geomorfologico	8
3.3 Unità tettonometamorfica Gazzo-Isoverde	11
3.3.1 Dolomie del Monte Gazzo	11
3.3.2 Gessi del Rio Riasso ("Gessi, anidriti e carnioli" nella cartografia PE).....	12
3.3.3 Serie di Gallaneto-Lencisa.....	14
3.3.4 Meta-argilliti di Bessega ("Argilloscisti neri" nella cartografia PE)	14
3.4 Unità tettonometamorfica Cravasco-Voltaggio	14
3.4.1 Scisti filladici del Monte Larvego ("Argilloscisti filladici" nella cartografia PE).....	15
3.4.2 Calcari di Voltaggio.....	15
3.4.3 Metasedimenti silicei dell'Osteria dello zucchero	15
3.4.4 Metabasalti di Cravasco	16
3.4.5 Serpentiniti di Case Bardane ("Serpentiniti e serpentinoscisti e oficalci" nella cartografia PE)....	16
3.5 Unità tettonometamorfica Figogna.....	17
3.5.1 Serpentiniti del Bric dei Corvi ("Serpentiniti, serpentinoscisti e oficalci" nella cartografia PE)	17
3.5.2 Metabasalti del Monte Figogna ("Metabasalti" nella cartografia PE).....	18
3.5.3 Metasedimenti silicei della Madonna della Guardia.....	18
3.5.4 Metacalcari di Erzelli.....	18
3.5.5 Metaoficalciti di Pietralavezzara.....	19
3.5.6 Argilloscisti di Costagiutta.....	19
3.5.7 Argilloscisti di Murta.....	19
3.6 Depositi pliocenico-quadernari.....	20
3.6.1 Coltri superficiali di versante.....	20
3.6.2 Accumuli di frana	21
3.6.3 Depositi alluvionali	21
3.7 Inquadramento Idrogeologico	21
4. INDAGINI ESEGUITE	22
4.1 Indagini eseguite nell'area in oggetto.....	23
4.2 Dati disponibili in corrispondenza dell'opera	25
5. CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA - GEOMECCANICA	27
5.1 Caratterizzazione degli ammassi rocciosi.....	27
5.1.1 Valutazione del parametro RMR'89.....	28
5.1.2 Criteri di rottura.....	30
5.1.3 Caratteristiche di deformabilità	34
6. CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI.....	37
6.1 Dolomie del Monte Gazzo (dG)	37
6.1.1 Parametri generali	37
6.1.2 Parametri di resistenza	38
6.1.3 Determinazione del GSI.....	42
6.1.4 Caratteristiche di deformabilità	42
6.1.5 Classificazione Geomeccanica.....	50
6.1.6 Sintesi dei parametri ottenuti	50

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 4 di 63</p>

6.2	Calcarì di Gallaneto (cG).....	50
6.2.1	Sintesi dei parametri.....	50
6.3	Argilloscisti neri (Mn).....	51
6.4	Zone di contatto tra cG/dG e cG/Mn.....	52
6.5	Scisti Micaceo Carbonatici Milonitici (Myl)	53
6.5.1	Note Generali.....	53
6.5.2	Caratteristiche fisiche	54
6.5.3	Caratteristiche di resistenza	54
6.5.4	Caratteristiche di deformabilità	57
6.5.5	Classificazione geomeccanica – calcolo del GSI	59
6.5.6	Sintesi caratterizzazione geo-meccanica	60
7.	RICOSTRUZIONE GEOTECNICA – GEOMECCANICA LUNGO IL TRACCIATO61	
8.	BIBLIOGRAFIA	63

ALLEGATI:

- ALLEGATO 1 – analisi geomeccaniche mediante Roclab
- ALLEGATO 2 – stratigrafia sondaggio SLI9
- ALLEGATO 3 – stratigrafia sondaggio SLI12
- ALLEGATO 4 - stratigrafie in bozza dei sondaggi SLH10 ed SLH11
- ALLEGATO 5 - restituzione prove down-hole nei fori di sondaggio SLH10 ed SLH11
- ALLEGATO 6 – descrizione ed interpretazione prove di fratturazione idraulica eseguite nel sondaggio SLI12

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 5 di 63</p>

1. PREMESSA

In fase di Progetto Esecutivo è stato effettuato uno studio geologico finalizzato alla raccolta delle conoscenze ritenute necessarie per impostare correttamente la progettazione esecutiva per la realizzazione dello scavo della Finestra d'accesso Cravasco, nell'ambito dei lavori di realizzazione della linea AV/AC del Terzo Valico Ferroviario dei Giovi.

Lo scavo della galleria si sviluppa in diverse formazioni. A partire dall'imbocco si prevede di attraversare inizialmente le Dolomie del Monte Gazzo, per poi incontrare i Calcari di Gallaneto per un tratto di circa 100m di lunghezza. Nel tratto centrale lo scavo avverrà essenzialmente all'interno degli Argilloscisti Neri (Mn); infine, a partire dalla PK 0+800 circa fino all'innesto con la galleria di linea si attraverseranno un'alternanza di Argilloscisti Neri (Mn) e Argilloscisti Filladici (f).

La galleria ha una lunghezza totale di circa 1260m e presenta coperture massime di circa 250m in chiave calotta.

La presente relazione ha per oggetto la caratterizzazione geotecnica delle principali formazioni geologiche presenti nell'area d'intervento.

Essa si articola come segue:

- il capitolo 2 elenca i documenti, le normative e la bibliografia di riferimento.
- il capitolo 3 riporta un inquadramento geologico geomorfologico idrogeologico di sintesi riprendendo quanto descritto nei relativi elaborati di progetto;
- il capitolo 4 riporta un riepilogo delle indagini geotecniche disponibili effettuate nelle diverse fasi per la progettazione preliminare, definitiva e per l'attuale fase di progettazione esecutiva;
- il capitolo 5 descrive i criteri di interpretazione delle indagini geotecniche,
- il capitolo 6 riporta la caratterizzazione geotecnica la classificazione 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 capitolo 5, definendo infine la sintesi dei parametri geotecnici.
- Il capitolo 7 presenta una ricostruzione geotecnica-geomeccanica lungo il tracciato dell'opera in esame

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 6 di 63</p>

2. DOCUMENTAZIONE, NORMATIVA E STRUMENTI TERRITORIALI DI RIFERIMENTO

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

2.1 Documentazione di riferimento

- Profilo geologico - geotecnico longitudinale lungo il tracciato della galleria naturale
- 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.
- 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 il presente lavoro 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"
- 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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	
	<p>IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00</p>	<p>Foglio 7 di 63</p>

- 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".

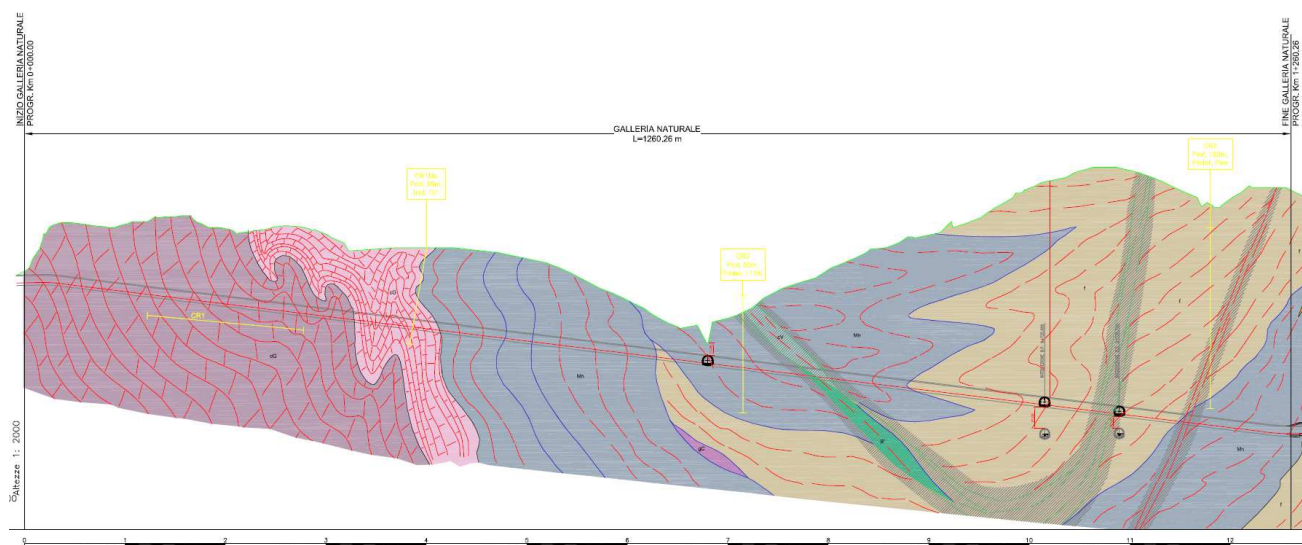
GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00	Foglio 8 di 63

3. INQUADRAMENTO DELL'OPERA

3.1 Inquadramento generale

L'opera in oggetto rientra nella realizzazione di una Finestra di accesso per la galleria del III Valico.

In particolare la galleria oggetto di analisi si estende dalla progressiva iniziale fino alla progressiva PK 1+260.26 in corrispondenza della la zona d'innesto con la galleria naturale di linea.



3.2 Inquadramento geologico-geomorfologico

L'area di studio si colloca nella zona di giustapposizione tra i domini orogenici alpino e appenninico (Figura 1), nota in letteratura come "nodo collisionale ligure" (Laubscher at. al., 1992); questo settore ad elevata complessità strutturale è stato recentemente oggetto di una dettagliata revisione cartografica con la realizzazione del nuovo foglio CARG n° 213-230 "Genova" in scala 1:50.000 (Capponi et al., 2009).

Nell'area del Foglio Genova è possibile distinguere, da ovest verso est, tre settori caratterizzati dall'associazione di unità di crosta oceanica e di mantello, unità di margine continentale e unità costituite da flysch (Figura 1):

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.

I litotipi dell'Unità Voltri hanno registrato un picco metamorfico eclogitico mentre la riequilibratura metamorfica delle rocce dell'Unità Palmaro-Caffarella è limitata alla facies

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00</p> <p>Foglio 9 di 63</p>

scisti-blu (Federico et al. 2004). La distinzione sicura tra i litotipi delle due unità è in genere possibile solo a scala microscopica, in base ai caratteri mineralogico-petrografici.

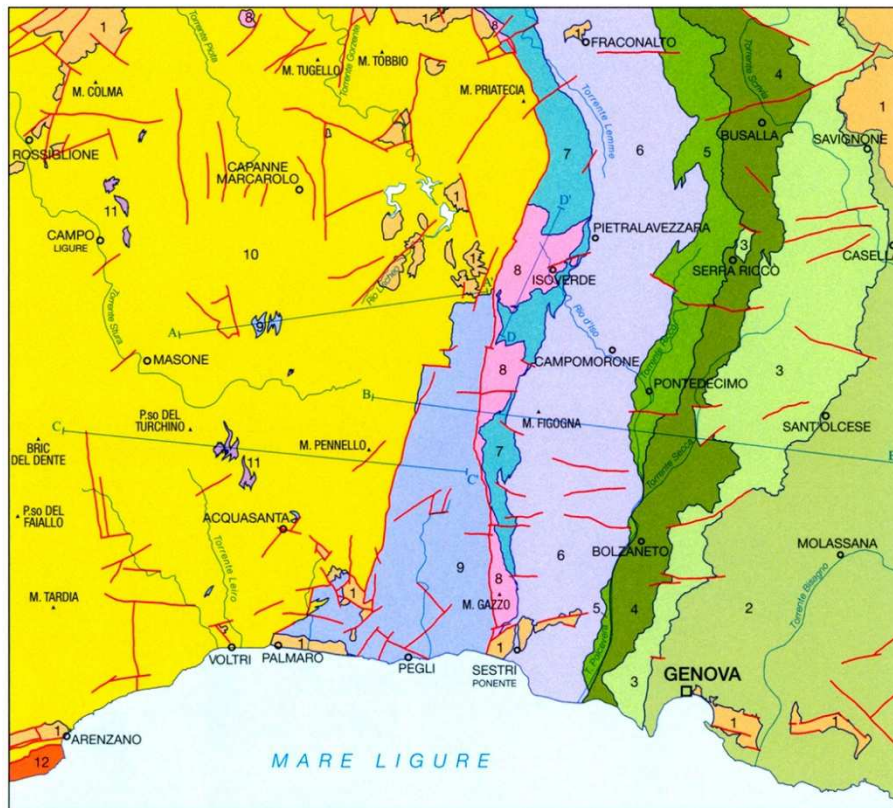
2. la **Zona Sestri-Voltaggio** *auct.* (nel seguito ZSV): è costituita da tre unità tettonometamorfiche, di cui due ofiolitiche (Cravasco-Voltaggio e Figogna) e una di margine continentale (Gazzo-Isoverde).

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.

SCHEMA TETTONICO



- 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-pirosseno, 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 1 - Schema tettonico dell'area interessata dal progetto (tratto dal foglio CARG "Genova").

La ZSV è in contatto a W con le unità tettonometamorfiche Voltri e Palmaro-Caffarella lungo 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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00	Foglio 11 di 63

appenninica, anche se le interpretazioni sulla sua natura sono spesso discordanti: faglia trasforme (Elter & Pertusati, 1973), sovrascorrimento (Cortesogno & Haccard, 1984) o faglia estensionale (Hoogerduijn Strating, 1994).

Questa zona di deformazione regionale è attualmente ritenuta un canale di concentrazione preferenziale della deformazione che, lungo di essa, si è ripetutamente scaricata, in momenti diversi della storia evolutiva della catena e in regimi tettonici corrispondenti a livelli strutturali differenti (Capponi et al. 2009).

Ad E, la Zona Sestri-Voltaggio è in contatto con le unità tettoniche di basso grado che compongono il dominio dei Flysch Appenninici.

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 collocano il sito di intervento e le zone limitrofe, è ubicato nell'areale di affioramento della (ZSV); verranno quindi di seguito brevemente descritti i litotipi delle tre unità tettonometamorfiche che la compongono e cioè Cravasco-Voltaggio, Figogna e Gazzo-Isoverde.

Le sigle e le età geologiche riportate a fianco dei nomi delle formazioni descritte fanno riferimento alla legenda CARG.

3.3 Unità tettonometamorfica Gazzo-Isoverde

L'Unità Gazzo-Isoverde è costituita da un nucleo di dolomie di età norica (Dolomie del M.Gazzo), equivalenti alla Dolomia Principale del sudalpino, con al tetto lembi preservati di unità bacinali a sedimentazione mista carbonatica/silicoclastica (Serie di Gallaneto-Lencisa e meta-argilliti di Bessega).

3.3.1 Dolomie del Monte Gazzo

MDG, Carnico sup.–Norico (dG nella cartografia di PE)

Dolomie e calcari dolomitici, di colore da grigio chiaro a nerastro, ricristallizzati, spesso saccaroidi. Tessitura grossolanamente stratificata, con spessore degli strati variabile in media tra 0.5 e 2 m, ma con banchi potenti fino a 10 m ca., costituiti da strati decimetrici rinsaldati. Sono frequenti le intercalazioni di metapeliti e di calcari marnosi giallastri. La stratificazione non è sempre facilmente riconoscibile anche a causa della deformazione tettonica. Verso l'alto stratigrafico sono presenti filoni sedimentari e breccie intraformazionali ad intraclasti dolomitici scuri fino a nerastrati. Raramente sono conservate strutture sedimentarie (tappeti algali, oospariti, intramicrospariti e fossili). La porzione superiore della serie è costituita da dolomicriti nerastre e facies di breccia.

I sistemi di fratture presenti sono sede di frequenti fenomeni carsici, associati a condotti di dimensioni metriche, impostati lungo le discontinuità e particolarmente sviluppati nel settore centro-meridionale dell'unità. Il sistema carsico della Dolomia del Gazzo costituiva un acquifero significativo, che presumibilmente è stato modificato dalla perforazione del tunnel ferroviario di Borzoli, diretto al porto di Voltri. Tuttavia sul versante della Val Chiaravagna vi sono sorgenti ancora

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00	Foglio 12 di 63

attive. Sono inoltre presenti diverse cavità carsiche oggetto di esplorazione, segnalate nel database “Gestionale Speleologico Ligure” (<http://www.catastogrotte.net>).

3.3.2 Gessi del Rio Riasso (“Gessi, anidriti e carnirole” nella cartografia PE)

GSR, Norico (gc nella cartografia di PE)

Si tratta di gessi saccaroidi associati a calcari vacuolari, brecce dolomitiche e anidriti, osservabili solo in alcuni limitatissimi affioramenti lungo il Rio Riasso e tra Cravasco e Isoverde.

Le note illustrative del foglio Genova riportano non meglio precisate “fonti storiche” da cui risulta che i gessi siano stati oggetto di coltivazione in sottosuolo nell’area tra Cravasco e il Passo della Bocchetta; nella zona di Isoverde sono riportati problemi di instabilità, a causa sia di fenomeni di dissoluzione, sia del probabile collasso di gallerie realizzate all’epoca della coltivazione.

Da una ricerca più approfondita sono emerse ulteriori informazioni di interesse, di cui si darà una descrizione più precisa nel successivo par. 0.

Non sono noti in superficie affioramenti di anidriti, la cui presenza in profondità è però attestata da alcuni carotaggi profondi realizzati nell’area. È probabile che le anidriti esposte in superficie si siano idratate in gesso, mentre in profondità esse si siano mantenute inalterate.

L’associazione di questi litotipi suggerisce un ambiente costiero di transizione, con locali emersioni. La posizione stratigrafica di questa formazione è ambigua: per alcuni autori alla base della successione stratigrafica triassico-liassica, per altri al *top* delle dolomie e calcari dolomitici e al *bottom* dei Calcari di Gallaneto. Al *top* delle dolomie e dei calcari dolomitici sarebbe stato riconosciuto, nell’evoluzione del bacino deposizionale, un progressivo avvicinamento a condizioni evaporitiche. Le note illustrative del CARG propendono per questa seconda interpretazione.

Cenni sui fenomeni di instabilità legati alla presenza di gessi nell’area di Isoverde

L’area circostante l’abitato di Isoverde (Comune di Campomorone, GE) è stata interessata, in passato, da un’attività estrattiva relativamente diffusa in relazione alla presenza di lenti di gessi, riferibili alla formazione dei Gessi del Rio Riasso (cfr. § 3.3.2).

Le notizie bibliografiche più antiche risalgono alla prima metà dell’800 (Fusinieri, 1831; Barelli, 1835), da cui risulta che i gessi coltivati venivano già allora ampiamente impiegati nella produzione di calce; i gessi lavorati nelle fabbriche di Isoverde, di ottima qualità (almeno per l’epoca) provvedevano “... *non solamente alla consumazione di Genova e suo circondario, ma ben anche ad altri paesi*” (Barelli, 1835).

Di parte di queste coltivazioni, alcune delle quali anche effettuate in sotterraneo tramite la realizzazione di cunicoli di accesso, si è persa traccia nel tempo, cosicché lo sviluppo urbanistico del centro abitato ha portato a locali interferenze con le cavità sotterranee, il cui cedimento ha talora dato origine a fenomeni di dissesto a carico di edifici e infrastrutture (Vezzolla, 2006)

Secondo una relazione edita dalla società S.G.G. di Savona per la sistemazione del versante in prossimità della chiesa di Isoverde, in relazione alla presenza sprofondamenti superficiali legati al

collasso di cavità nei gessi (Vezzolla, 2006), le coltivazioni a Isoverde avvenivano attraverso pozzi e gallerie suborizzontali, spinte fin sotto all'alveo del torrente e furono in gran parte abbandonate a causa di difficoltà nel contenimento delle piene, di fenomeni di dissoluzione di tipo carsico e dell'eccessiva vicinanza ad alcune case già costruite. Le ricerche storiche condotte dall'autore citano tra l'altro un verbale di sopralluogo dell'aprile 1908 in cui "... si fa riferimento ad alcune cave nella zona dei Piani di Iso ove esistevano cinque aree estrattive", e poco oltre: "... già nel 1873 il Prefetto di Genova emetteva ordinanze di sospensione di alcune attività per gli effetti destabilizzanti indotti alla superficie".

Sempre secondo Vezzolla (2006) "... le cave aperte in zona dovrebbero essere almeno sei, di cui cinque nell'area del cimitero-campo sportivo e la sesta corrispondente all'alveo del Torrente Verde". I vecchi pozzi ad oggi non risultano più localizzabili direttamente né ispezionabili.

Diversi fornelli verificatisi nel tempo a Isoverde sono stati colmati periodicamente con inerte; tali vuoti interesserebbero principalmente il settore a monte del cimitero, il piazzale a valle della chiesa, il campo sportivo e la zona d'imbocco della prima tombinatura del rio Rizzolo.

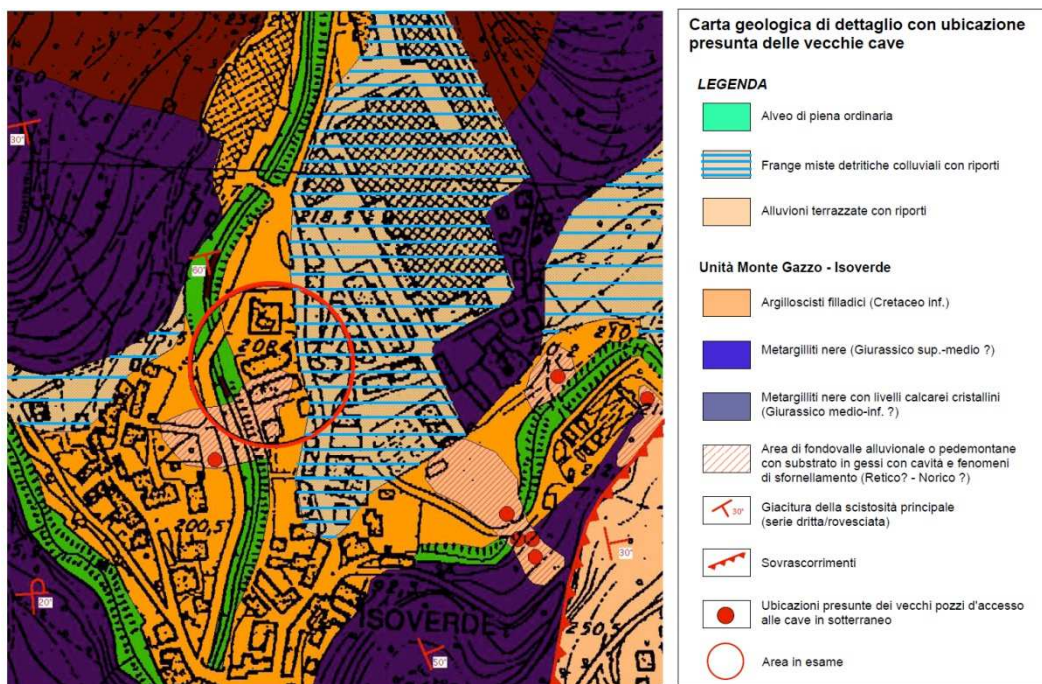


Figura 2 – Localizzazione dei principali pozzi (punti rossi) di accesso alle coltivazioni sotterranee nell'area urbanizzata di Isoverde (da Briano et al., 2009?).

Altri lavori di consolidamento, sempre a Isoverde, hanno riguardato il consolidamento del substrato di fondazione di alcuni edifici localizzati in Via Rebora, interessati da lesioni per progressiva accentuazione dei vuoti da dissoluzione nei gessi, legati principalmente a carsismo (Briano et al., 2011). Come riportato nel sito della società S.G.G. che è stata incaricata dell'intervento (<http://www.sggconsult.it>), "... il consolidamento è consistito nella creazione di un setto a bassa permeabilità in sponda sinistra del T. Verde, spinto fino alla profondità di circa 16 m al di sotto dell'alveo, e delle cavità individuate in fase d'indagine", nella realizzazione di alcuni setti secondari e nella ricostruzione del muro d'argine.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00 Foglio 14 di 63

In una seconda fase sono state realizzate iniezioni di intasamento dei vuoti presenti intorno agli edifici e opere di impermeabilizzazione e risistemazione dell'alveo del torrente, finalizzate a “... ridurre gli afflussi nelle vecchie gallerie estrattive e, pertanto, a rallentare i processi di dissoluzione accelerata della formazione gessosa ...”.

3.3.3 Serie di Gallaneto-Lencisa

Le Formazioni dei Calcari di Lencisa e dei Calcari di Gallaneto sono difficilmente distinguibili sul terreno, se non in base all'analisi del contenuto paleontologico. Affiorano sul fianco nord-orientale e sul fianco meridionale dell'unità tettonometamorfica Gazzo-Isoverde.

Calcari di Lencisa

LEN, Sinemuriano-Pliensbachiano (eN nella cartografia di PE)

Metacalcari grigi, grigio-neri e nocciola, con intercalazioni di livelli metapelitici, liste e noduli di selce. La stratificazione è solitamente riconoscibile, anche se appare trasposta, mentre a seconda dei litotipi considerati può essere presente anche un clivaggio più o meno evidente. Lo spessore degli strati varia da centimetrico a decimetrico.

Calcari di Gallaneto

GLL, Norico-Hettangiano (cG nella cartografia di PE)

Metacalcari grigi più o meno micacei, alternati a scisti pelitici e marnosi; verso l'alto stratigrafico si rinvencono calcari cristallini puri. La stratificazione è generalmente ben riconoscibile, mentre lo sviluppo del clivaggio è poco pervasivo. Lo spessore degli strati varia da decimetrico a metrico.

3.3.4 Meta-argilliti di Bessega (“Argilloscisti neri” nella cartografia PE)

MBG, Lias Sup.-Dogger (Mn nella cartografia di PE)

Meta-argilliti scistose grigio-scure e nere, più o meno siltose, organizzate in strati di spessore da centimetrico a decimetrico, con intercalazioni di calcari cristallini in strati da millimetrici a centimetrici. A tale unità sono state attribuite anche facies chiaramente scistose, a basso tenore in carbonati, organizzate in strati centimetrici talora filladici di colore bruno-grigiastro, che affiorano in modo discontinuo in sinistra idrografica della Val Bianchetta.

Le meta-argilliti di Bessega sono interpretate come depositi bacinali distali, disposti al tetto della successione Norica.

3.4 Unità tettonometamorfica Cravasco-Voltaggio

L'unità tettonometamorfica Cravasco-Voltaggio affiora con maggiore continuità a nord di Pietralavezzara, mentre verso sud essa si chiude lateralmente, restando compresa tra le unità

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00	Foglio 15 di 63

tettonometamorfiche Figogna e Gazzo-Isoverde. Le linee strutturali che delimitano l'unità a tetto e a letto immergono verso ENE con una giacitura che delinea una struttura regionale "a fiore", tipica di zone di taglio transpressive; in posizione intermedia tra le due unità si rileva un piano di possibile sovrascorrimento che porta a contatto gli scisti filladici di Larvego con le serpentiniti di Case Bardane.

3.4.1 Scisti filladici del Monte Larvego ("Argilloscisti filladici" nella cartografia PE)

LRV, Cretaceo inf. (f nella cartografia di PE)

Scisti filladici grigio-verdastri, fittamente laminati, con scistosità a spaziatura da millimetrica a centimetrica e superfici untuose al tatto e di aspetto sericeo, che in alterazione prendono un colore nocciola. Locali livelli di metasiltiti e metaareniti bruno scuro di spessore centimetrico e lenti di silice microcristallina biancastra, di spessore centimetrico. La scistosità principale descrive localmente pieghe da aperte a serrate.

Le filladi sono caratterizzate da diverse generazioni di scistosità, con fasce tettonizzate piuttosto ampie; gli affioramenti, a causa dell'alterazione, risultano di estensione ridotta, mascherati da una coltre detritica di alterazione piuttosto continua.

3.4.2 Calcari di Voltaggio

VOL, Malm? – Cretaceo Inf.? (cV nella cartografia di PE)

La formazione dei calcari di Voltaggio, nota anche con il termine di "calcaires pointillés" (Cortesogno & Haccard, 1979), affiora in forma di sottili scaglie essenzialmente a N di Cravasco; è costituita da calcari cristallini grigi, spesso a grana grossa, con livelli sottili ricchi in fillosilicati, che presentano almeno due scistosità sovrapposte (Marini, 1998). Generalmente questi litotipi presentano un'abbondante frazione quarzosa e micacea, indicante un'origine detritica.

Verso la parte basale della sequenza, al contatto con un orizzonte di diaspri, si possono incontrare alcuni metri di calcari cristallini bianchi, ricchi in quarzo microcristallino. Il limite stratigrafico inferiore è determinato dai diaspri o, in loro assenza, direttamente dall'unità basaltica di Cravasco; il limite stratigrafico superiore è rappresentato dal passaggio graduale agli scisti filladici.

L'ambiente di deposizione delle originarie sequenze calcareo-silicee e calcareo-marnose era presumibilmente di tipo pelagico. I calcari di Voltaggio presentano inoltre una spiccata analogia di facies con i calcari a Calpionella dell'Appennino settentrionale (Cortesogno & Haccard, 1984).

3.4.3 Metasedimenti silicei dell'Osteria dello zucchero

MHC, Malm? (d" nella cartografia di PE)

Si tratta di scisti silicei fortemente ricristallizzati di colore generalmente rossiccio, con contenuto variabile di fillosilicati e carbonati, nonché di metasedimenti silicei ematitici più o meno pelitici (ftaniti) a colorazione rosso-bruna, talora con livelli verdastri o grigi. Sono localmente presenti relitti

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00 Foglio 16 di 63

di radiolari non determinabili. Alla base sono caratterizzati da livelli verdi, spesso a componente detritica, passanti a più rare metareniti ofiolitiche; seguono in successione livelli prevalentemente rossi o neri, raramente verdi. Sono caratterizzate da diverse superfici di foliazione e nei livelli metarenitici sono presenti degli anfiboli sodici. Gli spessori sono sempre ridotti e vanno da pochi metri e pochi centimetri, sia per una loro modesta potenza originaria, sia per fenomeni di elisione tettonica.

3.4.4 *Metabasalti di Cravasco*

CVS, Malm? (B" nella cartografia di PE)

I metabasalti di Cravasco sono litotipi spesso foliati, con metamorfismo in facies scisti blu. Il protolite era rappresentato da basalti oceanici, anche a grana grossa, sia massicci che con tessitura a pillow, brecciate o a pillow-breccia. Affiorano essenzialmente in corrispondenza dell'area di Cravasco, nel settore di Fraconalto e in alcuni lembi più sottili sul versante W del M. Figogna.

3.4.5 *Serpentiniti di Case Bardane ("Serpentiniti e serpentinoscisti e oficalci" nella cartografia PE)*

SPV, Dogger – Malm (Se" nella cartografia di PE)

Si tratta di serpentiniti a crisotilo e antigorite con frequenti relitti mineralogici e tessiture di lherzolite.

Le serpentiniti, di colore da verdastro a grigio-verde chiaro, hanno tessitura da scistosa e intensamente laminata, con sviluppo di piani di clivaggio pervasivi, a spaziatura submillimetrica, con superficie liscia o untuosa al tatto; la tessitura può localmente divenire cataclastica, fino a ultracataclastica, in particolare in corrispondenza della zona di deformazione tettonica di Timone, un importante piano di taglio duttile-fragile che fa parte del più esteso sistema di deformazione della linea Sestri-Voltaggio.

All'interno delle serpentiniti si riconoscono pieghe disarmoniche a scala da centimetrica a plurimetrica, riferibili a pieghe di trascinamento di una foliazione preesistente, sviluppatasi nell'ambito di zone di taglio. Le facies deformate (brecce, cataclasiti, ultracataclasiti e gouge) possono avvolgere litoni di forma amigdalare, meno deformati ma comunque intensamente fratturati e brecciati, da centimetrici a metrici. Localmente si osservano fasce brecciate con litoni allungati metrici o plurimetrici, circondati da zone di taglio cataclastico da decimetriche a metriche, percentualmente subordinate, che definiscono un pattern anastomosato.

Sono spesso presenti minerali asbestiformi visibili ad occhio nudo, concentrati lungo piani di frattura o in vene estensionali.

Le serpentiniti affiorano in lembi isolati tra gli scisti di Larvego (§ 3.4.1) e le argilliti di Bessega (§ 3.3.4), a sud e a est di Isoverde e Paravanico e non interessano il sito di intervento.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00 Foglio 17 di 63

3.5 Unità tettonometamorfica Figogna

Include le formazioni degli argilloscisti di Murta, degli argilloscisti di Costagiutta, dei metacalcari di Erzelli, dei metasedimenti silicei della Madonna della Guardia, dei metabasalti del M. Figogna e delle serpentiniti del Bric dei Corvi (zona di deformazione di Scarpino). Di queste, solo le prime due interessano direttamente il settore in cui si situa l'intervento in progetto.

I metabasalti, relativamente indisturbati da Borzoli al M. Figogna, sono interessati, nel settore occidentale, da numerose faglie transpressive dirette N-S e a vergenza W, che delincono dei *duplex* della sequenza serpentiniti-metabasalti.

Queste strutture sono associate a tessiture cataclastiche, soprattutto nelle serpentiniti, che nella sequenza serpentinite/basalto sembrano agire da orizzonte plastico, assorbendo la maggior parte della deformazione. A ridosso del limite occidentale dell'unità si osservano nuovamente scaglie dei termini bacinali sedimentari, pinzate tra le metabasiti e le unità Cravasco-Voltaggio e Gazzo.

Nel Foglio Genova del progetto CARG l'unità Figogna è interpretata come una serie ofiolitifera rovescia (fianco rovescio di una piega plurichilometrica coricata), successivamente ripiegata a formare una struttura regionale sinforme; le fasi deformative più recenti riattiverebbero i contatti tra le singole formazioni, costituendo superfici di scollamento principali lungo cui si determina un *thrusting* vero e proprio interno all'unità.

Secondo un'ipotesi alternativa, più coerente con osservazioni inedite di terreno (dati non pubblicati), la parte occidentale dell'unità Figogna ricade all'interno di una potente fascia di deformazione tettonica, che arriva a comprendere le dolomie del Gazzo, ed è caratterizzata da due piani di deformazione cataclastica di estensione regionale, riferibili a un regime deformativo di tipo transpressivo (*zona di deformazione di Timone*, coincidente con le serpentiniti di Case Bardane e *zona di deformazione di Scarpino*, coincidente con le serpentiniti del Bric dei Corvi).

Sulla base della ricostruzione dell'andamento regionale di queste zone di taglio, appare verosimile che la presunta struttura a piega rovesciata sia in realtà una zona a scaglie dove la sequenza dei litotipi è ripetuta per sovrascorrimento in un contesto regionale transpressivo, come del resto già messo in evidenza dalle note illustrative del CARG.

3.5.1 Serpentiniti del Bric dei Corvi ("*Serpentiniti, serpentinoscisti e oficalci*" nella cartografia PE)

SPF, Dogger-Malm (Se' nella cartografia di PE)

Serpentiniti a crisotilo, antigorite e lizardite, a tessitura cataclastica con fenomeni di deformazione duttile legati a pieghe di trascinamento disarmoniche e a strutture di flusso cataclastico sviluppate attorno a litoni di relitti lherzolitici, serpentinitici o di oficalci. Sono localmente presenti filoni di metabasalti rodingitizzati.

Sono distribuite sul fianco occidentale del M. Figogna e allungate in direzione N-S a definire una fascia di taglio cataclastico di potenza pluriettometrica, immergente verso E con inclinazioni medie comprese tra 45° e 65°.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00
	Foglio 18 di 63

3.5.2 Metabasalti del Monte Figogna ("Metabasalti" nella cartografia PE)

MBF, Malm (B' nella cartografia di PE)

Metabasalti massivi e a pillow, con orizzonti di brecce basaltiche a tessitura fluidale, più raramente in filoni massicci a tessitura doleritica. Localmente sono presenti metadioriti in filoni di spessore da decimetrico a metrico, a tessitura granulare, con fenomeni di autoclastesi ai bordi. I metabasalti si presentano poco deformati; un accenno di scistosità è più evidente dove si osserva lo stiramento dei pillow, che raramente è accentuato.

Nelle parti centrali della formazione si osservano brecce basaltiche non deformate, con matrice a tessitura fluidale evidenziata da tessiture vacuolari primarie preservate. Presso la cresta spartiacque del M. Figogna sono osservabili facies ialoclastitiche vere e proprie. Più a S, nella cava di Borzoli, ubicata nella parte bassa in asse alla struttura, sono presenti orizzonti di oficalci, interessati da campi di fratture tensionali suturate da calcite.

A N della dorsale del M. Figogna, i metabasalti affiorano in lembi allungati e discontinui, all'interno della formazione degli argilloscisti di Costagiotta (3.5.6), dove sono frequentemente associati a lembi di metasedimenti silicei (3.5.3), metacalcari (3.5.4) e metaoficalciti (3.5.5).

3.5.3 Metasedimenti silicei della Madonna della Guardia

MHF, Malm? (dM nella cartografia di PE)

Formano lembi sottilissimi e discontinui, sempre in associazione con i basalti nella caratteristica posizione stratigrafica che questi depositi conservano nelle successioni ofiolitifere. Possono essere rappresentati da scisti silicei, rossi o più raramente verdi e da ftaniti zonate con sporadici livelli radiolaritici, oppure da scisti quarzosi rosso-rosati, fittamente foliati e con giunti e vene. Il loro spessore medio non supera di solito i pochi metri (Marini, 1998). Localmente sono intercalati a peliti grigie e possono presentare livelli inquinati da prodotti vulcanoclastici (zona ad ovest del M. Figogna; Cortesogno & Haccard, 1984). Differiscono dai diaspri appartenenti alle serie Liguridi, in quanto queste ultime mostrano caratteri marcatamente propri di radiolariti e selci.

3.5.4 Metacalcari di Erzelli

ERZ, Malm? – Cretacico Inf.? (cE nella cartografia di PE)

Calcari microcristallini finemente arenacei di spessore fino a pluridecimetrico, talora foliati, con giunti pelitici; in alcuni strati sono osservabili tracce di gradazione torbiditica (Marini, 1998). Questa formazione è stata definita anche come "calcareniti" (Cortesogno & Haccard, 1984), e "calcaires en bancs" (Haccard, 1976).

La formazione è costituita da una sequenza serrata di strati deformati di calcari grigi a patina d'alterazione bianco-cinerina; sono riferibili a calcari micritici, spesso impuri per una più o meno abbondante frazione terrigena silicoclastica (soprattutto argilla e quarzo detritico) e con giunti di emipelagiti argillose nere; nelle zone ove questi sono più importanti, gli strati calcarei si presentano

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00	Foglio 19 di 63

spesso boudinati. Accentuati processi di ricristallizzazione sono evidenziati dalla presenza di strati foliati con livelli di fillosilicati concentrati nell'intervallo pelitico maggiormente marnoso.

Gli strati calcarei maggiormente arenacei conservano alla base evidenti laminazioni sedimentarie e mostrano le caratteristiche di originarie torbiditi; la non trascurabile componente terrigena torbiditica farebbe presumere ambienti di deposizione pericontinentali (Marini, 1998).

La potenza è stimata in poche decine di metri, non superando i 50-60 metri nelle zone di migliore affioramento (Est di Erselli; M. Figogna).

3.5.5 *Metaoficalciti di Pietralavezzara*

PLV, Dogger? – Malm? (of' nella cartografia di PE)

Brecce tettoniche di fondo oceanico, talvolta rimaneggiate, a clasti prevalentemente serpentinitici e a cemento carbonatico, in corpi di dimensioni da decametriche a chilometriche affioranti principalmente tra Pietralavezzara e il Passo della Bocchetta.

3.5.6 *Argiloscisti di Costagiutta*

AGI, Cretacico inf. (AGI quando distinti nella cartografia di PE, aP quando indifferenziati)

Alternanze di argiloscisti e di calcari cristallini, 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 sequenza.

Lo spessore degli strati è generalmente centimetrico, ma nella parte alta della sequenza si osserva stratificazione più irregolare con stati decimetrici ed interstrati pelitici foliati. Sono frequenti noduli allungati e liste di quarzo microcristallino biancastro. Le giaciture individuate sono frequentemente la media di una stratificazione disturbata da serie di pieghe più o meno frammentate; la scistosità descrive pieghe ad "S" decimetriche e pieghe strizzate centimetriche. Nel settore verso la Val Polcevera, la formazione mantiene una vergenza analoga alle altre unità riconosciute nella valle. L'unità affiora diffusamente ad E della dorsale del M. Figogna e in misura minore sul suo lato occidentale, dove il limite tettonico inferiore è il contatto con le unità Gazzo e Cravasco-Voltaggio. Nel settore meridionale affiora soprattutto lungo il T. Chiaravagna ed è segnalata in scavi di fondazione e sondaggi. Nel settore settentrionale si estende diffusamente fin oltre il confine regionale, da Pietralavezzara fin oltre Fraconalto.

3.5.7 *Argiloscisti di Murta*

AGF, Cretacico inf. (AGF quando distinti nella cartografia di PE, aP quando indifferenziati)

Alternanza di argiloscisti filladici grigio scuro e grigio argenteo, a patina sericitica, con intercalazioni di sottili straterelli calcarei di spessore centimetrico (1-2 cm), di metasiltiti e metaareniti fini di colore grigio chiaro, nocciola in alterazione, con laminazioni piano-parallele localmente convolute. Gli strati

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 20 di 63</p>

hanno generalmente spessore da centimetrico a decimetrico; sono presenti orizzonti con strati fino a 30 centimetri di argilliti e metasiltiti.

Il rapporto stratimetrico metaareniti/metapeliti è di 1:2. Le superfici di strato su roccia fresca sono normalmente lucide, con veli di sericite talcosa al tatto; presentano talvolta tracce di scivolamento ed aspetto vetrificato (fenomeni di dinamometamorfismo).

Possono essere presenti noduli allungati e liste di quarzo microcristallino biancastro. I limiti con le Unità sopra e sottostanti sono di tipo tettonico.

Al suo interno l'unità presenta giaciture vergenti ad E, presso il limite con il Flysch di Mignanego; spostandosi verso W le giaciture seguono l'andamento delle pieghe alla macroscale, ma sono raramente significative, poiché la stratificazione è disturbata da fitte sequenze di pieghe strizzate a piccolo raggio con assi orientati circa NNE-SSW.

L'unità mostra intensi fenomeni di alterazione, infatti l'orizzonte pedogenizzato può superare i 4 m di spessore, senza contare l'accumulo di detrito di versante. I processi pedogenetici conferiscono alle superfici sericitiche un tipico aspetto di color nocciola grigiastro chiaro.

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).

3.6 Depositi pliocenico-quadernari

L'area di studio presenta caratteristiche differenti a seconda dei litotipi che costituiscono il substrato. Non essendo mai stata soggetta a glaciazioni, i meccanismi evolutivi predominanti sono guidati dalla pedogenesi, dalla gravità e dalle acque superficiali.

3.6.1 Coltri superficiali di versante

Hanno caratteri differenti a seconda della litologia del substrato:

- in generale metabasalti, lherzoliti e serpentiniti sono caratterizzati da coltri di detrito di versante di spessore esiguo, a granulometria grossolana, con affioramenti frequenti e di buon rilievo morfologico;
- serpentiniti tettonizzate, calcescisti e metagabbri sono invece marcatamente soggetti ai fenomeni pedogenetici; spesso in affioramento si osserva l'orizzonte C del suolo - denudato dall'erosione - in cui si riconoscono ancora i principali caratteri tessiturali (foliazione, pieghe) e il litotipo originario si presenta argillificato. In queste condizioni sulle parti basse dei versanti si accumulano depositi medio-fini con spessori anche superiori ai 3-4 m.
- I litotipi argillitici e flyschoidi della Val Polcevera sono molto sensibili alla pedogenesi; e in tutta l'area l'orizzonte di decarbonatazione si spinge nel substrato fino a 3-4 m di profondità ad eccezione delle aree di cresta, maggiormente soggette all'erosione, dove è possibile individuare affioramenti più estesi; la parte bassa dei versanti presenta coperture di detrito di

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 21 di 63</p>

versante (tipicamente un diamicton a supporto di matrice limoso-sabbioso-argillosa) che superano generalmente i 3 m di spessore.

3.6.2 Accumuli di frana

Nell'area di studio è presente un numero relativamente esiguo di depositi di frana. Sulle successioni flyschoidi della Val Polcevera i depositi di frana sono generalmente poco potenti, impostati nei depositi di versante a granulometria fine e costituiti da una frazione limoso-argillosa non trascurabile, quindi almeno parzialmente coesivi; si attivano per lo più come colate, ma perdono rapidamente evidenza morfologica a causa della densa vegetazione.

Modesti corpi franosi interessano i versanti impostati nelle metabasiti e metaultrabasiti, dove sono solitamente costituiti da accumuli caotici di ciottoli e blocchi in matrice ghiaioso-sabbiosa localmente scarsa o assente.

Locali depositi di frana di crollo sono presenti alla base delle pareti rocciose e sono costituiti da blocchi di pezzatura da decimetrica a plurimetrica in scarsa o assente matrice ghiaioso-sabbiosa, non coesiva.

3.6.3 Depositi alluvionali

Sono costituiti principalmente da ghiaie medie e grossolane a matrice sabbiosa e da ghiaie e sabbie limose.

I torrenti minori dell'area, tributari del Polcevera (che è il principale corso d'acqua dell'area e quello in cui i depositi alluvionali sono più sviluppati), presentano sempre materassi alluvionali costituiti da ghiaie sabbiose di spessore per lo più inferiore a 1-2 m lungo i tratti d'asta montani, che aumenta rapidamente allo sbocco sulla stretta fascia costiera.

La Val Polcevera è occupata in buona parte da depositi alluvionali grossolani, con spessori che variano da pochi metri fino a decine di metri di profondità. Dati di sondaggi mettono in evidenza anche settori con matrice a forte componente limosa e subordinatamente argillosa. Verso lo sbocco a mare tali livelli raggiungono un notevole spessore (pluridecimetrico). Lo spessore dei depositi alluvionali (Pliocene inferiore) è per lo più irregolare poiché essi colmano una superficie erosionale che, verso il settore a mare, può raggiungere i - 30/- 35 m rispetto all'attuale livello marino.

3.7 Inquadramento Idrogeologico

Per quanto riguarda l'inquadramento idrogeologico si rimanda alla Relazione Idrogeologica relativa all'opera in oggetto (IG51-02-E-CV-RO-GN14-H0-002)

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00 <div style="float: right;">Foglio 22 di 63</div>

4. INDAGINI ESEGUITE

Il progetto si è sviluppato in diverse fasi progettuali alle quali sono corrisposte altrettante campagne di indagine. Nel seguito sono riportati i sondaggi e le indagini geofisiche attraverso le quali si è proceduto a caratterizzare le formazioni presenti lungo il tracciato della galleria.

Dolomie del Monte Gazzo (dG)

Campagna di indagini P.P. (2001-2002)

- AA301G059

Campagna di indagini P.D. (2004)

Nessun dato disponibile

Campagna di indagini integrative P.D. (2005)

Nessun dato disponibile

Campagna di indagini P.E. Lotto 1 (2012-2013)

- SI15

Campagna di indagini P.E. Lotto 2

Nessun dato disponibile

Calcari di Gallaneto (cG)

Campagna di indagini P.P. (2001-2002)

Nessun dato disponibile

Campagna di indagini P.D. (2004)

Nessun dato disponibile

Campagna di indagini integrative P.D. (2005)

Nessun dato disponibile

Campagna di indagini P.E. Lotto 1 (2012-2013)

Nessun dato disponibile

Campagna di indagini P.E. Lotto 2

- L2-CR1bis

Per la formazione sopra indicata è stata possibile confrontare i dati a disposizione in fase di progetto definitivo con i risultati emersi dal sondaggio L2-CR1bis.

Metargilliti nere (Mn)

Campagna di indagini P.P. (2001-2002)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 23 di 63</p>

Nessun dato disponibile

Campagna di indagini P.D. (2004)

Nessun dato disponibile

Campagna di indagini integrative P.D. (2005)

Nessun dato disponibile

Campagna di indagini P.E. Lotto 1 (2012-2013)

Nessun dato disponibile

Campagna di indagini P.E. Lotto 2

L2-CR2

Per tale formazione sono stati confermati i dati ricavati in fase di PD grazie al sondaggio denominato L2-CR2. Tale formazione dai rilievi eseguiti in situ risulta assimilabile, dal punto di vista geomeccanico, ai Calcari di Gallaneto.

Fasce milionitiche e Argilloscisti filladici (f)

Campagna di indagini P.P. (2001-2002)

Nessun dato disponibile

Campagna di indagini P.D. (2004)

- SL42
- SR11
- SR12
- SR13

Campagna di indagini P.E. Lotto 1 (2012-2013)

Nessun dato disponibile

Campagna di indagini P.E. Lotto 2

L2-CR3

In fase di PE si è disposta delle informazioni derivanti dal sondaggio L2-CR3. Per tale formazione si farà anche riferimento alla classificazione degli argilloscisti effettuata in fase di PE.

4.1 Indagini eseguite nell'area in oggetto

I dati stratigrafici e geotecnici riportati nella presente relazione e nel profilo geologico - geomeccanico sono stati desunti dai risultati delle indagini geotecniche in situ e di laboratorio condotte nell'area durante le seguenti campagne di indagine (cfr. elaborato "Planimetria ubicazione indagini geognostiche e Figura 4-1):

- campagna di indagine effettuata durante la fase di progetto preliminare;

- campagna di indagine effettuata durante la fase di progetto definitivo;
- campagna di indagine effettuata in fase di progetto esecutivo.

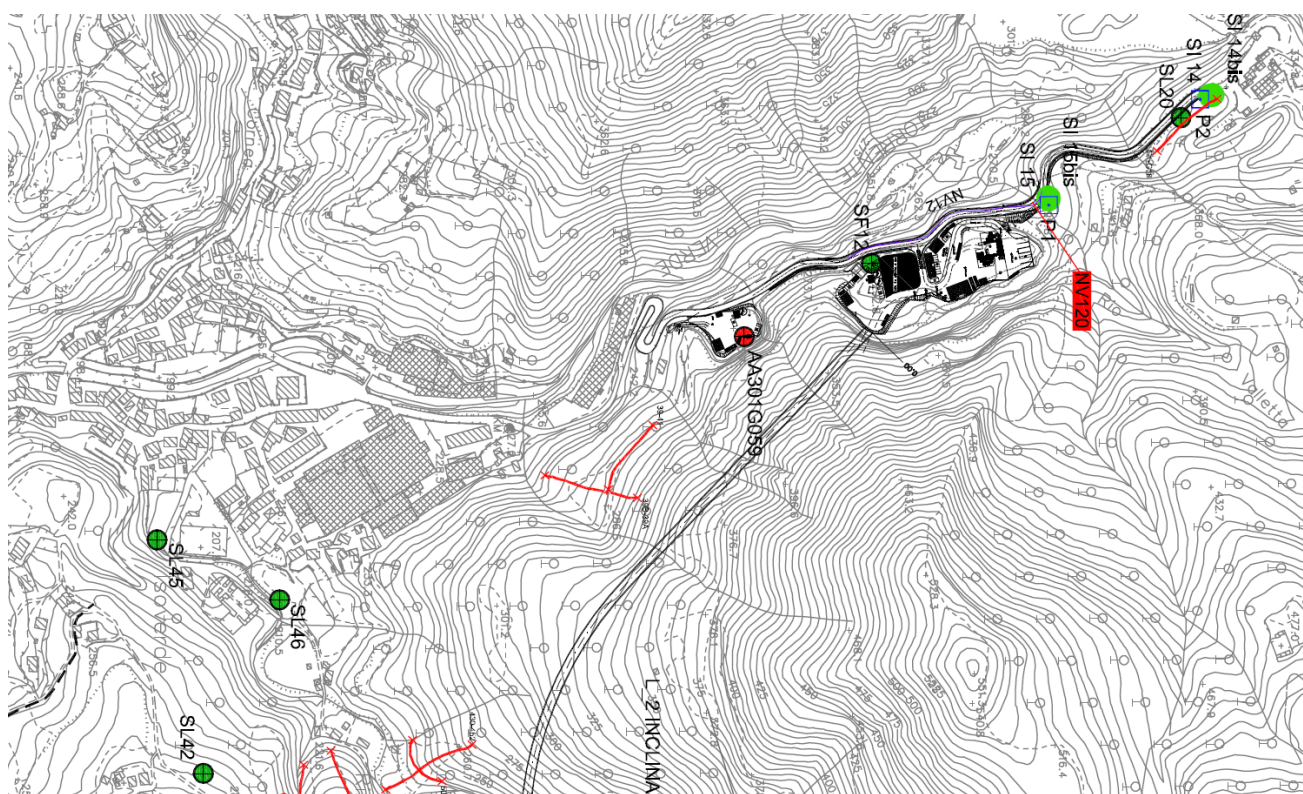


Figura 4-1 Stralcio planimetria indagini eseguite (zona di imbocco)



Figura 4-2 Legenda indagini geognostiche.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00	Foglio 25 di 63

Di seguito si descrivono sinteticamente le indagini eseguite nell'area in esame nel corso delle varie fasi progettuali.

In prossimità dell'imbocco della finestra Cravasco sono presenti tre sondaggi: l'AA301G059 (PP), l'SI15 (PE) e l'SF12 (PD). Il primi due hanno intercettato le Dolomie del Monte Gazzo fornendo i principali valori per la caratterizzazione geomeccanica, il terzo, eseguito a distruzione di nucleo per installare un piezometro, ha mostrato la presenza di calcari cristallini. Più in lontananza sono presenti i sondaggi SL20 e SI14, dai quali emerge la presenza di calcari di Voltaggio sub affioranti. Proseguendo dall'imbocco verso l'innesto, sul lato destro sono presenti tre sondaggi: l'SL 45, SL46 e SI42; i primi due mostrano la presenza di gessi e non verranno quindi considerati nel seguito, mentre l'SL42 indica la presenza di Argilliti filladiche.

Infine in prossimità dell'innesto è stato eseguito il sondaggio profondo di linea SR11.

4.2 Dati disponibili in corrispondenza dell'opera

Sondaggi geognostici

In corrispondenza del tracciato dell'opera sono presenti i seguenti sondaggi geognostici:

- AA301G059: il sondaggio, eseguito a rotazione a carotaggio continuo per una profondità di 50m, ha individuato un substrato costituito da calcare metamorfico dolomitico (Dolomie del Monte Gazzo). Sono state eseguite n°3 prove dilatometriche, n°2 prove di compressione monoassiali e sono stati forniti i log stratigrafici delle cassette. Sono state inoltre effettuate n°4 prove Lugeon
- SI 15: il sondaggio, eseguito a rotazione a carotaggio continuo per una profondità di 20m, ha individuato un substrato costituito da calcare metamorfico dolomitico (Dolomie del Monte Gazzo). Sono state eseguite n°1 prove dilatometriche, n° 1 prova down hole, n°2 prove di compressione monoassiali e sono stati forniti i log stratigrafici delle cassette. Sono state inoltre effettuate n°1 prove Lugeon
- L2-CR2: il sondaggio, eseguito per una profondità di 65m, ha individuato un substrato roccioso costituito da argilloscisti con noduli di calcite, rappresentativi della formazione degli Argilloscisti Neri. In corrispondenza di tale sondaggio sono state eseguite n.3 prove di Lugeon. Non risultano disponibili dati di prove di laboratorio.
- L2-CR3: il sondaggio è stato eseguito fino alla profondità di 180m ed ha individuato un substrato roccioso costituito da argilloscisti con noduli di calcite. Lungo lo sviluppo del sondaggio sono state eseguite n.3 prove Lugeon. Non risultano disponibili dati di prove di laboratorio.
- L2-CR1bis: sondaggio eseguito per una profondità di 95 m con inclinazione di 10°.

Linee sismiche a rifrazione

In adiacenza al tracciato, in prossimità del primo tratto della galleria a partire dall'imbocco, è stata eseguita la linea sismica 39-41 e la 39A-39B ad essa perpendicolare. Nel tratto successivo sono presenti altre linee sismiche (in particolare la 430-452 e la 500-507 ad essa perpendicolare). Tutte

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00	Foglio 26 di 63

le linee sismiche sopra descritte risultano traslate rispetto al tracciato e quindi l'attendibilità delle stesse per la ricostruzione geomeccanica risulta poco affidabile.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	
	<p>IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00</p>	<p>Foglio 27 di 63</p>

5. CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA - GEOMECCANICA

I criteri di interpretazione delle indagini geotecniche, descritti nei successivi paragrafi, tengono conto del fatto che lungo il tracciato in esame sono stati rinvenuti fundamentalmente formazioni rocciose. Per la ricostruzione geologica/geotecnica sono stati effettuati:

- sondaggi geotecnici con prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati;
- prove di permeabilità Lefranc e Lugeon in foro;
- prove dilatometriche in foro con dilatometro da roccia;
- prove down hole
- prove di laboratorio su provini di roccia prelevati nei fori di sondaggio;
- stendimenti di sismica a rifrazione;
- rilievi in situ

Lungo il tracciato della galleria in esame sono presenti le seguenti formazioni principali:

- Dolomie del Monte Gazzo
- Calcari di Gallaneto
- Metargilliti Nere
- Fasce milionitiche e Argilloscisti Filladici

5.1 Caratterizzazione degli ammassi rocciosi

La caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi verrà fatta facendo riferimento, oltre che alle prove in sito eseguite (prove dilatometriche e prove down-hole), 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:

- Il parametro **RMR** "Rock Mass Rating" verrà stimato sulla base di quanto descritto nel **paragrafo 5.1.1**; il parametro **GSI** (Geological Strength Index) verrà valutato con la seguente espressione (vedi Sjöberg, 1997):

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

- L'involuppo delle resistenze dell'ammasso roccioso in condizioni "undisturbed" o "disturbed" verrà valutato sulla base di quanto riportato in Brown & Hoek (1980), Hoek & Brown (1988), Hoek, Kaiser & Bawden (1995), Hoek et al (2002).
- Le caratteristiche di deformabilità dell'ammasso roccioso verranno stimate sulla base di quanto indicato da Hoek & Diederichs, 2006.

Maggiori dettagli verranno forniti nei successivi paragrafi

5.1.1 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):

1. 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

2. Qualità della roccia RQD (I2)

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

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
---------	---

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

5. 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

6. Condizioni delle superfici di discontinuità in termini di scabrezza (I6)

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

7. Caratteristiche del riempimento delle discontinuità (I7)

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00	Foglio 30 di 63

Tenero -> 5 mm	0
----------------	---

8. 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.

5.1.2 Criteri di rottura

In accordo a quanto riportato in Brown & Hoek (1980), 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:

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

essendo:

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

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

D = 0 per "undisturbed rock masses"

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 31 di 63</p>

$D = 0.4-0.6$ per “disturbed rock masses”

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

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. 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 (Figura 5-1).

2. L'applicazione di criteri di rottura analoghi per la roccia intatta e per l'ammasso roccioso, ove l'unica differenza è rappresentata dai valori di GSI , implica che, per $m_i = 10$, il rapporto tra la resistenza a trazione e la resistenza a compressione semplice della roccia intatta, è pari a $\cong 1/m_i$.

3. In presenza di ammassi rocciosi caratterizzati da marcata eterogeneità, ovvero da alternanza di strati competenti e di strati con caratteristiche geotecniche più scadenti, il valore di GSI valutato sulla base di RMR'89 verrà messo a confronto anche con quello stimabile sulla base della carta proposta da Hoek et al. (1998) e da Marinou & Hoek (2000) per formazioni flyshoidi. 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 in

Figura 5-2

4. In accordo a Sjöberg (1997), ai termini “undisturbed” e “disturbed” verrà attribuito un significato legato anche alle modalità di utilizzo dei parametri di resistenza nelle analisi ingegneristiche; in particolare:
 - Il criterio di rottura relativo alle “undisturbed rock masses” rappresenta la resistenza di picco dell'ammasso roccioso quando esso si trova in condizioni di pre-rottura.
 - Il criterio di rottura relativo alle “disturbed rock masses” rappresenta la resistenza media disponibile lungo superfici di scivolamento critiche in condizioni di incipiente rottura; ricorrendo a terminologie proprie della meccanica dei terreni tale resistenza può essere denominata “softened”.

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00 Foglio 32 di 63

- 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)
	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)	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	Diorite 25 ± 5		
		Dark	Granodiorite (29 ± 3)			
		Gabbro 27 ± 3	Dolerite (16 ± 5)			
		Norite 20 ± 5				
	Hypabyssal		Porphyries (20 ± 5)		Diabase (15 ± 5)	Peridotite (25 ± 5)
Volcanic	Lava		Rhyolite (25 ± 5)	Dacite (25 ± 3)	Obsidian (19 ± 3)	
			Andesite 25 ± 5	Basalt (25 ± 5)		
	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.

Figura 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)

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

Figura 5-2 Ammassi rocciosi eterogenei – Criteri di valutazione di σ_c e di m_i (Hoek et al.,1998; Marinós & Hoek, 2000)

5.1.3 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:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00 Foglio 35 di 63

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

$$E_o = G_o \cdot 2 \cdot (1 + \nu')$$

Moduli “operativi”

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

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

essendo:

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.

Ove non diversamente specificato, dal lato della sicurezza, nel caso dei fronti di scavo (sostenuti e non) e di fondazioni dirette verranno adottati i seguenti valori di D:

- Fondazioni dirette, rilevati, fronti di scavo non sostenuti o sostenuti in modo passivo $\Rightarrow D = 1$
- Fondazioni a pozzo e fronti di scavo sostenuti in modo attivo $\Rightarrow D = 0.5$.

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.

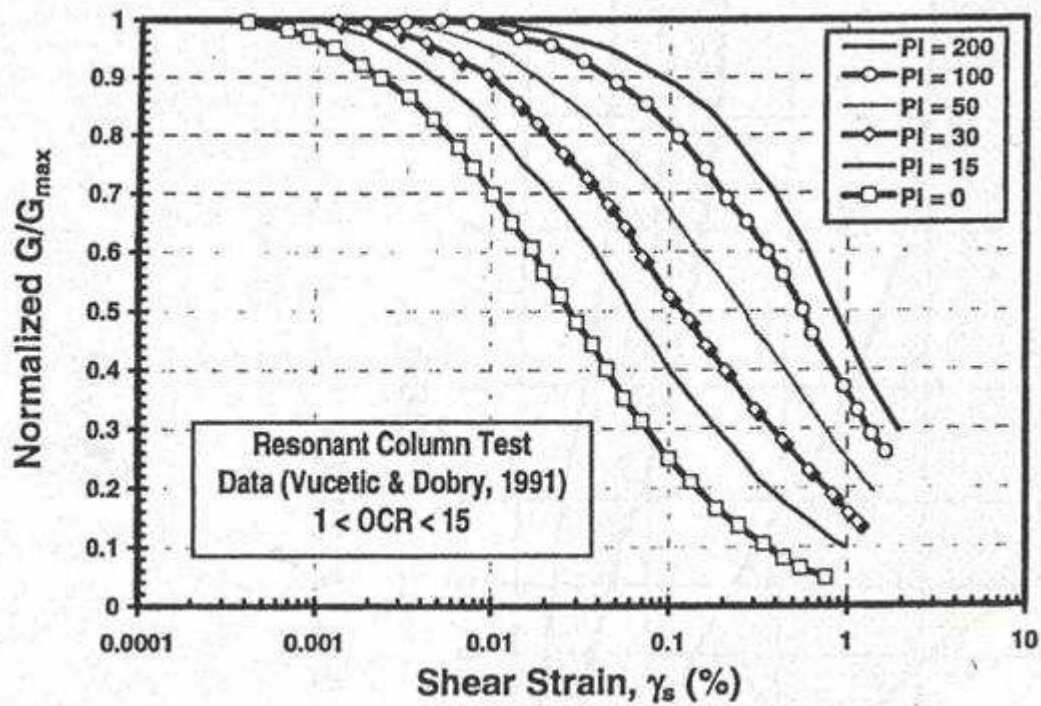


Figura 5-3 Curve di decadimento secondo Vucetic e Dobry,1991

6. CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DEGLI AMMASSI ROCCIOSI

6.1 Dolomie del Monte Gazzo (dG)

6.1.1 Parametri generali

Si riportano nel seguito le proprietà generali relative alla formazione in esame ricavati dalle indagini indicate in precedenza.

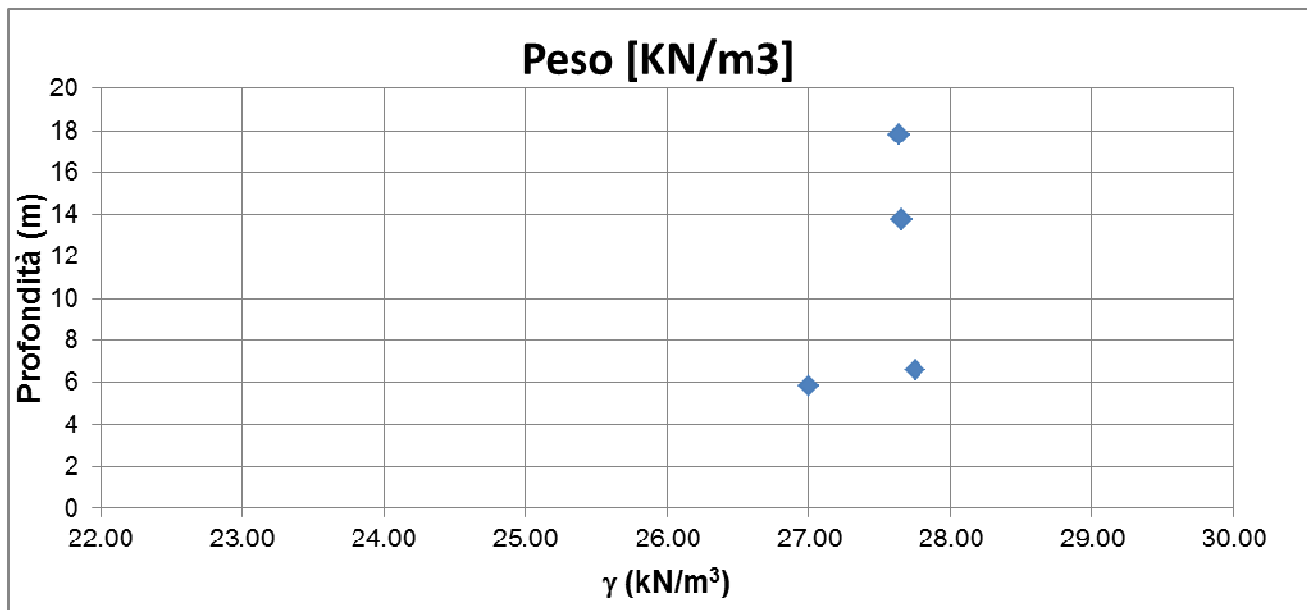


Figura 6-1 Valori di peso naturale dei campioni

- peso di volume (dG)

$$\gamma = 27-28 \text{ kN/m}^3$$

I dati di permeabilità per i litotipi in esame sono stati misurati mediante prove di conducibilità idraulica in foro di tipo Lugéon, eseguite a diverse profondità. Tutti i dati relativi alla fase di Progetto Preliminare mostrano una permeabilità media dell'ordine di 10^{-6} m/s, non dipendente dalla profondità. I dati a disposizione in fase di progetto esecutivo mostrano complessivamente permeabilità confrontabili con i dati ottenuti nella precedente fase di progettazione per quanto riguarda le prove eseguite sul sondaggio L2-CR3, mentre le prove eseguite sul sondaggio L2-CR2 identificano permeabilità dell'ordine di 10^{-8} m/s.

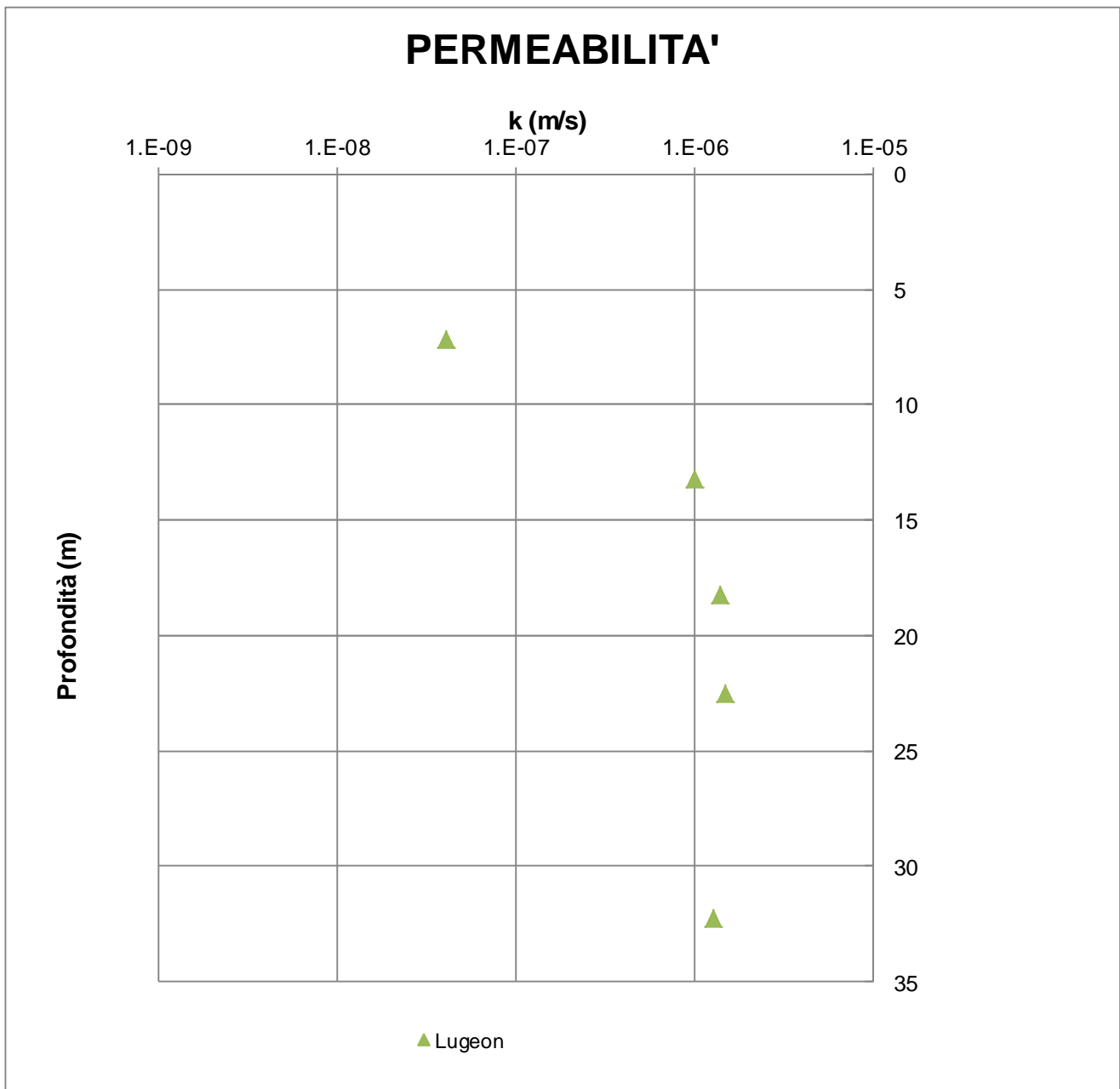


Figura 6-2 Distribuzione dei valori di permeabilità ottenuti da prove in foro

6.1.2 Parametri di resistenza

Resistenza a compressione della roccia intatta

Nel seguito si riportano i risultati delle prove di compressione monoassiale effettuate sui campioni relativi alle formazioni in esame.

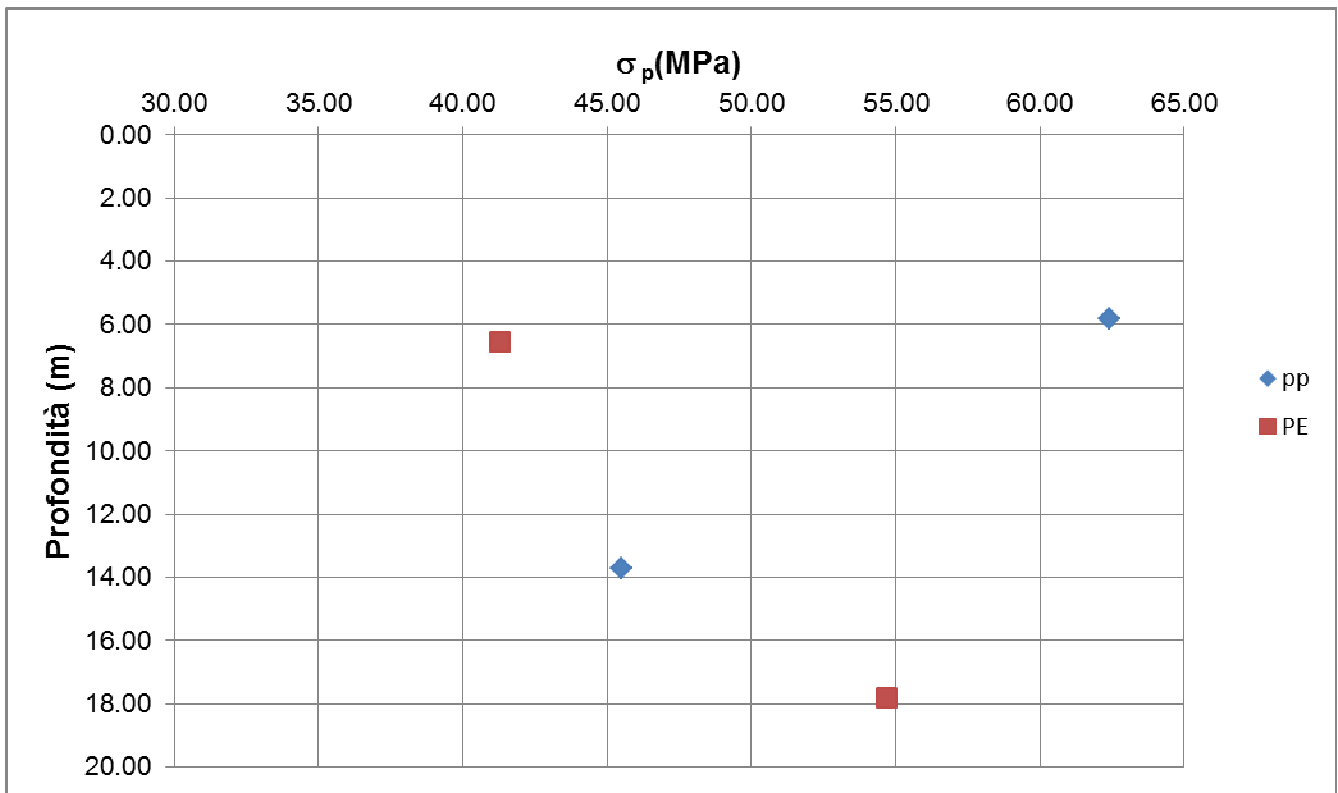


Figura 6-3 Valori di tensione di compressione in rapporto alla profondità

La formazione delle dolomie del Monte Gazzo hanno evidenziato valori di resistenza a compressione compresi tra 40-60 MPa; i valori relativi al sondaggio di PE sono risultati prossimi a quelli valutati nella precedente fase di PP.

Nel seguito si riportano i valori suddivisi per ciascun sondaggio dal quale sono stati prelevati i campioni analizzati, dal quale non emerge una particolare tendenza dei valori al variare della profondità.

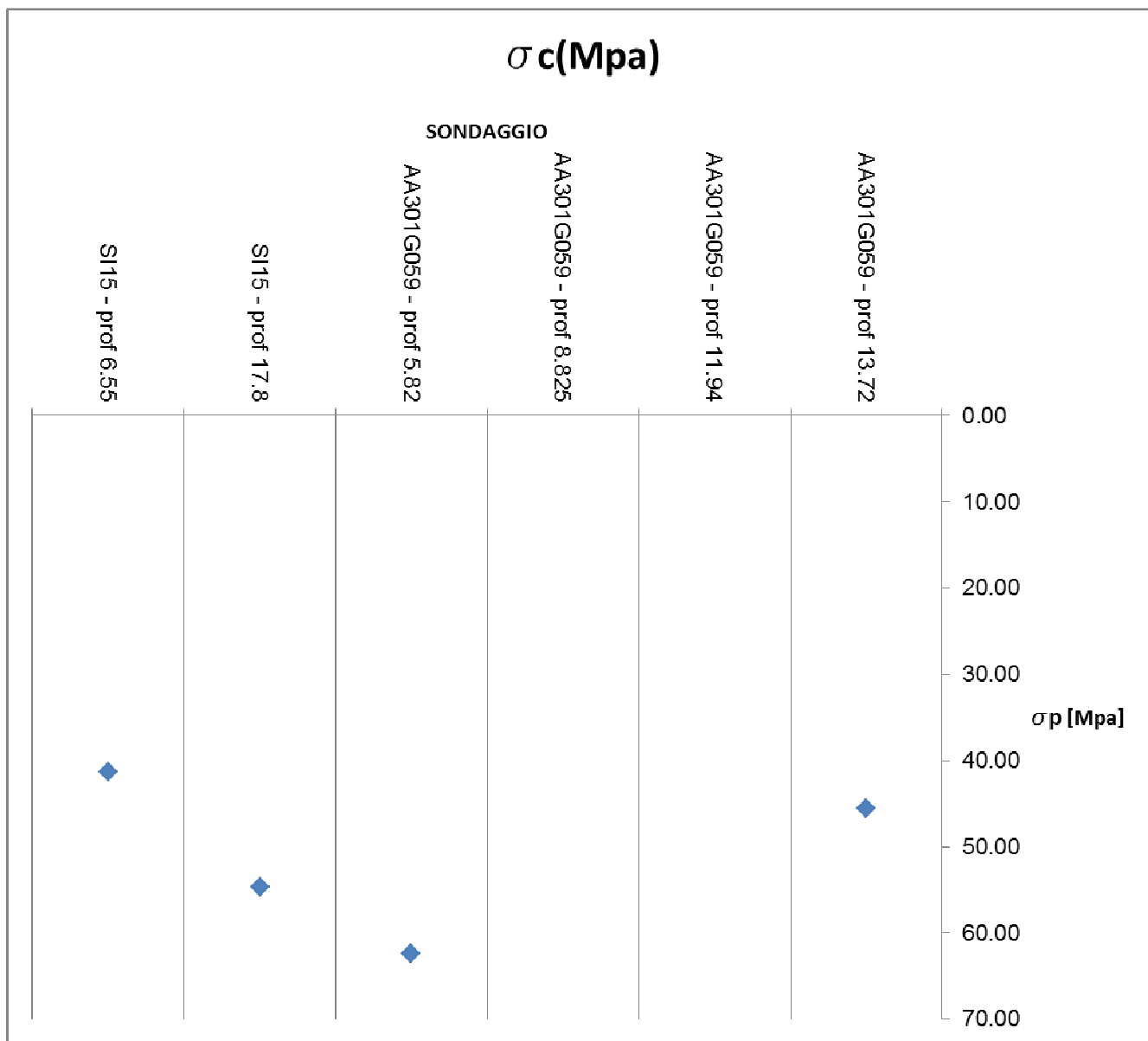


Figura 6-4 Valori di tensione di compressione con indicazione dei sondaggi

I valori derivanti dal Point Load test hanno confermato quanto ottenuto dalle prove di compressione monoassiale, con valori dell'indice I_{s50} compresi tra 1.6 e 2.3. Normalmente la correlazione tra la resistenza a compressione e tale indice, seppur indicativa, è dovuta ad un indice k_{50} da considerarsi compreso tra i 20 ed i 25 (ISRM, 1985): i Point load test indicano quindi un range di circa 40 – 55 MPa per la resistenza a compressione, prossimo a quello ricavato dalle prove di compressione monoassiali, queste ultime aventi un grado di affidabilità maggiore.

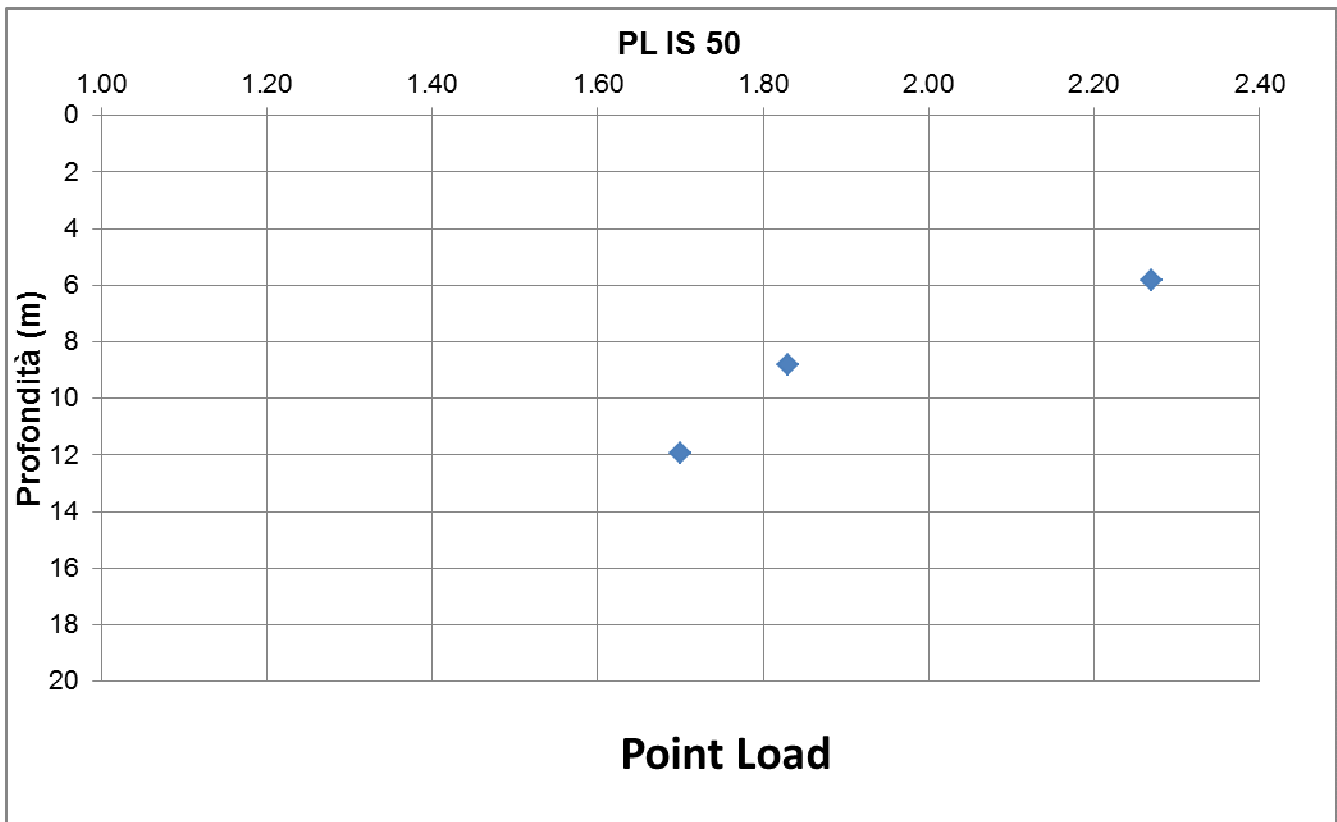


Figura 6-5 Valori ottenuti dai “Point Load” al variare della profondità

L'analisi di dettaglio delle prove di laboratorio eseguite ha portato alla definizione dei valori medi dei seguenti parametri caratteristici d'ammasso lapideo:

Dolomie del Monte Gazzo

- resistenza a compressione su materiale intatto

$\sigma_c = 40$ MPa (valori minimi)

$\sigma_c = 60$ MPa (valori massimi)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	
	<p>IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00</p>	<p>Foglio 42 di 63</p>

6.1.3 Determinazione del GSI

Nel seguito verrà valutato il parametro GSI in base a quanto indicato nel paragrafo 5.1.1.

Dolomie del Monte Gazzo

Nello specifico verrà riportato quanto eseguito per il sondaggio SI45, essendo gli altri sondaggi già stati analizzati nelle precedenti fasi progettuali e per i quali si era definito un range di variabilità in fase di PD tra 37-56.

- L'indice I1 è stato definito sulla base dei valori locali di RQD indicati nelle colonnine dei sondaggi (RQD =60-90%).
- L'indice I2 è stato cautelativamente definito sulla base dei risultati delle prove di compressione monoassiale, con valori variabili tra 40 e 60 MPa.
- Gli indici I3→I8 sono stati stabiliti sulla base di valori medi cautelativi derivati dalla descrizione dei materiali, dalle foto delle cassette e dai log stratigrafici.

I risultati conseguiti impiegando le variabilità evidenziate nel sondaggio hanno mediamente portato al valore del parametro RMR_{89} compreso tra 55 e 63, a cui corrisponde un valore di GSI compreso tra 50 e 58. La determinazione del GSI effettuata mostra quindi risultati comparabili con quanto fatto nella precedente fase progettuale, con corrispondenza al range medio-alto indicato in precedenza.

6.1.4 Caratteristiche di deformabilità

Per quanto riguarda le caratteristiche di deformabilità, nel seguito si impiegheranno i dati forniti da:

- Prove di compressione monoassiali
- Prove sismiche in foro e in laboratorio
- Prove Down hole
- Correlazioni di Hoek e Brown
- Prove dilatometriche

Prove di compressione monoassiali

Si riporta nel seguito il modulo tangente al 50% della deformazione ottenuto dalle prove di compressione monoassiale.

Gli unici dati a disposizione forniscono valori prossimi a 40 GPa: il modulo tangente al 50% della deformazione risulta maggiormente assimilabile ai parametri di roccia intatta al crescere della qualità geostrutturale dell'ammasso, mentre per formazioni fortemente alterate questo tende ai valori d'ammasso. Osservando il grafico relativo alle prove in esame si nota come si registri un modulo elastico alle piccole deformazioni inferiore a quello che si misura al 50% della deformazione, probabilmente connesso alla ricompattazione dei giunti: tale aspetto trova riscontro nei valori di E_i valutati mediante le formulazioni di Hoek & Brown, che risultano dello stesso ordine di grandezza ma sempre inferiori ai valori di E_{t50} indicati dalle prove.

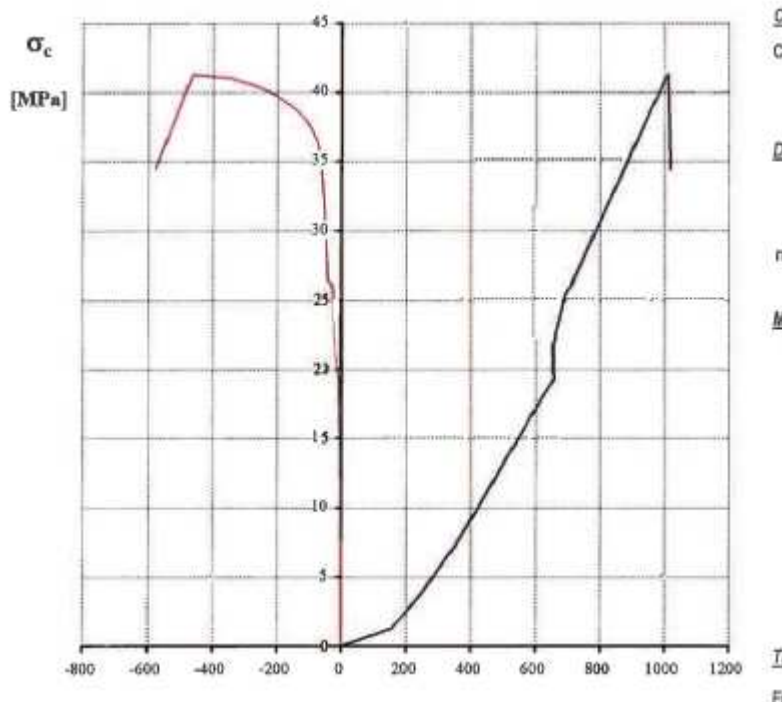


Figura 6-6 Risultati delle prove di compressione monoassiali

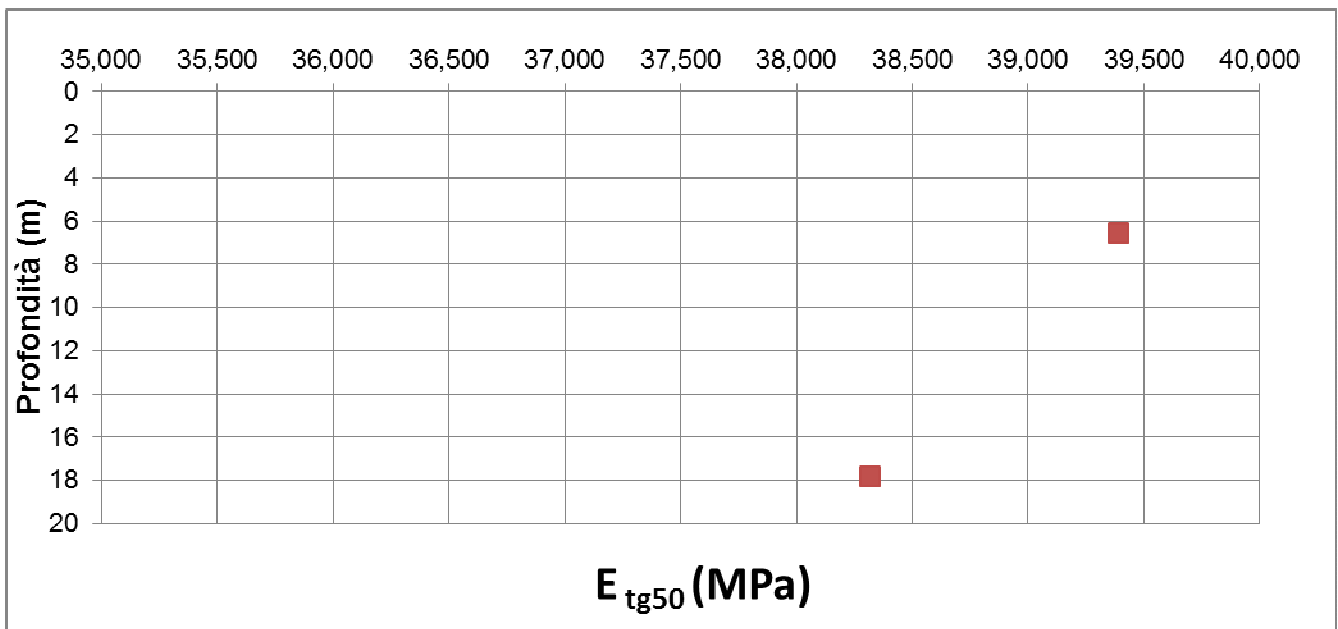


Figura 6-7 Moduli elastici tangenti al 50% della deformazione

Prove sismiche in foro e in laboratorio

Le prove down-hole eseguite in corrispondenza del sondaggio SI 15 indicano valori delle onde sismiche alle quali corrispondono moduli elastici dinamici compresi tra 6-10 GPa alle profondità prese in considerazione. Tali valori rispecchiano quanto indicato dalle prove sui provini prelevati dal

medesimo sondaggio, per i quali si era indicato per deformazioni limitate un decremento sensibile del modulo elastico probabilmente dovuto alle ricompattazioni dei giunti.

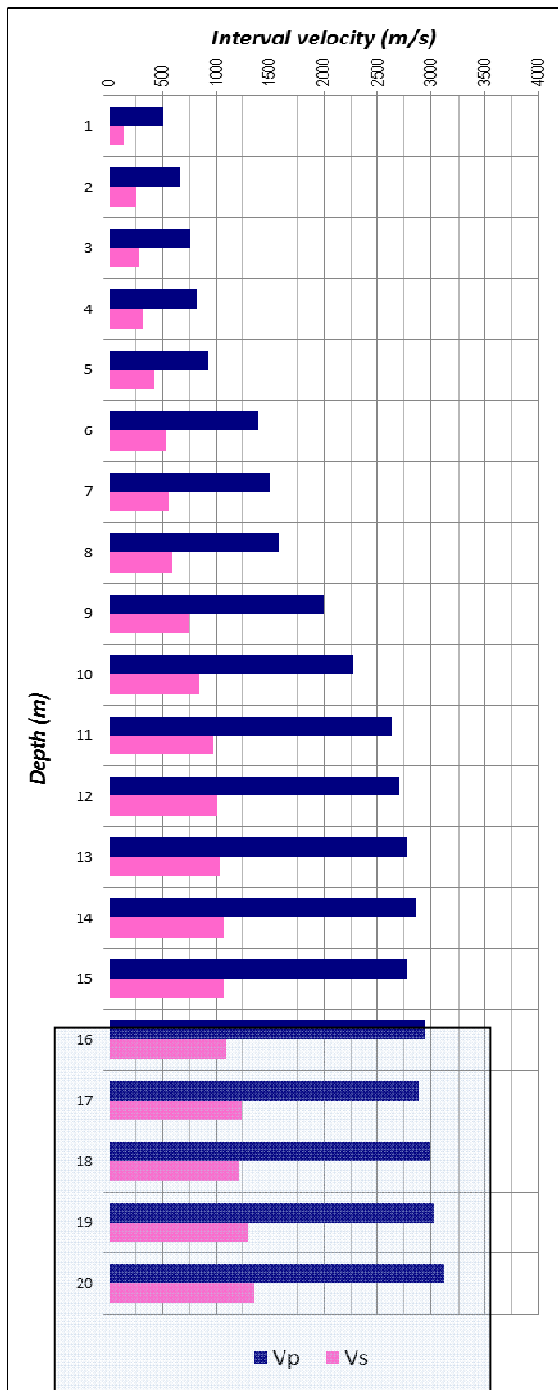


Figura 6-8 Velocità onde sismiche da prove down hole

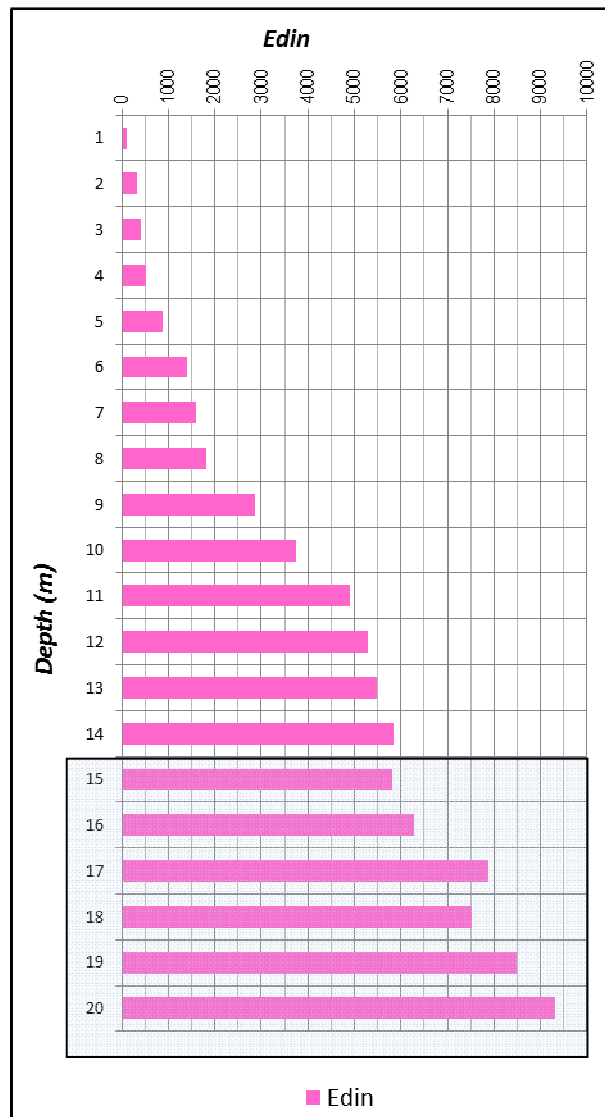


Figura 6-9 Stima di E din da prove down hole

Per quanto riguarda le analisi sismiche effettuate in laboratorio (provini prelevati dal sondaggio AA301G059), si sono ottenuti delle velocità delle onde P comprese tra 3500 e 5000 m/s mostrando un progressivo aumento dei valori al crescere della profondità, quindi leggermente superiori a quelle indicate dalle prove down hole. Le correlazioni, effettuate impiegando $v=0.4$ (parametro stimato a partire dalle down hole), hanno indicato un modulo elastico inferiore rispetto a E_{t950} confermando quanto indicato sopra. sebbene i valori di modulo elastico ricavati (15-30 GPa) lascino intendere che per tali campioni l'effetto di ricompattazione dei giunti sia meno marcato.

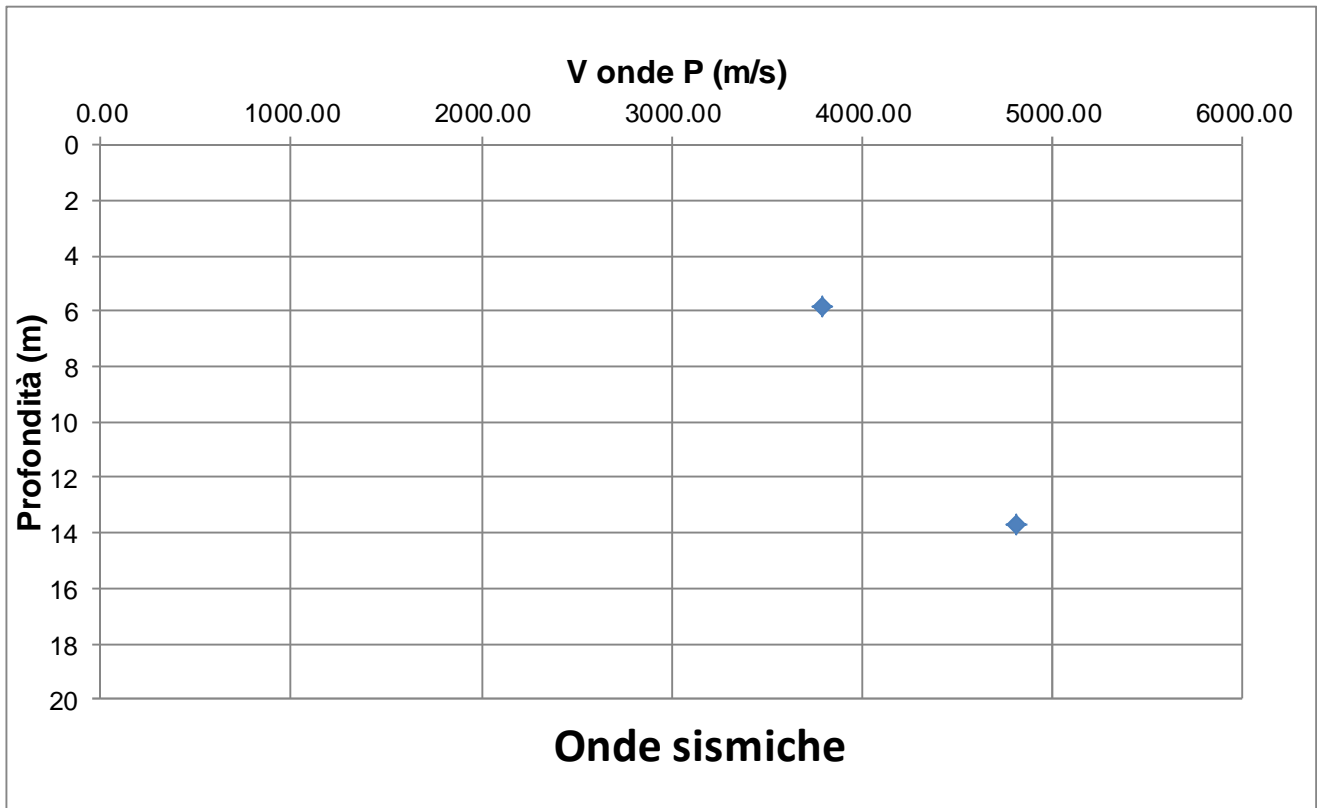


Figura 6-10 Velocità delle onde sismiche primarie (dati laboratorio)

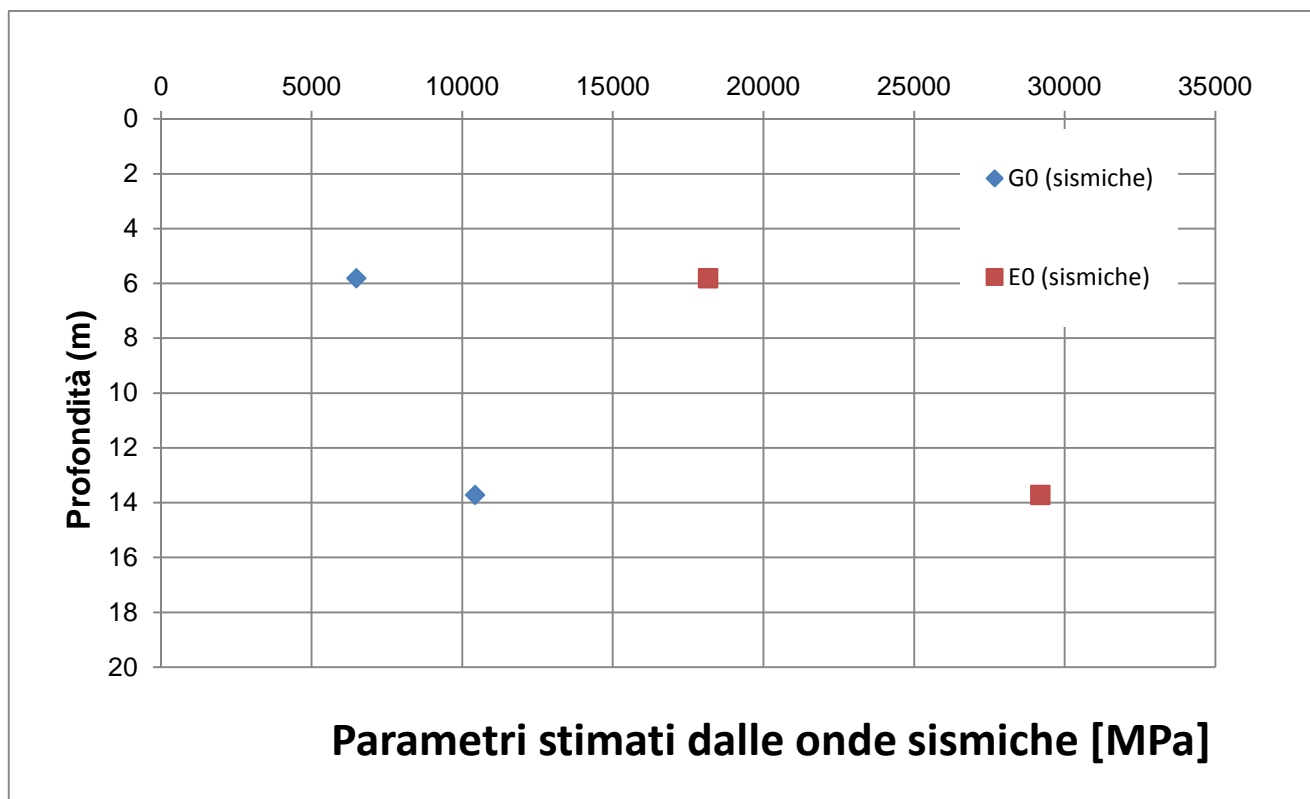


Figura 6-11 Moduli elastici desunti dalle velocità delle onde sismiche (dati laboratorio)

Modulo elastico da criterio di Hoek

In base al parametro MR fornito da letteratura per le formazioni in esame, si sono desunti i valori del modulo E_i .

Per quanto riguarda le Dolomie del Monte Gazzo è attribuito un valore medio pari a $MR_{medio}=425$ MPa. Si noti come i valori di E_i ottenuti dalle formulazioni di Hoek Brown siano compresi tra 15-30 GPa, ottenendo quindi un valore per la roccia intatta intermedio tra il modulo E_{tg50} desunto dalle prove sui campioni e il modulo dinamico ottenuto dalle down hole, coerentemente a quanto indicato in precedenza per i fenomeni che si verificano a basse deformazioni. A partire da tali E_i si è quindi ottenuto la variabilità del modulo elastico nei range di GSI e di σ_{ci} individuati in precedenza tramite la correlazione riportata al paragrafo 5.1.3.

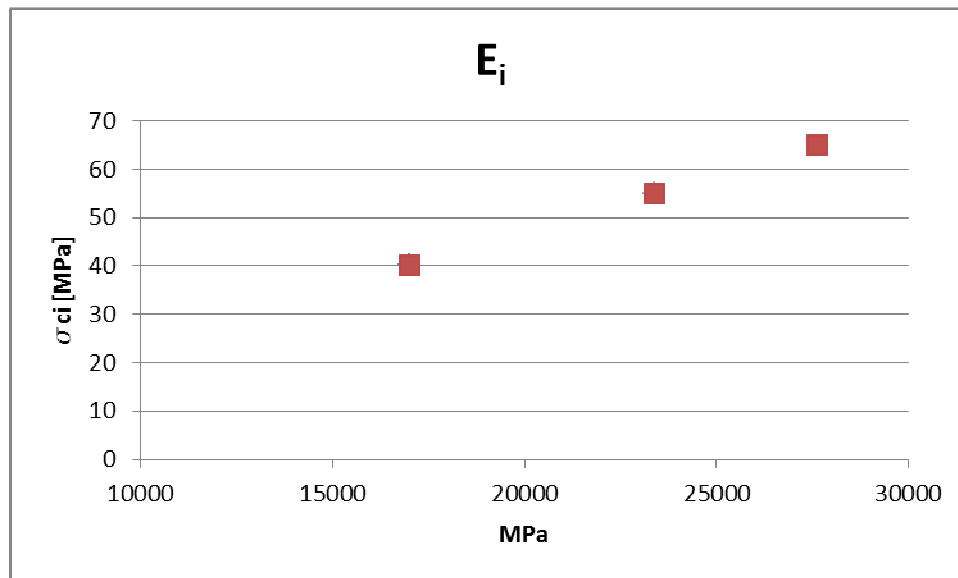


Figura 6-12 Modulo Ei

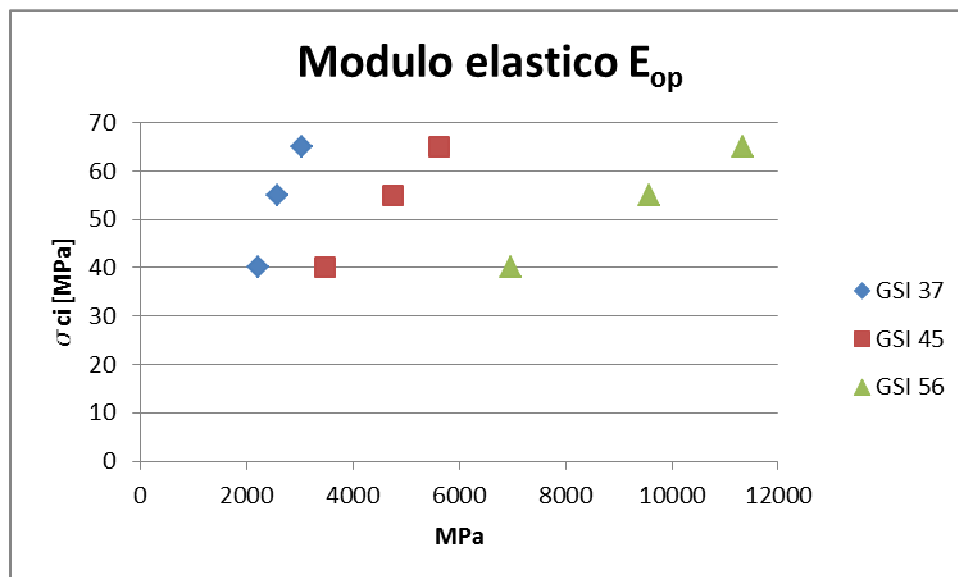


Figura 6-13 Modulo elastico operativo desunto dai parametri di Hoek & Brown (Serpentiniti)

Prove dilatometriche

Le prove dilatometriche, utili per rappresentare i parametri di ammasso, hanno evidenziato un modulo elastico di deformazione variabile da 0.7-2.5 GPa, quindi un ordine di grandezza inferiore a quelle rappresentative della roccia intatta.

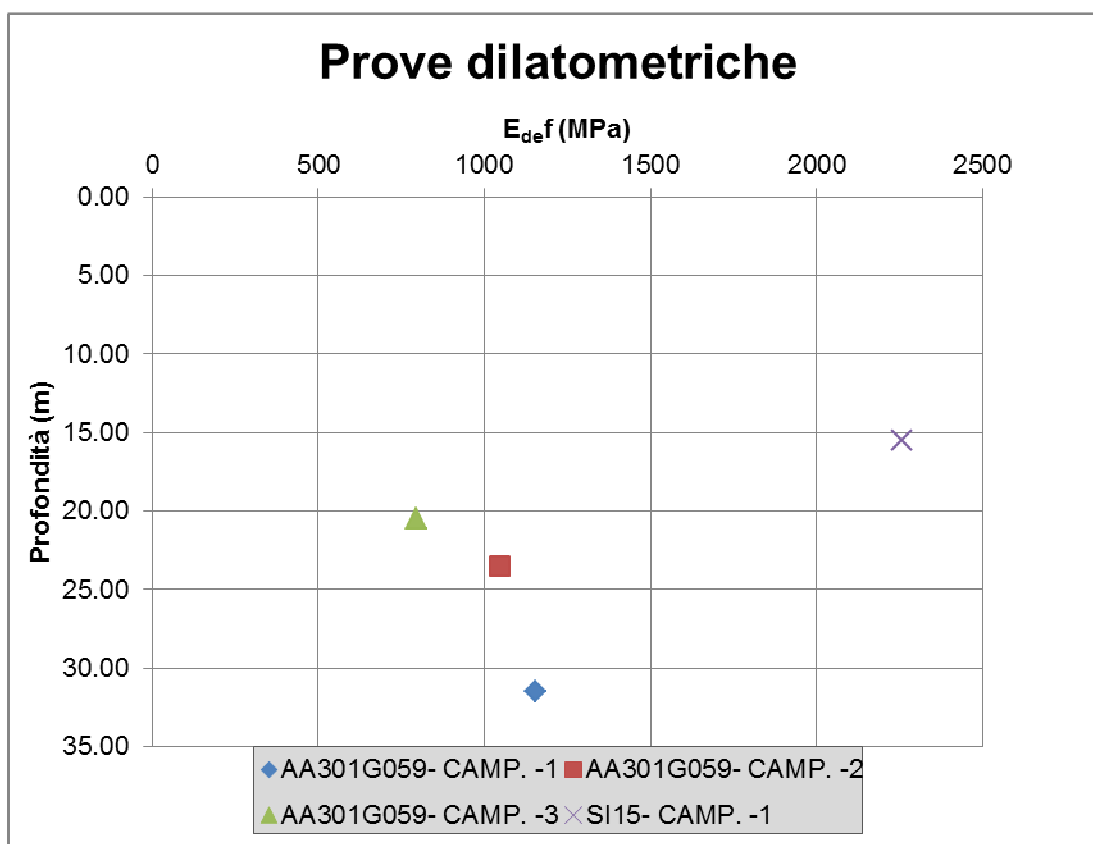


Figura 6-14 Modulo elastico ottenuto dalle prove dilatometriche

Riepilogo dati modulo elastico

Per quanto riguarda la formazione in esame si hanno a disposizione i seguenti dati per valutare il modulo elastico (i range sono stati amplificati leggermente arrotondando i valori estremi, data la limitatezza di dati a disposizione).

TIPO PROVA	COMP. MONOASSIALE	SISMICHE (laboratorio)	SISMICHE (Down hole)	CRITERIO H&B		DILATOMETRICHE
				E_i	E_{op}	
DATO	E_{tg50}	E_0	E_{din}	E_i	E_{op}	E_{def}
UNITA' MISURA	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
Dolomie del Monte Gazzo	38000-40000	15000-30000	6000-10000	15000-300000	2000-12000	700-2500

Come già evidenziato in precedenza, per ammassi compatti il modulo elastico tangente, assimilabile a quello della roccia intatta, risulta facilmente correlabile al valore di E_i ottenuto dalle formulazioni di Hoek & Brown impiegando il parametro MR medio relativo alla formazione fornito da letteratura. Si deve però tenere in conto come nelle prove effettuate sui provini si ha un primo tratto (a deformazioni limitate) in cui si presenta un modulo elastico più limitato rispetto a quello valutato al 50% della deformazione. Anche il valore di E_0 ricavato dalle prove sismiche in laboratorio ed il valore di E_{din} ottenuto dalla prova down hole, valori che stimano il modulo elastico a piccole

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00 Foglio 50 di 63

deformazioni, presentano una corrispondenza con quanto indicato dalle prove monoassiali. Come indicato in precedenza, il valore E_0 relativo alle prove sismiche deve essere diviso per un coefficiente pari a circa 5/10 per ottenere il modulo elastico operativo: anche in questo caso si noti come i valori stimati sono in linea con quanto ottenuto dal criterio di Hoek & Brown per quanto riguarda il modulo elastico operativo e i risultati delle prove dilatometriche.

6.1.5 Classificazione Geomeccanica

Sulla base dei dati raccolti si ritiene opportuno non effettuare alcuna suddivisione dell'ammasso roccioso relativo alla Formazione delle Dolomie del Monte Gazzo in differenti gruppi geomeccanici, indicando un unico range relativo alla formazione.

6.1.6 Sintesi dei parametri ottenuti

Parametri di Hoek - Brown

Sulla base dei risultati dei sondaggi esaminati descritti nei precedenti paragrafi, dato che i nuovi dati a disposizione rientrano nei range dei parametri indicati in PD, si confermano in linea generale i parametri di calcolo impiegati nella precedente fase progettuale.

	Parametri di Hoek & Brown						
Litologia	σ_c (MPa)	GSI (-)	γ (kN/m ³)	m_i^*	D*	MR*	E (MPa)
Dolomie del Monte Gazzo	40-65	35-55	27-28	9±3	0	425±75	700-11000

*: i valori di m_i , MR e D sono ottenuti da dati di letteratura

6.2 Calcari di Gallaneto (cG)

6.2.1 Sintesi dei parametri

Non disponendo di alcun dato relativo alla formazione in esame dai sondaggi, si riportano i parametri indicati per la formazione in esame desunti dai rilievi in situ di PD.

RMR (rilievi di PD – ex NV11) : 40-50

GSI: 35 – 45

	Parametri di Hoek & Brown						
Litologia	σ_c^* (MPa)	GSI (-)	γ (kN/m ³)	m_i^*	D*	MR*	E (MPa)
Calcari di Gallaneto	40-50	35-45	26-27	8±3	0	900±100	3000-10000

*: i valori di σ_c , m_i , MR e D sono ottenuti da dati di letteratura

A partire dai valori di GSI e dai valori di letteratura relativi ai calcari, si sono desunti i moduli elastici operativi da impiegare nel calcolo mediante la formulazione di Hoek & Diederichs (2006) precedentemente descritta.

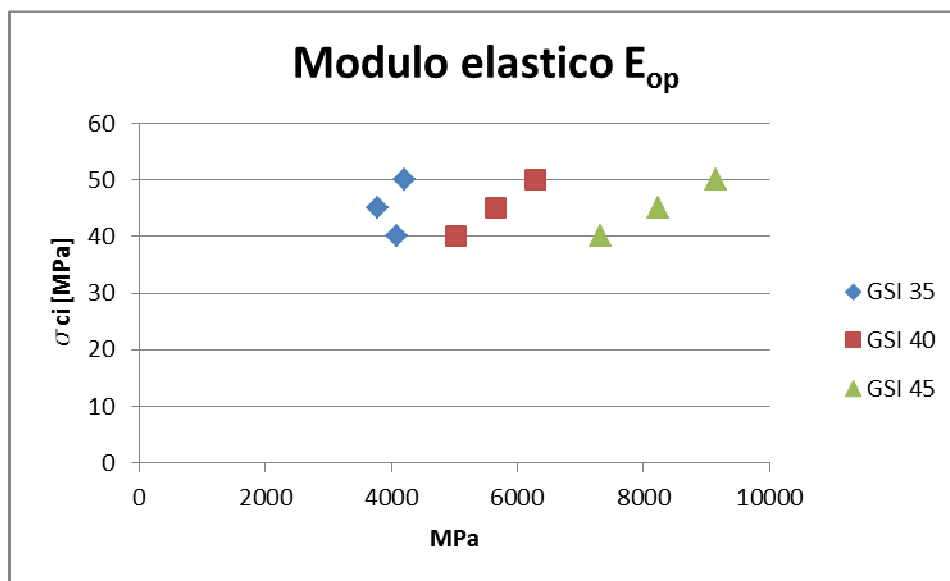


Figura 6-15 Moduli elastici operativi stimati

A titolo di confronto si riportano infine i parametri linearizzati di Mohr-Coulomb in corrispondenza della Finestra in esame sempre relativi alla fase di PD.

Parametri di Mohr Coulomb (PD)					
Litologia	γ (kN/m ³)	c' (KPa)	Φ (°)	ν (-)	E (MPa)
Calcari di Gallaneto	26-27	300-1450	25-35	0.25-0.3	5000-11000

6.3 Argiloscisti neri (Mn)

Non si dispone di alcun dato relativo alla formazione in esame dai sondaggi, i rilievi in situ hanno indicato caratteristiche in termine di RMR prossime a quelle ottenute dai Calcari di Gallaneto, con riferimento al range basso di variabilità.

Parametri di Hoek & Brown							
Litologia	σ_c^* (MPa)	GSI (-)	γ (kN/m ³)	m_i^*	D*	MR*	E (MPa)
Argiloscisti neri (Mn)	35-45	30-40	26-27	10±3	0	675±100	1000-5000

*: i valori di σ_c , m_i , MR e D sono ottenuti da dati di letteratura

A partire dai valori di GSI e dai valori di letteratura relativi agli scisti, si sono desunti i moduli elastici operativi da impiegare nel calcolo mediante la formulazione di Hoek & Diederichs (2006) precedentemente descritta.

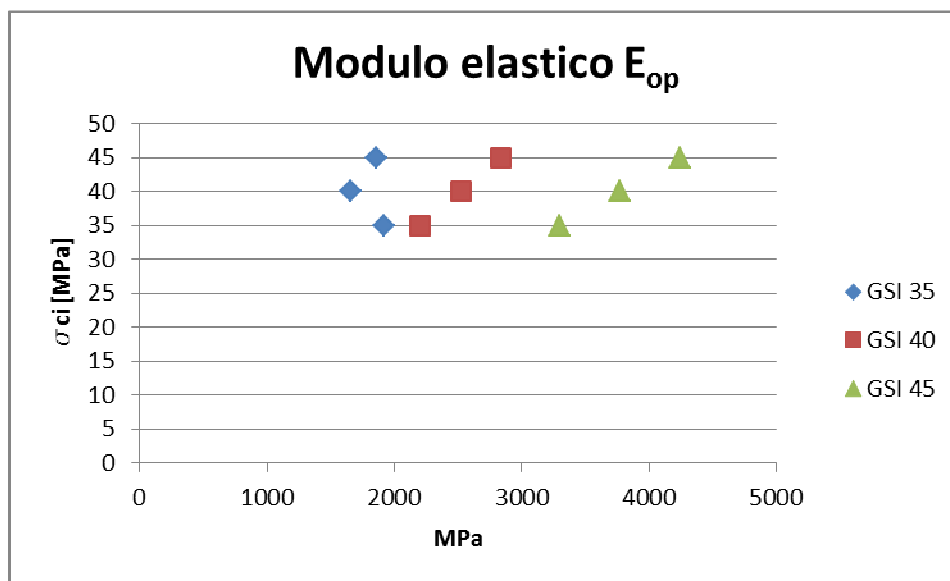


Figura 6-16 Moduli elastici operativi stimati

6.4 Zone di contatto tra cG/dG e cG/Mn

A favore di sicurezza, data la limitatezza delle prove a disposizione, si è ritenuto opportuno inserire una caratterizzazione geomeccanica relativa alle zone di contatto tra le formazioni sopra citate, assumendo parametri inferiori al range minimo sopra riportato. A partire dai valori di GSI e dai valori di letteratura relativi alle brecce, si sono desunti i moduli elastici operativi da impiegare nel calcolo mediante la formulazione di Hoek & Diederichs (2006) precedentemente descritta.

Litologia	Parametri di Hoek & Brown						E (MPa)
	σ_c (MPa)	GSI (-)	γ (kN/m ³)	m_i^*	D*	MR*	
Zona di contatto CG/dG e cG/Mn	15-25	25-35	26-28	20±2	0	290±60	250-700

*: i valori di m_i , MR e D sono ottenuti da dati di letteratura

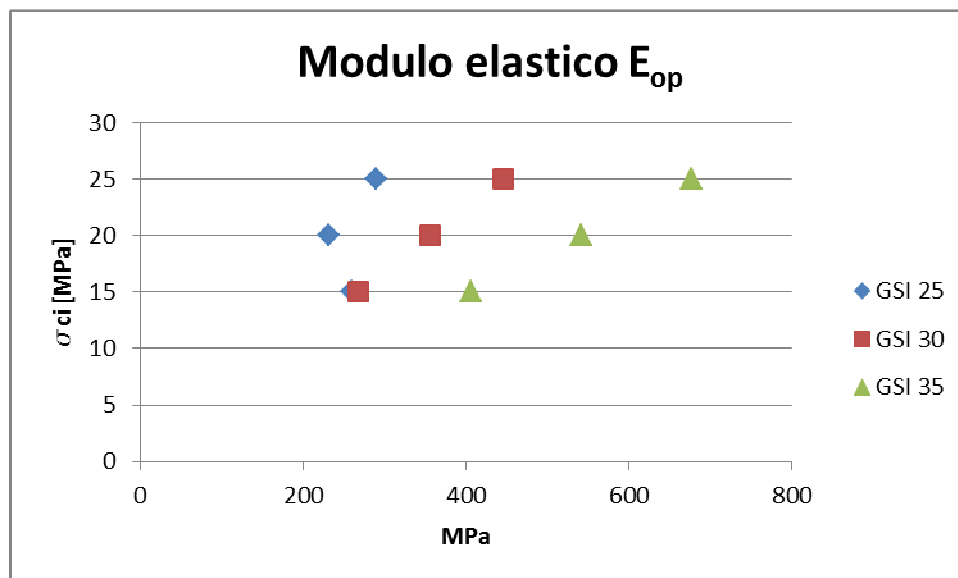


Figura 6-17 Moduli elastici operativi stimati

6.5 Scisti Micaceo Carbonatici Milonitici (Myl)

6.5.1 Note Generali

La caratterizzazione geotecnica/geomeccanica dell'ammasso roccioso compreso nella *Fascia Milonitica di Isoverde*, discende dall'interpretazione dei dati raccolti durante la Campagna di Indagine del PD, in particolare dall'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo elencati nella seguente tabella.

Sondaggio Codifica COCIV	Progressiva linea	Distanza asse tracciamento linea
	m	m
SL42	9200	250
SR11	10450	10
SR12	10750	10
SR13	11950	50

In relazione agli esiti delle elaborazioni qui nel seguito presentate, si assume per l'ammasso roccioso compreso nella *Fascia Milonitica di Isoverde*, la medesima classificazione in gruppi geomeccanici elaborata per la formazione degli argilloscisti filladici, con la relativa assunzione dei parametri fisici, meccanici e di deformabilità.

In particolare, lo studio dei profili geotecnici e geologici dell'area escludono la presenza di zone di faglia nell'area in esame. Pertanto la formazione degli Scisti Micaceo Carbonatici Milonitici (Myl) si è inquadrata da un punto di vista geo-meccanico nei gruppi 1 e 2 (2a e 2b) individuati per gli argilloscisti filladici.

6.5.2 Caratteristiche fisiche

L'analisi del dato sulla determinazione del peso di volume naturale dei campioni estratti dalle verticali di indagine ha condotto ad un valor medio di 27 kN/m³.

Il grafico che segue presenta le misurazioni del peso di volume secco, correlate alla profondità di prelievo del campione di riferimento.

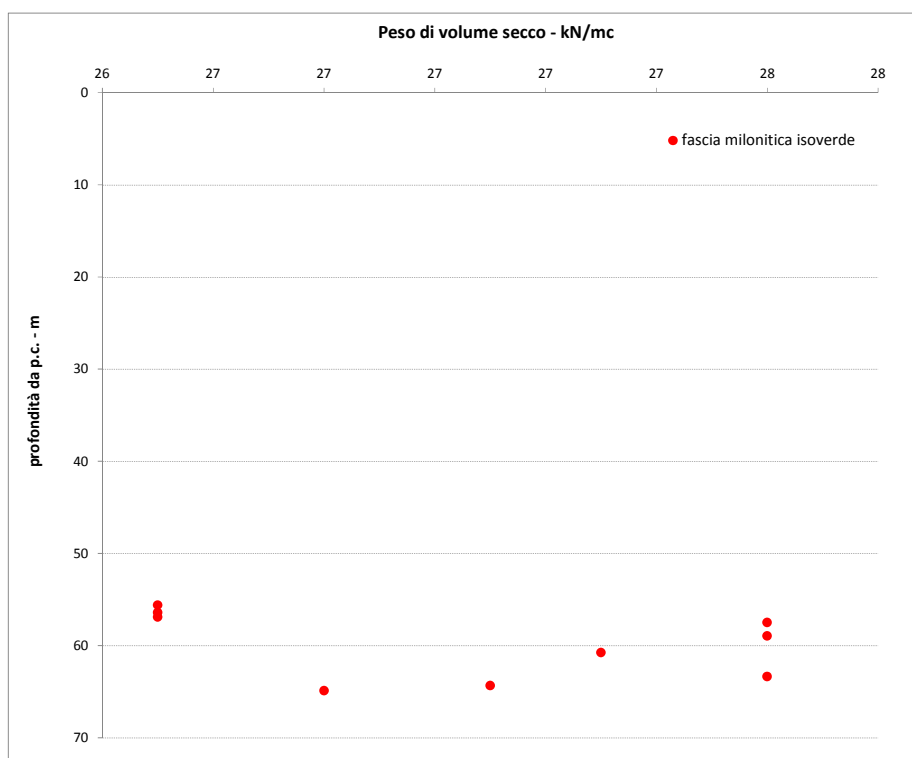


Figura 6-18 Peso di volume secco in funzione della profondità dal p.c.

Le conducibilità idrauliche, laddove disponibili come risultato delle prove di permeabilità LUGEON in foro di sondaggio, indicano un valor medio nell'ordine dei 4.0 -5.0 E-06 m/s.

6.5.3 Caratteristiche di resistenza

Si riporta nel seguito la distribuzione delle resistenze a compressione mono-assiale determinata per via diretta da prove di laboratorio e/o per via indiretta tramite correlazione con le determinazioni del Point Load Strength Index.

In relazione alla notevole numerosità del campione di rispetto alle prove di compressione monoassiale, si è verificata la calibratura del fattore di correlazione k₅₀ (con UCS = K₅₀*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). L'intero campione di dati Point Load Strength Index (PP+PD+PE) è stato dunque analizzato con riferimento a fattori di correlazione k₅₀

compresi fra 14-16, al variare del dato I_{s50} trattato, d'accordo con le indicazioni di letteratura mostrate nella tabella seguente.

σ_c (MPa)	I_{s50} (MPa)	k_{50}
25 ^{*)} - 50	1.8 - 3.5	14
50 - 100	3.5 - 6	16
100 - 200	6 - 10	20
> 200	> 10	25

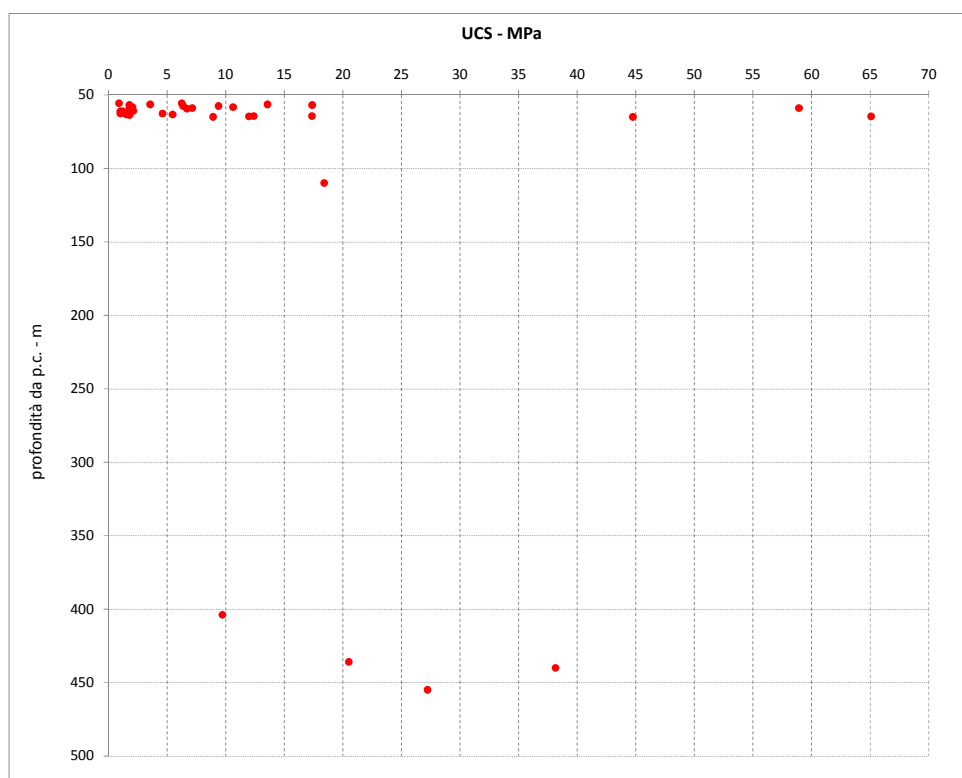


Figura 6-19 Distribuzione UCS – profondità di campionamento dal p.c.

Non si evidenzia alcuna particolare correlazione della resistenza a compressione mono-assiale con la profondità.

La distribuzione dei valori di UCS mostra una concentrazione nell'intervallo 0-20 MPa, considerato rappresentativo delle resistenze della matrice rocciosa costituita da un litotipo assimilabile ad argillocistico. La frequenza % campionamento UCS per range di ampiezza 2 MPa e la relativa curva di Frequenza cumulata % sono mostrate nel grafico seguente.

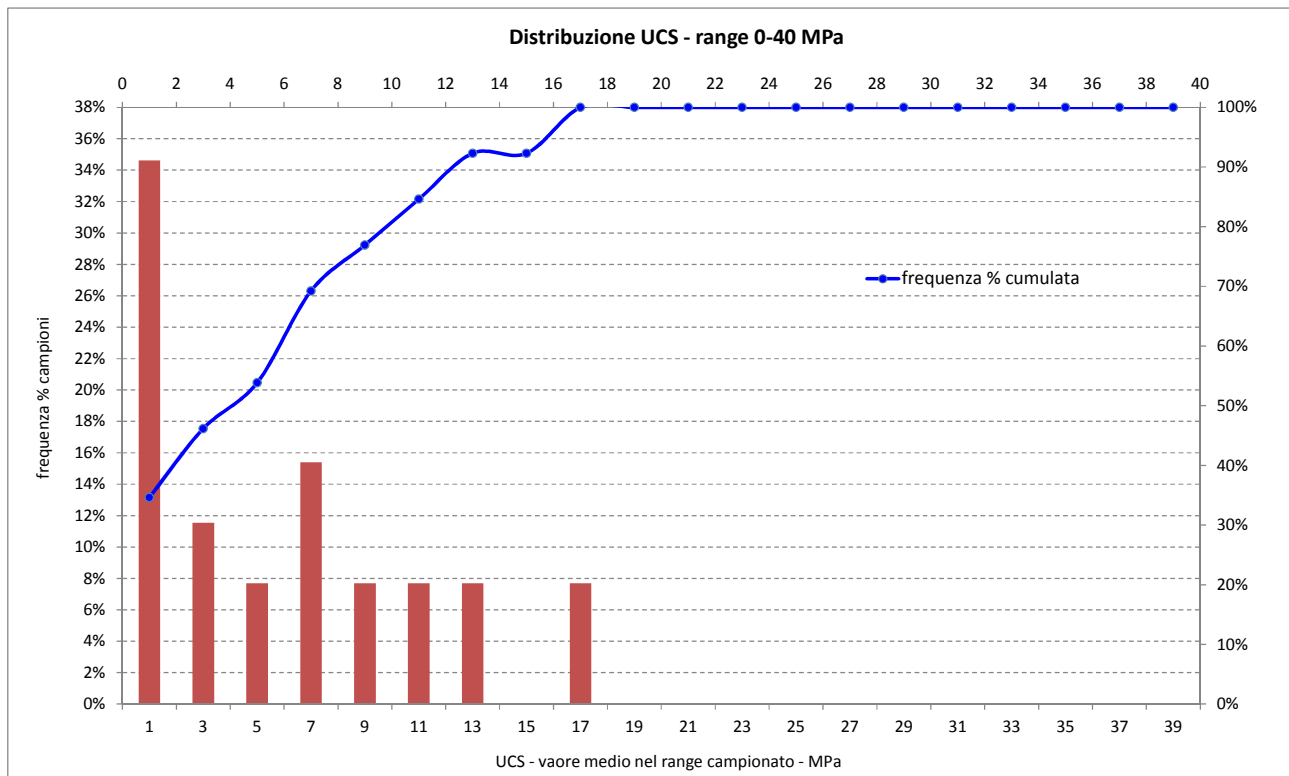


Figura 6-20 Frequenza % campionamento UCS per range di ampiezza 2 MPa e curva di Frequenza cumulata %.

La determinazione dell'UCS è stata inoltre associata all'indice RQD rappresentativo dello stato di fratturazione dell'ammasso, calcolato alla profondità di prelievo del campione o di determinazione del Point Load Strength Index. Dall'analisi del grafico che segue, emerge una tendenza alla proporzionalità dell'UCS nei confronti dell'RQD. Si evidenzia che i dati si concentrano su 4 valori distinti di RQD mediamente misurati sulle carote prese in esame.

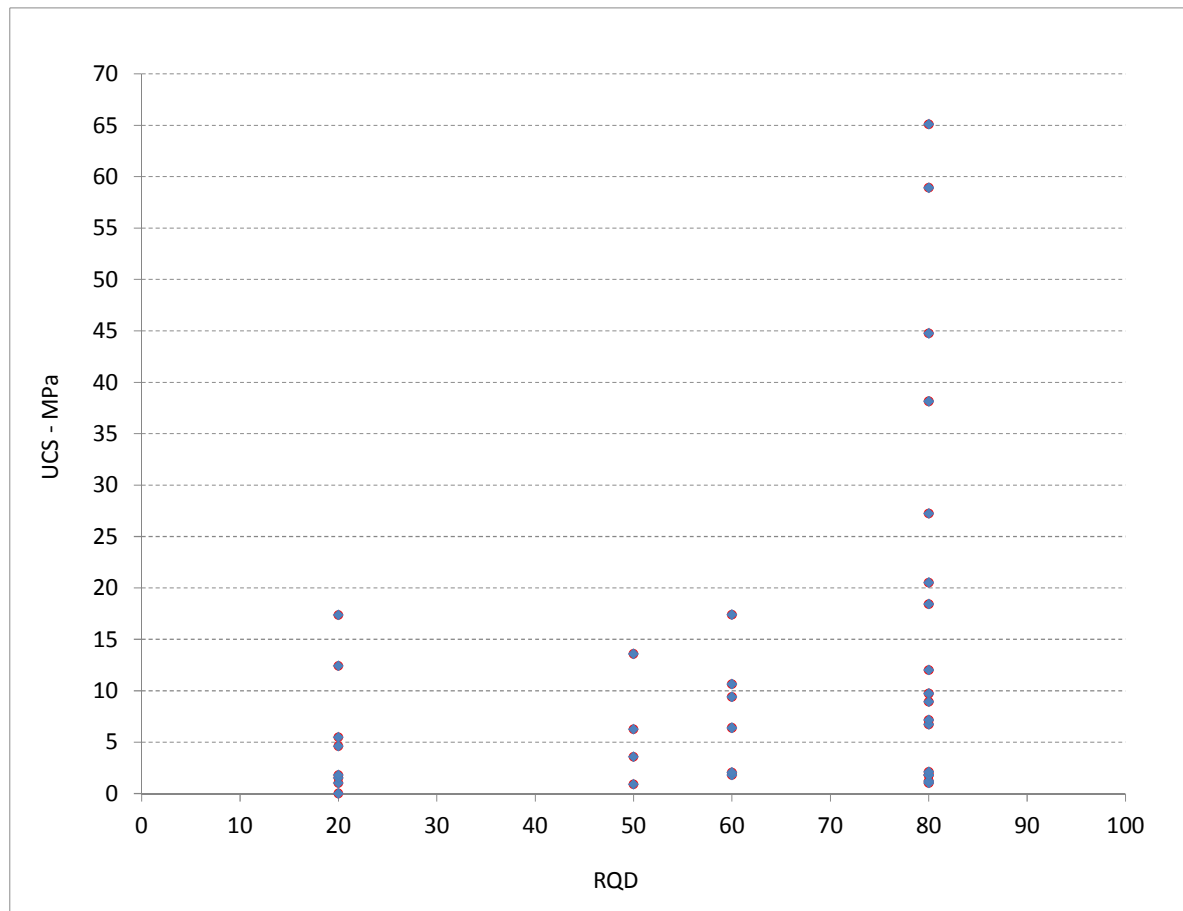


Figura 6-21 Distribuzione UCS – RQD

Le prove di laboratorio a trazione indiretta forniscono un valore di resistenza variabile da 2.30 a 6.90 MPa (media 4.00 MPa). L'elaborazione delle prove di compressione triassiale su provini di roccia ha condotto alla determinazione diretta del parametro m_i di Hoek-Brown variabile da 6.5 a 13.2 con media 9.07 (in linea con le indicazioni da letteratura).

6.5.4 Caratteristiche di deformabilità

Laddove disponibili sono state 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, è stato 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}).

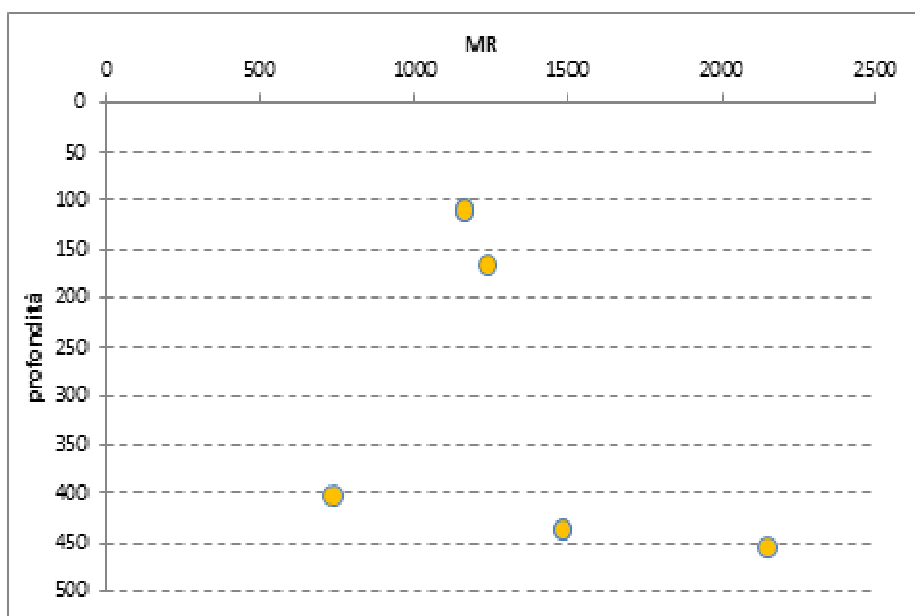


Figura 6-22 Distribuzione Mr - profondità

La tabella che segue fornisce i parametri rappresentativi della distribuzione statistica dei valori di E_i (modulo elastico della matrice rocciosa) calcolato secondo Deere, Palmstrom e Singh.

Sono stati adottati i valori MR pari a 700 (in analogia a quanto effettuato) per la formazione degli Argilloscisti filladici e 1100 (valor medio ottenuto dall'elaborazione dei soli dati relativi ai campioni riferiti alla formazione in esame - MYL).

	Ei - 700		Ei - 1100	
# campione	34	31	34	31
max	45562	26705	71597	41965
min	627	627	986	986
med	9093	6162	14289	9683
sqm	11341	6109	17821	9600
sqm/med	125%	99%	125%	99%

Il grafico che segue mostra la distribuzione dei Moduli elastici determinati attraverso le prove di carotaggio sonico, in relazione alla profondità di campionamento.

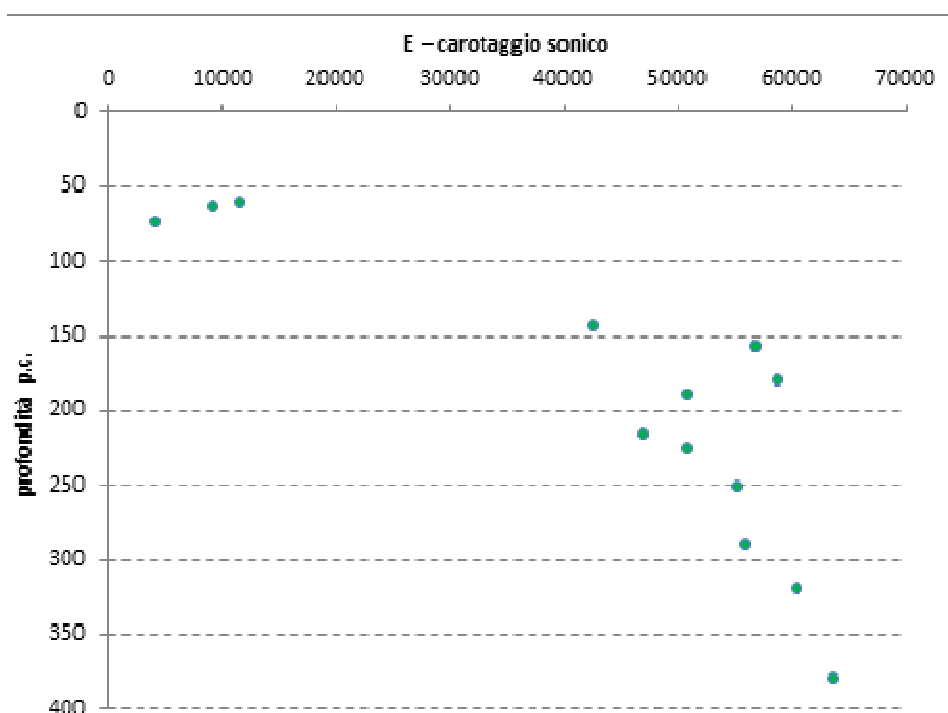


Figura 6-23 Distribuzione Modulo elastico da carotaggio sonico - profondità

6.5.5 Classificazione geomeccanica – calcolo del GSI

Dall'elaborazione dei log stratigrafici riferiti ai sondaggi geognostici eseguiti nella formazione in disamina, discende la classificazione geo-meccanica secondo il GSI, il cui esito delinea un quadro costituito dalla presenza di tre condizioni strutturali tipiche per l'ammasso, mediamente riconducibili ai seguenti range di GSI:

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00 Foglio 60 di 63

- 45÷55 - per la condizione d'ammasso discretamente compatto e de-fratturato
- 25÷35 - per condizione d'ammasso fratturato/alterato
- 35÷45 - associabile a condizioni d'ammasso intermedie fra le due sopra menzionate.

6.5.6 Sintesi caratterizzazione geo-meccanica

In relazione agli esiti delle elaborazioni condotte sulla formazione della Fascia Milonitica, si assume per la stessa la medesima classificazione in gruppi geo-meccanici elaborata per la formazione degli argilloscisti filladici, con la relativa assunzione dei parametri fisici, meccanici e di deformabilità.

In particolare, lo studio dei profili geotecnici e geologici dell'area escludono la presenza di zone di faglia nell'area in esame. Pertanto la formazione degli Scisti Micaceo Carbonatici Milonitici (Myl) si è inquadrata da un punto di vista geo-meccanico nei gruppi 1 e 2 (2a e 2b) individuati per gli argilloscisti filladici.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00

7. RICOSTRUZIONE GEOTECNICA – GEOMECCANICA LUNGO IL TRACCIATO

L'opera in oggetto ha una lunghezza di circa 1260.26 con coperture massime di circa 250m in chiave calotta.

La figura seguente riporta uno stralcio del profilo geologico del tracciato relativo alla Finestra Cravasco.

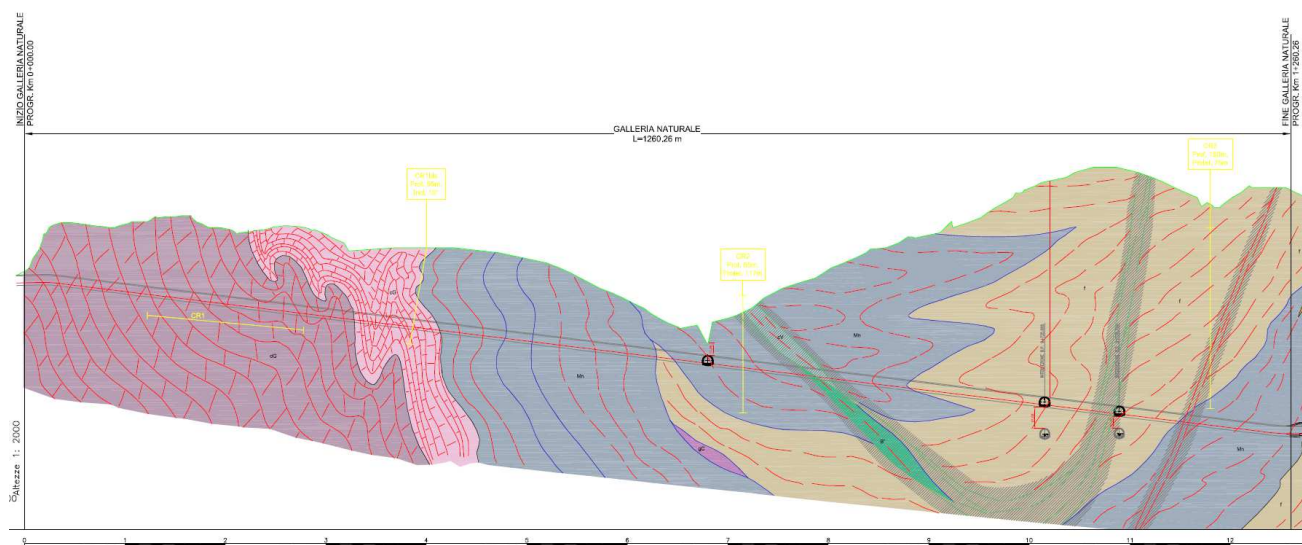


Figura 7-1 Profilo geomeccanico galleria in oggetto

Gli studi ed i rilievi eseguiti confermano che la struttura geologica-geomorfologica risulta non omogenea lungo il tracciato e piuttosto complessa nel tratto centrale e in prossimità della zona di innesto con la galleria di linea. I rilievi eseguiti, incrociati ai risultati delle indagini effettuate e alle informazioni fornite dalle carte degli affioramenti, sono stati utilizzati per classificare e caratterizzare l'ammasso roccioso, e per individuare tratte qualitativamente "omogenee" dal punto di vista strutturale, geologico e geomeccanico.

Il principale elemento d'incertezza geologica lungo il tracciato della galleria di Cravasco è costituito dalla difficoltà di posizionare il contatto litologico tra gli argilloscisti neri (Mn) e gli argilloscisti filladici (f) al piede della galleria, ovvero sia nella zona del camerone di innesto sulla linea principale.

In questo settore non è possibile escludere che il limite tra gli argilloscisti Mn e gli argilloscisti f si posizioni più a SE di quanto ipotizzato nel profilo ed intersechi quindi la galleria nella zona di innesto nel camerone. Peraltro uno spostamento verso SE del limite degli argilloscisti Mn implicherebbe anche un analogo spostamento del limite tra questi argilloscisti e i calcari di Gallaneto (cG), che potrebbero anche arrivare a lambire il fondo della galleria, se non addirittura ad intersecarlo per pochi metri. Tali incertezze potrebbero avere risvolti idrogeologici piuttosto rilevanti, dal momento che i calcari di Gallaneto sono un potenziale acquifero di tipo carsico.

Le incertezze sulla posizione di questi limiti sono principalmente connesse con le difficoltà di proiezione in profondità dei dati giacitureali di superficie, dal momento che al momento della

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00</p> <p>Foglio 62 di 63</p>

redazione del presente rapporto non esistono sondaggi in questo settore che permettano di avere punti di controllo in profondità sulla posizione dei contatti.

Una seconda incertezza riguarda l'interpretazione delle geometrie del contatto tra la successione non milonitica, costituita da argilloscisti Mn + calcari cG + dolomie dG (per brevità definita nel seguito *successione Mn-dG*) e gli argilloscisti milonitici f. In superficie, in prossimità del contatto tra la *successione Mn-dG* e gli argilloscisti milonitici, la prima presenta spesso una immersione ad alto angolo (70-80°) verso SE, se non addirittura un rovesciamento verso NW. Tuttavia man mano che dal contatto ci si sposta verso SE all'interno del dominio di affioramento degli argilloscisti, le giaciture della foliazione milonitica presentano perlopiù immersioni a medio angolo verso SE, talora anche a basso angolo, talaltra sono rovesciate verso NW per effetto di pieghe D3. In ogni caso in quest'ultimo settore degli argilloscisti milonitici prevalgono di gran lunga le immersioni a medio angolo verso SE.

Per maggiore dettagli relativi alla ricostruzione geologica e ai principali rischi geologici e idrogeologici presenti lungo il tracciato si rimanda alla relazione geologica e alla relazione idrogeologica.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG51-02-E-CV-RB-GN14-HX-001-C00</p> <p>Foglio 63 di 63</p>

8. 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).
- Italferr (2001) – Progetto Preliminare. Tratta A.C. Milano-Genova, III Valico.
- Italferr (2005) – Progetto Definitivo. Tratta A.C. Milano-Genova, III Valico.
- 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.
- 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.