

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

SISTEMAZIONE SUPERFICIE E STRADA DI ACCESSO POZZO DI VENTILAZIONE FINESTRA CASTAGNOLA

Geotecnica

Relazione geotecnica

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio Cociv Ing.P.P.Marcheselli	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 2	E	C V	R B	I N 9 D 0 0	0 0 1	A

Progettazione :								IL PROGETTISTA
Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	
A00	Prima Emissione	ALPINA <i>Adriano...</i>	27/09/2013	COCIV <i>[Signature]</i>	27/09/2013	A. Palomba <i>[Signature]</i>	30/09/2013	 Consorzio Collegamenti Integrati Veloci Dott. Ing. Alto Mancarella Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R

n. Elab.:	File: IG51-02-E-CV-RB-IN9D-00-001-A00.DOCX
-----------	--

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-02-E-CV-RB-IN9D-00-001_A00 Relazione geotecnica</p> <p style="text-align: right;">Foglio 3 di 27</p>

INDICE

INDICE.....		3
1. PREMESSA.....		5
2. SCOPO DEL DOCUMENTO.....		5
3. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO		6
3.1. Normative, raccomandazioni e strumenti territoriali di riferimento		6
3.2. Riferimenti bibliografici.....		7
3.3. Documenti di riferimento.....		8
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO		9
4.1. Argille a Palombini del Passo della Bocchetta		12
5. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO		16
6. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO		16
7. CAMPAGNE DI INDAGINI GEOGNOSTICHE		17
7.1. Prove geotecniche in sito.....		17
7.2. Prove geotecniche di laboratorio		17
7.3. Rilievi geostrutturali		18
8. UNITA' GEOTECNICHE E PROFILO GEOTECNICO		18
8.1. Unità geotecniche		18
8.1. Profilo geotecnico longitudinale.....		20
9. SINTESI DELLA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELLA TRATTA.....		20
10. PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO		27

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



IG51-02-E-CV-RB-IN9D-00-001_A00
Relazione geotecnica

Foglio
4 di 27

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-02-E-CV-RB-IN9D-00-001_A00 Relazione geotecnica</p> <p style="text-align: right;">Foglio 5 di 27</p>

1. PREMESSA

Il presente documento illustra gli aspetti geotecnici connessi alla progettazione esecutiva del Lotto 2 della tratta AV/AC Milano-Genova-III Valico dei Giovi e più in particolare della Strada di accesso al pozzo di ventilazione della galleria naturale Finestra Castagnola, nel Comune di Franconalto (AL).

La nuova viabilità WBS IN9D parte dal cantiere COP2 della Castagnola già realizzato e prosegue verso il piazzale del pozzo di areazione della finestra della Castagnola, per un'estensione complessiva di 1+133.65 km, sviluppandosi nel comune di Franconalto. Nel primo tratto, da pk 0+000.0 a pk 0+687.72 circa, il tracciato ripercorre una strada sterrata esistente; nel secondo tratto da pk 0+687.72 fino al termine della WBS, procede in trincea attraversando un'area boschiva pregiata dal punto di vista paesistico per le sue risorse naturalistiche, essendo posta in prossimità del SIC Capanne di Marcarolo che non viene però interferito dal progetto.

Le principali interferenze con la viabilità in oggetto sono rappresentate dall'attraversamento di 5 fossi idraulici minori (Rio 1, Rio 2, Rio 3, Rio 4 e Fosso 1) appartenenti al bacino del rio Traversa, affluente di sinistra del Torrente Scrivia.

Il presente documento è stato redatto sulla base delle risultanze delle indagini geognostiche in sito e di laboratorio realizzate nell'ambito della campagna di indagini per il Progetto Preliminare della linea ferroviaria e delle campagne di approfondimento successive propedeutiche allo sviluppo del Progetto Definitivo ed Esecutivo, e con riferimento a quanto riportato nella relazione geologica e nei profili geologici del progetto esecutivo.

Le analisi e le valutazioni condotte per la definizione della caratterizzazione geotecnica sono state effettuate con specifico riferimento a quanto riportato nella relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica del progetto esecutivo nonché ai relativi documenti grafici (carta geologica e geomorfologica, carta idrogeologica, profili geologico-tecnici e sezioni trasversali).

Gli elementi di sismicità e di classificazione sismica del lotto interessato dalle opere, nonché la definizione delle azioni sismiche e dei parametri da considerare per le valutazioni progettuali sono riportate nella relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica del PE.

2. SCOPO DEL DOCUMENTO

Il presente documento ha lo scopo di fornire un inquadramento delle caratteristiche fisiche e geotecniche dei terreni attraversati dal tracciato stradale.

Il presente documento si articola nei seguenti punti:

- 1) descrizione delle caratteristiche geologiche salienti dell'area interessata dal tracciato e dei terreni costituenti il sottosuolo;
- 2) sintesi del quadro idrogeologico ed individuazione delle quote di falda significative ai fini dello sviluppo del progetto esecutivo;

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RB-IN9D-00-001_A00 Relazione geotecnica
	Foglio 6 di 27

- 3) descrizione delle campagne di indagini utilizzate per la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei terreni;
- 4) definizione delle unità geotecniche e descrizione del profilo geotecnico nelle sue caratteristiche salienti;
- 5) sintesi dei risultati della caratterizzazione geotecnica dei terreni, derivata sia dall'elaborazione delle prove in sito che di laboratorio;
- 6) individuazione dei *range* dei parametri geotecnici caratteristici generali di ciascuna unità geotecnica sulla base delle indagini disponibili.

3. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

3.1. Normative, raccomandazioni e strumenti territoriali di riferimento

La progettazione delle opere ferroviarie della tratta sarà redatta in ottemperanza dell'Art. 20 della Legge 28 febbraio 2008, n. 31, secondo i dettami normativi antecedenti all'emissione del Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008, come anche confermato dalla Circolare 5 agosto 2009 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. L'Art. 20 comma 3 recita *“Per le costruzioni e le opere infrastrutturali iniziate, nonché per quelle per le quali le amministrazioni aggiudicatrici abbiano affidato i lavori o avviato progetti definitivi o esecutivi prima dell'entrata in vigore della revisione generale delle norme tecniche per le costruzioni approvate con decreto del Ministro delle infrastrutture e trasporti 14 settembre 2005, continua ad applicarsi la normativa tecnica utilizzata per la redazione dei progetti, fino all'ultimazione dei lavori e all'eventuale collaudo”*.

I calcoli e le disposizioni esecutive sono pertanto conformi alle seguenti normative di legge:

- [1] D.M. 11.03.1988 - “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”.
- [2] Circ. LL.PP. 24 settembre 1988 n. 30483 “Norme tecniche per terreni e fondazioni - Istruzioni applicative”.
- [3] D.M. 09/01/1996 – “Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche”.
- [4] Circ. LL.PP. 15 ottobre 1996 n. 252 – Istruzioni per l'applicazione delle “Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche” di cui al DM 09/01/1996.
- [5] D.M. 16/01/1996 – “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche”.
- [6] Circ. LL.PP. 10 aprile 1997 n. 65 – Istruzioni per l'applicazione delle “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche” di cui al DM 16/01/1996.
- [7] 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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RB-IN9D-00-001_A00 Relazione geotecnica
	Foglio 7 di 27

progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" - Cir. Dir. Cen. Tecn. n° 97/81.

- [8] 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".
- [9] 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".
- [10] Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico PAI - (Autorità di Bacino del Fiume Po), approvato con DPCM 24/05/2001.
- [11] EN 1997 Eurocodice 7 "Geotechnical Design".
- [12] RFI "Manuale di progettazione";

3.2. Riferimenti bibliografici

- [13] Bruschi A. (2010) – "Prove geotecniche in situ – Guida alla stima delle proprietà geotecniche e alla loro applicazione alle fondazioni" – Dario Flaccovio Editore.
- [14] Cestari F. (1990) - "Prove Geotecniche in sito" – ed. Geo-graph.
- [15] D'Appolonia D.J. (1970) - "Settlement of Spread Footings on Sand". In "Civil Engineering", ASCE, Maggio 1968 – Marzo 1970.
- [16] Duncan J.M., Buchignani A.L. (1976) - "An engineering manual for settlement studies" Dipartimento di Ingegneria Civile – Università della California, Berkeley.
- [17] Elson W.K. (1984) - "Design of laterally loaded piles" - CIRIA Report n.103.
- [18] Gibbs H.J. & Holtz W.G. (1957) - "Research on Determining the Density of Sands by Spoon Penetration Testing" - Proc. IV ICSMFE, Londra.
- [19] Jamiolkowski, M., Ladd, C.C., Germaine, J.T. e Lancellotta, R. (1985) - "New developments in field and laboratory testing of soils", Proc. 11a Conf. Int. di meccanica dei suoli e ing. delle fond., San Francisco, Volume 1, Balkema, Rotterdam, pp. 57-153.
- [20] Jamiolkowski M. et al. (1988) - "New correlations of penetration tests for Design Practice" - ISOPT, Orlando, Vol. 1, pag. 263.
- [21] Koutsoftas D.C. & Ladd C.C. (1985) - "Design Strength of an offshore clay" – Tesi di PhD Università del Texas - Austin (USA).
- [22] Matlock H. & Reese L.C. (1960) - "Generalized solutions for laterally loaded piles". Proc. American Society of Civ. Engrs. – Journal of Soil Mechanics and Foundations – Vol. 86, pp. 63-91.
- [23] NAVFAC-DM 7.1 (1971) - "Soil mechanics, foundations and earth structures – Design Manual". Dept. of the Navy – Naval Facilities Engineering Command.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RB-IN9D-00-001_A00 Relazione geotecnica Foglio 8 di 27

- [24] NAVFAC-DM 7 (1982) - "Design Manual - Soil mechanics, foundations, and earth structures" Dept. of the navy - Naval Facilities Engineering Command.
- [25] Ohta Y. & Goto N. (1978) – “Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristics soil indices” - Earthquake Eng. and Struc. Dyn., (6), pp. 167-187.
- [26] Schultze, E. & Menzenbach, E. (1961) "Standard Penetration Test and Compressibility of Soils" Atti della V Conf. Int. sulla meccanica dei suoli e l'ing. delle fond., Vol. 1, pp. 527-532.
- [27] Schmertmann, J. (1977) - “Guidelines for cone penetration test performance and design” Rep. No. FHWA-TS-78-209, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- [28] Skempton A.W. (1986) - “Standard Penetration Test Procedures and the Effects in Sands of Overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Aging and Overconsolidation” – Geotechnique, Vol. 36, pp. 425-447.
- [29] Stroud, M.A. (1989) “The Standard Penetration Test-its Application and Interpretation”. Institution of Civil Engineers Conference on Penetration Testing, Birmingham, United Kingdom. Thomas Telford, London, pp. 29-49.
- [30] Stroud M.A: & Butler F.G. (1975). “The Standard Penetration Test and the Engineering Properties of Glacial Materials”. Proceedings Symposium on the Engineering Behaviour of Glacial Materials, Midland Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Birmingham (UK).
- [31] Terzaghi, K. & Peck, Rb. (1948) “Soil Mechanics in Engineering Practice”, I e II edizione, John Wiley, New York.
- [32] EPRI EL-6800, “Manual on estimate Soil properties for foundation design” 1990.

3.3. Documenti di riferimento

- [33] Relazione geotecnica delle tratte all'aperto IG5102ECVRBGE0001001A00
- [34] Relazione sismica delle tratte all'aperto IG5102ECVRHGE0001001A00
- [35] Adeguamento SP7/SP163 della Castagnola – Tratto 2 – Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica IG5102ECVRGNV1300006B00
- [36] Adeguamento SP7/SP163 della Castagnola – Tratto 2 – Relazione geotecnica IG5102ECVRBNV1300002B00
- [37] Adeguamento SP7/SP163 della Castagnola – Tratto 2 – Carta geologica, geomorfologica con indicazione indagini geognostiche Tav. 8/10 IG5102ECVG7NV1300008B00
- [38] Adeguamento SP7/SP163 della Castagnola – Tratto 2 – Profilo geologico - geotecnico Tav. 9/12 IG5102ECVAZNV1300013B00
- [39] Adeguamento SP7/SP163 della Castagnola – Tratto 2 – Sezioni geologico - geotecniche Tav. 5/8 IG5102ECVW9NV1300014B00

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RB-IN9D-00-001_A00 Relazione geotecnica
	Foglio 9 di 27

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La viabilità in esame attraversa un contesto collinare in prossimità del Bosco del Mazzareto, sviluppandosi all'interno del comune di Franconalto (AL).

Dal punto di vista geologico, essa si colloca nella zona di giustapposizione tra i domini orogenici alpino e appenninico (Figura 4-1), nota in letteratura come “nodo collisionale ligure” (Laubscher et 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., 2008).

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

1. *le unità tettonometamorfiche 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 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.

A est, la Zona Sestri-Voltaggio è in contatto con le unità tettoniche di basso grado che compongono il dominio dei Flysch Appenninici. A ovest, essa è invece in contatto 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 appenninica, anche se le interpretazioni sulla sua natura sono spesso state tra loro discordanti: faglia trascorrente (Elter & Pertusati, 1973), sovrascorrimento (Cortesogno & Haccard, 1984) o faglia estensionale (Hoogerduijn Strating, 1994). Attualmente la ZSV è ritenuta un canale di concentrazione preferenziale della deformazione tettonica 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).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RB-IN9D-00-001_A00 Relazione geotecnica
	Foglio 10 di 27

A scala locale, il territorio in cui si colloca l'intervento è ubicato nell'areale di affioramento della ZSV e più precisamente entro l'unità tettonometamorfica Figogna, interessando le formazioni delle "Argille a Palombini del Passo della Bocchetta" (aP) e i "Metabasalti del monte Figogna".

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

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

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

Uno schema sintetico dei rapporti stratigrafici all'interno dell'unità Figogna è presentato nella successiva Figura 4-3.

Nel Foglio CARG Genova l'unità Figogna è interpretata come una serie ofiolitifera rovesciata, posizionata lungo il fianco inverso 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, generando superfici di scollamento lungo cui si determina una strutturazione a sovrascorrimenti interni all'unità (Capponi et al. 2009).

I metabasalti, relativamente indisturbati, sono interessati, nel settore occidentale dell'unità, da numerose faglie transpressive dirette N-S e a vergenza W, che determinano dei raddoppiamenti (duplex) della sequenza serpentiniti-metabasalti. Queste strutture sviluppano, soprattutto nelle serpentiniti, tessiture cataclastiche che sembrano agire da orizzonte plastico, assorbendo la maggior parte della deformazione.

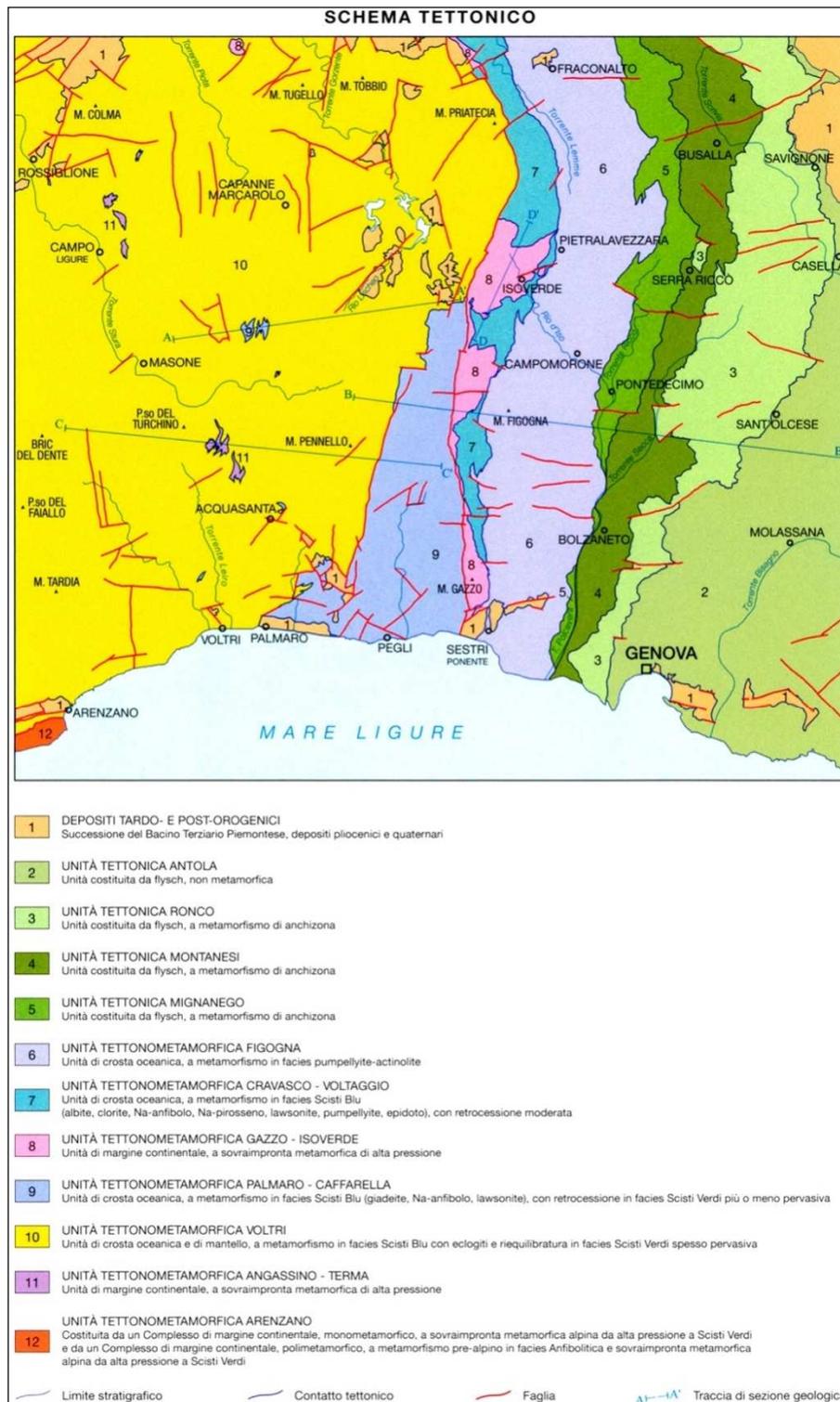


Figura 4-1 Schema tettonico dell'area interessata dal progetto (tratto dal foglio CARG "Genova").

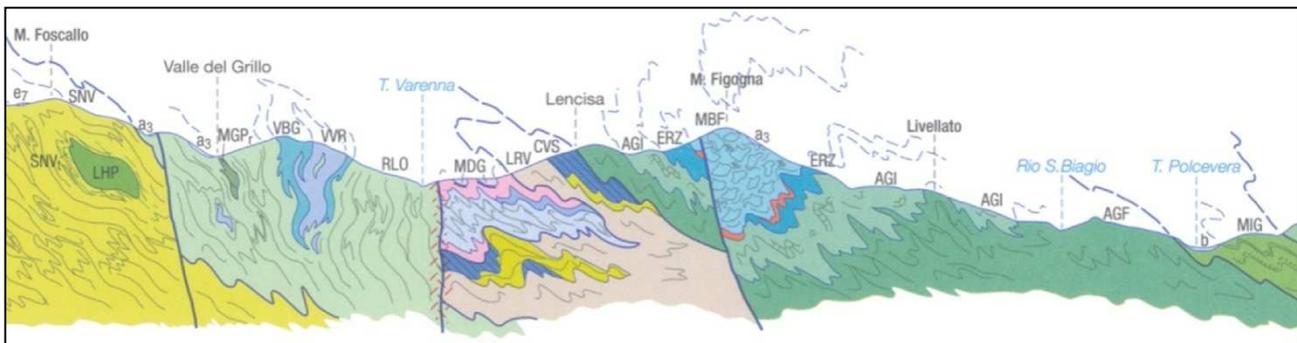


Figura 4-2 – Profilo geologico B-B’ (cfr. schema di Figura 1), con direzione ESE-WNW, attraverso la Val Polcevera e la dorsale del M. Figogna (Foglio CARG Genova; Capponi et al., 2007).

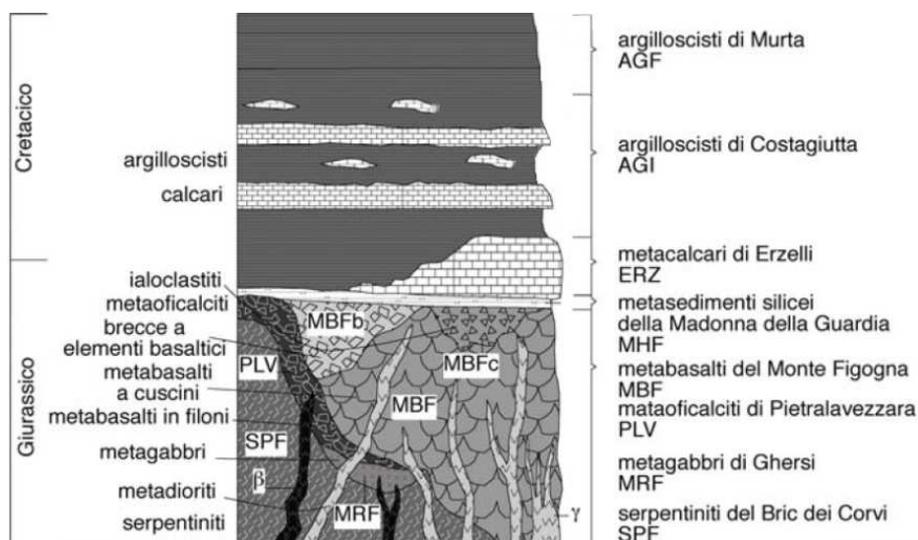


Figura 4-3 Schema dei rapporti stratigrafici tra le varie formazioni che costituiscono l’unità tettonometamorfica Figogna (Capponi et al., 2008).

4.1. Argille a Palombini del Passo della Bocchetta

aP, AGI, AGF (Cretaceo inf.)

L’unità delle “Argille a Palombini del Passo della Bocchetta”, descritta come un complesso litostratigrafico unico dagli autori pre-CARG e dal Progetto Definitivo, è stata successivamente suddivisa nel foglio CARG Genova in due sottunità:

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RB-IN9D-00-001_A00 Relazione geotecnica
	Foglio 13 di 27

Le due sottounità AGI e AGF occupano posizioni strutturalmente e litostratigraficamente distinte (Figura 4-2): gli argilloscisti di Costagiutta in posizione soprastante, gli argilloscisti di Murta in posizione sottostante; i rapporti reciproci a scala regionale sono esemplificati dal profilo geologico di Figura 4-2, estratto dal foglio CARG Genova.

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

Lo spessore degli strati è generalmente centimetrico, ma nella parte alta della sequenza si osserva una stratificazione più irregolare con strati decimetrici e interstrati pelitici foliati. Sono frequenti noduli allungati e liste di quarzo microcristallino biancastro.

L'assenza di contenuto paleontologico non consente di determinare con precisione l'età della formazione che, per analogia con le Argille a Palombini delle successioni Liguri, è ipotizzata barremiano-albiana (Capponi et al., 2008).

Le giaciture individuate sono frequentemente la media di una stratificazione disturbata da serie di pieghe più o meno frammentate; la scistosità descrive frequentemente pieghe a ginocchio con cerniere più o meno acute e pieghe serrate, a scala da centimetrica a pluridecimetica. Gli argilloscisti di Costagiutta affiorano diffusamente a E della dorsale del M. Figogna e, in misura minore, sul suo lato occidentale, dove sono in contatto tettonico con le unità Gazzo e Cravasco-Voltaggio.

Gli Argilloscisti di Murta (AGF) a differenza dei precedenti sono privi dei caratteristici interstrati calcarei, i "Palombini" auct. che hanno dato il nome all'intera formazione. Sono rappresentati da un'alternanza di argilloscisti filladici color grigio scuro e grigio argenteo, a patina sericitica, con intercalazioni di sottili straterelli calcarei, di metasiltiti e di metaareniti fini, color grigio chiaro, nocciola in alterazione, con laminazioni piano-parallele localmente convolute. Gli strati hanno generalmente spessore da centimetrico a decimetrico; sono presenti orizzonti con strati fino a 30 cm di argilliti e metasiltiti.

Il 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, talvolta con tracce di scorrimento interstrato e aspetto vetrificato (fenomeni di dinamometamorfismo); possono essere presenti noduli allungati e liste di quarzo microcristallino biancastro. I contatti con le unità sopra- e sottostanti sono di tipo tettonico.

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RB-IN9D-00-001_A00 Relazione geotecnica
	Foglio 14 di 27

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

4.2. Metabasalti del Monte Figogna

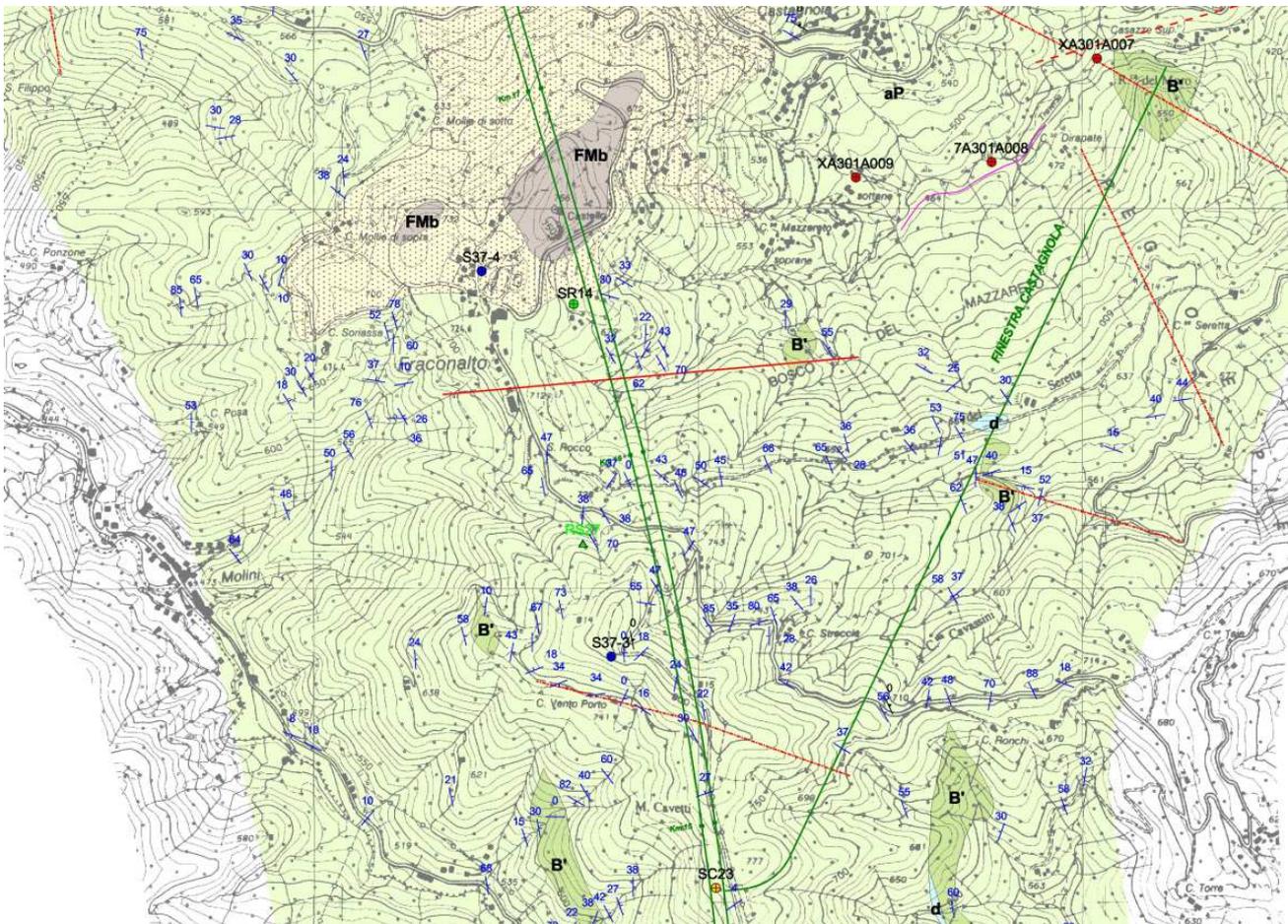
MBF, B'

Metabasalti massivi e a pillow, con orizzonti di brecce basaltiche a tessitura fluidale, più raramente in filoni massicci a tessitura doleritica e con locali filoni decimetrico-metrici di metadioriti. I metabasalti si presentano poco deformati; 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 Costagiutta, dove sono frequentemente associati a lembi di metasedimenti silicei, metacalcari e metaoficalciti.

La Figura 4-4 illustra la carta geologica in corrispondenza dell'area di studio, con l'ubicazione dei sondaggi geognostici eseguiti.



Unità Timone - Bric Teiolo (Unità del M. Figogna; Haccard, 1976)

Impronta metamorfa in facies scisti verdi a pumpellyte - attinollite

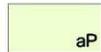
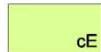
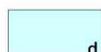
- | | |
|--|---|
| 
aP | ARGILLITI A PALOMBINI DEL PASSO DELLA BOCCHETTA (aP) (Cretaceo inf.)
Scisti micaceo - carbonatici di colore grigio scuro o nero, ricchi in grafite, con intercalazioni decimetrico - metriche di calcari micritici silicei e di calcari micacei. |
| 
cE | CALCARI DI ERSELLI (cE) (Neocomiano - Totoniano sup.)
Calcari metamorfici microcristallini e finemente arenacei, talora laminati, in strati di vario spessore con giunti pelitici scistosi |
| 
d | SCISTI SILICEI (DIASPRI s.l.) (d) (Giurassico sup.)
Scisti silicei rossastri o, subordinatamente verdi, passanti talora a quarziti rosse o rosate scistose e, subordinatamente a scisti grigi |
| 
B' | META-BASALTI (B') (Giurassico sup.- medio)
Meta-basalti da massicci a scistosi, talora presentanti ancora strutture a pillow, generalmente presentanti una intensa fratturazione; presenza locale di breccie basaltiche; ove localizzati all'interno di corpi serpentinitici possono presentare una giacitura filoniana preservata. |
| 
Se' | SERPENTINITI, SERPENTINOSCISTI E OFICALCI (Se') (Giurassico sup. - medio)
Serpentiniti, talora massiccie, perlopiù fortemente fratturate, passanti generalmente a serpentiniti scistose, con foliazione anastomosata; locale presenza di breccie serpentinitiche cementate da calcite, di colore verdastro, e localmente rossiccio a causa di fenomeni di ematizzazione. |

Figura 4-4 Carta geologica IN9D

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-02-E-CV-RB-IN9D-00-001_A00 Relazione geotecnica <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 293"> <tr> <td>Foglio 16 di 27</td> </tr> </table>	Foglio 16 di 27
Foglio 16 di 27		

5. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Dal punto di vista geomorfologico, la tratta in esame attraversa un contesto montuoso caratterizzato da roccia affiorante o sub affiorante.

Nel tratto iniziale del tracciato, in prossimità di Rocca del Moro, si è rilevata la presenza dei metabasalti affioranti con versante acclive.

La maggior parte del tracciato presenta coperture detritiche eluvio-colluviali di spessore compreso tra 1÷3 m su substrato argillitico. Nei tratti caratterizzati da maggiore acclività del versante, le argilliti sono affioranti.

Le coperture detritiche sono inquadrabili come limi argillosi-sabbiosi con scaglie argillitiche.

Queste coperture ed il primo cappellaccio di alterazione del substrato litoide sono, in generale, interessate da circolazione d'acqua di entità proporzionale alla piovosità stagionale (le massime circolazioni si hanno in corrispondenza degli impluvi); il confinamento idrogeologico del substrato pressoché impermeabile favorisce infatti l'instaurarsi di condizioni di saturazione nei periodi di piogge più intense e durature.

6. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Nell'area dell'intervento il contesto idrogeologico naturale è caratterizzato da una notevole omogeneità litologica, con una presenza predominante di argilliti ed argilloscisti. Le formazioni degli scisti micaceo-carbonatici presentano una permeabilità da bassa a molto bassa per fratturazione, anche se in corrispondenza delle principali intercalazioni di calcari è prevedibile che il grado di permeabilità per fratturazione possa essere leggermente più elevato. La circolazione idrica all'interno di questa formazione risulta pertanto limitata alle coltri detritiche superficiali, di spessore ridotto, o lungo le fasce intensamente fratturate del cappellaccio di alterazione.

Al verificarsi di eventi intensi e concentrati, gli strati più superficiali dei terreni di copertura vengono, generalmente, a trovarsi in condizioni di elevata saturazione: tale condizione, oltre a ridurre l'infiltrazione verso orizzonti più profondi, è la principale causa innescante di fenomeni franosi superficiali.

In termini di permeabilità, è possibile evidenziare quanto segue:

- le coltri detritiche sono permeabili per porosità; sulla base delle prove Lefranc eseguite in fase di PD e in considerazione delle caratteristiche granulometriche della matrice che risulta da fine a medio-fine, a tali terreni è possibile attribuire il seguente range di permeabilità: $10E^{-7}$ m/s ÷ $10E^{-5}$ m/s.
- la formazione delle Argille a Palombini è caratterizzata da una permeabilità da bassa a medio bassa; sulla base delle prove Lugeon eseguite in fase di PD è possibile attribuire alla formazione il seguente range di permeabilità: $10E^{-6}$ m/s ÷ $10E^{-8}$ m/s.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RB-IN9D-00-001_A00 Relazione geotecnica
	Foglio 17 di 27

- la formazione dei Metabasalti è caratterizzata da una permeabilità da bassa a medio bassa; sulla base delle prove Lugeon eseguite in fase di PD è possibile attribuire alla formazione il seguente *range* di permeabilità: $10E^{-6}$ m/s÷ $10E^{-7}$ m/s.

7. CAMPAGNE DI INDAGINI GEOGNOSTICHE

I dati geognostici a supporto del presente studio derivano dalle risultanze delle indagini in sito e di laboratorio realizzate nell'ambito delle campagne di indagini realizzate per il PP (2001-2002), PD (2004) e PE (Lotto 1 2012-2013) a supporto della progettazione preliminare, definitiva ed esecutiva del Lotto 2 della tratta ferroviaria in esame, allo scopo di verificare le condizioni geologico-geotecniche lungo il tracciato in progetto.

Nel presente documento si prendono in esame alcune delle risultanze delle campagne di indagini messe a punto per la viabilità NV13, posta in adiacenza alla WBS in oggetto, non essendo disponibili informazioni specifiche lungo la viabilità in esame.

7.1. Prove geotecniche in sito

Le prove geotecniche in sito eseguite in prossimità della WBS IN9D, come riportato in Figura 4-4 consistono in :

- n. 3 sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo (XA301A007, 7A301A008, SP14) di profondità comprese tra 20 e 30 m dal piano campagna, con rilievo stratigrafico, esecuzione di prove in foro, prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati per l'esecuzione di prove di laboratorio, prove dilatometriche, rilievo della falda ed installazione di strumentazione di monitoraggio;

Per la documentazione tecnica relativa alle indagini realizzate nell'ambito della campagna geognostica si rimanda alle relazioni tecniche a commento delle risultanze delle indagini redatte dalle ditte esecutrici.

7.2. Prove geotecniche di laboratorio

Sui campioni prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi geognostici ed inviati al laboratorio geotecnico, sono state effettuate le seguenti prove ed attività:

- apertura, riconoscimento stratigrafico con scortecciatura del campione, descrizione litotipi, rappresentazione fotografia del campione;
- prove speditive di consistenza con pocket penetrometer e vane test;

Caratteristiche fisico-volumetriche:

- analisi granulometriche;
- limiti di Atterberg;
- valori di umidità naturale (w_n);

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RB-IN9D-00-001_A00 Relazione geotecnica
	Foglio 18 di 27

- valori di peso dell'unità di volume naturale (γ_{nat});
- valori del peso specifico dei grani (G_s);

Caratteristiche di deformabilità e resistenza al taglio:

- prove di taglio diretto (TD) con determinazione dei parametri di picco;
- prove edometriche;
- point load test;
- prove di compressione semplice;

Per i certificati di prova del laboratorio si rimanda ai documenti predisposti dalle ditte esecutrici.

7.3. Rilievi geostrutturali

Per la classificazione geomeccanica della formazione delle Argille a Palombini si sono presi a riferimento i dati e le considerazioni già svolte nel corso degli studi precedenti, nel corso dei quali sono stati eseguiti una serie di rilievi geologico - geostrutturali.

Tali studi hanno consentito di rilevare le giaciture delle principali discontinuità (clivaggio, foliazione, giunti di frattura) e le loro caratteristiche in termini di spaziatura media, apertura, JCS e JRC, persistenza lineare, volumi unitari dell'ammasso roccioso e infine l'intensità di fatturazione espressa come numero di discontinuità medio per metro lineare di stendimento.

8. UNITA' GEOTECNICHE E PROFILO GEOTECNICO

La WBS in oggetto è caratterizzata prevalentemente dalla presenza di una coltre detritica eluvio-colluviale (limi argilloso-sabbiosi con scaglie argillitiche) di spessore variabile da 1 a 3 m, che ricopre il substrato locale rappresentato dalla formazione delle Argille a Palombini del Passo della Bocchetta (argilloscisti con intercalazioni di strati calcarei) dell'Unità Figogna.

8.1. Unità geotecniche

Con riferimento ai risultati delle indagini geognostiche ed alle prove di laboratorio disponibili, e sulla base di quanto riportato nelle relazioni geologiche e geotecniche allegate al progetto esecutivo delle WBS NV13 ([35],[36]) e alla relazione geotecnica delle tratte all'aperto ([33]), è stato possibile individuare una successione litologico-stratigrafica costituita da (Tabella 8-1):

1. un primo spessore di copertura o depositi di coltre detritica, con spessori variabili da 1 a 3 metri circa, che può essere schematizzata in due differenti livelli:
 - un livello di sabbia limoso-argillosa a grana medio-fine;
 - un livello di limo argilloso localmente sabbioso a grana fine.

2. uno strato di alterazione del substrato (*cappellaccio*) caratterizzato dalla presenza di materiale lapideo in scaglie e frammenti in una matrice prevalentemente limosa, con spessori variabili da 4 a 6 metri circa;
3. substrato lapideo costituito da argilliti-argilloscisti appartenenti alla Formazione delle Argille a Palombini.

Tabella 8-1 Unità geotecniche e unità litotecniche corrispondenti

ID UNITA' LITOTECNICA	DESCRIZIONE	ID UNITA' GEOTECNICA PE	ID UNITA' GEOTECNICA PE
Copertura detritico colluviale (dt)	Sabbia limoso-argillosa a grana medio-fine	UNITA' 1a	dt_SL – sabbie limoso-argillosa
	Limo argilloso localmente sabbioso a grana fine	UNITA' 1b	dt_LA – limi argilloso
Argille a Palombini (aP)	Strato di alterazione del substrato	UNITA' 2a	aP_alt – Strato di alterazione di aP
	Formazione di base	UNITA' 2b	aP – Argille a Palombini
Metabasalti del Monte Figogna (MBF)	Strato di alterazione del substrato	UNITA' 3a	MBF_alt – Strato di alterazione di MBF
	Formazione di base	UNITA' 3b	MBF – Metabasalti del Monte Figogna

Di seguito è riportata la descrizione completa di ciascuna unità geotecnica.

- **UNITÀ dt_SL:** coltre detritico colluviale a grana medio-fine; unità geotecnica prevalentemente incoerente.
- **UNITÀ dt_LA:** coltre detritico colluviale a grana fine; unità geotecnica prevalentemente coesiva.
- **UNITÀ aP:** substrato roccioso delle Argille a Palombini;
- **UNITÀ aP_alt:** strato di alterazione del substrato roccioso delle Argille a Palombini; unità geotecnica prevalentemente coesiva.
- **UNITÀ MBF:** substrato roccioso dei Metabasalti del Monte Figogna;
- **UNITÀ aP_alt:** strato di alterazione del substrato roccioso dei Metabasalti del Monte Figogna; unità geotecnica prevalentemente coesiva.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RB-IN9D-00-001_A00 Relazione geotecnica
	Foglio 20 di 27

8.1. Profilo geotecnico longitudinale

Dall'esame del profilo geologico-geotecnico emerge che lungo il tracciato la sequenza stratigrafica è caratterizzata dalla presenza dell'Unità 1 delle coltri detritiche che giace immediatamente al di sopra del substrato roccioso, con spessori variabili tra 1.0 e 3.0 m circa.

Nel tratto in esame, lo strato di alterazione superficiale della roccia presenta spessori variabili tra 4 e 6 m circa.

Sulla base dei dati disponibili, la situazione stratigrafica del sito può essere così schematizzata:

- a partire da p.c., si incontra uno strato di spessore pari mediamente 1.0÷2.0 m costituito principalmente da limo argilloso, appartenente alla formazione c_LA;
- al di sotto della formazione c_LA è presente lo strato di alterazione delle Argille a Palombini di spessore mediamente pari a 4.0÷5.0 m (formazione aP_alt);
- segue, fino alla massime profondità indagate, la formazione delle Argille a Palombini (formazione aP) costituita da argiloscisti con intercalazioni di strati calcarei.
- nel primo tratto della viabilità, si rinviene in affioramento la formazione dei Metabasalti del Monte Figogna (formazione MBF) costituita da metabasalti massivi e a pillow, con orizzonti di breccie basaltiche; lo stato superficiale di alterazione è dell'ordine di 3÷4.0 m (formazione MBF_alt).

9. SINTESI DELLA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELLA TRATTA

La caratterizzazione geotecnica/geomeccanica delle varie unità geotecniche interessate dal tracciato è basata sui risultati delle indagini sito e sulle prove di laboratorio, in base a quanto riportato nelle relazioni geotecniche [33], **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** e [36], cui si rimanda per i dettagli relativi ai criteri utilizzati, alle elaborazioni effettuate e alla definizione dei *range* di parametri da assumere in sede di progettazione esecutiva delle opere.

L'unità aP lungo il versante può essere cautelativamente assimilata al gruppo geomeccanico GR3, rappresentativo delle condizioni dell'ammasso più scadenti. Nelle relazioni geotecniche di riferimento il gruppo GR3 è descritto come segue: *"l'RQD è variabile mediamente tra il 20 e il 50%; con la foliazione regolarmente e fittamente spaziata ma con struttura più intensamente piegata, fino alla microscala. Le superfici dei giunti sono da poco alterate ad alterate e la circolazione idrica è scarsa. I palombini, quando presenti (non oltre il 50%), risultano da fratturati a molto fratturati e localmente alterati"*.

L'unità MBF è stata suddivisa in due gruppi geo-meccanici rappresentativi *"delle due condizioni d'ammasso rinvenute nell'ambito delle verticali di indagine realizzate, ovvero dello stato fratturato/alterato e compatto"*.

Per la caratterizzazione geotecnica dell'ammasso è stato utilizzato il codice di calcolo ROCLAB (Rocscience, 2006), che consente, noti i parametri di resistenza della roccia intatta $\sigma_{c,i}$ e dell'indice GSI, di stimare i parametri di resistenza dell'ammasso (Hoek, Carranza-Torres, Corkum, 2002) sia secondo il criterio di rottura di Hoek e Brown, che secondo il criterio di rottura di Mohr-Coulomb. In particolare la stima dei parametri c e ϕ richiede la definizione dell'intervallo tensionale nel quale va linearizzata la curva di resistenza di Hoek e Brown. I dati di input richiesti dal programma sono i seguenti:

- $\sigma_{c,i}$: resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta;
- indice GSI;
- m_i : parametro caratteristico del criterio di Hoek e Brown per la roccia intatta;
- H: altezza della scarpata;
- D: fattore di disturbo;

La Tabella 9-1 riporta i risultati del calcolo eseguito per l'Unità aP, avendo assunto per il substrato roccioso un valore di $D=0$ (ammasso integro) e per il cappellaccio un valore di $D=0.4$ (ammasso alterato). L'altezza della scarpata è stata assunta pari a 10 m.

Tabella 9-1 Parametri di resistenza dell'ammasso roccioso nella formazione aP

Litotipo	Dati di input							Hoek-Brown			Mohr-Coulomb	
	γ [kN/m ³]	$\sigma_{c,i}$ [MPa]	GSI	m_i	E_i [MPa]	D	H [m]	m_b	s	a	c' [kPa]	ϕ' [°]
aP	26	5.0	30÷35	7	2000	0.0	10	0.575÷0.687	0.0004÷0.0007	0.522÷0.516	47÷53	35.95÷37.66
aP_alt						0.4		0.308÷0.384	0.0001÷0.0002	0.522÷0.516	36÷42	30.70÷32.86

Nelle figure seguenti si riportano le determinazioni dei parametri ottenuti con Roclab.

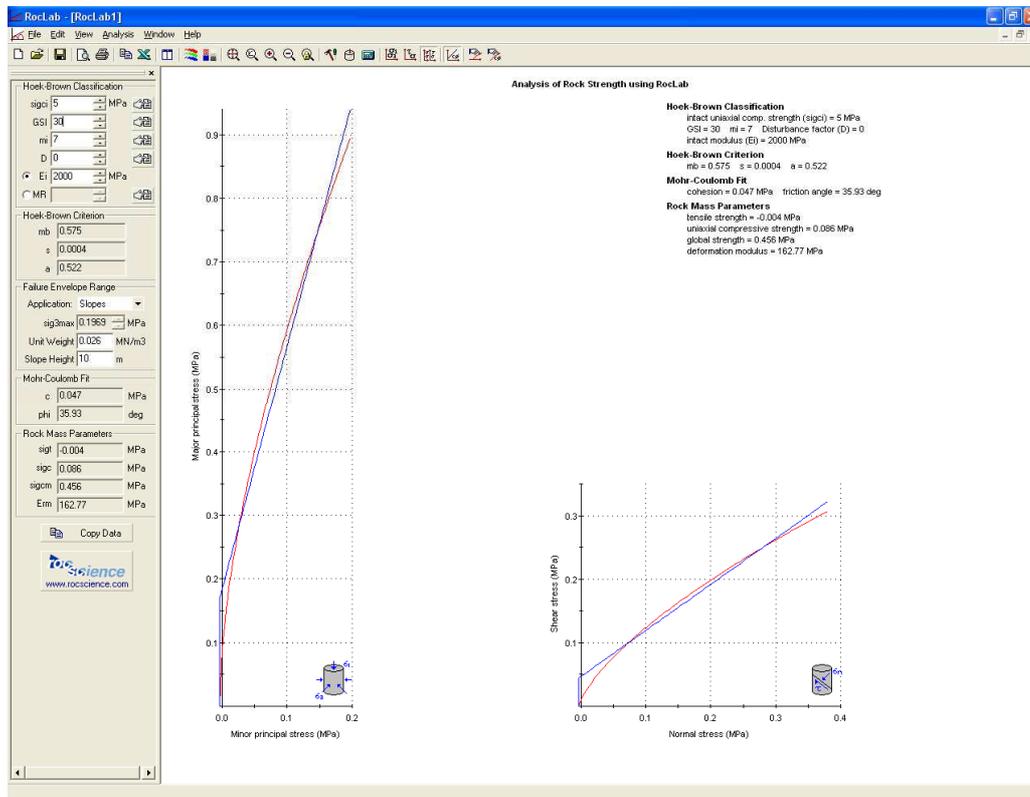


Figura 9-1 Parametri di Mohr Coulomb per l'unità aP GSI=30

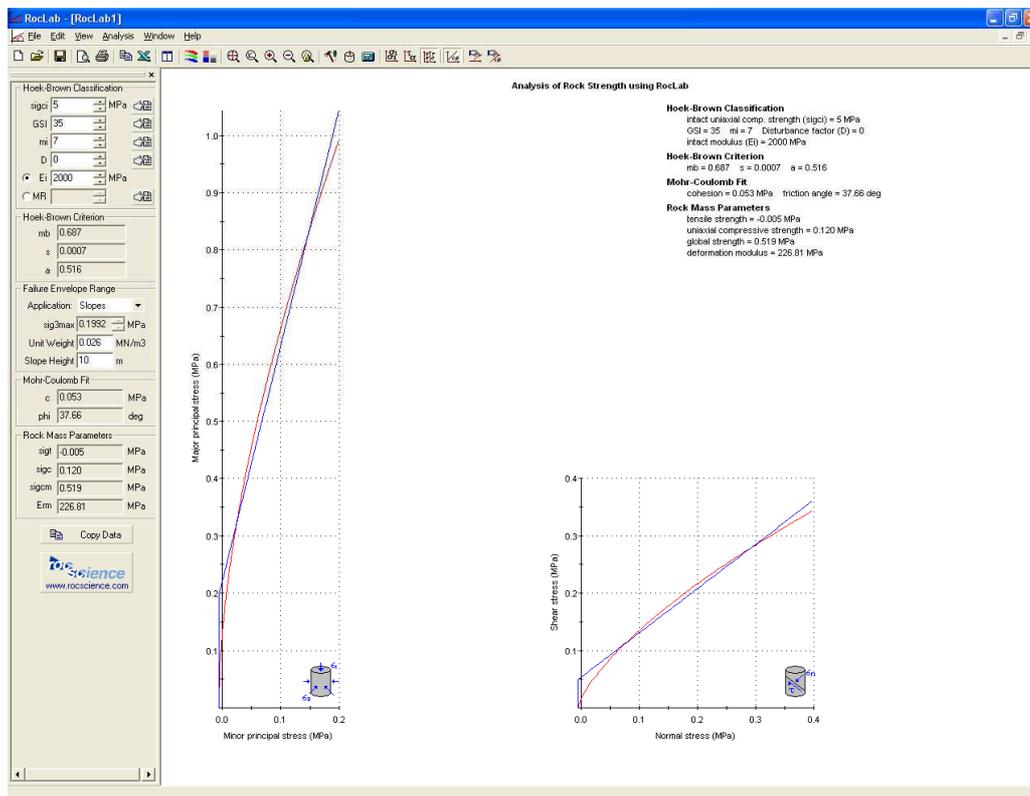


Figura 9-2 Parametri di Mohr Coulomb per l'unità aP GSI=35

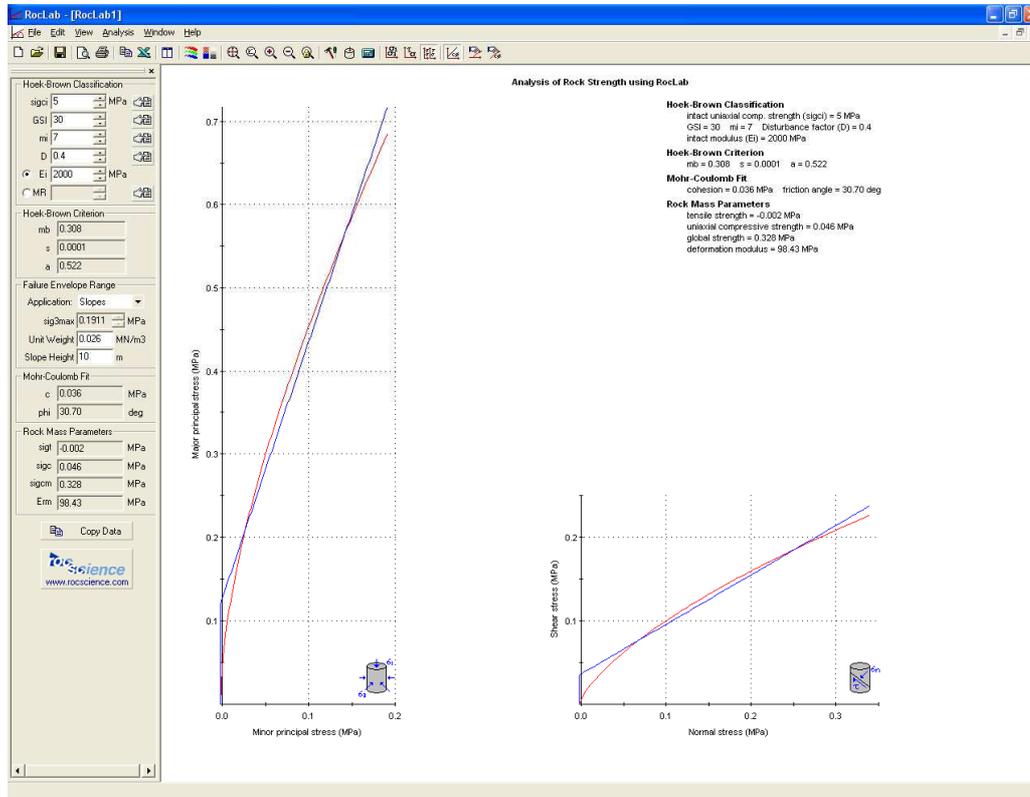


Figura 9-3 Parametri di Mohr Coulomb per l'unità aP_alt GSI=30

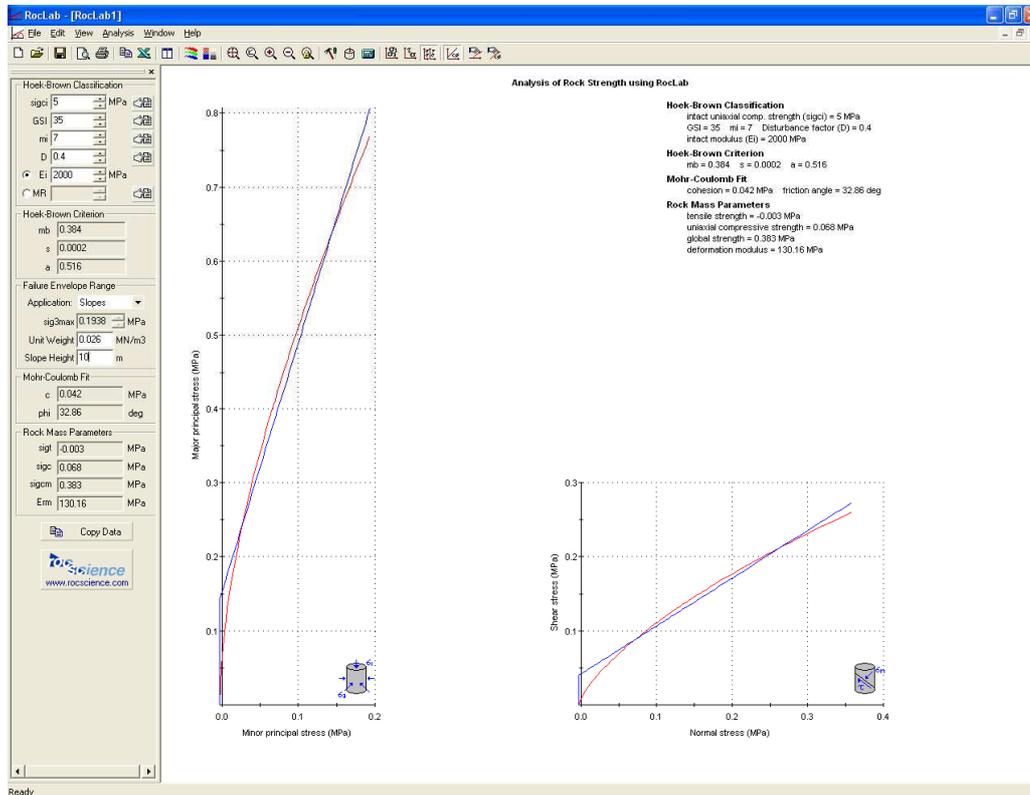


Figura 9-4 Parametri di Mohr Coulomb per l'unità aP_alt GSI=35

La Tabella 9-2 riporta i risultati del calcolo eseguito per l'Unità MBF, avendo assunto per il substrato roccioso un valore di $D=0$ (ammasso integro) e per il cappellaccio un valore di $D=0.4$ (ammasso alterato). L'altezza della scarpata è stata assunta pari a 10 m.

Tabella 9-2 Parametri di resistenza dell'ammasso roccioso nella formazione MBF

Litotipo	Dati di input							Hoek-Brown			Mohr-Coulomb	
	γ [kN/m ³]	$\sigma_{c,i}$ [MPa]	GSI	m_i	E_i [MPa]	D	H [m]	m_b	s	a	c' [kPa]	ϕ' [°]
MBF	27	5.0	30÷35	25	2000	0.0	10	2.052÷2.453	0.0004÷0.0007	0.522÷0.516	71÷79	46.60÷48.18
MBF_alt						0.4		1.098÷1.373	0.0001÷0.0002	0.522÷0.516	57÷64	41.34÷43.43

Nelle figure seguenti si riportano le determinazioni dei parametri ottenuti con Roclab.

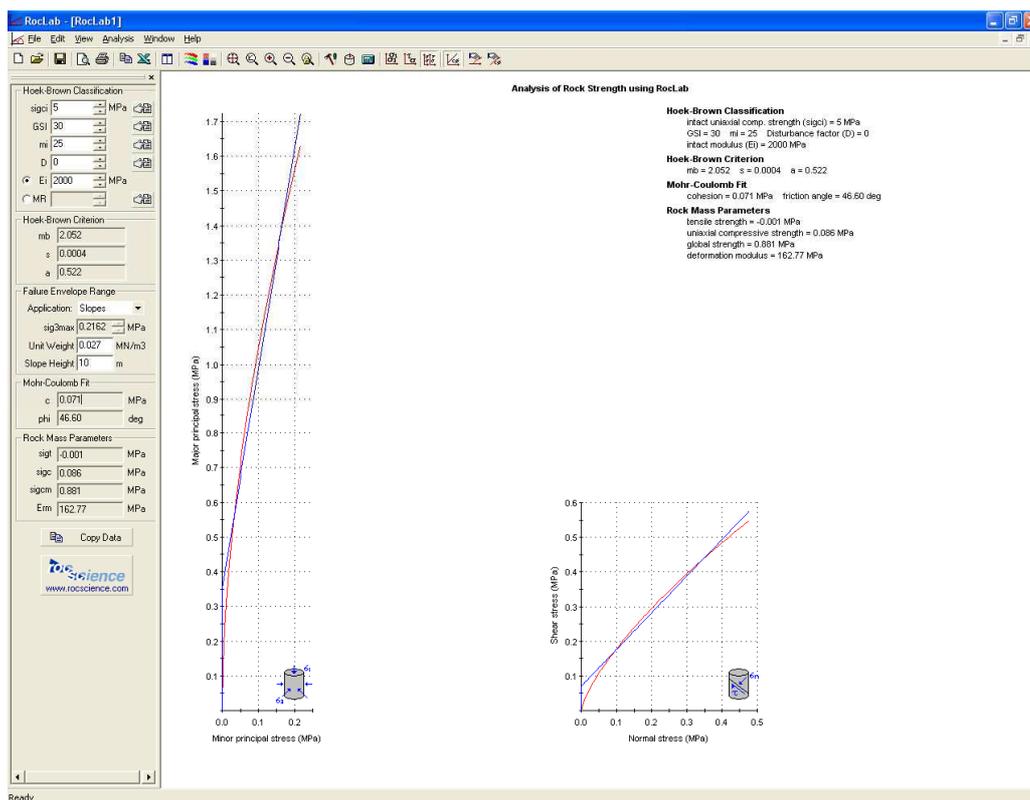


Figura 9-5 Parametri di Mohr Coulomb per l'unità MBF GSI=30

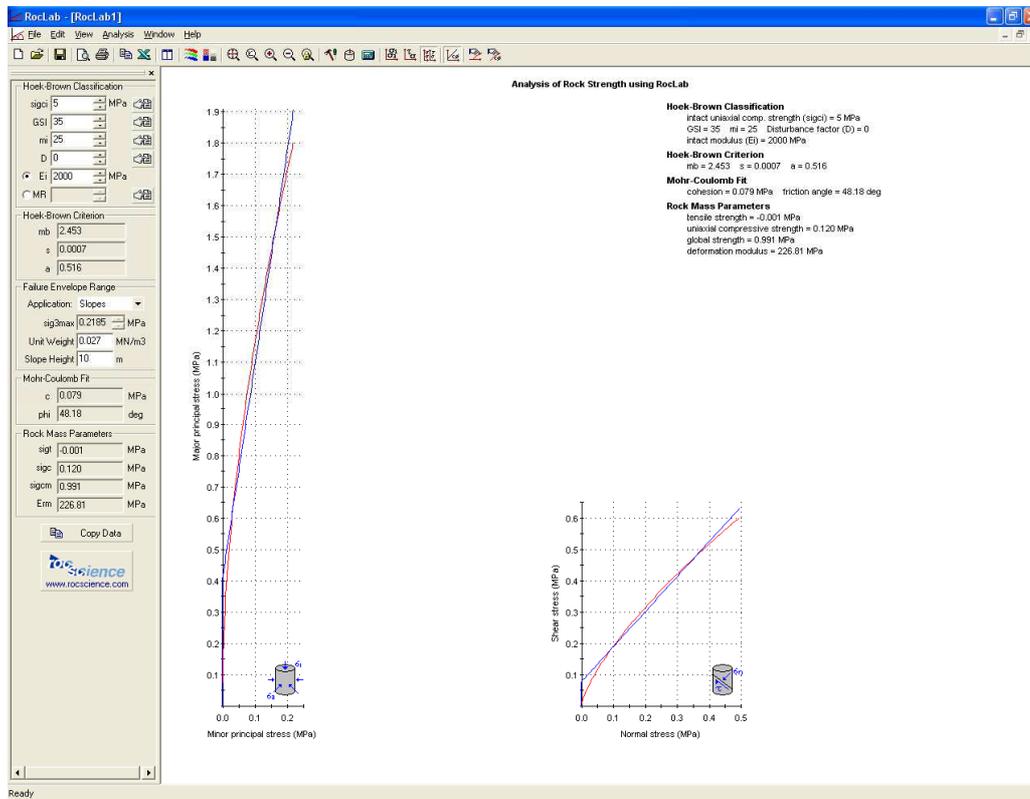


Figura 9-6 Parametri di Mohr Coulomb per l'unità MBF GSI=35

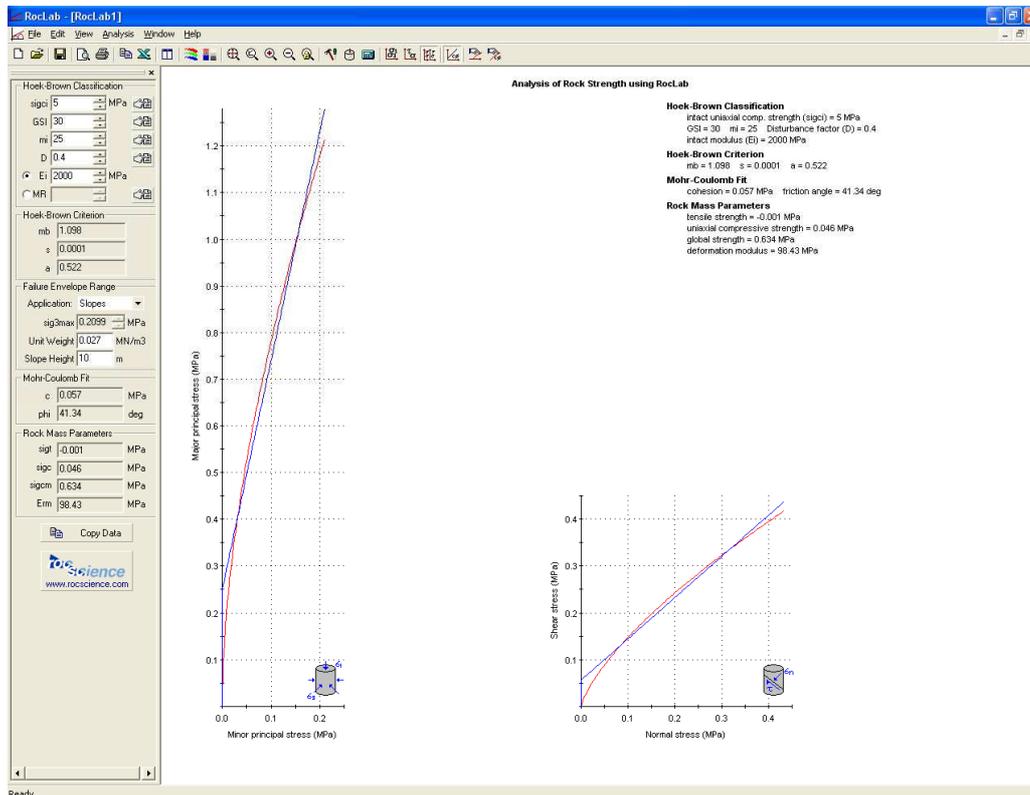


Figura 9-7 Parametri di Mohr Coulomb per l'unità MBF_alt GSI=30

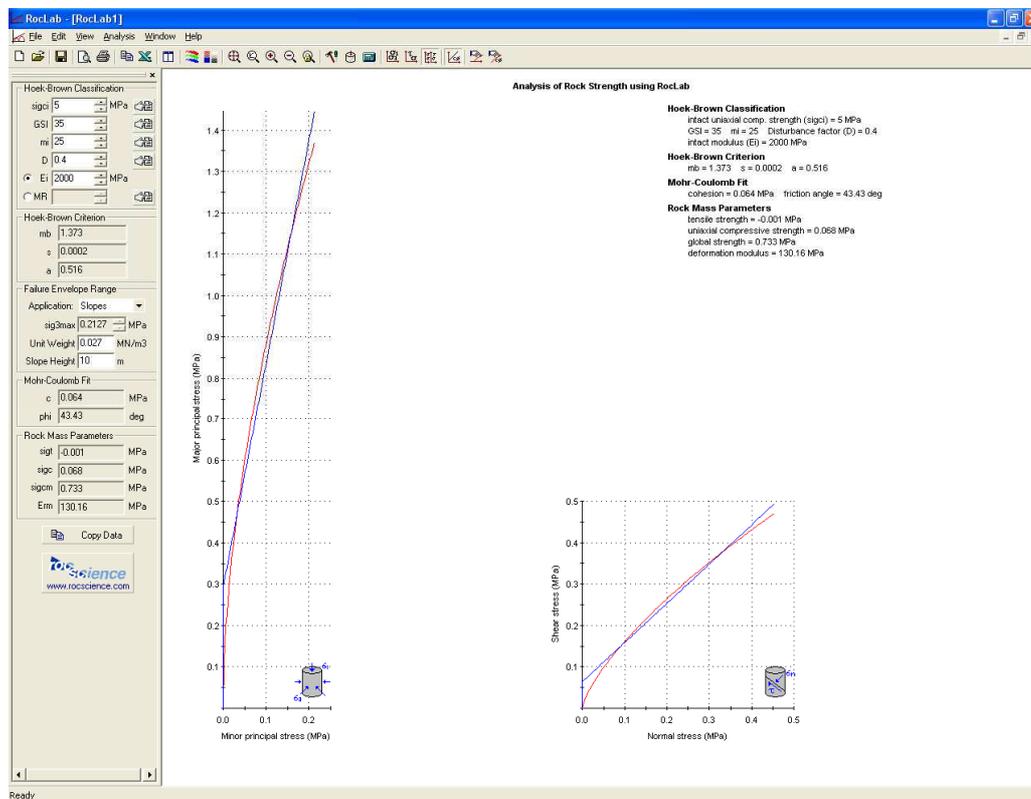


Figura 9-8 Parametri di Mohr Coulomb per l'unità MBF_alt GSI=35

Laddove i dati disponibili non siano risultati esaustivi ai fini della definizione dei range dei parametri, la stima si è riferita alla bibliografia tecnica disponibile e/o a dati acquisiti da pregresse esperienze su terreni analoghi.

La tabella seguente sintetizza i valori di riferimento per le unità geotecniche interessate dalla viabilità in oggetto.

Tabella 9-3 Sintesi dei parametri geotecnici IN9D

dt – Depositi di versante						
		γ	c'	ϕ	E	k
Unità	Descrizione	[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[MPa]	[m/s]
1a	dt_SL	20÷21	0÷5	31÷34	30÷60	10 ⁻⁴ ÷10 ⁻⁶
1b	dt_LA	20÷21	5÷15	29÷33	20÷40	10 ⁻⁵ ÷10 ⁻⁷
aP – Argille a Palombini						
		γ	c'	ϕ	E	k
Unità	Descrizione	[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[MPa]	[m/s]
2a	aP_alt	26÷27	36÷42	31÷33	100÷130	10 ⁻⁶ ÷10 ⁻⁷
2b	aP	26÷27	47÷53	36÷38	160÷230	10 ⁻⁶ ÷10 ⁻⁷
MBF – Metabasalti						
		γ	c'	ϕ	E	k
Unità	Descrizione	[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[MPa]	[m/s]
3a	MBF_alt	27÷28	57÷64	41÷43	100÷130	10 ⁻⁶ ÷10 ⁻⁸
3b	MBF	27÷28	71÷79	46÷48	160÷230	10 ⁻⁶ ÷10 ⁻⁸

10. PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

Per ciascuna unità geotecnica interessata dalla WBS IN9D, nella tabella seguente sono riportati i parametri geotecnici di calcolo individuati nei *range* di riferimento del capitolo precedente:

- γ Peso di volume naturale;
- ϕ' Angolo di attrito;
- c' Coesione efficace;
- E' Modulo elastico operativo;

UNITÀ	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E' [MPa]
dt_LA	20.0	5.0	30.0	---
aP_alt	26.0	40.0	31.0	110
aP	26.0	50.0	36.0	200
MBF_alt	27.0	60.0	41.0	120
MBF	27.0	75.0	46.0	220