



**strada dei
PARCHI**spa
A24 autostrade A25

AUTOSTRADA A24
ROMA - L'AQUILA - TERAMO
TRATTA TORNIMPARTE - L'AQUILA OVEST

**INTERVENTI DI ADEGUAMENTO
AI SENSI DELLA LEGGE 228/2012
ART.1 COMMA 183**

INTERVENTI DI ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI
PILETTA, FUGGETTO E LE MONACHE

PROGETTO DEFINITIVO



GEOLOGIA E GEOTECNICA
VIADOTTO LE MONACHE
GEOLOGIA

RELAZIONE GEOLOGICA

COMMESSA	FASE	MACRO OPERA	AMBITO/OPERA	DISCIPLINA	TIPO	PROGR.	REV.	SCALA
250	D	002	VI068	GEO	RE	002	A	
Rev.	Data	Descrizione				Redatto	Verificato	Approvato
A	Feb 2018	Emissione				G. Anibaldi	G. Furlanetto	F. Presta

FILE: 250D002VI068GEORE002A.DWG

PROJECT MANAGER: Ing. Stefano Ventura

<p>PROGETTAZIONE:</p>  <p>IL DIRETTORE TECNICO (Ing. Francesco Presta)</p>	<p>IL PROGETTISTA (Ing. Guido Furlanetto)</p> 	<p>COMMITTENTE: LA SOCIETA' CONCESSORARIA</p>  <p>strada dei PARCHIspa A24 autostrade A25</p> <p>IL PROCURATORE SPECIALE (Ing. Gabriele Nati)</p>	
---	---	---	---



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, I SISTEMI INFORMATIVI E STATISTICI
DIREZIONE GENERALE PER LA VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI

VIADOTTO LE MONACHE

RELAZIONE GEOLOGICA

Indice

1	PREMESSA	3
2	NORME E RIFERIMENTI	3
3	IL VIADOTTO LE MONACHE	4
3.1	GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA.....	4
3.1.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	4
3.1.2	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	8
3.2	IL PIANO DELLE INDAGINI.....	9
3.2.1	INDAGINI GEOTECNICHE DI SITO E LABORATORIO	9
3.3	RISULTATI DELLE INDAGINI.....	10
3.3.1	LITOSTRATIGRAFIA.....	10
3.3.2	CATEGORIA DI SUOLO	12
4	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DELL'AMMASSO ROCCIOSO	13
5	BILIOGRAFIA	17

1 PREMESSA

La presente Relazione Geologica è parte integrante del Progetto Definitivo di adeguamento sismico del Viadotto Le Monache (AQ), commissionato da Strada dei Parchi S.p.A alla scrivente Infraengineering s.r.l..

Il progetto si inserisce nel piano più generale di interventi di adeguamento delle autostrade A24 e A25, ai sensi art.1 comma 183 legge 228/2012.

Il seguente elaborato descrive l'assetto geologico-stratigrafico e geomorfologico dell'area di sedime del Viadotto Le Monache; l'opera fa parte del tronco autostradale A24 Roma-L'Aquila-Teramo alla progressiva km 86+593 circa ed attraversa il territorio comunale di Tornimparte (AQ).

Gli elementi di carattere geologico, geomorfologico ed idrogeologico dell'area sono il frutto degli studi generali condotti all'atto della costruzione dell'opera, noti bibliograficamente e derivanti da indagini condotte sul terreno.

La presente relazione riporta una valutazione delle caratteristiche del sottosuolo secondo quanto previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008) ed è finalizzata a supportare il progetto di adeguamento sismico dell'opera.

2 NORME E RIFERIMENTI

D. M. 11/3/1988: Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle opere di fondazione;

Circolare Min. LL. PP. 24/9/1988 n. 30483: Istruzioni 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 e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;

Associazione Geotecnica Italiana - Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche - Giugno 1977;

Associazione Geotecnica Italiana - Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio - Gennaio 1994;

Ordinanza del 20/03/2003 n. 3274 e s.m.i. "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica";

D.M. 14/01/2008 - Norme tecniche per le costruzioni;

Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia. (Testo A) - D.P.R. n.380/2001 – art. 89;

Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006 dalla G.U. n.108 del 11/05/06: "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".

3 IL VIADOTTO LE MONACHE

3.1 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

3.1.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'assetto geologico-strutturale del settore di interesse è ampiamente descritto in bibliografia. In particolare si è fatto riferimento alle note illustrative del Foglio Geologico 358 "Pescorocchiano" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50000 (Figura 1). Il Viadotto Le Monache si sviluppa per una lunghezza di circa 60 m lungo l'autostrada A24 ad ovest della piana aquilana. Si sviluppa in destra idrografica del T. Raio, a circa 1000 m s.l.m. su di un versante ad elevata acclività sul quale affiorano unità calcaree competenti. Nell'area di sedime del viadotto affiorano le seguenti unità:

CCG: Calcari a ciclotemi e gasteropodi. Calcari fangosostenuti, organizzati in cicli a scala metrica, con intercalazioni bioclastiche, e superfici di esposizione subaerea. A più livelli sono presenti intercalazioni di spessore anche metrico e spesso canalizzate di biomicriti a nerineidi. Berriasiano p.p.-Barremiano p.p..

Localmente il substrato roccioso è ricoperto da depositi superficiali costituiti da ghiaie, ciottoli e blocchi a spigoli vivi in matrice più o meno abbondante da sabbiosa a sabbio-limoso con spessore compreso tra 3 e 5 m. Trattasi di materiale di riporto antropico derivante dalle operazioni di scavo e di rinterro eseguite per la realizzazione dell'autostrada e delle opere ad esse associate.

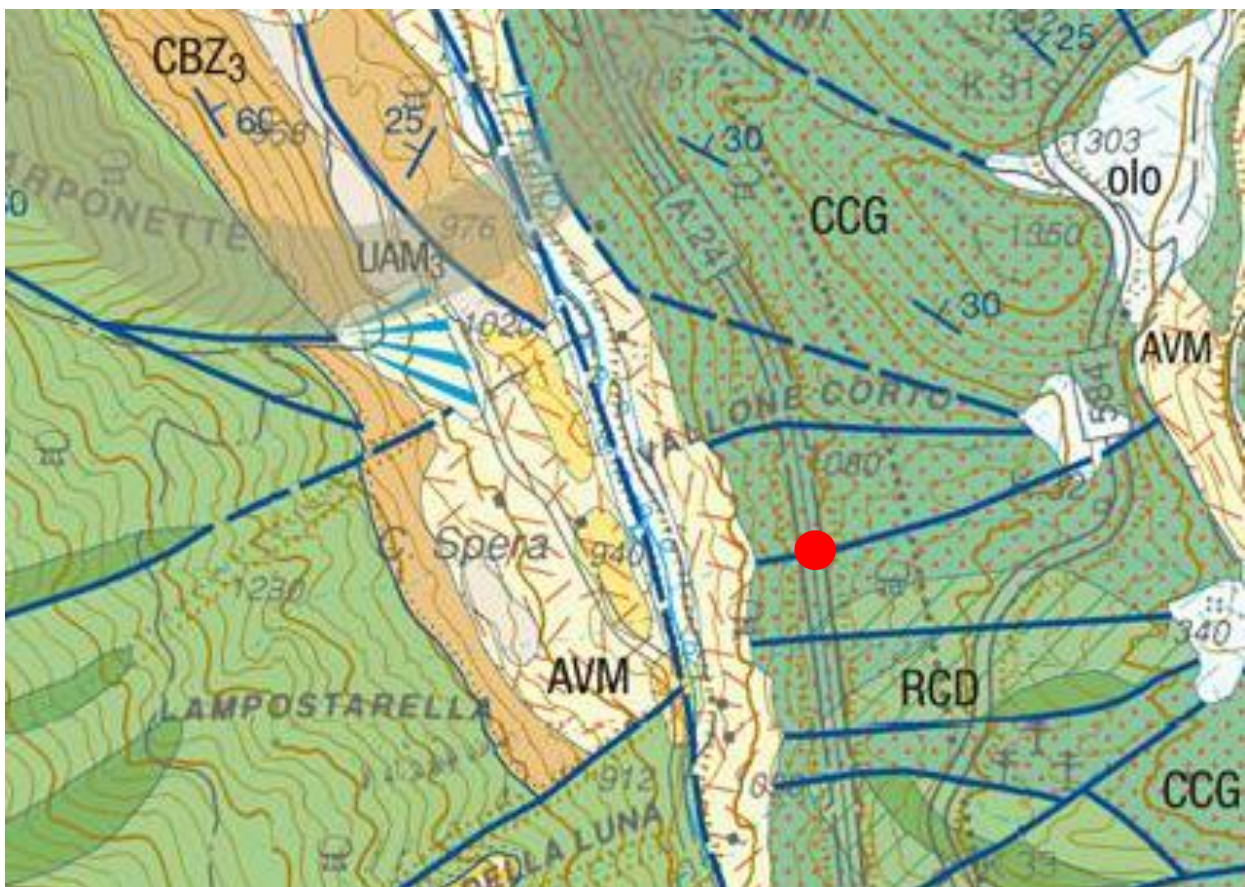
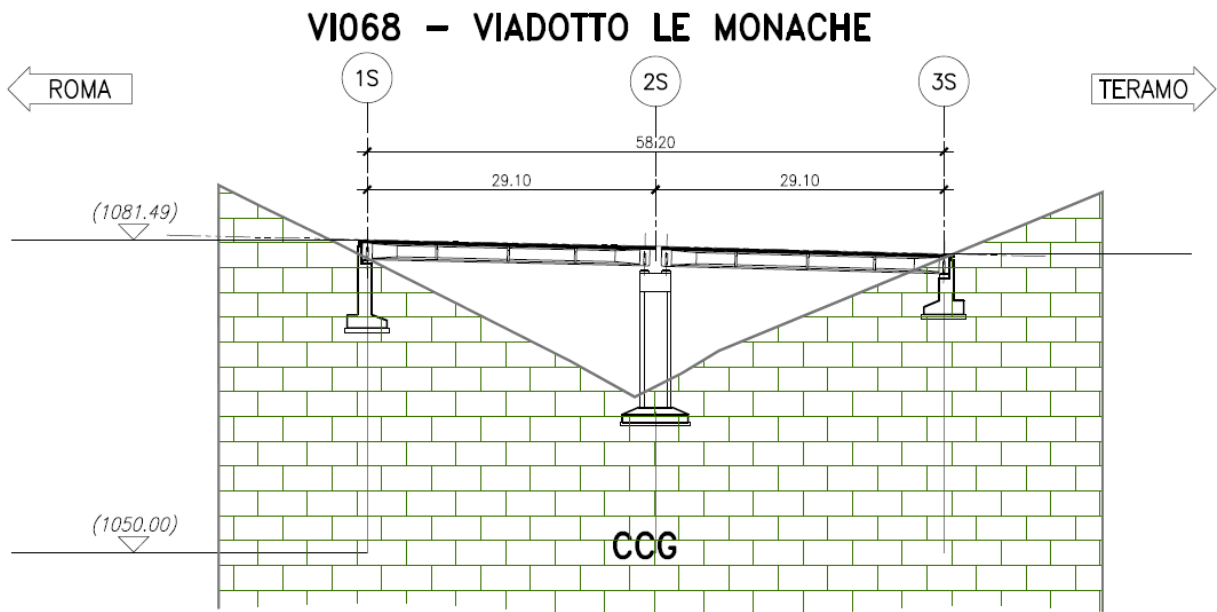


Figura 1 - Stralcio della Carta Geologica D'Italia scala 1:50000, Foglio Geologico 358 "Pescorocchiano".





Figura 2 – Affioramento di Calcarei a ciclotelemi e gasteropodi (CCG)



CCG: Calcarei a ciclotelemi e gasteropodi. Calcarei fangosostenuti, organizzati in cicli a scala metrica, con intercalazioni bioclastiche, e superfici di esposizione subaerea. A più livelli sono presenti intercalazioni di spessore anche metrico e spesso canalizzate di biomicriti a nerineidi. Berriasiano p.p.-Barremiano p.p..

Figura 3 – Profilo geologico Viadotto Le Monache.

3.1.2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il Viadotto Le Monache si sviluppa in destra idrografica del T. Raio, corso d'acqua stagionale con andamento N-S il quale attraversa una depressione intramontana delimitata da versanti calcarei ad elevata acclività (circa 50°).

Dall'analisi del foglio 358 Ovest della Carta geomorfologica della Regione Abruzzo, stralcio in Figura 4, emerge che nel sito in esame non sono attivi rilevanti processi morfogenetici.

L'analisi dei dati bibliografici e i rilievi sito specifici effettuati su un'area sufficientemente estesa, permettono di considerare geomorfologicamente stabile l'area di sedime del Viadotto Le Monache.

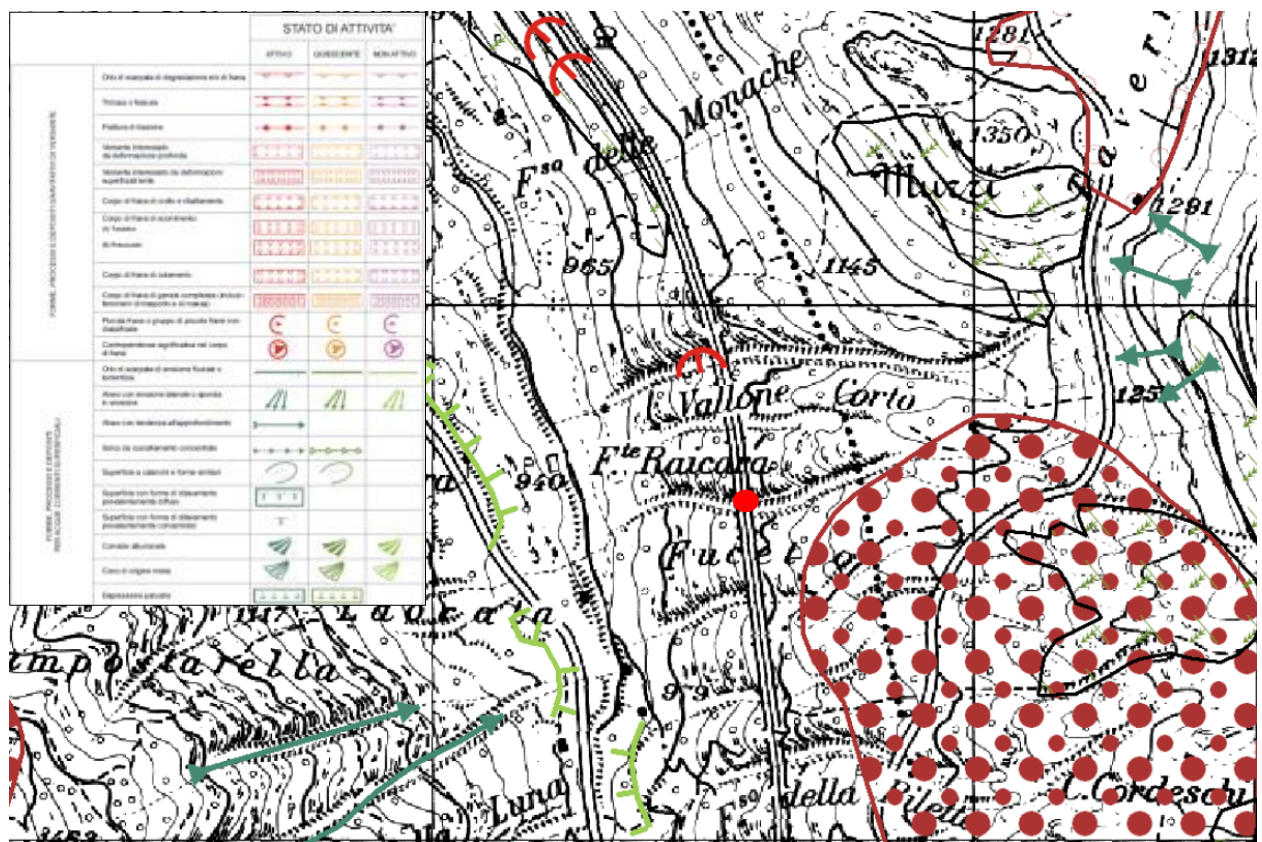


Figura 4 - Stralcio della "Carta geomorfologica Regione Abruzzo" e relativa legenda, Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico, Fenomeni Gravitativi e Processi Erosivi Foglio 358 E.

3.2 IL PIANO DELLE INDAGINI

Nei mesi di Marzo-Aprile 2015 è stata condotta una campagna di indagini dalla società Dimms di Avellino. A causa delle oggettive difficoltà logistiche legate alla morfologia del versante sul quale si sviluppa il Viadotto Le Monache, i previsti sondaggi geognostici sono stati sostituiti con idonee indagini integrative. Sono stati effettuati 10 prelievi di campioni di roccia con carotatrice elettrica (diametro 10 cm), in corrispondenza dell'area di sedime del viadotto (Allegato 1), i quali sono stati conferiti presso il laboratorio geotecnico autorizzato della Dimms.

Le indagini di laboratorio hanno permesso la caratterizzazione fisica e meccanica dei terreni mediante le prove descritte in Figura 5.

Al fine di determinare la Categoria di appartenenza del sottosuolo investigato, in base a quanto previsto dal D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" è stata effettuata una prospezione sismica tipo MASW (VI068 – MASW1).

Le risultanze delle indagini sono raccolte nell'Allegato 1 alla presente Relazione.

Per il progetto esecutivo sono in corso di esecuzione rilievi geostruturali ed indagini geofisiche per la valutazione di dettaglio dello stato di fratturazione dell'ammasso e degli spessori delle coltri detritiche presenti al disopra del substrato.

3.2.1 INDAGINI GEOTECNICHE DI SITO E LABORATORIO

Nell'ambito delle perforazioni di sondaggio, sono stati prelevati 10 campioni litoidi, sui quali sono state eseguite 5 prove di compressione monoassiale con rilievo delle deformazioni e 5 prove triassiali su roccia (Figura 5).

INDAGINI SOSTITUTIVE	N
Impianto cantiere e trasporto (e.p. anas 2013 n.96)	1
Posizionamento apparecchiature su ciascuna base sismica (e.p. anas 2013 n.97)	1
Esecuzione di prova sismica MASW	1
Prelievo di campioni di calcestruzzo cementizio o di roccia con carotatrice (diametro fino a 10 cm) - (N.02.060 - anas 2014)	10
Apertura ed estrazione di campione	10
Descrizione dei campioni	10
Peso specifico apparente (Massa volumica)	10
Prova di compressione uniassiale	
con rilievo della curva di deformazione	5
Prova triassiale su roccia	
Con rilievo del solo carico di rottura, determinazione dei parametri con involucro Hoek&Brown (1980). Da eseguire su almeno 5 provini.	5

Figura 5 - Sintesi delle indagini geotecniche di laboratorio richieste per i campioni prelevati.

3.3 RISULTATI DELLE INDAGINI

3.3.1 LITOSTRATIGRAFIA

Le indagini geognostiche condotte hanno permesso di caratterizzare le sequenze litostratigrafiche interessate dal Viadotto Le Monache. Nell'area di sedime del viadotto affiorano i descritti Calcari a ciclotemi e gasteropodi, ricoperti da una coltre detritica di spessore massimo pari a circa 5 m. Si tratta di calcari organogeni ad elevata resistenza a compressione monoassiale, caratterizzati da forme di carsismo epigeo. La spaziatura tra i giunti osservabile risulta elevata e non si riscontra un pattern di giunti regolare. Considerato l'assetto geologico e geomorfologico del versante si ritiene opportuno considerare la falda assente nel settore attraversato dal viadotto; l'acquifero carbonatico carsico viene drenato dal Torrente Raio alla base del versante.



Figura 6 –Particolare dei CCG ed evidenze di carsismo epigeo.



Figura 7 – area di sedime del Viadotto Le Monache.

3.3.2 CATEGORIA DI SUOLO

Sulla base dei risultati ottenuti dalle indagini geofisiche effettuate (Allegato 1), considerato l'assetto litostratigrafico del sottosuolo interessato dal Viadotto Le Monache, si ritiene opportuno attribuire al sottosuolo investigato la Categoria B, prevista dal D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni.

Il sottosuolo interessato dal Viadotto Le Monache ha pertanto caratteristiche riconducibili a "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s".

4 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DELL'AMMASSO ROCCIOSO

Le proprietà meccaniche dell'ammasso roccioso dipendono sia dalle caratteristiche del materiale roccioso intatto sia dalle discontinuità. Nella letteratura tecnica sono presenti numerose classifiche che permettono di formulare un giudizio sulla "qualità" dell'ammasso sulla base di alcuni parametri indici. I due sistemi di classificazione più utilizzati sono il "Rock Mass Rating" (indice RMR) di Bieniawski (1984, 1989) ed il "Rock tunnelling quality index" (indice Q) di Barton (1974). Nella Tabella 1 sono riportati i parametri principali con i relativi indici per la classificazione dell'ammasso secondo quanto proposto da Bieniawski nel 1989.

Tabella 1: Classifica dell'ammasso roccioso secondo Bieniawski (1984, 1989)

PARAMETRI PER LA CLASSIFICAZIONE									
PARAMETRI			CAMPO VALORI						
1	Resistenza roccia intatta	Carico puntuali	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Non applicabile		
		Compres. unissiale	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
		Indice	15	12	7	4	2	1	0
2		RQD	90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	< 25%		
		Indice	20	17	13	8	3		
3		Spaziatura giunti	> 2 m	0.6 - 2 m	200- 600mm	60-200 mm	< 60 mm		
		Indice	20	15	10	8	5		
4		Condizione giunti	Superfici molto scabre, non continue. Chiusi. Pareti della roccia non alterate	Superfici legg. scabre Apertura < 1 mm Pareti della roccia legg. alterate	Superfici legg. scabre Apertura < 1 mm Pareti della roccia alterate	Superfici lisce o riempimento < 5 mm o aper 1-5 mm Giunti cont.	Riempimento tenero > 5 mm o Apertura > 5 mm Giunti continui		
		Indice	30	25	20	10	0		
5	Condizioni idrauliche	Afflusso per 10m lung. tunnel	Assente	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		(pressione nei giunti) / (soll. Nat. in situ)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
	Condizioni generali	Completam. asciutto	Umido	Bagnato	Stillicidio	Flusso			
		Indice	15	10	7	4	0		
FATTORI CORRETTIVI FUNZIONE DELL'ORIENTAZIONE DEI GIUNTI									
	Direzione e immersione	Molto favorevole	Favorevole		Sfavorevole	Molto sfavorevole			
Indice	Gallerie e miniere	0	-2	-5	-10	-12			
	Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25			
	Pendii	0	-5	-25	-50				
CLASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO									
	Indice	100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	< 21			
	Classe	I	II	III	IV	V			
	Descrizione	Molto buona	Buona	Discreta	Scadente	Molto scadente			

Nel 1995 Hoek et al. hanno introdotto l'indice GSI (Geological Strength Index) basato sulle caratteristiche geolitologiche e strutturali della formazione e sulle condizioni delle superfici di discontinuità dell'ammasso. Per valutare l'indice di "qualità" intrinseca dell'ammasso Hoek et al. (1995).

La stima degli indice GSI può essere anche effettuata sulla base di una descrizione qualitativa della

struttura dell'ammasso roccioso e delle condizioni delle superfici di discontinuità. A tale scopo può essere utilizzato lo schema proposto da Hoek e Marinos nel 2000 (Figura 8). Sulla base dei sopralluoghi effettuati è stato possibile attribuire all'ammasso roccioso un indice GSI compreso tra 30 e 50.







Geological strength index for jointed rocks (Hoek and Marinos, 2000)		SURFACE CONDITIONS				
		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70			
	VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		60			
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			50		
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces			40		
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes			30	20	
						10
		N/A	N/A			

Figura 8: Valutazione dell'indice GSI per l'ammasso in esame

Per il progetto esecutivo sono in corso di esecuzione rilievi geostrutturali ed indagini geofisiche per la valutazione di dettaglio dello stato di fratturazione dell'ammasso e degli spessori delle coltri detritiche presenti al disopra del substrato.

La resistenza dell'ammasso può essere espressa in termini di sollecitazioni principali efficaci σ_1' e σ_3' mediante il criterio non lineare di Hoek e Brown (1980):

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

in cui σ_c indica la resistenza a compressione uniassiale del materiale roccioso mentre m_b , s ed a sono costanti che caratterizzano l'ammasso roccioso.

La resistenza a compressione uniassiale, σ_c , può essere determinata da prove di laboratorio su campioni di roccia intatta oppure, in assenza di prove dirette, da indicazioni reperibili in letteratura (Hoek, 1983; Doruk, 1991; Hoek et al., 1992).

Per quanto riguarda le costanti m_b , s ed a , Hoek, Carranza-Torres e Corkum (2002) hanno proposto le seguenti relazioni con l'indice GSI:

$$m_b = m_i \cdot \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right);$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right);$$

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

in cui m_i è una costante che caratterizza il materiale roccioso, determinata mediante prove triassiali di laboratorio o stimata dai dati di letteratura, e D è un fattore variabile tra 0 e 1 che dipende dal grado di disturbo dovuto alle operazioni di scavo e al detensionamento dell'ammasso (0 per un ammasso indisturbato, 1 per un ammasso molto disturbato).

La stima del modulo elastico dell'ammasso è stata effettuata utilizzando invece la relazione proposta da Serafim e Pereira (1983), successivamente modificata da Hoek (2002):

$$E(GPa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_c}{100}\right)^{0.5} \cdot 10 \cdot \exp\left(\frac{GSI - 10}{40}\right)$$

Nelle verifiche geotecniche si è preferito far riferimento al criterio di resistenza di Mohr-Coulomb, più noto e più diffuso rispetto a quello di Hoek. I parametri di resistenza (coesione e angolo di attrito) sono stati determinati linearizzando la curva di Hoek e Brown con la procedura proposta dallo stesso Hoek (2002) ed implementata nel programma RocLab v. 1.032, considerando un pendio di altezza media pari a 30m. Per la valutazione dei parametri di resistenza si è fatto riferimento cautelativamente ai valori minimi dell'indice GSI.

Le numerose prove a compressione eseguite, sia monoassiali che triassiali, consentono di ottenere i parametri m_i e si tramite interpretazione con linee di tendenza, come mostrato nella Figura 9.

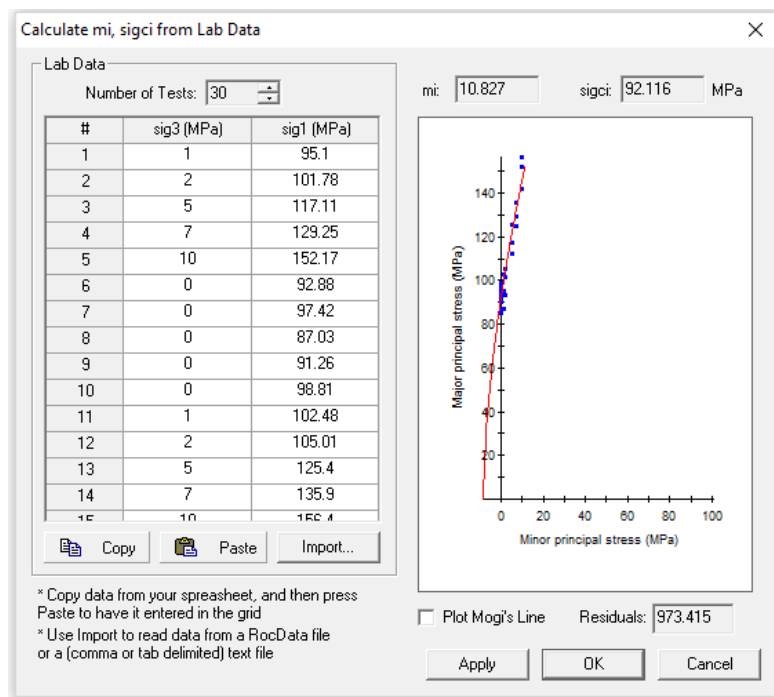
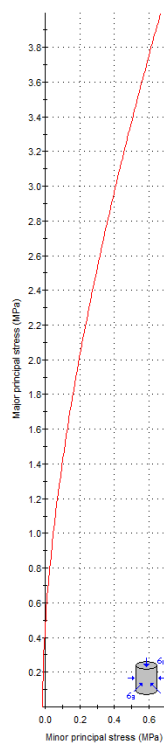
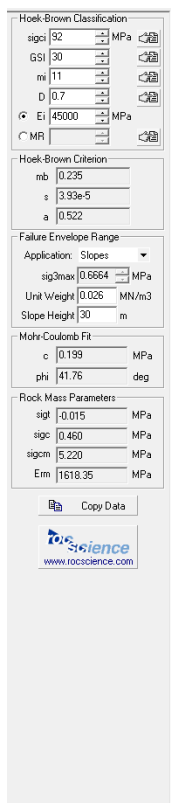


Figura 9: Parametri del criterio di Hoek Brown ricavati tramite interpretazione prove di laboratorio



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (sigci)

GSI = 30 m_i = 11 Disturbance fac

intact modulus (E) = 45000 MPa

Hoek-Brown Criterion

m_b = 0.235 s = 3.93e-5 a = 0.522

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.199 MPa friction angl

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.015 MPa

uniaxial compressive strength = 0.46

global strength = 5.220 MPa

deformation modulus = 1618.35 MPa

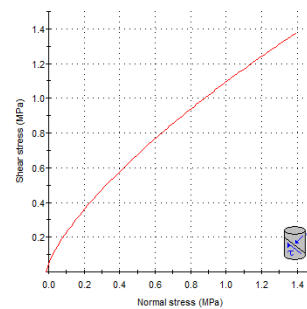


Figura 10: Parametri del criterio di Hoek Brown ricavati tramite interpretazione prove di laboratorio

La linearizzazione della curva di Hoek e Brown nel campo delle tensioni di interesse ha fornito una coesione di 200 kPa circa ed un angolo di attrito di 40° mentre il modulo elastico dell'ammasso è risultato essere pari a 1600 MPa (Figura 10).

Le prove di laboratorio relative alla determinazione dei parametri fisici hanno permesso di individuare un peso dell'unità di volume, da utilizzare nelle analisi, di 26,5 kN/m³.

I valori delle proprietà geotecniche indicate sono da intendersi come valori guida per la progettazione; resta inteso che nelle analisi geotecniche di dettaglio delle varie opere andranno calibrati sulla base delle condizioni geotecniche locali, delle specifiche situazioni locali, oltre che rapportati alla tipologia di opere (fondazioni superficiali, pali o opere di sostegno), alle ipotesi di calcolo assunte.

5 BILIOGRAFIA

Centamore E., Dramis F. (2010): Note illustrative della Carta Geologica D'Italia alla scala 1:50000, Foglio 358, Pescorocchiano. Servizio Geologico d'Italia, Roma.

Bieniawski Z.T. (1989) - Engineering rock mass classifications. New York, Wiley;

Hoek E., Carranza-Torres C.T., Corkum, B. (2002) - Hoek-Brown failure criterion – 2002 edition. Proc. North American Rock Mechanics Society meeting in Toronto in July 2002;

Hoek, E. and Brown, E.T. 1997. Practical estimates of rock mass strength. Intl. J. Rock Mech. & Mining Sci. & Geomechanics.

Chieti, marzo '18