



**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
VALLE ORSARA, VACCARINI, LE PASTENA,
CERQUETA E VALLE MONITO

PROGETTO DEFINITIVO

GEOLOGIA E GEOTECNICA
VIADOTTO CERQUETA
GEOLOGIA

RELAZIONE GEOLOGICA

COMMESSA	FASE	MACRO OPERA	AMBITO/OPERA	DISCIPLINA	TIPO	PROGR.	REV.	SCALA
250	D	001	VI072	GEO	RE	002	A	
Rev.	Data	Descrizione				Redatto	Verificato	Approvato
A	Febbraio 2018	Emissione				G. Aniballi	G. Furlanetto	F. Presta

FILE: 250D001VI072GEORE002A.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>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 CONCESSORIE AUTOSTRADALI

VIADOTTO CERQUETA

RELAZIONE GEOLOGICA

Indice

1	PREMESSA	3
2	NORME E RIFERIMENTI	3
3	IL VIADOTTO CERQUETA.....	4
3.1	GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA.....	4
3.1.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	4
3.1.2	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	6
4	IL PIANO DELLE INDAGINI.....	7
4.1	INDAGINI IN SITO	7
4.2	INDAGINI GEOFISICHE	8
4.3	RISULTATI DELLE INDAGINI.....	9
4.3.1	LITOSTRATIGRAFIA.....	9
4.3.2	CATEGORIA DI SUOLO	11
5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI	12
6	BIBLIOGRAFIA	17

1 PREMESSA

La presente Relazione Geologica è parte integrante del Progetto Definitivo di adeguamento sismico del Viadotto Cerqueta (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 Cerqueta; l'opera fa parte del tronco autostradale A24 Roma-L'Aquila-Teramo alla progressiva km 89+887 circa ed attraversa il territorio comunale di Tornimparte.

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 CERQUETA

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 Cerqueta si sviluppa lungo l'autostrada A24 ad ovest della piana aquilana, in destra idrografica del T. Raio, a circa 1100 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:

CFR: Calcareni a Macroforaminiferi. Unità costituita da tre membri. Dal basso verso l'alto sono presenti Calcareni a nummuliti e discocycline. Costituito da un orizzonte metrico di calcareniti e calciruditi bioclastiche bianche, con abbondanti nummuliti, seguito da calcareniti marnose avana e calcareniti fini avana alternate a calciruditi e calcareniti. Su tale litofacies poggiano Calcareni bioclastiche da grigiastre ad avana chiaro, con macroforaminiferi bentonici, con rari orizzonti calciruditi. Al tetto del membro affiorano calcari marnosi e marne spesso con glauconite ed ossidi di Fe e Mn, con orizzonti condensati e lacune.; subordinatamente sono presenti calcari, calcareniti, calciruditi, breccie mono e poligeniche. Paleocene-Rupeliano p.p..

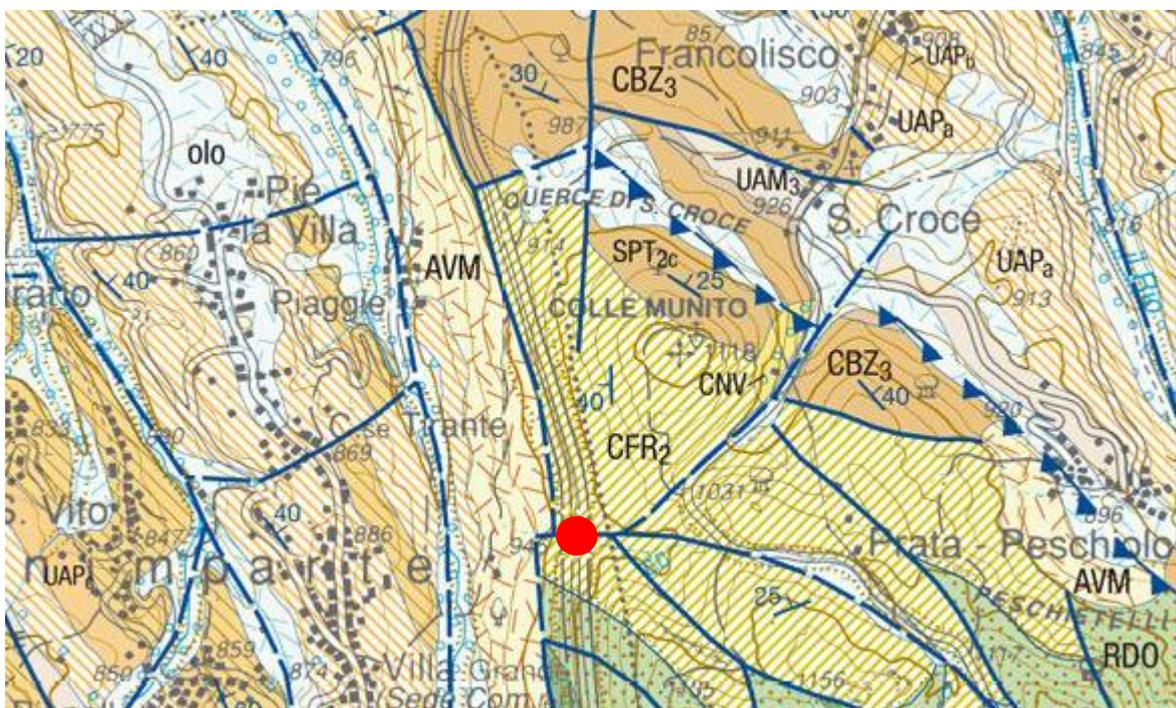


Figura 1 - Stralcio della Carta Geologica D'Italia scala 1:50000, Foglio Geologico 358 "Pescorocchiano".

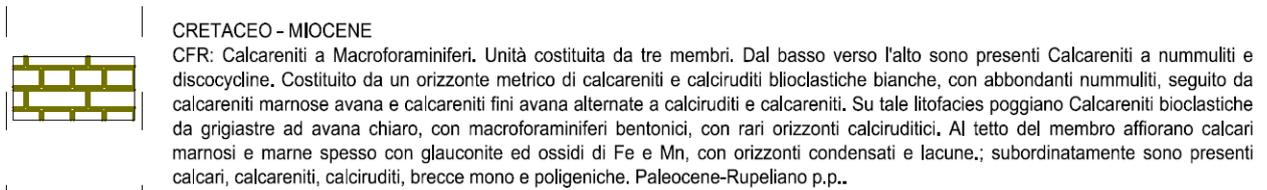
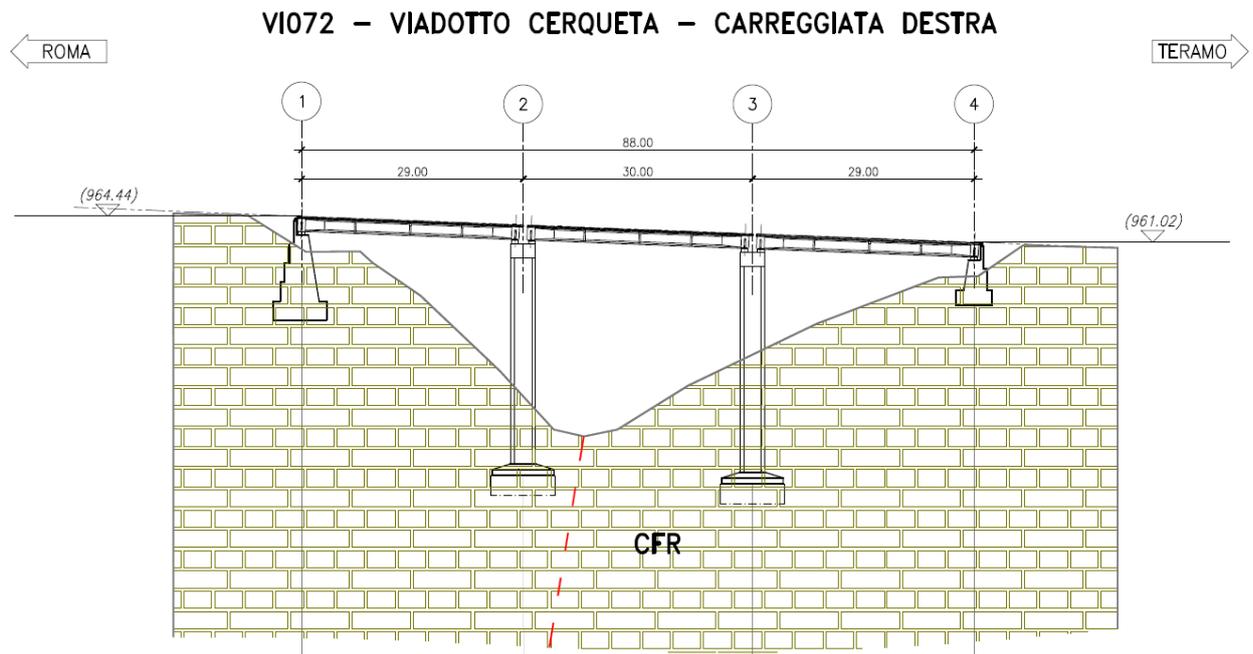


Figura 2 – Profilo geologico Viadotto Cerqueta.

4 IL PIANO DELLE INDAGINI

Nel mese di Novembre 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 Cerqueta, i previsti sondaggi geognostici sono stati sostituiti con idonee indagini integrative.

Sono stati eseguiti n° 2 carotaggi su roccia affiorante, posizionati sulla superficie di strato cioè ortogonalmente alla giacitura dello stesso.

Le indagini di laboratorio hanno permesso la caratterizzazione fisica e meccanica dei terreni mediante le prove descritte in Tabella 1.

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 (VI065 – MASW1).

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.

4.1 INDAGINI IN SITO

A causa delle oggettive difficoltà logistiche legate alla morfologia del versante sul quale si sviluppa il viadotto Cerqueta, i previsti sondaggi geognostici sono stati sostituiti con idonee indagini integrative.

Sono stati eseguiti n° 2 carotaggi su roccia affiorante, posizionati sulla superficie di strato cioè ortogonalmente alla giacitura dello stesso. Le indagini di laboratorio hanno permesso la caratterizzazione fisica e meccanica del materiale roccioso mediante le prove descritte in Tabella 1.

Tabella 1: Sintesi delle indagini geotecniche di laboratorio richieste per i campioni prelevati

VIADOTTO	CERQUETA		
	CAROTAGGIO		
NOME SONDAGGIO	CR1	CR2	
NOME CAMPIONE	P.C.	P.C.	
PROFONDITA' CAMPIONE			
B - PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO			
B1 - DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE GENERALI DEL CAMPIONE			
Apertura ed estrazione di campione	19	X	X
Descrizione dei campioni	19	X	X
Determinazione del contenuto di acqua	0		
Determinazione della massa volumica umida	0		
Determinazione dei limiti di Atterberg (LL,LP,IP)	0		
Determinazione del limite liquido per almeno 3 punti	0		
Prelavaggio del materiale	0		
Analisi granulometrica per via secca (vaghiatura)	0		
Analisi granulometrica per sedimentazione	0		
Peso specifico assoluto dei grani	0		
Peso specifico apparente (Massa volumica)	19	X	X
B4 - PROVE SU ROCCE			
Prova di compressione uniaxiale	0		
a. con rilievo della curva di deformazione	14	X	X
Prova triassiale su roccia	0		

Ai fini della caratterizzazione geomeccanica, la presenza di ulteriori indagini svolte nelle aree di sedime dei viadotti adiacenti, ha permesso di stimare, con maggiore accuratezza, le proprietà fisiche e meccaniche dell'ammasso roccioso. La tabella seguente riporta in dettaglio i risultati delle prove di laboratorio a disposizione.

Tabella 2: Parametri Geotecnici ricavati da prove di Laboratorio

DENOMINAZIONE E QUOTE			γ_{sat} (kN/mc)	PROVA CELLA TRIASSIALE CID				COMPRESSIONE MONOASSIALE			
CAMPAGNA	VIADOTTO	Camp.		c'	ϕ'	σ_1	σ_3	UCS	cu	E50	v50
(-)	(-)	(-)		(kPa)	(°)	(MPa)	(Mpa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(-)
2015	Cerqueta	Cr1	25,83					73,46		43419	
2015	Cerqueta	Cr2	25,68					45,87		40310	
2015	Monito	Cr1/1	26,37					43,15		41330	
2015	Monito	Cr1/2	26,45					47,25		44243	
2015	Monito	Cr1/3	26,48					44,85		45391	
2015	Monito	Cr1/4	26,36					39,33		39172	
2015	Monito	Cr1/5	26,39					46,97		43409	

4.2 INDAGINI GEOFISICHE

Al fine di determinare la categoria di appartenenza del sottosuolo investigato e di ricostruire con buona definizione la successione sismostratigrafica interessata dall'opera, in base a quanto previsto dal D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" è stata effettuata una prospezione sismica superficiale di tipo MASW (VI072 – MASW1) come individuato dalla figura sottostante.



Figura 4: Ubicazione planimetrica della prova MASW

L'interpretazione del sismogramma e l'inversione della relativa curva di dispersione hanno permesso di definire il seguente profilo sismo-stratigrafico (Tabella 3 e Figura 5).

Tabella 3. – Interpretazione della prova MASW

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)
1	0,0	5,8	5,8	469,00
2	5,8	10,5	4,7	534,00
3	10,5	20,0	9,5	630,00
4	20,0	INF	INF	780,00

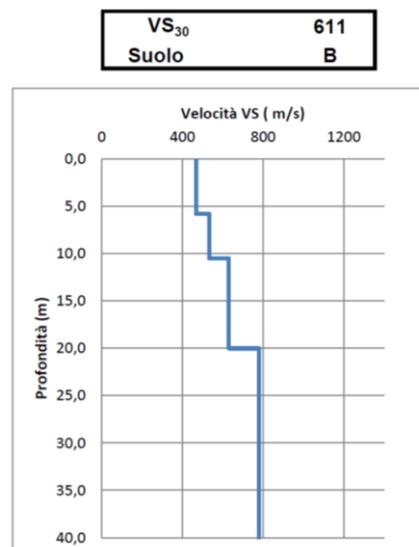


Figura 5: Profilo Velocità delle onde S - Profondità

4.3 RISULTATI DELLE INDAGINI

4.3.1 LITOSTRATIGRAFIA

Le indagini geognostiche condotte hanno permesso di caratterizzare le sequenze litostratigrafiche interessate dal Viadotto Cerqueta. Nell'area di sedime del viadotto affiorano le descritte Calcareniti a Macroforaminiferi, ricoperti da una coltre detritica di spessore massimo pari a circa 5 m, rilevata nel settore di esecuzione della MASW, mentre in corrispondenza del viadotto il substrato è subaffiorante. Si tratta di calcari organogeni ad elevata resistenza a compressione monoassiale. 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 –Fasi di prelievo da affioramento.

4.3.2 CATEGORIA DI SUOLO

Sulla base dei risultati ottenuti dalle indagini geofisiche effettuate (Allegato 1), considerato l'assetto litostratigrafico del sottosuolo interessato dal Viadotto Cerqueta, 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 Cerqueta 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".

5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

Dalla consultazione dei progetti As Built si è appurato che le fondazioni dirette poggiano direttamente sulla formazione calcarea lapidea.

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 4 sono riportati i parametri principali con i relativi indici per la classificazione dell'ammasso secondo quanto proposto da Bieniawski nel 1989.

Tabella 4: 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 alterate	Superfici legg. scabre Apertura < 1 mm Pareti della roccia 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 7). 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					20
						10
		N/A	N/A			

Figura 7: 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.

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_c \cdot \left(m_b \cdot \frac{\sigma'_3}{\sigma_c} + s \right)^a$$

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 8.

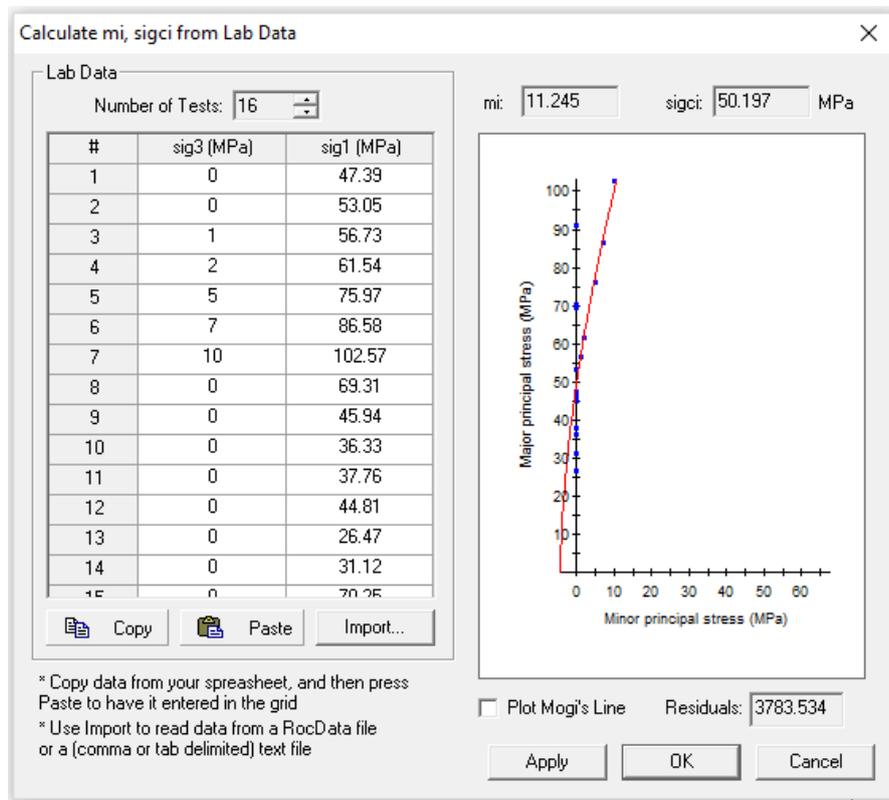


Figura 8: Parametri del criterio di Hoek Brown ricavati tramite interpretazione prove di laboratorio

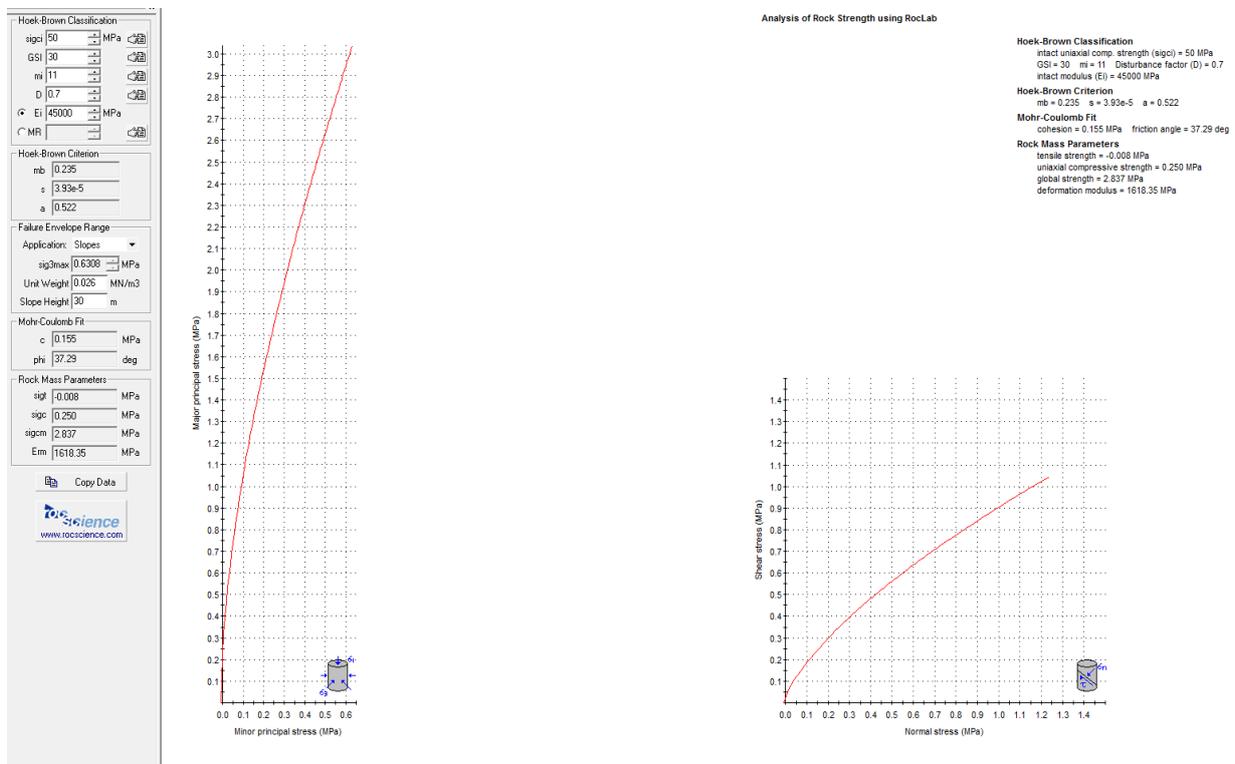


Figura 9: Parametri del criterio di Hoek Brown ricavati tramite interpretazione prove di laboratorio

La linearizzazione della curva di Hoek e Brown nel campo delle tensioni di interesse ha fornito una coesione di 155 kPa ed un angolo di attrito di 37° circa mentre il modulo elastico dell'ammasso è risultato essere pari a 1600 MPa (Figura 9).

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 pali o opere di sostegno), alle ipotesi di calcolo assunte.

6 BIBLIOGRAFIA

- 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 or rock mass strength. Intl. J. Rock Mech. & Mining Sci. & Geomechanics.

Chieti, dicembre '17