



**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 VALLE MONITO
GEOLOGIA

RELAZIONE GEOLOGICA

COMMESSA	FASE	MACRO OPERA	AMBITO/OPERA	DISCIPLINA	TIPO	PROGR.	REV.	SCALA
250	D	001	VI073	GEO	RE	002	A	
Rev.	Data	Descrizione				Redatto	Verificato	Approvato
A	Febbraio 2018	Emissione				G. Aniballi	G. Furlanetto	F. Presta

FILE: 250D001VI073GEORE002A.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 MONITO

RELAZIONE GEOLOGICA

Indice

1	PREMESSA	3
2	NORME E RIFERIMENTI	3
3	IL VIADOTTO MONITO.....	4
3.1	GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA.....	4
3.1.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	4
3.1.2	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	6
3.2	IL PIANO DELLE INDAGINI.....	7
3.2.1	INDAGINI GEOTECNICHE DI SITO E LABORATORIO	7
3.3	RISULTATI DELLE INDAGINI.....	8
3.3.1	LITOSTRATIGRAFIA.....	8
3.3.2	CATEGORIA DI SUOLO	9
4	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DELL'AMMASSO ROCCIOSO	10
5	BIBLIOGRAFIA	15

1 PREMESSA

La presente Relazione Geologica è parte integrante del Progetto Definitivo di adeguamento sismico del Viadotto Monito (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 Monito; l'opera fa parte del tronco autostradale A24 Roma-L'Aquila-Teramo alla progressiva km 91+021 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 MONITO

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 Monito 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..

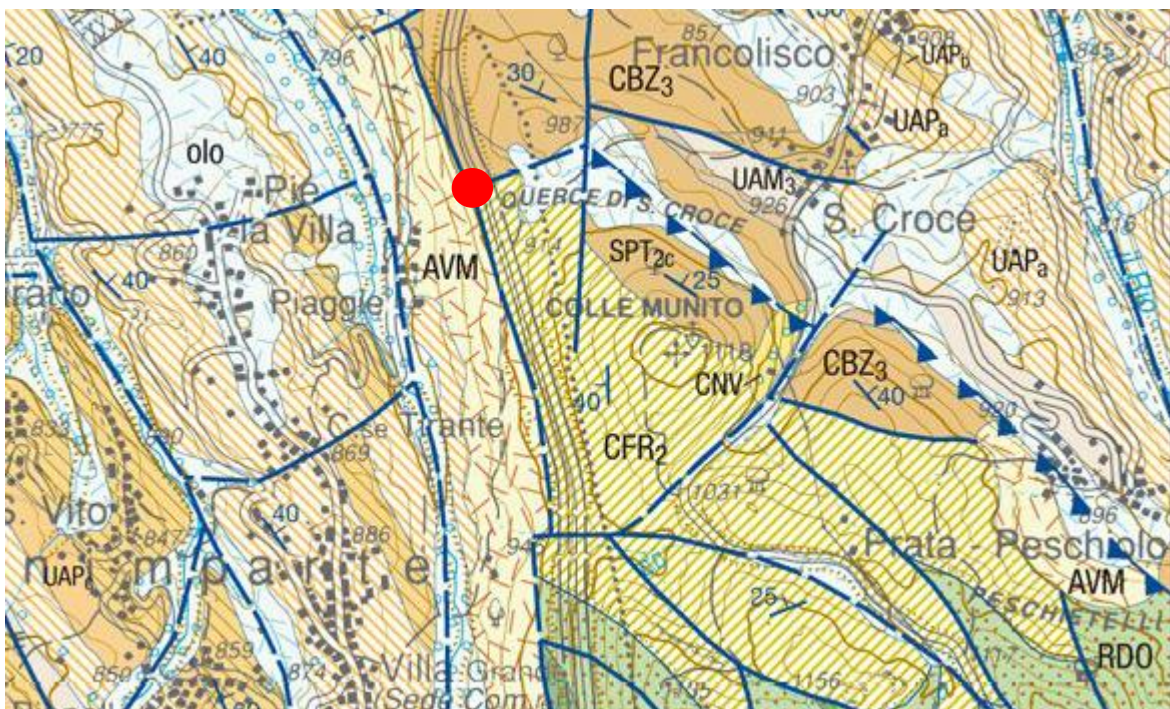
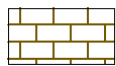
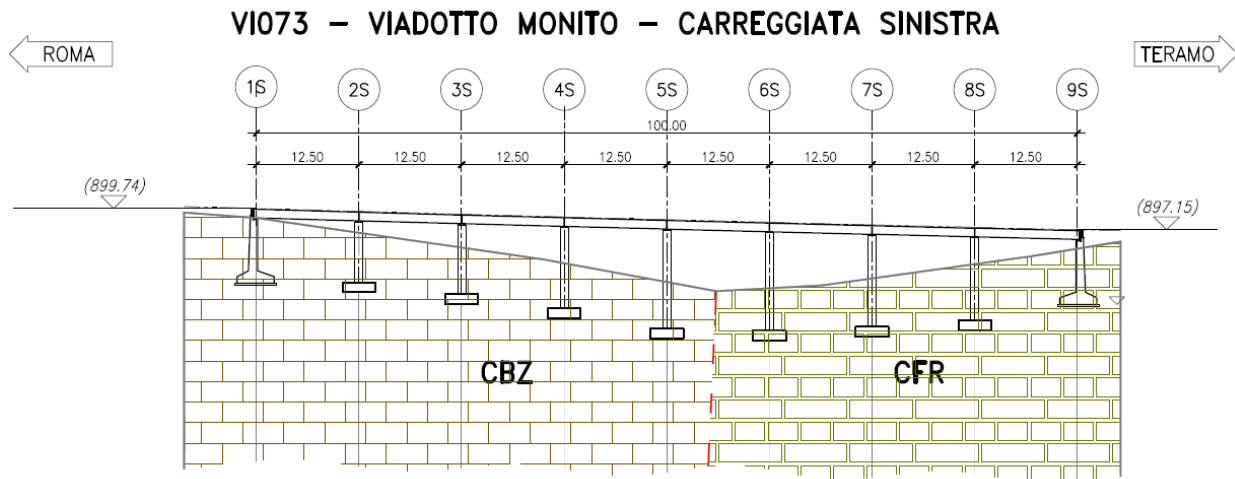
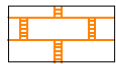


Figura 1 - Stralcio della Carta Geologica D'Italia scala 1:50000, Foglio Geologico 358 "Pescorocchiano".



CBZ: Calcarei a briozoi e litotamni. Depositi carbonatici miocenici attribuibili ad ambienti di piattaforma aperta-rampa carbonatica. Caratterizzati da una notevole variabilità delle litofacies che ha permesso la suddivisione in tre membri. Nella parte basale affiorano calcareniti fini, a luoghi ricche in briozoi e pectinidi, in strati da medi a spessi, frattura concoide e tonalità grigio-verdognole per la diffusa presenza di glauconite abbondante. Superiormente compaiono sporadiche intercalazioni di marne calcaree spongolitiche. Caratteristica è la presenza di frequenti ossidi di ferro (punti rossi) e localmente, di glauconite. Il membro terminale è costituito da calcareniti-calciruditi bianche, in strati metrici, con abbondanti briozoi, amphistegine e frammenti di alghe melobesie (litotamni). Localmente sono presenti calcareniti più fini, ben classate e selezionate, a frattura concoide, in strati metrici e senza apparenti strutture sedimentarie. LANGHIANO p.p. - TORTONIANO p.p.



SPT: Unità Spongolitica. Costituita da due associazioni.

Associazione calcarenitica superiore: marne giallastre e livelli di calcareniti nocciola scuro, con frequenti punti rossi e spalmature marnose. Associazione marnosa. Marne e marne calcaree con intercalazioni di orizzonti calcarei di limitato spessore. La microfauna è costituita da radiolare e spicole di spugna. Aquitaniano-Langhiano inferiore.



CRETACEO - MIOCENE

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 2 – Profilo geologico Viadotto Monito.

3.1.2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il Viadotto Monito 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 3, 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 Monito.

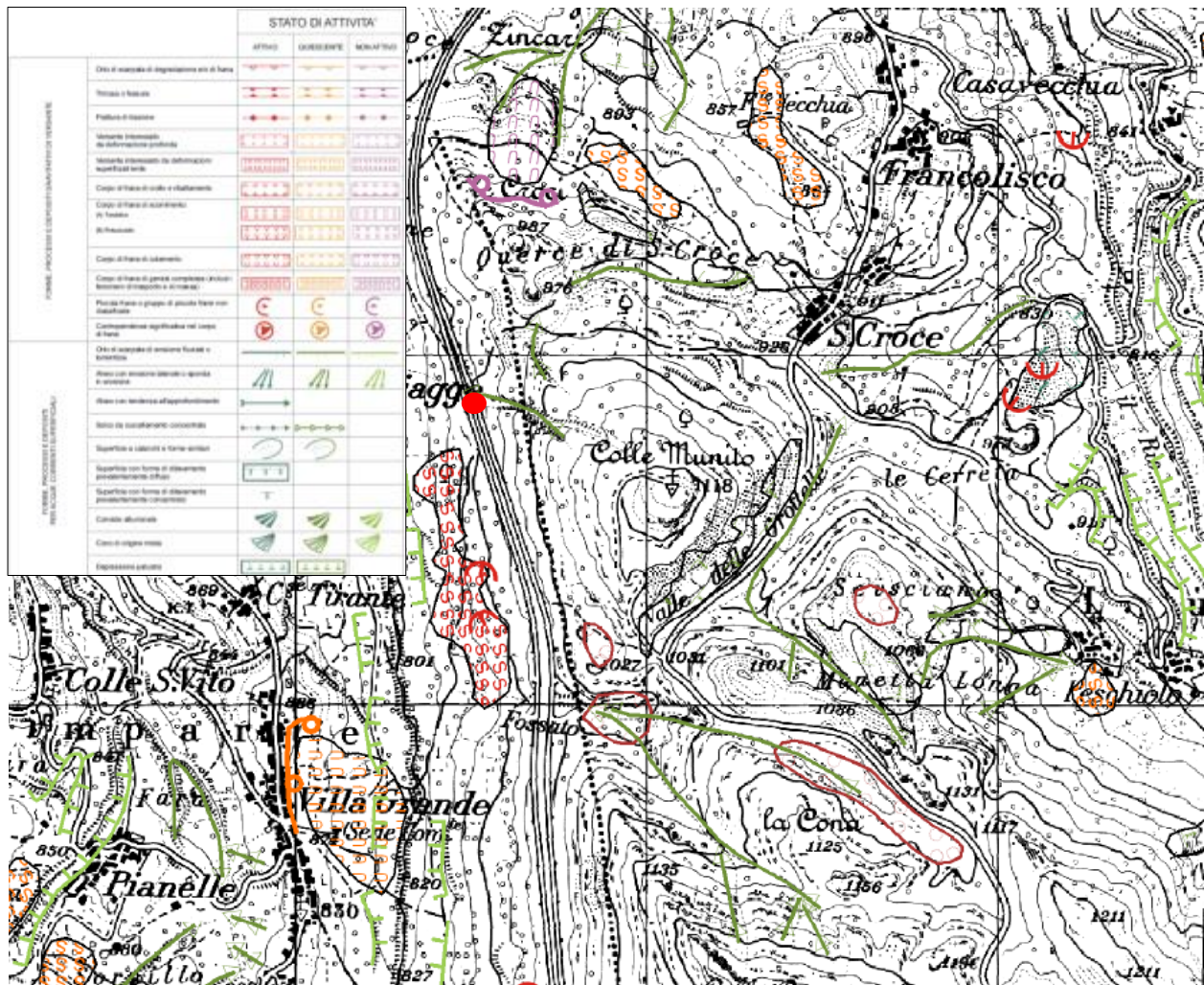


Figura 3 - Stralcio della "Carta geomorfologica Regione Abruzzo" e relativa legenda, Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico, Fenomeni Gravitativi e Processi Erosivi Foglio 358 E.

3.2 IL PIANO DELLE INDAGINI

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 Monito, i previsti sondaggi geognostici sono stati sostituiti con idonee indagini integrative.

Sono stati eseguiti n° 4 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 Figura 4 (Allegato 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.

3.2.1 INDAGINI GEOTECNICHE DI SITO E LABORATORIO

Sono stati ottenuti 5 campioni litoidi sottoposti a prove di compressione monoassiale con rilievo delle deformazioni (Figura 4).

VIADOTTO	VALLE MONITO				
	CR1/1 AFFIOR.	CR1/2 AFFIOR.	CR1/3 AFFIOR.	CR1/4 AFFIOR.	CR1/5 AFFIOR.
NOME SONDAGGIO	-				
NOME CAMPIONE					
PROFONDITA' CAMPIONE					
B - PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO					
B1 - DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE GENERALI DEL CAMPIONE					
Apertura ed estrazione di campione	19	X	X	X	X
Descrizione dei campioni	19	X	X	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 (vagliatura)	0				
Analisi granulometrica per sedimentazione	0				
Peso specifico assoluto dei grani	0				
Peso specifico apparente (Massa volumica)	19	X	X	X	X
B4 - PROVE SU ROCCE					
Prova di compressione uniassiale	0				
a. con rilievo della curva di deformazione	14	X	X	X	X
Prova triassiale su roccia	0				

Figura 4 - Indagini geotecniche di laboratorio effettuate.

3.3 RISULTATI DELLE INDAGINI

3.3.1 LITOSTRATIGRAFIA

Le indagini geognostiche condotte hanno permesso di caratterizzare le sequenze litostratigrafiche interessate dal Viadotto Monito. Nell'area di sedime del viadotto affiorano le descritte Calcareniti a Macroforaminiferi, ricoperti da una coltre detritica di spessore massimo pari a circa 3 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 5 –Affioramento di CFR, calcareniti e calciruditi grigio avana.

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 Monito, 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 Monito 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

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 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		Completem. 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 6). Sulla base dei sopralluoghi effettuati è stato possibile attribuire all'ammasso roccioso un indice GSI compreso tra 30 e 55.

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			

↓ DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES

Figura 6: 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 30 m. 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 7.

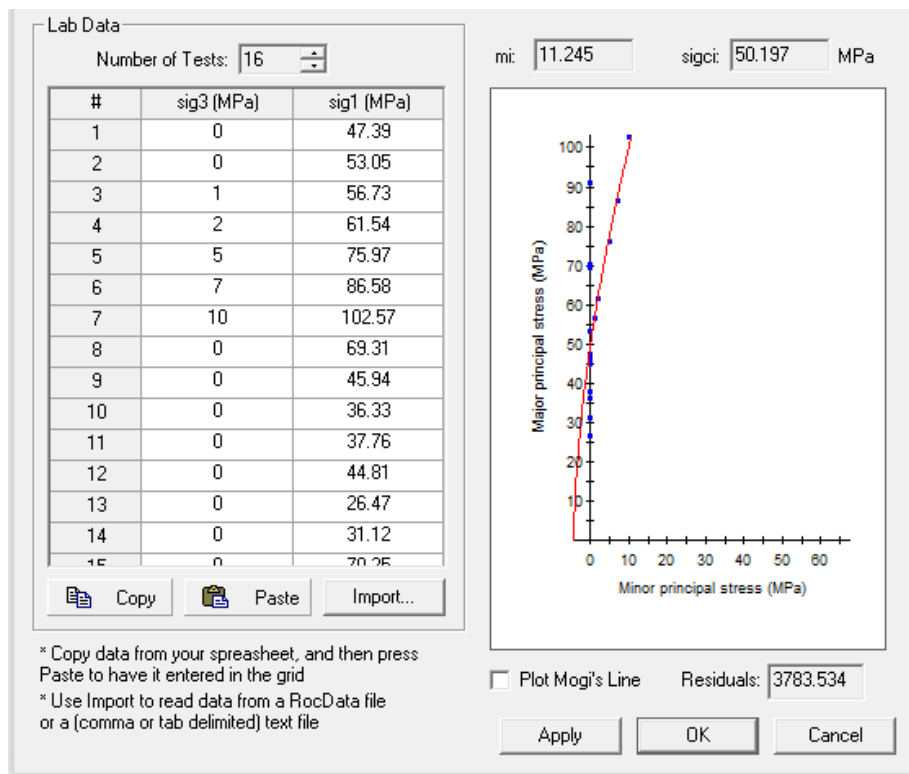


Figura 7: Parametri del criterio di Hoek Brown ricavati tramite interpretazione prove di laboratorio

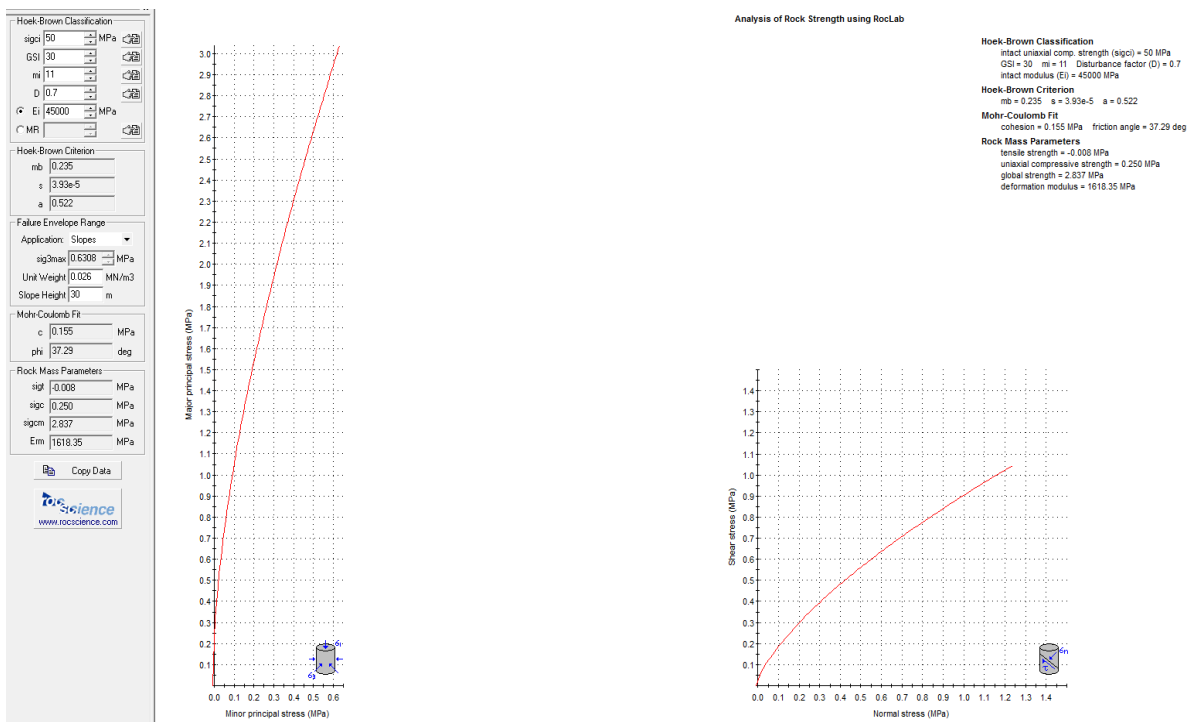


Figura 8: Parametri del criterio di Hoek Brown ricavati tramite interpretazione prove di laboratorio

La linearizzazione della curva di Hoek e Brown nel campo delle tensioni di interesse ha fornito una coesione di 150 kPa circa ed un angolo di attrito di 37° mentre il modulo elastico dell'ammasso è risultato essere pari a 1600 MPa (Figura 8).

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.

5 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 of rock mass strength. Intl. J. Rock Mech. & Mining Sci. & Geomechanics.

Chieti, dicembre '17