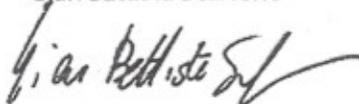


IL COMUNE

IL CONCESSIONARIO

IL CONSULENTE GEOLOGO

BERGAMO PARCHEGGI SPA
Il Presidente del CdA
Gjan Battista Scarfone



c			
b			
a			
	variazione	data	disegnato

COMUNE DI BERGAMO

**PARCHEGGIO PUBBLICO - AREA "PARCO DELLA
ROCCA EX FAUNISTICO" - CITTA' ALTA**

CONCESSIONARIA: ai sensi art. 37/bis - Legge 11 febbraio 1994 n.109

BERGAMO PARCHEGGI S.p.A.

20122 MILANO - VIA CALDERON DE LA BARCA 2 - TEL. +39 02.58328244 - Fax +39 02.58328221

Capitale Sociale Euro 600.000.00 interamente versato

Registro delle Imprese di Milano - Codice Fiscale e P.Iva 03273900963 -R.E.A: Milano nr. 1662522

PROGETTO ESECUTIVO

scala

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOMECCANICA

elaborato

E.A 02

data 20.10.2011	disegnato	file -	controllato	progetto nr. 714-10	
--------------------	-----------	-----------	-------------	------------------------	--

STUDIO DI PROGETTAZIONE DR.ING. ANDREA SAILER
I-39100 BOLZANO, PIAZZA VITTORIA, 3 Tel. 0471 932632 Fax: 0471 932691 E-mail: info@sailer.it
DR.ING. FERRUCCIO DELLAGIACOMA

STUDIO Prof. Geol. Lamberto GRIFFINI
via E. Pagliano, 37 - 20149 MILANO Tel. +39 02 61298274 Fax: +39 02 61770281 E-mail: studio@studlogriffini.eu
Prof. Geol. Lamberto GRIFFINI

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
Comune di Bergamo
Piazza Matteotti, 27 - 24122 Bergamo
ARCH. PIETRO FORESTI
e-mail: pforesti@comune.bg.it - Tel. 035-399716

PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 02	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 1 di 96

SOMMARIO

1.	PREMESSA.....	4
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
3.	CARATTERI GEOLOGICI.....	7
4.	INDAGINI GEOGNOSTICHE E PROVE DI LABORATORIO.....	7
	4.1 VALUTAZIONE DELLA POTENZIALE AGGRESSIVITÀ DEGLI AMMASSI ROCCIOSI.....	9
5.	MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO.....	11
6.	MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO.....	13
7.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E GEOMECCANICA.....	16
	7.1 AMMASSI ROCCIOSI.....	16
	7.2 TERRENI DI COPERTURA.....	24
8.	PERICOLOSITÀ SISMICA DEL SITO.....	26
9.	ANALISI GEOTECNICHE.....	28
	9.1 FRONTE PRINCIPALE.....	33
	9.2 FRONTE EST.....	48
	9.3 FRONTE OVEST.....	56
	9.4 SINTESI DEI RISULTATI DELLE ANALISI DI VERIFICA DELLE OPERE DI CONFINAMENTO.....	70
	9.5 VERIFICHE ANCORAGGI.....	72
	9.6 VALUTAZIONE CAPACITÀ PORTANTE A.R. DI FONDAZIONE.....	80
10.	SMALTIMENTO E RECUPERO DEI MATERIALI DI SCAVO.....	83
11.	METODI DI SCAVO.....	85

PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 02	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 2 di 96

11.1 – VALUTAZIONE POSSIBILITÀ DI ABBATTIMENTO MEDIANTE RIPPAGGIO	85
11.2 – DISTURBO PROVOCATO DAI MEZZI DI ABBATTIMENTO	88
12. PRESCRIZIONI SULLE MODALITÀ DI SCAVO	93
12.1 – ABBATTIMENTO IN PROSSIMITÀ DEI FRONTI DI SCAVO DEFINITIVI	93
12.2 – ABBATTIMENTO DEL CORPO PRINCIPALE DELL' AMMASSO ROCCIOSO	93
13. CONCLUSIONI.....	96

ANNESI

ANX. 1 CERTIFICATI PROVE DI LABORATORIO

- ANX 1.1 PROVE DI RESISTENZA A COMPRESSIONE TRIASSIALE CON MISURA DELLE
DEFORMAZIONI ASSIALE E RADIALE
- ANX 1.2 PROVE DI RESISTENZA AL TAGLIO LUNGO GIUNTI NATURALI
- ANX 1.3 ANALISI CHIMICHE PER VALUTAZIONE AGGRESSIVITÀ
- ANX 1.4 ANALISI CHIMICHE MATERIALI DI SCAVO

ANX. 2 GRAFICI MODELLAZIONE EFDM (FLAC)

FRONTE PRINCIPALE (SUD)

- ANX 2.1 MODELLO SEZIONE I-I
- ANX 2.2 MODELLO SEZIONE L-L
- ANX 2.3 MODELLO SEZIONE M-M

FRONTE EST

- ANX 2.4 MODELLO SEZIONE P-P
- ANX 2.5 MODELLO SEZIONE Q-Q

FRONTE OVEST

- ANX 2.6 MODELLO SEZIONE G-G

PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 02	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 3 di 96

ANX 2.7 MODELLO SEZIONE E-E

ANX 2.8 MODELLO SEZIONE D-D

ANX. 3 RAPPORTO INDAGINI GEOFISICA 2010

ALLEGATI

TAV. D.A 21.1A PROFILO GEOLOGICO FRONTI LATERALI ASSE ALLA PARATIA BERLINESE

PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 02	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 4 di 96

1. PREMESSA

Il presente rapporto contiene i risultati degli studi ed analisi di modellazione geologica e di modellazione geotecnica-geomeccanica relative alla Variante in corso d'opera n. 1 del progetto esecutivo per la realizzazione dell'opera in oggetto. In particolare, le analisi geomeccaniche riguardano le condizioni di stabilità in tutte le fasi realizzative e finali dei fronti di scavo e delle relative opere di confinamento.

Questo documento aggiorna ed integra i precedenti rapporti emessi sia in fase di progettazione delle opere sia in seguito all'evento franoso che ha interessato una porzione del fronte meridionale (fronte principale) nel dicembre del 2008.

Più precisamente, si è fatto specifico riferimento ai seguenti documenti:

- aprile 2004 - *Relazione geologica e geotecnica* – Rel. 1902/1/04 – Studio Associato GEOLOGIA Applicata – Mezzocorona (TN)
- gennaio 2009 - *Confinamento parte alta della frana - Relazione geologica e geotecnica* – Rel. 1902/2/09 – Studio Associato GEOLOGIA Applicata – Mezzocorona (TN)
- gennaio 2009 - *Confinamento parte alta della frana - Relazione geologica e geotecnica di approfondimento del modello fisico locale* – Rel. 1902/2/09 – Studio Associato GEOLOGIA Applicata – Mezzocorona (TN)
- gennaio 2009 – *Rilievi e Sezioni geologiche* – Dott. Sergio Chiesa
- 5 febbraio 2009 – *Messa in sicurezza del cantiere – Fase 1° - Confinamento bordo alto della frana* – Studio Dr. Ing. Andrea Sailer
- marzo-aprile 2009 – *Stratigrafie sondaggi nuova campagna* – TEKNOS S.r.l.
- 10 marzo 2009 – *Analisi delle condizioni di stabilità – Rapporto analisi al differenze finite* – Studio Griffini

PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 02	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 5 di 96

- 15 maggio 2009 – *Studio delle condizioni di stabilità del fronte di scavo – Parte 1 e 2* – Prof. Geol. Giovanni B. Crosta, Prof. Ing. Francesco Calvetti
- 04 luglio 2009 – *3° Fase di messa in sicurezza e opere strutturali di confinamento dei fronti di scavo* – (Doc. Provvisorio) - Studio Dr. Ing. Andrea Sailer
- 22 luglio 2009 – *Rapporto geologico e rapporto geotecnico-geomeccanico preliminari* – Studio Griffini
- 30 settembre 2009 - Elaborati nr. 639-P202 e nr. 639-P203 - Progetto di variante in corso d'opera – Ipotesi per l'esecuzione delle opere strutturali per il confinamento dei fronti di scavo verificata geomeccanicamente e da rendere esecutiva – Studio Dr. Ing. Andrea Sailer
- 08 ottobre 2009 – *Caratteristiche litologiche e geologico strutturali del Flysch di Bergamo presente nell'area di cantiere di Via Fara* – CNR IDPA - Prof. Sergio Chiesa
- 10 dicembre 2009 – *Aggiornamento Rapporto geologico e rapporto geotecnico-geomeccanico* – Studio Griffini
- 14 dicembre 2009 – *Aggiornamento Variante in corso d'opera – Progetto preliminare – Linee guida – Relazione tecnica illustrativa* – Studio Dr. Ing. Andrea Sailer

Il presente progetto sviluppa i precedenti "Progetto preliminare di variante in corso d'opera" datato 30.09.2009 e il "Progetto definitivo variante in corso d'opera n.1" datato 28.07.2010 già approvati.

PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 02	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 6 di 96

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Decreto Ministeriale 14.01.2008 – *Norme Tecniche per le costruzioni*
- Circolare 02.02.2009 n. 617 del Consiglio Sup. LL.PP. – *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.*
- Consiglio Sup. dei LL. PP. – Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007 – *Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.*
- Legge Regionale n. 12 del 11.03.2005 – Regione Lombardia – *Legge per il governo del Territorio*
- Legge Regionale n. 4 del 14.03.2008 – Regione Lombardia – *Ulteriori modifiche ed integrazioni alla L.R. 11.03.2005 n. 12 (Legge per il governo del Territorio)*
- Decreto Ministeriale 25 ottobre 1999, n°471, modificato dall'allegato 5, Parte quarta del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n°152

PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 02	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 7 di 96

3. CARATTERI GEOLOGICI

Ai fini della descrizione dei caratteri geologici generali si rimanda ai documenti di riferimento citati in premessa ed, in particolare, agli studi condotti dallo studio di Geologia Applicata ed ai rilievi e sezioni condotte dal Dott. Geol. Sergio Chiesa.

Più avanti, al capitolo 5 della presente relazione viene descritto il modello geologico del sottosuolo di progetto, ricavato dagli studi condotti.

4. INDAGINI GEOGNOSTICHE E PROVE DI LABORATORIO

Oltre alle indagini condotte a supporto del progetto, nel corso del 2009 e del 2010, sono state condotte altre due campagne d'indagini geognostiche ed una campagna di indagini geofisiche per completare il quadro conoscitivo del modello geologico e geotecnico del sottosuolo:

- una prima campagna geognostica, condotta nei mesi di gennaio e febbraio 2009, durante la quale sono state eseguiti indagini geofisiche (due profili di sismica a rifrazione ed uno stendimento georadar) e tre nuovi sondaggi (S1, S2 ed S3). Gli stendimenti sismici sono stati eseguiti ai lati della zona franata nella porzione inferiore, mentre il profilo georadar è stato eseguito alla sommità della zona interessata dal movimento, ai piedi dei bastioni della Rocca. I 3 sondaggi sono stati eseguiti tutti a partire dal piazzale del Parco della Rocca, circa a q. 377.
- una seconda campagna d'indagini geognostiche è stata eseguita tra marzo ed aprile del 2009; nel corso della campagna sono stati eseguiti 3 sondaggi (S3, S4 ed S5), tutti ad andamento verticale. I sondaggi S3 ed S4 sono stati ubicati sul lato Ovest della zona in frana, alla medesima quota degli stendimenti di sismica; il sondaggio S6 è stato eseguito sul piazzale di base, in prossimità del margine orientale dell'area di cantiere.

PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 02	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 8 di 96

- infine, nei giorni dal 17 al 19 giugno 2010, sono state eseguite delle indagini geofisiche con tecnica mista: sismica a riflessione ed a rifrazione. Sono state eseguite due sezioni, ripetute con entrambe le tecniche, con estensione di 92 m ciascuna; i due stendimenti sono stati realizzati al margine orientale ed al margine occidentale dei fronti di scavo con lo scopo di definire in dettaglio le geometrie del contatto substrato roccioso – copertura e, nel limite del possibile distinguere la porzione più alterata dell'ammasso roccioso (quella definita come "A.R. corticale") da quella più profonda e di migliori caratteristiche geomeccaniche. La scelta di eseguire l'indagine con le due tecniche è stata dettata dalla necessità di riconoscere eventuali livelli geofisici mascherati, dovuti all'alternanza di materiali a bassa velocità sottostanti materiali con velocità di propagazione più elevati. In annesso 3 al presente documento è riportato il Rapporto sull'indagine geofisica condotto dalla Soc. *CIS geofisica s.r.l.* datato luglio 2010.

Le informazioni ricavate dai sondaggi e dalle indagini geofisiche hanno permesso di definire con buon dettaglio la successione dei livelli litologici che caratterizzano la successione flyschioide e le caratteristiche generali di fratturazione, di alterazione e, in generale la qualità geomeccanica, dell'ammasso roccioso.

Su campioni prelevati dalle carote dei sondaggi sono state condotte una serie di prove di laboratorio per la determinazione dei parametri di resistenza e deformabilità della "matrice roccia". Le prove sono state eseguite dal laboratorio Altair s.a.s. di Milano, che dispone della concessione ministeriale per l'esecuzione e la certificazione di prove di laboratorio su terre e rocce, ai sensi dell'art.59 del DPR 6.6.2001, come previsto dalla normativa vigente (D.M. 14.01.2008).

Più in particolare sono state eseguite prove di resistenza a compressione triassiale a differenti pressioni di confinamento, con misura delle deformazioni assiali e radiali e, quindi, con la determinazione dei parametri di resistenza e deformabilità della matrice roccia. Queste prove hanno potuto essere eseguite solo su campioni

PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 02	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 9 di 96

degli strati più arenacei; per i livelli più argillitici non si sono potuti realizzare provini adeguati a tale tipo di prova. Sono state eseguite prove di taglio diretto su spezzoni di carota contenente fratture naturali coincidenti con livelletti argillitici.

4.1 VALUTAZIONE DELLA POTENZIALE AGGRESSIVITÀ DEGLI AMMASSI ROCCIOSI

Allo scopo di accertare l'eventuale presenza di elementi potenzialmente corrosivi all'interno dell'ammasso roccioso è stata eseguita una serie di analisi chimiche per la determinazione del contenuto in solfati, solfuri, cloruri, di acido fulvico e di sostanza umica. I campioni sottoposti a prova sono stati prelevati dalle cassette dei sondaggi eseguiti nell'aprile del 2009; è stato sottoposto a prova anche un campione prelevato direttamente dal fronte principale (campione S.A). I campioni sono rappresentativi delle litologie riscontrate a diverse profondità come indicato nella tabella che segue.

<i>Campione</i>	<i>Sondaggio</i>	<i>Profondità</i>
S6-1	S6	9.80
S6-2	S6	14.00
S6-3	S6	15.80
S6-4	S6	19.00
S3-1	S3	24.30
S3-2	S3	29.50
S5-1	S5	5.50
S5-2	S5	12.80
SA	dal fronte	--

L'analisi ha riguardato la determinazione del contenuto in solfuri idrosolubili in acido, solfati idrosolubili, cloruri idrosolubili, acido fulvico e sostanza umica. In

PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 02	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 10 di 96

nessuno dei campioni analizzati si è riscontrata la presenza di quantità significative di elementi aggressivi; i risultati indicano anche l'assenza di sostanze organiche (sostanza umica e acido fulvico non rilevabili in concentrazioni significative).

<i>Campione</i>	<i>Profondità [m]</i>	<i>Solfuri [% p/p]</i>	<i>Solfati [% p/p]</i>	<i>Cloruri [% p/p]</i>	<i>Acido fulvico</i>	<i>Sostanza umica</i>
S6-1	9.80	n.r.	0.01080	n.r.	n.r	n.r.
S6-2	14.00	n.r.	0.01040	n.r.	n.r	n.r.
S6-3	15.80	0.040	0.202	n.r.	n.r	n.r.
S6-4	19.00	n.r.	0.0282	n.r.	n.r	n.r.
S3-1	24.30	n.r.	n.r.	n.r.	n.r	n.r.
S3-2	29.50	n.r.	n.r.	n.r.	n.r	n.r.
S5-1	5.50	n.r.	n.r.	n.r.	n.r	n.r.
S5-2	12.80	n.r.	0.01060	n.r.	n.r	n.r.
SA	--	n.r.	n.r.	n.r.	n.r	n.r.

I certificati delle prove di laboratorio eseguite sono riportati in annesso 1.3, al presente rapporto.

PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 02	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 11 di 96

5. MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO

Il modello geologico del sottosuolo, già predisposto ai fini del progetto originale, è stato affinato in base ai risultati delle indagini geognostiche successive all'evento franoso ed, in particolare, alla base delle rilevazioni condotte dal Dott. Geol. Chiesa.

I profili geologici approntati dal Dott. Chiesa sono stati ulteriormente aggiornati ed affinati in merito alle risultanze dei dati di cantiere e delle ultime indagini geofisiche condotte nel 2010.

Considerando il modello geologico del sottosuolo rappresentato nei due profili principali:

- sezioni GeoE-E e GeoD-D con direzione nord-sud, circa in asse al movimento franoso
- sezione GeoH-H, con direzione circa est-ovest

Si osserva che il modello geologico del sottosuolo è del tutto esaustivo e definitivo per quanto riguarda l'assetto stratigrafico "naturale", ma risulta modificato dagli interventi di origine antropica conseguenti ai lavori di cava in alcune zone dell'area di cantiere.

Più in dettaglio, le sezioni in asse frana (sezioni orientate circa nord – sud: sez. GeoD-D ed GeoE-E) sono ben rappresentative della situazione esistente e sono state utilizzate "tal quali" per la modellazione geotecnica; invece, la sezione trasversale (sez. GeoH-H) risulta modificata in seguito alle escavazioni condotte per le antiche coltivazioni di pietra da costruzione.

Nella sezione riportata di seguito è rappresentato il profilo geologico secondo la sez. GeoH-H elaborato sulla base dei rilevamenti condotti dal dott. S. Chiesa e modificato sulla base delle risultanze di cantiere e delle indagini più recenti.

PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 02	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 12 di 96

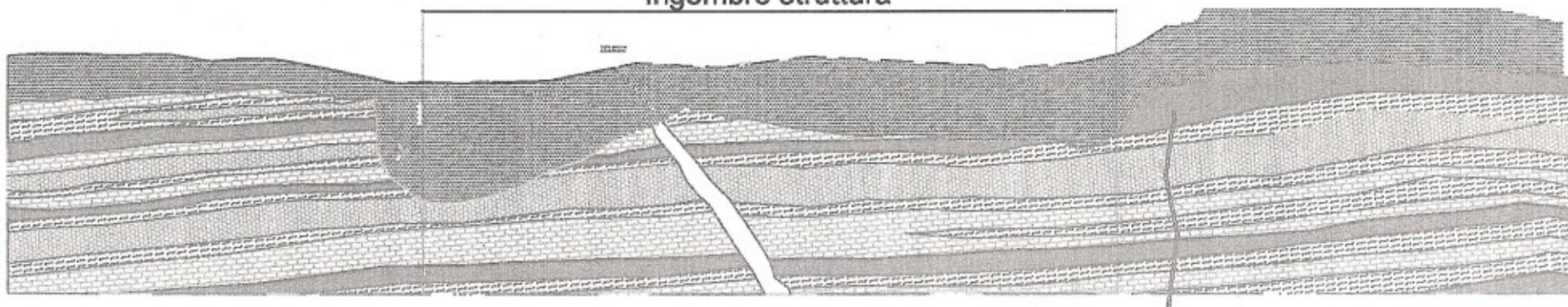
Sezione GeoH-H

Ovest

Est

Modello geologico modificato

Ingombro struttura



PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 02	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 13 di 96

6. MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Il modello geotecnico del sottosuolo, indispensabile ai fini della modellazione numerica di verifica ed analisi, è stato approntato sulla base dei modelli geologici elaborati e aggiornati come sopra specificato.

Ai fini del riconoscimento delle diverse unità geomeccaniche del substrato che, come detto, è caratterizzato dall'alternanza di livelli arenacei, siltitici ed argillitici di diverso spessore e di diverse caratteristiche geomeccaniche, è stato di grande utilità il dettaglio stratigrafico indicato negli elaborati del Dott. S. Chiesa.

Nelle sequenze stratigrafiche vengono riconosciute, oltre ai terreni di copertura, 4 diverse unità litologiche disposte per strati subparalleli tra loro, con giacitura sostanzialmente monoclinale immergente verso sud, come di seguito indicato:

- 1 – prevalenza di alternanze centimetriche
- 2 – prevalenza di alternanze pluricentimetriche
- 3 – prevalenza di strati arenacei pluridecimetrici
- 4 – lenti conglomeratiche (a loro volta distinte in tre differenti categorie)

Sulla base di questa distinzione è stato possibile definire il modello geotecnico di riferimento distinguendo due sole unità geomeccaniche per gli ammassi rocciosi e due differenti unità per i terreni di copertura:

- Ammasso roccioso corticale debole
- Ammasso roccioso profondo resistente
- Terreni di copertura con frazione fine (argilloso-limosa) dominante
- Terreni di copertura con frazione a comportamento frizionale (sabbioso-ghiaiosa) in quantità maggiori della frazione fine.

La distinzione tra le due unità geomeccaniche degli ammassi rocciosi è stata

PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 02	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 14 di 96

eseguita considerando che nella parte superiore della sequenza sono più frequenti i livelli litologici con prevalenza di alternanze centimetriche o pluricentimetriche di scadente o mediocre qualità, sia in termini di resistenza sia in termini di deformabilità.

Questa situazione ha più rilevanza per gli scavi laterali, dove la giacitura rispetto al fronte risulterà a traverso-poggio o a franapoggio; per queste zone la correlazione tra unità litologiche ed unità geomeccaniche è quella rappresentata nei due profili (geologico e geotecnico) riportati alla pagina seguente, dove il limite tra le due unità "A.R. corticale" e "A.R. Profondo" è stato individuato al tetto dello strato di conglomerati più potente.

La distinzione tra *Ammasso roccioso corticale* ed *Ammasso roccioso profondo*, con significato geomeccanico, è stata affinata attraverso la campagna di indagine geofisica condotta, nei giorni dal 17 al 19 giugno 2010. Come detto al precedente § 4, nel corso di questa campagna sono state eseguite indagini geofisiche con tecnica mista: sismica a riflessione ed a rifrazione, che hanno permesso di discriminare i diversi materiali in base alla risposta sismica.

Nella Tav. EA 02-1a allegata alla presente relazione è evidenziata la distinzione tra le diverse unità geotecniche in base alle velocità delle onde di compressione V_p ; alle velocità $V_p < 2000$ m/s si fanno corrispondere i *depositi sciolti* (terreni T1 e T2); per $2000 \geq V_p \leq 2500$ vengono fatti corrispondere gli *Ammassi Rocciosi Corticali* ed ai valori di $V_p > 2500$ m/s vengono fatti corrispondere gli *Ammassi Rocciosi Profondi*.

PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 01	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 15 di 96

Sezione Geo_H-H

OVEST

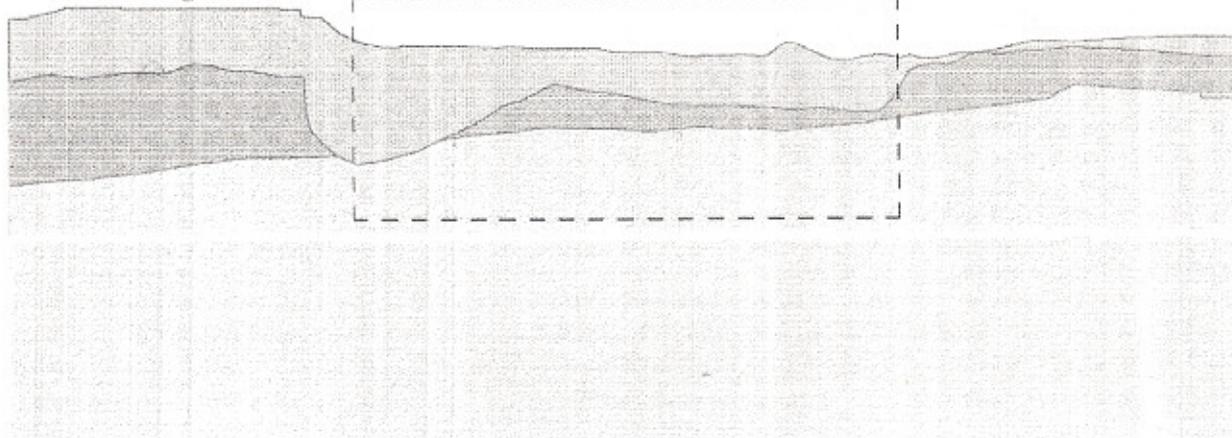
EST

Modello geologico



Modello geofecnico

Ingombro Struttura



Terreni di copertura

A.R. corticale

A.R. profondo

PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 02	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 16 di 96

7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E GEOMECCANICA

Per la caratterizzazione geotecnica dei materiali appartenenti alle diverse unità si è fatto riferimento a quanto elaborato in precedenza in base alle indagini condotte e riportato nella relazione 1902/2/09 già citata, aggiornati sulla base delle nuove indagini e prove condotte.

Bisogna rimarcare che l'attribuzione dei materiali alle diverse Unità Geotecniche/Geomeccaniche è stata condotta integrando i diversi elementi di conoscenza (rilievi di superficie, indagini geognostiche e geofisiche e prove di laboratorio) in modo da tener conto adeguatamente ed in maniera moderatamente cautelativa, delle diverse caratteristiche dei materiali con diretto riferimento alle azioni cui saranno sottoposti secondo il progetto. In particolare, si è tenuto conto, per gli ammassi rocciosi, della diversa orientazione dei piani di stratificazione rispetto alle opere, considerando che sul fronte principale la giacitura degli strati è a "reggipoggio" mentre sui lati la giacitura è a "traverpoggio" o al limite del "franapoggio". Questo aspetto è stato considerato assumendo un comportamento degli ammassi rocciosi – in particolare dell'A.R. Corticale – uguale a quello di un mezzo "continuo equivalente" ed attribuendo, quindi, parametri di resistenza e deformabilità caratteristici di "ammasso". Questa scelta è perfettamente congruente anche con la procedura di analisi adottata che, come si dirà più avanti, è stata eseguita implementando una serie di modelli ad elementi distinti (EFDM) di mezzi continui.

7.1 AMMASSI ROCCIOSI

Per quanto riguarda le due unità geotecniche flyschiodi, si è proceduto alla caratterizzazione geomeccanica secondo la procedura proposta da E. Hoek e Marinos (2002, 2006) con specifico riferimento a quanto proposto specificatamente per gli ammassi rocciosi flyschiodi.

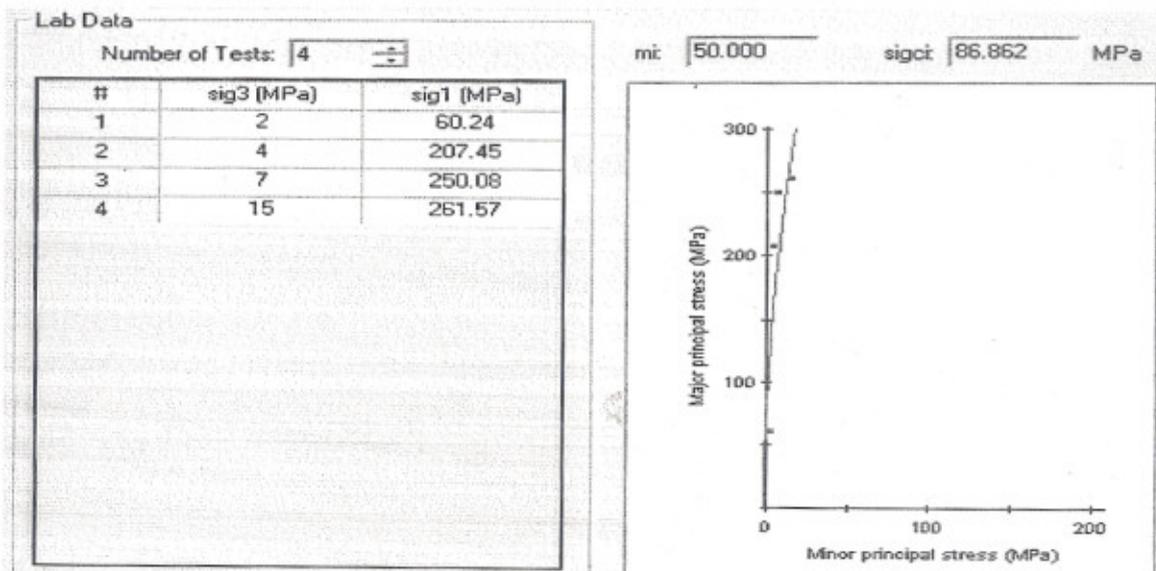
PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 02	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 17 di 96

7.1.1 Unità A.R. profondo

I parametri caratteristici della matrice roccia, relativamente ai livelli arenacei, sono stati definiti mediante apposite prove di resistenza a compressione triassiale condotte in laboratorio; nel corso delle prove sono state misurate sia i valori di resistenza sia quelli di deformazione, ottenendo così, oltre ai valori caratteristici di resistenza a compressione uniassiale, anche i valori del modulo elastico e del coefficiente di Poisson.

I valori misurati risultano superiori a quelli stimati empiricamente (sulla base di dati bibliografici) ma risultano ben aderenti a quanto individuato sulla base di prove speditive condotte a supporto del progetto (cfr. *Relazione geologica e geotecnica* – Rel. 1902/1/04).

Nel grafico che segue è riportata la curva di involucro di rottura elaborata sulla base di tali prove per la "matrice roccia" (i certificati delle prove di laboratorio sono riportati in annesso Anx. 1).

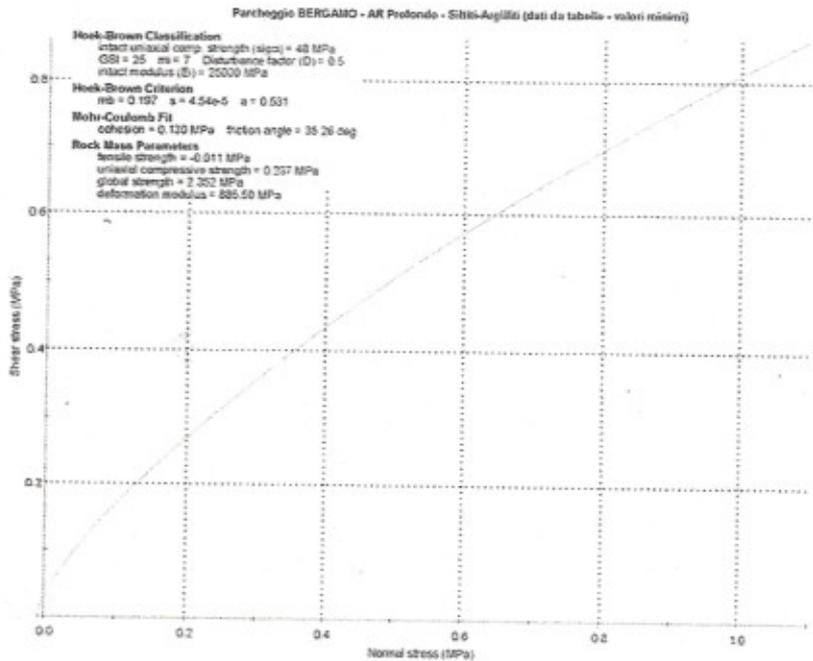
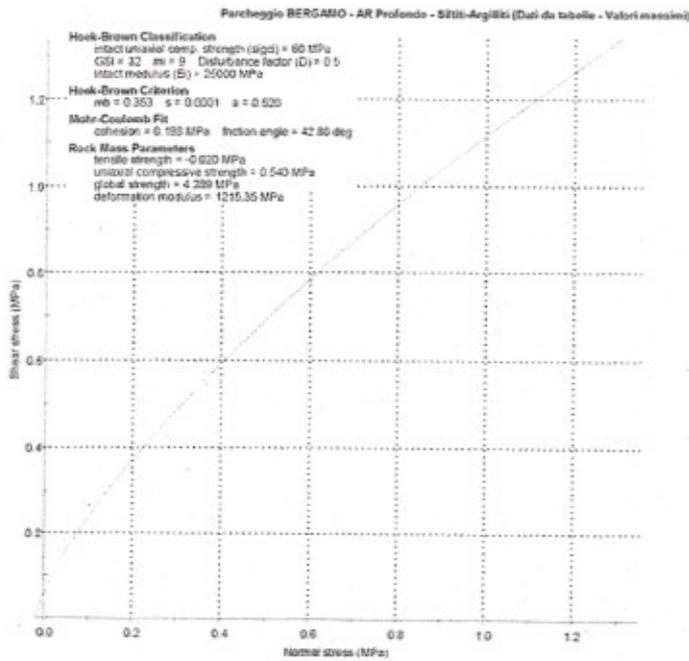


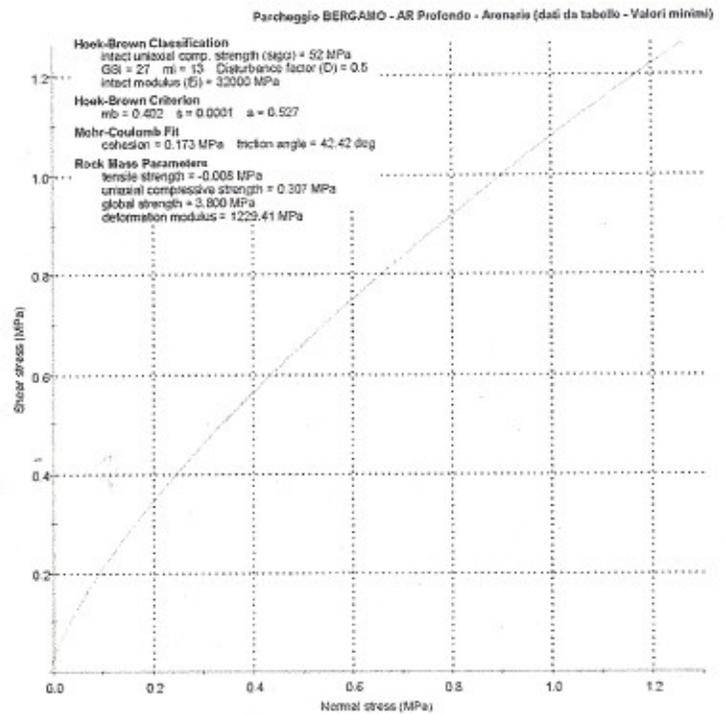
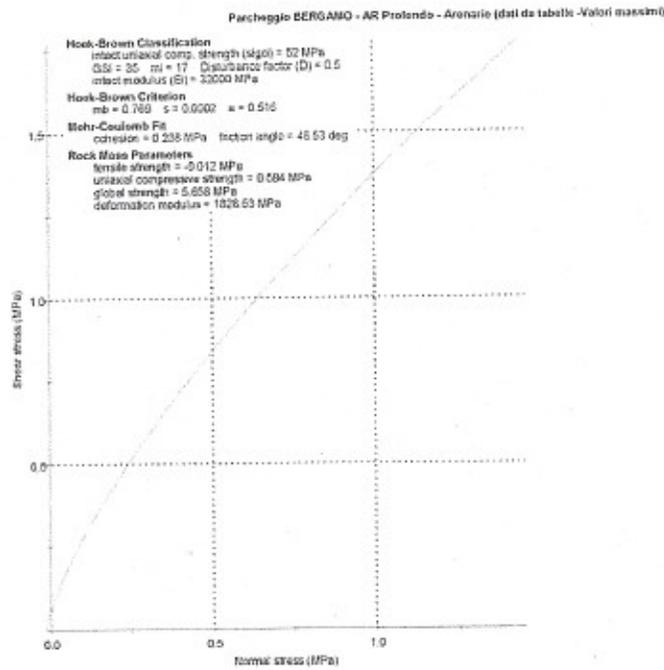
PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 02	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 18 di 96

La parametrizzazione dell'ammasso è stata condotta integrando i risultati delle prove di laboratorio eseguite sui campioni di matrice con i dati relativi allo stato di fratturazione e condizioni geomeccaniche generali dell'ammasso, rilevati in affioramento e nel corso dei sondaggi.

Poiché l'unità è caratterizzata dall'alternanza di litotipi con diverse caratteristiche, le elaborazioni sono state condotte, preliminarmente per ciascuna delle litologie principali; per l'arenaria, per la quale si dispone sia dei parametri di laboratorio sia di dati bibliografici, si è eseguita l'analisi per tutte le possibili variazioni di parametri significativi, conducendo poi una stima ponderale del valore caratteristico.

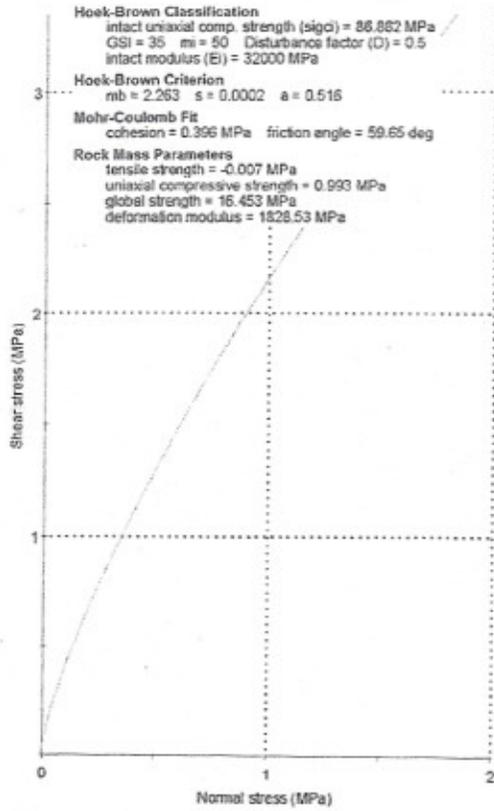
Di seguito sono riportati i grafici di sintesi delle elaborazioni per il calcolo della curva di inviluppo delle resistenze, basata sui dati rilevati e sul valore di GSI caratteristico per l'unità A.R. Profondo.



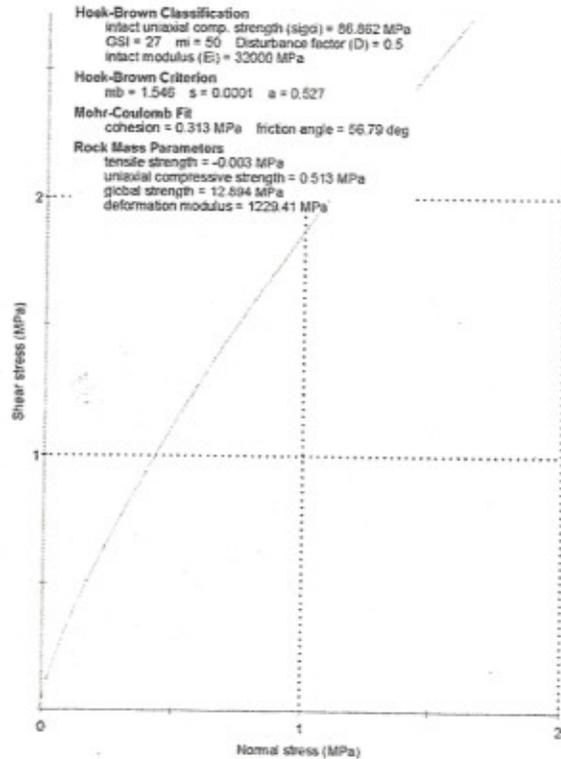


PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 02	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 21 di 96

Parcheggio BERGAMO - AR Profondo - Arenarie (dati LAB valori max)



Parcheggio BERGAMO - AR Profondo - Arenarie (dati LAB Valori minimi)



PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 02	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 22 di 96

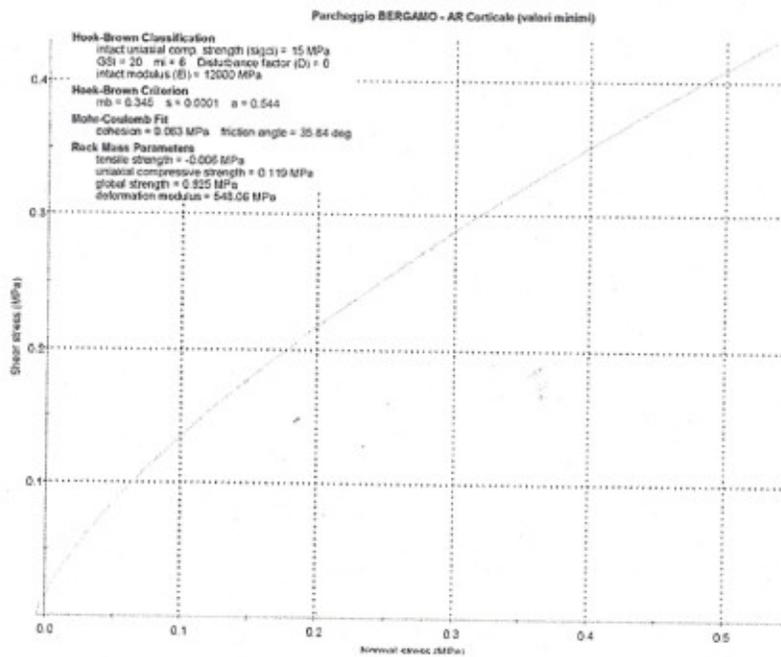
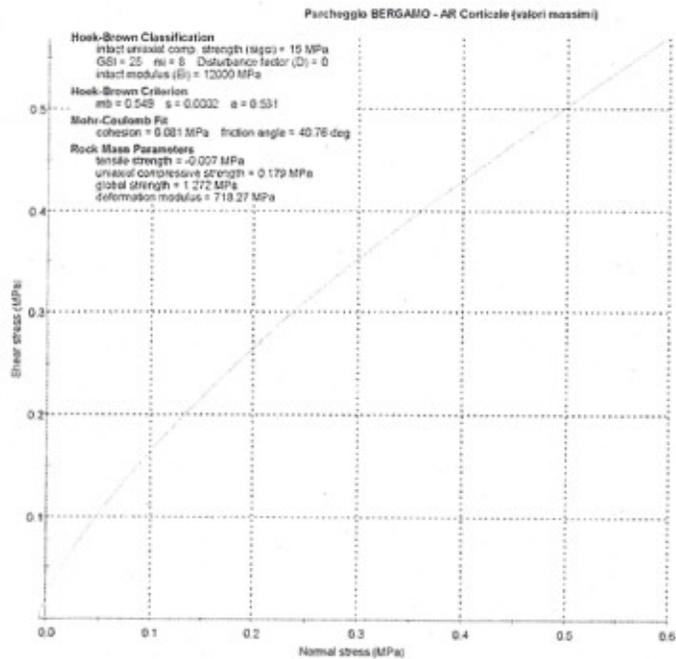
La sintesi dei risultati delle elaborazioni è riportata nella tabella che segue. Nella tabella sono riportati anche i valori caratteristici ricavati utilizzando, cautelativamente, una media ponderale dove si è data maggiore importanza ai valori minimi ricavati dalle diverse elaborazioni.

Parametri caratteristici A.R. Profondo									
	ϕ' [°]	c' [kPa]	γ [kN/m ³]	σ_{ci} [MPa]	σ_{ar} [MPa]	m_b [-]	s_b [-]	a	E_{ar} [MPa]
Arenarie Lab max	59.65	396	25	86.8	0.993	2.263	0.0002	0.516	1829
Arenarie Lab min	56.79	313	25	86.8	0.513	1.546	0.0001	0.527	1229
Arenarie Tab max	48.53	238	25	52	0.594	0.769	0.0002	0.516	1829
Arenarie Tab min	42.42	173	25	52	0.307	0.402	0.0001	0.527	1229
Siltiti/Argilliti max	42.8	198	25	60	0.540	0.353	0.0001	0.52	1215
Siltiti/Argilliti min	35.26	130	25	48	0.237	0.197	4.54E-05	0.531	885
Valori caratteristici	40	156	25	50	0.279	0.320	0.00008	0.529	1091

7.1.2 Unità A.R. corticale

La parametrizzazione è stata condotta in modo del tutto analogo a quello utilizzato per l'unità più profonda.

Di seguito sono riportati i grafici di sintesi delle elaborazioni per il calcolo della curva di involuppo delle resistenze, basata sui dati rilevati e sul valore di GSI caratteristico per l'unità A.R. Corticale.



PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 02	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 24 di 96

La sintesi dei risultati delle elaborazioni è riportata nella tabella che segue, dove sono indicati anche i valori caratteristici dell'unità.

Parametri caratteristici A.R. Corticale									
	ϕ' [°]	c' [kPa]	γ [kN/m ³]	σ_{ci} [MPa]	σ_{ar} [MPa]	m_b [-]	s_b [-]	a	E_{ar} [MPa]
AR Corticale valori max	40.76	81	24	15	0.179	0.549	0.0002	0.531	718
AR Corticale valori min	35.84	63	24	15	0.119	0.345	0.0001	0.544	548
Valori caratteristici	36	65	24	15	0.125	0.350	0.00010	0.540	600

7.2 TERRENI DI COPERTURA

Per i depositi di copertura si è fatto riferimento alle caratteristiche già definite nelle precedenti elaborazioni con l'accorgimento di meglio definire i parametri in funzione delle caratteristiche di contenuto in % della frazione fine (limoso-argillosa).

L'estrema eterogeneità dei materiali e la scarsità di dati misurati (sono disponibili solo alcune prove SPT, peraltro di limitata utilità) ha imposto un approccio nella definizione dei parametri caratteristici piuttosto conservativa.

Sulla base dei dati disponibili è possibile riconoscere due unità geotecniche caratterizzate, come detto, da un differente contenuto in frazione limoso-argillosa:

- **Unità T1:** Terreni di copertura con frazione fine (argilloso-limosa) dominante (> 50+60 %)
- **Unità T2 :** Terreni di copertura con frazione a comportamento frizionale (sabbioso-ghiaiosa) in proporzioni più rilevanti (> 50 + 60 %) della frazione fine (argilloso-limosa).

L'unità T1 è presente in tutta la zona di cantiere nella parte inferiore e sui

PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 02	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 25 di 96

fianchi orientale ed occidentale, mentre l'unità T2 è presente solo nella parte superiore del versante e in particolare nella zona appena al di sotto del muro della Rocca.

Si tratta, in entrambi i casi, di terreni dotati di coesione ma con comportamento leggermente più attritivo nel caso T2.

I valori caratteristici dei parametri geotecnici delle due unità sono riportati nella tabella che segue:

Unità	Peso dell'unità di volume $[\gamma]$	Angolo di attrito $[\phi']$	Coesione efficace $[c']$	Coesione non drenata $[c_u]$
	$[\text{kN/m}^3]$	$[\circ]$	$[\text{kPa}]$	$[\text{kPa}]$
T1	20	26	20	50
T2	19	34	10	-

PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 02	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 26 di 96

8. PERICOLOSITÀ SISMICA DEL SITO

La stima dei parametri spettrali necessari per la definizione sismica di progetto è stata calcolata direttamente per il sito in esame, utilizzando allo scopo le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (ex D.M. 14.01.2008).

I parametri fondamentali adottati sono i seguenti:

- Tipo di elaborazione: Opere di sostegno
- Vita nominale Vn: 70 anni
- Classe d'uso: III
- Coefficiente cu: 1,5
- Periodo di riferimento: 105 anni

Sito in esame.

latitudine: 45.705205
longitudine: 9.666315

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 11157	Lat: 45,7234	Lon: 9,6277	Distanza: 3615,400
Sito 2 ID: 11158	Lat: 45,7256	Lon: 9,6991	Distanza: 3412,036
Sito 3 ID: 11379	Lat: 45,6734	Lon: 9,6309	Distanza: 4477,792
Sito 4 ID: 11380	Lat: 45,6757	Lon: 9,7023	Distanza: 4310,837



PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 02	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 27 di 96

In base a queste assunzioni si sono definiti i parametri sismici di riferimento riportati di seguito

Parametri di risposta sismica locale

- Categoria sottosuolo: A
- Categoria topografica: T2

Parametri Stati Limite

	u.m.	SLD	SLV
Probabilità di superamento	%	63	10
Tr tempo ritorno	anni	106	997
ag accelerazione orizzontale max (su suolo rigido)	g	0.057	0.147
Fo valore max fattore amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale		2.436	2.462
Tc* Tempo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale	s	0.243	0.277

Coefficienti Sismici

	SLD	SLV
Ss	1,000	1,000
Cc	1,000	1,000
St	1,200	1,200
kh	0,014	0,051
<td>0,007</td> <td>0,026</td>	0,007	0,026

PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 02	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 28 di 96

9. ANALISI GEOTECNICHE

Le analisi di verifica delle condizioni di stabilità dei versanti, con le opere di confinamento previste, sono state condotte implementando una serie di modelli di calcolo alle differenze finite, utilizzando un apposito codice di calcolo (FLAC, Rel 6.0).

Le verifiche sono state eseguite elaborando otto diverse sezioni, tre lungo il fronte ovest (sezioni D-D, E-E e sezione G-G di progetto), tre lungo il fronte nord (sezioni I-I, L-L e sezione M-M, quest'ultima in asse all'ingresso della galleria esistente), e due lungo il fronte est (sezioni P-P e Q-Q).

Nella figura che segue sono riportate le tracce delle sezioni considerate.

PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 02	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 29 di 96



PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 02	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 30 di 96

Le analisi sono state condotte in condizioni di deformazione piana. I modelli sono generati con elementi a quattro nodi, per ciascuno dei quali si procede alla risoluzione diretta delle equazioni di equilibrio e di moto sino a raggiungere condizioni di equilibrio in termini di tensioni e spostamenti.

Il processo di calcolo comporta le seguenti fasi:

- Definizione del modello geometrico e fisico da analizzare (dimensioni e geometria della regione da analizzare, maglia degli elementi costitutivi e numerazione dei nodi ed elementi, condizioni al contorno);
- Scelta delle leggi costitutive e dei criteri di resistenza dei materiali;
- Definizione dello stato tensionale iniziale;
- Elaborazione del modello con variazioni e modifiche delle diverse condizioni da analizzare.

I calcoli sono state condotti adottando un modello di comportamento elasto-plastico ideale con superficie di plasticizzazione definita da una curva di involuppo alla Mohr-Coulomb.

Le condizioni al contorno sono state definite imponendo alle superfici laterali del modello un vincolo agli spostamenti orizzontali (carrelli), al limite inferiore l'impedimento a spostamenti in direzione verticale (carrelli) e agli spigoli inferiori, necessariamente, vincoli agli spostamenti sia verticali che orizzontali (cerniere). La superficie superiore è stata lasciata libera. Il modello è stato esteso lateralmente e verticalmente a sufficienza affinché gli effetti dei vincoli imposti al contorno fossero di entità trascurabile per le zone di interesse dell'analisi.

Le verifiche sono state condotte sia in condizioni statiche sia in condizioni sismiche.

PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 02	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 31 di 96

Le analisi in condizioni statiche sono state condotte secondo l'Approccio 1 – Combinazione 2, ritenuta, per il caso in esame, più cautelativa ed adeguata alla fase progettuale. Le analisi di verifica in condizioni statiche hanno riguardato tutte le fasi di lavorazione. Successivamente sono state condotte le analisi in condizioni sismiche con verifiche allo SLD (Stato Limite di Danno) e allo SLV (Stato limite di salvaguardia della Vita). Le verifiche in condizioni sismiche SLD sono relative agli Stati Limite di Esercizio (SLE) mentre quelle SLV sono riferite allo Stato Limite Ultimo (SLU).

Per l'analisi SLU si è adottata la combinazione (A2+M2+R1) con azioni unitarie (A2) e parametri geotecnici condizionati dai coefficienti parziali M2, che prevedono la definizione dei valori di progetto secondo la seguente relazione:

$$\text{valore caratteristico} / \text{coefficiente parziale} = \text{parametro di progetto}$$

I parametri geotecnici fondamentali necessari per eseguire le analisi numeriche sono quelli riportati al precedente capitolo 7 e sintetizzate nella tabella che segue, dove sono indicati oltre ai valori caratteristici anche i valori di progetto secondo NTC (DM 14-01.2008).

PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 02	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 32 di 96

Unità	Peso dell'unità di volume			Angolo resistenza al taglio					Coesione efficace			Coesione non drenata (UU)		
	Valore caratteristico [kN/m ³]	Coefficiente parziale (tabella M2)	Valore di progetto (combin. 2)	Valore caratteristico		Coefficiente parziale (tabella M2)	Valore di progetto (combin. 2)		Valore caratteristico [kN/m ²]	Coefficiente parziale (tabella M2)	Valore di progetto [kN/m ²]	Valore caratteristico [kN/m ²]	Coefficiente parziale (tabella M2)	Valore di progetto [kN/m ²]
	γ_k	γ_r	[kN/m ³]	$[\phi'_{\gamma}]$	$[\tan \phi']$	$\gamma_{\phi'}$	$[\tan \phi']$	$[\phi]$	c'_k	$\gamma_{c'}$	[kPa]	c_{u_k}	$\gamma_{c'}$	[kPa]
Terreno di copertura T1	20	1	20	30	0.5774	1.25	0.4619	25	20	1.25	16			
Terreno di copertura T2	19	1	19	34	0.6745	1.25	0.5396	28	10	1.25	8	50	1.4	36
A:R: Corticale	24	1	24	35	0.7002	1.25	0.5602	29	70	1.25	56			
A.R. Profondo	25	1	25	37	0.7536	1.25	0.6028	31	175	1.25	140			

PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 02	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 33 di 96

Nelle verifiche i sovraccarichi variabili, quali quello dovuto alla neve, sono stati omessi in quanto si tratta di azioni di entità estremamente ridotta (pari complessivamente, ad una pressione distribuita con valore caratteristico di circa 5 kPa) se comparata alle azioni permanenti.

Di seguito si sintetizzano i risultati delle analisi condotte per ciascuna delle sezioni considerate e per le fasi più significative delle lavorazioni.

Le caratteristiche dimensionali e prestazionali delle strutture (micropali delle berlinesi, travi di ripartizione e barre d'ancoraggio) utilizzate sono quelle indicate nel progetto.

9.1 FRONTE PRINCIPALE

Oltre alle opere di confinamento già realizzate al piede del Bastione della Rocca, lo schema di confinamento considerato per il fronte principale prevede la realizzazione di due paratie tipo berlinese parzialmente sovrapposte, ancorate all'ammasso roccioso mediante barre di acciaio pretese a diversi gradi di tensione. Le due paratie berlinesi verranno realizzate con micropali in acciaio; la berlinese superiore avrà armatura Φ 169.3 mm, spessore 10 mm, mentre la berlinese inferiore, meno sollecitata, avrà tubi d'armatura Φ 139.7 mm, sempre con spessore 10 mm; l'interasse dei micropali sarà, sia per la berlinese superiore sia per l'inferiore, pari a 0.40 m. In considerazione del diverso grado di azione che dovranno sostenere, le due paratie berlinesi avranno le seguenti lunghezze:

- Paratia superiore: quota di testa pali 28 m, lunghezza totale 15 m
- Paratia inferiore: sfalsata a rientrare di 1.0 m rispetto alla paratia superiore, con quota testa pali a 14.5 m e lunghezza totale 21.0 m.

PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 02	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 34 di 96

Le berlinesi saranno ancorate all' A.R. profondo con una serie di barre in acciaio di lunghezza variabile e con tratto ancorato di lunghezza sempre pari a 15 m; la capacità nominale è stata progettata pari a 650 kN.

Allo scopo di contenere l'azione assiale sulle barre di ancoraggio, si è ridotto, rispetto al progetto di massima della variante, il valore dell'interasse orizzontale delle barre; in questo modo si sono diminuiti i valori di pretensionamento delle barre a valori compresi tra 100 e 250 kN, ossia compresi tra circa il 15% ed il 38% della capacità nominale.

L'interasse orizzontale risulta così è pari a 2.50 m per i due primi ordini superiori di barre della berlinese più elevata, pari a 3.00 m per i 2 successivi ordini di barre della berlinese superiore e pari a 3.50 m per tutti i quattro ordini di barre della berlinese inferiore.

Appena a monte della testa della berlinese superiore, nella zona interessata dal franamento del dicembre 2008, sarà realizzata un'opera di confinamento del materiale corticale mediante un muro in cls ancorato con due ordini di barre aventi caratteristiche analoghe a quelle delle berlinesi, pretese a 150 kN e con interasse orizzontale pari a 1.75 m.

Complessivamente nella porzione di fronte compresa tra la sezione L-L e la sezione I-I, sono previsti i seguenti ordini di ancoraggio:

PARCHEGGI BERGAMO S.p.A.		Parcheggio pubblico "Parco della rocca ex Faunistico" – Città Alta di Bergamo PROGETTO ESECUTIVO	
E.A 02	20.10.11	RAPPORTO GEOLOGICO E GEOMECCANICO	pag. 35 di 96

QUOTA TESTA [m su zero cantiere]	Struttura	Interasse orizzontale [m]	Lunghezza libera [m]	lunghezza bulbo [m]	Inclinazione [°]	Forza di pretensionamento [kN]
31.00	Muro confinamento	1.75	15.0	15.0	3	150
30.00		1.75	15.0	15.0	5	150
28.00	Berlinese superiore	2.50	15.0	15.0	5	250
25.00		2.50	12.0	15.0	5	250
21.50		3.00	12.0	15.0	5	250
18.00		3.00	9.0	15.0	5	250
14.50	Berlinese inferiore	3.50	10.0	15.0	5	200
11.00		3.50	6.0	15.0	5	200
7.50		3.50	6.0	15.0	5	150
4.00		3.50	6.0	15.0	5	150
0.50		3.50	0.0	10.0	5	100
-3.00		3.50	0.0	10.0	5	100

9.1.1 - Sez. I-I

La sezione I-I si sviluppa circa attraverso il fronte principale, fronte sud, al margine occidentale della zona sovrastata dal bastione della Rocca; le opere di confinamento, in questo caso sono tutte quelle previste per la zona di frana (sez L-L e tabella riportata sopra), compreso, quindi, anche il muro di sostegno circa di q. 30.0 +31.0 e i due ordini di barre di ancoraggio connessi.

Il modello geotecnico iniziale con la griglia di calcolo e le condizioni di vincolo al contorno è rappresentato nella figura riportata di seguito (Fig. I-I_1). Nella figura successiva (Fig. I-I_2) è riportata la sezione geotecnica dello stato finale con le opere di confinamento previste.