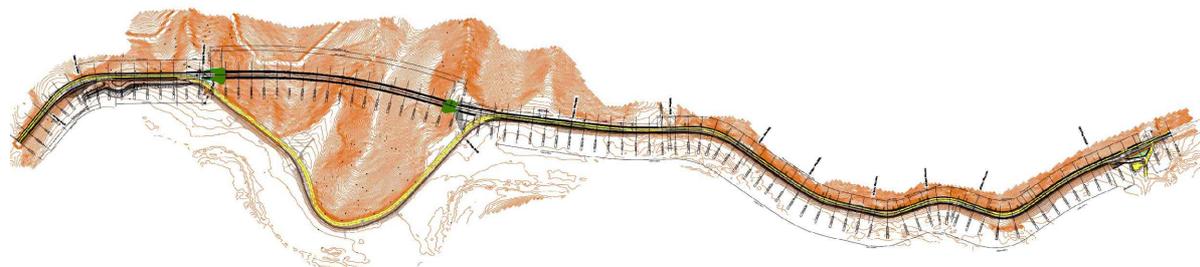


## S.S. 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE"

**RETTIFICA DEL TRACCIATO E ADEGUAMENTO ALLA SEZ. TIPO C2 DAL km 41+500 al km 51+500**  
**STRALCIO 1 - LAVORI DI ADEGUAMENTO ALLA SEZ. TIPO C2 DAL km 49+300 al km 51+500**



### PROGETTO DEFINITIVO

IMPRESA ESECUTRICE



GRUPPO DI LAVORO ANAS

PROGETTAZIONE



RESPONSABILE DEI LAVORI

IL PROGETTISTA

Ing. Valerio BAJETTI  
 Ordine degli Ingegneri della  
 provincia di Roma n°A26211  
 (Diretto tecnico Ingegneria del Territorio)



IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA  
 IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Fabrizio BAJETTI  
 Ordine degli Ingegneri della  
 provincia di Roma n°10112  
 (Diretto tecnico Ingegneria del Territorio)



RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Alessandro MICHELI

PROTOCOLLO

DATA

N. ELABORATO:

**B101**

## CAPITOLO B - GEOLOGIA GEOTECNICA E SISMICA

### CAPITOLO B1 - GEOTECNICA

#### RELAZIONE GEOTECNICA

CODICE PROGETTO

PROGETTO

PG0374D2201

NOME FILE

B101-T00GE00GETRE01\_A.dwg

REVISIONE

SCALA:

CODICE  
 ELAB.

T00GE00GETRE01

A

-----

D

C

B

A

PRIMA EMISSIONE

FEBBRAIO  
 2023

ING. NICOLA  
 LIGAS

ING. GIANCARLO  
 TANZI

ING. VALERIO  
 BAJETTI

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

## SOMMARIO

1	PREMESSE.....	3
2	SINTESI DELLE CARATTERISTICHE GEOLOGICHE .....	5
3	UNITA' LITOTECNICHE.....	7
4	INDAGINI GEOGNOSTICHE .....	8
5	RISPOSTA SISMICA LOCALE .....	17
5.1	OPCM 20 MARZO 2003.....	17
5.2	OPCM 28 APRILE 2006 .....	18
5.3	D.M. 17/1/2018 (NTC 2018).....	20
5.3.1	Pericolosità sismica di base .....	20
5.3.2	Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento .....	21
5.3.3	Stati limite e relative probabilità di superamento.....	22
5.3.4	Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche.....	23
5.3.5	Valutazione della pericolosità sismica .....	24
5.3.6	Valutazione dell'azione sismica .....	25
5.3.7	Caratterizzazione sismica dei terreni in studio .....	28
6	ANALISI GEOTECNICHE DI LABORATORIO .....	30
7	ELABORAZIONE DELLE PROVE IN SITU.....	33
7.1	ELABORAZIONE DATI NSPT .....	33
7.1.1	Calcolo dei parametri geotecnici per i terreni incoerenti .....	35
7.1.2	Calcolo dei parametri geotecnici per i terreni coesivi.....	36
7.2	ELABORAZIONE DELLE PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DPSH.....	38
7.3	CORRELAZIONI CON LIMITI DI CONSISTENZA (WL, WP, IP) .....	47
9	COMPORTAMENTO MECCANICO DEI TERRENI.....	48
9.1	UNITÀ LITOTECNICA DA1 .....	48
9.2	UNITÀ LITOTECNICA DA2 .....	49
9.3	UNITÀ LITOTECNICA CO .....	50
10	COMPORTAMENTO MECCANICO DEGLI AMMASSI ROCCIOSI .....	51
10.1	RILIEVI GEOSTRUTTURALI .....	52
10.2	COMPORTAMENTO MECCANICO.....	53
11	DEFINIZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI.....	61
12	VERIFICHE DI STABILITA' .....	65
12.1	SEZIONE PROGRESSIVA KM 0+300 .....	77
12.2	SEZIONE PROGRESSIVA KM 0+320 .....	78
12.3	SEZIONE PROGRESSIVA KM 0+960 .....	79
12.4	SEZIONE PROGRESSIVA KM 1+580 .....	80
12.5	SEZIONE PROGRESSIVA KM 1+840 .....	81
12.6	SEZIONE PROGRESSIVA KM 2+020 .....	82
11.	DESCRIZIONE DEL TRACCIATO STRADALE.....	83
13	ALLEGATO B – TABULATI DI CALCOLO .....	85
14	ALLEGATO E B – PROGRAMMA SLOPE .....	109
15	ALLEGATO A – SCHEDE GEOSTRUTTURALI.....	126



## 1 PREMESSE

Nella presente nota geotecnica viene esposta la metodologia adottata per la caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dal tracciato del progetto "S.S. N° 685 "Delle Tre Valli Umbre" - Rettifica del Tracciato e Adeguamento alla Sez. Tipo C2 dal Km 41+500 Al Km 51+500 - Stralcio 1 Lavori di Adeguamento alla Sez. Tipo C2 dal Km 49+300 al Km 51+500"; vengono quindi riportati i risultati delle correlazioni geotecniche con i risultati di tutte le indagini effettuate per la determinazione del comportamento meccanico delle varie unità litotecniche presenti, con particolare riferimento alla definizione dei parametri geotecnici caratteristici.

La redazione del presente lavoro viene effettuata conformemente alla seguente normativa:

- D.M.LL.PP. 11/03/1988 - "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
- Circolare LL. PP. 24.09.1988 n. 30483 - "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione". Istruzioni per l'applicazione.
- Presidenza del Consiglio dei Ministri - Ordinanza n. 3274 del 20 Marzo 2003 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".
- Presidenza del Consiglio dei Ministri - Ordinanza n. 3519 del 28 Aprile 2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".
- Decreto Ministero Infrastrutture 14/01/2008 - "Nuove Norme tecniche per le costruzioni".
- Circolare Ministero Infrastrutture e Trasporti n. 617 del 2 Febbraio 2009 - "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 Gennaio 2008".
- Decreto Ministero Infrastrutture e Trasporti 17/01/2018 - Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni".
- Circolare Ministero Infrastrutture e Trasporti n. 7 del 21-01-2019 - Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

Lo studio viene condotto sulla scorta dei dati disponibili ed in particolare in base ai seguenti elementi:

- Elaborati del Progetto Preliminare, elencati nella Tabella 1.1;

Tabella 1.1 - *Elenco elaborati consultati*

T	0	1	EG	0	0	GEN	RE	0	1	C	002	Relazione generale
T	0	3	GE	0	1	GEO	RE	0	1	B	018	Relazione geologica
T	0	3	GE	0	1	GEO	RE	0	2	B	019	Raccolta delle indagini
T	0	3	GE	0	1	GEO	RE	0	3	B	020	Raccolta schede di rilevamento
T	0	3	GE	0	1	GEO	PU	0	1	B	021	Planimetria ubicazione indagini
T	0	3	GE	0	1	GEO	CG	0	1	B	022	Carta geologica
T	0	3	GE	0	1	GEO	CG	0	2	B	023	Carta geomorfologica
T	0	3	GE	0	1	GEO	CI	0	1	B	024	Carta idrogeologica
T	0	3	GE	0	1	GEO	FG	0	1	B	025	Profilo geologico longitudinale
T	0	3	GE	0	1	GEO	SG	0	1	B	026	Sezioni geologiche trasversali
T	0	3	GE	0	2	GET	RE	0	1	A	027	Relazione geotecnica e sismica
T	0	5	GN	0	1	STR	RE	0	1	A	062	Relazione Tecnica Illustrativa sulle Gallerie Naturali
T	0	5	GN	0	1	STR	FP	0	1	A	065	Galleria Naturale GN01 - Profilo Geomeccanico

- Foglio 336 "Spoleto" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000
- Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia - Foglio 336 "Spoleto"

- Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale . Piano Assetto Idrogeologico (PAI) dei bacini di rilievo delle Marche – “Carta del Rischio Idrogeologico” – Scala 1:10.000
- IFFI - Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (ISPRA)
- Regione Umbria, Servizio Geologico e Sismico
- Regione Umbria – Servizio Geologico e Sismico – Carta Idrogeologica della Regione Umbria – Scala 1:100.000
- Regione Umbria – Piano di tutela delle Acque
- Autorità di Bacino del Fiume Tevere . Piano Assetto Idrogeologico (PAI)– Scala 1:10.000
- IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (ISPRA)

Preliminarmente sono stati acquisiti ed elaborati i risultati di tutte le indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche consistenti in:

- N° 6 Sondaggi geognostici a carotaggio continuo, spinti sino alla profondità massima di m 20,00 dal p.c, effettuati con carotaggio continuo, con attrezzatura oleodinamica montata su cingoli.
- prelievo di N° 1 campione indisturbato
- prelievo di N° 2 campioni rimaneggiati
- N° 8 prove SPT in foro
- posa in opera di N° 6 piezometri a tubo aperto (tipo Norton)
- N° 6 Prove Penetrometriche Dinamiche
- N° 4 indagini sismiche MASW
- N° 4 indagini sismiche HVSR

Nei paragrafi successivi verranno affrontati tutti gli argomenti ed i temi utili alla definizione di dettaglio del comportamento meccanico dei terreni in studio, riepilogando in sintesi le caratteristiche geologiche, i parametri sismici derivanti dall'applicazione della vigente normativa e tutte le indagini disponibili.

In particolare viene elaborata la reinterpretazione delle prove geotecniche in situ ed in laboratorio, secondo le teorie e correlazioni disponibili.

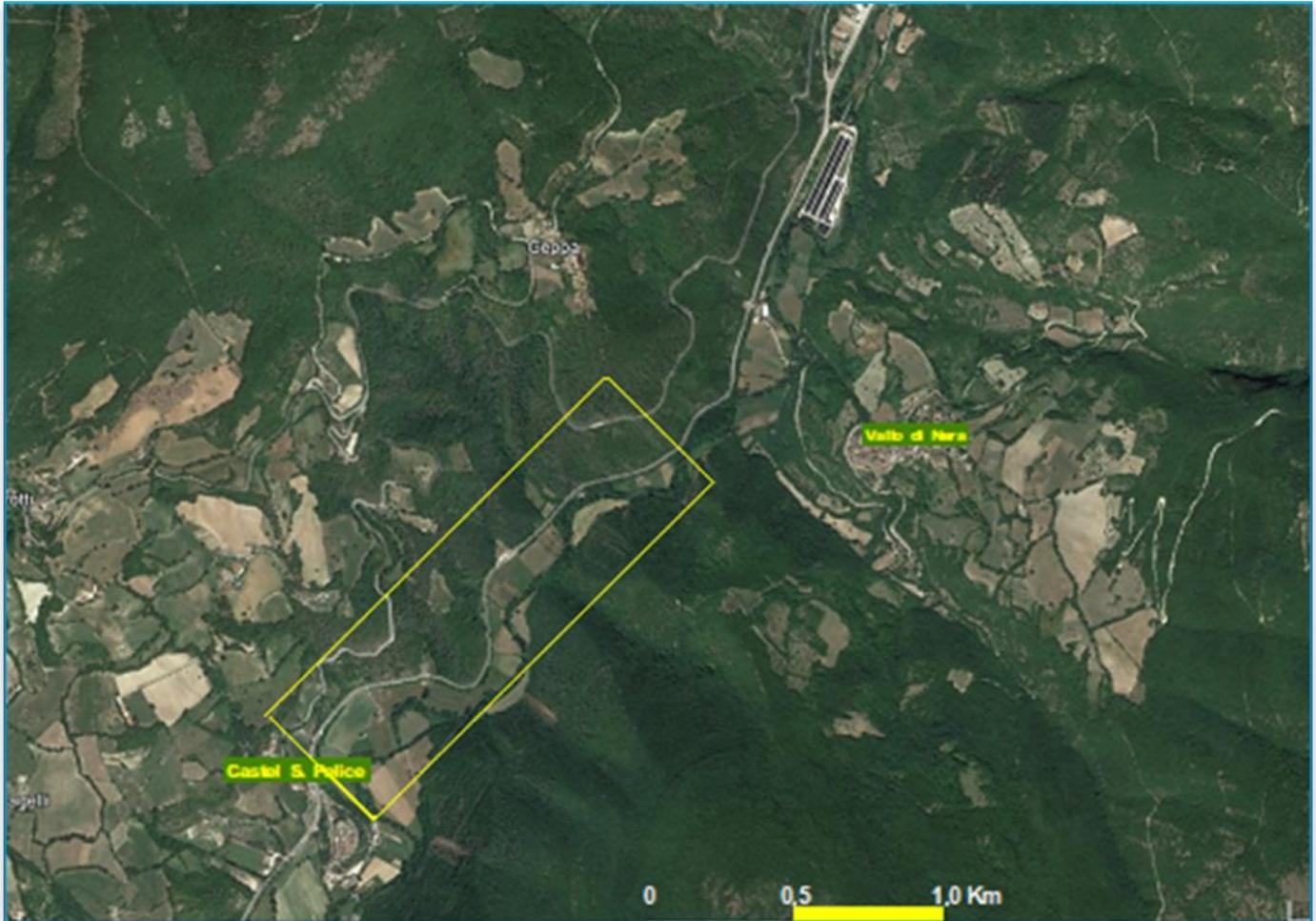
Nei paragrafi successivi verranno trattati i sottoelencati argomenti:

- Sintesi delle caratteristiche geologiche
- Unità litotecniche
- Indagini geognostiche
- Risposta sismica locale
- Analisi geotecniche di laboratorio
- Elaborazione delle prove in situ
- Comportamento meccanico dei terreni
- Individuazione dei parametri geotecnici caratteristici
- Definizione dei modelli geotecnici
- Calcolo dei cedimenti
- Verifica della capacità portante
- Verifiche di stabilità

## 2 SINTESI DELLE CARATTERISTICHE GEOLOGICHE

La strada in studio ricade nella Valle del Fiume Nera e si snoda lungo il versante in destra orografica (cfr. Figura 1.1) per una lunghezza complessiva di circa 2,3 Km.

Figura 1.1 – Ubicazione dell'area in studio



La valle del Fiume Nera presenta dei versanti interessati da numerosi dissesti che localmente occupano anche grandi aree, come quella sul versante in sinistra orografica in prossimità dell'abitato di Vallo del Nera.

Il versante in destra orografica è interessato da numerosi eventi franosi, tutti catalogati e perimetrati nelle carte tematiche dell'Inventario dei fenomeni Franosi d'Italia (IFFI . – ISPRA); tuttavia lungo il tracciato della strada in progetto non è stato rilevato alcun movimento franoso.

Dalle Carte Geomorfologica e Geologica il versante alla base del quale si sviluppa il tracciato della strada in progetto risulta costituito per la maggior parte da rocce calcaree affioranti, con limitate coperture detritiche ed assenza di fenomeni di dissesto.

Nella Carta Idrogeologica sono perimetrata le aree a rischio di alluvioni secondo quanto rilevabile dal Piano Gestione Rischio Alluvioni (Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale), da cui risulta che il tracciato della strada in progetto si sviluppa ad una quota sensibilmente più alta rispetto a quelle delle aree suscettibili di alluvioni e/o esondazioni, come si evince dallo stralcio della carta geomorfologica della Figura 2.1

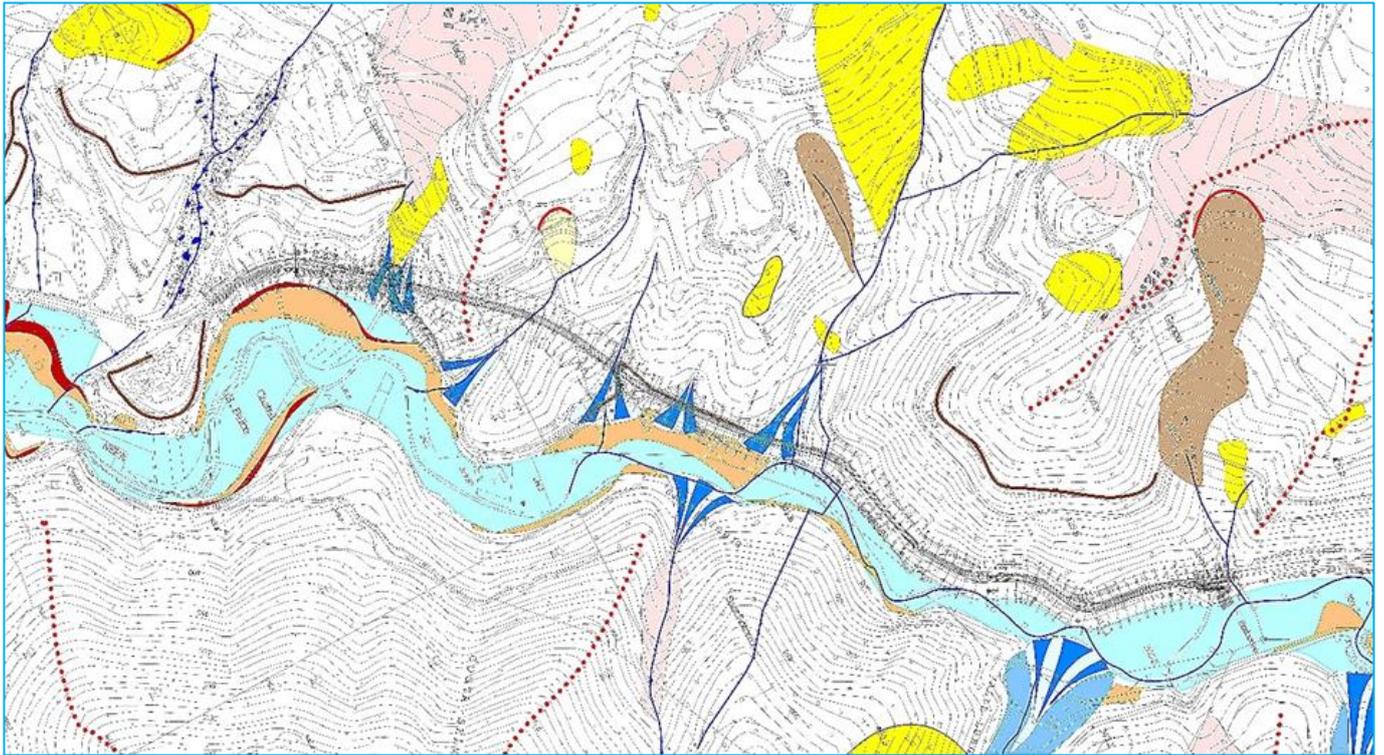


Figura 2.1 – Stralcio della Carta Geomorfológica

Dalla Relazione Geologica risulta che le formazioni nei versanti della valle sono molteplici e possono distinguersi in:

- *Depositi quaternari di copertura*, costituiti dai depositi alluvionali di fondovalle, dalle conoidi, dai corpi di frana, dalle coperture detritiche e dai depositi alluvionali terrazzati
- *Calciruditi del Sistema di Monteleone Sabino* di età plio-pleistocenica
- *Formazioni prevalentemente calcaree del Dominio Umbro*, che comprendono i Calcari marnosi grigi della *Formazione Bisciario*, la *Scaglia Cinerea*, formata da marne e marne argillose grigio-verdi, la *Scaglia Variegata*, data da calcari marnosi rossi e grigio-verdi, la *Scaglia Rossa* formata da calcilutiti e calcari marnosi rosati e rossi, la *Scaglia Bianca* costituita da calcilutiti bianche, le *Marne a Fucoidi* date da alternanza di marne calcaree ed argillose, la *Maiolica* data da calcari micritici a grana finissima ed i *Calcari Diasprigni*, formati da calcari micritici, radiolariti e diaspri.

### 3 UNITA' LITOTECNICHE

Nel presente lavoro si prendono in considerazione solo le formazioni che interessano direttamente o indirettamente il tracciato della strada in progetto, qui di seguito elencate e rappresentate in dettaglio nella Carta Geologica in Scala 1:2.000, per le quali si riportano anche le sigle adottate nella relazione geologica, identiche a quelle del Foglio 336 "Spoleto" del CARG:

- detriti di falda, sigla a3
- depositi alluvionali, sigla b
- Scaglia Variegata, sigla VAS
- Scaglia Rossa, sigla SAA

Le suddette formazioni vengono identificate, per gli scopi del presente lavoro, in "unità litotecniche" poste alla base delle caratterizzazioni e verifiche geotecniche; vengono quindi identificate le seguenti unità litotecniche:

- a) UNITÀ LITOTECNICA DT, descritta come costituita da depositi detritici di falda e di versante a granulometria variabile, da ben classati a fortemente eterometrici, generalmente sciolti o debolmente cementati, in accumuli massivi o grossolanamente stratificati; corrisponde alla formazione geologica a<sub>3</sub>;
- b) UNITÀ LITOTECNICA CO - descritta come costituita da depositi di conoidi, in taluni casi maggiormente grossolani, eterometrici, in matrice sabbioso-limosa rossastra e con accenni di stratificazione, presenti allo sbocco di valli secondarie; in geologia questi terreni vengono inclusi nei depositi alluvionali con sigla b;
- c) UNITÀ LITOTECNICA DA1 - descritta come costituita da depositi alluvionali, depositi detritici alluvionali in corrispondenza degli alvei o da "debris flow", in taluni casi maggiormente grossolani, eterometrici, costituiti da ghiaia e sabbia in matrice sabbioso-limosa rossastra e con accenni di stratificazione; corrisponde alla formazione geologica con sigla b;
- d) UNITÀ LITOTECNICA DA2 - Costituisce una facies di sedimenti fini dei depositi alluvionali riscontrata nel corso dei sondaggi geognostici e formata da limi sabbiosi argillosa, formati da limi sabbiosi marroni-rossastri
- e) UNITÀ LITOTECNICA SV - descritta come Scaglia Variegata formata da calcari marnosi rossi o grigio-verdi, calcari e marne grigie con selce nera e marne rosse con intercalazioni di spessi livelli di calcareniti, con stratificazione sottile (2 - 20 cm); in geologia corrisponde alla formazione con la sigla VAS;
- f) UNITÀ LITOTECNICA SR - descritta come Scaglia Rossa, formata da calcilutiti, calcari marnosi e marne da rosati a rosso scuro o biancastri, ben stratificati, con selce in noduli o liste generalmente rossa o rosea. Sono presenti calcareniti di colore grigio o bianco, talora di spessore anche metrico; in geologia corrisponde alla formazione con la sigla SAA.

In sintesi, quindi, si hanno N° 6 Unità litotecniche appartenenti alle seguenti classi con comportamenti meccanici del tutto differenti:

- a) Terreni *prevalentemente incoerenti*, granulari e sciolti, cui appartengono le seguenti unità litotecniche:  
Unità DT  
Unità CO  
Unità DA1
- b) Terreni *prevalentemente coesivi*, dati da limi sabbiosi, cui appartiene la seguente unità:  
Unità DA2
- c) Terreni *prevalentemente lapidei*, cui appartengono le seguenti unità:  
Unità SV  
Unità SR

## 4 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Si dispone delle seguenti indagini geognostiche e geofisiche la cui ubicazione è riportata negli appositi elaborati planimetrici in scala 1:5.000 ed 1:2.000:

- N° 6 Sondaggi geognostici a carotaggio continuo, spinti sino alla profondità massima di m 20,00 dal p.c. effettuati con carotaggio continuo, con attrezzatura oleodinamica montata su cingoli.
- prelievo di N° 1 campione indisturbato
- prelievo di N° 2 campioni rimaneggiati
- N° 8 prove SPT in foro
- posa in opera di N° 6 piezometri a tubo aperto (tipo Norton)
- N° 6 Prove Penetrometriche Dinamiche
- N° 4 indagini sismiche MASW
- N° 4 indagini sismiche HVSR

Nella Tabella 4.1 è riportata la sintesi dettagliata delle suddette indagini.

Tabella 4.1 – *Indagini geognostiche*

Sondaggio	Profondità	Campioni indisturbati (CI)	Campioni rimaneggiati (CR)	Profondità di prelievo dei campioni	SPT
Sigla	m	N°	N°	(m)	N°
S.1	20,00		1	11,20 ÷ 11,70	2
S.2	20,00				
S.3	15,00	1	1	2,00 ÷ 2,50 (CI) - 7,40 ÷ 7,80 (CR)	2
S.4.	15,00				
S.5	10,00				2
S.6	17,00				2

Nella tabella 4.2 sono riportati i dati inerenti alle prove Standard Penetration Test.

Tabella 4.2 – *Prove S.P.T.*

Sondaggio	Profondità		Tratti di infissione – N° Colpi			Valore
	da m	a m	15 cm	15 cm	15 cm	
S.1	1,50	1,95	9	9	7	16
	4,00	4,45	3	5	8	13
S.3	1,50	1,95	10	10	12	22
	4,00	4,45	3	5	4	9
S.5	2,00	2,45	2	3	4	7
	7,00	7,45	2	4	6	10
S.6	2,50	2,95	2	3	5	8
	5,00	5,45	3	7	13	20

Nella Tabella 4.3 sono riportati i dati inerenti al prelievo dei campioni nel corso della perforazione.

Tabella 4.3 – Campioni prelevati nei sondaggi

DATI DEL CAMPIONE				
Sondaggio	Denominazione Campione	da m	a m	I Indisturbato R Rimameggiato L Lapideo
S.1	CR1	11,20	11,70	R
S.3	CI1	2,00	2,50	I
	CR1	7,40	7,80	R

Inoltre per la determinazione dei parametri sismici, ai sensi delle NTC 2018, sono state effettuate N° 4 prove MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*), ubicate alle seguenti progressive:

- MASW.1 Progr. 0+380,00
- MASW.2 Progr. 0+920,00
- MASW.3 Progr. 1+280,00
- MASW.4 Progr. 1+580,00

Negli stessi siti delle indagini MASW sono state eseguite N° 4 prove HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) finalizzate a determinare alcune caratteristiche dei depositi sedimentari superficiali e più in particolare allo studio delle frequenze di risonanza dei terreni.

Si ripropongono qui di seguito le sintesi dei logs stratigrafici di ciascun sondaggio.

Sondaggio S.1		Formazione	Litologia
da m	a m		
0,00	0,70	Detrito	Ghiaia con limo marrone poco addensata con frammenti vegetali e residui nerastri organici
0,70	2,30	Depositi alluvionali	Ghiaia grossolana con clasti calcarei angolosi eterometrici rossi e rosati da 0,2 a > 10 cm, con limo, poco addensata
2,30	5,50		Ghiaia con limo da poco a mediamente addensata marrone con clasti sub angolosi calcarei da 0,2 a 4 cm
5,50	8,60		Limo argilloso-ghiaioso plastico, poco consistente marrone con clasti angolosi calcarei etero metrici < 1 cm
8,60	10,80		Limo con argilla sabbioso grigio chiaro plastico con frazione sabbiosa biancastra ed inclusi carbonatici
10,80	15,00		Limo con ghiaia moderatamente consistente, grigio con clasti angolosi da 0,2 a 2 cm
15,00	20,00		Limo consistente ghiaioso con clasti arrotondati e subarrotondati

Sondaggio S.2		Formazione	Litologia
da m	a m		
0,00	0,80	Detrito/Conoide	Ghiaia limosa marrone scura poco addensata con frammenti vegetali
0,80	3,00		Ghiaia limo-sabbiosa marrone mediamente addensata con clasti calcarei angolosi etero metrici rossi e rosati da 0,5 a 7 cm
3,00	10,00	Scaglia Variegata	Calcari micritici rossi e rosati estremamente fratturati, tettonizzati ed alterati
10,00	15,00		Calcari micritici rossi e rosati estremamente fratturati, tettonizzati ed alterati
15,00	20,00		Calcari micritici rossi stratificati molto fratturati con giunti tettonici molto ravvicinati chiusi o con riempimento calcitico

Dalle foto delle cassette catalogatrici è stato valutato un RQD nei calcari pari al 5%.

Sondaggio S.3			
da m	a m	Formazione	Litologia
0,00	0,90	Detrito	Ghiaia sabbiosa sciolta marrone con clasti angolosi prevalentemente calcarei da 0,2 a 4 cm con subordinati frammenti vegetali e materiale organico
0,90	2,00	Depositi alluvionali	Ghiaia con limo argillosa marrone poco addensata con clasti calcarei angolosi generalmente < 1 cm
2,00	5,00		Limo argilloso con ghiaia marrone rossastro con clasti eterometrici calcarei da 0,2 a 3 cm da subarrotondati a subangolosi
5,00	10,30		Limo argilloso ghiaioso consistente, plastico marrone rossastro con clasti subangolosi da 0,2 a 3 cm
10,30	11,40		Sabbia fina limosa biancastra travertinosa addensata
11,40	12,00		Limo argilloso marrone scuro ad alto contenuto organico, poco consistente
12,00	15,00		Ghiaia grossolana con clasti grigiastri con selce da 1 a 6 cm prevalentemente angolosi e raramente arrotondati

Sondaggio S.4			
da m	a m	Formazione	Litologia
0,00	1,20	Detrito colluviale	Ghiaia limosa con clasti calcarei eterometrici da 0,2 a > 10 cm e frammenti vegetali
0,80	3,00		Ghiaia limo-sabbiosa grossolana con clasti prevalentemente angolosi e subordinatamente arrotondati da biancastri a rossi
3,00	15,00	Scaglia Rossa	Calcari rossi e rosati estremamente fratturati, tettonizzati ed alterati

Dalle foto delle cassette catalogatrici è stato valutato un RQD nei calcari pari al 4%.

Sondaggio S.5			
da m	a m	Formazione	Litologia
0,00	1,00	Detrito	Ghiaia limosa con clasti calcarei eterometrici centimetrici e frammenti vegetali
1,00	8,50	Depositi alluvionali	Ghiaia limo-sabbiosa grossolana con clasti angolosi da 0,2 ad 8 cm da biancastri a rossi
8,50	10,00	Scaglia Rossa	Calcari rossi e rosati estremamente fratturati, tettonizzati ed alterati

Sondaggio S.6			
da m	a m	Formazione	Litologia
0,00	1,00	Detrito	Ghiaia con limo poco addensata con clasti calcarei eterometrici da 0,2 a 7 cm da angolosi a subarrotondati e frammenti vegetali
1,00	4,00	Depositi alluvionali	Ghiaia con limo poco addensata con clasti angolosi eterometrici da 0,2 a 7 cm da angolosi a subarrotondati
4,00	9,00		Ghiaia con limo moderatamente addensata con clasti calcarei eterometrici da 0,2 a >10 cm e frammenti di selce da angolosi a subarrotondati
9,00	17,00	Scaglia Rossa	Calcari rosati con selce rossa in strati da 5 a 30 cm e interstrati centimetrici pelitici rosso scuri con inclinazione circa 30°

Dalle foto delle cassette catalogatrici è stato valutato un RQD nei calcari pari al 40%.

Per le Prove Penetrometriche Dinamiche, eseguite con penetrometro super pesante DPSH (Dynamic Penetration Super Heavy) sono stati rielaborati i diagrammi N° colpi – profondità, esposti nelle seguenti Figure 4.1, 4.2 e 4.3.

Figura 4.1 – Prove DPSH - PP.1 e PP.2

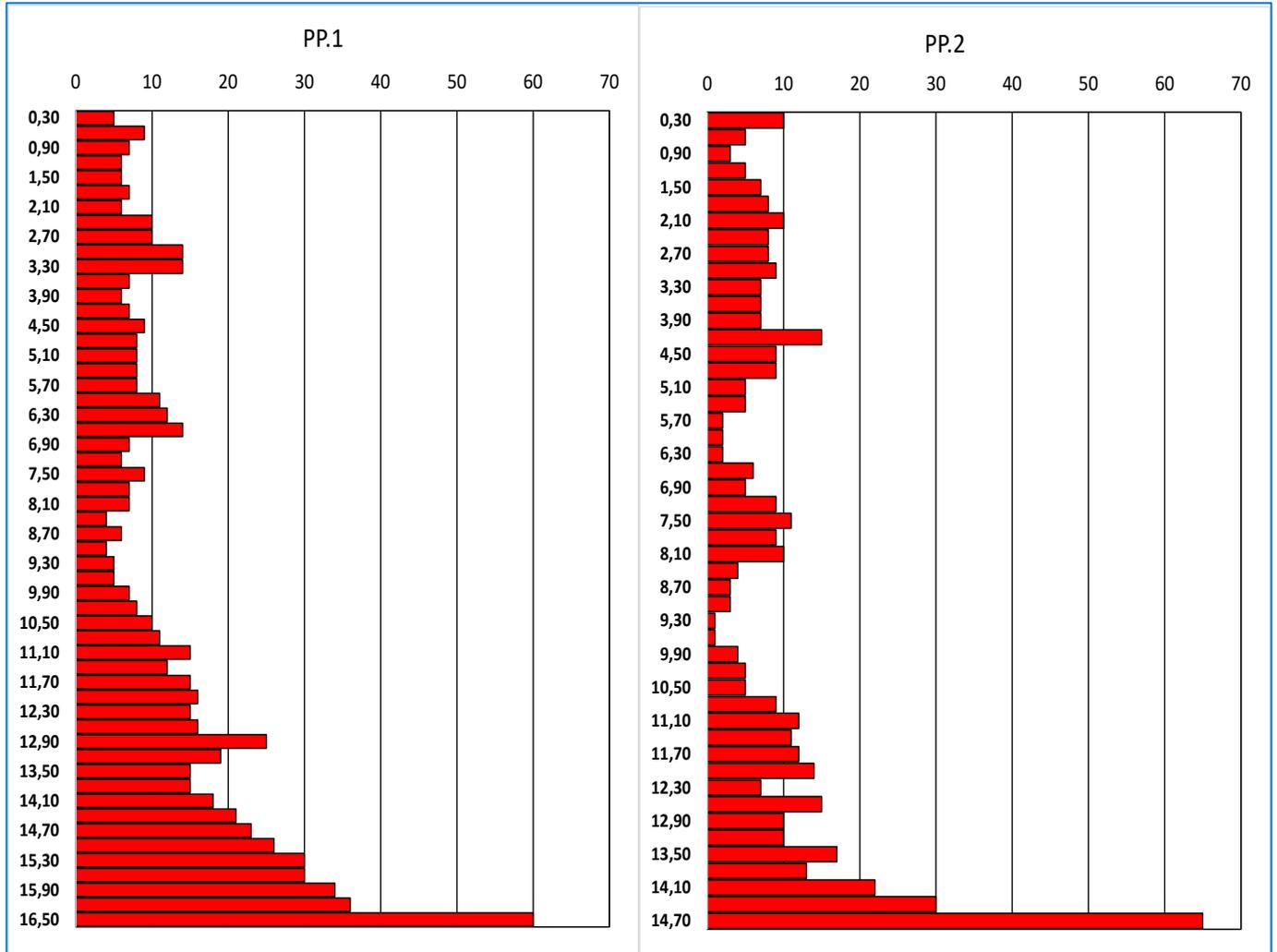


Figura 4.2 – Prove DPSH - PP.3 e PP.4

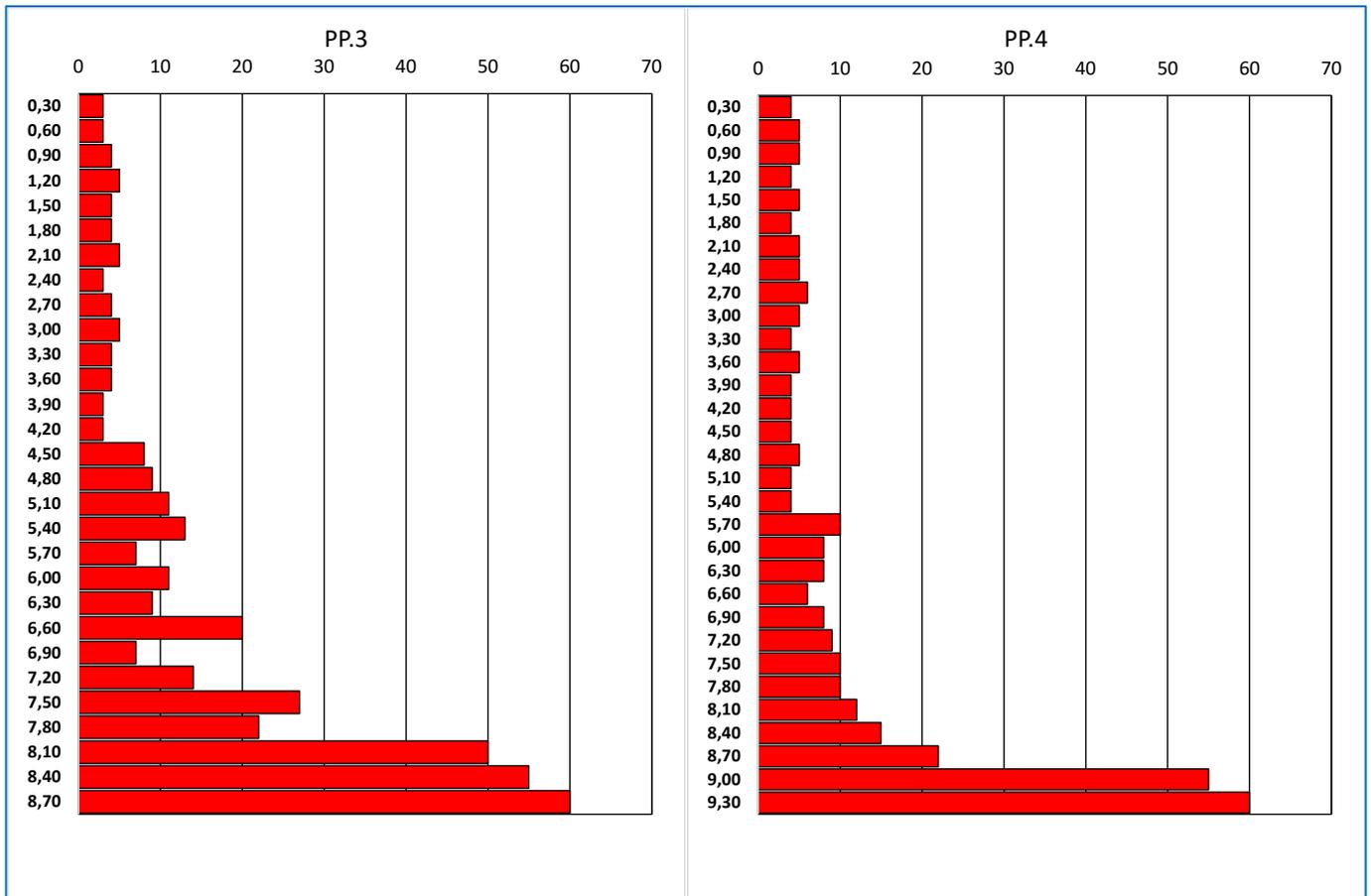
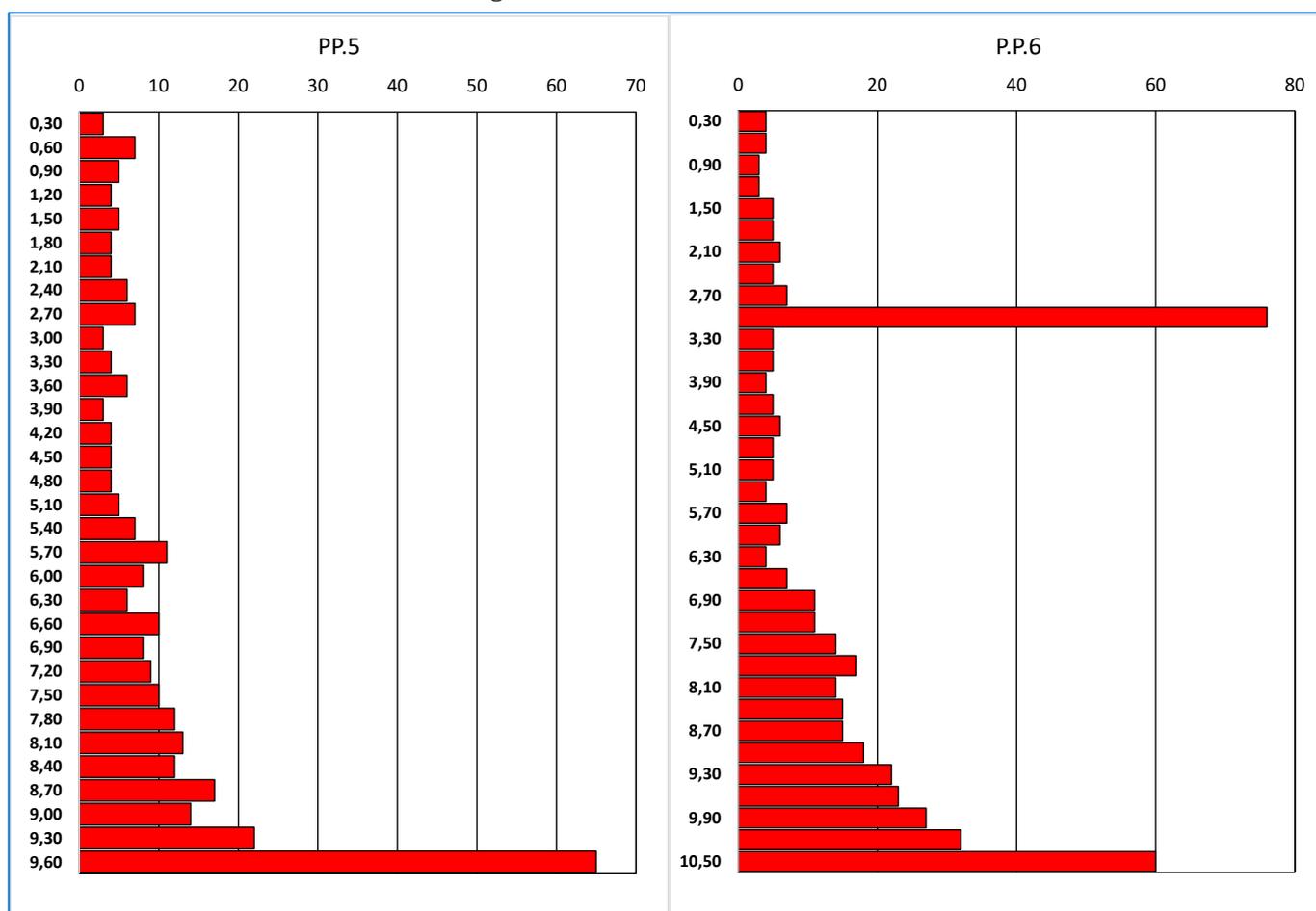


Figura 4.3 – Prove DPSH - PP.5 e PP.6



I risultati delle prove MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono stati rielaborati ed i risultati sono esposti nelle figure 4.4 e 4.5, da cui risulta che per le NTC2018:

- le MASW 1 e 2 individuano suoli di tipo B, essendo  $V_{s,eq} < 360$  m/sec
- le MASW 3 e 4 individuano suoli di tipo C, essendo  $360 < V_{s,eq} < 800$  m/sec

Figura 4.4 – Interpretazione delle MASW 1 e 2

MASW. 1					$V_{s,eq}$	MASW. 2					$V_{s,eq}$
Profondità	Spessore $H_i$	$V_s$	$H_i/V_s$	Profondità		Spessore $H_i$	$V_s$	$H_i/V_s$			
m	m	m/sec		m	m	m/sec					
0,30	0,30	80	0,00375	0,30	0,30	80	0,00375				
0,80	0,50	200	0,00250	0,80	0,50	200	0,00250				
2,80	2,00	250	0,00800	2,80	2,00	250	0,00800				
6,80	4,00	280	0,01429	6,80	4,00	280	0,01429				
10,80	4,00	300	0,01333	10,80	4,00	300	0,01333				
15,80	5,00	300	0,01667	15,80	5,00	300	0,01667				
22,80	7,00	800	0,00875	22,80	7,00	800	0,00875				
32,80	10,00	800	0,01250	32,80	10,00	800	0,01250				
72,80	40,00	800	0,05000	72,80	40,00	800	0,05000				
<b>Bedrock</b>					<b>Bedrock</b>						

Figura 4.5 – Interpretazione delle MASW 3 e 4

MASW. 3					MASW. 4					
Profondità	Spessore Hi	Vs	Hi/Vs	V <sub>s,eq</sub>	Profondità	Spessore Hi	Vs	Hi/Vs	V <sub>s,eq</sub>	
m	m	m/sec			m	m	m/sec			
0,30	0,30	80	0,00375	519,83	0,30	0,30	80	0,00375	542,21	
0,80	0,50	200	0,00250		0,80	0,50	300	0,00167		
2,80	2,00	350	0,00571		1,80	1,00	500	0,00200		
4,80	2,00	400	0,00500		3,80	2,00	600	0,00333		
8,80	4,00	500	0,00800		7,80	4,00	700	0,00571		
13,80	5,00	500	0,01000		12,80	5,00	700	0,00714		
20,80	7,00	700	0,01000		19,80	7,00	800	0,00875		
30,80	10,00	700	0,01429		29,80	10,00	800	0,01250		
Bedrock	70,80	40,00	800		0,05000	69,80	40,00	800		0,05000

Sui campioni indisturbati e rimaneggiati prelevati nel corso delle perforazioni sono state eseguite le analisi geotecniche di laboratorio evidenziate nella Tabella 4.4.

Tabella 4.4 – Analisi geotecniche di laboratorio eseguite

CAMPIONI RIMANEGGIATI																				
DATI DEL CAMPIONE					Denominazione Geotecnica	Umidità naturale	Peso di volume $\gamma$	Peso specifico dei granuli $\gamma_s$	Prove sulle terre											
Sondaggio	Denominazione Campione	da m	a m	Indisturbato Rimaneeggiato L Lapidico					Limiti di Atterberg			Caratteristiche granulometriche			Taglio CD	Triassiale CD	Prova ELL, UU			
									LL	LP	IP	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla	Coazione C	Angolo di attrito $\phi'$	Coazione C	Angolo di attrito $\phi'$	Coazione non drenata
					%	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	%	%	%	%	%	kPa	°	kPa					
S.3	C1	2,00	2,50	I	Limo argilloso-sabbioso con ghiaia	19,00	20,40	26,40	45,40	22,80	22,60	28,00	17,70	33,00	21,30	22,000	28,000			101,35
S.3	CR1	7,40	7,80	R	Limo con argilla	29,00		26,40	58,20	28,30	29,90	0,00	4,10	54,60	41,30					
S.1	CR1	11,20	11,70	R	Limo ghiaioso deb. sabbioso con argilla	28,60	19,60	25,00	56,20	26,00	30,20	23,60	12,00	33,90	30,50	20,000	25,000			

Inoltre sono state effettuate delle prove Point Load Test su blocchi di roccia calcarea, i cui risultati sono esposti nelle seguenti Tabelle 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8.

Tabella 4.5 – Campioni "A" di roccia di Scaglia Rossa

PROVE SU BLOCCHI - CAMPIONI "A" - SCAGLIA ROSSA									
DATI DEL CAMPIONE					Peso di volume $\gamma_s$	Prove sulle rocce			
Sondaggio	Denominazione Campione	da m	a m	Indisturbato Rimaneeggiato L Lapidico		Prova di compres.	Prova Brasiliana	Point Load Test	
						Resistenza alla compressione monoassiale	Resistenza alla trazione indiretta	Indice di resistenza alla punta	Indice di resistenza alla punta
					kN/m <sup>3</sup>	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
A	Campioni a forma di blocco			L	26,20			2,207	53,85
				L				3,416	80,27
				L				2,563	50,49
				L				3,930	69,24
				L				3,295	60,74
				L				2,244	56,58
				L				5,794	117,29
				L				3,673	73,70
				L				4,293	83,41
VALORE MEDIO =								73,01	

Tabella 4.6 – Campioni "C" di roccia di Scaglia Rossa

PROVE SU BLOCCHI - CAMPIONI "C" - SCAGLIA ROSSA									
DATI DEL CAMPIONE					$\gamma_s$	Prove sulle rocce			
Sondaggio	Denominazione Campione	da m	a m	Indisturbato Rimameggiato L Lapidario I R		Peso di volume $kN/m^3$	Prova di compres.	Prova Brasiliana	Point Load Test
					Resistenza alla compressione monoassiale		Resistenza alla trazione indiretta	Indice di resistenza alla punta	Indice di resistenza alla punta
						Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
C	Campioni a forma di blocco			L	25,90			6,152	122,31
				L				3,900	81,42
				L				4,488	80,71
				L				5,465	100,74
				L				3,030	79,95
				L				3,099	70,30
				L				4,361	79,61
				L				3,731	77,89
				L				4,275	86,92
		L					3,833	71,90	
VALORE MEDIO =								<b>85,18</b>	

Tabella 4.7 – Campioni "D" di roccia di Scaglia Variegata

PROVE SU BLOCCHI - CAMPIONI "D" - SCAGLIA VARIEGATA									
DATI DEL CAMPIONE					$\gamma_s$	Prove sulle rocce			
Sondaggio	Denominazione Campione	da m	a m	Indisturbato Rimameggiato L Lapidario I R		Peso di volume $kN/m^3$	Prova di compres.	Prova Brasiliana	Point Load Test
					Resistenza alla compressione monoassiale		Resistenza alla trazione indiretta	Indice di resistenza alla punta	Indice di resistenza alla punta
						Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
D	Campioni a forma di blocco			L	25,70			1,490	30,16
				L				4,484	90,35
				L				4,616	96,36
				L				6,654	130,49
				L				3,072	65,23
				L				3,929	80,24
				L				3,498	68,59
				L				3,868	80,05
				L				5,252	103,94
		L					4,936	100,37	
VALORE MEDIO =								<b>84,58</b>	

Tabella 4.8 – Campioni "F" di roccia di Scaglia Variegata

PROVE SU BLOCCHI - CAMPIONI "F" - SCAGLIA ROSSA									
DATI DEL CAMPIONE					$\gamma_s$	Prove sulle rocce			
						Prova di compres.	Prova Brasiliana	Point Load Test	
Sondaggio	Denominazione Campione	da m	a m	Indisturbato Rimameggiato L Lapideo	Peso di volume	Resistenza alla compressione monoassiale	Resistenza alla trazione indiretta	Indice di resistenza alla punta	Indice di resistenza alla punta
						$kN/m^3$	Mpa	Mpa	Mpa
								Is50	
F	Campioni a forma di blocco			L	25,90			3,933	30,1679,97
				L				2,275	53,05
				L				2,012	43,08
				L				3,255	59,12
				L				3,162	59,15
				L				3,101	57,45
				L				5,933	109,90
				L				2,668	60,51
				L				4,360	102,04
								4,159	93,58
VALORE MEDIO =									<b>70,88</b>

## 5 RISPOSTA SISMICA LOCALE

Prima dell'entrata in vigore delle *Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 17 gennaio 2018* (in seguito citato come *NTC2018*) la valutazione della risposta sismica locale poteva essere quantitativamente determinata adottando il metodo di MEDVEDEV (1965), applicabile allorché si dispone della successione stratigrafica del sito in studio, di indagini geognostiche e geofisiche e dei principali parametri sismici relativi al più forte terremoto registrato nell'area. Con questo metodo si poteva, quindi, avere una mappatura dell'accelerazione massima (Ag) attesa al suolo, in relazione anche alla presenza di faglie.

Adottando le nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018 (NTC 2018), come già con le precedenti NTC 2008, i valori dell'accelerazione attesa al suolo sono invece ricavabili funzione delle coordinate geografiche del sito, della configurazione litologica e topografica.

Le azioni sismiche attese in un certo sito si prevedono, su base probabilistica, tramite la pericolosità sismica che è funzione delle caratteristiche di sismicità regionali e del potenziale sismogenetico delle sorgenti sismiche; la valutazione della pericolosità sismica porta poi alla valutazione del rischio sismico di un sito in termini di danni attesi a cose e persone come prodotto degli effetti di un evento sismico. La pericolosità sismica valutata all'interno di un sito viene stimata come l'accelerazione orizzontale massima al suolo in un dato periodo di tempo, definendo i requisiti progettuali antisismici per le nuove costruzioni nel sito stesso.

Per maggiore completezza nei paragrafi seguenti viene fornita una breve panoramica delle principali normative sismiche succedutesi dal 2003 al 2018.

### 5.1 OPCM 20 MARZO 2003

Sulla base del documento *Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale* elaborato dal Gruppo di Lavoro costituito dalla Commissione Naz. di Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi (23 aprile 1997) e successive precisazioni, sono state individuate in tutto il territorio nazionale 4 zone sismiche, secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (ag) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. La valutazione di ag è stata calcolata con metodologie internazionali aggiornate periodicamente con procedure trasparenti e riproducibili.

La zonizzazione sismica dell'intero territorio nazionale è stata effettuata secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/03 pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8/05/03 Supplemento Ordinario n. 72: *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*. Costituiscono parte integrante dell'ordinanza:

Allegato 1 - *Criteri per l'individuazione delle zone sismiche – individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*

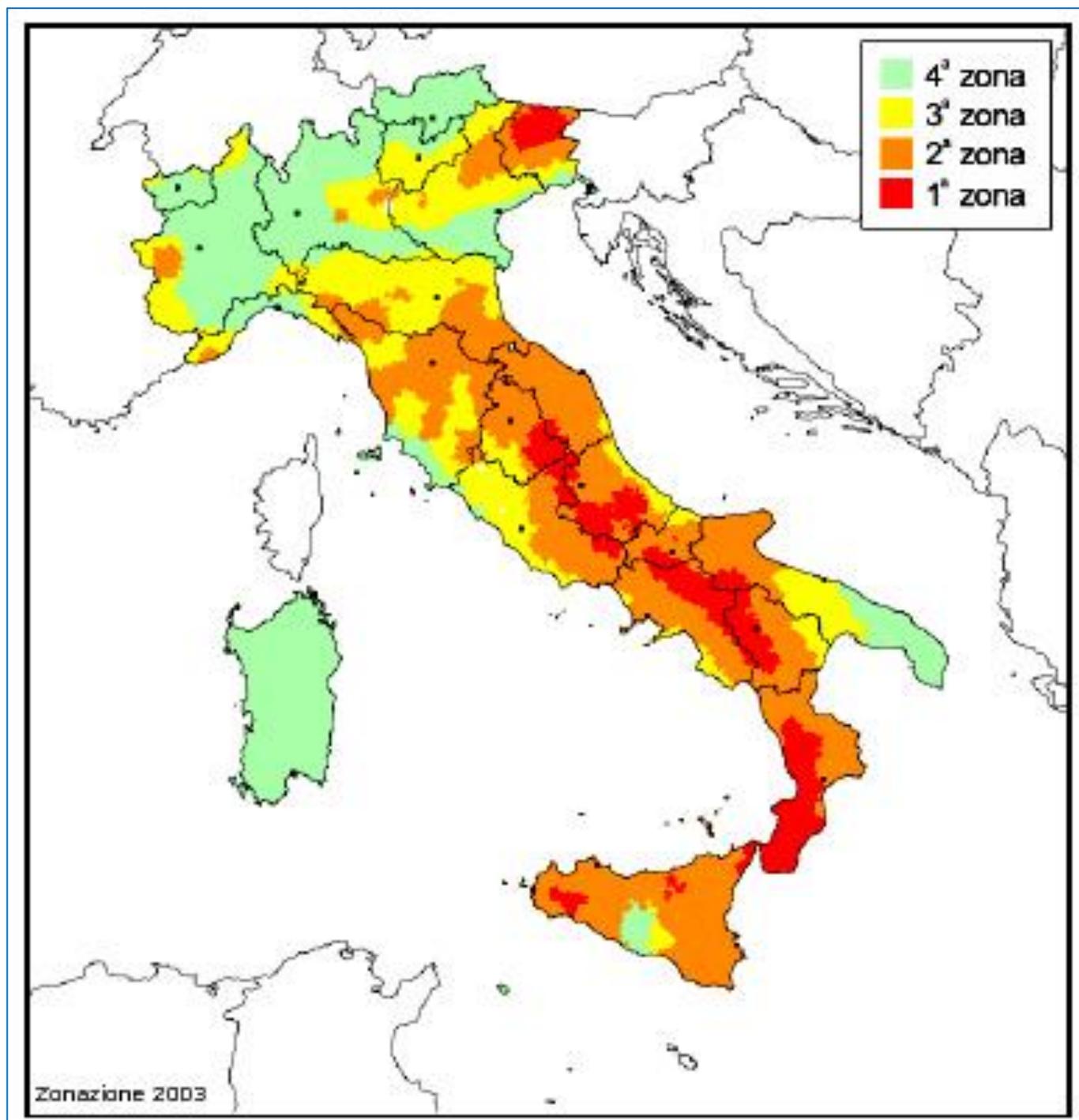
Allegato 2 - *Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici*

Allegato 3 - *Norme tecniche per il progetto sismico dei ponti*

Allegato 4 - *Norme tecniche per il progetto sismico di opere di fondazioni e di sostegno dei terreni.*

Secondo questa zonizzazione (cfr. Figura 5.1) tutto il territorio dell'area in studio si trova in zona 2 (colore arancione), cioè in zona a pericolosità sismica media dove possono verificarsi forti terremoti.

Figura 5.1 – Zonizzazione territorio nazionale - OPCM 20 marzo 2003



## 5.2 OPCM 28 APRILE 2006

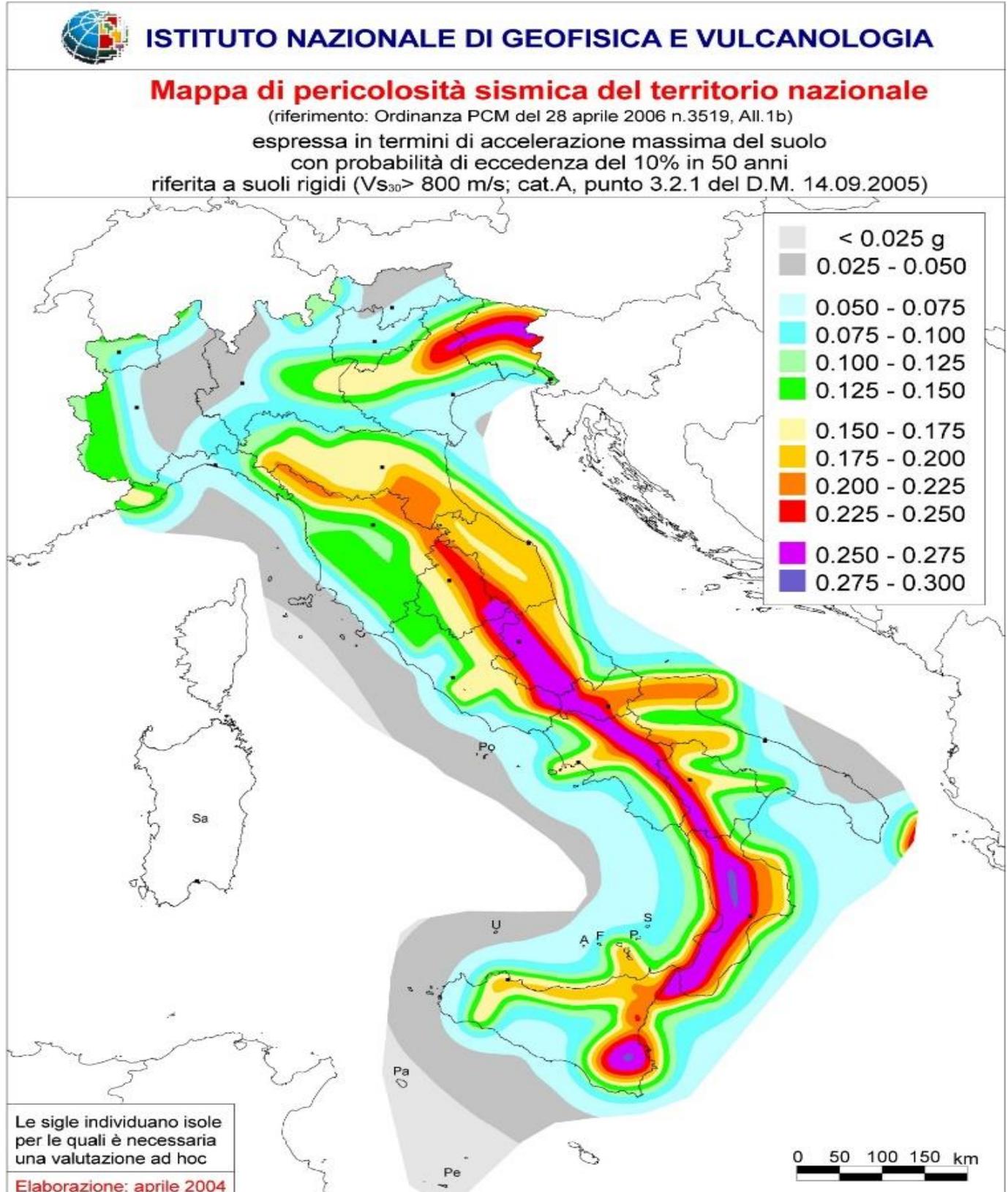
L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28/04/06 pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale dell'11/05/06 Serie Generale Anno 147° n. 108 (*Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*) adotta come riferimento ufficiale una nuova mappa di pericolosità sismica e definisce i criteri generali per la classificazione delle zone sismiche. Costituiscono parte integrante dell'ordinanza:

- Allegato 1A - *Criteri per l'individuazione delle zone sismiche e la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*

- Allegato 1B - Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale.

La mappa di Figura 5.2 rappresenta graficamente la pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima del suolo (ag), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi caratterizzati da  $V_{s30} > 800$  m/s.

Figura 5.2 – Mappa della pericolosità sismica del territorio nazionale



### 5.3 D.M. 17/1/2018 (NTC 2018)

La nuova normativa NTC 2018, su cui si basa la presente progettazione, ha risolto molti problemi della precedente normativa (NTC 2008) ed ha fatto chiarezza sui punti che creavano dei dubbi.

In estrema sintesi i cambiamenti toccano i seguenti argomenti, che riguardano aspetti di rilevanza generale o puntuale.

L'approccio metodologico non è cambiato: pertanto il professionista non deve confrontarsi con un cambiamento radicale nell'impostazione della norma, come è avvenuto con le NTC 2008.

- E' stata data maggior rilievo alle verifiche di duttilità
- Sono state specificate le modalità di verifica in campo sostanzialmente elastico, che coinvolgono, in particolare, le opere di fondazione e le strutture non dissipative
- E' stato incrementato il fattore di struttura per le opere non dissipative
- Sono stati rivisti i minimi di norma e i dettagli costruttivi, in particolare per i pilastri, le pareti in cemento armato e per i nodi trave-pilastro (che ora coinvolgono anche le strutture in classe di duttilità bassa e le strutture non dissipative)
- E' stato aumentato il coefficiente di sovrarresistenza a pressoflessione nell'applicazione della gerarchia delle resistenze trave-pilastro (c.a.) per classe di duttilità bassa.
- Viene dato maggior rilievo e fornite indicazioni di calcolo più precise per gli elementi secondari e per quelli non strutturali
- Sono stati introdotti criteri di verifica più severi per le strutture prefabbricate
- Nel capitolo 8, che riguarda gli edifici esistenti, viene modificato l'indirizzo generale: si tende ora a privilegiare, realisticamente, gli interventi di miglioramento rispetto a quelli di adeguamento, che si riferiscono a cambiamenti significativi nell'impianto strutturale
- Per le strutture in legno si possono adottare coefficienti di sicurezza meno gravosi per materiali prodotti con linee di produzione di qualità
- Sono stati introdotti criteri più severi per le prove di accettazione dei materiali in cantiere (ad esempio per le opere in muratura)
- Sono scomparsi i riferimenti alle zone sismiche sostituiti da indicazioni sui valori di accelerazione di sito
- Per zone a bassa sismicità è ancora previsto un calcolo semplificato

*Nei paragrafi seguenti viene sintetizzata la metodologia della valutazione della sismicità locale, della sicurezza e delle prestazioni di un'opera in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale di progetto.*

#### 5.3.1 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La 'pericolosità sismica di base' del sito di costruzione, in base alla quale determinare le azioni sismiche di progetto, risulta definita dalle Norme Tecniche per le Costruzioni emanate mediante Decreto del Ministero delle Infrastrutture in data 17 gennaio 2018. Essa viene espressa, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR, in termini di:

- accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$ ;
- ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione  $S_e(T)$ ;

in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

### 5.3.2 VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

Il periodo di riferimento per l'azione sismica,  $V_R$ , si ricava dall'espressione:

$$V_R = V_N C_U$$

in cui  $V_N$  rappresenta la vita nominale della costruzione, espressa in anni, e  $C_U$  il coefficiente d'uso funzione della classe d'uso dell'opera. I valori di  $V_N$  e  $C_U$  per diversi tipi di costruzioni e classi di uso sono riportati rispettivamente nelle Tabelle 5.1 e 5.2.

Tabella 5.1 - Valori minimi della vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni (NTC, 2018 - Tab.2.4.I)

TIPI DI COSTRUZIONE		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazione ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazione elevati	100

Le verifiche sismiche di opere di tipo 1 o in fase di costruzione possono omettersi quando il progetto preveda che tale condizione permanga per meno di 2 anni.

Tabella 5.2 - Valori del coefficiente d'uso  $C_U$  (NTC, 2018 - Tab.2.4.II)

Classe d'Uso	I	II	III	IV
Coefficiente $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

Per le costruzioni a servizio di attività a rischio di incidente rilevante si adotteranno valori di  $C_U$  anche superiori a 2, in relazione alle conseguenze sull'ambiente e sulla pubblica incolumità determinate dal raggiungimento degli stati limite.

Le classi d'uso sono descritte invece in Tabella 5.3.

Tabella 5.3 - Classi d'uso delle costruzioni (NTC, 2018)

CLASSE I	<i>Costruzioni con solo presenza occasionale di persone, edifici agricoli</i>
CLASSE II	<i>Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti</i>
CLASSE III	<i>Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso</i>
CLASSE IV	<i>Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n.6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica</i>

### 5.3.3 STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento così individuato, PVR, sono definite nei confronti di stati limite, sia di esercizio che ultimi, individuati con riferimento alle prestazioni richieste alla costruzione nel suo complesso (elementi strutturali, elementi non strutturali, impianti).

Gli stati limite di esercizio sono riportati in Tabella 5.4, mentre gli stati limite ultimi in Tabella 5.5. I corrispondenti valori di PVR sono elencati in Tabella 5.6. Tabella

5.4 - Stati limite di esercizio (NTC, 2018)

Stato Limite di Operatività (SLO)	<i>A seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi</i>
Stato Limite di Danno (SLD)	<i>A seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature</i>

Tabella 5.5 - Stati limite ultimi (NTC, 2018)

Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV)	<i>A seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali</i>
Stato Limite di Prevenzione del Collasso (SLC)	<i>A seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali</i>

Tabella 5.6 - Probabilità di superamento PVR al variare dello stato limite considerato  
(NTC 2018 - Tab. 3.2.I)

Stati limite	PVR : probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR	
Stati limite di esercizio	SLO: 81%	SLD: 63%
Stati limite ultimi	SLV: 10%	SLC: 5%

### 5.3.4 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II (riprodotta in tabella 5.7), si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità  $V_s$  per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.

I valori di  $V_s$  sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s):

$$V_{s,eq} = H / [\sum_{i=1}^N (h_i / V_{s,i})] \quad (i = 1 \div N)$$

ove:

$h_i$  spessore (in metri) dello strato  $i$ -esimo

$V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nello strato  $i$ -esimo,

$N$  numero degli strati

$H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Tabella 5.7 - *Categorie di sottosuolo (NTC, 2018 – Tab. 3.2.II)*

Cat.	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a <b>800 m/s</b> , eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra <b>360 m/s</b> e <b>800 m/s</b> .
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra <b>180 m/s</b> e <b>360 m/s</b> .
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra <b>100</b> e <b>180 m/s</b> .
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per tenere conto di superfici topografiche non orizzontali è necessario realizzare analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni semplici (geometrie prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate), secondo le NTC, si può fare riferimento alle categorie topografiche descritte in Tabella 5.8.

Tabella 5.8 - Categorie topografiche (NTC, 2018 - Tab.3.2.III)

Cat.	Descrizione
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base, inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base, inclinazione media $i > 30^\circ$

### 5.3.5 VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA

Nelle NTC le forme spettrali sono definite, per ciascuna probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, in funzione di tre parametri riferiti ad un sito di riferimento rigido orizzontale:

- $ag$ : accelerazione orizzontale massima al sito;
- $Fo$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $Tc^*$ : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Allo stato attuale, la pericolosità sismica del territorio italiano è fornita su un reticolo di riferimento dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it>. I valori dei parametri  $ag$ ,  $Fo$  e  $Tc^*$  sono riassunti in funzione di alcuni tempi di ritorno  $TR$  nelle tabelle riportate nell'Allegato B delle NTC.

Il tempo di ritorno  $TR$  può essere calcolato attraverso la seguente espressione:

$$TR = -VR / \ln(1 - PVR).$$

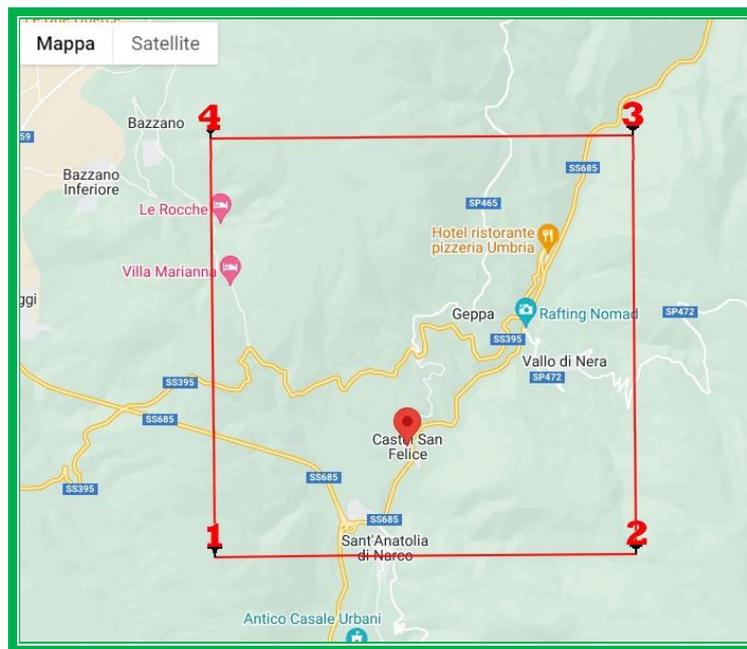
Qualora la attuale pericolosità sismica su reticolo di riferimento non contempli uno o più dei periodi di ritorno  $TR$  individuati in fase di progetto, il valore del generico parametro  $p$  ( $ag$ ,  $Fo$  e  $Tc^*$ ) ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione, a partire dai dati relativi ai tempi di ritorno riportati nell'Allegato B. A questo scopo può essere utilizzata la seguente espressione:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log(p_2/p_1) * (\log(TR/TR_1) / \log(TR_2/TR_1))$$

nella quale  $p$  è il valore del parametro di interesse corrispondente al periodo di ritorno  $TR$  desiderato e  $TR_1$  e  $TR_2$  sono i periodi di ritorno più prossimi a  $TR$  per i quali si dispone dei valori  $p_1$  e  $p_2$  del generico parametro  $p$ .

Mediante coordinate geografiche della zona in studio è possibile fare riferimento al reticolo sismico nazionale dal sito della Geostru (<https://geoapp.geostru.eu/>), dal quale si ricavano tutti i parametri sismici richiesti per la progettazione. In Figura 5.3 è riportato l'output del suddetto sito per il tratto di territorio in cui ricade la zona in studio.

Figura 5.3 – Reticolo di riferimento dal sito Geostru per l'area in studio



### 5.3.6 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Nelle NTC l'azione sismica è caratterizzata da 3 componenti traslazionali, due orizzontali contrassegnate da X ed Y ed una verticale contrassegnata da Z, da considerare tra di loro indipendenti. Salvo quanto specificato nel § 7.11 per le opere e i sistemi geotecnici, la componente verticale verrà considerata ove espressamente specificato (Capitolo 7 NTC 2018) e purché il sito nel quale sorge la costruzione sia caratterizzato da un'accelerazione al suolo, così come definita nel paragrafo 3.2.3.2 delle NTC, pari ad  $a_g \geq 0,15g$ .

Le componenti possono essere descritte, in funzione del tipo di analisi adottata, mediante una delle seguenti rappresentazioni:

- accelerazione massima in superficie;
- accelerazione massima e relativo spettro di risposta in superficie;
- storia temporale del moto del terreno.

Sulla base di apposite analisi di risposta sismica locale si può poi passare dai valori in superficie ai valori sui piani di riferimento definiti di seguito; in assenza di tali analisi l'azione in superficie può essere assunta come agente su tali piani.

Le due componenti ortogonali indipendenti che descrivono il moto orizzontale sono caratterizzate dallo stesso spettro di risposta o dalle due componenti accelerometriche orizzontali del moto sismico.

La componente che descrive il moto verticale è caratterizzata dal suo spettro di risposta o dalla componente accelerometrica verticale. In mancanza di documentata informazione specifica, in via semplificata l'accelerazione massima e lo spettro di risposta della componente verticale attesa in superficie possono essere determinati sulla base dell'accelerazione massima e dello spettro di risposta delle due componenti orizzontali. La componente accelerometrica verticale può essere correlata alle componenti accelerometriche orizzontali del moto sismico.

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima  $a_g$  su sito di riferimento rigido orizzontale. Sia la forma spettrale che il valore di  $a_g$  variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR.

Gli spettri così definiti possono essere utilizzati per strutture con periodo fondamentale minore o uguale a 4,0 s. Per strutture con periodi fondamentali superiori lo spettro deve essere definito da apposite analisi oppure l'azione sismica deve essere descritta mediante storie temporali del moto del terreno.

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente orizzontale del moto sismico,  $S_e$ , è definito dalle espressioni seguenti:

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = ag S \eta F_o \left[ \frac{T}{T_B} + \left( \frac{1}{\eta F_o} \right) (1 - \frac{T}{T_B}) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = ag S \eta F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = ag S \eta F_o \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = ag S \eta F_o \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

in cui:

- $T$  è il periodo di vibrazione;
- $S$  è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la seguente relazione  $S = S_S S_T$ ;
- $\eta$  è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali  $\xi$  diversi dal 5%:  
 $\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55$ ;
- $F_o$  è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2;
- $T_C$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro dato da  $T_C = C_C T_C^*$ , dove  $C_C$  è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo;
- $T_B$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante dato da  $T_B = T_C / 3$ ;
- $T_D$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro espresso in secondi mediante la seguente relazione  $T_D = 4,0 (ag/g) + 1,6$ .

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti  $S_S$  e  $C_C$  assumono valore unitario. Per le altre categorie di sottosuolo i valori dei coefficienti possono essere calcolati con le espressioni in Tabella 5.9 nelle quali  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  è l'accelerazione di gravità e  $T_C^*$  è espresso in secondi.

Per tenere conto delle condizioni topografiche in assenza di analisi di risposta sismica locale si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati in Tabella 5.10.

Tabella 5.9 - Espressioni di  $S_S$  e  $C_C$

Categoria sottosuolo	$S_S$	$C_C$
A	1,00	1,00
B	$1,00 < 1,40 - 0,40 F_o ag / g \leq 1,20$	$1,10 (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 < 1,70 - 0,60 F_o ag / g \leq 1,50$	$1,05 (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 < 2,40 - 1,50 F_o ag / g \leq 1,80$	$1,25 (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 < 2,00 - 1,10 F_o ag / g \leq 1,60$	$1,15 (T_C^*)^{-0,40}$

Tabella 5.10 - Valori massimi del coefficiente  $S_T$

Categ. topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1		1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2

T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4
----	---	-----

Lo spettro di risposta elastica in accelerazione della componente verticale  $S_{ve}$  è definito dalle seguenti espressioni:

$$0 \leq T < T_B \quad S_{ve}(T) = ag S \eta F_v [ (T/T_B) + (1/\eta F_o)(1 - T/T_B) ]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_{ve}(T) = ag S \eta F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_{ve}(T) = ag S \eta F_v (T_C/T)$$

$$T_D \leq T \quad S_{ve}(T) = ag S \eta F_v (T_C T_D/T^2)$$

in cui  $T$  è il periodo proprio di vibrazione (in direzione verticale) e  $F_v$  è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima. Esso è calcolato mediante la relazione:

$$F_v = 1,35 F_o (ag / g)^{0,5}$$

I valori di  $ag$ ,  $F_o$ ,  $S$ ,  $\eta$  sono definiti sopra per le componenti orizzontali del moto sismico; i valori di  $SS$ ,  $T_B$ ,  $T_C$  e  $T_D$ , salvo più accurate determinazioni, sono riportati nella tabella seguente:

Tabella 5.11 - Valori dei parametri dello spettro di risposta elastico della componente verticale

Categoria sottosuolo	SS	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	T <sub>D</sub>
A,B,C,D,E	1,00	0,05 s	0,15 s	1,0 s

Lo spettro di risposta elastico in spostamento delle componenti orizzontali  $S_{De}(T)$  si ricava dalla corrispondente risposta in accelerazione  $S_e(T)$  mediante la seguente espressione:

$$S_{De}(T) = S_e(T) (T/2\pi)^2$$

purché il periodo proprio di vibrazione  $T$  non ecceda i valori  $T_E$  indicati in tabella 5.12.

Tabella 5.12 - Valori dei parametri  $T_E$  e  $T_F$

Categoria sottosuolo	$T_E$ (s)	$T_F$ (s)
A	4,5	10
B	5,1	10
C,D,E	6,0	10

Per periodi di vibrazione eccedenti  $T_E$ , le ordinate dello spettro possono essere ottenute dalle formule seguenti:

$$T_E \leq T < T_F \quad S_{De}(T) = 0,025 ag S T_C T_D [ \eta F_o + (1 - \eta F_o)(T - T_E)/(T_F - T_E) ]$$

$$T > T_F \quad S_{De}(T) = dg$$

ove  $dg = 0,025 ag S T_C T_D$ .

### 5.3.7 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI IN STUDIO

Per le opere in progetto vengono ricavati i parametri sismici dal sito della Geostru, da cui si ottiene un file di testo (\*.txt) esportabile, con i seguenti dati, avendo assunto:

- Classe: 4
- Vita nominale: 100
- Categoria sottosuolo: B
- Categoria topografica: T2
- Periodo di riferimento: 200 anni
- Coefficiente Cu: 2

I Parametri sismici ricavati sono i seguenti

#### Sito in esame.

latitudine: 42,746143  
longitudine: 12,840551  
Classe: 4  
Vita nominale: 100

#### Siti di riferimento

Sito 1	ID: 24743	Lat: 42,7329	Lon: 12,8094	Distanza: 2940,862
Sito 2	ID: 24744	Lat: 42,7333	Lon: 12,8775	Distanza: 3335,888
Sito 3	ID: 24522	Lat: 42,7833	Lon: 12,8770	Distanza: 5088,281
Sito 4	ID: 24521	Lat: 42,7829	Lon: 12,8088	Distanza: 4838,458

#### Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B  
Categoria topografica: T2  
Periodo di riferimento: 200 anni  
Coefficiente cu: 2

#### Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %  
Tr: 120 [anni]  
ag: 0,142 g  
Fo: 2,324  
Tc\*: 0,291 [s]

#### Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %  
Tr: 201 [anni]  
ag: 0,176 g  
Fo: 2,315  
Tc\*: 0,305 [s]

#### Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %  
Tr: 1898 [anni]  
ag: 0,387 g  
Fo: 2,380  
Tc\*: 0,351 [s]

#### Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %  
Tr: 2475 [anni]  
ag: 0,421 g  
Fo: 2,390  
Tc\*: 0,355 [s]

#### Coefficienti Sismici Fronti di scavo e rilevati

##### SLO:

Ss: 1,200  
Cc: 1,410  
St: 1,200  
Kh: 0,000  
Kv: 0,000

*Amax:* 2,011  
*Beta:* 0,000

*SLD:*

*Ss:* 1,200  
*Cc:* 1,400  
*St:* 1,200  
*Kh:* 0,119  
*Kv:* 0,060  
*Amax:* 2,484  
*Beta:* 0,470

*SLV:*

*Ss:* 1,030  
*Cc:* 1,360  
*St:* 1,200  
*Kh:* 0,182  
*Kv:* 0,091  
*Amax:* 4,686  
*Beta:* 0,380

*SLC:*

*Ss:* 1,000  
*Cc:* 1,350  
*St:* 1,200  
*Kh:* 0,000  
*Kv:* 0,000  
*Amax:* 4,951  
*Beta:* 0,000

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50  
Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 42.745175

longitudine: 12.839620

Per la determinazione del  $V_{s,eq}$  ai sensi delle NTC 2018 sono state effettuate le indagini MASW di cui al precedente paragrafo, da cui risulta:

rielaborati ed i risultati sono esposti nelle figure 4.4 e 4.5, da cui risulta che per le NTC2018:

- MASW 1 e 2 individuano suoli di tipo B, essendo  $V_{s,eq} < 360$  m/sec
- MASW 3 e 4 individuano suoli di tipo C, essendo  $360 < V_{s,eq} < 800$  m/sec

## 6 ANALISI GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Nell'unico campione indisturbato prelevato Nel Sondaggio S3 nell'ambito dell'Unità litotecnica DA2 sono state eseguite le seguenti analisi geotecniche di laboratorio:

*Sondaggio S.3 – Campione C11 da m 2,00 ÷ 2,50*

- Peso di volume  $\gamma = 20,40 \text{ kN/m}^3$
- Peso specifico dei granuli  $\gamma_s = 26,40 \text{ kN/m}^3$
- Contenuto in acqua  $W_n = 19,00 \%$
- Limite Liquido  $WL = 45,40 \%$
- Limite Plastico  $WP = 22,80 \%$
- Indice Plastico  $IP = 22,60 \%$
- Analisi granulometrica
  - ⇒ Ghiaia  $G = 28,00 \%$
  - ⇒ Sabbia  $S = 17,70 \%$
  - ⇒ Limo  $L = 33,00 \%$
  - ⇒ Argilla  $A = 21,30 \%$
- Prova di Taglio Diretto CD
  - ⇒ Coesione  $C' = 22 \text{ kPa}$
  - ⇒ Angolo di attrito interno  $\phi' = 28^\circ$
- Prova di Espansione Laterale Libera
  - ⇒ Coesione non drenata  $C_u = 101,35 \text{ kPa}$

Sono stati analizzati anche N° 2 campioni rimaneggiati (prelevati dal carotaggio) sempre nell'Unità litotecnica DA2, con i seguenti risultati:

*Sondaggio S.3 – Campione CR1 da m 7,40 ÷ 7,80*

- Peso specifico dei granuli  $\gamma_s = 26,40 \text{ kN/m}^3$
- Contenuto in acqua  $W_n = 29,00 \%$
- Limite Liquido  $WL = 58,20 \%$
- Limite Plastico  $WP = 28,30 \%$
- Indice Plastico  $IP = 29,90 \%$
- Analisi granulometrica
  - ⇒ Ghiaia  $G = 00,00 \%$
  - ⇒ Sabbia  $S = 4,10 \%$
  - ⇒ Limo  $L = 54,60 \%$
  - ⇒ Argilla  $A = 41,30 \%$

*Sondaggio S.1 – Campione CR1 da m 11,20 ÷ 11,70*

- Peso di volume  $\gamma = 19,60 \text{ kN/m}^3$
- Peso specifico dei granuli  $\gamma_s = 25,00 \text{ kN/m}^3$
- Contenuto in acqua  $W_n = 28,60 \%$
- Limite Liquido  $WL = 56,20 \%$
- Limite Plastico  $WP = 26,00 \%$
- Indice Plastico  $IP = 30,20 \%$
- Analisi granulometrica
  - ⇒ Ghiaia  $G = 23,60 \%$
  - ⇒ Sabbia  $S = 12,00 \%$
  - ⇒ Limo  $L = 33,90 \%$

- ⇒ Argilla A = 30,50 %
- Prova di Taglio Diretto CD
- ⇒ Coesione C' = 20 kPa
- ⇒ Angolo di attrito interno  $\phi' = 25^\circ$

L'Unità Litotecnica DA2 si presenta, quindi, con una facies granulometrica fine, in cui l'associazione limo + argilla è prevalente, come esposto in Tabella 6.1.

Tabella 6.1 – Frazione granulometriche fina nei campioni analizzati

Sondaggio	Campione	Associazione granulometrica	Percentuale
N°	N°		%
S.3	CI1	Limo + Argilla	54,30
S.3	CR1	Limo + Argilla	95,90
S.1	CR1	Limo + Argilla	64,60

Si nota inoltre che nel campione indisturbato (S.3 – CI1) il contenuto naturale in acqua  $W_n$  è inferiore al limite plastico LP, condizione che caratterizza un terreno allo *stato semisolido*;

Viceversa nei campioni rimaneggiati (S.3 – CR1 ed S.1 – CR1), che sono stati a contatto con l'acqua della perforazione, il contenuto naturale in acqua  $W_n$  è maggiore del limite plastico LP, condizione che caratterizza terreni allo *stato plastico*.

Su blocchi di roccia calcarea sono state effettuate delle prove Point Load Test, con i seguenti risultati esposti nelle Tabelle 6.2 e 6.3

Tabella 6.2 – Prove Point Load Test – Unità Litotecnica SR (Scaglia Rossa)

UNITA' LITOTECNICA SR (Scaglia Rossa)								
CAMPIONI	Indice di resistenza alla punta	Resistenza a Compressione monassiale	CAMPIONI	Indice di resistenza alla punta	Resistenza a Compressione monassiale	CAMPIONI	Indice di resistenza alla punta	Resistenza a Compressione monassiale
	Mpa	Mpa		Mpa	Mpa		Mpa	Mpa
	<i>Is50</i>			<i>Is50</i>			<i>Is50</i>	
A	2,207	53,85	C	6,152	122,31	F	3,933	79,97
	3,416	80,27		3,900	81,42		2,275	53,05
	2,563	50,49		4,488	80,71		2,012	43,08
	3,930	69,24		5,465	100,74		3,255	59,12
	3,295	60,74		3,030	79,95		3,162	59,15
	2,244	56,58		3,099	70,30		3,101	57,45
	5,794	117,29		4,361	79,61		5,933	109,90
	3,673	73,70		3,731	77,89		2,668	60,51
	4,293	83,41		4,275	86,92		4,360	102,04
	4,273	84,56		3,833	71,90		4,159	93,58
VALORE MEDIO =	<b>73,01</b>			<b>85,18</b>			<b>71,79</b>	

Tabella 6.3 – Prove Point Load Test – Unità Litotecnica SV (Scaglia Variegata)

UNITA' LITOTECNICA SV (Scaglia Variegata)		
CAMPIONI	Indice di resistenza alla punta	Resistenza a Compressione monoassiale
	<i>Mpa</i>	<i>Mpa</i>
	<i>Is50</i>	
D	1,490	30,16
	4,484	90,35
	4,616	96,36
	6,654	130,49
	3,072	65,23
	3,929	80,24
	3,498	68,59
	3,868	80,05
	5,252	103,94
	4,936	100,37
		<b>84,58</b>

## 7 ELABORAZIONE DELLE PROVE IN SITU

Per la definizione dei parametri geotecnici da affidare a ciascuna unità litotecnica si fa ricorso ai seguenti criteri:

- per i terreni prevalentemente incoerenti, in cui la frazione fine limosa è molto ridotta e si può ragionevolmente assumere che in condizioni di tensioni efficaci la coesione sia nulla ( $C' = 0$ ), si ricorre all'interpretazione e correlazione con i valori delle prove SPT e DPSH;
- per i terreni in cui risulta prevalente la frazione fine limosa o limoso-argillosa, si applicano le correlazioni tra i valori ricavati dalle prove SPT e la coesione in termini di tensioni totali  $C_u$ , oltre ad alcune correlazioni proposte da vari AA. tra il valore  $S_u$  (valore della resistenza a compressione dei terreni coesivi saturi) ed i limiti WL e WP.

### 7.1 ELABORAZIONE DATI NSPT

a) *Unità Litotecnica DA1 – CO - Terreni prevalentemente Incoerenti*

Le prove SPT effettuate nei sondaggi ricadenti nelle suddette unità litotecniche sono sintetizzate nella Tabella 7.1.

Tabella 7.1 – Prove SPT

Sondaggio	Profondità		Tratti di infissione – N° Colpi			Valore
	da m	a m	15 cm	15 cm	15 cm	
S.1	1,50	1,95	9	9	7	16
	4,00	4,45	3	5	8	13
S.3	1,50	1,95	10	10	12	22
S.6	2,50	2,95	2	3	5	8
	5,00	5,45	3	7	13	20

Complessivamente si dispone di N° 5 prove utili, i cui valori  $N_{spt}$  sono stati *normalizzati* secondo il criterio suggerito da SKEMPTON A.W. (1957):

$$N_{60} = N_{spt} \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_S \cdot C_R$$

in cui

$N_{60}$  valore normalizzato

$N_{spt}$  valore misurato, assunto nel caso in esame già corretto per la presenza dell'acqua

$C_E$  correzione per il rapporto di energia ( $C_E = E_R/60$  energia standardizzata al 60%; essa viene misurata in cantiere con apposita strumentazione secondo le norme europee EN ISO 22476-3:2005; con procedura di strumentazione *Safetyhammer* si ha un valore prossimo a  $C_E = 0,9$ )

$C_B$  correzione per il diametro del foro, secondo i valori della Tabella 7.2

Tabella 7.2

Diametro del foro	65 ÷ 115 mm	$C_B$	1,0
	115 ÷ 150 mm	$C_B$	1,05
	150 ÷ 200 mm	$C_B$	1,15

$C_S$  correzione per il metodo di campionamento, con i valori come da Tabella 7.3

Tabella 7.3

Tipo di campionatore	Standard	$C_S$	1,0
	Senza astuccio	$C_S$	1,2

$C_R$  correzione per la lunghezza delle aste sotto la testa di battuta, come da Tabella 7.4

Tabella 7.4

Lunghezza aste	3 ÷ 4 m	C <sub>R</sub>	0,75
	4 ÷ 6 mm	C <sub>R</sub>	0,85
	6 ÷ 10 mm	C <sub>R</sub>	0,95
	➤ 10 m	C <sub>R</sub>	1,0

La correzione per la tensione litostatica efficace viene effettuata solo per la determinazione dell'angolo di attrito interno ( $\phi$ ) per terreni incoerenti; in tal caso il valore assume la sigla N1(60).

Poiché la *profondità della prova* influenza il risultato  $N_{spt}$ , come già detto, è stata apportata la correzione (per i soli terreni incoerenti) che tiene conto della *tensione litostatica efficace* ( $\sigma_v = \gamma x h$ ); tra le tante proposte formulate da molti AA. quella che sembra correntemente più utilizzata è quella di GIBBS & HOLTZ (1957), che introducono un fattore di correzione "C<sub>N</sub>", ricavabile dalla seguente relazione, al fine di riportare tutte le prove ad una tensione litostatica efficace pari a  $\sigma_v = 1 \text{ Kg/cm}^2$ :

$$C_N = 0,77 \times \log_{10} [20/\sigma_v]$$

Un'altra relazione, di più semplice applicazione, che tiene conto della tensione litostatica è stata proposta da LIAO & WHITMAN (1986):

$$C_N = \frac{1}{\sqrt{\sigma'_v}}$$

I risultati delle due relazioni di cui sopra sono confrontabili nella Tabella 7.5, dalla quale si evince che il coefficiente C<sub>N</sub> di LIAO & WHITMAN risulta leggermente più cautelativo per tensioni litostatiche maggiori di 1 Kg/cm<sup>2</sup>; pertanto nei calcoli di normalizzazione i valori  $N_{spt}$  per i terreni incoerenti [N1(60)] verrà adottata la suddetta relazione.

Tabella 7.5 - *Correzione per la tensione litostatica*

Tensione litostatica $\sigma'_v$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	N <sub>spt</sub>	Gibbs & Holtz	Liao & Whitman
0,5	10	12,3	14,1
1,0	15	15,0	15,0
1,5	20	17,3	16,3
2,0	25	19,2	17,7

La correzione per la presenza di acqua, valutata da TERZAGHI & PECK (1948) con la relazione

$$N' = 15 + \frac{1}{2} [N_{spt} - 15]$$

viene effettuata esclusivamente per i terreni a grana fine (limo, limi sabbiosi, sabbie fini limose e sabbie fini), giacché nei terreni grossolani molto permeabili (sabbia grossa ghiaiosa e ghiaia) l'infissione del campionatore Raymond della prova SPT non modifica lo stato delle tensioni neutre; nei casi in esame le prove ricadono tutte al di sopra della falda e pertanto la correzione non viene effettuata.

La granulometria dei sedimenti influenza decisamente i risultati delle prove S.P.T.; numerosi studi sono stati effettuati in tal senso (GIBBS & HOLTZ, 1957; BURMISTER, 1962; DESAI, 1970; MARCUSON & BIEGANOUSKI, 1977; CERRUTI, 1979) senza però portare ad una definizione quantitativa del problema; in ogni caso i risultati delle prove SPT vengono influenzati marcatamente solo in presenza di terreni grossolani (ghiaie e ghiaie con ciottoli), che non sono stati riscontrati nei terreni in esame.

I risultati delle elaborazioni e della normalizzazione dei valori  $N_{spt}$ , sono riportati nella Tabella 7.6.

Tabella 7.6 – Normalizzazione dei valori  $N_{spt}$

NORMALIZZAZIONE $N_{spt}$												
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" - STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500						Sondaggi Anno 2022						
Sondaggio	Profondità falda	Peso specifico (gr/cm <sup>3</sup> ) =	1,900	Valori rilevati	Correzione per acqua	N(60)					Correzione per tensione litostatica	
N°	m	Profondità (m)	$\sigma_v$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Nspt	N'spt	Rapporto di energia (Ce)	Diametro del foro (Cb)	Tipo di campionatore (Cs)	Lunghezza aste (Cr)	N(60)	C <sub>N</sub>	N1(60)
S.1	11,32	1,50	0,29	16	16,0	0,9	1,05	1	0,75	11,34	1,87	21,24
S.1	11,32	4,00	0,76	13	13,0	0,9	1,05	1	0,75	9,21	1,15	10,57
S.3	6,98	1,50	0,29	22	22,0	0,9	1,05	1	0,75	15,59	1,87	29,21
S.6	11,78	2,50	0,48	8	8,0	0,9	1,05	1	0,75	5,67	1,45	8,23
S.6	11,78	5,00	0,95	20	20,0	0,9	1,05	1	0,85	16,07	1,03	16,48

### 7.1.1 CALCOLO DEI PARAMETRI GEOTECNICI PER I TERRENI INCOERENTI

Per una valutazione dei parametri di taglio in termini di sforzi efficaci sono state adottate le seguenti correlazioni:

- a) YUKITAKE SHIOI E JIRO FUKUNI (1982), attualmente utilizzate in Giappone dallo "Road Bridge Specification" e dallo "Japanese National Railway":

$$\varphi = \sqrt{15 \cdot N_{spt}} + 15$$

$$\varphi = 0,3 \cdot N_{spt} + 27$$

- b) AMANTIA SCUDERI F. (2022)

$$\varphi' = \sqrt{9 \cdot N1(60)} + [\beta - \alpha \cdot N1(60)]$$

in cui:

$\beta = 20$  nelle sabbie

$\beta = 22$  nelle ghiaie

$\alpha = 0,009$  nelle sabbie

$\alpha = 0,05$  nelle ghiaie

La densità relativa ( $D_r$ ) viene valutata con la relazione di BAZARAA (1962):

$$D_r = \sqrt{\frac{N60}{20(1 + 4,1\sigma'_v)}}$$

se  $\sigma'_v \leq 0,732$

$$D_r = \sqrt{\frac{N60}{20(3,24 + 1,024\sigma'_v)}}$$

se  $\sigma'_v > 0,732$

Il Modulo Elastico ( $E =$  Modulo di Young) viene definito adottando la seguente relazione di JAMIOLKOWSKI et Al. (1988)

$$E = 10,5 - 3,5D_r) N(60)$$

valida per terreni normalconsolidati.

Il Modulo edometrico ( $E_d$ ) viene ricavato dalla seguente relazione di BEGEMANN (1974)

$$E_d = a + N1(60) + b$$

dove per ghiaie e sabbie  $a = 9,1$  e  $b = 93$

Nella seguente Tabella 7.7 vengono riportati i risultati delle correlazioni sopra esposte.

Tabella 7.7 – Parametri geotecnici ricavati dalle correlazioni con N1(60)

PARAMETRI GEOTECNICI DA PROVE S.P.T.							
Sondaggio	N(60)	N(60)	Angolo di Attrito $\varphi$ (°)		Densità Relativa DR (%)	Modulo Elastico E (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo edometrico Ed (Kg/cm <sup>2</sup> )
N°	Valori Nspt Normalizzati	Valori Nspt Normalizzati	Japanese National Railway	Amantia Scuderi F. (2022)	Bazaraa (1962)	Jamiolkowski et Al. (1988)	Begemann (1974) (sabbie e ghiaie)
S.1	21,24	11,34	33,37	33,64	40,07	103,17	123,34
S.1	10,57	9,21	30,17	29,66	33,86	85,83	112,67
S.3	29,21	15,59	35,76	35,95	46,98	138,08	131,31
S.6	8,23	5,67	29,47	28,53	27,58	54,06	110,33
S.6	16,48	16,07	31,94	32,03	43,67	144,13	118,58
Media valori			Angolo di Attrito $\varphi$ (°)		Densità Relativa DR (%)	Modulo Elastico E (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo edometrico Ed (Kg/cm <sup>2</sup> )
			32,05		38,43	105,05	119,25

### 7.1.2 CALCOLO DEI PARAMETRI GEOTECNICI PER I TERRENI COESIVI

Unità Litotecnica DA2 – terreni prevalentemente coesivi (Limi sabbioso-argillosi)

Si apportano le correzioni per normalizzare il valore Nspt della prova effettuata nel Sondaggio S.3 alla profondità di m 4,00, da cui si ottiene il valore N(60) riportato in Tabella 7.8.

Tabella 7.8 – Normalizzazione del valore Nspt

NORMALIZZAZIONE N <sub>SPT</sub>										
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" - STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500							Sondaggi Anno 2022			
Sondaggio	Profondità falda	Peso specifico (gr/cm <sup>3</sup> ) =	1,900	Valori rilevati	Correzione per acqua	N(60)				
N°	m	Profondità (m)	$\sigma_v$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Nspt	N'spt	Rapporto di energia (Ce)	Diametro del foro (Cb)	Tipo di campionatore (Cs)	Lunghezza aste (Cr)	N(60)
S.3	6,98	4,00	0,76	9	9,0	0,9	1,05	1	0,75	6,38

Si adottano le correlazioni tra N(60) e la coesione non drenata Cu esposte nella Tabella 7.9.

Tabella 7.9 – Correlazioni tra N(60) e Cu

<p><b>TERZAGHI &amp; PECK</b></p> $C_u = 0,067 * N_{SPT} (Kg/cm^2)$	SPT =	N°	6,38
	Cu =	Kg/cm <sup>2</sup>	<b>0,427</b>
<p><b>DESIGN MANUAL FOR SOIL MECHANICHS (DM-7)</b></p> $C_u = 0,125 * N_{SPT} (Kg/cm^2) - \text{low plasticity}$ $C_u = 0,074 * N_{SPT} (Kg/cm^2) - \text{medium plasticity}$ $C_u = 0,038 * N_{SPT} (Kg/cm^2) - \text{high plasticity}$	SPT =	N°	6,38
	Plasticity (l-m-h)		m
	Cu (low plasticity)	Kg/cm <sup>2</sup>	0,80
	Cu (medium plasticity)	Kg/cm <sup>2</sup>	0,47
	Cu (high plasticity)	Kg/cm <sup>2</sup>	0,24
	Cu =	Kg/cm <sup>2</sup>	<b>0,472</b>
<p><b>SANGLERAT</b></p> $C_u = 0,125 * N_{SPT} (Kg/cm^2) - \text{medium plasticity clay}$ $C_u = 0,100 * N_{SPT} (Kg/cm^2) - \text{silty clay}$ $C_u = 0,067 * N_{SPT} (Kg/cm^2) - \text{sandy silty clay}$	SPT =	N°	6,38
	Plasticity (mpc-sc-ssc)		mpc
	Cu (mpc)	Kg/cm <sup>2</sup>	0,80
	Cu (sc)	Kg/cm <sup>2</sup>	0,64
	Cu (ssc)	Kg/cm <sup>2</sup>	0,42746
	Cu =	Kg/cm <sup>2</sup>	<b>0,798</b>
<p><b>SHIOI &amp; FUKUNI</b></p> $C_u = 0,025 * N_{SPT} (Kg/cm^2) - \text{medium plasticity clay}$ $C_u = 0,050 * N_{SPT} (Kg/cm^2) - \text{high plasticity clay}$	SPT =	N°	6,38
	Plasticity (m-h)		h
	Cu (medium plasticity)	Kg/cm <sup>2</sup>	0,16
	Cu (high plasticity)	Kg/cm <sup>2</sup>	0,32
	Cu =	Kg/cm <sup>2</sup>	<b>0,319</b>
<p><b>F. AMANTIA SCUDERI (2017)</b></p> $C_u = \frac{N(60) \cdot \alpha}{\sqrt{\sigma_v + 1}} (Kg/cm^2)$ <p><math>\alpha = 0,05</math> argille media plasticità</p> <p><math>\alpha = 0,07</math> argille alta plasticità</p>	SPT =	N°	6,38
	Plasticity (m-h)		m
	Cu (medium plasticity)	Kg/cm <sup>2</sup>	0,240
	Cu (high plasticity)	Kg/cm <sup>2</sup>	0,337
	Cu =	Kg/cm <sup>2</sup>	<b>0,240</b>
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>Cu =</b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>0,451</b>

## 7.2 ELABORAZIONE DELLE PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DPSH

Per ricavare il valore  $N'(60)$  dalle Prove Penetrometriche Dinamiche DPSH è necessario apportare la correzione proposta da LACROIX E HORN (1973) secondo la quale si ha:

$$N_{SPT} = \left( \frac{W \cdot H}{6,2 \cdot D^2 \cdot L} \right) \cdot N$$

in cui:

W = peso del maglio (in Kg)

H = altezza di caduta (cm)

D = diametro del cono (cm)

L = penetrazione standard (cm)

N = numero di colpi della prova non standard.

I valori delle costanti di trasformazione sono riportati nella Tabella 7.10 per i vari tipi di penetrometri, in cui quello evidenziato è il penetrometro adoperato nel progetto in esame.

Tabella 7.10 – Costanti di correzione per passare dal valore N al valore  $N_{spt}$

Tipo di Penetrometro	Valore della costante di correzione
DPL Leggero ISSMFE	0,63
DPM Medio ISSMFE	1,90
DPSH Superpesante ISSMFE-Emilia	1,51
<b>DPSH Superpesante Meardi – AGI</b>	<b>1,16</b>

Nelle Tabelle 7.11, 7.12, 7.13, 7.14, 7.15 e 7.16 vengono riportate le trasformazioni di normalizzazione delle prove per ricavare i corrispondenti valori di  $N1(60)$ . Si assume che per i primi m 1,50 ci siano terreni detritici che non vengono considerati nel calcolo (valori in rosso)

Tabella 7.11 – Normalizzazione valori da DPHS – PP.1

NORMALIZZAZIONE N <sub>SPT</sub>											
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" - STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500						Prova DPHS PP.1			UNITA' CO		
Profondità falda	Peso specifico (gr/cm <sup>3</sup> ) =	1,900	Valori da DPHS	Correzione per acqua	N(60)					Correzione per tensione litostatica	
m	Profondità (m)	σ <sub>v</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	Nspt	N'spt	Rapporto di energia (Ce)	Diametro del foro (Cb)	Tipo di campionatore (Cs)	Lunghezza aste (Cr)	N(60)	C <sub>N</sub>	N1(60)
10,55	0,30	0,06	5,8	5,8	0,9	1,05	1	0,75	4,11	4,19	17,22
10,55	0,60	0,11	10,44	10,4	0,9	1,05	1	0,75	7,40	2,96	21,91
10,55	0,90	0,17	8,12	8,1	0,9	1,05	1	0,75	5,76	2,42	13,92
10,55	1,20	0,23	6,96	7,0	0,9	1,05	1	0,75	4,93	2,09	10,33
10,55	1,50	0,29	6,96	7,0	0,9	1,05	1	0,75	4,93	1,87	9,24
10,55	1,80	0,34	8,12	8,1	0,9	1,05	1	0,75	5,76	1,71	9,84
10,55	2,10	0,40	6,96	7,0	0,9	1,05	1	0,75	4,93	1,58	7,81
10,55	2,40	0,46	11,6	11,6	0,9	1,05	1	0,75	8,22	1,48	12,17
10,55	2,70	0,51	11,6	11,6	0,9	1,05	1	0,75	8,22	1,40	11,48
10,55	3,00	0,57	16,24	16,2	0,9	1,05	1	0,75	11,51	1,32	15,25
10,55	3,30	0,63	16,24	16,2	0,9	1,05	1	0,75	11,51	1,26	14,54
10,55	3,60	0,68	8,12	8,1	0,9	1,05	1	0,75	5,76	1,21	6,96
10,55	3,90	0,74	6,96	7,0	0,9	1,05	1	0,75	4,93	1,16	5,73
10,55	4,20	0,80	8,12	8,1	0,9	1,05	1	0,85	6,52	1,12	7,30
10,55	4,50	0,86	10,44	10,4	0,9	1,05	1	0,85	8,39	1,08	9,07
10,55	4,80	0,91	9,28	9,3	0,9	1,05	1	0,85	7,45	1,05	7,81
10,55	5,10	0,97	9,28	9,3	0,9	1,05	1	0,85	7,45	1,02	7,57
10,55	5,40	1,03	9,28	9,3	0,9	1,05	1	0,85	7,45	0,99	7,36
10,55	5,70	1,08	9,28	9,3	0,9	1,05	1	0,85	7,45	0,96	7,16
10,55	6,00	1,14	12,76	12,8	0,9	1,05	1	0,85	10,25	0,94	9,60
10,55	6,30	1,20	13,92	13,9	0,9	1,05	1	0,95	12,50	0,91	11,42
10,55	6,60	1,25	16,24	16,2	0,9	1,05	1	0,95	14,58	0,89	13,02
10,55	6,90	1,31	8,12	8,1	0,9	1,05	1	0,95	7,29	0,87	6,37
10,55	7,20	1,37	6,96	7,0	0,9	1,05	1	0,95	6,25	0,85	5,34
10,55	7,50	1,43	10,44	10,4	0,9	1,05	1	0,95	9,37	0,84	7,85
10,55	7,80	1,48	8,12	8,1	0,9	1,05	1	0,95	7,29	0,82	5,99
10,55	8,10	1,54	8,12	8,1	0,9	1,05	1	0,95	7,29	0,81	5,88
10,55	8,40	1,60	4,64	4,6	0,9	1,05	1	0,95	4,17	0,79	3,30
10,55	8,70	1,65	6,96	7,0	0,9	1,05	1	0,95	6,25	0,78	4,86
10,55	9,00	1,71	4,64	4,6	0,9	1,05	1	0,95	4,17	0,76	3,19
10,55	9,30	1,77	5,8	5,8	0,9	1,05	1	0,95	5,21	0,75	3,92
10,55	9,60	1,82	5,8	5,8	0,9	1,05	1	0,95	5,21	0,74	3,86
10,55	9,90	1,88	8,12	8,1	0,9	1,05	1	0,95	7,29	0,73	5,32
10,55	10,20	1,94	9,28	9,3	0,9	1,05	1	1	8,77	0,72	6,30
10,55	10,50	2,00	11,6	11,6	0,9	1,05	1	1	10,96	0,71	7,76
10,55	10,80	2,05	12,76	12,8	0,9	1,05	1	1	12,06	0,70	8,42
10,55	11,10	2,11	17,4	16,2	0,9	1,05	1	1	15,31	0,69	10,54
10,55	11,40	2,17	13,92	13,9	0,9	1,05	1	1	13,15	0,68	8,94
10,55	11,70	2,22	17,4	16,2	0,9	1,05	1	1	15,31	0,67	10,27
10,55	12,00	2,28	18,56	16,8	0,9	1,05	1	1	15,86	0,66	10,50
10,55	12,30	2,34	17,4	16,2	0,9	1,05	1	1	15,31	0,65	10,01
10,55	12,60	2,39	18,56	16,8	0,9	1,05	1	1	15,86	0,65	10,25
10,55	12,90	2,45	29	22,0	0,9	1,05	1	1	20,79	0,64	13,28
10,55	13,20	2,51	22,04	18,5	0,9	1,05	1	1	17,50	0,63	11,05
10,55	13,50	2,57	17,4	16,2	0,9	1,05	1	1	15,31	0,62	9,56
10,55	13,80	2,62	17,4	16,2	0,9	1,05	1	1	15,31	0,62	9,45
10,55	14,10	2,68	20,88	17,9	0,9	1,05	1	1	16,95	0,61	10,36
10,55	14,40	2,74	24,36	19,7	0,9	1,05	1	1	18,60	0,60	11,24
10,55	14,70	2,79	26,68	20,8	0,9	1,05	1	1	19,69	0,60	11,78
10,55	15,00	2,85	30,16	22,6	0,9	1,05	1	1	21,34	0,59	12,64
10,55	15,30	2,91	34,8	24,9	0,9	1,05	1	1	23,53	0,59	13,80
10,55	15,60	2,96	34,8	24,9	0,9	1,05	1	1	23,53	0,58	13,67
10,55	15,90	3,02	39,44	27,2	0,9	1,05	1	1	25,72	0,58	14,80
10,55	16,20	3,08	41,76	28,4	0,9	1,05	1	1	26,82	0,57	15,29
10,55	16,50	3,14	69,6	42,3	0,9	1,05	1	1	39,97	0,56	22,58

Tabella 7.12 – Normalizzazione valori da DPHS – PP.2

NORMALIZZAZIONE N <sub>SPT</sub>											
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" - STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500					Prova DPHS PP.2			UNITA' DA1			
Profondità falda	Peso specifico (gr/cm <sup>3</sup> ) =	1,900	Valori da DPHS	Correzione per acqua	N(60)					Correzione per tensione litostatica	
m	Profondità (m)	σ <sub>v</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	Nspt	N'spt	Rapporto di energia (Ce)	Diametro del foro (Cb)	Tipo di campionatore (Cs)	Lunghezza aste (Cr)	N(60)	C <sub>N</sub>	N1(60)
6,00	0,30	0,06	11,6	11,6	0,9	1,05	1	0,75	8,22	4,19	34,44
6,00	0,60	0,11	5,8	5,8	0,9	1,05	1	0,75	4,11	2,96	12,17
6,00	0,90	0,17	3,48	3,5	0,9	1,05	1	0,75	2,47	2,42	5,96
6,00	1,20	0,23	5,8	5,8	0,9	1,05	1	0,75	4,11	2,09	8,61
6,00	1,50	0,29	8,12	8,1	0,9	1,05	1	0,75	5,76	1,87	10,78
6,00	1,80	0,34	9,28	9,3	0,9	1,05	1	0,75	6,58	1,71	11,25
6,00	2,10	0,40	11,6	11,6	0,9	1,05	1	0,75	8,22	1,58	13,02
6,00	2,40	0,46	9,28	9,3	0,9	1,05	1	0,75	6,58	1,48	9,74
6,00	2,70	0,51	9,28	9,3	0,9	1,05	1	0,75	6,58	1,40	9,18
6,00	3,00	0,57	10,44	10,4	0,9	1,05	1	0,75	7,40	1,32	9,80
6,00	3,30	0,63	8,12	8,1	0,9	1,05	1	0,75	5,76	1,26	7,27
6,00	3,60	0,68	8,12	8,1	0,9	1,05	1	0,75	5,76	1,21	6,96
6,00	3,90	0,74	8,12	8,1	0,9	1,05	1	0,75	5,76	1,16	6,69
6,00	4,20	0,80	17,4	17,4	0,9	1,05	1	0,85	13,98	1,12	15,65
6,00	4,50	0,86	10,44	10,4	0,9	1,05	1	0,85	8,39	1,08	9,07
6,00	4,80	0,91	10,44	10,4	0,9	1,05	1	0,85	8,39	1,05	8,78
6,00	5,10	0,97	5,8	5,8	0,9	1,05	1	0,85	4,66	1,02	4,73
6,00	5,40	1,03	5,8	5,8	0,9	1,05	1	0,85	4,66	0,99	4,60
6,00	5,70	1,08	2,32	2,3	0,9	1,05	1	0,85	1,86	0,96	1,79
6,00	6,00	1,14	2,32	2,3	0,9	1,05	1	0,85	1,86	0,94	1,75
6,00	6,30	1,20	2,32	2,3	0,9	1,05	1	0,95	2,08	0,91	1,90
6,00	6,60	1,25	6,96	7,0	0,9	1,05	1	0,95	6,25	0,89	5,58
6,00	6,90	1,31	5,8	5,8	0,9	1,05	1	0,95	5,21	0,87	4,55
6,00	7,20	1,37	10,44	10,4	0,9	1,05	1	0,95	9,37	0,85	8,01
6,00	7,50	1,43	12,76	12,8	0,9	1,05	1	0,95	11,46	0,84	9,60
6,00	7,80	1,48	10,44	10,4	0,9	1,05	1	0,95	9,37	0,82	7,70
6,00	8,10	1,54	11,6	11,6	0,9	1,05	1	0,95	10,41	0,81	8,39
6,00	8,40	1,60	4,64	4,6	0,9	1,05	1	0,95	4,17	0,79	3,30
6,00	8,70	1,65	3,48	3,5	0,9	1,05	1	0,95	3,12	0,78	2,43
6,00	9,00	1,71	3,48	3,5	0,9	1,05	1	0,95	3,12	0,76	2,39
6,00	9,30	1,77	1,16	1,2	0,9	1,05	1	0,95	1,04	0,75	0,78
6,00	9,60	1,82	1,16	1,2	0,9	1,05	1	0,95	1,04	0,74	0,77
6,00	9,90	1,88	4,64	4,6	0,9	1,05	1	0,95	4,17	0,73	3,04
6,00	10,20	1,94	5,8	5,8	0,9	1,05	1	1	5,48	0,72	3,94
6,00	10,50	2,00	5,8	5,8	0,9	1,05	1	1	5,48	0,71	3,88
6,00	10,80	2,05	10,44	10,4	0,9	1,05	1	1	9,87	0,70	6,89
6,00	11,10	2,11	13,92	13,9	0,9	1,05	1	1	13,15	0,69	9,06
6,00	11,40	2,17	12,76	12,8	0,9	1,05	1	1	12,06	0,68	8,19
6,00	11,70	2,22	13,92	13,9	0,9	1,05	1	1	13,15	0,67	8,82
6,00	12,00	2,28	16,24	15,6	0,9	1,05	1	1	14,76	0,66	9,78
6,00	12,30	2,34	8,12	8,1	0,9	1,05	1	1	7,67	0,65	5,02
6,00	12,60	2,39	17,4	16,2	0,9	1,05	1	1	15,31	0,65	9,89
6,00	12,90	2,45	11,6	11,6	0,9	1,05	1	1	10,96	0,64	7,00
6,00	13,20	2,51	11,6	11,6	0,9	1,05	1	1	10,96	0,63	6,92
6,00	13,50	2,57	19,72	17,4	0,9	1,05	1	1	16,41	0,62	10,24
6,00	13,80	2,62	15,08	15,0	0,9	1,05	1	1	14,21	0,62	8,78
6,00	14,10	2,68	25,52	20,3	0,9	1,05	1	1	19,15	0,61	11,70
6,00	14,40	2,74	34,8	24,9	0,9	1,05	1	1	23,53	0,60	14,23
6,00	14,70	2,79	75,4	45,2	0,9	1,05	1	1	42,71	0,60	25,56

Tabella 7.13 – Normalizzazione valori da DPHS – PP.3

NORMALIZZAZIONE N <sub>SPT</sub>											
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" - STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500					Prova DPHS PP.3				UNITA' DA1		
Profondità falda	Peso specifico (gr/cm <sup>3</sup> ) =	1,900	Valori da DPHS	Correzione per acqua	N(60)					Correzione per tensione litostatica	
m	Profondità (m)	σ <sub>v</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	Nspt	N'spt	Rapporto di energia (Ce)	Diametro del foro (Cb)	Tipo di campionatore (Cs)	Lunghezza aste (Cr)	N(60)	C <sub>N</sub>	N1(60)
9,60	0,30	0,06	3,48	3,5	0,9	1,05	1	0,75	2,47	4,19	10,33
9,60	0,60	0,11	3,48	3,5	0,9	1,05	1	0,75	2,47	2,96	7,30
9,60	0,90	0,17	4,64	4,6	0,9	1,05	1	0,75	3,29	2,42	7,95
9,60	1,20	0,23	5,8	5,8	0,9	1,05	1	0,75	4,11	2,09	8,61
9,60	1,50	0,29	4,64	4,6	0,9	1,05	1	0,75	3,29	1,87	6,16
9,60	1,80	0,34	4,64	4,6	0,9	1,05	1	0,75	3,29	1,71	5,62
9,60	2,10	0,40	5,8	5,8	0,9	1,05	1	0,75	4,11	1,58	6,51
9,60	2,40	0,46	3,48	3,5	0,9	1,05	1	0,75	2,47	1,48	3,65
9,60	2,70	0,51	4,64	4,6	0,9	1,05	1	0,75	3,29	1,40	4,59
9,60	3,00	0,57	5,8	5,8	0,9	1,05	1	0,75	4,11	1,32	5,44
9,60	3,30	0,63	4,64	4,6	0,9	1,05	1	0,75	3,29	1,26	4,15
9,60	3,60	0,68	4,64	4,6	0,9	1,05	1	0,75	3,29	1,21	3,98
9,60	3,90	0,74	3,48	3,5	0,9	1,05	1	0,75	2,47	1,16	2,87
9,60	4,20	0,80	3,48	3,5	0,9	1,05	1	0,85	2,80	1,12	3,13
9,60	4,50	0,86	9,28	9,3	0,9	1,05	1	0,85	7,45	1,08	8,06
9,60	4,80	0,91	10,44	10,4	0,9	1,05	1	0,85	8,39	1,05	8,78
9,60	5,10	0,97	12,76	12,8	0,9	1,05	1	0,85	10,25	1,02	10,41
9,60	5,40	1,03	15,08	15,1	0,9	1,05	1	0,85	12,11	0,99	11,96
9,60	5,70	1,08	8,12	8,1	0,9	1,05	1	0,85	6,52	0,96	6,27
9,60	6,00	1,14	12,76	12,8	0,9	1,05	1	0,85	10,25	0,94	9,60
9,60	6,30	1,20	10,44	10,4	0,9	1,05	1	0,95	9,37	0,91	8,57
9,60	6,60	1,25	23,2	23,2	0,9	1,05	1	0,95	20,83	0,89	18,60
9,60	6,90	1,31	8,12	8,1	0,9	1,05	1	0,95	7,29	0,87	6,37
9,60	7,20	1,37	16,24	16,2	0,9	1,05	1	0,95	14,58	0,85	12,47
9,60	7,50	1,43	31,32	31,3	0,9	1,05	1	0,95	28,12	0,84	23,55
9,60	7,80	1,48	25,52	25,5	0,9	1,05	1	0,95	22,91	0,82	18,82
9,60	8,10	1,54	58	58,0	0,9	1,05	1	0,95	52,07	0,81	41,97
9,60	8,40	1,60	63,8	63,8	0,9	1,05	1	0,95	57,28	0,79	45,34
9,60	8,70	1,65	69,6	69,6	0,9	1,05	1	0,95	62,48	0,78	48,60

Tabella 7.14 – Normalizzazione valori da DPHS – PP.4

NORMALIZZAZIONE N <sub>SPT</sub>											
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" - STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500					Prova DPHS PP.4				UNITA' DA1		
Profondità falda	Peso specifico (gr/cm <sup>3</sup> ) =	1,900	Valori da DPHS	Correzione per acqua	N(60)					Correzione per tensione litostatica	
m	Profondità (m)	$\sigma_v$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Nspt	N'spt	Rapporto di energia (Ce)	Diametro del foro (Cb)	Tipo di campionatore (Cs)	Lunghezza aste (Cr)	N(60)	C <sub>N</sub>	N1(60)
12,50	0,30	0,06	4,64	4,6	0,9	1,05	1	0,75	3,29	4,19	13,77
12,50	0,60	0,11	5,8	5,8	0,9	1,05	1	0,75	4,11	2,96	12,17
12,50	0,90	0,17	5,8	5,8	0,9	1,05	1	0,75	4,11	2,42	9,94
12,50	1,20	0,23	4,64	4,6	0,9	1,05	1	0,75	3,29	2,09	6,89
12,50	1,50	0,29	5,8	5,8	0,9	1,05	1	0,75	4,11	1,87	7,70
12,50	1,80	0,34	4,64	4,6	0,9	1,05	1	0,75	3,29	1,71	5,62
12,50	2,10	0,40	5,8	5,8	0,9	1,05	1	0,75	4,11	1,58	6,51
12,50	2,40	0,46	5,8	5,8	0,9	1,05	1	0,75	4,11	1,48	6,09
12,50	2,70	0,51	6,96	7,0	0,9	1,05	1	0,75	4,93	1,40	6,89
12,50	3,00	0,57	5,8	5,8	0,9	1,05	1	0,75	4,11	1,32	5,44
12,50	3,30	0,63	4,64	4,6	0,9	1,05	1	0,75	3,29	1,26	4,15
12,50	3,60	0,68	5,8	5,8	0,9	1,05	1	0,75	4,11	1,21	4,97
12,50	3,90	0,74	4,64	4,6	0,9	1,05	1	0,75	3,29	1,16	3,82
12,50	4,20	0,80	4,64	4,6	0,9	1,05	1	0,85	3,73	1,12	4,17
12,50	4,50	0,86	4,64	4,6	0,9	1,05	1	0,85	3,73	1,08	4,03
12,50	4,80	0,91	5,8	5,8	0,9	1,05	1	0,85	4,66	1,05	4,88
12,50	5,10	0,97	4,64	4,6	0,9	1,05	1	0,85	3,73	1,02	3,79
12,50	5,40	1,03	4,64	4,6	0,9	1,05	1	0,85	3,73	0,99	3,68
12,50	5,70	1,08	11,6	11,6	0,9	1,05	1	0,85	9,32	0,96	8,95
12,50	6,00	1,14	9,28	9,3	0,9	1,05	1	0,85	7,45	0,94	6,98
12,50	6,30	1,20	9,28	9,3	0,9	1,05	1	0,95	8,33	0,91	7,61
12,50	6,60	1,25	6,96	7,0	0,9	1,05	1	0,95	6,25	0,89	5,58
12,50	6,90	1,31	9,28	9,3	0,9	1,05	1	0,95	8,33	0,87	7,28
12,50	7,20	1,37	10,44	10,4	0,9	1,05	1	0,95	9,37	0,85	8,01
12,50	7,50	1,43	11,6	11,6	0,9	1,05	1	0,95	10,41	0,84	8,72
12,50	7,80	1,48	11,6	11,6	0,9	1,05	1	0,95	10,41	0,82	8,55
12,50	8,10	1,54	13,92	13,9	0,9	1,05	1	0,95	12,50	0,81	10,07
12,50	8,40	1,60	17,4	17,4	0,9	1,05	1	0,95	15,62	0,79	12,36
12,50	8,70	1,65	25,52	25,5	0,9	1,05	1	0,95	22,91	0,78	17,82

Tabella 7.15 – Normalizzazione valori da DPHS – PP.5

NORMALIZZAZIONE N <sub>SPT</sub>											
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" - STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500					Prova DPHS PP.5			UNITA' DA1			
Profondità falda	Peso specifico (gr/cm <sup>3</sup> ) =	1,900	Valori da DPHS	Correzione per acqua	N(60)					Correzione per tensione litostatica	
m	Profondità (m)	σ <sub>v</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	Nspt	N'spt	Rapporto di energia (Ce)	Diametro del foro (Cb)	Tipo di campionatore (Cs)	Lunghezza aste (Cr)	N(60)	C <sub>N</sub>	N1(60)
13,70	0,30	0,06	3,48	3,5	0,9	1,05	1	0,75	2,47	4,19	10,33
13,70	0,60	0,11	8,12	8,1	0,9	1,05	1	0,75	5,76	2,96	17,04
13,70	0,90	0,17	5,8	5,8	0,9	1,05	1	0,75	4,11	2,42	9,94
13,70	1,20	0,23	4,64	4,6	0,9	1,05	1	0,75	3,29	2,09	6,89
13,70	1,50	0,29	5,8	5,8	0,9	1,05	1	0,75	4,11	1,87	7,70
13,70	1,80	0,34	4,64	4,6	0,9	1,05	1	0,75	3,29	1,71	5,62
13,70	2,10	0,40	4,64	4,6	0,9	1,05	1	0,75	3,29	1,58	5,21
13,70	2,40	0,46	6,96	7,0	0,9	1,05	1	0,75	4,93	1,48	7,30
13,70	2,70	0,51	8,12	8,1	0,9	1,05	1	0,75	5,76	1,40	8,04
13,70	3,00	0,57	3,48	3,5	0,9	1,05	1	0,75	2,47	1,32	3,27
13,70	3,30	0,63	4,64	4,6	0,9	1,05	1	0,75	3,29	1,26	4,15
13,70	3,60	0,68	6,96	7,0	0,9	1,05	1	0,75	4,93	1,21	5,96
13,70	3,90	0,74	3,48	3,5	0,9	1,05	1	0,75	2,47	1,16	2,87
13,70	4,20	0,80	4,64	4,6	0,9	1,05	1	0,85	3,73	1,12	4,17
13,70	4,50	0,86	4,64	4,6	0,9	1,05	1	0,85	3,73	1,08	4,03
13,70	4,80	0,91	4,64	4,6	0,9	1,05	1	0,85	3,73	1,05	3,90
13,70	5,10	0,97	5,8	5,8	0,9	1,05	1	0,85	4,66	1,02	4,73
13,70	5,40	1,03	8,12	8,1	0,9	1,05	1	0,85	6,52	0,99	6,44
13,70	5,70	1,08	12,76	12,8	0,9	1,05	1	0,85	10,25	0,96	9,85
13,70	6,00	1,14	9,28	9,3	0,9	1,05	1	0,85	7,45	0,94	6,98
13,70	6,30	1,20	6,96	7,0	0,9	1,05	1	0,95	6,25	0,91	5,71
13,70	6,60	1,25	11,6	11,6	0,9	1,05	1	0,95	10,41	0,89	9,30
13,70	6,90	1,31	9,28	9,3	0,9	1,05	1	0,95	8,33	0,87	7,28
13,70	7,20	1,37	10,44	10,4	0,9	1,05	1	0,95	9,37	0,85	8,01
13,70	7,50	1,43	11,6	11,6	0,9	1,05	1	0,95	10,41	0,84	8,72
13,70	7,80	1,48	13,92	13,9	0,9	1,05	1	0,95	12,50	0,82	10,27
13,70	8,10	1,54	15,08	15,1	0,9	1,05	1	0,95	13,54	0,81	10,91
13,70	8,40	1,60	13,92	13,9	0,9	1,05	1	0,95	12,50	0,79	9,89
13,70	8,70	1,65	19,72	19,7	0,9	1,05	1	0,95	17,70	0,78	13,77
13,70	9,00	1,71	16,24	16,2	0,9	1,05	1	0,95	14,58	0,76	11,15
13,70	9,30	1,77	25,52	25,5	0,9	1,05	1	0,95	22,91	0,75	17,24
13,70	9,60	1,82	75,4	75,4	0,9	1,05	1	0,95	67,69	0,74	50,12

Tabella 7.16 – Normalizzazione valori da DPHS – PP.6

NORMALIZZAZIONE N <sub>SPT</sub>											
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" - STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500					Prova DPHS PP.6			UNITA' DA1			
Profondità falda	Peso specifico (gr/cm <sup>3</sup> ) =	1,900	Valori da DPHS	Correzione per acqua	N(60)					Correzione per tensione litostatica	
m	Profondità (m)	σ <sub>v</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	Nspt	N'spt	Rapporto di energia (Ce)	Diametro del foro (Cb)	Tipo di campionatore (Cs)	Lunghezza aste (Cr)	N(60)	C <sub>N</sub>	N1(60)
8,90	0,30	0,06	4,64	4,6	0,9	1,05	1	0,75	3,29	4,19	13,77
8,90	0,60	0,11	4,64	4,6	0,9	1,05	1	0,75	3,29	2,96	9,74
8,90	0,90	0,17	3,48	3,5	0,9	1,05	1	0,75	2,47	2,42	5,96
8,90	1,20	0,23	3,48	3,5	0,9	1,05	1	0,75	2,47	2,09	5,17
8,90	1,50	0,29	5,8	5,8	0,9	1,05	1	0,75	4,11	1,87	7,70
8,90	1,80	0,34	5,8	5,8	0,9	1,05	1	0,75	4,11	1,71	7,03
8,90	2,10	0,40	6,96	7,0	0,9	1,05	1	0,75	4,93	1,58	7,81
8,90	2,40	0,46	5,8	5,8	0,9	1,05	1	0,75	4,11	1,48	6,09
8,90	2,70	0,51	8,12	8,1	0,9	1,05	1	0,75	5,76	1,40	8,04
8,90	3,00	0,57	88,16	88,2	0,9	1,05	1	0,75	62,48	1,32	82,76
8,90	3,30	0,63	5,8	5,8	0,9	1,05	1	0,75	4,11	1,26	5,19
8,90	3,60	0,68	5,8	5,8	0,9	1,05	1	0,75	4,11	1,21	4,97
8,90	3,90	0,74	4,64	4,6	0,9	1,05	1	0,75	3,29	1,16	3,82
8,90	4,20	0,80	5,8	5,8	0,9	1,05	1	0,85	4,66	1,12	5,22
8,90	4,50	0,86	6,96	7,0	0,9	1,05	1	0,85	5,59	1,08	6,05
8,90	4,80	0,91	5,8	5,8	0,9	1,05	1	0,85	4,66	1,05	4,88
8,90	5,10	0,97	5,8	5,8	0,9	1,05	1	0,85	4,66	1,02	4,73
8,90	5,40	1,03	4,64	4,6	0,9	1,05	1	0,85	3,73	0,99	3,68
8,90	5,70	1,08	8,12	8,1	0,9	1,05	1	0,85	6,52	0,96	6,27
8,90	6,00	1,14	6,96	7,0	0,9	1,05	1	0,85	5,59	0,94	5,24
8,90	6,30	1,20	4,64	4,6	0,9	1,05	1	0,95	4,17	0,91	3,81
8,90	6,60	1,25	8,12	8,1	0,9	1,05	1	0,95	7,29	0,89	6,51
8,90	6,90	1,31	12,76	12,8	0,9	1,05	1	0,95	11,46	0,87	10,00
8,90	7,20	1,37	12,76	12,8	0,9	1,05	1	0,95	11,46	0,85	9,79
8,90	7,50	1,43	16,24	16,2	0,9	1,05	1	0,95	14,58	0,84	12,21
8,90	7,80	1,48	19,72	19,7	0,9	1,05	1	0,95	17,70	0,82	14,54
8,90	8,10	1,54	16,24	16,2	0,9	1,05	1	0,95	14,58	0,81	11,75
8,90	8,40	1,60	17,4	17,4	0,9	1,05	1	0,95	15,62	0,79	12,36
8,90	8,70	1,65	17,4	17,4	0,9	1,05	1	0,95	15,62	0,78	12,15
8,90	9,00	1,71	20,88	17,9	0,9	1,05	1	0,95	16,11	0,76	12,32
8,90	9,30	1,77	25,52	20,3	0,9	1,05	1	0,95	18,19	0,75	13,68
8,90	9,60	1,82	26,68	20,8	0,9	1,05	1	0,95	18,71	0,74	13,85
8,90	9,90	1,88	31,32	23,2	0,9	1,05	1	0,95	20,79	0,73	15,16
8,90	10,20	1,94	37,12	26,1	0,9	1,05	1	1	24,63	0,72	17,69
8,90	10,50	2,00	69,6	42,3	0,9	1,05	1	1	39,97	0,71	28,30

Dai valori così ricavati di N1(60) vengono calcolati i corrispondenti valori dei parametri geotecnici con le relazioni precedentemente riportate, esposte nelle Tabelle 7.17, 7.18, 7.19, 7.20, 7.21 e 7.22 in cui vengono esposti i valori medi di tutte le determinazioni per ogni prova.

Tabella 7.17 – Valori dei parametri geotecnici – DPSH – PP.1

PP. 1 - CORRELAZIONE DPSH - SPT				UNITA' CO	
N'(60)	N(60)	Angolo di Attrito $\varphi$ (°)		Densità Relativa DR (%)	Modulo Elastico E (Kg/cm <sup>2</sup> )
Valori N <sub>spt</sub> Normalizzati	Valori N <sub>spt</sub> Normalizzati	Japanese National Railway	Amantia Scuderi F. (2022)	Bazaraa (1962)	Jamiolkowski et Al. (1988)
Media valori		Angolo di Attrito $\varphi$ (°)		Densità Relativa DR (%)	Modulo Elastico E (Kg/cm <sup>2</sup> )
		30,4		33,62	112,55

Tabella 7.18 – Valori dei parametri geotecnici – DPSH – PP.2

PP. 2 - CORRELAZIONE DPSH - SPT				UNITA' DA1	
N'(60)	N(60)	Angolo di Attrito $\varphi$ (°)		Densità Relativa DR (%)	Modulo Elastico E (Kg/cm <sup>2</sup> )
Valori N <sub>spt</sub> Normalizzati	Valori N <sub>spt</sub> Normalizzati	Japanese National Railway	Amantia Scuderi F. (2022)	Bazaraa (1962)	Jamiolkowski et Al. (1988)
Media valori		Angolo di Attrito $\varphi$ (°)		Densità Relativa DR (%)	Modulo Elastico E (Kg/cm <sup>2</sup> )
		29,5		28,73	93,98

Tabella 7.19 – Valori dei parametri geotecnici – DPSH – PP.3

PP. 3 - CORRELAZIONE DPSH - SPT				UNITA' DA1	
N'(60)	N(60)	Angolo di Attrito $\varphi$ (°)		Densità Relativa DR (%)	Modulo Elastico E (Kg/cm <sup>2</sup> )
Valori N <sub>spt</sub> Normalizzati	Valori N <sub>spt</sub> Normalizzati	Japanese National Railway	Amantia Scuderi F. (2022)	Bazaraa (1962)	Jamiolkowski et Al. (1988)
Media valori		Angolo di Attrito $\varphi$ (°)		Densità Relativa DR (%)	Modulo Elastico E (Kg/cm <sup>2</sup> )
		31,43		35,92	121,38

Tabella 7.20 – Valori dei parametri geotecnici – DPSH – PP.4

PP. 4 - CORRELAZIONE DPSH - SPT				UNITA' DA1	
N'(60)	N(60)	Angolo di Attrito $\phi$ (°)		Densità Relativa DR (%)	Modulo Elastico E (Kg/cm <sup>2</sup> )
Valori N <sub>spt</sub> Normalizzati	Valori N <sub>spt</sub> Normalizzati	Japanese National Railway	Amantia Scuderi F. (2022)	Bazaraa (1962)	Jamiolkowski et Al. (1988)
Media valori		Angolo di Attrito $\phi$ (°)		Densità Relativa DR (%)	Modulo Elastico E (Kg/cm <sup>2</sup> )
		30,32		31,39	103,15

Tabella 7.21 – Valori dei parametri geotecnici – DPSH – PP.5

PP. 5 - CORRELAZIONE DPSH - SPT				UNITA' DA1	
N'(60)	N(60)	Angolo di Attrito $\phi$ (°)		Densità Relativa DR (%)	Modulo Elastico E (Kg/cm <sup>2</sup> )
Valori N <sub>spt</sub> Normalizzati	Valori N <sub>spt</sub> Normalizzati	Japanese National Railway	Amantia Scuderi F. (2022)	Bazaraa (1962)	Jamiolkowski et Al. (1988)
Media valori		Angolo di Attrito $\phi$ (°)		Densità Relativa DR (%)	Modulo Elastico E (Kg/cm <sup>2</sup> )
		30,09		30,75	91,35

Tabella 7.22 – Valori dei parametri geotecnici – DPSH – PP.6

PP. 6 - CORRELAZIONE DPSH - SPT				UNITA' DA1	
N'(60)	N(60)	Angolo di Attrito $\phi$ (°)		Densità Relativa DR (%)	Modulo Elastico E (Kg/cm <sup>2</sup> )
Valori N <sub>spt</sub> Normalizzati	Valori N <sub>spt</sub> Normalizzati	Japanese National Railway	Amantia Scuderi F. (2022)	Bazaraa (1962)	Jamiolkowski et Al. (1988)
Media valori		Angolo di Attrito $\phi$ (°)		Densità Relativa DR (%)	Modulo Elastico E (Kg/cm <sup>2</sup> )
		30,64		32,42	96,44

### 7.3 CORRELAZIONI CON LIMITI DI CONSISTENZA (WL, WP, IP)

Nei terreni limoso-argillosi una valutazione della coesione non drenata  $C_u$  può essere fatta applicando le seguenti relazioni da cui si ricava la resistenza a compressione  $S_u$ ; per le argille sature la coesione non drenata  $C_u = S_u/2$ :

a) SKEMPTON (1957)

$$S_u = \sigma' \cdot (0,11 + 0,0037 \cdot IP)$$

b) WROTH & HOULSBY, (1985)

$$S_u = \sigma' \cdot (0,129 + 0,00435 \cdot IP)$$

Per l'Unità litotecnica DA2, costituita da limi argillosi, si riportano in Tabella 7.23 le determinazioni dei valori della coesione non drenata  $C_u$  adottando le suddette relazioni.

Tabella 7.23 – Determinazione di  $C_u$  dai limiti di Atterberg

DATI DEL CAMPIONE					Prove sulle terre			Caratteristiche di taglio - Tensioni totali			
					Limiti di Atterberg			SKEMPTON (1957)		WROTH & HOULSBY(1985)	
Sondaggio	Denominazione Campione	da m	a m	Indisturbato R Rimane L Lapideo	Limite liquido LL	Limite plastico LP	Indice plastico IP	$S_u$	$C_u$	$S_u$	$C_u$
					%	%	%				
S.3	C1	2,00	2,50	I	45,40	22,80	22,60	7,36	3,68	8,64	4,32
S.3	CR1	7,40	7,80	R	58,20	28,30	29,90	31,02	15,51	36,42	18,21
S.1	CR1	11,20	11,70	R	56,20	26,00	30,20	47,19	23,59	55,41	27,70

## 9 COMPORTAMENTO MECCANICO DEI TERRENI

Il comportamento meccanico delle varie unità litotecniche viene definito sulla scorta dell'interpretazione, correlazione ed elaborazione di tutte le prove disponibili in situ ed in laboratorio.

Per ciascuna litofacies vengono determinati i valori dei parametri geotecnici desumibili dai dati a disposizione.

### 9.1 UNITÀ LITOTECNICA DA1

Si dispone di N° 5 prove SPT ricadenti nel suddetto litotipo, la cui elaborazione è evidenziata in Tabella 8.1 in cui si riporta la media delle determinazioni.

Tabella 8.1 – Parametri geotecnici da N1(60) – Unità DA1

PARAMETRI GEOTECNICI DA PROVE S.P.T. - UNITA' LITOTECNICA DA1							
Sondaggio	N'(60)	N(60)	Angolo di Attrito $\phi$ (°)		Densità Relativa DR (%)	Modulo Elastico E (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo edometrico Ed (Kg/cm <sup>2</sup> )
N°	Valori Nspt Normalizzati	Valori Nspt Normalizzati	Japanese National Railway	Amantia Scuderi F. (2022)	Bazaraa (1962)	Jamiolkowski et Al. (!988)	Begemann (1974) (sabbie e ghiaie)
S.1	21,24	11,34	33,37	33,64	40,07	103,17	123,34
S.1	10,57	9,21	30,17	29,66	33,86	85,83	112,67
S.3	29,21	15,59	35,76	35,95	46,98	138,08	131,31
S.6	8,23	5,67	29,47	28,53	27,58	54,06	110,33
S.6	16,48	16,07	31,94	32,03	43,67	144,13	118,58
Media valori			Angolo di Attrito $\phi$ (°)	Densità Relativa DR (%)	Modulo Elastico E (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo edometrico Ed (Kg/cm <sup>2</sup> )	
			32,05	38,43	105,05	119,25	

Dall'interpretazione delle prove SPT si ricavano quindi i seguenti valori medi:

- Angolo di attrito  $\phi' = 32^\circ$
- Modulo elastico  $E_{ed} = 119 \text{ Kg/cm}^2$

Dalle correlazioni con le Prove Penetrometriche Dinamiche DPSH si ricavano i valori riportati in Tabella 8.2.

Tabella 8.2 – Valori dell'angolo di attrito da prove DPSH

Prova DPSH	Angolo di attrito medio	Modulo Elastico Medio
N°	$\phi'$ (°)	E (Kg/cm <sup>2</sup> )
PP.2	29,5	93,98
PP.3	31,43	121,38
PP.4	30,32	103,15
PP.5	30,09	91,35
PP.6	30,64	96,44

## 9.2 UNITÀ LITOTECNICA DA2

Si dispone di una sola prova SPT, effettuata a m 4,0 di profondità, ricadenti nel suddetto litotipo, dalla cui elaborazione è risulta un valore di

$$N(60) = 6,38$$

per il quale dalle correlazioni in precedenza riportate si ottiene un valore medio della coesione non drenata  $C_u$  pari a

$$C_u = 0,415 \text{ Kg/cm}^2$$

Per questa Unità litotecnica si dispone di N° 3 analisi geotecniche di laboratorio, da cui risultano i seguenti range di parametri geotecnici:

- Peso di volume  $\gamma = 19,60 \div 20,40 \text{ kN/m}^3$
- Limite Liquido  $WL = 45,40 \div 58,20 \%$
- Limite Plastico  $WP = 22,80 \div 28,30 \%$
- Indice Plastico  $IP = 22,60 \div 30,20 \%$
- Prova di Taglio Diretto CD
  - ⇒ Coesione  $C' = 20 \div 22 \text{ kPa}$
  - ⇒ Angolo di attrito interno  $\phi' = 25^\circ \div 28^\circ$
- Prova di Espansione Laterale Libera
  - ⇒ Coesione non drenata  $C_u = 101,35 \text{ kPa}$

Dalle correlazioni tra la resistenza al taglio non drenata ( $S_u$ ) ed i limiti di consistenza determinati sui campioni si ricavano valori della coesione non drenata  $C_u$  sensibilmente più bassi, che si incrementano con la profondità:

- a m 2,00  $C_u = 3,68 \div 4,32 \text{ kPa}$
- a m 7,4  $C_u = 15,51 \div 18,21 \text{ kPa}$
- a m 11,20  $C_u = 23,59 \div 27,70 \text{ kPa}$

Trattandosi di sedimenti normalconsolidati si può ragionevolmente ammettere che, nell'ipotesi di sedimento omogeneo, la coesione non drenata  $C_u$  si incrementi con andamento lineare con la profondità.

### 9.3 UNITÀ LITOTECNICA CO

Questa unità si presenta come caratteristiche litologiche e granulometriche del tutto analoga alla DA1, dalla quale nel corso dei sondaggi è praticamente impossibile distinguerne il limite od il passaggio.

Solo per la prova DPSH PP.1 si ha la ragionevole certezza che essa abbia interessato esclusivamente questa unità, per la quale si riportano in Tabella 8.3 i risultati delle correlazioni.

Tabella 8.3 – Correlazioni tra DPSH PP.1 ed N1(60)

PP. 1 - CORRELAZIONE DPSH - SPT				UNITA' CO	
N'(60)	N(60)	Angolo di Attrito $\varphi$ (°)		Densità Relativa DR (%)	Modulo Elastico E (Kg/cm <sup>2</sup> )
Valori N <sub>spt</sub> Normalizzati	Valori N <sub>spt</sub> Normalizzati	Japanese National Railway	Amantia Scuderi F. (2022)	Bazaraa (1962)	Jamiolkowski et Al. (1988)
Media valori		Angolo di Attrito $\varphi$ (°)		Densità Relativa DR (%)	Modulo Elastico E (Kg/cm <sup>2</sup> )
		30,4		33,62	112,55

## 10 COMPORTAMENTO MECCANICO DEGLI AMMASSI ROCCIOSI

A questa categoria di terreni appartengono le unità litotecniche SR e SV prevalentemente litoidi, per le quali il comportamento meccanico viene definito sulla scorta dei seguenti criteri:

- rilievi geostrutturali
- prove Point Load Test

Prima di sintetizzare i risultati dei rilievi geostrutturali, di fondamentale importanza per la definizione del comportamento meccanico d'insieme degli ammassi rocciosi, si ritiene utile richiamare alcuni concetti fondamentali di meccanica delle rocce, giacchè il comportamento meccanico è condizionato dalle discontinuità presenti, costituite da fessurazioni variamente orientate, che si rinvergono con interdistanza variabile.

La "massa rocciosa" va quindi intesa come un insieme di elementi "roccia" definiti, giustapposti e combacianti, di forma grossolanamente prismatica, parallelepipedica o appiattita, le cui proprietà meccaniche risultano decisamente inferiori a quelle del singolo elemento e dipendono da tanti fattori strutturali, legati alla dislocazione spaziale dei sistemi di discontinuità.

In genere le "famiglie" di discontinuità sono limitate, da 1 a 5, più frequentemente 3, e vengono indicate con: K1, K2, ....Kn

Le superfici di stratificazione vengono invece indicate con altre sigle (es.: Ks).

Di ciascuna porzione di ammasso roccioso in esame vengono determinati i sottoelencati parametri:

$e_2$  *estensione bidimensionale*, che rappresenta la superficie (in  $m^2$ ) della discontinuità in oggetto; si ottiene anche moltiplicando la estensione monodimensionale (l) di un sistema di fratture in due piani all'incirca tra essi ortogonali:

$$e_2 = l_1 \times l_2 \quad (m^2)$$

$le_2$  *indice di estensione bidimensionale*, che è dato dal rapporto tra l'area (A) di tutte le discontinuità complanari e l'area totale della sezione rocciosa ( $A_s$ ) in cui si effettua la misura:

$$le_2 = (AK_1 + AK_2 + \dots + AK_n) / A_s$$

Val la pena rammentare che:

$0,75 \leq le_2 \leq 1$  individua porzioni di roccia in cui, lungo le discontinuità analizzate, si mobilitano solo forze di attrito;

$le_2 \leq 0,75$  individua invece porzioni di roccia in cui, lungo le discontinuità analizzate, oltre alle forze di attrito si mobilitano anche forze di resistenza al taglio della roccia integra;

s *frequenza*: rappresenta il numero delle discontinuità presenti per unità di superficie analizzata; la frequenza si misura in piani ortogonali alle superfici di discontinuità;

d *spaziatura*: viene espressa in cm e rappresenta la distanza tra le discontinuità; si determinano una spaziatura massima, media e minima; il valore della spaziatura media è pari all'inverso della frequenza:  $d = 1/s$ ;

$e_3$  *estensione tridimensionale*: si ottiene come prodotto dell'estensione bidimensionale per la frequenza:

$$e_3 = e_2 \times s$$

$V_u$  *volume roccioso unitario*: rappresenta il più piccolo volume di roccia integra estraibile dalla porzione di ammasso roccioso considerata; si esprime in mc ed è anche ricavabile dalla seguente relazione:

$$V_u = (1/s_1) \times (1/s_2) \times (1/s_3)$$

Da quanto esposto deriva che si possono avere, per ciascuna formazione litoide, varie zone a diversa "omogeneità", ciascuna delle quali caratterizzata da differenti parametri.

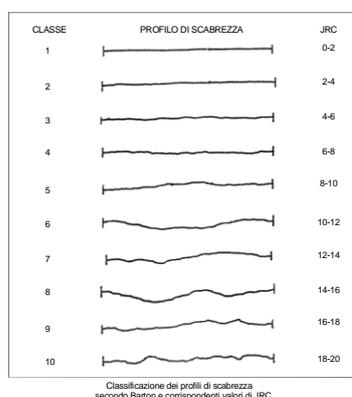
Altri fattori molto importanti nella determinazione del comportamento meccanico di un ammasso roccioso sono la "scabrezza" dei giunti ed il materiale di "riempimento" degli stessi.

La scabrezza dei giunti viene indicata distinguendo pareti di tipo: a scalini, ondulato, planare.

Ciascun tipo viene poi diviso in *levigato*, *liscio*, *scabro*.

Il profilo di ciascun giunto viene annotato sulla scorta della schematizzazione proposta da BARTON (1973), evidenziata nella Figura 9.1.

Figura 9.1 – Profili di scabrosità dei giunti



## 10.1 RILIEVI GEOSTRUTTURALI

Sono stati acquisiti i rilievi geostretturali effettuati, nell'area in studio, con il metodo della linea di scansione (scan line), che consiste nel raccogliere, lungo essa i dati relativi allo stato di fratturazione dell'ammasso roccioso.

La linea di scansione viene definita tramite la posa di una rotella metrica lungo l'affioramento roccioso. Una volta determinata la lunghezza della linea di scansione, si definisce il verso di rilievo individuando il punto di partenza della stessa, che viene in questo modo a costituire lo zero iniziale.

Lungo la linea di scansione vengono individuate le discontinuità dell'ammasso, (piani di strato, giunti, faglie, ecc.), rilevandone l'assetto e la distanza dallo 0 iniziale. Le discontinuità vengono poi riunite in famiglie e codificate con un codice di riconoscimento (S, K1, K2; ecc.). Viene rilevata la distanza tra le discontinuità appartenenti alla medesima famiglia definendo così la spaziatura.

Per ogni famiglia di discontinuità vengono misurati:

- direzione di immersione delle discontinuità e inclinazione delle discontinuità, con bussola da geologo analogamente alla misura dei piani di strato;
- spaziatura delle diverse discontinuità (lungo la linea di scansione);
- misura del rimbalzo del martello di Schmidt (sclerometro da roccia).

Sono state acquisite N° 23 stazioni di rilievo, designate con le sigle SS1, SS2, ....SS23, la cui ubicazione viene riprodotta in apposito elaborato su base cartografica in scala 1:2.000.

Nella Tabella 9.1 vengono sintetizzati i dati di localizzazione delle suddette stazioni di rilievo.

Tabella 9.1 – Ubicazione delle stazioni di rilievo geostretturale

Stazione N°	Latitudine N			Longitudine E			Orientamento (°)	Immersione Fronte (°)	Lunghezza (m)
	°	'	"	°	'	"			
SS.1	42	44	52.68	12	50	40.16	75 N	165/60	10,00
SS.2	42	44	54.23	12	50	41.22	20 E	110/74	2,00
SS.3	42	44	54.52	12	50	41.47	15 E	105/60	6,00
SS.4	42	44	54.79	12	50	41.90	10 E	90/85	7,50
SS.5	42	44	54.96	12	50	42.08	8 E	90/88	8.20
SS.6	42	44	55.16	12	50	42.37	342 E	72/55	9.3
SS.7	42	44	55.31	12	50	42.55	30 E	120/40	6.00

Stazione N°	Latitudine N			Longitudine E			Orientamento (°)	Immersione Fronte (°)	Lunghezza (m)
	°	'	"	°	'	"			
SS.8	42	44	55.25	12	50	42.73	140 W	230/70	6.80
SS.9	42	44	54.66	12	50	43.26	140 W	230/45	12.00
SS.10	42	44	53.74	12	50	43.71	135 S	225/40	20.00
SS.11	42	44	55.27	12	50	43.86	105 S	195/85	19.00
SS.12	42	44	55.87	12	50	44.32	94 S	184/85	8.00
SS.13	42	44	53.97	12	50	38.01	108 S	198/80	15.00
SS.14	42	44	53.92	12	50	38.89	100 S	190/70	10.00
SS.15	42	44	57.39	12	50	50.90	16 E	106/70	20.00
SS.16	42	44	55.45	12	50	50.93	20 E	110/85	20.00
SS.17	42	44	52.79	12	50	31.83	110 S	200/50	14.00
SS.18	42	44	50.84	12	50	30.85	50 S	140/70	65.00
SS.19	42	45	1.86	12	50	49.88	325 E	55/60	17.00
SS.20	42	44	58.67	12	50	37.88	25 E	115/40	15.00
SS.21	42	45	0.88	12	50	39.03	30 E	120/40	35.00
SS.22	42	44	52.11	12	50	35.51	75 S	165/70	106.00
SS.23	42	44	52.55	12	50	32.78	122 S	212/40	15.00

## 10.2 COMPORTAMENTO MECCANICO

Gli ammassi rocciosi sono stati classificati facendo riferimento al Rock Mass Rating (RMR; 1972-1989) di Z.T.Bieniawski.

I parametri geomeccanici per la determinazione del valore del RMR e della conseguente classe qualitativa dell'ammasso roccioso sono:

- R1: resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta;
- R2: percentuale di recupero modificata (Rock Quality Designation: RQD);
- R3: spaziatura tra i piani di discontinuità principali;
- R4: condizioni delle superfici di discontinuità;
- R5: condizioni idriche in sottoterraneo;
- R6: orientazione dei piani di discontinuità principali rispetto al tracciato di scavo.

Dalla somma del valore assunto per ciascuno dei sei parametri si ottiene il valore numerico del RMR, in funzione del quale all'ammasso roccioso viene assegnata una delle cinque classi geomeccaniche di Bieniawski.

Hoek e Brown hanno introdotto il loro criterio di rottura nel tentativo di fornire dei dati per le analisi necessarie alla progettazione di scavi sotterranei in roccia dura. Il criterio è stato derivato dai risultati della ricerca, sulla rottura fragile della roccia intatta, di Hoek e, su studi del modello del comportamento dell'ammasso roccioso giuntato, di Brown.

Il criterio è partito dalle proprietà della roccia intatta e ha introdotto dei fattori per ridurre queste proprietà sulla base delle caratteristiche dei giunti in un ammasso roccioso. Gli autori hanno cercato di collegare il criterio empirico ad osservazioni geologiche per mezzo di uno degli schemi di classificazione disponibili dell'ammasso roccioso e, a tal fine, hanno scelto la classificazione proposta da Bieniawski.

A causa della mancanza di alternative adeguate, il criterio è stato presto adottato dalla comunità della meccanica delle rocce ed il suo utilizzo si diffuse rapidamente al di là dei limiti originali usati nel derivare le relazioni per la riduzione della resistenza.

Di conseguenza, si è reso necessario riesaminare queste relazioni ed introdurre di volta in volta nuovi elementi in ragione della vasta gamma di problemi pratici a cui il criterio è stato applicato. Tipiche di questi miglioramenti sono state l'introduzione del concetto di ammassi rocciosi 'indisturbati' e 'disturbati' di Hoek e Brown, e l'introduzione di un criterio modificato per imporre a zero la resistenza a trazione dell'ammasso roccioso per gli ammassi di qualità

molto scarsa (Hoek, Wood and Shah).

Una delle prime difficoltà derivava dal fatto che molti problemi geotecnici, in particolare problemi di stabilità dei pendii, sono più convenientemente affrontati in termini di tensioni tangenziali e normali piuttosto che con le relazioni della tensione principale del criterio originale di Hoek-Brown, definita con l'equazione:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left( m \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^{0,5}$$

dove  $\sigma_1'$  e  $\sigma_3'$  sono rispettivamente la maggiore e minore tensione efficace a rottura principale,  $\sigma_{ci}$  è la resistenza alla compressione uniassiale del materiale roccioso intatto e m ed s sono costanti del materiale, dove s = 1 per la roccia intatta.

Una relazione esatta tra l'equazione e le tensioni a rottura normali e tangenziali è stata ottenuta da J. W. Bray e successivamente da Ucar e Londe.

Hoek ha discusso la derivazione di angoli di attrito equivalenti e forze coesive per varie situazioni pratiche. Queste derivazioni si basavano sulle tangenti all'involuppo di Mohr ottenuto da Bray. Hoek ha suggerito che la forza coesiva determinata inserendo una tangente all'involuppo curvilineo di Mohr è un valore limite superiore e può dare risultati ottimistici nei calcoli di stabilità. Di conseguenza, un valore medio, determinato dall'inserimento di una relazione lineare di Mohr-Coulomb con il metodo dei minimi quadrati, potrebbe essere più appropriato. In questo lavoro Hoek ha introdotto anche il concetto del Criterio Generalizzato di Hoek-Brown nel quale la forma del piano della tensione principale o dell'involuppo di Mohr poteva essere modificata per mezzo di un coefficiente variabile a in luogo del termine della radice quadrata nell'equazione di cui sopra.

Hoek e Brown hanno cercato di consolidare tutti i precedenti miglioramenti in una presentazione completa del criterio di rottura e hanno dato un certo numero di esempi concreti per illustrare la sua applicazione pratica.

In aggiunta ai cambiamenti nelle equazioni, è stato anche riconosciuto che la classificazione dell'ammasso roccioso di Bieniawski non era più adeguata come veicolo di relazione tra il criterio di rottura e le osservazioni geologiche nel settore, in particolare per gli ammassi rocciosi molto deboli. Ciò ha comportato l'introduzione dell'indice GSI di Hoek, Wood e Shah, Hoek e Hoek, Kaiser e Bawden. Questo indice fu successivamente esteso per gli ammassi rocciosi deboli in una serie di articoli da Hoek, Marinos e Benissi, Hoek e Marinos e Marinos e Hoek.

Il Criterio Generalizzato di Hoek-Brown è espresso come

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

dove  $m_b$  è un valore ridotto della costante del materiale  $m_i$  ed è dato da

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

s ed a sono costanti per l'ammasso roccioso date dalle seguenti relazioni:

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

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

D è un fattore che dipende dal grado di disturbo a cui la massa rocciosa è sottoposta dal danneggiamento dell'esplosione e dal rilassamento della tensione. Esso varia da 0 per masse rocciose in situ indisturbate a 1 per masse rocciose molto disturbate.

GSI (Geological Strength Index), che deriva da quello RMR (Rock Mass Rating) attraverso la relazione:

$$GSI = URMR - 5$$

Essendo URMR = RMR calcolato con R5 = 15 e R6 = 0

La resistenza alla compressione uniassiale è ottenuta fissando

$$\sigma_3' = 0$$

$$\sigma_c = \sigma_{ci} \cdot S^a$$

e, la resistenza a trazione è data da:

$$\sigma_t = \frac{S \sigma_{ci}}{m_b}$$

Quest'ultima equazione è stata ottenuta impostando

$$\sigma_1' = \sigma_3' = \sigma_t$$

nell'equazione precedente del criterio generalizzato. Questa rappresenta una condizione di tensione biassiale. Hoek ha dimostrato che, per materiali fragili, la resistenza a trazione uniassiale è uguale alla resistenza a trazione biassiale.

Si noti che il 'passaggio' a GSI = 25 per i coefficienti  $s$  e  $a$  è stato eliminato nelle equazioni che danno transizioni continue uniformi per l'intera gamma dei valori di GSI. I valori numerici di  $a$  ed  $s$ , dati da queste equazioni, sono molto simili a quelli dati dalle precedenti equazioni.

Le tensioni normali e tangenziali sono correlate alle tensioni principali attraverso le equazioni pubblicate da Balmer.

$$\sigma_n' = \frac{\sigma_1' + \sigma_3'}{2} - \frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{2} \cdot \frac{\frac{d\sigma_1'}{d\sigma_3'} - 1}{\frac{d\sigma_1'}{d\sigma_3'} + 1}$$

$$\tau = \sigma_1' - \sigma_3' \cdot \frac{\sqrt{\frac{d\sigma_1'}{d\sigma_3'}}}{\frac{d\sigma_1'}{d\sigma_3'} + 1}$$

$$\frac{d\sigma_1'}{d\sigma_3'} = 1 + a m_b \left( \frac{m_b \sigma_3'}{\sigma_{ci} + s} \right)^{a-1}$$

Il modulo di deformazione dell'ammasso roccioso è dato da:

$$E_m \text{ (GPa)} = \left( 1 - \frac{D}{2} \right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} \cdot 10^{[(GSI-10)/40]}$$

L'equazione è valida per

$$\sigma_{ci} \leq 100 \text{ MPa}$$

Nel caso di  $\sigma_{ci} > 100 \text{ MPa}$

si adotta la seguente equazione

$$E_m \text{ (GPa)} = \left( 1 - \frac{D}{2} \right) \cdot 10^{[(GSI-10)/40]}$$

Il fattore D consente di tener conto degli effetti dei danni provocati dalle esplosioni e del conseguente rilassamento della tensione.

Resistenza a compressione dell'ammasso roccioso

La resistenza d'ammasso è ottenibile dalle relazioni:

$$\sigma_c = \sigma_{ci} * s^a$$

$$\sigma_{cm} = \sigma_{ci} \cdot \frac{(m_b + 4s - a(m_b - 8s))(m_b / 4 + s)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)}$$

ove:

$\sigma_c$  = resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso roccioso ottenuta dal criterio di rottura di Hoek-Brown ( $\sigma_1$  per  $\sigma_3=0$ );

$\sigma_{cm}$  = resistenza a compressione globale dell'ammasso roccioso.

La  $\sigma_{cm}$  esprime il comportamento globale di un ammasso roccioso in condizioni di scarso confinamento; le dimensioni della zona soggetta a tali condizioni risultano nella realtà pratica superiori a quelle della zona localizzata in cui si ha effettivamente  $\sigma_3=0$ , per cui nell'insieme la resistenza ( $\sigma_{cm}$ ) risulta maggiore a quella limite ( $\sigma_c$ ).

Coesione, angolo di resistenza al taglio e dilatanza dell'ammasso roccioso

I valori dell'angolo di resistenza al taglio " $\phi$ " e della coesione " $c$ " che esprimono la resistenza del materiale secondo il criterio di rottura lineare di Mohr-Coulomb sono espressi attraverso le seguenti relazioni suggerite dall'Autore:

$$\phi = \text{sen}^{-1} \left[ \frac{6am_b(s + m_b\sigma_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s + m_b\sigma_{3n})^{a-1}} \right]$$

$$c = \frac{\sigma_{ci} [(1+2a)s + (1-a)m_b\sigma_{3n}](s + m_b\sigma_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + \frac{6am_b(s + m_b\sigma_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a)}}}$$

ove:

$$\sigma_{3n} = \sigma_{3max} / \sigma_{ci}$$

$$\sigma_{3max} = \sigma_{cm} \cdot 0.47 \left( \frac{\sigma_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.94} \quad (H = \text{profondità})$$

La dilatanza " $\alpha$ " è ricavabile dalla correlazione empirica suggerita dagli Autori:

$$\alpha = \phi / K$$

Per ammassi rocciosi quali quello in oggetto il coefficiente K può essere assunto pari a 8.

Modulo di Deformazione

Il valore del Modulo di deformazione dell'ammasso roccioso è ottenibile tramite la relazione:

$$E_D = \left( 1 - \frac{D}{2} \right) \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} \cdot 10^{\left( \frac{GSI-10}{40} \right)} \quad [\text{GPa}]$$

Dal valore di  $RMR_{base}$  si derivano i parametri caratteristici dell'ammasso, che secondo Bieniawsky assumono il valore:

- coesione di picco  $c_p(kPa) = 5 \cdot RMR_b$
- angolo di attrito di picco  $\phi_p = 0,5 \cdot RMR_b + 5$
- modulo di deformazione  $E(GPa) = 2 \cdot RMR_b - 100$

I valori della coesione residua e dell'angolo di attrito residuo si ricavano introducendo nelle formule sopra indicate un valore di  $RMR_b$  modificato secondo la:

$$RMR_b = RMR_{b,orig} - [0,2 \cdot RMR_{b,orig}] \quad (\text{Priest, 1983})$$

La formula di E è però da considerare valida per valori di RMR superiori di 50, mentre per valori inferiori si utilizza la formula di SERAFIM & PEREIRA (1983):

$$E(GPa) = 10^{(RMR_b - 10/40)}$$

Il valore di GSI (*Geological Strength Index*) viene ricavato dalla:

$$GSI = RMR - 5$$

dove RMR viene calcolato tenendo conto dei punteggi assegnati ai primi quattro parametri e assumendo condizioni idrauliche asciutte ( $A5 = 15$ ). Tale relazione è da ritenersi valida per  $RMR > 23$ .

Per i valori di resistenza alla compressione monoassiale si fa riferimento alle prove Point Load Test (PLT) effettuate su campioni di roccia, designate con le sigle Campioni "A", "C", "D" ed "F".

Per ciascuna famiglia di campioni sono state effettuate N° 10 determinazioni di PLT.

Per l'Unità litotecnica SR (Scaglia Rossa) si hanno i risultati esposti in Tabella 9.2.

Tabella 9.2 – Prove Point Load Test per l'Unità SR

UNITA' LITOTECNICA SR (Scaglia Rossa)								
CAMPIONI	Indice di resistenza alla punta	Resistenza a Compressione monoassiale	CAMPIONI	Indice di resistenza alla punta	Resistenza a Compressione monoassiale	CAMPIONI	Indice di resistenza alla punta	Resistenza a Compressione monoassiale
	Mpa	Mpa		Mpa	Mpa		Mpa	Mpa
	Is50			Is50			Is50	
A	2,207	53,85	C	6,152	122,31	F	3,933	79,97
	3,416	80,27		3,900	81,42		2,275	53,05
	2,563	50,49		4,488	80,71		2,012	43,08
	3,930	69,24		5,465	100,74		3,255	59,12
	3,295	60,74		3,030	79,95		3,162	59,15
	2,244	56,58		3,099	70,30		3,101	57,45
	5,794	117,29		4,361	79,61		5,933	109,90
	3,673	73,70		3,731	77,89		2,668	60,51
	4,293	83,41		4,275	86,92		4,360	102,04
	4,273	84,56		3,833	71,90		4,159	93,58
VALORE MEDIO =	73,01			85,18			71,79	

Per l'Unità litotecnica SV (Scaglia variegata) si hanno i risultati esposti in Tabella 9.3.

Tabella 9.3 – Prove Point Load Test per l'Unità SV

UNITA' LITOTECNICA SV (Scaglia Variegata)		
CAMPIONI	Indice di resistenza alla punta	Resistenza a Compressione monossiale
	Mpa	Mpa
	<i>Is50</i>	
D	1,490	30,16
	4,484	90,35
	4,616	96,36
	6,654	130,49
	3,072	65,23
	3,929	80,24
	3,498	68,59
	3,868	80,05
	5,252	103,94
	4,936	100,37
		<b>84,58</b>

Per ciascuna delle 23 stazioni di rilievo geostrutturale sono stati calcolati i valori RMR do Bieniawski ed i parametri di Hoek-Brown, in cui i valori di "m<sub>i</sub>" suggeriti da Hoek sono stati desunti dalla Tabella 9.4.

Tabella 9.4 – Valori di m<sub>i</sub>

ROCCE SEDIMENTARIE			
	Roccia	m <sub>i</sub>	±
1	Conglomerato	21	3
2	Arenaria	17	4
3	Siltite	7	2
4	Argillite	4	2
5	Argilloscisto	6	2
6	Chalk	7	2
7	Breccia	20	2
8	Calcere cristallino	12	3
9	Calcere sparitico	10	5
10	Calcere micritico	8	3
11	Dolomia	9	3
12	Marna	7	2
13	Gesso	10	2
14	Anidride	12	2
15	Granito	32	3
16	Granodiorite	29	3
17	Diorite	25	5
18	Gabbro	27	3
19	Norite	20	5
20	Dolerite	16	5
21	Riolite	25	5
22	Dacite	25	3
23	Peridotite	25	5
24	Porfirite	20	5
25	Andesite	25	5
26	Basalto	25	5
27	Diabase	15	5
28	Ossidiana	19	3
29	Marmo	9	3
30	Cornubianite	19	4
31	Metaquarzite	20	3
32	Quarzite	20	3
33	Migmatite	29	3
34	Anfibolite	26	6
35	Gneiss	28	5
36	Scisti argillosi	7	4
37	Scisti	10	3
38	Filladi	7	3

Analogamente la valutazione del fattore "D" che descrive lo stato di "disturbo" dell'ammasso roccioso viene ricavato dai valori della Tabella 9.5, in cui sono distinti le applicazioni per gallerie e per versanti.

Tabella 9.5 – Valori di "D"

APPLICAZIONE	CONDIZIONI DELL'AMMASSO	D
Gallerie	Scavo con esplosivo con microritardi o scavo con TBM	0
Gallerie	Scavo meccanizzato in ammassi di scarsa qualità senza uso di esplosivo	0
Gallerie	Idem in presenza di rocce spingenti o rigonfienti	0,5
Gallerie	Utilizzo di esplosivo non controllato in rocce ompetenti	0,8
Versanti	Taglio di scarpate per opere di ingegneria civile (ad esempio strade, imposte di dighe) con uso di esplosivo con cariche controllate	0,7
Versanti	Taglio di scarpate per opere di ingegneria civile (ad esempio strade, imposte di dighe) con uso di esplosivo con cariche non controllate o con uso di scavo meccanizzato	1
Versanti	Cave o lavori minerari a cielo aperto con coltivazione con uso di esplosivo	1
Versanti	Cave o lavori minerari a cielo aperto con coltivazione a scavo meccanizzato	0,7
Versanti	Scarpate naturali non disturbate da faglie o zone di taglio	0

Alla fine per ogni stazione di rilievo sono state elaborate delle schede sintetiche in cui sono riportati i dati salienti secondo le classificazioni di Bieniawski ed Hoek & Brawn, di cui nelle Tabelle 9.6 e 9.7 si riporta l'esempio per la stazione SS.1.

Tabella 9.6 – SS.1 - Parametri di Bieniawski

LOCALITA'			
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500			
STAZIONE RILIEVO		SS.1	
SCAGLIA VARIEGATA			
BIENIAWSKI			
R1 = Resistenza a compressione monoassiale			7,81
R2 = R.Q.D.			0,09
R3 = Spaziatura delle discontinuità			12,64
R4 = Condizione dei giunti			31,50
R5 = Condizioni acqua			15
R6 = Indice di correzione			25
	RMR <sub>base</sub> =		67,04
	RMR <sub>corretto</sub> =		42,04
GSI			39,2
Angolo di attrito interno	(°)	φ' =	38,52
Coesione	MPa	c' =	0,34
Modulo di elasticità	MPa	E =	34.076,55

Tabella 9.7 – SS.1 - Parametri di Hoek & Brown

HOEK & BROWN			
Resistenza a compressione monoassiale roccia intatta	Mpa	$\sigma_{cl} =$	80,0
Fattore disturbo		D =	0,5
Parametro roccia		$m_i =$	7,0
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX		GSI =	39,2
Peso di volume	kN/m <sup>3</sup>	$\gamma$	0,03
Altezza del pendio	m	H	15,00
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	52,89
Coesione	MPa	$c' =$	0,20
Modulo di elasticità	MPa	E =	3.608,38

Le 23 schede di calcolo sono riportate in Allegato "A".

## 11 DEFINIZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI

La definizione dei *parametri geotecnici caratteristici* viene effettuata per le unità di seguito elencate, tenendo conto di tutte le indagini geotecniche effettuate in situ ed in laboratorio, espone nel precedente capitolo. A ciascuna unità litotecnica verranno assegnati i parametri geotecnici caratteristici, da considerare giustamente cautelativi.

### a) Unità Litotecnica DT (Detrito)

Sebbene le coperture detritiche non verranno direttamente interessate dalle opere in progetto, in quanto nella maggior parte dei casi verranno asportate, tuttavia in mancanza di prove geotecniche sui suddetti litotipi si ritiene di poter indicare dei parametri caratteristici medi da considerare giustamente cautelativi:

Peso di volume	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	19,00
Angolo di attrito interno	$\varphi'$	(°)	30°
Coesione	C'	kPa	0
Modulo elastico	E	MPa	12,00

### b) Unità Litotecnica DA1 (Depositi Alluvionali)

Per i parametri di taglio dall'elaborazione dei valori N1(60) ricavati dalle prove SPT risulta un angolo di attrito medio

$$\varphi' = 32^\circ$$

Dall'elaborazione ed interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche DPSH risultano i seguenti valori medi:

Prova	PP.1	PP.2	PP.3	PP.4	PP.5	PP.6
Angolo di attrito medio	30,4	29,5	31,43	30,32	30,09	30,64

Il modulo elastico E dalle prove Nspt risulta compreso nel seguente range:

$$E = 85 \div 144 \text{ Kg/cm}^2$$

I suddetti valori sono alquanto sottostimati, giacchè i valori di N(60) necessari al calcolo avrebbero dovuto essere corretti per la granulometria con il coefficiente correttivo  $C_{sg}$  di TOKIMATSUE & YOSHIMI

$$C_{sg} = - 0,2049 \cdot \ln(D_{50}) + 0,712$$

Il valore di E viene anche calcolato per sabbie e ghiaie con la relazione proposta in ASSHTO (1997)

$$E = 1,2 \cdot N1(60)$$

Dalla quale si ottengono seguenti i valori

N1(60)	E (Mpa)	E (Kg/cm <sup>2</sup> )
11,34	13,608	138,76
9,21	11,052	112,70
15,59	18,708	190,77
5,67	6,804	69,38
16,07	19,284	196,64

Dalle correlazioni tra prove penetrometriche ed i valori di N1(60) risulta il seguente campo di variabilità del modulo elastico E:

$$91,35 < E < 121,38 \text{ Kg/cm}^2$$

Si ritiene di poter affidare alla suddetta unità litotecnica i seguenti parametri geotecnici

Peso di volume	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	20,00
Angolo di attrito interno	$\phi'$	(°)	32°
Coesione	C'	kPa	0
Modulo elastico	E	MPa	15,00

c) Unità Litotecnica DA2 (Depositi Alluvionali – Facies limoso-argillosa)

Per questa unità si dispone di analisi geotecniche di laboratorio su 3 campioni ed una prova SPT da cui si ricavano i seguenti dati:

- Dalla prova SPT risulta un valore medio della resistenza al taglio in termini di sforzi totali:

$$C_u = 0,451 \text{ Kg/cm}^2$$

- Dalle analisi geotecniche di laboratorio risultano i seguenti valori (i diagrammi delle prove di Taglio Diretto sono stati elaborati e visualizzati nelle Figure 10.1 e 10.2)

- Peso di volume  $\gamma = 19,6 \div 20,4 \text{ kN/m}^3$

- Parametri di taglio (sforzi efficaci)

Coesione  $C' = 20^\circ \div 22^\circ$

Angolo di attrito interno  $\phi' = 25^\circ \div 28^\circ$

- Parametri di taglio (sforzi totali)

Coesione non drenata  $C_u = 1,01 \text{ Kg/cm}^2$

Figura 10.1 – Prova di TD - Sondaggio S.1 Campione CR1 (m 11,20 – 11,70)

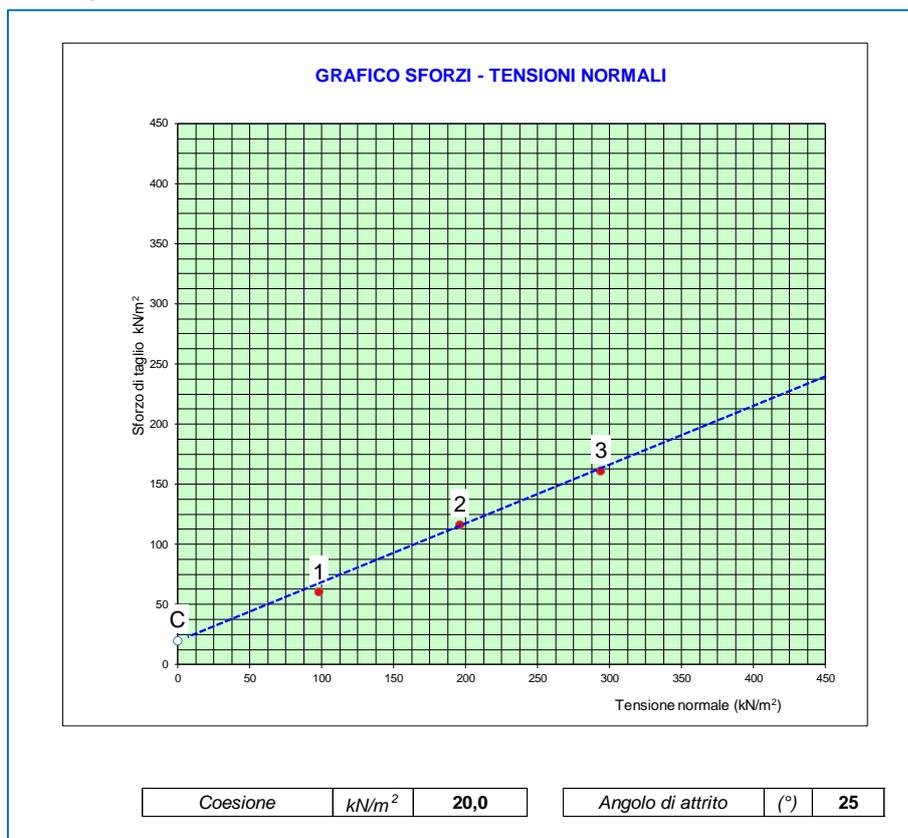
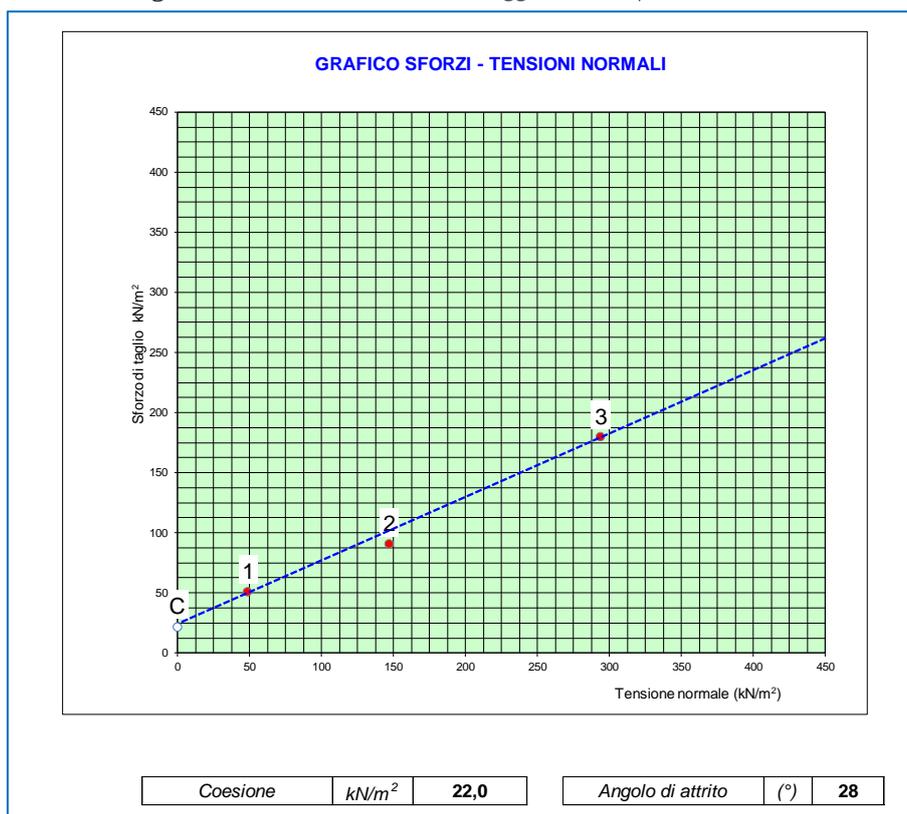


Figura 10.3 – Prova di TD - Sondaggio S.3 Campione C11 (m 2,00 – 2,50)



Alla suddetta unità di possono affidare i seguenti parametri geotecnici caratteristici

Peso di volume	$\gamma$	$kN/m^3$	20,00
Angolo di attrito interno	$\varphi'$	(°)	25°
Coesione efficace	$C'$	kPa	20
Coesione totale	$C_u$	kPa	50
Modulo elastico	$E$	MPa	5,00

d) Unità litotecnica CO (Conoidi)

Poiché le caratteristiche litologiche e granulometriche non sono distinguibili da quelle dei depositi alluvionali a questa unità litotecnica si possono attribuire gli stessi parametri geotecnici caratteristici dei depositi alluvionali, qui di seguito richiamati.

Peso di volume	$\gamma$	$kN/m^3$	20,00
Angolo di attrito interno	$\varphi'$	(°)	32°
Coesione	$C'$	kPa	0
Modulo elastico	$E$	MPa	15,00

e) *Unità Litotecnica SV (Scaglia Variiegata)*

Sulla scorta delle determinazioni ed interpretazioni geomeccaniche, basate sia sui rilievi geostrutturali che sulle prove Point Load Test, alla suddetta unità litotecnica si possono affidare i seguenti *parametri geotecnici caratteristici*.

**UNITA' LITOTECNICA SV – Scaglia variegata**

Peso di volume	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	=	26,0	
Resistenza alla compressione uniassiale	$\sigma_c$	MPa	=	80,0	÷ 84,0
GSI	-		=	30	÷ 40
Angolo di attrito interno	$\phi$	(°)	=	40	÷ 45
Coesione efficace	$C'$	MPa	=	0,20	÷ 0,40
RMR	-		=	60	÷ 85
RMR <sub>corretto</sub>	-		=	45	÷ 55
Modulo elastico	$E$	GPa	=	10,0	÷ 15,0

f) *Unità Litotecnica SR (Scaglia Rossa)*

Anche per questa unità litotecnica i *parametri geotecnici caratteristici* vengono individuati dalla base dei rilievi geostrutturali e delle prove Point Load Test..

**SCAGLIA ROSSA SR – Scaglia rossa**

Peso di volume	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	=	26,0	
Resistenza alla compressione uniassiale	$\sigma_c$	MPa	=	72,0	÷ 76,0
GSI	-		=	27	÷ 34
Angolo di attrito interno	$\phi$	(°)	=	32	÷ 38
Coesione efficace	$C'$	MPa	=	0,15	÷ 0,25
RMR	-		=	57	÷ 62
RMR <sub>corretto</sub>	-		=	30	÷ 35
Modulo elastico	$E$	GPa	=	2,0	÷ 5,0

## 12 VERIFICHE DI STABILITA'

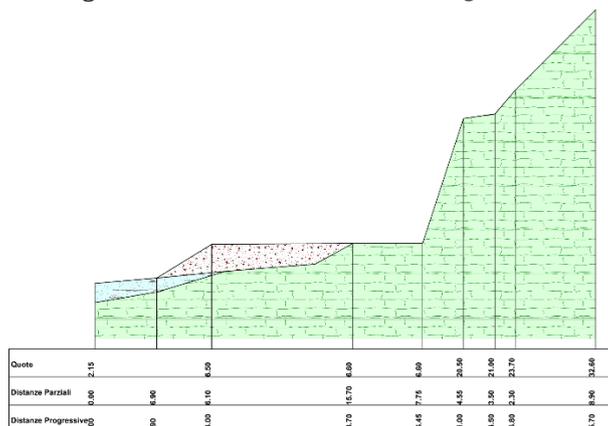
Le verifiche delle condizioni di equilibrio vengono eseguite per le sezioni in cui la risagomatura del versante prevede uno scavo con modifica delle naturali condizioni.

Tra tutte le sezioni di progetto analizzate sono state scelte quelle in condizioni più critiche, nelle quali è prevista la risagomatura del versante a monte della strada per altezze anche notevoli.

Le sezioni analizzate sono di seguito descritte.

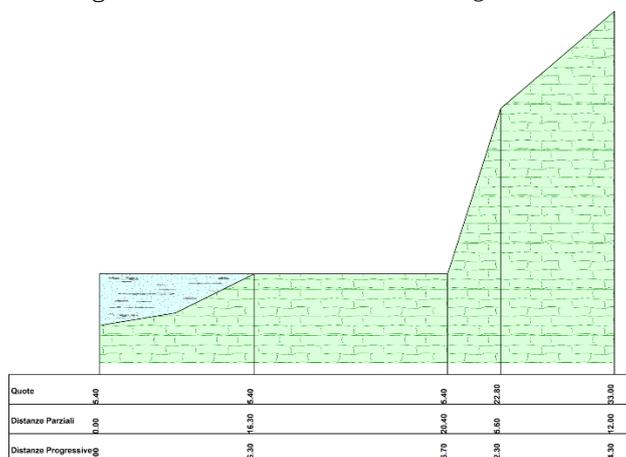
- a) Progressiva Km 0+300, in cui è prevista una risagomatura del versante per un'altezza di circa m 13; nella Figura 11.1 è visualizzato il modello geotecnico assunto alla base dei calcoli di verifica di stabilità.

Figura 11.1 – Modello Geotecnico Progr. 0+300



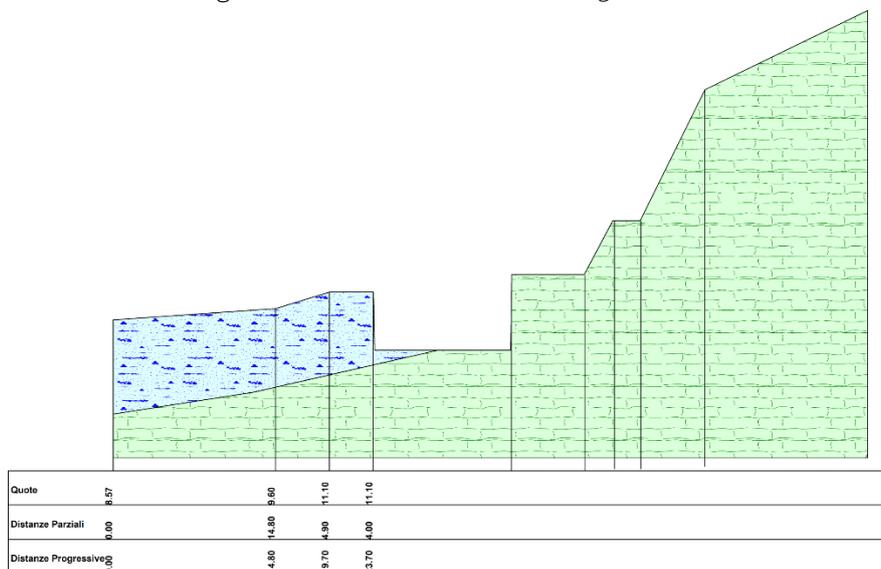
- b) Progressiva Km 0+320, in cui risagomatura del versante ha un'altezza di circa m 18; nella Figura 11.2 è visualizzato il modello geotecnico assunto alla base dei calcoli di verifica di stabilità.

Figura 11.2 – Modello Geotecnico Progr. 0+320



- c) Progressiva Km 0+960, in cui risagomatura del versante ha un'altezza di circa m 19; nella Figura11. 3 è visualizzato il modello geotecnico assunto alla base dei calcoli di verifica di stabilità.

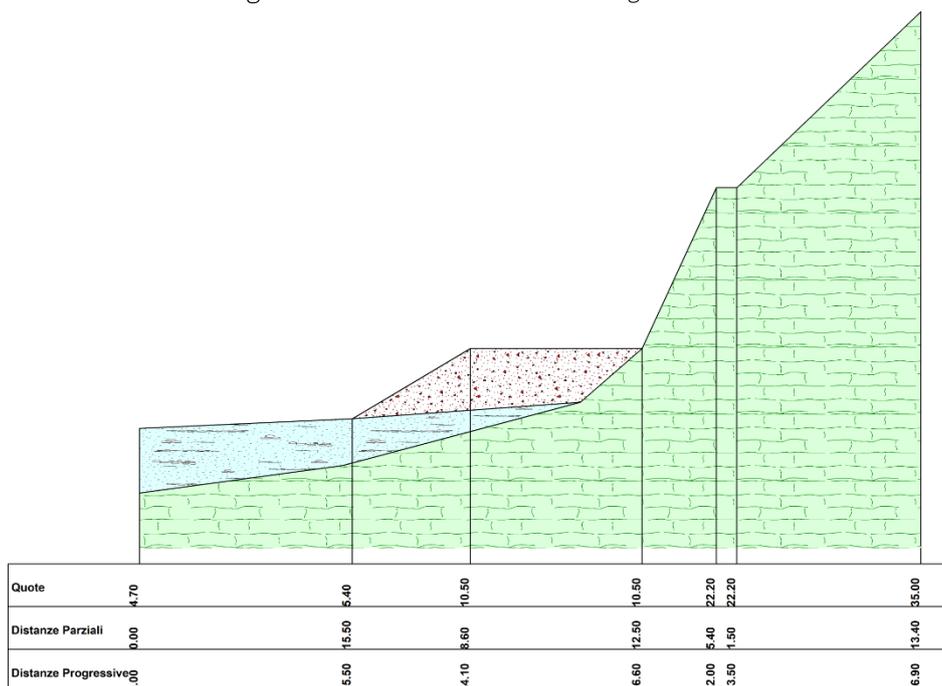
Figura 11.3 – Modello Geotecnico Progr. 0+ 960



8

- d) Progressiva Km 1+580, il versante ha un'altezza di circa m 16; nella Figura11. 4 è visualizzato il modello geotecnico assunto alla base dei calcoli di verifica di stabilità.

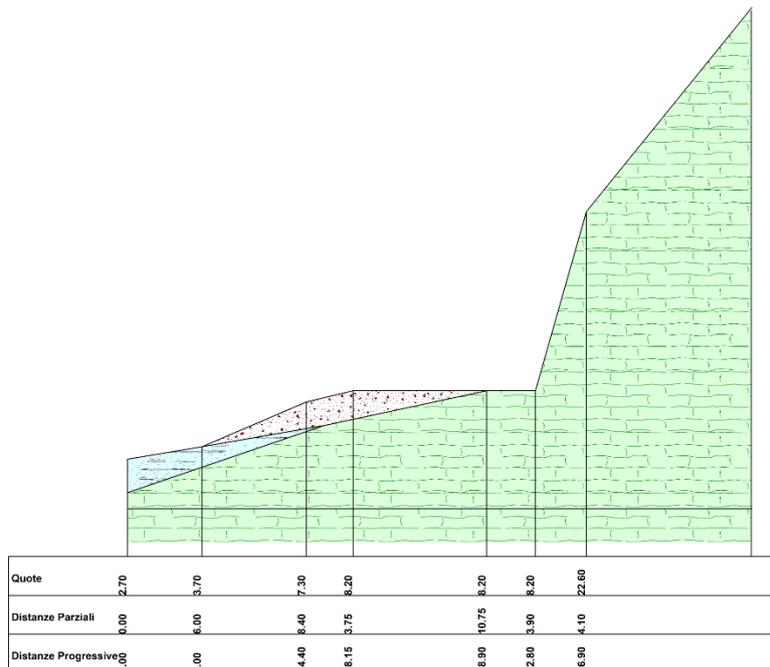
Figura 11.4 – Modello Geotecnico Progr. 1+ 580



8

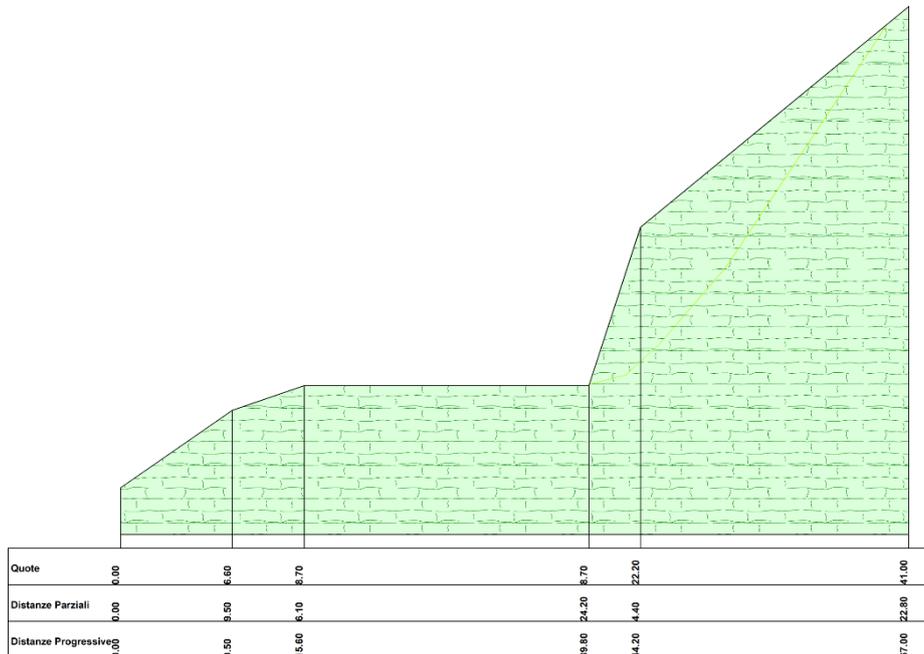
- e) Progressiva Km 1+840, il versante ha un'altezza di circa m 16; nella Figura 11. 5 è visualizzato il modello geotecnico assunto alla base dei calcoli di verifica di stabilità.

Figura 11.5 – Modello Geotecnico Progr. 1+ 840



- f) Progressiva Km 2+020, il versante ha un'altezza di circa m 16; nella Figura 11. 6 è visualizzato il modello geotecnico assunto alla base dei calcoli di verifica di stabilità.

Figura 11.6 – Modello Geotecnico Progr. 2+ 020



Per le verifiche è stato adoperato il programma "Slope" della Geostru Software (versione 2022.30.6.1489), che consente di verificare pendii in terra ed in roccia con molteplici metodi di calcolo, la cui descrizione dettagliata è riportata in "Allegato C".

Nel suddetto programma, in ambiente WINDOWS 10, l'input dei dati è il seguente:

- *profilo del pendio*: viene assegnato mediante una poligonale, introducendo le coordinate di ciascuno dei segmenti che la compone, o importando il file direttamente da Autocad;
- *discontinuità litologiche (strati)*: vengono anch'esse assegnate come poligonali che definiscono il tetto di ciascuno strato;
- *profilo della falda*: il programma prevede l'introduzione di più di una falda idrica, mediante l'inserimento delle coordinate di ciascuna poligonale che ne individua la superficie; è possibile inserire anche il valore di una o più piezometriche;
- *caratteristiche geotecniche*: vengono inseriti, per ciascun litotipo, il peso di volume, la coesione sia in termini di tensioni efficaci che totali; può essere inserito, oltre al valore di picco, anche il valore residuo; l'angolo di attrito di picco e residuo;
- *superfici di scorrimento*: il programma può analizzare superfici di scorrimento circolari o di forma qualunque; le superfici di scorrimento circolari possono essere assegnate con le seguenti opzioni:
  - random, assegnando una maglia di centri;
  - passanti per un punto, assegnando una maglia di centri;
  - passanti per due punti, assegnando una maglia di centri;
  - tangenti ad una retta, assegnando una maglia di centri;
  - random, assegnando un intervallo di ascisse ed ordinate sia a valle che a monte.
- *metodi di calcolo*: vengono offerte le seguenti opzioni:
  - a) FELLENIUS: consente di analizzare superfici di rottura circolare in ambiente sia statico che dinamico;
  - b) JAMBU: consente di analizzare superfici di rottura circolare o di forma qualunque, in ambiente sia statico che dinamico;
  - c) BISHOP: consente di analizzare superfici di rottura circolare, in ambiente sia statico che dinamico;
  - d) SARMA: consente di analizzare superfici di rottura circolare o di forma qualunque, in ambiente sia statico che dinamico;
  - e) MORGERNSTERN & PRICE: consente di analizzare superfici di rottura circolare, in ambiente sia statico che dinamico;
  - f) SPENCER: consente di analizzare superfici di rottura circolare, in ambiente sia statico che dinamico;
  - g) BELL
  - h) ZENG LIANG
  - i) ELEMENTI DISCRETI: consente di analizzare superfici di rottura circolare o di forma qualunque, in ambiente sia statico che dinamico;
- *sisma*: può essere inserito il coefficiente sismico sia orizzontale che verticale, con riferimento alle seguenti normative:
  - DM 88/96
  - Eurocodice 7/8
  - NTC 2008
  - NTC 2018
  - British Standard
  - O.P.C.M. 3274
  - Opzione utente (personalizzabile o in condizioni statiche)

- *sovraccarichi*: è previsto l'inserimento di sovraccarichi sia puntuali che distribuiti, di cui vengono richiesti la forza verticale e le ascisse che ne delimitano l'applicazione sul pendio;
- *conci*: è possibile scegliere un numero di conci compreso tra 1 e 50;
- *opere di stabilizzazione*: è prevista l'introduzione delle seguenti opere:
  - a) *tiranti di ancoraggio*, per ciascuno dei quali vengono richieste la lunghezza ed il diametro della parte libera, la lunghezza ed il diametro del bulbo, il punto di applicazione nel pendio e la forza applicata;
  - b) *muri di contenimento*, per ciascuno dei quali vengono richieste la geometria e la resistenza al taglio del calcestruzzo;
  - c) *pali e micropali e paratie*, per ciascuno dei quali vengono richiesti il diametro, la lunghezza e la resistenza al taglio del calcestruzzo o dell'armatura;
  - d) *terre rinforzate*, per le quali vengono richieste le caratteristiche delle geogriglie di rinforzo e la relativa geometria.

L'aspetto più importante del suddetto programma, che lo rende particolarmente versatile, è dato dalla possibilità di inserire un file di testo contenente tutti i parametri sismici necessari, scaricabile da un apposito sito (Geoapp) della Geostru, nel quale si inseriscono i seguenti dati:

- coordinate geografiche (anche ricavabili da Google Earth) o la denominazione esatta del sito
- la Classe dell'opera (I, II, III o IV)
- la Vita Nominale VN
- la normativa (NTC2008 o NTC2018)
- il tipo di opera (pendio naturale, muro, paratia, fronti di scavo e rilevati)
- la categoria del suolo (A, B, C, D, E)
- la categoria topografica (T1, T2, T3 e T4)

Quindi è possibile esportare un file di testo, come quello di seguito esposto come esempio, in cui sono riportati tutti i parametri sismici per tutti gli Stati limiti (SLO, SLD, SLV ed SLC), nonché i vertici (con valori di Lat. e Long.) del reticolo sismico nazionale entro cui ricade il sito in studio:

File di testo esportabile dal sito Geoapp della Geostru:

**Sito in esame.**

latitudine: 42,746143  
longitudine: 12,840551  
Classe: 4  
Vita nominale: 100

**Siti di riferimento**

Sito 1	ID: 24743	Lat: 42,7329	Lon: 12,8094	Distanza: 2940,862
Sito 2	ID: 24744	Lat: 42,7333	Lon: 12,8775	Distanza: 3335,888
Sito 3	ID: 24522	Lat: 42,7833	Lon: 12,8770	Distanza: 5088,281
Sito 4	ID: 24521	Lat: 42,7829	Lon: 12,8088	Distanza: 4838,458

**Parametri sismici**

Categoria sottosuolo: B  
Categoria topografica: T2  
Periodo di riferimento: 200 anni  
Coefficiente cu: 2

Operatività (SLO):  
Probabilità di superamento: 81 %  
Tr: 120 [anni]  
ag: 0,142 g  
Fo: 2,324  
Tc\*: 0,291 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %  
 Tr: 201 [anni]  
 ag: 0,176 g  
 Fo: 2,315  
 Tc\*: 0,305 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):  
 Probabilità di superamento: 10 %  
 Tr: 1898 [anni]  
 ag: 0,387 g  
 Fo: 2,380  
 Tc\*: 0,351 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):  
 Probabilità di superamento: 5 %  
 Tr: 2475 [anni]  
 ag: 0,421 g  
 Fo: 2,390  
 Tc\*: 0,355 [s]

Coefficienti Sismici Fronti di scavo e rilevati

SLO:

Ss: 1,200  
 Cc: 1,410  
 St: 1,200  
 Kh: 0,000  
 Kv: 0,000  
 Amax: 2,011  
 Beta: 0,000

SLD:

Ss: 1,200  
 Cc: 1,400  
 St: 1,200  
 Kh: 0,119  
 Kv: 0,060  
 Amax: 2,484  
 Beta: 0,470

SLV:

Ss: 1,030  
 Cc: 1,360  
 St: 1,200  
 Kh: 0,182  
 Kv: 0,091  
 Amax: 4,686  
 Beta: 0,380

SLC:

Ss: 1,000  
 Cc: 1,350  
 St: 1,200  
 Kh: 0,000  
 Kv: 0,000  
 Amax: 4,951  
 Beta: 0,000

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

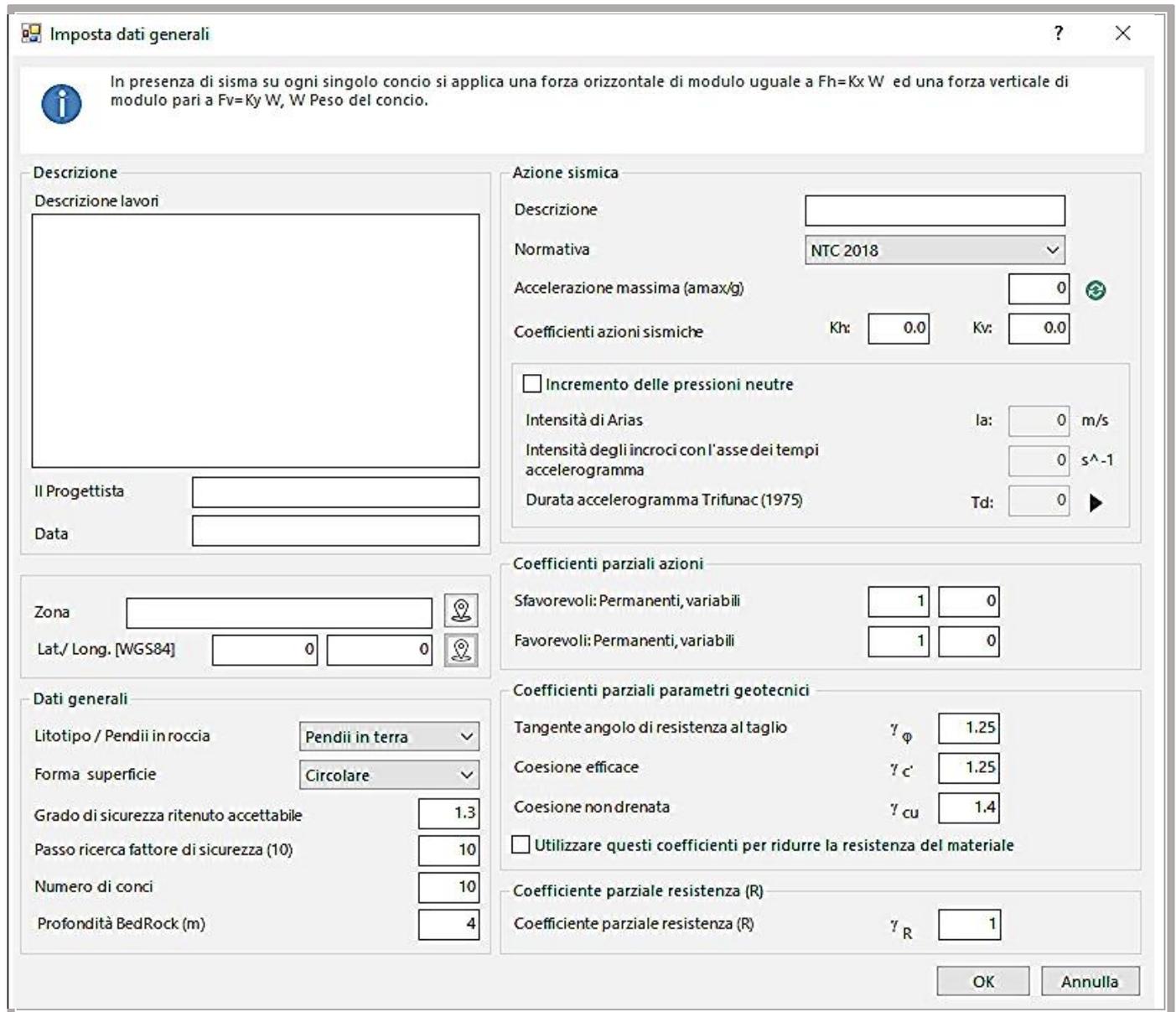
Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 42.745175  
 longitudine: 12.839620

I dati di input del programma Slope (cfr. Figura 11.7) sono i seguenti:

Figura 11.7 – Finestra di input dati generali del programma Slope



**Imposta dati generali**

In presenza di sisma su ogni singolo concio si applica una forza orizzontale di modulo uguale a  $F_h = K_x W$  ed una forza verticale di modulo pari a  $F_v = K_y W$ ,  $W$  Peso del concio.

**Descrizione**  
 Descrizione lavori  
 Il Progettista  
 Data

**Azione sismica**  
 Descrizione  
 Normativa: NTC 2018  
 Accelerazione massima ( $a_{max}/g$ ): 0  
 Coefficienti azioni sismiche:  $K_h$ : 0.0,  $K_v$ : 0.0  
 Incremento delle pressioni neutre  
 Intensità di Arias:  $I_a$ : 0 m/s  
 Intensità degli incroci con l'asse dei tempi accelerogramma: 0 s<sup>-1</sup>  
 Durata accelerogramma Trifunac (1975):  $T_d$ : 0 ▶

**Coefficienti parziali azioni**  
 Sfavorevoli: Permanenti, variabili: 1 0  
 Favorevoli: Permanenti, variabili: 1 0

**Coefficienti parziali parametri geotecnici**  
 Tangente angolo di resistenza al taglio:  $\gamma_\phi$ : 1.25  
 Coesione efficace:  $\gamma_{c'}$ : 1.25  
 Coesione non drenata:  $\gamma_{cu}$ : 1.4  
 Utilizzare questi coefficienti per ridurre la resistenza del materiale

**Coefficiente parziale resistenza (R)**  
 Coefficiente parziale resistenza (R):  $\gamma_R$ : 1

**Dati generali**  
 Litotipo / Pendii in roccia: Pendii in terra  
 Forma superficie: Circolare  
 Grado di sicurezza ritenuto accettabile: 1.3  
 Passo ricerca fattore di sicurezza (10): 10  
 Numero di concii: 10  
 Profondità BedRock (m): 4

Zona  
 Lat./ Long. [WGS84]: 0 0

OK Annulla

- dati generali (Progettista, data, descrizione del lavoro, zona, latitudine e longitudine)
- natura del pendio (pendio in terra o roccia)
- forma della superficie di scorrimento (circolare o spezzata)
- grado di sicurezza accettabile, definito dal professionista
- passo del fattore di sicurezza
- numero dei concii in cui scomporre la superficie di scorrimento
- profondità del bedrock
- tipo di normativa: Utente (personalizzabile nel caso di verifica in condizioni statiche), NTC2018, NTC2008, O.P.C.M. 3274, British Standard, EC7 – EC8
- accelerazione massima ( $A_{gmax}/g$ )
- coefficienti di azione sismica ( $K_h$  e  $K_v$ )
- incremento delle pressioni neutre
- coefficienti parziali azioni (favorevoli, sfavorevoli, permanenti o variabili)

- coefficienti di riduzione dei parametri geotecnici
- coefficiente parziale di resistenza  $\gamma_R$

In pratica le operazioni semplificate da effettuare sono le seguenti:

- importare il file di testo precedentemente scaricato dal sito Geoapp;
- scegliere lo stato limite cui sottoporre la verifica (SLV, etc.);
- spuntare la cesella relativa alla riduzione dei parametri geotecnici;
- inserire il valore del coefficiente parziale di resistenza  $\gamma_R$ .

Dopo aver inserito tutti i dati necessari (profilo topografico, strati, caratteristiche geotecniche, eventuali sovraccarichi ed opere, falda, etc.), aver scelto il metodo di calcolo (Bishop, Jambu, etc.), il metodo di calcolo, il tipo di superficie ed eventuali vincoli, il programma esegue il calcolo e fornisce il risultato finale del fattore di stabilità  $F_s$  già ridotto per il coefficiente  $\gamma_R$  precedentemente inserito. Il che significa che per garantire la stabilità è sufficiente un fattore di sicurezza  $F_s$  superiore a 1.

Il programma dà la possibilità di esportare il grafico sia come immagine che come file DXF, nonché di salvare il report di calcolo.

E' possibile visualizzare e stampare la superficie critica, un numero definito di superfici più critiche o tutte le superfici calcolate.

Per l'algoritmo di calcolo si rimanda all'Appendice "B".

Come già accennato in precedenza per valutare l'azione sismica secondo quanto stabilito dalla nuova normativa (NTC 2018) è necessario tenere conto delle condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera ed anche delle condizioni topografiche, poiché entrambi questi fattori concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su un sito rigido con superficie orizzontale.

Tali modifiche, in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, sono il risultato della risposta sismica locale. Si denomina "risposta sismica locale" l'azione sismica quale emerge in "superficie" a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite trasmettendosi dal substrato rigido.

Le verifiche di stabilità sono state effettuate con i coefficienti di sicurezza parziali nella combinazione

#### A2+M2+R2

con:

- A2 coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:
- carichi permanenti – effetto sfavorevole  $A_2 = 1,00$
- M2 coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno
- tangente dell'angolo di attrito  $g_{\tan\phi} = 1,25$
  - coesione efficace  $g_c = 1,25$
  - peso dell'unità di volume  $g_g = 1,00$
- R2 coefficiente per la resistenza globale del sistema
- $R_2 = 1,1 - 1,2$

Tutte le verifiche sono state effettuate applicando lo schema sintetico (dedotto dalle NTC 2028) di cui alla Tabella 11.1.

Tabella 11.1 – Condizioni di verifica secondo le NTC 2018

	VERIFICA	CONDIZIONI	APPROCCIO	PARAMETRI GEOTECNICI	$\gamma_{A2}$	$\gamma_{M2}$	$\gamma_{R2}$
<b>A)</b>	<b>PENDII NATURALI</b>	<b>SISMICHE</b>	<b>NESSUNO</b>	<b>CARATTERISTICI</b>	-	-	-
		<b>STATICHE</b>	<b>NESSUNO</b>	<b>CARATTERISTICI</b>	-	-	-
<b>B)</b>	<b>RILEVATI, FRONTI DI SCAVO</b>	<b>SISMICHE</b>	<b>A2+M2+R2</b>	<b>CARATTERISTICI</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1,2</b>
		<b>STATICHE</b>		<b>RIDOTTI</b>	<b>1</b>	<b>&gt;1</b>	<b>1,1</b>
<b>B)</b>	<b>OPERA LUNGO IL PENDIO</b>	<b>SISMICHE</b>	<b>A2+M2+R2</b>	<b>CARATTERISTICI</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1,2</b>
		<b>STATICHE</b>		<b>RIDOTTI</b>	<b>1</b>	<b>&gt;1</b>	<b>1,1</b>

Il valore del fattore di stabilità sarà ritenuto accettabile anche in relazione al grado di conoscenza del modello geologico e geotecnico e della finalità della verifica stessa.

Il programma prevede anche la verifica di versanti in roccia, per la quale viene adottato il metodo HOECK E BRAY.

Per i versanti in roccia, diversamente da quelli in terra, il criterio di rottura di Mohr-Coulomb non può essere impiegato per definire la resistenza del materiale; tuttavia con questo metodo viene adottata una procedura che consente l'applicazione dei metodi classici dell'Equilibrio Limite anche nei versanti rocciosi. A tale scopo vengono definiti l'angolo di resistenza a taglio e la coesione che si mobilitano lungo la superficie di scorrimento secondo le seguenti espressioni:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}\varphi &= AB \left( \frac{N}{\sigma_c} - T \right)^{B-1} \\ c &= A\sigma_c \left( \frac{N}{\sigma_c} - T \right)^B - N \operatorname{tg}\varphi \end{aligned}$$

dove:

$\sigma_c$  è la resistenza a compressione monassiale della roccia;

A, B, T costanti in funzione del litotipo e della qualità della roccia (cfr. Tabella 11.2);

N sforzo normale alla base del concio.

Le costanti A, B e T sono vengono determinate in funzione della classificazione della roccia secondo Bieniawski (indice RMR) e secondo Barton (indice Q). Tra i due sistemi di classificazione è stata trovata la seguente correlazione:

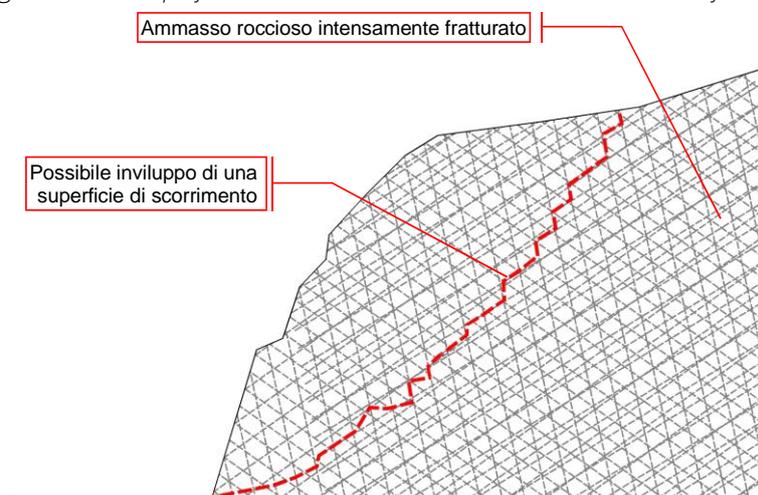
$$\text{RMR} = 9 \ln Q + 44$$

Tabella 11.2 – Valori delle costanti A, B, T

	Calcari	Argilliti	Areniti	Andesiti	Anfiboliti
	Dolomie	Siltiti	Quarziti	Basalti	Gneiss
	Marne	Scisti		Rioliti	Graniti
RMR = 100	A = 0.816	A = 0.918	A = 1.044	A = 1.086	A = 1.220
Q = 500	B = 0.658	B = 0.677	B = 0.692	B = 0.696	B = 0.705
	T = -0.140	T = -0.099	T = -0.067	T = -0.059	T = -0.040
RMR = 85	A = 0.651	A = 0.739	A = 0.848	A = 0.883	A = 0.998
Q = 100	B = 0.679	B = 0.692	B = 0.702	B = 0.705	B = 0.712
	T = -0.028	T = -0.020	T = -0.013	T = -0.012	T = -0.008
RMR = 65	A = 0.369	A = 0.427	A = 0.501	A = 0.525	A = 0.603
Q = 10	B = 0.669	B = 0.683	B = 0.695	B = 0.698	B = 0.707
	T = -0.006	T = -0.004	T = -0.003	T = -0.002	T = -0.002
RMR = 44	A = 0.198	A = 0.234	A = 0.280	A = 0.295	A = 0.346
Q = 1	B = 0.662	B = 0.675	B = 0.688	B = 0.691	B = 0.700
	T = -0.0007	T = -0.0005	T = -0.0003	T = -0.003	T = -0.0002
RMR = 3	A = 0.115	A = 0.129	A = 0.162	A = 0.172	A = 0.203
Q = 0.1	B = 0.646	B = 0.655	B = 0.672	B = 0.676	B = 0.686
	T = -0.0002	T = -0.0002	T = -0.0001	T = -0.0001	T = -0.0001
RMR = 3	A = 0.042	A = 0.050	A = 0.061	A = 0.065	A = 0.078
Q = 0.01	B = 0.534	B = 0.539	B = 0.546	B = 0.548	B = 0.556
	T = 0	T = 0	T = 0	T = 0	T = 0

Poiché gli ammassi analizzati si presentano estremamente fratturati è possibile assimilare gli stessi, in via cautelativa ed a favore di sicurezza, ad un insieme di piccoli blocchi parallelepipedi e/o prismatici, giustapposti e combacianti, entro cui una superficie di scorrimento possa esplicarsi attraverso l'involuppo del sistema di fessurazione, come schematizzato nell'esempio della Figura 11.8.

Figura 11.8 – Superficie di scorrimento in un ammasso estremamente fratturato



Per quanto sopra esposto si è ritenuto cautelativo ed a favore di sicurezza analizzare la stabilità delle sezioni sopra riportate adottando per ciascuna di esse i due metodi di verifica:

- lo schema classico dei pendii in terra, utilizzando il metodo di BISHOP, ammettendo la possibilità della formazione di superfici di involuppo lungo i sistemi di fratturazione (cfr. Figura 11.8)
- il metodo di Hoek & Bray per pendii in roccia, di cui sia stato determinato il valore di RMR e/o Q di Barton.

Nel primo caso si adopera il metodo di BISHOP (1955) in cui non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi; le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$$\Sigma F_v = 0, \Sigma M_0 = 0, \text{ Criterio di rottura}$$

$$F = \frac{\Sigma \{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \sin \alpha_i}$$

I valori di  $F$  e di  $\Delta X$  per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre  $\Delta X = 0$  ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di *Bishop ordinario*, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

Nel secondo caso si adopera il metodo di JAMBU (1967), che consente di estendere il metodo di Bishop a superfici di scorrimento di forma qualsiasi.

Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio) e per tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

$$F = \frac{\Sigma \{c_i \times b + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \tan \alpha_i}$$

Assumendo  $\Delta X_i = 0$  si ottiene il metodo ordinario.

Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:

$$F_{\text{corretto}} = f_0 F$$

dove  $f_0$  è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici; tale correzione è molto attendibile soprattutto per pendii poco inclinati.

Nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi la stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene eseguita con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_H = K_o \cdot W$$

$$F_V = K_v \cdot W$$

Essendo:

$F_H$  e  $F_V$  rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;

W: peso concio

$K_o$ : Coefficiente sismico orizzontale

$K_V$ : Coefficiente sismico verticale.

Tali coefficienti  $K_O$  e  $K_V$  vengono calcolati come segue:

$$K_O = \beta_s \times (a_{max}/g)$$

$$K_V = \pm 0,5 \times K_O$$

Con

$\beta_s$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{max}$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  accelerazione di gravità.

I dati di inpt in tutte le verifiche sono i seguenti:

Unità litotecnica DT – Detrito

Peso di volume	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	19,00
Angolo di attrito interno	$\phi'$	(°)	30°
Coesione	$C'$	kPa	0

- Unità litotecnica CO - Conoidi

Peso di volume	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	20,00
Angolo di attrito interno	$\phi'$	(°)	32°
Coesione	$C'$	kPa	0

Unità litotecnica DA1 - Depositi alluvionali

Peso di volume	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	20,00
Angolo di attrito interno	$\phi'$	(°)	32°
Coesione	$C'$	kPa	0

Unità litotecnica SR – Scaglia Rossa

Peso di volume	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	26,00
Angolo di attrito interno	$\phi'$	(°)	32°
Coesione	$C'$	kPa	200

I risultati di tutte le verifiche di stabilità sono esposti nella tavola in scala 1:200 e nei tabulati dell'Allegato B.

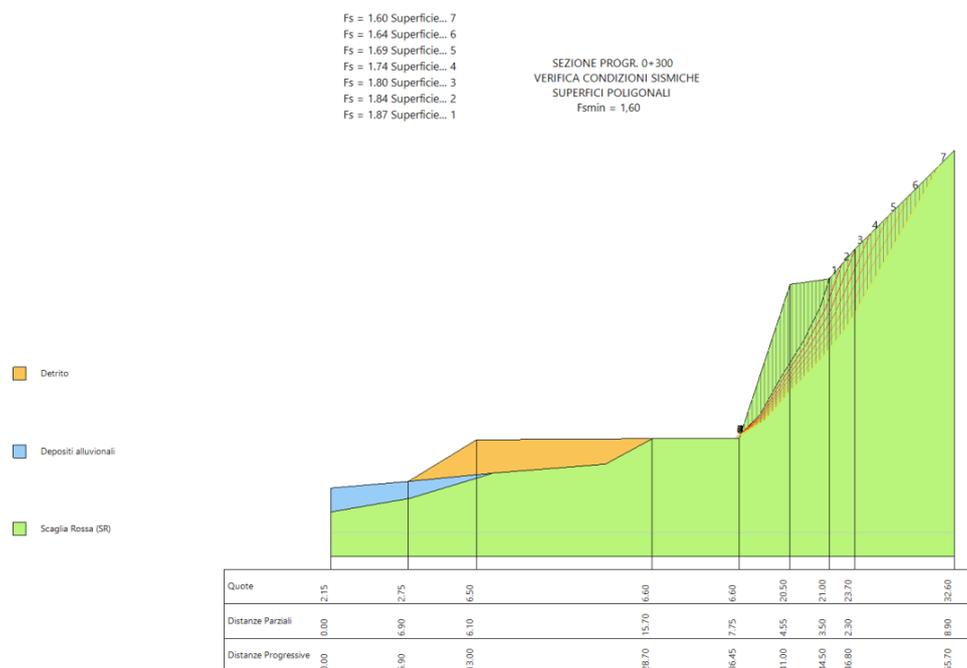
## 12.1 SEZIONE PROGRESSIVA KM 0+300

a) HOECK & BRAY – Verifica effettuata con il metodo di JAMBU.

La verifica, effettuata per superfici poligonali, ha fornito un fattore di stabilità minimo (cfr. Figura 11.9)

$$F_s = 1,60$$

Figura 11.9 – Progressiva Km 0+300 – Verifica con Hoek & Bray

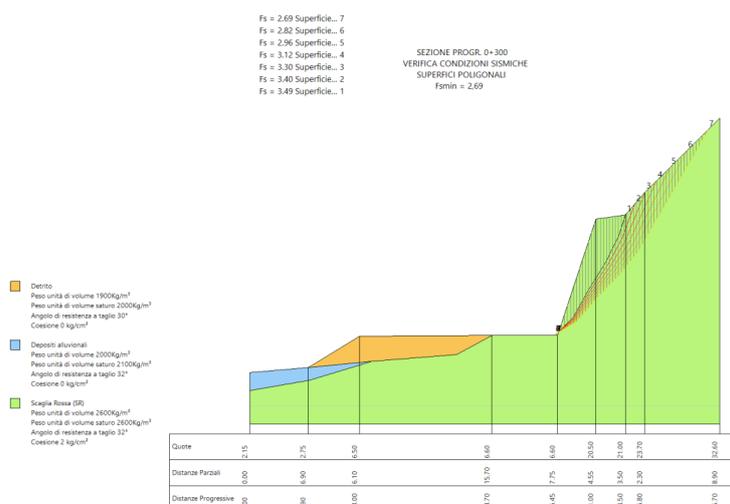


BISHOP – Verifica effettuata con il metodo classico per le terre.

La verifica, effettuata per superfici poligonali, ha fornito un fattore di stabilità minimo (cfr. Figura 11.10)

$$F_s = 2,69$$

Figura 11.10 – Progressiva Km 0+300 – Verifica con Bishop



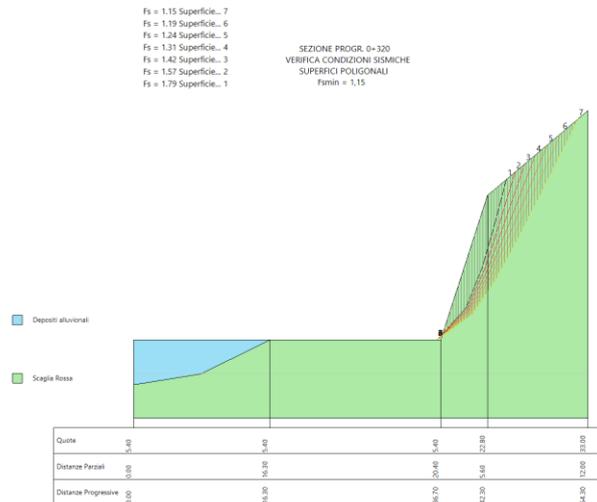
## 12.2 SEZIONE PROGRESSIVA KM 0+320

a) HOECK & BRAY – Verifica effettuata con il metodo di JAMBU.

La verifica, effettuata per superfici poligonali, ha fornito un fattore di stabilità minimo (cfr. Figura 11.11)

$F_s = 1,15$

Figura 11.11 – Progressiva Km 0+320 – Verifica con Hoeck & Bray

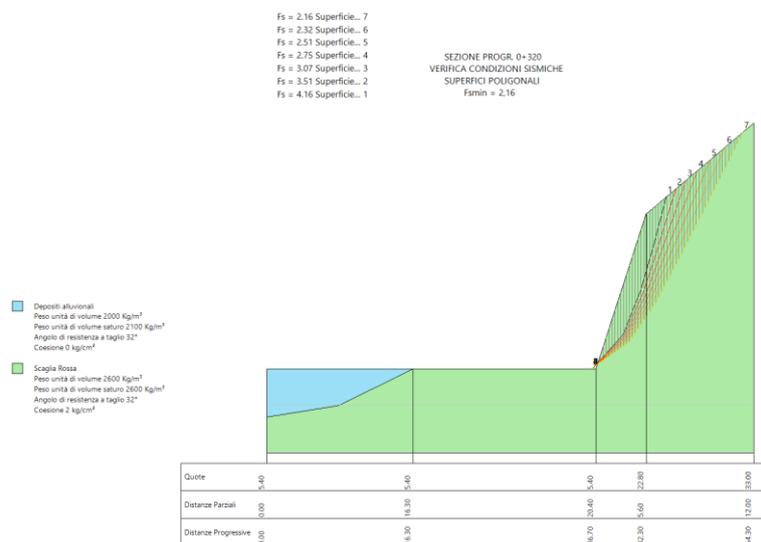


BISHOP – Verifica effettuata con il metodo classico per le terre.

La verifica, effettuata per superfici poligonali, ha fornito un fattore di stabilità minimo (cfr. Figura 11.12)

$F_s = 2,16$

Figura 11.12 – Progressiva Km 0+320 – Verifica con Bishop



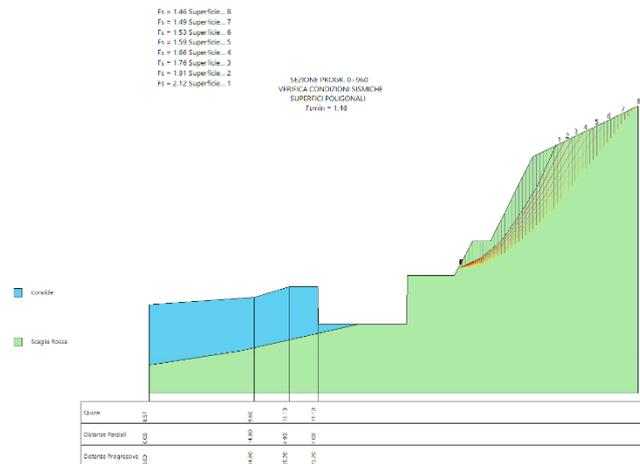
## 12.3 SEZIONE PROGRESSIVA KM 0+960

a) HOECK & BRAY – Verifica effettuata con il metodo di JAMBU.

La verifica, effettuata per superfici poligonali, ha fornito un fattore di stabilità minimo (cfr. Figura 11.13)

$$F_s = 1,46$$

Figura 11.13 – Progressiva Km 0+960 – Verifica con Hoeck & Bray

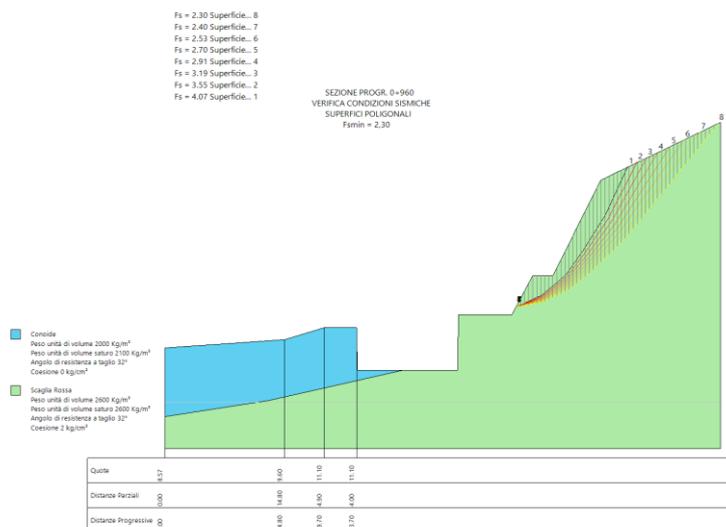


BISHOP – Verifica effettuata con il metodo classico per le terre.

La verifica, effettuata per superfici poligonali, ha fornito un fattore di stabilità minimo (cfr. Figura 11.14)

$$F_s = 2,30$$

Figura 11.14 – Progressiva Km 0+960 – Verifica con Bishop



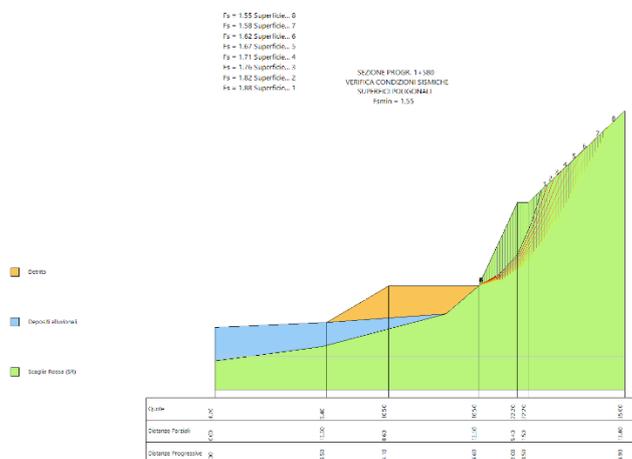
## 12.4 SEZIONE PROGRESSIVA KM 1+580

a) HOECK & BRAY – Verifica effettuata con il metodo di JAMBU.

La verifica, effettuata per superfici poligonali, ha fornito un fattore di stabilità minimo (cfr. Figura 11.15)

$F_s = 1,55$

Figura 11.15 – Progressiva Km 1+580 – Verifica con Hoeck & Bray

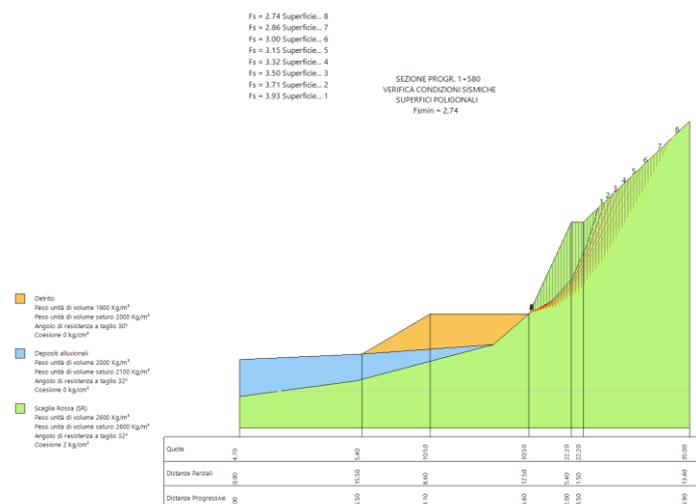


BISHOP – Verifica effettuata con il metodo classico per le terre.

La verifica, effettuata per superfici poligonali, ha fornito un fattore di stabilità minimo (cfr. Figura 11.16)

$F_s = 2,74$

Figura 11.16 – Progressiva Km 1+580 – Verifica con Bishop



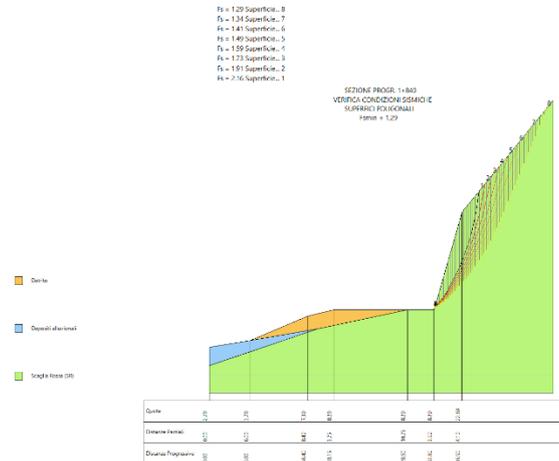
## 12.5 SEZIONE PROGRESSIVA KM 1+840

a) HOECK & BRAY – Verifica effettuata con il metodo di JAMBU.

La verifica, effettuata per superfici poligonali, ha fornito un fattore di stabilità minimo (cfr. Figura 11.17)

$F_s = 1,29$

Figura 11.17 – Progressiva Km 1+840 – Verifica con Hoeck & Bray

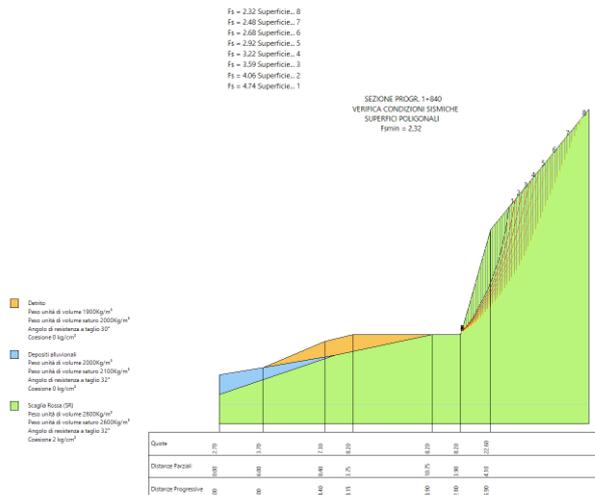


BISHOP – Verifica effettuata con il metodo classico per le terre.

La verifica, effettuata per superfici poligonali, ha fornito un fattore di stabilità minimo (cfr. Figura 11.18)

$F_s = 2,32$

Figura 11.18 – Progressiva Km 1+840 – Verifica con Bishop



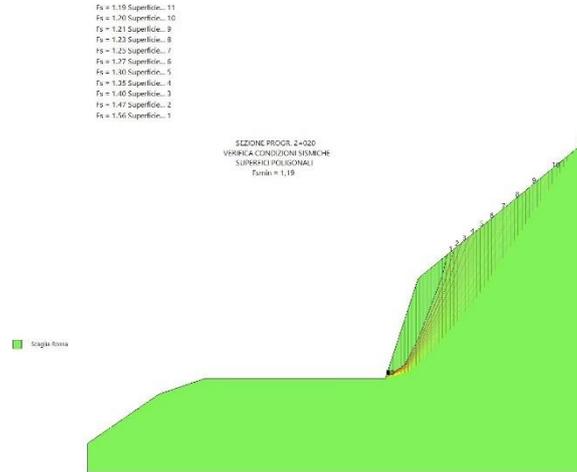
## 12.6 SEZIONE PROGRESSIVA KM 2+020

a) HOECK & BRAY – Verifica effettuata con il metodo di JAMBU.

La verifica, effettuata per superfici poligonali, ha fornito un fattore di stabilità minimo (cfr. Figura 11.19)

$F_s = 1,19$

Figura 11.19 – Progressiva Km 2+020 – Verifica con Hoek & Bray

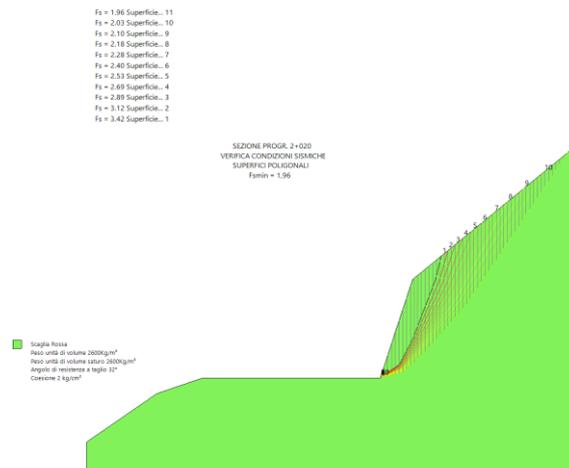


BISHOP – Verifica effettuata con il metodo classico per le terre.

La verifica, effettuata per superfici poligonali, ha fornito un fattore di stabilità minimo (cfr. Figura 11.20)

$F_s = 1,96$

Figura 11.20 – Progressiva Km 2+020 – Verifica con Bishop



## 11. DESCRIZIONE DEL TRACCIATO STRADALE

La disposizione delle varie unità litotecniche è stata elaborata sul profilo geotecnico allegato, in scala sfalsata 1:2.000/200, di cui si riporta la descrizione per i vari tratti.

- Progr. 0+000 ÷0+180  
Unità SR, data da calcari marnosi e marne da rosati a rosso scuro o biancastri (Scaglia Rossa); strati a franapoggio verso Nord di circa 15°
- Progr. 0+180 ÷0+325  
Unità DT, data da depositi detritici di falda e di versante a granulometria variabile, da ben classati a fortemente eterometrici, generalmente sciolti o debolmente cementati
- Progr. 0+325 ÷0+360  
Unità SR data da calcari marnosi della Scaglia Rossa; alla fine del tratto è presente una faglia che mette a contatto laterale l'Unità SR con l'Unità SV (Scaglia Variegata), che si presenta con gli strati reggipoggio verso Nord di circa 40°;
- Progr. 0+360 ÷0+420  
Unità CO data da depositi alluvionali e di conoide, costituiti da ghiaia con limo moderatamente addensata con clasti calcarei eterometrici da 0,2 a >10 cm e frammenti di selce da angolosi a subarrotondati (Sondaggio S.6)
- Progr. 0+420 ÷0+680 - Galleria  
Unità SV (Scaglia Variegata) data da calcari marnosi rossi o grigio-verdi, calcari e marne grigie con selce nera e marne rosse con intercalazioni di spessi livelli di calcareniti. Gli strati immergono verso Nord di circa 40° sino alla progressiva 0+520, dove è presente una faglia intraformazionale; da qui in poi gli strati acquistano una pendenza di circa 32° a reggipoggio, sino alla progressiva 0+560, ove cambiano ancora pendenza disponendosi lievemente a reggipoggio di 5° sino alla fine del tratto alla progressiva 0+680, ove è presente una faglia che mette in contatto laterale la formazione della Scaglia variegata con quella della Scaglia Rossa.
- Progr. 0+680 ÷0+750 - Galleria  
Unità SR data da calcari marnosi della Scaglia Rossa, che si presenta con disposizione a reggipoggio con inclinazione degli strati di circa 13°; alla fine del tratto è presente una faglia che provoca un netto cambiamento dell'inclinazione della stratificazione, che acquista disposizione a reggipoggio con pendenza di circa 44°;
- Progr. 0+750 ÷0+935 - Galleria  
Unità SR data da calcari marnosi della Scaglia Rossa che mutano ancora la giacitura, che diviene con disposizione a reggipoggio più blanda, di circa 13 e che procedendo verso Nord raggiunge i 25° di pendenza alla fine del tratto;
- Progr. 0+935 ÷0+970 - Galleria  
Unità CO + DA1: depositi alluvionali di conoide, costituiti da ghiaia limo-sabbiosa marrone mediamente addensata con clasti calcarei eterometrici rossi e rosati da 0,5 a 7 cm (Sondaggio S.2);
- Progr. 0+970 ÷1+390  
Unità CO + DA1; il tracciato si svolge alternativamente nell'ambito dei depositi alluvionali di conoide e di fondavalle, che come composizione litologica e granulometrica sono poco differenziabili
- Progr. 1+390 ÷1+440  
Unità SR: In questo tratto affiora ancora la formazione della Scaglia Rossa che presenta giacitura con pendenza verso Nord dapprima di circa 50° e successivamente suborizzontale;
- Progr. 1+440 ÷1+955  
Unità DT: il tracciato si svolge nell'ambito dei terreni di copertura detritico-eluviali, costituiti da ghiaia limo-sabbiosa grossolana con clasti prevalentemente angolosi e subordinatamente arrotondati da biancastri a rossi
- Progr. 1+955 ÷2+040

Unità SR: viene ancora in affioramento la formazione della Scaglia Rossa che presenta giacitura con pendenza verso Nord dapprima di circa 48° e successivamente di 29°;

- Progr. 2+040 ÷ 2+344

Unità DT: il tracciato si svolge nell'ambito dei terreni di copertura detritico-eluviali, costituiti da ghiaia limo-sabbiosa grossolana con clasti prevalentemente angolosi e subordinatamente arrotondati da biancastri a rossi.

**13 ALLEGATO B – TABULATI DI CALCOLO**

**PROGRESSIVA 0+300  
VERIFICA DI STABILITA' HOECK & BRAY**

Analisi di stabilità dei pendii con : JANBU (1967)

Zona	SITO RILIEVO SS.18
Lat./Long.	42.745175/12.83962 °
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	3.0
Numero dei conci	50.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.2
Superficie di forma generica	

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe IV
Vita nominale:	100.0 [anni]
Vita di riferimento:	200.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	120.0	1.393	2.324	0.291
S.L.D.	201.0	1.726	2.315	0.305
S.L.V.	1898.0	3.795	2.38	0.351
S.L.C.	2475.0	4.129	2.39	0.355

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Classe IV

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	2.0059	0.0	0.0	0.0
S.L.D.	2.4854	0.47	0.1191	0.0596
S.L.V.	4.6978	0.38	0.182	0.091
S.L.C.	4.9548	0.0	0.0	0.0

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.182

Coefficiente azione sismica verticale 0.091

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	2.15

2	6.9	2.75
3	13.0	6.5
4	28.7	6.6
5	36.45	6.6
6	41.0	20.5
7	44.5	21.0
8	46.8	23.7
9	55.7	32.6

Vertici strato .....1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	2.15
2	6.9	2.75
3	14.5	3.5
4	24.5	4.3
5	28.7	6.6
6	36.45	6.6
7	41.0	20.5
8	44.5	21.0
9	46.8	23.7
10	55.7	32.6

Vertici strato .....2

N	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	7.05	1.23
3	14.5	3.5
4	24.5	4.3
5	28.7	6.6
6	36.45	6.6
7	41.0	20.5
8	44.5	21.0
9	46.8	23.7
10	46.8	23.7
11	55.7	32.6

Vertici superficie Nr...1

N	X m	y m
1	36.28	6.7
2	38.28	8.71
3	40.14	12.06
4	42.16	15.35
5	43.7	18.49
6	44.53	21.07

Vertici superficie Nr...2

N	X m	y m
1	36.15	6.7
2	38.35	8.64
3	40.33	11.92
4	42.46	15.14
5	44.11	18.22
6	45.61	22.3

Vertici superficie Nr...3

N	X m	y m
1	36.14	6.7
2	38.42	8.57
3	40.51	11.77
4	42.75	14.92
5	44.51	17.94
6	46.86	23.77

Vertici superficie Nr...4

N	X m	y m
1	36.13	6.7
2	38.48	8.49
3	40.68	11.62
4	43.04	14.69
5	44.9	17.65
6	48.21	25.12

Vertici superficie Nr...5

N	X m	y m
1	36.12	6.7
2	38.54	8.41
3	40.85	11.47
4	43.31	14.45
5	45.27	17.34
6	49.82	26.73

Vertici superficie Nr...6

N	X m	y m
1	36.11	6.7
2	38.6	8.33
3	41.02	11.3
4	43.58	14.2
5	45.64	17.02
6	51.8	28.71

Vertici superficie Nr...7

N	X m	y m
1	36.1	6.7
2	38.66	8.25
3	41.17	11.14
4	43.83	13.94
5	45.99	16.69
6	54.3	31.2

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coazione efficace	1.25
Coazione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

Stratigrafia

Strato	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	A	B	T	Resistenza compression e monoassiale (kg/cm <sup>2</sup> )	Texture	Descrizione
1	1900	0.198	0.662	-0.0007	5		Detrito
2	2000	0.198	0.662	-0.0007	5		Depositi alluvionali
3	2600	0.369	0.669	-0.006	84		Scaglia Rossa (SR)

Superficie Nr...1 Fattore di sicurezza=1.87

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0.16	44.9	0.2	67.25	12.24	6.12	1.01	52.9	0.0	-573.2	946.5
2	0.16	44.3	0.2	202.39	36.84	18.42	1.01	52.2	0.0	-445.0	1041.5
3	0.16	46.5	0.2	335.71	61.1	30.55	1.02	51.7	0.0	-381.8	1199.0
4	0.16	44.3	0.2	469.02	85.36	42.68	1.02	50.9	0.0	-213.5	1243.8
5	0.16	44.3	0.2	604.79	110.07	55.04	1.02	50.3	0.0	-93.4	1343.6
6	0.16	46.5	0.2	738.1	134.33	67.17	1.03	50.0	0.0	-23.4	1510.4
7	0.16	44.3	0.2	871.41	158.6	79.3	1.03	49.2	0.0	146.2	1534.1
8	0.16	44.3	0.2	1007.18	183.31	91.65	1.04	48.7	0.0	270.0	1628.6
9	0.16	46.5	0.2	1140.49	207.57	103.78	1.04	48.5	0.0	346.3	1806.3
10	0.16	44.3	0.2	1273.8	231.83	115.92	1.05	47.8	0.0	516.1	1809.9
11	0.16	50.4	0.2	1401.99	255.16	127.58	1.05	48.3	0.0	497.4	2209.3
12	0.16	61.0	0.3	1503.16	273.57	136.79	1.03	49.9	0.0	205.1	3311.0
13	0.16	61.0	0.3	1584.87	288.45	144.22	1.03	49.8	0.0	290.1	3406.6
14	0.16	61.0	0.3	1666.59	303.32	151.66	1.03	49.6	0.0	375.5	3501.8
15	0.16	61.0	0.3	1748.3	318.19	159.1	1.03	49.5	0.0	461.2	3596.5
16	0.16	61.0	0.3	1830.02	333.06	166.53	1.03	49.3	0.0	547.2	3690.9
17	0.16	61.0	0.3	1911.73	347.94	173.97	1.03	49.2	0.0	633.7	3784.8
18	0.16	61.0	0.3	1993.45	362.81	181.4	1.04	49.0	0.0	720.4	3878.4
19	0.16	61.0	0.3	2075.16	377.68	188.84	1.04	48.9	0.0	807.5	3971.5
20	0.16	61.0	0.3	2156.88	392.55	196.28	1.04	48.8	0.0	895.0	4064.3
21	0.16	61.0	0.3	2238.59	407.42	203.71	1.04	48.6	0.0	982.7	4156.7
22	0.16	61.0	0.3	2320.31	422.3	211.15	1.04	48.5	0.0	1070.8	4248.8

23	0.16	59.4	0.32405.72	437.84	218.92	1.05	48.0	0.0	1231.1	4061.1
24	0.16	57.7	0.32498.51	454.73	227.36	1.06	47.4	0.0	1393.9	3877.6
25	0.16	58.8	0.32592.51	471.84	235.92	1.06	47.5	0.0	1452.7	4158.3
26	0.16	58.8	0.32684.05	488.5	244.25	1.06	47.4	0.0	1551.2	4249.9
27	0.16	58.8	0.32775.59	505.16	252.58	1.06	47.2	0.0	1650.1	4341.2
28	0.16	57.7	0.32869.59	522.27	261.13	1.07	46.7	0.0	1790.4	4229.2
29	0.16	58.8	0.32843.41	517.5	258.75	1.07	47.1	0.0	1723.5	4408.5
30	0.16	58.8	0.32744.64	499.52	249.76	1.06	47.3	0.0	1616.6	4310.4
31	0.16	57.7	0.32648.32	482.0	241.0	1.07	47.1	0.0	1553.3	4020.4
32	0.16	58.8	0.32552.01	464.47	232.23	1.06	47.6	0.0	1409.2	4117.6
33	0.16	58.8	0.32453.24	446.49	223.24	1.05	47.7	0.0	1303.5	4018.1
34	0.16	57.7	0.32356.93	428.96	214.48	1.06	47.6	0.0	1244.1	3741.7
35	0.16	58.8	0.32260.62	411.43	205.72	1.05	48.1	0.0	1098.5	3822.5
36	0.16	63.4	0.42150.64	391.42	195.71	1.03	49.3	0.0	760.9	4521.1
37	0.16	63.8	0.42028.37	369.16	184.58	1.03	49.6	0.0	604.9	4442.7
38	0.16	63.8	0.41905.03	346.72	173.36	1.03	49.8	0.0	470.9	4280.9
39	0.16	63.8	0.41781.69	324.27	162.13	1.03	50.0	0.0	337.8	4118.2
40	0.16	63.8	0.41658.35	301.82	150.91	1.02	50.2	0.0	205.4	3954.6
41	0.16	63.8	0.41535.02	279.37	139.69	1.02	50.4	0.0	73.9	3790.1
42	0.16	63.8	0.41411.68	256.92	128.46	1.02	50.6	0.0	-56.8	3624.6
43	0.16	63.8	0.41288.34	234.48	117.24	1.02	50.8	0.0	-186.6	3458.2
44	0.16	63.8	0.41165.0	212.03	106.01	1.02	51.0	0.0	-315.5	3290.7
45	0.16	64.4	0.41039.69	189.22	94.61	1.02	51.3	0.0	-493.8	3218.1
46	0.16	72.4	0.5877.53	159.71	79.86	1.01	52.4	0.0	-1615.6	4743.8
47	0.16	72.4	0.5680.49	123.85	61.92	1.01	52.6	0.0	-1837.1	4291.5
48	0.16	72.4	0.5483.44	87.99	43.99	1.01	52.8	0.0	-2056.7	3837.1
49	0.16	72.0	0.5288.85	52.57	26.29	1.01	53.0	0.0	-2196.4	3293.3
50	0.16	72.4	0.594.53	17.2	8.6	1.01	53.2	0.0	-2475.4	2925.0

Superficie Nr...2 Fattore di sicurezza=1.84

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0.18	41.4	0.2	91.29	16.61	8.31	1.01	52.8	0.0	-555.1	1023.1
2	0.18	40.8	0.2	274.7	50.0	25.0	1.01	51.8	0.0	-385.7	1146.2
3	0.18	42.9	0.2	456.18	83.02	41.51	1.02	51.1	0.0	-281.1	1328.1
4	0.18	40.8	0.2	637.65	116.05	58.03	1.02	50.2	0.0	-73.6	1402.0
5	0.18	40.8	0.2	821.91	149.59	74.79	1.03	49.4	0.0	88.2	1526.8
6	0.18	40.8	0.2	1006.17	183.12	91.56	1.04	48.8	0.0	251.9	1648.7
7	0.18	42.9	0.2	1187.65	216.15	108.08	1.05	48.4	0.0	367.9	1841.1
8	0.18	40.8	0.2	1369.12	249.18	124.59	1.06	47.5	0.0	579.3	1881.2
9	0.18	40.8	0.2	1553.38	282.72	141.36	1.07	46.9	0.0	747.8	1995.8
10	0.18	48.7	0.3	1725.98	314.13	157.06	1.06	47.7	0.0	722.0	2520.9
11	0.18	58.9	0.3	1865.15	339.46	169.73	1.03	49.3	0.0	485.1	3650.6
12	0.18	58.9	0.3	1982.55	360.82	180.41	1.04	49.1	0.0	605.2	3775.8
13	0.18	58.9	0.3	2099.95	382.19	191.1	1.04	48.9	0.0	725.9	3900.3
14	0.18	59.9	0.4	2214.56	403.05	201.53	1.04	48.9	0.0	795.4	4183.1
15	0.18	58.9	0.3	2329.17	423.91	211.95	1.04	48.5	0.0	963.4	4141.2
16	0.18	58.9	0.3	2446.57	445.28	222.64	1.05	48.3	0.0	1085.9	4263.5
17	0.18	58.9	0.3	2563.97	466.64	233.32	1.05	48.1	0.0	1209.0	4385.2

18	0.18	58.9	0.32681.36	488.01	244.0	1.05	47.9	0.01332.7	4506.2
19	0.18	58.9	0.32798.76	509.37	254.69	1.05	47.7	0.01456.9	4626.6
20	0.18	58.9	0.32916.16	530.74	265.37	1.06	47.6	0.01581.7	4746.3
21	0.18	58.1	0.33035.64	552.49	276.24	1.06	47.2	0.01740.5	4719.9
22	0.18	56.7	0.33160.7	575.25	287.62	1.07	46.6	0.01923.2	4593.2
23	0.18	55.6	0.33292.03	599.15	299.57	1.08	46.1	0.02099.5	4513.8
24	0.18	56.7	0.33423.35	623.05	311.53	1.08	46.2	0.02202.2	4832.4
25	0.18	56.7	0.33523.32	641.24	320.62	1.09	46.1	0.02308.9	4922.8
26	0.18	56.7	0.33407.17	620.1	310.05	1.08	46.3	0.02184.9	4817.8
27	0.18	55.6	0.33293.8	599.47	299.74	1.08	46.1	0.02101.3	4515.4
28	0.18	56.7	0.33180.44	578.84	289.42	1.08	46.6	0.01944.1	4611.3
29	0.18	56.7	0.33064.29	557.7	278.85	1.07	46.8	0.01821.4	4504.7
30	0.18	56.7	0.32948.14	536.56	268.28	1.07	47.0	0.01699.2	4397.5
31	0.18	56.7	0.32831.99	515.42	257.71	1.06	47.2	0.01577.5	4289.7
32	0.18	55.6	0.32718.63	494.79	247.39	1.07	47.1	0.01501.1	4009.7
33	0.18	59.9	0.42596.88	472.63	236.32	1.05	48.3	0.01197.1	4600.7
34	0.18	61.7	0.42458.42	447.43	223.72	1.04	48.9	0.0 953.6	4805.5
35	0.18	61.7	0.42314.41	421.22	210.61	1.04	49.1	0.0 800.2	4634.8
36	0.18	61.7	0.4 2170.4	395.01	197.51	1.03	49.3	0.0 647.8	4463.0
37	0.18	61.7	0.42026.39	368.8	184.4	1.03	49.6	0.0 496.2	4290.2
38	0.18	62.5	0.4 1879.6	342.09	171.04	1.03	49.9	0.0 288.6	4266.7
39	0.18	61.7	0.4 1732.8	315.37	157.68	1.03	50.0	0.0 190.4	3934.4
40	0.18	61.7	0.41588.79	289.16	144.58	1.02	50.3	0.0 41.9	3758.0
41	0.18	61.7	0.41444.78	262.95	131.48	1.02	50.5	0.0 -105.5	3580.5
42	0.18	64.9	0.41289.04	234.6	117.3	1.02	51.2	0.0 -514.3	3924.7
43	0.18	69.8	0.51097.08	199.67	99.83	1.01	52.1	0.0-1287.1	4757.6
44	0.18	69.8	0.5 880.63	160.28	80.14	1.01	52.3	0.0-1520.4	4338.2
45	0.18	69.8	0.5 720.3	131.09	65.55	1.01	52.5	0.0-1691.8	4025.8
46	0.18	70.2	0.5 587.7	106.96	53.48	1.01	52.7	0.0-1903.8	3870.6
47	0.18	69.8	0.5 455.11	82.83	41.41	1.01	52.8	0.0-1972.3	3506.2
48	0.18	69.8	0.5 325.3	59.2	29.6	1.01	52.9	0.0-2108.2	3250.4
49	0.18	69.8	0.5 195.49	35.58	17.79	1.01	53.1	0.0-2243.2	2993.5
50	0.18	69.9	0.5 65.3	11.88	5.94	1.01	53.2	0.0-2387.9	2745.4

Superficie Nr...3 Fattore di sicurezza=1.80

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0.2	38.9	0.3	122.83	22.36	11.18	1.01	52.7	0.0	-559.8	1143.8
2	0.2	39.2	0.3	368.03	66.98	33.49	1.02	51.5	0.0	-362.9	1326.4
3	0.2	39.2	0.3	612.76	111.52	55.76	1.02	50.5	0.0	-154.9	1496.8
4	0.2	41.1	0.3	854.31	155.49	77.74	1.03	49.8	0.0	4.4	1717.8
5	0.2	39.2	0.3	1095.87	199.45	99.72	1.04	48.7	0.0	265.6	1817.6
6	0.2	39.2	0.3	1340.6	243.99	121.99	1.05	48.0	0.0	482.7	1973.5
7	0.2	39.2	0.3	1585.33	288.53	144.26	1.06	47.2	0.0	702.2	2125.7
8	0.2	39.2	0.3	1830.06	333.07	166.54	1.08	46.6	0.0	923.9	2274.4
9	0.2	42.3	0.3	2069.61	376.67	188.33	1.08	46.4	0.0	1070.4	2566.7
10	0.2	57.5	0.4	2267.87	412.75	206.38	1.04	48.8	0.0	735.8	4133.2

11	0.2	56.5	0.42433.19	442.84	221.42	1.05	48.3	0.0	951.1	4148.3
12	0.2	57.5	0.42598.51	472.93	236.46	1.05	48.3	0.0	1070.8	4466.0
13	0.2	56.5	0.42763.84	503.02	251.51	1.05	47.8	0.0	1285.9	4465.5
14	0.2	56.5	0.42932.33	533.68	266.84	1.06	47.5	0.0	1458.1	4625.3
15	0.2	57.5	0.43097.66	563.77	281.89	1.06	47.5	0.0	1584.1	4959.1
16	0.2	56.5	0.43262.98	593.86	296.93	1.07	47.0	0.0	1798.9	4935.5
17	0.2	57.5	0.4 3428.3	623.95	311.98	1.07	47.1	0.0	1928.9	5280.1
18	0.2	56.5	0.43593.63	654.04	327.02	1.08	46.6	0.0	2143.1	5241.5
19	0.2	57.5	0.43758.95	684.13	342.06	1.07	46.6	0.0	2277.1	5597.0
20	0.2	53.6	0.33932.68	715.75	357.87	1.1	45.4	0.0	2595.2	5014.3
21	0.2	54.4	0.44115.94	749.1	374.55	1.1	45.3	0.0	2763.8	5294.2
22	0.2	55.5	0.44273.36	777.75	388.88	1.1	45.4	0.0	2895.5	5638.5
23	0.2	54.4	0.44133.32	752.26	376.13	1.1	45.3	0.0	2782.0	5308.6
24	0.2	54.4	0.43996.46	727.36	363.68	1.1	45.5	0.0	2639.0	5195.4
25	0.2	54.4	0.4 3859.6	702.45	351.22	1.09	45.7	0.0	2496.5	5081.6
26	0.2	54.4	0.43722.74	677.54	338.77	1.09	45.9	0.0	2354.5	4967.1
27	0.2	54.4	0.43585.89	652.63	326.32	1.09	46.1	0.0	2213.1	4852.0
28	0.2	54.4	0.43449.03	627.72	313.86	1.08	46.3	0.0	2072.2	4736.2
29	0.2	54.4	0.43312.17	602.81	301.41	1.08	46.5	0.0	1931.9	4619.8
30	0.2	54.5	0.43174.96	577.84	288.92	1.07	46.7	0.0	1787.3	4521.2
31	0.2	60.2	0.43018.69	549.4	274.7	1.05	48.3	0.0	1363.2	5426.1
32	0.2	59.3	0.4 2846.9	518.13	259.07	1.05	48.3	0.0	1231.1	5058.6
33	0.2	60.2	0.4 2675.1	486.87	243.43	1.04	48.7	0.0	1003.3	5044.4
34	0.2	60.2	0.42500.12	455.02	227.51	1.04	49.0	0.0	821.8	4848.1
35	0.2	59.3	0.42328.33	423.76	211.88	1.04	49.0	0.0	696.2	4498.2
36	0.2	60.2	0.42156.53	392.49	196.24	1.03	49.5	0.0	468.8	4458.4
37	0.2	59.3	0.41984.73	361.22	180.61	1.03	49.6	0.0	347.8	4120.0
38	0.2	60.2	0.41812.93	329.95	164.98	1.03	50.0	0.0	120.9	4063.0
39	0.2	63.8	0.51622.17	295.24	147.62	1.02	50.9	0.0	-358.0	4495.8
40	0.2	68.2	0.61501.42	273.26	136.63	1.02	51.6	0.0	-987.1	5418.5
41	0.2	68.2	0.61356.48	246.88	123.44	1.01	51.8	0.0	-1140.5	5163.2
42	0.2	67.7	0.51214.71	221.08	110.54	1.01	51.9	0.0	-1223.1	4786.2
43	0.2	68.2	0.61072.94	195.28	97.64	1.01	52.1	0.0	-1437.9	4661.0
44	0.2	67.7	0.5 931.17	169.47	84.74	1.01	52.2	0.0	-1517.2	4295.3
45	0.2	68.2	0.6 789.41	143.67	71.84	1.01	52.4	0.0	-1731.6	4154.8
46	0.2	68.2	0.6 644.46	117.29	58.65	1.01	52.6	0.0	-1880.2	3894.4
47	0.2	67.7	0.5 502.69	91.49	45.75	1.01	52.7	0.0	-1954.1	3545.3
48	0.2	68.2	0.6 360.93	65.69	32.84	1.01	52.9	0.0	-2167.9	3381.8
49	0.2	67.7	0.5 219.16	39.89	19.94	1.01	53.0	0.0	-2238.1	3043.5
50	0.2	68.2	0.6 77.48	14.1	7.05	1.01	53.2	0.0	-2449.5	2862.9

Superficie Nr...4 Fattore di sicurezza=1.74

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0.23	37.9	0.3	159.31	28.99	14.5	1.01	52.6	0.0	-608.6	1320.0
2	0.23	37.6	0.3	478.42	87.07	43.54	1.02	51.2	0.0	-338.8	1544.3
3	0.23	35.7	0.3	801.61	145.89	72.95	1.03	49.9	0.0	-16.1	1718.5

4	0.23	37.6	0.31124.81	204.72	102.36	1.04	48.9	0.0	210.7	1981.1
5	0.23	37.6	0.31444.41	262.88	131.44	1.05	48.0	0.0	489.1	2186.1
6	0.23	37.6	0.31764.01	321.05	160.52	1.07	47.1	0.0	771.1	2385.2
7	0.23	37.6	0.32083.61	379.22	189.61	1.08	46.3	0.0	1056.3	2578.9
8	0.23	37.6	0.32403.21	437.38	218.69	1.1	45.6	0.0	1344.4	2768.0
9	0.23	52.9	0.42684.22	488.53	244.26	1.06	47.7	0.0	1111.1	4186.3
10	0.23	55.2	0.4 2918.5	531.17	265.58	1.05	47.8	0.0	1231.9	4727.5
11	0.23	54.2	0.43148.22	572.98	286.49	1.06	47.2	0.0	1505.7	4781.1
12	0.23	55.2	0.43377.95	614.79	307.39	1.06	47.1	0.0	1688.7	5151.6
13	0.23	55.2	0.43604.07	655.94	327.97	1.07	46.8	0.0	1915.8	5357.4
14	0.23	55.2	0.4 3830.2	697.1	348.55	1.08	46.5	0.0	2144.5	5561.5
15	0.23	54.2	0.44059.93	738.91	369.45	1.09	46.0	0.0	2419.1	5577.2
16	0.23	55.2	0.44289.65	780.72	390.36	1.09	46.0	0.0	2613.3	5971.0
17	0.23	55.2	0.44515.78	821.87	410.94	1.09	45.7	0.0	2846.1	6170.1
18	0.23	54.0	0.44746.22	863.81	431.91	1.11	45.1	0.0	3128.4	6116.5
19	0.23	52.1	0.44987.45	907.72	453.86	1.13	44.3	0.0	3438.0	5932.8
20	0.23	53.2	0.45018.31	913.33	456.67	1.12	44.6	0.0	3436.5	6168.4
21	0.23	52.1	0.44854.95	883.6	441.8	1.12	44.5	0.0	3302.6	5831.0
22	0.23	52.1	0.44695.19	854.52	427.26	1.12	44.7	0.0	3139.9	5707.6
23	0.23	53.2	0.44531.83	824.79	412.4	1.11	45.2	0.0	2937.8	5777.3
24	0.23	52.1	0.44368.47	795.06	397.53	1.11	45.1	0.0	2808.9	5453.0
25	0.23	52.1	0.4 4208.7	765.98	382.99	1.1	45.3	0.0	2647.9	5327.4
26	0.23	53.2	0.44045.34	736.25	368.13	1.09	45.8	0.0	2444.5	5379.2
27	0.23	52.1	0.43881.98	706.52	353.26	1.09	45.7	0.0	2320.7	5068.0
28	0.23	54.1	0.43715.38	676.2	338.1	1.08	46.4	0.0	2075.4	5262.3
29	0.23	57.9	0.43527.21	641.95	320.98	1.06	47.6	0.0	1701.5	5824.0
30	0.23	57.9	0.43324.31	605.02	302.51	1.05	47.8	0.0	1494.7	5617.6
31	0.23	57.9	0.4 3121.4	568.1	284.05	1.05	48.1	0.0	1289.2	5409.7
32	0.23	57.9	0.4 2918.5	531.17	265.58	1.05	48.4	0.0	1085.1	5200.1
33	0.23	57.9	0.42715.59	494.24	247.12	1.04	48.6	0.0	882.3	4988.9
34	0.23	57.0	0.42516.28	457.96	228.98	1.04	48.7	0.0	736.3	4633.8
35	0.23	57.9	0.42379.88	433.14	216.57	1.04	49.1	0.0	550.0	4635.7
36	0.23	60.5	0.52309.08	420.25	210.13	1.03	49.7	0.0	296.9	5045.5
37	0.23	66.1	0.62191.55	398.86	199.43	1.02	50.9	0.0	-388.2	6348.9
38	0.23	66.1	0.62039.44	371.18	185.59	1.02	51.0	0.0	-545.3	6109.6
39	0.23	66.1	0.61887.33	343.49	171.75	1.02	51.2	0.0	-701.6	5869.2
40	0.23	66.1	0.61735.22	315.81	157.9	1.02	51.3	0.0	-857.0	5627.9
41	0.23	66.1	0.61583.11	288.13	144.06	1.02	51.5	0.0	-1011.4	5385.6
42	0.23	65.7	0.61434.59	261.1	130.55	1.02	51.6	0.0	-1096.4	5022.6
43	0.23	66.1	0.61286.08	234.07	117.03	1.01	51.8	0.0	-1310.3	4909.4
44	0.23	66.1	0.61133.97	206.38	103.19	1.01	52.0	0.0	-1461.9	4663.9
45	0.23	66.1	0.6 962.26	175.13	87.57	1.01	52.2	0.0	-1631.8	4385.5
46	0.23	66.1	0.6 786.0	143.05	71.53	1.01	52.4	0.0	-1804.8	4098.2
47	0.23	66.1	0.6 609.74	110.97	55.49	1.01	52.6	0.0	-1976.4	3809.3
48	0.23	66.1	0.6 433.48	78.89	39.45	1.01	52.8	0.0	-2146.5	3518.8
49	0.23	66.1	0.6 257.21	46.81	23.41	1.01	53.0	0.0	-2315.0	3226.7
50	0.23	66.1	0.6 81.61	14.85	7.43	1.01	53.2	0.0	-2468.1	2920.6

Superficie Nr...5 Fattore di sicurezza=1.69

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0.26	36.1	0.3	211.36	38.47	19.23	1.01	52.4	0.0	-635.2	1520.9
2	0.26	34.1	0.3	638.98	116.29	58.15	1.02	50.7	0.0	-224.2	1777.4
3	0.26	35.8	0.31	1067.41	194.27	97.13	1.03	49.4	0.0	83.5	2107.0
4	0.26	35.8	0.31	1491.74	271.5	135.75	1.05	48.2	0.0	446.1	2381.7
5	0.26	34.1	0.31	1920.17	349.47	174.74	1.07	46.9	0.0	869.3	2586.1
6	0.26	35.8	0.3	2348.6	427.45	213.72	1.08	46.1	0.0	1194.9	2907.5
7	0.26	35.8	0.32	2772.93	504.67	252.34	1.1	45.3	0.0	1572.7	3156.1
8	0.26	47.5	0.43	163.74	575.8	287.9	1.08	46.5	0.0	1540.7	4260.1
9	0.26	52.6	0.43	501.28	637.23	318.62	1.07	47.0	0.0	1635.2	5196.7
10	0.26	52.6	0.43	819.06	695.07	347.53	1.08	46.6	0.0	1942.7	5468.0
11	0.26	53.5	0.44	132.73	752.16	376.08	1.08	46.4	0.0	2204.3	5903.4
12	0.26	52.6	0.44	446.41	809.25	404.62	1.09	45.8	0.0	2557.2	5994.4
13	0.26	52.6	0.44	764.19	867.08	433.54	1.1	45.5	0.0	2871.9	6256.6
14	0.26	53.5	0.45	077.87	924.17	462.09	1.1	45.3	0.0	3145.1	6710.4
15	0.26	52.6	0.45	391.55	981.26	490.63	1.12	44.8	0.0	3499.6	6766.4
16	0.26	53.5	0.45	705.23	1038.35	519.18	1.12	44.7	0.0	3780.1	7232.9
17	0.26	50.8	0.4	6026.1	1096.75	548.37	1.15	43.7	0.0	4201.1	6890.2
18	0.26	49.5	0.45	927.73	1078.85	539.42	1.16	43.4	0.0	4143.2	6558.8
19	0.26	50.6	0.4	5736.5	1044.04	522.02	1.14	43.9	0.0	3918.2	6624.1
20	0.26	50.6	0.45	541.17	1008.49	504.25	1.14	44.1	0.0	3722.8	6478.7
21	0.26	50.6	0.45	345.84	972.94	486.47	1.13	44.3	0.0	3528.1	6332.5
22	0.26	50.6	0.45	150.51	937.39	468.7	1.12	44.5	0.0	3334.1	6185.3
23	0.26	50.6	0.44	955.18	901.84	450.92	1.12	44.8	0.0	3140.9	6037.2
24	0.26	50.6	0.44	759.85	866.29	433.15	1.11	45.0	0.0	2948.4	5888.1
25	0.26	50.6	0.44	564.52	830.74	415.37	1.11	45.2	0.0	2756.7	5737.9
26	0.26	53.2	0.44	358.16	793.18	396.59	1.09	46.1	0.0	2440.2	6043.3
27	0.26	56.1	0.54	127.21	751.15	375.58	1.07	47.0	0.0	2061.7	6429.7
28	0.26	56.1	0.5	3882.7	706.65	353.33	1.06	47.3	0.0	1818.4	6194.8
29	0.26	55.3	0.53	642.29	662.9	331.45	1.06	47.4	0.0	1629.3	5796.5
30	0.26	56.1	0.53	401.88	619.14	309.57	1.05	47.9	0.0	1344.6	5727.2
31	0.26	56.1	0.53	267.55	594.69	297.35	1.05	48.1	0.0	1213.4	5595.2
32	0.26	55.3	0.53	214.61	585.06	292.53	1.05	47.9	0.0	1212.3	5390.5
33	0.26	58.0	0.5	3151.5	573.57	286.79	1.04	48.6	0.0	972.0	5864.8
34	0.26	64.3	0.63	031.01	551.64	275.82	1.03	50.0	0.0	264.1	7453.6
35	0.26	63.8	0.62	871.52	522.62	261.31	1.03	50.1	0.0	161.5	7060.4
36	0.26	64.3	0.62	712.03	493.59	246.8	1.02	50.3	0.0	-59.0	6997.0
37	0.26	64.3	0.62	548.45	463.82	231.91	1.02	50.5	0.0	-223.4	6761.4
38	0.26	64.3	0.62	384.86	434.04	217.02	1.02	50.6	0.0	-386.9	6524.9
39	0.26	64.3	0.62	221.27	404.27	202.14	1.02	50.8	0.0	-549.5	6287.3
40	0.26	63.8	0.62	025.86	368.71	184.35	1.02	50.9	0.0	-680.1	5866.4
41	0.26	64.3	0.61	834.98	333.97	166.98	1.02	51.2	0.0	-929.7	5722.1
42	0.26	64.3	0.61	640.01	298.48	149.24	1.02	51.4	0.0	-1119.5	5434.5
43	0.26	64.3	0.61	445.04	263.0	131.5	1.02	51.6	0.0	-1307.9	5145.3
44	0.26	64.3	0.61	250.06	227.51	113.76	1.01	51.8	0.0	-1494.7	4854.4
45	0.26	64.3	0.61	055.09	192.03	96.01	1.01	52.0	0.0	-1680.1	4561.9
46	0.26	63.8	0.6	864.21	157.29	78.64	1.01	52.2	0.0	-1793.0	4178.1
47	0.26	64.3	0.6	673.34	122.55	61.27	1.01	52.5	0.0	-2038.3	3983.9

48	0.26	64.3	0.6	478.36	87.06	43.53	1.01	52.7	0.0-2218.7	3685.9
49	0.26	64.3	0.6	283.39	51.58	25.79	1.01	53.0	0.0-2397.4	3386.0
50	0.26	64.0	0.6	90.3	16.44	8.22	1.01	53.2	0.0-2540.2	3054.9

Superficie Nr...6 Fattore di sicurezza=1.64

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0.3	33.8	0.4	287.14	52.26	26.13	1.01	52.2	0.0	-634.9	1763.0
2	0.3	32.1	0.4	866.5	157.7	78.85	1.02	50.2	0.0	-106.6	2126.1
3	0.3	33.7	0.4	1446.22	263.21	131.61	1.04	48.7	0.0	326.5	2545.7
4	0.3	33.7	0.4	2021.23	367.86	183.93	1.06	47.3	0.0	817.6	2906.0
5	0.3	33.7	0.4	2596.23	472.51	236.26	1.09	46.1	0.0	1316.8	3251.7
6	0.3	32.1	0.4	3175.95	578.02	289.01	1.12	44.8	0.0	1880.6	3516.5
7	0.3	42.0	0.4	3727.52	678.41	339.2	1.1	45.4	0.0	2021.7	4474.3
8	0.3	50.5	0.5	4208.35	765.92	382.96	1.08	46.4	0.0	2088.3	5871.2
9	0.3	50.5	0.5	4651.33	846.54	423.27	1.09	45.9	0.0	2509.6	6228.2
10	0.3	51.4	0.5	5089.59	926.31	463.15	1.1	45.6	0.0	2886.6	6748.3
11	0.3	50.5	0.5	5527.86	1006.07	503.03	1.11	44.9	0.0	3354.9	6919.5
12	0.3	51.4	0.5	5966.12	1085.83	542.92	1.12	44.7	0.0	3742.8	7451.2
13	0.3	50.5	0.5	6404.38	1165.6	582.8	1.14	44.1	0.0	4214.1	7592.9
14	0.3	51.4	0.5	6842.64	1245.36	622.68	1.14	43.9	0.0	4612.3	8137.0
15	0.3	49.3	0.5	7287.07	1326.25	663.12	1.17	43.0	0.0	5135.3	7969.4
16	0.3	48.6	0.5	7058.09	1284.57	642.29	1.17	43.0	0.0	4931.6	7661.8
17	0.3	48.6	0.5	6819.0	1241.06	620.53	1.16	43.2	0.0	4695.9	7493.8
18	0.3	48.6	0.5	6579.9	1197.54	598.77	1.16	43.4	0.0	4461.0	7324.6
19	0.3	48.6	0.5	6340.8	1154.03	577.01	1.15	43.7	0.0	4226.9	7154.3
20	0.3	48.6	0.5	6101.7	1110.51	555.25	1.14	43.9	0.0	3993.7	6982.8
21	0.3	47.6	0.5	5867.32	1067.85	533.93	1.14	43.9	0.0	3805.5	6635.6
22	0.3	48.6	0.5	5632.94	1025.19	512.6	1.13	44.4	0.0	3539.2	6643.1
23	0.3	49.1	0.5	5391.56	981.26	490.63	1.12	44.7	0.0	3286.4	6548.7
24	0.3	53.9	0.5	5121.89	932.18	466.09	1.08	46.1	0.0	2784.0	7313.1
25	0.3	53.9	0.5	4826.21	878.37	439.19	1.08	46.4	0.0	2494.7	7050.0
26	0.3	53.1	0.5	4535.25	825.41	412.71	1.08	46.6	0.0	2259.3	6620.9
27	0.3	53.9	0.5	4362.84	794.04	397.02	1.07	46.9	0.0	2045.2	6633.0
28	0.3	53.9	0.5	4315.34	785.39	392.7	1.07	47.0	0.0	1999.4	6589.9
29	0.3	53.9	0.5	4267.83	776.74	388.37	1.07	47.0	0.0	1953.6	6546.8
30	0.3	56.5	0.6	4203.42	765.02	382.51	1.06	47.7	0.0	1713.2	7080.9
31	0.3	62.0	0.6	4077.71	742.14	371.07	1.04	49.0	0.0	1086.0	8606.9
32	0.3	62.0	0.6	3907.61	711.18	355.59	1.03	49.2	0.0	916.0	8389.1
33	0.3	62.5	0.7	3732.79	679.37	339.68	1.03	49.5	0.0	684.7	8338.6
34	0.3	62.0	0.6	3557.97	647.55	323.78	1.03	49.5	0.0	568.9	7938.8
35	0.3	62.5	0.7	3335.81	607.12	303.56	1.03	49.8	0.0	291.5	7813.0
36	0.3	62.0	0.6	3119.45	567.74	283.87	1.03	49.9	0.0	138.3	7368.6
37	0.3	62.0	0.6	2907.8	529.22	264.61	1.03	50.1	0.0	-67.6	7091.2
38	0.3	62.5	0.7	2691.43	489.84	244.92	1.02	50.4	0.0	-337.2	6949.1
39	0.3	62.0	0.6	2475.07	450.46	225.23	1.02	50.5	0.0	-484.3	6519.2
40	0.3	62.5	0.7	2258.7	411.08	205.54	1.02	50.8	0.0	-752.3	6361.0

41	0.3	62.0	0.62042.34	371.71	185.85	1.02	51.0	0.0	-895.1	5940.6
42	0.3	62.5	0.71825.97	332.33	166.16	1.02	51.2	0.0	-1161.4	5766.1
43	0.3	62.0	0.6 1609.6	292.95	146.47	1.02	51.4	0.0	-1299.6	5354.8
44	0.3	62.0	0.61397.96	254.43	127.21	1.02	51.6	0.0	-1495.0	5065.6
45	0.3	62.5	0.71181.59	215.05	107.52	1.01	51.9	0.0	-1758.4	4866.6
46	0.3	62.0	0.6 965.22	175.67	87.84	1.01	52.1	0.0	-1889.3	4468.3
47	0.3	62.5	0.7 748.86	136.29	68.15	1.01	52.4	0.0	-2150.6	4252.6
48	0.3	62.0	0.6 532.49	96.91	48.46	1.01	52.6	0.0	-2276.2	3862.5
49	0.3	62.0	0.6 320.84	58.39	29.2	1.01	52.9	0.0	-2462.5	3563.0
50	0.3	62.4	0.7 105.51	19.2	9.6	1.01	53.2	0.0	-2704.2	3308.8

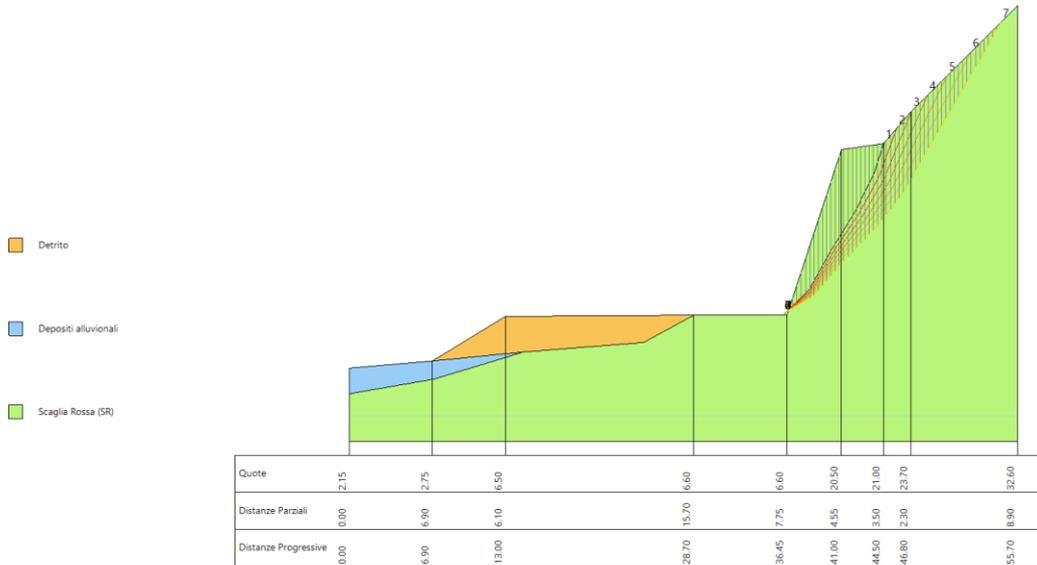
Superficie Nr...7 Fattore di sicurezza=1.60

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0.35	30.9	0.4	400.8	72.95	36.47	1.01	51.9	0.0	-597.9	2073.0
2	0.35	31.2	0.41201.33	218.64	109.32	1.03	49.6	0.0	45.5	2623.3	
3	0.35	31.2	0.42000.74	364.14	182.07	1.05	47.8	0.0	716.8	3131.5	
4	0.35	31.2	0.42800.16	509.63	254.81	1.08	46.2	0.0	1402.3	3612.5	
5	0.35	31.2	0.43599.58	655.12	327.56	1.12	44.8	0.0	2099.0	4071.7	
6	0.35	34.5	0.44385.72	798.2	399.1	1.13	44.1	0.0	2660.5	4698.4	
7	0.35	48.8	0.55084.02	925.29	462.65	1.09	45.8	0.0	2627.4	6770.4	
8	0.35	48.8	0.55707.73	1038.81	519.4	1.11	45.2	0.0	3212.8	7251.6	
9	0.35	48.8	0.56331.45	1152.32	576.16	1.12	44.6	0.0	3804.6	7724.2	
10	0.35	49.7	0.56949.67	1264.84	632.42	1.13	44.3	0.0	4355.6	8371.3	
11	0.35	48.8	0.57567.89	1377.36	688.68	1.15	43.6	0.0	4994.9	8638.6	
12	0.35	48.8	0.5 8191.6	1490.87	745.44	1.17	43.1	0.0	5603.1	9089.6	
13	0.35	48.7	0.58804.32	1602.39	801.19	1.18	42.6	0.0	6211.1	9488.5	
14	0.35	46.2	0.5 8495.0	1546.09	773.04	1.2	42.2	0.0	6006.0	8684.7	
15	0.35	47.1	0.58195.71	1491.62	745.81	1.18	42.6	0.0	5679.8	8684.4	
16	0.35	46.2	0.57896.42	1437.15	718.57	1.18	42.7	0.0	5427.2	8288.3	
17	0.35	46.2	0.57602.62	1383.68	691.84	1.17	42.9	0.0	5144.6	8091.7	
18	0.35	47.1	0.57303.33	1329.21	664.6	1.16	43.4	0.0	4818.1	8070.9	
19	0.35	46.2	0.57004.04	1274.74	637.37	1.16	43.4	0.0	4572.1	7686.5	
20	0.35	46.2	0.56710.24	1221.26	610.63	1.15	43.7	0.0	4292.9	7485.2	
21	0.35	49.9	0.56392.97	1163.52	581.76	1.12	44.8	0.0	3808.0	7994.5	
22	0.35	51.2	0.66042.76	1099.78	549.89	1.1	45.4	0.0	3395.3	8021.5	
23	0.35	52.0	0.6 5722.7	1041.53	520.77	1.09	45.9	0.0	3042.6	7930.0	
24	0.35	52.0	0.65688.55	1035.32	517.66	1.09	45.9	0.0	3009.9	7901.1	
25	0.35	52.0	0.6 5654.4	1029.1	514.55	1.09	46.0	0.0	2977.3	7872.1	
26	0.35	52.0	0.65620.25	1022.89	511.44	1.09	46.0	0.0	2944.6	7843.2	
27	0.35	55.8	0.65554.88	1010.99	505.49	1.07	46.9	0.0	2607.2	8790.8	
28	0.35	60.2	0.75412.63	985.1	492.55	1.05	48.1	0.0	2037.7	10216.5	
29	0.35	60.2	0.75224.74	950.9	475.45	1.05	48.3	0.0	1851.7	9994.6	
30	0.35	60.2	0.74989.96	908.17	454.09	1.04	48.5	0.0	1620.3	9716.2	
31	0.35	59.8	0.74751.23	864.72	432.36	1.04	48.5	0.0	1441.5	9253.3	
32	0.35	60.2	0.74512.49	821.27	410.64	1.04	48.8	0.0	1153.4	9145.7	
33	0.35	60.2	0.74268.26	776.82	388.41	1.04	49.0	0.0	916.5	8851.7	

34	0.35	60.2	0.74024.03	732.37	366.19	1.03	49.2	0.0	681.0	8556.0
35	0.35	60.2	0.73779.81	687.92	343.96	1.03	49.4	0.0	446.9	8258.7
36	0.35	60.2	0.73535.58	643.48	321.74	1.03	49.6	0.0	214.3	7959.7
37	0.35	60.2	0.73291.35	599.03	299.51	1.03	49.9	0.0	-16.8	7659.0
38	0.35	60.2	0.73047.12	554.58	277.29	1.03	50.1	0.0	-246.3	7356.5
39	0.35	60.2	0.7 2802.9	510.13	255.06	1.02	50.3	0.0	-474.2	7052.2
40	0.35	60.2	0.72558.67	465.68	232.84	1.02	50.5	0.0	-700.5	6745.9
41	0.35	60.2	0.72314.44	421.23	210.61	1.02	50.8	0.0	-925.1	6437.7
42	0.35	60.2	0.72070.21	376.78	188.39	1.02	51.0	0.0	-1147.9	6127.5
43	0.35	60.2	0.71825.99	332.33	166.16	1.02	51.3	0.0	-1368.9	5815.1
44	0.35	60.2	0.71581.76	287.88	143.94	1.02	51.5	0.0	-1588.0	5500.6
45	0.35	60.2	0.71337.53	243.43	121.72	1.01	51.8	0.0	-1805.1	5183.8
46	0.35	60.2	0.7 1093.3	198.98	99.49	1.01	52.0	0.0	-2020.2	4864.6
47	0.35	60.2	0.7 849.08	154.53	77.27	1.01	52.3	0.0	-2233.2	4543.0
48	0.35	60.2	0.7 604.85	110.08	55.04	1.01	52.6	0.0	-2443.9	4218.9
49	0.35	60.2	0.7 360.62	65.63	32.82	1.01	52.9	0.0	-2652.4	3892.1
50	0.35	60.1	0.7 118.42	21.55	10.78	1.01	53.2	0.0	-2831.6	3541.2

Fs = 1.60 Superficie... 7  
 Fs = 1.64 Superficie... 6  
 Fs = 1.69 Superficie... 5  
 Fs = 1.74 Superficie... 4  
 Fs = 1.80 Superficie... 3  
 Fs = 1.84 Superficie... 2  
 Fs = 1.87 Superficie... 1

SEZIONE Progr. 0+300  
 VERIFICA CONDIZIONI SISMICHE  
 SUPERFICI POLIGONALI  
 F<sub>smin</sub> = 1,60



PROGRESSIVA 0+300  
VERIFICA DI STABILITA' BISHOP

Analisi di stabilità dei pendii con : JANBU (1967)

Lat./Long.	42.745175/12.83962 °
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	3.0
Numero dei conci	50.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.2
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma generica	

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe IV
Vita nominale:	100.0 [anni]
Vita di riferimento:	200.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	120.0	1.393	2.324	0.291
S.L.D.	201.0	1.726	2.315	0.305
S.L.V.	1898.0	3.795	2.38	0.351
S.L.C.	2475.0	4.129	2.39	0.355

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Classe IV

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	2.0059	0.0	0.0	0.0
S.L.D.	2.4854	0.47	0.1191	0.0596
S.L.V.	4.6978	0.38	0.182	0.091
S.L.C.	4.9548	0.0	0.0	0.0

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.182

Coefficiente azione sismica verticale 0.091

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	2.15
2	6.9	2.75
3	13.0	6.5

4	28.7	6.6
5	36.45	6.6
6	41.0	20.5
7	44.5	21.0
8	46.8	23.7
9	55.7	32.6

Vertici strato .....1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	2.15
2	6.9	2.75
3	14.5	3.5
4	24.5	4.3
5	28.7	6.6
6	36.45	6.6
7	41.0	20.5
8	44.5	21.0
9	46.8	23.7
10	55.7	32.6

Vertici strato .....2

N	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	7.05	1.23
3	14.5	3.5
4	24.5	4.3
5	28.7	6.6
6	36.45	6.6
7	41.0	20.5
8	44.5	21.0
9	46.8	23.7
10	46.8	23.7
11	55.7	32.6

Vertici superficie Nr...1

N	X m	y m
1	36.28	6.7
2	38.28	8.71
3	40.14	12.06
4	42.16	15.35
5	43.7	18.49
6	44.53	21.07

Vertici superficie Nr...2

N	X m	y m
1	36.15	6.7
2	38.35	8.64
3	40.33	11.92
4	42.46	15.14
5	44.11	18.22
6	45.61	22.3

Vertici superficie Nr...3

N	X m	y m
1	36.14	6.7
2	38.42	8.57
3	40.51	11.77
4	42.75	14.92
5	44.51	17.94
6	46.86	23.77

Vertici superficie Nr...4

N	X m	y m
1	36.13	6.7
2	38.48	8.49
3	40.68	11.62
4	43.04	14.69
5	44.9	17.65
6	48.21	25.12

Vertici superficie Nr...5

N	X m	y m
1	36.12	6.7
2	38.54	8.41
3	40.85	11.47
4	43.31	14.45
5	45.27	17.34
6	49.82	26.73

Vertici superficie Nr...6

N	X m	y m
1	36.11	6.7
2	38.6	8.33
3	41.02	11.3
4	43.58	14.2
5	45.64	17.02
6	51.8	28.71

Vertici superficie Nr...7

N	X m	y m
1	36.1	6.7
2	38.66	8.25
3	41.17	11.14
4	43.83	13.94
5	45.99	16.69
6	54.3	31.2

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0  
Favorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio 1.25  
Coesione efficace 1.25  
Coesione non drenata 1.4  
Riduzione parametri geotecnici terreno No

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0		30	1900	2000	Detrito	
2	0		32	2000	2100	Depositi alluvionali	
3	2		32	2600	2600	Scaglia Rossa (SR)	

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

Superficie Nr...1 Fattore di sicurezza=3.49

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0.16	44.9	0.2	67.25	12.24	6.12	2.0	32.0	0.0	-844.2	1330.4
2	0.16	44.3	0.2	202.39	36.84	18.42	2.0	32.0	0.0	-655.6	1342.7
3	0.16	46.5	0.2	335.71	61.1	30.55	2.0	32.0	0.0	-578.2	1469.8
4	0.16	44.3	0.2	469.02	85.36	42.68	2.0	32.0	0.0	-330.1	1410.6
5	0.16	44.3	0.2	604.79	110.07	55.04	2.0	32.0	0.0	-164.4	1445.1
6	0.16	46.5	0.2	738.1	134.33	67.17	2.0	32.0	0.0	-73.2	1579.1
7	0.16	44.3	0.2	871.41	158.6	79.3	2.0	32.0	0.0	161.0	1513.0
8	0.16	44.3	0.2	1007.18	183.31	91.65	2.0	32.0	0.0	326.7	1547.5
9	0.16	46.5	0.2	1140.49	207.57	103.78	2.0	32.0	0.0	431.8	1688.4
10	0.16	44.3	0.2	1273.8	231.83	115.92	2.0	32.0	0.0	652.1	1615.4
11	0.16	50.4	0.2	1401.99	255.16	127.58	2.0	32.0	0.0	647.6	2014.4
12	0.16	61.0	0.3	1503.16	273.57	136.79	2.0	32.0	0.0	224.2	3289.2
13	0.16	61.0	0.3	1584.87	288.45	144.22	2.0	32.0	0.0	357.0	3330.1
14	0.16	61.0	0.3	1666.59	303.32	151.66	2.0	32.0	0.0	489.9	3371.0
15	0.16	61.0	0.3	1748.3	318.19	159.1	2.0	32.0	0.0	622.7	3411.8
16	0.16	61.0	0.3	1830.02	333.06	166.53	2.0	32.0	0.0	755.6	3452.7
17	0.16	61.0	0.3	1911.73	347.94	173.97	2.0	32.0	0.0	888.4	3493.6
18	0.16	61.0	0.3	1993.45	362.81	181.4	2.0	32.0	0.0	1021.3	3534.4
19	0.16	61.0	0.3	2075.16	377.68	188.84	2.0	32.0	0.0	1154.1	3575.3
20	0.16	61.0	0.3	2156.88	392.55	196.28	2.0	32.0	0.0	1287.0	3616.2

21	0.16	61.0	0.32238.59	407.42	203.71	2.0	32.0	0.0	1419.8	3657.0
22	0.16	61.0	0.32320.31	422.3	211.15	2.0	32.0	0.0	1552.6	3697.9
23	0.16	59.4	0.32405.72	437.84	218.92	2.0	32.0	0.0	1767.1	3438.5
24	0.16	57.7	0.32498.51	454.73	227.36	2.0	32.0	0.0	1972.6	3192.5
25	0.16	58.8	0.32592.51	471.84	235.92	2.0	32.0	0.0	2079.3	3426.0
26	0.16	58.8	0.32684.05	488.5	244.25	2.0	32.0	0.0	2221.3	3466.9
27	0.16	58.8	0.32775.59	505.16	252.58	2.0	32.0	0.0	2363.2	3507.8
28	0.16	57.7	0.32869.59	522.27	261.13	2.0	32.0	0.0	2534.0	3349.0
29	0.16	58.8	0.32843.41	517.5	258.75	2.0	32.0	0.0	2468.4	3538.1
30	0.16	58.8	0.32744.64	499.52	249.76	2.0	32.0	0.0	2315.2	3494.0
31	0.16	57.7	0.32648.32	482.0	241.0	2.0	32.0	0.0	2199.3	3255.7
32	0.16	58.8	0.32552.01	464.47	232.23	2.0	32.0	0.0	2016.5	3407.9
33	0.16	58.8	0.32453.24	446.49	223.24	2.0	32.0	0.0	1863.4	3363.8
34	0.16	57.7	0.32356.93	428.96	214.48	2.0	32.0	0.0	1758.4	3132.9
35	0.16	58.8	0.32260.62	411.43	205.72	2.0	32.0	0.0	1564.7	3277.7
36	0.16	63.4	0.42150.64	391.42	195.71	2.0	32.0	0.0	1100.9	4141.0
37	0.16	63.8	0.42028.37	369.16	184.58	2.0	32.0	0.0	855.5	4163.4
38	0.16	63.8	0.41905.03	346.72	173.36	2.0	32.0	0.0	641.2	4091.1
39	0.16	63.8	0.41781.69	324.27	162.13	2.0	32.0	0.0	427.0	4018.8
40	0.16	63.8	0.41658.35	301.82	150.91	2.0	32.0	0.0	212.7	3946.5
41	0.16	63.8	0.41535.02	279.37	139.69	2.0	32.0	0.0	-1.6	3874.2
42	0.16	63.8	0.41411.68	256.92	128.46	2.0	32.0	0.0	-215.8	3801.9
43	0.16	63.8	0.41288.34	234.48	117.24	2.0	32.0	0.0	-430.1	3729.6
44	0.16	63.8	0.4 1165.0	212.03	106.01	2.0	32.0	0.0	-644.4	3657.3
45	0.16	64.4	0.41039.69	189.22	94.61	2.0	32.0	0.0	-957.0	3731.5
46	0.16	72.4	0.5 877.53	159.71	79.86	2.0	32.0	0.0	-3404.6	6620.3
47	0.16	72.4	0.5 680.49	123.85	61.92	2.0	32.0	0.0	-3848.3	6401.1
48	0.16	72.4	0.5 483.44	87.99	43.99	2.0	32.0	0.0	-4292.1	6182.0
49	0.16	72.0	0.5 288.85	52.57	26.29	2.0	32.0	0.0	-4537.4	5754.3
50	0.16	72.4	0.5 94.53	17.2	8.6	2.0	32.0	0.0	-5145.6	5726.5

Superficie Nr...2 Fattore di sicurezza=3.40

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0.18	41.4	0.2	91.29	16.61	8.31	2.0	32.0	0.0	-805.6	1401.8
2	0.18	40.8	0.2	274.7	50.0	25.0	2.0	32.0	0.0	-565.2	1421.2
3	0.18	42.9	0.2	456.18	83.02	41.51	2.0	32.0	0.0	-432.0	1549.8
4	0.18	40.8	0.2	637.65	116.05	58.03	2.0	32.0	0.0	-141.9	1506.7
5	0.18	40.8	0.2	821.91	149.59	74.79	2.0	32.0	0.0	73.0	1550.2
6	0.18	40.8	0.2	1006.17	183.12	91.56	2.0	32.0	0.0	287.9	1593.6
7	0.18	42.9	0.2	1187.65	216.15	108.08	2.0	32.0	0.0	441.9	1732.3
8	0.18	40.8	0.2	1369.12	249.18	124.59	2.0	32.0	0.0	711.2	1679.2
9	0.18	40.8	0.2	1553.38	282.72	141.36	2.0	32.0	0.0	926.1	1722.6
10	0.18	48.7	0.3	1725.98	314.13	157.06	2.0	32.0	0.0	932.3	2241.1
11	0.18	58.9	0.3	1865.15	339.46	169.73	2.0	32.0	0.0	625.2	3486.9
12	0.18	58.9	0.3	1982.55	360.82	180.41	2.0	32.0	0.0	806.5	3540.7
13	0.18	58.9	0.3	2099.95	382.19	191.1	2.0	32.0	0.0	987.8	3594.4
14	0.18	59.9	0.4	2214.56	403.05	201.53	2.0	32.0	0.0	1097.4	3834.0
15	0.18	58.9	0.3	2329.17	423.91	211.95	2.0	32.0	0.0	1341.7	3699.3

16	0.18	58.9	0.32446.57	445.28	222.64	2.0	32.0	0.01523.0	3753.0
17	0.18	58.9	0.32563.97	466.64	233.32	2.0	32.0	0.01704.3	3806.8
18	0.18	58.9	0.32681.36	488.01	244.0	2.0	32.0	0.01885.6	3860.5
19	0.18	58.9	0.32798.76	509.37	254.69	2.0	32.0	0.02066.9	3914.2
20	0.18	58.9	0.32916.16	530.74	265.37	2.0	32.0	0.02248.2	3968.0
21	0.18	58.1	0.33035.64	552.49	276.24	2.0	32.0	0.02460.4	3872.1
22	0.18	56.7	0.33160.7	575.25	287.62	2.0	32.0	0.02686.9	3680.0
23	0.18	55.6	0.33292.03	599.15	299.57	2.0	32.0	0.02901.7	3541.2
24	0.18	56.7	0.33423.35	623.05	311.53	2.0	32.0	0.03075.3	3788.4
25	0.18	56.7	0.33523.32	641.24	320.62	2.0	32.0	0.03223.1	3829.7
26	0.18	56.7	0.33407.17	620.1	310.05	2.0	32.0	0.03051.3	3781.7
27	0.18	55.6	0.33293.8	599.47	299.74	2.0	32.0	0.02904.3	3541.9
28	0.18	56.7	0.33180.44	578.84	289.42	2.0	32.0	0.02716.1	3688.1
29	0.18	56.7	0.33064.29	557.7	278.85	2.0	32.0	0.02544.4	3640.2
30	0.18	56.7	0.32948.14	536.56	268.28	2.0	32.0	0.02372.6	3592.2
31	0.18	56.7	0.32831.99	515.42	257.71	2.0	32.0	0.02200.9	3544.3
32	0.18	55.6	0.32718.63	494.79	247.39	2.0	32.0	0.02072.7	3316.7
33	0.18	59.9	0.42596.88	472.63	236.32	2.0	32.0	0.01699.8	4019.6
34	0.18	61.7	0.42458.42	447.43	223.72	2.0	32.0	0.01351.4	4353.8
35	0.18	61.7	0.42314.41	421.22	210.61	2.0	32.0	0.01114.9	4277.4
36	0.18	61.7	0.42170.4	395.01	197.51	2.0	32.0	0.00878.4	4201.1
37	0.18	61.7	0.42026.39	368.8	184.4	2.0	32.0	0.00641.9	4124.7
38	0.18	62.5	0.41879.6	342.09	171.04	2.0	32.0	0.00311.0	4241.5
39	0.18	61.7	0.41732.8	315.37	157.68	2.0	32.0	0.00159.8	3969.1
40	0.18	61.7	0.41588.79	289.16	144.58	2.0	32.0	0.00-76.7	3892.7
41	0.18	61.7	0.41444.78	262.95	131.48	2.0	32.0	0.00-313.2	3816.4
42	0.18	64.9	0.41289.04	234.6	117.3	2.0	32.0	0.00-1053.0	4519.6
43	0.18	69.8	0.51097.08	199.67	99.83	2.0	32.0	0.00-2654.5	6214.6
44	0.18	69.8	0.50880.63	160.28	80.14	2.0	32.0	0.00-3097.3	6018.3
45	0.18	69.8	0.50720.3	131.09	65.55	2.0	32.0	0.00-3425.2	5872.8
46	0.18	70.2	0.50587.7	106.96	53.48	2.0	32.0	0.00-3870.3	5960.0
47	0.18	69.8	0.50455.11	82.83	41.41	2.0	32.0	0.00-3967.7	5632.3
48	0.18	69.8	0.50325.3	59.2	29.6	2.0	32.0	0.00-4233.2	5514.5
49	0.18	69.8	0.50195.49	35.58	17.79	2.0	32.0	0.00-4498.7	5396.8
50	0.18	69.9	0.50065.3	11.88	5.94	2.0	32.0	0.00-4790.9	5304.7

Superficie Nr...3 Fattore di sicurezza=3.30

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0.2	38.9	0.3	122.83	22.36	11.18	2.0	32.0	0.0	-810.7	1543.6
2	0.2	39.2	0.3	368.03	66.98	33.49	2.0	32.0	0.0	-543.1	1611.8
3	0.2	39.2	0.3	612.76	111.52	55.76	2.0	32.0	0.0	-263.5	1668.8
4	0.2	41.1	0.3	854.31	155.49	77.74	2.0	32.0	0.0	-57.5	1812.0
5	0.2	39.2	0.3	1095.87	199.45	99.72	2.0	32.0	0.0	288.6	1781.2
6	0.2	39.2	0.3	1340.6	243.99	121.99	2.0	32.0	0.0	568.2	1838.1
7	0.2	39.2	0.3	1585.33	288.53	144.26	2.0	32.0	0.0	847.9	1895.0
8	0.2	39.2	0.3	1830.06	333.07	166.54	2.0	32.0	0.0	1127.5	1952.0

9	0.2	42.3	0.32069.61	376.67	188.33	2.0	32.0	0.01333.2	2176.2
10	0.2	57.5	0.42267.87	412.75	206.38	2.0	32.0	0.0 956.9	3871.1
11	0.2	56.5	0.42433.19	442.84	221.42	2.0	32.0	0.01268.9	3767.3
12	0.2	57.5	0.42598.51	472.93	236.46	2.0	32.0	0.01450.2	4016.1
13	0.2	56.5	0.42763.84	503.02	251.51	2.0	32.0	0.01752.8	3905.9
14	0.2	56.5	0.42932.33	533.68	266.84	2.0	32.0	0.01999.4	3976.4
15	0.2	57.5	0.43097.66	563.77	281.89	2.0	32.0	0.02194.9	4235.0
16	0.2	56.5	0.43262.98	593.86	296.93	2.0	32.0	0.02483.3	4114.9
17	0.2	57.5	0.4 3428.3	623.95	311.98	2.0	32.0	0.02688.1	4380.0
18	0.2	56.5	0.43593.63	654.04	327.02	2.0	32.0	0.02967.2	4253.5
19	0.2	57.5	0.43758.95	684.13	342.06	2.0	32.0	0.03181.4	4525.0
20	0.2	53.6	0.33932.68	715.75	357.87	2.0	32.0	0.03508.1	3880.6
21	0.2	54.4	0.44115.94	749.1	374.55	2.0	32.0	0.03757.1	4072.3
22	0.2	55.5	0.44273.36	777.75	388.88	2.0	32.0	0.03971.9	4332.1
23	0.2	54.4	0.44133.32	752.26	376.13	2.0	32.0	0.03781.6	4079.0
24	0.2	54.4	0.43996.46	727.36	363.68	2.0	32.0	0.03589.0	4026.8
25	0.2	54.4	0.4 3859.6	702.45	351.22	2.0	32.0	0.03396.4	3974.6
26	0.2	54.4	0.43722.74	677.54	338.77	2.0	32.0	0.03203.9	3922.4
27	0.2	54.4	0.43585.89	652.63	326.32	2.0	32.0	0.03011.3	3870.2
28	0.2	54.4	0.43449.03	627.72	313.86	2.0	32.0	0.02818.7	3817.9
29	0.2	54.4	0.43312.17	602.81	301.41	2.0	32.0	0.02626.2	3765.7
30	0.2	54.5	0.43174.96	577.84	288.92	2.0	32.0	0.02429.1	3732.9
31	0.2	60.2	0.43018.69	549.4	274.7	2.0	32.0	0.01910.3	4795.5
32	0.2	59.3	0.4 2846.9	518.13	259.07	2.0	32.0	0.01703.3	4509.6
33	0.2	60.2	0.4 2675.1	486.87	243.43	2.0	32.0	0.01368.5	4623.5
34	0.2	60.2	0.42500.12	455.02	227.51	2.0	32.0	0.01092.6	4535.9
35	0.2	59.3	0.42328.33	423.76	211.88	2.0	32.0	0.0 900.3	4261.0
36	0.2	60.2	0.42156.53	392.49	196.24	2.0	32.0	0.0 550.9	4363.9
37	0.2	59.3	0.41984.73	361.22	180.61	2.0	32.0	0.0 368.2	4096.3
38	0.2	60.2	0.41812.93	329.95	164.98	2.0	32.0	0.0 9.1	4191.9
39	0.2	63.8	0.51622.17	295.24	147.62	2.0	32.0	0.0 -830.9	5022.7
40	0.2	68.2	0.61501.42	273.26	136.63	2.0	32.0	0.0-2102.6	6619.8
41	0.2	68.2	0.61356.48	246.88	123.44	2.0	32.0	0.0-2382.5	6500.8
42	0.2	67.7	0.51214.71	221.08	110.54	2.0	32.0	0.0-2505.6	6172.0
43	0.2	68.2	0.61072.94	195.28	97.64	2.0	32.0	0.0-2930.0	6268.0
44	0.2	67.7	0.5 931.17	169.47	84.74	2.0	32.0	0.0-3045.7	5946.9
45	0.2	68.2	0.6 789.41	143.67	71.84	2.0	32.0	0.0-3477.5	6035.1
46	0.2	68.2	0.6 644.46	117.29	58.65	2.0	32.0	0.0-3757.4	5916.1
47	0.2	67.7	0.5 502.69	91.49	45.75	2.0	32.0	0.0-3861.9	5606.7
48	0.2	68.2	0.6 360.93	65.69	32.84	2.0	32.0	0.0-4304.9	5683.3
49	0.2	67.7	0.5 219.16	39.89	19.94	2.0	32.0	0.0-4402.0	5381.6
50	0.2	68.2	0.6 77.48	14.1	7.05	2.0	32.0	0.0-4847.4	5445.6

Superficie Nr...4 Fattore di sicurezza=3.12

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0.23	37.9	0.3	159.31	28.99	14.5	2.0	32.0	0.0	-902.8	1799.2

2	0.23	37.6	0.3	478.42	87.07	43.54	2.0	32.0	0.0	-534.1	1864.2
3	0.23	35.7	0.3	801.61	145.89	72.95	2.0	32.0	0.0	-99.6	1861.4
4	0.23	37.6	0.31	1124.81	204.72	102.36	2.0	32.0	0.0	189.0	2016.7
5	0.23	37.6	0.31	1444.41	262.88	131.44	2.0	32.0	0.0	546.5	2092.1
6	0.23	37.6	0.31	1764.01	321.05	160.52	2.0	32.0	0.0	904.0	2167.5
7	0.23	37.6	0.32	2083.61	379.22	189.61	2.0	32.0	0.0	1261.5	2242.9
8	0.23	37.6	0.32	2403.21	437.38	218.69	2.0	32.0	0.0	1619.0	2318.3
9	0.23	52.9	0.42	2684.22	488.53	244.26	2.0	32.0	0.0	1418.3	3801.2
10	0.23	55.2	0.4	2918.5	531.17	265.58	2.0	32.0	0.0	1602.3	4276.3
11	0.23	54.2	0.43	148.22	572.98	286.49	2.0	32.0	0.0	1982.3	4193.5
12	0.23	55.2	0.43	377.95	614.79	307.39	2.0	32.0	0.0	2251.4	4466.3
13	0.23	55.2	0.43	604.07	655.94	327.97	2.0	32.0	0.0	2570.9	4559.7
14	0.23	55.2	0.4	3830.2	697.1	348.55	2.0	32.0	0.0	2890.3	4653.2
15	0.23	54.2	0.44	059.93	738.91	369.45	2.0	32.0	0.0	3248.3	4555.1
16	0.23	55.2	0.44	289.65	780.72	390.36	2.0	32.0	0.0	3539.4	4843.2
17	0.23	55.2	0.44	515.78	821.87	410.94	2.0	32.0	0.0	3858.9	4936.7
18	0.23	54.0	0.44	746.22	863.81	431.91	2.0	32.0	0.0	4204.2	4787.0
19	0.23	52.1	0.44	987.45	907.72	453.86	2.0	32.0	0.0	4549.8	4523.8
20	0.23	53.2	0.45	018.31	913.33	456.67	2.0	32.0	0.0	4586.4	4732.1
21	0.23	52.1	0.44	854.95	883.6	441.8	2.0	32.0	0.0	4372.2	4475.5
22	0.23	52.1	0.44	695.19	854.52	427.26	2.0	32.0	0.0	4158.1	4417.3
23	0.23	53.2	0.44	531.83	824.79	412.4	2.0	32.0	0.0	3922.6	4547.1
24	0.23	52.1	0.44	368.47	795.06	397.53	2.0	32.0	0.0	3720.1	4298.2
25	0.23	52.1	0.4	4208.7	765.98	382.99	2.0	32.0	0.0	3506.0	4240.0
26	0.23	53.2	0.44	045.34	736.25	368.13	2.0	32.0	0.0	3258.9	4362.1
27	0.23	52.1	0.43	881.98	706.52	353.26	2.0	32.0	0.0	3068.0	4120.9
28	0.23	54.1	0.43	715.38	676.2	338.1	2.0	32.0	0.0	2773.8	4400.2
29	0.23	57.9	0.43	527.21	641.95	320.98	2.0	32.0	0.0	2305.3	5111.2
30	0.23	57.9	0.43	324.31	605.02	302.51	2.0	32.0	0.0	2003.9	5016.5
31	0.23	57.9	0.4	3121.4	568.1	284.05	2.0	32.0	0.0	1702.4	4921.8
32	0.23	57.9	0.4	2918.5	531.17	265.58	2.0	32.0	0.0	1401.0	4827.1
33	0.23	57.9	0.42	715.59	494.24	247.12	2.0	32.0	0.0	1099.6	4732.4
34	0.23	57.0	0.42	516.28	457.96	228.98	2.0	32.0	0.0	883.4	4458.4
35	0.23	57.9	0.42	379.88	433.14	216.57	2.0	32.0	0.0	600.8	4575.7
36	0.23	60.5	0.52	309.08	420.25	210.13	2.0	32.0	0.0	185.2	5173.8
37	0.23	66.1	0.62	191.55	398.86	199.43	2.0	32.0	0.0	-1098.9	7126.0
38	0.23	66.1	0.62	039.44	371.18	185.59	2.0	32.0	0.0	-1371.9	7013.3
39	0.23	66.1	0.61	887.33	343.49	171.75	2.0	32.0	0.0	-1644.8	6900.6
40	0.23	66.1	0.61	735.22	315.81	157.9	2.0	32.0	0.0	-1917.8	6787.9
41	0.23	66.1	0.61	583.11	288.13	144.06	2.0	32.0	0.0	-2190.8	6675.1
42	0.23	65.7	0.61	434.59	261.1	130.55	2.0	32.0	0.0	-2312.9	6357.9
43	0.23	66.1	0.61	286.08	234.07	117.03	2.0	32.0	0.0	-2723.9	6455.0
44	0.23	66.1	0.61	133.97	206.38	103.19	2.0	32.0	0.0	-2996.8	6342.3
45	0.23	66.1	0.6	962.26	175.13	87.57	2.0	32.0	0.0	-3305.0	6215.1
46	0.23	66.1	0.6	786.0	143.05	71.53	2.0	32.0	0.0	-3621.3	6084.5
47	0.23	66.1	0.6	609.74	110.97	55.49	2.0	32.0	0.0	-3937.6	5953.9
48	0.23	66.1	0.6	433.48	78.89	39.45	2.0	32.0	0.0	-4253.9	5823.2
49	0.23	66.1	0.6	257.21	46.81	23.41	2.0	32.0	0.0	-4570.3	5692.6
50	0.23	66.1	0.6	81.61	14.85	7.43	2.0	32.0	0.0	-4852.9	5530.0

Superficie Nr...5 Fattore di sicurezza=2.96

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0.26	36.1	0.3	211.36	38.47	19.23	2.0	32.0	0.0	-961.9	2075.0
2	0.26	34.1	0.3	638.98	116.29	58.15	2.0	32.0	0.0	-397.7	2087.1
3	0.26	35.8	0.31	1067.41	194.27	97.13	2.0	32.0	0.0	-8.1	2263.7
4	0.26	35.8	0.31	1491.74	271.5	135.75	2.0	32.0	0.0	456.1	2364.5
5	0.26	34.1	0.31	1920.17	349.47	174.74	2.0	32.0	0.0	984.3	2380.8
6	0.26	35.8	0.3	2348.6	427.45	213.72	2.0	32.0	0.0	1393.5	2568.0
7	0.26	35.8	0.32	2772.93	504.67	252.34	2.0	32.0	0.0	1857.8	2668.8
8	0.26	47.5	0.43	163.74	575.8	287.9	2.0	32.0	0.0	1910.5	3758.2
9	0.26	52.6	0.43	501.28	637.23	318.62	2.0	32.0	0.0	2078.0	4639.2
10	0.26	52.6	0.43	819.06	695.07	347.53	2.0	32.0	0.0	2503.2	4762.4
11	0.26	53.5	0.44	132.73	752.16	376.08	2.0	32.0	0.0	2876.4	5067.4
12	0.26	52.6	0.44	446.41	809.25	404.62	2.0	32.0	0.0	3342.5	5005.6
13	0.26	52.6	0.44	764.19	867.08	433.54	2.0	32.0	0.0	3767.7	5128.8
14	0.26	53.5	0.45	077.87	924.17	462.09	2.0	32.0	0.0	4160.3	5447.7
15	0.26	52.6	0.45	391.55	981.26	490.63	2.0	32.0	0.0	4607.1	5372.0
16	0.26	53.5	0.45	705.23	1038.35	519.18	2.0	32.0	0.0	5012.6	5700.0
17	0.26	50.8	0.4	6026.1	1096.75	548.37	2.0	32.0	0.0	5463.8	5261.8
18	0.26	49.5	0.45	927.73	1078.85	539.42	2.0	32.0	0.0	5339.8	4985.8
19	0.26	50.6	0.4	5736.5	1044.04	522.02	2.0	32.0	0.0	5088.7	5109.2
20	0.26	50.6	0.45	541.17	1008.49	504.25	2.0	32.0	0.0	4835.3	5038.9
21	0.26	50.6	0.45	345.84	972.94	486.47	2.0	32.0	0.0	4581.9	4968.6
22	0.26	50.6	0.45	150.51	937.39	468.7	2.0	32.0	0.0	4328.5	4898.3
23	0.26	50.6	0.44	955.18	901.84	450.92	2.0	32.0	0.0	4075.1	4828.1
24	0.26	50.6	0.44	759.85	866.29	433.15	2.0	32.0	0.0	3821.8	4757.8
25	0.26	50.6	0.44	564.52	830.74	415.37	2.0	32.0	0.0	3568.4	4687.5
26	0.26	53.2	0.44	358.16	793.18	396.59	2.0	32.0	0.0	3195.8	5100.1
27	0.26	56.1	0.54	127.21	751.15	375.58	2.0	32.0	0.0	2713.5	5644.4
28	0.26	56.1	0.5	3882.7	706.65	353.33	2.0	32.0	0.0	2366.2	5534.7
29	0.26	55.3	0.53	642.29	662.9	331.45	2.0	32.0	0.0	2089.2	5236.8
30	0.26	56.1	0.53	401.88	619.14	309.57	2.0	32.0	0.0	1683.2	5319.2
31	0.26	56.1	0.53	267.55	594.69	297.35	2.0	32.0	0.0	1492.4	5259.0
32	0.26	55.3	0.53	214.61	585.06	292.53	2.0	32.0	0.0	1490.6	5051.8
33	0.26	58.0	0.5	3151.5	573.57	286.79	2.0	32.0	0.0	1130.1	5678.3
34	0.26	64.3	0.63	031.01	551.64	275.82	2.0	32.0	0.0	-99.8	7857.6
35	0.26	63.8	0.62	871.52	522.62	261.31	2.0	32.0	0.0	-252.4	7521.9
36	0.26	64.3	0.62	712.03	493.59	246.8	2.0	32.0	0.0	-637.7	7639.5
37	0.26	64.3	0.62	548.45	463.82	231.91	2.0	32.0	0.0	-913.6	7527.7
38	0.26	64.3	0.62	384.86	434.04	217.02	2.0	32.0	0.0	-1189.5	7415.9
39	0.26	64.3	0.62	221.27	404.27	202.14	2.0	32.0	0.0	-1465.3	7304.1
40	0.26	63.8	0.62	025.86	368.71	184.35	2.0	32.0	0.0	-1661.7	6960.8
41	0.26	64.3	0.61	834.98	333.97	166.98	2.0	32.0	0.0	-2116.8	7040.0
42	0.26	64.3	0.61	640.01	298.48	149.24	2.0	32.0	0.0	-2445.6	6906.7
43	0.26	64.3	0.61	445.04	263.0	131.5	2.0	32.0	0.0	-2774.4	6773.5
44	0.26	64.3	0.61	250.06	227.51	113.76	2.0	32.0	0.0	-3103.2	6640.2
45	0.26	64.3	0.61	055.09	192.03	96.01	2.0	32.0	0.0	-3432.0	6506.9

46	0.26	63.8	0.6	864.21	157.29	78.64	2.0	32.0	0.0-3597.5	6190.0
47	0.26	64.3	0.6	673.34	122.55	61.27	2.0	32.0	0.0-4075.8	6246.0
48	0.26	64.3	0.6	478.36	87.06	43.53	2.0	32.0	0.0-4404.6	6112.7
49	0.26	64.3	0.6	283.39	51.58	25.79	2.0	32.0	0.0-4733.4	5979.4
50	0.26	64.0	0.6	90.3	16.44	8.22	2.0	32.0	0.0-4979.7	5768.5

Superficie Nr...6 Fattore di sicurezza=2.82

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0.3	33.8	0.4	287.14	52.26	26.13	2.0	32.0	0.0	-982.7	2388.6
2	0.3	32.1	0.4	866.5	157.7	78.85	2.0	32.0	0.0	-277.7	2448.3
3	0.3	33.7	0.4	1446.22	263.21	131.61	2.0	32.0	0.0	263.7	2658.8
4	0.3	33.7	0.4	2021.23	367.86	183.93	2.0	32.0	0.0	878.8	2795.5
5	0.3	33.7	0.4	2596.23	472.51	236.26	2.0	32.0	0.0	1493.9	2932.2
6	0.3	32.1	0.4	3175.95	578.02	289.01	2.0	32.0	0.0	2164.8	2981.5
7	0.3	42.0	0.4	3727.52	678.41	339.2	2.0	32.0	0.0	2429.6	3864.5
8	0.3	50.5	0.5	4208.35	765.92	382.96	2.0	32.0	0.0	2596.0	5213.6
9	0.3	50.5	0.5	4651.33	846.54	423.27	2.0	32.0	0.0	3165.1	5379.2
10	0.3	51.4	0.5	5089.59	926.31	463.15	2.0	32.0	0.0	3686.0	5725.7
11	0.3	50.5	0.5	5527.86	1006.07	503.03	2.0	32.0	0.0	4291.1	5706.8
12	0.3	51.4	0.5	5966.12	1085.83	542.92	2.0	32.0	0.0	4827.1	6064.1
13	0.3	50.5	0.5	6404.38	1165.6	582.8	2.0	32.0	0.0	5417.2	6034.5
14	0.3	51.4	0.5	6842.64	1245.36	622.68	2.0	32.0	0.0	5968.2	6402.6
15	0.3	49.3	0.5	7287.07	1326.25	663.12	2.0	32.0	0.0	6554.2	6098.3
16	0.3	48.6	0.5	7058.09	1284.57	642.29	2.0	32.0	0.0	6268.3	5881.2
17	0.3	48.6	0.5	6819.0	1241.06	620.53	2.0	32.0	0.0	5969.2	5797.4
18	0.3	48.6	0.5	6579.9	1197.54	598.77	2.0	32.0	0.0	5670.2	5713.7
19	0.3	48.6	0.5	6340.8	1154.03	577.01	2.0	32.0	0.0	5371.1	5630.0
20	0.3	48.6	0.5	6101.7	1110.51	555.25	2.0	32.0	0.0	5072.1	5546.3
21	0.3	47.6	0.5	5867.32	1067.85	533.93	2.0	32.0	0.0	4802.1	5287.2
22	0.3	48.6	0.5	5632.94	1025.19	512.6	2.0	32.0	0.0	4485.8	5382.2
23	0.3	49.1	0.5	5391.56	981.26	490.63	2.0	32.0	0.0	4168.2	5382.4
24	0.3	53.9	0.5	5121.89	932.18	466.09	2.0	32.0	0.0	3590.3	6315.1
25	0.3	53.9	0.5	4826.21	878.37	439.19	2.0	32.0	0.0	3190.0	6189.4
26	0.3	53.1	0.5	4535.25	825.41	412.71	2.0	32.0	0.0	2854.5	5876.7
27	0.3	53.9	0.5	4362.84	794.04	397.02	2.0	32.0	0.0	2562.7	5992.5
28	0.3	53.9	0.5	4315.34	785.39	392.7	2.0	32.0	0.0	2498.4	5972.3
29	0.3	53.9	0.5	4267.83	776.74	388.37	2.0	32.0	0.0	2434.1	5952.2
30	0.3	56.5	0.6	4203.42	765.02	382.51	2.0	32.0	0.0	2097.2	6620.5
31	0.3	62.0	0.6	4077.71	742.14	371.07	2.0	32.0	0.0	1091.1	8601.2
32	0.3	62.0	0.6	3907.61	711.18	355.59	2.0	32.0	0.0	822.2	8495.3
33	0.3	62.5	0.7	3732.79	679.37	339.68	2.0	32.0	0.0	439.2	8615.4
34	0.3	62.0	0.6	3557.97	647.55	323.78	2.0	32.0	0.0	269.7	8277.6
35	0.3	62.5	0.7	3335.81	607.12	303.56	2.0	32.0	0.0	-195.0	8361.5
36	0.3	62.0	0.6	3119.45	567.74	283.87	2.0	32.0	0.0	-423.3	8004.6
37	0.3	62.0	0.6	2907.8	529.22	264.61	2.0	32.0	0.0	-757.7	7872.9
38	0.3	62.5	0.7	2691.43	489.84	244.92	2.0	32.0	0.0	-1224.3	7949.4

39	0.3	62.0	0.62475.07	450.46	225.23	2.0	32.0	0.0-1441.6	7603.5
40	0.3	62.5	0.7 2258.7	411.08	205.54	2.0	32.0	0.0-1915.6	7672.7
41	0.3	62.0	0.62042.34	371.71	185.85	2.0	32.0	0.0-2125.4	7334.1
42	0.3	62.5	0.71825.97	332.33	166.16	2.0	32.0	0.0-2606.8	7395.9
43	0.3	62.0	0.6 1609.6	292.95	146.47	2.0	32.0	0.0-2809.3	7064.7
44	0.3	62.0	0.61397.96	254.43	127.21	2.0	32.0	0.0-3143.7	6932.9
45	0.3	62.5	0.71181.59	215.05	107.52	2.0	32.0	0.0-3636.2	6983.8
46	0.3	62.0	0.6 965.22	175.67	87.84	2.0	32.0	0.0-3827.6	6663.5
47	0.3	62.5	0.7 748.86	136.29	68.15	2.0	32.0	0.0-4327.4	6707.1
48	0.3	62.0	0.6 532.49	96.91	48.46	2.0	32.0	0.0-4511.4	6394.1
49	0.3	62.0	0.6 320.84	58.39	29.2	2.0	32.0	0.0-4845.9	6262.4
50	0.3	62.4	0.7 105.51	19.2	9.6	2.0	32.0	0.0-5318.1	6258.9

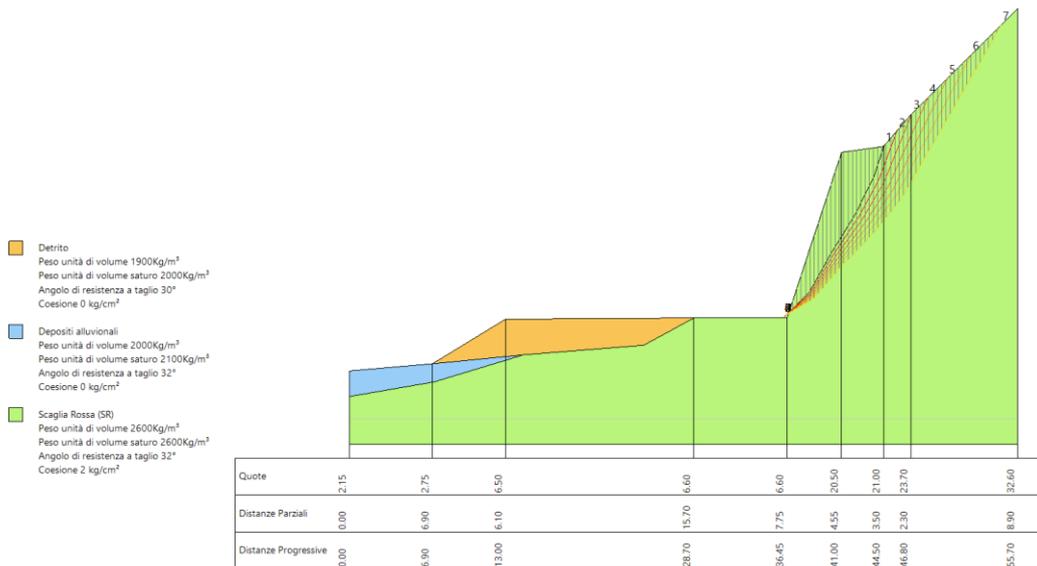
Superficie Nr...7 Fattore di sicurezza=2.69

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0.35	30.9	0.4	400.8	72.95	36.47	2.0	32.0	0.0	-954.4	2767.0
2	0.35	31.2	0.41	201.33	218.64	109.32	2.0	32.0	0.0	-134.1	2970.0
3	0.35	31.2	0.42	000.74	364.14	182.07	2.0	32.0	0.0	702.5	3159.3
4	0.35	31.2	0.42	800.16	509.63	254.81	2.0	32.0	0.0	1539.0	3348.6
5	0.35	31.2	0.43	599.58	655.12	327.56	2.0	32.0	0.0	2375.5	3537.9
6	0.35	34.5	0.44	385.72	798.2	399.1	2.0	32.0	0.0	3081.6	3954.7
7	0.35	48.8	0.55	084.02	925.29	462.65	2.0	32.0	0.0	3200.5	6009.2
8	0.35	48.8	0.55	707.73	1038.81	519.4	2.0	32.0	0.0	3976.4	6237.4
9	0.35	48.8	0.56	331.45	1152.32	576.16	2.0	32.0	0.0	4752.2	6465.6
10	0.35	49.7	0.56	949.67	1264.84	632.42	2.0	32.0	0.0	5491.2	6881.5
11	0.35	48.8	0.57	567.89	1377.36	688.68	2.0	32.0	0.0	6290.3	6918.0
12	0.35	48.8	0.5	8191.6	1490.87	745.44	2.0	32.0	0.0	7066.2	7146.2
13	0.35	48.7	0.58	804.32	1602.39	801.19	2.0	32.0	0.0	7828.9	7334.9
14	0.35	46.2	0.5	8495.0	1546.09	773.04	2.0	32.0	0.0	7460.3	6670.0
15	0.35	47.1	0.58	195.71	1491.62	745.81	2.0	32.0	0.0	7092.0	6757.1
16	0.35	46.2	0.57	896.42	1437.15	718.57	2.0	32.0	0.0	6740.6	6468.7
17	0.35	46.2	0.57	602.62	1383.68	691.84	2.0	32.0	0.0	6387.4	6369.9
18	0.35	47.1	0.57	303.33	1329.21	664.6	2.0	32.0	0.0	6006.8	6448.5
19	0.35	46.2	0.57	004.04	1274.74	637.37	2.0	32.0	0.0	5667.8	6168.6
20	0.35	46.2	0.56	710.24	1221.26	610.63	2.0	32.0	0.0	5314.6	6069.8
21	0.35	49.9	0.56	392.97	1163.52	581.76	2.0	32.0	0.0	4780.1	6723.3
22	0.35	51.2	0.66	042.76	1099.78	549.89	2.0	32.0	0.0	4259.1	6913.7
23	0.35	52.0	0.6	5722.7	1041.53	520.77	2.0	32.0	0.0	3794.2	6975.7
24	0.35	52.0	0.65	688.55	1035.32	517.66	2.0	32.0	0.0	3749.8	6961.8
25	0.35	52.0	0.6	5654.4	1029.1	514.55	2.0	32.0	0.0	3705.4	6947.8
26	0.35	52.0	0.65	620.25	1022.89	511.44	2.0	32.0	0.0	3660.9	6933.9
27	0.35	55.8	0.65	554.88	1010.99	505.49	2.0	32.0	0.0	3222.3	8046.9
28	0.35	60.2	0.75	412.63	985.1	492.55	2.0	32.0	0.0	2366.4	9837.9
29	0.35	60.2	0.75	224.74	950.9	475.45	2.0	32.0	0.0	2083.6	9727.5
30	0.35	60.2	0.74	989.96	908.17	454.09	2.0	32.0	0.0	1730.2	9589.6
31	0.35	59.8	0.74	751.23	864.72	432.36	2.0	32.0	0.0	1467.7	9223.0

32	0.35	60.2	0.74512.49	821.27	410.64	2.0	32.0	0.01011.4	9309.3
33	0.35	60.2	0.74268.26	776.82	388.41	2.0	32.0	0.0 643.7	9165.8
34	0.35	60.2	0.74024.03	732.37	366.19	2.0	32.0	0.0 276.1	9022.4
35	0.35	60.2	0.73779.81	687.92	343.96	2.0	32.0	0.0 -91.6	8879.0
36	0.35	60.2	0.73535.58	643.48	321.74	2.0	32.0	0.0 -459.2	8735.6
37	0.35	60.2	0.73291.35	599.03	299.51	2.0	32.0	0.0 -826.9	8592.2
38	0.35	60.2	0.73047.12	554.58	277.29	2.0	32.0	0.0-1194.5	8448.7
39	0.35	60.2	0.7 2802.9	510.13	255.06	2.0	32.0	0.0-1562.2	8305.3
40	0.35	60.2	0.72558.67	465.68	232.84	2.0	32.0	0.0-1929.9	8161.9
41	0.35	60.2	0.72314.44	421.23	210.61	2.0	32.0	0.0-2297.5	8018.5
42	0.35	60.2	0.72070.21	376.78	188.39	2.0	32.0	0.0-2665.2	7875.1
43	0.35	60.2	0.71825.99	332.33	166.16	2.0	32.0	0.0-3032.8	7731.6
44	0.35	60.2	0.71581.76	287.88	143.94	2.0	32.0	0.0-3400.5	7588.2
45	0.35	60.2	0.71337.53	243.43	121.72	2.0	32.0	0.0-3768.1	7444.8
46	0.35	60.2	0.7 1093.3	198.98	99.49	2.0	32.0	0.0-4135.8	7301.4
47	0.35	60.2	0.7 849.08	154.53	77.27	2.0	32.0	0.0-4503.4	7158.0
48	0.35	60.2	0.7 604.85	110.08	55.04	2.0	32.0	0.0-4871.1	7014.5
49	0.35	60.2	0.7 360.62	65.63	32.82	2.0	32.0	0.0-5238.7	6871.1
50	0.35	60.1	0.7 118.42	21.55	10.78	2.0	32.0	0.0-5542.5	6669.1

Fs = 2.69 Superficie... 7  
 Fs = 2.82 Superficie... 6  
 Fs = 2.96 Superficie... 5  
 Fs = 3.12 Superficie... 4  
 Fs = 3.30 Superficie... 3  
 Fs = 3.40 Superficie... 2  
 Fs = 3.49 Superficie... 1

SEZIONE Progr. 0+300  
 VERIFICA CONDIZIONI SISMICHE  
 SUPERFICI POLIGONALI  
 F<sub>min</sub> = 2,69



## Relazione di calcolo

### Definizione

Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

### Introduzione all'analisi di stabilità

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

1. Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione ( $c$ ) e angolo di resistenza al taglio ( $\varphi$ ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
2. In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

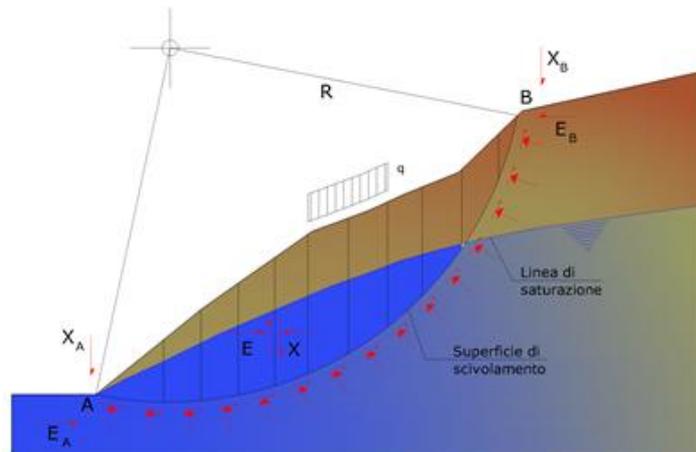
### Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio ( $\tau$ ) e confrontate con la resistenza disponibile ( $\tau_f$ ), valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza:

$$F = \tau_f / \tau$$

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (Culman), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (Fellenius, Bishop, Janbu ecc.).

Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei concii.



### Metodo dei concii

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di concii. Se il numero dei concii è pari a  $n$ , il problema presenta le seguenti incognite:

- $n$  valori delle forze normali  $N_j$  agenti sulla base di ciascun concio;
- $n$  valori delle forze di taglio alla base del concio  $T_j$ ;
- $(n-1)$  forze normali  $E_j$  agenti sull'interfaccia dei concii;
- $(n-1)$  forze tangenziali  $X_j$  agenti sull'interfaccia dei concii;
- $n$  valori della coordinata  $a$  che individua il punto di applicazione delle  $E_j$ ;
- $(n-1)$  valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle  $X_j$ ;
- una incognita costituita dal fattore di sicurezza  $F$ .

Complessivamente le incognite sono  $(6n-2)$ .

Mentre le equazioni a disposizione sono:

- equazioni di equilibrio dei momenti  $n$ ;
- equazioni di equilibrio alla traslazione verticale  $n$ ;
- equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale  $n$ ;
- equazioni relative al criterio di rottura  $n$ .

Totale numero di equazioni  $4n$ .

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a :

$$i = (6n - 2) - (4n) = 2n - 2$$

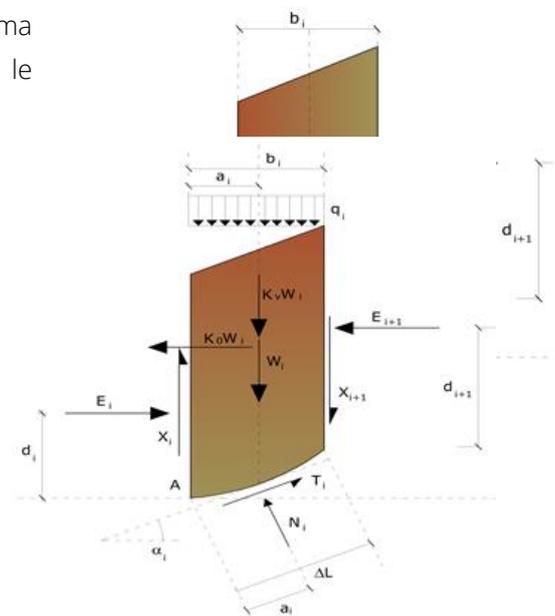
Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a  $(n-2)$  in quanto si fa l'assunzione che  $N_i$  sia applicato nel punto medio della striscia. Ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le  $(n-2)$  indeterminazioni.

### Metodo di Fellenius (1927)

Con questo metodo (valido solo per superfici di scorrimento di forma circolare) vengono trascurate le forze di interstriscia pertanto le incognite si riducono a:

- $n$  valori delle forze normali  $N_i$ ;
- $n$  valori delle forze da taglio  $T_i$ ;
- 1 fattore di sicurezza.



Incognite  $(2n+1)$ .

Le equazioni a disposizione sono:

- $n$  equazioni di equilibrio alla traslazione verticale;
- $n$  equazioni relative al criterio di rottura;
- equazione di equilibrio dei momenti globale.

$$F = \frac{\sum \{ c_i \times l_i + (W_i \times \cos \alpha_i - u_i \times l_i) \times \tan \phi_i \}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

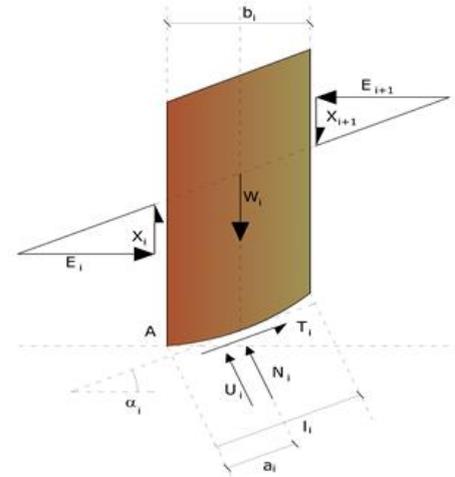
Questa equazione è semplice da risolvere ma si è trovato che fornisce risultati conservativi (fattori di sicurezza bassi) soprattutto per superfici profonde.

### Metodo di Bishop (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali. Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$$\sum F_y = 0, \quad \sum M_0 = 0 \quad \text{Criterio di rottura}$$

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$



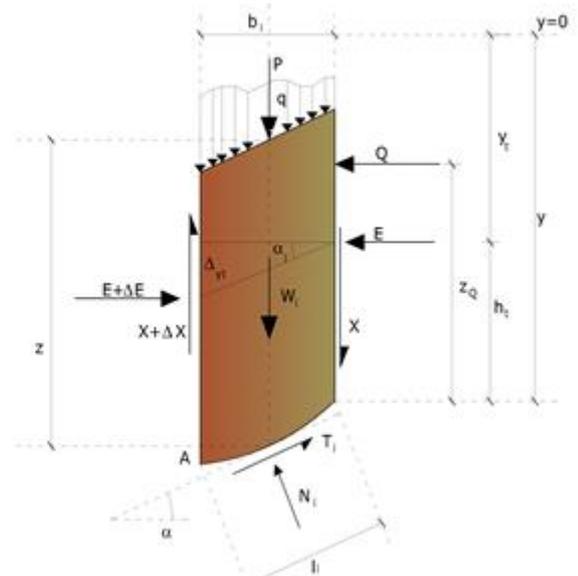
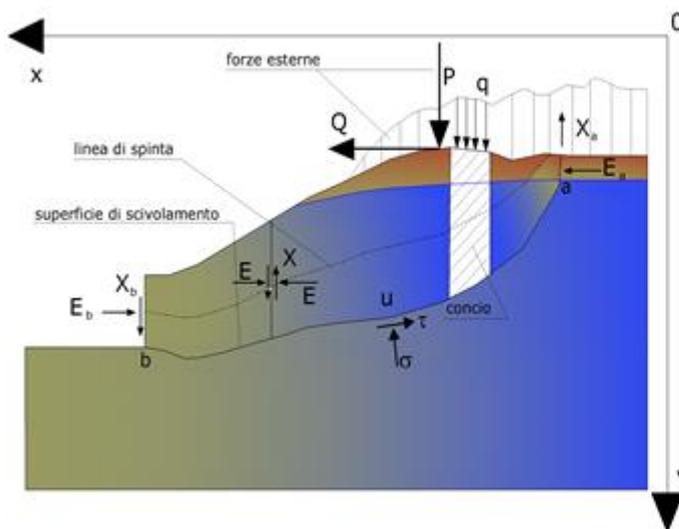
I valori di F e di ΔX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre ΔX = 0 ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di **Bishop ordinario**, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

### Metodo di Janbu (1967)

Janbu estese il metodo di Bishop a superfici di scorrimento di forma qualsiasi.

Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio). A tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \tan \alpha_i}$$

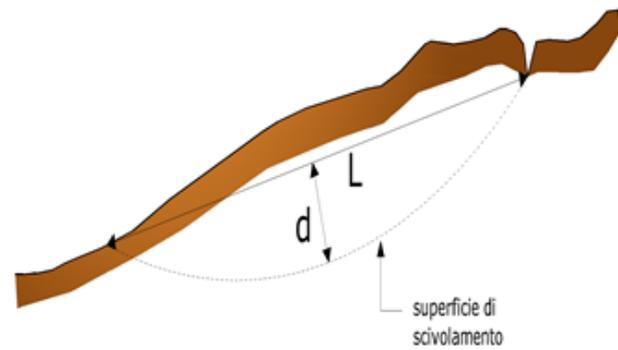
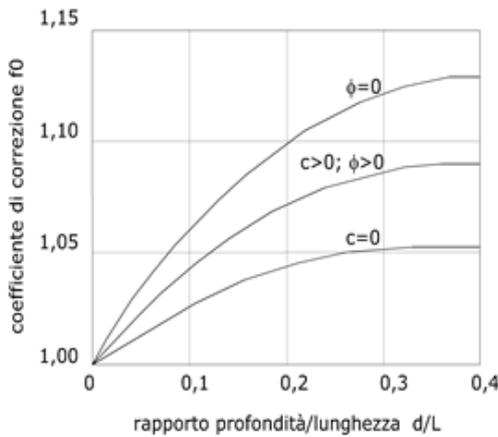


Azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Janbu e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

Assumendo  $\Delta X_i = 0$  si ottiene il metodo ordinario. Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:

$$F_{\text{corretto}} = f_0 \cdot F$$

dove  $f_0$  è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici. Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.



### Metodo di Bell (1968)

Le forze agenti sul corpo che scivola includono il peso effettivo del terreno,  $W$ , le forze sismiche pseudostatiche orizzontali e verticali  $K_x W$  e  $K_z W$ , le forze orizzontali e verticali  $X$  e  $Z$  applicate esternamente al profilo del pendio, infine, la risultante degli sforzi totali normali e di taglio  $\sigma$  e  $\tau$  agenti sulla superficie potenziale di scivolamento. Lo sforzo totale normale può includere un eccesso di pressione dei pori  $u$  che deve essere specificata con l'introduzione dei parametri di forza efficace.

In pratica questo metodo può essere considerato come un'estensione del metodo del cerchio di attrito per sezioni omogenee precedentemente descritto da Taylor.

In accordo con la legge della resistenza di Mohr-Coulomb in termini di tensione efficace, la forza di taglio agente sulla base dell' $i$ -esimo concio è data da:

$$T_i = \frac{c_i L_i + (N_i - u_{ci} L_i) \tan \Phi_i}{F}$$

in cui:

$F$  = il fattore di sicurezza;

$c_i$  = la coesione efficace (o totale) alla base dell' $i$ -esimo concio;

$\phi_i$  = l'angolo di attrito efficace (= 0 con la coesione totale) alla base dell' $i$ -esimo concio;

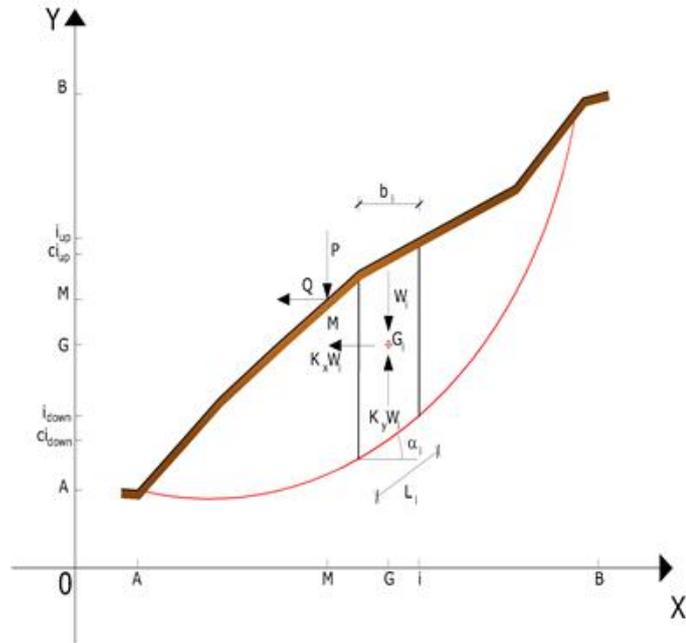
$L_i$  = la lunghezza della base dell' $i$ -esimo concio;

$u_{ci}$  = la pressione dei pori al centro della base dell' $i$ -esimo concio.

L'equilibrio risulta uguagliando a zero la somma delle forze orizzontali, la somma delle forze verticali e la somma dei momenti rispetto all'origine.

Viene adottata la seguente assunzione sulla

variazione della tensione normale agente sulla potenziale superficie di scorrimento:



$$\sigma_{ci} = \left[ C_1 (1 - K_z) \frac{W_i \cos \alpha_i}{L_i} \right] + C_2 f(x_{ci}, y_{ci}, z_{ci})$$

in cui il primo termine dell'equazione include l'espressione:

$W_i \cos \alpha_i / L_i$  = **valore dello sforzo normale totale associato con il metodo ordinario dei concii**

Il secondo termine dell'equazione include la funzione:

$$f = \sin 2\pi \left( \frac{x_n - x_{ci}}{x_n - x_0} \right)$$

dove  $x_0$  ed  $x_n$  sono rispettivamente le ascisse del primo e dell'ultimo punto della superficie di scorrimento, mentre  $x_{ci}$  rappresenta l'ascissa del punto medio della base del concio  $i$ -esimo.

Una parte sensibile di riduzione del peso associata con una accelerazione verticale del terreno  $K_z g$  può essere trasmessa direttamente alla base e ciò è incluso nel fattore  $(1 - K_z)$ .

Lo sforzo normale totale alla base di un concio è dato da:

$$N_i = \sigma_{ci} L_i$$

La soluzione delle equazioni di equilibrio si ricava risolvendo un sistema lineare di tre equazioni ottenute moltiplicando le equazioni di equilibrio per il fattore di sicurezza  $F$ , sostituendo l'espressione di  $N_i$  e moltiplicando ciascun termine della coesione per un coefficiente arbitrario  $C_3$ . Qualsiasi coppia di valori del fattore di sicurezza nell'intorno di una stima fisicamente ragionevole può essere usata per iniziare una soluzione iterativa.

Il numero necessario di iterazioni dipende sia dalla stima iniziale sia dalla desiderata precisione della soluzione; normalmente, il processo converge rapidamente.

### Metodo di Sarma (1973)

Il metodo di Sarma è un semplice, ma accurato metodo per l'analisi di stabilità dei pendii, che permette di determinare l'accelerazione sismica orizzontale richiesta affinché l'ammasso di terreno, delimitato dalla superficie di scivolamento e dal profilo topografico, raggiunga lo stato di equilibrio limite (accelerazione critica  $K_c$ ) e, nello stesso tempo, consente di ricavare l'usuale fattore di sicurezza ottenuto come per gli altri metodi più comuni della geotecnica.

Si tratta di un metodo basato sul principio dell'equilibrio limite e delle strisce, pertanto viene considerato l'equilibrio di una potenziale massa di terreno in scivolamento suddivisa in  $n$  strisce verticali di spessore sufficientemente piccolo da ritenere ammissibile l'assunzione che lo sforzo normale  $N_i$  agisce nel punto medio della base della striscia.

Le equazioni da prendere in considerazione sono:

- L'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio alla traslazione verticale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio dei momenti.

Condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale:

$$N_i \cos \alpha_i + T_i \sin \alpha_i = W_i - \Delta X_i$$

$$T_i \cos \alpha_i - N_i \sin \alpha_i = KW_i + \Delta E_i$$

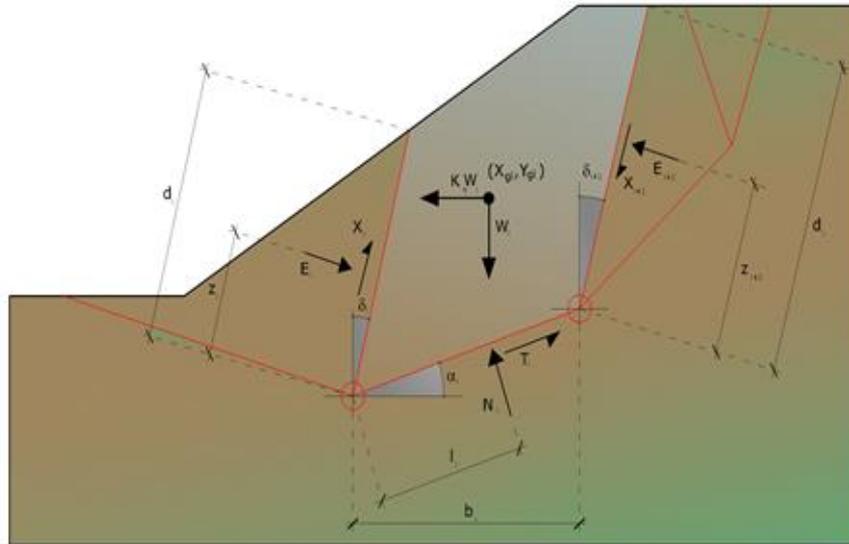
Viene, inoltre, assunto che in assenza di forze esterne sulla superficie libera dell'ammasso si ha:

$$\Sigma \Delta E_i = 0$$

$$\Sigma \Delta X_i = 0$$

dove  $E_i$  e  $X_i$  rappresentano, rispettivamente, le forze orizzontale e verticale sulla faccia  $i$ -esima del concio generico  $i$ .

L'equazione di equilibrio dei momenti viene scritta scegliendo come punto di riferimento il baricentro dell'intero ammasso; sicché, dopo aver eseguito una serie di posizioni e trasformazioni trigonometriche ed algebriche, nel **metodo di Sarma** la soluzione del problema passa attraverso la risoluzione di due equazioni:



Azioni sull'iesimo concio, metodo di Sarma

$$\sum \Delta X_i \cdot \operatorname{tg}(\psi_i' - \alpha_i) + \sum \Delta E_i = \sum \Delta_i - K \cdot \sum W_i$$

$$\sum \Delta X_i \cdot [(y_{mi} - y_G) \cdot \operatorname{tg}(\psi_i' - \alpha_i) + (x_i - x_G)] = \sum W_i \cdot (x_{mi} - x_G) + \sum \Delta_i \cdot (y_{mi} - y_G)$$

Ma l'approccio risolutivo, in questo caso, è completamente capovolto: il problema infatti impone di trovare un valore di  $K$  (accelerazione sismica) corrispondente ad un determinato fattore di sicurezza; ed in particolare, trovare il valore dell'accelerazione  $K$  corrispondente al fattore di sicurezza  $F = 1$ , ossia l'accelerazione critica.

Si ha pertanto:

$K=K_c$     **Accelerazione critica** se  $F=1$

$F=F_s$     **Fattore di sicurezza in condizioni statiche** se  $K=0$

La seconda parte del problema del Metodo di Sarma è quella di trovare una distribuzione di forze interne  $X_i$  ed  $E_i$  tale da verificare l'equilibrio del concio e quello globale dell'intero ammasso, senza violazione del criterio di rottura. E' stato trovato che una soluzione accettabile del problema si può ottenere assumendo la seguente distribuzione per le forze  $X_i$ :

$$\Delta X_i = \lambda \cdot \Delta Q_i = \lambda \cdot (Q_{i+1} - Q_i)$$

dove  $Q_i$  è una funzione nota, in cui vengono presi in considerazione i parametri geotecnici medi sulla  $i$ -esima faccia del concio  $i$ , e  $\lambda$  rappresenta un'incognita.

La soluzione completa del problema si ottiene pertanto, dopo alcune iterazioni, con i valori di  $K_c$ ,  $\lambda$  e  $F_s$ , che permettono di ottenere anche la distribuzione delle forze di interstriscia.

### Metodo di Spencer (1967)

Il metodo è basato sull'assunzione:

1. le forze d'interfaccia lungo le superfici di divisione dei singoli conci sono orientate parallelamente fra loro ed inclinate rispetto all'orizzontale di un angolo  $\theta$ ;
2. tutti i momenti sono nulli  $M_i = 0$  con  $i=1, \dots, n$ .

Sostanzialmente il metodo soddisfa tutte le equazioni della statica ed equivale a un metodo di Morgenstern e Price quando la funzione  $f(x) = 1$ . Imponendo l'equilibrio dei momenti rispetto al centro dell'arco descritto dalla superficie di scivolamento si ha:

$$1) \quad \sum Q_i R \cos(\alpha - \theta) = 0$$

dove:

$$Q_i = \frac{\frac{c}{F_s} (W \cos \alpha - \gamma_w h l \sec \alpha) \frac{\tan \alpha}{F_s} - W \sin \alpha}{\cos(\alpha - \theta) \left[ \frac{F_s + \tan \phi \tan(\alpha - \theta)}{F_s} \right]}$$

forza d'interazione fra i conci;

$R$  = raggio dell'arco di cerchio;

$\theta$  = angolo d'inclinazione della forza  $Q_i$  rispetto all'orizzontale.

Imponendo l'equilibrio delle forze orizzontali e verticali si ha rispettivamente:

$$\sum (Q_i \cos \theta) = 0$$

$$\sum (Q_i \sin \theta) = 0$$

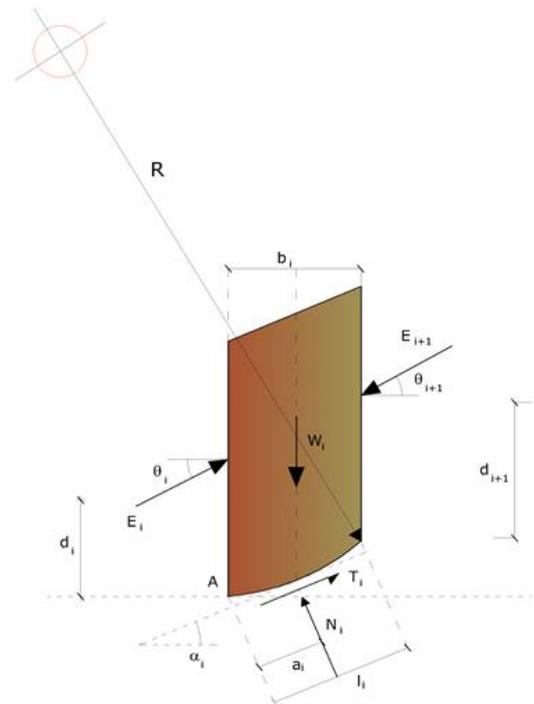
Con l'assunzione delle forze  $Q_i$  parallele fra loro, si può anche scrivere:

$$2) \quad \sum Q_i = 0$$

Il metodo propone di calcolare due coefficienti di sicurezza: il primo ( $F_{sm}$ ) ottenibile dalla 1), legato all'equilibrio dei momenti; il secondo ( $F_{sf}$ ) dalla 2) legato all'equilibrio delle forze. In pratica si procede risolvendo la 1) e la 2) per un dato intervallo di valori dell'angolo  $\theta$ , considerando come valore unico del coefficiente di sicurezza quello per cui si abbia:

$$F_{sm} = F_{sf}$$

Metodo di Morgenstern e Price (1965)

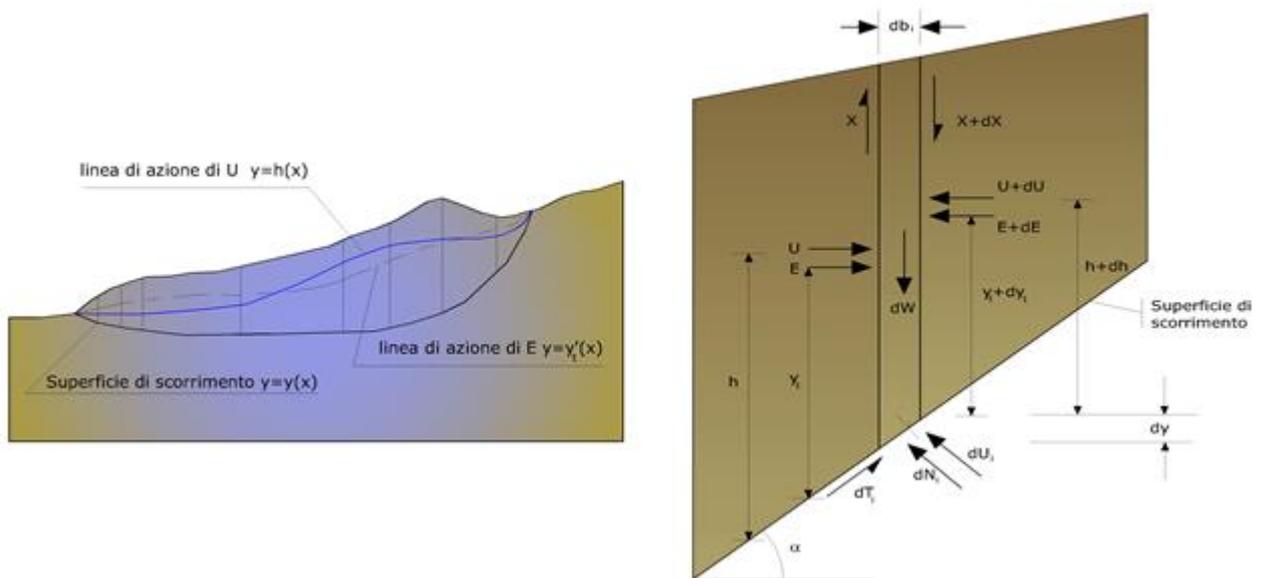


Si stabilisce una relazione tra le componenti delle forze di interfaccia del tipo  $X = \lambda f(x)E$ , dove  $\lambda$  è un fattore di scala e  $f(x)$ , funzione della posizione di  $E$  e di  $X$ , definisce una relazione tra la variazione della forza  $X$  e della forza  $E$  all'interno della massa scivolante. La funzione  $f(x)$  è scelta arbitrariamente (costante, sinusoidale, semisinusoidale, trapezia, spezzata...) e influenza poco il risultato, ma va verificato che i valori ricavati per le incognite siano fisicamente accettabili.

La particolarità del metodo è che la massa viene suddivisa in strisce infinitesime alle quali vengono imposte le equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale e di rottura sulla base delle strisce stesse. Si perviene ad una prima equazione differenziale che lega le forze d'interfaccia incognite  $E$ ,  $X$ , il coefficiente di sicurezza  $F_s$ , il peso della striscia infinitesima  $dW$  e la risultante delle pressioni neutra alla base  $dU$ .

Si ottiene la cosiddetta "equazione delle forze":

$$c' \sec^2 \frac{\alpha}{F_s} + \operatorname{tg} \varphi' \left( \frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} - \operatorname{tg} \alpha \frac{dE}{dx} - \sec \alpha \frac{dU}{dx} \right) = \frac{dE}{dx} - \operatorname{tg} \alpha \left( \frac{dX}{dx} - \frac{dW}{dx} \right)$$



Azioni sul concio  $i$ -esimo secondo le ipotesi di Morgenster e Price e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

Una seconda equazione, detta "equazione dei momenti", viene scritta imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione rispetto alla mezzzeria della base:

$$X = \frac{d(E \cdot \gamma)}{dx} - \gamma \frac{dE}{dx}$$

queste due equazioni vengono estese per integrazione a tutta la massa interessata dallo scivolamento.

Il metodo di calcolo soddisfa tutte le equazioni di equilibrio ed è applicabile a superfici di qualsiasi forma, ma implica necessariamente l'uso di un calcolatore.

Metodo di Zeng e Liang (2002)

Zeng e Liang hanno effettuato una serie di analisi parametriche su un modello bidimensionale sviluppato con codice agli elementi finiti, che riproduce il caso pali immersi in un terreno in movimento (drilled shafts). Il modello bidimensionale riproduce una striscia di terreno di spessore unitario e ipotizza il fenomeno avvenga in condizioni di deformazione piana nella direzione parallela all'asse dei pali. Il modello è stato utilizzato per indagare l'influenza sulla formazione dell'effetto arco di alcuni parametri come l'interasse fra i pali, diametro e la forma dei pali, e le proprietà meccaniche del terreno. Gli autori individuano nel rapporto tra l'interasse e il diametro dei i pali ( $s/d$ ) il parametro adimensionale determinante per la formazione dell'effetto arco. Il problema risulta essere staticamente indeterminato, con grado di indeterminatezza pari  $(8n-4)$ , ma nonostante ciò è possibile ottenere una soluzione riducendo il numero delle incognite e assumendo quindi delle ipotesi semplificative, in modo da rendere determinato il problema.

Le assunzioni che rendono il problema determinato sono:

- $K_y$  sono assunte orizzontali per ridurre il numero totale delle incognite da  $(n-1)$  a  $(7n-3)$ ;
- Le forze normali alla base della striscia agiscono nel punto medio, riducendo le incognite da  $n$  a  $(6n-3)$ ;
- La posizione delle spinte laterali è ad un terzo dell'altezza media dell'inter-striscia e riduce le incognite da  $(n-1)$  a  $(5n-2)$ ;
- Le forze  $(P_{i-1})$  e  $P_i$  si assumono parallele all'inclinazione della base della striscia ( $\alpha_i$ ), riducendo il numero di incognite da  $(n-1)$  a  $(4n-1)$ ;
- Si assume un'unica costante di snervamento per tutte le strisce, riducendo le incognite da  $(n)$  a  $(3n-1)$ ;

Il numero totale di incognite quindi è ridotto a  $(3n)$ , da calcolare utilizzando il fattore di trasferimento di carico. Inoltre si deve tener presente che la forza di stabilizzazione trasmessa sul terreno a valle dei pali risulta ridotta di una quantità  $R$ , chiamato fattore di riduzione, calcolabile come:

$$R = \frac{1}{s/d} + \left(1 - \frac{1}{s/d}\right) \cdot R_p$$

Il fattore  $R$  dipende quindi dal rapporto fra l'interasse presente fra i pali e il diametro dei pali stessi e dal fattore  $R_p$  che tiene conto dell'effetto arco.

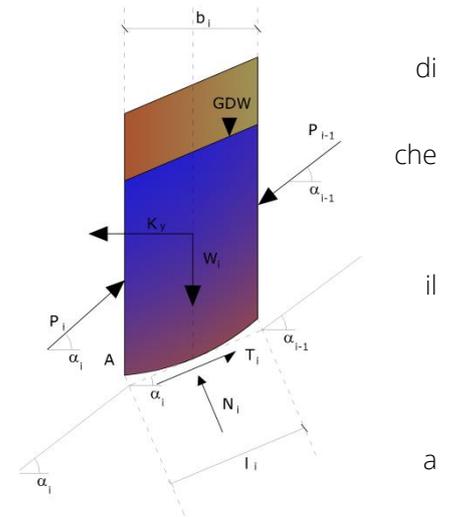
### Valutazione dell'azione sismica

La stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene verificata con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica vengono considerate le seguenti forze:

$$F_H = K_x W$$

$$F_V = K_y W$$



Essendo:

- $F_H$  e  $F_V$  rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;
- $W$  peso concio;
- $K_x$  coefficiente sismico orizzontale;
- $K_y$  coefficiente sismico verticale.

### Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.

Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da  $m$  righe e  $n$  colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia  $m \times n$  e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

### Stabilizzazione di pendii con l'utilizzo di pali

La realizzazione di una cortina di pali, su pendio, serve a fare aumentare la resistenza al taglio su determinate superfici di scorrimento. L'intervento può essere conseguente ad una stabilità già accertata, per la quale si conosce la superficie di scorrimento oppure, agendo preventivamente, viene progettato in relazione alle ipotetiche superfici di rottura che responsabilmente possono essere assunte come quelle più probabili. In ogni caso si opera considerando una massa di terreno in movimento su un ammasso stabile sul quale attestare, per una certa lunghezza, l'allineamento di pali.

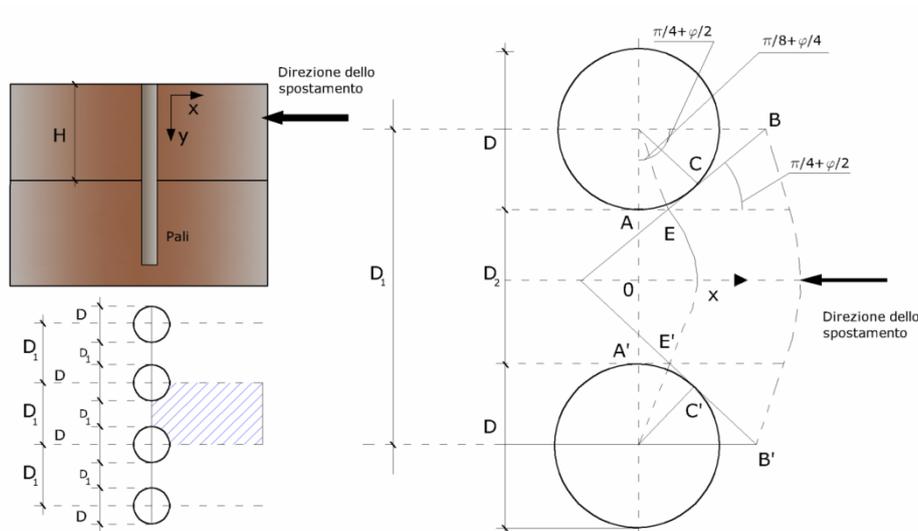
Il terreno, nelle due zone, ha una influenza diversa sull'elemento monoassiale (palo): di tipo sollecitativo nella parte superiore (palo passivo – terreno attivo) e di tipo resistivo nella zona sottostante (palo attivo – terreno passivo). Da questa interferenza, fra "sbarramento" e massa in movimento, scaturiscono le azioni stabilizzanti che devono perseguire le seguenti finalità:

1. conferire al pendio un coefficiente di sicurezza maggiore di quello posseduto;
2. essere assorbite dal manufatto garantendone l'integrità (le tensioni interne, derivanti dalle sollecitazioni massime trasmesse sulle varie sezioni del singolo palo, devono risultare inferiori a quelle ammissibili del materiale) e risultare inferiori al carico limite sopportabile dal terreno, calcolato, lateralmente considerando l'interazione (palo-terreno).

### Carico limite relativo all'interazione fra i pali ed il terreno laterale

Nei vari tipi di terreno che non hanno un comportamento omogeneo, le deformazioni in corrispondenza della zona di contatto non sono legate fra di loro. Quindi, non potendo associare al materiale un modello di comportamento perfettamente elastico (ipotesi che potrebbe essere assunta per i materiali lapidei poco fratturati), generalmente si procede imponendo che il movimento di massa sia nello stato iniziale e che il terreno in adiacenza ai pali sia nella fase massima consentita di plasticizzazione, oltre la quale si potrebbe

verificare l'effetto indesiderato che il materiale possa defluire, attraverso la cortina di pali, nello spazio intercorrente fra un elemento e l'altro.



Imponendo inoltre che il carico assorbito dal terreno sia uguale a quello associato alla condizione limite ipotizzata e che fra due pali consecutivi, a seguito della spinta attiva, si instauri una sorta di effetto arco, gli autori T. Ito e T. Matsui (1975) hanno ricavato la relazione che permette di determinare il carico limite. A questa si è pervenuto facendo riferimento allo schema statico, disegnato nella figura precedente e alle ipotesi anzidette, che schematicamente si ribadiscono.

- Sotto l'azione della spinta attiva del terreno si formano due superfici di scorrimento localizzate in corrispondenza delle linee AEB ed A'E'B';
- Le direzioni EB ed E'B' formano con l'asse x rispettivamente angoli  $+(45 + \varphi/2)$  e  $-(45 + \varphi/2)$ ;
- Il volume di terreno, compreso nella zona delimitata dai vertici AEBB'E'A' ha un comportamento plastico, e quindi è consentita l'applicazione del criterio di rottura di Mohr-coulomb;
- La pressione attiva del terreno agisce sul piano A-A';
- I pali sono dotati di elevata rigidità a flessione e taglio.

Detta espressione, riferita alla generica profondità Z, relativamente ad un spessore di terreno unitario, è la seguente:

$$P(Z) = C \cdot D_1 (D_1/D_2)^{k_1} \left[ \frac{1}{(N_\phi \tan \phi)} \left( e^{k_2} - 2(N_\phi)^{1/2} \tan \phi - 1 \right) + K_3 \right] - C \left[ D_1 \cdot K_3 - D_2 / (N_\phi)^{1/2} \right] + \gamma Z / N_\phi \left[ D_1 (D_1/D_2)^{k_1} \cdot e^{k_2} - D_2 \right]$$

dove i simboli utilizzati assumono il significato che segue:

C = coesione terreno;

$\varphi$  = angolo di attrito terreno;

$\gamma$  = peso specifico terreno;

$D_1$  = interasse tra i pali;

$D_2$  = spazio libero fra due pali consecutivi;

$$N_\varphi = \tan^2(\pi/4 + \varphi/2)$$

$$K_1 = (N_\varphi)^{1/2} \tan \varphi + N_\varphi - 1$$

$$K_2 = (D_1 - D_2)/D_2 \cdot N_\varphi \tan(\pi/8 + \varphi/4)$$

$$K_3 = \left[ 2 \tan \varphi + 2(N_\varphi)^{1/2} + 1/(N_\varphi)^{1/2} \right] / \left[ (N_\varphi)^{1/2} \tan \varphi + N_\varphi - 1 \right]$$

La forza totale, relativamente ad uno strato di terreno in movimento di spessore H, è stata ottenuta integrando l'espressione precedente.

In presenza di terreni granulari (condizione drenata), nei quali si può assumere  $c = 0$ , l'espressione diventa:

$$P = 1/2 \gamma \cdot H^2 / N_\varphi \left[ D_1 (D_1/D_2)^{K_1} \cdot e^{K_2} - D_2 \right]$$

Per terreni coesivi (condizioni non drenate), con  $\varphi = 0$  e  $C \neq 0$ , si ha:

$$P(z) = C \left[ D_1 (3 \ln(D_1/D_2) + (D_1 - D_2)/D_2 \tan \pi/8) - 2(D_1 - D_2) \right] + \gamma \cdot Z(D_1 - D_2)$$

$$P = \int_0^H P(Z) dZ$$

$$P = C \cdot H \left[ D_1 (3 \ln(D_1/D_2) + (D_1 - D_2)/D_2 \tan \pi/8) - 2(D_1 - D_2) \right] + 1/2 \gamma H^2 (D_1 - D_2)$$

Il dimensionamento della cortina di pali, che come già detto deve conferire al pendio un incremento del coefficiente di sicurezza e garantire l'integrità del meccanismo palo-terreno, è abbastanza problematica. Infatti tenuto conto della complessità dell'espressione del carico P, influenzata da diversi fattori legati sia alle caratteristiche meccaniche del terreno sia alla geometria del manufatto, non è facile con una sola elaborazione pervenire alla soluzione ottimale. Per raggiungere lo scopo è necessario pertanto eseguire diversi tentativi finalizzati:

- A trovare, sul profilo topografico del pendio, la posizione che garantisca, a parità di altre condizioni, una distribuzione dei coefficienti di sicurezza più confortante;
- A determinare la disposizione planimetrica dei pali, caratterizzata dal rapporto fra interasse e distanza fra i pali ( $D_2/D_1$ ), che consenta di sfruttare al meglio la resistenza del complesso palo-terreno; sperimentalmente è stato riscontrato che, escludendo i casi limiti ( $D_2 = 0 \rightarrow P \rightarrow \infty$  e  $D_2 = D_1 \rightarrow P \rightarrow$  valore minimo), i valori più idonei allo scopo sono quelli per i quali tale rapporto risulta compreso fra 0,60 e 0,80;
- A valutare la possibilità di inserire più file di pali ed eventualmente, in caso affermativo, valutare, per le file successive, la posizione che dia più garanzie in termini di sicurezza e di spreco di materiali;

- Ad adottare il tipo di vincolo più idoneo che consente di ottenere una distribuzione più regolare delle sollecitazioni; sperimentalmente è stato constatato che quello che assolve, in maniera più soddisfacente, allo scopo è il vincolo che impedisce le rotazioni alla testa del palo.

### Metodo del carico limite di Broms

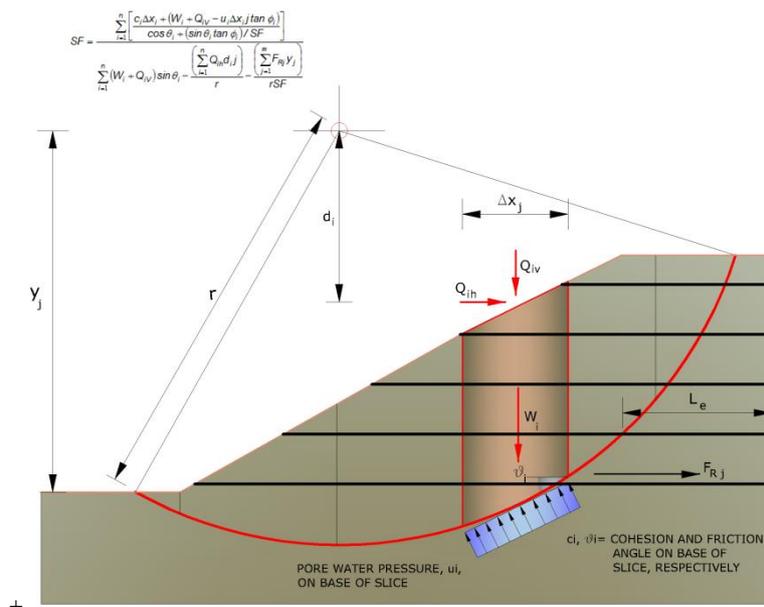
Nel caso in cui il palo sia caricato ortogonalmente all'asse, configurazione di carico presente se un palo inibisce il movimento di una massa in frana, la resistenza può essere affidata al suo carico limite orizzontale.

Il problema di calcolo del carico limite orizzontale è stato affrontato da Broms sia per il mezzo puramente coesivo che per il mezzo incoerente, il metodo di calcolo seguito è basato su alcune ipotesi semplificative per quanto attiene alla reazione esercitata dal terreno per unità di lunghezza di palo in condizioni limite e porta in conto anche la resistenza a rottura del palo (*Momento di plasticizzazione*).

### Elemento Rinforzo

I Rinforzi sono degli elementi orizzontali, la loro messa in opera conferisce al terreno un incremento della resistenza allo scorrimento .

Se l'elemento di rinforzo interseca la superficie di scorrimento, la forza resistente sviluppata dall'elemento entra nell'equazione di equilibrio del singolo concio, in caso contrario l'elemento di rinforzo non ne influenza la stabilità.



Le verifiche di natura interna hanno lo scopo di valutare il livello di stabilità dell'ammasso rinforzato, quelle calcolate sono la verifica a rottura dell'elemento di rinforzo per trazione e la verifica a sfilamento (*Pullout*). Il parametro che fornisce la resistenza a trazione del rinforzo,  $T_{Allow}$ , si calcola dalla resistenza nominale del materiale con cui è realizzato il rinforzo ridotto da opportuni coefficienti che tengono conto dell'aggressività del terreno, danneggiamento per effetto creep e danneggiamento per installazione.

L'altro parametro è la resistenza a sfilamento (*Pullout*) che viene calcolata attraverso la seguente relazione:

$$T_{Pullout} = 2 \cdot L_e \cdot \sigma'_v \cdot f_b \cdot \tan(\delta)$$

Per geosintetico a maglie chiuse:

$$f_b = \frac{\tan(\delta)}{\tan(\varphi)}$$

dove:

$\delta$  Rappresenta l'angolo di attrito tra terreno e rinforzo;

$T_{Pullout}$  Resistenza mobilitata da un rinforzo ancorato per una lunghezza  $L_e$  all'interno della parte stabile del terreno;

$L_e$  Lunghezza di ancoraggio del rinforzo all'interno della parte stabile;

$f_b$  Coefficiente di *Pullout*;

$\sigma'_v$  Tensione verticale, calcolata alla profondità media del tratto di rinforzo ancorato al terreno.

Ai fini della verifica si sceglie il valore minimo tra  $T_{Allow}$  e  $T_{Pullout}$ , la verifica interna verrà soddisfatta se la forza trasmessa dal rinforzo generata a tergo del tratto rinforzato non supera il valore della  $T$ .

### PENDII IN ROCCIA (Metodo di Hoek e Bray)

Per i versanti in roccia, diversamente da quelli in terra, il criterio di rottura di Mohr-Coulomb non può essere impiegato per definire la resistenza del materiale; tuttavia con questo metodo viene descritta una procedura che consente l'applicazione dei metodi classici dell'Equilibrio Limite anche nei versanti rocciosi. A tale scopo vengono definiti l'angolo di resistenza a taglio e la coesione che si mobilitano lungo la superficie di scorrimento secondo le seguenti espressioni:

$$\begin{aligned} \text{tg}\varphi &= AB \left( \frac{N}{\sigma_c} - T \right)^{B-1} \\ c &= A\sigma_c \left( \frac{N}{\sigma_c} - T \right)^B - N\text{tg}\varphi \end{aligned}$$

dove:

$\sigma_c$  è la resistenza a compressione monassiale della roccia;

A, B, T costanti in funzione del litotipo e della qualità della roccia (riportati in tabella);

N sforzo normale alla base del concio.

Le costanti A, B e T sono vengono determinate in funzione della classificazione della roccia secondo Bieniawski (indice RMR) e secondo Barton (indice Q). Tra i due sistemi di classificazione, sulla base di 111 esempi analizzati, è stata trovata la seguente correlazione:

$$\text{RMR} = 9 \ln Q + 44$$

	Calcari Dolomie Marne	Argilliti Siltiti Scisti	Areniti Quarziti	Andesiti Basalti Rioliti	Anfiboliti Gneiss Graniti
RMR = 100	A = 0.816	A = 0.918	A = 1.044	A = 1.086	A = 1.220
Q = 500	B = 0.658	B = 0.677	B = 0.692	B = 0.696	B = 0.705
	T = -0.140	T = -0.099	T = -0.067	T = -0.059	T = -0.040
RMR = 85	A = 0.651	A = 0.739	A = 0.848	A = 0.883	A = 0.998
Q = 100	B = 0.679	B = 0.692	B = 0.702	B = 0.705	B = 0.712
	T = -0.028	T = -0.020	T = -0.013	T = -0.012	T = -0.008
RMR = 65	A = 0.369	A = 0.427	A = 0.501	A = 0.525	A = 0.603
Q = 10	B = 0.669	B = 0.683	B = 0.695	B = 0.698	B = 0.707
	T = -0.006	T = -0.004	T = -0.003	T = -0.002	T = -0.002

RMR = 44	A = 0.198	A = 0.234	A = 0.280	A = 0.295	A = 0.346
Q = 1	B = 0.662	B = 0.675	B = 0.688	B = 0.691	B = 0.700
	T = -0.0007	T = -0.0005	T = -0.0003	T = -0.003	T = -0.0002
RMR = 3	A = 0.115	A = 0.129	A = 0.162	A = 0.172	A = 0.203
Q = 0.1	B = 0.646	B = 0.655	B = 0.672	B = 0.676	B = 0.686
	T = -0.0002	T = -0.0002	T = -0.0001	T = -0.0001	T = -0.0001
RMR = 3	A = 0.042	A = 0.050	A = 0.061	A = 0.065	A = 0.078
Q = 0.01	B = 0.534	B = 0.539	B = 0.546	B = 0.548	B = 0.556
	T = 0	T = 0	T = 0	T = 0	T = 0

15 ALLEGATO A – SCHEDE GEOSTRUTTURALI

LOCALITA'	
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500	
STAZIONE RILIEVO	SS.1
SCAGLIA VARIEGATA	
BIENIAWSKI	

R1 = Resistenza a compressione monoassiale			7,81
R2 = R.Q.D.			0,09
R3 = Spaziatura delle discontinuità			12,64
R4 = Condizione dei giunti			31,50
R5 = Condizioni acqua			15
R6 = Indice di correzione			25
	RMR <sub>base</sub> =		67,04
	RMR <sub>corretto</sub> =		42,04
GSI			39,2
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	38,52
Coesione	MPa	$c' =$	0,34
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	34.076,55

HOEK & BROWN			
Resistenza a compressione monoassiale roccia intatta	Mpa	$\sigma_{cl} =$	80,0
Fattore disturbo		$D =$	0,5
Parametro roccia		$m_i =$	7,0
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX		$GSI =$	39,2
Peso di volume	kN/m <sup>3</sup>	$\gamma$	0,03
Altezza del pendio	m	$H$	15,00
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	52,89
Coesione	MPa	$c' =$	0,20
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	3.608,38

LOCALITA'	
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500	
STAZIONE RILIEVO	SS.2
SCAGLIA VARIEGATA	
BIENIAWSKI	

R1 = Resistenza a compressione monoassiale			7,81
R2 = R.Q.D.			0,09
R3 = Spaziatura delle discontinuità			12,64
R4 = Condizione dei giunti			34,34
R5 = Condizioni acqua			15
R6 = Indice di correzione			25
	RMR <sub>base</sub> =		69,88
	RMR <sub>corretto</sub> =		44,88
GSI			42,1
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	39,94
Coesione	MPa	$c' =$	0,35
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	39.756,23

HOEK & BROWN			
Resistenza a compressione monoassiale roccia intatta	Mpa	$\sigma_{cl} =$	80,0
Fattore disturbo		$D =$	0,5
Parametro roccia		$m_i =$	7,0
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX		$GSI =$	42,1
Peso di volume	kN/m <sup>3</sup>	$\gamma$	0,03
Altezza del pendio	m	$H$	15,00
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	53,65
Coesione	MPa	$c' =$	0,24
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	4.249,21

LOCALITA'	
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500	
STAZIONE RILIEVO	SS.3
SCAGLIA VARIEGATA	
BIENIAWSKI	

R1 = Resistenza a compressione monoassiale			7,81
R2 = R.Q.D.			0,09
R3 = Spaziatura delle discontinuità			16,89
R4 = Condizione dei giunti			47,30
R5 = Condizioni acqua			15
R6 = Indice di correzione			25
	RMR <sub>base</sub> =		87,08
	RMR <sub>corretto</sub> =		62,08
GSI			59,3
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	48,54
Coesione	MPa	$c' =$	0,44
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	74.161,05

HOEK & BROWN			
Resistenza a compressione monoassiale roccia intatta	Mpa	$\sigma_{cl} =$	80,0
Fattore disturbo		$D =$	0,5
Parametro roccia		$m_i =$	7,0
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX		$GSI =$	59,3
Peso di volume	kN/m <sup>3</sup>	$\gamma$	0,03
Altezza del pendio	m	$H$	15,00
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	55,50
Coesione	MPa	$c' =$	0,78
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	11.438,47

LOCALITA'	
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500	
STAZIONE RILIEVO	SS.4
SCAGLIA VARIEGATA	
BIENIAWSKI	

R1 = Resistenza a compressione monoassiale			7,81
R2 = R.Q.D.			0,09
R3 = Spaziatura delle discontinuità			18,00
R4 = Condizione dei giunti			40,53
R5 = Condizioni acqua			15
R6 = Indice di correzione			25
	RMR <sub>base</sub> =		81,42
	RMR <sub>corretto</sub> =		56,42
GSI			53,6
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	45,71
Coesione	MPa	$c' =$	0,41
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	62.838,59

HOEK & BROWN			
Resistenza a compressione monoassiale roccia intatta	Mpa	$\sigma_{cl} =$	80,0
Fattore disturbo		$D =$	0,5
Parametro roccia		$m_i =$	7,0
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX		$GSI =$	53,6
Peso di volume	kN/m <sup>3</sup>	$\gamma$	0,03
Altezza del pendio	m	$H$	15,00
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	55,40
Coesione	MPa	$c' =$	0,52
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	8.257,29

LOCALITA'	
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500	
STAZIONE RILIEVO	SS.5
SCAGLIA VARIEGATA	
BIENIAWSKI	

R1 = Resistenza a compressione monoassiale			7,81
R2 = R.Q.D.			0,09
R3 = Spaziatura delle discontinuità			19,56
R4 = Condizione dei giunti			51,64
R5 = Condizioni acqua			15
R6 = Indice di correzione			25
	RMR <sub>base</sub> =		94,10
	RMR <sub>corretto</sub> =		69,10
GSI			66,3
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	52,05
Coesione	MPa	$c' =$	0,47
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	88.193,33

HOEK & BROWN			
Resistenza a compressione monoassiale roccia intatta	Mpa	$\sigma_{cl} =$	80,0
Fattore disturbo		$D =$	0,5
Parametro roccia		$m_i =$	7,0
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX		$GSI =$	66,3
Peso di volume	kN/m <sup>3</sup>	$\gamma$	0,03
Altezza del pendio	m	$H$	15,00
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	55,04
Coesione	MPa	$c' =$	1,32
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	17.130,56

LOCALITA'	
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500	
STAZIONE RILIEVO	SS.6
SCAGLIA VARIEGATA	
BIENIAWSKI	

R1 = Resistenza a compressione monoassiale			7,81
R2 = R.Q.D.			0,09
R3 = Spaziatura delle discontinuità			15,32
R4 = Condizione dei giunti			36,49
R5 = Condizioni acqua			15
R6 = Indice di correzione			25
	RMR <sub>base</sub> =		74,71
	RMR <sub>corretto</sub> =		49,71
GSI			46,9
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	42,35
Coesione	MPa	$c' =$	0,37
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	49.410,46

HOEK & BROWN			
Resistenza a compressione monoassiale roccia intatta	Mpa	$\sigma_{cl} =$	80,0
Fattore disturbo		$D =$	0,5
Parametro roccia		$m_i =$	7,0
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX		$GSI =$	46,9
Peso di volume	kN/m <sup>3</sup>	$\gamma$	0,03
Altezza del pendio	m	$H$	15,00
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	54,64
Coesione	MPa	$c' =$	0,33
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	5.610,30

LOCALITA'	
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500	
STAZIONE RILIEVO	SS.7
SCAGLIA VARIEGATA	
BIENIAWSKI	

R1 = Resistenza a compressione monoassiale			7,81
R2 = R.Q.D.			0,09
R3 = Spaziatura delle discontinuità			16,89
R4 = Condizione dei giunti			36,48
R5 = Condizioni acqua			15
R6 = Indice di correzione			25
	RMR <sub>base</sub> =		76,27
	RMR <sub>corretto</sub> =		51,27
GSI			48,5
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	43,13
Coesione	MPa	$c' =$	0,38
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	52.531,65

HOEK & BROWN			
Resistenza a compressione monoassiale roccia intatta	Mpa	$\sigma_{cl} =$	80,0
Fattore disturbo		$D =$	0,5
Parametro roccia		$m_i =$	7,0
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX		$GSI =$	48,5
Peso di volume	kN/m <sup>3</sup>	$\gamma$	0,03
Altezza del pendio	m	$H$	15,00
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	54,88
Coesione	MPa	$c' =$	0,36
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	6.137,63

LOCALITA'	
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500	
STAZIONE RILIEVO	SS.8
SCAGLIA VARIEGATA	
BIENIAWSKI	

R1 = Resistenza a compressione monoassiale			7,81
R2 = R.Q.D.			0,09
R3 = Spaziatura delle discontinuità			18,36
R4 = Condizione dei giunti			40,55
R5 = Condizioni acqua			15
R6 = Indice di correzione			25
	RMR <sub>base</sub> =		81,81
	RMR <sub>corretto</sub> =		56,81
GSI			54,0
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	45,90
Coesione	MPa	$c' =$	0,41
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	63.619,52

HOEK & BROWN			
Resistenza a compressione monoassiale roccia intatta	Mpa	$\sigma_{cl} =$	80,0
Fattore disturbo		$D =$	0,5
Parametro roccia		$m_i =$	7,0
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX		$GSI =$	54,0
Peso di volume	kN/m <sup>3</sup>	$\gamma$	0,03
Altezza del pendio	m	$H$	30,00
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	52,60
Coesione	MPa	$c' =$	0,57
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	8.444,99

LOCALITA'	
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500	
STAZIONE RILIEVO	SS.9
SCAGLIA VARIEGATA	
BIENIAWSKI	

R1 = Resistenza a compressione monoassiale			7,81
R2 = R.Q.D.			0,09
R3 = Spaziatura delle discontinuità			16,89
R4 = Condizione dei giunti			47,30
R5 = Condizioni acqua			15
R6 = Indice di correzione			25
	RMR <sub>base</sub> =		87,08
	RMR <sub>corretto</sub> =		62,08
GSI			59,3
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	48,54
Coesione	MPa	$c' =$	0,44
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	74.161,05

HOEK & BROWN			
Resistenza a compressione monoassiale roccia intatta	Mpa	$\sigma_{cl} =$	80,0
Fattore disturbo		$D =$	0,5
Parametro roccia		$m_i =$	7,0
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX		$GSI =$	59,3
Peso di volume	kN/m <sup>3</sup>	$\gamma$	0,03
Altezza del pendio	m	$H$	30,00
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	53,22
Coesione	MPa	$c' =$	0,81
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	11.438,47

LOCALITA'	
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500	
STAZIONE RILIEVO	SS.10
SCAGLIA VARIEGATA	
BIENIAWSKI	

R1 = Resistenza a compressione monoassiale			7,81
R2 = R.Q.D.			0,09
R3 = Spaziatura delle discontinuità			16,89
R4 = Condizione dei giunti			47,76
R5 = Condizioni acqua			15
R6 = Indice di correzione			25
	RMR <sub>base</sub> =		87,54
	RMR <sub>corretto</sub> =		62,54
GSI			59,7
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	48,77
Coesione	MPa	$c' =$	0,44
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	75.084,14

HOEK & BROWN			
Resistenza a compressione monoassiale roccia intatta	Mpa	$\sigma_{cl} =$	80,0
Fattore disturbo		$D =$	0,5
Parametro roccia		$m_i =$	7,0
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX		$GSI =$	59,7
Peso di volume	kN/m <sup>3</sup>	$\gamma$	0,03
Altezza del pendio	m	$H$	30,00
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	53,25
Coesione	MPa	$c' =$	0,84
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	11.746,45

LOCALITA'	
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500	
STAZIONE RILIEVO	SS.11
SCAGLIA VARIEGATA	
BIENIAWSKI	

R1 = Resistenza a compressione monoassiale			7,81
R2 = R.Q.D.			0,09
R3 = Spaziatura delle discontinuità			16,89
R4 = Condizione dei giunti			34,31
R5 = Condizioni acqua			15
R6 = Indice di correzione			25
	RMR <sub>base</sub> =		74,10
	RMR <sub>corretto</sub> =		49,10
GSI			46,3
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	42,05
Coesione	MPa	$c' =$	0,37
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	48.194,92

HOEK & BROWN			
Resistenza a compressione monoassiale roccia intatta	Mpa	$\sigma_{cl} =$	80,0
Fattore disturbo		$D =$	0,5
Parametro roccia		$m_i =$	7,0
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX		$GSI =$	46,3
Peso di volume	kN/m <sup>3</sup>	$\gamma$	0,03
Altezza del pendio	m	$H$	30,00
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	50,96
Coesione	MPa	$c' =$	0,35
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	5.417,41

LOCALITA'	
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500	
STAZIONE RILIEVO	SS.12
SCAGLIA VARIEGATA	
BIENIAWSKI	

R1 = Resistenza a compressione monoassiale			7,81
R2 = R.Q.D.			0,09
R3 = Spaziatura delle discontinuità			20,67
R4 = Condizione dei giunti			45,52
R5 = Condizioni acqua			15
R6 = Indice di correzione			25
	RMR <sub>base</sub> =		89,09
	RMR <sub>corretto</sub> =		64,09
GSI			61,3
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	49,55
Coesione	MPa	$c' =$	0,45
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	78.185,49

HOEK & BROWN			
Resistenza a compressione monoassiale roccia intatta	Mpa	$\sigma_{cl} =$	80,0
Fattore disturbo		$D =$	0,5
Parametro roccia		$m_i =$	7,0
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX		$GSI =$	61,3
Peso di volume	kN/m <sup>3</sup>	$\gamma$	0,03
Altezza del pendio	m	$H$	30,00
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	53,35
Coesione	MPa	$c' =$	0,93
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	12.843,21

LOCALITA'	
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500	
STAZIONE RILIEVO	SS.13
SCAGLIA VARIEGATA	
BIENIAWSKI	

R1 = Resistenza a compressione monoassiale			7,81
R2 = R.Q.D.			0,09
R3 = Spaziatura delle discontinuità			10,67
R4 = Condizione dei giunti			23,48
R5 = Condizioni acqua			15
R6 = Indice di correzione			25
	RMR <sub>base</sub> =		57,05
	RMR <sub>corretto</sub> =		32,05
GSI			29,2
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	33,53
Coesione	MPa	$c' =$	0,29
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	14.108,93

HOEK & BROWN			
Resistenza a compressione monoassiale roccia intatta	Mpa	$\sigma_{cl} =$	80,0
Fattore disturbo		$D =$	0,5
Parametro roccia		$m_i =$	7,0
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX		$GSI =$	29,2
Peso di volume	kN/m <sup>3</sup>	$\gamma$	0,03
Altezza del pendio	m	$H$	30,00
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	44,39
Coesione	MPa	$c' =$	0,15
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	2.031,03

LOCALITA'	
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500	
STAZIONE RILIEVO	SS.14
SCAGLIA VARIEGATA	
BIENIAWSKI	

R1 = Resistenza a compressione monoassiale			7,81
R2 = R.Q.D.			0,09
R3 = Spaziatura delle discontinuità			18,86
R4 = Condizione dei giunti			32,15
R5 = Condizioni acqua			15
R6 = Indice di correzione			25
	RMR <sub>base</sub> =		73,90
	RMR <sub>corretto</sub> =		48,90
GSI			46,1
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	41,95
Coesione	MPa	$c' =$	0,37
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	47.807,69

HOEK & BROWN			
Resistenza a compressione monoassiale roccia intatta	Mpa	$\sigma_{cl} =$	80,0
Fattore disturbo		$D =$	0,5
Parametro roccia		$m_i =$	7,0
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX		$GSI =$	46,1
Peso di volume	kN/m <sup>3</sup>	$\gamma$	0,03
Altezza del pendio	m	$H$	30,00
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	50,91
Coesione	MPa	$c' =$	0,35
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	5.357,36

LOCALITA'	
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500	
STAZIONE RILIEVO	SS.15
SCAGLIA ROSSA	
BIENIAWSKI	

R1 = Resistenza a compressione monoassiale			7,36
R2 = R.Q.D.			-16,78
R3 = Spaziatura delle discontinuità			18,00
R4 = Condizione dei giunti			33,51
R5 = Condizioni acqua			15
R6 = Indice di correzione			25
	RMR <sub>base</sub> =		57,09
	RMR <sub>corretto</sub> =		32,09
GSI			29,7
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	33,54
Coesione	MPa	$c' =$	0,29
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	14.171,76

HOEK & BROWN			
Resistenza a compressione monoassiale roccia intatta	Mpa	$\sigma_{cl} =$	74,0
Fattore disturbo		$D =$	0,5
Parametro roccia		$m_i =$	7,0
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX		$GSI =$	29,7
Peso di volume	kN/m <sup>3</sup>	$\gamma$	0,03
Altezza del pendio	m	$H$	30,00
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	44,08
Coesione	MPa	$c' =$	0,15
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	2.007,98

LOCALITA'	
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500	
STAZIONE RILIEVO	SS.16
SCAGLIA ROSSA	
BIENIAWSKI	

R1 = Resistenza a compressione monoassiale			7,36
R2 = R.Q.D.			-16,78
R3 = Spaziatura delle discontinuità			16,89
R4 = Condizione dei giunti			36,73
R5 = Condizioni acqua			15
R6 = Indice di correzione			25
	RMR <sub>base</sub> =		59,19
	RMR <sub>corretto</sub> =		34,19
GSI			31,8
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	34,60
Coesione	MPa	$c' =$	0,30
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	18.384,20

HOEK & BROWN			
Resistenza a compressione monoassiale roccia intatta	Mpa	$\sigma_{cl} =$	74,0
Fattore disturbo		$D =$	0,5
Parametro roccia		$m_i =$	7,0
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX		$GSI =$	31,8
Peso di volume	kN/m <sup>3</sup>	$\gamma$	0,03
Altezza del pendio	m	$H$	30,00
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	45,12
Coesione	MPa	$c' =$	0,17
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	2.266,81

LOCALITA'	
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500	
STAZIONE RILIEVO	SS.17
SCAGLIA ROSSA	
BIENIAWSKI	

R1 = Resistenza a compressione monoassiale			7,36
R2 = R.Q.D.			-16,78
R3 = Spaziatura delle discontinuità			16,02
R4 = Condizione dei giunti			39,98
R5 = Condizioni acqua			15
R6 = Indice di correzione			25
	RMR <sub>base</sub> =		61,58
	RMR <sub>corretto</sub> =		36,58
GSI			34,2
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	35,79
Coesione	MPa	$c' =$	0,31
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	23.166,19

HOEK & BROWN			
Resistenza a compressione monoassiale roccia intatta	Mpa	$\sigma_{cl} =$	74,0
Fattore disturbo		$D =$	0,5
Parametro roccia		$m_i =$	7,0
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX		$GSI =$	34,2
Peso di volume	kN/m <sup>3</sup>	$\gamma$	0,03
Altezza del pendio	m	$H$	30,00
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	46,21
Coesione	MPa	$c' =$	0,18
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	2.601,30

LOCALITA'	
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500	
STAZIONE RILIEVO	SS.18
SCAGLIA VARIEGATA	
BIENIAWSKI	

R1 = Resistenza a compressione monoassiale			7,81
R2 = R.Q.D.			0,09
R3 = Spaziatura delle discontinuità			13,35
R4 = Condizione dei giunti			42,40
R5 = Condizioni acqua			15
R6 = Indice di correzione			25
	RMR <sub>base</sub> =		78,65
	RMR <sub>corretto</sub> =		53,65
GSI			50,8
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	44,33
Coesione	MPa	$c' =$	0,39
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	57.302,02

HOEK & BROWN			
Resistenza a compressione monoassiale roccia intatta	Mpa	$\sigma_{cl} =$	80,0
Fattore disturbo		$D =$	0,5
Parametro roccia		$m_i =$	7,0
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX		$GSI =$	50,8
Peso di volume	kN/m <sup>3</sup>	$\gamma$	0,03
Altezza del pendio	m	$H$	30,00
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	52,03
Coesione	MPa	$c' =$	0,46
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	7.040,93

LOCALITA'	
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500	
STAZIONE RILIEVO	SS.19
SCAGLIA ROSSA	
BIENIAWSKI	

R1 = Resistenza a compressione monoassiale			7,36
R2 = R.Q.D.			-16,78
R3 = Spaziatura delle discontinuità			12,64
R4 = Condizione dei giunti			36,64
R5 = Condizioni acqua			15
R6 = Indice di correzione			25
	RMR <sub>base</sub> =		54,86
	RMR <sub>corretto</sub> =		29,86
GSI			27,5
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	32,43
Coesione	MPa	$c' =$	0,27
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	9.721,22

HOEK & BROWN			
Resistenza a compressione monoassiale roccia intatta	Mpa	$\sigma_{cl} =$	74,0
Fattore disturbo		$D =$	0,5
Parametro roccia		$m_i =$	7,0
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX		$GSI =$	27,5
Peso di volume	kN/m <sup>3</sup>	$\gamma$	0,03
Altezza del pendio	m	$H$	30,00
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	42,90
Coesione	MPa	$c' =$	0,14
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	1.766,56

LOCALITA'	
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500	
STAZIONE RILIEVO	SS.20
SCAGLIA VARIEGATA	
BIENIAWSKI	

R1 = Resistenza a compressione monoassiale			7,81
R2 = R.Q.D.			5,02
R3 = Spaziatura delle discontinuità			12,64
R4 = Condizione dei giunti			45,38
R5 = Condizioni acqua			15
R6 = Indice di correzione			25
	RMR <sub>base</sub> =		85,86
	RMR <sub>corretto</sub> =		60,86
GSI			58,1
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	47,93
Coesione	MPa	$c' =$	0,43
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	71.720,36

HOEK & BROWN			
Resistenza a compressione monoassiale roccia intatta	Mpa	$\sigma_{cl} =$	80,0
Fattore disturbo		$D =$	0,5
Parametro roccia		$m_i =$	7,0
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX		$GSI =$	58,1
Peso di volume	kN/m <sup>3</sup>	$\gamma$	0,03
Altezza del pendio	m	$H$	30,00
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	53,11
Coesione	MPa	$c' =$	0,74
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	10.662,51

LOCALITA'	
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500	
STAZIONE RILIEVO	SS.21
SCAGLIA VARIEGATA	
BIENIAWSKI	

R1 = Resistenza a compressione monoassiale			7,81
R2 = R.Q.D.			5,02
R3 = Spaziatura delle discontinuità			14,46
R4 = Condizione dei giunti			33,72
R5 = Condizioni acqua			15
R6 = Indice di correzione			25
	RMR <sub>base</sub> =		76,01
	RMR <sub>corretto</sub> =		51,01
GSI			48,2
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	43,00
Coesione	MPa	$c' =$	0,38
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	52.019,43

HOEK & BROWN			
Resistenza a compressione monoassiale roccia intatta	Mpa	$\sigma_{cl} =$	80,0
Fattore disturbo		$D =$	0,5
Parametro roccia		$m_i =$	7,0
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX		$GSI =$	48,2
Peso di volume	kN/m <sup>3</sup>	$\gamma$	0,03
Altezza del pendio	m	$H$	30,00
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	51,45
Coesione	MPa	$c' =$	0,40
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	6.047,81

LOCALITA'	
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500	
STAZIONE RILIEVO	SS.22
SCAGLIA VARIEGATA	
BIENIAWSKI	

R1 = Resistenza a compressione monoassiale			7,81
R2 = R.Q.D.			5,02
R3 = Spaziatura delle discontinuità			13,35
R4 = Condizione dei giunti			45,20
R5 = Condizioni acqua			15
R6 = Indice di correzione			25
	RMR <sub>base</sub> =		86,38
	RMR <sub>corretto</sub> =		61,38
GSI			58,6
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	48,19
Coesione	MPa	$c' =$	0,43
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	72.765,64

HOEK & BROWN			
Resistenza a compressione monoassiale roccia intatta	Mpa	$\sigma_{cl} =$	80,0
Fattore disturbo		$D =$	0,5
Parametro roccia		$m_i =$	7,0
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX		$GSI =$	58,6
Peso di volume	kN/m <sup>3</sup>	$\gamma$	0,03
Altezza del pendio	m	$H$	30,00
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	53,16
Coesione	MPa	$c' =$	0,77
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	10.988,17

LOCALITA'	
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500	
STAZIONE RILIEVO	SS.23
SCAGLIA VARIEGATA	
BIENIAWSKI	

R1 = Resistenza a compressione monoassiale			7,81
R2 = R.Q.D.			5,02
R3 = Spaziatura delle discontinuità			14,46
R4 = Condizione dei giunti			43,99
R5 = Condizioni acqua			15
R6 = Indice di correzione			25
	RMR <sub>base</sub> =		86,29
	RMR <sub>corretto</sub> =		61,29
GSI			58,5
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	48,14
Coesione	MPa	$c' =$	0,43
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	72.572,26

HOEK & BROWN			
Resistenza a compressione monoassiale roccia intatta	Mpa	$\sigma_{cl} =$	80,0
Fattore disturbo		$D =$	0,5
Parametro roccia		$m_i =$	7,0
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX		$GSI =$	58,5
Peso di volume	kN/m <sup>3</sup>	$\gamma$	0,03
Altezza del pendio	m	$H$	30,00
Angolo di attrito interno	(°)	$\varphi' =$	53,15
Coesione	MPa	$c' =$	0,77
Modulo di elasticità	MPa	$E =$	10.927,18