



**ASSE VIARIO MARCHE – UMBRIA
E QUADRILATERO DI PENETRAZIONE INTERNA
MAXI LOTTO 2**

LAVORI DI COMPLETAMENTO DELLA DIRETTRICE PERUGIA ANCONA:
SS. 318 DI “VALFABBRICA”. TRATTO PIANELLO – VALFABBRICA
SS. 76 “VAL D’ESINO”. TRATTI FOSSATO VICO – CANCELLI E ALBACINA – SERRA SAN QUIRICO
“PEDEMONTANA DELLE MARCHE”, TRATTO FABRIANO – MUCCIA – SFERZIA

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

CONTRAENTE 	GENERALE	IL RESPONSABILE DEL CONTRAENTE GENERALE	
PROGETTAZIONE Partecipazioni Italia S.p.A. IL PROGETTISTA Dott. Ing. Salvatore Lieto Ordine degli Ingegneri Prov. di Mantova n.1147		ASSISTENZA ALLA PROGETTAZIONE  IL PROGETTISTA Ing. Valter Capata	
VISTO IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO Ing. Iginio Farotti	IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI ESECUZIONE Ing. Vincenzo Pardo	IL DIRETTORE DEI LAVORI Ing. Peppino Marascio	

2.13 PEDEMONTANA DELLE MARCHE 3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud 4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – Innesto S.S. 77 a Muccia OPERE D’ARTE MINORI: GENERALE Scarpata in dx. da 11+730.00 a 11+750.00 Relazione tecnica e di calcolo	SCALA:
	DATA: Gennaio 2022

Codice Unico di Progetto (CUP) F12C03000050021 (Assegnato CIPE 20.04.2015)

Codice Elaborato:	Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.
	L 0 7 0 3	2 1 3	E	1 6	M U 0 0 3 6	R E L	0 1	B

REV.	DATA	DESCRIZIONE	Redatto	Controllato	Approvato
A	Settembre 2020	Emissione a seguito istruttoria ASAN	PROGIN	M. Tartaglia	A. Grimaldi
B	Gennaio 2022	Emissione PED	SGS	C.Agostini	S.Lieto

2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – Innesto S.S. 77 a Muccia

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Scarpata di controripa in DX dal km 11+730 al km 11+750 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU036	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 2 di 21
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	------------------------

INDICE

1. GENERALITÀ	3
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
2.1 DOCUMENTI DI PROGETTO	4
2.2 NORMATIVE DI RIFERIMENTO	4
2.3 SOFTWARE	4
3. DESCRIZIONE DELL' OPERA	5
4. MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO	9
4.1 LIVELLO DELLA FALDA	9
4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	9
5. CARATTERIZZAZIONE SISMICA	10
6. VERIFICHE GEOTECNICHE E STRUTTURALI	11
6.1 VERIFICHE GEOTECNICHE	11
6.1.1 STABILITA' GLOBALE	11
7. STATI LIMITE E COMBINAZIONI DI CALCOLO	11
7.1 STATO LIMITE ULTIMO	11
7.2 STATO LIMITE ESERCIZIO	14
8. ANALISI DEI CARICHI	15
8.1 CARICHI PERMANENTI	15
8.2 AZIONE SISMICA	15
9. ANALISI E VERIFICHE	17
9.1 SEZIONI DI CALCOLO	17
9.2 4 RISULTATI DELLE ANALISI: SEZIONE 1	18
9.2.1 Stabilità globale	18
10. CONCLUSIONI	20
APPENDICE A	21

2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – Innesto S.S. 77 a Muccia

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Scarpata di controripa in DX dal km 11+730 al km 11+750 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU036	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 3 di 21
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	------------------------

1. GENERALITÀ

Il presente documento costituisce la relazione di calcolo del Progetto Esecutivo di Dettaglio (PED) delle opere geotecniche di contenimento previste nell'ambito dei lavori di completamento degli stralci funzionali 3 - 4 del tratto della Pedemontana delle Marche.

La redazione del Progetto Esecutivo di Dettaglio ha lo scopo di ottimizzare, laddove possibile, le opere geotecniche oggetto del Progetto Esecutivo. A tal fine, sono state prese a riferimento per la ottimizzazione le valutazioni e le caratterizzazioni idrogeologico, geotecniche e sismiche dei siti in esame presenti nel Progetto Esecutivo.

I calcoli e le verifiche di sicurezza sono stati invece adattati alle nuove soluzioni progettuali proposte in conformità alle norme NTC 2008.

2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – Innesto S.S. 77 a Muccia

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Scarpata di controripa in DX dal km 11+730 al km 11+750 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	213	E	16	MU036	REL	01	B	4 di 21

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Nella redazione del progetto esecutivo di dettaglio si è fatto riferimento ai seguenti documenti.

2.1 DOCUMENTI DI PROGETTO

- L0703212E02GE0000REL01C - Relazione geologica, geomorfologica e geoidrologica generale
- L073212E02GE0001REL01F - Relazione geotecnica generale sulle opere all'aperto
- L0703212E04000000REL01C - Relazione sismica
- L0703212E02GE0000PLA04C – Profilo geologico
- L0703212E02GE0001PRF04E – Profilo geotecnico
- L0703212E17OS0900REL01C – Relazione tecnica e di calcolo
- L0703212E17OI0000REL01F – Stabilità versanti e trincee drenanti
- L0703212E17OI0001OPT03B – Trincee drenanti
- L0703213E17OS1000TVI01A – Pianta, profilo, sezione ed armatura

2.2 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Nella redazione del progetto esecutivo si è fatto riferimento ai seguenti documenti normativi.

- D.M. 14/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni" (NTC08).
- Circolare del 02/02/2009. Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. del 14/01/2008.
- UNI EN1990 EUROCODICE 0 – Criteri generali di progettazione strutturale.
- UNI EN1991 EUROCODICE 1 – Azioni sulle strutture
- UNI EN1992-1-1 EUROCODICE 2, parte 1-1 Progettazione delle strutture in calcestruzzo. Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI EN 1997-1. EUROCODICE 7, parte 1. Progettazione geotecnica. Parte 1: Regole generali
- UNI EN 1998-5. EUROCODICE 8, parte 5. Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

2.3 SOFTWARE

GeoStru 2021 - www.geostru.eu

2.12PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – Innesto S.S. 77 a Muccia

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Scarpata di controripa in DX dal km 11+730 al km 11+750 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU036	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 5 di 21
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	------------------------

3. DESCRIZIONE DELL' OPERA

Le analisi e verifiche nel seguito esposte fanno in particolare riferimento all' opera di sostegno MU36 situata in DX dell'asse stradale, dal km 11+730 al km 11+750, per uno sviluppo totale di circa 20m.

Nell'ambito del Progetto Esecutivo di Dettaglio (PED), l'ottimizzazione dell'opera in oggetto prevede la sostituzione dei muri e muri su pali in c.a. previsti da Progetto Esecutivo con una scarpata.

In Figure 1 – Pianta dell'intervento, Figure 2 – Profilo longitudinale e Figure 3 – Sezione tipo gabbioni sono rappresentate pianta, profilo e sezioni tipo dell'opera rispettivamente.

2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – Innesto S.S. 77 a Muccia

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Scarpata di controripa in DX dal km 11+730 al km 11+750 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	213	E	16	MU036	REL	01	B	6 di 21

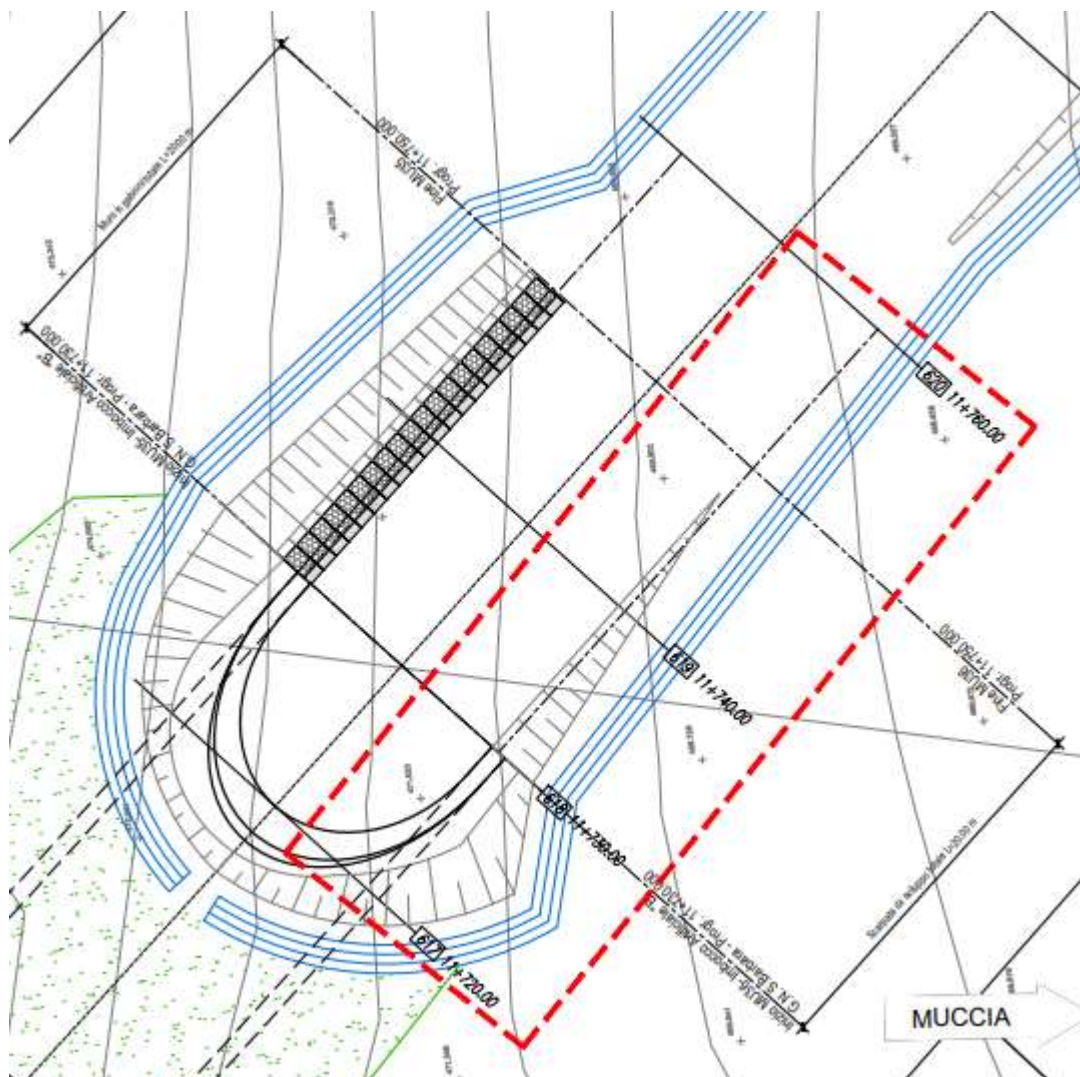


Figure 1 – Pianta dell'intervento

2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – Innesto S.S. 77 a Muccia

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Scarpata di controripa in DX dal km 11+730 al km 11+750 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	16	MU036	REL	01	B	7 di 21

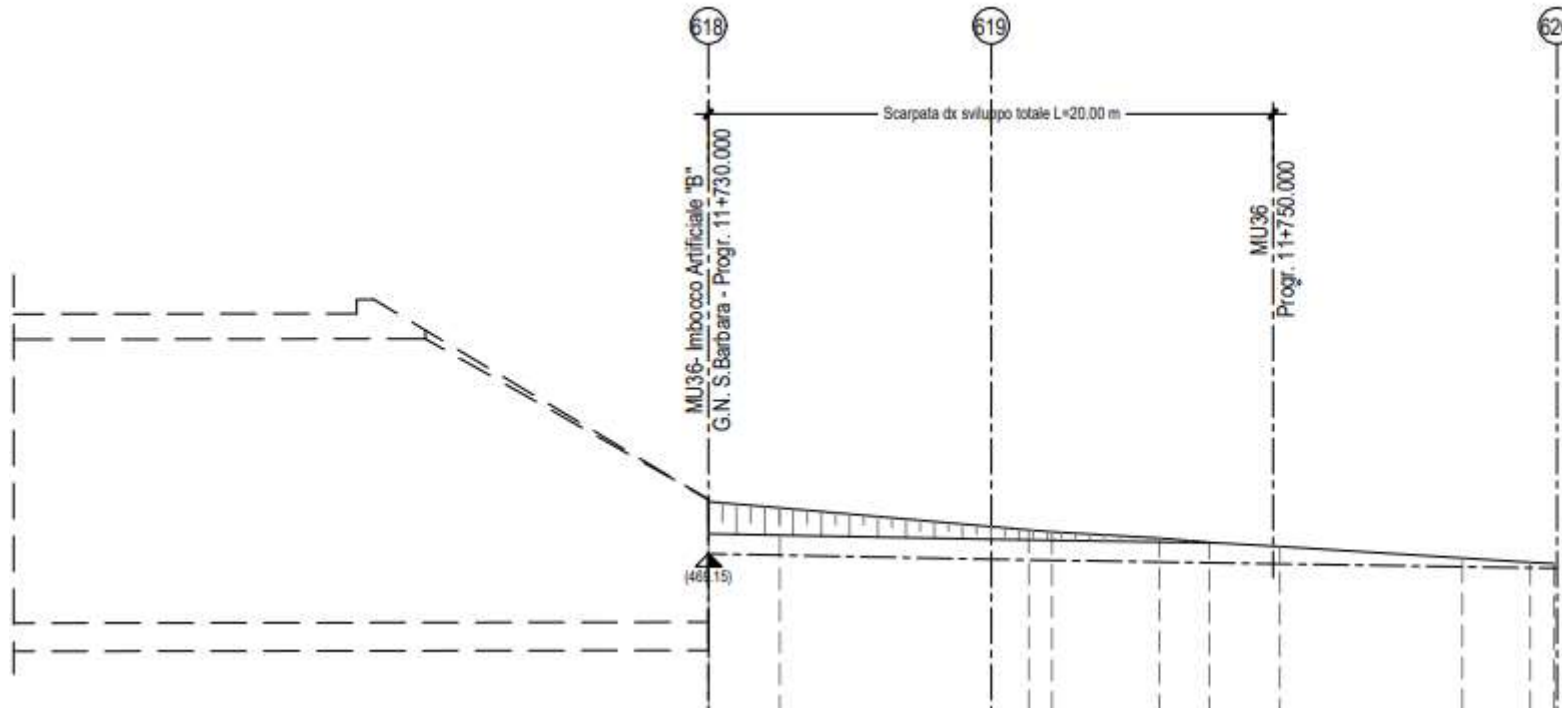


Figure 2 – Profilo longitudinale

2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – Innesto S.S. 77 a Muccia

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Scarpata di controripa in DX dal km 11+730 al km 11+750 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	16	MU036	REL	01	B	8 di 21

SEZIONE N. : 618

Q. PROGETTO : 469.233

DIST.PROG. : 11+730.00

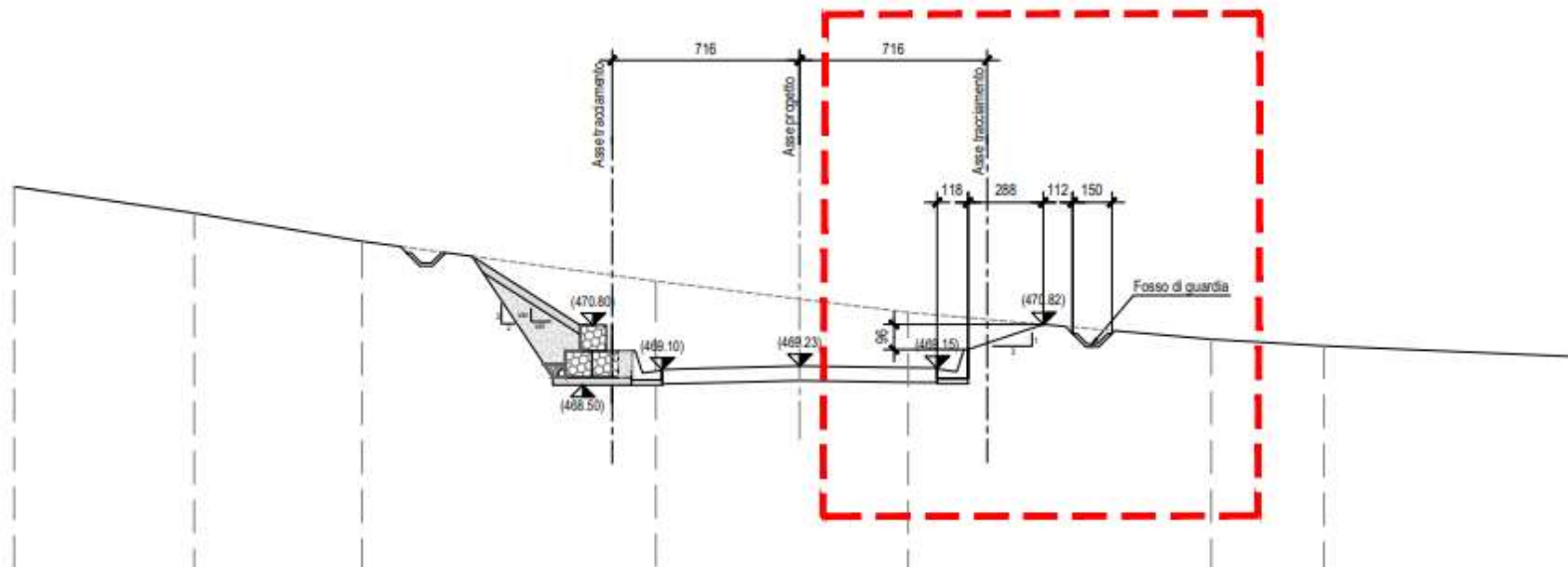


Figure 3 – Sezione tipo gabbioni

4. MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO

Nel presente paragrafo si riporta la caratterizzazione geotecnica specifica per l'opera in esame. Per dettagli si rimanda alla Relazione Geotecnica Generale. Si sottolinea, comunque, che mediamente il profilo stratigrafico presenta una fascia, di spessore variabile tra 13.0 e 15.0m, costituita da depositi eluvio colluviali limoso argillosi che sovrasta il substrato alterato argilloso limoso.

Analizzando il profilo geologico geotecnico, con riferimento ai tratti di ubicazione dell'opera di sostegno oggetto di dimensionamento, è possibile dunque assumere cautelativamente, la seguente configurazione stratigrafica:

Tabella 1 - Stratigrafia di riferimento MU36

Unità geotecnica	Profondità dal piano campagna [m da p.c.]	Descrizione
Ecla	0 ÷ 10.0	Depositi Eluvio-colluviali limoso argillosi
Salt	10.0-13.0	Substrato alterato argilloso limoso
Sch	>13.0	Formazione dello Schlier

4.1 LIVELLO DELLA FALDA

La falda è riscontrata a profondità variabili. Nelle analisi si assume cautelativamente un livello di falda prossima ad una profondità di 4 metri dal piano campagna.

4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

I parametri geotecnici considerati per l'opera in esame sono riportati nella seguente tabella e fanno riferimento alla caratterizzazione presentata in relazione L073212E02GE0001REL01F.

Tabella 2 - Parametri geotecnici terreno in sito

Unità	γ [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kPa]	ν [-]
Ecla	19	25	10	0.2
Salt	20	26	10	0.2
Sch	23	31	55	0.2

2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – Innesto S.S. 77 a Muccia

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Scarpatà di controripa in DX dal km 11+730 al km 11+750 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU036	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 10 di 21
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

5. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Per la caratterizzazione sismica del sito si rimanda alle considerazioni presenti nella relazione sismica (L0703212E04000000REL01C) e nella relazione di calcolo (L0703212E17OS0900REL01C).

Di seguito si riportano i parametri di progetto adottati per le verifiche della stabilità dell'opera in caso di azione sismica.

Tabella 3 – Periodo di riferimento azione sismica

Vita nominale V_N	Classe d'uso	Coefficiente d'uso	Periodo di riferimento V_R
50	III	1.5	75

Tabella 4 - Accelerazione (ag), fattore (F0) e periodo (T*c)

V_R [anni]	Stato Limite	PV_R -	T_R [anni]	a_q [g]	F_0 [-]	T_c [s]
75	SLO	81%	45	0.078	2.440	0.285
	SLD	63%	75	0.097	2.433	0.295
	SLV	10%	712	0.220	2.544	0.333
	SLC	5%	1462	0.277	2.584	0.343

Lo spettro di risposta elastico per la descrizione della componente orizzontale del moto sismico è infine costruito a partire dai parametri seguenti.

Tabella 5 – Caratterizzazione sito

Categoria di sottosuolo	Categoria topografica	S_s , fattore stratigrafico	S_t , fattore topografico
C	T1	1.36	1.0

6. VERIFICHE GEOTECNICHE E STRUTTURALI

Di seguito si riassumono le verifiche condotte per la stabilità globale dell'opera in esame e le verifiche strutturali della paratia.

6.1 VERIFICHE GEOTECNICHE

6.1.1 STABILITA' GLOBALE

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terrapieno è condotta mediante l'ausilio del programma di calcolo SLOPE STABILITY ANALYSIS di Geostru.

Per la verifica si fa riferimento al metodo dell'equilibrio limite di Bishop.

Per ulteriori approfondimenti teorici sul metodo di calcolo si rimanda al capitolo 10 della relazione geotecnica generale (L0703212E17OS0900REL01C).

7. STATI LIMITE E COMBINAZIONI DI CALCOLO

7.1 STATO LIMITE ULTIMO

Per le opere in materiali sciolti, come i rilevati, devono essere effettuate le verifiche con riferimento almeno ai seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO) e di equilibrio di corpo rigido per la verifica della stabilità globale e locale dell'opera di sostegno

Per quanto riguarda l'opera di stabilizzazione, costituita da una paratia di pali, si effettuano le verifiche con riferimento ai seguenti stati limite:

- SLU di tipo strutturale (STR) per il raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali

Secondo quanto riportato in normativa DM 14-01-2008, la verifica di stabilità globale dell'insieme terreno-opera deve essere effettuata secondo l'Approccio 1:

- Combinazione 2: $(A2+M2+R2)$

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate secondo almeno uno dei seguenti approcci:

Approccio 1:

- Combinazione 1: $(A1+M1+R1)$
- Combinazione 2: $(A2+M2+R2)$

Approccio 2:

$$(A1+M1+R3)$$

I coefficienti per le azioni A, per i parametri geotecnici M e per le resistenze R sono riassunti nelle seguenti tabelle.

2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – Innesto S.S. 77 a Muccia

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Scarpata di controripa in DX dal km 11+730 al km 11+750 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU036	Id.doc. REL	N. prog. 01	Rev. B	Pag. di Pag. 12 di 21
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

Tabella 6 – Coefficienti parziali per le azioni SLU

Carichi tipo	Effetto	Coefficiente parziale	A1	A2
Permenenti G1	Favorevole	γ_{G1}	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.3	1.0
Permanenti non strutturali G2	Favorevole	γ_{G2}	0.8	0.8
	Sfavorevole		1.5	1.3
Variabili Q	Favorevole	γ_Q	0	0
	Sfavorevole		1.5	1.3

Tabella 7 – Coefficienti parziali per i parametri del terreno SLU

Carichi tipo	Coefficiente parziale	M1	M2
Tangente angolo resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	1.0	1.25
Coesione efficace	c'_k	1.0	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	1.0	1.4
Peso unità di volume	γ	1.0	1.0

Tabella 8 – Coefficienti parziali resistenza R2 verifiche di opere in materiali sciolti e fronti di scavo

Verifica	R2
Stabilità globale	$\gamma_R = 1.1$

Tabella 9 – Coefficienti parziali resistenza γ_R per le STR e GEO di muri di sostegno

Verifica	R1	R2	R3
Capacità portante fondazione	$\gamma_R = 1.0$	$\gamma_R = 1.0$	$\gamma_R = 1.4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1.0$	$\gamma_R = 1.0$	$\gamma_R = 1.1$
Resistenza terreno valle	$\gamma_R = 1.0$	$\gamma_R = 1.0$	$\gamma_R = 1.4$



2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – Innesto S.S. 77 a Muccia

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Scarpata di controripa in DX dal km 11+730 al km 11+750 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU036	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 13 di 21
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

In presenza di azioni sismiche, lo stato limite ultimo considerato comprende lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV).

I coefficienti parziali sulle azioni e parametri geotecnici sono posti pari all'unità mentre i coefficienti parziali relativi alle resistenze risultano invariati rispetto a quelli considerati per le verifiche in condizioni statiche.

2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – Innesto S.S. 77 a Muccia

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Scarpata di controripa in DX dal km 11+730 al km 11+750 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU036	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 14 di 21
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

7.2 STATO LIMITE ESERCIZIO

Per le verifiche strutturali allo stato limite di esercizio seguenti coefficienti parziali per le azioni sono stati considerati:

Tabella 10 – Coefficienti parziali per le azioni SLS Freq. e QP

Carichi tipo	Effetto	γ	ψ
Permanenti G1	Sfavorevole	1.0	-
Permanenti G2	Sfavorevole	1.0	-
Variabili Q	Sfavorevole	1.0	-

Tabella 11 – Coefficienti parziali per le azioni SLS Rara

Carichi tipo	Effetto	γ	ψ
Permanenti G1	Sfavorevole	1.0	-
Permanenti G2	Sfavorevole	1.0	-
Traffico Q	Sfavorevole	1.0	0.75

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU036	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 15 di 21
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

8. ANALISI DEI CARICHI

8.1 CARICHI PERMANENTI

Per carichi permanenti si intendono le azioni associate ai pesi propri del palo, del terrapieno spingente e dell'acqua di falda, valutati in automatico dal Software di calcolo utilizzato.

8.2 AZIONE SISMICA

Per la valutazione degli effetti dell'azione sismica sulle masse e sui coefficienti di spinta del terreno, si è fatto riferimento al metodo pseudo-statico previsto al punto 7.11.3.5.2 - "Metodi di Analisi" - delle NTC2008 secondo il quale, nelle verifiche allo stato limite ultimo, i valori dei coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v possono essere valutati mediante le seguenti espressioni:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

dove

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito

g = accelerazione di gravità.

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata con la relazione:

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$$

dove

S = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_s) e dell'amplificazione topografica (S_t).

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Di seguito sono riportati i valori di β_s e β_m considerati per i fronti di scavo (utilizzati nelle analisi globali), per i muri di sostegno, e per le paratie, in accordo a quanto indicato nella NTC2008.

2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – Innesto S.S. 77 a Muccia

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Scarpata di controripa in DX dal km 11+730 al km 11+750 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU036	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 16 di 21
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

Tabella 12 – Coefficienti dell'accelerazione massima attesa al sito – Fronti di scavo e rilevati

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0.2 < a_g(g) \leq 0.4$	0.3	0.28
$0.1 < a_g(g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g(g) \leq 0.1$	0.2	0.2

Tabella 13 – Coefficienti dell'accelerazione massima attesa al sito – Muri di sostegno

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_m	β_m
$0.2 < a_g(g) \leq 0.4$	0.31	0.31
$0.1 < a_g(g) \leq 0.2$	0.29	0.24
$a_g(g) \leq 0.1$	0.20	0.18

I parametri di progetto dell'azione sismica considerati nell'analisi dell'opera oggetto della presente relazione sono riassunti nella tabella seguente.

Tabella 14 – Parametri progetto azione sismica equivalente – Fronti di scavo e rilevati

S_s	S_T	a_g	a_{max}	k_h	k_v
1.36	1.0	0.22g	0.3g	0.084	± 0.042

2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – Innesto S.S. 77 a Muccia

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Scarpata di controripa in DX dal km 11+730 al km 11+750 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU036	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 17 di 21
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

9. ANALISI E VERIFICHE

Si riportano di seguito risultati delle analisi e verifiche per le sezioni di calcolo considerate.

9.1 SEZIONI DI CALCOLO

È stata considerata una sezione riferita al muro in gabbioni. Il riepilogo delle sezioni analizzate e le progressive di riferimento è riportato nella seguente tabella.

Tabella 15 - Sezioni di calcolo

ID muro	Sezione di calcolo	Lato stradale	pk
MU36	Scarpata	DX	11+730

Di seguito sono sintetizzati i risultati delle analisi eseguite per le sezioni di calcolo analizzate.

Per il dettaglio delle analisi geotecniche e strutturali, fare riferimento agli ALLEGATI A e B rispettivamente.

9.2 RISULTATI DELLE ANALISI: SEZIONE 1

9.2.1 Stabilità globale

Si riportano di seguito i risultati delle verifiche di stabilità globale per il muro a gabbioni in condizioni statiche e sismiche.

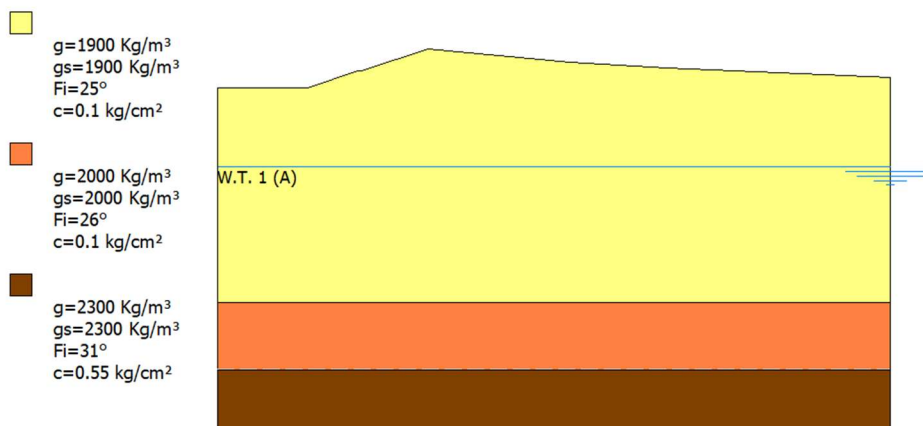


Figure 4 - Modello di calcolo

Nel modello adottato per l'esecuzione di tali verifiche, per lo stato di terreno più superficiale, in maniera cautelativa sono stati considerati dei parametri di resistenza ridotti tra quelli relativi al terreno vergine.

Dalle analisi eseguite è stato ottenuto un coefficiente di sicurezza FS, relativo alla superficie di scorrimento più critica, superiore all'unità. Considerando il valore assunto per il coefficiente parziale di resistenza che riduce la resistenza disponibile del terreno, γ_R , pari a 1.1, secondo quanto prescritto dalla normativa considerata, le verifiche di sicurezza risultano essere soddisfatte sia in condizioni statiche che sismiche.

2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – Innesto S.S. 77 a Muccia

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Scarpata di controripa in DX dal km 11+730 al km 11+750 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L073	213	E	16	MU036	REL	01	B	19 di 21

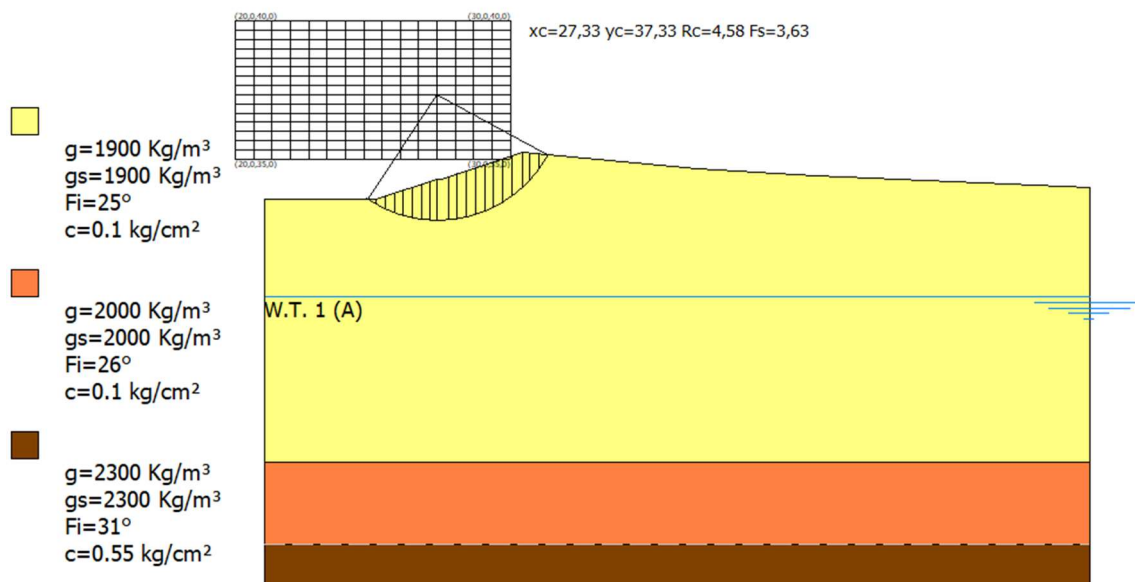


Figure 5 – Verifica di stabilità globale (SLU)

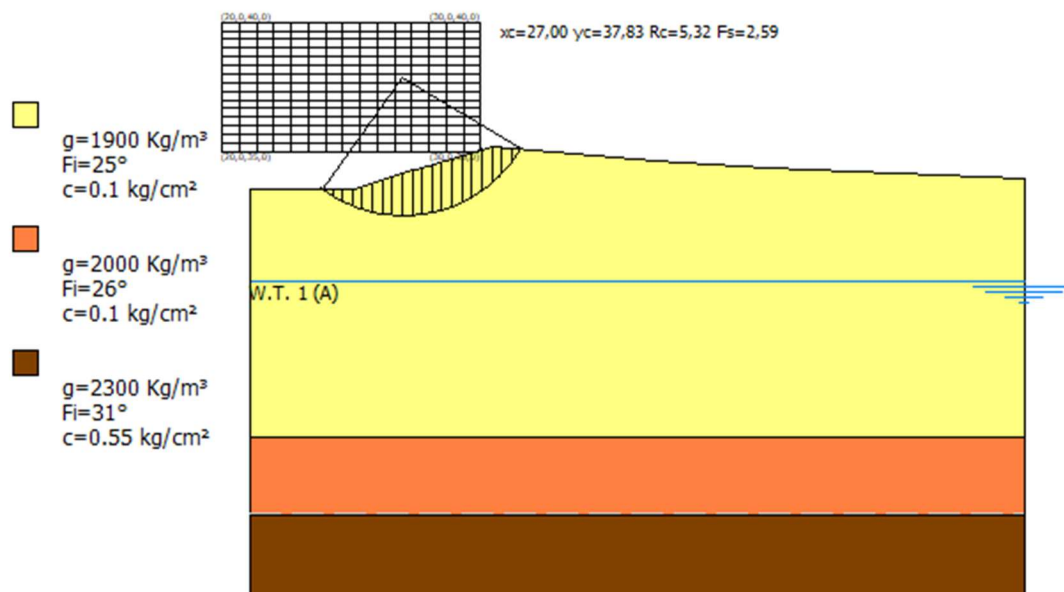


Figure 6 – Verifica di stabilità globale (SLV)

2.12 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – Innesto S.S. 77 a Muccia

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Scarpata di controripa in DX dal km 11+730 al km 11+750 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU036	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 20 di 21
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

10. CONCLUSIONI

La presente relazione tecnica e di calcolo riassume i criteri di dimensionamento, le analisi e le verifiche condotte sulle opere di stabilità profonda dei terreni di fondazione del muro a gabbioni da progressiva 11+730 a progressiva 11+750 del Lotto 3-4 dell'opera Pedemontana delle Marche.

Le verifiche geotecniche e strutturali in condizioni provvisorie risultano soddisfatte per gli stati limite considerati secondo le normative di riferimento.



2.12PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – Innesto S.S. 77 a Muccia

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Scarpata di controripa in DX dal km 11+730 al km 11+750 - Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 213	Settore E	CEE 16	WBS MU036	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. B	Pag.di Pag. 21 di 21
---------------	---------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

APPENDICE A

REPORT DI CALCOLO VERIFICHE GEOTECNICHE

MU36 – Verifiche di stabilità globale

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:

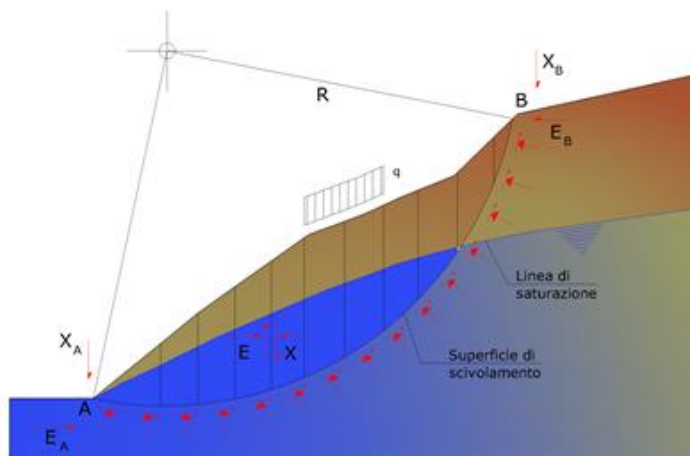
1. Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (ϕ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido 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 (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τ_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 conci.



Metodo dei conci

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

- n valori delle forze normali N_i agenti sulla base di ciascun concio;
- n valori delle forze di taglio alla base del concio T_i ;
- $(n-1)$ forze normali E_i agenti sull'interfaccia dei conci;
- $(n-1)$ forze tangenziali X_i agenti sull'interfaccia dei conci;
- n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione delle E_i ;
- $(n-1)$ valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_i ;
- 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 Bishop (1955)

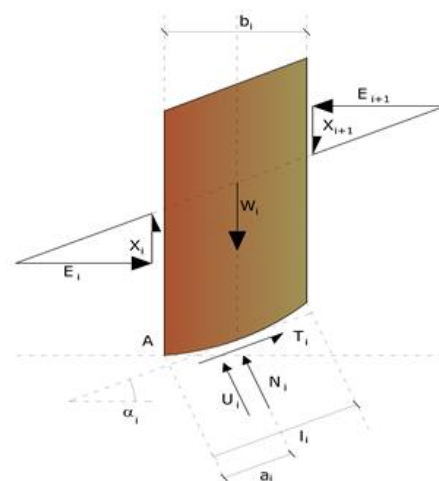
Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali.

Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

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

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

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 $\Delta X = 0$ 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 %.



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.

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955) – CONDIZIONI STATICHE

Calcolo eseguito secondo	NTC 2008 & Circ.
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	20,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,1
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore x_i	20,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore y_i	35,0 m
Ascissa vertice destro superiore x_s	30,0 m
Ordinata vertice destro superiore y_s	40,0 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	15,0
Numero di celle lungo y	15,0

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	21,07	33,52
2	25,11	33,52
3	27,35	34,27
4	27,5	34,27
5	30,44	35,22
6	36,79	34,66
7	41,09	34,4
8	51,07	33,98

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	51,07	29,98
2	51,07	29,98
3	35,19	29,98
4	21,07	29,98

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	21,07	23,98
2	40,22	23,98
3	51,07	23,98
4	51,07	23,98

Vertici strato2

N	X (m)	y (m)
1	21,07	20,98
2	33,03	20,98
3	51,07	20,98
4	51,07	20,98

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	Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia	
1	0.1		25	1900	1900	Ecla	
2	0.1		26	2000	2000	Salt	
3	0.55		31	2300	2300	Ap	

Risultati analisi pendio [NTC 2008 & Circ.]

Fs minimo individuato	3,63
Ascissa centro superficie	27,33 m
Ordinata centro superficie	37,33 m
Raggio superficie	4,58 m

$x_c = 27,333$ $y_c = 37,333$ $R_c = 4,581$ $F_s = 3,63$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,33	-31,2	0,38	64,66	0,0	0,0	0,08	20,5	0,0	135,1	98,3
2	0,33	-26,5	0,37	215,47	0,0	0,0	0,08	20,5	0,0	296,2	111,1
3	0,33	-22,0	0,35	375,44	0,0	0,0	0,08	20,5	0,0	455,3	124,7
4	0,33	-17,6	0,34	517,03	0,0	0,0	0,08	20,5	0,0	585,7	136,0
5	0,33	-13,4	0,34	641,72	0,0	0,0	0,08	20,5	0,0	694,2	145,6
6	0,33	-9,2	0,33	750,52	0,0	0,0	0,08	20,5	0,0	785,2	153,9
7	0,33	-5,1	0,33	844,13	0,0	0,0	0,08	20,5	0,0	861,7	161,1
8	0,26	-1,4	0,26	723,09	0,0	0,0	0,08	20,5	0,0	726,5	131,7
9	0,4	2,7	0,4	1149,09	0,0	0,0	0,08	20,5	0,0	1140,6	204,7
10	0,33	7,3	0,33	1003,2	0,0	0,0	0,08	20,5	0,0	989,1	174,5
11	0,33	11,4	0,33	1035,9	0,0	0,0	0,08	20,5	0,0	1020,8	178,6
12	0,33	15,7	0,34	1053,08	0,0	0,0	0,08	20,5	0,0	1042,6	182,2
13	0,33	20,0	0,35	1053,88	0,0	0,0	0,08	20,5	0,0	1054,0	185,2
14	0,33	24,4	0,36	1037,04	0,0	0,0	0,08	20,5	0,0	1053,6	187,6
15	0,33	29,0	0,37	1000,83	0,0	0,0	0,08	20,5	0,0	1039,3	189,4
16	0,33	33,8	0,39	942,72	0,0	0,0	0,08	20,5	0,0	1007,0	190,4
17	0,39	39,5	0,51	1020,74	0,0	0,0	0,08	20,5	0,0	1133,7	229,0
18	0,26	45,0	0,37	555,76	0,0	0,0	0,08	20,5	0,0	638,6	147,1
19	0,33	50,5	0,52	479,13	0,0	0,0	0,08	20,5	0,0	547,3	169,8
20	0,33	57,6	0,61	181,37	0,0	0,0	0,08	20,5	0,0	108,7	145,8

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955) – CONDIZIONI SISMICHE

Calcolo eseguito secondo	NTC 2008 & Circ.
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	20,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,1
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	20,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	35,0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	30,0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	40,0 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	15,0
Numero di celle lungo y	15,0

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,084
Coefficiente azione sismica verticale	0,042

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	21,07	33,52
2	25,11	33,52
3	27,35	34,27
4	27,5	34,27
5	30,44	35,22
6	36,79	34,66
7	41,09	34,4
8	51,07	33,98

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	51,07	29,98
2	51,07	29,98
3	35,19	29,98
4	21,07	29,98

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	21,07	23,98
2	40,22	23,98
3	51,07	23,98
4	51,07	23,98

Vertici strato2

N	X (m)	y (m)
1	21,07	20,98
2	33,03	20,98

3	51,07	20,98
4	51,07	20,98

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	Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia	
1	0.1		25	1900	1900	ECLA	
2	0.1		26	2000	2000	SALT	
3	0.55		31	2300	2300	AP	

Risultati analisi pendio [NTC 2008 & Circ.]

Fs minimo individuato	2,59
Ascissa centro superficie	27,0 m
Ordinata centro superficie	37,83 m
Raggio superficie	5,32 m

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.

$$x_c = 27,00 \quad y_c = 37,833 \quad R_c = 5,319 \quad F_s = 2,586$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,38	-33,3	0,46	96,29	8,09	4,04	0,08	20,5	0,0	230,2	175,4
2	0,38	-28,4	0,44	263,59	22,14	11,07	0,08	20,5	0,0	404,6	193,5
3	0,38	-23,8	0,42	401,01	33,68	16,84	0,08	20,5	0,0	529,5	206,3
4	0,38	-19,4	0,41	543,82	45,68	22,84	0,08	20,5	0,0	653,9	220,3
5	0,38	-15,0	0,4	724,12	60,83	30,41	0,08	20,5	0,0	814,4	240,5
6	0,38	-10,8	0,39	881,91	74,08	37,04	0,08	20,5	0,0	946,9	257,6
7	0,38	-6,6	0,39	1018,32	85,54	42,77	0,08	20,5	0,0	1056,6	272,1
8	0,38	-2,4	0,38	1134,03	95,26	47,63	0,08	20,5	0,0	1147,2	284,5
9	0,39	1,7	0,39	1241,04	104,25	52,12	0,08	20,5	0,0	1232,7	297,8
10	0,38	5,9	0,38	1256,46	105,54	52,77	0,08	20,5	0,0	1232,7	296,2
11	0,38	10,0	0,39	1319,77	110,86	55,43	0,08	20,5	0,0	1286,1	306,2
12	0,38	14,3	0,4	1350,58	113,45	56,72	0,08	20,5	0,0	1314,2	312,2
13	0,38	18,6	0,41	1359,1	114,16	57,08	0,08	20,5	0,0	1327,3	316,9
14	0,38	23,0	0,42	1343,81	112,88	56,44	0,08	20,5	0,0	1324,0	320,1

15	0,38	27,6	0,43	1302,49	109,41	54,7	0,08	20,5	0,0	1301,5	321,9
16	0,38	32,4	0,45	1232,0	103,49	51,74	0,08	20,5	0,0	1254,8	321,7
17	0,4	37,5	0,5	1171,06	98,37	49,18	0,08	20,5	0,0	1221,7	332,2
18	0,37	43,0	0,5	886,09	74,43	37,22	0,08	20,5	0,0	939,6	291,4
19	0,38	48,8	0,58	616,67	51,8	25,9	0,08	20,5	0,0	626,9	271,0
20	0,38	55,7	0,68	231,58	19,45	9,73	0,08	20,5	0,0	84,4	222,8