



NUOVO IMPIANTO IDROELETTRICO
DENOMINATO "MOLINO"

AMMINISTRAZIONE:

COMUNE DI MARLIANA - PROVINCIA DI PISTOIA

CORSO D'ACQUA:

TORRENTE VINCIO DI MONTAGNANA

LIVELLO PROGETTUALE:

PROGETTO DEFINITIVO

NUMERO:

10

SCALA:

DATA:

Settembre 2015

TITOLO:

RELAZIONE DI VERIFICA DELLA STABILITA'
DEL VERSANTE

PROGETTAZIONE:

ING. ALICE SALOTTI

Loc. Belvedere, 51
55022 Bagni di Lucca (LU)
email: salotti@alice.it
pec: alice.salotti@ingpec.eu



COMMITTENTE:

CEMAL ENERGIE SRL

Via traversa seconda, i.2
55014 Capannori (LU)

REV.	DESCRIZIONE	DATA
4		
3		
2		
1		
0	INTEGRAZIONI PROCEDURA DI P.A.S. SU RICHIESTA ENTI COMPETENTI	14/09/2015

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. RIFERIMENTI NORMATIVI	2
3. STRUMENTI DI CALCOLO UTILIZZATI	2
4. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DELLA STRUTTURA	2
4.1 Vita nominale	2
4.2 Classi d'uso	3
4.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica	3
5. ANALISI DEI CARICHI.....	4
5.1 Premessa	4
5.2 Definizione delle azioni	4
5.3 Parametri per il calcolo dell'azione sismica E	6
5.4 Combinazioni delle azioni	8
5.5 Metodi di verifica delle opere e dei sistemi geotecnici	9
6. VERIFICHE DI STABILITÀ DEL VERSANTE	11
6.1 Metodi di verifica	11
6.3 Stato attuale in condizioni di elevatissima piovosità	15
6.4 Stato attuale in condizioni sismiche	19
6.5 Stato di progetto in condizioni di elevatissima piovosità	23
6.4 Stato di progetto in condizioni sismiche	27
7. CONCLUSIONI	31

1. PREMESSA

La presente relazione è presentata ad integrazione del progetto definitivo di un nuovo impianto micro-idroelettrico, denominato “Molino”, sul torrente Vincio di Montagnana, localizzato nel Comune di Marliana in Provincia di Pistoia, al fine di verificarne la fattibilità rispetto alla problematica della stabilità dei versanti.

Per le valutazioni di carattere geologico, le motivazioni della scelta e localizzazione della sezione di versante da verificare, oltre che per la determinazione dei parametri meccanici del terreno, si rimanda alla relazione redatta dal Dott. Geol. Luca Bargagna.

La verifica riguarda una porzione di versante interessata dal passaggio della tubazione in acciaio.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

Nel seguito si riportano le normative e le istruzioni considerate nello sviluppo della progettazione e nelle verifiche degli elementi strutturali.

- Legge n.64 del 2.2.1974: “Provvedimenti per le costruzioni, con particolari prescrizioni per le zone sismiche.”
- D.M. 14.1.2008: “Nuove norme tecniche per le costruzioni.”

3. STRUMENTI DI CALCOLO UTILIZZATI

Per i calcoli strutturali sono stati utilizzati i seguenti software:

- Verifica di stabilità dei versanti: Slope (Geostru).

Tutti i software utilizzati per i vari calcoli contenuti nella presente relazione sono stati ritenuti idonei per le verifiche relative al progetto. Gli esiti delle elaborazioni eseguite con i software sono state controllate attraverso calcoli semplificati che hanno dimostrato l'accettabilità dei risultati.

4. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DELLA STRUTTURA

4.1 Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tab. 2.4.I e deve essere precisata nei documenti di progetto.

Tabella 2.4.I – Vita nominale V_N per diversi tipi di opere

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva ¹	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

4.2 Classi d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

- Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
- Classe II: 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.
- Classe III: 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.
- Classe IV: 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. 792, "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.

3

4.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento VR che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale VN per il coefficiente d'uso CU:

$$VR = VN \times CU$$

Il valore del coefficiente d'uso CU è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II.

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Se $VR \leq 35$ anni si pone comunque $VR = 35$ anni.

Per la struttura sono stati assunti i seguenti parametri:	
Vita nominale VN	50 anni
Classe d'uso	II classe
Coefficiente C_u	1
Periodo di riferimento	$VR = VN \times CU = 1 \times 50 = 50$ anni

La verifica delle opere in condizioni sismiche è stata effettuata avendo assunto la classe d'uso II (par. 2.4.2) relativa alle costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti.

La scelta effettuata non comporta comunque un aggravio di spesa rispetto alla verifica delle opere in classe d'uso I relativa a costruzioni con presenza occasionale di persone.

5. ANALISI DEI CARICHI

5.1 Premessa

Le opere di sostegno in progetto verranno realizzate conformemente alle nuove norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14/01/2008).

Le azioni di calcolo considerate sono quelle dovute al peso proprio del terreno e del materiale di riempimento, ai sovraccarichi (dovuti alla presenza di costruzioni, depositi di materiale, veicoli in transito), all'acqua e al sisma.

Le azioni agenti sono state cumulate secondo condizioni di carico tali da risultare più sfavorevoli ai fini delle singole verifiche (si è considerato il loro inviluppo).

5.2 Definizione delle azioni

5.2.1 Carichi permanenti strutturali

Si riportano di seguito i pesi specifici dei principali materiali usati per la costruzione della struttura ed i pesi propri strutturali assunti per il calcolo delle strutture principali costituenti l'opera:

Terreno 1700 - 2000 kg/m³

5.2.2 Carichi variabili

I carichi variabili comprendono i carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera; i modelli di tali azioni possono essere costituiti da:

- carichi verticali uniformemente distribuiti q_k [kN/m²],
- carichi verticali concentrati Q_k [kN],
- carichi orizzontali lineari H_k [kN/m].

Tabella 3.1.II – Valori dei carichi d'esercizio per le diverse categorie di edifici

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
A	Ambienti ad uso residenziale. Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi. (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento)	2,00	2,00	1,00
B	Uffici. Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	2,00 3,00	2,00 2,00	1,00 1,00
C	Ambienti suscettibili di affollamento Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole	3,00	2,00	1,00
	Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi	4,00	4,00	2,00
	Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune	5,00	5,00	3,00
D	Ambienti ad uso commerciale. Cat. D1 Negozi Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini, librerie...	4,00 5,00	4,00 5,00	2,00 2,00
E	Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale. Cat. E1 Biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri	$\geq 6,00$	6,00	1,00*
	Cat. E2 Ambienti ad uso industriale, da valutarsi caso per caso	—	—	—
F-G	Rimesse e parcheggi. Cat. F Rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico fino a 30 kN	2,50	2 x 10,00	1,00**
	Cat. G Rimesse e parcheggi per transito di automezzi di peso a pieno carico superiore a 30 kN: da valutarsi caso per caso	—	—	—
H	Coperture e sottotetti Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione	0,50	1,20	1,00
	Cat. H2 Coperture praticabili	secondo categoria di appartenenza		
	Cat. H3 Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso	—	—	—
* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati				
** per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso				

I valori nominali e/o caratteristici q_k , Q_k ed H_k sono riportati nella Tab. 3.1.II. Tali valori sono comprensivi degli effetti dinamici ordinari, purché non vi sia rischio di risonanza delle strutture.

I carichi verticali concentrati Q_k formano oggetto di verifiche locali distinte e non vanno sovrapposti ai corrispondenti carichi verticali ripartiti; essi devono essere applicati su impronte di carico appropriate all'utilizzo ed alla forma dell'orizzontamento; in assenza di precise indicazioni può essere considerata una forma dell'impronta di carico quadrata pari a 50 x 50 mm, salvo che per le rimesse ed i parcheggi, per i quali i carichi si applicano su due impronte di 200 x 200 mm, distanti assialmente di 1,80 m.

Determinazione dei parametri sismici

(1)* Coordinate WGS84
 Lat. ° Long. °

(1)* Coordinate ED50
 Lat. ° Long. °

Classe dell'edificio
 Cu =

Vita nominale
 (Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100)

Interpolazione

Stato Limite	Tr [anni]	a ₀ [g]	F ₀	Tc' [s]
Operatività (SLO)	30	0,055	2,478	0,248
Danno (SLD)	50	0,070	2,453	0,261
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,175	2,406	0,285
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,224	2,408	0,289
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Calcolo dei coefficienti sismici

Muri di sostegno Paratie
 Stabilità dei pendii e fondazioni
 Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)

us (m)

Categoria sottosuolo

Categoria topografica

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss * Amplificazione stratigrafica	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,18"/>
Cc * Coeff. funz categoria	<input type="text" value="1,45"/>	<input type="text" value="1,44"/>	<input type="text" value="1,41"/>	<input type="text" value="1,41"/>
St * Amplificazione topografica	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>

Personalizza acc.ne massima attesa al sito [m/s²]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,016	0,020	0,060	0,089
kv	0,008	0,010	0,030	0,044
Amax [m/s ²]	0,772	0,983	2,466	3,111
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

5.4 Combinazioni delle azioni

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \Psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \Psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \Psi_{02} \cdot Q_{k2} + \Psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \Psi_{11} \cdot Q_{k1} + \Psi_{22} \cdot Q_{k2} + \Psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \Psi_{21} \cdot Q_{k1} + \Psi_{22} \cdot Q_{k2} + \Psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \Psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto Ad (v. § 3.6):

$$G_1 + G_2 + P + Ad + \Psi_{21} \cdot Q_{k1} + \Psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

8

Nelle combinazioni per SLE, si intende che vengono omessi i carichi Qkj che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi G2.

Tabella 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Nelle verifiche agli SLU si distinguono:

- lo stato limite di equilibrio come corpo rigido: EQU;
- lo stato limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione: STR;
- lo stato limite di resistenza del terreno: GEO.

La tabella 6.2.I fornisce i valori dei coefficienti parziali delle azioni da assumere nelle verifiche agli stati limite ultimi.

Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Q1}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Per le verifiche nei confronti dello stato limite ultimo di equilibrio come corpo rigido (EQU) si utilizzano i coefficienti parziali γ_F relativi alle azioni riportati nella colonna EQU della Tabella sopra citata.

5.5 Metodi di verifica delle opere e dei sistemi geotecnici

Nelle verifiche nei confronti degli stati limite ultimi strutturali (STR) e geotecnica (GEO) si possono adottare, in alternativa, due diversi approcci progettuali.

Le verifiche devono essere effettuate impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

Nell'Approccio 1 si impiegano due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A), per la resistenza dei materiali (M) e, eventualmente per la resistenza globale del sistema (R). Nella Combinazione 1 dell'Approccio 1, per le azioni si impiegano i coefficienti γ_F riportati nella colonna A1 della Tabella sopra citata. Nella Combinazione 2 dell'Approccio 1, si impiegano invece i coefficienti γ_F riportati nella colonna A2.

Nell'Approccio 2 si impiega un'unica combinazione dei gruppi di coefficienti parziali definiti per le Azioni (A), per la resistenza dei materiali (M) e, eventualmente, per la resistenza globale (R). In tale approccio, per le azioni si impiegano i coefficienti γ_F riportati nella colonna A1.

Le successive tabelle forniscono i valori dei coefficienti parziali definiti per la resistenza dei materiali (M) e per la resistenza globale (R).

Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

Tabella 6.5.I - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO di muri di sostegno.

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante della 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 del terreno a valle	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,4$

Tabella 6.6.I – Coefficienti parziali per la resistenza di ancoraggi

	SIMBOLO γ_R	COEFFICIENTE PARZIALE
Temporanei	$\gamma_{Ra,t}$	1,1
Permanenti	$\gamma_{Ra,p}$	1,2

Per le verifiche di stabilità globale del complesso opera di sostegno - terreno devono essere effettuate secondo l'approccio1 combinazione2 (A2, M2, R2) tenendo conto dei coefficienti riportati nelle tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I.

Tabella 6.8.I – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo.

Coefficiente	R2
γ_R	1.1

6. VERIFICHE DI STABILITÀ DEL VERSANTE

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: si utilizza un 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.

6.1 Metodi di verifica

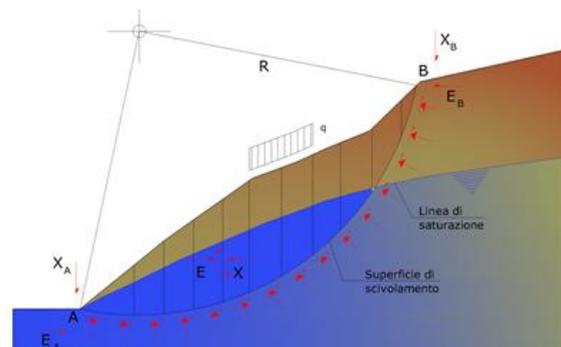
6.1.1 Metodo equilibrio limite (LEM)

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.



6.1.2 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.

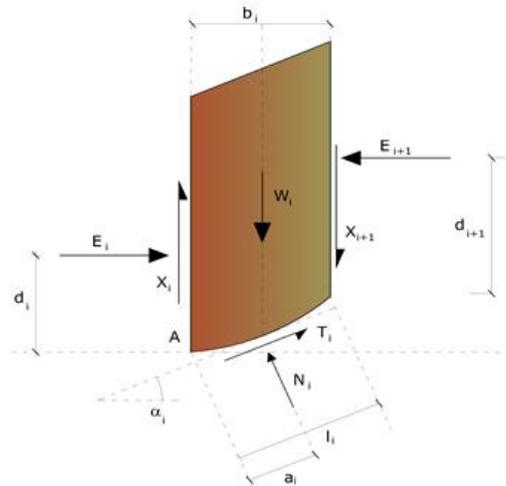
Totale numero di equazioni $4n$.

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.



12

6.1.3 Metodo di Fellenius (1927)

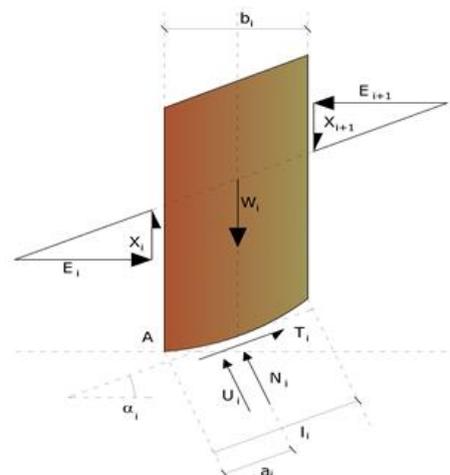
Con questo metodo (valido solo per superfici di scorrimento di forma circolare) vengono trascurate le forze di interstriscia pertanto le incognite si riducono a:

- 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.



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

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

6.1.4 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:

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

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

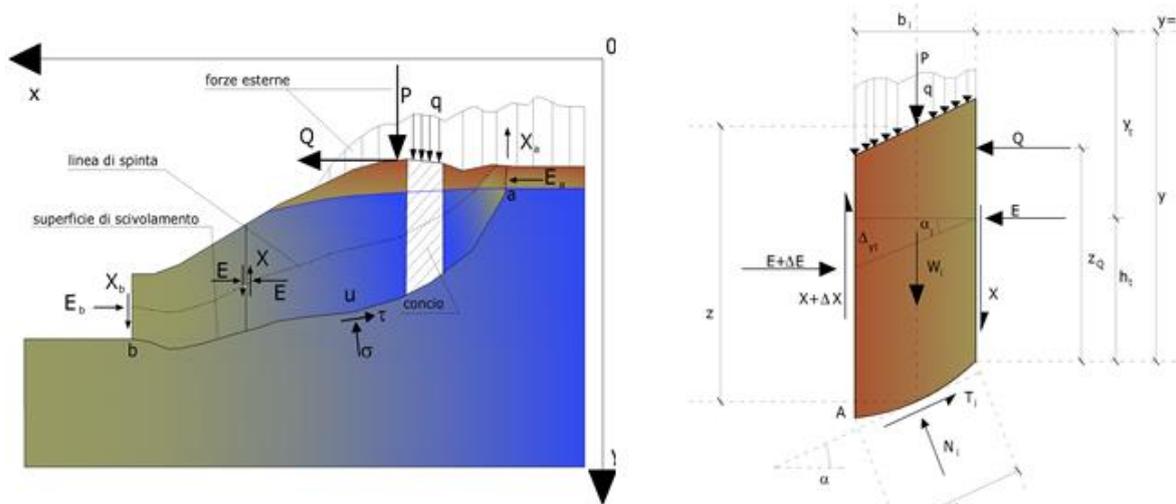
I valori di F e di ΔX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre $\Delta X = 0$ ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di Bishop ordinario, gli errori commessi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

6.1.5 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.

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

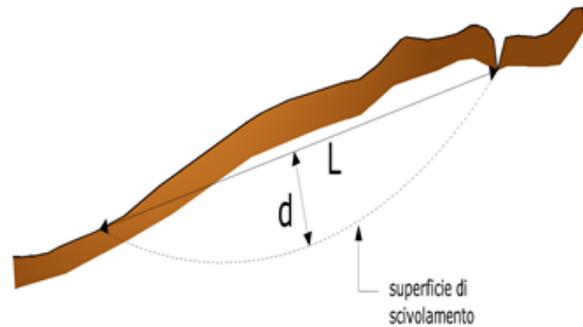
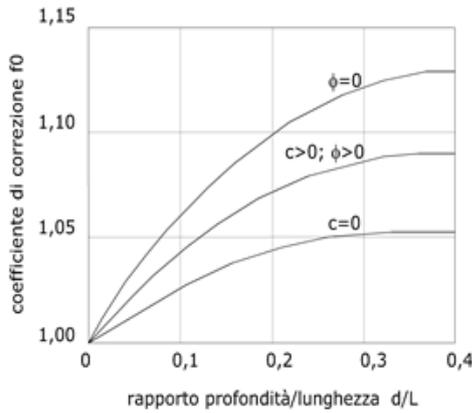


Azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Janbu e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

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.



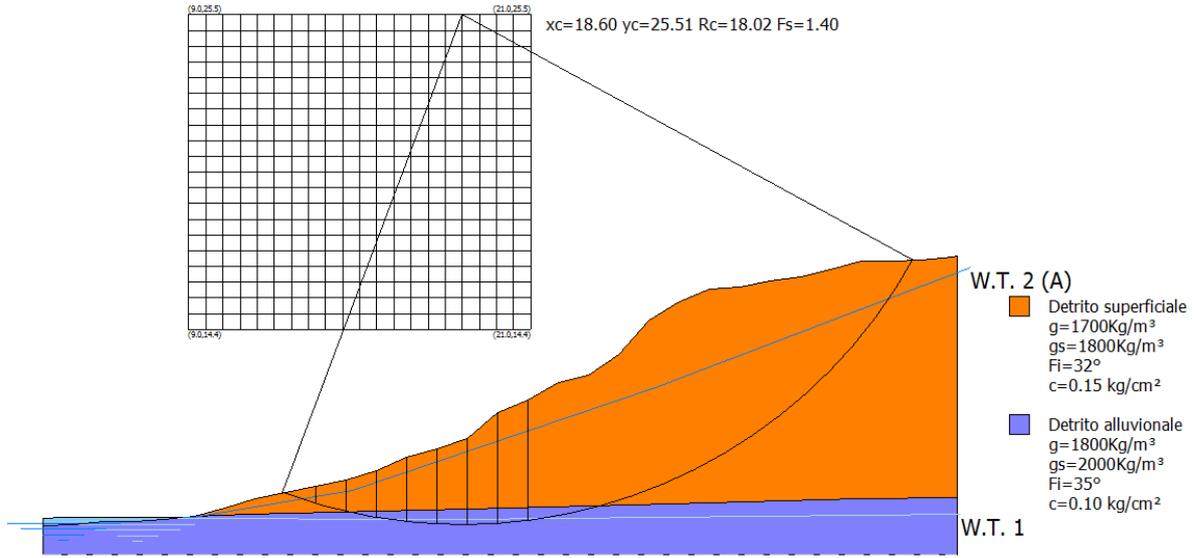
6.1.6 Ricerca della superficie di scorrimento critica

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.

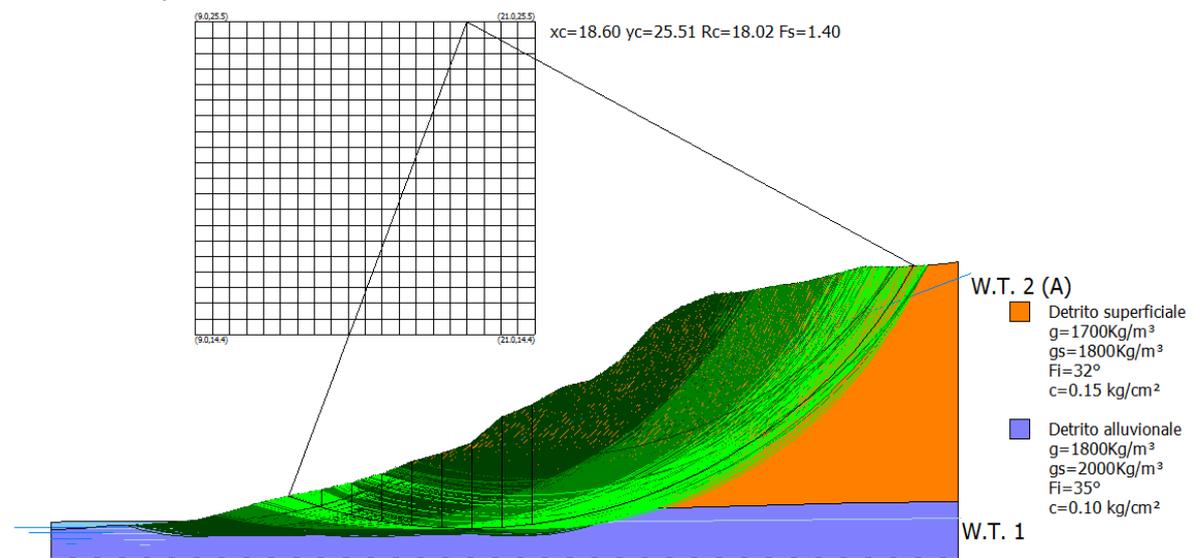
Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia $m \times n$ e raggio variabile in un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

6.3 Stato attuale in condizioni di elevatissima piovosità

Superficie con FS minimo:



Tutte le superfici calcolate:



Intervalli di visualizzazione

Da	A	Colore
0	1	Red
1	1.2	Light Green
1.2	1.5	Green
1.5	2	Dark Green
2	100	Black

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	43.97359/10.817609
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.0
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	9.01 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	14.4 m
Ascissa vertice destro superiore xs	21.0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	25.51 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	20.0
Numero di celle lungo y	20.0

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	3.89	7.46
2	4.95	7.51
3	6.01	7.62
4	7.07	7.61
5	8.14	7.69
6	9.2	7.8
7	10.26	8.08
8	11.33	8.4
9	12.39	8.64
10	13.45	8.85
11	14.51	9.09
12	15.58	9.42
13	16.64	9.87
14	17.7	10.16
15	18.77	10.54
16	19.83	11.47
17	20.89	11.91
18	21.95	12.5
19	23.02	12.79
20	24.08	13.52
21	25.14	14.71
22	26.2	15.39
23	27.27	15.8
24	28.33	15.9
25	29.39	16.09
26	30.46	16.24
27	31.52	16.51
28	32.58	16.8
29	33.64	16.8
30	34.71	16.84
31	35.77	16.95
32	35.96	16.99

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	3.89	7.73
2	4.63	7.75
3	9.18	7.76
4	14.74	8.71
5	25.36	12.34
6	36.42	16.59

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	3.89	7.46
2	4.95	7.51
3	4.95	7.51
4	6.01	7.62
5	7.07	7.61
6	8.14	7.69
7	9.2	7.8
8	11.08	7.86
9	14.12	7.93
10	18.77	8.04
11	25.91	8.23
12	32.5	8.41
13	35.96	8.45

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

17

Stratigrafia

c: coesione; cu: coesione non drenata; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm ²)	cu (kg/cm ²)	Fi (°)	G (Kg/m ³)	Gs (Kg/m ³)	Litologia	
1	0.15		32	1700	1800	Detrito superficiale	
2	0.10		35	1800	2000	Detrito alluvionale	

Risultati analisi pendio

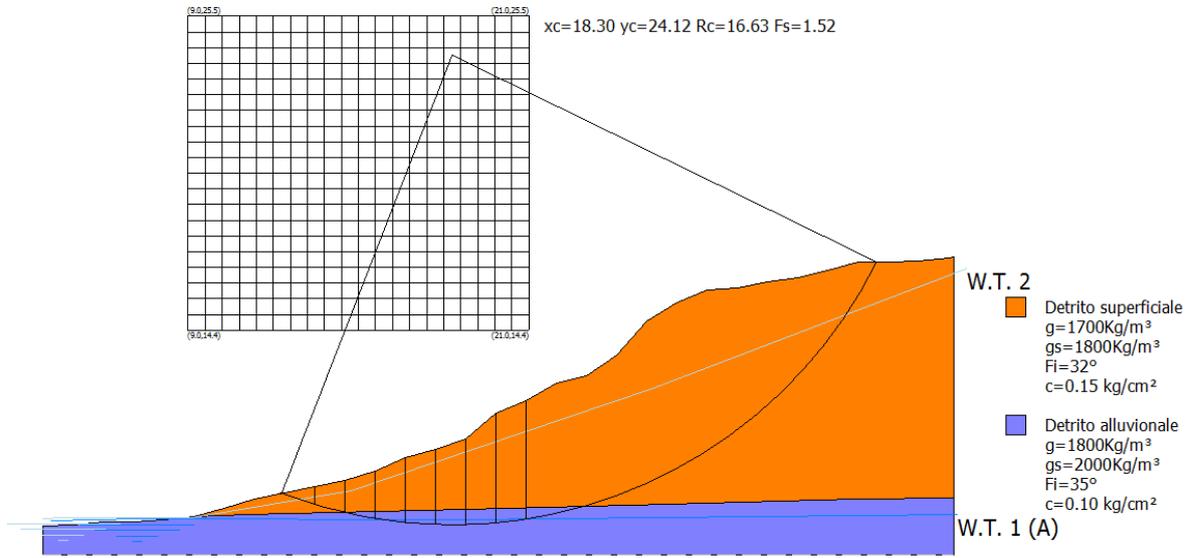
Fs minimo individuato	1.4
Ascissa centro superficie	18.6 m
Ordinata centro superficie	25.51 m
Raggio superficie	18.02 m

xc = 18.599 yc = 25.51 Rc = 18.019 Fs=1.396

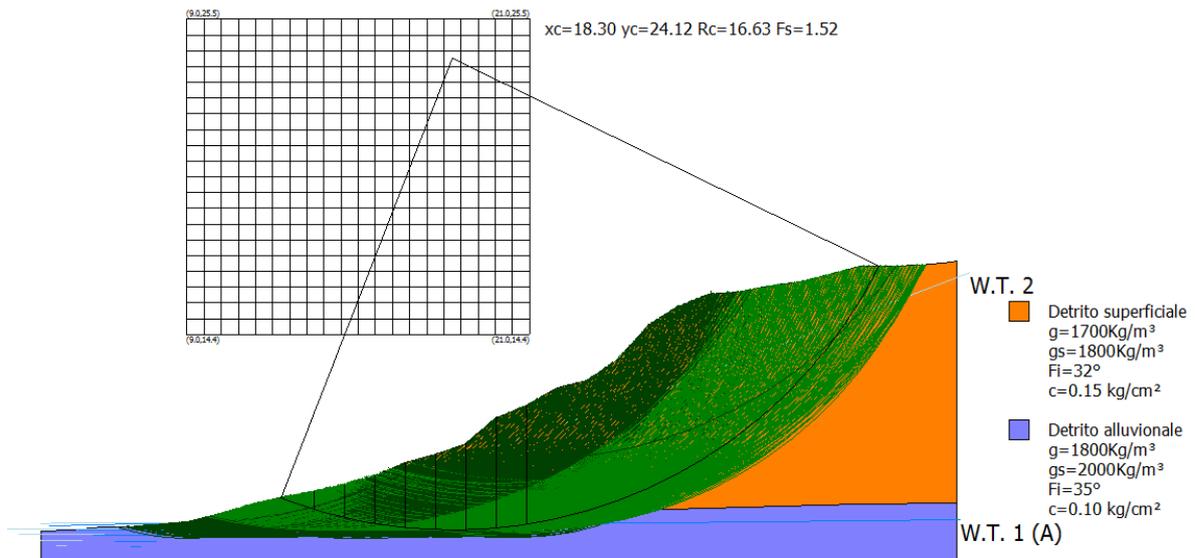
Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	Ni (Kg)	Ti (Kg)
1	0.08	-20.3	0.09	3.6	0.0	0.0	0.15	32.0	0.0	47.4	117.7
2	1.06	-18.4	1.12	615.95	0.0	0.0	0.15	32.0	0.0	1232.3	1755.5
3	1.06	-14.9	1.1	1647.06	0.0	0.0	0.15	32.0	519.1	1679.7	1933.9
4	1.06	-11.4	1.08	2684.41	0.0	0.0	0.1	35.0	0.0	3219.6	2392.2
5	1.06	-7.9	1.07	3816.87	0.0	0.0	0.1	35.0	0.0	4259.6	2906.1
6	1.06	-4.5	1.07	4777.17	0.0	0.0	0.1	35.0	0.0	5054.7	3300.0
7	1.06	-1.2	1.06	5538.34	0.0	0.0	0.1	35.0	0.0	5612.0	3577.4
8	1.06	2.2	1.06	6745.71	0.0	0.0	0.1	35.0	0.0	6593.0	4070.0
9	1.06	5.6	1.07	7872.6	0.0	0.0	0.1	35.0	0.0	7467.3	4511.8
10	13.5	34.3	16.33140206.4		0.0	0.0	0.15	32.044476.879594.5			53193.8

6.4 Stato attuale in condizioni sismiche

Superficie con FS minimo:



Tutte le superfici calcolate:



Intervalli di visualizzazione

Da	A	Colore
0	1	Red
1	1.2	Light Green
1.2	1.5	Green
1.5	2	Dark Green
2	100	Black

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	43.97359/10.817609
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.0
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	9.01 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	14.4 m
Ascissa vertice destro superiore xs	21.0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	25.51 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	20.0
Numero di celle lungo y	20.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.54	2.48	0.25
S.L.D.	50.0	0.69	2.45	0.26
S.L.V.	475.0	1.72	2.41	0.29
S.L.C.	975.0	2.2	2.41	0.29

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.7776	0.2	0.0159	0.0079
S.L.D.	0.9936	0.2	0.0203	0.0101
S.L.V.	2.4768	0.24	0.0606	0.0303
S.L.C.	3.125	0.28	0.0892	0.0446

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.061
Coefficiente azione sismica verticale	0.03

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	3.89	7.46
2	4.95	7.51
3	6.01	7.62
4	7.07	7.61
5	8.14	7.69
6	9.2	7.8
7	10.26	8.08
8	11.33	8.4
9	12.39	8.64
10	13.45	8.85
11	14.51	9.09
12	15.58	9.42
13	16.64	9.87
14	17.7	10.16
15	18.77	10.54
16	19.83	11.47
17	20.89	11.91
18	21.95	12.5
19	23.02	12.79
20	24.08	13.52
21	25.14	14.71
22	26.2	15.39
23	27.27	15.8
24	28.33	15.9
25	29.39	16.09
26	30.46	16.24
27	31.52	16.51
28	32.58	16.8
29	33.64	16.8
30	34.71	16.84
31	35.77	16.95
32	35.96	16.99

21

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	4.2	7.64
2	7.23	7.71
3	18.48	7.68
4	36.09	7.86

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	3.89	7.46
2	4.95	7.51
3	4.95	7.51
4	6.01	7.62
5	7.07	7.61
6	8.14	7.69
7	9.2	7.8
8	11.08	7.86
9	14.12	7.93
10	18.77	8.04
11	25.91	8.23
12	32.5	8.41
13	35.96	8.45

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

c: coesione; cu: coesione non drenata; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm ²)	cu (kg/cm ²)	Fi (°)	G (Kg/m ³)	Gs (Kg/m ³)	Litologia	
1	0.15		32	1700	1800	Detrito superficiale	
2	0.10		35	1800	2000	Detrito alluvionale	

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1.52
Ascissa centro superficie	18.3 m
Ordinata centro superficie	24.12 m
Raggio superficie	16.63 m

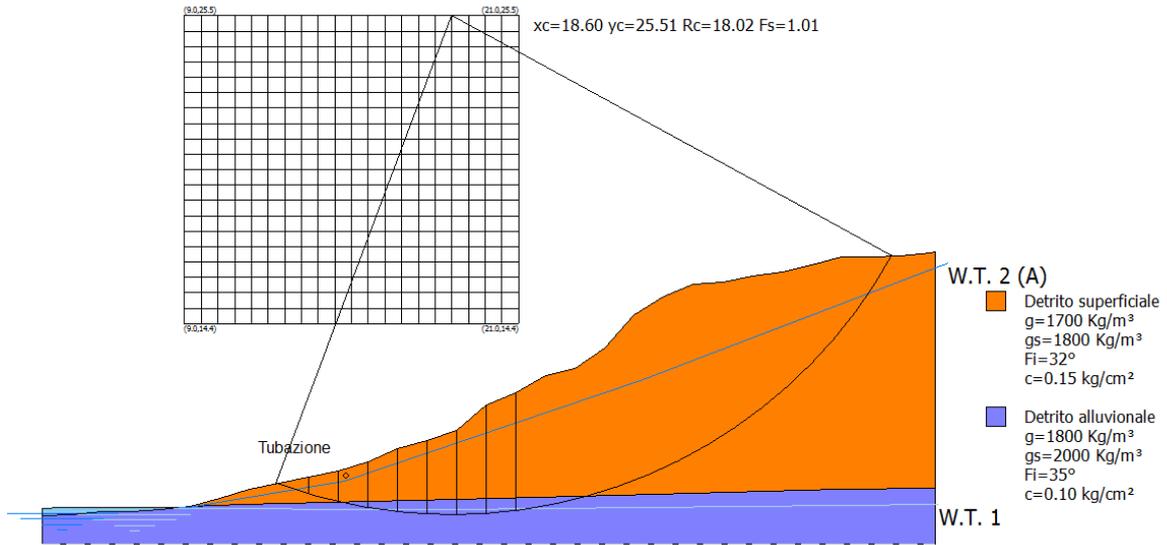
xc = 18.299 yc = 24.121 Rc = 16.63 Fs=1.522

22

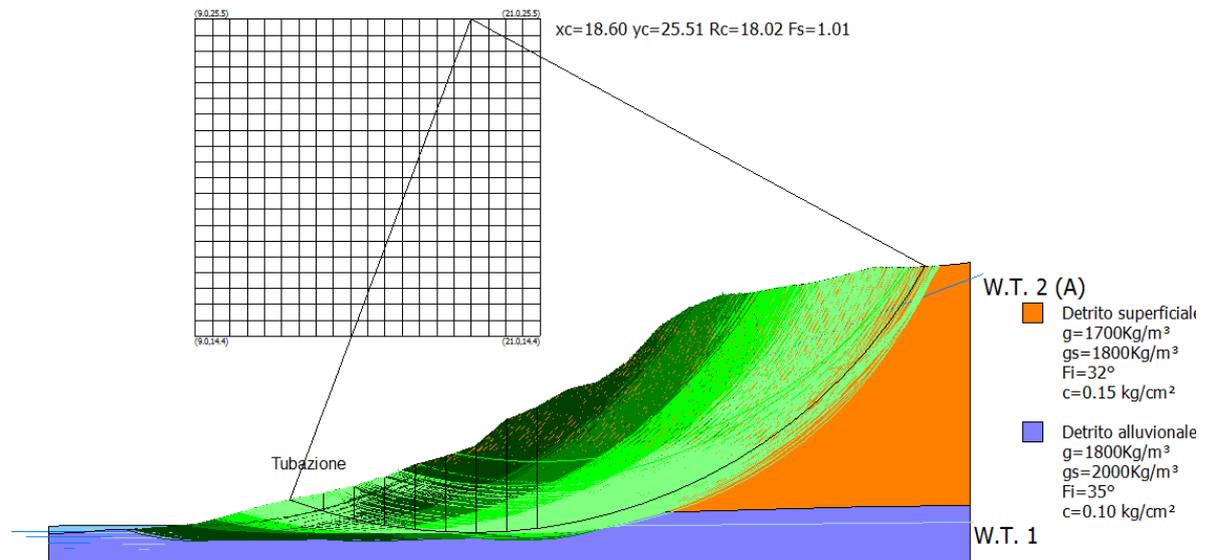
Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0.11	-21.0	0.12	6.53	0.4	0.2	0.15	32.0	0.0	62.3	143.9
2	1.06	-18.9	1.12	659.75	40.24	19.79	0.15	32.0	0.0	1251.9	1621.5
3	1.06	-15.1	1.1	1651.81	100.76	49.55	0.15	32.0	0.0	2250.9	2009.3
4	1.06	-11.3	1.08	2631.12	160.5	78.93	0.1	35.0	0.0	3111.0	2143.9
5	1.06	-7.6	1.07	3686.92	224.9	110.61	0.1	35.0	0.0	4061.6	2573.7
6	1.06	-3.9	1.07	4583.49	279.59	137.5	0.1	35.0	0.0	4791.7	2905.2
7	1.06	-0.2	1.06	5272.57	321.63	158.18	0.1	35.0	0.0	5284.9	3130.6
8	1.06	3.4	1.06	6397.61	390.25	191.93	0.1	35.0	0.0	6195.7	3550.9
9	1.06	7.1	1.07	7429.44	453.2	222.88	0.1	35.0	0.0	6997.0	3923.9
10	12.34	36.4	15.34	120389.4	7343.76	3611.68	0.15	32.0	0.01	106260.2	58761.2

6.5 Stato di progetto in condizioni di elevatissima piovosità

Superficie con FS minimo:



Tutte le superfici calcolate:



Intervalli di visualizzazione

Da	A	Colore
0	1	Red
1	1.2	Light Green
1.2	1.5	Green
1.5	2	Dark Green
2	100	Black

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	43.97359/10.817609
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.0
Coefficiente parziale resistenza	1.1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	9.01 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	14.4 m
Ascissa vertice destro superiore xs	21.0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	25.51 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	20.0
Numero di celle lungo y	20.0

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	3.89	7.46
2	4.95	7.51
3	6.01	7.62
4	7.07	7.61
5	8.14	7.69
6	9.2	7.8
7	10.26	8.08
8	11.33	8.4
9	12.39	8.64
10	13.45	8.85
11	14.51	9.09
12	15.58	9.42
13	16.64	9.87
14	17.7	10.16
15	18.77	10.54
16	19.83	11.47
17	20.89	11.91
18	21.95	12.5
19	23.02	12.79
20	24.08	13.52
21	25.14	14.71
22	26.2	15.39
23	27.27	15.8
24	28.33	15.9
25	29.39	16.09
26	30.46	16.24
27	31.52	16.51
28	32.58	16.8
29	33.64	16.8
30	34.71	16.84
31	35.77	16.95
32	35.96	16.99

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	3.89	7.73
2	4.63	7.75
3	9.18	7.76
4	14.74	8.71
5	25.36	12.34
6	36.42	16.59

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	3.89	7.46
2	4.95	7.51
3	4.95	7.51
4	6.01	7.62
5	7.07	7.61
6	8.14	7.69
7	9.2	7.8
8	11.08	7.86
9	14.12	7.93
10	18.77	8.04
11	25.91	8.23
12	32.5	8.41
13	35.96	8.45

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

25

Stratigrafia

c: coesione; cu: coesione non drenata; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm ²)	cu (kg/cm ²)	Fi (°)	G (Kg/m ³)	Gs (Kg/m ³)	Litologia	
1	0.15		32	1700	1800	Detrito superficiale	
2	0.10		35	1800	2000	Detrito alluvionale	

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	1.01
Ascissa centro superficie	18.6 m
Ordinata centro superficie	25.51 m
Raggio superficie	18.02 m

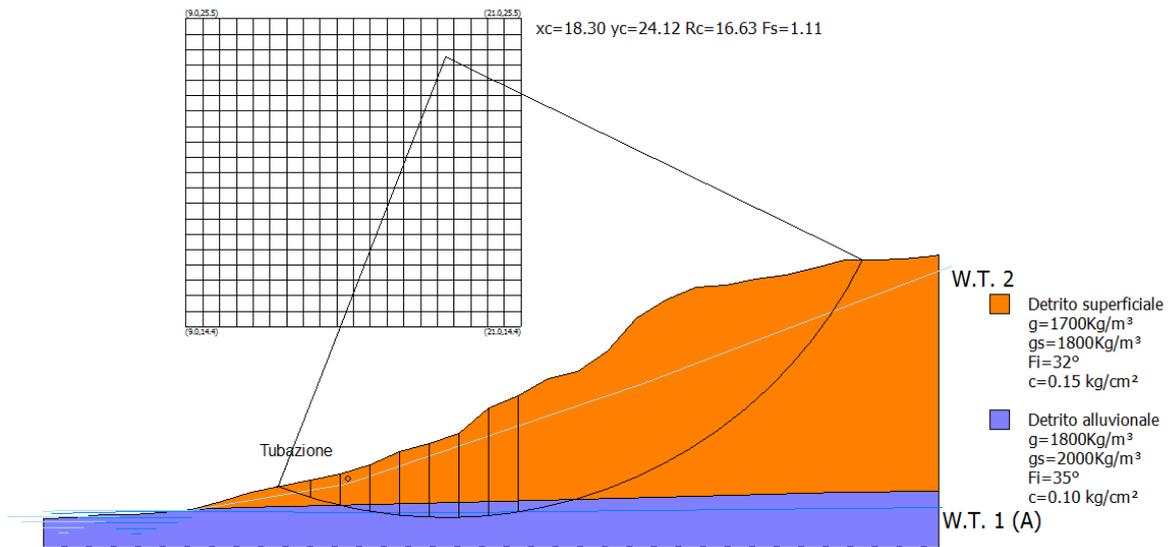
B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento;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

xc = 18.599 yc = 25.51 Rc = 18.019 Fs=1.015

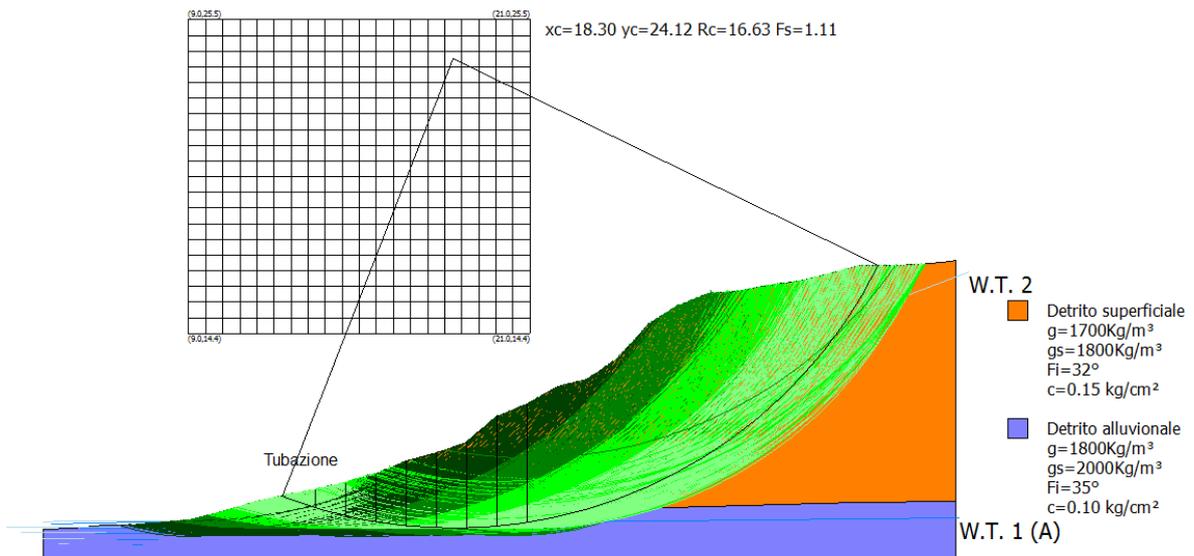
Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0.08	-20.3	0.09	3.6	0.0	0.0	0.12	26.6	0.0	47.4	117.7
2	1.06	-18.4	1.12	615.95	0.0	0.0	0.12	26.6	0.0	1232.3	1755.5
3	1.06	-14.9	1.1	1647.06	0.0	0.0	0.12	26.6	519.1	1679.7	1933.8
4	1.06	-11.4	1.08	2684.41	0.0	0.0	0.08	29.3	0.0	3219.6	2392.2
5	1.06	-7.9	1.07	3816.87	0.0	0.0	0.08	29.3	0.0	4259.6	2906.1
6	1.06	-4.5	1.07	4777.17	0.0	0.0	0.08	29.3	0.0	5054.7	3300.0
7	1.06	-1.2	1.06	5538.34	0.0	0.0	0.08	29.3	0.0	5612.0	3577.4
8	1.06	2.2	1.06	6745.71	0.0	0.0	0.08	29.3	0.0	6593.0	4070.0
9	1.06	5.6	1.07	7872.6	0.0	0.0	0.08	29.3	0.0	7467.3	4511.7
10	13.5	34.3	16.33140206.4		0.0	0.0	0.12	26.6444	76.879594.7		53193.6

6.4 Stato di progetto in condizioni sismiche

Superficie con FS minimo:



Tutte le superfici calcolate:



Intervalli di visualizzazione

Da	A	Colore
0	1	■
1	1.2	■
1.2	1.5	■
1.5	2	■
2	100	■

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	43.97359/10.817609
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.0
Coefficiente parziale resistenza	1.1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	9.01 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	14.4 m
Ascissa vertice destro superiore xs	21.0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	25.51 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	20.0
Numero di celle lungo y	20.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]**Dati generali**

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.54	2.48	0.25
S.L.D.	50.0	0.69	2.45	0.26
S.L.V.	475.0	1.72	2.41	0.29
S.L.C.	975.0	2.2	2.41	0.29

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.7776	0.2	0.0159	0.0079
S.L.D.	0.9936	0.2	0.0203	0.0101
S.L.V.	2.4768	0.24	0.0606	0.0303
S.L.C.	3.125	0.28	0.0892	0.0446

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.0606
Coefficiente azione sismica verticale	0.0303

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	3.89	7.46
2	4.95	7.51
3	6.01	7.62
4	7.07	7.61
5	8.14	7.69
6	9.2	7.8
7	10.26	8.08
8	11.33	8.4
9	12.39	8.64
10	13.45	8.85
11	14.51	9.09
12	15.58	9.42
13	16.64	9.87
14	17.7	10.16
15	18.77	10.54
16	19.83	11.47
17	20.89	11.91
18	21.95	12.5
19	23.02	12.79
20	24.08	13.52
21	25.14	14.71
22	26.2	15.39
23	27.27	15.8
24	28.33	15.9
25	29.39	16.09
26	30.46	16.24
27	31.52	16.51
28	32.58	16.8
29	33.64	16.8
30	34.71	16.84
31	35.77	16.95
32	35.96	16.99

Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	4.2	7.64
2	7.23	7.71
3	18.48	7.68
4	36.09	7.86

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	3.89	7.46
2	4.95	7.51
3	4.95	7.51
4	6.01	7.62
5	7.07	7.61
6	8.14	7.69
7	9.2	7.8
8	11.08	7.86
9	14.12	7.93
10	18.77	8.04
11	25.91	8.23
12	32.5	8.41
13	35.96	8.45

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

c: coesione; cu: coesione non drenata; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm ²)	cu (kg/cm ²)	Fi (°)	G (Kg/m ³)	Gs (Kg/m ³)	Litologia	
1	0.15		32	1700	1800	Detrito superficiale	
2	0.10		35	1800	2000	Detrito alluvionale	

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	1.11
Ascissa centro superficie	18.3 m
Ordinata centro superficie	24.12 m
Raggio superficie	16.63 m

xc = 18.299 yc = 24.121 Rc = 16.63 Fs=1.107

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	0.11	-21.0	0.12	6.53	0.4	0.2	0.12	26.6	0.0	62.3	143.8
2	1.06	-18.9	1.12	659.75	39.98	19.99	0.12	26.6	0.0	1251.6	1620.6
3	1.06	-15.1	1.1	1651.81	100.1	50.05	0.12	26.6	0.0	2250.6	2008.3
4	1.06	-11.3	1.08	2631.12	159.45	79.72	0.08	29.3	0.0	3110.8	2142.8
5	1.06	-7.6	1.07	3686.92	223.43	111.71	0.08	29.3	0.0	4061.4	2572.5
6	1.06	-3.9	1.07	4583.49	277.76	138.88	0.08	29.3	0.0	4791.6	2903.8
7	1.06	-0.2	1.06	5272.57	319.52	159.76	0.08	29.3	0.0	5284.9	3129.1
8	1.06	3.4	1.06	6397.61	387.7	193.85	0.08	29.3	0.0	6195.8	3549.4
9	1.06	7.1	1.07	7429.44	450.22	225.11	0.08	29.3	0.0	6997.2	3922.2
10	12.34	36.4	15.34	120389.4	7295.6	3647.8	0.12	26.6	0.01	106275.3	58740.8

7. CONCLUSIONI

Sulla base delle ipotesi effettuate, l'area analizzata risulta stabile.

Le verifiche, oltre che allo stato attuale, sono state condotte anche allo stato di progetto applicando i coefficienti riduttivi dei parametri geotecnici ed il fattore riduttivo delle resistenze; tale verifica si ritiene estremamente cautelativa, poiché a nostro avviso la presenza della tubazione non influisce in alcun modo sull'equilibrio globale del versante, che quindi permane nello stato di "pendio naturale" come definito nelle NTC 2008 anche a seguito dell'intervento.

In fase di cantiere, si dovrà comunque avere l'accortezza di effettuare le lavorazioni in periodo asciutto e di procedere con la posa della tubazione per brevi tratti successivi.

