



OGG.

PROGETTO ESECUTIVO

DES.

DI ANALISI DEI CEDIMENTI E VERIFICHE DI STABILITA'

FASE	ID	REV.
ESE	B4	00

GRUPPO DI LAVORO :

Dott. ing. Daniela Fornero
(Mandante)

Dott. ing. Davide Enrione
(Mandante)



GEOENGINEERING
Associazione tra professionisti
via Cibrario, 68 10144 Torino
Dott. geol. Alberto Strona
(Mandante)

[illegible]

Mod. PO0403Bi-01



endaco s.r.l. Società di Ingegneria

Piazza **Lamarmora**, 12 10015 Ivrea (TO) - Tel. +39 0125 48063 Fax +39 0125 648007 e-mail admin@endaco.com

INDICE

1.0. ANALISI DEI CEDIMENTI	2
1.1. METODO DI BURLAND e BURBIDGE (1984)	3
• ESPLICITAZIONE DEI TERMINI DELL'EQUAZIONE	4
1.2. DATI DI CALCOLO	4
1.3. RISULTATI	5
2.0. VERIFICHE DI STABILITA'	6
2.1. VALORE DEI PARAMETRI GEOTECNICI	6
2.2. CONDIZIONI IDRICHE	7
2.3. DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO	7
• DATI GENERALI	7
• PARAMETRI SISMICI	8
2.4. RISULTATO DELLE VERIFICHE ANALITICHE DI STABILITA'	8



1.0. ANALISI DEI CEDIMENTI

La fig. 1 riporta il modello stratigrafico al quale ci si è ricondotti per la stima dei cedimenti indotti dalla tensione applicata al piano di fondazione del rilevato spondale.

Per la geometria di riferimento dell'opera ci si è riferiti alla sezione di progetto S04 che, tra quelle rappresentate, individua la configurazione di altezza massima e, pertanto, maggiormente gravosa.

Si rimanda alla relazione geologica di progetto per più specifiche informazioni circa i materiali costituenti il substrato.

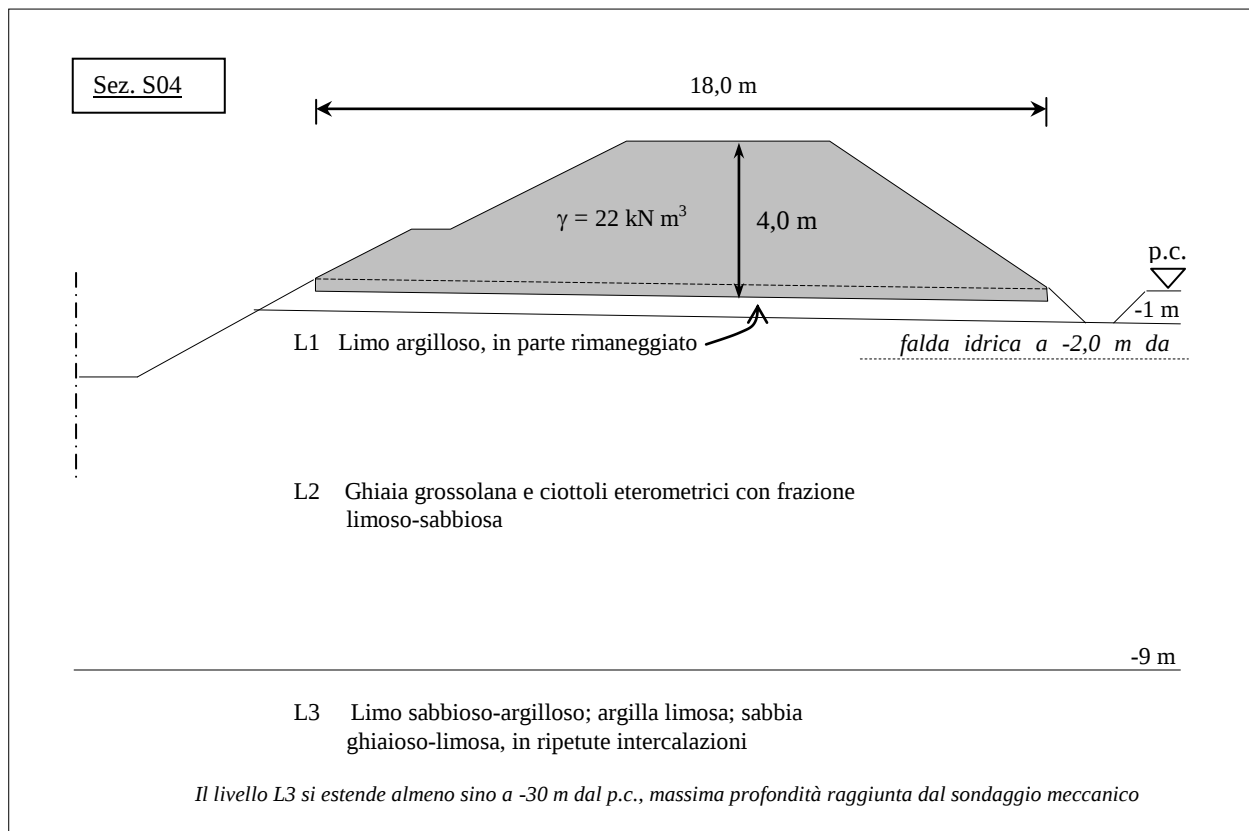


Fig. 1 - Modello stratigrafico di riferimento e sezione di rilevato spondale S04

Poichè non si dispone di dati di laboratorio per la caratterizzazione meccanica dei materiali costituenti il substrato, la cui acquisizione risulterebbe d'altra parte ostacolata dalla natura ghiaioso-ciottolosa del livello L2¹, non è possibile applicare i classici metodi geotecnici di analisi del cedimento che prevedono la schematizzazione del sottosuolo come un mezzo

¹ Si trascura, a tal proposito, il livello geotecnico sommitale L1, limoso-argilloso-sabbioso, almeno in parte rimaneggiato in seguito alle attività agricole, che verrà quasi completamente asportato per la formazione del "cassonetto" di fondazione del rilevato.

continuo deformabile, alla frontiera del quale applicare distribuzioni di carico definite. Si è pertanto fatto ricorso a metodi empirici o semiempirici, basati sull'osservazione di casi reali.

1.1. METODO DI BURLAND e BURBIDGE (1984)

Tra i metodi attualmente più accreditati si è privilegiato il metodo di Burland e Burbidge², che stima l'entità del cedimento indotto attraverso l'analisi retrospettiva delle osservazioni compiute su oltre 200 strutture in vera grandezza (edifici, serbatoi, rilevati) fondati su terreni a grana grossa.

Il procedimento utilizza i risultati di prove penetrometriche dinamiche e, nel caso specifico, ciò ha consentito di valorizzare i dati di SPT ottenuti in fase di progetto definitivo.

Secondo gli Autori l'entità del cedimento S [mm] al termine della costruzione ($t \leq 3$ anni) di opere fondate su terreni granulari normalconsolidati (NC) è espressa dalla seguente equazione:

$$S = F q B^{0,7} I_C f_T$$

dove:

- $F = f_s \cdot f_H$ coefficiente che tiene conto della forma della fondazione (f_s) e dello spessore del livello deformabile (f_H)
- q pressione totale (permanente) trasmessa dalla fondazione (kPa)
- B larghezza della fondazione [m]
- I_C indice di compressibilità legato ai valori di SPT
- f_T coefficiente che tiene conto degli effetti viscosi differiti nel tempo, in presenza di sollecitazioni statiche o cicliche

La relazione generale si modifica nel caso di fondazioni su terreni sovraconsolidati e/o disposte al fondo di uno scavo di sbancamento³.

Si osserva che il cedimento è riferito alla base della fondazione, ed è indipendente dall'effettiva distribuzione del carico, che si assume uniformemente applicato con intensità costante su di una striscia indefinita di larghezza B (deformazione in condizioni piane) .

Va precisato che, a causa della variabilità spaziale delle caratteristiche dei depositi naturali, i cedimenti reali possono differire dai valori medi calcolati di un fattore pari a circa 1,5.

² BURLAND J.B., BURBIDGE M.C. (1984) *Settlement of Foundation on Sand and Gravel*. Glasgow and West of Scotland Association Centenary Lecture

³ Poiché nel caso specifico non si considera significativo il contributo dato dallo scavo del "cassonetto di fondazione" (σ'_{v0} trascurabile) e non è possibile definire l'eventuale OCR del materiale, ci si riferirà alla formulazione generale.

ESPLICITAZIONE DEI TERMINI DELL'EQUAZIONE

$$f_s = \left(\frac{1,25 \cdot L / B}{L / B + 0,25} \right)^2$$

L = lunghezza della fondazione.
 Per fondazioni nastriformi ($L/B \rightarrow \infty$ $f_s = 1,5625$)

$$f_H = \frac{H_s}{Z_i} \cdot \left(2 - \frac{H_s}{Z_i} \right)$$

Z_i = profondità di influenza. $Z_i = B^{0,763}$ se i valori N_{SPT} sono all'incirca costanti o crescenti con la profondità; $Z_i = 2B$ nel caso contrario
 H_s = spessore del livello deformabile.

$$I_C = \frac{1,706}{N_{AV}^{1,4}}$$

N_{AV} = valore medio degli indici N_{SPT} (non corretti) nell'ambito della profondità Z_i .
 Per sabbie fini o limose in falda: $N = 10 + 0,5 (N_{SPT} - 15)$
 Per ghiaie o sabbie ghiaiose: $N = 1,25 N_{SPT}$

$$f_T = 1 + R_3 + R_T \cdot \log \frac{t}{3}$$

$t (\geq 3)$ = tempo dal termine della costruzione, espresso in anni.
 Per carichi statici: $R_3 = 0,3$ $R_T = 0,2$
 Per carichi ciclici: $R_3 = 0,7$ $R_T = 0,8$

1.2. DATI DI CALCOLO

Dimensioni della struttura

Con riferimento alla sezione rappresentativa S-04 si rilevano le seguenti dimensioni della struttura:

$$\begin{aligned} \text{Altezza} \quad H &= 3,5 \text{ m (rilevato)} + 0,5 \text{ m (cassonetto)} = 4,0 \text{ m} \\ \text{Larghezza} \quad B &= 18,0 \text{ m} \end{aligned}$$

Pressione totale q

Per il calcolo della pressione agente sul piano di fondazione si è assunto in prima istanza un peso di volume del materiale del rilevato spondale pari a $\gamma = 22 \text{ kN m}^{-3}$. In assenza di dati progettuali si ritiene tale valore ragionevole, e rappresentativo per rilevati costituiti da miscele sabbioso-ghiaioso- limose addensate artificialmente. Pertanto:

$$q = 22 \text{ kN m}^{-3} \cdot 4,0 \text{ m} \cdot 1 \text{ m}^2 = 88,0 \text{ kPa}$$

Come detto, è stato trascurato il contributo della pressione litostatica agente al piano di fondazione (σ_{v0}').

Il carico di progetto è di tipo statico permanente. Non è stato considerato, poichè influente a fini dell'analisi dei cedimenti strutturali, il sovraccarico accidentale costituito dal transito di mezzi d'opera lungo la pista di servizio alla sommità del rilevato .

Indice $N_{SPT} \rightarrow N_{AV}$



Con riferimento ai dati relativi alle prove penetrometriche dinamiche SCPT e SPT eseguite in fase di progetto esecutivo (si veda la relazione di caratterizzazione dei materiali di sottofondo) è stato attribuito all'intervallo ghiaioso-ciottoloso (livello L2) un indice penetrometrico $N_{AV} = 20$.

Tale valore, cautelativo, deriva da una media ragionata delle serie di valori delle prove SCPT, confrontata con il dato $N_{SPT} = 25$ rilevato alla profondità di 6 m dal p.c. in foro di sondaggio, e vuole tenere conto dell'eterogeneità litologica che caratterizza il livello geotecnico L3, non altrimenti parametrizzabile per mancanza di dati. A tale proposito non si ritiene rappresentativo per l'intero livello l'unico dato penetrometrico acquisito in corrispondenza dell'intercalazione limosa estesa a circa -9 m dal p.c, all'interfaccia con il livello L2.

Con scelta ulteriormente conservativa all'indice N_{SPT} non è stato applicato l'incremento del 25% che tiene conto della natura ghiaioso-sabbiosa del materiale del livello geotecnico L2.

Profondità dello strato compressibile

Viene posta maggiore della profondità di influenza z_i ricavata dal calcolo, parametro che dipende dai risultati penetrometrici. Con riferimento a quanto sopra si è considerato, come carattere generale, che l'indice N_{SPT} sia progressivamente crescente con la profondità.

1.3. RISULTATI

La tabella riporta il risultato della stima del cedimento del rilevato spondale rappresentativo attraverso il metodo di Burland e Burbidge (1984).

B (m)	L (m)	q (kPa)	σ_{v0}' (kPa)	N_{AV}	z_i (m)	I_c	f_s	f_h	S_i (mm)	S_{30} (mm)
18,0	∞	88,0	0	20	9,10	0,03	1,56	1,0	26,8	40,1

Tab. 1 Risultati del calcolo del cedimento

Si rileva pertanto un valore del cedimento immediato (S_i) pari a circa 27 mm, ed un cedimento differito⁴ al tempo $t = 30$ anni (S_{30}) di circa 40 mm.

Alla stima così condotta va associata una probabilità del 50% che il cedimento effettivo possa essere superiore a quello indicato.

⁴ Connesso all'eventuale instaurarsi deformazioni viscosi in condizioni drenate.

2.0. VERIFICHE DI STABILITA'

E' stata condotta la verifica di stabilità globale di due configurazioni di riferimento del rilevato spondale, selezionate tra le più gravose come altezza della struttura (sezione S04) e profondità di scavo dell'adiacente canale (sezione S08).

Le caratteristiche litologiche del substrato sono quelle descritte nella memoria geologico-tecnica di progetto, alla quale si rimanda.

In particolare, del modello a tre livelli, nella verifica sono interessati unicamente il livello sommitale L1 ed il sottostante L2 .

Il riferimento normativo a cui ci si è ricondotti è dato dal D.M. 14/01/2008 "*Norme tecniche per le costruzioni*". La verifica è stata condotta in condizioni sismiche (metodo pseudostatico), in ambito di stato limite SLV (cfr NTC 2008 § 7.11.1) secondo l'approccio progettuale 1 e l'associazione dei gruppi di coefficienti parziali identificata come Combinazione 2 (A2-M2-R2).

Nello sviluppo dell'analisi è stato introdotto un carico accidentale pari a 20 kPa distribuito in modo lineare alla sommità del rilevato, al fine di tenere in conto della tensione indotta da mezzi eventualmente transitanti lungo la pista di servizio.

2.1. VALORE DEI PARAMETRI GEOTECNICI

Per la definizione del valore dei parametri geotecnici necessari allo sviluppo delle verifiche ci si è ricondotti ai relativi valori caratteristici ottenuti in fase di interpretazione delle indagini geognostiche .

Per quanto riguarda il corpo del rilevato spondale, in assenza di dati progettuali si è assunto un peso di volume pari a $\gamma = 22 \text{ kN m}^{-3}$ ed un angolo di resistenza a taglio di 38° , valori che si ritengono rappresentativi per rilevati costituiti da miscele sabbioso-ghiaioso-limose addensate artificialmente e ragionevolmente cautelativi.

In ogni caso il valore della coesione è stato posto pari a 0, sebbene si possa ritenere che i materiali posati in opera, per effetto della costipazione, possiedano un certo grado di "pseudocoesione".

ELEMENTO	VALORI CARATTERISTICI		
	γ' [kNm^{-3}]	ϕ'_K [$^\circ$]	c'_K [kPa]
Rilevato	22	38	0
Livello L1	17	31	0
Livello L2	19	42	0

Tab. 2 – Valore caratteristico dei parametri geotecnici adottati nelle verifiche

Nello sviluppo delle verifiche al valore caratteristico dei parametri sono stati applicati gli specifici coefficienti di riduzione per la definizione dei rispettivi valori di progetto.

2.2. CONDIZIONI IDRICHE

Nelle analisi è stata considerata la presenza di un falda idrica posta ad una quota media di -2 m dal piano di campagna. Tale valore consegue all'elaborazione dei rilievi piezometrici condotti in fase di indagine per il progetto definitivo ed esposti nella relativa memoria geologico-tecnica, alla quale si rimanda.

Il rilevato non è stato soggetto a verifica in condizioni sature, poichè tale scenario è oggettivamente non realistico, neppure in condizioni di deflusso di piena (si rimanda alla Relazione idrologico-idraulica di progetto definitivo).

Si sottolinea inoltre, a tale proposito, che il processo di addensamento artificiale a cui saranno sottoposti i materiali costituenti il rilevato determinerà un grado di conducibilità idraulica molto basso, significativamente inferiore a quello loro proprio in condizioni naturali.

2.3. DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO

Con deliberazione 19/01/10, n.11-13058 la Giunta della Regione Piemonte ha provveduto all'aggiornamento ed adeguamento dell'elenco delle zone sismiche in virtù delle disposizioni dell'O.P.C.M. 3519/06. Secondo tale documento il territorio del Comune di Montanaro, è assegnato alla Zona 4.

Viene esposta in modo sintetico la procedura per la determinazione dei parametri necessari per lo sviluppo delle analisi di stabilità in condizione sismiche.

DATI GENERALI

- Vita nominale $V_N=50$ (opere ordinarie)
- Classe d'uso II a cui compete un valore del coefficiente d'uso $C_U=1,0$
- Condizione prestazionale SLV (Stato limite di salvaguardia della vita), a cui compete una probabilità di eccedenza $P_{VR}=10\%$
- Vita di riferimento $V_R=50$
- Coordinate del sito (baricentriche) nel sistema UTM WGS84 :

Latitudine: 45,245037° Longitudine: 7,837871°

- Categoria di sottosuolo C ovvero : *"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 e 360 m/s, (ovvero $15 < N_{SPT} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)"*⁵
- Categoria topografica: T1 *"Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione*

⁵ In assenza di dati specifici la Categoria di sottosuolo è stata stimata, con riferimento a contesti geologicamente e stratigraficamente analoghi.

$media\ i \leq 15^{\circ}$.

PARAMETRI SISMICI

La tabella 3 espone i parametri di pericolosità sismica per il sito di progetto, riferiti ai dati periodi di ritorno in relazione ai differenti Stati Limite

SITO DI PROGETTO – Montanaro (TO)					
Coordinate UTM-WGS84 Lat 45,245037 Long 7,837871					
	T_R [anni]	P_{VR50} (%)	a_g [g]	F_O [-]	T_C^* [s]
SLO	30	81	0,019	2,607	0,162
SLD	50	63	0,023	2,592	0,188
SLV	475	10	0,043	2,685	0,278
SLC	975	5	0,051	2,725	0,297

Tab.3 – Parametri di pericolosità sismica per il sito di progetto

La verifica di stabilità con criterio sismico prevede l'adozione di una componente di inerzia che rappresenta l'azione indotta dal sisma (metodo pseudo-statico), definita attraverso la riduzione dell'accelerazione di picco al suolo attraverso un coefficiente sismico $k(\beta)$ che, nel caso specifico, assume i seguenti valori:

	a_{max} [m s ⁻²]	β	k_h	k_v
SLV	0,0645	0,200	0,013	0,007

Tab. 4 – Valori dei coefficienti sismici per l'analisi di stabilità in condizioni pseudostatiche
Con:

- k_h coefficiente sismico orizzontale
- k_v coefficiente sismico verticale
- a_{max} accelerazione massima attesa al sito ($a_{max} = S \cdot a_g$)
- β coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

2.4. RISULTATO DELLE VERIFICHE ANALITICHE DI STABILITA'

Come risulta dalle schede di calcolo allegate, per ogni condizione di analisi la stabilità del sistema rilevato di sponda-canale di deflusso è risultata verificata, con un valore del fattore di sicurezza sempre superiore a 1,1 ($F_s > 1,1$) .

Lo stesso dicasi per le analisi condotte unicamente in relazione al corpo del rilevato (verifiche n°4 e n°5).

Si sottolinea che le verifiche hanno riguardato superfici di potenziale "rottura generale", estese significativamente nel corpo del rilevato e nei materiali costituenti l'appoggio.



Ciò non esclude la possibilità di processi di decorticamento dei fronti, localizzati e pellicolari, tali da coinvolgere bassi volumi e spessori molto ridotti, il cui innesco è solitamente riferibile a fenomeni a carattere puntuale (erosione di sponda, effetto della vegetazione, ecc.), la cui probabilità di accadimento può essere resa minima attraverso una rigorosa applicazione del piano di manutenzione dell'opera previsto dal progetto.



VERIFICHE DI STABILITA' GLOBALE



INTRODUZIONE ALL'ANALISI DI STABILITÀ

Si espongono in estrema sintesi i principi teorici ed i metodi di calcolo sviluppati per l'analisi di stabilità dei pendii naturali o dei fronti di scavo.

La soluzione di tale problema presuppone la conoscenza dei seguenti elementi:

- la geometria del fronte (naturale od artificiale)
- il modello costitutivo (successione e geometria dei limiti dei materiali)
- le caratteristiche di deformabilità e resistenza dei materiali costituenti
- le forze esterne e le forze di volume (statiche e dinamiche) agenti
- la geometria della superficie di rottura

I metodi generalmente impiegati nella soluzione di tali problemi possono venire suddivisi in:

- metodi delle tensioni
- metodi fondati sulla teoria della plasticità
- metodi dell'equilibrio limite

I metodi dell'equilibrio limite, considerati nella presente analisi, sono quelli maggiormente diffusi poiché sono fondati su leggi costitutive semplificate, essendo la resistenza del materiale espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (ϕ).

Metodo dell'equilibrio limite

Il metodo analizza l'equilibrio di una massa scivolante lungo una superficie critica avente configurazione geometrica qualsiasi, definita all'interno di un corpo rigido delimitato dal fronte del pendio e da eventuali superfici basali.

Nell'analisi la configurazione tridimensionale è ridotta a bidimensionale, ossia ad un piano (sezione verticale) in cui la superficie critica è data da una linea; si assumono pertanto condizioni di omogeneità trasversale e si trascura ogni effetto di costrizione laterale.

Il metodo dell'equilibrio limite si basa sulle seguenti assunzioni:

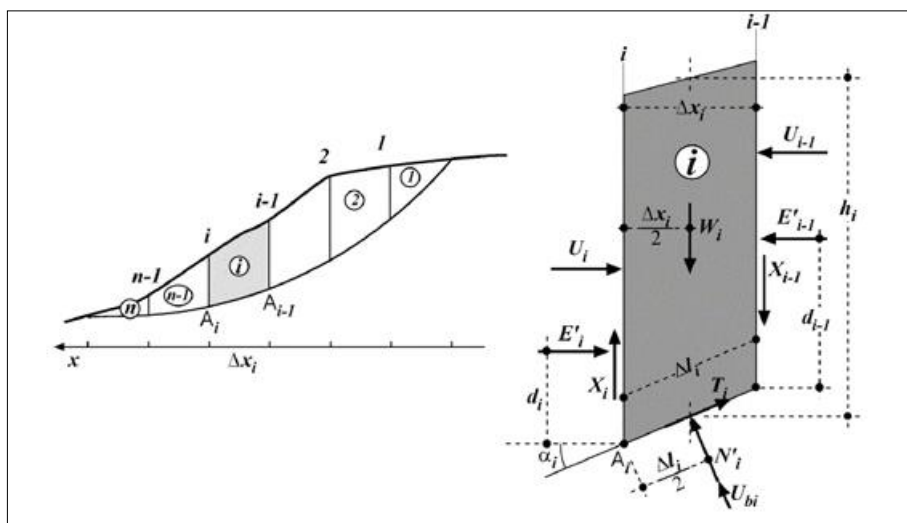
- il corpo è considerato perfettamente rigido
- la rottura avviene per scorrimento lungo una superficie definita
- alla rottura, la resistenza viene completamente mobilitata lungo l'intera superficie

In ogni caso, la condizione di equilibrio è valutata attraverso il coefficiente di stabilità:

$$F_S = \tau_f / \tau,$$

che descrive il rapporto tra la resistenza al taglio disponibile (τ_f) e la resistenza al taglio mobilitata (τ), generalmente definite dalla relazione di Mohr-Coulomb, sebbene il metodo possa essere applicato anche considerando altri criteri di rottura. Tra le varie superfici investigate, si definisce come *critica* quella caratterizzata dal minimo valore di F_S .

Individuata un'ipotetica linea di scivolamento, alcuni metodi analitici considerano l'equilibrio globale del corpo rigido, altri lo suddividono in un numero finito di elementi unitari omogenei di uguale larghezza (conci), separati da limiti verticali paralleli: in questo caso l'equilibrio del corpo viene analizzato come somma delle condizioni di equilibrio di ciascun concio.



Schematizzazione del problema con indicazione delle forze agenti

In ambito di ripartizione del corpo rigido in n concio, il problema presenta le seguenti incognite:

- (n-1) valori delle forze normali interconco E
- (n-1) valori delle forze tangenziali interconco X;
- n valori delle forze normali N agenti alla base di ciascun concio;
- n valori delle forze tangenziali S agenti sulla base di ciascun concio;
- (n-1) distanze tra il punto di applicazione di E e il centro di rotazione o dei momenti
- n distanze tra il punto di applicazione di N e il centro di rotazione o dei momenti
- 1 valore di F_s

Complessivamente le incognite sono $(6n-2)$ mentre le equazioni a disposizione sono $4n$:

- 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

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 $(n-2)$ qualora si assuma che N 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.

Individuazione della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare “a priori” la superficie di scorrimento critica, ossia quella caratterizzata dal minor valore del fattore di

sicurezza.

Qualora sia ammissibile ipotizzare superfici di scorrimento circolari, tale limitazione viene superata attraverso la ricerca iterativa del valore F_{Smin} , relativo ad archi di cerchio il cui centro è un nodo di una maglia di m righe x n colonne (maglia dei centri), definita in un intervallo tale da determinare superfici cinematicamente ammissibili.

Analisi in condizioni sismiche (pseudostatica)

Nei metodi di analisi pseudostatica si assume che:

- il terreno sia assimilabile ad un mezzo rigido perfettamente plastico;
- la rottura sia raggiunta contemporaneamente in tutti i punti della superficie di scorrimento (effettiva o potenziale);
- la resistenza sulla superficie di scorrimento sia espressa in termini di tensioni efficaci, mediante il criterio di Mohr-Coulomb, o in termini di tensioni totali, mediante il criterio di Tresca;
- l'azione dinamica del sisma sia rappresentata da una forza di inerzia statica equivalente, proporzionale al peso W della massa potenzialmente instabile.

Le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi come $F_h = k_h \cdot W$ e $F_v = k_v \cdot W$, con k_h e k_v rispettivamente corrispondenti ai coefficienti sismici orizzontale e verticale.

A tale fine, con riferimento al valore dall'accelerazione orizzontale massima del sisma di progetto, viene stabilito il valore del coefficiente sismico orizzontale K_h , mentre il coefficiente sismico verticale K_v è definito come un'aliquota di quello orizzontale:

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

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

dove β identifica un fattore di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito, che assume i valori riportati nella tabella:

	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

Nell'approccio pseudostatico lo Stato Limite (SLV, nel caso specifico) viene riferito al cinematismo di collasso critico, caratterizzato dal più basso valore del coefficiente di sicurezza, FS, definito come rapporto tra resistenza al taglio disponibile e sforzo di taglio mobilitato lungo la superficie di scorrimento (effettiva o potenziale) ($F_s = \tau_s/\tau_m$).

Analogamente all'approccio con criterio statico, le analisi di stabilità pseudostatiche sono

usualmente condotte in condizioni di deformazione piana, assumendo superfici di scorrimento cilindriche, con direttrici ortogonali alla sezione esaminata.

Metodo di calcolo

Nel caso specifico è stato utilizzato il metodo di Morgenstern e Price (1965), che soddisfa tutte le equazioni di equilibrio ed è applicabile a superfici di qualsiasi forma.

L'indeterminazione statica di cui detto in precedenza viene qui superata ponendo delle condizioni sui valori che devono assumere le forze normali e tangenziali di interconco. In particolare, si stabilisce una relazione tra le componenti delle forze di interfaccia del tipo $X = \lambda f(x)E$, dove λ 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 stabilità F_s , il peso della striscia infinitesima dW e la risultante delle pressioni neutra alla base dU .

Si ottiene la cosiddetta "equazione delle forze":

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

L' "equazione dei momenti", viene scritta imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione rispetto alla mezzzeria della base:

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

Le 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.

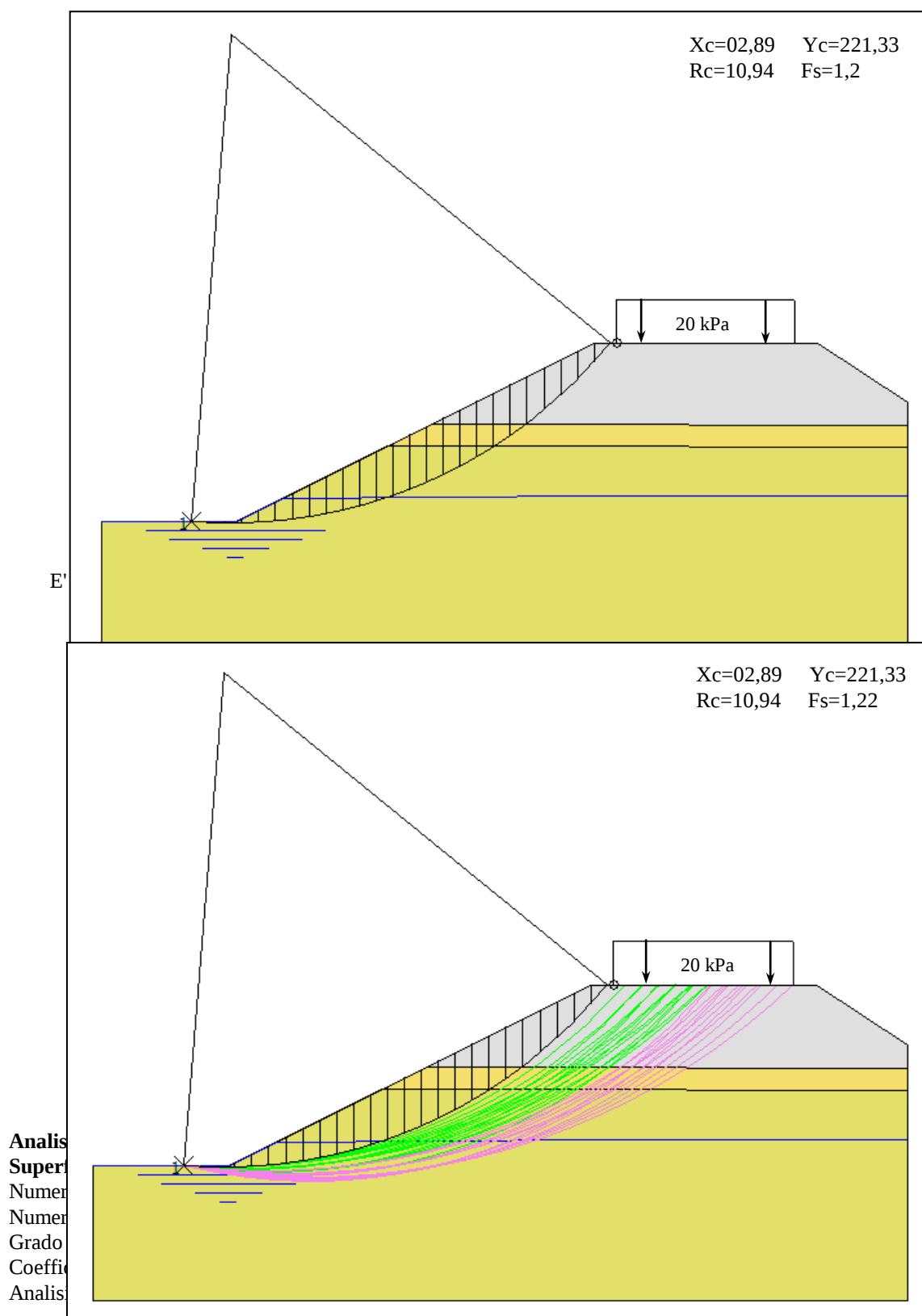
Software di analisi

La verifica analitica di stabilità è stata condotta utilizzando il codice di calcolo Geostru-Slope 2010.

Elaborati di calcolo



VERIFICA 1 – Sezione 04 – Sponda sinistra (verifica globale)



Estremi del vincolo di valle :

x=2 y=210,43

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	2,11 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	221,33 m
Ascissa vertice destro superiore xs	4,80 m
Ordinata vertice destro superiore ys	225,67 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	5,0
Numero di celle lungo y	5,0

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:	C
Categoria topografica:	T1

Stato limite	TR [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.V.	475,0	0,43	2,69	0,28

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.V.	0,645	0,2	0,0132	0,0066

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,013
Coefficiente azione sismica verticale	0,007

Coordinate dei punti

Coordinate dei vertici del profilo

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	0,0	210,43
2	3,0	210,43
3	11,0	214,43
4	16,0	214,43
5	18,0	213,09

Coordinate dei vertici della superficie della falda idrica

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	0,0	210,43
2	3,0	210,43
3	4,0	211,0
4	11,0	211,0
5	16,0	211,0
6	18,0	211,0

Coordinate della superficie di interfaccia tra gli strati 1-2

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	0,0	210,43
2	3,0	210,43
3	7,4	212,62
4	8,2	212,62
5	18,0	212,59

Coordinate della superficie di interfaccia tra gli strati 2-3

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	0,0	210,43
2	3,0	210,43
3	6,4	212,12
4	8,2	212,12
5	18,0	212,09

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

Valore dei parametri geotecnici

c: coesione; ϕ : Angolo di resistenza al taglio; γ : Peso di volume; γ_{sat} : Peso di volume saturo

Strato	c [kg/cm ²]	ϕ [°]	γ [kg/m ³]	γ_{sat} [kg/m ³]
1	0	38	2200	-
2	0	31	1700	-
3	0	42	1900	2200

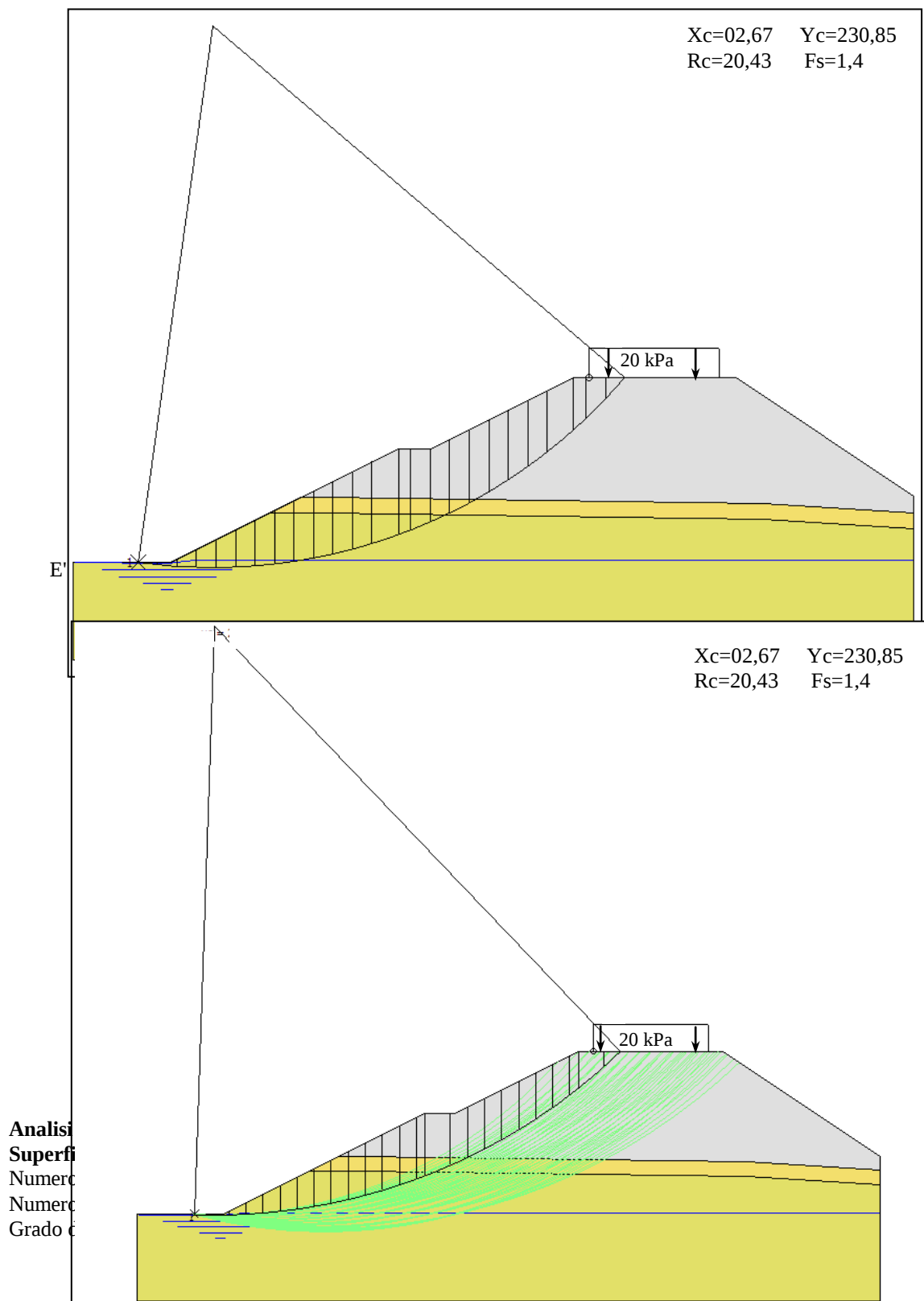
Carico Distribuito

N°	xi [m]	yi [m]	xf [m]	yf [m]	Carico [kg/cm ²]
1	11,5	214,43	15,5	214,43	0.2

Risultati analisi (NTC 2008: combinazione A2+M2+R2)

Fs minimo individuato	1,2
Ascissa centro superficie	2,89 m
Ordinata centro superficie	221,33 m
Raggio superficie	10,94 m

VERIFICA 2 – Sezione 04 – Sponda destra – (Verifica globale)



Coefficiente parziale resistenza 1,1
 Analisi Condizione drenata
 Estremi del vincolo di valle : x=2 y=210.43

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi 1,71 m
 Ordinata vertice sinistro inferiore yi 226,51 m
 Ascissa vertice destro superiore xs 6,49 m
 Ordinata vertice destro superiore ys 230,85 m
 Passo di ricerca 10,0
 Numero di celle lungo x 5,0
 Numero di celle lungo y 5,0

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: C
 Categoria topografica: T1

Stato limite	TR [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.V.	475,0	0,43	2,69	0,28

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.V.	0,645	0,2	0,0132	0,0066

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,013
 Coefficiente azione sismica verticale 0,007

Coordinate dei punti

Coordinate dei vertici del profilo

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	0,0	210,43
2	3,0	210,43
3	10,0	213,93
4	11,0	213,93
5	15,35	216,1
6	20,35	216,1
7	25,81	212,46

Coordinate dei vertici della superficie della falda idrica

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	0	210,43
2	2,91	210,4
3	3,76	210,5
4	21,2	210,5



5	25,81	210,5
---	-------	-------

Coordinate della superficie di interfaccia tra gli strati 1-2

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	0,0	210,43
2	3,0	210,43
3	7,01	212,45
4	7,64	212,45
5	21,2	212,25

Coordinate della superficie di interfaccia tra gli strati 2-3

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	0,0	210,43
2	3,0	210,43
3	6,01	211,95
4	7,64	211,95
5	21,2	211,75

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

Valore dei parametri geotecnici

c: coesione; ϕ : Angolo di resistenza al taglio; γ : Peso di volume; γ_{sat} : Peso di volume saturo

Strato	c [kg/cm ²]	ϕ [°]	γ [kg/m ³]	γ_{sat} [kg/m ³]
1	0	38	2200	-
2	0	31	1700	-
3	0	42	1900	2200

Carico Distribuito

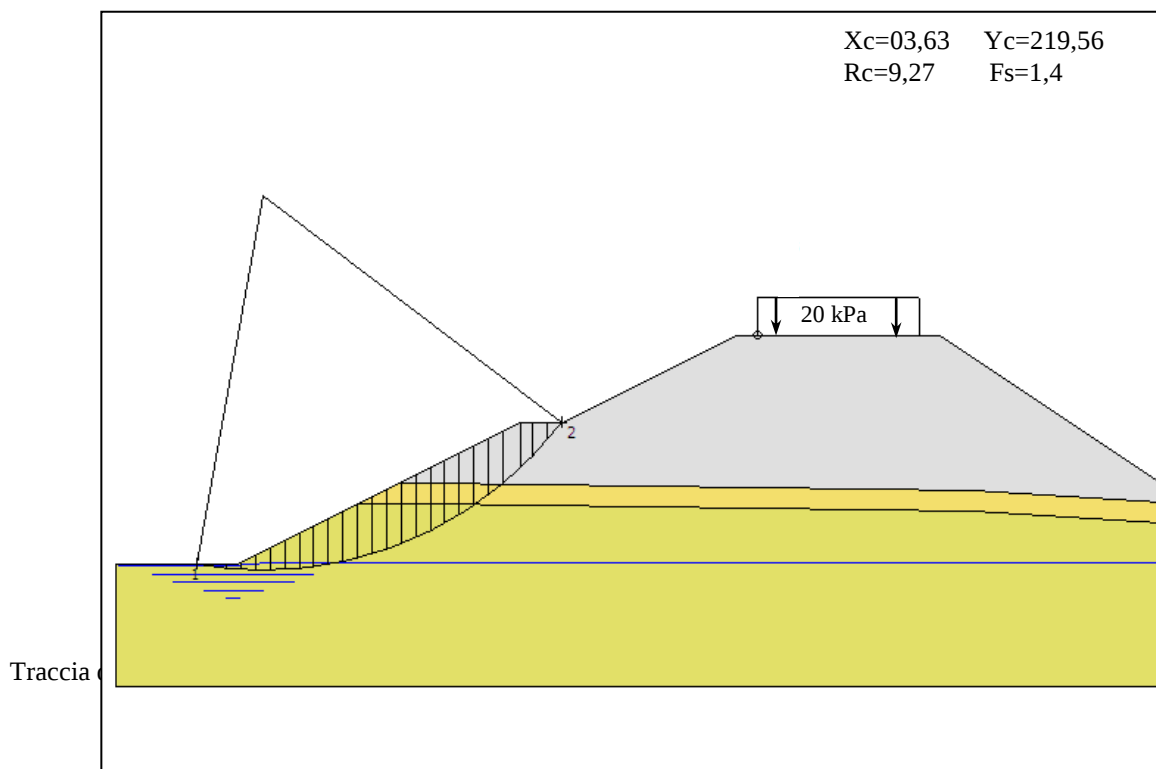
N°	xi [m]	yi [m]	xf [m]	yf [m]	Carico [kg/cm ²]
1	15,85	216,1	19,85	216,1	0.2

Risultati analisi (NTC 2008: combinazione A2+M2+R2)

Fs minimo individuato	1,4
Ascissa centro superficie	2,67 m
Ordinata centro superficie	230,85 m
Raggio superficie	20,43 m



VERIFICA 3 – Sezione 04 – Sponda destra – (Verifica scavo)



Analisi di stabilità dei pendii con il metodo di MORGENTERN-PRICE
Superfici di scivolamento di forma circolare

Numero di strati
 Numero dei conci

3
 25

Grado di sicurezza ritenuto accettabile 1,1
 Coefficiente parziale resistenza 1,1
 Analisi Condizione drenata
 Estremi del vincolo di valle : x=2 y=210,43
 Estremi del vincolo di monte: x=11 y=293,23

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi -1,55 m
 Ordinata vertice sinistro inferiore yi 220,77 m
 Ascissa vertice destro superiore xs 3,23 m
 Ordinata vertice destro superiore ys 225,11 m
 Passo di ricerca 10,0
 Numero di celle lungo x 5,0
 Numero di celle lungo y 5,0

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: C
 Categoria topografica: T1

Stato limite	TR [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.V.	475,0	0,43	2,69	0,28

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.V.	0,645	0,2	0,0132	0,0066

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,013
 Coefficiente azione sismica verticale 0,007

Coordinate dei punti

Coordinate dei vertici del profilo

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	0,0	210,43
2	3,0	210,43
3	10,0	213,93
4	11,0	213,93
5	15,35	216,1
6	20,35	216,1
7	25,81	212,46

Coordinate dei vertici della superficie della falda idrica

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	0,0	210,43
2	2,91	210,4



3	3,76	210,5
4	21,2	210,5
5	25,81	210,5

Coordinate della superficie di interfaccia tra gli strati 1-2

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	0,0	210,43
2	3,0	210,43
3	7,01	212,45
4	7,64	212,45
5	21,2	212,25

Coordinate della superficie di interfaccia tra gli strati 2-3

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	0,0	210,43
2	3,0	210,43
3	6,01	211,95
4	7,64	211,95
5	21,2	211,75

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

Valore dei parametri geotecnici

c: coesione; ϕ : Angolo di resistenza al taglio; γ : Peso di volume; γ_{sat} : Peso di volume saturo

Strato	c [kg/cm ²]	ϕ [°]	γ [kg/m ³]	γ_{sat} [kg/m ³]
1	0	38	2200	-
2	0	31	1700	-
3	0	42	1900	2200

Carico Distribuito

N°	xi [m]	yi [m]	xf [m]	yf [m]	Carico [kg/cm ²]
1	15,85	216,1	19,85	216,1	0.2

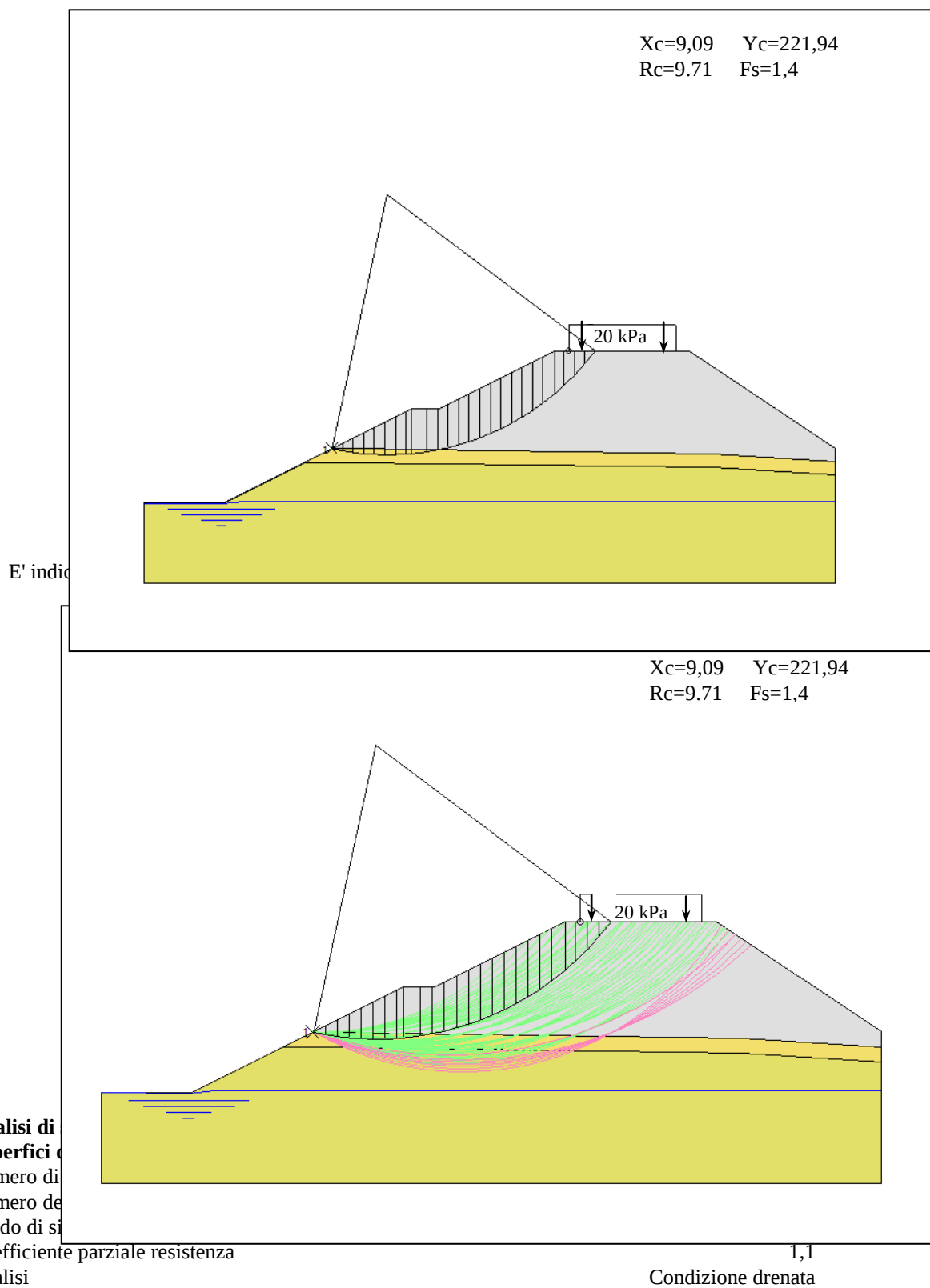
Risultati analisi (NTC 2008: combinazione A2+M2+R2)

Fs minimo individuato	1,4
Ascissa centro superficie	3,63 m
Ordinata centro superficie	219,56 m
Raggio superficie	9,27 m





VERIFICA 4 – Sezione 04 – Sponda destra – (Verifica rilevato)



Estremi del vincolo di valle :

x=7 y=212.45

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	7,18 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	221,07 m
Ascissa vertice destro superiore xs	11,96 m
Ordinata vertice destro superiore ys	225,41 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	5,0
Numero di celle lungo y	5,0

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:	C
Categoria topografica:	T1

Stato limite	TR [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.V.	475,0	0,43	2,69	0,28

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.V.	0,645	0,2	0,0132	0,0066

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,013
Coefficiente azione sismica verticale	0,007

Coordinate dei punti

Coordinate dei vertici del profilo

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	0,0	210,43
2	3,0	210,43
3	10,0	213,93
4	11,0	213,93
5	15,35	216,1
6	20,35	216,1
7	25,81	212,46

Coordinate dei vertici della superficie della falda idrica

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	0	210,43
2	2,91	210,4
3	3,76	210,5
4	21,2	210,5
5	25,81	210,5



Coordinate della superficie di interfaccia tra gli strati 1-2

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	0,0	210,43
2	3,0	210,43
3	7,01	212,45
4	7,64	212,45
5	21,2	212,25

Coordinate della superficie di interfaccia tra gli strati 2-3

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	0,0	210,43
2	3,0	210,43
3	6,01	211,95
4	7,64	211,95
5	21,2	211,75

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

Valore dei parametri geotecnici

c: coesione; ϕ : Angolo di resistenza al taglio; γ : Peso di volume; γ_{sat} : Peso di volume saturo

Strato	c [kg/cm ²]	ϕ [°]	γ [kg/m ³]	γ_{sat} [kg/m ³]
1	0	38	2200	-
2	0	31	1700	-
3	0	42	1900	2200

Carico Distribuito

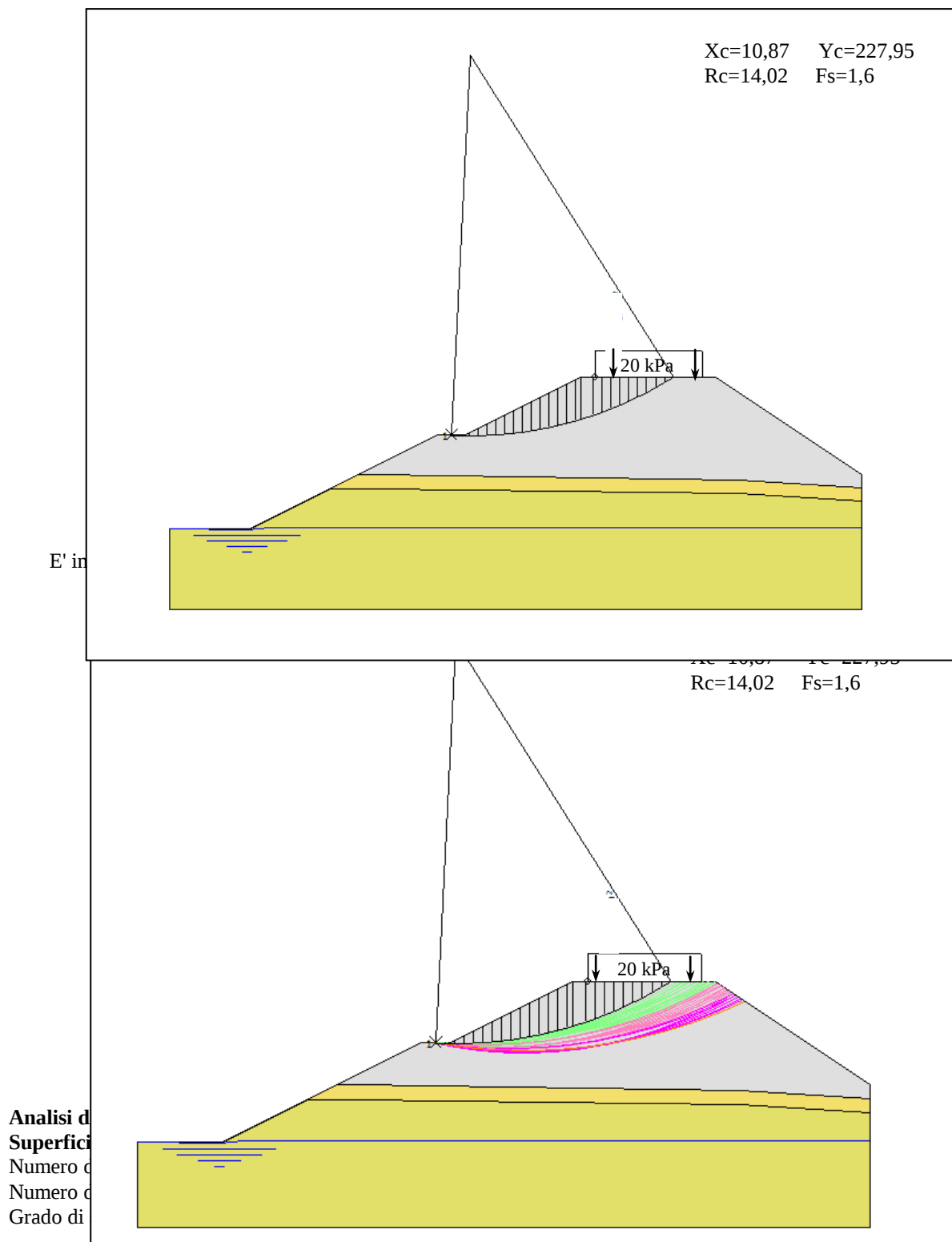
N°	xi [m]	yi [m]	xf [m]	yf [m]	Carico [kg/cm ²]
1	15,85	216,1	19,85	216,1	0.2

Risultati analisi (NTC 2008: combinazione A2+M2+R2)

Fs minimo individuato	1,4
Ascissa centro superficie	9,09 m
Ordinata centro superficie	221,94 m
Raggio superficie	9,71 m



VERIFICA 5 – Sezione 04 – Sponda destra – (Verifica rilevato)



Coefficiente parziale resistenza 1,1
 Analisi Condizione drenata
 Estremi del vincolo di valle : x=10,5 y=213,93

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi 8,0 m
 Ordinata vertice sinistro inferiore yi 227,95 m
 Ascissa vertice destro superiore xs 12,78 m
 Ordinata vertice destro superiore ys 232,29 m
 Passo di ricerca 10,0
 Numero di celle lungo x 5,0
 Numero di celle lungo y 5,0

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: C
 Categoria topografica: T1

Stato limite	TR [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.V.	475,0	0,43	2,69	0,28

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.V.	0,645	0,2	0,0132	0,0066

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,013
 Coefficiente azione sismica verticale 0,007

Coordinate dei punti

Coordinate dei vertici del profilo

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	0,0	210,43
2	3,0	210,43
3	10,0	213,93
4	11,0	213,93
5	15,35	216,1
6	20,35	216,1
7	25,81	212,46

Coordinate dei vertici della superficie della falda idrica

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	0	210,43
2	2,91	210,4
3	3,76	210,5
4	21,2	210,5



5	25,81	210,5
---	-------	-------

Coordinate della superficie di interfaccia tra gli strati 1-2

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	0,0	210,43
2	3,0	210,43
3	7,01	212,45
4	7,64	212,45
5	21,2	212,25

Coordinate della superficie di interfaccia tra gli strati 2-3

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	0,0	210,43
2	3,0	210,43
3	6,01	211,95
4	7,64	211,95
5	21,2	211,75

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

Valore dei parametri geotecnici

c: coesione; ϕ : Angolo di resistenza al taglio; γ : Peso di volume; γ_{sat} : Peso di volume saturo

Strato	c [kg/cm ²]	ϕ [°]	γ [kg/m ³]	γ_{sat} [kg/m ³]
1	0	38	2200	-
2	0	31	1700	-
3	0	42	1900	2200

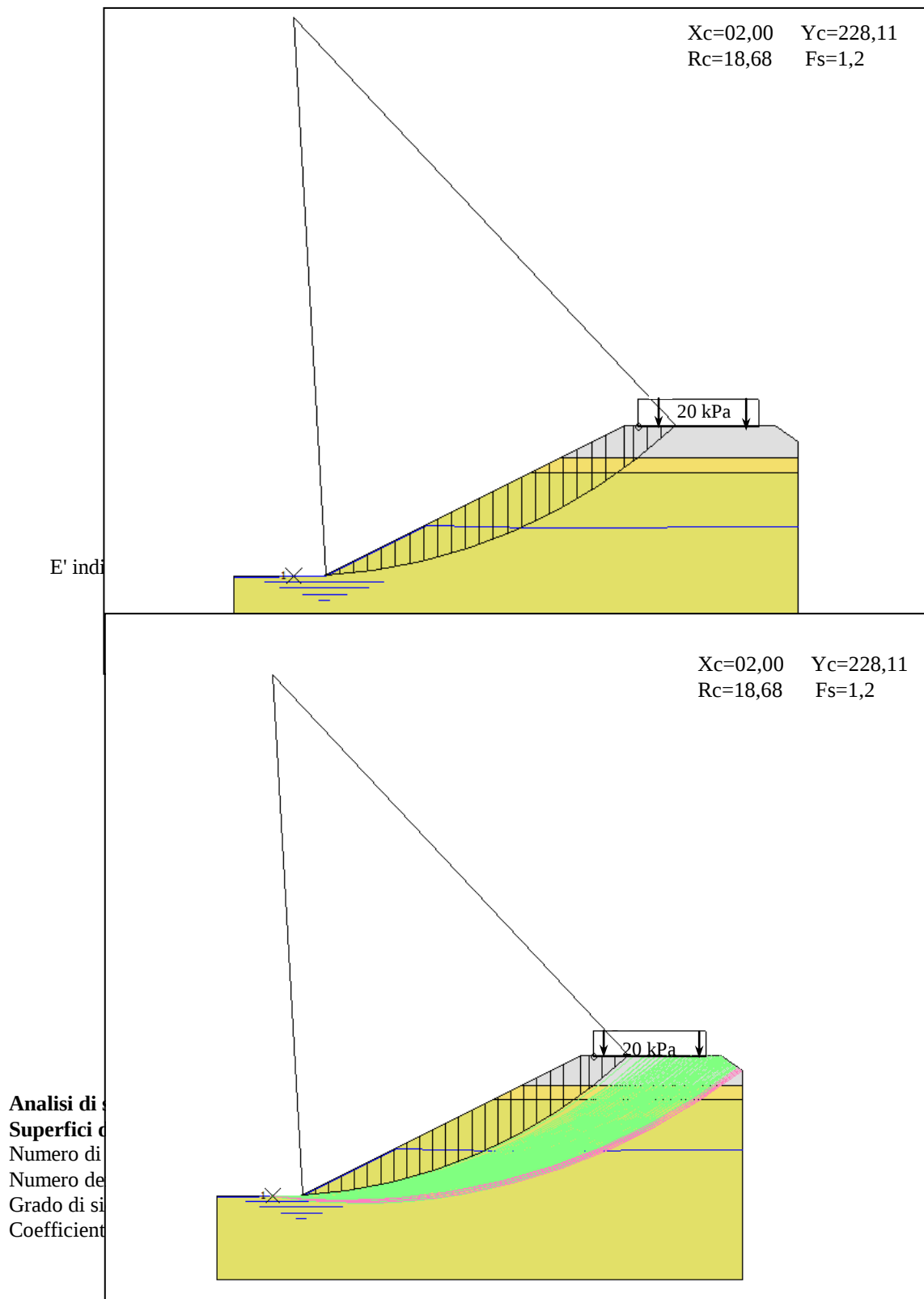
Carico Distribuito

N°	xi [m]	yi [m]	xf [m]	yf [m]	Carico [kg/cm ²]
1	15,85	216,1	19,85	216,1	0.2

Risultati analisi (NTC 2008: combinazione A2+M2+R2)

Fs minimo individuato	1,6
Ascissa centro superficie	10,87 m
Ordinata centro superficie	227,95 m
Raggio superficie	14,02 m

VERIFICA 6 – Sezione 08 – Sponda sinistra (Verifica globale)



Analisi
 Estremi del vincolo di valle :

Condizione drenata
 x=2 y=209,43

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	-0,59 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	227,85 m
Ascissa vertice destro superiore xs	5,15 m
Ordinata vertice destro superiore ys	233,18 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	5,0
Numero di celle lungo y	5,0

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: C
 Categoria topografica: T1

Stato limite	TR [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.V.	475,0	0,43	2,69	0,28

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.V.	0,645	0,2	0,0132	0,0066

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,013
 Coefficiente azione sismica verticale 0,007

Coordinate dei punti

Coordinate dei vertici del profilo

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	0.0	209.43
2	3.0	209.43
3	13.04	214.45
4	18.04	214.45
5	18.83	213.92

Coordinate dei vertici della superficie della falda idrica

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	0,04	209,4
2	3,05	209,4
3	6,46	211,1
4	10,09	211,1
5	18,88	211,1



Coordinate della superficie di interfaccia tra gli strati 1-2

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	0,0	209,43
2	3,0	209,43
3	10,93	213,4
4	13,04	213,4
5	18,83	213,4

Coordinate della superficie di interfaccia tra gli strati 2-3

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	0,0	209,43
2	3,0	209,43
3	9,93	212,9
4	11,63	212,9
5	13,04	212,9

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

Valore dei parametri geotecnici

c: coesione; ϕ : Angolo di resistenza al taglio; γ : Peso di volume; γ_{sat} : Peso di volume saturo

Strato	c [kg/cm ²]	ϕ [°]	γ [kg/m ³]	γ_{sat} [kg/m ³]
1	0	38	2200	-
2	0	31	1700	-
3	0	42	1900	2200

Carico Distribuito

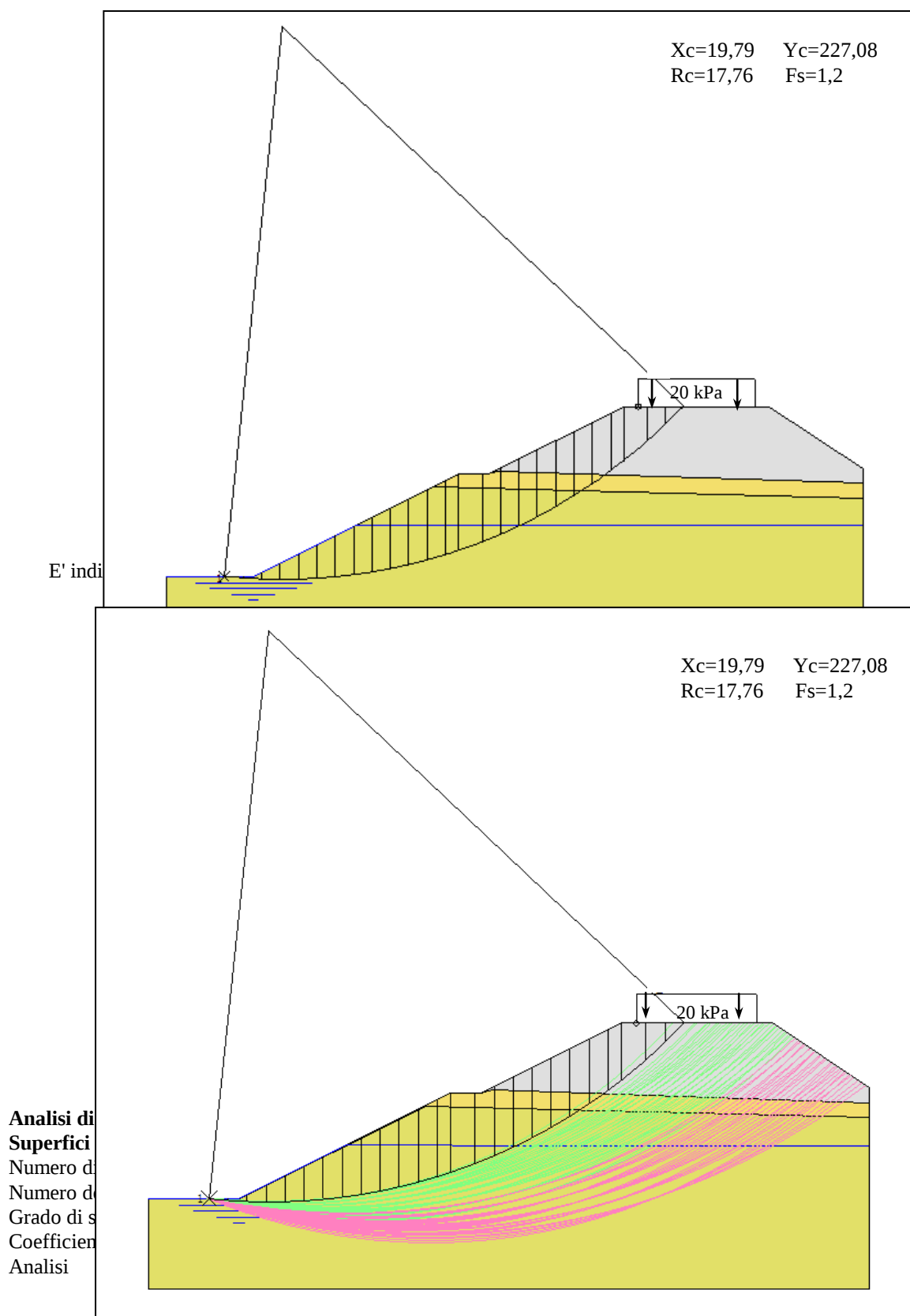
N°	x_i [m]	y_i [m]	x_f [m]	y_f [m]	Carico [kg/cm ²]
1	13,5	214,43	17,5	214,43	0.2

Risultati analisi (NTC 2008: combinazione A2+M2+R2)

Fs minimo individuato	1,2
Ascissa centro superficie	2,00 m
Ordinata centro superficie	228,11 m
Raggio superficie	18,68 m



VERIFICA 7 – Sezione 08 – Sponda destra – (Verifica globale)



Estremi del vincolo di valle :

x=17,83 y=209,43

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	19,79 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	227,08 m
Ascissa vertice destro superiore xs	25,5 m
Ordinata vertice destro superiore ys	231,53 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	5,0
Numero di celle lungo y	5,0

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:	C
Categoria topografica:	T1

Stato limite	TR [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.V.	475,0	0,43	2,69	0,28

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.V.	0,645	0,2	0,0132	0,0066

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,013
Coefficiente azione sismica verticale	0,007

Coordinate dei punti

Coordinate dei vertici del profilo

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	15,83	209,43
2	18,83	209,43
3	25,83	212,93
4	26,83	212,93
5	31,47	215,25
6	36,47	215,25
7	39,67	213,12

Coordinate dei vertici della superficie della falda idrica

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	15,83	209,43
2	18,83	209,43
3	22,35	211,2
4	29,37	211,2
5	39,67	211,2

Coordinate della superficie di interfaccia tra gli strati 1-2

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	15,83	209,43
2	18,83	209,43
3	25,83	212,93
4	26,83	212,93
5	27,2	213,03

Coordinate della superficie di interfaccia tra gli strati 2-3

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	15,83	209,43
2	18,83	209,43
3	25,0	212,5
4	39,67	212,12
5	15,83	209,43

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

Valore dei parametri geotecnici

c: coesione; ϕ : Angolo di resistenza al taglio; γ : Peso di volume; γ_{sat} : Peso di volume saturo

Strato	c [kg/cm ²]	ϕ [°]	γ [kg/m ³]	γ_{sat} [kg/m ³]
1	0	38	2200	-
2	0	31	1700	-
3	0	42	1900	2200

Carico Distribuito

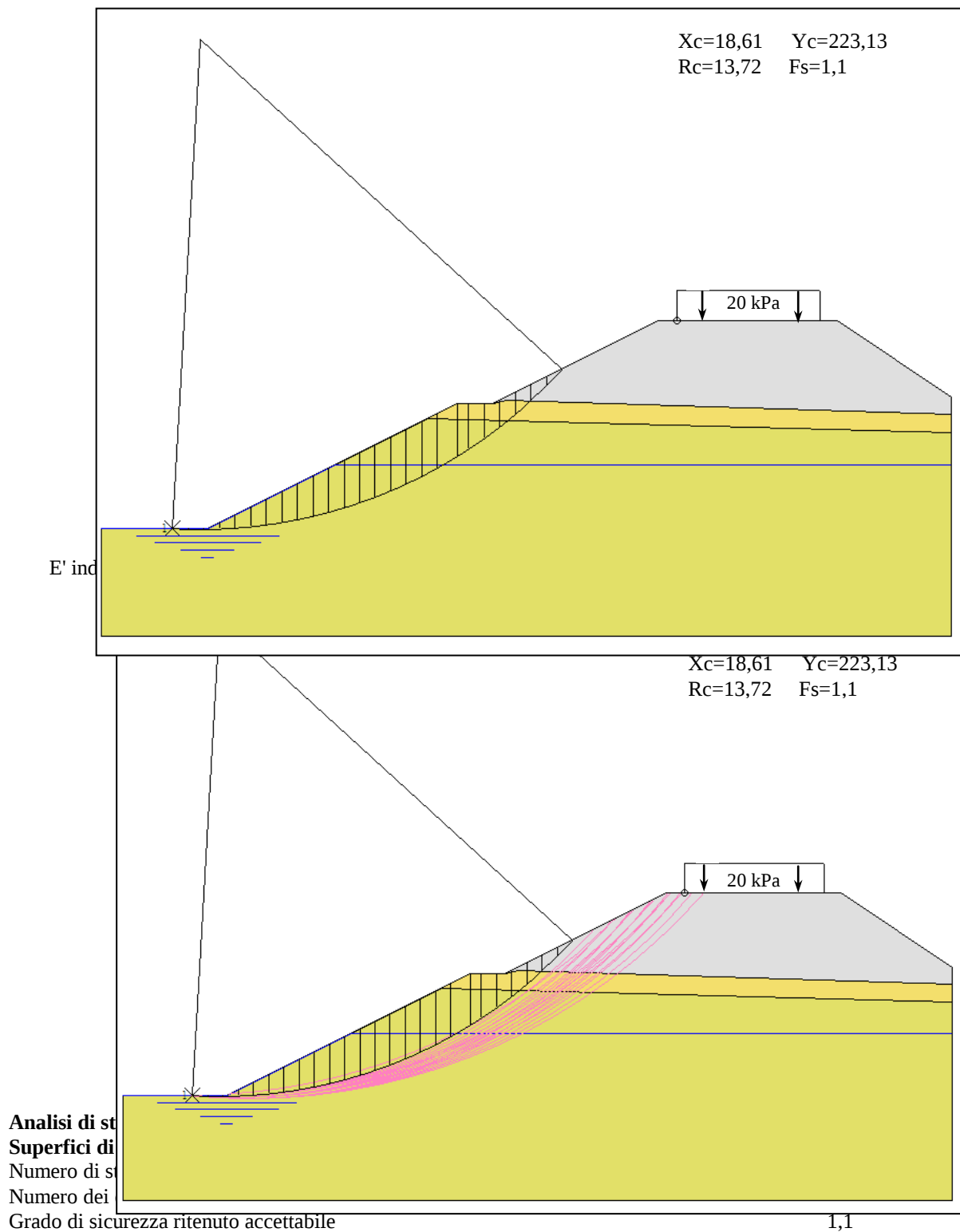
N°	xi [m]	yi [m]	xf [m]	yf [m]	Carico [kg/cm ²]
1	31,97	215,25	35,97	215,25	0.2

Risultati analisi (NTC 2008: combinazione A2+M2+R2)

Fs minimo individuato	1,2
Ascissa centro superficie	19,79 m
Ordinata centro superficie	227,08 m
Raggio superficie	17,76 m



VERIFICA 8 – Sezione 08 – Sponda destra – (Verifica scavo)



Coefficiente parziale resistenza 1,1
 Analisi Condizione drenata
 Estremi del vincolo di valle : x=17,83 y=209,43

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi 15,17 m
 Ordinata vertice sinistro inferiore yi 223,13 m
 Ascissa vertice destro superiore xs 20,8 m
 Ordinata vertice destro superiore ys 226,74 m
 Passo di ricerca 10,0
 Numero di celle lungo x 5,0
 Numero di celle lungo y 5,0

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: C
 Categoria topografica: T1

Stato limite	TR [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.V.	475,0	0,43	2,69	0,28

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.V.	0,645	0,2	0,0132	0,0066

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,013
 Coefficiente azione sismica verticale 0,007

Coordinate dei punti

Coordinate dei vertici del profilo

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	15,83	209,43
2	18,83	209,43
3	25,83	212,93
4	26,83	212,93
5	31,47	215,25
6	36,47	215,25
7	39,67	213,12

Coordinate dei vertici della superficie della falda idrica

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	15,83	209,43
2	18,83	209,43
3	22,35	211,2
4	29,37	211,2

5	39,67	211,2
---	-------	-------

Coordinate della superficie di interfaccia tra gli strati 1-2

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	15,83	209,43
2	18,83	209,43
3	25,83	212,93
4	26,83	212,93
5	27,2	213,03

Coordinate della superficie di interfaccia tra gli strati 2-3

Numero vertice	x [m]	y [m]
1	15,83	209,43
2	18,83	209,43
3	25,0	212,5
4	39,67	212,12
5	15,83	209,43

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

Valore dei parametri geotecnici

c: coesione; ϕ : Angolo di resistenza al taglio; γ : Peso di volume; γ_{sat} : Peso di volume saturo

Strato	c [kg/cm ²]	ϕ [°]	γ [kg/m ³]	γ_{sat} [kg/m ³]
1	0	38	2200	-
2	0	31	1700	-
3	0	42	1900	2200

Carico Distribuito

N°	xi [m]	yi [m]	xf [m]	yf [m]	Carico [kg/cm ²]
1	31,97	215,25	35,97	215,25	0.2

Risultati analisi (NTC 2008: combinazione A2+M2+R2)

Fs minimo individuato	1,1
Ascissa centro superficie	18,61 m
Ordinata centro superficie	223,13 m
Raggio superficie	13,72 m

