



# **COMUNE DI SAN CESARIO SUL PANARO**

## **PROVINCIA DI MODENA**

### **PROGETTO DI PRESA, ACCUMULO E GESTIONE DI UN BACINO IRRIGUO IN SAN CESARIO SUL PANARO QUALE ATTIVITA' DI RECUPERO DI UN'EX CAVA DI GHIAIA**

#### **STUDIO GEOTECNICO**

Al fine di definire le caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni presenti sul fondo del bacino, e la loro idoneità, nell'area in questione è stato eseguito uno studio geologico e geognostico

Tale studio è stato redatto dal Dott. G. Gasparini della società Arkigeo di Bastiglia (MO) ed è allegato al progetto.

Rimandando al suddetto studio per tutti gli approfondimenti e i dettagli sulle indagini geognostiche e i risultati delle prove di laboratorio, di seguito riporto una breve sintesi.

Nel luglio 1994, in sede di studio preliminare, si sono eseguiti tre sondaggi a rotazione spinti ad una profondità massima di 35 m dal piano di campagna.

Successivamente, al fine di definire la qualità e lo spessore dei terreni presenti sul fondo del futuro invaso, e la loro idoneità alla realizzazione delle future scarpate e all'impermeabilizzazione del fondo, in data 15.05.2003 durante un sopralluogo sono stati eseguiti n. 14 sondaggi con escavatore meccanico e prelevati altrettanti campioni rimaneggiati rappresentativi della situazione stratigrafica.

I sondaggi sono stati spinti ad una profondità variabile tra -3,3 e -4,6 m rispetto l'attuale fondo scavo (a.f.s.) che si pone ad una quota variabile tra 51 (settore nord) e 53 (settore sud) m s.l.m.

Le stratigrafie dei sondaggi effettuati hanno messo in evidenza un'accentuata disomogeneità stratigrafica ed areale dei materiali presenti sul fondo che in gran parte sono costituiti da una frazione argilloso-limosa di varia natura frammista ad abbondanti inclusi, da centimetrici a pluridecimetrici, rocciosi, organici ed antropici (laterizi).

Pertanto, sia per esigenze quantitative che qualitative è stato necessario ricercare cave di materiale idoneo all'impermeabilizzazione del fondo e delle scarpate del futuro bacino. Tali

cave sono state individuate nei territori comunali di Castello di Serravalle (BO) e di Zocca (MO).

In data 10 e 26 settembre 2003 sono stati prelevati campioni rimaneggiati e sottoposti a prove di laboratorio.

Nel mese di marzo 2005 sono stati prelevati dei campioni indisturbati dalle sponde del bacino e sono state effettuate ulteriori prove di laboratorio sui campioni indisturbati e su provini ricomposti.

Per valutare la riduzione delle caratteristiche meccaniche del terreno in seguito alla saturazione, sono state effettuate prove di laboratorio anche su campioni di argilla ricomposti dopo 7 gg di saturazione in acqua.

In sintesi i parametri di resistenza al taglio e le caratteristiche dei terreni assunti nelle elaborazioni sono illustrati nelle seguenti tabelle:

Situazione	Argilla di impermeabilizzazione (3a)		Limi di riempimento e formazione scarpate (3b)	
	C (kPa)	phi (°)	C (kPa)	phi (°)
UU	55		55	
CU	15	19	21	26
CD	5	22	0	30

Caratteristiche dei terreni	UU		CU		CD		
	Wd	Ws	c	c	fhi	c	fhi
	kN/mc	kN/mc	kN/mq	kN/mq	gradi	kN/mq	Gradi
Substrato in ghiaia (1)	19	20				0	45
Argilla di impermeabilizzazione (2-6-7)	19	20	55	15	19	5	22
Argilla di riempimento/formazione fondo e sponde bacino (3)	19	20	55	21	26	0	30
Terreno fertile sabbioso argilloso (4)	19	20				0	30
Riv. In ghiaia e pietrame (5)	18	20				0	35

In cui le sigle hanno il seguente significato:

UU = condizione non consolidata non drenata

CU = condizione consolidata non drenata

c = coesione

Fhi = angolo di attrito

Wd = Peso specifico del terreno asciutto

Ws = Peso specifico del terreno saturo

La scarpata del bacino è prevista con una duplice pendenza e una banca al piede come descritto nella sottostante tabella. La proiezione in pianta è di 48.25 m e il dislivello di 14,6 m. La pendenza del tratto superiore fino a quota 60.50 m s.m. è 1/3 (18.4°), nella parte inferiore

fino alla banca a quota 54.00-53.90 m s.m. la pendenza è 1/3.5 (15.9°). La pendenza media è 1/3.3 (16.9°).

#### Descrizione scarpata

Tratto	Quote (m s.m.)	H (m)	V (m)	Pendenza	Angolo (°)
	66,50				
1		18,00	6,00	1/3	18,4
	60,50				
2		22,75	6,50	1/3,5	15,9
	54,00				
3		3,50	0,10	-	-
	53,90				
4		4,00	2,00	1/2	26,6
	51,90				
<b>Somma/media</b>		<b>48,25</b>	<b>14,60</b>	<b>1/3,3</b>	<b>16,9</b>

Nelle verifiche di stabilità si sono considerate le azioni sismiche prevedendo un coefficiente sismico pari a 0.04 g (area sismica di III categoria).

Nelle condizioni di esercizio è previsto lo svuotamento del bacino nell'arco dei 120 giorni irrigui che corrisponde ad un abbassamento medio di circa 11 cm/gg.

Tale velocità di abbassamento dovrebbe consentire parzialmente lo sfogo delle pressioni interne e quindi nelle verifiche a svasso rapido (SR) è stato considerato un modesto abbattimento della superficie freatica.

Durante il periodo critico irriguo (1a decade di luglio) la portata media giornaliera prelevata dal bacino è di 245-260 l/s. Il decremento di livello in funzione della quota varia da 19 a 33 cm/gg.

Occorrerà pertanto intervenire sulla portata derivata per contenere l'abbassamento nell'arco di 10 giorni al massimo entro 2 m.

Le verifiche di stabilità delle scarpate sono state eseguite con il metodo di Bishop prevedendo diverse situazioni:

- a breve termine: In tale situazione i parametri geotecnici assunti per i terreni argillosi sono relativi alla condizione non consolidata non drenata (UU) per tutte le condizioni di carico;
- a medio termine: In tale situazione i parametri geotecnici assunti per i terreni argillosi sono relativi alla condizione consolidata non drenata (CU) per tutte le condizioni di carico.
- a lungo termine: In tale situazione i parametri geotecnici assunti per i terreni argillosi sono relativi alla condizione: consolidata drenata (CD) nel caso di verifiche a minimo

invaso (MI), bacino pieno (BP) e alla condizione consolidata non drenata (CU) nel caso di verifiche a svasso rapido (SR) e azioni sismiche (AS).

Nelle verifiche a lungo termine a favore della sicurezza, si sono considerate le azioni sismiche con parametri geotecnici relativi alla condizione consolidata drenata (CD) anziché alla situazione CU.

Le verifiche di stabilità sono inoltre state condotte sia sulle sponde di 1° fase, che di 2° fase.

L'unica differenza fra la geometria delle due tipologie di sponde è l'andamento del substrato di ghiaia. Mentre nelle sponde di 2° fase l'andamento del substrato corrisponde alle sezioni di progetto del piano di coltivazione della cava ed è controllabile, nelle sponde di 1° fase essendo le sponde già in parte l'andamento del substrato è incerto.

Come si può osservare dalla sottostante tabella la verifica più gravosa è a lungo termine prevedendo svasso rapido e azioni sismiche (SR+S)

In tale (gravosa) situazione si è inoltre ricercato con ulteriori elaborazioni (fermo restando i valori di angolo di attrito) per quali valori minimi di coesione le sponde risultano stabili.

Ciò per valutare fino a che punto si può ridurre nel tempo la coesione dell'argilla per la presenza di fenomeni di softening (rammollimento) e creep.

Assumendo (8-9 kPa) di coesione nella situazione di svasso rapido con azioni sismiche il coefficiente di sicurezza risulta 1.219 per le sponde di 1° fase e 1.308 per le sponde di 2° fase.

A lungo termine, a bacino pieno e in presenza di azioni sismiche di III categoria il coefficiente di sicurezza risulta 1.403-1.432 rispettivamente in prima e seconda fase.

Assumendo a favore della sicurezza il regolamento italiano vigente per le dighe di ritenuta in materiali sciolti (DM 24.03.1982), i coefficienti di sicurezza minimi sono:

	Fs
al termine della costruzione	1.2
al massimo invasivo	1.4
in seguito a rapido svuotamento	1.2

In appendice sono riportati i risultati delle elaborazioni di calcolo.

I coefficienti di sicurezza (Fs) risultanti dalle elaborazioni sono sintetizzati e riepilogati nella tabella riportata nella pagina seguente.

Nella tabella si evince che assumendo i parametri geotecnici risultanti dalle indagini senza apportare riduzioni alla coesione le verifiche sono soddisfatte con ampio margine.

Dalla tabella si evince anche che le verifiche sono soddisfatte dimezzando i valori della coesione.

	Sismica	Situazione	Impermeabil.		Riempimento		Fs
			c (kPa)	Phi (°)	c (kPa)	phi (°)	
1° fase							
SR	S	CU	15	19	21	26	1.548
SR	S	CU	15	19	9	26	1.219
BP	S	CD	5	22	0	30	1.403
MI	S	CD	5	22	0	30	1.664
2° fase							
SR	S	CU	15	19	21	26	1.751
SR	S	CU	15	19	8	26	1.308
BP	S	CD	5	22	0	30	1.432
MI	S	CD	5	22	0	30	1.697

In appendice è stata anche verificata la stabilità sulla sponda del rivestimento di argilla di impermeabilizzazione e la stabilità del rivestimento ghiaioso sulla argilla di impermeabilizzazione.

I coefficienti di sicurezza relativi allo scorrimento dell'argilla di impermeabilizzazione su quella di sottofondo sono illustrati nella sottostante tabella.

Condizione	CD	CU
c (kPa)	1	5
Fhi	22	19
H_falda/H_strato	0/90 cm	60/90 cm
Int. sismica	0	0.04
Sponda superiore	1.39	1.43
Sponda inferiore	1.58	1.58

I coefficienti di sicurezza relativi allo scorrimento del rivestimento ghiaioso sulla argilla di impermeabilizzazione sono illustrati nella sottostante tabella.

Interfaccia	Ghiaia	Argilla
Condizione	CD	CU
c (kPa)	0	1
Fhi	35	19
H_falda/H_strato	15/30 cm	15/30 cm
Sisma	0	0
Sponda superiore	1.57	1.33

Le verifiche sono state limitate alla situazione più gravosa della sponda superiore.

Si è inoltre ritenuto poco probabile la contemporaneità della falda dovuta a un intenso temporale con le azioni sismiche.

**IL PROGETTISTA:**



Ing. Marco Sovrini

**APPENDICE**  
**VERIFICHE DI STABILITA' DELLE SPONDE DEL BACINO**

**Caratteristiche dei terreni**

	CU			CD			
	Wd kN/mc	Ws kN/mc	c kN/mq	fhi gradi	c kN/mq	fhi gradi	
1	19	19	20			0	45
2-6-7	19	19	20	15	19	5	22
3	19	19	20	21	26	0	30
4	19	19	20			0	30
5	18	18	20			0	35

**Descrizione scarpata**

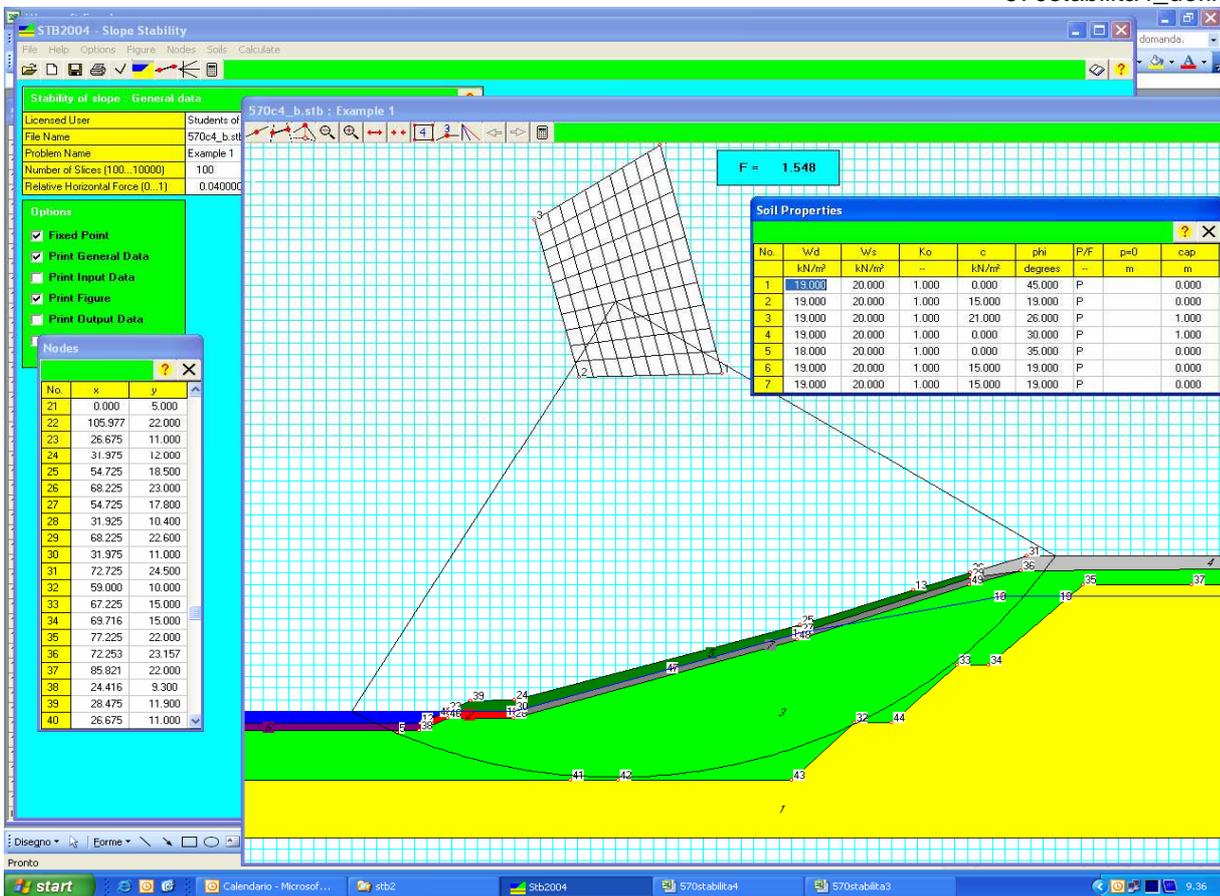
Tratto	Quote (m s.m.)	H (m)	V (m)	Pend.	Angolo (°)
1	66,50	18,00	6,00	1/3	18,4
2	60,50	22,75	6,50	1/3,5	15,9
3	54,00	3,50	0,10	-	-
4	53,90	4,00	2,00	1/2	26,6
Somma/media	51,90	48,25	14,60	1/3,3	16,9

Tabella riepilogativa

	Sismica	Situazione	Impermeabil.		Riempimento		FS
			c (kPa)	phi (°)	c (kPa)	phi (°)	
1a fase							
SR, FE	S	CU	15	19	21	26	1.548
SR, FE	S	CU	15	19	9	26	1.219
BP	S	CD	5	22	0	30	1.403
MI	S	CD	5	22	0	30	1.664
2° fase							
SR, FE	S	CU	15	19	21	26	1.751
SR, FE	S	CU	15	19	8	26	1.308
BP	S	CD	5	22	0	30	1.432
MI	S	CD	5	22	0	30	1.697

Legenda:

- SR = Svaso rapido
- BP = Bacino pieno
- MI = Minimo invaso
- FE = Falda estrema
- S = azioni sismiche
- CU = consolidata non drenata



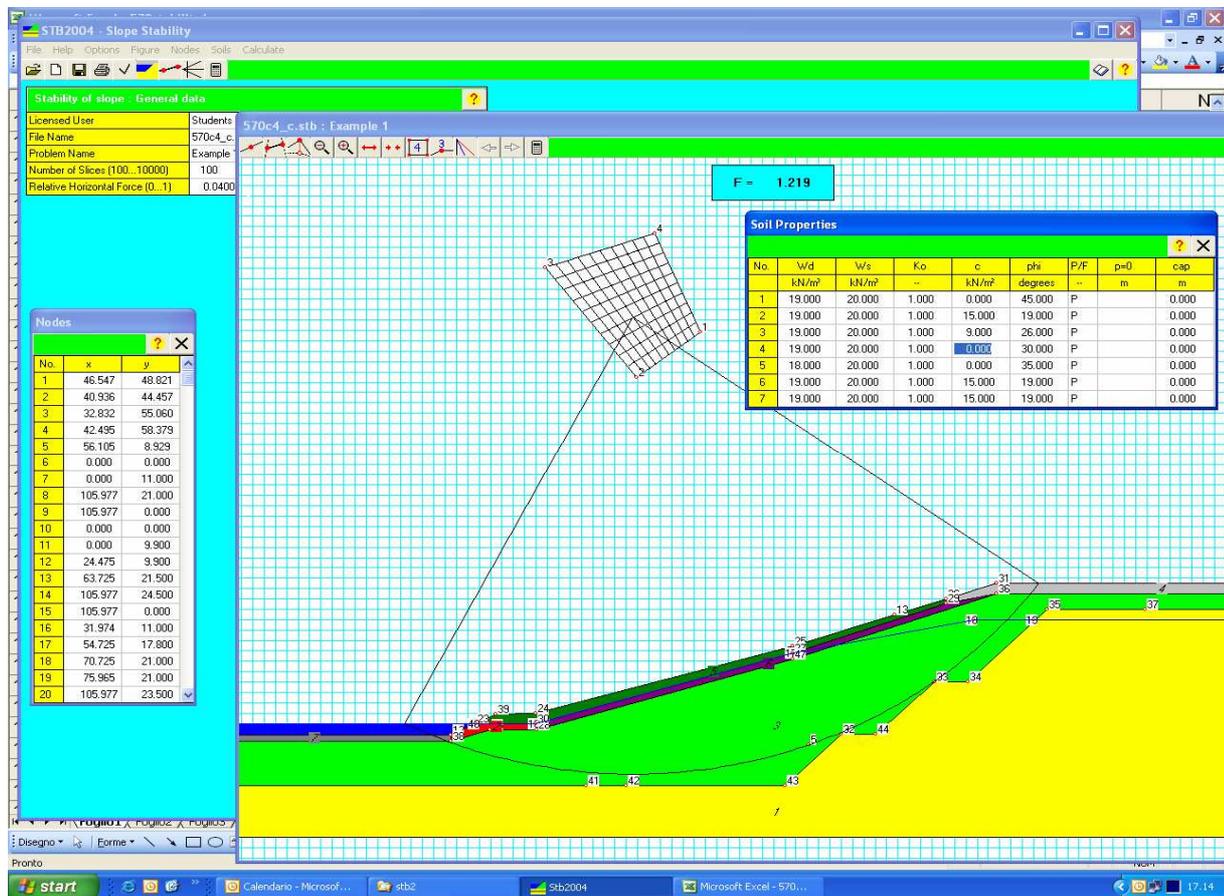
1a fase

Svaso rapido, falda estrema, azioni sismiche, consolidata non drenata

Impermeabilizzazione:  $c=15$  kPa,  $\phi=19^\circ$ 

Fs=

1.548

Riempimento:  $c=21$  kPa,  $\phi=26^\circ$ 

1a fase

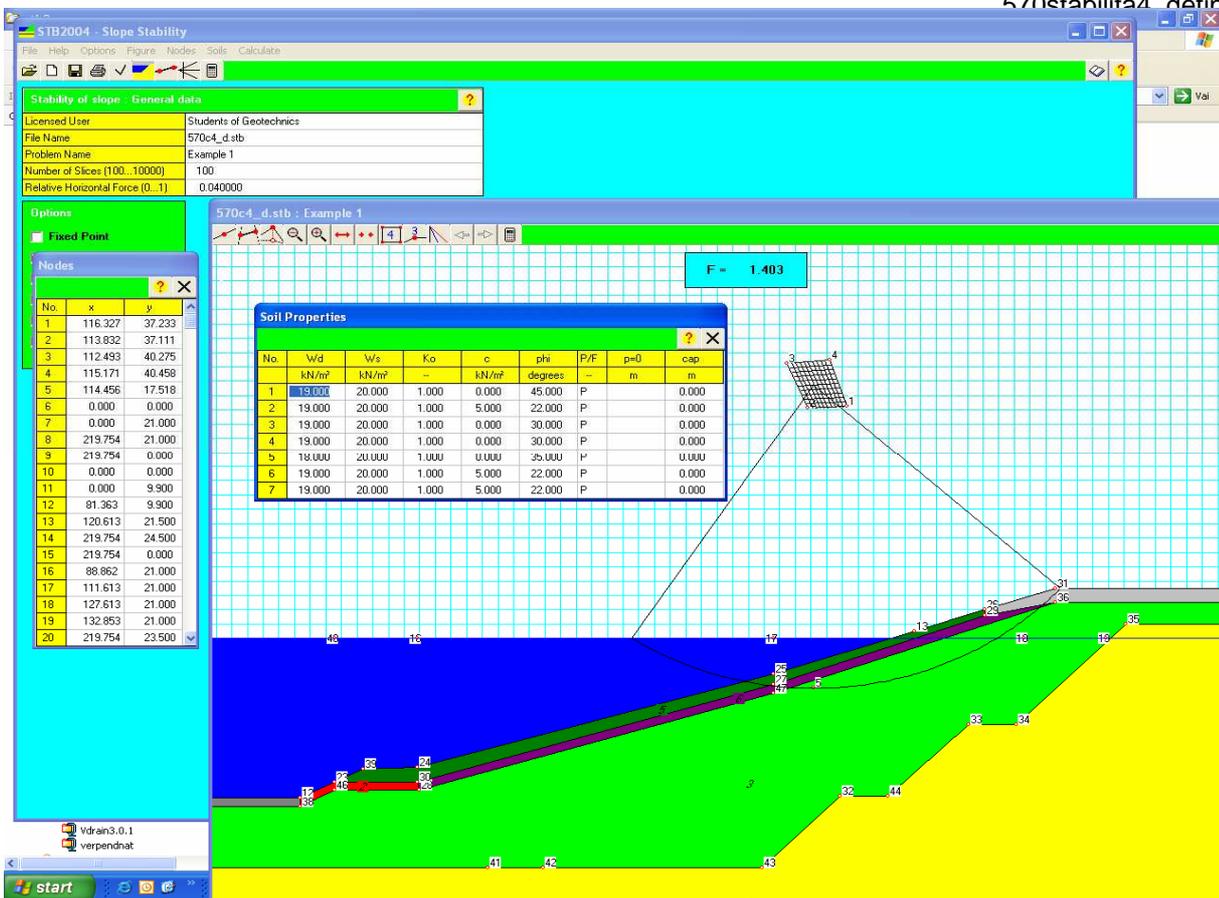
Svaso rapido, falda estrema, azioni sismiche, consolidata non drenata (coesione ridotta)

Impermeabilizzazione:  $c=15$  kPa,  $\phi=19^\circ$ 

Fs=

1.219

Riempimento:  $c=9$  kPa,  $\phi=26^\circ$



1a fase

Verifica a lungo termine a bacino pieno con azioni sismiche

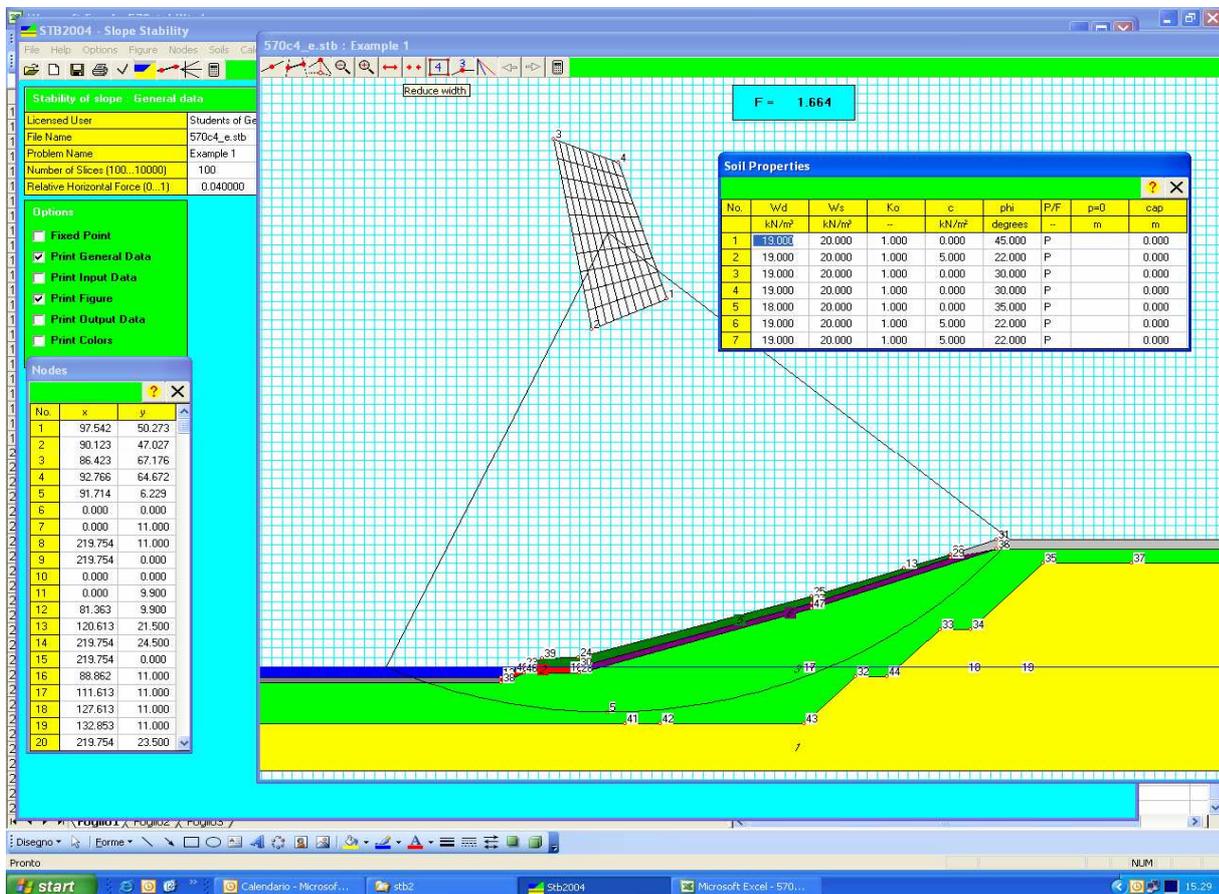
Parametri geotecnici relativi alla situazione drenata consolidata (CD)

Impermeabilizzazione: c=5 kPa, phi=22°

Riempimento: c=0 kPa, phi=30°

Fs=

1.403



1a fase

Verifica a lungo termine a bacino al minimo invaso con azioni sismiche

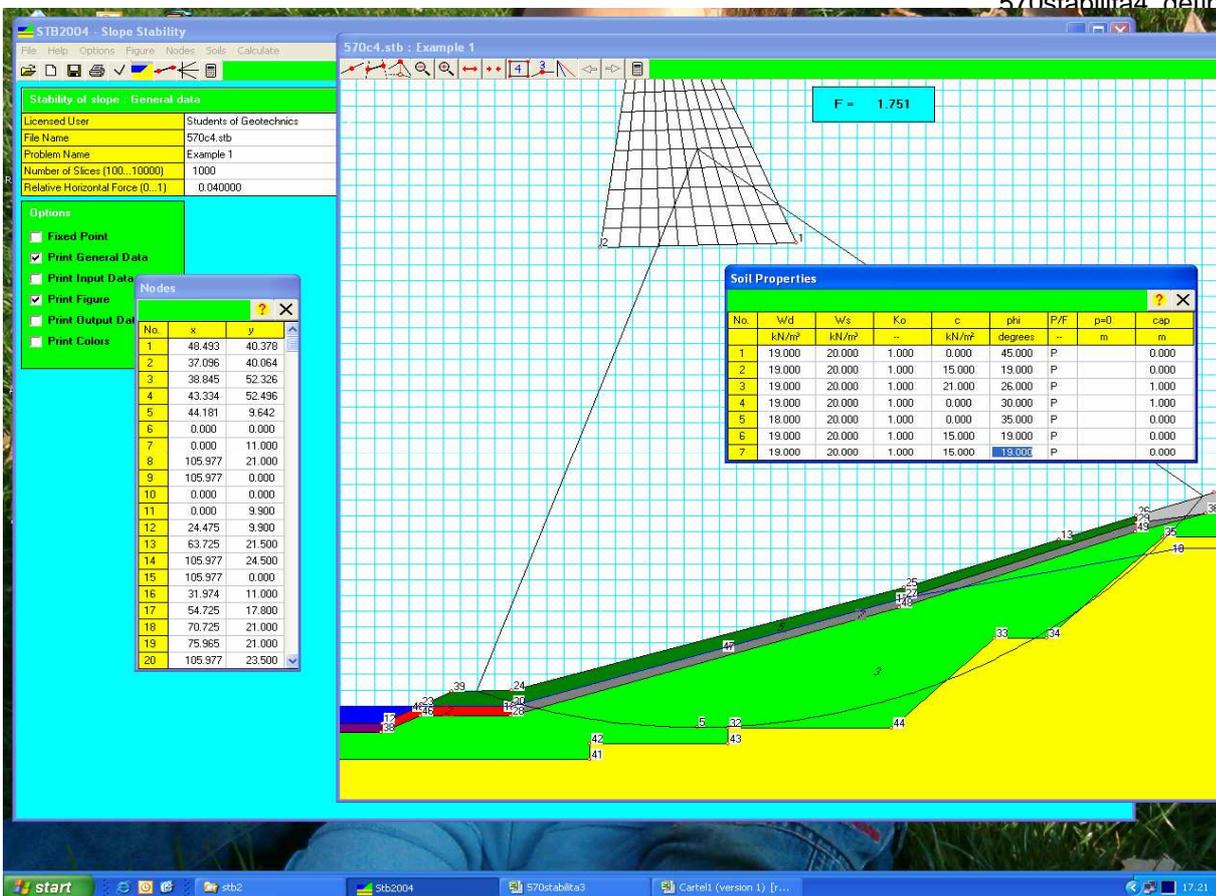
Parametri geotecnici relativi alla situazione drenata consolidata (CD)

Impermeabilizzazione: c=5 kPa, phi=22°

Riempimento: c=0 kPa, phi=30°

Fs=

1.664



2° fase

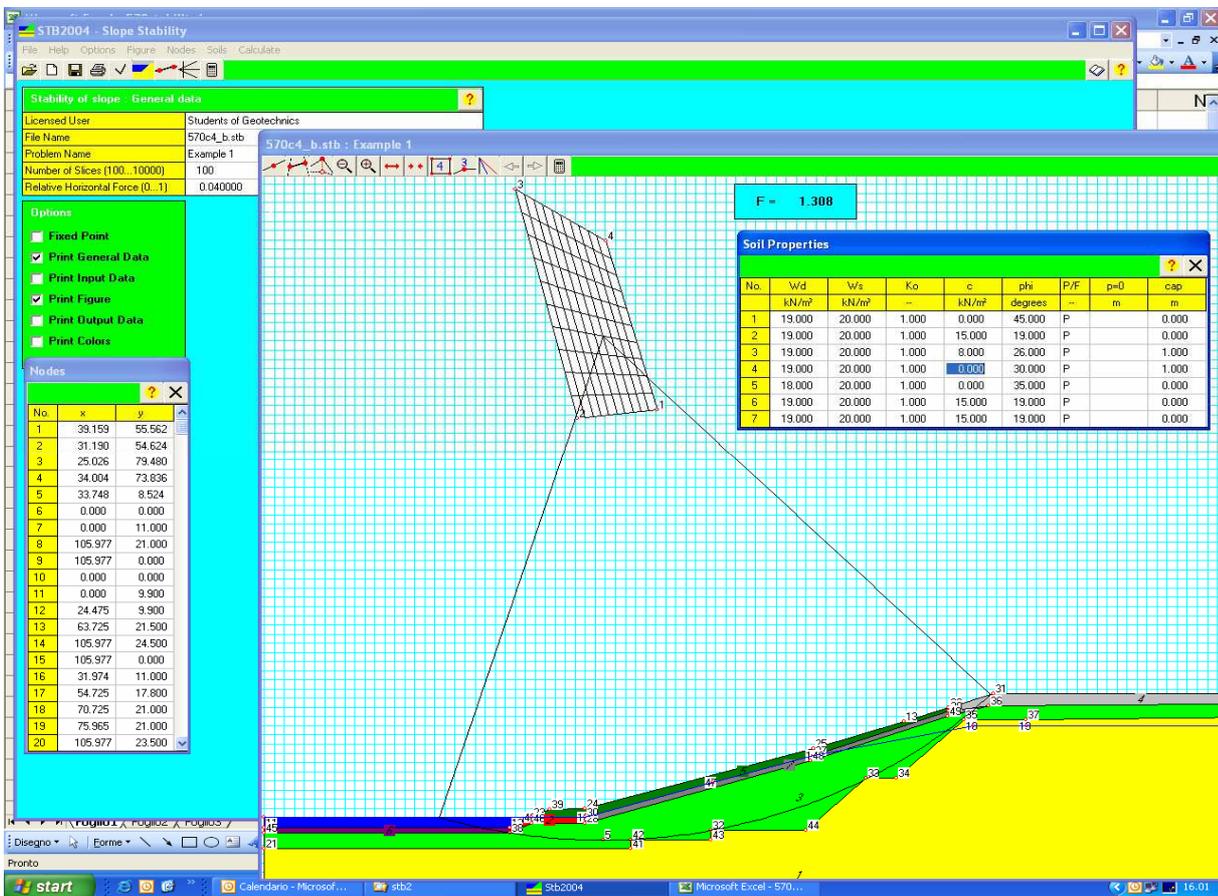
Svaso rapido, falda estrema, azioni sismiche, consolidata non drenata

Impermeabilizzazione: c=15 kPa, phi=19°

Riempimento: c=21 kPa, phi=26°

Fs=

1.751



2° fase

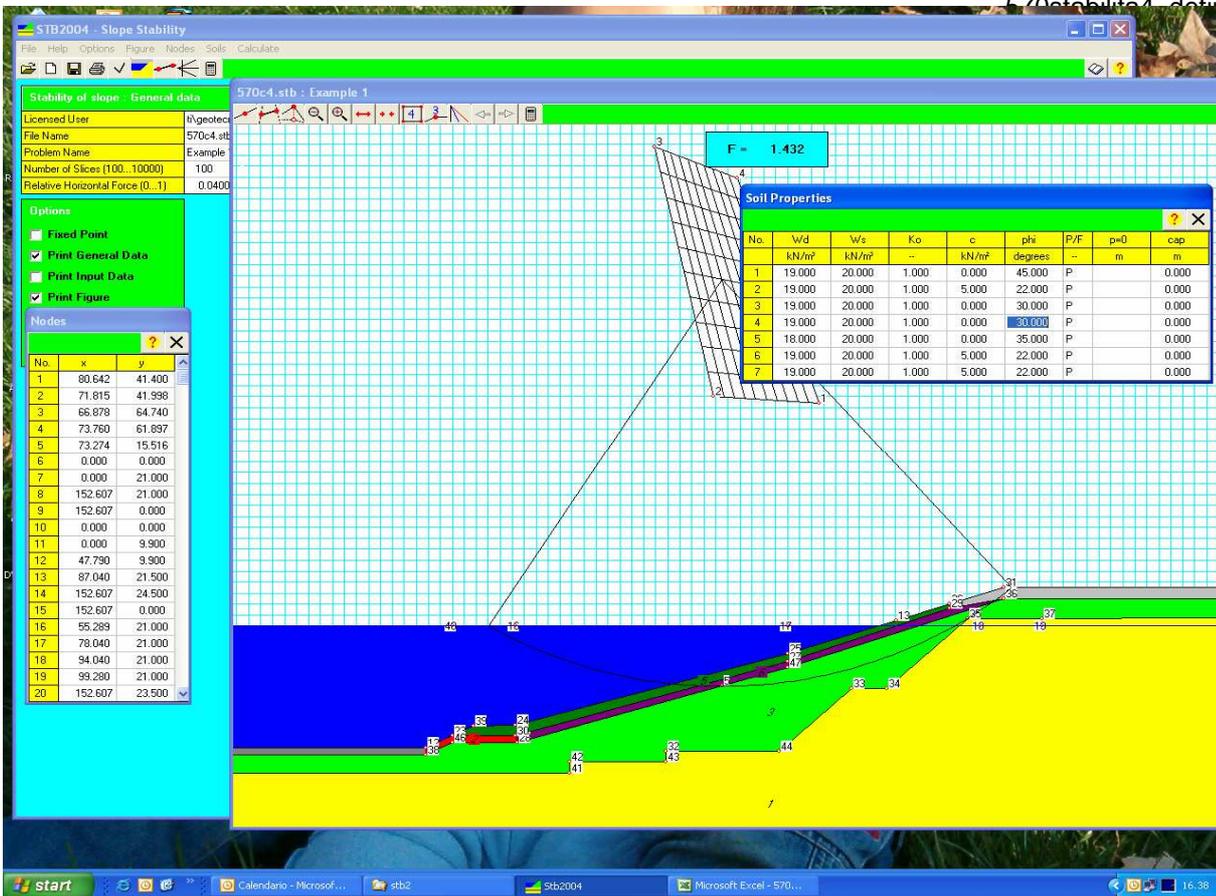
Svaso rapido, falda estrema, azioni sismiche, consolidata non drenata (coesione ridotta)

Impermeabilizzazione: c=15 kPa, phi=19°

Riempimento: c=8 kPa, phi=26°

Fs=

1.308



2a fase

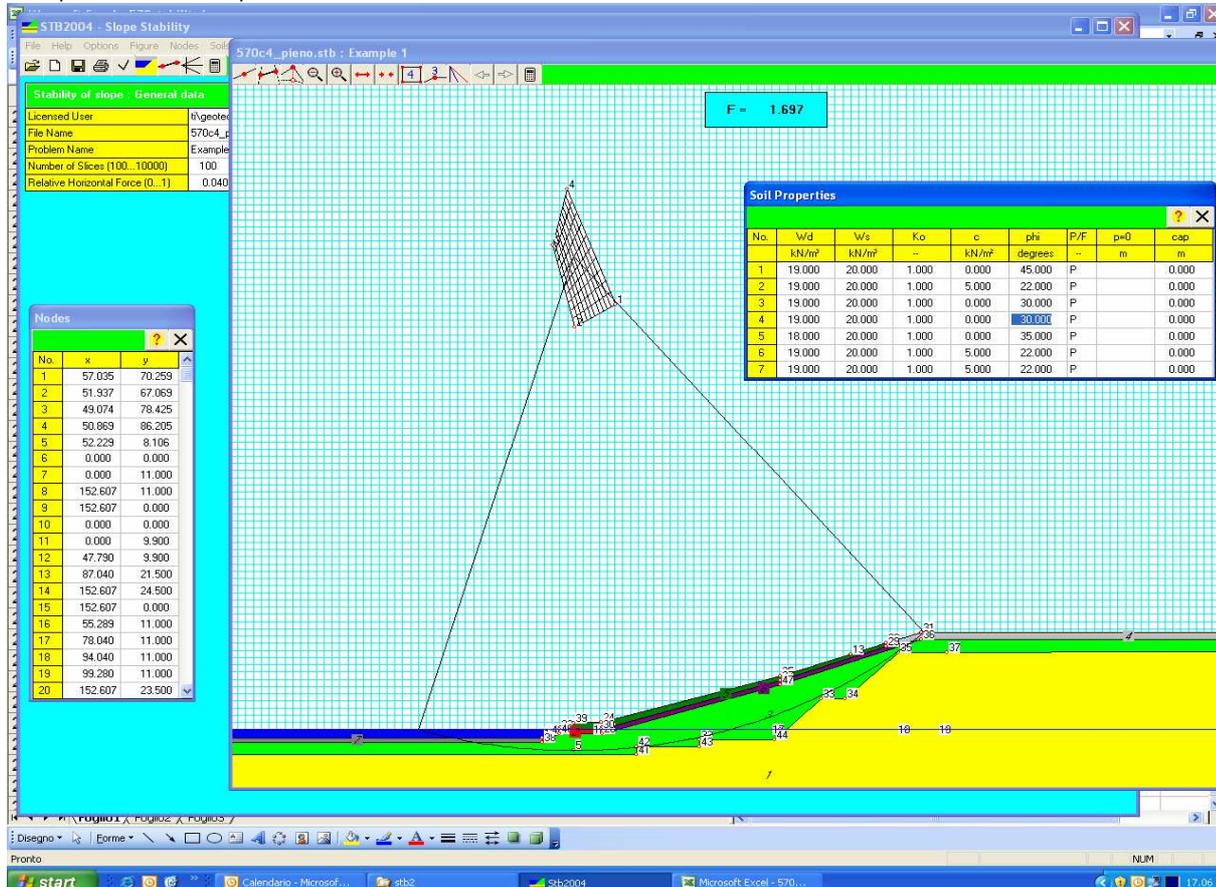
Verifica a lungo termine a bacino pieno con azioni sismiche

Parametri geotecnici relativi alla situazione drenata consolidata (CD)

Impermeabilizzazione: c=5 kPa, phi=22°

Fs= 1.432

Riempimento: c=0 kPa, phi=30°



2a fase

Verifica a lungo termine a bacino vuoto con azioni sismiche

Parametri geotecnici relativi alla situazione drenata consolidata (CD)

Impermeabilizzazione: c=5 kPa, phi=22°

Fs= 1.697

Riempimento: c=0 kPa, phi=30°

**Stabilità del rivestimento di argilla di impermeabilizzazione****Sponda superiore**

Situazione		CD		CU			
Azioni				SR+S			
Coesione	c' (kN/mq)	1		5			
Ang. Attr.	phi'(°)	22	0,383972435	19	0,331612558		
Peso spec. Terr.	gs(kN/mq)	20					
Peso spec. Acqua	gw(kN/mq)	10					
Angolo pendio	beta(°)	18,5	0,322885912	tan(beta)	0,33459 532	0,333333	0,285714
Spessore strato	h(m)	0,9					
Altezza falda	hw(m)	0		0,6			
Press. Interst.	Du(kN/mq)	0					
Coeff. Sism. H	kh	0		0,04			
Fstab		7,54		8,64			
Fdestab.		5,42		6,06			
Fs =		<b>1,39</b>		<b>1,43</b>			

**Sponda inferiore**

Coesione	c' (kN/mq)	1		5			
Ang. Attr.	phi'(°)	22	0,383972435	19	0,331612558		
Peso spec. Terr.	gs(kN/mq)	20					
Peso spec. Acqua	gw(kN/mq)	10					
Angolo pendio	beta(°)	16,4					
Spessore strato	h(m)	0,9	0,286233997	tan(beta)	0,294316005	0,333333	0,285714
Altezza falda	hw(m)	0		0,6			
Press. Interst.	Du(kN/mq)	0					
Coeff. Sism. H	kh	0		0,04			
Fstab		7,69		8,74			
Fdestab.		4,88		5,54			
Fs =		<b>1,58</b>		<b>1,58</b>			

**Stabilità del rivestimento ghiaioso sulla argilla di impermeabilizz.**

Il rivestimento ghiaioso è costituito da 30 cm di ghiaia-ciottoli (v. sottostante tabella)

	spessore (cm)	k (cm/s)	c kPa	phi	prof. falda L=20m di scarpata
Ghiaia e ciottoli	30	1-0,1	0	42	3-30 cm
Argilla imperm.	60	1,00E-07	5	19	saturo

Nello strato ghiaioso sovrastante la falda, a seconda della permeabilità, per una scarpata di 20 m è dell'ordine di 3-30 cm

L'abbassamento di livello del bacino di 20 cm/gg (2,3 E-04 cm/s) in tale strato non può generare falda

**Verifica allo slittamento nell'interfaccia con l'argilla****Sponda superiore**

Coesione	c' (kN/mq)	1			
Ang. Attr.	phi'(°)	19	0,331612558		
Peso spec. Terr.	gs(kN/mq)	20			
Peso spec. Acqua	gw(kN/mq)	10			
Angolo pendio	beta(°)	18,5	0,322885912	tan(beta)	0,33459 532
Spessore strato	h(m)	0,3			
Altezza falda	hw(m)	0,15	Stimata per k		
Coeff. Sism. H	kh	0			
Press. Interst.	Du(kN/mq)	0			
Fstab		2,39			
Fdestab.		1,81			
Fs =		<b>1,33</b>			

**Verifica allo slittamento nello strato di ghiaia sabbiosa**

Coesione	c' (kN/mq)	0		
Ang. Attr.	phi'(°)	35	0,610865238	
Peso spec. Terr.	gs(kN/mq)	20		
Peso spec. Acqua	gw(kN/mq)	10		
Angolo pendio	beta(°)	18,5	0,322885912	tan(beta) 0,33459 532
Spessore strato	h(m)	0,3		
Altezza falda	hw(m)	0,15		
Coeff. Sism. H	kh	0		
Press. Interst.	Du(kN/mq)	0		

Fstab	2,83
Fdestab.	1,81
Fs =	1,57

**Stima della profondità della falda**

Caso limite di k=0,01 cm/s con pioggia di lunga durata

a	50		
n	0,3		
Durata pioggia	tp(h)	160	
Altezza pioggia	mm	229,19545	
Intensità pioggia	mm/h	1,4324716	3,98E-05 cm/s 3,98E-04 l/s/mq
Permeabilità	k(cm/s)	1,00E-02	
Pendenza scarpata	i	0,3333	
Velocità v=ki	(cm/s)	3,33E-03	
Lunghezza scarpata	l(m)	20	
Tempo corrivaz	(ore)	166,68	
Altezza falda iniziale	(m)	0,01	
Portata unitaria	q=kiA		4,00E-05 cm/s 4,00E-04 l/s/mq
Portata totale	Q=q*I (l/s)	8,00E-03	
Altezza falda finale	(m)	0,24	

Caso limite di k=0,1 cm/s con pioggia intensa di breve durata

a	50		
n	0,3		
Durata pioggia	tp(h)	16	
Altezza pioggia	mm	114,86984	
Intensità pioggia	mm/h	7,1793647	1,99E-04 cm/s 1,99E-03 l/s/mq
Permeabilità	k(cm/s)	1,00E-01	
Pendenza scarpata	i	0,3333	
Velocità v=ki	(cm/s)	3,33E-02	
Lunghezza scarpata	l(m)	20	
Tempo corrivaz	(ore)	16,67	
Altezza falda iniziale	(m)	0,006	
Portata unitaria	q=kiA		2,00E-04 cm/s 2,00E-03 l/s/mq
Portata totale	Q=q*I (l/s)	4,00E-02	
Altezza falda finale	(m)	0,12	