



REGIONE  
LOMBARDIA



### PROGETTO ESECUTIVO

**RIQUALIFICAZIONE LUNGO LA S.P. 42 E MESSA IN SICUREZZA  
DALLA PROG.VA Km 99+440 ALLA PROG.VA Km 105+035,  
SOTTESA DALLA NUOVA VARIANTE, NEI COMUNI DI SELLERO,  
CEDEGOLO E BERZO DEMO, E LUNGO LA S.P. 6 NEI COMUNI DI  
CEVO E SAVIORE DELL'ADAMELLO**

**LOTTO 1**

*Atto anche al superamento delle barriere architettoniche*

<i>Elaborato</i> <b>T16</b>	<b>RELAZIONE DI VERIFICA DELLA STABILITÀ DELLA SCARPATA IN SCAVO PER LO SVINCOLO DI VIA VALLE</b>	
	<b>DATA</b>	<b>OGGETTO</b>
	<i>Febbraio 2019</i>	<i>Aggiornamento a seguito del rapporto Tecnico di Verifica di Progetto del 23/01/2019</i>
	<i>Maggio 2020</i>	<i>Adeguamento alle osservazioni di verifica</i>
IL PROGETTISTA Ing. Landrini Girolamo	IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO	

Elaborazione dati e stesura progetto: STUDIO LANDRINI  
Via Carlo Tassara n°4 Breno (BS) Tel. e fax 0364/21076  
e-mail: landrini@LANDRINIGEROLAMO.191.it

Progetto: SCARPATA IN SCAVO VIA VALLE BERZO DEMO  
Ditta:  
Comune:  
Progettista:  
Direttore dei Lavori:  
Impresa:

## Normativa di riferimento

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018)
- Circolare n.7 del 21/01/2019

## Descrizione metodo di calcolo

La verifica alla stabilità del pendio deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a **1.10**. Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. In particolare il programma esamina un numero di superfici che dipende dalle impostazioni fornite e che sono riportate nella corrispondente sezione. Il processo iterativo permette di determinare il coefficiente di sicurezza di tutte le superfici analizzate. Nella descrizione dei metodi di calcolo si adotterà la seguente simbologia:

$l$	lunghezza della base della striscia
$\alpha$	angolo della base della striscia rispetto all'orizzontale
$b$	larghezza della striscia $b=l \times \cos(\alpha)$
$\phi$	angolo di attrito lungo la base della striscia
$c$	coesione lungo la base della striscia
$\gamma$	peso di volume del terreno
$u$	pressione neutra
$W$	peso della striscia
$N$	sforzo normale alla base della striscia
$T$	sforzo di taglio alla base della striscia
$E_s, E_d$	forze normali di interstriscia a sinistra e a destra
$X_s, X_d$	forze tangenziali di interstriscia a sinistra e a destra
$E_a, E_b$	forze normali di interstriscia alla base ed alla sommità del pendio
$\Delta X$	variazione delle forze tangenziali sulla striscia $\Delta X = X_d - X_s$
$\Delta E$	variazione delle forze normali sulla striscia $\Delta E = E_d - E_s$

## Metodo di Fellenius (metodo svedese) (utilizzato per questa verifica)

Il coefficiente di sicurezza fornito da **Fellenius** si esprime secondo la seguente formula:

$$F = \frac{\sum_i \left( \frac{c_i b_i}{\cos \alpha_i} + [W_i \cos \alpha_i - u_i l_i] \tan \phi_i \right)}{\sum_i W_i \sin \alpha_i}$$

dove **n** è il numero delle strisce considerate, **b<sub>i</sub>** e **α<sub>i</sub>** sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia **i**esima rispetto all'orizzontale, **W<sub>i</sub>** è il peso della striscia **i**esima e **c<sub>i</sub>** e **φ<sub>i</sub>** sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia.

Inoltre **u<sub>i</sub>** ed **l<sub>i</sub>** rappresentano la pressione neutra lungo la base della striscia e la lunghezza della base della striscia (**l<sub>i</sub> = b<sub>i</sub>/cos α<sub>i</sub>**).

Quindi, assunto un cerchio di tentativo lo si suddivide in **n** strisce e dalla formula precedente si ricava **F**. Questo procedimento viene eseguito per il numero di centri prefissato e viene assunto come coefficiente di sicurezza del pendio il minimo dei coefficienti così determinati.

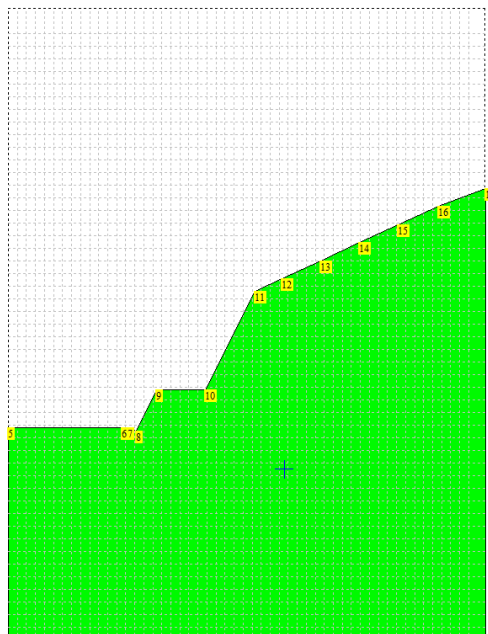
## Descrizione terreno

### Simbologia adottata

<i>Nr.</i>	Indice del terreno
<i>Descrizione</i>	Descrizione terreno
<i>γ</i>	Peso di volume del terreno espresso in kg/mc
<i>γ<sub>w</sub></i>	Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc
<i>φ</i>	Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi
<i>c</i>	Coesione 'efficace' del terreno espressa in kg/cm <sup>2</sup>
<i>φ<sub>u</sub></i>	Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi
<i>c<sub>u</sub></i>	Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cm <sup>2</sup>

<b>Nr.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>γ</b>	<b>γ<sub>w</sub></b>	<b>φ'</b>	<b>c'</b>	<b>φ<sub>u</sub></b>	<b>c<sub>u</sub></b>
1	Terreno 1	2500	2550	31.50	0,970	31.50	0,970

## Profilo del piano campagna



**Fig 1-** Profilo del piano campagna

*Simbologia e convenzioni di segno adottate*

L'ascissa è intesa positiva da sinistra verso destra e l'ordinata positiva verso l'alto.

Nr. Identificativo del punto

X Ascissa del punto del profilo espressa in m

Y Ordinata del punto del profilo espressa in m

Nr.	X [m]	Y [m]
1	0,00	11,77
2	6,30	11,77
3	6,60	11,77
4	7,10	11,57
5	8,20	13,86
6	10,93	13,86
7	13,65	19,30
8	15,17	20,00
9	17,30	21,00
10	19,44	22,00
11	21,60	23,00
12	23,85	24,00
13	26,46	25,00

**Descrizione stratigrafia***Simbologia e convenzioni di segno adottate*

Gli strati sono descritti mediante i punti di contorno (in senso antiorario) e l'indice del terreno di cui è costituito

Strato N° 1 costituito da terreno n° 1 (Terreno 1)

Coordinate dei vertici dello strato n° 1

N°	X[m]	Y[m]
1	0,00	11,77
2	0,00	0,00
3	26,46	0,00
4	26,46	25,00
5	23,85	24,00
6	21,60	23,00
7	19,44	22,00
8	17,30	21,00
9	15,17	20,00
10	13,65	19,30
11	10,93	13,86
12	8,20	13,86
13	7,10	11,57
14	6,60	11,77
15	6,30	11,77

## Risultati analisi

Per l'analisi sono stati utilizzati i seguenti metodi di calcolo:  
Metodo di FELLENIUS (F)

### Impostazioni analisi

Normativa:

Norme Tecniche sulle Costruzioni 14/01/2018

### Coefficienti di partecipazione caso statico

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		<i>A1</i>	<i>A2</i>
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{Gfav}$	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1,50	1,30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<i>Parametri</i>			<i>M1</i>	<i>M2</i>
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi'}$		1,00	1,25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$		1,00	1,25
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$		1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	$\gamma_{qu}$		1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	$\gamma_{\gamma}$		1,00	1,00

### Coefficienti di partecipazione caso sismico

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		<i>A1</i>	<i>A2</i>
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{Gfav}$	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1,00	1,00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<i>Parametri</i>			<i>M1</i>	<i>M2</i>
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi'}$		1,00	1,25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$		1,00	1,25
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$		1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	$\gamma_{qu}$		1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	$\gamma_{\gamma}$		1,00	1,00

Sisma

Accelerazione al suolo $a_g =$	0.595 [m/s <sup>2</sup> ] - ( $a_g/g=0.061$ )
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo ( $S_s$ )	1.00
Coefficiente di amplificazione topografica ( $S_t$ )	1.40
Coefficiente riduzione ( $\beta_s$ )	0.20
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h=(a_g/g*\beta_s*S_t*S) = 1.70$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h = 0.85$
Coefficiente di sicurezza richiesto	1.10

Le superfici sono state analizzate per i casi: [PC] [A2M2]

Sisma verticale: verso il basso - verso l'alto

Analisi condotta in termini di tensioni efficaci

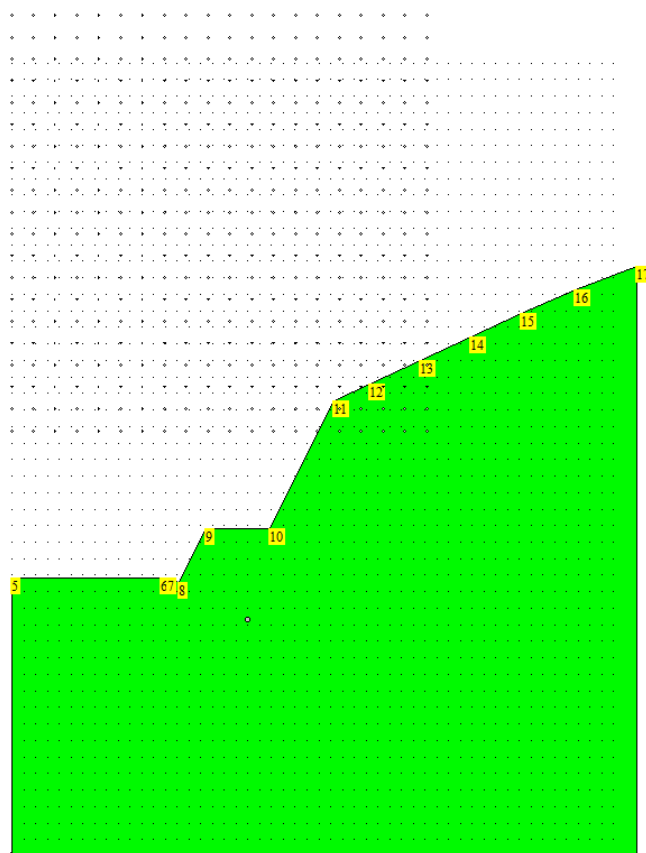
**Impostazioni delle superfici di rottura**

Fig 2- Definizione maglia dei centri di rottura

Si considerano delle superfici di rottura circolari generate tramite la seguente maglia dei centri  
 Origine maglia [m]:  $X_0 = 0,00$   $Y_0 = 18,00$

---

Passo maglia	[m]:	dX = 0,93	dY = 0,93
Numero passi	:	Nx = 20	Ny = 20
Raggio	[m]:	R = 5,00	

Si utilizza un raggio variabile con passo  $dR=0,50$  [m] ed un numero di incrementi pari a 50

Si considerano le superfici passanti per i punti P1(0,00, 0,00) e P2(10,00, 10,00)

Sono state escluse dall'analisi le superfici aventi:

- lunghezza di corda inferiore a 1,00 m
- freccia inferiore a 0,50 m
- volume inferiore a 2,00 mc

Numero di superfici analizzate	10280
Coefficiente di sicurezza minimo	2.569
Superficie con coefficiente di sicurezza minimo	1

## Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

Metodo	Nr. superfici	FS <sub>min</sub>	S <sub>min</sub>	FS <sub>max</sub>	S <sub>max</sub>
FELLENIOUS	10280	2.569	1	27.723	10280

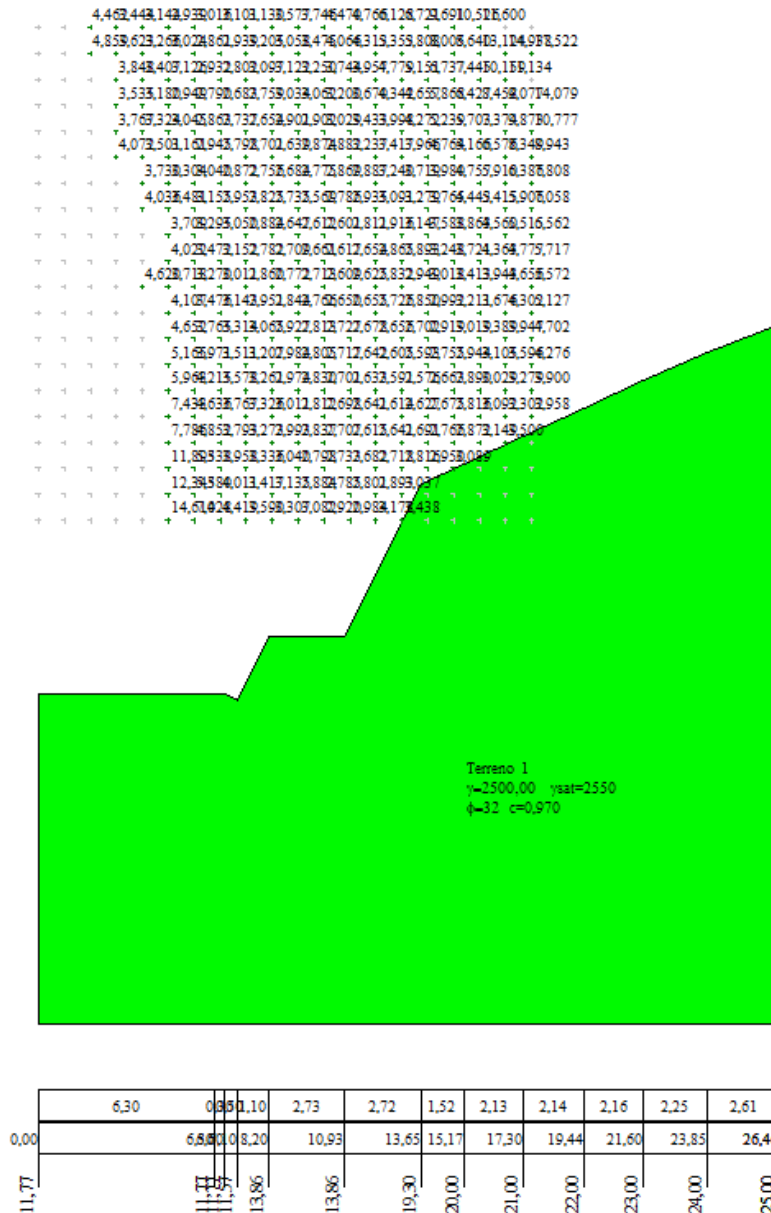


Fig 3- Quadro coefficienti di sicurezza



**Caratteristiche delle superfici analizzate***Simbologia adottata*

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

N° numero d'ordine della superficie cerchio

C<sub>x</sub> ascissa x del centro [m]C<sub>y</sub> ordinata y del centro [m]

R raggio del cerchio espresso in m

x<sub>v</sub>, y<sub>v</sub> ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in mx<sub>m</sub>, y<sub>m</sub> ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m

V volume interessato dalla superficie espresso [cmq]

C<sub>s</sub> coefficiente di sicurezza

caso caso di calcolo

N°	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	R	x <sub>v</sub>	y <sub>v</sub>	x <sub>m</sub>	y <sub>m</sub>	V	C <sub>s</sub>	caso
1	9,26	29,11	17,50	7,18	11,74	26,25	24,92	95,67	2.569 (F)	[A2M2]
2	12,97	22,63	12,50	7,11	11,59	25,32	24,56	133,97	2.576 (F)	[A2M2]
3	12,04	22,63	12,00	7,15	11,67	23,96	24,04	109,33	2.591 (F)	[A2M2]
4	12,97	23,56	13,50	6,38	11,77	26,39	24,97	144,98	2.593 (F)	[A2M2]
5	12,97	22,63	13,00	5,82	11,77	25,79	24,74	148,28	2.596 (F)	[A2M2]
6	12,97	22,63	13,50	4,95	11,77	26,27	24,93	163,57	2.597 (F)	[A2M2]
7	9,26	29,11	17,50	7,18	11,74	26,25	24,92	95,67	2.597 (F)	[A2M2]
8	12,97	22,63	12,50	7,11	11,59	25,32	24,56	133,97	2.600 (F)	[A2M2]
9	12,04	22,63	12,50	5,85	11,77	24,44	24,22	122,38	2.600 (F)	[A2M2]
10	10,19	28,19	16,50	7,28	11,95	26,37	24,97	99,95	2.601 (F)	[A2M2]
11	12,04	22,63	13,00	4,89	11,77	24,92	24,41	136,50	2.601 (F)	[A2M2]
12	12,04	23,56	14,00	4,48	11,77	25,98	24,82	147,79	2.605 (F)	[A2M2]
13	12,04	22,63	14,00	3,20	11,77	25,87	24,78	168,07	2.606 (F)	[A2M2]
14	12,04	22,63	13,50	4,02	11,77	25,40	24,59	151,45	2.607 (F)	[A2M2]
15	10,19	26,33	15,00	7,14	11,65	25,07	24,47	96,14	2.609 (F)	[A2M2]
16	12,04	23,56	13,50	5,46	11,77	25,50	24,63	132,92	2.610 (F)	[A2M2]
17	9,26	28,19	16,50	7,22	11,81	25,36	24,58	88,04	2.612 (F)	[A2M2]
18	12,04	21,70	11,50	6,25	11,77	23,35	23,78	111,72	2.614 (F)	[A2M2]
19	11,11	20,78	10,00	7,12	11,61	20,93	22,69	79,50	2.615 (F)	[A2M2]
20	12,04	21,70	12,00	5,31	11,77	23,82	23,99	125,04	2.616 (F)	[A2M2]
21	12,04	22,63	14,50	2,43	11,77	26,35	24,96	185,11	2.616 (F)	[A2M2]
22	10,19	27,26	16,00	6,18	11,77	26,00	24,82	104,53	2.617 (F)	[A2M2]
23	12,04	22,63	12,00	7,15	11,67	23,96	24,04	109,33	2.617 (F)	[A2M2]
24	12,04	21,70	12,50	4,45	11,77	24,29	24,17	139,68	2.617 (F)	[A2M2]
25	12,97	23,56	13,50	6,38	11,77	26,39	24,97	144,98	2.618 (F)	[A2M2]
26	12,97	22,63	13,00	5,82	11,77	25,79	24,74	148,28	2.620 (F)	[A2M2]
27	12,97	22,63	13,50	4,95	11,77	26,27	24,93	163,57	2.621 (F)	[A2M2]
28	12,04	21,70	11,00	7,22	11,82	22,88	23,57	99,44	2.625 (F)	[A2M2]
29	11,11	26,33	15,00	7,23	11,85	26,04	24,84	108,03	2.625 (F)	[A2M2]
30	12,04	22,63	12,50	5,85	11,77	24,44	24,22	122,38	2.626 (F)	[A2M2]
31	12,04	22,63	13,00	4,89	11,77	24,92	24,41	136,50	2.627 (F)	[A2M2]
32	12,97	21,70	12,00	6,23	11,77	24,68	24,32	136,31	2.627 (F)	[A2M2]
33	12,97	23,56	13,00	7,25	11,88	25,91	24,79	130,69	2.627 (F)	[A2M2]
34	12,04	21,70	13,00	3,65	11,77	24,77	24,35	155,06	2.628 (F)	[A2M2]

35	12,97	21,70	11,50	7,19	11,76	24,21	24,14	122,90	2.629 (F)	[A2M2]
36	10,19	28,19	16,50	7,28	11,95	26,37	24,97	99,95	2.629 (F)	[A2M2]
37	12,04	22,63	14,00	3,20	11,77	25,87	24,78	168,07	2.631 (F)	[A2M2]
38	12,04	23,56	14,00	4,48	11,77	25,98	24,82	147,79	2.631 (F)	[A2M2]
39	12,97	21,70	12,50	5,38	11,77	25,15	24,50	150,77	2.631 (F)	[A2M2]
40	12,04	23,56	13,00	6,56	11,77	25,01	24,44	118,59	2.632 (F)	[A2M2]

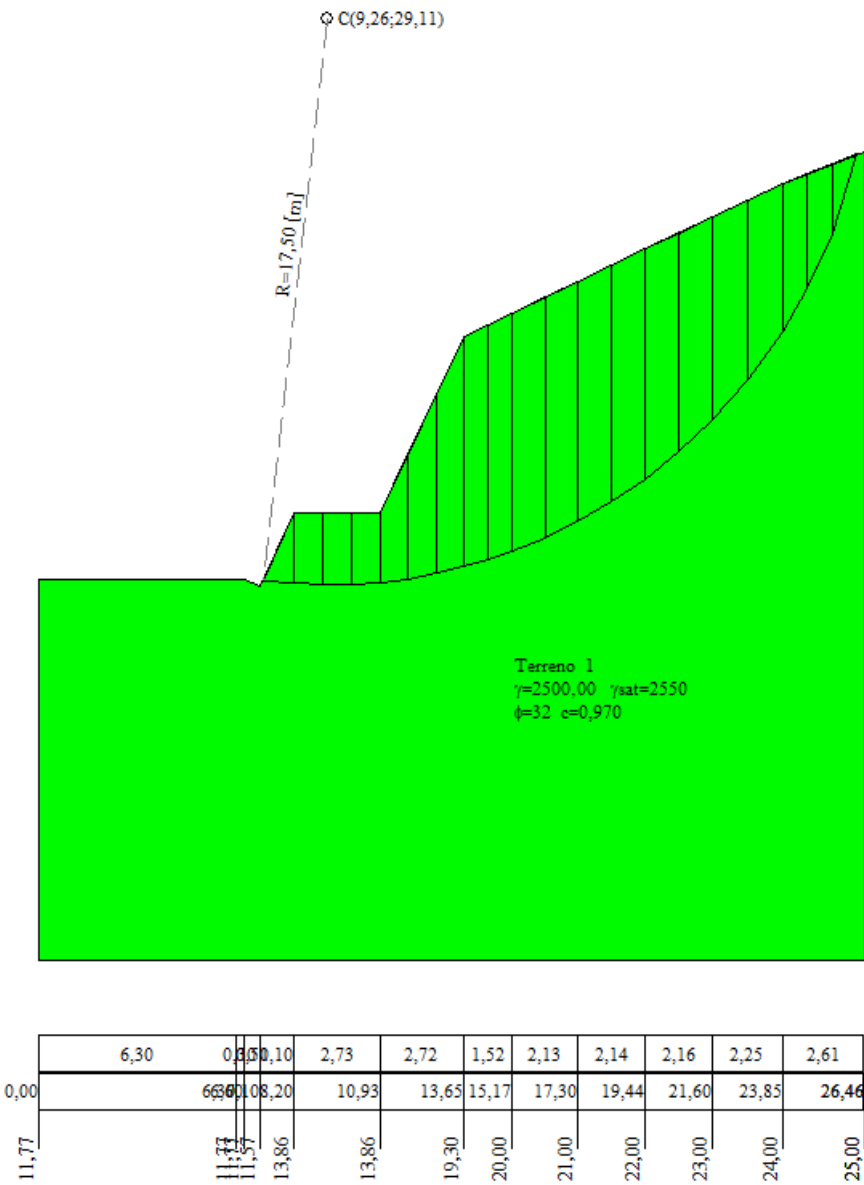


Fig 4- Superficie di rottura 1

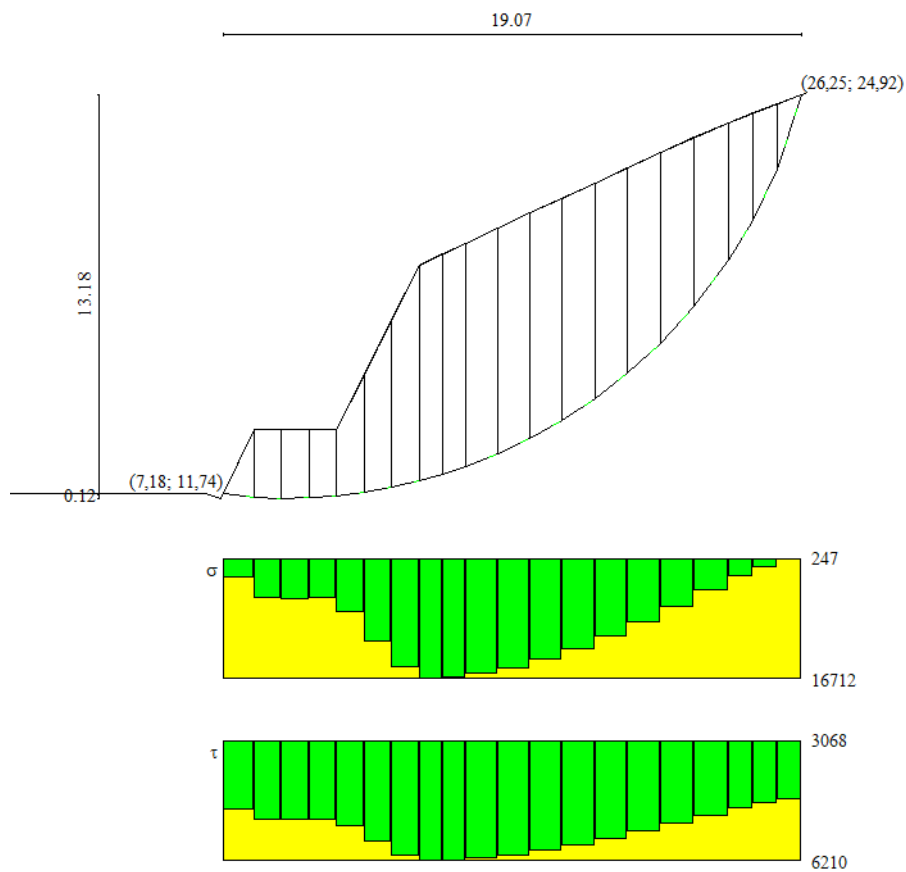


Fig 5- Forze di interstriscia superficie di rottura 1

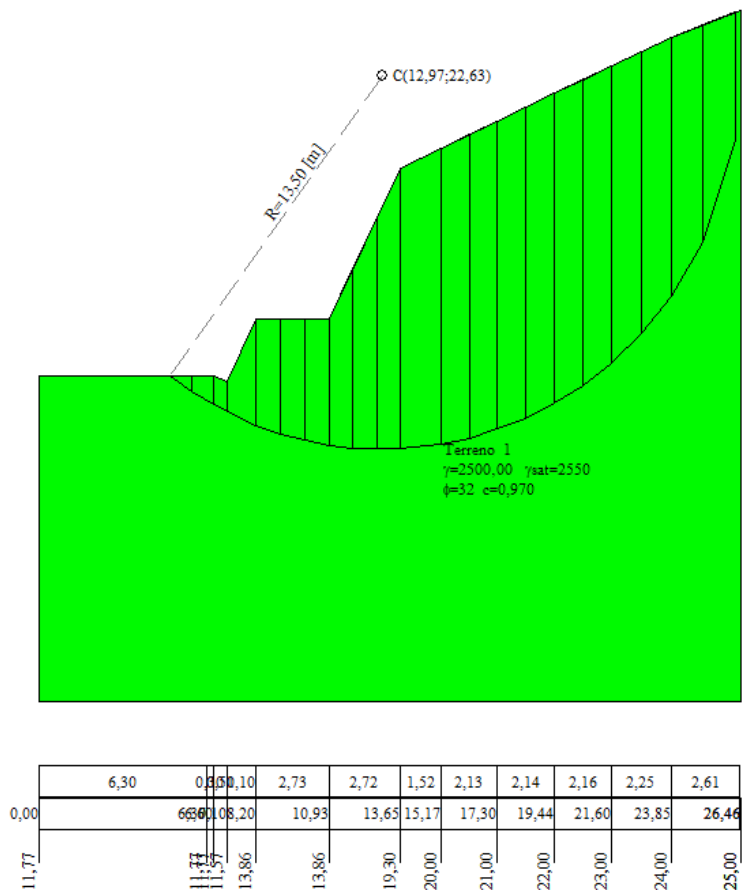


Fig 6- Superficie di rottura 6

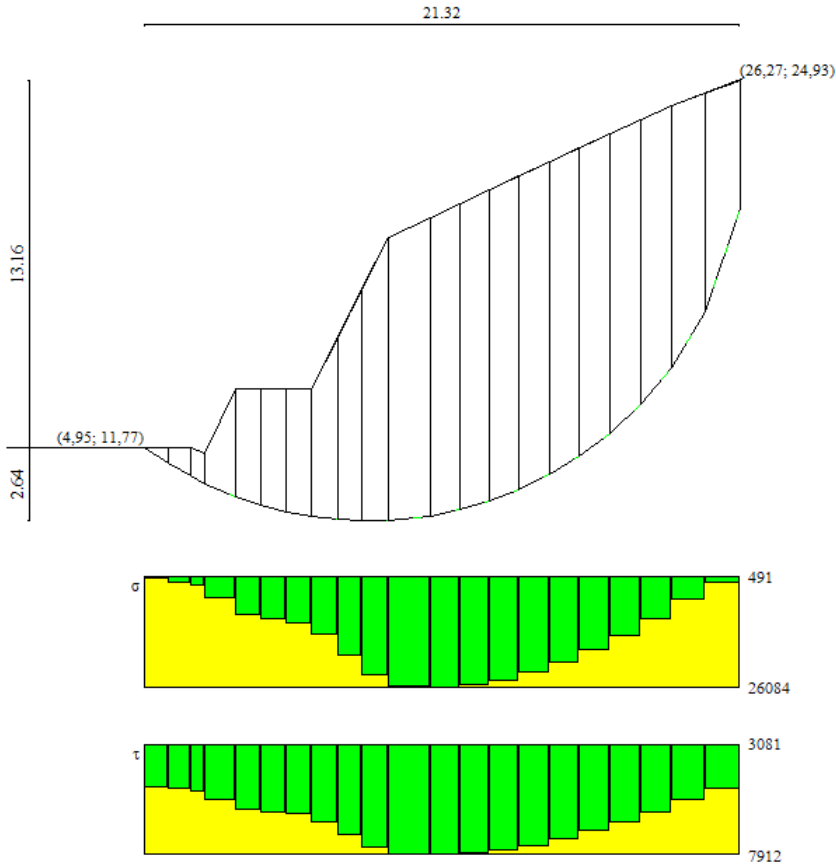


Fig 7- Forze di interstriscia superficie di rottura 6

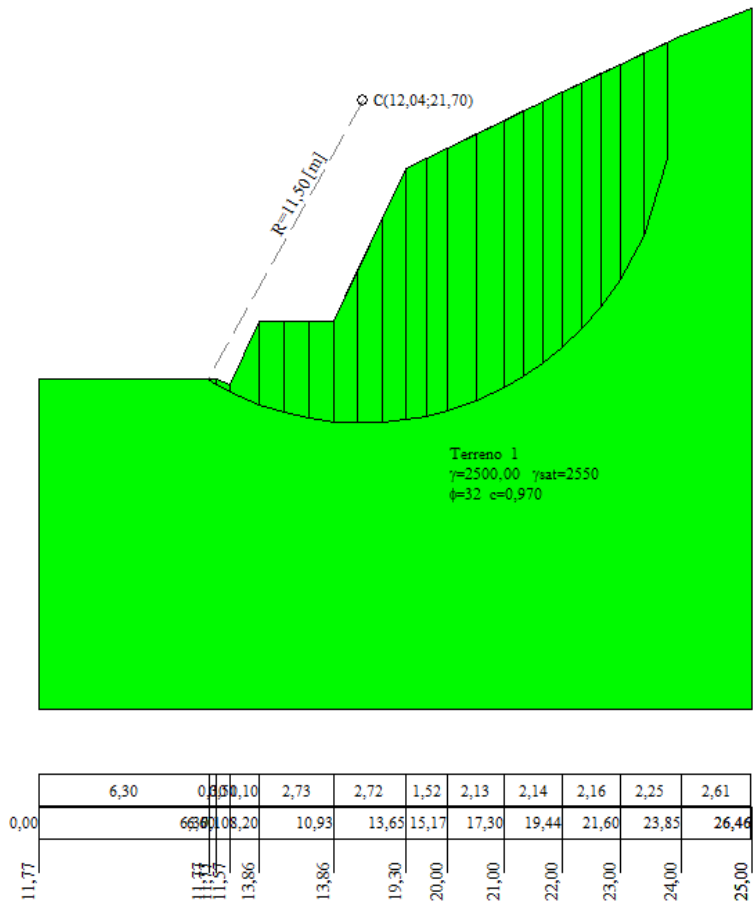




Fig 10- Superficie di rottura 28

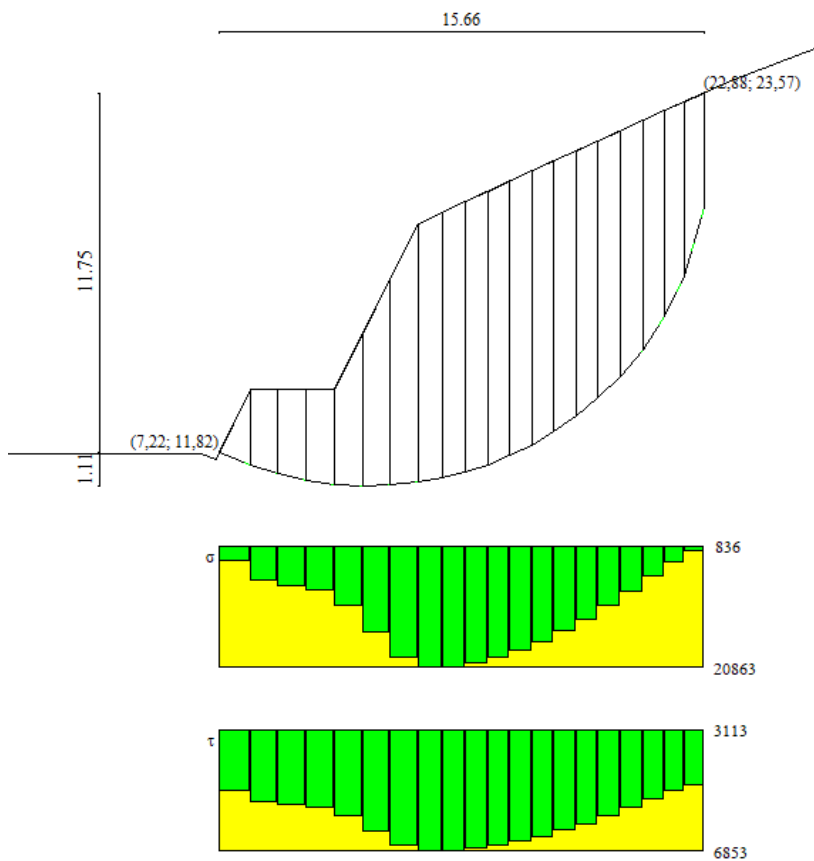
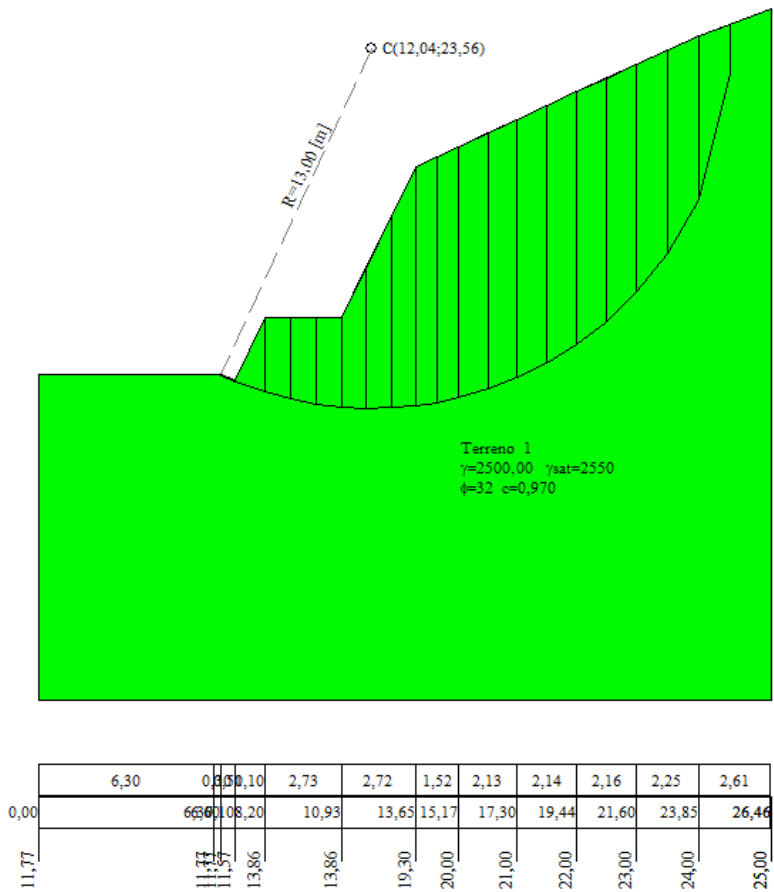
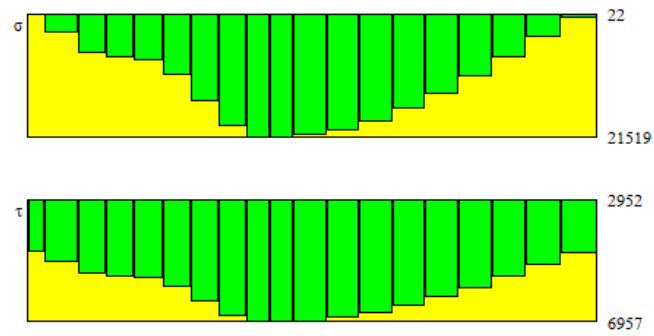
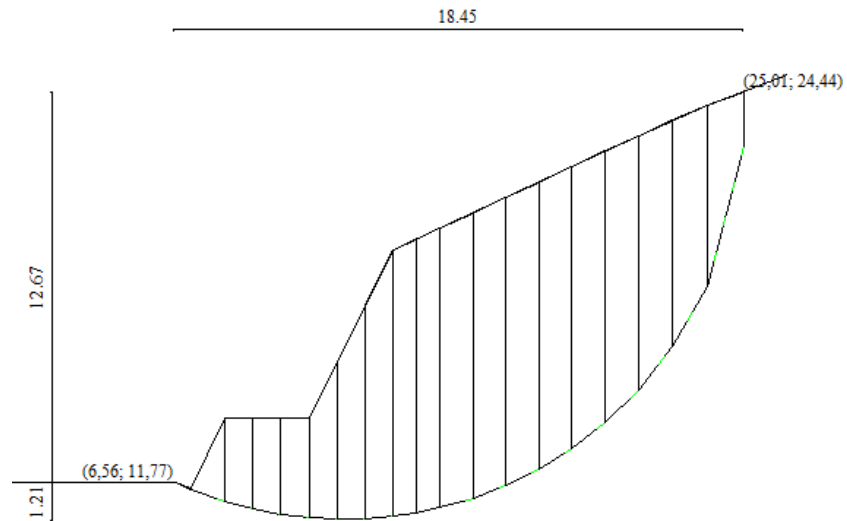


Fig 11- Forze di interstriscia superficie di rottura 28



**Fig 12-** Superficie di rottura 40



**Fig 11-** Forze di interstriscia superficie di rottura 40

## Dichiarazioni secondo N.T.C. 2018 (punto 10.2)

### **Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo**

Il sottoscritto, in qualità di calcolatore delle opere in progetto, dichiara quanto segue.

#### **Tipo di analisi svolta**

L'analisi e le verifiche di stabilità sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico.

I metodi di calcolo implementati sono i classici metodi delle strisce, basati sul concetto dell'equilibrio limite globale. La superficie di rottura è suddivisa in un determinato numero di strisce che consentono di calcolare le grandezze che entrano in gioco nelle equazioni risolutive.

Nel modulo terreni si adotta il criterio di rottura di Mohr-Coulomb. Nel modulo rocce si può adottare il criterio di rottura di Hoek-Brown o di Barton.

Il programma consente di inserire degli interventi di stabilizzazione, che possono intervenire secondo sue modalità diverse: variazione delle forze di interstriscia o resistenza a taglio equivalente. L'analisi sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 17/01/2018.

#### **Origine e caratteristiche dei codici di calcolo**

Titolo	STAP - Stabilità Pendii Terreni
Versione	11.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS)
Utente	SE.T.I. S.R.L.
Licenza	AIS19238G

#### **Affidabilità dei codici di calcolo**

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrice Aztec Informatica srl ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

#### **Modalità di presentazione dei risultati**

La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

#### **Informazioni generali sull'elaborazione**

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

#### **Giudizio motivato di accettabilità dei risultati**

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.



---

In base a quanto sopra, io sottoscritto asserisco che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

Luogo e data

---

Il progettista  
( )

---