

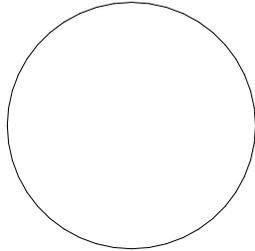
COMUNE DI CROPALATI

(Provincia di Cosenza)

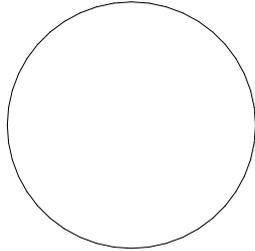
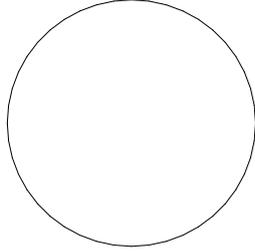
PROGETTO DEFINITIVO/ESECUTIVO

**MESSA IN SICUREZZA E CONSOLIDAMENTO DI LUOGHI ESPOSTI
A RISCHIO IDRAULICO E GEOMORFOLOGICO MOLTO ELEVATO**

<u>RELAZIONI</u>	<u>TAVOLA</u>	<u>SCALA</u>
RELAZIONE AI SENSI DEL CAP. 10.2 DELLE N.T.C. 2018	R.02	---

COMMITTENTE: Amministrazione Comunale di Cropalati RESP. UNICO DEL PROCEDIMENTO: Ing. Andrea CALIO'	Timbro e Firma 
--	--

LOCALITA': C.da Circonvallazione

PROGETTISTA - D.L. - CSP - CSE: Ing. Francesco MANGONE	Timbro e Firma 
GEOLOGO: Dott. Giuseppe CUFARI	

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

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

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

Tipo di analisi svolta

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni.

Il calcolo dei muri di sostegno viene eseguito secondo le seguenti fasi:

- Calcolo della spinta del terreno
- Verifica a ribaltamento
- Verifica a scorrimento del muro sul piano di posa
- Verifica della stabilità complesso fondazione terreno (carico limite)
- Verifica della stabilità globale
- Calcolo delle sollecitazioni sia del muro che della fondazione, progetto delle armature e relative verifiche dei materiali.
- Calcolo della portanza assiale e trasversale dei pali. Progetto e verifica delle armature dei pali inseriti.

L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del D.M. 17/07/2018.

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Produttore	Aztec Informatica srl, Casali del Manco - loc. Casole Bruzio (CS)
Utente	Ing. Labernarda Rodolfo AIU57208G
Licenza	AIU57208G

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.

Aztec Informatica®

MAX

Analisi e calcolo Muri di sostegno

ESEMPI DI VALIDAZIONE

Copyright © 2018 Aztec Informatica s.r.l.

Tutti i diritti riservati.

Qualsiasi documento tecnico che venga reso disponibile da Aztec Informatica è stato realizzato da Aztec Informatica che ne possiede il Copyright ed è proprietà di Aztec Informatica. La documentazione potrebbe contenere imprecisioni tecniche o di altro tipo, oppure errori tipografici. Aztec Informatica si riserva il diritto di apportare modifiche senza preavviso.

Introduzione

Il presente documento raccoglie un insieme di test effettuati per verificare l'affidabilità e l'applicabilità del software prodotto dalla Aztec Informatica.

I test effettuati hanno evidenziato la corrispondenza tra i risultati ottenuti utilizzando il software Aztec e la soluzione teorica riportata nei testi di riferimento.

Ogni esempio svolto riporta la fonte di riferimento e i dati necessari per riproporre il calcolo eseguito.

Esempi di validazione

Di seguito vengono riportati degli esempi numerici svolti manualmente ed i risultati verranno confrontati con i valori ottenuti dal programma, ipotizzando gli stessi schemi di calcolo.

Esempio n° 1: Calcolo della spinta, del punto di applicazione e della pressione massima.

Esempio n° 2: Calcolo della spinta di un terreno sotto falda.

Esempio n° 3: Calcolo di una paratia in un terreno incoerente con tirante di ancoraggio, con il metodo degli spostamenti.

Esempio n° 4: Calcolo delle pressioni attive e passive alla base di una paratia in un terreno granulare sotto falda. La falda è presente sia a monte che a valle in due configurazioni.

Esempio n° 5: Calcolo della spinta con il metodo di Culmann.

Esempio n° 6: Calcolo del carico limite di un palo in sabbia.

Esempio n° 1

Riferimento: **Meccanica dei terreni.**

T.W. Lambe, R.V. Whitman

Traduzione di Calogero Valore – Università di Palermo

Dario Flacovio Editore

Esempio 13.2 - Pagina 187.

DATI

Altezza muro $H = 6.10$ m;

Peso di volume del terreno $\gamma = 17.30$ kN/m³;

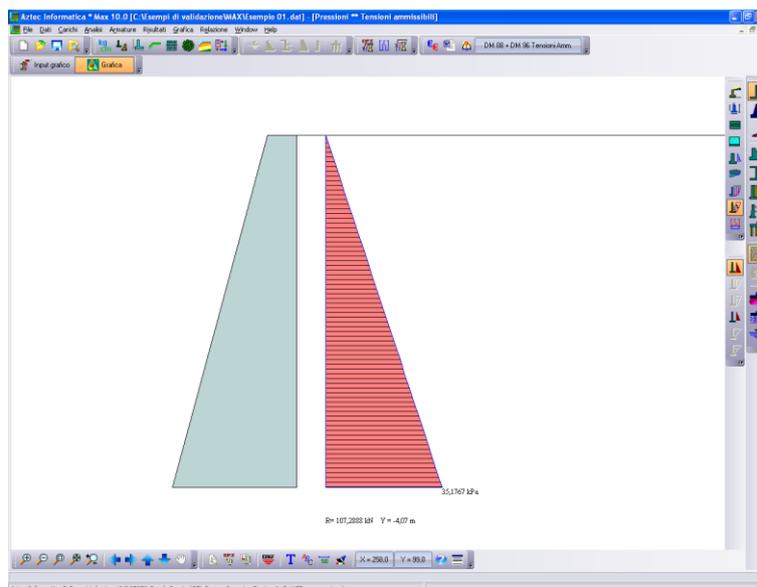
Angolo di attrito $\phi = 30^\circ$;

Determinare per lo stato limite attivo:

- La pressione orizzontale alla base del paramento del muro;
- La spinta orizzontale totale;
- Il punto di applicazione della spinta.

RISULTATI

	Letteratura	Programma MAX
Pressione orizzontale alla base del paramento del muro [kPa]	35.14	35.18
Spinta orizzontale totale [kN/m]	107.18	107.29
Punto di applicazione della spinta dalla base del muro [m]	2.03	2.03



Esempio n° 2

Riferimento: **Meccanica dei terreni.**

T.W. Lambe, R.V. Whitman

Traduzione di Calogero Valore – Università di Palermo

Dario Flacovio Editore

Esempio 23.2 - Pagina 355.

DATI

Altezza muro $H = 6.10$ m;

Peso di volume del terreno $\gamma = 17.31$ kN/m³;

Peso di volume saturo del terreno $\gamma_s = 20.71$ kN/m³;

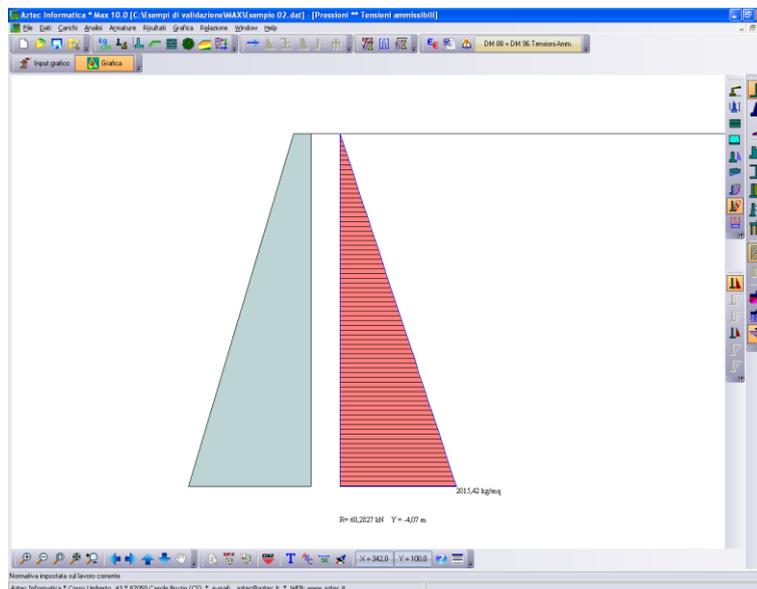
Angolo di attrito $\phi = 30^\circ$;

Angolo di attrito terreno-muro $\delta = 30^\circ$;

Determinare la spinta attiva netta.

RISULTATI

	Letteratura	Programma MAX
Coefficiente di spinta attiva	0.295	0.297
Spinta orizzontale totale [kN/m]	59.80	60.28

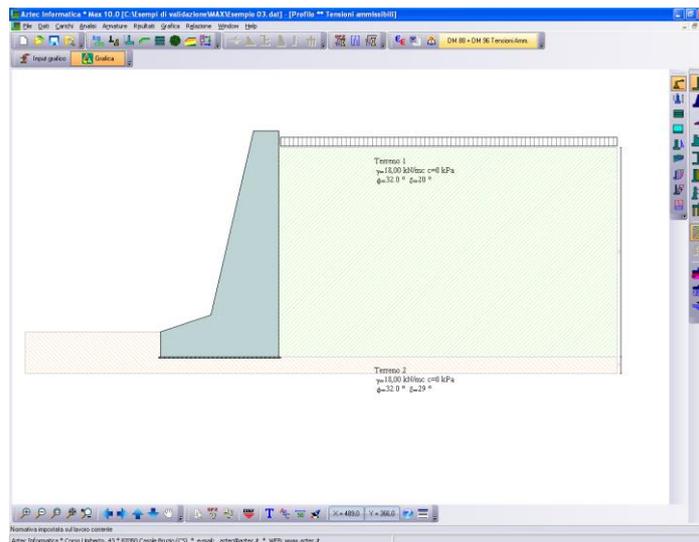


Esempio n° 3

Riferimento: **Geotecnica.**
R. Lancellotta
 Terza edizione
 Zanichelli editore
 Esempio 8.6 - Pagina 371.

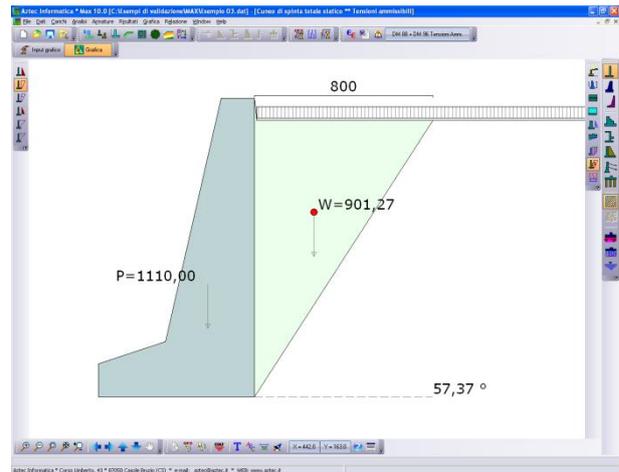
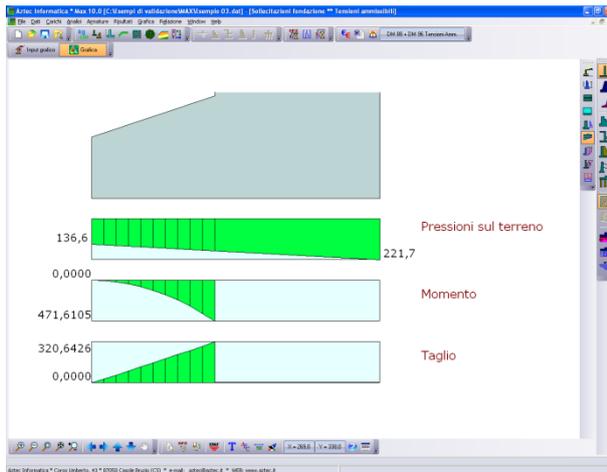
DATI

Altezza muro $H = 13.5$ m;
 Peso di volume del terreno $\gamma = 18.00$ kN/m³;
 Angolo di attrito $\phi = 32^\circ$;
 Angolo di attrito terreno-muro per terreno spingente $\delta = 20^\circ$;
 Angolo di attrito terreno-muro per terreno di fondazione ($\text{tg } \delta = 0.55$) $\delta = 28.81^\circ$;
 Terrapieno orizzontale $\beta = 0^\circ$ che parte a 1 m più in basso dalla testa del muro;



RISULTATI

	Letteratura	Programma MAX
Coefficiente di spinta attiva	0.275	0.2755
Componente verticale spinta [kN/m]	144.02	144.36
Componente orizzontale spinta [kN/m]	395.83	396.64
Peso del muro [kN/m]	1110	1110
Coefficiente di sicurezza allo scorrimento	1.74	1.74
Momento ribaltante	708.53	1721.79
Momento stabilizzante	5450.10	6459.56
Coefficiente di sicurezza al ribaltamento	7.69	3.75
Pressione media sul piano di fondazione	179.15	Pmin = 136.6 Pmax = 221.7 Pmed = 179.15



Le differenze maggiori sono sulla verifica a ribaltamento.

Nella verifica a ribaltamento la componente verticale di spinta può essere considerata o nel momento ribaltante (metodo usato nell'esempio di letteratura) o nel momento stabilizzante (metodo usato dal programma MAX).

Metodo usato nell'esempio di letteratura:

$$M_R = 363.52 * 12.50 / 3.0 + 32.32 * 12.50 / 2.0 - 144.02 * 7.00 = 708.53 \text{ kN m / m}$$

$$M_S = 108 * 1.50 + 36 * 2.00 + 240 * 5.00 + 396 * 6.25 + 330 * 4.67 = 5450.10 \text{ kN m / m}$$

$$F_s = M_S / M_R = 7.69$$

Metodo usato dal programma MAX:

$$M_R = 396.64 * 4.34 = 1721.79 \text{ kN m / m}$$

$$M_S = 1110 * (7.00 - 2.09) + 144.36 * 7.00 = 6459.56 \text{ kN m / m}$$

$$F_s = M_S / M_R = 3.75$$

Invertendo le procedure di calcolo dei momenti stabilizzanti e ribaltanti, tra il metodo utilizzato dal programma e quello dell'esempio di letteratura, i fattori di sicurezza si devono invertire.

Metodo usato nell'esempio di letteratura:

$$M_R = 363.52 * 12.50 / 3.0 + 32.32 * 12.50 / 2.0 = 1716.67 \text{ kN m / m}$$

$$M_S = 108 * 1.50 + 36 * 2.00 + 240 * 5.00 + 396 * 6.25 + 330 * 4.67 + 144.02 * 7.00 = 6458.24 \text{ kN m / m}$$

$$F_s = M_S / M_R = 3.76$$

Metodo usato dal programma MAX:

$$M_R = 396.64 * 4.34 - 144.36 * 7.00 = 710.90 \text{ kN m / m}$$

$$M_S = 1110 * (7.00 - 2.09) = 5450.10 \text{ kN m / m}$$

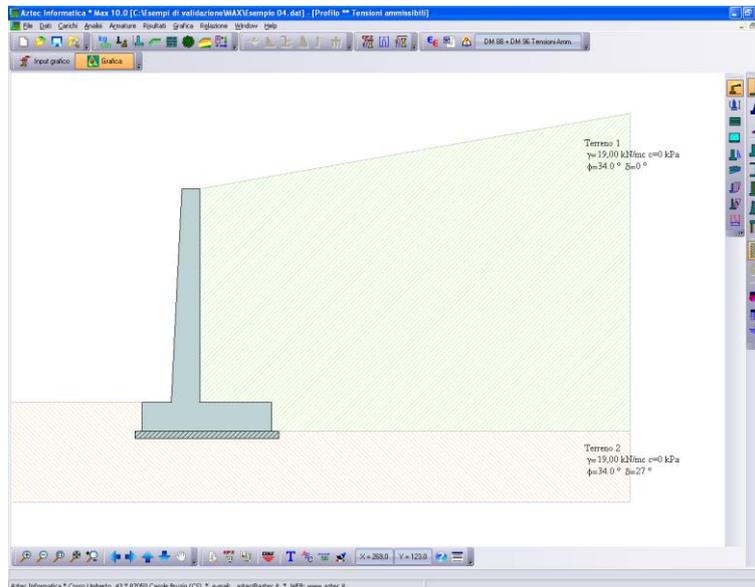
$$F_s = M_S / M_R = 7.67$$

Esempio n° 4

Riferimento: **Geotecnica.**
R. Lancellotta
 Terza edizione
 Zanichelli editore
 Esempio 8.7 - Pagina 373.

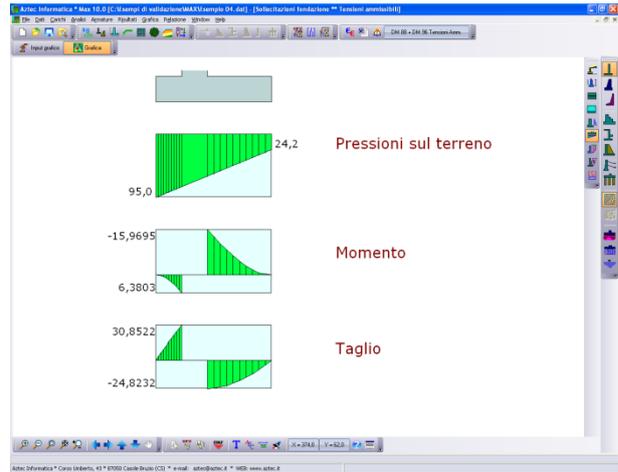
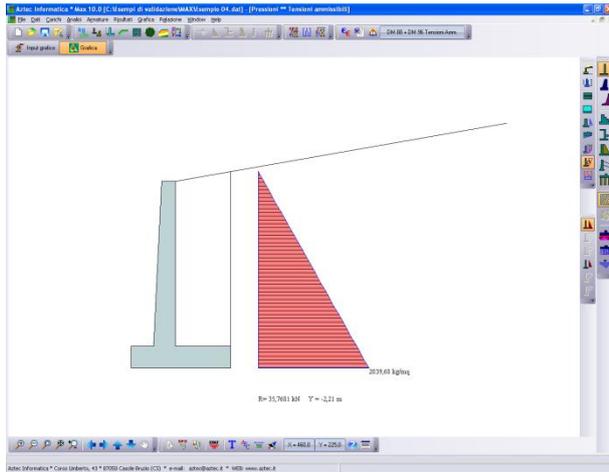
DATI

Altezza muro $H = 3.4$ m;
 Peso di volume del terreno $\gamma = 19.00$ kN/m³;
 Angolo di attrito $\phi = 34^\circ$;
 Angolo di attrito terreno-muro per terreno di fondazione ($\text{tg } \delta = 0.50$) $\delta = 26.565^\circ$;
 Terrapieno orizzontale $\beta = 10^\circ$;



RISULTATI

	Letteratura	Programma MAX
Coefficiente di spinta attiva	0.287	0.2944
Componente verticale spinta [kN/m]	5.96	6.21
Componente orizzontale spinta [kN/m]	33.81	35.23
Peso del muro [kN/m]	101.05	101.05
Coefficiente di sicurezza allo scorrimento	1.58	1.52
Eccentricità carichi verticali	0.165	0.178
Pressione massima sul piano di fondazione	92.15	95.00



Esempio n° 5

Riferimento: **Fondazioni progetto e analisi.**

J.E. Bowles

Terza edizione

McGraw-Hill Libri Italia srl

Esempio 11.6 - Pagina 544.

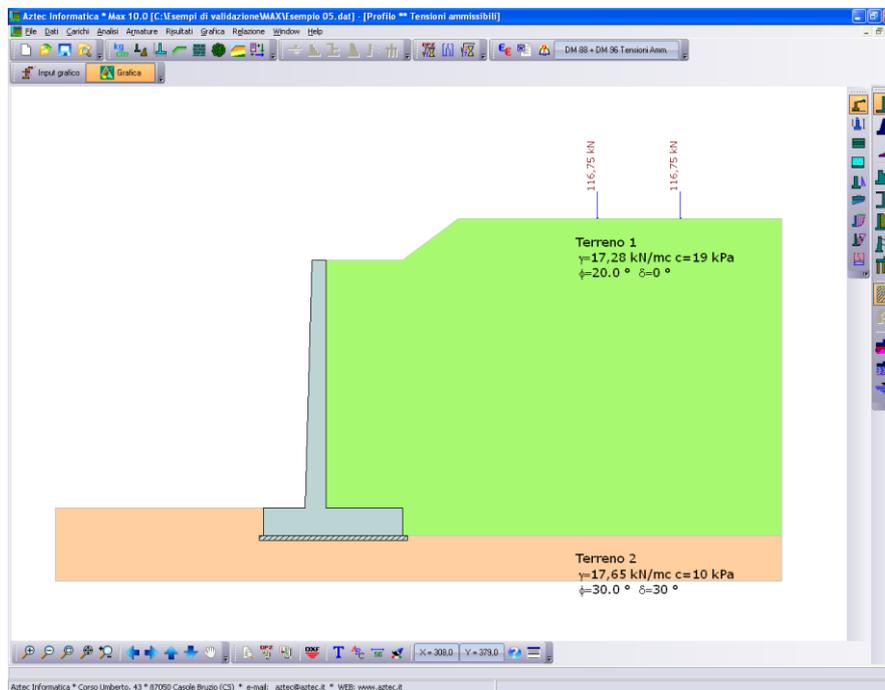
DATI

Altezza muro $H = 6.10$ m;

Peso di volume del terreno $\gamma = 17.28$ kN/m³;

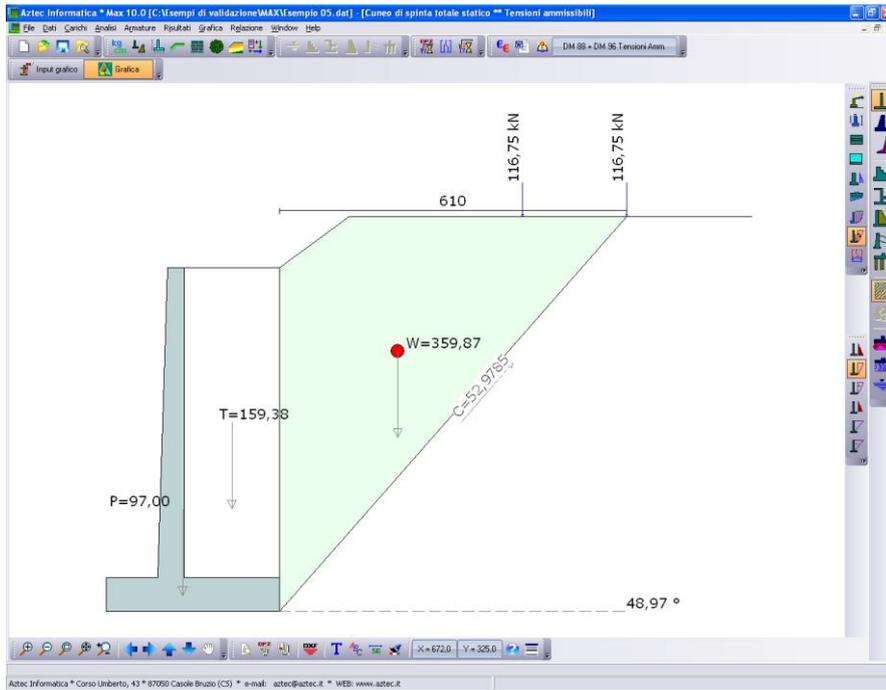
Angolo di attrito $\phi = 20^\circ$;

Coesione $c = 9.58$ kPa



RISULTATI

	Letteratura	Programma MAX
Spinta [kN/m]	173.67	171.07



Esempio n° 6

Riferimento: **Meccanica dei terreni.**

T.W. Lambe, R.V. Whitman

Traduzione di Calogero Valore – Università di Palermo

Dario Flacovio Editore

Esempio 33.1 - Pagina 531.

DATI

Palo tubolare in acciaio riempito di cls con diametro $D = 0.30$ m e lunghezza $L = 12.00$ m;

Peso di volume saturo del terreno $\gamma_s = 18.90$ kN/m³;

Angolo di attrito $\phi = 30^\circ$;

Angolo di attrito palo-terreno $\delta = 30^\circ$;

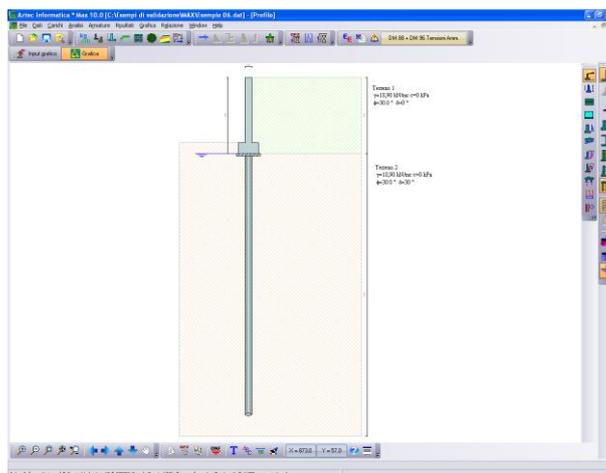
Coefficiente di spinta $K_s = 2.00$.

Determinare il carico limite del palo.

RISULTATI

	Letteratura	Programma CARL
Portanza di punta P_P	231	249
Portanza laterale P_L	712	712
Portanza totale $P_T = P_P + P_L$	943	961

Le differenze sono dovute al coefficiente di capacità portante N_q . Il valore utilizzato nella letteratura è un valore medio che non è legato a nessun metodo nello specifico, mentre il valore determinato dal programma, è quello del metodo di Berezantzev.



Aztec Informatica s.r.l.

Software per l'Ingegneria Geotecnica e Strutturale

Corso Umberto, 43 - 87050 Casali del Manco (CS)

Tel. 0984-432617, 438325 - e Fax 0984-432617

e-mail: aztec@aztec.it

web: www.aztec.it

Aztec Informatica®

STAP

Stabilità Pendii Terreni e Rocce

ESEMPI DI VALIDAZIONE

Copyright © 1999...2014 Aztec Informatica s.r.l.

Tutti i diritti riservati.

Qualsiasi documento tecnico che venga reso disponibile da Aztec Informatica è stato realizzato da Aztec Informatica che ne possiede il Copyright ed è proprietà di Aztec Informatica. La documentazione potrebbe contenere imprecisioni tecniche o di altro tipo, oppure errori tipografici. Aztec Informatica si riserva il diritto di apportare modifiche senza preavviso.

Introduzione

Il presente documento raccoglie un insieme di test effettuati per verificare l'affidabilità e l'applicabilità del software prodotto dalla Aztec Informatica.

I test effettuati hanno evidenziato la corrispondenza tra i risultati ottenuti utilizzando il software Aztec e la soluzione teorica riportata nei testi di riferimento.

Ogni esempio svolto riporta la fonte di riferimento e i dati necessari per riproporre il calcolo eseguito.

Esempi di validazione

Di seguito vengono riportati degli esempi numerici svolti manualmente ed i risultati verranno confrontati con i valori ottenuti dal programma, ipotizzando gli stessi schemi di calcolo.

- Esempio 1: Il modello di pendio stratificato senza falda è preso da V.R. Greco, esempio n. 3 ed originariamente pubblicato da Arai e Tagyo (1985) e ripreso da altri autori successivamente quali Sridevi e Deep (1991), Kim et al. (2002), Malkawi et al. (2001).
- Esempio 2: Il modello di pendio omogeneo senza falda è preso da V.R. Greco, esempio n. 1 ed originariamente pubblicato da Yamagami and Ueta (1988).
- Esempio 3: Il modello di pendio stratificato senza falda è preso da V.R. Greco, esempio n. 4 ed originariamente pubblicato da Yamagami and Ueta (1988).
- Esempio 4: Il modello di pendio stratificato con falda è preso da V.R. Greco, esempio n. 5 ed originariamente pubblicato da Chen e Shao (1988).
- Esempio 5: Il modello di pendio stratificato con falda è preso da Geotechnical earthquake engineering, esempio 10.2 pag. 435.
- Esempio 6: Il modello di pendio con falda è preso da T.W. Lambe, R.V. Whitman fig.24.16 pag. 392.
- Esempio 7: Il modello di pendio senza falda è preso da N.R. Morgenstern e V.E. Price fig.5. pag. 88.
- Esempio 8: Il modello di pendio stratificato senza falda è stato analizzato da James M. Bell.
- Esempio 9: Il modello di pendio stratificato con falda è stato analizzato da D.Y. Zhu et al. (example 1) riportato originariamente da Fredlund and Krahn (1977).
- Esempio 10: Il modello di pendio stratificato con falda è stato analizzato da D.Y. Zhu et al. (example 2) riportato originariamente da Fredlund and Krahn (1977).

Esempio n° 1

Riferimento: Venanzio R. Greco (1996) – JOURNAL OF GEOTECHNICAL ENGINEERING, Vol. 122, No. 7, July, 1996 (pag. 517).

Il modello di pendio stratificato senza falda è preso da V. R. Greco, esempio n. 3 ed originariamente pubblicato da Arai e Tagyo (1985) e ripreso da altri autori successivamente quali Sridevi e Deep (1991), Kim et al. (2002), Malkawi et al. (2001).

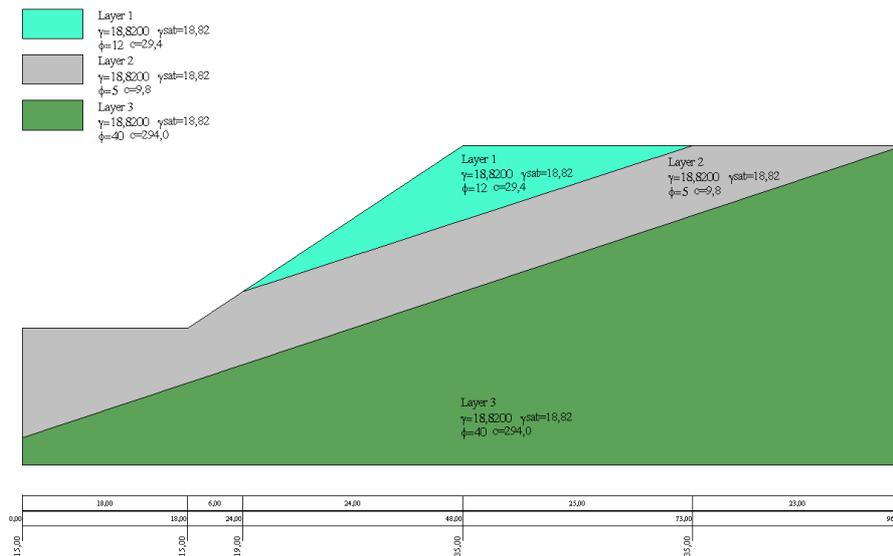
Descrizione terreni

	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ [deg.]
Layer 1	18.82	29.40	12.0
Layer 2	18.82	9.80	5.0
Layer 3	18.82	294.00	40.0

Profili e stratificazione terreni

Piano campagna		Stato 2		Strato 3	
X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
0.0	15.0	24.0	19.0	0.0	3.0
18.0	15.0	73.0	35.0	96.0	35.0
24.0	19.0				
48.0	35.0				
73.0	35.0				
96.0	35.0				

Profili e stratificazione terreni

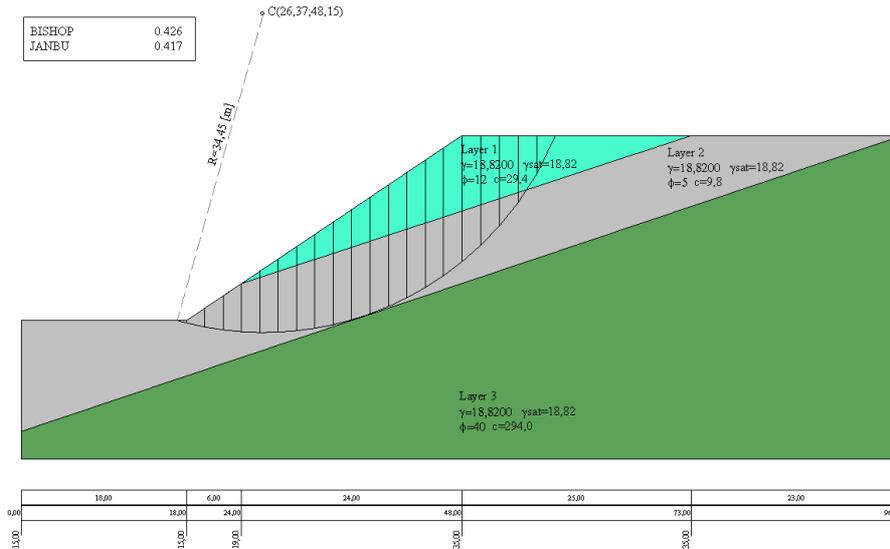


Risultati ottenuti usando una superficie circolare.

Posizione del centro e raggio della superficie circolare (x=26.37 m, y=48.15 m, R=34.45 m)

	Bishop simplified	Jambu simplified
Arai and Tagyo (1985)	Fs=0.417	-
Kim et al. (2002)	Fs=0.430	-
Software STAP	Fs=0.426	Fs=0.417

Superficie di rottura circolare

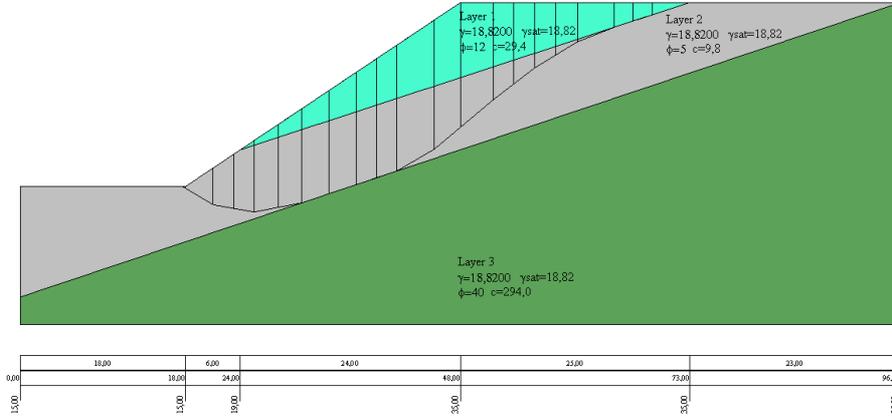


Risultati ottenuti usando superfici generiche.

	Spencer	Jambu simplified	Jambu corrected
V. R. Greco (1996) - monte carlo searching	Fs=0.39	-	-
Kim et al. (2002) – random search	Fs=0.44	-	-
Kim et al. (2002) – pattern search	Fs=0.39	-	-
Arai and Tagyo (1985)	-	Fs=0.405	Fs=0.430
Software STAP		Fs=0.392	Fs=0.421

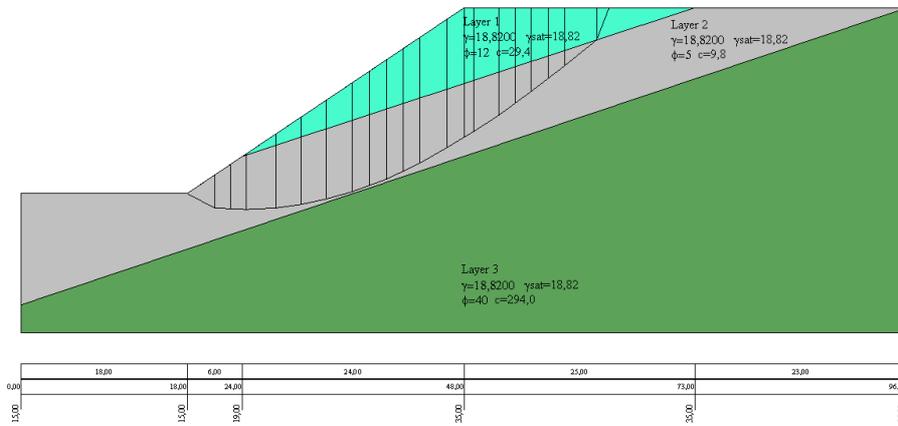
Superficie di rottura circolare

JANBU 0.392



Superficie di rottura circolare

JANBU COMPLETO 0.421



Esempio n° 2

Riferimento: Venanzio R. Greco (1996) – JOURNAL OF GEOTECHNICAL ENGINEERING, Vol 122, No. 7, July, 1996 (pag. 517).

Il modello di pendio omogeneo senza falda è preso da V. R. Greco, esempio n. 1 ed originariamente pubblicato da Yamagami and Ueta (1988).

Descrizione terreni

	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ [deg.]
Layer 1	17.64	9.80	10.0

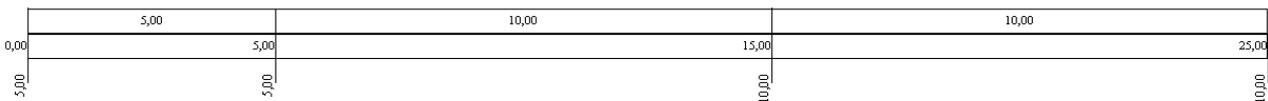
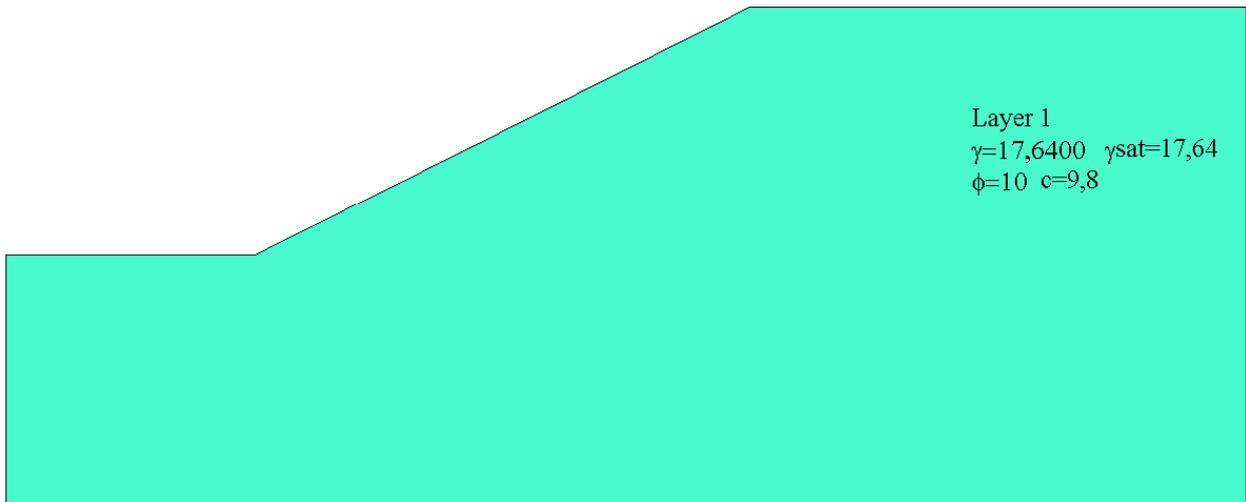
Profili e stratificazione terreni

Piano campagna	
X [m]	Y [m]
0.0	5.0
5.0	5.0
15.0	10.0
25.0	10.0

Profilo e stratificazione terreno



Layer 1
 $\gamma=17,6400$ $\gamma_{sat}=17,64$
 $\phi=10$ $c=9,8$

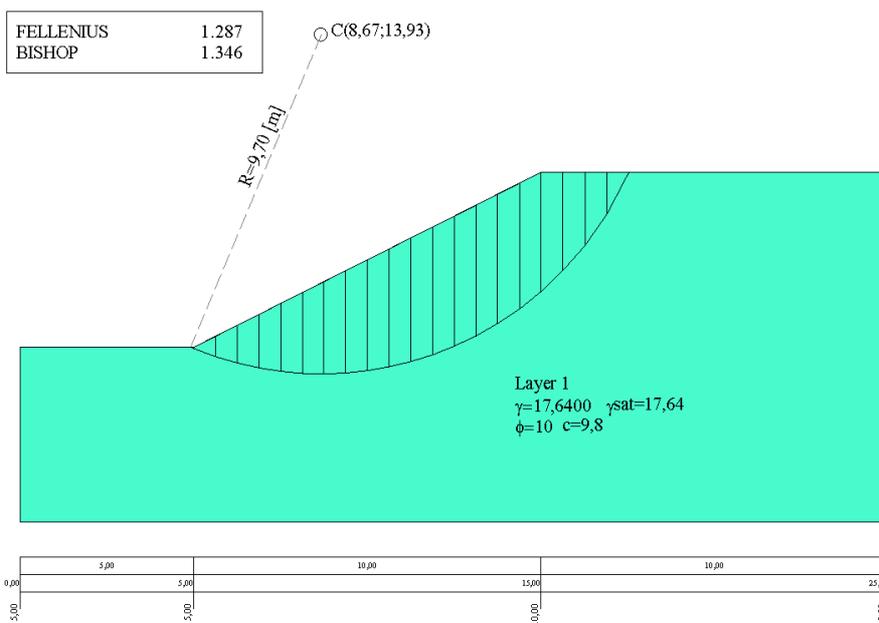


Risultati ottenuti usando una superficie circolare

Posizione del centro e raggio della superficie circolare (x=8.672 m, y=13.934 m, R=9.685 m).

	Bishop simplified	Fellenius
Yamagami and Ueta (1988)	Fs=1.348	Fs=1.282
Software STAP	Fs=1.346	Fs=1.287

Superficie di rottura circolare

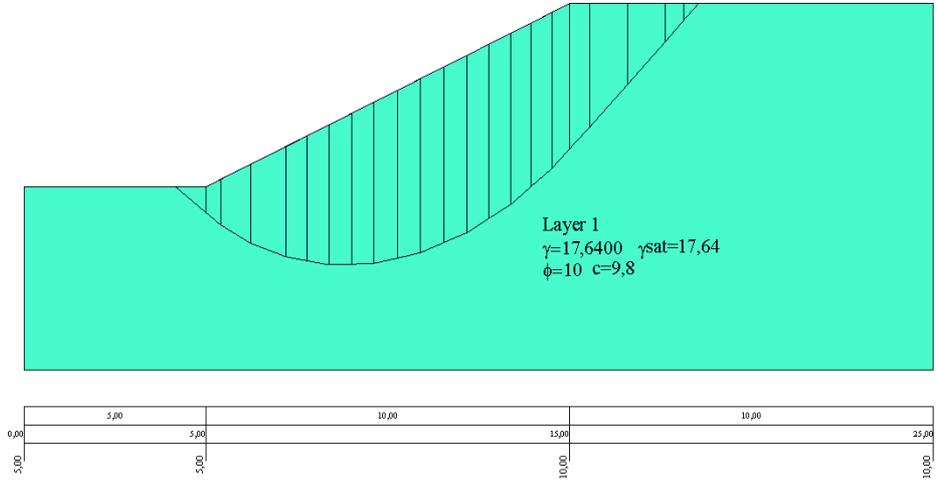


Risultati ottenuti usando superfici generiche.

	Fs (Spencer)	Fs (Jambu simplified)
V. R. Greco (1996) - monte carlo searching	1.327 – 1.333	1.185
Yamagami and Ueta (1988) - simplex	1.339 – 1.348	
Software STAP	1.327	1.179

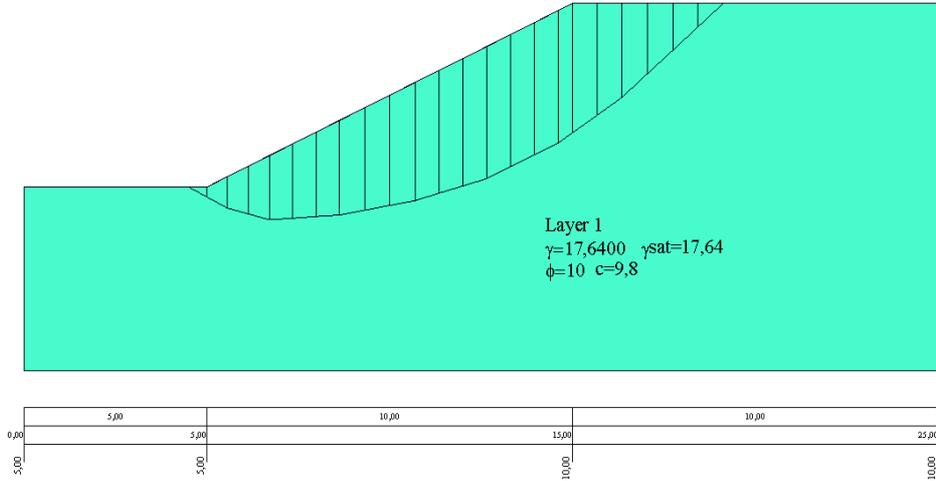
Superficie di rottura generica

JANBU 1.179



Superficie di rottura generica

SPENCER 1.327



Esempio 3

Riferimento: Venanzio R. Greco (1996) – JOURNAL OF GEOTECHNICAL ENGINEERING, Vol 122, No. 7, July, 1996 (pag. 517).

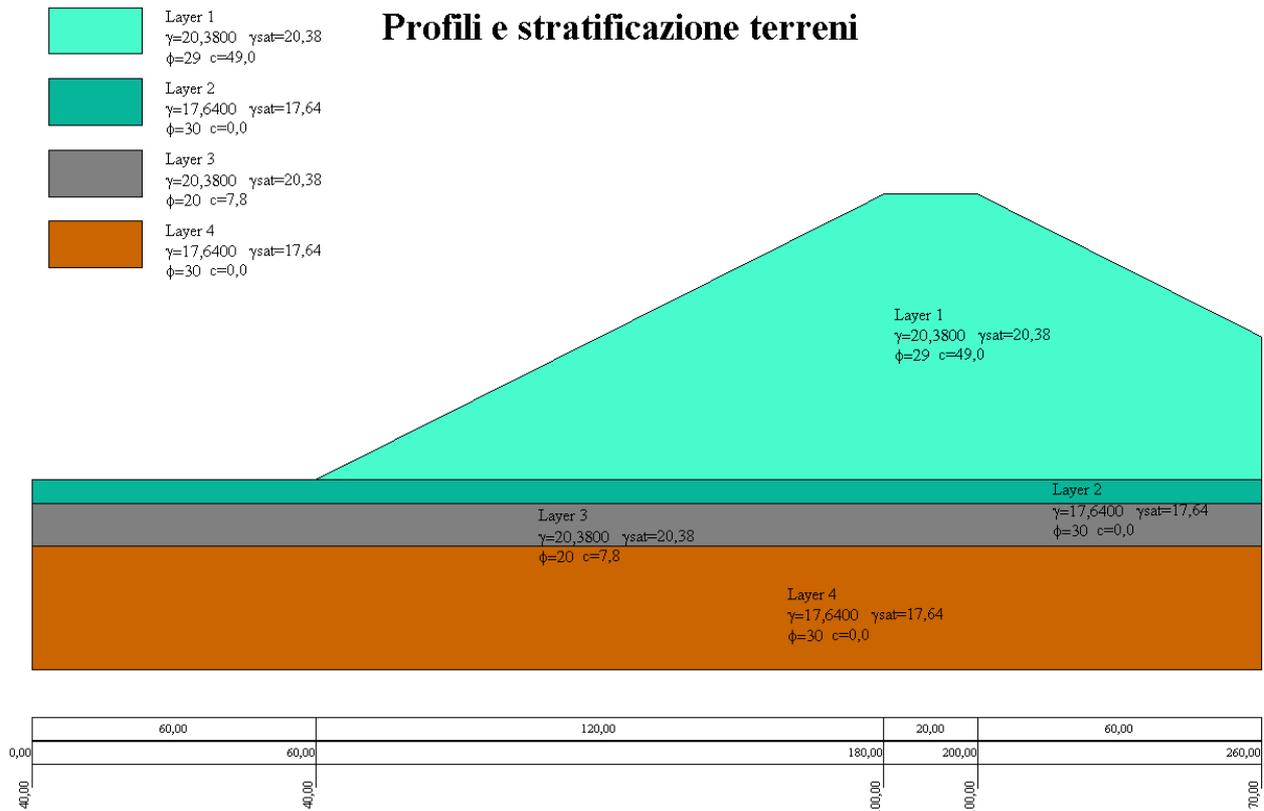
Il modello di pendio stratificato senza falda è preso da V. R. Greco, esempio n. 4 ed originariamente pubblicato da Yamagami and Ueta (1988).

Descrizione terreni

	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ [deg.]
Layer 1	20.38	49.00	29.0
Layer 2	17.64	0.00	30.0
Layer 3	20.38	7.84	20.0
Layer 4	17.64	0.00	30.0

Profili e stratificazione terreni

Piano campagna		Stato 2		Strato 3		Strato 4	
X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
0.0	40.0	60.0	40.0	0.0	35.0	0.0	26.0
60.0	40.0	260.0	40.0	260.0	35.0	260.0	26.0
180.0	100.0						
200.0	100.0						
260.0	70.0						

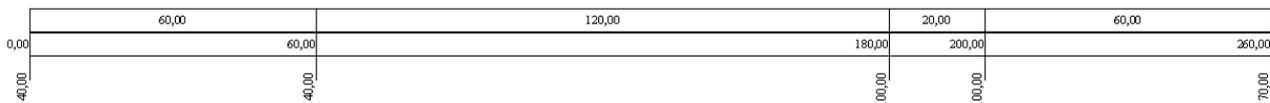
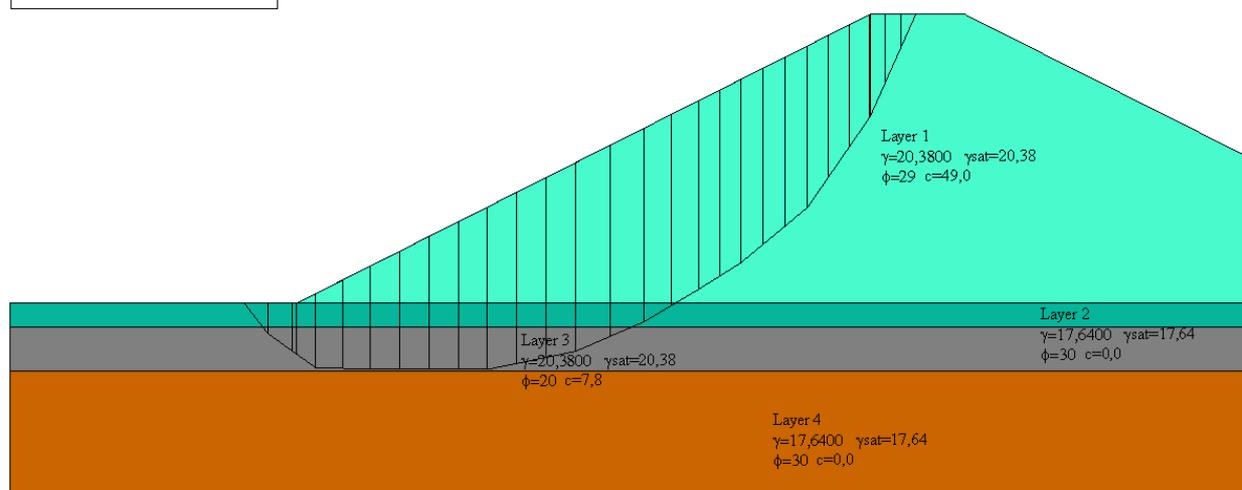


Risultati ottenuti usando ricerca random con metodo di Monte-Carlo.

Metodo Spencer	Range di fattori di sicurezza al variare delle superfici		
	Superfici a 4 vertici	Superfici a 7 vertici	Superfici a 13 vertici
V. R. Greco	1.437 - 1.657	1.407 - 1.431	1.400 - 1.413
Software STAP	1.353 (superficie 30 vertici)		

Superfici di rottura generica

SPENCER 1.353



Esempio 4

Riferimento: Venanzio R. Greco (1996) – JOURNAL OF GEOTECHNICAL ENGINEERING, Vol 122, No. 7, July, 1996 (pag. 517).

Il modello di pendio stratificato con falda è preso da V. R. Greco, esempio n. 5 ed originariamente pubblicato da Chen e Shao (1988).

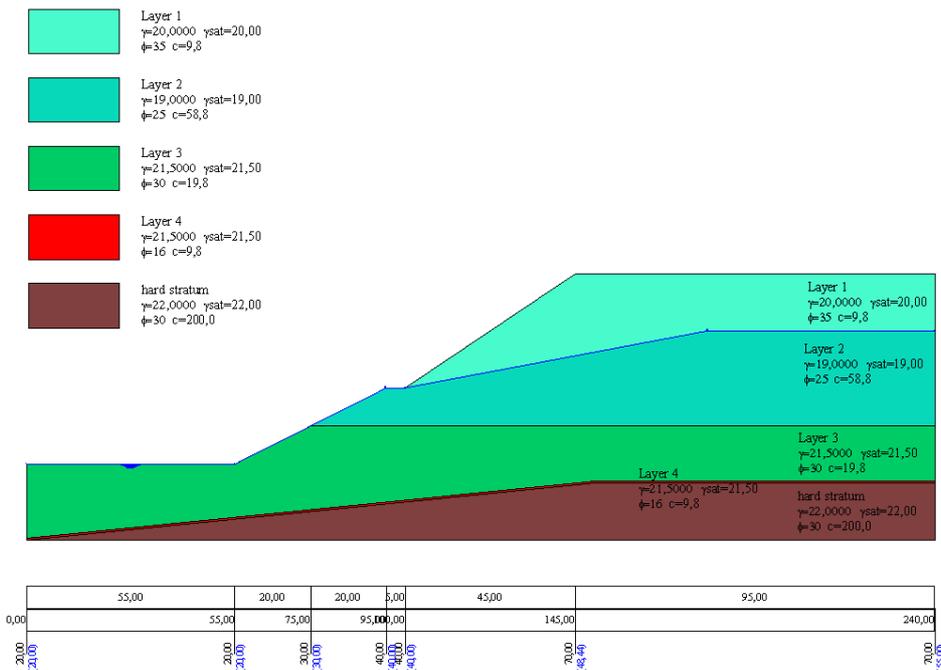
Descrizione terreni

	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ [deg.]
Layer 1	20.0	20.0	9.8	35
Layer 2	19.0	19.0	58.8	25
Layer 3	21.5	21.5	19.8	30
Layer 4	21.5	21.5	9.8	16.0

Profili e stratificazione terreni

Piano campagna		Strato 2		Strato 3		Strato 4	
X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
0.0	20.0	75.0	30.0	0.0	0.5	0.0	0.0
55.0	20.0	240.0	30.0	150.0	15.5	150.0	15.0
75.0	30.0			240.0	15.5	240.0	15.0
95.0	40.0						
100.0	40.0						
145.0	70.0						
240.0	70.0						

Profilo e stratificazione terreno



Risultati ottenuti usando una superficie circolare.

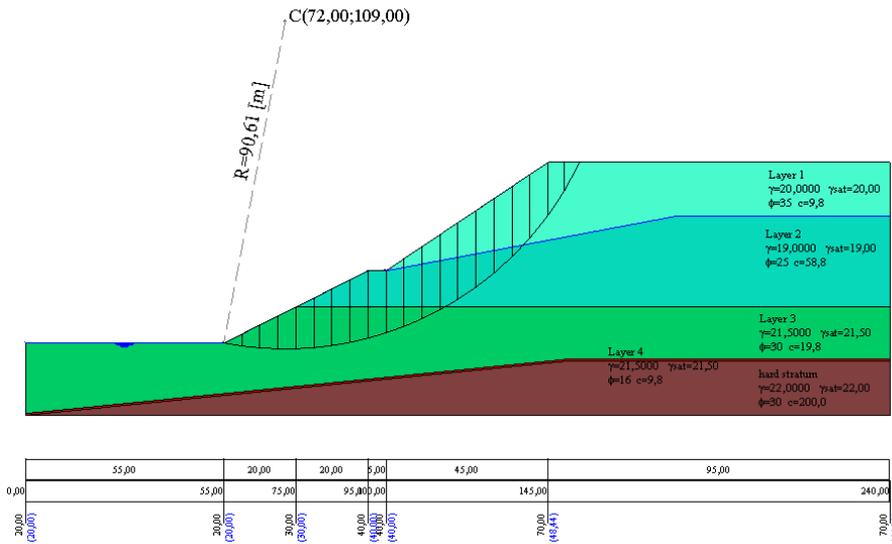
Posizione del centro e raggio della superficie circolare (Bishop XR=72 m; YR=109 m; R=90.61 m)

Posizione del centro e raggio della superficie circolare (Spencer; XR=69 m; YR=111 m; R=92.07 m)

	Bishop simplified	Spencer
V.R. Greco (1996)	-	Fs=1.080
Software STAP	Fs=1.083	Fs=1.088

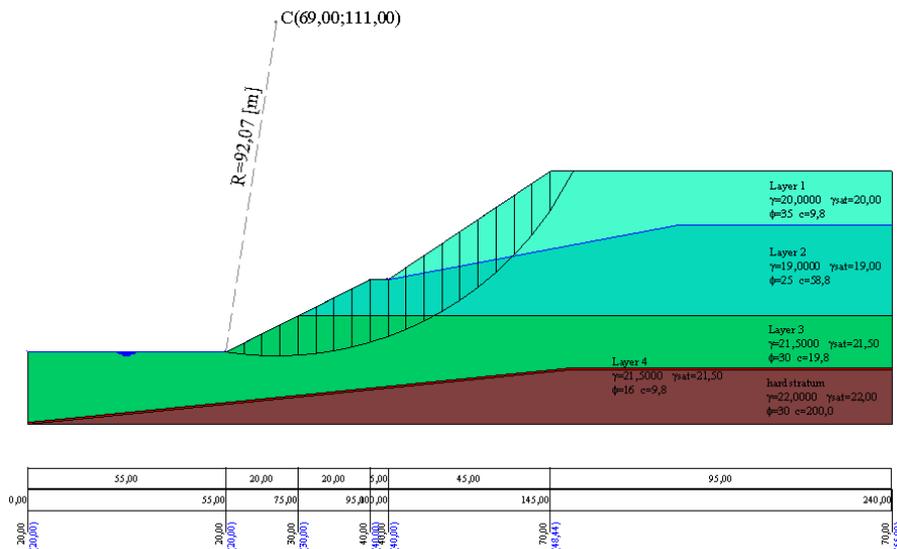
Superficie di rottura circolare

BISHOP 1.083



Superficie di rottura circolare

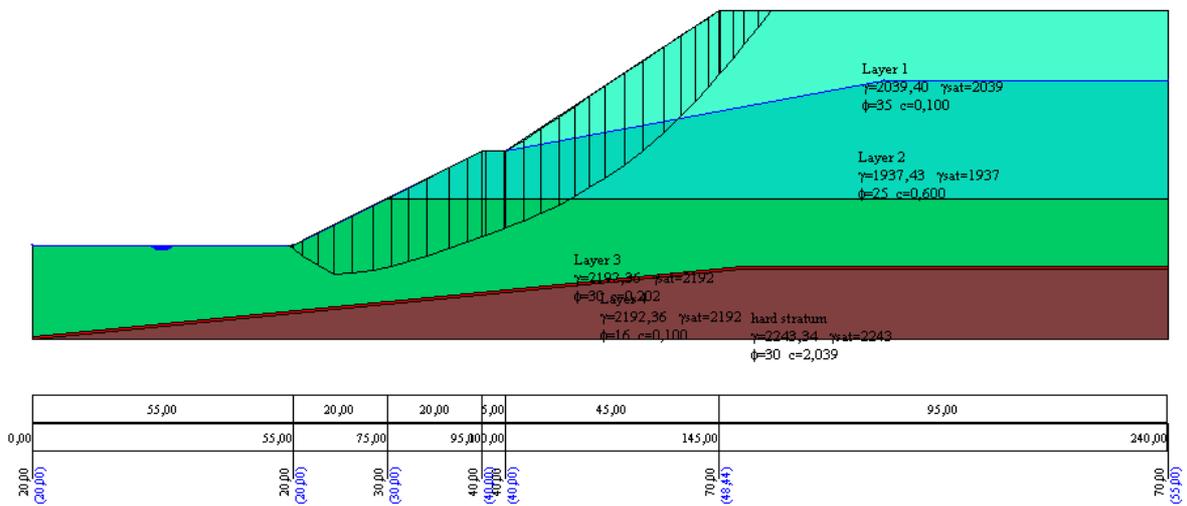
SPENCER 1.088



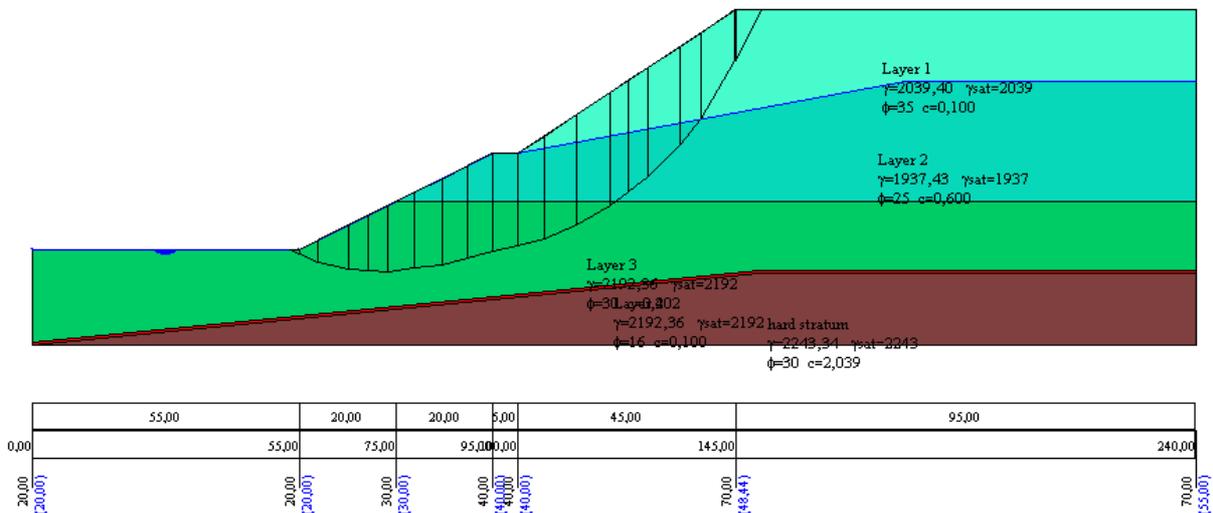
Risultati ottenuti usando superfici generiche.

	Fs (Spencer)	Fs (Jambu simplified)
V. R. Greco (1996) - monte carlo searching	0.973 – 1.098	-
Chen and Shao (1988)	1.011 – 1.035	-
Software STAP (minimo locale)	1.070	0.983
Software STAP (minimo globale)	1.027	0.846

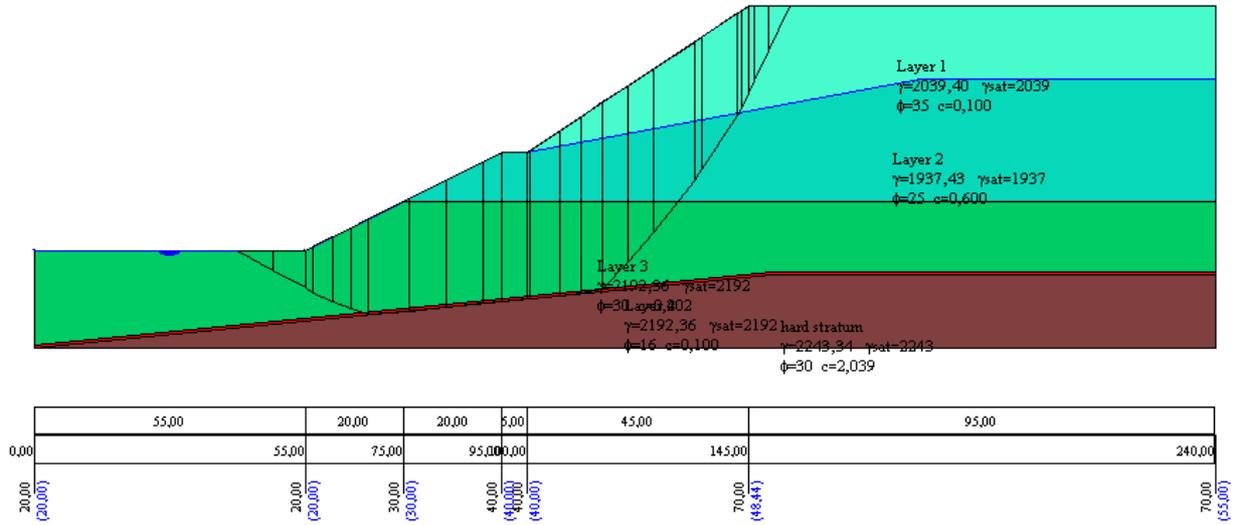
SPENCER 1.070



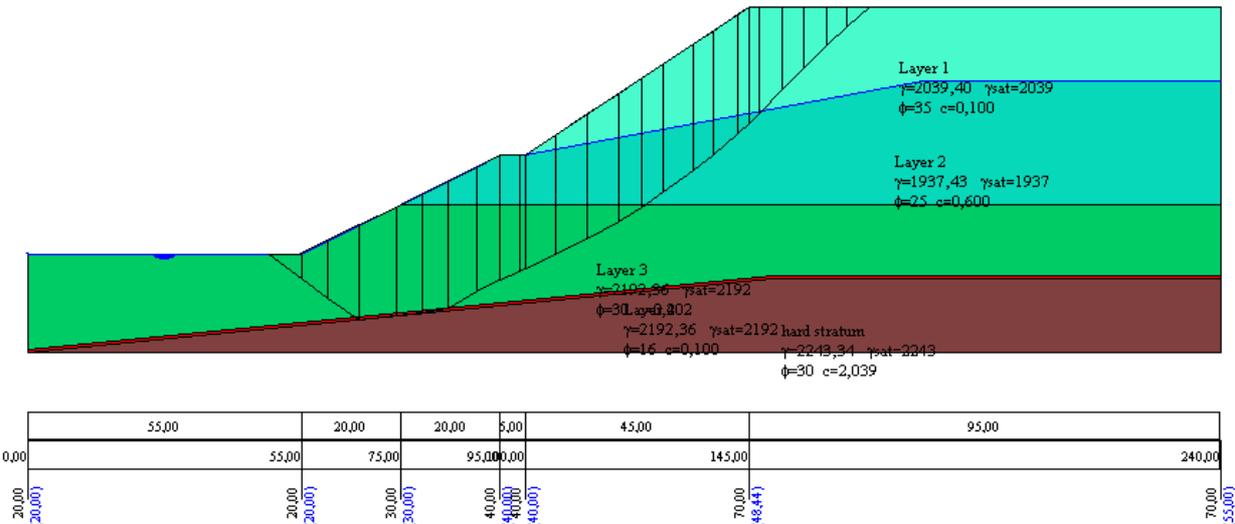
JANBU 0.983



JANBU 0.846



SPENCER 1.027



Esempio 5

Riferimento: Kramer, Steven Lawrence - Geotechnical earthquake engineering – Prentice Hall civil engineering and engineering mechanics series 1996.

Il modello di pendio stratificato con falda è preso da Geotechnical earthquake engineering, esempio 10.2 (pag. 435).

Descrizione terreni

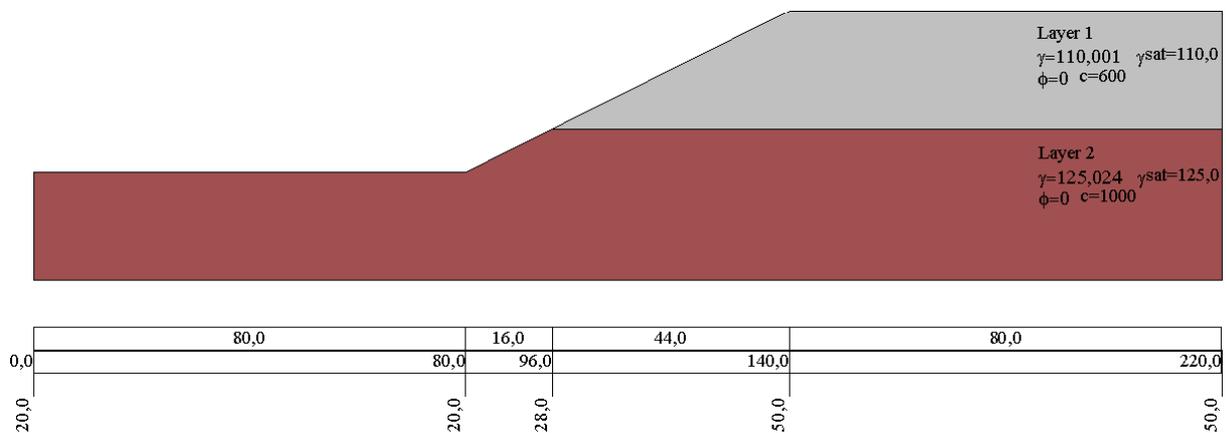
	γ [lb/ft ³]	γ_{sat} [lb/ft ³]	c' [lb/ft ²]	ϕ [deg.]
Layer 1	110	110	600	0
Layer 2	125	125	1000	0

Profili e stratificazione terreni

Piano campagna		Stato 2	
X [ft]	Y [ft]	X [ft]	Y [ft]
0.0	20.0	96.0	28.0
80.0	20.0	220.0	28.0
96.0	28.0		
140.0	50.0		
220.0	50.0		

Profilo e stratificazione terreno

	Layer 1 $\gamma=110,001$ $\gamma_{sat}=110,0$ $\phi=0$ $c=600$
	Layer 2 $\gamma=125,024$ $\gamma_{sat}=125,0$ $\phi=0$ $c=1000$



Risultati ottenuti usando una superficie circolare

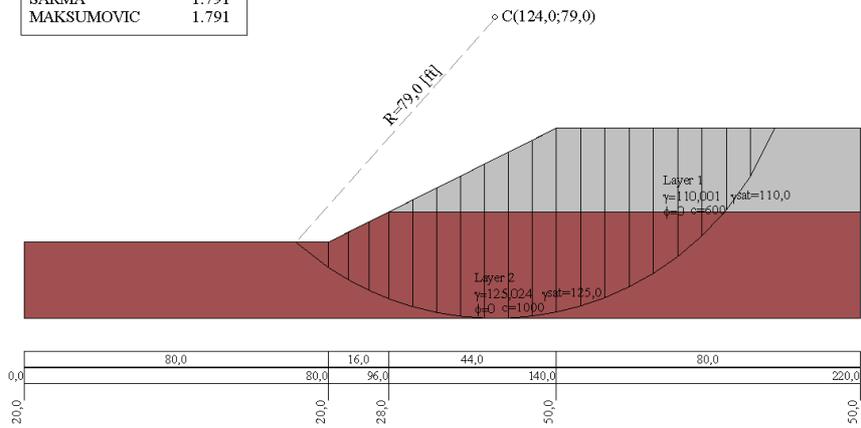
Posizione del centro e raggio della superficie circolare (XR=124.0 m; YR=79.0 m; R=79.00 m)

Condizioni statiche

	Fellenius	Spencer
Kramer (1996)	Fs=1.790	-
Software STAP	Fs=1.790	Fs=1.790

Superficie di rottura circolare (analisi statica)

FELLENIOUS	1.791
BISHOP	1.791
JANBU	1.631
BELL	1.791
MORGENSTERN	1.786
SPENCER	1.790
SARMA	1.791
MAKSUMOVIC	1.791

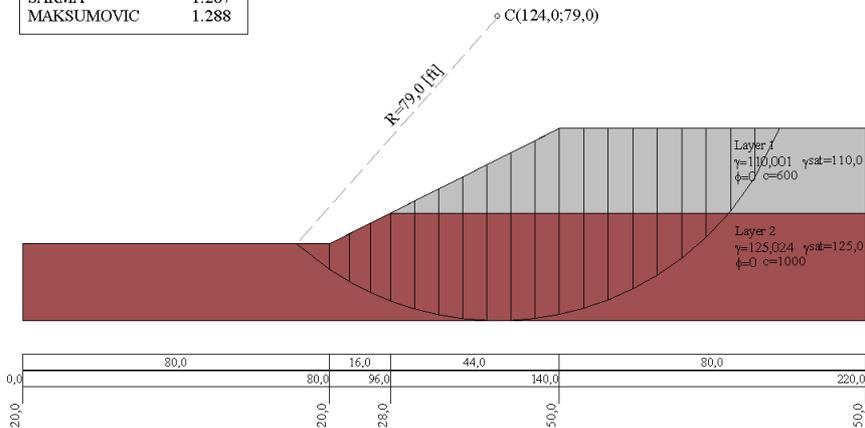


Condizioni sismiche

	Fellenius	Spencer
Kramer (1996)	Fs=1.280	-
Software STAP	Fs=1.287	Fs=1.178

Superficie di rottura circolare (analisi pseudostatica kh=0.10)

FELLENIOUS	1.288
BISHOP	1.288
JANBU	1.146
BELL	1.288
MORGENSTERN	1.285
SPENCER	1.178
SARMA	1.287
MAKSUMOVIC	1.288



Esempio 6

Riferimento: T. William Lambe, Robert V. Whitman – MECCANICA DEI TERRENI – Traduzione di Calogero Valore. – Dario Flaccovio Editore 1997.

Il modello di pendio con falda è preso da T. William Lambe, Robert V. Whitman fig.24.16 pag 392.

Descrizione terreni

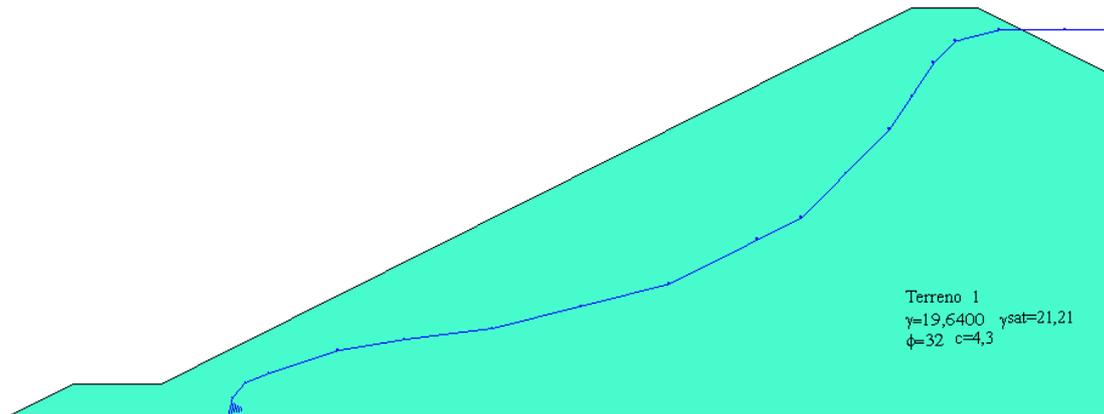
	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	c' [kN/m ²]	ϕ [deg.]
Layer 1	19.64	21.21	4.30	32.0

Profili e stratificazione terreni

Piano campagna

X [ft]	Y [ft]
0.0	0.0
6.0	3.0
14.0	3.0
82.0	37.0
88.0	37.0
100.0	31.0


 Terreno 1
 $\gamma=19,6400$ $\gamma_{sat}=21,21$
 $\phi=32$ $c=4,3$

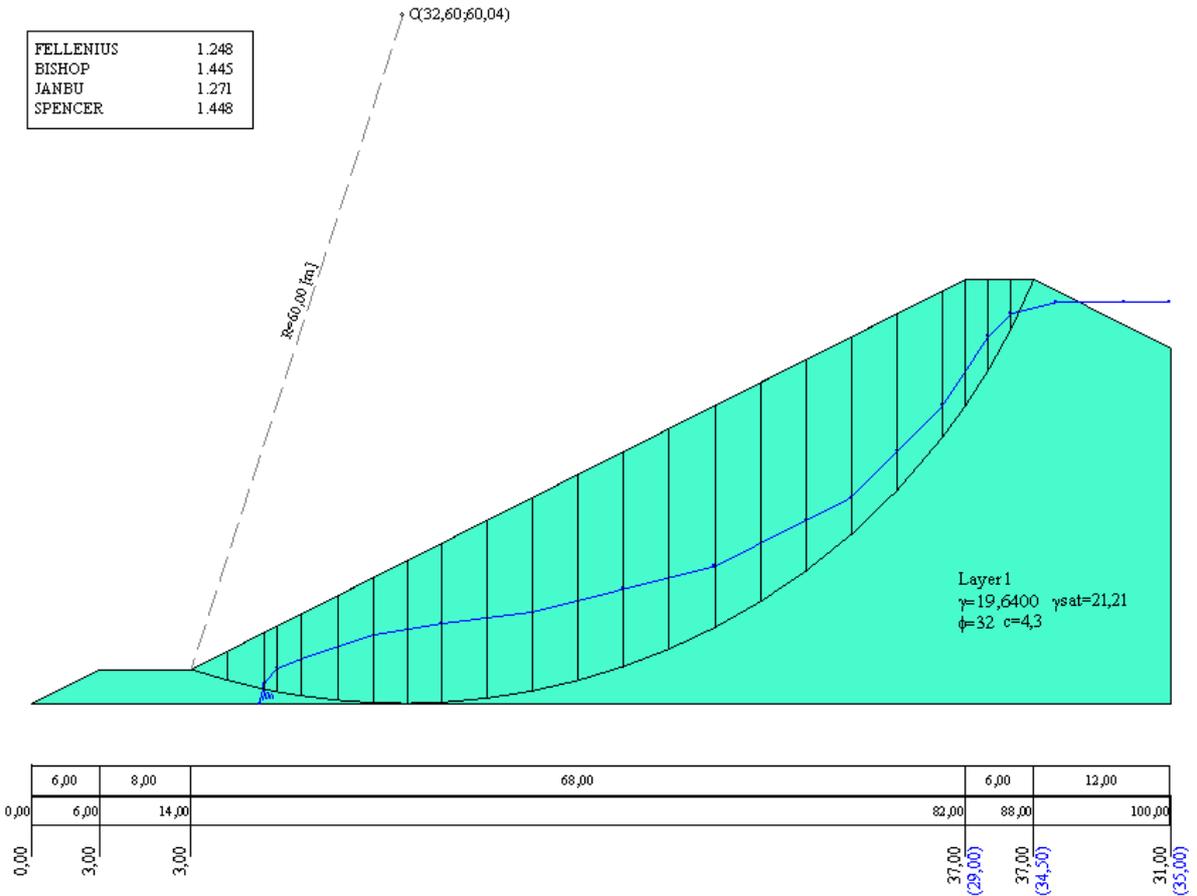


	6,00	8,00		68,00		6,00	12,00	
0,00	6,00	14,00				82,00	88,00	100,00
0,00	3,00	3,00				37,00 (29,00)	37,00 (34,50)	31,00 (35,00)

Risultati ottenuti usando una superficie circolare

Posizione del centro e raggio della superficie circolare (XR=124.0 m; YR=79.0 m; R=79.00 m)

	Bishop	Fellenius	Janbu	Spencer
Lambe-Whitman	Fs=1.43 – 1.45	-	-	-
Software STAP	Fs=1.445	Fs=1.248	Fs=1.271	Fs=1.448



Esempio 7

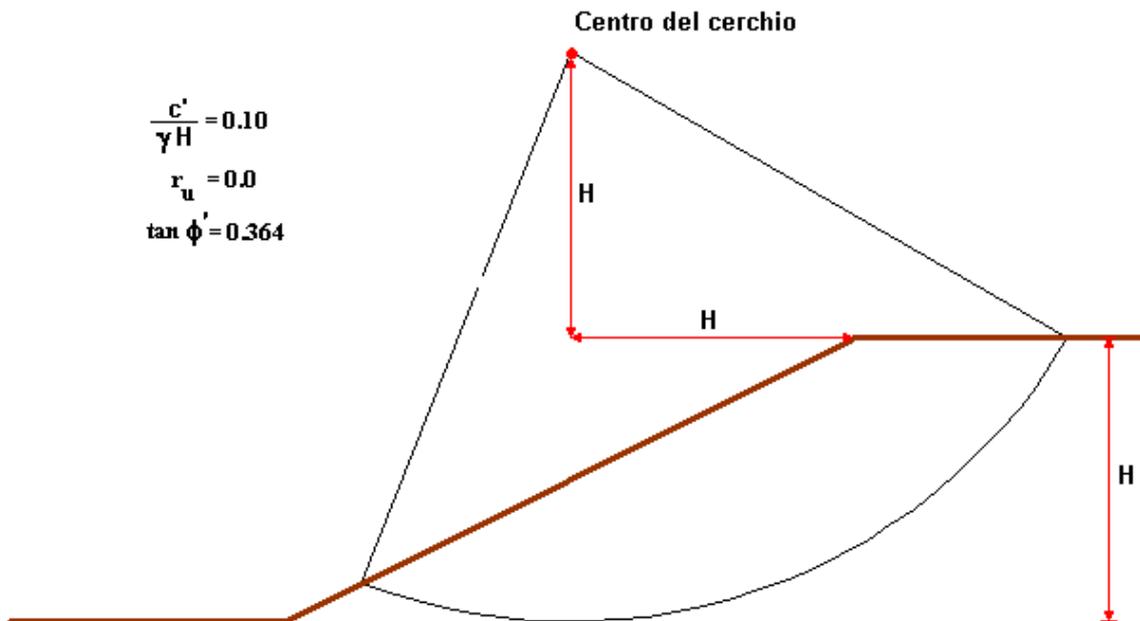
Riferimento: “The analysis of the stability of general slip surface” di N.R. Morgenstern e V.E. Price - 1965.
 Il modello di pendio senza falda è preso da N.R. Morgenstern e V.E. Price fig.5. pag 88.

Descrizione terreni

	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	c' [kN/m ²]	ϕ [deg.]
Layer 1	20.0	20.0	20.0	20.0

Profili e stratificazione terreni

Piano campagna	
X [m]	Y [m]
0.0	10.0
10.0	10.0
30.0	20.0
40.0	20.0



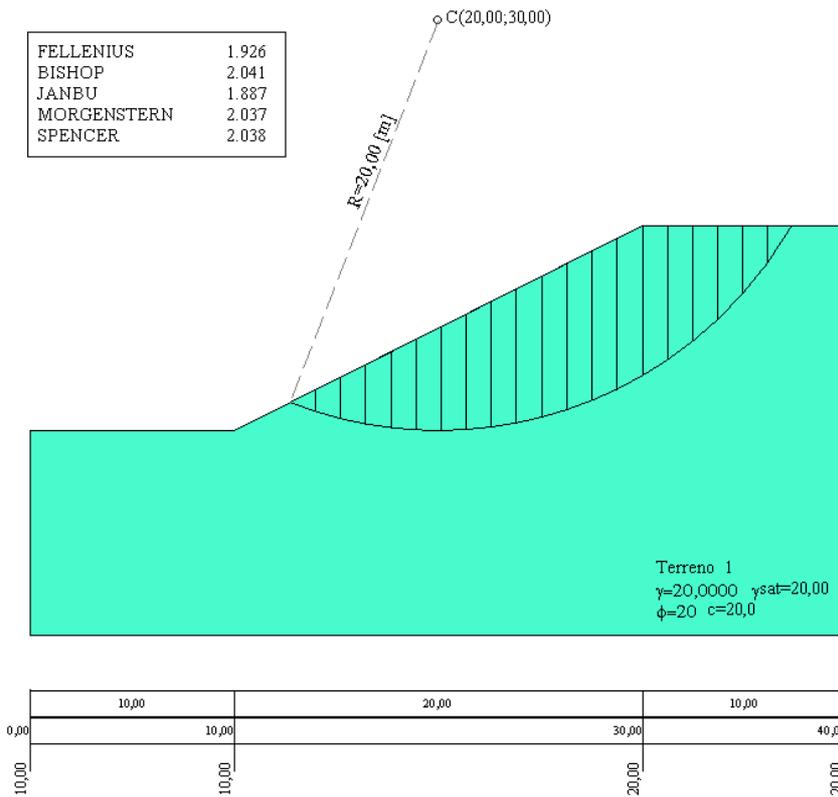
“The analysis of the stability of general slip surface” di N.R. Morgenstern e V.E. Price - 1965.

Risultati ottenuti usando una superficie circolare

Posizione del centro e raggio della superficie circolare (XR=20.0 m; YR=30.0 m; R=20.00 m)

	Fellenius	Bishop	Janbu	Spencer	Morgenstern-Price - f(x)=1.0
Morgenstern e Price	-	-	-	-	Fs=2.098
Software STAP	Fs=1.926	Fs=2.041	Fs=1.887	Fs=2.038	Fs=2.037

Superficie di rottura circolare



Esempio 8

Riferimento: James M. Bell "General slope stability analysis" Journal of the SOIL MECHANICS AND FOUNDATION DIVISION November 1968.

Il modello di pendio stratificato senza falda è stato analizzato da James M. Bell.

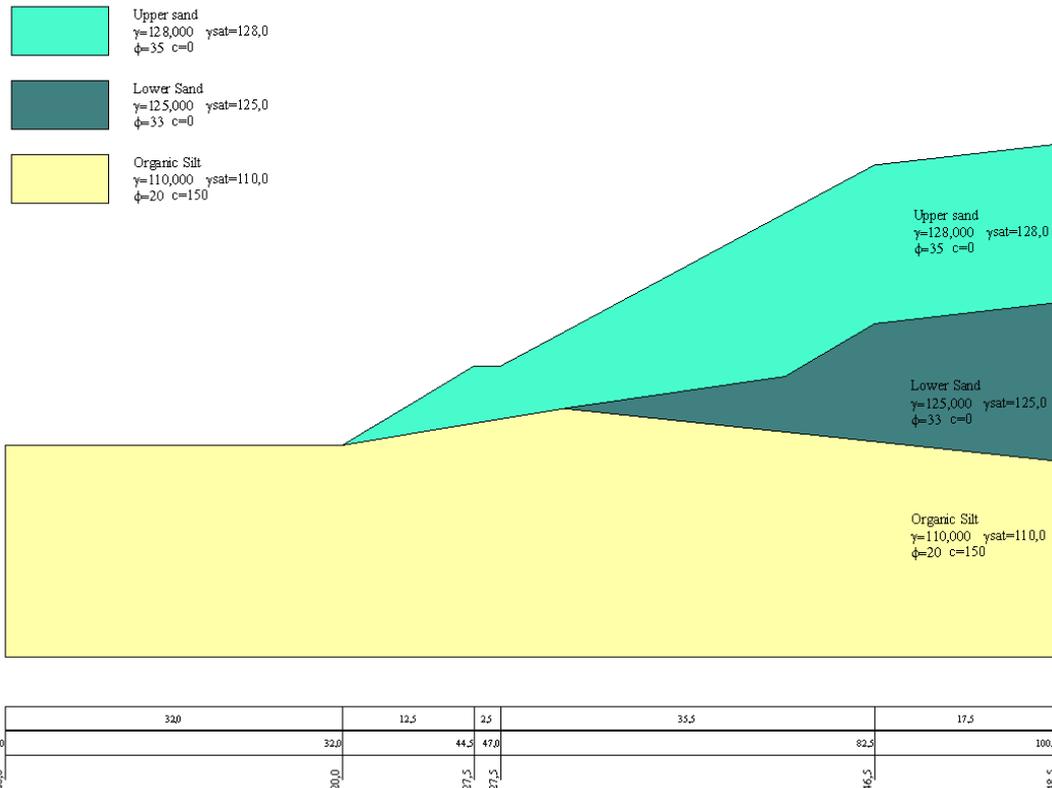
Descrizione terreni

	γ [lb/ft ³]	γ_{sat} [lb/ft ³]	c' [lb/ft ²]	ϕ [deg.]
Upper Sand	128	128	0.0	35
Lower Sand	125	125	0.0	33
Organic Silt	110	110	150	20

Profili e stratificazione terreni

Piano campagna		Stato 2		Stato 2	
X [ft]	Y [ft]	X [ft]	Y [ft]	X [ft]	Y [ft]
0.0	20.0	32.0	20.0	53.0	23.5
32.0	20.0	53.0	23.5	100.0	18.5
44.5	27.5	74.0	26.5		
47.0	27.5	82.5	31.5		
82.5	46.5	100.0	33.5		
100.0	48.5				

Profilo e stratificazione terreno

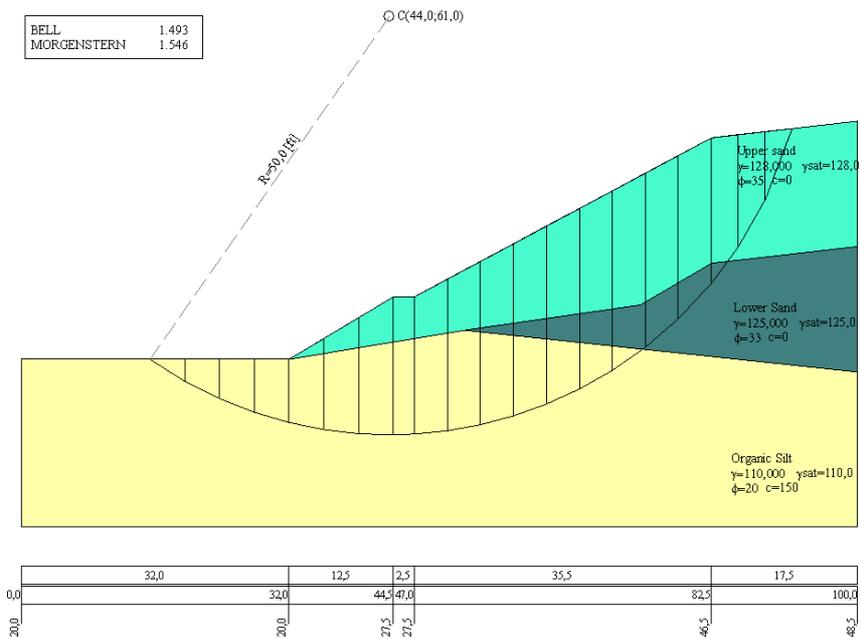


Risultati ottenuti usando una superficie circolare

Posizione del centro e raggio della superficie circolare (XR=44.0 ft; YR=61.0 ft; R=50.00 ft)

	Morgenstern-Price - $f(x)=1.0$	Bell
Bell	Fs=1.557	Fs=1.490
Software STAP	Fs=1.546	Fs=1.493

Superficie di rottura circolare (senza sisma)



Esempio 9

Riferimento: D. Y. Zhu, C.F. Lee, Q.H. Qian and G.R. Chen “A concise algorithm for computing the factor of safety using the Morgenstern-Price method” Can. Geotech. J. 42: 272-278 (2005).

Il modello di pendio stratificato con falda è stato analizzato da D. Y. Zhu et al. (example 1) riportato originariamente da Fredlund and Krahn (1977).

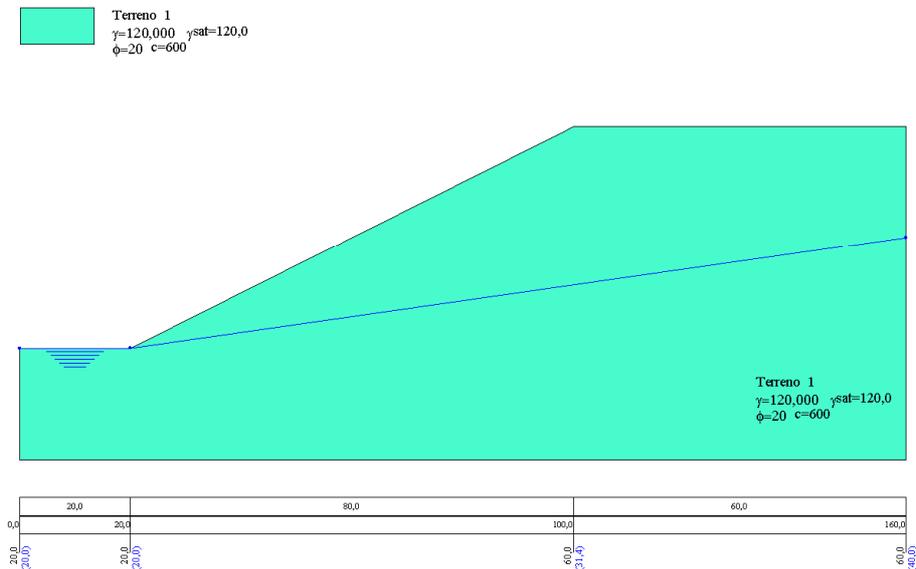
Descrizione terreni

	γ [lb/ft ³]	γ_{sat} [lb/ft ³]	c' [lb/ft ²]	ϕ [deg.]
Layer 1	120	120	600.0	20
Layer 2	120	120	0.0	10

Profili e stratificazione terreni

Piano campagna		Stato 1		Stato 2		Falda	
X [ft]	Y [ft]	X [ft]	Y [ft]	X [ft]	Y [ft]	X [ft]	Y [ft]
0.0	20.0	0.0	17.0	0.0	16.0	0.0	20.0
20.0	20.0	160.0	17.0	160.0	16.0	20.0	20.0
100.0	60.0					160.0	40.0
160.0	60.0						

Profilo e stratificazione terreno

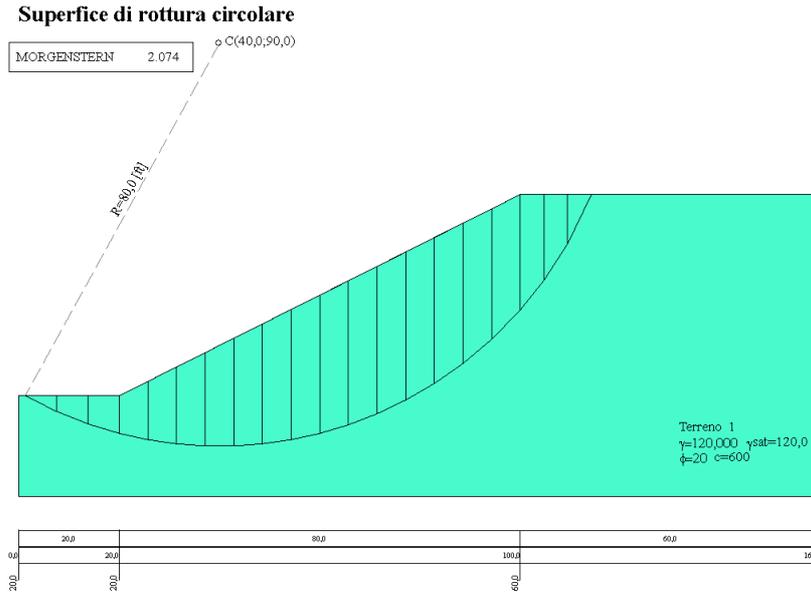


Risultati ottenuti usando una superficie circolare

Posizione del centro e raggio della superficie circolare (XR=40.0 ft; YR=90.0 ft; R=80.00 ft).

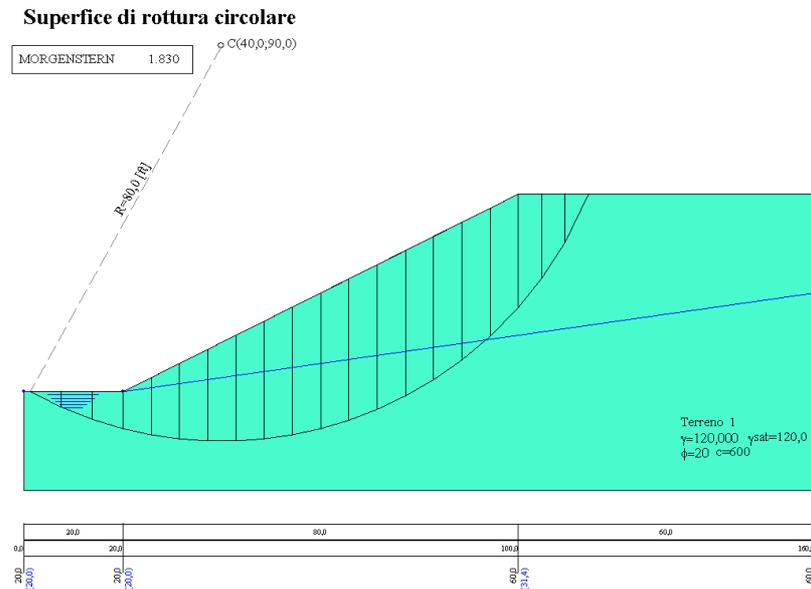
Senza falda

	Morgenstern-Price - $f(x)=1.0$	Morgenstern-Price - $f(x)=\text{sen}(x)$
Fredlund and Krahn	Fs=2.073	Fs=2.076
D. Y. Zhu	Fs=2.075	Fs=2.074
Software STAP	Fs=2.074	Fs=2.079



Con falda

	Morgenstern-Price - $f(x)=1.0$	Morgenstern-Price - $f(x)=\text{sen}(x)$
Fredlund and Krahn (con falda)	Fs=1.830	Fs=1.832
D. Y. Zhu (con falda)	Fs=1.831	Fs=1.831
Software STAP (con falda)	Fs=1.830	Fs=1.834



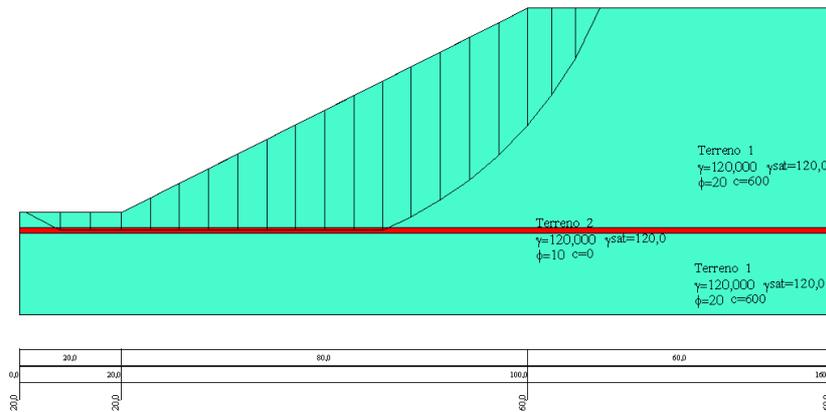
Risultati ottenuti usando una superficie generica

Senza falda

	Morgenstern-Price - $f(x)=1.0$	Morgenstern-Price - $f(x)=\text{sen}(x)$
Fredlund and Krahn	Fs=1.373	Fs=1.370
D. Y. Zhu	Fs=1.381	Fs=1.371
Software STAP	Fs=1.377	Fs=1.370

Superficie di rottura generica

MORGENSTERN 1.360

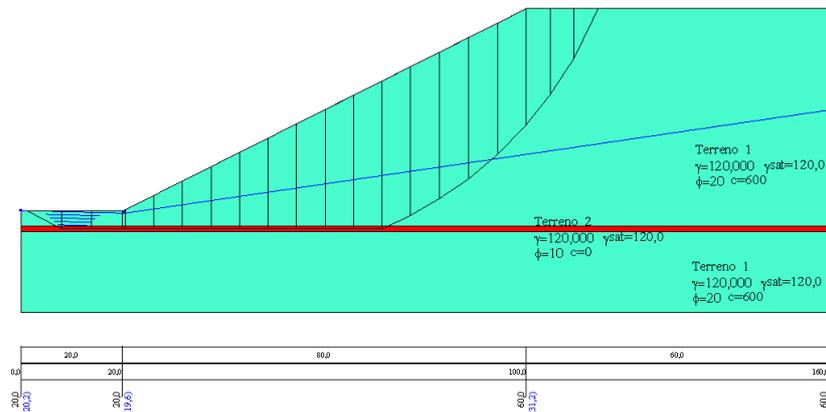


Con falda

	Morgenstern-Price - $f(x)=1.0$	Morgenstern-Price - $f(x)=\text{sen}(x)$
Fredlund and Krahn	Fs=1.245	Fs=1.245
D. Y. Zhu	Fs=1.261	Fs=1.254
Software STAP	Fs=1.253	Fs=1.248

Superficie di rottura generica

MORGENSTERN 1.242



Esempio 10

Riferimento: D. Y. Zhu, C.F. Lee, Q.H. Qian and G.R. Chen “A concise algorithm for computing the factor of safety using the Morgenstern-Price method” Can. Geotech. J. 42: 272-278 (2005).

Il modello di pendio stratificato con falda è stato analizzato da D. Y. Zhu et al. (example 2) riportato originariamente da Fredlund and Krahn (1977).

Descrizione terreni

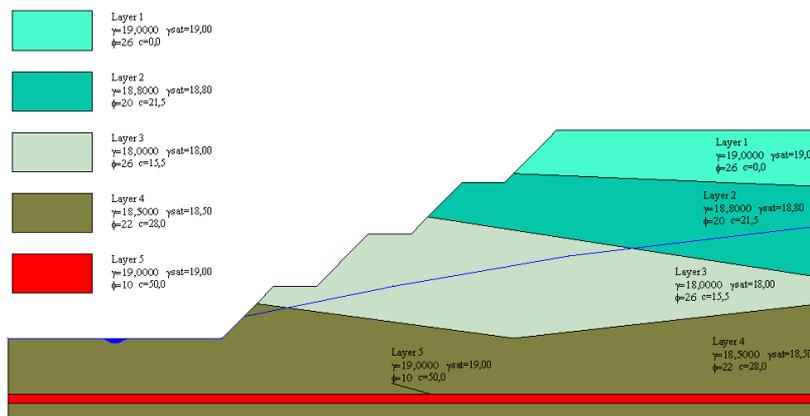
	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ [deg.]
Layer 1	19.0	19.0	0.0	26.0
Layer 2	18.8	18.8	21.5	20.0
Layer 3	18.0	18.0	15.5	26.0
Layer 4	18.5	18.5	28.0	22.0
Layer 5	19.0	19.0	50.0	10.0

Profili e stratificazione terreni

P.C.		Stato 1		Stato 2		Stato 3		Stato 4		Stato 5		Falda	
X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
0.0	20.0	118.0	58.0	98.0	48.0	58.0	28.0	0.0	7.0	0.0	5.0	0.0	20.0
50.0	20.0	190.0	55.0	190.0	34.0	118.0	20.0	190.0	7.0	190.0	5.0	50.0	20.0
58.0	28.0					190.0	28.0					55.0	25.0
62.0	32.0											90.0	32.0
72.0	32.0											131.0	39.0
84.0	44.0											190.0	46.0
94.0	44.0												
98.0	48.0												
106.0	56.0												
116.0	56.0												
118.0	58.0												
128.0	68.0												
190.0	68.0												

Per l'analisi sismica il coeff. di intensità sismica è $K_h = 10$.

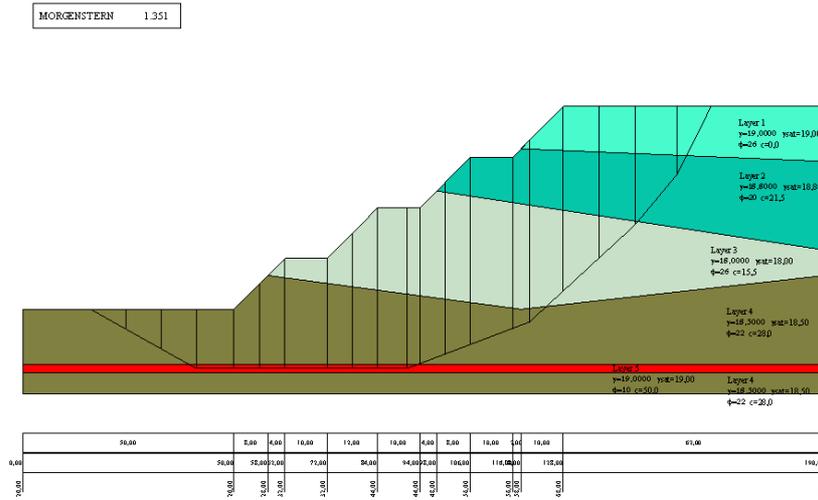
Profilo e stratificazione terreno



Risultati ottenuti usando una superficie generica (caso senza falda – senza sisma)

	Morgenstern-Price - $f(x)=1.0$	Morgenstern-Price - $f(x)=\sin(x)$
Zhu et al. (2001)	$F_s=1.341$ ($\lambda=0.2707$)	$F_s=1.316$ ($\lambda=0.3591$)
Zhu et al.	$F_s=1.342$ ($\lambda=0.2725$)	$F_s=1.317$ ($\lambda=0.3618$)
Geo-Slope International Ltd. 1998	$F_s=1.345$ ($\lambda=0.2703$)	$F_s=1.320$ ($\lambda=0.3587$)
Software STAP	$F_s=1.351$ ($\lambda=0.2715$)	$F_s=1.330$ ($\lambda=0.3686$)

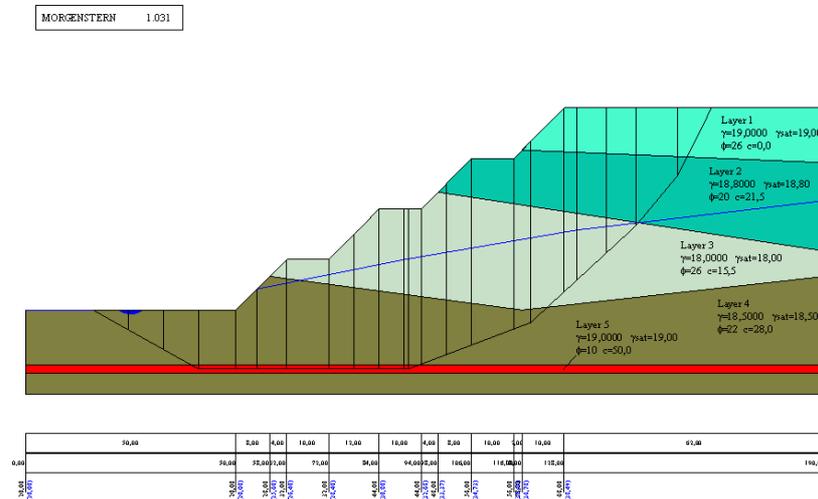
Superficie di rottura generica (senza falda - senza sisma)



Risultati ottenuti usando una superficie generica (caso con falda – senza sisma)

	Morgenstern-Price - $f(x)=1.0$	Morgenstern-Price - $f(x)=\sin(x)$
Zhu et al. (2001)	$F_s=1.023$ ($\lambda=0.2512$)	$F_s=1.000$ ($\lambda=0.3307$)
Zhu et al.	$F_s=1.028$ ($\lambda=0.2530$)	$F_s=1.004$ ($\lambda=0.3332$)
Geo-Slope International Ltd. 1998	$F_s=1.032$ ($\lambda=0.2518$)	$F_s=1.008$ ($\lambda=0.3315$)
Software STAP	$F_s=1.031$ ($\lambda=0.2513$)	$F_s=1.011$ ($\lambda=0.3338$)

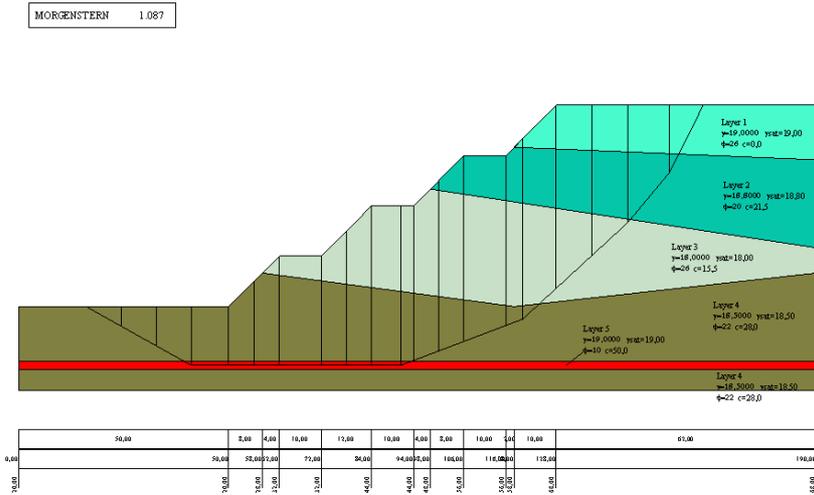
Superficie di rottura generica (con falda - senza sisma)



Risultati ottenuti usando una superficie generica (caso senza falda – con sisma)

	Morgenstern-Price - $f(x)=1.0$	Morgenstern-Price - $f(x)=\sin(x)$
Zhu et al. (2001)	$F_s=1.081$ ($\lambda=0.3526$)	$F_s=1.045$ ($\lambda=0.4800$)
Zhu et al.	$F_s=1.081$ ($\lambda=0.3551$)	$F_s=1.046$ ($\lambda=0.4836$)
Geo-Slope International Ltd. 1998	$F_s=1.084$ ($\lambda=0.3522$)	$F_s=1.048$ ($\lambda=0.4797$)
Software STAP	$F_s=1.087$ ($\lambda=0.3543$)	$F_s=1.056$ ($\lambda=0.4861$)

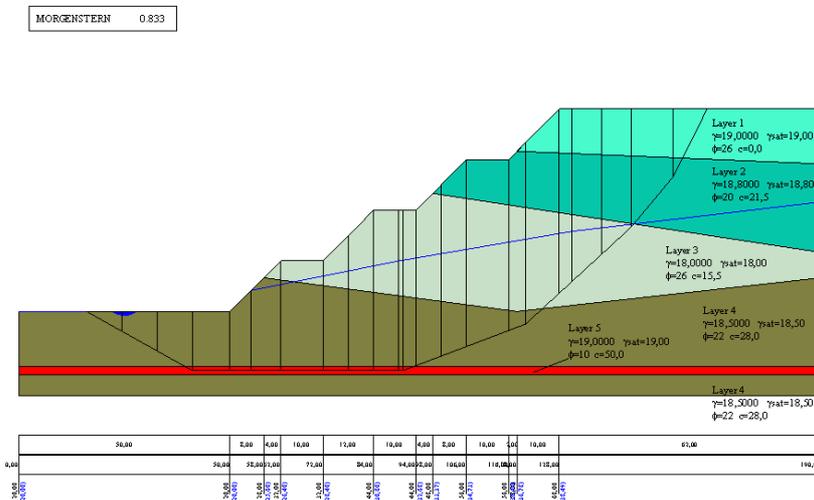
Superficie di rottura generica (senza falda - con sisma)



Risultati ottenuti usando una superficie generica (caso con falda – con sisma)

	Morgenstern-Price - $f(x)=1.0$	Morgenstern-Price - $f(x)=\sin(x)$
Zhu et al. (2001)	$F_s=0.827$ ($\lambda=0.3273$)	$F_s=0.791$ ($\lambda=0.4472$)
Zhu et al.	$F_s=0.829$ ($\lambda=0.3296$)	$F_s=0.793$ ($\lambda=0.4500$)
Geo-Slope International Ltd. 1998	$F_s=0.834$ ($\lambda=0.3278$)	$F_s=0.798$ ($\lambda=0.4479$)
Software STAP	$F_s=0.833$ ($\lambda=0.3303$)	$F_s=0.796$ ($\lambda=0.4497$)

Superficie di rottura generica (con falda - con sisma)



Aztec Informatica s.r.l.

Software per l'Ingegneria Geotecnica e Strutturale

Corso Umberto, 43 - 87050 Casole Bruzio (CS)
Tel. 0984-432617, 438325 - e Fax 0984-432617
e-mail: aztec@aztec.it
web: www.aztec.it

PAC

Paratie

ESEMPI DI VALIDAZIONE

Copyright © 2010, 2015 Aztec Informatica s.r.l.

Tutti i diritti riservati.

Qualsiasi documento tecnico che venga reso disponibile da Aztec Informatica è stato realizzato da Aztec Informatica che ne possiede il Copyright ed è proprietà di Aztec Informatica. La documentazione potrebbe contenere imprecisioni tecniche o di altro tipo, oppure errori tipografici. Aztec Informatica si riserva il diritto di apportare modifiche senza preavviso.

Introduzione

Il presente documento raccoglie un insieme di test effettuati per verificare l'affidabilità e l'applicabilità del software prodotto dalla Aztec Informatica.

I test effettuati hanno evidenziato la corrispondenza tra i risultati ottenuti utilizzando il software Aztec e la soluzione teorica riportata nei testi di riferimento.

Ogni esempio svolto riporta la fonte di riferimento e i dati necessari per riproporre il calcolo eseguito.

Esempi di validazione

Di seguito vengono riportati degli esempi numerici svolti manualmente ed i risultati verranno confrontati con i valori ottenuti dal programma, ipotizzando gli stessi schemi di calcolo.

Esempio n° 1: Calcolo della profondità di infissione di una paratia in un terreno sabbioso in falda.

Esempio n° 2: Calcolo della profondità di infissione di una paratia il cui terreno spingente è sabbioso e il terreno al di sotto del fondo scavo è argilloso.

Esempio n° 3: Calcolo di una paratia in un terreno incoerente con tirante di ancoraggio, con il metodo degli spostamenti.

Esempio n° 4: Calcolo delle pressioni attive e passive alla base di una paratia in un terreno granulare sotto falda. La falda è presente sia a monte che a valle in due configurazioni.

Esempio n° 1

Riferimento: **Fondazioni progetto e analisi.**

J.E. Bowles

McGraw-Hill Libri Italia srl

Esempio 13.4 - Pagina 671.

DATI

Altezza paratia H = 6.10 m;

Peso di volume del terreno $\gamma = 17.30 \text{ kN/m}^3$;

Peso di volume saturo del terreno $\gamma_s = 19.24 \text{ kN/m}^3$;

Angolo di attrito $\phi = 30^\circ$;

Angolo di attrito terreno-paratia $\delta = 17^\circ$;

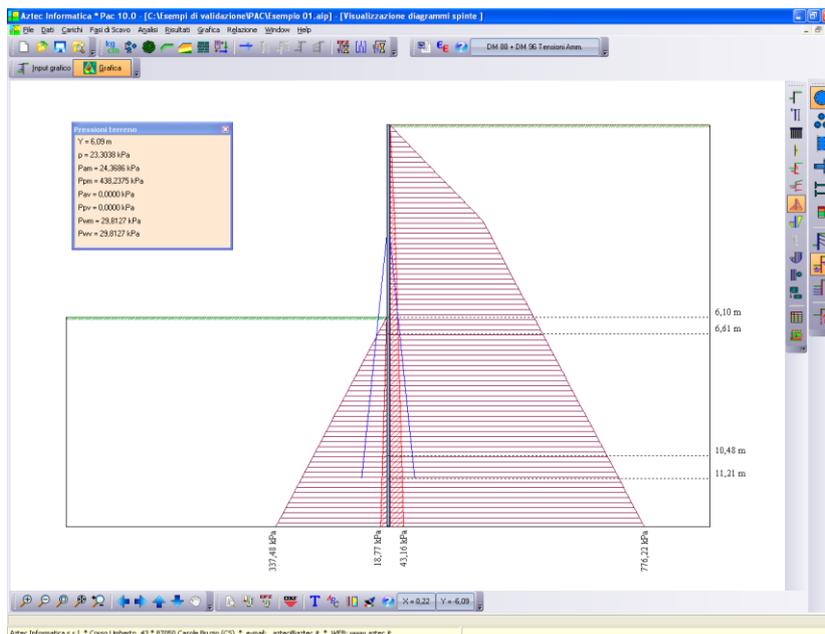
Profondità della falda a 3.05 m dalla testa della paratia, sia a monte che a valle.

Determinare la profondità di infissione prevedendo un incremento del 30% arbitrario sul valore calcolato.

L'influenza dell'angolo di attrito terreno-paratia è sia sui coefficienti di spinta attivo e passivo che sulla spinta attiva e passiva.

RISULTATI

	Letteratura	PAC
Pressione orizzontale alla base del fuoriterra [kPa]	24.354	24.425
Posizione punto di nullo [m]	0.51	0.509
Pressione passiva di monte nel punto di nullo [kPa]	463.057	464.652
Profondità di infissione necessaria [m]	5.09	5.11
Profondità di infissione	6.62	6.64



Esempio n° 2

Riferimento: **Fondazioni progetto e analisi.**

J.E. Bowles

McGraw-Hill Libri Italia srl

Esempio 13.5a - Pagina 675.

DATI

Altezza paratia $H = 6.00$ m;

Terreno altezza fuoriterra:

Peso di volume del terreno $\gamma = 17.30$ kN/m³;

Peso di volume saturo del terreno $\gamma_s = 19.31$ kN/m³;

Angolo di attrito $\phi = 30^\circ$;

Angolo di attrito terreno-paratia $\delta = 17^\circ$;

Terreno al di sotto del fondo scavo:

Coesione $c = 57.5$ kPa;

Profondità della falda a 3.0 m dalla testa della paratia, sia a monte che a valle.

Determinare la profondità di infissione prevedendo un incremento del 30% arbitrario sul valore calcolato.

L'influenza dell'angolo di attrito terreno-paratia è sia sui coefficienti di spinta attivo e passivo che sulla spinta attiva e passiva.

RISULTATI

Lo strato al di sotto del fondo scavo (terreno argilloso) viene considerato impermeabile.

Il programma PAC non consente di definire uno strato impermeabile, quindi, quando si definisce la falda essa coinvolge tutti gli strati coinvolti.

Per poter simulare il problema, non si definisce la falda, ma se ne simulano gli effetti:

Peso di volume del terreno:

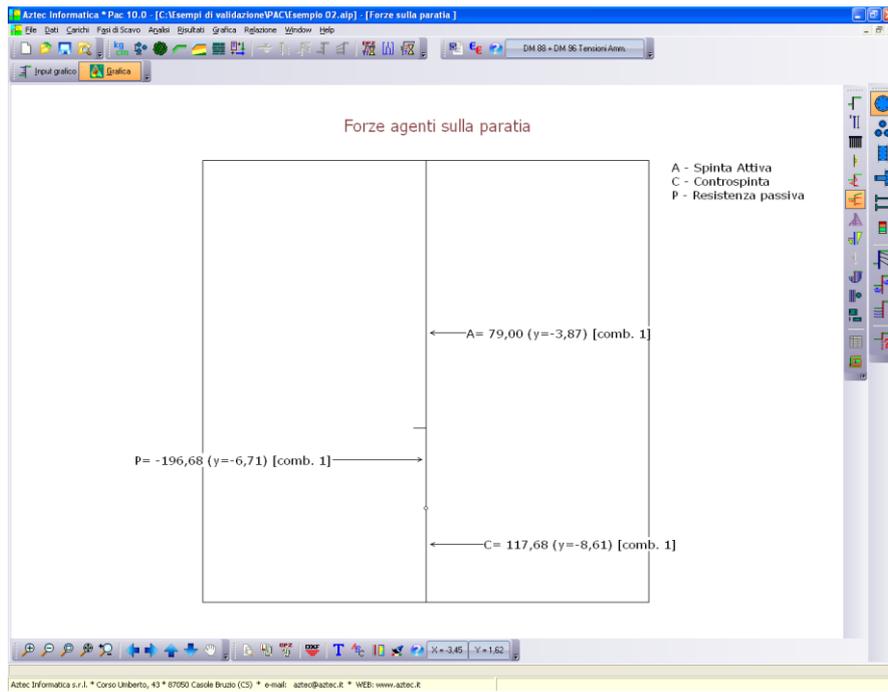
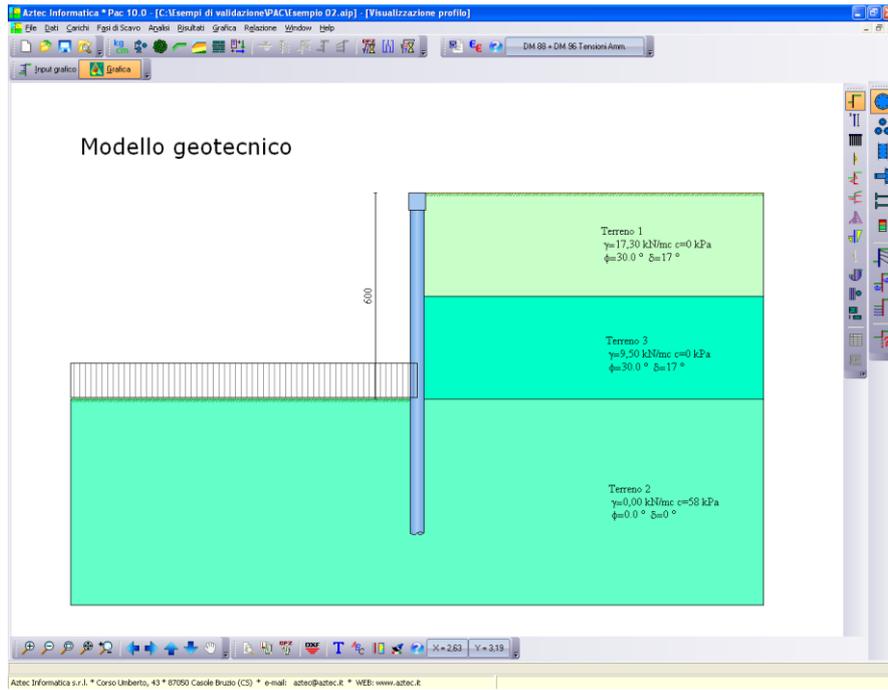
Peso di volume del terreno sopra la falda $\gamma = 17.30$ kN/m³ - Potenza dello strato $\Delta H = 3$ m.

Peso di volume del terreno sotto la falda $\gamma = \gamma_s - \gamma_w = 19.31 - 9.81 = 9.50$ kN/m³ - Potenza dello strato $\Delta H = 3$ m.

Peso della falda sul piano campagna a valle della paratia:

Peso di volume del terreno sotto la falda $\gamma = 9.50$ kN/m³, potenza dello strato $\Delta H = 3$ m. – $Q = 28.50$ kN/m².

	Letteratura	PAC
Spinta attiva [kN/m]	82.6	79.00
Punto di applicazione della spinta (dalla base) [m]	2.13	2.13
Profondità di infissione necessaria [m]	2.72	3.01
Profondità di infissione	3.54	3.92



Esempio n° 3

Riferimento: **Fondazioni progetto e analisi.**

J.E. Bowles

McGraw-Hill Libri Italia srl

Esempio 13.1 - Pagina 648.

DATI

Altezza paratia $H = 9.00$ m;

Profondità di infissione $H_I = 3.00$ m

Quota tirante dalla testa della paratia $H_T = 1.20$ m

Quota falda dalla testa della paratia $H_F = 2.40$ m

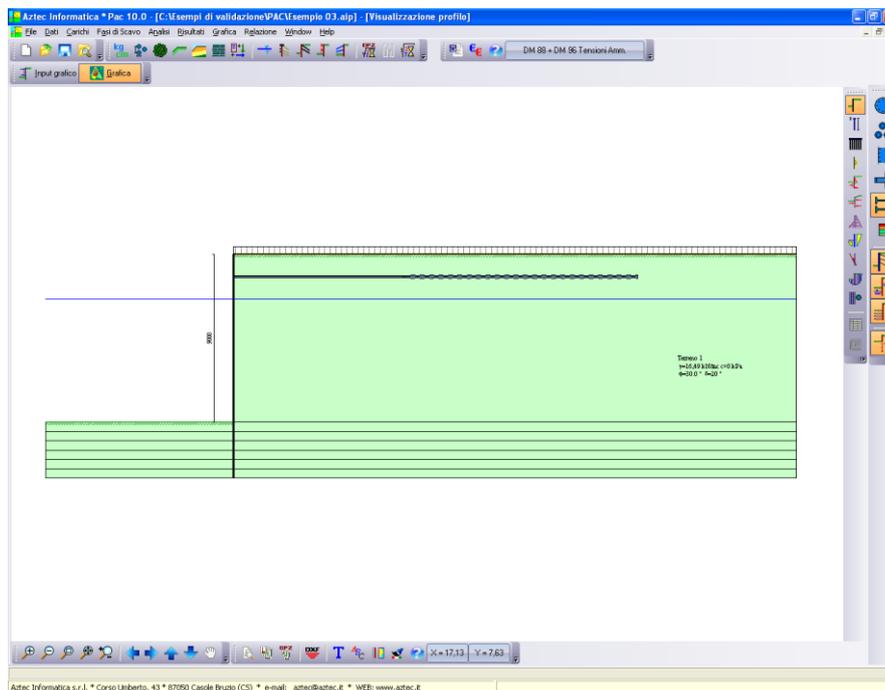
Terreno:

Peso di volume del terreno $\gamma = 16.47$ kN/m³;

Peso di volume saturo del terreno $\gamma_s = 20.18$ kN/m³;

Angolo di attrito $\phi = 30^\circ$;

Angolo di attrito terreno-paratia $\delta = 20^\circ$;



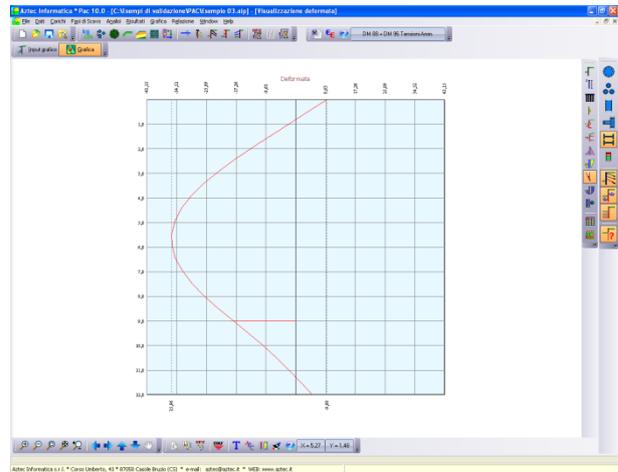
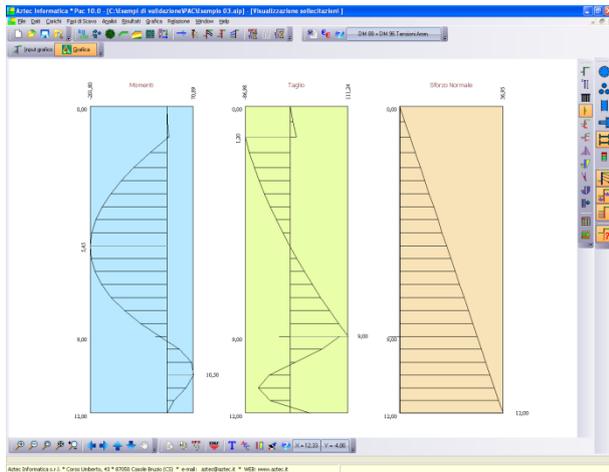
RISULTATI

Il modulo di reazione del terreno (costante di Winkler) ha un andamento lineare con la profondità (a partire dal fondo scavo, fino alla base della paratia).

Il programma PAC consente di definire l'andamento della costante di Winkler a partire dalla testa della paratia, quindi per poter simulare il problema e per semplicità sono stati definiti sei microstrati dove il modulo di reazione si ritiene costante.

Indice microstrato	Profondità media [m]	Modulo di reazione [kg/cm ² /cm]
1	9.25	0.44
2	9.75	1.00
3	10.25	1.56
4	10.75	2.13
5	11.25	2.69
6	11.75	3.25

	Letteratura	PAC
Massimo momento di progetto [kNm]	210.328	201.80
Quota dove si ha il massimo momento [m]	6.00	5.45
Trazione nella barra di ancoraggio [kN/m]	105.24	98.32
Tiro nel tirante [kN]	189.44	196.65
Massimo spostamento laterale [mm]	37.85	35.96
Spostamento in corrispondenza della barra di ancoraggio [mm]	4.34	4.38



Esempio n° 4

Riferimento: **Meccanica dei terreni.**

T.W. Lambe, R.V. Whitman

Traduzione di Calogero Valore – Università di Palermo

Dario Flacovio Editore

Esempio fig. 23.17 - Pagina 370.

DATI

Altezza paratia fuoriterra $H = 5.88$ m;

Quota tirante dalla testa della paratia $H_T = 1.22$ m

Quota falda dalla testa della paratia:

caso a: $H_F = 1.22$ m

caso b: $H_F = 2.74$ m

Terreno strato 1:

Potenza strato $H_1 = 1.22$ m

Peso di volume del terreno $\gamma = 15.71$ kN/m³;

Peso di volume saturo del terreno $\gamma_s = 20.18$ kN/m³;

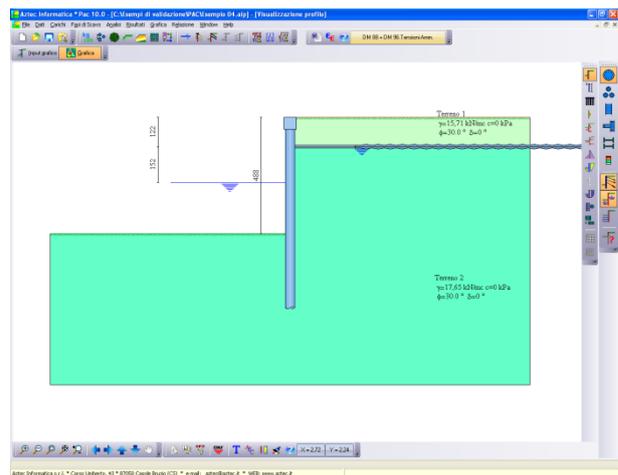
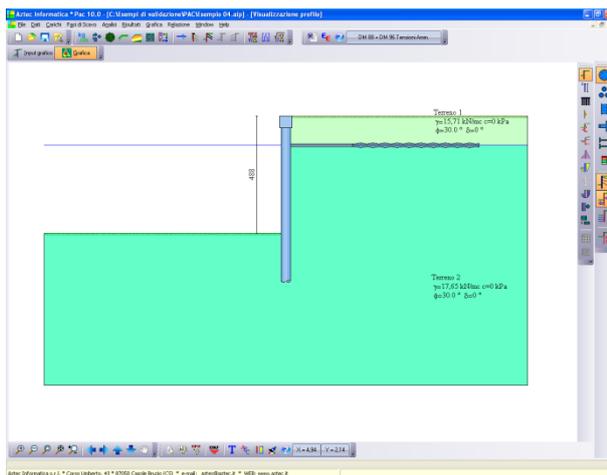
Angolo di attrito $\phi = 30^\circ$;

Terreno strato 2:

Potenza strato: infinitamente esteso

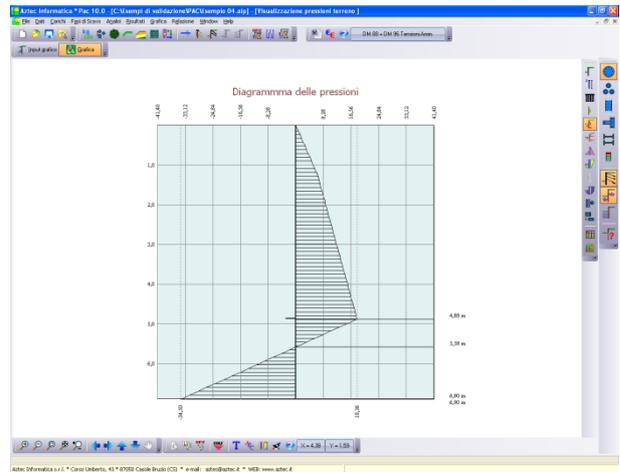
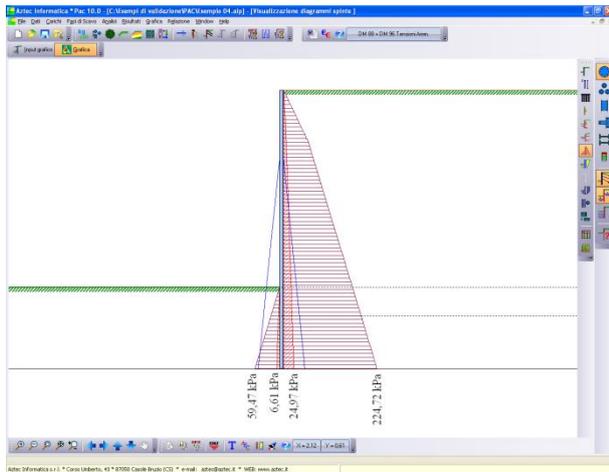
Peso di volume saturo del terreno $\gamma_s = 19.62$ kN/m³;

Angolo di attrito $\phi = 30^\circ$;

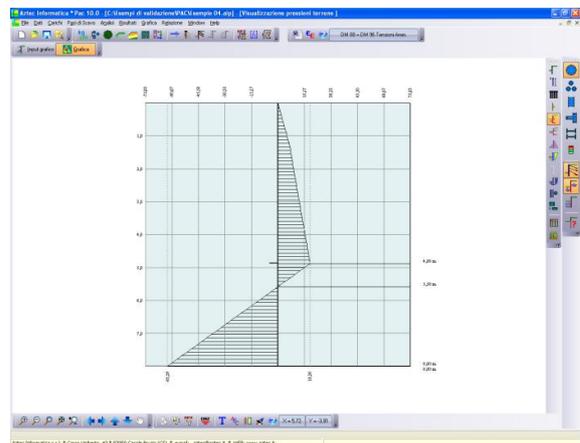
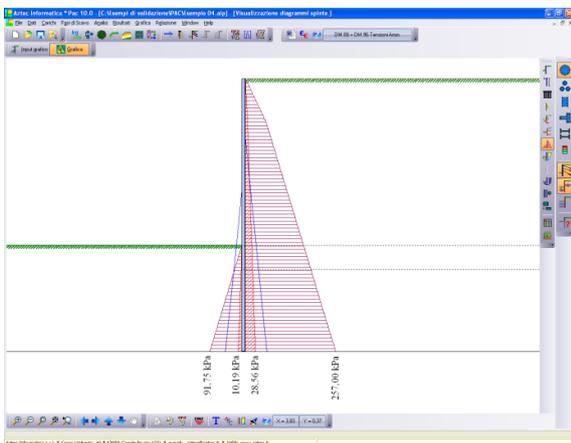


RISULTATI

	Letteratura	PAC
Caso a:		
Profondità di infissione necessaria calcolata [m]	--	2.02
Pressione passiva alla base della paratia [kN/m ²]	59.45	59.55
Pressione attiva alla base della paratia [kN/m ²]	24.96	24.98
Pressione alla base falda a monte [kN/m ²]	--	55.72
Pressione alla base falda a valle [kN/m ²]	--	-55.72
Differenza di pressione tra falda di monte e valle [kN/m ²]	0.00	0.00
Pressione alla base netta sulla paratia [kN/m ²]	24.96	22.98



	Letteratura	PAC
Caso b:		
Profondità di infissione necessaria calcolata [m]	--	3.12
Pressione passiva alla base della paratia [kN/m ²]	91.82	91.80
Pressione attiva alla base della paratia [kN/m ²]	28.56	28.56
Pressione alla base falda a monte [kN/m ²]	--	66.29
Pressione alla base falda a valle [kN/m ²]	--	-51.39
Differenza di pressione tra falda di monte e valle [kN/m ²]	14.91	14.90
Pressione alla base netta sulla paratia [kN/m ²]	43.47	43.46



Aztec Informatica s.r.l.

Software per l'Ingegneria Geotecnica e Strutturale

Corso Umberto, 43 - 87050 Casole Bruzio (CS)

Tel. 0984-432617, 438325 - e Fax 0984-432617

e-mail: aztec@aztec.it

web: www.aztec.it