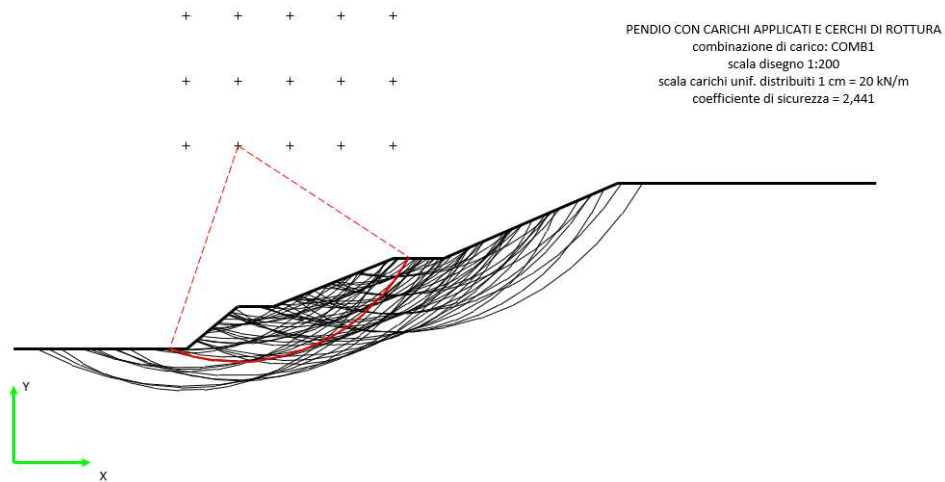


Pendii.Az

***Software per le verifiche di stabilità di pendii naturali e di opere in
materiale sciolto e fronti di scavo***

(versione 8.0)



Validazione del software

Autore

Ing. **Ciro Azzara**

Via E. Majorana, 8 – 90035 Maroneo (PA)

Cell. 348 1514947

E-mai: ing.azzara@libero.it azzara.ciro@gmail.com

Pendii.Az 8.0 <i>(Ing. Ciro Azzara)</i>	Validazione del software	Pag. 2 di 10
---	---------------------------------	--------------

INDICE

1. PREMESSA	3
2. ESEMPI DI VALIDAZIONE DEL CODICE	3
Test di verifica n. 1 – Pendio omogeneo con superficie critica circolare nota.....	3
Test di verifica n. 2 - Pendio omogeneo con superficie critica circolare nota	4
Test di verifica n. 3 - Pendio stratificato con superficie critica circolare nota	6
Test di verifica n. 4 - Pendio stratificato in condizioni non drenate in presenza di sisma	7
Test di verifica n. 5 - Pendio omogeneo con falda	8
3. BIBLIOGRAFIA	10

1. PREMESSA

Di seguito vengono riportati alcuni esempi al fine di dare ulteriori chiarimenti sull'uso del software e per validare il codice di calcolo confrontando i risultati con quelli ottenuti manualmente e/o riscontrabili in letteratura tecnica e/o utilizzando altri software di comprovata affidabilità.

La taratura dei vari algoritmi di calcolo implementati, al fine di dimostrare l'attendibilità dei risultati, è una operazione fondamentale che va a tutela e garanzia dell'utente finale ed è espressamente prevista dalle NTC di cui al D.M. 14/01/2008 e al D.M. 17/01/2018 (capitolo 10), fermo restando che il progettista resta sempre e comunque unico responsabile dell'intera progettazione geotecnica e strutturale, come espressamente previsto dal penultimo comma del capitolo 10.1 dei citati Decreti Ministeriali.

Il progettista deve controllare l'affidabilità dei codici di calcolo utilizzati e verificare l'attendibilità dei risultati ottenuti.

Va precisato che non è mai possibile avere una corrispondenza assoluta dei risultati, sia per gli arrotondamenti impliciti dovuti al linguaggio macchina, sia per le diverse ipotesi assunte nella stesura degli algoritmi che vengono implementati nel software.

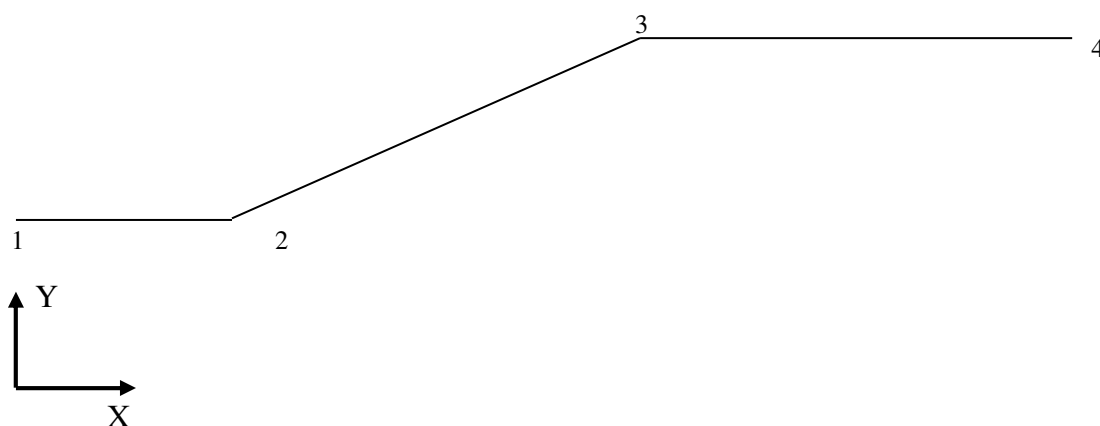
In tutti gli esempi che seguono si assume il numero medio dei conci in cui dividere la porzione di pendio pari a 20.

2. Esempi di validazione del codice

TEST DI VERIFICA N. 1 – PENDIO OMOGENEO CON SUPERFICIE CRITICA CIRCOLARE **NOTA**

Si consideri il seguente pendio, pubblicato ed analizzato da Yamagami e Ueta (1988), costituito da terreno omogeneo a grana grossa senza falda, avente i seguenti parametri geotecnici:

Strato n°	γ [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kN/m ²]
1	17,64	10	9,80



Le coordinate dei vertici del pendio sono:

Vertice	X [m]	Y [m]
1	0	5
2	5	5
3	15	10
4	25	10

Si conosce la forma e la posizione della superficie di rottura: arco di cerchio avente centro di coordinate $X_{cr} = 8,672$ m, $Y_{cr} = 13,934$ m e raggio $R_{cr} = 9,685$ m. Non si considera l'azione sismica e non sono presenti sovraccarichi applicati sul pendio.

Per calcolare il suddetto pendio con *Pendii.Az* occorre:

- scegliere la normativa DM 1988;
- definire una Forma di carico di tipo permanente per la forza peso del terreno.

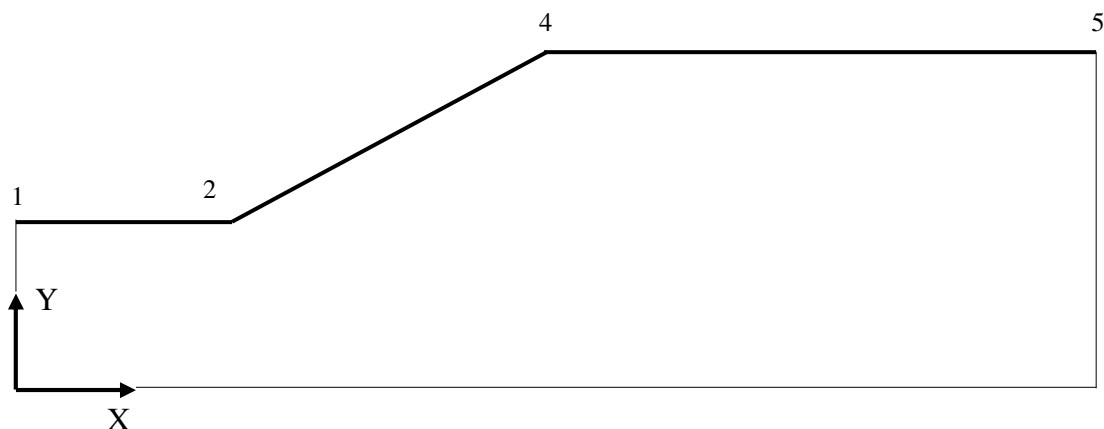
Il coefficiente di sicurezza del pendio calcolato dagli autori sopra citati e con il software *Pendii.Az* è indicato nella seguente tabella:

	Bishop semplificato	Fellenius	Janbu semplificato	Janbu rigoroso (d/H=0,3)	GLE Morgenstern Price con $f(x)=1$	Spencer
Yamagami e Ueta (1988)	1,348	1,282	-	-	-	-
Software Pendii.Az	1,346	1,287	1,247	1,326	1,344	1,344

Come si può notare, i risultati ottenuti con *Pendii.Az* sono in accordo con quelli ottenuti dagli autori nonché con quelli ottenibili utilizzando altri software analoghi esistenti in commercio (es. STAP).

TEST DI VERIFICA N. 2 - PENDIO OMOGENEO CON SUPERFICIE CRITICA CIRCOLARE NOTA

Si consideri il seguente pendio pubblicato da Morgenstern e Price¹:



¹ The analysis of the stability of general slip surface – N.R. Morgenstern e V.E. Price (1965).

Le coordinate dei vertici del pendio sono:

Vertice	X [m]	Y [m]
1	0	10
2	10	10
3	30	20
4	40	20

Le caratteristiche geotecniche del terreno sono le seguenti:

Strato n°	γ [kN/m ³]	ϕ [°]	c [kN/m ²]
1	20	20	20

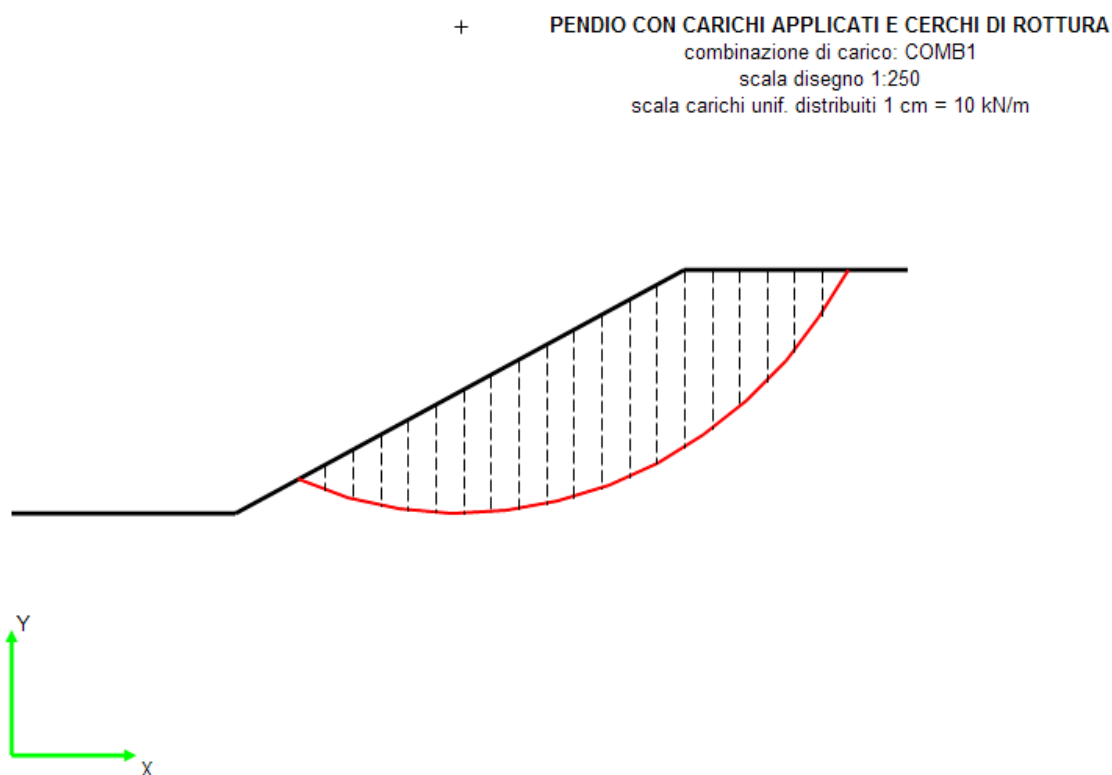
Si conosce la forma e la posizione della superficie di rottura: arco di cerchio avente centro di coordinate $X_{cr} = 20$ m, $Y_{cr} = 30$ m e raggio $R_{cr} = 20$ m.

Procedendo come in esempio 1 si ottengono i seguenti risultati sul coefficiente di sicurezza del pendio:

	Fellenius	Bishop	Janbu semplificato	Spencer	Morgenstern/Price (con $f(x)=1$)
Morgenstren-Price	-	-	-	-	2,098
Software Pendii.Az	1,926	2,041	1,887	2,040	2,040

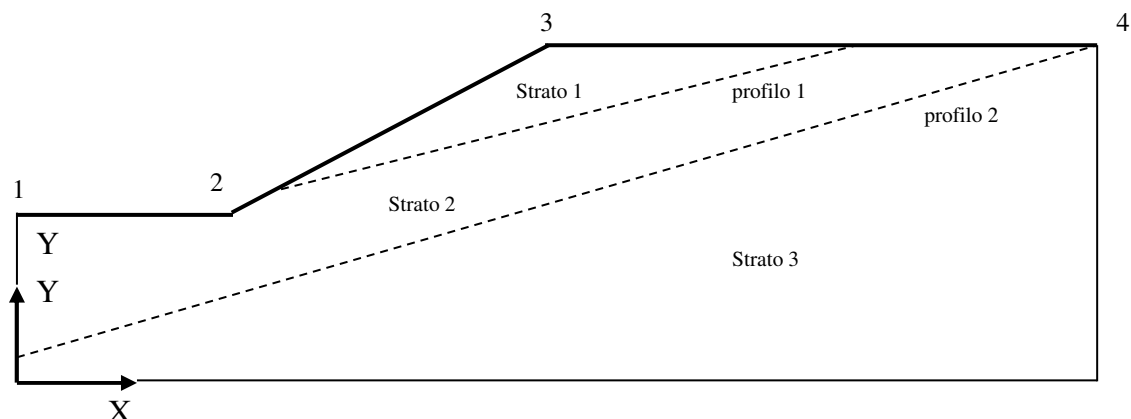
Come si può notare, i risultati ottenuti con *Pendii.Az* sono in accordo con quelli ottenuti da Morgenstern e Price.

Di seguito è riportato il disegno fornito dal software:



TEST DI VERIFICA N. 3 - PENDIO STRATIFICATO CON SUPERFICIE CRITICA CIRCOLARE **NOTA**

Si consideri il seguente pendio costituito da tre strati pubblicato da Arai e Tagyo (1985) e ripreso successivamente da altri autori tra i quali Kim et al. (2002):



Le coordinate dei vertici del pendio sono:

Vertice	X [m]	Y [m]
1	0	15
2	18	15
3	48	35
4	96	35

Le coordinate dei due profili che costituiscono la base dei primi due strati sono (lo strato 3 ha base all'infinito):

Vertice	Profilo 1		Profilo 2	
	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
1	24	19	0	3
2	73	35	96	35

Le caratteristiche geotecniche degli strati sono le seguenti:

Strato n°	γ [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kN/m ²]
1	18,82	12	29,4
2	18,82	5	9,8
3	18,82	40	294

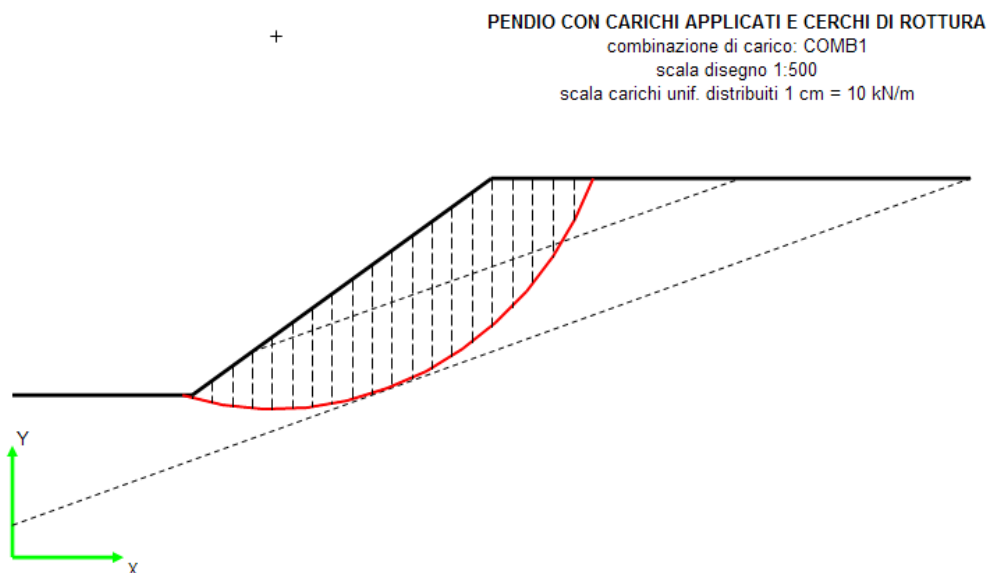
Si conosce la forma e la posizione della superficie di rottura: arco di cerchio avente centro di coordinate $X_{cr} = 26,37$ m, $Y_{cr} = 48,15$ m e raggio $R_{cr} = 34,45$ m.

Non si considera l'azione sismica e non sono presenti sovraccarichi applicati sul pendio. La falda è assente.

Il coefficiente di sicurezza del pendio calcolato dagli autori citati e con il software *Pendii.Az* è:

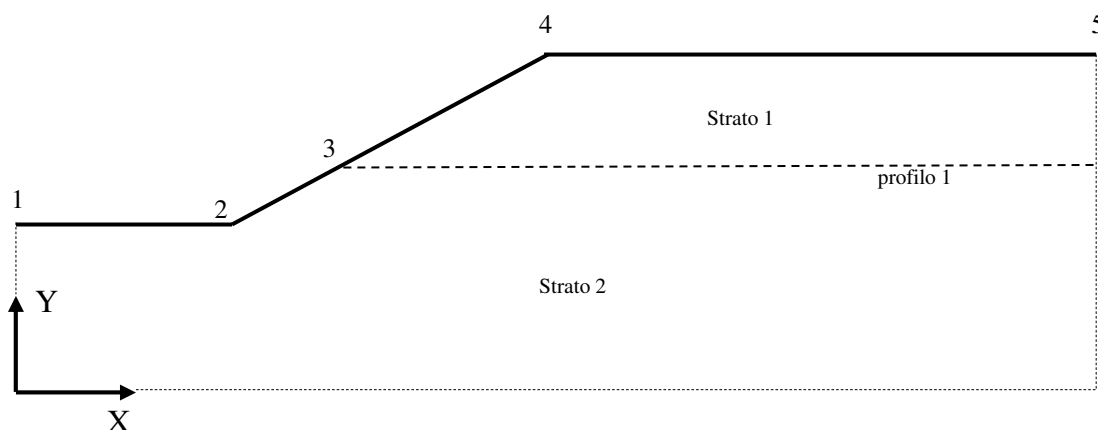
	Bishop semplificato	Janbu semplificato
Arai e Tagyo (1985)	0,417	-
Kim et al. (2002)	0,430	-
Software Pendii.Az	0,435	0,430

Anche qui i risultati ottenuti con *Pendii.Az* sono in accordo con quelli ottenuti dagli autori citati nonché con quelli ottenibili utilizzando altri software analoghi esistenti in commercio.



TEST DI VERIFICA N. 4 - PENDIO STRATIFICATO IN CONDIZIONI NON DRENATE IN PRESENZA DI SISMA

Si consideri dato il seguente pendio, pubblicato da Kramer²:



Le coordinate dei vertici del pendio sono:

Vertice	X [m]	Y [m]
1	0	6,1
2	24,38	6,1
3	29,26	8,53
4	42,67	15,24
5	67,06	15,24

² Kramer, Steven Lawrence – *Geotechnical earthquake engineering* - Prentice hall civil engineering and engineering mechanics series 1996.

Pendii.Az 8.0 (Ing. Ciro Azzara)	Validazione del software	Pag. 8 di 10
--	---------------------------------	--------------

Le coordinate del profilo che costituisce la base del primo strato sono:

Vertice	Profilo 1	
	X [m]	Y [m]
1	29,26	8,53
2	67,06	8,53

Le caratteristiche geotecniche degli strati sono le seguenti (condizioni non drenate):

Strato n°	γ [kN/m ³]	$\phi=\phi_u$ [°]	$c=c_u$ [kN/m ²]
1	17,28	0	28,73
2	19,64	0	47,88

Si conosce la forma e la posizione della superficie di rottura: arco di cerchio avente centro di coordinate $X_{cr} = 37,80$ m, $Y_{cr} = 24,08$ m e raggio $R_{cr} = 24,08$ m.

Per calcolare il suddetto pendio con *Pendii.Az* occorre scegliere la normativa DM 1988 con Grado di sismicità $S=12$ in modo da ottenere il coefficiente sismico orizzontale pari a 0,10 e definire una forma di carico di tipo permanente sfavorevole alla sicurezza (peso terreno).

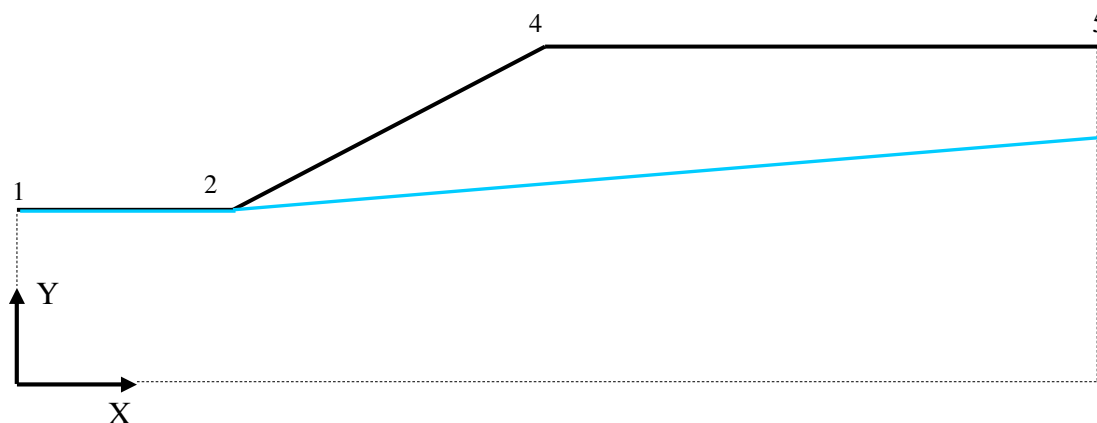
Il coefficiente di sicurezza del pendio è riportato di seguito:

	Fellenius	Bishop	Janbu semplificato	Morgenstern con $f(x)=1$	Spencer
Kramer 1996, senza sisma	1,79	-	-	-	-
Software Pendii.Az, senza sisma (COMB. 1)	1,793	1,793	1,634	1,793	1,793
Kramer 1996, con sisma	1,28	-	-	-	-
Software Pendii.Az, con sisma (COMB. 2)	1,293	1,293	1,148	1,293	1,293

Ancora una volta si evidenzia il perfetto accordo dei risultati.

TEST DI VERIFICA N. 5 - PENDIO OMOGENEO CON FALDA

Sia dato il seguente pendio, analizzato da D.Y. Zhu et al, pubblicato originariamente da Fredlund e Krahn (1977)



Pendii.Az 8.0 (Ing. <i>Ciro Azzara</i>)	Validazione del software	Pag. 9 di 10
--	---------------------------------	--------------

Le coordinate dei vertici del pendio sono:

Vertice	X [m]	Y [m]
1	0,00	6,10
2	6,10	6,10
3	30,48	18,29
4	48,77	18,29

Le coordinate dei vertici della falda sono:

Vertice	X [m]	Y [m]
1	0,00	6,10
2	6,10	6,10
3	48,77	12,19

Le caratteristiche geotecniche del terreno sono le seguenti (condizioni drenate):

Strato n°	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kN/m ²]
1	18,85	18,85	20	28,728

Si conosce la forma e la posizione della superficie di rottura: arco di cerchio avente centro di coordinate $X_{cr} = 12,19$ m, $Y_{cr} = 27,43$ m e raggio $R_{cr} = 24,38$ m. Le condizioni di rottura sono quelle drenate.

Il coefficiente di sicurezza del pendio è riportato di seguito:

	Morgenstern/Price		
senza falda	$f(x) = 1$	$f(x) = \sin x$	$f(x) = \text{trapezia}$
Fredlund e Krahn	2,073	2,076	-
D.Y. Zhu	2,075	2,074	-
Software Pendii.Az	2,076	2,091	2,092
con falda			
Fredlund e Krahn	1,830	1,832	-
D.Y. Zhu	1,831	1,831	-
Software Pendii.Az	1,832	1,840	1,841

Pendii.Az 8.0 (Ing. Ciro Azzara)	Validazione del software	Pag. 10 di 10
--	---------------------------------	---------------

3. BIBLIOGRAFIA

- [1] Bishop A.W., 1955 - *The use of the slip circle in the stability analysis of slopes*, Geotechnique Vol. 5, 7-17
- [2] Morgenstern N.R. & Price V.E. (1965) – *The analysis of the stability of general slip surfaces*. Geotechnique, 15, 79-93
- [3] Fredlund D.G., Krahn J. (1977). *Comparison of slope stability methods of analysis*. Canadian Geotechnical Journal, 14, 3, 429-439.
- [4] Kramer, Steven Lawrence – *Geotechnical earthquake engineering* - Prentice hall civil engineering and engineering mechanics series 1996
- [5] Arai, K., and Tagyo, K. (1985), “*Determination of noncircular slip surface giving the minimum factor of safety in slope stability analysis.*” Soils and Foundations. Vol.25, No.1, pp.43-51.
- [6] Yamagami, T. and Ueta, Y., 1988. *Search for noncircular slip surfaces by the Morgenstern-Price method*. In: Proceedings of the 6th international conference on numerical methods in geomechanics, 11–15 April, Innsbruck, Austria, 1335–1340.
- [7] Kim, J., Salgado, R., Lee, J. (2002), “*Stability analysis of complex soil slopes using limit analysis.*” Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. Vol.128, No.7, July, pp. 546-557.

Data emissione documento: **Giugno 2021**