Report di validazione

Oggetto	Validazione dell'applicativo «Generatore Muro-Pendio» e dei risultati Code_Aster (FEM-SRM) rispetto a soluzioni di letteratura
Data	18/11/2026
Redatto da	
Stato	0 casi su 5 con risultati FEM caricati – i casi mancanti vanno calcolati con Salome-Meca e caricati

1. Scopo e metodo

Il report documenta l'affidabilità della catena di calcolo in due livelli. **Livello A**: i solutori indipendenti interni all'applicativo (Bishop semplificato, cuneo di tentativo per la spinta, modello di imbibizione) sono confrontati con soluzioni pubblicate o in forma chiusa. **Livello B**: i risultati Code_Aster prodotti dagli script generati sono confrontati con i valori di letteratura e con i solutori del livello A sugli stessi casi. Il criterio di accettazione è indicato per ciascun caso; per il fattore di sicurezza si adotta uno scarto massimo del 5 % rispetto ai valori di riferimento pubblicati (ordine di grandezza degli scarti FEM–LEM riportati da Griffiths & Lane, 1999).

2. Livello A – solutori indipendenti

Tabella 1 – Confronto dei solutori dell'applicativo con soluzioni di riferimento.

Caso	Grandezza	Calcolato	Riferimento	Scarto	Tolleranza	Fonte	Esito
V1 – Griffiths & Lane (1999), es. 1	FS Bishop	1,369	1,380	-0,81 %	± 3,0 %	Bishop & Morgenstern (1960), citato in Griffiths & Lane (1999)	**CONFORME**
V2 – ACADS EX1(a)	FS Bishop	0,986	1,000	-1,43 %	± 3,0 %	Donald & Giam (1989), soluzione di riferimento	**CONFORME**
V3 – spinta su paramento verticale	P [kN/m]	54,185	54,185	-0,00 %	± 1,0 %	Coulomb / Müller-Breslau, K_a = 0,2973	**CONFORME**
V3 – spinta su paramento inclinato ω = 19,6°	P [kN/m]	86,791	86,451	0,39 %	± 1,0 %	Coulomb / Müller-Breslau, K_a = 0,4744	**CONFORME**
V3b – spinta con terrapieno inclinato di 10° (alto 1,5 m)	P [kN/m]	102,404	86,5 – 102,3	–	intervallo	Coulomb non applicabile (superficie spezzata): valore compreso fra K_a(β=0) e K_a(β=10°)	**CONFORME**
V3c – spinta sismica, k_h = 0,15	P_AE [kN/m]	74,180	74,180	-0,00 %	± 1,0 %	Mononobe–Okabe, K_AE = 0,4070	**CONFORME**
Fronte di imbibizione (i = 36 mm/h > k_s)	z_f [m]	1,800	1,800	-0,00 %	± 0,1 %	Lumb (1962): z_f = k_s·t/[n(S_f−S_0)]	**CONFORME**

Tutti i confronti di livello A rientrano nelle tolleranze. Il Bishop dell'applicativo cerca il cerchio critico su una griglia di centri e raggi con cinque raffinamenti successivi; lo scarto rispetto ai valori di carta (−1 %) è coerente con la discretizzazione in conci e con la precisione grafica delle carte di stabilità.

3. Livello B – risultati Code_Aster

3.1 V1 – Griffiths & Lane (1999) – pendio omogeneo 2:1, esempio 1

Griffiths D.V., Lane P.A. (1999). Slope stability analysis by finite elements. Géotechnique 49(3), 387–403 – Esempio 1 (c'/γH = 0,05, φ' = 20°, D = 2).

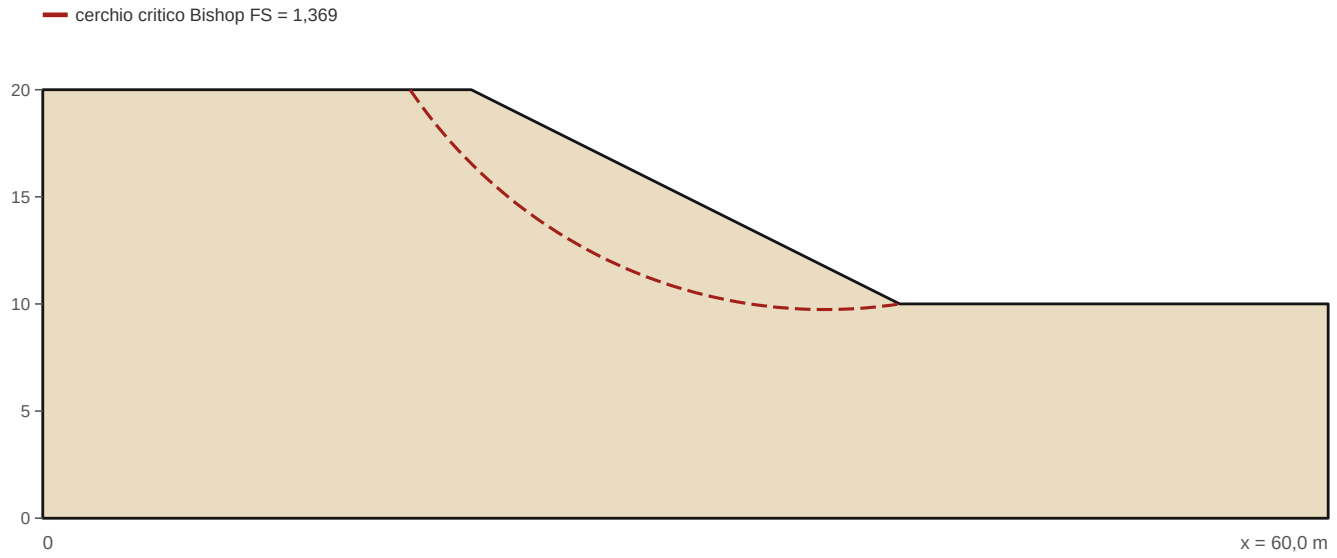


Figura 1 – V1: geometria del caso e cerchio critico di Bishop (FS = 1,369).

Tabella 2 – V1: confronto dei risultati.

Grandezza	Code_Aster	Riferimento	Bishop / analitico app	Scarto FEM	Riferimento usato	Esito
FS	da calcolare	1,400	1,369	–	FEM-SRM di Griffiths & Lane (± 5 %)	IN ATTESA
FS	da calcolare	1,380	1,369	–	Bishop & Morgenstern (1960), carte di stabilità (± 5 %)	IN ATTESA

3.2 V2 – ACADS EX1(a) – pendio omogeneo 2:1

Donald I.B., Giam P. (1989). ACADS soil slope stability programs review. ACADS Publ. U255 – problema EX1(a): c' = 3 kPa, φ' = 19,6°, γ = 20 kN/m³, H = 10 m.

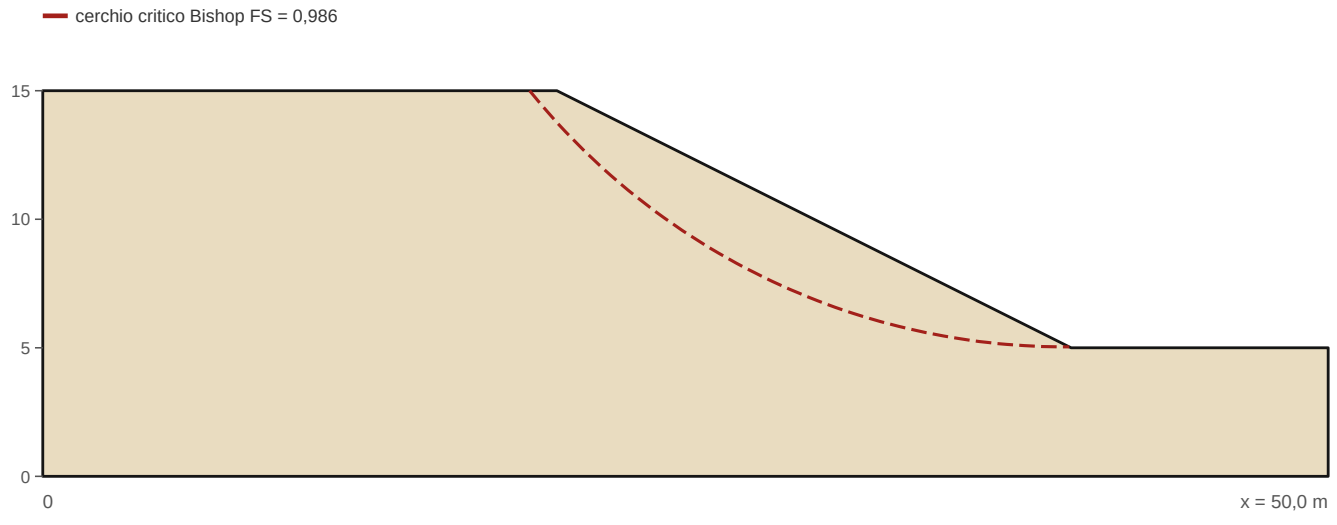


Figura 2 – V2: geometria del caso e cerchio critico di Bishop (FS = 0,986).

Tabella 3 – V2: confronto dei risultati.

Grandezza	Code_Aster	Riferimento	Bishop / analitico app	Scarto FEM	Riferimento usato	Esito
FS	da calcolare	1,000	0,986	–	soluzione di riferimento ACADS (referee) (± 5 %)	IN ATTESA

3.3 V3 – Muro a gravità con terrapieno orizzontale – spinta di Coulomb

Coulomb C.A. (1776); Müller-Breslau (1906): coefficiente di spinta attiva; Jáky (1944): K0 = 1 − sin φ'. Confronto della spinta FEM sul paramento con l'intervallo tra spinta attiva e a riposo.

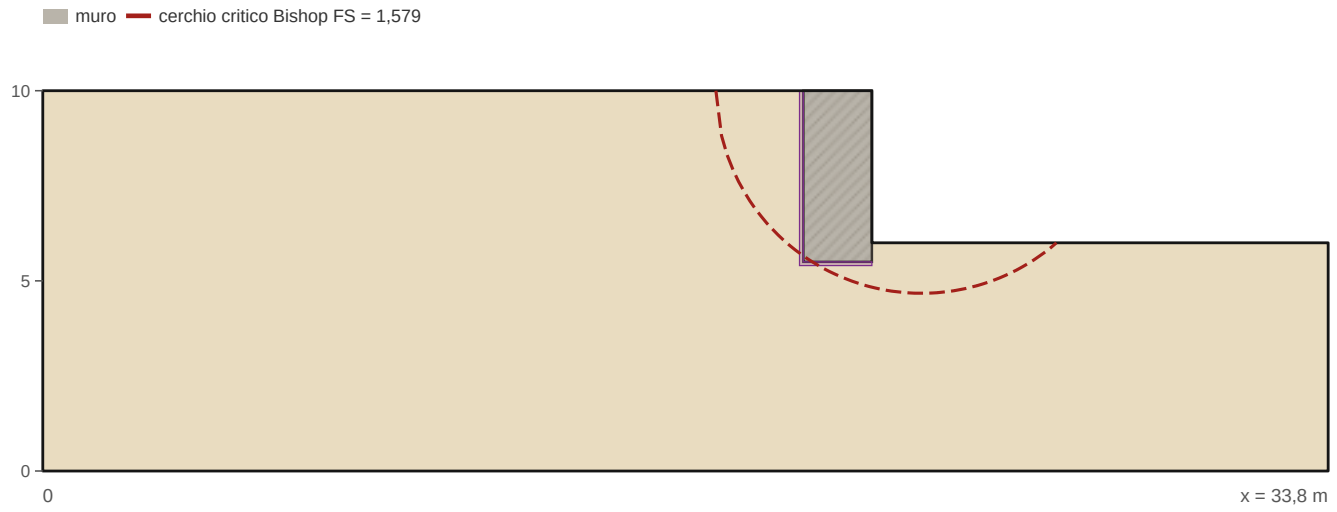


Figura 3 – V3: geometria del caso e cerchio critico di Bishop (FS = 1,579).

Tabella 4 – V3: confronto dei risultati.

Grandezza	Code_Aster	Riferimento	Bishop / analitico app	Scarto FEM	Riferimento usato	Esito
K_h = P_x/(½γH²)	da calcolare	0,279 ≤ K ≤ 0,500	0,279	–	K_a,h Coulomb (δ = 2/3φ') – K_0 Jáky	IN ATTESA

3.4 V4 – Pendio omogeneo con falda alla superficie (saturazione completa)

Confronto di coerenza tra FEM-SRM e Bishop semplificato con la stessa linea piezometrica (Griffiths & Lane, 1999, mostrano scarti FEM–LEM entro il 5 % per pendii con falda).

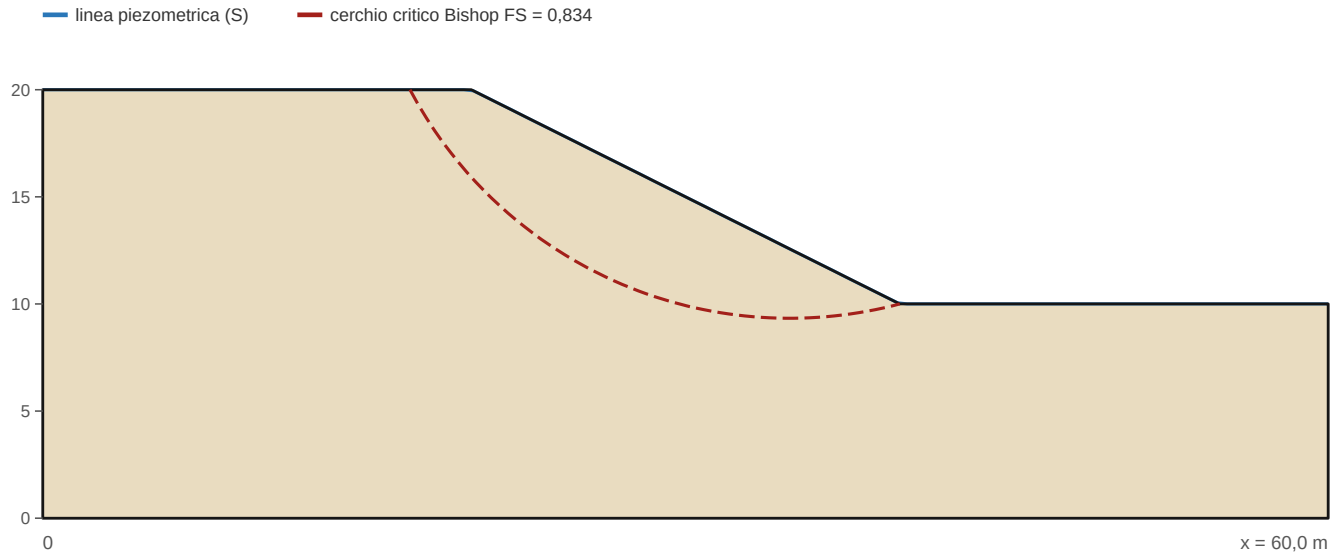


Figura 4 – V4: geometria del caso e cerchio critico di Bishop (FS = 0,834).

Tabella 5 – V4: confronto dei risultati.

Grandezza	Code_Aster	Riferimento	Bishop / analitico app	Scarto FEM	Riferimento usato	Esito
FS	da calcolare	0,834	0,834	–	Bishop semplificato calcolato dall'applicativo (Bishop dell'applicativo) (± 7 %)	IN ATTESA

3.5 V5 – Pendio chiodato – confronto FEM / equilibrio limite con forze nelle barre

Confronto di coerenza: FS FEM-SRM con barre e Bishop con forze delle barre limitate da snervamento e sfilamento (FHWA-NHI-14-007, GEC 7, §5).

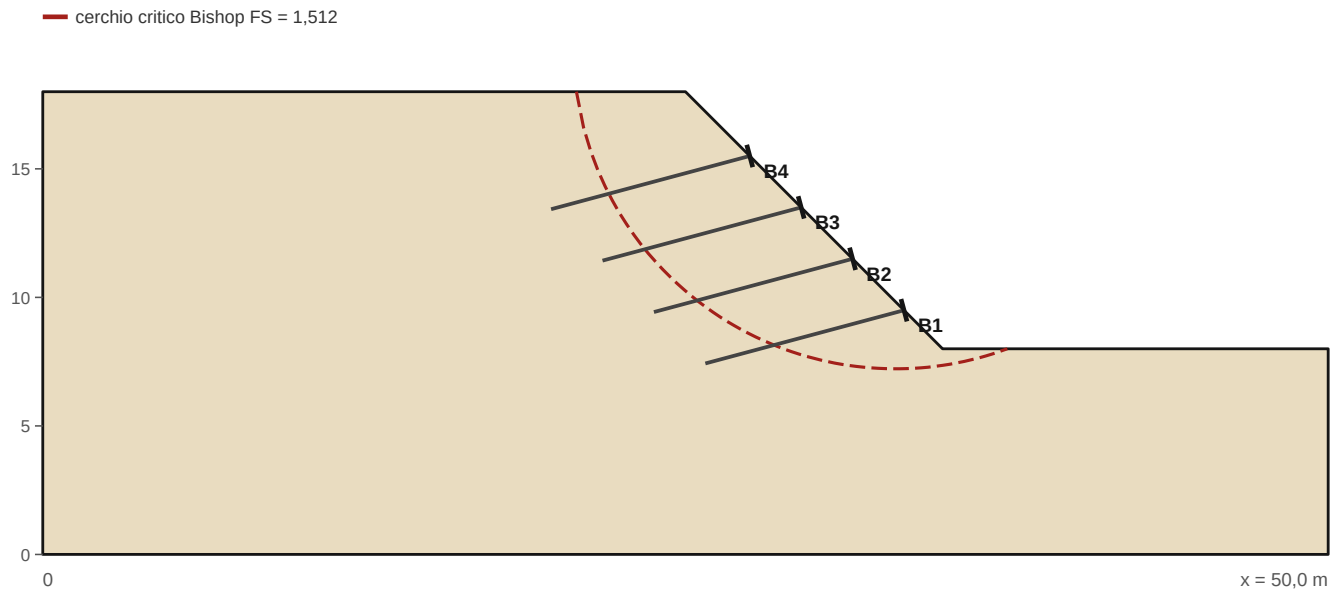


Figura 5 – V5: geometria del caso e cerchio critico di Bishop (FS = 1,512).

Tabella 6 – V5: confronto dei risultati.

Grandezza	Code_Aster	Riferimento	Bishop / analitico app	Scarto FEM	Riferimento usato	Esito
FS con barre	da calcolare	1,512	1,512	–	Bishop con barre calcolato dall'applicativo (Bishop dell'applicativo) (± 10 %)	IN ATTESA
FS senza barre	da calcolare	1,077	1,077	–	Bishop dell'applicativo (± 7 %)	IN ATTESA

4. Sintesi

Tabella 7 – Esito complessivo della validazione.

Livello	Confronti	Conformi	Non conformi	In attesa di FEM
A – solutori indipendenti	7	7	0	0
B – Code_Aster	7	0	0	7

5. Conclusioni e limiti

La validazione del livello B è incompleta: 7 confronti attendono i risultati del calcolo. Per completarla, generare gli script dei casi V1–V5 dalla scheda Validazione, eseguirli in Salome-Meca e caricare i file prodotti (_fs.txt, _nodi.csv, _barre.csv, _muro.csv).

I casi V4 e V5 non hanno un valore pubblicato univoco: il confronto è con il Bishop dell'applicativo, a sua volta validato al livello A. La spinta FEM sul muro (V3) dipende dallo spostamento del muro e non può coincidere con la spinta attiva: il criterio verifica che cada fra lo stato attivo e quello a riposo. Il confronto non sostituisce il giudizio del progettista sulla rappresentatività dei parametri e del modello.