

Manuale di utilizzo — App Calcolo Muri a Secco

Questa guida spiega come utilizzare l'applicazione interattiva **Calcolo Muri a Secco**. L'app permette di inserire i dati geometrici e geotecnici di un muro a secco per calcolare automaticamente spinta attiva, peso, momento e fattori di sicurezza.

1. Inserimento delle quote principali

Compila l'altezza H [m], la lunghezza L [m] e la base B [m]. Questi parametri definiscono la geometria del muro.

2. Parametri geotecnici

Imposta il coefficiente di attrito μ tra terreno e pietra oppure selezionalo dalla tabella di valori tipici. Inserisci anche i pesi unitari del terreno (γ_s) e della pietra (γ_r).

3. Geometria e acclivio

Indica l'inclinazione del paramento β e l'eventuale acclivio i del terreno. L'app suggerisce un valore di β coerente con i .

4. Lettura dei risultati

L'app calcola automaticamente i parametri principali: coefficiente K_a , spinta attiva P_a , peso del muro W , momento resistente M , indice di rischio R e fattori di sicurezza FS e FS_{rib} . I risultati sono mostrati in kN e in tonnellate equivalenti.

5. Registro e salvataggio

Puoi registrare i calcoli effettuati in un registro locale, esportarli in formato CSV (apribile in Excel) o importarli nuovamente.

6. Interpretazione del semaforo

Gli indicatori di sicurezza si colorano in verde, giallo o rosso in base ai metodi ASD o EC7/NTC. Il metodo ASD usa il Fattore di Sicurezza (FS), mentre EC7/NTC controlla il rapporto domanda/capacità (U).

Esempio pratico

Altezza H	3.5 m
Lunghezza L	13 m
Base B	0.9 m
Inclinazione β	19.45°
Acclivio i	27°
μ	0.92 ($\phi \approx 42.6^\circ$)
γ_s	22 kN/m ³
γ_r	25.5 kN/m ³

Teorie di spinta — Passo per passo

Coulomb (1776) — Procedura

- 1) Imposta i dati: altezza H , inclinazione del paramento β (β), angolo d'attrito interno ϕ (ϕ), attrito terreno–muro δ (δ), inclinazione del terrapieno i e peso unitario γ_s (γ_s).
- 2) Considera il cuneo di terreno delimitato dal paramento e da un piano di scorrimento inclinato θ (θ).
- 3) Scrivi le equazioni di equilibrio del cuneo (peso, reazioni, spinta).
- 4) Determina l'angolo θ critico che massimizza P_a .
- 5) Ricava il coefficiente attivo $K_{a,C}$ con la formula generale.
- 6) Calcola la distribuzione delle pressioni: $p_a(z) = \gamma_s \cdot K_{a,C} \cdot z$; risultante $P_a = 1/2 \cdot \gamma_s \cdot K_{a,C} \cdot H^2$.
- 7) Usa P_a per le verifiche di stabilità: scorrimento e ribaltamento.

Rankine (1857) — Procedura

- 1) Assumi parete verticale ($\beta \approx 0$), $\delta \approx 0$, terrapieno orizzontale ($i \approx 0$).
- 2) Analizza le tensioni principali nel terreno.
- 3) Definisci i coefficienti: $K_{a,R} = (1 - \sin \phi) / (1 + \sin \phi)$, $K_{p,R} = (1 + \sin \phi) / (1 - \sin \phi)$.
- 4) Distribuzione delle pressioni: $p_a(z) = \gamma_s \cdot K_{a,R} \cdot z$.
- 5) Risultante $P_a = 1/2 \cdot \gamma_s \cdot K_{a,R} \cdot H^2$ a $H/3$ dal piede.

Esempio numerico (unità con conversioni in tonnellate tra parentesi)

$$P_a = 0.5 \cdot 22 \cdot 0.511 \cdot 3.5^2 = 68.812 \text{ kN/m} (\approx 7.014 \text{ t/m})$$

$$W = 25.5 \cdot 0.9 \cdot 3.5 = 80.325 \text{ kN/m} (\approx 8.188 \text{ t/m})$$

$$M = P_a \cdot (H/3) = 80.281 \text{ kN} \cdot \text{m/m} (\approx 8.184 \text{ t} \cdot \text{m/m})$$

Tabella dei simboli (con fonetica dei simboli greci)

Simbolo	Descrizione	Unita	Fonetica (solo greci)
H	Altezza del muro	m	
B	Base del muro	m	
L	Lunghezza del muro	m	
β	Inclinazione del paramento	deg	beta (be-ta)
i	Inclinazione del terrapieno	deg	
ϕ	Angolo di attrito interno del terreno	deg	phi = 'fi'
δ	Angolo di attrito terreno–muro	deg	delta (del-ta)
γ_s	Peso unitario del terreno	kN/m ³	gamma (gam-ma)
γ_r	Peso unitario della pietra	kN/m ³	gamma (gam-ma)
μ	Coefficiente d'attrito ($\tan \phi$)	-	mu (mu)
K_a	Coefficiente di spinta attiva	-	
K_p	Coefficiente di spinta passiva	-	
P_a	Spinta attiva risultante	kN/m	
W	Peso del muro	kN/m	
M	Momento resistente	kN·m/m	
FS	Fattore di sicurezza a scorrimento	-	

Esercizi — Compilazione

Esercizio 1 — Calcolo dell'area di un muro

Dato un muro a secco con altezza $H=2.0$ m e base $B=0.8$ m, calcola l'area della sezione rettangolare. Scrivi il risultato in m^2 .

Esercizio 2 — Calcolo del peso proprio

Un muro ha altezza $H=2.5$ m, base $B=1.0$ m e peso unitario della pietra $g_r=24$ kN/m^3 (≈ 2.446 t/m^3). Calcola il peso proprio per metro lineare W .

Esercizio 3 — Spinta attiva Rankine

Dato $H=3.0$ m, $g_s=18$ kN/m^3 (≈ 1.835 t/m^3) e angolo d'attrito $\phi=30^\circ$, calcola K_a con la formula di Rankine $K_a = (1 - \sin \phi) / (1 + \sin \phi)$, poi calcola $P_a = 0.5 \times g_s \times K_a \times H^2$.

Esercizio 4 — Momento resistente

Con i dati dell'esercizio 3 ($P_a=27.0$ kN/m (≈ 2.752 t/m), $H=3.0$ m), calcola il momento $M = P_a \times H/3$.

Esercizio 5 — Fattore di sicurezza

Un muro ha peso proprio $W=80$ kN/m (≈ 8.155 t/m) e spinta attiva $P_a=60$ kN/m (≈ 6.116 t/m). Calcola il fattore di sicurezza $FS = W/P_a$.

Esercizio 6 — Coulomb con inclinazione

Supponi un muro con $\beta=15^\circ$, $\phi=35^\circ$, $\delta=20^\circ$, $i=10^\circ$. Calcola K_a con la formula di Coulomb (semplificata) e confronta il risultato con Rankine per $\phi=35^\circ$. Commenta la differenza.

Soluzioni degli esercizi

1) Soluzione: $Area = H \times B = 2.0 \times 0.8 = 1.6 \text{ m}^2$

Nota [1]: Formula dell'area di un rettangolo: base \times altezza.

2) Soluzione: $W = \gamma r \times H \times B = 24 \times 2.5 \times 1.0 = 60 \text{ kN/m}$

Nota [2]: Il peso proprio si ottiene dal volume \times peso unitario del materiale.

3) Soluzione: $K_a = (1 - \sin 30^\circ) / (1 + \sin 30^\circ) = 0.333$. $P_a = 0.5 \times 18 \times 0.333 \times 3.0^2 = 27.0 \text{ kN/m}$

Nota [3]: La teoria di Rankine (1857) considera pareti verticali e terreni orizzontali, fornendo una stima della spinta attiva.

4) Soluzione: $M = 27.0 \times (3.0/3) = 27.0 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$

Nota [4]: Il braccio della risultante della spinta attiva è posto a $H/3$ dal piede del muro.

5) Soluzione: $FS = 80 / 60 \approx 1.33$

Nota [5]: Il fattore di sicurezza (FS) misura il rapporto tra resistenze disponibili e azioni agenti.

6) Soluzione: K_a con Coulomb $>$ K_a con Rankine, perché tiene conto di inclinazione parete e riempimento. Rankine ≈ 0.27 , Coulomb leggermente maggiore.

Nota [6]: La teoria di Coulomb (1776) estende Rankine introducendo inclinazione della parete, attrito muro-terreno e acclivio.

Confronto dei Metodi di Verifica per Muri a Secco

Approccio geotecnico (Coulomb/Rankine) vs approccio prescrittivo (Scuola francese) vs linee guida svizzere

Autore: Andrea Scotti — 2025 ©

Abstract — Questo documento sintetizza e confronta tre impostazioni per la verifica dei muri a secco: (i) il calcolo geotecnico classico basato su spinta attiva (Coulomb/Rankine) e indici di sicurezza (FS, R), (ii) le 'règles professionnelles' della scuola francese della pietra a secco (ABPS/ENTPE) con abachi e regole d'arte, e (iii) le linee guida svizzere a carattere prescrittivo/semiempirico. Si propongono inoltre criteri pratici di integrazione nel calcolatore.

Parole chiave: muri a secco, spinta attiva, Coulomb, Rankine, regole d'arte, abachi, linee guida svizzere, fattore di sicurezza

1. Impostazione del calcolo nel calcolatore

Il calcolatore adotta un'impostazione *geotecnica* classica: determinazione del coefficiente di spinta attiva (K_a) secondo Coulomb/Rankine, calcolo della risultante $P_a = 0.5 \cdot \gamma_s \cdot K_a \cdot H^2$, del peso proprio W , dei momenti e dei fattori di sicurezza (FS allo scorrimento e al ribaltamento). L'indice $R = P_{a,tot} / W_{tot}$ fornisce una misura sintetica del rischio. Sono previsti profili di soglia (ASD vs EC7/NTC) per il 'semaforo' di rischio.

2. Scuola francese della pietra a secco (ABPS/ENTPE)

Natura della sezione — Nelle 'règles professionnelles' il muro di sostegno a secco è concepito come *mur à double parement*: due paramenti (a vista e di monte) con *blocage* centrale drenante, fondazione a gradino contro monte, e *fruit* (batter) del paramento verso monte. La tessitura prevede corsi quanto più regolari possibile e giunti sfalsati.

Metodo «bien amarré / ben ammorsato» — I due paramenti sono *legati* mediante pietre passanti (*boutisses*) disposte a passo regolare e con profondità adeguata a coinvolgere l'intero spessore utile: ciò controlla tagli e svergolamenti e rende il muro un corpo unico. Agli spigoli si pratica il 'cucisciuci'; il riempimento (*blocage*) garantisce contatto e drenaggio.

Abaques e calcoli — Gli abachi (per classi litologiche) derivano da modelli specifici per muro a secco con terrapieno frizionante ($c \approx 0$) e drenato. La spinta è trattata in condizioni attive; l'effetto del *fruit* e dell'attrito alla base è incorporato nei domini degli abachi. In pratica l'esito è una *geometria compatibile* (spessore di base, batter, dettagli di posa) che assicura un margine di stabilità: le verifiche di scorrimento e ribaltamento sono implicitamente coperte dal dominio dell'abaco, mentre la tenuta interna è affidata alle regole d'arte (legature, tessitura, drenaggio).

3. Linee guida svizzere (Confederazione/Cantoni)

Le guide svizzere privilegiano prescrizioni geometriche e costruttive per la stabilità e la durabilità. Per muri di sostegno a secco, sono comuni indicazioni come **base** $\geq H/3$, batter verso monte, presenza di strati drenanti/filtranti e fondazioni a gradino contro monte. L'enfasi è sulla corretta esecuzione e sulla manutenzione, mentre i calcoli analitici di dettaglio sono secondari nelle guide pratiche.

4. Confronto sintetico

Aspetto	Geotecnico (Coulomb/Rankine)	Scuola francese (ABPS/ENTPE)	Linee guida svizzere
Obiettivo	FS numerici (scorr./ribalt.) + indice R	Proporzioni e regole d'arte per dominio di sicurezza	Proporzioni minime e buona pratica costruttiva
Input	γ_s , ϕ , δ , μ , H, B, i, β	Classe pietra, geometria, condizioni tipiche	H, B, batter, drenaggio, fondazioni
Output	P_a, W, M, FS, R	Spessori, batter, dettagli di posa (boutisses, drenaggio)	Rapporti H/B, requisiti esecutivi
Punti di forza	Rapidità, confronto varianti, screening	Aderenza alla tecnica specifica del secco	Chiarezza prescrittiva e durabilità
Limiti	Non coglie la qualità della tessitura	Campo di validità degli abachi	Calcoli semplificati/assenti

Tabella 1 — Confronto sintetico (celle multiriga con testo a capo).

5. Integrazione pratica nel calcolatore

- **Profilo FR (abachi/regole d'arte):** proposta automatica di spessore base e batter in funzione del litotipo; check su legature (boutisses), drenaggio, regolarità dei corsi.
- **Profilo CH (linee guida):** controlli preliminari su base $\geq H/3$, batter minimo, strato drenante e fondazioni a gradino; esito OK/Attenzione.
- **Doppio semaforo:** (i) geometria/regole d'arte e (ii) FS analitici; esito complessivo prudente se solo uno dei due è verde.
- **Report esplicativo:** motivazione delle non conformità e rimando alla regola/guida di riferimento.

6. Limiti e avvertenze

Gli abachi e le regole d'arte hanno un campo di applicazione definito; l'uso fuori dominio richiede cautela. I fattori di sicurezza numerici dipendono dalle ipotesi (parametri geotecnici, drenaggio, attrito suola). Per opere rilevanti, si raccomanda una validazione con prove in sito/laboratorio, rilievo della muratura esistente e verifica idraulica del drenaggio.

Riferimenti (indicativi)

- 1 ABPS – Règles professionnelles pour la construction des murs en pierres sèches (contributi ENTPE/ENPC).
- 2 Guide/abaques di dimensionamento per MSPS (classi litologiche; geometrie e regole d'arte).
- 3 Linee guida svizzere per muri a secco (Confederazione/Cantoni; rapporti H/B, drenaggio, fondazioni).
- 4 Manuali e vademecum su drenaggi, fondazioni a gradino e manutenzione (reti parchi/regionali).