

DGR XII/ 5311 DEL 10 NOVEMBRE 2025 -

PIANO LOMBARDIA (L.R. 9/2020):

**PROGRAMMA 2025/2027 DI INTERVENTI URGENTI E PRIORITARI PER LA DIFESA
DEL SUOLO E LA MITIGAZIONE DEI RISCHI IDROGEOLOGICI DEL TERRITORIO LOMBARDO**

**Messa in sicurezza delle strutture d'alveo e delle relative pertinenze del Colatore Muzza
mediante formazione di consolidamenti spondali e ripristino dei danneggiamenti
occorsi a seguito degli eventi pluviali straordinari del maggio e settembre 2024**

CUP: E18H25001220002

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

RELAZIONE SPECIALISTICA DELLE STRUTTURE

EDIZIONE: MARZO 2026

Il Responsabile Unico
del Progetto
Dott. Ing. Marco Chiesa

I Progettisti
Dott. Ing. Marco Chiesa - Dott. Ing. Gianluca Toscani

1 PREMESSA E DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

Nel presente elaborato viene riportata la verifica condotta sulle difese spondali da eseguirsi sul Colatore Muzza nei comuni di Massalengo, Cavenago d'Adda, San Martino in Strada e Turano Lodigiano in provincia di Lodi.

2 LE DIFESE IDRAULICHE IN PIETrame

La natura del terreno è stata ottenuta in loco con indagine diretta tramite scavo. La relativa profondità di interesse (~ 1,50 - 2,50 m) ha reso possibile accertare la stratigrafia dei terreni, su cui graverà l'impronta delle sagome delle difese idrauliche.

Le scarpate sono costituite da materiale incoerente terroso – sabbioso, in parte con terra vegetata (~ 40 cm) seguita da terre compatte a prevalente componente argillosa ma con presenza anche di sabbia grossolana ben stabilizzata.

Il fondo d'alveo è invece caratterizzato dal classico strato superficiale (~ 30 cm) di miscela satura sabbiosa-limosa, seguita da uno strato profondo di sabbia mediamente fine. Non ha sorpreso la presenza sul fondo di formazioni di argilla grigia molto compatta. Sono conformazioni lenticolari anche di notevole profondità ed ampiezza.

Pertanto, le caratteristiche del terreno nelle zone d'intervento si possono considerare di tipo "Sabbie, sabbie-limose in comune di San Martino in Strada, sabbie fini con coperture limose, limose-argillose e limose-sabbiose in Cavenago d'Adda, limo-sabbiose argillose in Massalengo, limo-argillose in Turano Lodigiano" e cautelativamente, i parametri assunti a base delle verifiche eseguite sono:

- peso proprio del pietrame: $\gamma_p = 18,00 \text{ KN/m}^3$
- peso proprio del terreno: $\gamma_t = 19,00 \text{ KN/m}^3$
- angolo di attrito interno del terreno sia di sponda che del fondo $\varphi = 30^\circ$
- sovraccarico permanente di scarpata $q = 10,00 \text{ KN/m}^2$
- coefficiente di attrito radente lungo il piano pietrame-terreno: $\mu = 0,60$

La verifica, che comporta l'analisi delle forze attive e passive in atto sulle difese idrauliche nelle condizioni più sfavorevoli, deve accertare che le spinte di resistenza siano superiori a quelle agenti.

2.1 Spinta attiva e spinta passiva

Calcolo dei coefficienti con la teoria di Rankine:

φ = angolo di attrito = 30°

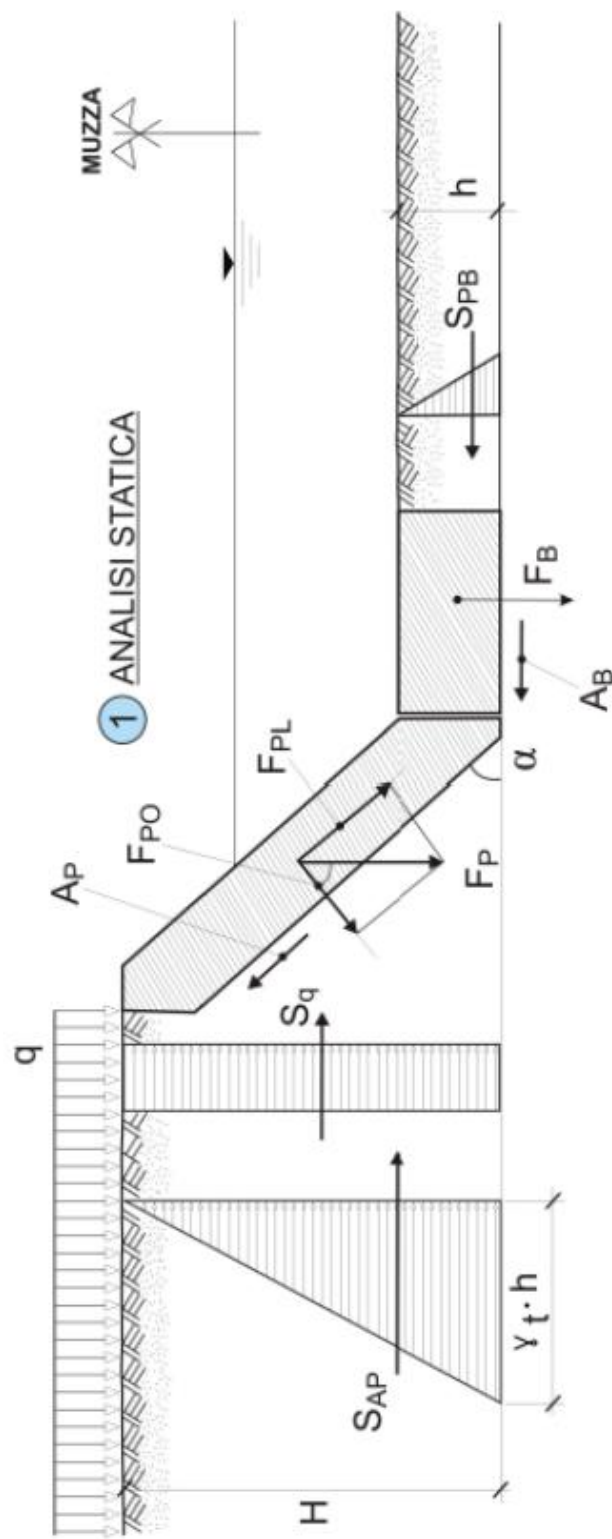
Coefficiente di spinta attiva:

$$\lambda_a = \operatorname{tg} 2(45 - \varphi/2) = 0,33$$

Coefficiente di spinta passiva:

$$\lambda_p = \operatorname{tg} 2(45 + \varphi/2) = 3,00$$

Le verifiche statiche condotte sugli elementi costituenti la mantellata di pietrame a gravità, ovvero berma di fondazione e paramento di sponda e sono riportate nella tabella riportata nel seguito. Sono altresì allegati gli schemi statici e geometrici di riferimento secondo i quali è stata sviluppata l'analisi. Le difese idrauliche integrali, stante la perfetta simmetria strutturale rispetto alla longitudinale non necessitano di particolari verifiche di carattere statico.



2 EQUILIBRIO LONGITUDINALE

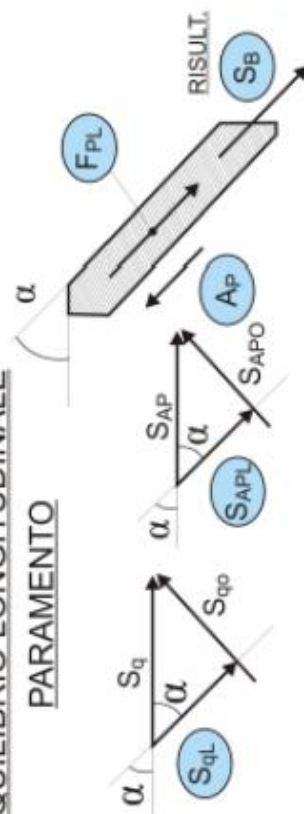
PARAMENTO

$$\cos \alpha = \frac{S_{qL}}{S_q}$$

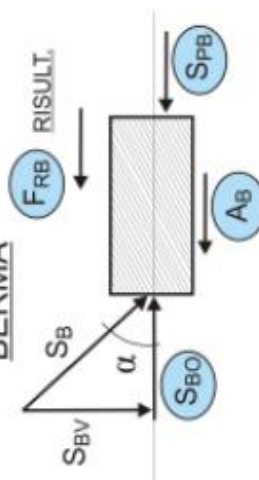
$$S_{qL} = S_q \cos \alpha$$

$$\cos \alpha = \frac{S_{APL}}{S_{AP}}$$

$$S_{APL} = S_{AP} \cdot \cos \alpha$$



3 EQUILIBRIO ORIZZ.

BERMA

$$\left\{ \begin{array}{l} \cos \alpha = \frac{S_{BO}}{S_B} \\ S_{BO} = S_B \cos \alpha \end{array} \right.$$

4 COEFFICIENTE SICUREZZA

$$C_S > 1.5 \Rightarrow F_{BR}/S_{BO}$$

Verifica di stabilità difesa idraulica in pietrame posato a secco

Dati generali e geometrici

peso proprio del pietrame (calcare "rezzato")	γ_p		18,00	KN/m ³
peso proprio del terreno	γ_t		19,00	KN/m ³
angolo attrito interno terreno sponda e fondo	φ		30,00	°
sovraccarico accidentale sommitale	q		10,00	KN/m ²
coeff. di attrito radente pietrame-tereno	μ		0,60	-
Larghezza paramento	B		1,00	m
Lunghezza paramento	L_p		4,50	m
Spessore paramento	S_p		0,60	m
Angolo di sponda	α		45,00	°
Altezza sponda	$H = L_p \times \sin \alpha$		3,18	m
spessore affond. berma	$h = s_b$		0,60	m
Larghezza berma	B		1,00	m
Lunghezza berma	L_b		0,50	m
Spessore berma	S_b		0,60	m
Coeff. spinta attiva	λ_a	$tg^2(45 - \varphi/2)$	0,33	
Coeff. spinta passiva	λ_p	$tg^2(45 + \varphi/2)$	3,00	

Analisi statica

Forza peso paramento	F_P	$B \times L_p \times S_p \times \gamma_p$	48,60	KN
Comp. peso paramento longitudinale	F_{PL}	$B \times L_p \times S_p \times \gamma_p \times (\sin \alpha)$	34,37	KN
Comp. peso paramento ortogonale	F_{PO}	$B \times L_p \times S_p \times \gamma_p \times (\cos \alpha)$	34,37	KN
Forza peso berma	F_B	$B \times L_b \times S_b \times \gamma_p$	5,40	KN
Forza d'attrito pietrame-geot. param.	A_P	$\mu \times F_{po}$	20,62	KN
Spinta attiva sul paramento	S_{ap}	$1/2 \times \lambda_a \times \gamma_t \times H^2$	32,06	KN
Spinta carico accidentale sul param.	S_q	$1/2 \times \lambda_a \times q \times H$	5,30	KN
Spinta passiva sulla berma	S_{pb}	$1/2 \times \lambda_p \times \gamma_t \times h^2$	10,26	KN
Componente longit. S_{ap}	S_{apL}	$S_{ap} \times \cos \alpha$	22,67	KN
Componente longit. S_q	S_{qL}	$S_q \times \cos \alpha$	3,75	KN

Equilibrio longitud. param.

Forza agente sulla berma	$S_B =$	$S_{APL} + S_{QL} + F_{PL} - A$	40,17	KN
Spinte sulla berma				
Comp. orizzontale spinta berma	S_{BO}	$S_B \times \cos \alpha$	28,40	KN
Comp. verticale spinta berma	S_{BV}	$S_B \times \sin \alpha$	28,40	KN
Forza d'attrito pietrame-geot. berma	A_B	$\mu \times (F_B + S_{BV} \times 1/L_B)$	37,32	KN

Equilibrio orizzontale berma

Forza resistente sulla berma	$F_{RB} =$	$S_{pb} + A_B$	47,58	KN
Coefficiente di sicurezza	$C_s > 1,5$	F_{RB} / S_{BO}	1,68	