



ACA S.p.A. in House Providing - via Maestri del Lavoro d'Italia n. 81 - 65125 Pescara

REGIONE ABRUZZO  
**COMUNE RAPINO**  
PROVINCIA DI CHIETI

INTERVENTI URGENTI PER LA SISTEMAZIONE IDRAULICA  
DEL TORRENTE L'ARSELLA IN CORRISPONDENZA DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE  
SITO IN LOCALITA' LUCINA NEL TERRITORIO COMUNALE DI RAPINO (CH)

**PROGETTO ESECUTIVO**

RELAZIONE DI CALCOLO E GEOTECNICA

TAVOLA

03.18.ES.IDR.RCG

DATA : MAGGIO 2018

REVISIONE:

SCALA:

IL PROGETTISTA

Dott. Ing. Mario Cavagnuolo

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Bartolomeo Di Giovanni

VISTI:

## RELAZIONE DI CALCOLO

### Tratto A

#### Normativa di riferimento:

NTC 2018 Norme tecniche per le costruzioni D.M. 17 Gennaio 2018

#### Forze considerate nell'equilibrio della briglia

- Peso proprio della briglia
- Spinta statica del terreno a monte (in condizione limite attiva)
- Peso del terreno gravante sulla mensola di monte
- Acqua sulla mensola di monte
- Spinta idrostatica di monte
- Spinta sismica di monte in direzione x
- Spinta sismica di monte in direzione y
- Spinta idrostatica di valle
- Spinta statica del terreno a valle
- Spinta sismica di valle in direzione x
- Spinta sismica di valle in direzione y
- Sottospinta idrostatica
- Acqua presente sulla gaveta

Ovviamente si possono considerare altri carichi (es. forze esterne applicate)

Lo schema di riferimento scelto per il calcolo delle forze è mostrato nella seguente figura:

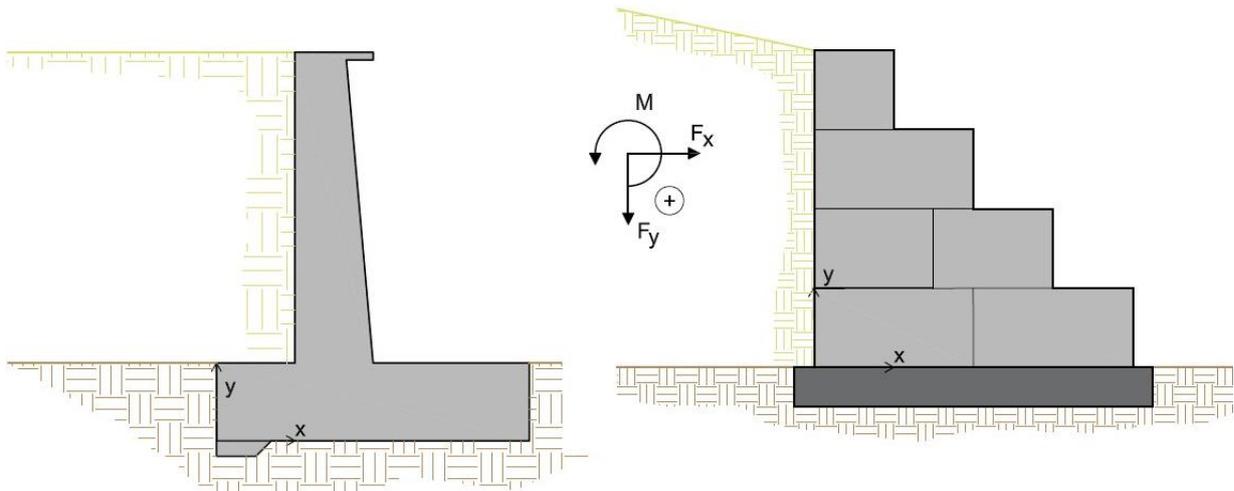


Figura 1-Riferimento e convenzione di positività

#### Calcolo della spinta attiva

Per il calcolo della spinta attiva è stato adottato il metodo di *Coulomb*, il quale è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dalla briglia e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura nell'ipotesi di parete ruvida.

Per terreno omogeneo ed asciutto il diagramma delle pressioni si presenta lineare con distribuzione:

$$P_t = K_a \cdot \gamma_t \cdot z$$

La spinta  $S_t$  è applicata ad  $1/3 H$  di valore

$$S_t = \frac{1}{2} \gamma_t \cdot H^2 \cdot K_a$$

pagina 1/9

Avendo indicato con:

$$K_a = \frac{\sin^2(\beta - \varphi)}{\sin^2\beta \cdot \sin(\beta + \delta) \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \cdot \sin(\varphi - \varepsilon)}{\sin(\beta + \delta) \cdot \sin(\beta - \varepsilon)}} \right]^2}$$

Valori limite di  $K_A$ :

$\delta < (\beta - \varphi - \varepsilon)$  secondo Muller-Breslau

$\gamma_t$  Peso unità di volume del terreno;

$\beta$  Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;

$\varphi$  Angolo di resistenza al taglio del terreno;

$\delta$  Angolo di attrito terra-muro;

$\varepsilon$  Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, positiva se antioraria;

H Altezza della parete.

### Calcolo della spinta attiva con Mononobe & Okabe

Il calcolo della spinta attiva con il metodo di *Mononobe & Okabe* riguarda la valutazione della spinta in condizioni sismiche con il metodo pseudo-statico. Esso è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura in una configurazione fittizia di calcolo nella quale l'angolo  $\varepsilon$ , di inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, e l'angolo  $\beta$ , di inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede, vengono aumentati di una quantità  $\theta$  tale che:

$$\tan\theta = \left( \frac{k_h}{1 \pm k_v} \right)$$

con  $k_h$  coefficiente sismico orizzontale e  $k_v$  verticale.

### Spinta idrostatica

La falda con superficie distante  $H_w$  dalla base del muro induce delle pressioni idrostatiche normali alla parete che, alla profondità  $z$ , sono espresse come segue:

$$P_w(z) = \gamma_w \cdot z$$

Con risultante pari a:

$$S_w = \frac{1}{2} \gamma_w \cdot H^2$$

La spinta del terreno immerso si ottiene sostituendo  $\gamma_t$  con  $\gamma'_t$  ( $\gamma'_t = \gamma_{\text{saturo}} - \gamma_w$ ), peso efficace del materiale immerso in acqua.

### Carico limite di fondazioni superficiali su terreni

#### Metodo di Vesic

Affinché la fondazione di un muro possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$V_d \leq R_d$$

Lavoro: Interventi urgenti per la sistemazione idraulica del torrente l'Arsella in corrispondenza dell'impianto di depurazione sito in località Lucina – Rapino (CH)

Committente: A.C.A. S.p.a.

PROGETTO ESECUTIVO

Numero Totale di Pagine: 9

Dove  $V_d$  è il carico di progetto, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso del muro; mentre  $R_d$  è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici.

Nella valutazione analitica del carico limite di progetto  $R_d$  si devono considerare le situazioni a breve e a lungo termine nei terreni a grana fine. Il carico limite di progetto in condizioni non drenate si calcola come:

$$\frac{R}{A'} \leq (2 + \pi) \cdot c_u \cdot s_c \cdot i_c + q$$

Dove:

$A' = B' \cdot L'$  area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico.

$c_u$  coesione non drenata

$q$  pressione litostatica totale sul piano di posa

$s_c$  fattore di forma

$$s_c = 0.2 \cdot \left( \frac{B'}{L'} \right) \quad \text{per fondazioni rettangolari, il valore di } s_c \text{ viene assunto pari ad 1 per fondazioni nastriformi}$$

$i_c$  Fattore correttivo per l'inclinazione del carico dovuta ad un carico  $H$ .

$$i_c = 1 - \frac{2H}{A_f \cdot c_a \cdot N_c}$$

$A_f$  area efficace della fondazione

$c_a$  aderenza alla base, pari alla coesione o ad una sua frazione.

Per le condizioni drenate il carico limite di progetto è calcolato come segue.

$$\frac{R}{A'} \leq c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$

Dove:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi'} \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi'}{2} \right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi'$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \phi'$$

#### Fattori di forma

$$s_q = 1 + \left( \frac{B'}{L'} \right) \cdot \tan \phi' \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot \left( \frac{B'}{L'} \right) \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B'}{L'} \quad \text{per forma rettangolare, quadrata o circolare.}$$

#### Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale $H$ parallelo a $B'$

pagina 3/9

Lavoro: Interventi urgenti per la sistemazione idraulica del torrente l'Arsella in corrispondenza dell'impianto di depurazione sito in località Lucina – Rapino (CH)

Committente: A.C.A. S.p.a.

PROGETTO ESECUTIVO

Numero Totale di Pagine: 9

$$i_q = \left( 1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot \varphi'} \right)^m$$

$$i_\gamma = \left( 1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot \varphi'} \right)^{m+1}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \tan \varphi'}$$

$$m = \frac{2 + B'/L'}{1 + B'/L'}$$

### DATI PROGETTO:

#### DATI GENERALI:

Fattore di sicurezza a ribaltamento	1,15 [-]
Fattore di sicurezza a scorrimento	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico limite	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico lim. orizzontale micropali	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico lim. verticale micropali	1,00 [-]

#### GEOMETRIA BRIGLIA IN GABBIONI:

##### TIPI

Nome	B[m]	H[m]	L[m]	Peso[KN/m <sup>3</sup> ]
Gabbioni di fascia	1,00	1,00	2,00	18,00
Gabbioni di punta	2,00	1,00	1,00	18,00
Gab.base	3,00	1,00	1,00	18,00

#### STRATI:

ID	Tipo	d[m]	nr
1	Gab.base	0,00	1
2	Gabbioni di punta	0,00	1
3	Gabbioni di punta	-0,25	1
4	Gabbioni di punta	-0,25	1
5	Gabbioni di fascia	-0,25	1

Altezza fondazione	0,50 [m]
Base fondazione	2,50 [m]
Inclinazione profilo di monte	15,00 [°]
Inclinazione paramento monte	0,00 [°]

#### STRATIGRAFIA :

Nome	Peso [KN/m <sup>3</sup> ]	Peso saturo [KN/m <sup>3</sup> ]	Angolo di attrito	Coesione [KN/m <sup>2</sup> ]	Attrito terra muro	Adesione [KN/m <sup>2</sup> ]

pagina 4/9

Lavoro: Interventi urgenti per la sistemazione idraulica del torrente l'Arsella in corrispondenza dell'impianto di depurazione sito in località Lucina – Rapino (CH)

Committente: A.C.A. S.p.a.

PROGETTO ESECUTIVO

Numero Totale di Pagine: 9

			[°]		[°]	
Strato ghiaioso sabbioso	19,10	20,00	31,00	0,00	20,70	0,00
strato argilloso marnoso	19,40	20,00	27,00	160,00	18,00	160,00

#### PARAMETRI SISMA:

Coefficiente sismico orizzontale - Kh	0,11 [-]
Coefficiente sismico orizzontale - Kv	0,05 [-]
Posizione incremento sismico - Xs/h	1,00 [-]

#### VERIFICHE GLOBALI:

Numero di combinazioni analizzate	4
-----------------------------------	---

#### Combinazione 1 - (A1+M1+R3 SCORRIMENTO)

Coefficiente di spinta attiva statica	0,359 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,513 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,153 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	202,50	0,00	0,98	2,10
Spinta terreno monte	95,64	57,47	0,00	0,00	1,67
Peso terreno mensola	0,00	2,39	0,00	-0,33	4,33
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	-0,13	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00
Spinta idrostatica valle	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta terreno valle	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	0,00	0,00	3,00	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00

pagina 5/9

### Combinazione 2 - (A1+M1+R3 CARICO LIMITE)

Coefficiente di spinta attiva statica	0,359 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,513 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,153 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	263,25	0,00	0,98	2,10
Spinta terreno monte	73,57	44,20	0,00	0,00	1,67
Peso terreno mensola	0,00	3,10	0,00	-0,33	4,33
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	-0,13	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00
Spinta idrostatica valle	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta terreno valle	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	0,00	0,00	3,00	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00

### Combinazione 3 - (SISMICA)

Coefficiente di spinta attiva statica	0,359 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,513 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,153 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	202,50	0,00	0,98	2,10
Spinta terreno monte	73,57	44,20	0,00	0,00	1,67
Peso terreno mensola	0,00	2,39	0,00	-0,33	4,33
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	-0,13	0,00

Lavoro: Interventi urgenti per la sistemazione idraulica del torrente l'Arsella in corrispondenza dell'impianto di depurazione sito in località Lucina – Rapino (CH)

Committente: A.C.A. S.p.a.

PROGETTO ESECUTIVO

Numero Totale di Pagine: 9

Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	31,35	0,00	0,00	0,00	5,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	18,84	0,00	0,00	5,00
Spinta idrostatica valle	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta terreno valle	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	0,00	0,00	3,00	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00

#### Combinazione 4 - (A1+M1+R3 RIBALTAMENTO)

Coefficiente di spinta attiva statica 0,359 [-]

Coefficiente di spinta attiva dinamica 0,513 [-]

Coefficiente di spinta attiva dinamica 0,153 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	202,50	0,00	0,98	2,10
Spinta terreno monte	95,64	57,47	0,00	0,00	1,67
Peso terreno mensola	0,00	2,39	0,00	-0,33	4,33
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	-0,13	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00
Spinta idrostatica valle	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta terreno valle	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	0,00	0,00	3,00	0,00

pagina 7/9

Ing. Mario Cavagnuolo – Studio di Ingegneria Civile  
Architettura, Ingegneria Geotecnica, Idraulica e Strutturale Sismica, Consulenze

Via Arapietra, 46 – 65124 PESCARA - Tel./Fax 085.4429539 – Mobile 329.3953487 – e-mail: m.cavagnuolo@studioarkin.it

Cod. Elaborato: 03.18.ES.IDR.RCG

Lavoro: Interventi urgenti per la sistemazione idraulica del torrente l'Arsella in corrispondenza dell'impianto di depurazione sito in località Lucina – Rapino (CH)

Committente: A.C.A. S.p.a.

PROGETTO ESECUTIVO

Numero Totale di Pagine: 9

Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00

Combinazioni	Momento stabilizzante [kNm/m]	Momento ribaltante [kNm/m]	Forze resistenti [kN/m]	Forze sollecitanti [kN/m]	Carico limite [kN/m <sup>2</sup> ]	Carico esercizio [kN/m <sup>2</sup> ]
1	852,77	159,40	513,86	95,64	2209,53 Nq=13,2 Ng=14,47 Nc=23,94 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,76 ic=0,74 ig=0,66	218,71
2	986,60	122,62	528,10	73,57	2454,46 Nq=13,2 Ng=14,47 Nc=23,94 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,83 ic=0,82 ig=0,76	243,66
3	875,09	279,39	567,06	104,92	2488,86 Nq=13,2 Ng=14,47 Nc=23,94 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,73 ic=0,71 ig=0,63	226,15
4	852,77	159,40	513,86	95,64	2209,53 Nq=13,2 Ng=14,47 Nc=23,94 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,76 ic=0,74 ig=0,66	218,71

*pagina 8/9*

Lavoro: Interventi urgenti per la sistemazione idraulica del torrente l'Arsella in corrispondenza dell'impianto di depurazione sito in località Lucina – Rapino (CH)

Committente: A.C.A. S.p.a.

PROGETTO ESECUTIVO

Numero Totale di Pagine: 9

Combinazione	Fs ribaltamento [-]	Fs scorrimento [-]	Fs carico limite [-]	Fs Scorrimento interno [-]	Fs Schiacciamento interno [-]
1	5,35	5,37	10,10	2,77	1,57
2	8,05	7,18	10,07	4,48	1,10
3	3,13	5,40	11,01	4,94	1,26
4	5,35	5,37	10,10	2,77	1,57

Combinazione	Ribaltamento	Scorrimento	Carico limite	Scorrimento interno	Schiacciamento interno
1	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
2	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
3	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
4	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato

## Relazione di calcolo

### Tratto A

#### Definizione

Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

#### Introduzione all'analisi di stabilità

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

1. Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione ( c ) e angolo di resistenza al taglio (  $\phi$  ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
2. In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

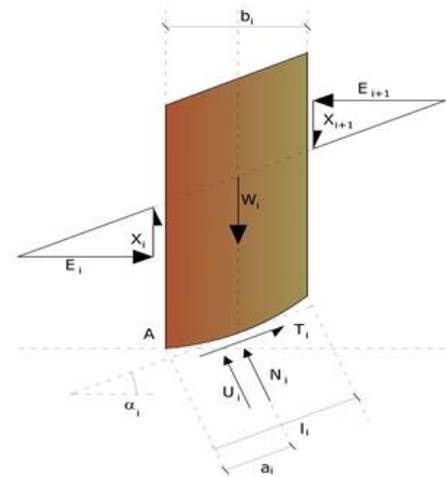
#### Metodo di Bishop (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali. Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$$\sum F_y = 0, \quad \sum M_0 = 0 \quad \text{Criterio di rottura}$$

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \phi_i\} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \phi_i / F}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

I valori di F e di  $\Delta X$  per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre  $\Delta X = 0$  ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di **Bishop ordinario**, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

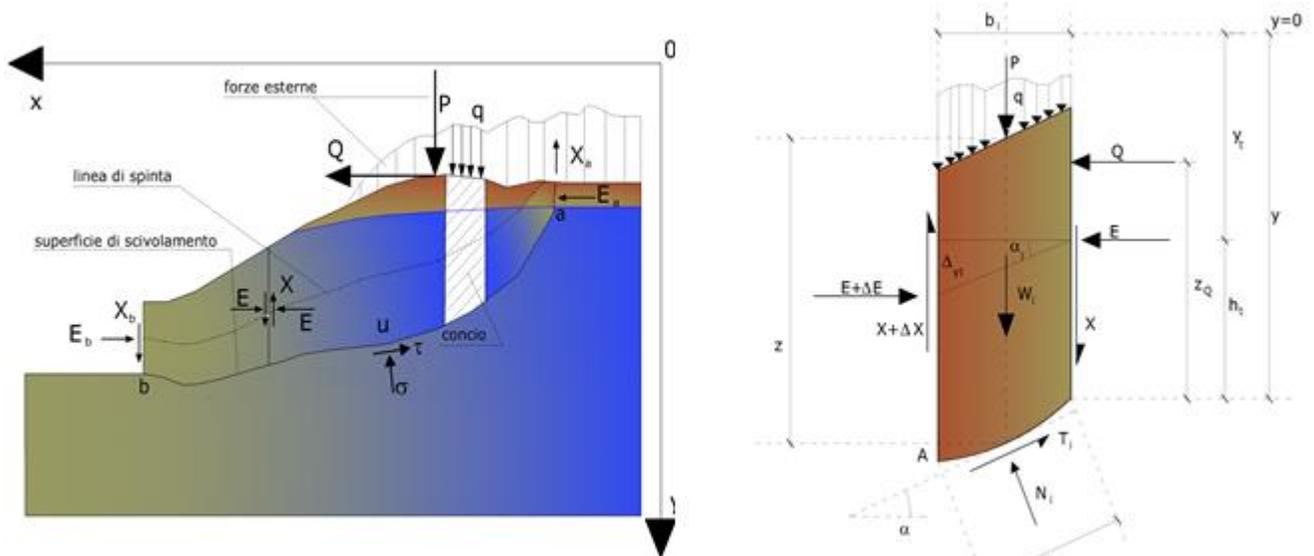


#### Metodo di Janbu (1967)

Janbu estese il metodo di Bishop a superfici di scorrimento di forma qualsiasi.

Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio). A tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \tan \alpha_i}$$

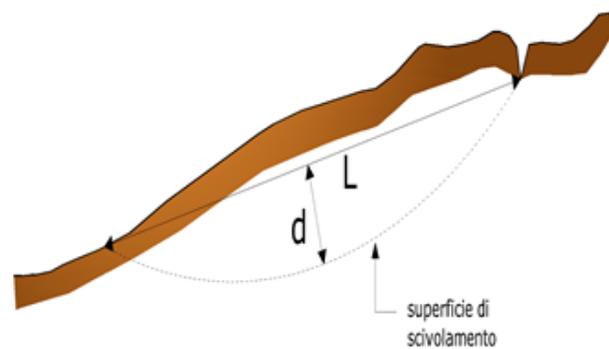
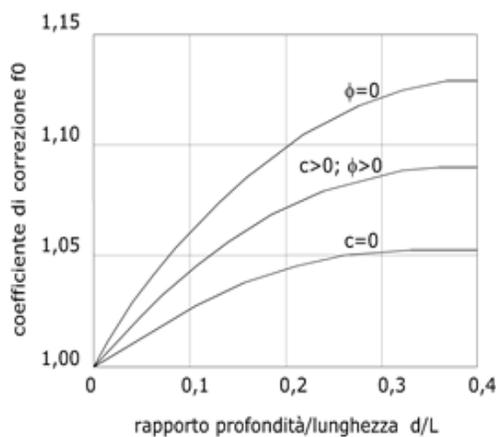


Azioni sul concio *i*-esimo secondo le ipotesi di Janbu e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

Assumendo  $\Delta X_i = 0$  si ottiene il metodo ordinario. Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:

$$F_{\text{corretto}} = f_0 \cdot F$$

dove  $f_0$  è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici. Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.



**Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)**

Calcolo eseguito secondo	[A1+M1+R1]
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	20,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione non drenata
Superficie di forma circolare	

**Maglia dei Centri**

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	4,66 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	3,11 m
Ascissa vertice destro superiore xs	8,93 m
Ordinata vertice destro superiore ys	7,04 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0
Coefficiente azione sismica orizzontale	0,106
Coefficiente azione sismica verticale	0,053

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	6,0	0,0
3	8,25	5,0
4	13,0	5,0

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	6,0	0,0
3	8,25	0,0
4	13,0	0,0

**Coefficienti parziali azioni**

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,3
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	0,0

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Lavoro: Interventi urgenti per la sistemazione idraulica del torrente l'Arsella in corrispondenza dell'impianto di depurazione sito in località Lucina – Rapino (CH)

Committente: A.C.A. S.p.a.

PROGETTO ESECUTIVO

Numero Totale di Pagine: 5

### Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0	0	31	1947,627	1947,627		
2	0	1,632	27	1978,218	1978,218		

### Risultati analisi pendio [[A2+M2+R2]]

Fs minimo individuato	2,37
Ascissa centro superficie	6,79 m
Ordinata centro superficie	5,08 m
Raggio superficie	5,89 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

**xc = 6,793 yc = 5,076 Rc = 5,892 Fs=2,367**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,44	-28,1	0,5	109,43	11,6	5,8	1,17	0,0	0,0	1326,0	2253,7
2	0,44	-23,3	0,48	296,82	31,46	15,73	1,17	0,0	0,0	1254,1	2164,7
3	0,44	-18,6	0,47	446,15	47,29	23,65	1,17	0,0	0,0	1178,8	2098,7
4	0,44	-14,1	0,46	560,83	59,45	29,72	1,17	0,0	0,0	1094,7	2050,7
5	0,44	-9,7	0,45	643,17	68,18	34,09	1,17	0,0	0,0	997,9	2017,5
6	0,44	-5,4	0,45	1163,96	123,38	61,69	1,17	0,0	0,0	1356,2	1997,3
7	0,44	-1,0	0,44	2039,58	216,2	108,1	1,17	0,0	0,0	2075,4	1988,9
8	0,44	3,3	0,44	2885,72	305,89	152,94	1,17	0,0	0,0	2775,6	1991,9
9	0,44	7,6	0,45	3702,24	392,44	196,22	1,17	0,0	0,0	3466,1	2006,4
10	0,45	12,1	0,46	4566,74	484,07	242,04	1,17	0,0	0,0	4228,2	2066,2
11	0,44	16,5	0,46	4751,63	503,67	251,84	1,17	0,0	0,0	4350,7	2041,1
12	0,44	21,1	0,48	4697,39	497,92	248,96	1,17	0,0	0,0	4213,0	2131,0
13	0,44	25,8	0,49	4528,49	480,02	240,01	1,17	0,0	0,0	3962,4	2208,4
14	0,44	30,7	0,52	4319,27	457,84	228,92	0,0	0,0	0,0	5022,7	0,0
15	0,44	35,9	0,55	4067,44	431,15	215,57	0,0	0,0	0,0	5019,2	0,0
16	0,44	41,4	0,59	3760,83	398,65	199,32	0,0	0,0	0,0	5014,9	0,0
17	0,44	47,5	0,66	3384,88	358,8	179,4	0,0	0,0	0,0	5009,7	0,0
18	0,44	54,4	0,76	2913,44	308,83	154,41	0,0	0,0	0,0	5005,5	0,0
19	0,44	62,9	0,97	2289,87	242,73	121,36	0,0	0,0	0,0	5019,5	0,0
20	0,44	78,4	2,21	1322,32	140,17	70,08	0,0	0,0	0,0	6593,6	0,0

### Indice

pagina 4/5

*Lavoro:* Interventi urgenti per la sistemazione idraulica del torrente l'Arsella in corrispondenza dell'impianto di depurazione sito in località Lucina – Rapino (CH)

*Committente:* A.C.A. S.p.a.

*PROGETTO ESECUTIVO*

*Numero Totale di Pagine: 5*

1.Dati generali	14
2.Vertici profilo	15
3.Vertici strato .....1	15
4.Coefficienti parziali azioni	15
5.Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno	15
6.Stratigrafia	15
7.Risultati analisi pendio [[A2+M2+R2]]	16
Indice	17

**RELAZIONE DI CALCOLO**  
**Tratto B**

**Normativa di riferimento:**

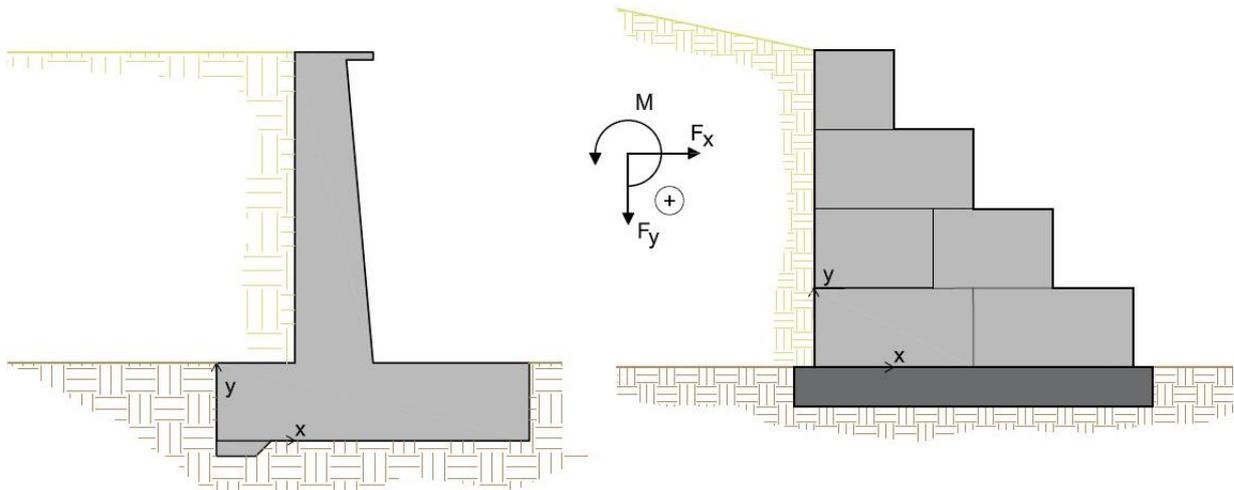
NTC 2018 Norme tecniche per le costruzioni D.M. 17 gennaio 2018.

**Forze considerate nell'equilibrio della briglia**

- Peso proprio della briglia
- Spinta statica del terreno a monte (in condizione limite attiva)
- Peso del terreno gravante sulla mensola di monte
- Acqua sulla mensola di monte
- Spinta idrostatica di monte
- Spinta sismica di monte in direzione x
- Spinta sismica di monte in direzione y
- Spinta idrostatica di valle
- Spinta statica del terreno a valle
- Spinta sismica di valle in direzione x
- Spinta sismica di valle in direzione y
- Sottospinta idrostatica
- Acqua presente sulla gaveta

Ovviamente si possono considerare altri carichi (es. forze esterne applicate)

Lo schema di riferimento scelto per il calcolo delle forze è mostrato nella seguente figura:



**Figura 1-Riferimento e convenzione di positività**

**Calcolo della spinta attiva**

Per il calcolo della spinta attiva è stato adottato il metodo di *Coulomb*, il quale è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dalla briglia e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura nell'ipotesi di parete ruvida.

Per terreno omogeneo ed asciutto il diagramma delle pressioni si presenta lineare con distribuzione:

$$P_t = K_a \cdot \gamma_t \cdot z$$

Lavoro: Interventi urgenti per la sistemazione idraulica del torrente l'Arsella in corrispondenza dell'impianto di depurazione sito in località Lucina – Rapino (CH)

Committente: A.C.A. S.p.a.

PROGETTO ESECUTIVO

Numero Totale di Pagine: 9

La spinta  $S_t$  è applicata ad  $1/3 H$  di valore

$$S_t = \frac{1}{2} \gamma_t \cdot H^2 \cdot K_a$$

Avendo indicato con:

$$K_a = \frac{\sin^2(\beta - \varphi)}{\sin^2\beta \cdot \sin(\beta + \delta) \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \cdot \sin(\varphi - \varepsilon)}{\sin(\beta + \delta) \cdot \sin(\beta - \varepsilon)}} \right]^2}$$

Valori limite di  $K_A$ :

$\delta < (\beta - \varphi - \varepsilon)$  secondo Muller-Breslau

$\gamma_t$  Peso unità di volume del terreno;

$\beta$  Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;

$\varphi$  Angolo di resistenza al taglio del terreno;

$\delta$  Angolo di attrito terra-muro;

$\varepsilon$  Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, positiva se antioraria;

$H$  Altezza della parete.

### Calcolo della spinta attiva con Mononobe & Okabe

Il calcolo della spinta attiva con il metodo di *Mononobe & Okabe* riguarda la valutazione della spinta in condizioni sismiche con il metodo pseudo-statico. Esso è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura in una configurazione fittizia di calcolo nella quale l'angolo  $\varepsilon$ , di inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, e l'angolo  $\beta$ , di inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede, vengono aumentati di una quantità  $\theta$  tale che:

$$\tan\theta = \left( \frac{k_h}{1 \pm k_v} \right)$$

con  $k_h$  coefficiente sismico orizzontale e  $k_v$  verticale.

### Spinta idrostatica

La falda con superficie distante  $H_w$  dalla base del muro induce delle pressioni idrostatiche normali alla parete che, alla profondità  $z$ , sono espresse come segue:

$$P_w(z) = \gamma_w \cdot z$$

Con risultante pari a:

$$S_w = \frac{1}{2} \gamma_w \cdot H^2$$

La spinta del terreno immerso si ottiene sostituendo  $\gamma_t$  con  $\gamma'_t$  ( $\gamma'_t = \gamma_{\text{saturo}} - \gamma_w$ ), peso efficace del materiale immerso in acqua.

### Carico limite di fondazioni superficiali su terreni

#### Metodo di Vesic

Affinché la fondazione di un muro possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

pagina 2/9

Lavoro: Interventi urgenti per la sistemazione idraulica del torrente l'Arsella in corrispondenza dell'impianto di depurazione sito in località Lucina – Rapino (CH)

Committente: A.C.A. S.p.a.

PROGETTO ESECUTIVO

Numero Totale di Pagine: 9

$$V_d \leq R_d$$

Dove  $V_d$  è il carico di progetto, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso del muro; mentre  $R_d$  è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici.

Nella valutazione analitica del carico limite di progetto  $R_d$  si devono considerare le situazioni a breve e a lungo termine nei terreni a grana fine. Il carico limite di progetto in condizioni non drenate si calcola come:

$$\frac{R}{A'} \leq (2 + \pi) \cdot c_u \cdot s_c \cdot i_c + q$$

Dove:

$A' = B' \cdot L'$  area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico.

$c_u$  coesione non drenata

$q$  pressione litostatica totale sul piano di posa

$s_c$  fattore di forma

$$s_c = 0.2 \cdot \left( \frac{B'}{L'} \right) \text{ per fondazioni rettangolari, il valore di } s_c \text{ viene assunto pari ad 1 per fondazioni nastriformi}$$

$i_c$  Fattore correttivo per l'inclinazione del carico dovuta ad un carico H.

$$i_c = 1 - \frac{2H}{A_f \cdot c_a \cdot N_c}$$

$A_f$  area efficace della fondazione

$c_a$  aderenza alla base, pari alla coesione o ad una sua frazione.

Per le condizioni drenate il carico limite di progetto è calcolato come segue.

$$\frac{R}{A'} \leq c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$

Dove:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi'} \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi'}{2} \right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi'$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \phi'$$

### Fattori di forma

$$s_q = 1 + \left( \frac{B'}{L'} \right) \cdot \tan \phi' \text{ per forma rettangolare}$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot \left( \frac{B'}{L'} \right) \text{ per forma rettangolare}$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B'}{L'} \text{ per forma rettangolare, quadrata o circolare.}$$

*pagina 3/9*

Ing. Mario Cavagnuolo – Studio di Ingegneria Civile

Architettura, Ingegneria Geotecnica, Idraulica e Strutturale Sismica, Consulenze

Via Arapietra, 46 – 65124 PESCARA - Tel./Fax 085.4429539 – Mobile 329.3953487 – e-mail: m.cavagnuolo@studioarkin.it

Cod. Elaborato: 03.18.ES.IDR.RCG

**Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H parallelo a B'**

$$i_q = \left( 1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot \varphi'} \right)^m$$

$$i_\gamma = \left( 1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot \varphi'} \right)^{m+1}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \tan \varphi'}$$

$$m = \frac{2 + B'/L'}{1 + B'/L'}$$

**DATI PROGETTO:**

**DATI GENERALI:**

Fattore di sicurezza a ribaltamento	1,15 [-]
Fattore di sicurezza a scorrimento	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico limite	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico lim. orizzontale micropali	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico lim. verticale micropali	1,00 [-]

**GEOMETRIA BRIGLIA IN GABBIONI:**

**TIPI**

Nome	B[m]	H[m]	L[m]	Peso[KN/m³]
Gabbioni di fascia	1,00	1,00	2,00	18,00
Gabbioni di punta	2,00	1,00	1,00	18,00

**STRATI:**

ID	Tipo	d[m]	nr
1	Gabbioni di punta	0,00	1
2	Gabbioni di punta	-0,25	1
3	Gabbioni di punta	-0,50	1
4	Gabbioni di punta	-0,50	1

Altezza fondazione	0,50 [m]
Base fondazione	2,50 [m]
Inclinazione profilo di monte	15,00 [°]
Inclinazione paramento monte	0,00 [°]

**STRATIGRAFIA :**

Nome	Peso [KN/m³]	Peso saturo [KN/m³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [KN/m²]	Attrito terra muro [°]	Adesione [KN/m²]
Strato ghiaioso sabbioso	19,10	20,00	31,00	0,00	20,70	0,00

Lavoro: Interventi urgenti per la sistemazione idraulica del torrente l'Arsella in corrispondenza dell'impianto di depurazione sito in località Lucina – Rapino (CH)

Committente: A.C.A. S.p.a.

PROGETTO ESECUTIVO

Numero Totale di Pagine: 9

strato argilloso marnoso	19,40	20,00	27,00	160,00	18,00	160,00
--------------------------------	-------	-------	-------	--------	-------	--------

### PARAMETRI SISMA:

Coefficiente sismico orizzontale - Kh	0,11 [-]
Coefficiente sismico orizzontale - Kv	0,05 [-]
Posizione incremento sismico - Xs/h	1,00 [-]

### VERIFICHE GLOBALI:

Numero di combinazioni analizzate	4
-----------------------------------	---

### Combinazione 1 - (A1+M1+R3 SCORRIMENTO)

Coefficiente di spinta attiva statica	0,359 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,513 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,153 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	166,50	0,00	0,69	2,00
Spinta terreno monte	61,21	36,78	0,00	0,00	1,33
Peso terreno mensola	0,00	4,78	0,00	-0,46	2,83
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	-0,25	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00
Spinta idrostatica valle	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta terreno valle	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

### Combinazione 2 - (A1+M1+R3 CARICO LIMITE)

Coefficiente di spinta attiva statica	0,359 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,513 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,153 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	216,45	0,00	0,69	2,00
Spinta terreno monte	47,08	28,29	0,00	0,00	1,33
Peso terreno mensola	0,00	6,21	0,00	-0,46	2,83
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	-0,25	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00
Spinta idrostatica valle	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta terreno valle	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

### Combinazione 3 - (SISMICA)

Coefficiente di spinta attiva statica	0,359 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,513 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,153 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	166,50	0,00	0,69	2,00
Spinta terreno monte	47,08	28,29	0,00	0,00	1,33
Peso terreno mensola	0,00	4,78	0,00	-0,46	2,83
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	-0,25	0,00
Spinta	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Lavoro: Interventi urgenti per la sistemazione idraulica del torrente l'Arsella in corrispondenza dell'impianto di depurazione sito in località Lucina – Rapino (CH)

Committente: A.C.A. S.p.a.

PROGETTO ESECUTIVO

Numero Totale di Pagine: 9

idrostatica monte					
Spinta Sismica monte X	20,07	0,00	0,00	0,00	4,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	12,06	0,00	0,00	4,00
Spinta idrostatica valle	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta terreno valle	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

#### Combinazione 4 - (A1+M1+R3 RIBALTAMENTO)

Coefficiente di spinta attiva statica 0,359 [-]

Coefficiente di spinta attiva dinamica 0,513 [-]

Coefficiente di spinta attiva dinamica 0,153 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	166,50	0,00	0,69	2,00
Spinta terreno monte	61,21	36,78	0,00	0,00	1,33
Peso terreno mensola	0,00	4,78	0,00	-0,46	2,83
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	-0,25	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00
Spinta idrostatica valle	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta terreno valle	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00
Sottospinta	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

pagina 7/9

Ing. Mario Cavagnuolo – Studio di Ingegneria Civile  
Architettura, Ingegneria Geotecnica, Idraulica e Strutturale Sismica, Consulenze

Via Arapietra, 46 – 65124 PESCARA - Tel./Fax 085.4429539 – Mobile 329.3953487 – e-mail: m.cavagnuolo@studioarkin.it

Cod. Elaborato: 03.18.ES.IDR.RCG

Lavoro: Interventi urgenti per la sistemazione idraulica del torrente l'Arsella in corrispondenza dell'impianto di depurazione sito in località Lucina – Rapino (CH)

Committente: A.C.A. S.p.a.

PROGETTO ESECUTIVO

Numero Totale di Pagine: 9

idrostatica					
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

Combinazione	Momento stabilizzante [kNm/m]	Momento ribaltante [kNm/m]	Forze resistenti [kN/m]	Forze sollecitanti [kN/m]	Carico limite [kN/m <sup>2</sup> ]	Carico esercizio [kN/m <sup>2</sup> ]
1	615,91	81,61	425,09	61,21	2300,44 Nq=13,2 Ng=14,47 Nc=23,94 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,79 ic=0,77 ig=0,7	225,10
2	732,36	62,78	437,76	47,08	2510,07 Nq=13,2 Ng=14,47 Nc=23,94 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,85 ic=0,84 ig=0,79	261,39
3	628,40	143,05	468,76	67,15	2608,23 Nq=13,2 Ng=14,47 Nc=23,94 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,77 ic=0,75 ig=0,67	230,81
4	615,91	81,61	425,09	61,21	2300,44 Nq=13,2 Ng=14,47 Nc=23,94 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,79 ic=0,77 ig=0,7	225,10

Lavoro: Interventi urgenti per la sistemazione idraulica del torrente l'Arsella in corrispondenza dell'impianto di depurazione sito in località Lucina – Rapino (CH)

Committente: A.C.A. S.p.a.

PROGETTO ESECUTIVO

Numero Totale di Pagine: 9

Combinazione	Fs ribaltamento [-]	Fs scorrimento [-]	Fs carico limite [-]	Fs Scorrimento interno [-]	Fs Schiacciamento interno [-]
1	7,55	6,94	10,22	3,84	3,11
2	11,67	9,30	9,60	6,28	2,21
3	4,39	6,98	11,30	6,93	2,59
4	7,55	6,94	10,22	3,84	3,11

Combinazione	Ribaltamento	Scorrimento	Carico limite	Scorrimento interno	Schiacciamento interno
1	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
2	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
3	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
4	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato

## Relazione di calcolo Tratto B

### Definizione

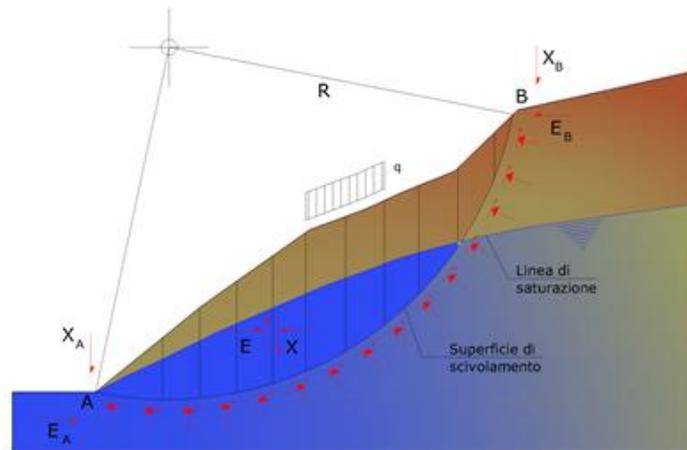
Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

### Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio ( $\tau$ ) e confrontate con la resistenza disponibile ( $\tau_f$ ), valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza:

$$F = \tau_f / \tau$$

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (Culman), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (Fellenius, Bishop, Janbu ecc.). Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.



### Metodo dei conci

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a  $n$ , il problema presenta le seguenti incognite:

- $n$  valori delle forze normali  $N_i$  agenti sulla base di ciascun concio;
- $n$  valori delle forze di taglio alla base del concio  $T_i$ ;
- $(n-1)$  forze normali  $E_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;
- $(n-1)$  forze tangenziali  $X_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;
- $n$  valori della coordinata  $a$  che individua il punto di applicazione delle  $E_i$ ;
- $(n-1)$  valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle  $X_i$ ;
- una incognita costituita dal fattore di sicurezza  $F$ .

Lavoro: Interventi urgenti per la sistemazione idraulica del torrente l'Arsella in corrispondenza dell'impianto di depurazione sito in località Lucina – Rapino (CH)

Committente: A.C.A. S.p.a.

PROGETTO ESECUTIVO

Numero Totale di Pagine: 7

Complessivamente le incognite sono (6n-2).

Mentre le equazioni a disposizione sono:

- equazioni di equilibrio dei momenti n;
- equazioni di equilibrio alla traslazione verticale n;
- equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale n;
- equazioni relative al criterio di rottura n.

Totale numero di equazioni 4n.

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a :

$$i = (6n - 2) - (4n) = 2n - 2$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a (n-2) in quanto si fa l'assunzione che  $N_i$  sia applicato nel punto medio della striscia. Ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le (n-2) indeterminazioni.

### Metodo di Bishop (1955)

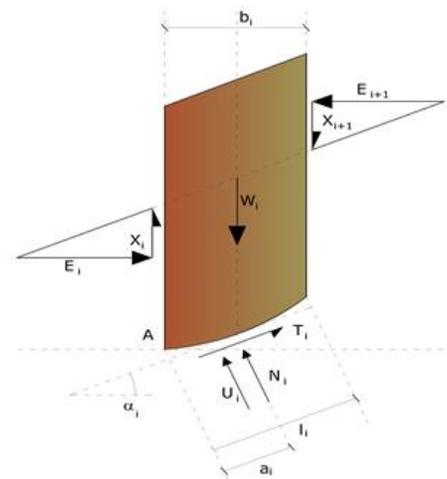
Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali.

Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$$\sum F_y = 0, \quad \sum M_0 = 0 \quad \text{Criterio di rottura}$$

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i} / F}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

I valori di F e di  $\Delta X$  per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre  $\Delta X = 0$  ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di **Bishop ordinario**, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.



$$F_{sm} = F_{sf}$$

### Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.

Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia  $m \times n$  e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

### Ancoraggi

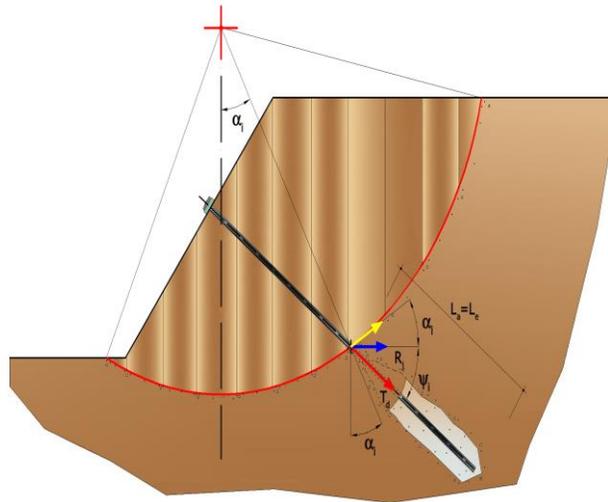
Gli ancoraggi, tiranti o chiodi, sono degli elementi strutturali in grado di sostenere forze di trazione in virtù di un'adeguata connessione al terreno.

Gli elementi caratterizzanti un tirante sono:

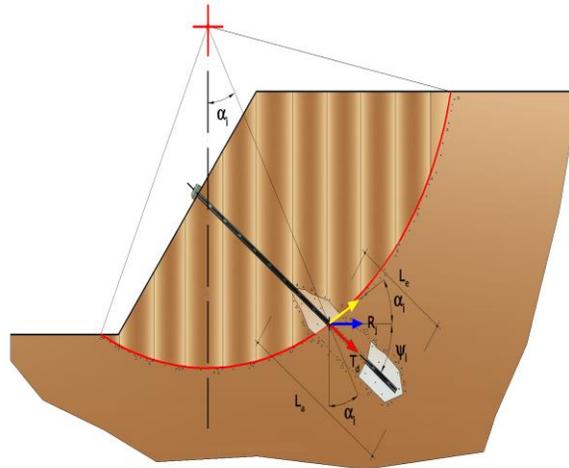
- **testata:** indica l'insieme degli elementi che hanno la funzione di trasmettere alla struttura ancorata la forza di trazione del tirante;
- **fondazione:** indica la parte del tirante che realizza la connessione con il terreno, trasmettendo al terreno stesso la forza di trazione del tirante.

Il tratto compreso tra la testata e la fondazione prende il nome di parte libera, mentre la fondazione (o bulbo) viene realizzata iniettando nel terreno, per un tratto terminale, tramite valvole a perdere, la malta, in genere cementizia. L'anima dell'ancoraggio è costituita da un'armatura, realizzata con barre, fili o trefoli.

Il tirante interviene nella stabilità in misura maggiore o minore efficacia a seconda se sarà totalmente o parzialmente (caso in cui è intercettato dalla superficie di scorrimento) ancorato alla parte stabile del terreno.



*Bulbo completamente ancorato*



*Bulbo parzialmente ancorato*

Le relazioni che esprimono la misura di sicurezza lungo una ipotetica superficie di scorrimento si modificheranno in presenza di ancoraggi (tirante attivo, passivo e chiodi) nel modo seguente:

- per i tiranti di *tipo attivo*, la loro resistenza si detrae dalle azioni (denominatore);

$$F_s = \frac{R_d}{E_d - \sum_{i,j} R_{i,j} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_i}}$$

- per tiranti di *tipo passivo* e per i *chiodi*, il loro contributo si somma alle resistenze (numeratore)

$$F_s = \frac{R_d + \sum_{i,j} R_{i,j} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_i}}{E_d}$$

Con  $R_j$  si indica la resistenza dell'ancoraggio e viene calcolata dalla seguente espressione:

$$R_j = T_d \cdot \cos \Psi_i \cdot \left( \frac{1}{i} \right) \cdot \left( \frac{L_e}{L_a} \right)$$

dove:

- $T_d$  tiro esercizio;
- $\Psi_i$  inclinazione del tirante rispetto all'orizzontale;
- $i$  interasse;
- $L_e$  lunghezza efficace;
- $L_a$  lunghezza d'ancoraggio.

I due indici (i, j) riportati in sommatoria rappresentano rispettivamente l'i-esimo concio e il j-esimo ancoraggio intercettato dalla superficie di scorrimento dell'i-esimo concio.

Lavoro: Interventi urgenti per la sistemazione idraulica del torrente l'Arsella in corrispondenza dell'impianto di depurazione sito in località Lucina – Rapino (CH)

Committente: A.C.A. S.p.a.

PROGETTO ESECUTIVO

Numero Totale di Pagine: 7

**Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)**

---

---

Calcolo eseguito secondo	[A1+M1+R1]
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	20,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione non drenata
Superficie di forma circolare	

---

---

**Maglia dei Centri**

---

---

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	3,89 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	2,53 m
Ascissa vertice destro superiore xs	8,79 m
Ordinata vertice destro superiore ys	6,88 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

---

---

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,106
Coefficiente azione sismica verticale	0,053

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	5,25	0,0
3	7,5	4,0
4	12,0	4,0

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	5,25	0,0
3	7,5	0,0
4	12,0	0,0

**Coefficienti parziali azioni**

---

---

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0 1,3
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0 0,0

---

---

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

---

---

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

---

---

Lavoro: Interventi urgenti per la sistemazione idraulica del torrente l'Arsella in corrispondenza dell'impianto di depurazione sito in località Lucina – Rapino (CH)

Committente: A.C.A. S.p.a.

PROGETTO ESECUTIVO

Numero Totale di Pagine: 7

### Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia
1	0		31	1947,627	1947,627	
2		1,632	27	1978,218	1978,218	

### Risultati analisi pendio [[A2+M2+R2]]

Fs minimo individuato	3,1
Ascissa centro superficie	6,09 m
Ordinata centro superficie	4,92 m
Raggio superficie	5,62 m

**xc = 6,094 yc = 4,92 Rc = 5,624 Fs=3,102**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,41	-26,6	0,46	89,1	9,44	4,72	1,17	0,0	0,0	891,2	1580,1
2	0,41	-22,0	0,45	241,68	25,62	12,81	1,17	0,0	0,0	875,5	1523,5
3	0,41	-17,5	0,43	362,98	38,48	19,24	1,17	0,0	0,0	847,5	1481,3
4	0,41	-13,1	0,42	455,53	48,29	24,14	1,17	0,0	0,0	805,9	1450,7
5	0,41	-8,8	0,42	521,1	55,24	27,62	1,17	0,0	0,0	749,4	1429,7
6	0,41	-4,6	0,41	1127,23	119,49	59,74	1,17	0,0	0,0	1244,4	1417,3
7	0,41	-0,4	0,41	1734,06	183,81	91,91	1,17	0,0	0,0	1742,9	1412,8
8	0,41	3,9	0,41	2315,96	245,49	122,75	1,17	0,0	0,0	2225,7	1416,0
9	0,41	8,1	0,42	2872,79	304,52	152,26	1,17	0,0	0,0	2698,6	1427,0
10	0,41	12,4	0,42	3345,32	354,6	177,3	1,17	0,0	0,0	3113,0	1423,1
11	0,42	16,7	0,44	3661,23	388,09	194,05	1,17	0,0	0,0	3372,7	1498,7
12	0,41	21,2	0,44	3486,46	369,56	184,78	1,17	0,0	0,0	3151,7	1515,4
13	0,41	25,8	0,46	3339,43	353,98	176,99	1,17	0,0	0,0	2950,5	1569,3
14	0,41	30,6	0,48	3159,19	334,87	167,44	0,0	0,0	0,0	3670,1	0,0
15	0,41	35,6	0,51	2942,18	311,87	155,94	0,0	0,0	0,0	3620,1	0,0
16	0,41	41,0	0,55	2679,28	284,0	142,0	0,0	0,0	0,0	3551,4	0,0
17	0,41	46,9	0,61	2358,82	250,04	125,02	0,0	0,0	0,0	3452,4	0,0
18	0,41	53,5	0,7	1960,4	207,8	103,9	0,0	0,0	0,0	3298,4	0,0
19	0,41	61,5	0,87	1441,76	152,83	76,41	0,0	0,0	0,0	3021,6	0,0
20	0,41	73,2	1,44	676,57	71,72	35,86	0,0	0,0	0,0	2347,6	0,0

Lavoro: Interventi urgenti per la sistemazione idraulica del torrente l'Arsella in corrispondenza dell'impianto di depurazione sito in località Lucina – Rapino (CH)

Committente: A.C.A. S.p.a.

PROGETTO ESECUTIVO

Numero Totale di Pagine: 7

## Indice

1.Dati generali	14
2.Vertici profilo	15
3.Vertici strato .....1	15
4.Coefficienti parziali azioni	15
5.Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno	15
6.Stratigrafia	15
7.Risultati analisi pendio [[A2+M2+R2]]	16
Indice	17

*pagina 7/7*

---

Ing. Mario Cavagnuolo – Studio di Ingegneria Civile

Architettura, Ingegneria Geotecnica, Idraulica e Strutturale Sismica, Consulenze

Via Arapietra, 46 – 65124 PESCARA - Tel./Fax 085.4429539 – Mobile 329.3953487 – e-mail: m.cavagnuolo@studioarkin.it

Cod. Elaborato: **03.18.ES.IDR.RCG**