



TORINO - IVREA - QUINCINETTO

IVREA - SANTHIA'

SISTEMA AUTOSTRADALE
TANGENZIALE DI TORINO

VISTO per ATIVA S.p.A.



Amministratore Delegato
Dott. Ing. LUIGI CRESTA

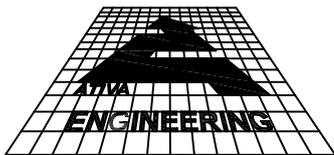
AUTOSTRADA A4/A5 - A5 TORINO QUINCINETTO IVREA SANTHIA'

NODO IDRAULICO DI IVREA 2° FASE DI COMPLETAMENTO

PROGETTO DEFINITIVO

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

***Analisi dei fenomeni di scalzamento
delle opere di fondazione in alveo***

IL PROGETTISTA	REDDATO	CONTROLLATO	APPROVATO				
 <i>Il Direttore Tecnico</i> Dott. Ing. ROBERTO PETRALI ordine degli Ingegneri di Milano n° 14638	HYDRODATA M. Buffo	HYDRODATA R. Dutto	ATIVA ENGINEERING V. Palmisano				
	DATA FEBBRAIO 2013	REVISIONE	DATA 15/02/2013				
	SCALA Varie						
	UFFICIO	COMMESSA	N° PROGETTO	FASE	ARGOMENTO	N° ELABORATO	REV
	SSP0101	A05	0000	PDAMB	B041	-	-

INDICE

1	PREMESSA.....	2
2	ESPRESSIONI EMPIRICHE DI CALCOLO DEGLI SCALZAMENTI.....	2
3	RISULTATI	6

1 PREMESSA

L'analisi dei fenomeni di scalzamento delle opere di fondazione in alveo è stata eseguita per il viadotto Fiorano, per il viadotto Cartiera e per il ponte sul Chiusella, con riferimento agli elementi strutturali più sollecitati dagli effetti erosivi delle correnti di flusso prodotte dall'evento di progetto duecentennale e caratterizzate in termini idraulici mediante analisi modellistica bidimensionale.

Per il calcolo delle profondità di scalzamento si è fatto riferimento alle formulazioni empiriche sotto descritte. In particolare per i viadotti Fiorano e Cartiera, che interessano settori golenali e di paleoalveo caratterizzati da depositi limoso-sabbiosi coesivi è stato fatto riferimento alla formula di Yaroslavtziev, più idonea in questi contesti, mentre per il ponte sul Chiusella, che interessa un alveo effettivo con depositi ghiaioso-ciottolosi sono state considerate anche le espressioni di Holmes e di Breusers.

2 ESPRESSIONI EMPIRICHE DI CALCOLO DEGLI SCALZAMENTI

FORMULA DI YAROSLAVTZIEV

Yaroslavtziev elaborando numerosi dati di scalzamento raccolti nell'ex Unione Sovietica è pervenuto alla seguente formula:

$$S = K_v \cdot K_f \cdot (e + K_h) \cdot \frac{v_0^2}{g} - 30 \cdot D_{85} \quad [1]$$

nella quale:

S = profondità di scalzamento a partire dal fondo alveo medio locale;

K_v = funzione del rapporto tra il termine cinetico della corrente e la larghezza efficace della pila:

$$K_v = f\left(\frac{v_0^2}{g \cdot bl}\right); \quad [2]$$

K_h = funzione del rapporto tra l'altezza media della corrente e la larghezza efficace della pila:

$$K_h = f\left(\frac{Y_0}{bl}\right); \quad [3]$$

K_f = funzione del rapporto di forma della pila (lunghezza fratto larghezza) e dell'angolo di attacco della corrente:

$$K_f = f\left(\frac{l}{b}, \alpha\right) \quad [4]$$

v_0 = velocità della corrente di piena;

- Y_0 = altezza d'acqua della corrente di piena sul fondo naturale di riferimento;
 b = larghezza della pila;
 l = lunghezza della pila;
 α = angolo di attacco della corrente;
 bl = larghezza efficace della pila:
 $bl = (l-b) \operatorname{sen}\alpha + b$ [5]
 e = parametro che assume valore 1,0 per pile in alveo e 0,6 per pile in golena;
 D_{85} = dimensione caratteristica del materiale di fondo.

Per l'applicazione sistematica della formula è stato necessario interpolare linearmente, mediante procedura automatica di calcolo, tra i valori della tabella di Yaroslavtziev che rappresentano l'espressione di K_f [4], e monomizzare le espressioni di K_v [2] e di K_h [3] a partire dai grafici riportati nella pubblicazione originale dell'autore (da MAGINI, R. & REMEDIA, G. "Fondazioni in alvei mobili. Scalzamento localizzato per sistemi di pile e tecniche di fondazione", XX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Padova, 1986).

L'espressione [2] è riportata in un diagramma con asse delle ordinate logaritmico ed asse delle ascisse parabolico del terzo ordine; la forma monomia risulta la seguente:

$$K_v = 10^{\left[-0.283 \cdot \left(\frac{v_0^2}{g \cdot bl} \right)^{1/3} + 0.024 \right]} \quad [6]$$

L'espressione [3] è riportata in un diagramma semilogaritmico sull'asse delle ordinate; la forma monomia risulta la seguente:

$$K_h = 10^{\left[-0.281 \cdot \left(\frac{Y_0}{bl} \right) + 0.096 \right]} \quad [7]$$

L'applicazione del metodo di calcolo è stato effettuato sia in riferimento alla forma completa dell'espressione [1], sia tralasciando da tale espressione il secondo termine, dipendente dal diametro caratteristico del materiale, che determina una consistente riduzione della quota di scavo.

I risultati ottenuti con questa ipotesi appaiono adeguatamente cautelativi anche in relazione alla discreta variabilità del fuso granulometrico del materiale di fondo, per il quale anche pezzature piuttosto grossolane come diametro medio possono non essere in grado di assicurare un efficace effetto di "armoring" nei confronti dell'asporto di fine.

FORMULA DI HOLMES

Holmes elaborando i dati del rilevamento diretto dello scalzamento di 36 ponti crollati in Nuova Zelanda è pervenuto alla seguente formula:

$$H_s = H_{sl} + d_{so}, \quad [8]$$

nella quale:

- H_s = profondità di scalzamento valutata dalla quota di pelo libero della piena di riferimento;
 H_{sl} = profondità dello scalzamento medio del fondo in corrispondenza della pila dovuto all'erosione generalizzata del fondo;
 d_{so} = profondità dell'erosione localizzata ai piedi della pila a partire dalla quota prodotta da H_{sl} .

Il termine H_{sl} è il maggiore tra i valori forniti dalle due seguenti espressioni:

$$H_{sl} = Y_0 \quad [9]$$

$$H_{sl} = y_r \cdot \frac{V_{o'}}{\left(\sqrt{g \cdot A/B} \cdot K_H\right)} \quad [10]$$

nelle quali:

- Y_0 = profondità della corrente di piena indisturbata;
 y_r = differenza tra il livello idrico medio ed il livello di piena;
 A = area della sezione trasversale della corrente indisturbata;
 B = larghezza della sezione trasversale;
 $V_{o'}$ = velocità caratteristica della corrente in piena:

$$V_{o'} = \frac{Q}{A} \cdot \left[\frac{Y_0}{A/B}\right]^{2/3} \cdot C_H; \quad [11]$$

- Q = portata di piena di calcolo;
 C_H = parametro che vale 1,2 per correnti convergenti e 1,0 negli altri casi;
 K_H = parametro che rappresenta la capacità di trasporto della corrente:

$$K_H = \sqrt{B/B_r}, \text{ nella quale:} \quad [12]$$

$$B_r = 4.85 \cdot \sqrt{Q}. \quad [13]$$

Il termine H_{sl} diventa efficace solamente quando si manifesta un reale e consistente abbassamento generalizzato del fondo, cioè quando:

$$\left(\frac{y_r \cdot V_{o'}}{\left(\sqrt{g \cdot A/B} \cdot K_H\right)}\right) - Y_0 > 0. \quad [14]$$

Il termine d_{so} è dato dalla seguente espressione:

$$d_{so} = 0.8 \cdot \sqrt{(V_{o'} \cdot b)}, \quad [15]$$

nella quale:

- b = dimensione trasversale caratteristica della pila, data dall'espressione:

$$b = b' \cdot f_3; \quad [16]$$

b' = larghezza della pila;
 l = lunghezza della pila;
 α = angolo di attacco della corrente;
 f_3 = parametro di forma della pila:

$$f_3 = f(l/b, \alpha). \quad [17]$$

Il parametro f_3 è dato da un diagramma riportato in bibliografia da diversi Autori: per angolo di attacco della corrente nullo ($\alpha=0$) il parametro f_3 vale 1.

Nell'applicazione sistematica della formula, al fine di assumere condizioni cautelative di verifica, si è considerato sempre un valore di y_r pari ad Y_0 , considerando totalmente l'effetto della piena di riferimento.

FORMULA DI BREUSERS

La formula di Breusers è una delle espressioni recenti più diffusamente applicate nell'ingegneria per la valutazione dell'erosione localizzata al piede delle pile.

In effetti l'impostazione del metodo di calcolo e la dipendenza del fenomeno da una serie ben definita di caratteristiche idrauliche, geometriche e sedimentologiche del sito rappresentano lo stato più avanzato della pratica di calcolo, rimanendo i singoli parametri che determinano lo scalzamento oggetto di continue revisioni alla luce di nuovi risultati su sperimentazioni modellistiche di laboratorio e di nuovi dati di campo.

La formula proposta da Breusers è la seguente:

$$d_s = 2 \cdot b \cdot \tanh\left(\frac{Y_0}{b}\right) \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4, \quad [18]$$

nella quale:

d_s = profondità di scalzamento a partire dal fondo alveo medio locale;
 Y_0 = profondità media della corrente indisturbata;
 b = larghezza della pila;
 f_1 = parametro che tiene conto della capacità erosiva della corrente in rapporto alla velocità critica di trasporto:

$$\begin{aligned}
 f_1 &= f(U/U_c): \\
 f_1 &= 0 && \text{per } U/U_c < 0,5; \\
 f_1 &= 2(U/U_c) - 1 && \text{per } 0,5 < U/U_c < 1,0; \\
 f_1 &= 1 && \text{per } U/U_c > 1,0;
 \end{aligned} \quad [19]$$

U = velocità della corrente indisturbata;
 U_c = velocità critica della corrente:

$$U_c = 5 \cdot \sqrt{D}; \quad [20]$$

D = diametro caratteristico del materiale;

f2 = parametro che tiene conto della forma della pila f2 = f(pila):

f2 = 1,00 per pila circolare;

f2 = 0,75 per pila sagomata idraulicamente;

f2 = 1,30 per pila rettangolare; [21]

f3 = parametro di forma della pila:

f3 = f(l/b, α); [22]

f4 = parametro che tiene conto dell' "effetto gruppo" e cioè della mutua vicinanza tra le pile attraverso il rapporto tra la larghezza della singola pila e l'interasse (da Elliot e Baker):

f4 = f(x/b):

$f4 = 1 + \frac{1.79}{\left(\frac{x}{b} - 1\right)^{0.695}}$ per $x/b < 4$;

$f4 = 2.95 - 0.278 \cdot \left(\frac{x}{b}\right)$ per $4 < x/b < 7$;

f4 = 1 per $x/b > 7$; [23]

Il parametro f3 è dato da un diagramma riportato in bibliografia da diversi Autori: per angolo di attacco della corrente nullo ($\alpha=0$) il parametro f3 vale 1.

3 RISULTATI

A seguire vengono riportate le schede descrittive dei calcoli effettuati.

I risultati ottenuti possono essere così sintetizzati (S= profondità di scalzamento).

Viadotto Cartiera

Le opere di fondazione delle pile (rif. elaborato TR104) sono costituite da plinti estesi per l'intera impronta del viadotto e di larghezza pari a 17 m nelle due piastre di estremità (ciascuna di lunghezza 13 m) e pari a 7 m nella parte centrale del plinto. Lo spessore del plinto è pari a 2,5 m.

Il plinto è impostato su pali-pila di diametro 1,5 m e interasse circa 4, disposti a file alternate di 4 e 3 pali nelle piastre di estremità e a quinconce nella parte centrale, per un totale di 38 pali per ogni plinto. La lunghezza dei pali è pari a 30 m.

Nella schematizzazione di calcolo è stato considerato cautelativamente un unico blocco di fondazione a sezione rettangolare di larghezza 17 m sull'intero sviluppo trasversale del plinto.

I valori delle profondità di scalzamento sono risultati (v. tabelle 7-8):

- pila-plinto sinistra (formula di Yarovlastzief): S= 2,79 m
- pila-plinto destra (formula di Yarovlastzief): S= 1,49 m

Per la verifica strutturale delle fondazioni dovrà pertanto essere considerata una profondità di scalzamento pari a:

$$S = 2,79 \text{ m}$$

a partire dalla quota di estradosso del plinto, che andrà posizionata al disotto del fondo alveo della sistemazione di progetto del rio Ribes (circa 2 m dall'attuale p.c.).

In corrispondenza della pila e della spalla in destra del viadotto è prevista la deviazione del rio Ribes che viene inalveato su un nuovo tracciato non interferente con le opere di fondazione, con ritombamento dell'alveo attuale.

Tale sistemazione (descritta in dettaglio nell'elaborato grafico IDR115 e, relativamente al comportamento idraulico, nell'allegato AMB40) prevede il rivestimento del tratto di nuovo inalveamento mediante massi cementati, con la finalità di stabilizzare il tracciato del rio eliminando la possibilità di divagazione dello stesso nella zona delle opere di fondazione del viadotto, per effetto delle piene proprie del bacino del Ribes (portata duecentennale 103 mc/s, v. allegato AMB40).

Inoltre il rivestimento consente di stabilizzare il nuovo alveo anche rispetto ai deflussi di piena indotti dalla tracimazione della Dora Baltea nel Paleoalveo del Ribes, ferma restando l'azione erosiva comunque esercitata nell'intorno delle fondazioni del viadotto, tenuta in conto nei calcoli di scalzamento delle pile.

Viadotto Fiorano

Le opere di fondazione delle pile (rif. elaborati STR201 - 203) sono costituite da pali – pila di diametro 1,5 m e profondità 30 m, disposti a file di tre con interasse 5 m, impostati su plinti di lunghezza 14 m, larghezza 2,5 m e spessore 1,5 m.

Nel calcolo dello scalzamento è stato considerato sia l'effetto del palo di diametro 1,5 m sia quello del plinto.

Per la pila più sollecitata in termini di parametri idraulici risulta la profondità di scalzamento sotto riportata (v. tabelle 9 - 10):

- Palo-pila tra sezz. stradali 222-223 (formula di Yarovlastzief) : $S = 0,71 \text{ m}$
- Plinto tra sezz. stradali 222-223 (formula di Yarovlastzief) : $S = 1,54 \text{ m}$

Pertanto per la verifica strutturale delle fondazioni dovrà essere considerata una profondità di scalzamento pari a:

$$S = 1,54 \text{ m}$$

posizionando l'estradosso del plinto alla quota di - 2 m dal p.c. , corrispondente alla quota di fondo alveo del rio delle Acque Rosse che sottopassa il viadotto (v. elaborato IDR108).

Ponte sul Chiusella

Anche per il ponte sul Chiusella sono previste fondazioni tipo palo-pila, di diametro 1,5 m e profondità 30 m. I pali-pila sono disposti in senso trasversale a file di quattro impostati con interasse 4,5 m su un plinto di lunghezza 18 m, larghezza 2,5 m e spessore 1,5 m (v. elaborati grafici STR001-003).

Sono state verificate la pila n.3 in golena (tabella 11), la pila n. 4 in alveo (tabella 12) e la pila n.5 in alveo (tabella 13), ottenendo i seguenti risultati.

- Pila P3 in golena (formula di Breusers): $S = 1,46$ m
(formula di Holmes): $S = 1,08$ m
(formula di Yarovlastzief): $S = 0,65$ m

- Pila n. 4 in alveo (formula di Breusers): $S = 5,98$ m
(formula di Holmes): $S = 1,49$ m
(formula di Yarovlastzief): $S = 1,24$ m

- Pila n. 5 in alveo (formula di Breusers): $S = 5,98$ m
(formula di Holmes): $S = 1,51$ m
(formula di Yarovlastzief): $S = 1,22$ m

Per le verifiche strutturali dei pali di fondazione del ponte dovrà pertanto essere messa in conto la profondità di scalzamento:

$S = 5,98$ m

valutata a partire dalla quota di fondo alveo del torrente nella sezione di attraversamento.

In base ai risultati sopra espressi saranno verificate le caratteristiche strutturali delle opere di fondazione, che presentano comunque ampio margine di sicurezza rispetto ai fenomeni di scalzamento, essendo ovunque previste con tipologia a palo-pila di profondità 30 m rispetto al fondo alveo.

EROSIONE PRODotta DA: Pila - plinto adiacente Spalla SX

FORMULA DI YAROVLASTZIEV **S = 2.79** (m)

DATI DI INPUT:		
VELOCITA' MEDIA CORRENTE (V_o) =	(m/s)	1.30
ALTEZZA ACQUA (Y_o)	(m)	2.98
LARGHEZZA DELLA PILA (b)	(m)	17.00
LUNGHEZZA DELLA PILA (l)	(m)	59.00
ANGOLO DI INCIDENZA (ALFA)	(°)	30
LARGHEZZA EFFICACE DELLA PILA (bl)	(m)	38.00
PILE IN ALVEO (1) O GOLENA (0)		0
DIAMETRO DEL MATERIALE DI FONDO (D85)	(m)	0.00035

PARAMETRI INTERMEDI:			
e =	1.00		
Y_o/bl =	0.08 (>2)	Kh =	1.19
$V_o^2/(g*bl)$ =	0.00	Kv =	0.95
l/b =	3.47	Kf =	7.84

FORMULA :	
1 - con contributo materiale di fondo:	
$S = Kv*Kf*(e+Kh)*V_o^2/g - 30*D85 =$	2.79 (m)
2 - senza contributo materiale di fondo (cioè se D85<0.5 cm):	
$S = Kv*Kf*(e+Kh)*V_o^2/g =$	2.80 (m)

CALCOLO DI Kf (interpolazione da Tabella di Yaroslavtziev) :					
ALFA			l/b		
	0	2	4	8	12
0	8.50	7.50	6.75	5.90	5.20
10	8.70	7.70	6.80	6.10	5.30
20	9.00	7.80	7.10	6.20	5.60
30	10.30	8.80	7.50	6.30	5.70
40	11.20	9.20	7.90	6.70	5.90
30	10.30	8.80	7.50	6.30	5.70
40	11.20	9.20	7.90	6.70	5.90
ALFA					
30	10.30	8.80	7.50	6.30	5.70
l/b					
3.47	2	4			
Kf					
7.84	8.80	7.50			
CALCOLO DI Kh (formula monomia $Kh=f(Yo/bl)$) :					
$Kh = 10^{(-0.281*Y_o/bl+0.096)} =$					
1.19					
CALCOLO DI Kv (formula monomia $Kv=f(Vo^2/g*bl)$) :					
$Kv = 10^{[-0.283*(Vo^2/g*bl)^{1/3}+0.024]} =$					
0.95					

nota: la formula è stata sviluppata per la verifica di pile su plinti fondati su pali

Tabella 1 – Viadotto Cartiera – calcolo scalzamento al piede per pila ricadente in gola in prossimità della spalla sinistra.

EROSIONE PRODOTTA DA: Pila - plinto adiacente Spalla DX

FORMULA DI YAROVLASTZIEV **S = 1.49** (m)

DATI DI INPUT:		
VELOCITA' MEDIA CORRENTE (V_o) =	(m/s)	1.30
ALTEZZA ACQUA (Y_o)	(m)	2.17
LARGHEZZA DELLA PILA (b)	(m)	17.00
LUNGHEZZA DELLA PILA (l)	(m)	59.00
ANGOLO DI INCIDENZA (ALFA)	(°)	45
LARGHEZZA EFFICACE DELLA PILA (b_l)	(m)	46.70
PILE IN ALVEO (1) O GOLENA (0)		0
DIAMETRO DEL MATERIALE DI FONDO (D85)	(m)	0.00035

PARAMETRI INTERMEDI:		
e =	1.00	
Y_o/b_l =	0.05 (>2)	Kh = 1.21
$V_o^2/(g*b_l)$ =	0.00	Kv = 0.96
l/b =	3.47	Kf = 4.12

FORMULA :	
1 - con contributo materiale di fondo:	
S = $Kv*Kf*(e+Kh)*V_o^2/g - 30*D85$ =	1.49 (m)
2 - senza contributo materiale di fondo (cioè se $D85 < 0.5$ cm):	
S = $Kv*Kf*(e+Kh)*V_o^2/g$ =	1.50 (m)

CALCOLO DI Kf (interpolazione da Tabella di Yaroslavtziev) :					
ALFA			l/b		
	0	2	4	8	12
0	8.50	7.50	6.75	5.90	5.20
10	8.70	7.70	6.80	6.10	5.30
20	9.00	7.80	7.10	6.20	5.60
30	10.30	8.80	7.50	6.30	5.70
40	11.20	9.20	7.90	6.70	5.90
40	11.20	9.20	7.90	6.70	5.90
50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ALFA					
45	5.60	4.60	3.95	3.35	2.95
l/b					
3.47	2	4			
Kf					
4.12	4.60	3.95			
CALCOLO DI Kh (formula monomia $Kh=f(Y_o/b_l)$) :					
$Kh = 10^{-(0.281*Y_o/b_l+0.096)}$ =			1.21		
CALCOLO DI Kv (formula monomia $Kv=f(V_o^2/g*b_l)$) :					
$Kv = 10^{[-0.283*(V_o^2/g*b_l)^{1/3}+0.024]}$ =			0.96		

nota: la formula è stata sviluppata per la verifica di pile su plinti fondati su pali

Tabella 2 – Viadotto Cartiera – calcolo scalzamento al piede per pila ricadente in golena in prossimità della spalla destra.

EROSIONE PRODOTTA DA: Pila - plinto tra sez. 223-222

FORMULA DI YAROVLASTZIEV **S = 0.71** (m)

DATI DI INPUT:		
VELOCITA' MEDIA CORRENTE (V_o) =	(m/s)	1.00
ALTEZZA ACQUA (Y_o)	(m)	5.87
LARGHEZZA DELLA PILA (b)	(m)	1.50
LUNGHEZZA DELLA PILA (l)	(m)	1.50
ANGOLO DI INCIDENZA (ALFA)	(°)	0
LARGHEZZA EFFICACE DELLA PILA (bl)	(m)	1.50
PILE IN ALVEO (1) O GOLENA (0)		0
DIAMETRO DEL MATERIALE DI FONDO (D85)	(m)	0.00055

PARAMETRI INTERMEDI:		
e =	1.00	
Y_o/bl =	3.91 (>2)	Kh = 0.10
$V_o^2/(g*bl)$ =	0.07	Kv = 0.81
l/b =	1.00	Kf = 8.00

FORMULA :	
1 - con contributo materiale di fondo:	
S = $Kv*Kf*(e+Kh)*V_o^2/g - 30*D85$ =	0.71 (m)
2 - senza contributo materiale di fondo (cioè se D85<0.5 cm):	
S = $Kv*Kf*(e+Kh)*V_o^2/g$ =	0.73 (m)

CALCOLO DI Kf (interpolazione da Tabella di Yaroslavtziev) :					
ALFA	l/b				
	0	2	4	8	12
0	8.50	7.50	6.75	5.90	5.20
10	8.70	7.70	6.80	6.10	5.30
20	9.00	7.80	7.10	6.20	5.60
30	10.30	8.80	7.50	6.30	5.70
40	11.20	9.20	7.90	6.70	5.90
0	8.50	7.50	6.75	5.90	5.20
10	8.70	7.70	6.80	6.10	5.30
ALFA					
0	8.50	7.50	6.75	5.90	5.20
l/b					
1.00	0	2			
Kf					
8.00	8.50	7.50			
CALCOLO DI Kh (formula monomia $Kh=f(Yo/bl)$) :					
$Kh = 10^{(-0.281*Yo/bl+0.096)}$ =			0.10		
CALCOLO DI Kv (formula monomia $Kv=f(Vo^2/g*bl)$) :					
$Kv = 10^{(-0.283*(Vo^2/g*bl)^{1/3}+0.024)}$ =			0.81		

nota: la formula è stata sviluppata per la verifica di pile su plinti fondati su pali

Tabella 3 – Viadotto Fiorano – calcolo scalzamento al piede per pila ricadente tra le sezioni stradali 223-222.

EROSIONE PRODOTTA DA: Pila - plinto tra sez. 223-222

FORMULA DI YAROVLASTZIEV S = 1.54 (m)

DATI DI INPUT:		
VELOCITA' MEDIA CORRENTE (V _o) =	(m/s)	1.00
ALTEZZA ACQUA (Y _o)	(m)	5.87
LARGHEZZA DELLA PILA (b)	(m)	14.00
LUNGHEZZA DELLA PILA (l)	(m)	2.50
ANGOLO DI INCIDENZA (ALFA)	(°)	0
LARGHEZZA EFFICACE DELLA PILA (bl)	(m)	14.00
PILA IN ALVEO (1) O GOLENA (0)		0
DIAMETRO DEL MATERIALE DI FONDO (D85)	(m)	0.00055

PARAMETRI INTERMEDI:		
e =	1.00	
Y _o /bl =	0.42 (>2)	Kh = 0.95
V _o ² /(g*bl) =	0.01	Kv = 0.93
l/b =	0.18	Kf = 8.41

FORMULA :	
1 - con contributo materiale di fondo:	
S = Kv*Kf*(e+Kh)*V_o²/g - 30*D85 =	1.54 (m)
2 - senza contributo materiale di fondo (cioè se D85<0.5 cm):	
S = Kv*Kf*(e+Kh)*V_o²/g =	1.56 (m)

CALCOLO DI Kf (interpolazione da Tabella di Yaroslavtziev) :					
ALFA	l/b				
	0	2	4	8	12
0	8.50	7.50	6.75	5.90	5.20
10	8.70	7.70	6.80	6.10	5.30
20	9.00	7.80	7.10	6.20	5.60
30	10.30	8.80	7.50	6.30	5.70
40	11.20	9.20	7.90	6.70	5.90
0	8.50	7.50	6.75	5.90	5.20
10	8.70	7.70	6.80	6.10	5.30
ALFA					
0	8.50	7.50	6.75	5.90	5.20
l/b					
0.18	0	2			
Kf					
8.41	8.50	7.50			
CALCOLO DI Kh (formula monomia Kh=f[Yo/bl]) :					
Kh = 10 ^[-0.281*Yo/bl+0.096] = 0.95					
CALCOLO DI Kv (formula monomia Kv=f[V_o²/g*bl]) :					
Kv = 10 ^[-0.283*(V_o²/g*bl)^{1/3}+0.024] = 0.93					

nota: la formula è stata sviluppata per la verifica di pile su plinti fondati su pali

Tabella 10 –Viadotto Fiorano – calcolo scalzamento al piede per plinto ricadente tra le sezioni stradali 223-222

EROSIONE PRODotta DA: Pila - plinto N° 3

FORMULA DI BREUSERS S = 1.46 (m)

DATI DI INPUT:

PORTATA (QTR200)	(m³/s)	900
LIVELLO (Y _o)	(m)	2.43
VELOCITA' MEDIA (U)	(m/s)	1.00
ANGOLO DI INCIDENZA (ALFA)	(°)	0
LARGHEZZA DELLA PILA (b)	(m)	1.50
LUNGHEZZA DELLA PILA (l)	(m)	1.50
DIAMETRO DEL MATERIALE DI FONDO (D)	(m)	0.1000
INTERASSE TRA LE PILE (x)	(m)	5.00
FORMA PILA (FP)		0

(circolare FP=0; stream-lined FP=1; rettangolare FP=2)

PARAMETRI INTERMEDI:

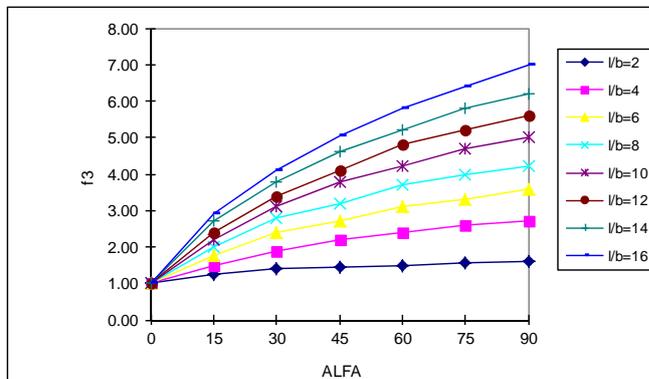
U _c = 5*D =	1.58
U / U _c =	0.63
f1(U/U _c) =	0.26
l/b =	1.00
f2(FP) =	1.00
f3(ALFA, b/l) =	1.00 f3=f(ALFA, b/l) vedere tabella
x/b =	3.33
f4(x/b) =	1.99 (da Elliot e Baker, non valida per sistemi di pile circolari)

FORMULA :

Y _o /b =	1.62
tanh(Y _o /b) =	0.92
ds = b*f1*2*tanh(Y_o/b)*f2*f3*f4 =	1.46 (m)

TABELLA f3 in funzione di ALFA e di b/l
CALCOLO DI f3 (interpolazione da grafico di Breusers) :

ALFA	b/l							
	2	4	6	8	10	12	14	16
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
15	1.25	1.50	1.75	2.00	2.20	2.40	2.70	2.90
30	1.40	1.90	2.40	2.80	3.10	3.40	3.80	4.10
45	1.45	2.20	2.70	3.20	3.80	4.10	4.60	5.05
60	1.50	2.40	3.10	3.70	4.20	4.80	5.20	5.80
75	1.55	2.60	3.30	4.00	4.70	5.20	5.80	6.40
90	1.60	2.70	3.60	4.20	5.00	5.60	6.20	7.00
ALFA								
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
10	1.25	1.50	1.75	2.00	2.20	2.40	2.70	2.90
b/l								
1.00	0	2						
f3								
1.00	1.00	1.00						



EROSIONE PRODOTTA DA: Pila - plinto N° 3

FORMULA DI HOLMES **S= 1.08 (m)**

DATI DI INPUT:		
PORTATA MASSIMA (Q)	(m ³ /s)	900
LIVELLO DI PIENA (Y _o)	(m)	2.43
LIVELLO MEDIO (Y _m)	(m)	0.00
LIVELLO DI CALCOLO (Y _r =Y _o -Y _m)	(m)	2.43
AREA DELLA SEZIONE (A)	(m ²)	715.00
LARGHEZZA DELLA SEZIONE (B)	(m)	212.50
ANGOLO DI INCIDENZA (ALFA)	(°)	0
LARGHEZZA DELLA PILA (b')	(m)	1.50
LUNGHEZZA DELLA PILA (l)	(m)	1.50
CORRENTE CONVERG. (0) O NON CONVERG. (1)		0

PARAMETRI INTERMEDI:	
CH =	1.20
Br =	145.50
V _o ' =	1.22
KH =	1.21
l/b' =	1.00
F3 =	1.00
b =	1.50

FORMULA :	
$Y_r * V_o / [(g * A / B)^{0.5} * KH] - Y_o =$	-2.00 (< 0)
$H_{s11} = Y_o =$	2.43 (m)
$H_{s12} = Y_r * V_o / [(g * A / B)^{0.5} * KH] =$	0.43 (m)
$H_{s1} = (0; \max (H_{s11}, H_{s12})) =$	0.00 (m)
$d_{s0} = 0.8 * (V_o * b)^{0.5} =$	1.08 (m)
H_s = H_{s1} + d_{s0} =	1.08 (m)

TABELLA f3 in funzione di ALFA e di B/L
 CALCOLO DI f3 (interpolazione da grafico di Breusers)

nota: la formula è stata sviluppata per la verifica di pile su plinti fondati su pali;
 b' è la dimensione trasversale della pila: per pile su pali, b' è il diametro del
 singolo palo moltiplicato per il numero dei pali più uno.

EROSIONE PRODOTTA DA: Pila - plinto N° 3

FORMULA DI YAROVLASTZIEV **S = 0.65** (m)

DATI DI INPUT:		
VELOCITA' MEDIA CORRENTE (V _o) =	(m/s)	1.00
ALTEZZA ACQUA (Y _o)	(m)	2.43
LARGHEZZA DELLA PILA (b)	(m)	1.50
LUNGHEZZA DELLA PILA (l)	(m)	1.50
ANGOLO DI INCIDENZA (ALFA)	(°)	0
LARGHEZZA EFFICACE DELLA PILA (bl)	(m)	1.50
PILE IN ALVEO (1) O GOLENA (0)		0
DIAMETRO DEL MATERIALE DI FONDO (D85)	(m)	0.0100

PARAMETRI INTERMEDI:		
e =	1.00	
Y _o /bl =	1.62 (>2)	Kh = 0.44
V _o ² /(g*bl) =	0.07	Kv = 0.81
l/b =	1.00	Kf = 8.00

FORMULA :	
1 - con contributo materiale di fondo:	
S = Kv*Kf*(e+Kh)*V_o²/g - 30*D85 =	0.65 (m)
2 - senza contributo materiale di fondo (cioè se D85<0.5 cm):	
S = Kv*Kf*(e+Kh)*V_o²/g =	0.95 (m)

CALCOLO DI Kf (interpolazione da Tabella di Yaroslavtziev) :					
ALFA	l/b				
	0	2	4	8	12
0	8.50	7.50	6.75	5.90	5.20
10	8.70	7.70	6.80	6.10	5.30
20	9.00	7.80	7.10	6.20	5.60
30	10.30	8.80	7.50	6.30	5.70
40	11.20	9.20	7.90	6.70	5.90
0	8.50	7.50	6.75	5.90	5.20
10	8.70	7.70	6.80	6.10	5.30
ALFA					
0	8.50	7.50	6.75	5.90	5.20
l/b					
1.00	0	2			
Kf					
8.00	8.50	7.50			
CALCOLO DI Kh (formula monomia Kh=f[Y_o/bl]) :					
Kh = 10 ^{-0.281*Y_o/bl+0.096} = 0.44					
CALCOLO DI Kv (formula monomia Kv=f[V_o²/g*bl]) :					
Kv = 10 ^[-0.283*(V_o²/g*bl)^{1/3}+0.024] = 0.81					

nota: la formula è stata sviluppata per la verifica di pile su plinti fondati su pali

Tabella 4– Ponte Chiusella – calcolo scalzamento al piede per pila P3 in golena.

EROSIONE PRODotta DA: Pila - plinto N° 4

FORMULA DI BREUSERS S = 5.98 (m)

DATI DI INPUT:

PORTATA (QTR200)	(m³/s)	900
LIVELLO (Y _o)	(m)	6.38
VELOCITA' MEDIA (U)	(m/s)	2.00
ANGOLO DI INCIDENZA (ALFA)	(°)	0
LARGHEZZA DELLA PILA (b)	(m)	1.50
LUNGHEZZA DELLA PILA (l)	(m)	1.50
DIAMETRO DEL MATERIALE DI FONDO (D)	(m)	0.1000
INTERASSE TRA LE PILE (x)	(m)	5.00
FORMA PILA (FP)		0

(circolare FP=0; stream-lined FP=1; rettangolare FP=2)

PARAMETRI INTERMEDI:

U _c = 5*D =	1.58
U / U _c =	1.26
f1(U/U _c) =	1.00
l/b =	1.00
f2(FP) =	1.00
f3(ALFA, b/l) =	1.00 f3=f(ALFA, b/l) vedere tabella
x/b =	3.33
f4(x/b) =	1.99 (da Elliot e Baker, non valida per sistemi di pile circolari)

FORMULA :

Y _o /b =	4.25
tanh(Y _o /b) =	1.00
ds = b*f1*2*tanh(Y_o/b)*f2*f3*f4 =	5.98 (m)

TABELLA f3 in funzione di ALFA e di l/b
 CALCOLO DI f3 (interpolazione da grafico di Breusers):

ALFA	l/b							
	2	4	6	8	10	12	14	16
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
15	1.25	1.50	1.75	2.00	2.20	2.40	2.70	2.90
30	1.40	1.90	2.40	2.80	3.10	3.40	3.80	4.10
45	1.45	2.20	2.70	3.20	3.80	4.10	4.60	5.05
60	1.50	2.40	3.10	3.70	4.20	4.80	5.20	5.80
75	1.55	2.60	3.30	4.00	4.70	5.20	5.80	6.40
90	1.60	2.70	3.60	4.20	5.00	5.60	6.20	7.00
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
10	1.25	1.50	1.75	2.00	2.20	2.40	2.70	2.90
ALFA								
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
l/b								
1.00	0	2						
f3								
1.00	1.00	1.00						

EROSIONE PRODOTTA DA: Pila - plinto N° 4

FORMULA DI HOLMES S= 1.49 (m)

DATI DI INPUT:		
PORTATA MASSIMA (Q)	(m³/s)	900
LIVELLO DI PIENA (Y _o)	(m)	6.38
LIVELLO MEDIO (Y _m)	(m)	0.00
LIVELLO DI CALCOLO (Y _r =Y _o -Y _m)	(m)	6.38
AREA DELLA SEZIONE (A)	(m²)	715.00
LARGHEZZA DELLA SEZIONE (B)	(m)	212.50
ANGOLO DI INCIDENZA (ALFA)	(°)	0
LARGHEZZA DELLA PILA (b')	(m)	1.50
LUNGHEZZA DELLA PILA (l)	(m)	1.50
CORRENTE CONVERG. (0) O NON CONVERG. (1)		0

PARAMETRI INTERMEDI:	
CH =	1.20
Br =	145.50
V _o ' =	2.31
KH =	1.21
l/b' =	1.00
F3 =	1.00
b =	1.50

FORMULA :	
$Y_r * V_o' / [(g * A / B)^{0.5} * KH] - Y_o =$	-4.25 (< 0)
$H_{sl1} = Y_o =$	6.38 (m)
$H_{sl2} = Y_r * V_o' / [(g * A / B)^{0.5} * KH] =$	2.13 (m)
$H_{sl} = (0; \max (H_{sl1}, H_{sl2})) =$	0.00 (m)
$d_{so} = 0.8 * (V_o' * b)^{0.5} =$	1.49 (m)
H_s = H_{sl} + d_{so} =	1.49 (m)

<u>TABELLA f3 in funzione di ALFA e di B/L</u>
CALCOLO DI f3 (interpolazione da grafico di Breusers)

nota: la formula è stata sviluppata per la verifica di pile su plinti fondati su pali;
 b' è la dimensione trasversale della pila: per pile su pali, b' è il diametro del
 singolo palo moltiplicato per il numero dei pali più uno.

EROSIONE PRODOTTA DA: Pila - plinto N° 4

FORMULA DI YAROVLASTZIEV **S = 1.24** (m)

DATI DI INPUT:

VELOCITA' MEDIA CORRENTE (V _o) =	(m/s)	2.00
ALTEZZA ACQUA (Y _o)	(m)	6.38
LARGHEZZA DELLA PILA (b)	(m)	1.50
LUNGHEZZA DELLA PILA (l)	(m)	1.50
ANGOLO DI INCIDENZA (ALFA)	(°)	0
LARGHEZZA EFFICACE DELLA PILA (bl)	(m)	1.50
PILE IN ALVEO (1) O GOLENA (0)		1
DIAMETRO DEL MATERIALE DI FONDO (D85)	(m)	0.0100

PARAMETRI INTERMEDI:

e =	0.60			
Y _o /bl =	4.25	(>2)	Kh =	0.08
V _o ² /(g*bl) =	0.27		Kv =	0.69
l/b =	1.00		Kf =	8.00

FORMULA :

1 - con contributo materiale di fondo:

$$S = K_v * K_f * (e + K_h) * V_o^2 / g - 30 * D85 = 1.24 \text{ (m)}$$

2 - senza contributo materiale di fondo (cioè se D85 < 0.5 cm):

$$S = K_v * K_f * (e + K_h) * V_o^2 / g = 1.54 \text{ (m)}$$

CALCOLO DI Kf (interpolazione da Tabella di Yaroslavtziev) :

ALFA	l/b				
	0	2	4	8	12
0	8.50	7.50	6.75	5.90	5.20
10	8.70	7.70	6.80	6.10	5.30
20	9.00	7.80	7.10	6.20	5.60
30	10.30	8.80	7.50	6.30	5.70
40	11.20	9.20	7.90	6.70	5.90
0	8.50	7.50	6.75	5.90	5.20
10	8.70	7.70	6.80	6.10	5.30
ALFA					
0	8.50	7.50	6.75	5.90	5.20
l/b					
1.00	0	2			
Kf					
8.00	8.50	7.50			

CALCOLO DI Kh (formula monomia Kh=f[Y_o/bl]) :

$$K_h = 10^{(-0.281 * Y_o / bl + 0.096)} = 0.08$$

CALCOLO DI Kv (formula monomia Kv=f[V_o²/g*bl]) :

$$K_v = 10^{[-0.283 * (V_o^2 / g * bl)^{1/3} + 0.024]} = 0.69$$

nota: la formula è stata sviluppata per la verifica di pile su plinti fondati su pali
Tabella 5 – Ponte Chiusella – calcolo scalzamento al piede per pila P4 in alveo.

EROSIONE PRODOTTA DA: Pila - plinto N° 5

FORMULA DI BREUSERS S = 5.98 (m)

DATI DI INPUT:

PORTATA (QTR200)	(m³/s)	900
LIVELLO (Y _o)	(m)	6.60
VELOCITA' MEDIA (U)	(m/s)	2.00
ANGOLO DI INCIDENZA (ALFA)	(°)	0
LARGHEZZA DELLA PILA (b)	(m)	1.50
LUNGHEZZA DELLA PILA (l)	(m)	1.50
DIAMETRO DEL MATERIALE DI FONDO (D)	(m)	0.1000
INTERASSE TRA LE PILE (x)	(m)	5.00
FORMA PILA (FP)		0

(circolare FP=0; stream-lined FP=1; rettangolare FP=2)

PARAMETRI INTERMEDI:

U _c = 5*D =	1.58
U / U _c =	1.26
f ₁ (U/U _c) =	1.00
l/b =	1.00
f ₂ (FP) =	1.00
f ₃ (ALFA, b/l) =	1.00 f ₃ =f(ALFA, b/l) vedere tabella
x/b =	3.33
f ₄ (x/b) =	1.99 (da Elliot e Baker, non valida per sistemi di pile circolari)

FORMULA :

Y _o /b =	4.40
tanh(Y _o /b) =	1.00
ds = b*f₁*2*tanh(Y_o/b)*f₂*f₃*f₄ =	5.98 (m)

TABELLA f3 in funzione di ALFA e di B/L
CALCOLO DI f3 (interpolazione da grafico di Breusers) :

ALFA	l/b							
	2	4	6	8	10	12	14	16
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
15	1.25	1.50	1.75	2.00	2.20	2.40	2.70	2.90
30	1.40	1.90	2.40	2.80	3.10	3.40	3.80	4.10
45	1.45	2.20	2.70	3.20	3.80	4.10	4.60	5.05
60	1.50	2.40	3.10	3.70	4.20	4.80	5.20	5.80
75	1.55	2.60	3.30	4.00	4.70	5.20	5.80	6.40
90	1.60	2.70	3.60	4.20	5.00	5.60	6.20	7.00
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
10	1.25	1.50	1.75	2.00	2.20	2.40	2.70	2.90
ALFA								
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
l/b								
1.00	0	2						
f3								
1.00	1.00	1.00						

EROSIONE PRODOTTA DA: Pila - plinto N° 5

FORMULA DI HOLMES S= 1.51 (m)

DATI DI INPUT:

PORTATA MASSIMA (Q)	(m ³ /s)	900
LIVELLO DI PIENA (Y ₀)	(m)	6.60
LIVELLO MEDIO (Y _m)	(m)	0.00
LIVELLO DI CALCOLO (Y _r =Y ₀ -Y _m)	(m)	6.60
AREA DELLA SEZIONE (A)	(m ²)	715.00
LARGHEZZA DELLA SEZIONE (B)	(m)	212.50
ANGOLO DI INCIDENZA (ALFA)	(°)	0
LARGHEZZA DELLA PILA (b')	(m)	1.50
LUNGHEZZA DELLA PILA (l)	(m)	1.50
CORRENTE CONVERG. (0) O NON CONVERG. (1)		0

PARAMETRI INTERMEDI:

CH =	1.20
Br =	145.50
V ₀ ' =	2.37
KH =	1.21
l/b' =	1.00
F3 =	1.00
b =	1.50

FORMULA :

$Y_r * V_{0'} / [(g * A / B)^{0.5} * KH] - Y_0 =$	-4.35 (< 0)
$H_{sl1} = Y_0 =$	6.60 (m)
$H_{sl2} = Y_r * V_{0'} / [(g * A / B)^{0.5} * KH] =$	2.25 (m)
$H_{sl} = (0; \max (H_{sl1}, H_{sl2})) =$	0.00 (m)
$d_{s0} = 0.8 * (V_{0'} * b)^{0.5} =$	1.51 (m)
H_s = H_{sl} + d_{s0} =	1.51 (m)

TABELLA f3 in funzione di ALFA e di B/L

CALCOLO DI f3 (interpolazione da grafico di Breusers)

nota: la formula è stata sviluppata per la verifica di pile su plinti fondati su pali;
b' è la dimensione trasversale della pila: per pile su pali, b' è il diametro del
singolo palo moltiplicato per il numero dei pali più uno.

EROSIONE PRODOTTA DA: Pila - plinto N° 5

FORMULA DI YAROVLASTZIEV $S = 1.22$ (m)

DATI DI INPUT:

VELOCITA' MEDIA CORRENTE (V_o) =	(m/s)	2.00
ALTEZZA ACQUA (Y_o)	(m)	6.60
LARGHEZZA DELLA PILA (b)	(m)	1.50
LUNGHEZZA DELLA PILA (l)	(m)	1.50
ANGOLO DI INCIDENZA (ALFA)	(°)	0
LARGHEZZA EFFICACE DELLA PILA (bl)	(m)	1.50
PILE IN ALVEO (1) O GOLENA (0)		1
DIAMETRO DEL MATERIALE DI FONDO (D85)	(m)	0.0100

PARAMETRI INTERMEDI:

e =	0.60		
Y_o/bl =	4.40	(>2)	$K_h = 0.07$
$V_o^2/(g*bl)$ =	0.27		$K_v = 0.69$
l/b =	1.00		$K_f = 8.00$

FORMULA :

1 - con contributo materiale di fondo:

$$S = K_v * K_f * (e + K_h) * V_o^2 / g - 30 * D85 = 1.22 \text{ (m)}$$

2 - senza contributo materiale di fondo (cioè se $D85 < 0.5$ cm):

$$S = K_v * K_f * (e + K_h) * V_o^2 / g = 1.52 \text{ (m)}$$

CALCOLO DI K_f (interpolazione da Tabella di Yaroslavtziev) :

ALFA	l/b				
	0	2	4	8	12
0	8.50	7.50	6.75	5.90	5.20
10	8.70	7.70	6.80	6.10	5.30
20	9.00	7.80	7.10	6.20	5.60
30	10.30	8.80	7.50	6.30	5.70
40	11.20	9.20	7.90	6.70	5.90
0	8.50	7.50	6.75	5.90	5.20
10	8.70	7.70	6.80	6.10	5.30
ALFA					
0	8.50	7.50	6.75	5.90	5.20
l/b					
1.00	0	2			
Kf					
8.00	8.50	7.50			

CALCOLO DI K_h (formula monomia $K_h = f(Y_o/bl)$) :

$$K_h = 10^{(-0.281 * Y_o/bl + 0.096)} = 0.07$$

CALCOLO DI K_v (formula monomia $K_v = f(V_o^2/g*bl)$) :

$$K_v = 10^{[-0.283 * (V_o^2/g*bl)^{1/3} + 0.024]} = 0.69$$

nota: la formula è stata sviluppata per la verifica di pile su plinti fondati su pali
Tabella 6 – Ponte Chiusella – calcolo scalzamento al piede per pila P5 in alveo