



UNIVERSITÀ DI PISA

FACOLTA' DI INGEGNERIA

CdL in Ingegneria Civile, dell'Ambiente e del Territorio

Tesi di laurea triennale:

Studio sperimentale di strutture idrauliche a basso impatto ambientale

Relatore:

Prof. Ing. Massimo Pagliara

Candidato:

Luca Dell'Amico

Anno Accademico 2012 / 2013



UNIVERSITÀ DI PISA

Studio sperimentale di strutture idrauliche a basso impatto ambientale



«..è più facile studiare il moto dei corpi celesti infinitamente lontani che quello del ruscello che scorre sotto i nostri piedi..»

Galileo Galei
(tratto da «Discorso intorno a due Scienze nuove»)



UNIVERSITÀ DI PISA

Studio sperimentale di strutture idrauliche a basso impatto ambientale

Introduzione

Premessa

Nel corso del secolo scorso, grazie al notevole sviluppo economico, si è registrato un miglioramento socio-economico che ha innescato forti processi di urbanizzazione e di sfruttamento del suolo, senza una vera strategia d'intervento.

Ciò ha comportato situazioni di forte squilibrio degli ecosistemi, in molti casi anche irreversibili e altamente pericolosi non solo per gli esseri umani.

Il recente interesse della comunità scientifica ha prodotto numerose ricerche (di laboratorio in prevalenza), al fine di individuare strutture non convenzionali, in quanto le opere idrauliche comportano molteplici problematiche, dovute troppo spesso ad un'errata valutazione per quanto concerne il trasporto del materiale e quindi sulla variazione della morfologia dell'alveo dopo la struttura.



UNIVERSITÀ DI PISA

Studio sperimentale di strutture idrauliche a basso impatto ambientale

Introduzione

Obiettivi

Scopo della presente ricerca è dunque valutare l'efficienza e l'efficacia delle opere non convenzionali di riqualificazione dei corsi d'acqua, utilizzando i risultati per stimare l'influenza di alcuni parametri sulla morfologia dei corsi d'acqua dopo l'intervento.

Vari studi condotti in passato hanno rilevato che la morfologia è associata ad un'interazione di 8 variabili: pendenza, larghezza, profondità, velocità, scabrezza, dimensione e concentrazione del materiale trasportato e, infine, modalità di scarico.

Sotto tali ipotesi, si è proceduto con esperimenti al fine di ricavare formule empiriche da applicare a strutture realizzate in alvei naturali, evitando così possibili sovradimensionamenti, costi eccessivi e forti impatti ambientali. Il fine è dunque comprendere le dinamiche del fenomeno erosivo e scegliere, di volta in volta, la struttura più idonea ad essere utilizzata.



UNIVERSITÀ DI PISA

Studio sperimentale di strutture idrauliche a basso impatto ambientale

Cap. 01 – Descrizione dell'apparato sperimentale

Il modello e le prove

L'apparato utilizzato per gli esperimenti è il canale «1C», sito presso il Dipartimento di Idraulica dell'Università di Pisa.

Tale apparato, a circuito chiuso è composto da una pompa di sollevamento, da una tubazione adduttrice e da una vasca di calma; all'interno del circuito è simulato il passaggio di portate da 0,002 a 0,005 mc/s variando la forma della struttura ed il tipo di reflusso.



Ciascuna prova prevedeva la partenza da condizioni standard, verificate a secco. In seguito, utilizzando un idrometro, si andava a valutare in intervalli di tempo consoni la variazione della morfologia dello scavo fino a che questo non raggiungesse una configurazione stabile di equilibrio (generalmente dai 120 ai 300 minuti).



UNIVERSITÀ DI PISA

Studio sperimentale di strutture idrauliche a basso impatto ambientale

Cap. 01 – Descrizione dell'apparato sperimentale

Strutture e materiali

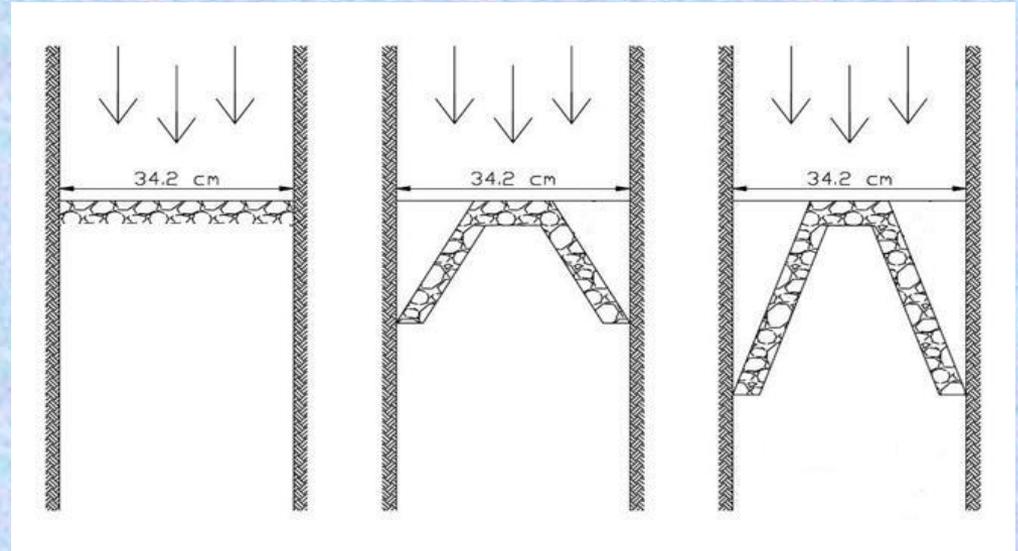
Da sinistra:

- Struttura lineare
- Struttura trapezoidale corta
- Struttura trapezoidale lunga

Si precisa che per ogni forma è stata predisposta una base in pietrame per migliorare la stabilità della struttura.

Gli ingegneri idraulici hanno stabilito che le proprietà dei materiali che influenzano maggiormente i risultati del presente studio sono:

- Il peso specifico
- La dimensione
- La forma





UNIVERSITÀ DI PISA

Studio sperimentale di strutture idrauliche a basso impatto ambientale

Cap. 01 – Descrizione dell'apparato sperimentale

Strutture e materiali

I materiali usati nei nostri test sono quelli costituenti la struttura in elevazione e il piano di posa; i primi sono ostacoli per l'acqua mentre i secondi sono responsabili del processo di escavazione.

$$D_{50} = 3,52 \times 10^{-3} \text{ [m]}$$

$$\rho = 1,29 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$$

I dati sono verificati da prove di laboratorio standard.

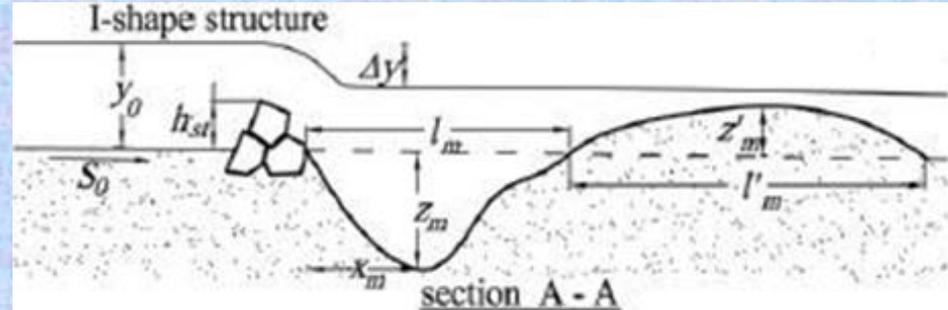


Per la struttura in elevazione (e la sua base) sono state usate pietre di vario materiale a seconda delle necessità dell'esperimento: la foto accanto ne mostra appunto la forma e la dimensione; si è cercato di scegliere pietre con spigoli levigati e forma più possibile regolare.

Variabili e descrizione qualitativa

Le variabili usate per i test sono quelle indicate in figura; in più è bene porre l'attenzione su:

- Numero di Froude (Fr)
- Numero di Froude densimetrico (F_D)
- Parametro η



$$\eta = F_D^2 \frac{\Delta y}{h_S}$$

Procedendo nel verso del moto, l'energia in possesso del fluido è data dalla somma del termine cinetico e del potenziale, trascurando la pressione; attraversando la struttura, il valore delle singole componenti varia: ad aumentare è il termine cinetico (la velocità del fluido), che genera da lì in poi il trasporto del materiale e quindi uno scavo ed un riporto che avranno caratteristiche geometriche differenti da studiare in relazione alle variabili sopra esposte.





UNIVERSITÀ DI PISA

Studio sperimentale di strutture idrauliche a basso impatto ambientale

Cap. 02 – Elaborazione dei dati

Struttura lineare ($l/b = 1,0$)

La struttura lineare non presenta particolari caratteristiche geometriche ed è anche per questo motivo che è stata la prima ad essere installata e testata.





Struttura lineare ($l/b = 1,0$)

N. #	h_s [cm]	Q [lt/s]	$T_{W,200}$ [cm]	Fr	F_D	Z_{MAX} [cm]	Δy [cm]
02	3	2	35,7	0,2023	1,95	3,7	0,7
04	3	3	35,7	0,2663	2,92	3,9	0,4
05	3	2	35,0	0,2424	1,95	3,0	0,4
06	3	3	35,8	0,2582	2,92	5,4	0,8
12	2	2	35,7	0,2623	2,92	2,6	0,3
13	2	3	34,9	0,2851	4,38	1,6	0,3
16	4	2	36,3	0,1488	1,46	4,1	1,0
17	4	2	34,7	0,1575	1,46	5,4	1,8
18	4	3	36,6	0,1859	2,19	7,0	1,2
19	4	3	35,5	0,1906	2,19	8,0	1,7

Nella tabella sopra sono stati riportati solo gli esperimenti che sono stati ritenuti più significativi al fine dell'analisi in corso.



UNIVERSITÀ DI PISA

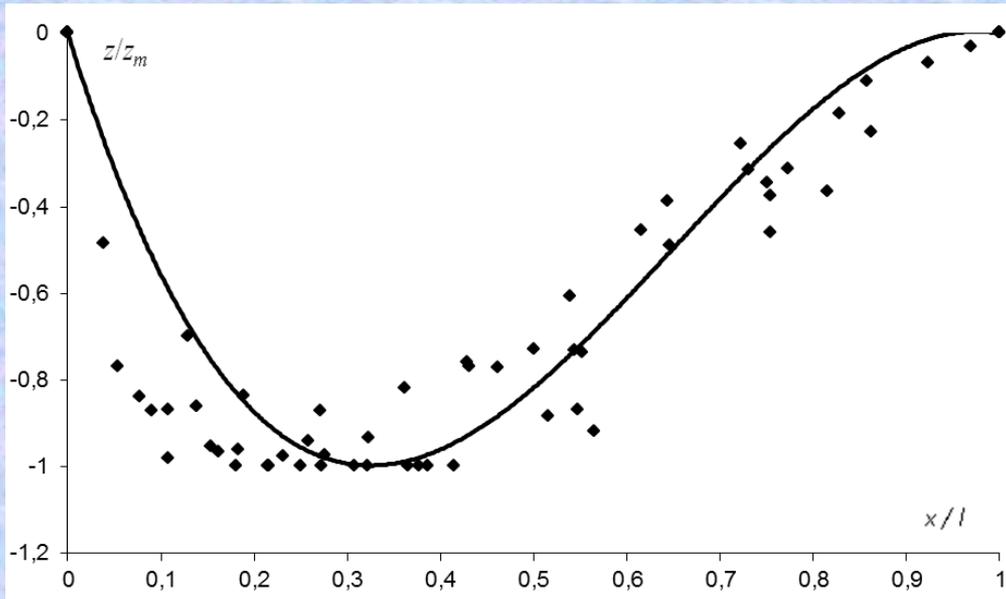
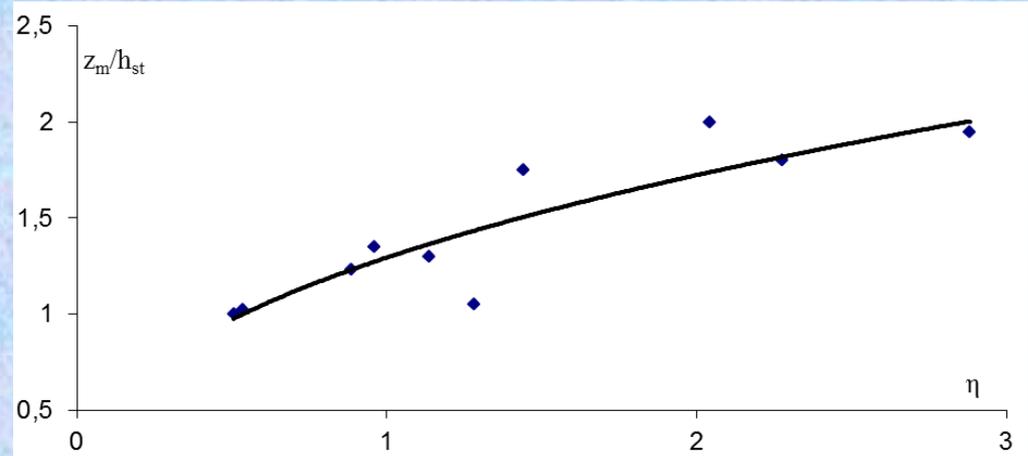
Studio sperimentale di strutture idrauliche a basso impatto ambientale

Cap. 02 – Elaborazione dei dati

Struttura lineare ($l/b = 1,0$)

L'interpolazione mostra come varia il rapporto tra Z_M e h_S in funzione di η .

Il grafico è in scala logaritmica



Il grafico accanto, invece, indica dove si raggiunge la massima profondità di scavo in relazione alla lunghezza dello stesso.



UNIVERSITÀ DI PISA

Studio sperimentale di strutture idrauliche a basso impatto ambientale

Cap. 02 – Elaborazione dei dati

Struttura trapezoidale corta ($l/b = 1,7$)

La struttura trapezoidale corta tende a confondersi a prima vista con una di forma semicircolare, sebbene i terzi esterni siano inclinati rispetto al blocco centrale.





Struttura trapezoidale corta ($l/b = 1,7$)

N. #	h_s [cm]	Q [lt/s]	T_{W200} [cm]	Fr	F_D	Z_{MAX} [cm]	Δy [cm]
07	3	2	35,3	0,2334	1,17	1,7	0,3
08	3	2	35,2	0,2424	1,17	3,8	0,6
09	3	3	36,2	0,2582	1,75	3,8	0,5
10	3	3	35,8	0,2582	1,75	4,5	0,9
20	4	2	35,5	0,2023	0,88	3,3	1,3
21	4	2	35,0	0,1892	0,88	6,6	0,5
22	4	3	36,6	0,2113	1,31	3,7	1,1
23	4	3	35,4	0,2432	1,31	6,7	1,0
24	2	4	36,6	0,3340	3,51	2,8	0,1
26	2	4	36,3	0,3551	3,51	3,7	0,3
29	2	3	36,0	0,5069	2,63	//	0,2

Anche in questo caso, nella tabella sopra riportata sono presenti i soli test che ho ritenuto fossero utili ai fini dell'indagine condotta.



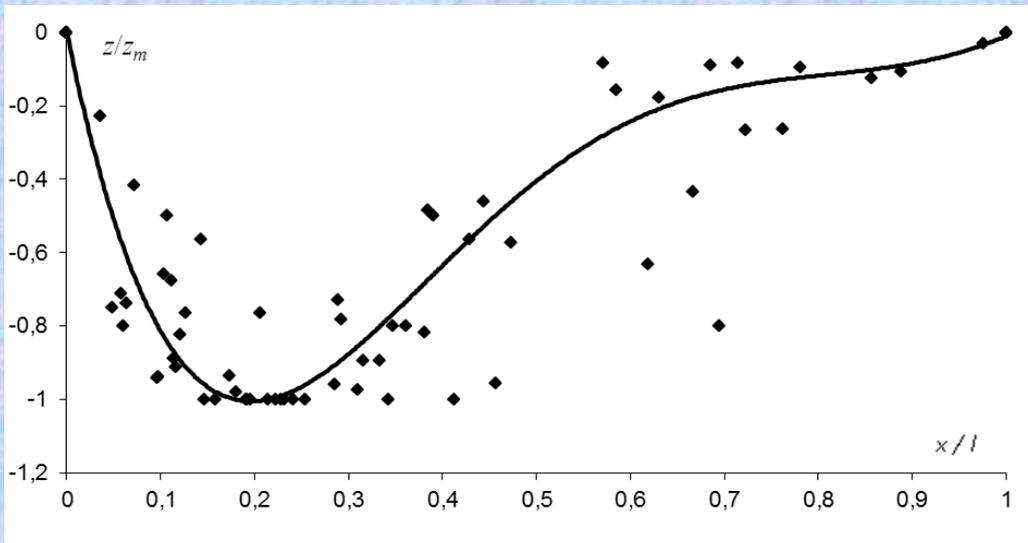
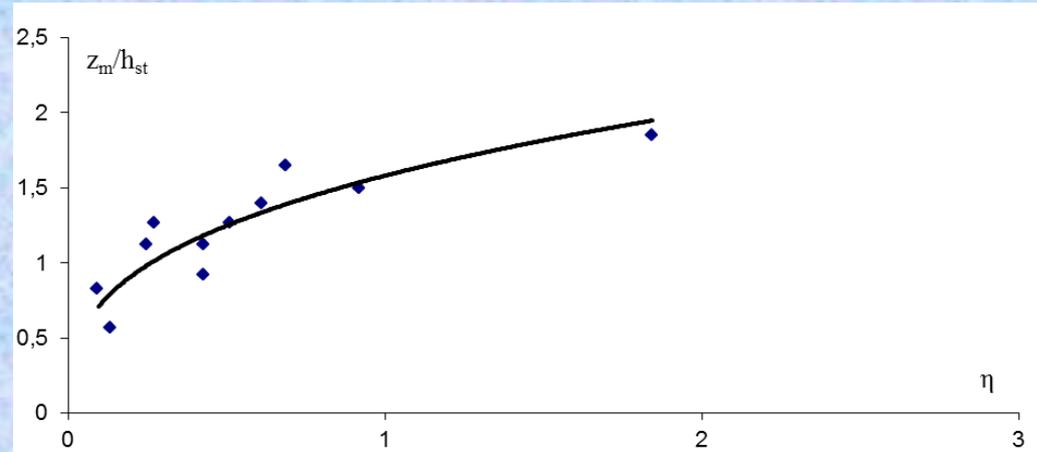
UNIVERSITÀ DI PISA

Studio sperimentale di strutture idrauliche a basso impatto ambientale

Cap. 02 – Elaborazione dei dati

Struttura trapezoidale corta ($l/b = 1,7$)

L'interpolazione mostra subito come il valori raggiunti da η siano molto più bassi rispetto alla struttura precedente.



Qui, invece, si evince una doppia fase di risalita dello scavo dal suo punto più basso che rispetto alla struttura lineare tende a traslare verso sinistra, ad avvicinarsi alla base della struttura.



UNIVERSITÀ DI PISA

Studio sperimentale di strutture idrauliche a basso impatto ambientale

Cap. 02 – Elaborazione dei dati

Struttura trapezoidale lunga ($l/b = 2,3$)

La struttura trapezoidale lunga, infine, è simile alla precedente ma risulta essere più allungata di una decina di centimetri in direzione dello scavo.



Struttura trapezoidale lunga ($l/b = 2,3$)

N. #	h_s [cm]	Q [lt/s]	T_{W200} [cm]	Fr	F_D	Z_{MAX} [cm]	Δy [cm]
32	3	3	35,6	0,2582	1,28	4,7	0,7
34	4	2	34,7	0,2023	0,64	3,8	0,9
35	4	3	35,4	0,2432	0,96	4,7	1
36	4	3	36,4	0,2362	0,96	4,3	0,6
37	4	4	37,9	0,2361	1,28	3,6	0,2
38	4	4	36,3	0,2818	1,28	5,5	0,5
39	4	4	36,4	0,2976	1,28	5,3	0,4
41	3	2	35,1	0,2333	0,85	1,2	0,4
43	2	2	35,2	0,2978	1,28	0,8	0,1
47	2	4	36,8	0,3242	2,56	3,3	0,1
49	2	5	37,4	0,3522	3,20	3,0	0,1

Per questo tipo di struttura sono stati presi in seria considerazione anche gli esperimenti con portata di 5 lt/s, diversamente da quanto avvenuto con le altre forme testate.



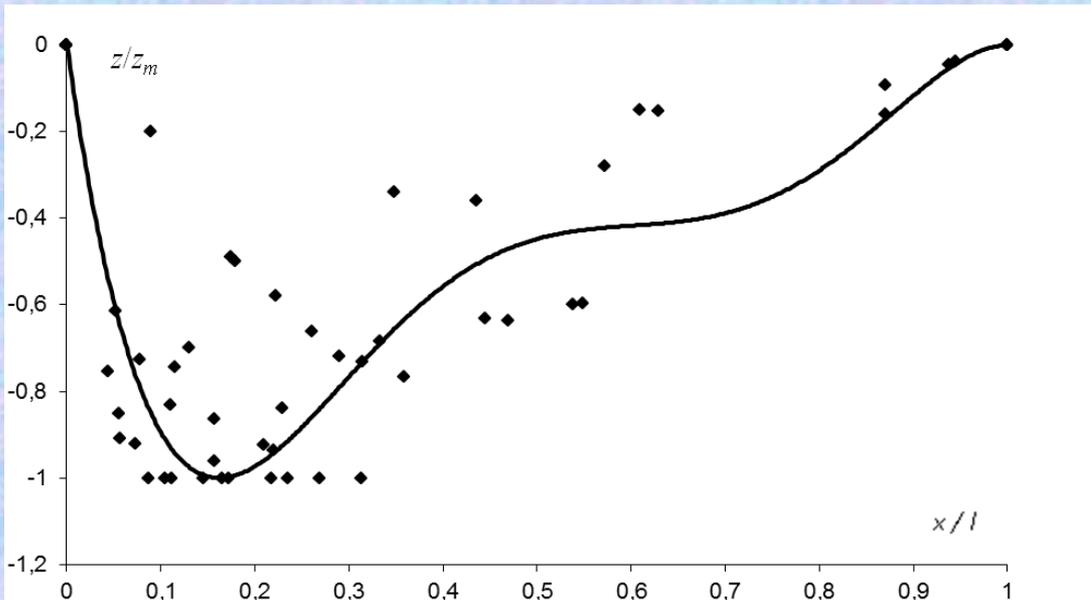
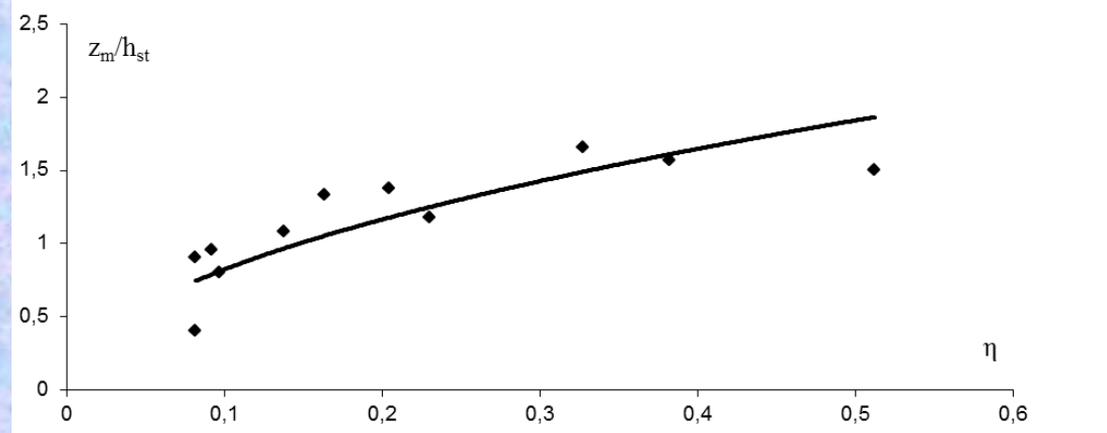
UNIVERSITÀ DI PISA

Studio sperimentale di strutture idrauliche a basso impatto ambientale

Cap. 02 – Elaborazione dei dati

Struttura trapezoidale lunga ($l/b = 2,3$)

I valori assunti da η per questa forma sono molto più bassi rispetto ai primi due casi

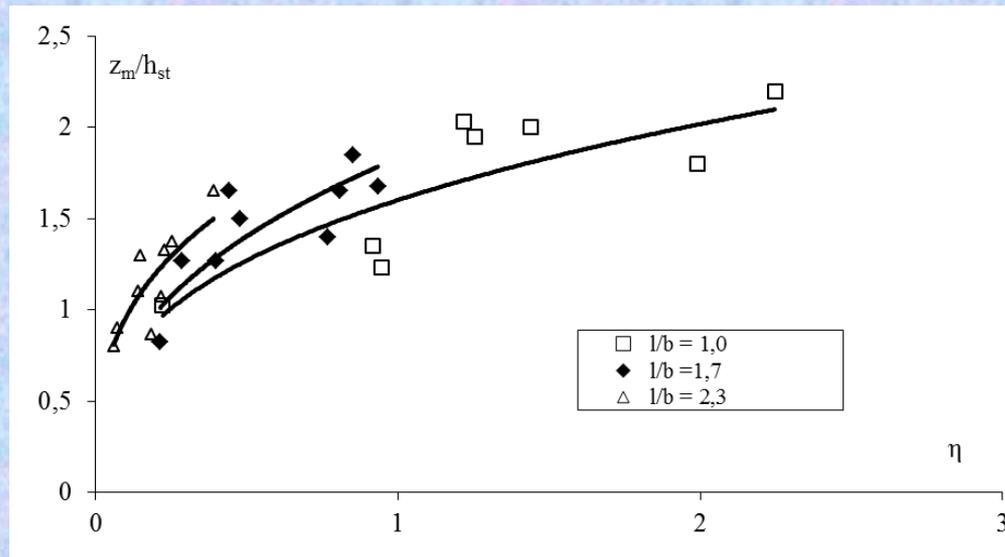


Il grafico mostra che il punto di massimo scavo si avvicina alla struttura ancora di più, mentre la risalita dello scavo pare si possa suddividere in tre tratti, di cui a bassa pendenza quello centrale.



Il confronto

Volendo ora confrontare le diverse strutture utilizzate, andiamo a sovrapporre i grafici presi in considerazione singolarmente pocanzi.



$$\frac{z_m}{h_s} = 1,3 \left(\frac{l}{b}\right)^{0,9} \eta^{0,4}$$

con $0,05 < \eta < 15$

Dal raffronto si evince che la forma assunta dalla curva è la medesima, ma fissando η , il rapporto in ordinata il valore più piccolo è assunto sempre dalla struttura caratterizzata da $l/b = 2,3$



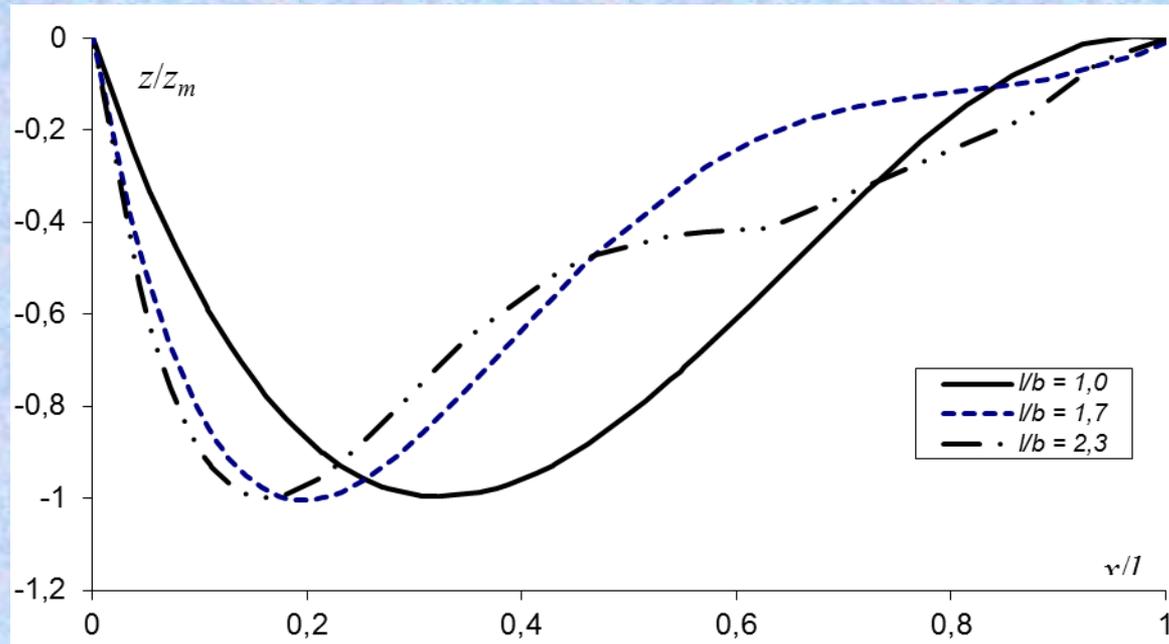
UNIVERSITÀ DI PISA

Studio sperimentale di strutture idrauliche a basso impatto ambientale

Cap. 02 – Elaborazione dei dati

Il confronto

Raffrontando invece i grafici relativi alla profondità dello scavo in relazione alla distanza dalla struttura, ci possiamo accorgere che più è elevato il rapporto l/b , più il punto di massimo scavo si avvicina alla struttura e più si tende ad avere una rapida risalita.





Analisi in base al Tail Water

Volendo eseguire un'analisi della stessa struttura in condizioni di diverso livello del pelo libero dell'acqua è da evidenziare che quelle eseguite con la paratoia completamente aperta risultano generalmente più rapide e comportano sia uno scavo massimo più accentuato, sia uno sviluppo maggiore in senso longitudinale.

Ciò è dovuto al fatto che, con un livello d'acqua inferiore, a parità di portata, aumenta sensibilmente l'influenza delle azioni tangenziali che sono responsabili del trasporto del sedimento.

Per tutti i tipi di struttura testati, l'abbassamento del pelo libero comporta uno scavo simile (nel senso della forma geometrica), ma più lungo e più profondo, sebbene parte della differenza sia attenuata dal lavoro svolto dalla struttura sul fluido.

	Tail Water [cm]	L [cm]	L_0 [cm]	Z_{MAX} [cm]
Exp. 36	Massimo – 36,4	111	55	4,3
Exp. 35	Minimo – 35,4	205	80	4,7



UNIVERSITÀ DI PISA

Studio sperimentale di strutture idrauliche a basso impatto ambientale

Cap. 02 – Elaborazione dei dati

Analisi in base al Tail Water

Gli esperimenti #36 e #35, eseguiti rispettivamente a deflusso regolato da paratoia e libero sono un buon esempio della situazione che si è verificata per tutti i tipi di struttura utilizzata.

Pertanto ritengo che la condizione di maggiore sicurezza da considerare in fase di progetto debba tenere conto del deflusso libero.

Uno studio preliminare poco attento ed accurato è una delle cause che comportano un uso non corretto in opera della struttura.





UNIVERSITÀ DI PISA

Studio sperimentale di strutture idrauliche a basso impatto ambientale

Cap. 02 – Elaborazione dei dati

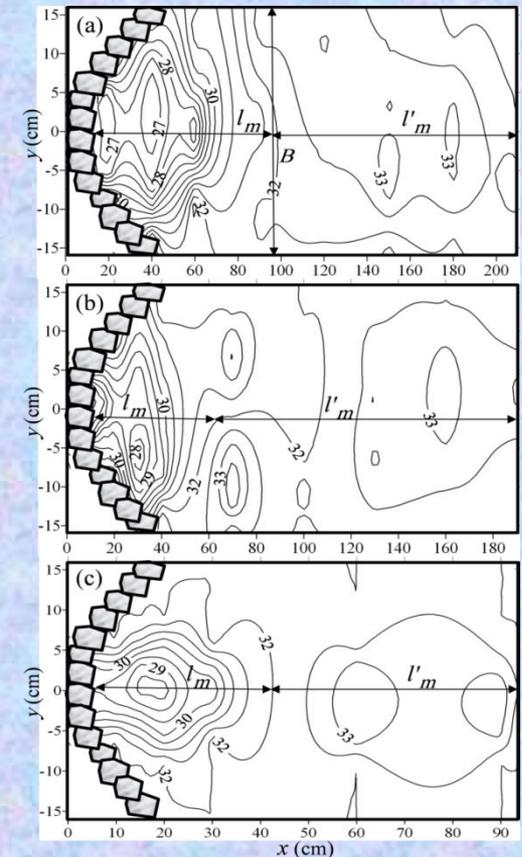
Analisi in base al parametro η

Procedendo nella classificazione delle strutture, possiamo prendere in esame il parametro adimensionale η che lega nella sua espressione tutti i parametri fino ad ora utilizzati.

Dai dati sperimentali raccolti possiamo distinguere 3 tipologie di scavo, indipendentemente dalla forma della struttura:

- Tipo 1: lungo scavo e lungo riporto;
(entrambi i rapporti $l/b > 2,5$)
- Tipo 2: corto scavo e lungo riporto;
(scavo $l/b < 2,0$ e riporto $l/b > 2,5$)
- Tipo 3: corto scavo e corto riporto;
(entrambi i rapporti $l/b > 2$)

Dove in questo caso « l » è la lunghezza longitudinale o dello scavo o del riporto, secondo necessità;





UNIVERSITÀ DI PISA

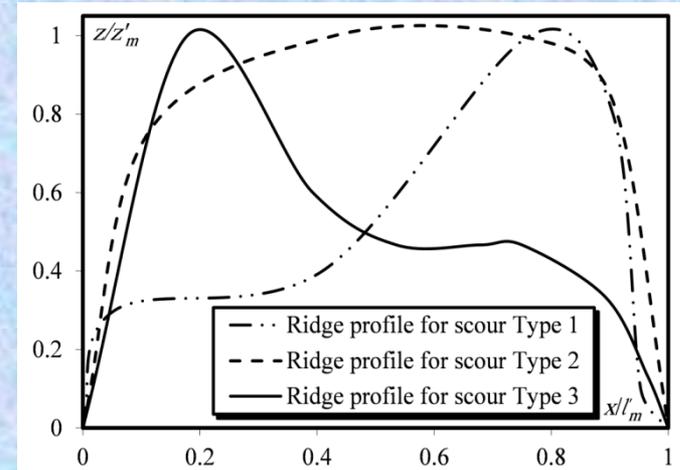
Studio sperimentale di strutture idrauliche a basso impatto ambientale

Cap. 02 – Elaborazione dei dati

Analisi in base al parametro η

Interessante è notare che ciascuna tipologia di scavo comporta un'associata tipologia del riporto del materiale con caratteristiche di volta in volta proprie; ad esempio volendo esaminare la posizione dell'altezza massima osserviamo che:

- Tipo 1: si trova nella parte terminale
- Tipo 2: è situata nella parte centrale
- Tipo 3: sta nella parte iniziale del riporto

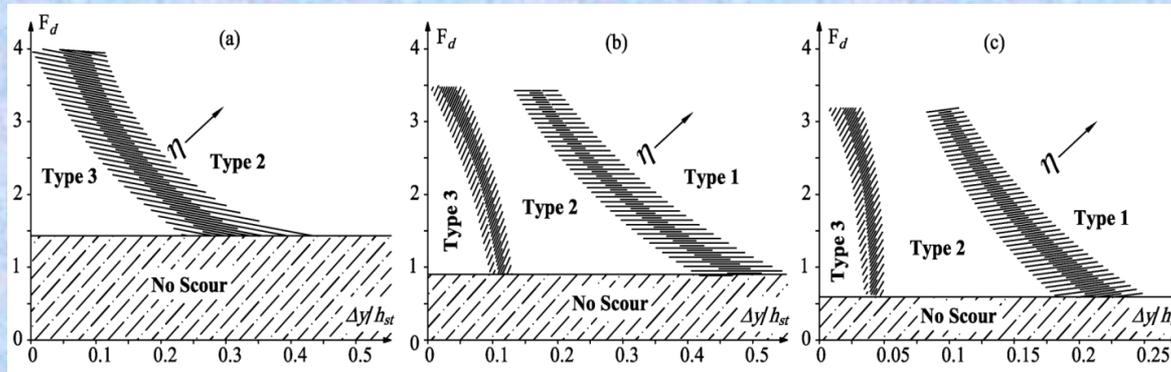


Al variare del parametro η si può arguire che vari la tipologia di configurazione finale, in funzione sia del parametro F_D (in ordinata) che del rapporto $\Delta y/h_s$ (in ascissa):



Analisi in base al parametro η

Basandoci sul raffronto di tutti gli esperimenti eseguiti e sotto riportati sostengo che aumentando il valore del parametro η la lunghezza del riporto aumenta e la tipologia di scavo tende a passare dalla numero 3 alla numero 1. Le zone di passaggio e di incertezza sono appositamente campite.



La zona di non-scavo, invece, si riduce incrementando il rapporto l/b , ovvero nelle nostre esperienze, passando dalla struttura lineare a delle strutture con una più elevata inclinazione rispetto all'asse trasversale.



UNIVERSITÀ DI PISA

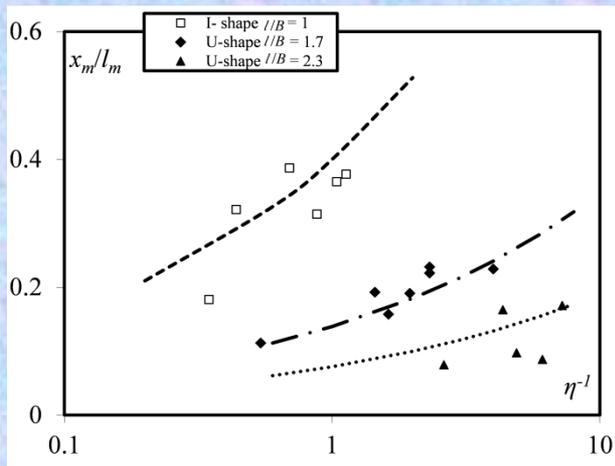
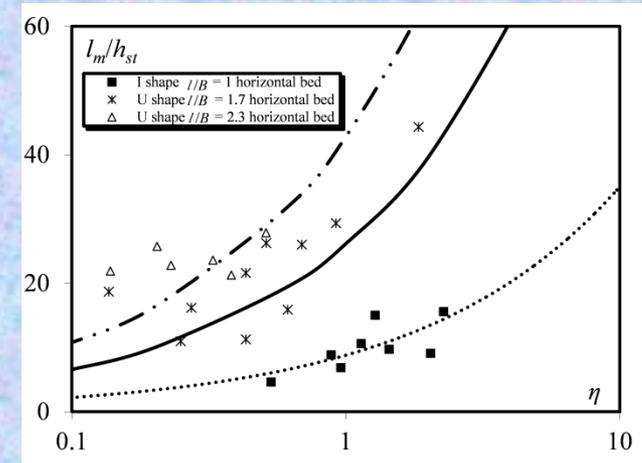
Studio sperimentale di strutture idrauliche a basso impatto ambientale

Cap. 02 – Elaborazione dei dati

Analisi in base al parametro η

Il fenomeno può essere anche descritto con delle semplici espressioni matematiche, ricavare per interpolazione dai grafici precedenti; si può inoltre procedere ad un'ulteriore riduzione per ciascun tipo di struttura, sostituendo il rapporto l/b con il valore caratteristico.

$$\frac{L_m}{h_S} = 8,8 \left(\frac{l}{b}\right)^{1,9} \eta^{0,6}$$



Dalle 3 equazioni presenti in questa serie di slide, si ricava una stima del valore massimo di scavo, una lunghezza del riporto del materiale ed infine, è possibile risalire alla collocazione del punto di massimo scavo.

$$\frac{X_m}{L_m} = 0,4 \left(\frac{l}{b}\right)^{-2} \eta^{-0,4}$$

con $0,05 < \eta < 15$



Conclusioni

Volendo giungere dunque a conclusione di questa esposizione, mi pare di poter affermare che qualsiasi struttura in pietrame, diversamente da quanto accade per una in calcestruzzo, riduce drasticamente l'impatto sull'ambiente e sulla fauna che vive nelle zone limitrofe, senza dimenticare che queste strutture sono, rispetto al calcestruzzo classico, più economiche, più facili da sostituire e da smaltire.

Inoltre, grazie all'analisi al parametro η posso sostenere che:

- Aumentando il valore di η la configurazione dello scavo cambia, passando dalla tipologia 3 alla tipologia 2 ed, infine, alla tipologia 1;
- La posizione del punto di massima profondità si avvicina alla struttura in senso longitudinale aumentando il rapporto l/b e anche la risalita avviene in modo più celere;
- La struttura trapezoidale lunga riesce a controllare meglio la larghezza e la lunghezza dello scavo e del riporto del materiale;



UNIVERSITÀ DI PISA

Studio sperimentale di strutture idrauliche a basso impatto ambientale

Cap. 03 – Post elaborazione dati

Alcuni cenni bibliografici...

- Barenblatt, G.I., 1987. Dimensional Analysis. Gordon and Breach Science Publishers, ISBN 3-7186-0438-8.
- Ben Meftah, M., Mossa, M., 2006. Scour holes downstream of bed sills in lowgradient channels. *J. Hydr. Res.* 44 (4), 497e509.
- Bhuiyan, F., Hey, R.D., Wormleaton, P.R., 2007. Hydraulic evaluation of wweir for river restoration. *J. Hydraul. Eng. ASCE* 133 (6), 596e609.
- Bormann, N.E., Julian, P.Y., 1991. Scour downstream of grade-control structures. *J. Hydraul. Eng. ASCE* 117 (5), 579e594.
- D'Agostino, V., Ferro, V., 2004. Scour on alluvial bed downstream of gradecontrol structures. *J. Hydraul. Eng. ASCE* 130 (1), 24e37.
- Mason, P.J., Arumugam, K., 1985. Free jet scour below Dams and Flipbuckets. *J. Hydraul. Eng. ASCE* 111 (2), 220e235.
- Pagliara, S., 2007. Influence of sediment gradation on scour downstream of block ramps. *J. Hydraul. Eng. ASCE* 133 (11), 1241e1248.
- Pagliara, S., Carnaciana, I., 2011. Influence of wood debris accumulation on bridge pier scour. *J. Hydraul. Eng. ASCE* 137 (2), 254e261.
- Pagliara, S., Palermo, M., 2008. Scour control downstream of block ramps. *J. Hydraul. Eng. ASCE* 134 (9), 1376e1382.
- Rosgen, D.L., 2001. The cross-vane, W-Veir and J-Hook vane structures: their description, design and application for stream stabilization and river restoration. In: *Proc., Wetland Engineering and River Restoration Conf. (CD-ROM)*. ASCE, Reston, Va.
- Scurlock, S.M., Thornton, C.I., Abt, S.R., 2011. One-dimensional modeling techniques for Energy dissipation in U-weir grade-control structures. In: *World Environmental and Water Resources Congress*. ASCE, pp. 2496e2507.
- Scurlock, S.M., Cox, A.L., Thornton, C.I., Baird, D.C., 2012a. Maximum velocity effects from vane-dike installations in channel bends. In: *World Environmental and Water Resources Congress*. ASCE, pp. 2614e2626.
- Scurlock, S.M., Thornton, C.I., Abt, S.R., 2012b. Equilibrium scour downstream of three-dimensional grade-control structures. *J. Hydraul. Eng., ASCE* 138 (2), 167e176.
- Shields JR., F.D., Knight, S.S., Cooper, C.M., 1995. Incised stream physical habitat restoration with stone weirs. *Regulated Rivers: Res. Manage.* 10, 181e198.