Federazione Regionale degli Ordini degli Ingegneri della Toscana

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Livorno

con il patrocinio di

CONSIGLIO NAZIONALE DEGLI INGEGNERI

Associazione Idrotecnica Italiana

ORDINE INGEGNERI LIVORNO

IL RISCHIO IDROGEOLOGICO IN TOSCANA:

LA PROTEZIONE IDRAULICA DEL TERRITORIO

2ª Edizione

LO STATO DELL'ARTE DELLE CONOSCENZE SCIENTIFICHE

Enio Paris, Università degli Studi di Firenze

Livorno, 30 ottobre 2015

L’ EVENTO IDROLOGICO DI RIFERIMENTO

Nella progettazione delle opere idrauliche e nell’analisi del rischio in generale si fa riferimento **singolo evento idrologico** per un assegnato tempo di ritorno. Tale approccio rientra nell’ **analisi idrologica UNIVARIATA.**

Da diversi anni si sta diffondendo in ambito scientifico lo studio dell’analisi idrologica MULTIVARIATA

ALCUNI ESEMPI

La verifica/dimensionamento di **casse di espansione** o di **sfioratori di superficie di invasi** deve infatti essere condotta con riferimento non solo all'idrogramma di piena con valore massimo, ma anche a eventi con valori al colmo inferiori ai quali sono però possono essere associati volumi di piena maggiori.

La verifica delle strutture arginali in relazione ai fenomeni di sormonto o di filtrazione richiede la **conoscenza dei livelli idrici** e della loro **persistenza nel tempo.**

Poiché i valori di picco, la persistenza nel tempo e i volumi idrici sono variabili dello stesso fenomeno, è necessario definire la loro correlazione e svolgere le analisi statistiche di tipo multivariato.

ANALISI IDROLOGICA MULTIVARIATA

migliore comprensione dei fenomeni, esteso utilizzo dei dati disponibili, individuazione delle correlazioni esistenti tra le variabili , minore incertezza nel funzionamento/dimensionamento delle opere.

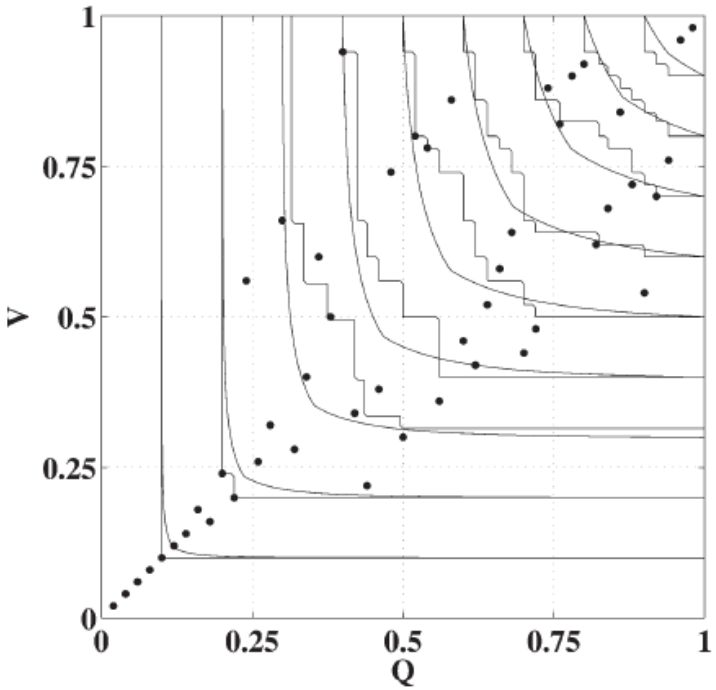
Si tratta di passare dalla distribuzione probabilistica delle singole variabili , ad es. $F_x(x) = Pr(X \leq x)$, a quella di più variabili tra loro correlate. Nel caso di **analisi bivariata** si ha :

$$F_{X,Y}(x,y) = Pr[(X \leq x) \cap (Y \leq y)]$$

Per esempio: x potrebbe essere la portata e y il volume dell'idrogramma

ALCUNI CONTRIBUTI RECENTI

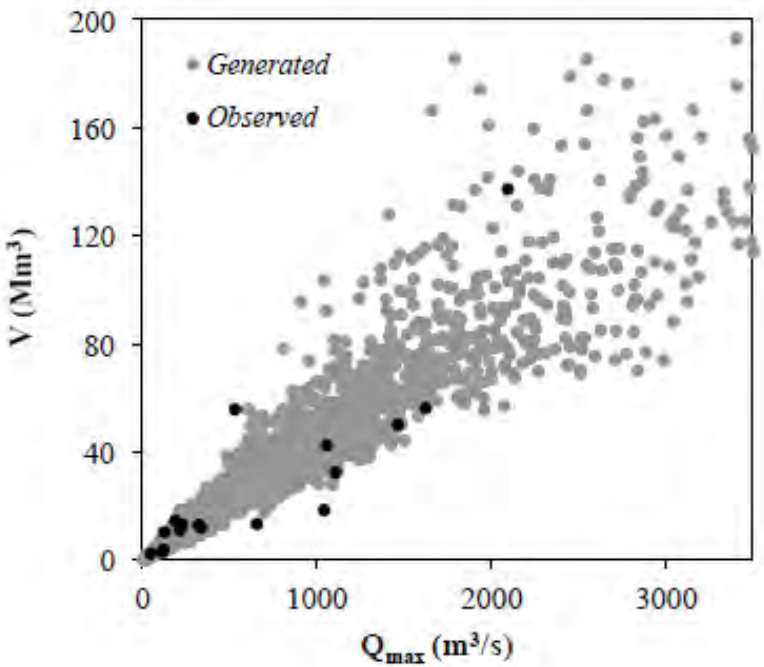
Salvadori et Al. (2013) propongono una metodologia per la definizione del **tempo di ritorno** nel problema multivariato



Salvadori, G., F. Durante, and C. De Michele (2013), Multivariate return period calculation via survival functions, Water Resour. Res., 49, 2308–2311, doi:10.1002/wrcr.20204.

ALCUNI CONTRIBUTI RECENTI

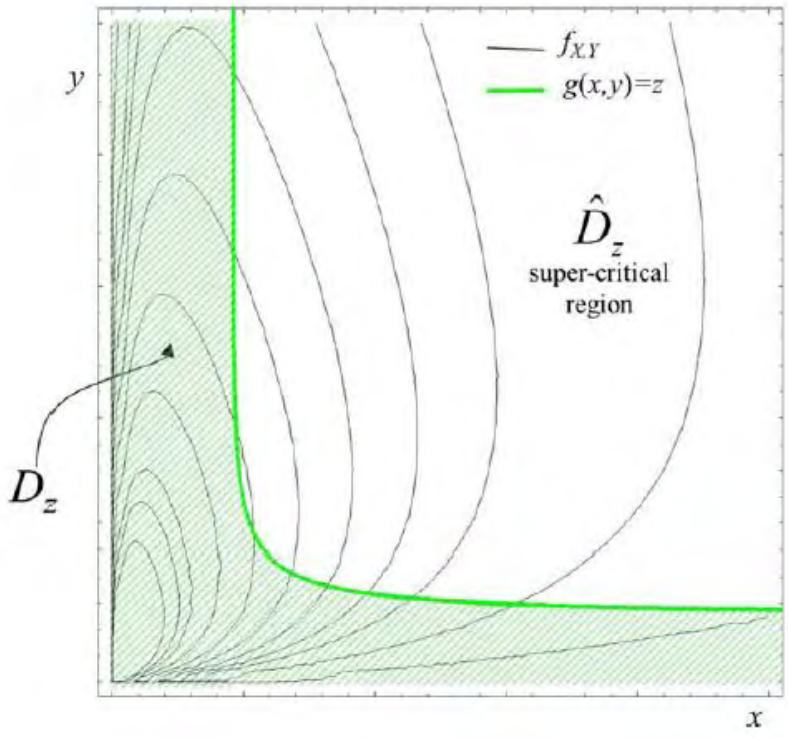
Candela et Al. (2014) propongono una metodologia per derivare un **idrogramma di piena sintetico**" generato da precipitazioni per le quali si tiene conto della probabilità congiunta tra intensità e durata



A. *Candela, G. Brigandì, and G. T. Aronica*, Estimation of synthetic flood design hydrographs using a distributed rainfall–runoff model coupled with a copula-based single storm rainfall generator, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 14, 1819–1833, 2014

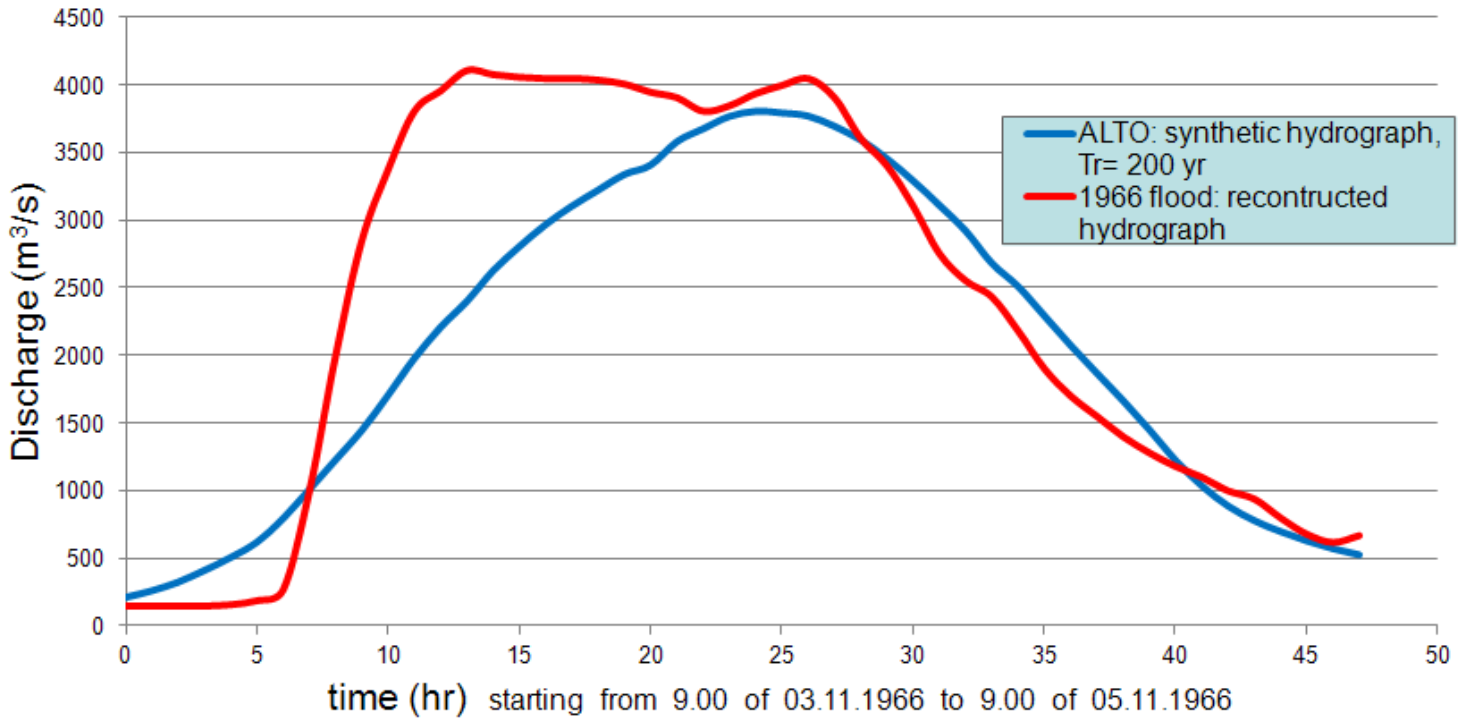
ALCUNI CONTRIBUTI RECENTI

Volpi & Fiori (2014) mostrano come il dimensionamento di opere basate su un singolo evento idrologico risulta spesso inadeguato.



Volpi, E., and A. Fiori (2014), Hydraulic structures subject to bivariate hydrological loads: Return period, design, and risk assessment, Water Resour. Res., 50, 885–897, doi:10.1002/2013WR014214.

F. Arno a Rovezzano (Firenze)



ANALISI DELLE STRUTTURE ARGINALI

La conoscenza della correlazione esistente tra il tempi di persistenza e livelli idrici è fondamentale per una corretta valutazione del rischio di collasso di strutture arginali in relazione al fenomeno di **EROSIONE INTERNA per filtrazione** e al fenomeno di **SORMONTO**.

EROSIONE INTERNA

TEMPI DI PERSISTENZA - APPROCCIO SPEDITIVO

Combinando la **Formula Razionale** per il calcolo della portata massima :

$$Q_{max} = \phi A H / t_{corr}$$

A = area del bacino H = altezza di pioggia t_{corr} = tempo di corrivazione ϕ = coefficiente di deflusso

con l'equazione della **Curva di Possibilità Pluviometrica** – CPP:

$$H = a\, t_p^{\,n}$$

t_p = durata della precipitazione a, n = parametri della CPP (in generale funzioni del tempo di ritorno)

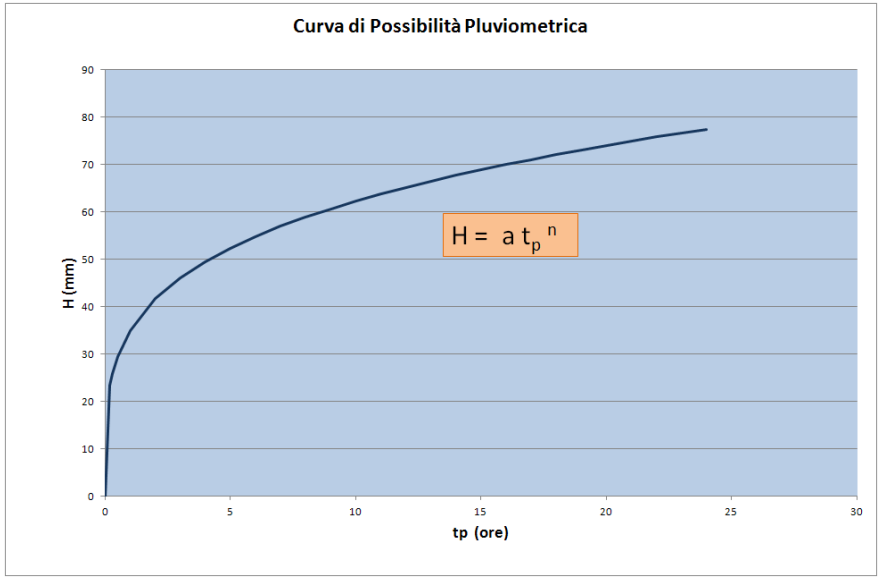
Si ottiene, ponendo $t_p = t_{corr}$:

$$Q_{max} = \phi A a t_{corr}^{n-1}$$

Per durate di precipitazione $t_p > t_{corr}$

$$Q = \phi A a t_p^{n-1}$$

con $Q < Q_{max}$



Il rapporto Q/Q_{max} risulta quindi:

$$Q/Q_{max} = (t_p/t_{corr})^{n-1}$$

Utilizzando la scala di deflusso, la portata Q può essere espressa in funzione dell'altezza d'acqua h:

$$Q = b\, h^m$$

b, m, parametri della scala di deflusso

Quindi:

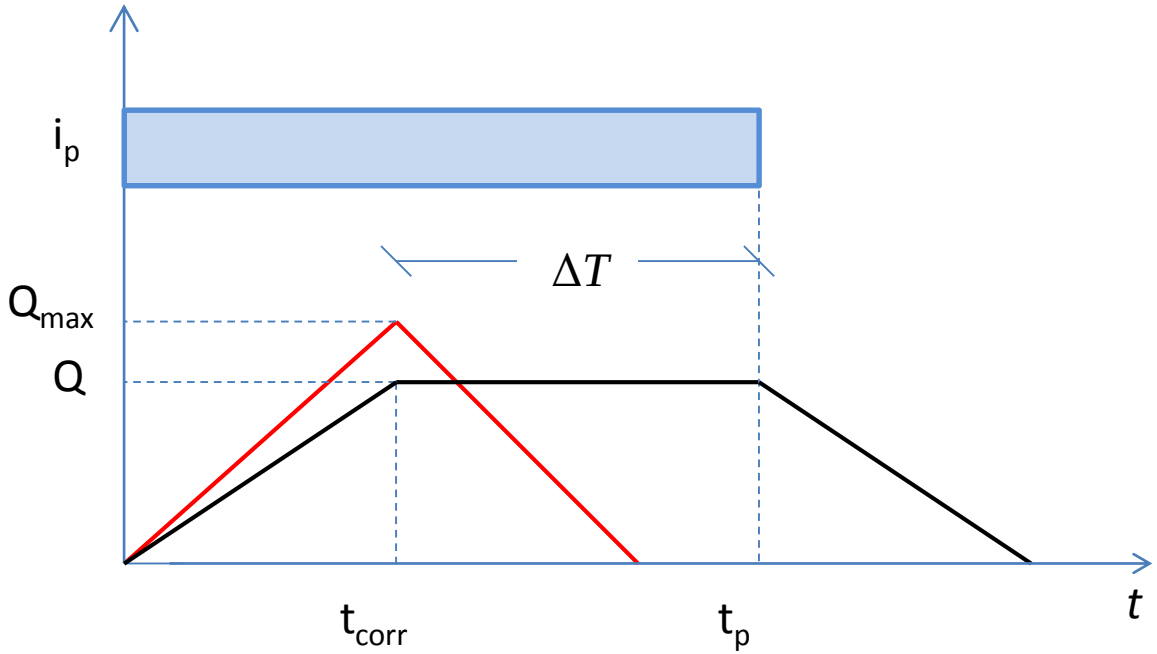
$$Q/Q_{max} = (b\, h^m)/(b\, h_{max}^{\ m}) = (t_p/t_{corr})^{n-1} \Rightarrow (h/h_{max})^m = (t_p/t_{corr})^{n-1}$$

e, ricavando il rapporto tra il tempo di pioggia e il tempo di corrivazione, si ha:

$$t_p/t_{corr} = (h/h_{max})^{m/(n-1)}$$

Si definisce TEMPO DI PERSISTENZA: $\Delta T = t_p - t_{corr}$

Riarrangiando i termini si ottiene: $t_p / t_{corr} = \Delta T / t_{corr} + 1$



Sostituendo $t_p / t_{corr} = \Delta T / t_{corr} + 1$ nella equazione prima ottenuta:

$$t_p / t_{corr} = (h/h_{max})^{m/(n-1)}$$

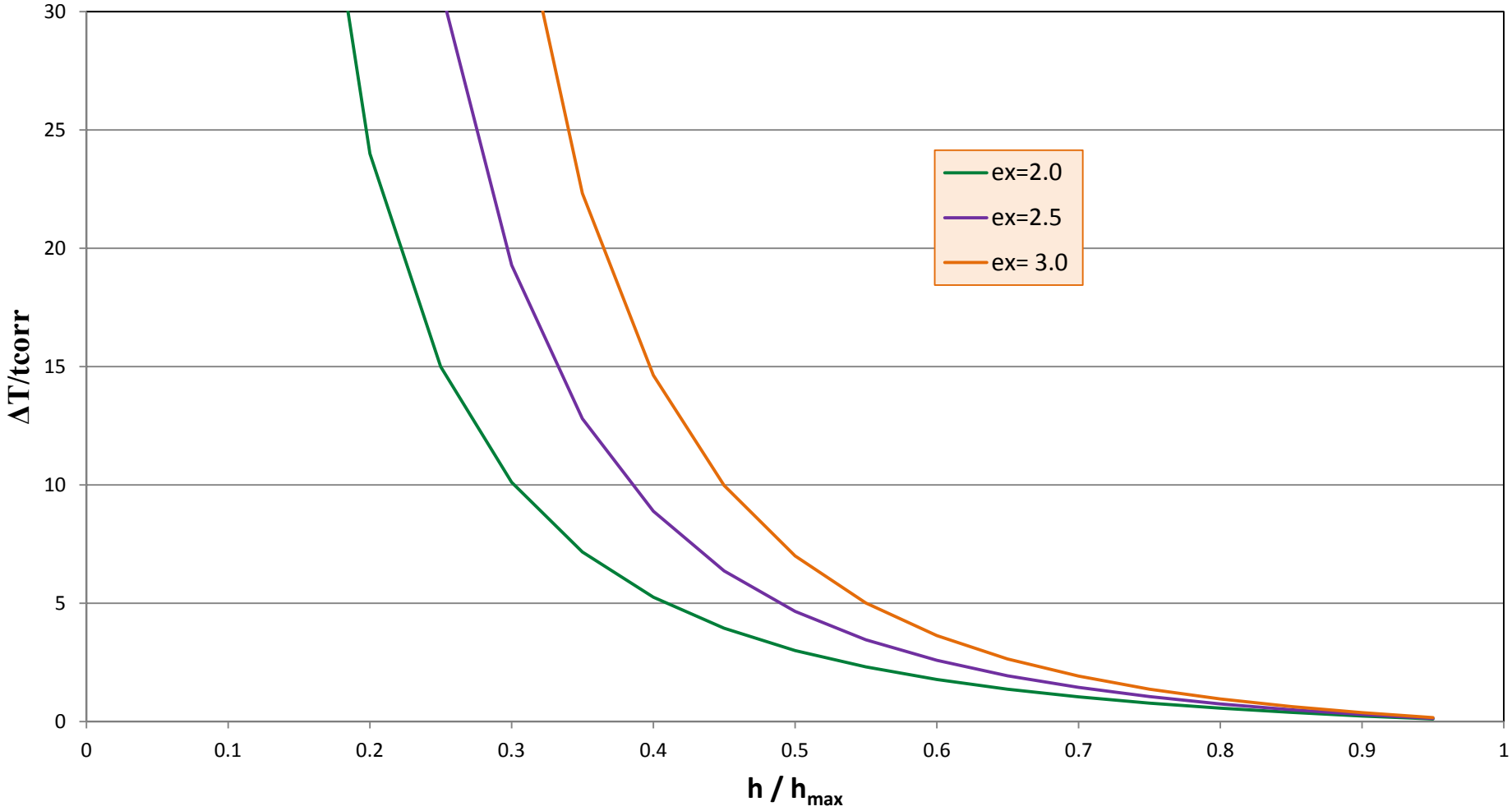
si deriva l'espressione del Tempo di Persistenza ΔT dei livelli idrici:

$$\Delta T / t_{corr} = (h/h_{max})^{m/(n-1)} - 1$$

L'esponente *ex = m/(n-1)* dipende dall'esponente della CPP (in generale compreso tra 0.2 e 0.4) e della Scala di Deflusso (compreso tra 1.6 e 1.8)

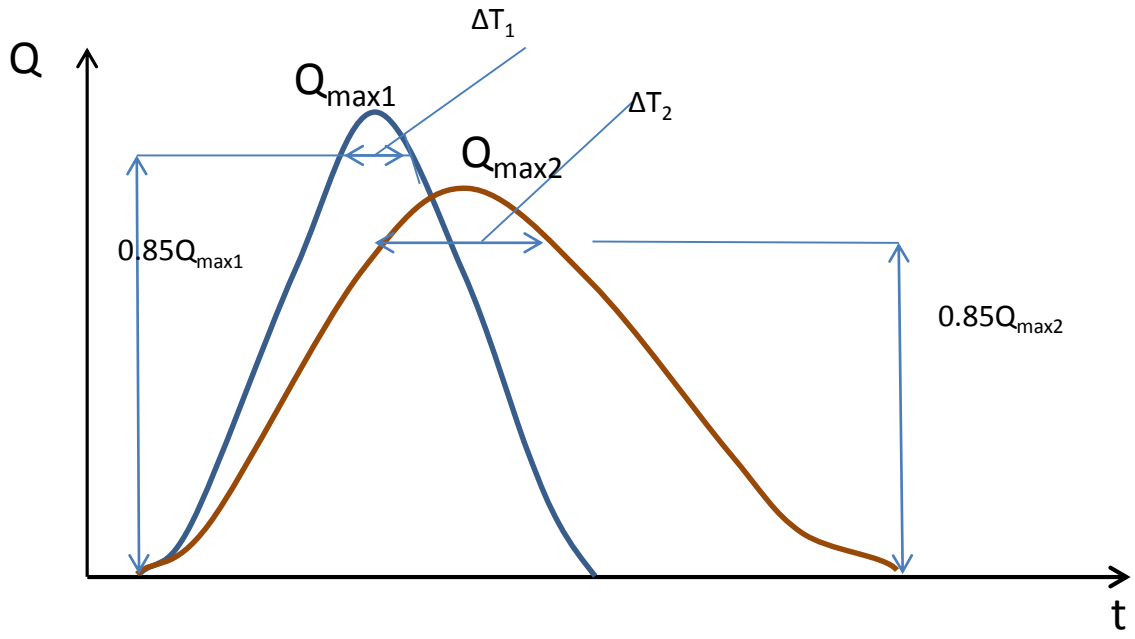
Tempo di persistenza dei livelli idrici

$$\Delta T / t_{corr} = (h/h_{max})^{m/(n-1)} - 1$$

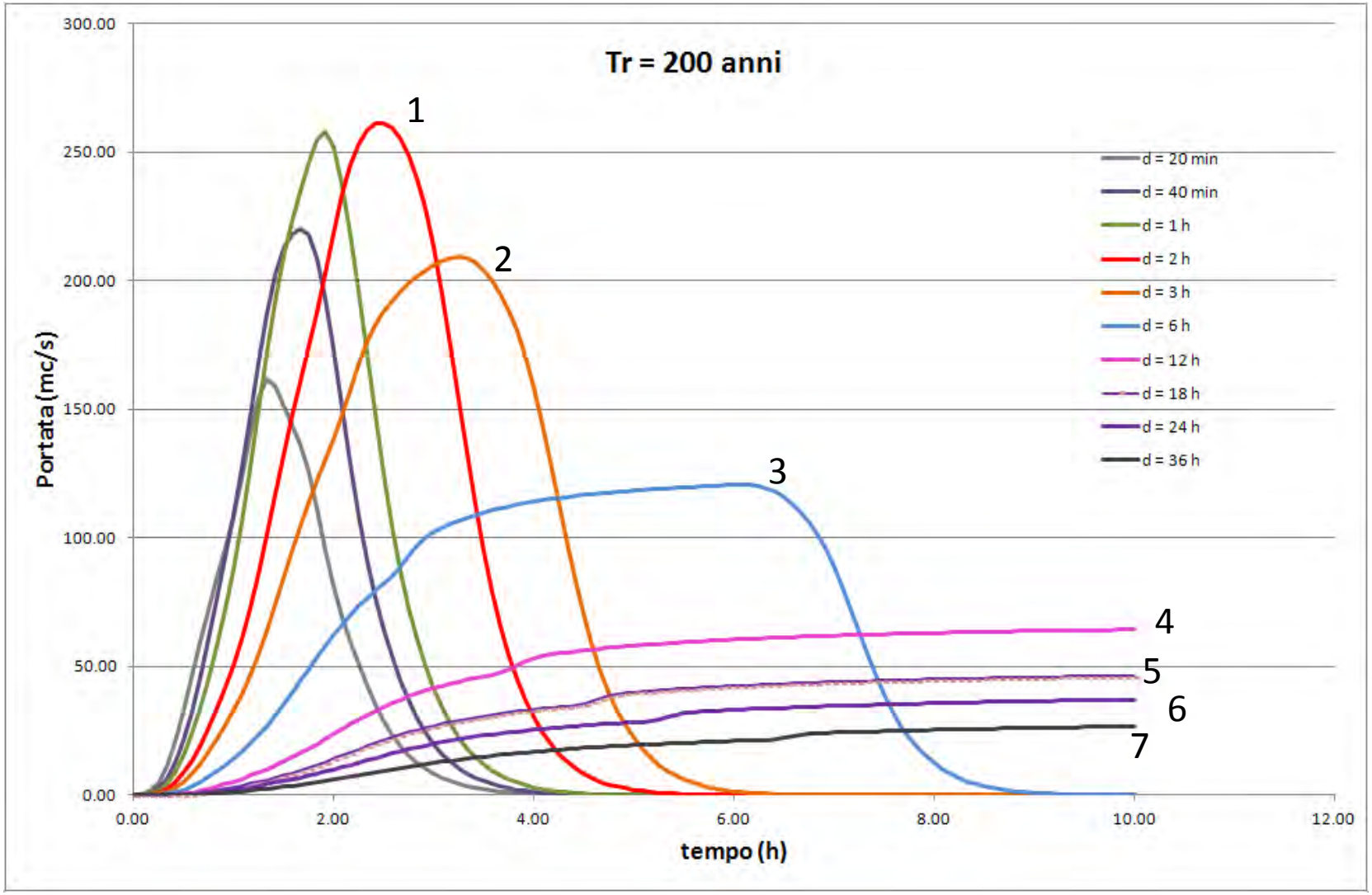


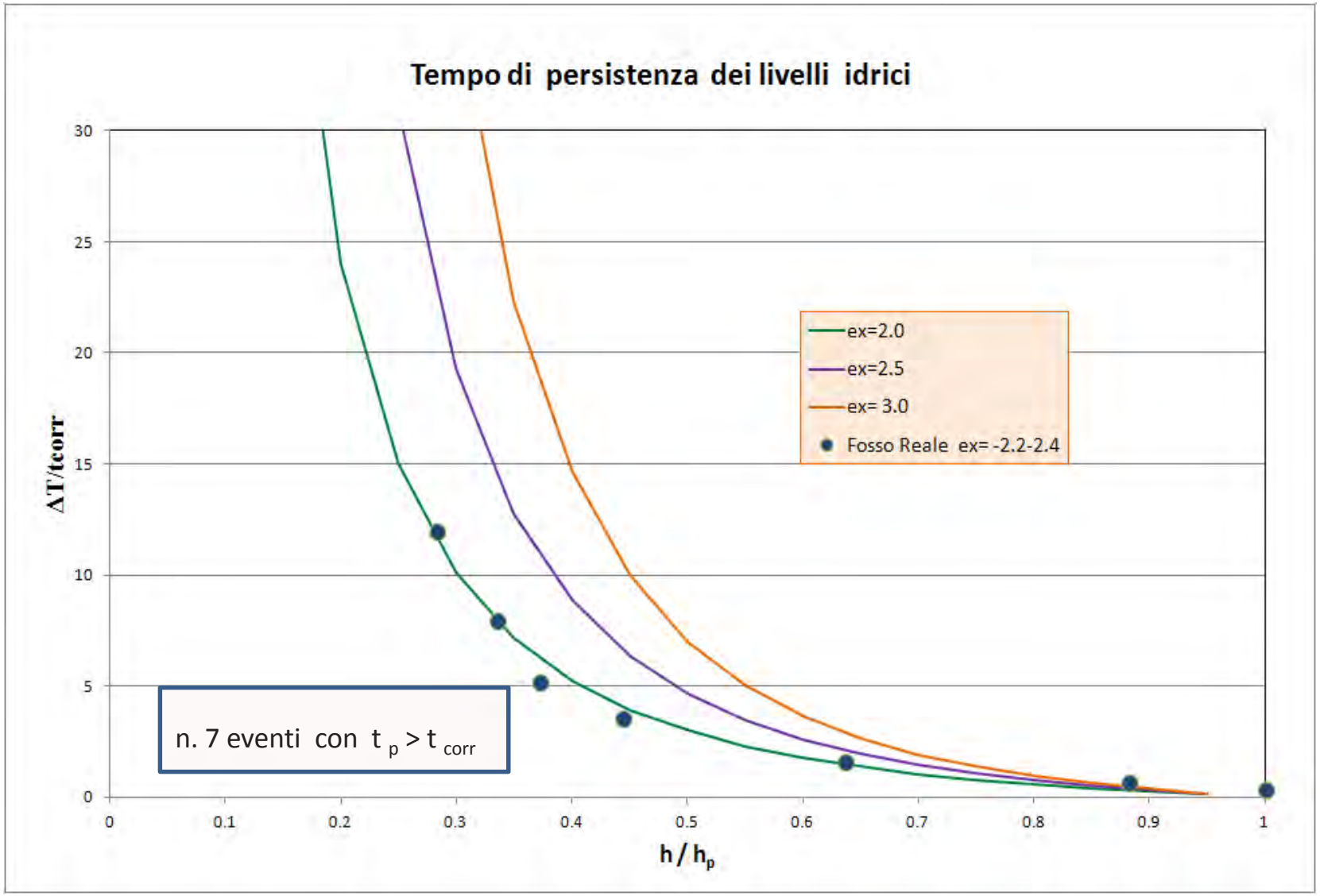
La relazione teorica tra persistenza e livelli, ricavata con l'approccio speditivo, è messa a confronto con i dati ricavati dai risultati dell'analisi idrologica del bacino del Fosso Reale condotta utilizzando il modello HEC-HMS.

I tempi di persistenza delle onde di piena sono valutati con riferimento alla **persistenza delle portate uguali o superiori all'85% della portata al colmo**



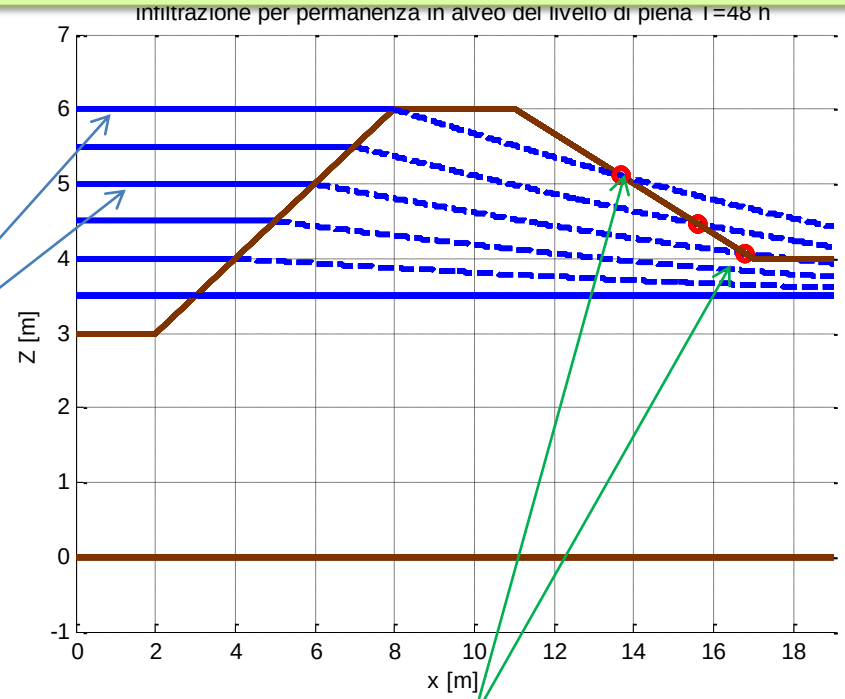
Applicazione al bacino del Fosso Reale - A=27 km^2




Tempo di persistenza dei livelli idrici
ΔT/tcorr
h / hp
ex=2.0
ex=2.5
ex= 3.0
Fosso Reale ex= -2.2-2.4
n. 7 eventi con t p > t corr
0
5
10
15
20
25
30
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1

FILTRAZIONE ARGINALE

Si possono individuare due scale temporali: una di natura «idrologica», ΔT, e una di natura «strutturale», Tcr



Ad ogni livello idrico è associato un tempo di persistenza

ΔT = Scala Temporale della Sollecitazione Idrologica

Ad ogni livello idrico è anche associato il tempo che il fronte saturo impiega per raggiungere il paramento di valle

Tcr = Scala Temporale della Struttura Arginale

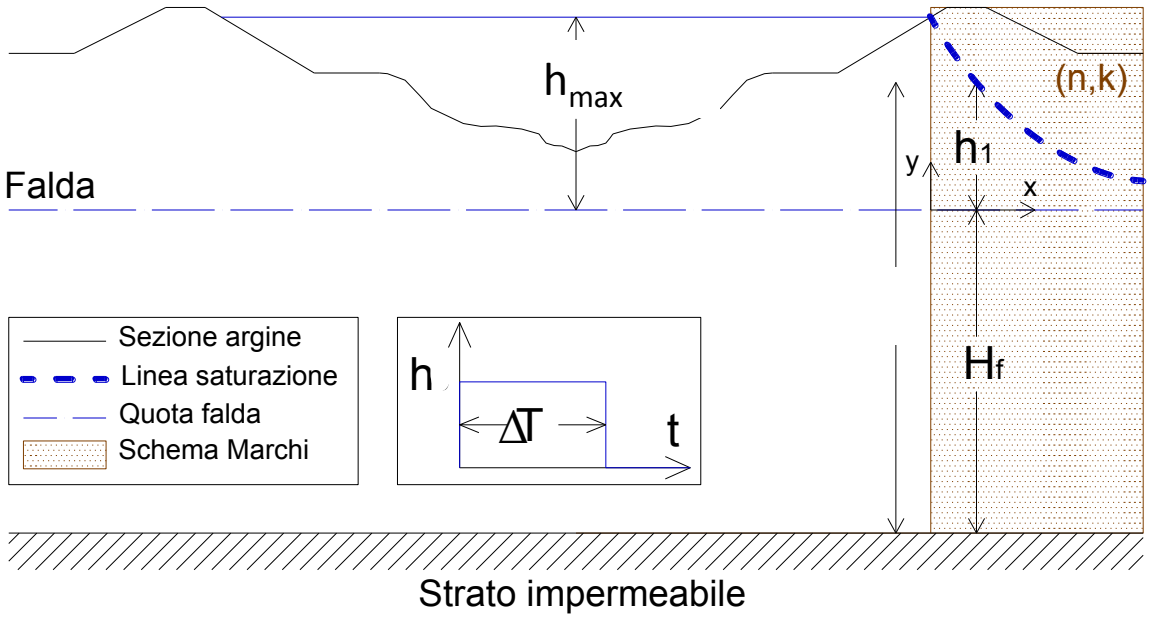
Il tempo di propagazione del fronte saturo, T, può essere stimato con il modello analitico proposto da Marchi (1957, 1961)

Ipotesi:

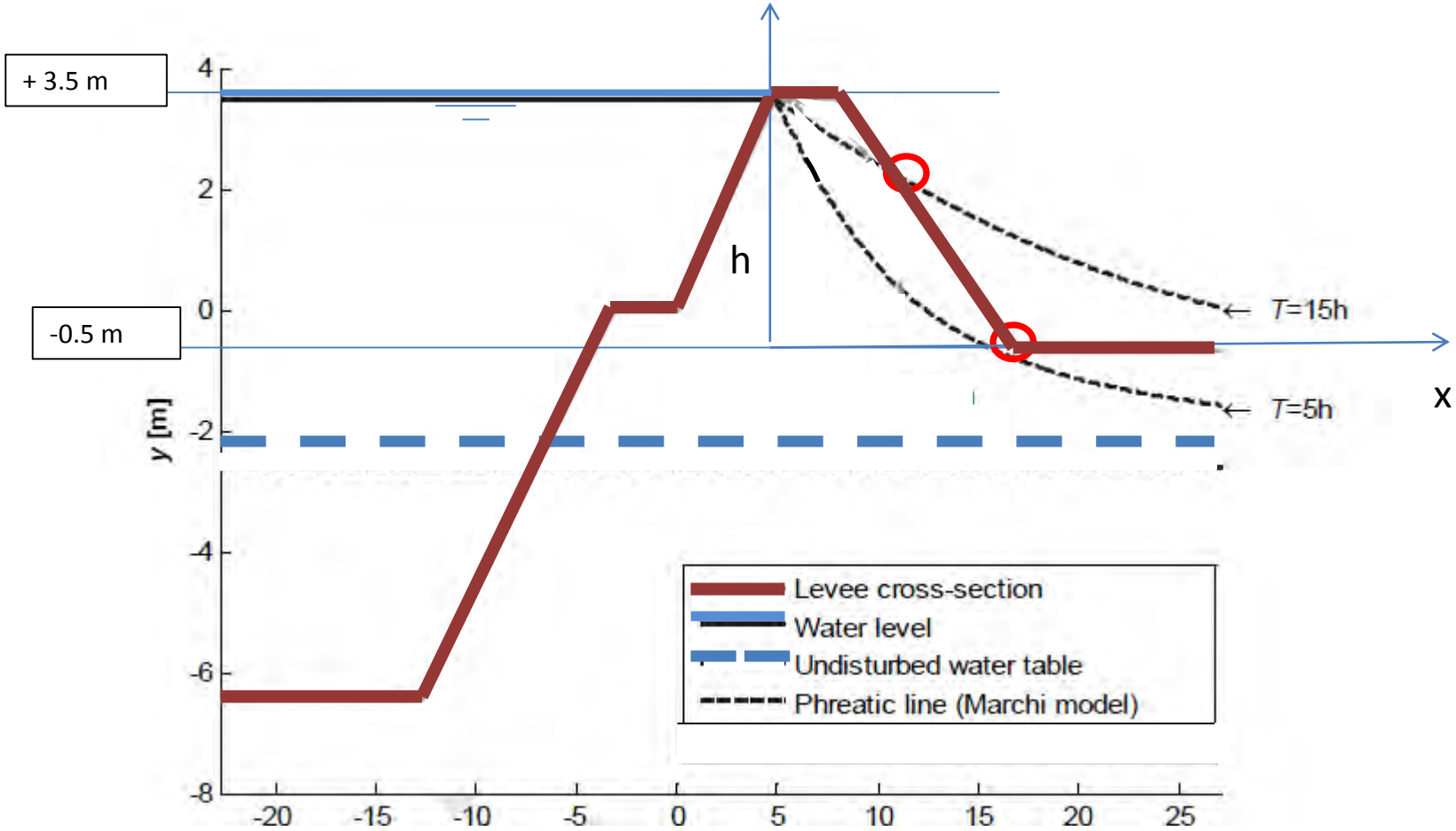
- Moto piano
- Dupuit
- $h_1 < H_f$

$$\frac{h_1}{h_{max}} = 1 - erf\left(\frac{x}{2}\sqrt{\frac{n}{kH_f T}}\right)$$

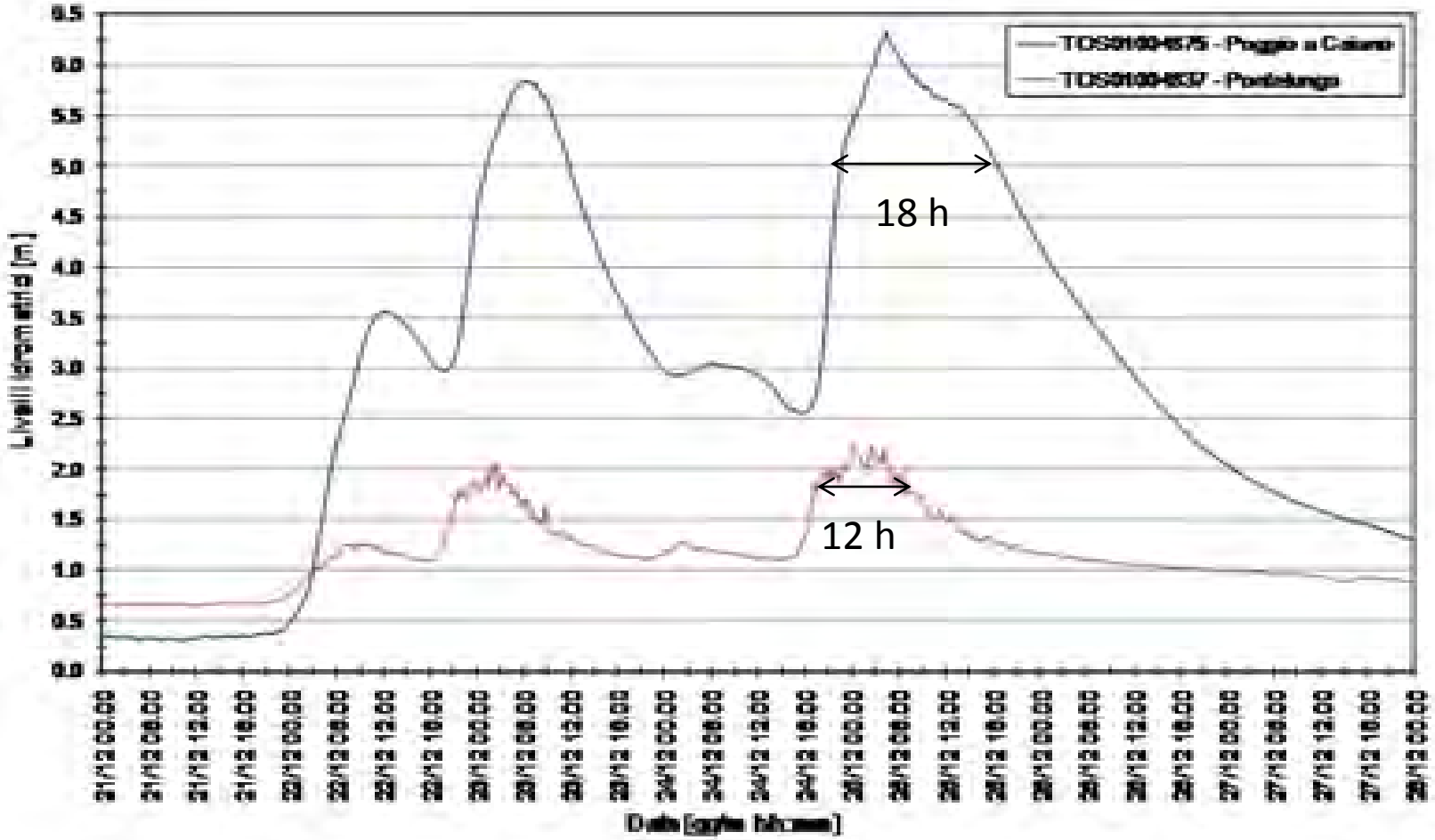
n = coeff. di porosità
k = coeff. di filtrazione



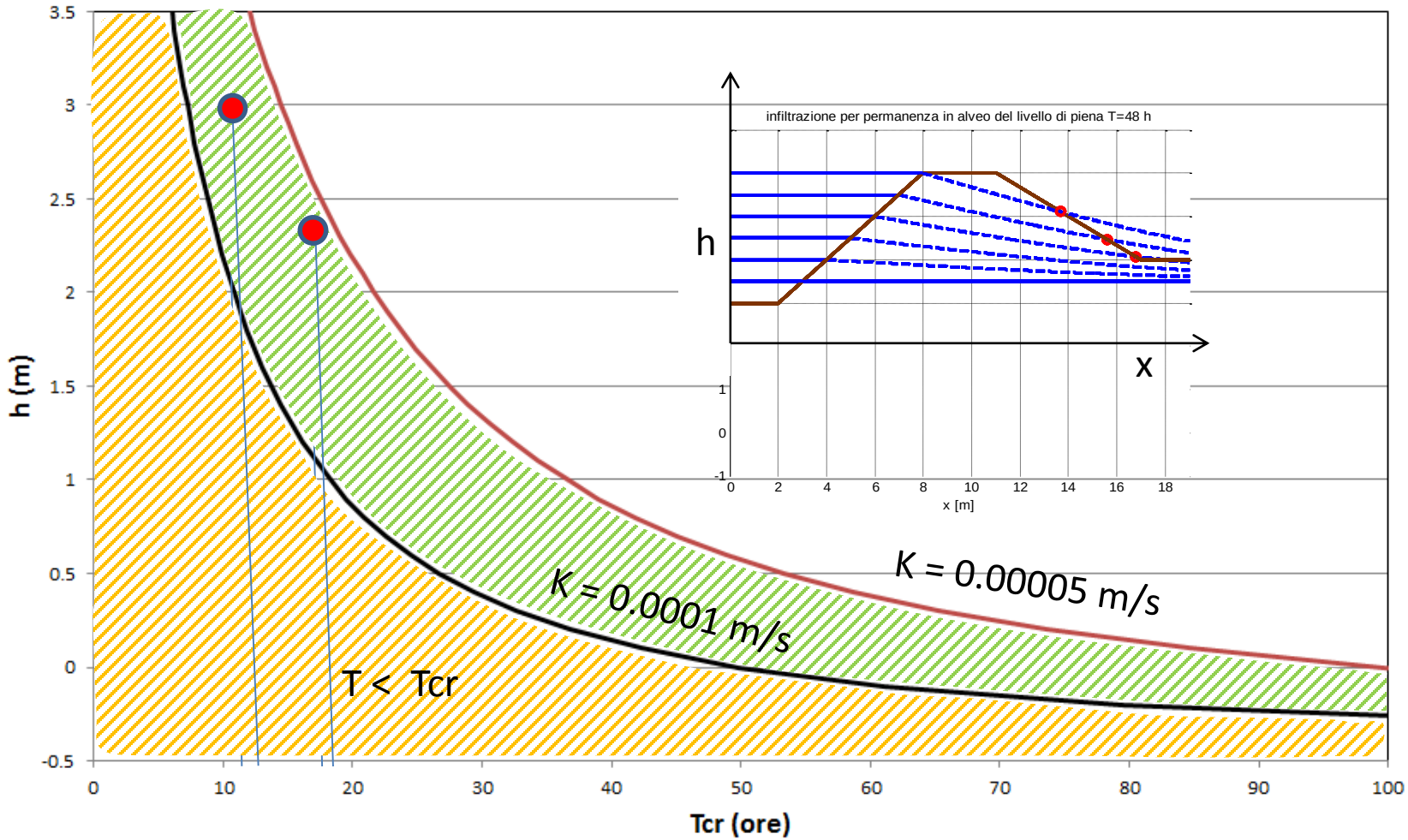
Torrente Ombrone Pistoiese: sezione arginale a Bottegone (PT)



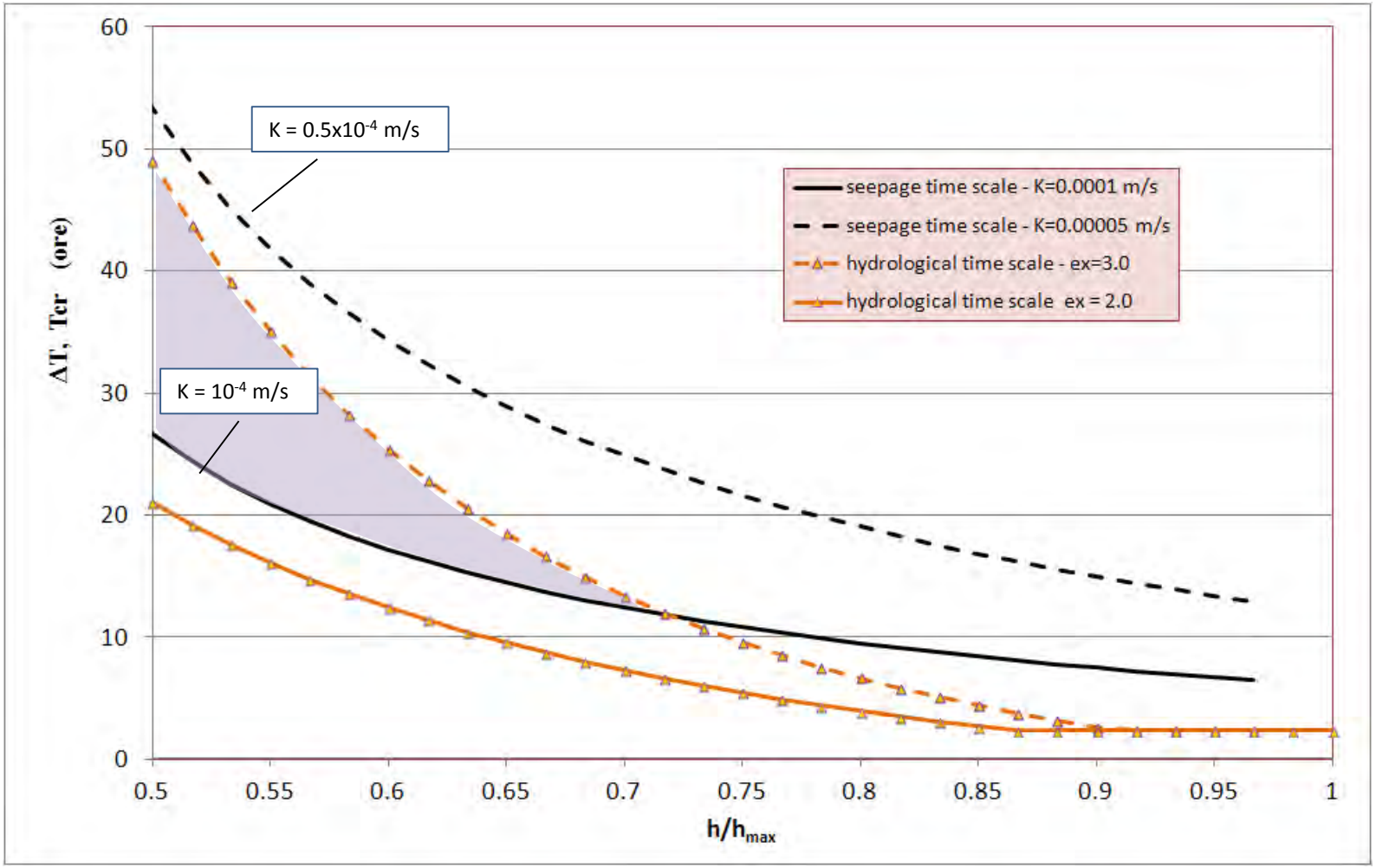
Ombrone P.se: Evento del 24-25/12/2009



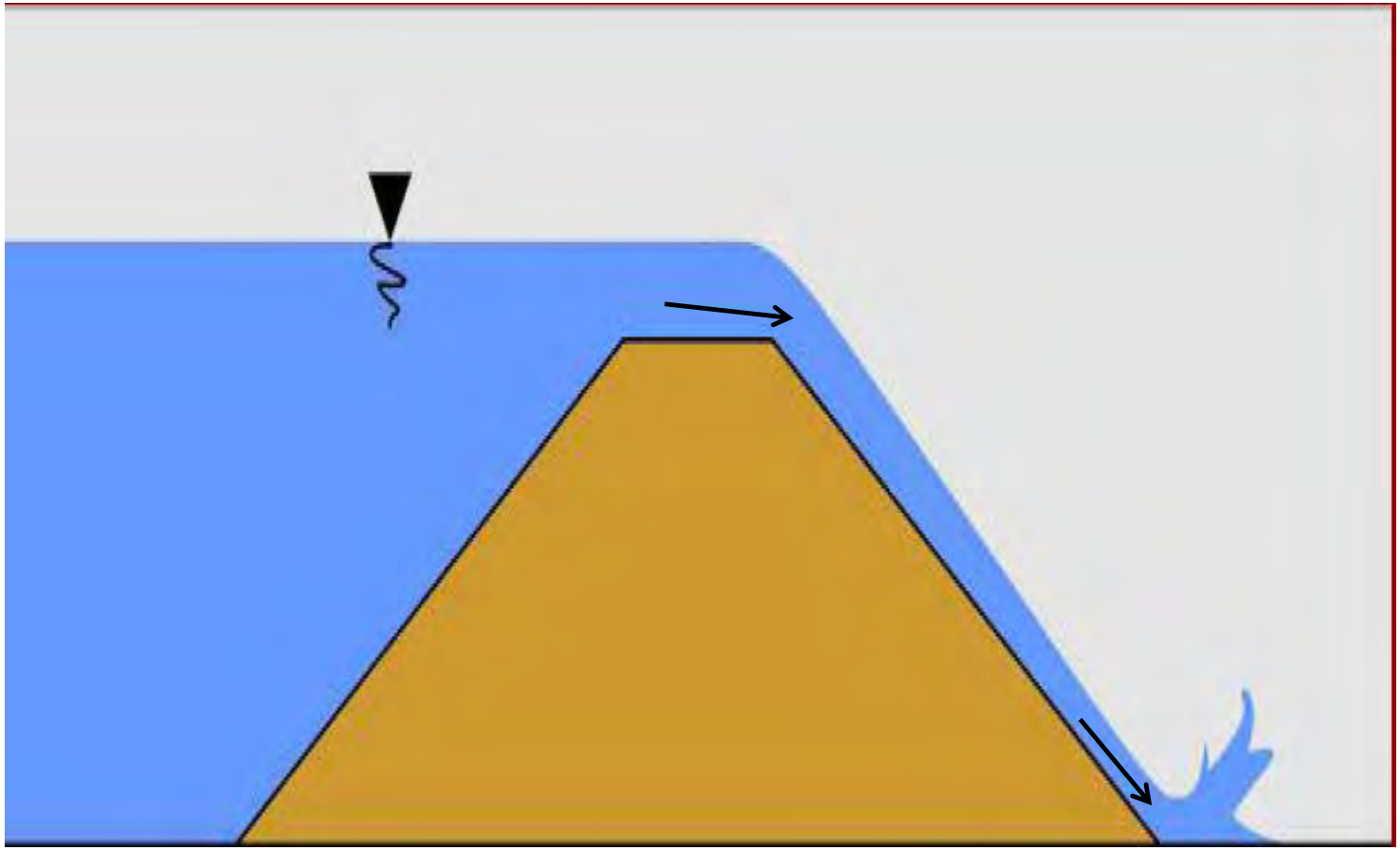
Ombrone P.se: tempo di propagazione critico in funzione del livello idrico



T. Ombrone P.se: confronto tra scala idrologica e scala strutturale



IL FENOMENO DEL SORMONTO ARGINALE



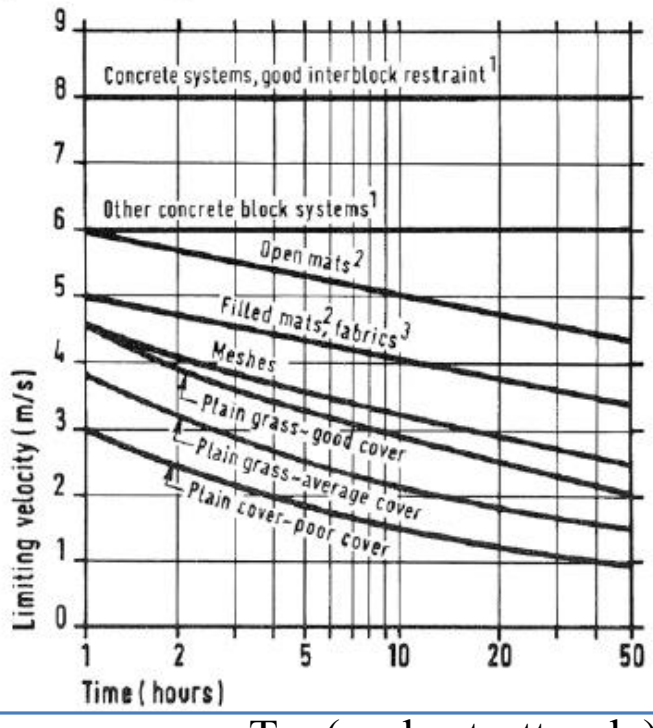
Resistenza del manto erboso alla tracimazione

ACCOUNTING FOR LEVEE OVERTOPPING DURATION: A TEST WITH HURRICANE KATRINA CONDITIONS

Robert G. Dean[1] and Mathijs van Ledden[2]

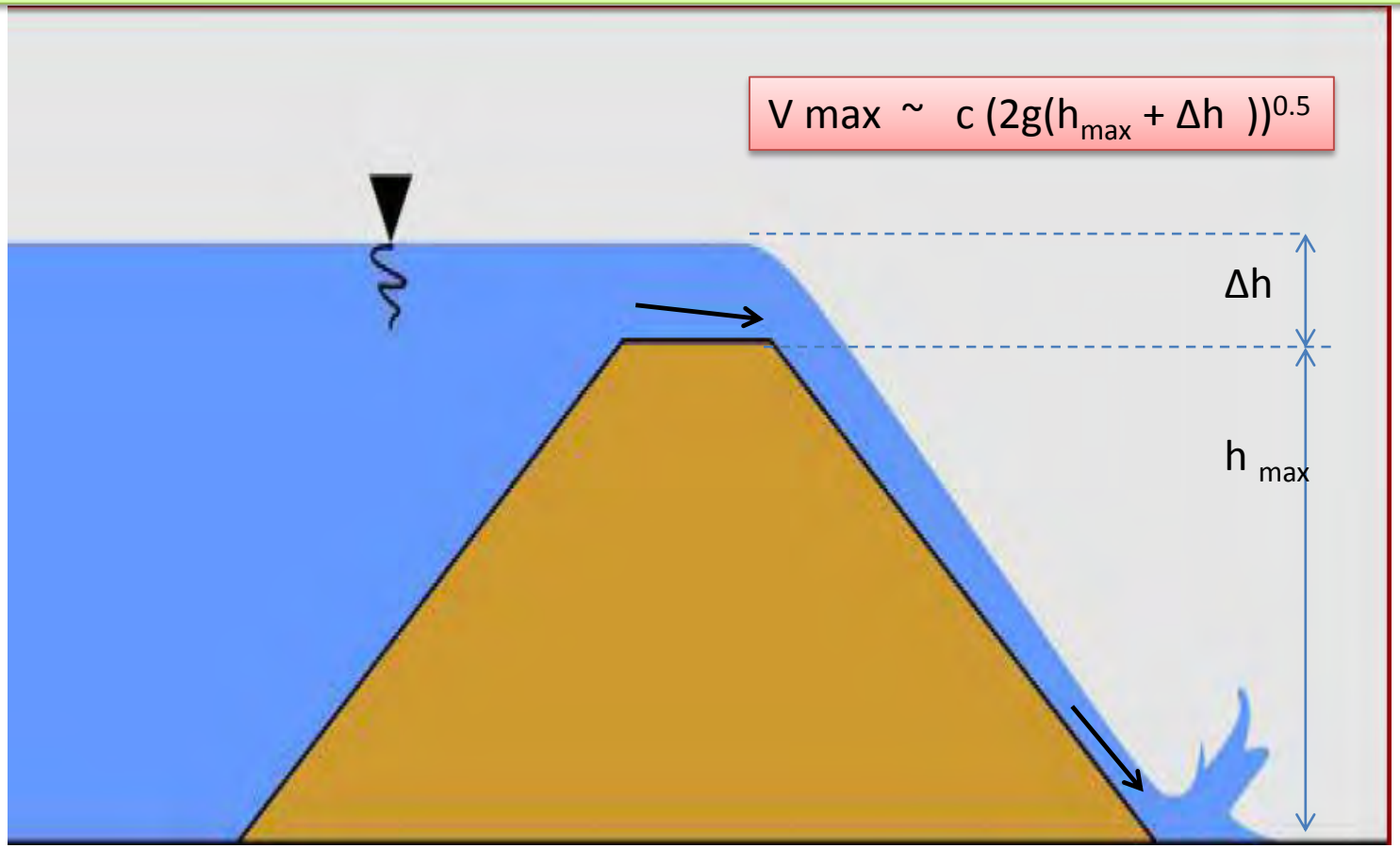
Coastal Engineering 2010

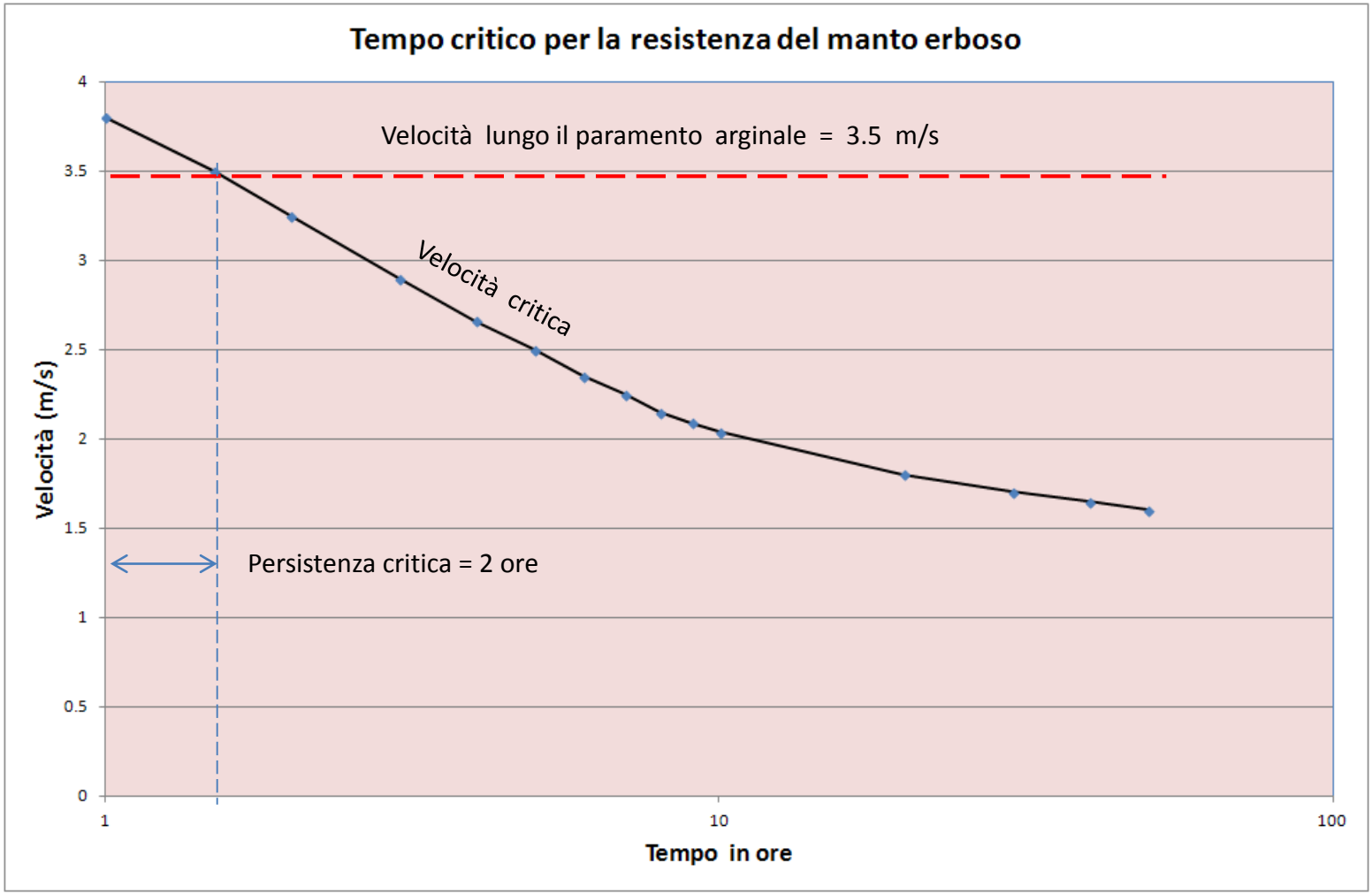
$U = (2g(h_{max} + \Delta h))^{0.5}$



Tcr (scala strutturale)

Il tempo critico del manto erboso deve essere messo a confronto con il tempo di **persistenza della velocità sul paramento di valle associata al sovralzo Δh**




Tempo critico per la resistenza del manto erboso
Velocità lungo il paramento arginale = 3.5 m/s
Velocità critica
Persistenza critica = 2 ore
Velocità (m/s)
Tempo in ore
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
1
10
100

L’analisi del rischio di collasso arginale dovrebbe valutare il fenomeno dell’erosione interna e quello del sormonto, quantificando l’evento critico più probabile sulla base dell’analisi multivariata.

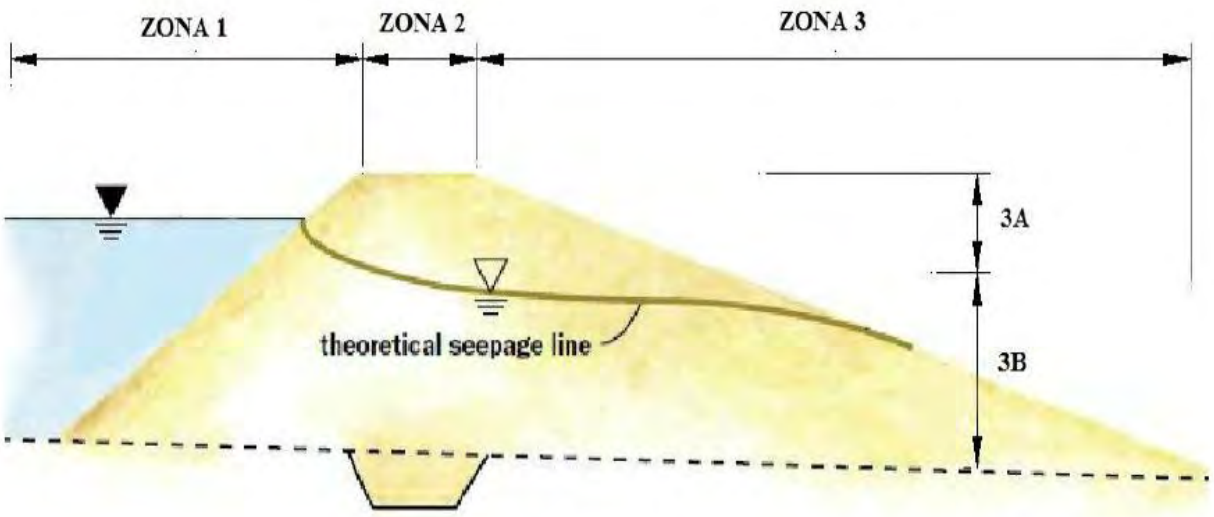
Le considerazioni fatte valgono nel caso di **struttura arginale «integra»**

Negli ultimi anni si è accentuato il fenomeno delle tane di animali negli argini. Le attuali conoscenze sugli effetti che tale fenomeno ha sulla stabilità arginale sono **molto scarse**.

Fiume Secchia (MO): 19/01/2014

Lo studio commissionato dalla Regione Emilia Romagna individua nel sistema di tane di animali la causa determinante delle rotture arginali avvenute il 19 gennaio 2014 nel Fiume Secchia e nel Fiume Panaro

Alcune caratteristiche delle tane

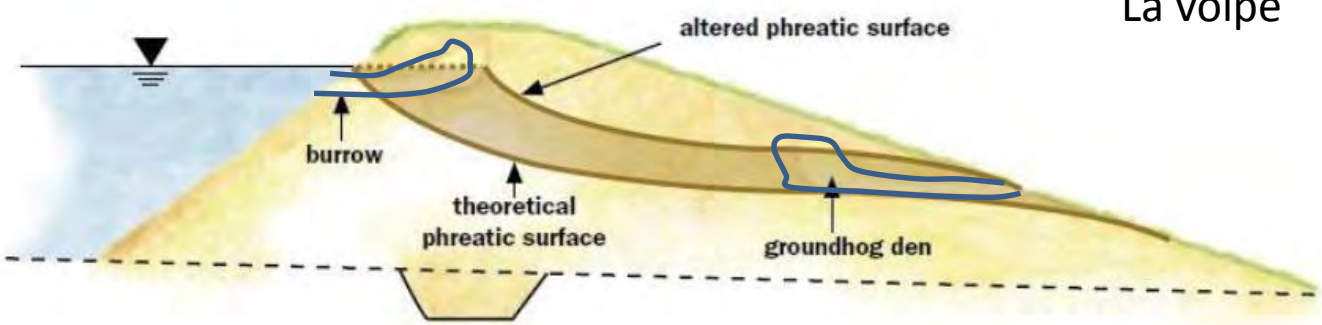


Animale	Tipo	Zona tana	Caratteristiche tana
Tasso,Volpe,Istrice	Autoctono	3	Molto complessa
Gambero	Alloctono	1,2	Complessa
Nutria	Alloctono	1	Semplice o complessa
Topo Muschiato	Alloctono	1	Complessa

Alterazione della curva di saturazione in presenza di tane

Il tasso

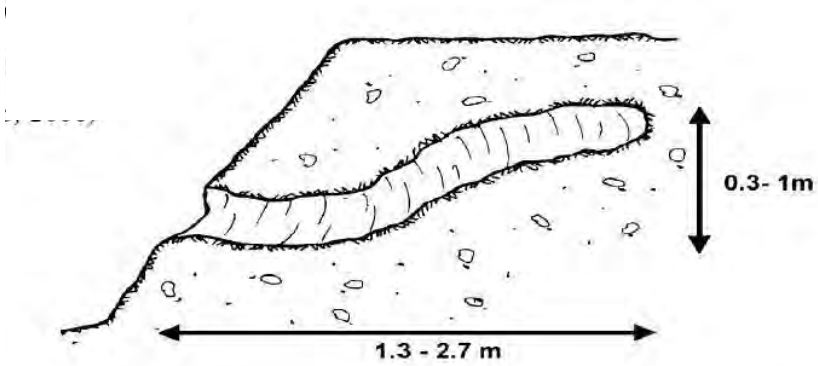
La volpe



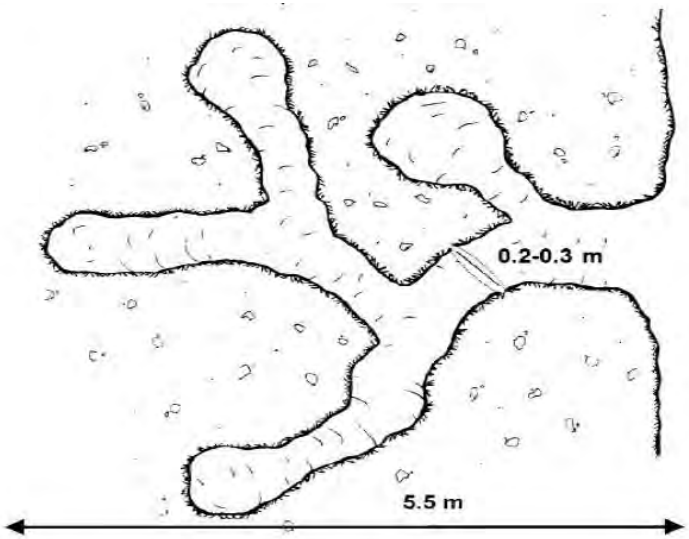
L'istrice

L. Gennari, (2014), ANALISI SUI FATTORI CHE INFLUENZANO LA STABILITÀ ARGINALE, CON ATTENZIONE PARTICOLARE ALLE TANE DI ANIMALI , Tesi di Laurea, Università di Firenze.

Caratteristiche dimensionali delle tane



La nutria



E' necessario approfondire le conoscenze sul comportamento delle strutture arginali e sugli effetti che le tane di animali hanno sulla stabilità.

Tra gli studi recenti, Bersan et Al. (2014) schematizzano il cunicolo come una condotta circolare ed applicano il metodo dell'equilibrio limite tenendo conto della perdita di resistenza e di volume dovute alla presenza della tana stessa e dell'ipotetico avanzamento del fronte di saturazione in funzione **dei tempi di permanenza**.

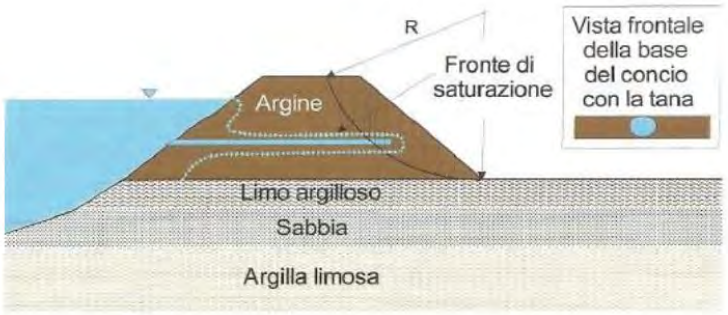


Figura 31: *Schematizzazione di una tana(J.M. Armitage, 1999)*

SIMONINI P., BERSAN S., COLA S.,"Caratterizzazione geotecnica, meccanismi di collasso e monitoraggio degli argini fluviali", in *xxv convegno nazionale di geotecnica*, Baveno, 2014.

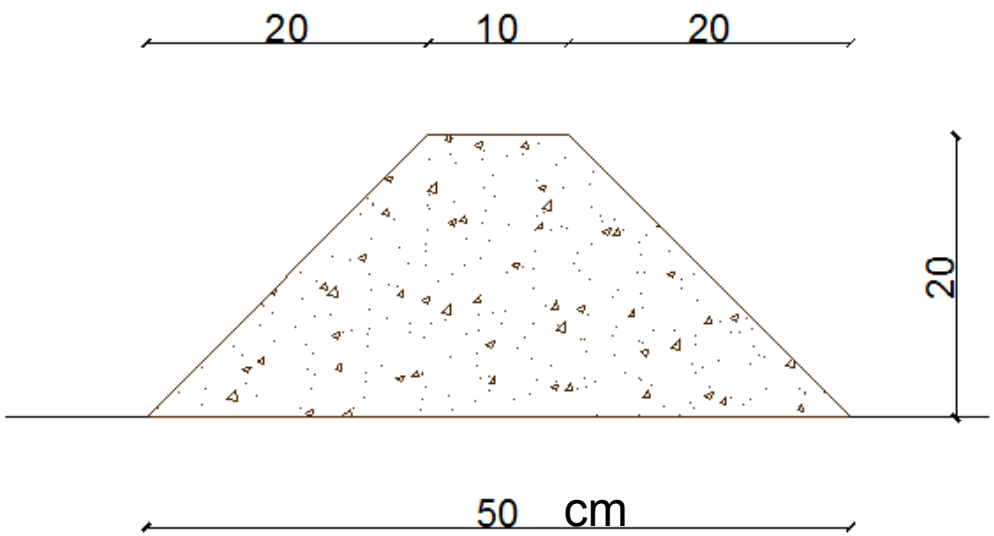
Presso il Laboratorio di Idraulica del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università di Firenze sono state avviate indagini sperimentali su un modello fisico di argine in terra

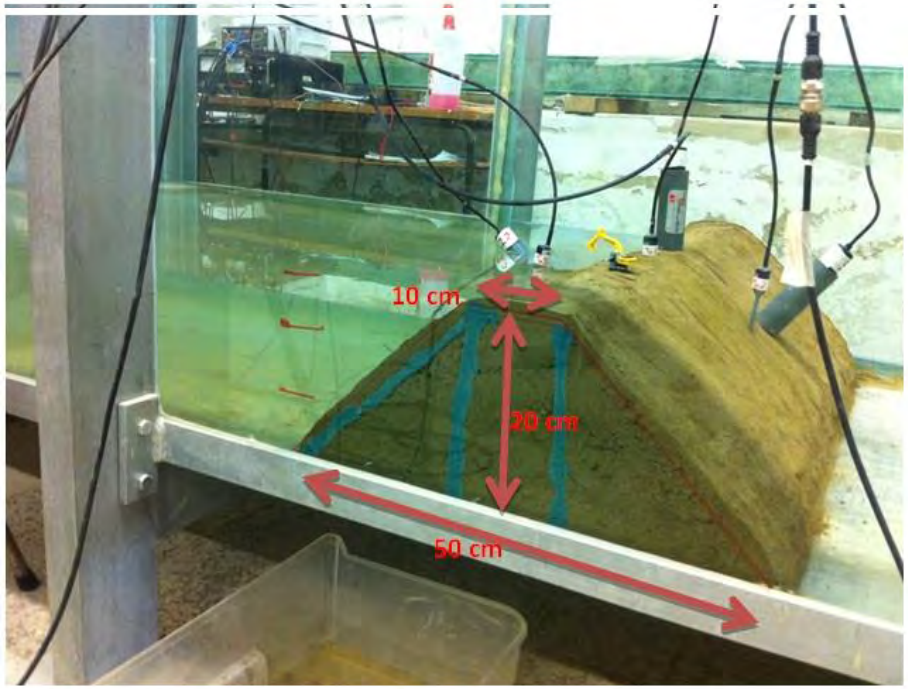
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE

DICEA Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale

REALIZZAZIONE DI UN MODELLO FISICO DI ARGINATURA FLUVIALE E PROVE SPERIMENTALI DI FILTRAZIONE IN PRESENZA DI FALDA

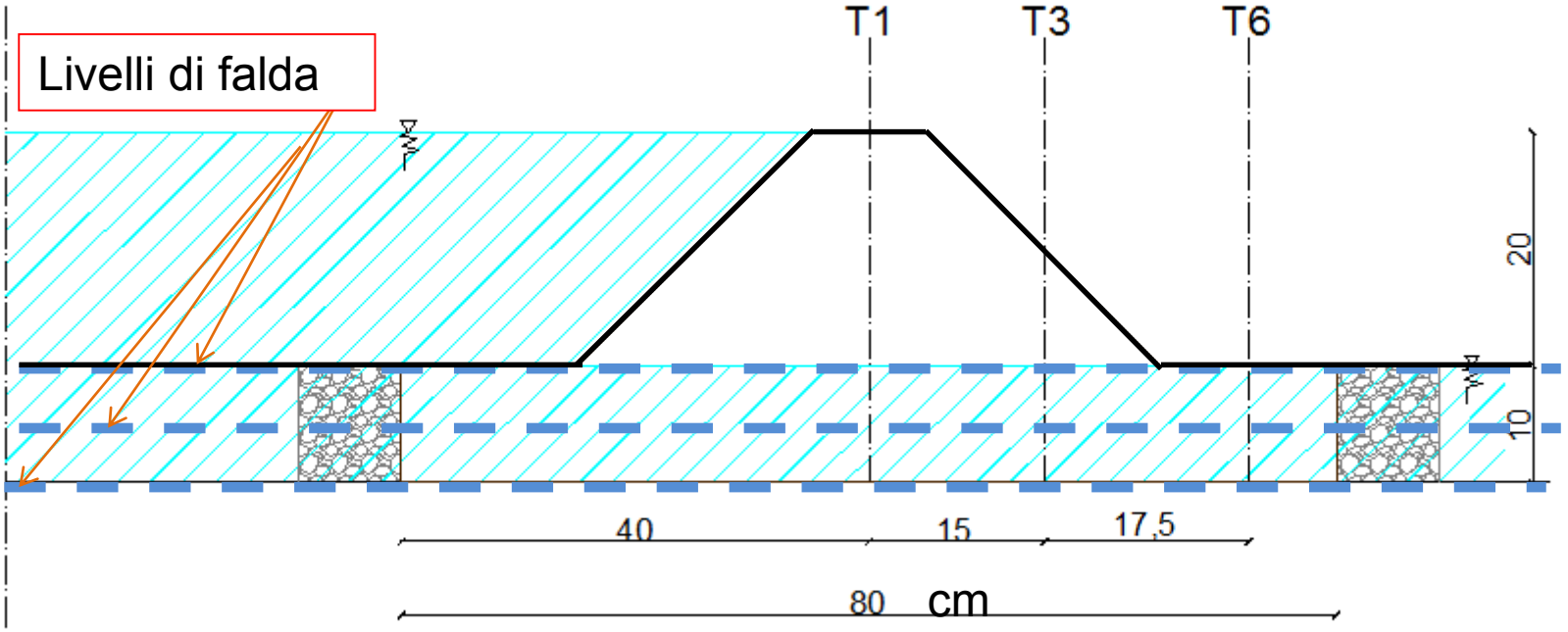
***E. Seghini, N. Frasi**, Realizzazione di un modello di arginatura fluviale e prove sperimentali di filtrazione in presenza di falda, Tesi di Laurea, 2015, Università degli Studi di Firenze.*





Prove Sperimentali

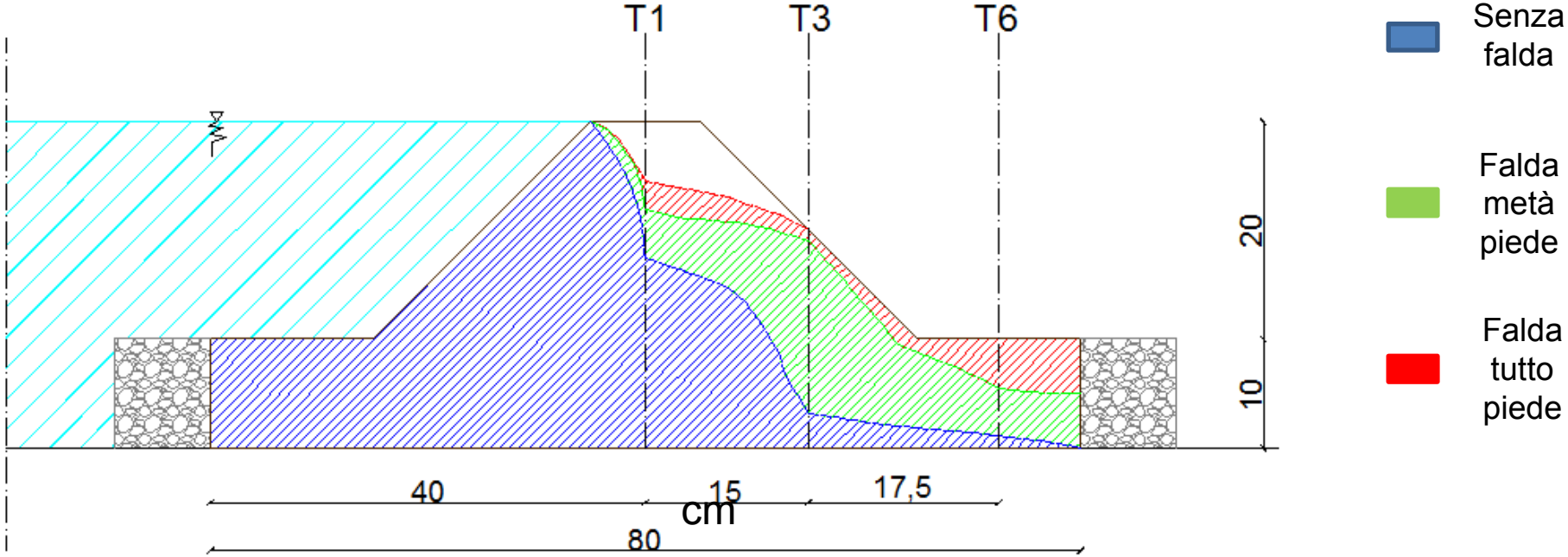
Analisi del fronte di saturazione con tre diversi livelli di falda: **assenza di falda, falda a 5 cm, falda a 10 cm.**



E. Seghini, N. Frasi, Realizzazione di un modello di arginatura fluviale e prove sperimentali di filtrazione in presenza di falda, Tesi di Laurea, 2015, Università degli Studi di Firenze.

INFLUENZA DEL LIVELLO DI FALDA

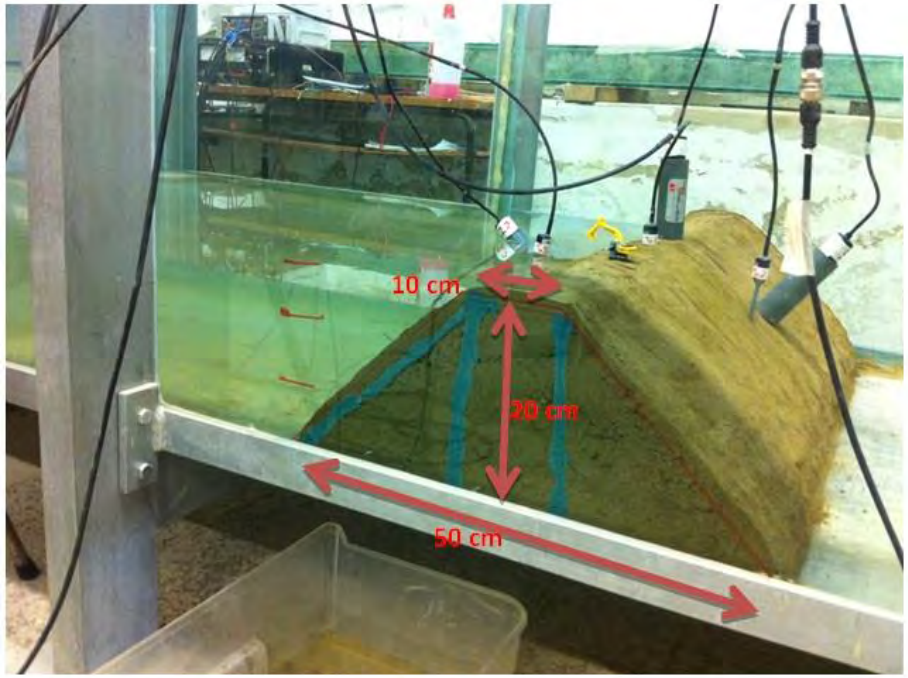
il **fronte** di filtrazione subisce un sensibile **innalzamento** all'aumentare del livello di falda.



Le prossime attività sperimentali riguarderanno lo studio degli effetti indotti dalla presenza di tane sulla propagazione del fronte di filtrazione

Nel caso del Gambero Rosso il numero delle tane può arrivare ad una densità di 10 tane /mq

Laboratorio di Idraulica – Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale di Firenze



Laboratorio di Idraulica – Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale di Firenze

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE | DICEA Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale

LE ATTIVITA'

RESISTENZA AL MOTO

Fiume Arno a monte del ponte alle Grazie (maggio 2013)

Piena del fiume Arno, ponte alle Grazie (Firenze, 31 gennaio 2014).

Interazione vegetazione in alveo - corrente

OCCLUSIONE DEI PONTI

Accumulo detriti arborei alla pila del ponte alla Carraia, fiume Arno (Firenze, 24 febbraio 2014).

Detriti arborei

Detrito arboreo: *tutta la vegetazione, dai tronchi e rami all'intero albero, che con modalità diverse termina all'interno degli alvei fluviali e ne entra a far parte integrante del trasporto solido (Betti et al. , 2006).*

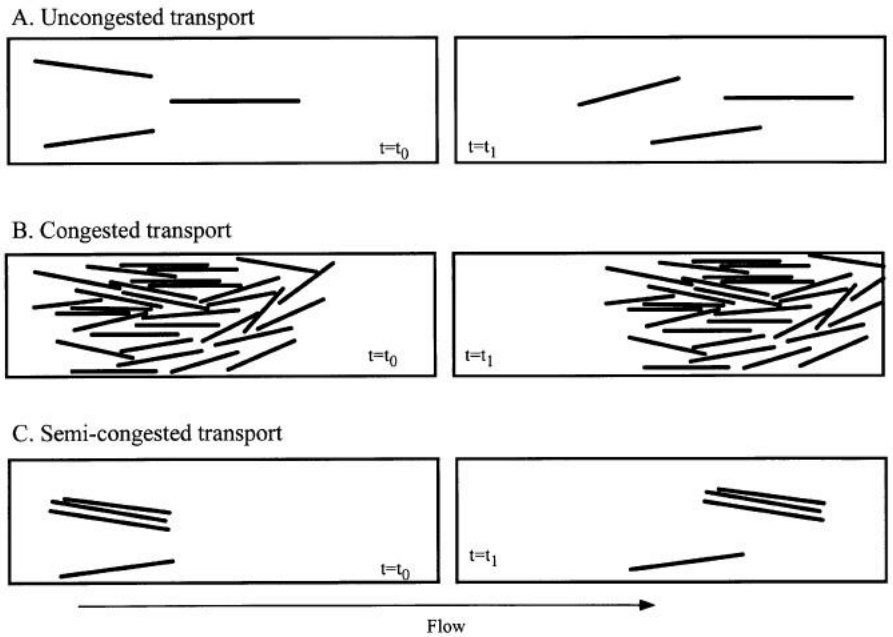
Cosa significa LWD?

Large Woody Debris è qualsiasi tipo di detrito arboreo flottante le cui dimensioni sono pari almeno a:

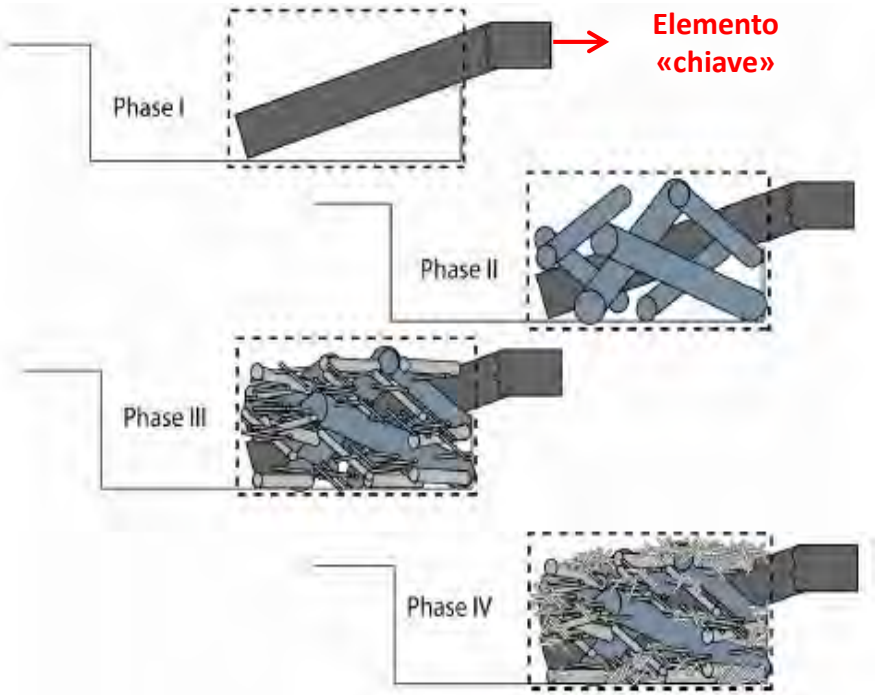
diametro** = **10 cm

lunghezza = 1 m

(Platts, 1983).



3 tipologie di trasporto (Braudrick,1997)



Evoluzione teorica di un accumulo di detriti arborei in un corso d'acqua (Manners, 2007).

Obiettivi dello studio

2016 Progetto Firenze

*Lo studio si colloca nell'ambito del progetto **Firenze 2016** nato per promuovere delle iniziative in vista del 50esimo anniversario dell'alluvione del 1966.*

- Individuare le condizioni per le quali si verifica l'ostruzione delle luci dei ponti e l'accumulo di detriti arborei alla pila del ponte.

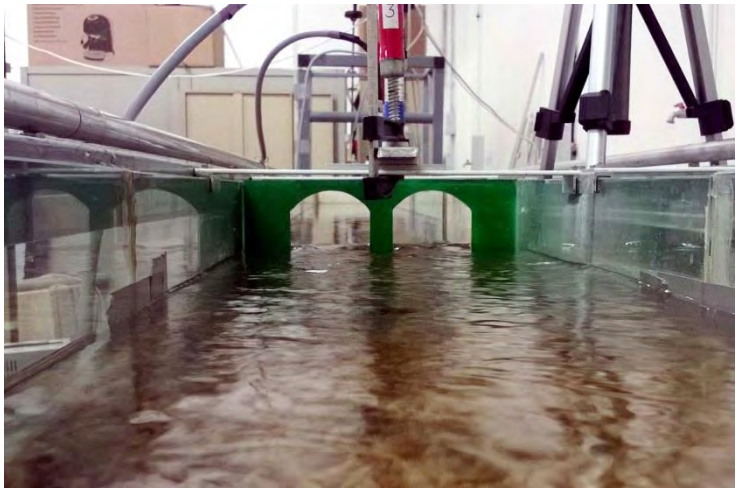
- Studiare l'effetto della forma della pila dei ponti storici sulla cattura dei detriti arborei.

Ponte Vecchio, Firenze (gennaio 2014).

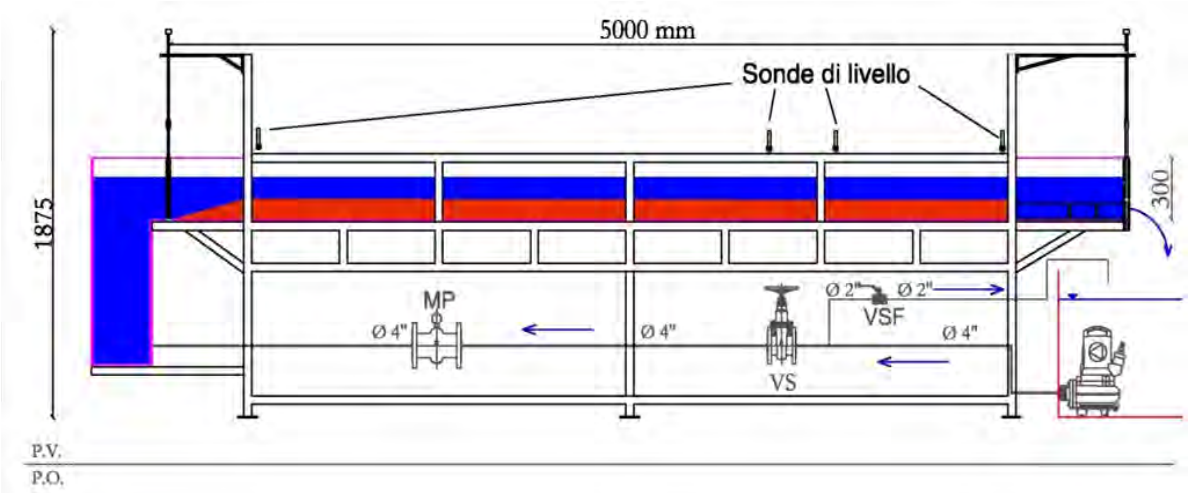
Canaletta di laboratorio

Geometria: Lunghezza = 5.095 m
Pendenza = 0.1 %
Larghezza canale principale = 0.30 m
Altezza sponde = 0.18 m
Diametro fondo = 6.81 mm (D_{50})

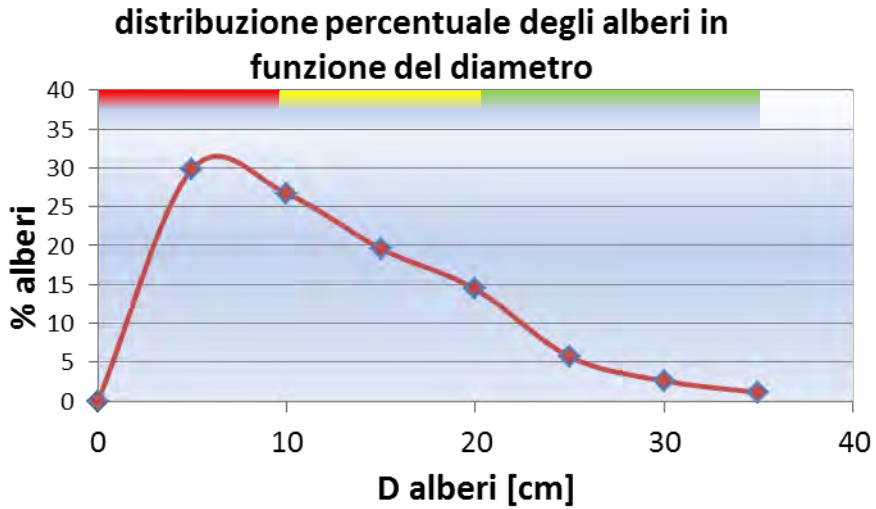
Idraulica: Portata: condizioni moto permanente
Q = **4** l/s

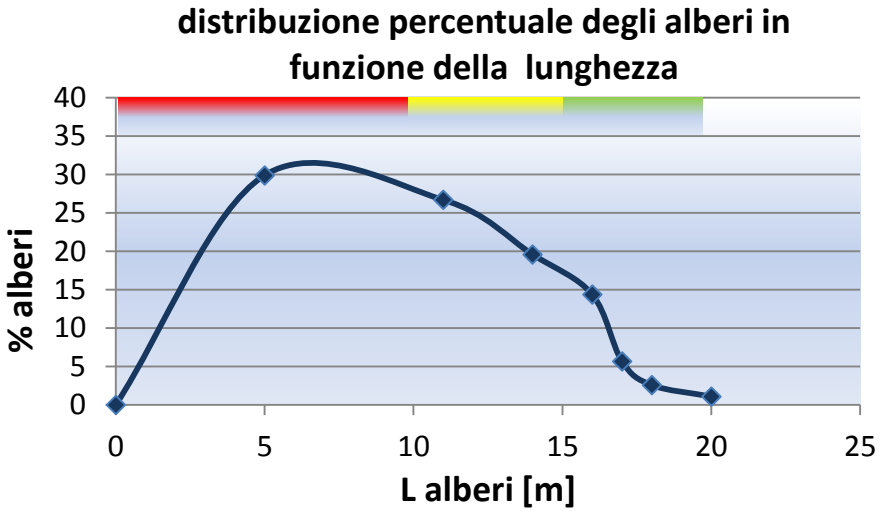


Parametri fisici : similitudine di Froude → $Fr_{modello} = Fr_{reale} = \mathbf{0.3}$



Caratterizzazione dei Detriti arborei da misure di campo (*)





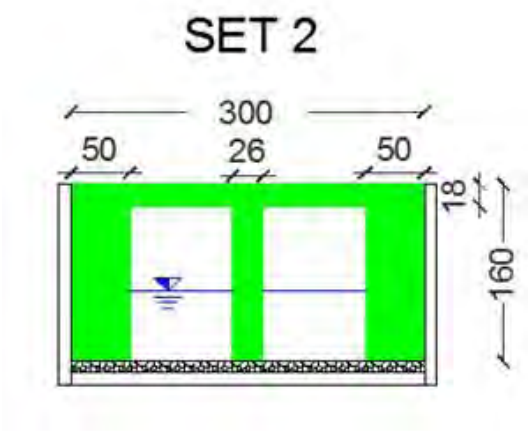
WOODY DEBRIS	CLASSE	% di presenza	MISURE REALI (*)		MISURE MODELLO	
			L tronco (m)	D (cm)	L tronco (cm)	D (mm)
Small	1 ($L_{tronco}<L_{sez}$)	**56.6**	5-11	5-10	10	2
Medium	2 ($L_{tronco}=L_{sez}$)	**34**	12-16	15-20	17	4
Large	3 ($L_{tronco}>L_{sez}$)	**9.4**	17-20	25-35	20	6

(*) campionamenti forniti dal Consorzio di Bonifica dell'Area Fiorentina (2008).

Caratterizzazione dei restringimenti da misure di campo (*)

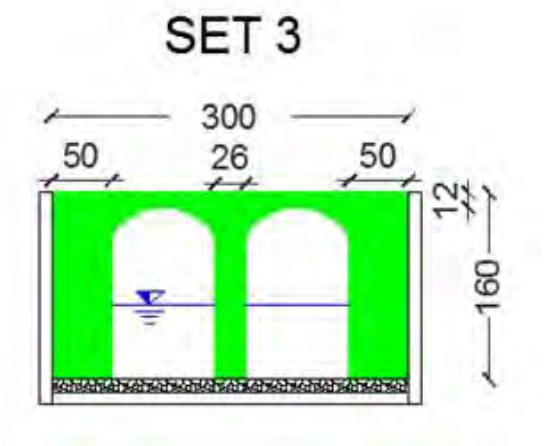
(Le misure sono in millimetri)

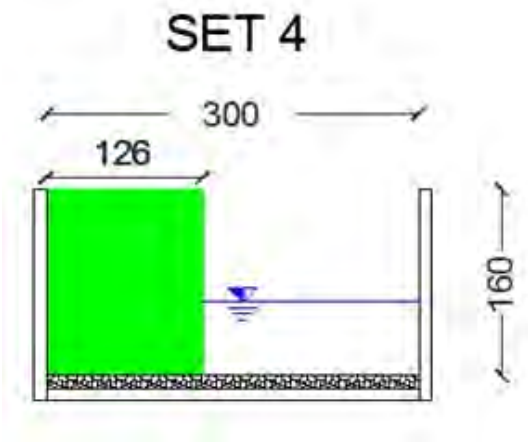
Laterale simmetrico



Ponte a travata con pila in alveo

Ponte ad arco con pila in alveo





Laterale asimmetrico

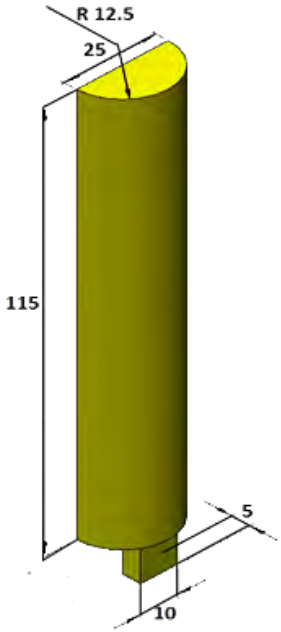
(*) campionamenti forniti dal Consorzio di Bonifica dell'Area Fiorentina (2008).

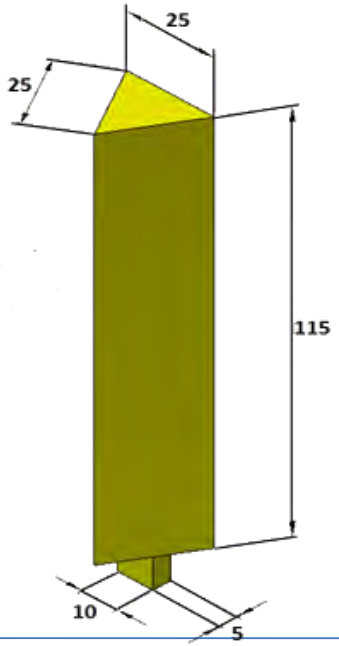
Caratterizzazione delle pile dei ponti

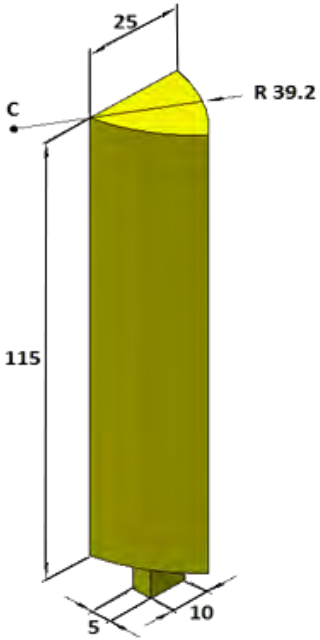
Ponte Vittorio Emanuele II, Torino

Ponte Vecchio, Firenze

Ponte Wilson, Tours







Metodologia operativa

175 Tests:

1 Elemento / 5 sec

UNCONGESTED TRANSPORT

20 elementi / 20 secondi

25 elementi / 20 secondi

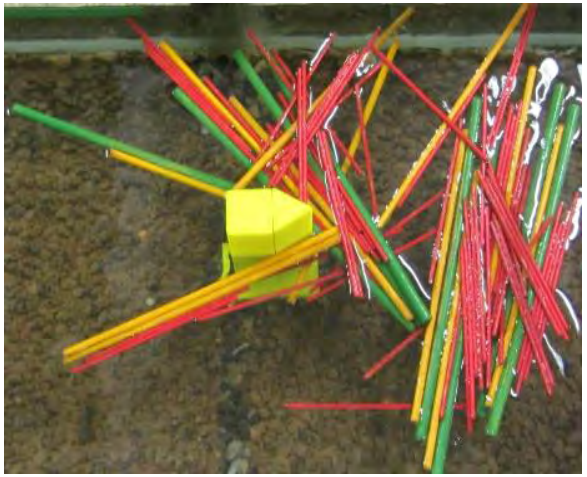
CONGESTED TRANSPORT

Parametri calcolati:

INDICE DI ATTITUDINE ALLA CATTURA(*) $\longrightarrow$ $$\mathbf{IAC} = \frac{C_C}{C_P}$$

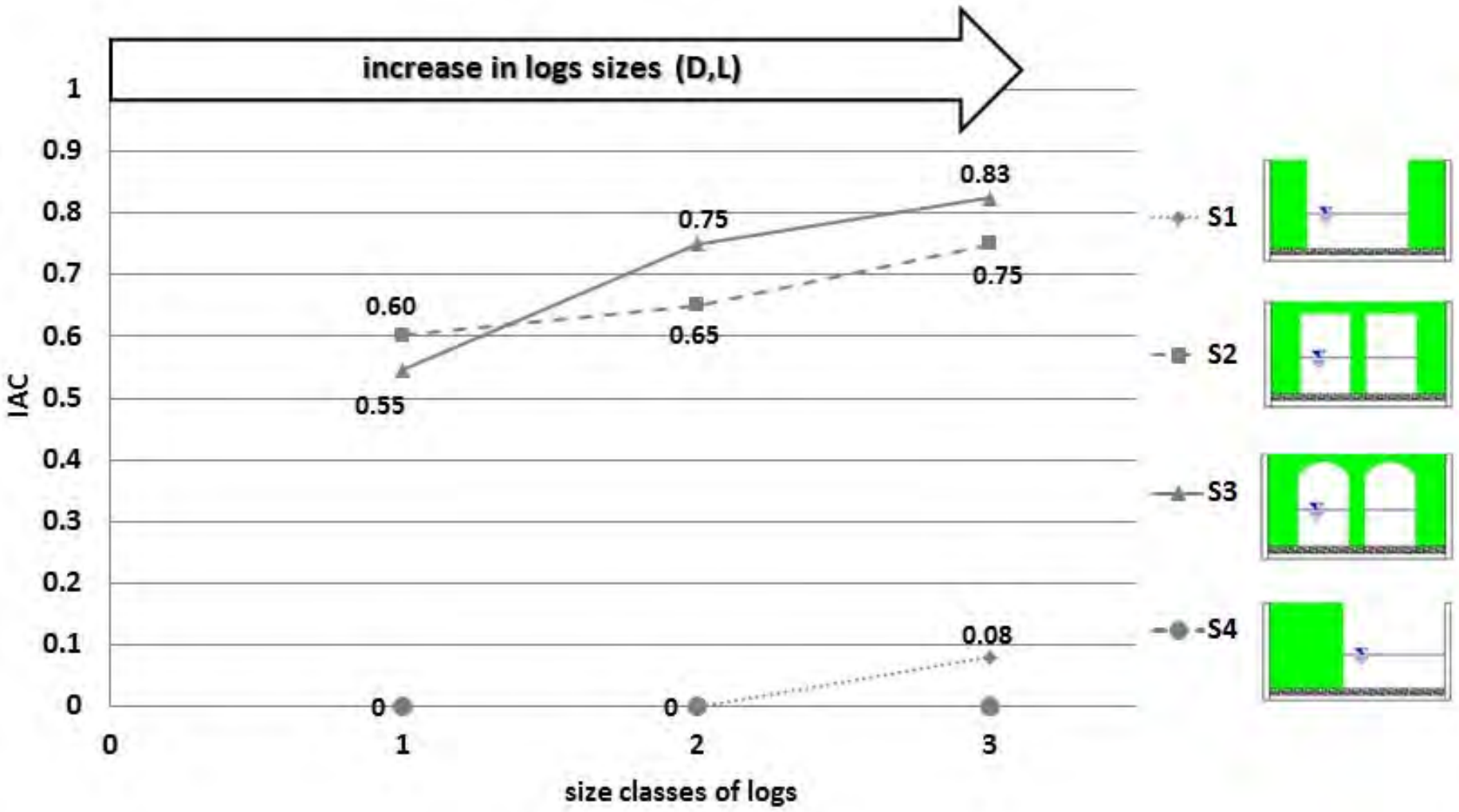
C_C= coefficiente di cattura

C_P= coefficiente di presenza

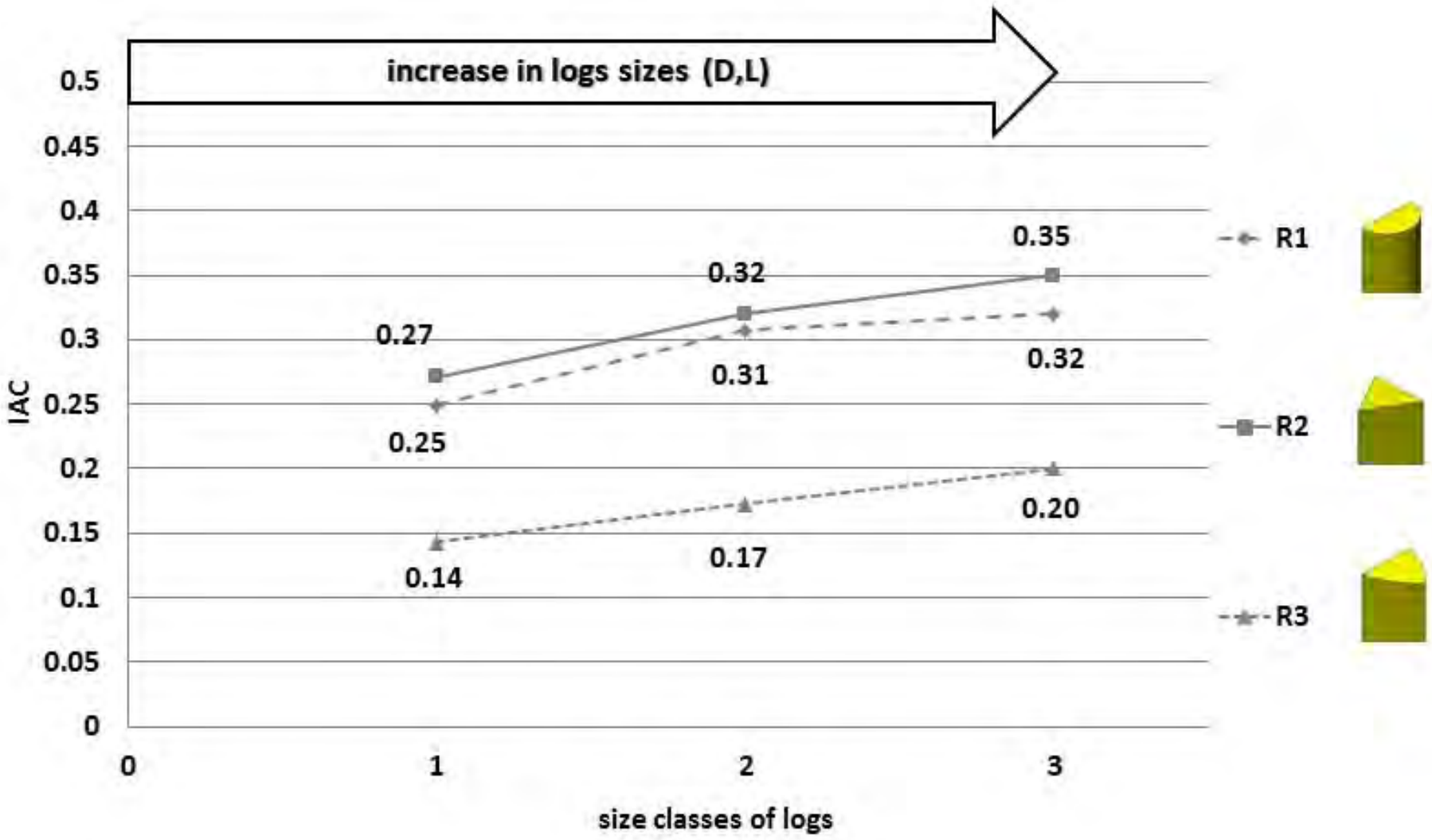


(*) Betti M., Ginanni F., Becchi I., Rinaldi M., *Morphodynamics and driftwood dispersal in braided rivers*. XXX° Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche – IDRA 2006.

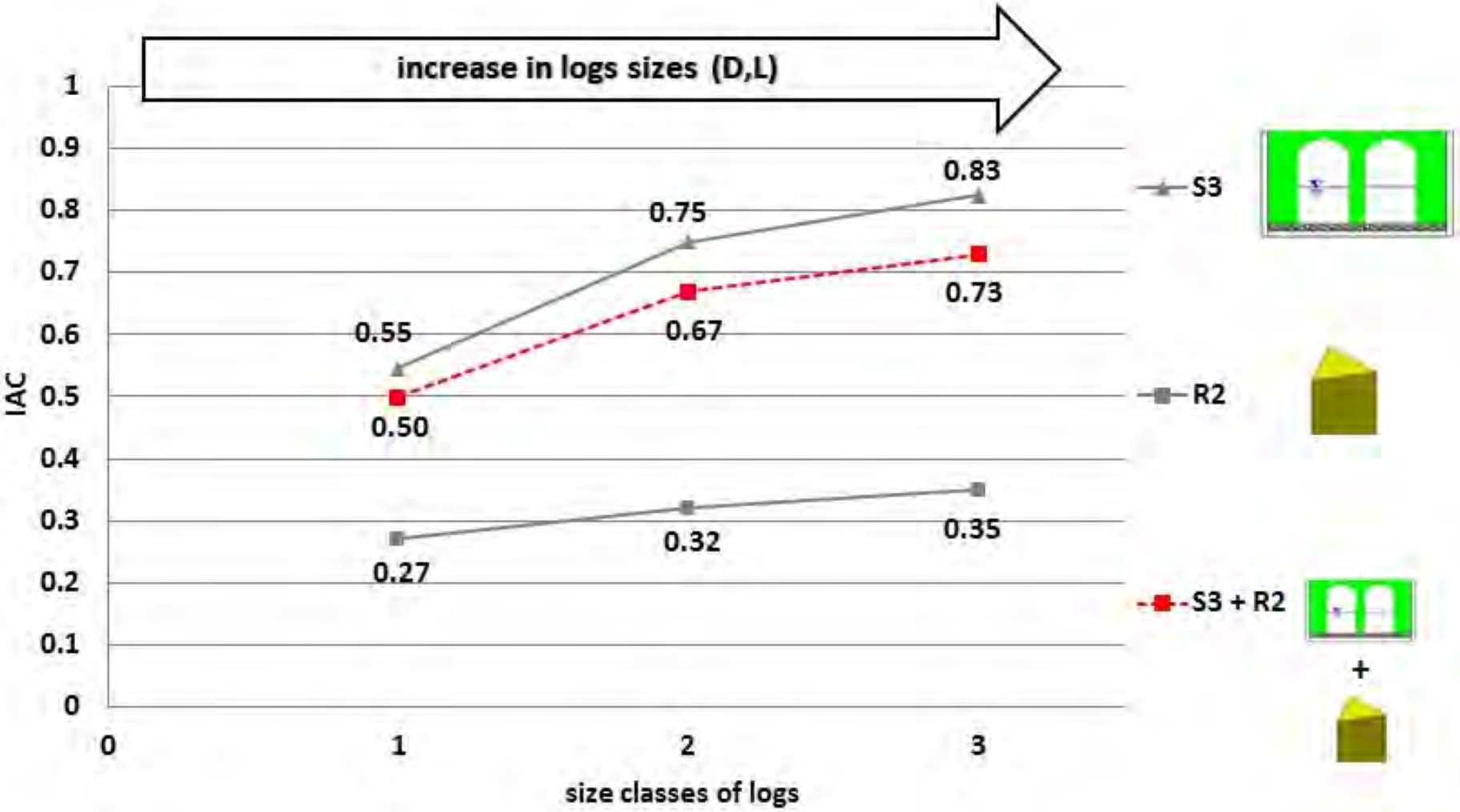
Indice di attitudine alla cattura: sezioni



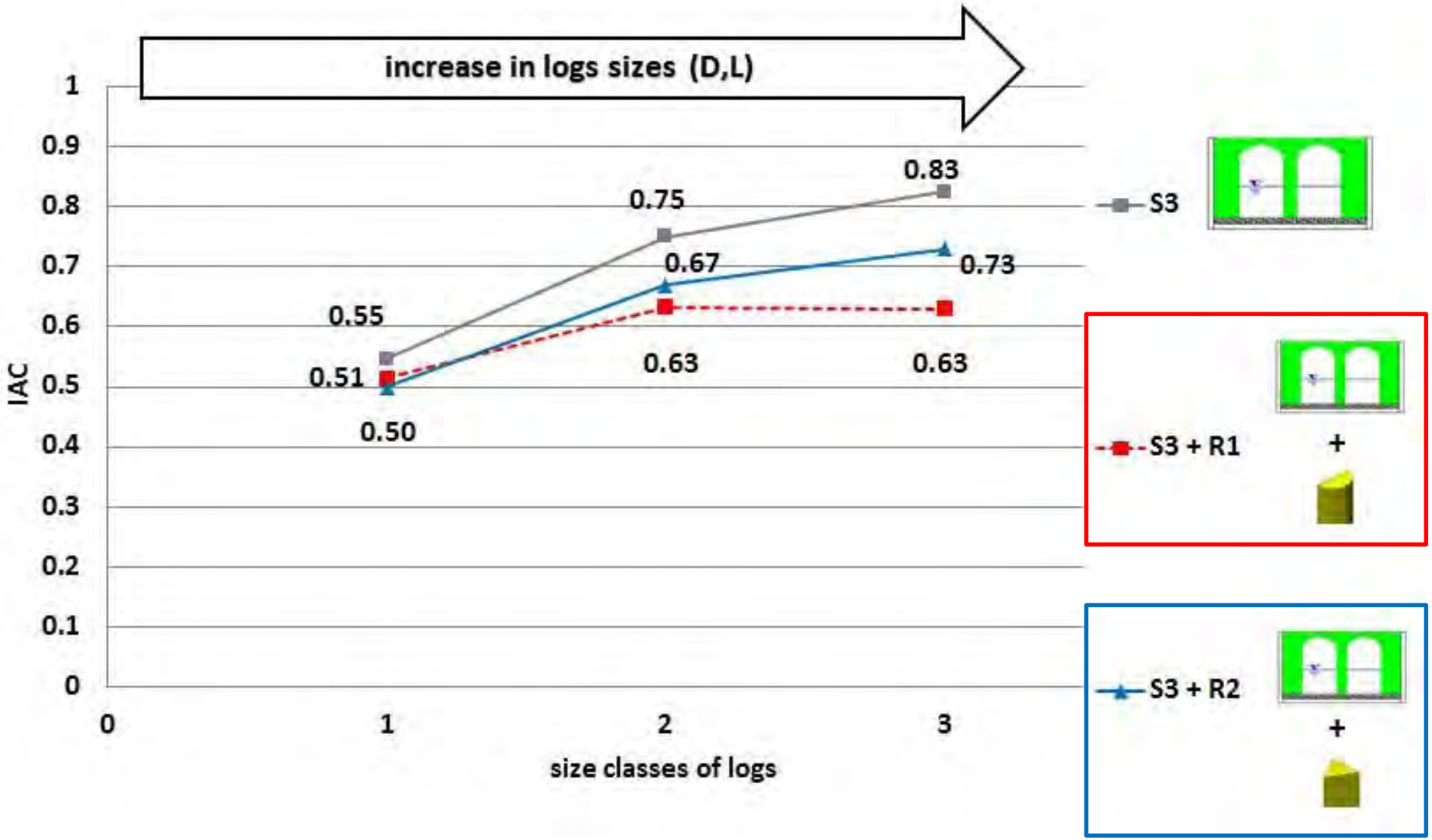
Indice di attitudine alla cattura: rostri



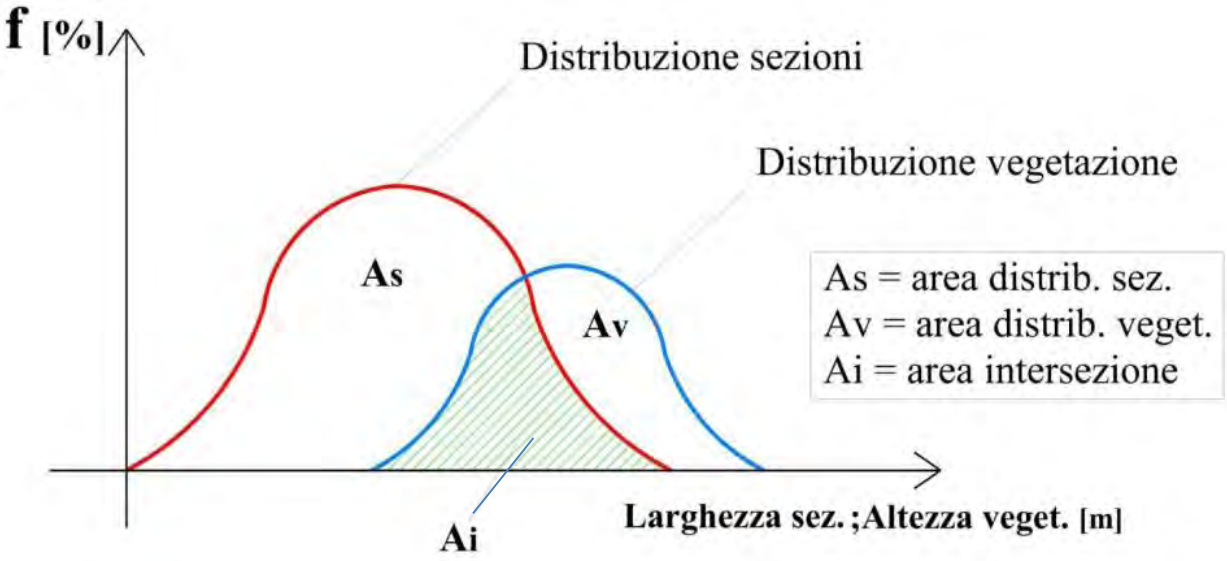
Indice di attitudine alla cattura: sezioni + rostri



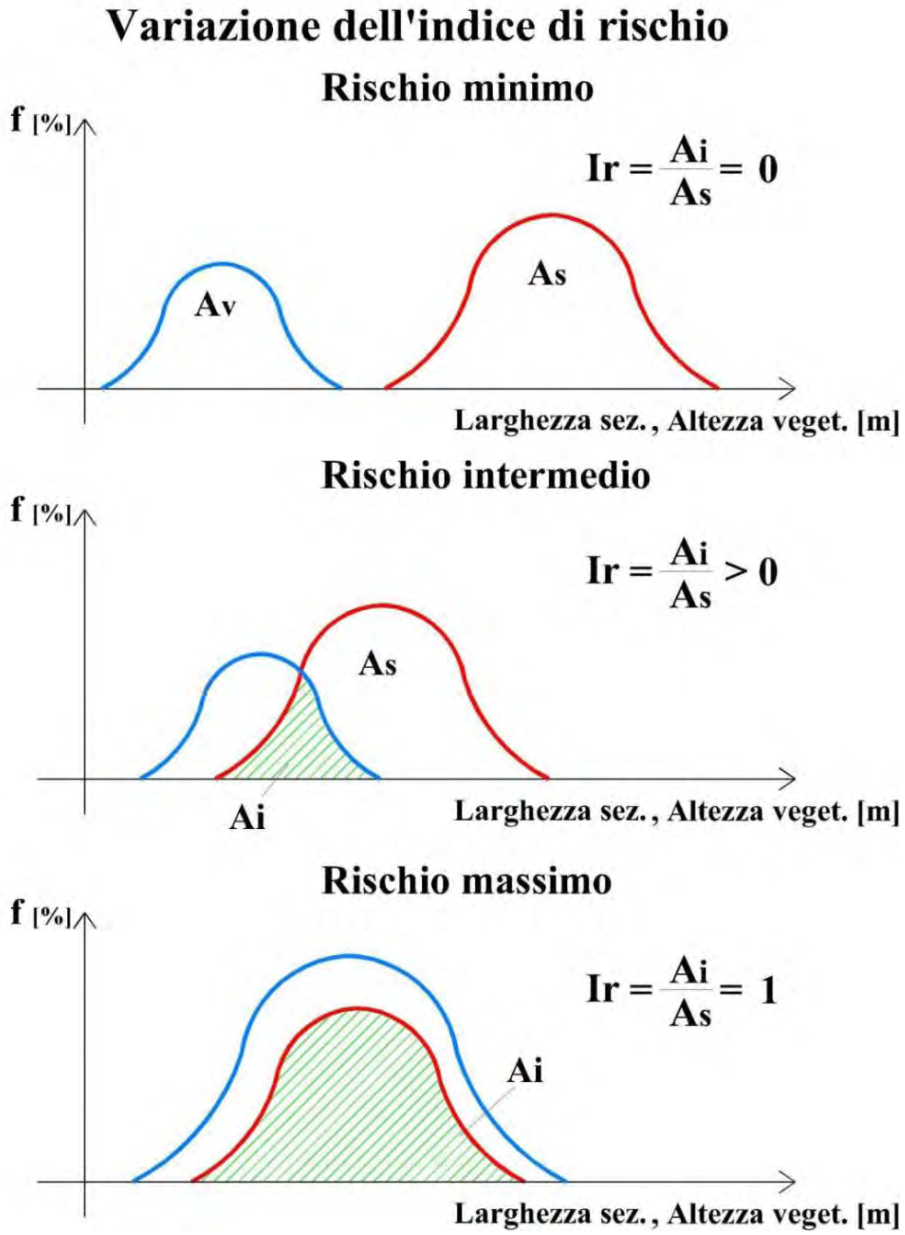
IAC: confronto tra rostro triangolare e semicircolare



VALUTAZIONE DELL'**INDICE DI RISCHIO**



3. MANUTENZIONE DELLA VEGETAZIONE - OSTRUZIONI SEZIONI E ATTRAVERSAMENTI



GESTIONE DEI DETRITI LEGNOSI

Nei tratti che hanno priorità per una regolare manutenzione (a monte di ponti sensibili, a ridosso di aree fortemente urbanizzate), prevedere le seguenti azioni:

- taglio periodico dei tronchi isolati di rilevante lunghezza, in modo da facilitarne il transito attraverso i punti critici (luci dei ponti);
- rimozione delle situazioni più pericolose di accumulo di detriti legnosi;
- predisporre aree di accumulo con apposite barriere che intrappolano i tronchi di dimensioni maggiori.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

- Tra gli strumenti di difesa dal rischio idrogeologico, la **conoscenza** è sicuramente lo strumento principale.

- Purtroppo ancora molte sono le carenze nella comprensione dei fenomeni. E' necessario sviluppare maggiormente le **attività di ricerca e di monitoraggio sul territorio**. Molto si può comunque imparare dallo **studio e e dall'analisi di eventi accaduti.**

- Di grande utilità potrebbe essere una **struttura di competenze a carattere interdisciplinare** (tecniche, amministrative, giuridiche, ecc..) per la **ricostruzione** e la **valutazione** degli eventi, per la formulazione di indirizzi e di linee guida.

- Le conoscenze disponibili devono essere **adeguatamente trasferite,** in particolare ai decisori e agli operatori pubblici, mediante la promozione e lo sviluppo delle **attività di formazione** nelle tematiche del rischio idrogeologico.

- Occorre individuare strategie efficaci di **educazione della popolazione affinché partecipi attivamente alla difesa dal rischio.**

GRAZIE !