



**Convegno in occasione del 60° anniversario
dell'alluvione del Po del 1951**

**Fondazione Ca'Vendramin – Taglio di PO
Modellazione della morfologia fluviale**

Aronne Armanini



***CUDAM e Dipartimento di Ingegneria Civile
e Ambientale Università di Trento***

Scaletta (Durata 15 min. (max) = 15 Slides) **CHIEDERE A FABIO una FOTO del MODELLO**

- Introduzione con qualche discorso sull'avanzamento della conoscenza nell'idraulica fluviale:
 - Da una fase descrittiva di impronta geografica. L'idraulica di fondo fisso + formule, ad una fase quantitativa, anche se i fondamenti sono ancora robustamente empirici. La chiave è la meccanica dei fluidi granulari (citare lagrangiana/Euleriana).
 - I modelli matematici moderni, i modelli fisici e la loro combinazione.
 - Non considero i mm a fondo fisso, sono stati assai utili ma oggi non sono più sufficienti (citare la taratura)
1. In che cosa consistono i modelli matematici
 2. Equazioni differenziali
 1. Modelli 1D, 2D e 3D (un pupazzo per ciascuno)
 2. Dire che i bilanci sono esatti nell'ambito della meccanica del continuo, tutt'al più errori di integrazione (termini lineari e non lineari). Il problema più incerto sono le relazioni di chiusura.
 3. Discretizzazione numerica su questo e sull'accoppiamento si gioca la differenza tra i modelli
 4. Il dominio (DTM), le condizioni iniziali (preoccupano poco) e le condizioni al contorno (il punto debole per il t.s.
 5. Modello AIPO: caratteristiche 5m (e Delta t=???), le relazioni di chiusura. La taratura
 6. Pianta totale degli interventi
 7. Due esempi di evoluzione (arretramento del talweg come soluzione progettuale).
 8. Difetti: non vede la diffusione (adattamento) e non vede gli effetti 3D (sketch di esempi).
 9. La letteratura e il modello fisico. Tappeto zavorrato (preoccupazione per il collasso)
 10. Il meccanismo di riempimento: ha consentito di tenere la distanza massima di letterature: risparmio:
 11. La valutazione su tempi lunghi (in mancanza di cod. al cont. Da indicazioni per differenza)

Filmati

- Scavi_depositi.avi
- Scavi_depositi_2000.avi
- Scavi_depositi_5000.avi
- Fondo_Zevio.avi

Modelli matematici di evoluzione morfologica dei corsi d'acqua

- 1. Formulazione fisico-matematica del problema:**
 - applicazione dei teoremi di conservazione della massa solida e liquida e della quantità di moto;
 - assegnazione delle relazioni di chiusura (formule per il trasporto solido e formula per la resistenza idrodinamica).
- 2. Discretizzazione numerica:**
 - trasformazione delle equazioni differenziali in forma discreta e traduzione in codice di calcolo.
- 3. Taratura del modello:**
 - aggiustamento delle costanti sperimentali, sulla base di misure di campo.
- 4. Condizioni iniziali**
 - assegnazione della morfologia dell'alveo (DTM) e dei tiranti al tempo iniziale.
- 5. Condizioni al contorno**
 - assegnazione dell'evoluzione delle portate e o dei livelli nelle sezioni di ingresso e o di uscita del tratto in esame.
- 6. Restituzione dei risultati:**
 - andamento nel tempo di livelli, quote del fondo, velocità, concentrazione solida, forme del fondo..... nei diversi punti del tratto in esame.
 - in forma numerica e o in forma grafica
 - rappresentazione dei risultati in ambiente GIS
 - risposta a richieste di specifici dati locali.

Relazioni di chiusura: resistenza idrodinamica

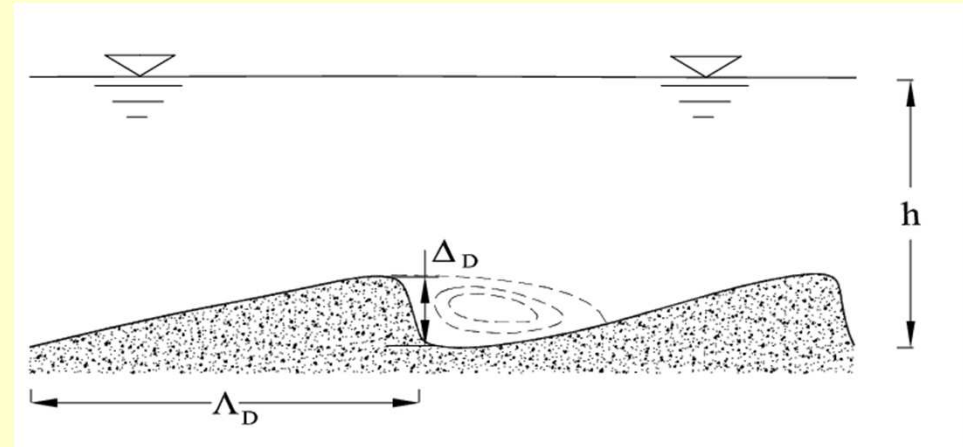
Effetto delle forme di fondo sulla resistenza

$$\chi = 18 \log_{10} \left(\frac{12 R_h}{e_s} \right)$$

$$e_s = 3d_{90} + \alpha_f \Delta_D \left[1 - e^{\left(-25 \frac{\Delta_D}{\lambda} \right)} \right]$$

$$\Delta_D = h \left[0.11 \left(\frac{d_{50}}{h} \right)^{0.3} \left[1 - e^{(-0.5T)} \right] (25 - T) \right]$$

$$\Lambda_D = 7.3h$$



α_f : coefficiente delle forme di fondo: unico parametro di taratura

Modelli matematici di evoluzione morfologica dei corsi d'acqua

1. Formulazione fisico-matematica del problema:

- applicazione dei teoremi di conservazione della massa solida e liquida e della quantità di moto;
- assegnazione delle relazioni di chiusura (formule per il trasporto solido e formula per la resistenza idrodinamica).

2. Discretizzazione numerica:

- **trasformazione delle equazioni differenziali in forma discreta e traduzione in codice di calcolo.**

3. Taratura del modello:

- aggiustamento delle costanti sperimentali, sulla base di misure di campo.

4. Condizioni iniziali

- assegnazione della morfologia dell'alveo (DTM) e dei tiranti al tempo iniziale.

5. Condizioni al contorno

- assegnazione dell'evoluzione delle portate e o dei livelli nelle sezioni di ingresso e o di uscita del tratto in esame.

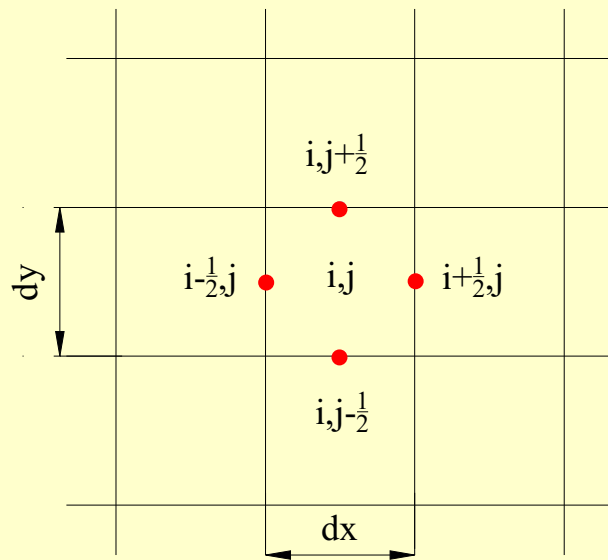
6. Restituzione dei risultati:

- andamento nel tempo di livelli, quote del fondo, velocità, concentrazione solida, forme del fondo..... nei diversi punti del tratto in esame.
- in forma numerica e o in forma grafica
- rappresentazione dei risultati in ambiente GIS
- risposta a richieste di specifici dati locali.

Discretizzazione numerica: differenze finite

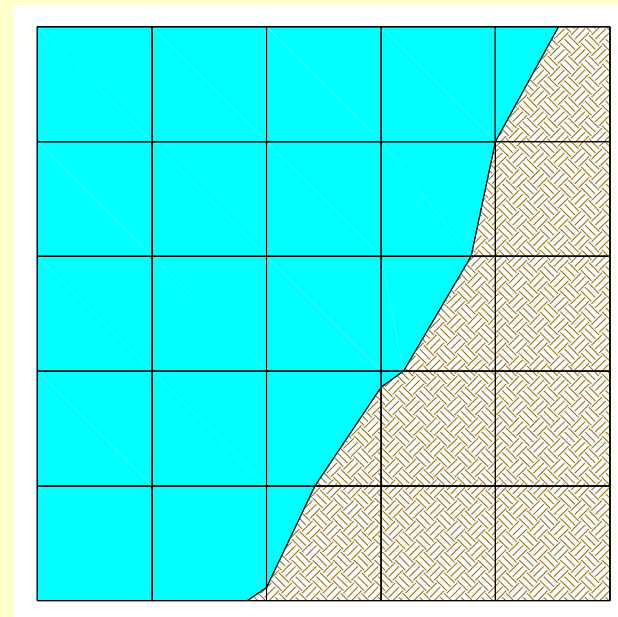
Griglia di calcolo – celle tagliate

Griglia strutturata:



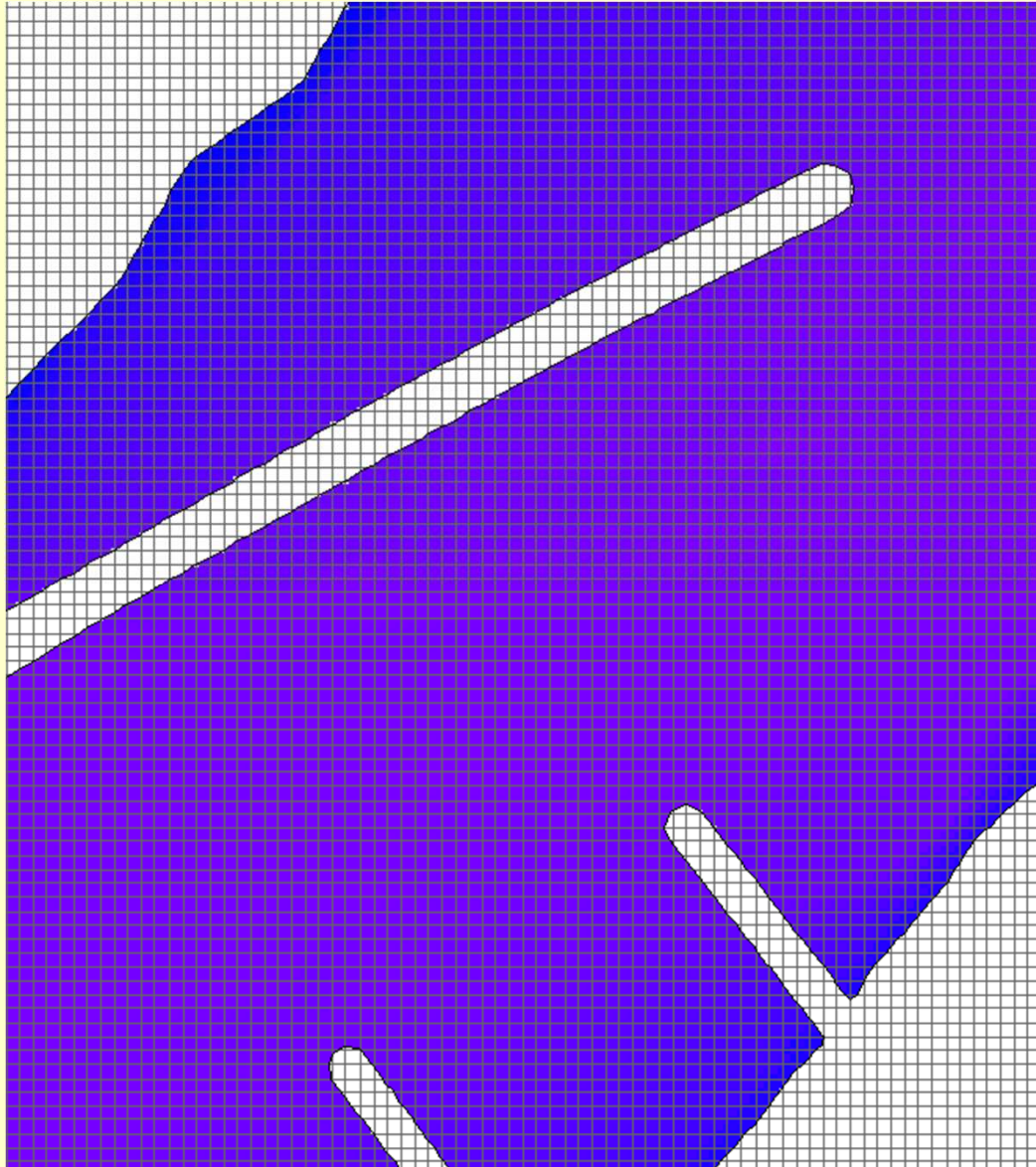
celle rettangolari

Celle tagliate:



“celle tagliate” per seguire i
bordi irregolari del contorno

Schema di pennelli con celle tagliate

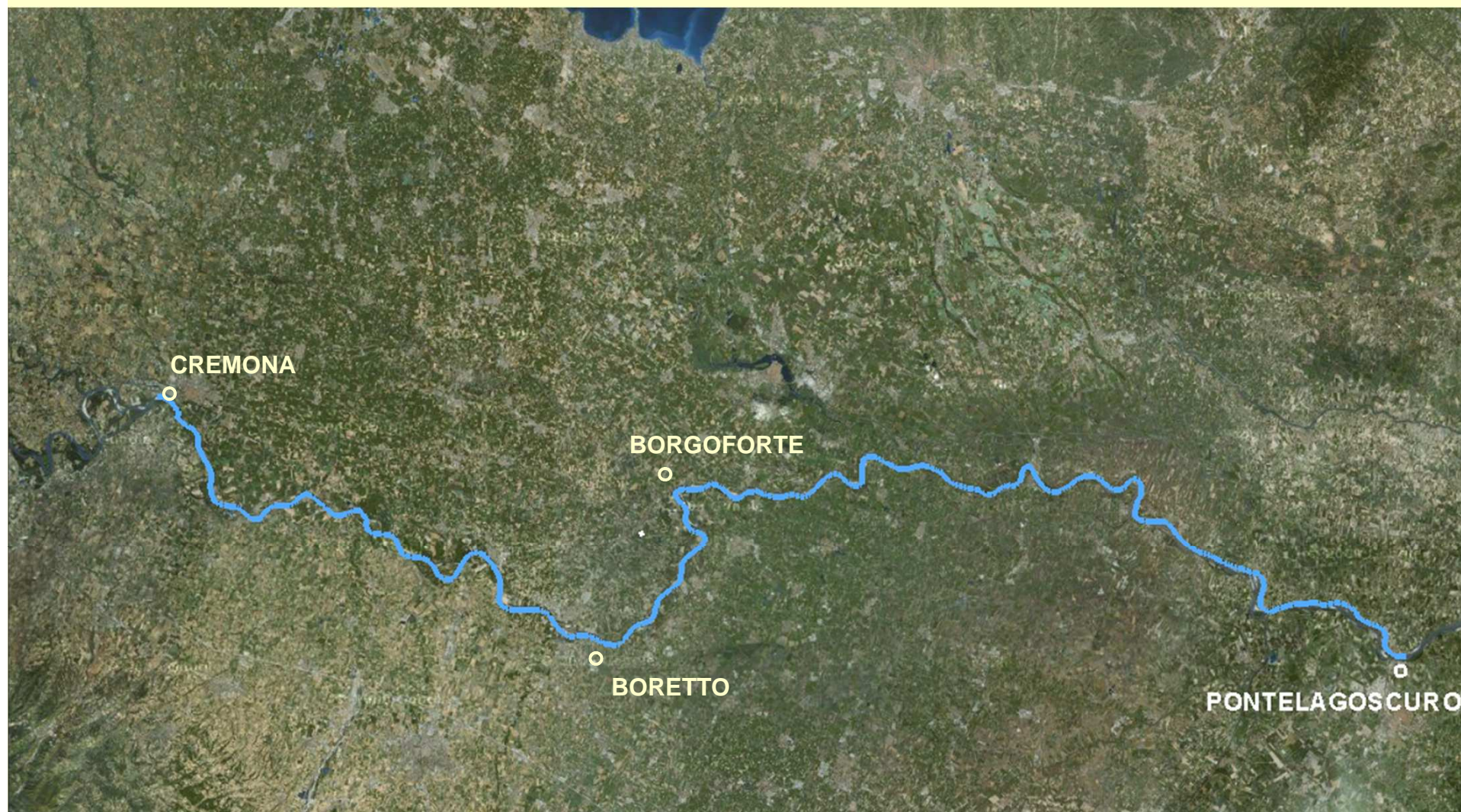


- lunghezza

- orientamento

effetti 3D con modello fisico

MODAIPO



Metodo per la taratura

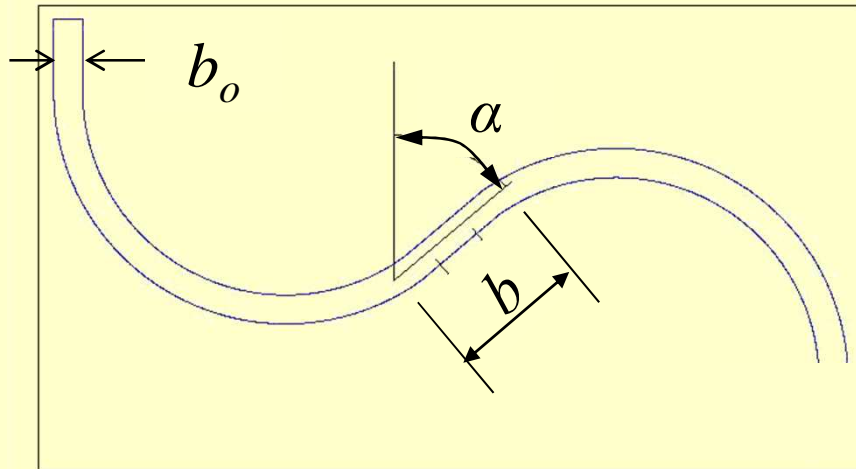
Solamente considerando il coefficiente di Van Rijn come parametro da tarare è possibile ottenere le misure delle scale delle portate nelle sezioni considerate

$$e_s = 3d_{90} + \alpha_f \Delta_d \left[1 - e^{\left(-25 \frac{\Delta_d}{\lambda} \right)} \right]$$

MODAIPO Interventi nelle zone di “basso”

Le zone di basso fondale si presentano di norma nei tratti in transizione tra una curva e la controcurva successiva

Studio: successione di curve e controcurve ad arco di cerchio con diversi angoli al centro e diverse lunghezze del tratto rettilineo di raccordo, rapportate al raggio di curvatura e alla larghezza del canale, con e senza pennelli



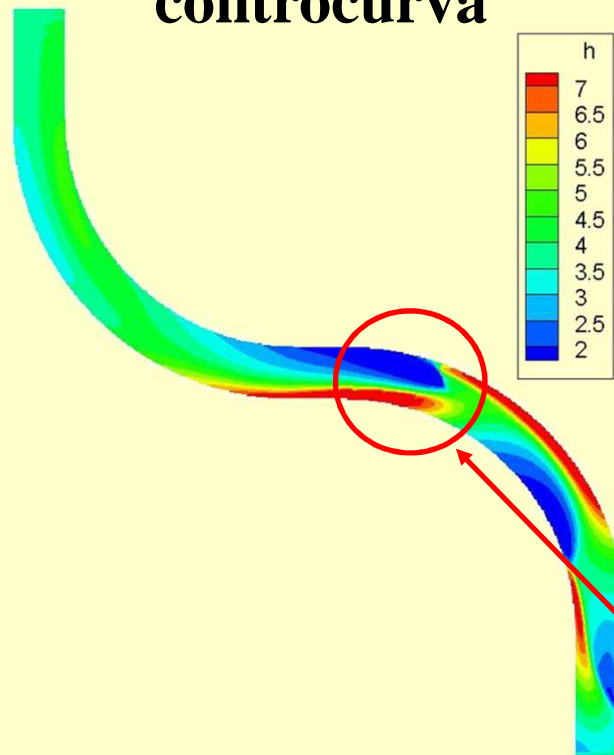
Angolo al centro: α

Lunghezza del tratto rettilineo b/b_o

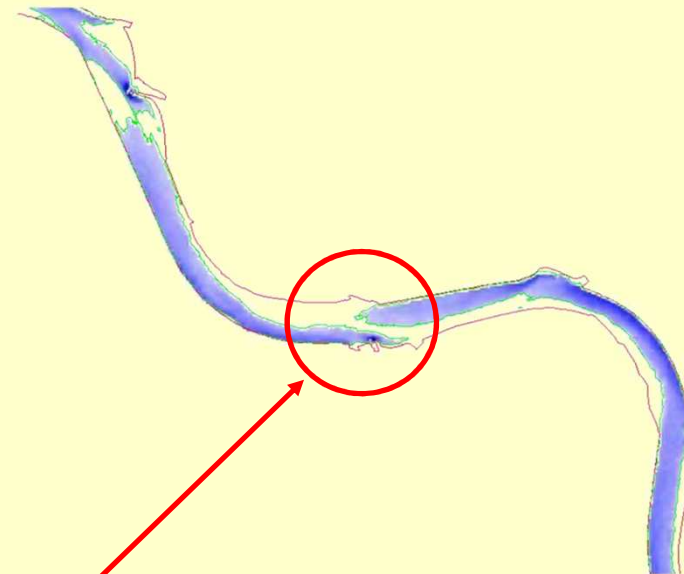
Raggio di curvatura r/b_o

Zone di basso fondale

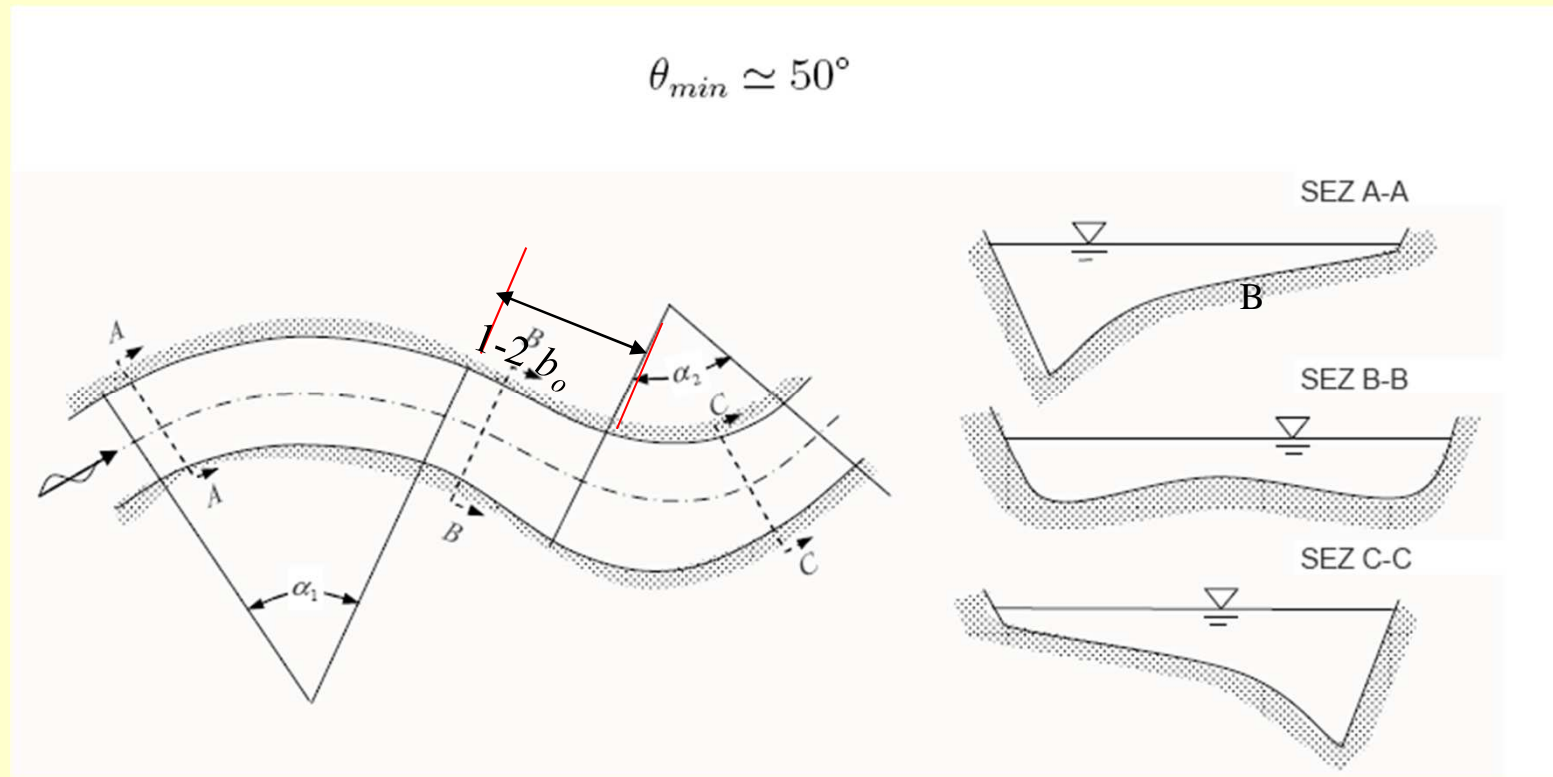
**Caso test curva -
controcurva**



**Zona di basso fondale del
Po**



basso fondale
a valle delle zone di transizione
tra la curva e la successiva controcurva



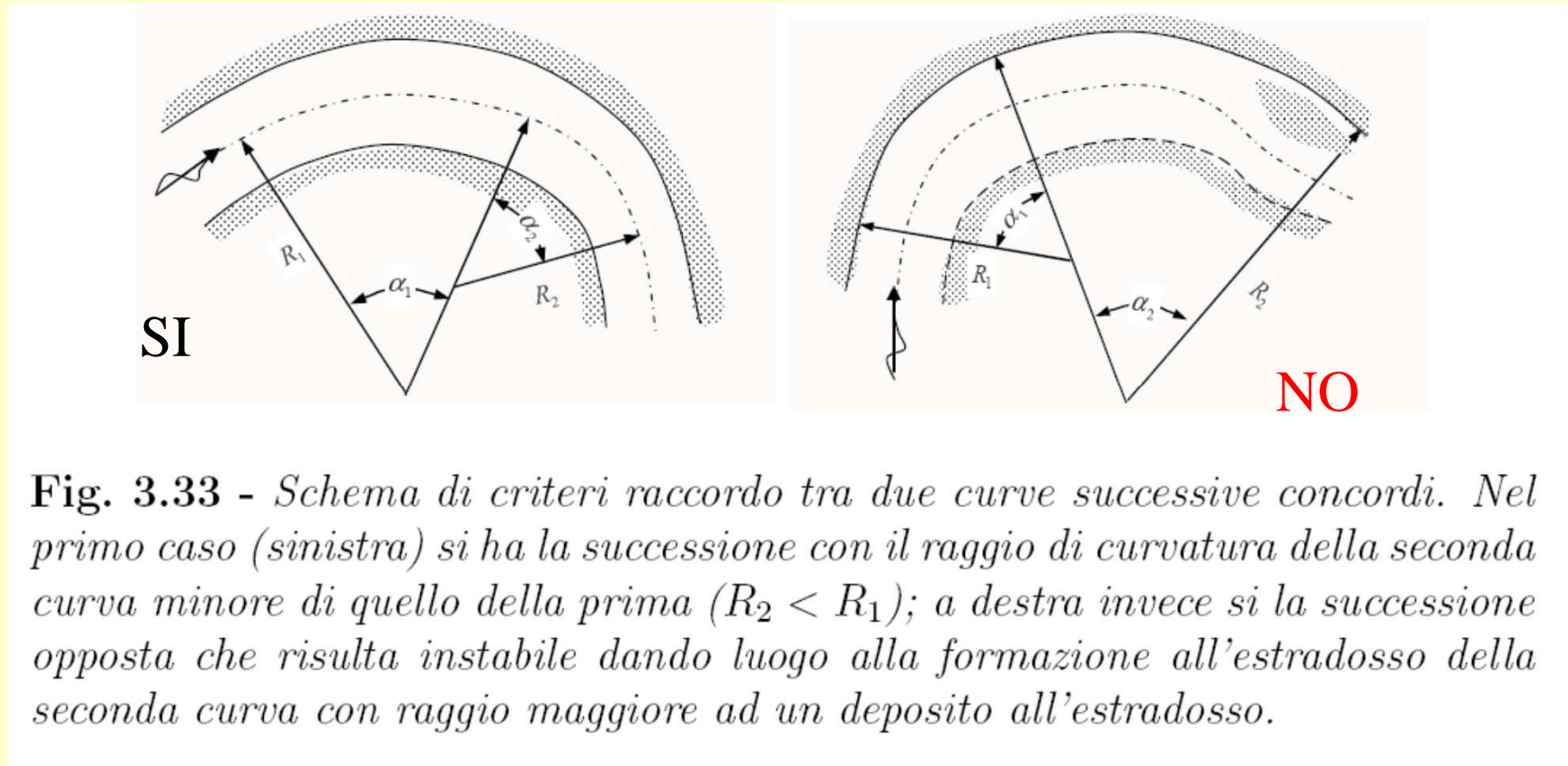
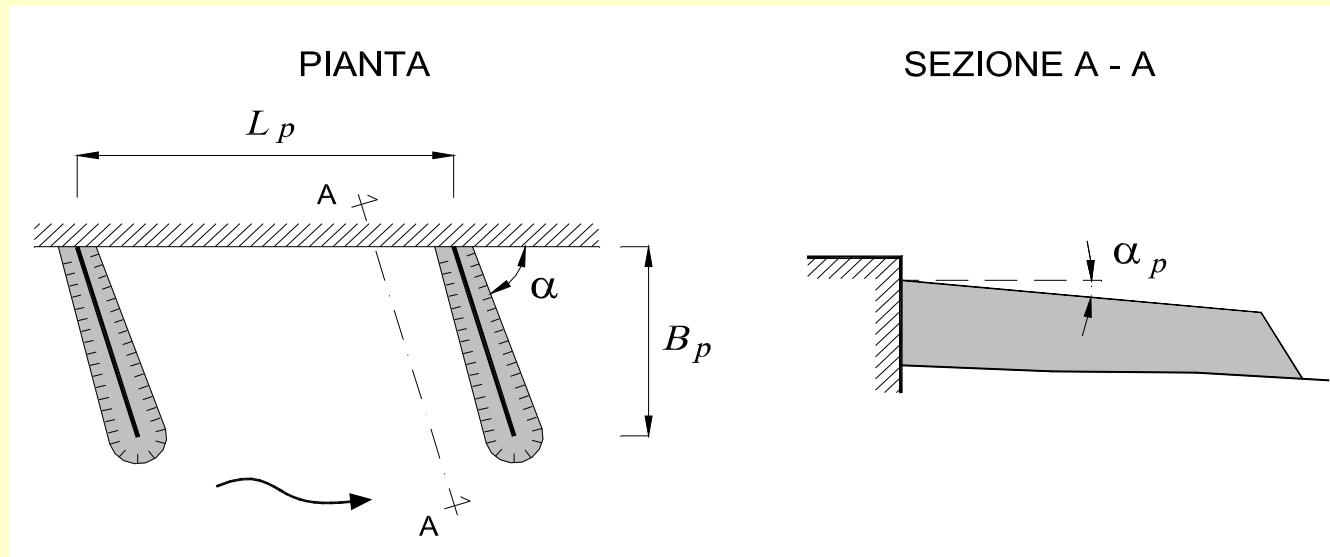


Fig. 3.33 - Schema di criteri raccordo tra due curve successive concordi. Nel primo caso (sinistra) si ha la successione con il raggio di curvatura della seconda curva minore di quello della prima ($R_2 < R_1$); a destra invece si ha la successione opposta che risulta instabile dando luogo alla formazione all'estradosso della seconda curva con raggio maggiore ad un deposito all'estradosso.

Progettazione degli interventi con pennelli

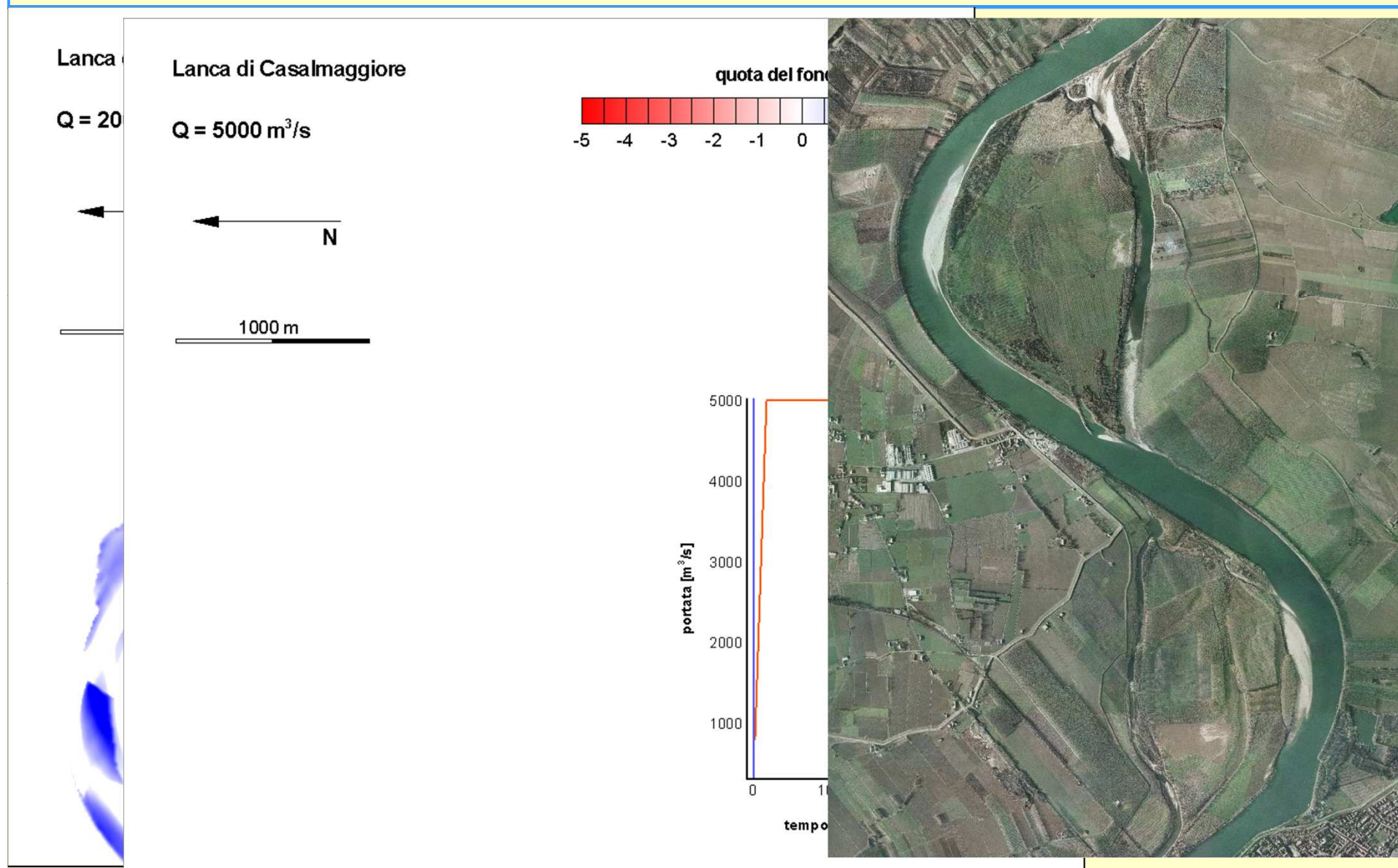


- collocazione planimetrica
- angolo di inclinazione rispetto alla sponda: α
- sporgenza all'interno dell'alveo: B_p
- distanza tra due pennelli successivi: L_p
- angolo digradante rispetto all'orizzontale della linea di sommità: α_p
- Forma dei pennelli (rettilinei, curvi, a T, ad L)

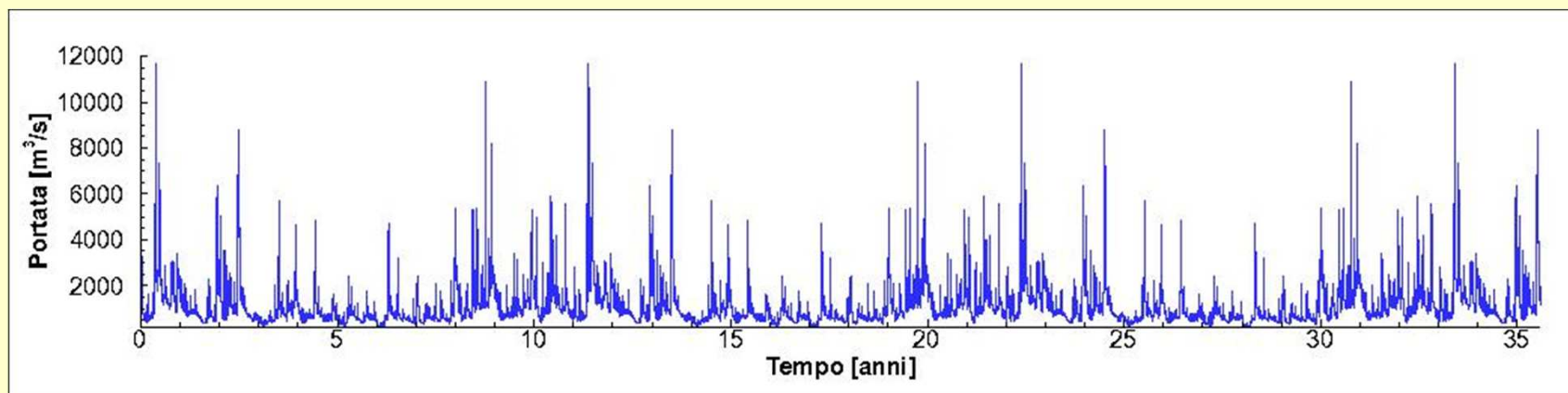
Basso n.6



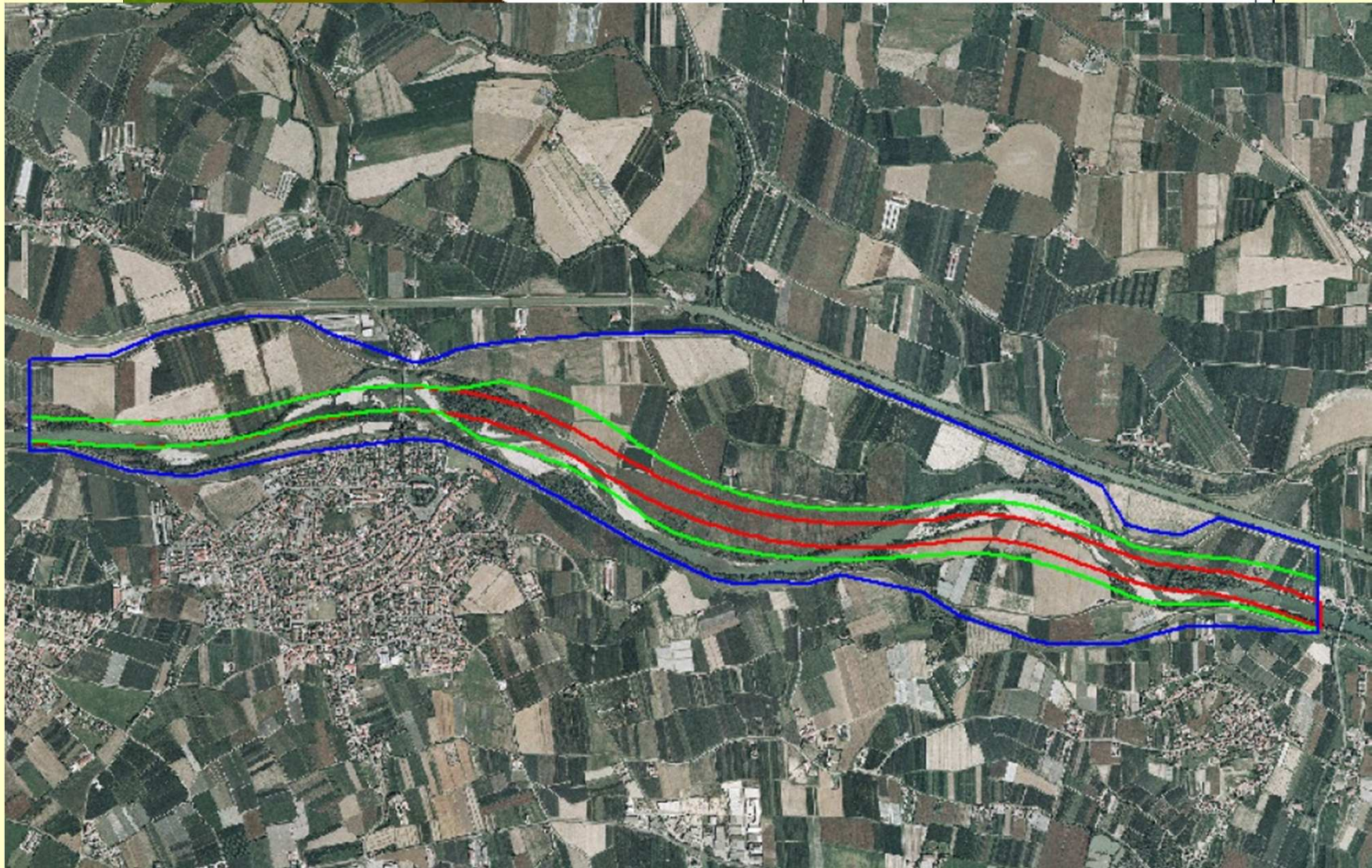
Riattivazione delle lanche: lanca di Casalmaggiore



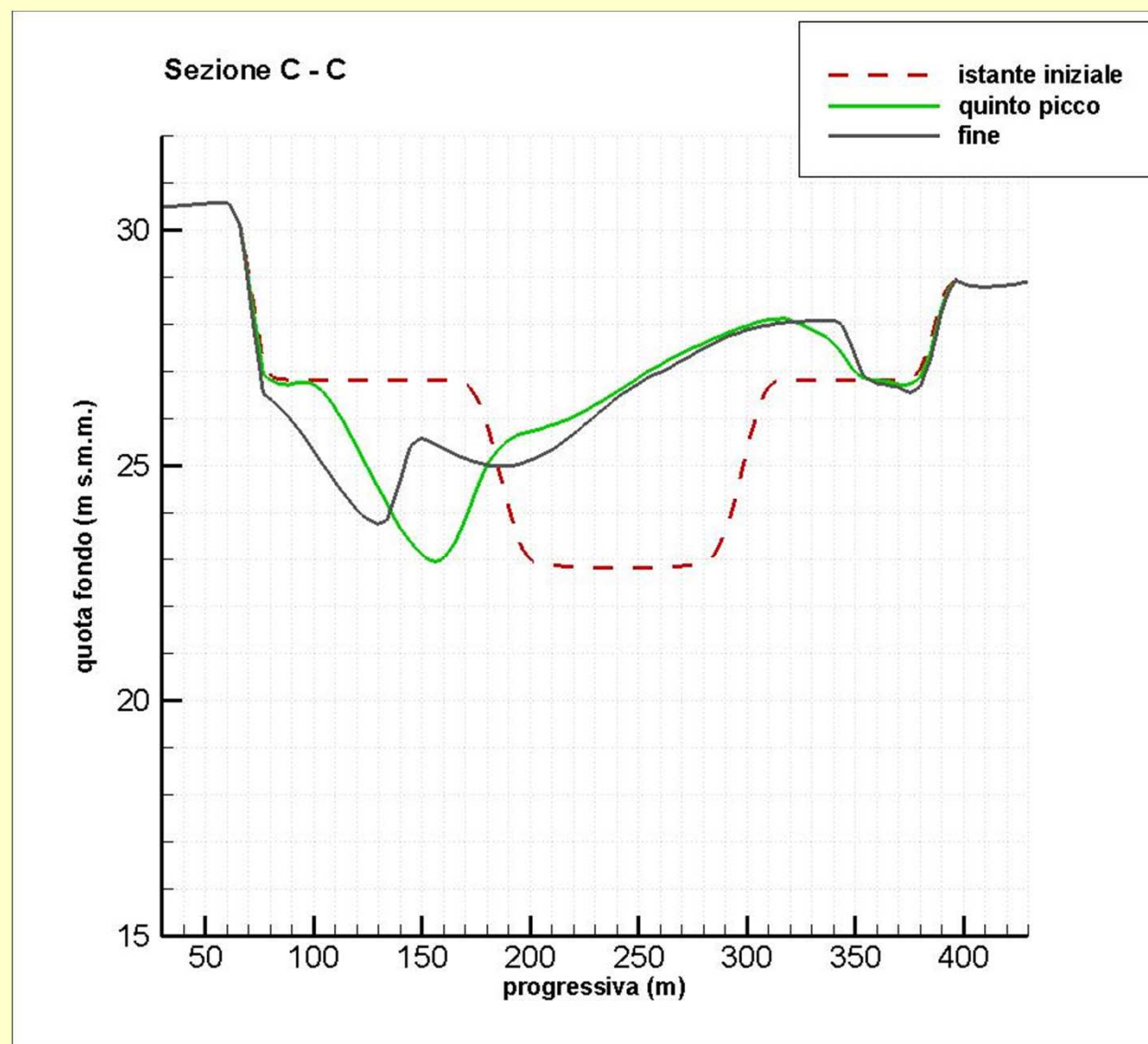
Impatto ambientale: evoluzione a lungo termine



Intervento “effimero” di protezione di sponda



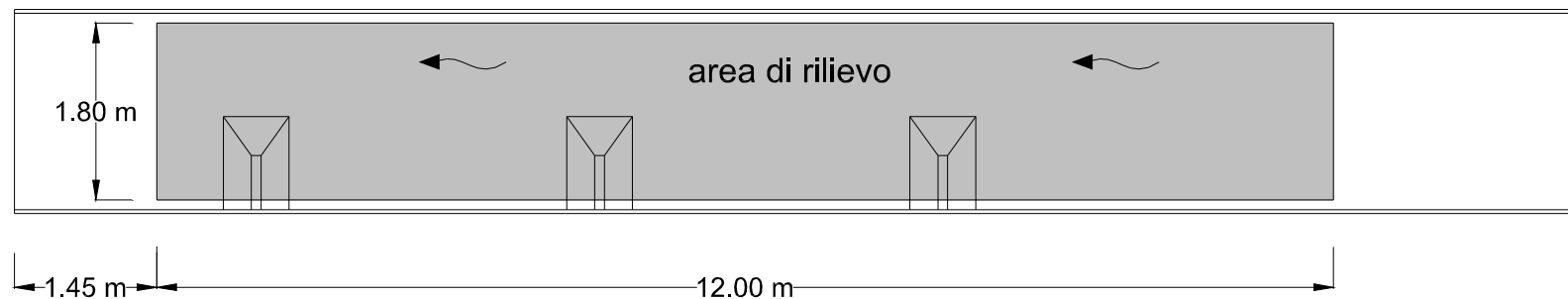
Intervento “effimero” di protezione di sponda



Modelli fisici di evoluzione morfologica



Area di rilievo fondo mobile



Riproduzione dei pennelli su modello

Differenti tipologie in base alla struttura della fondazione

Rigidi



Flessibili

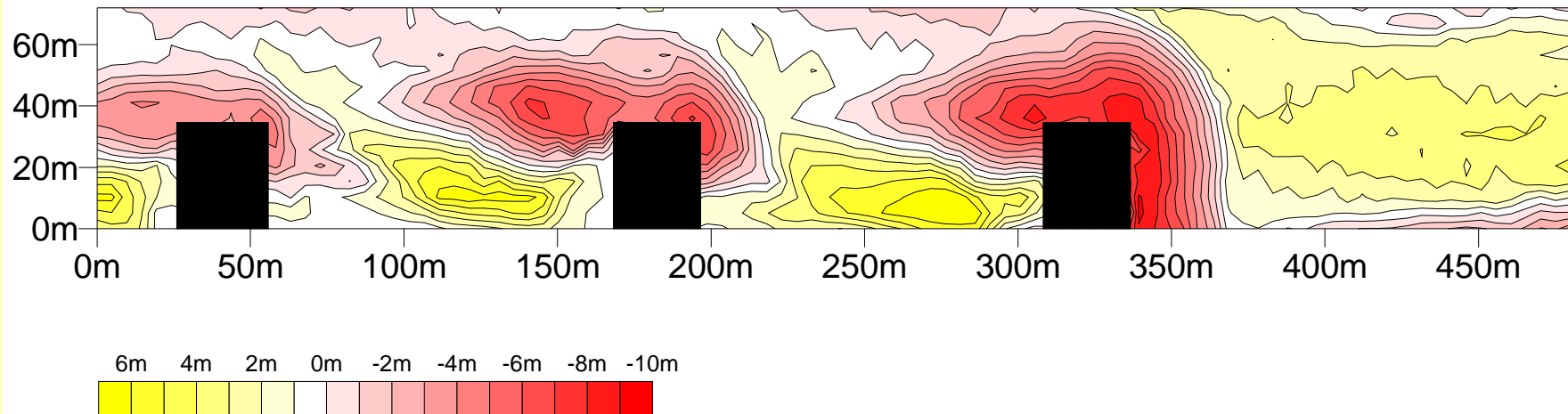


I risultati

Esempio di restituzione a curve di livello del rilievo laser a fine prova

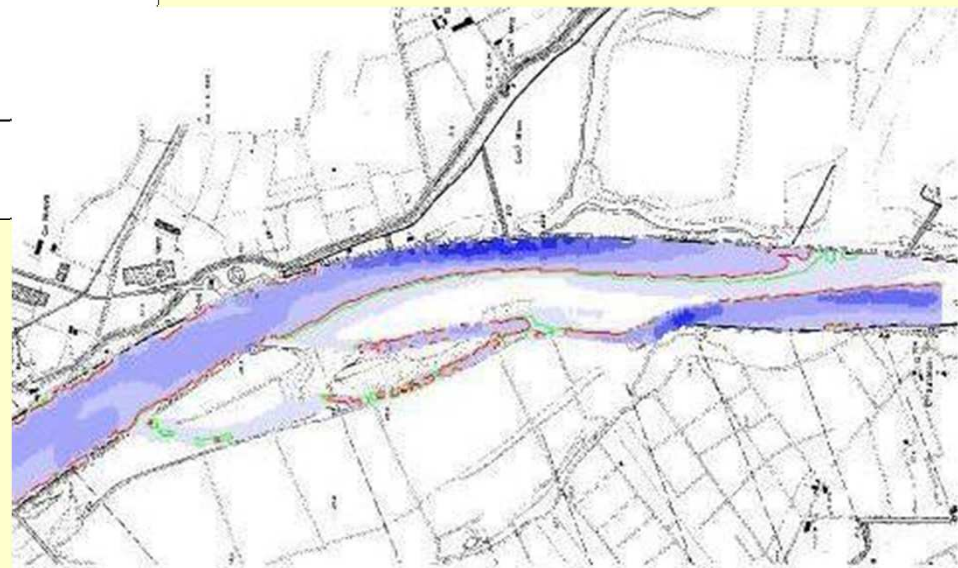
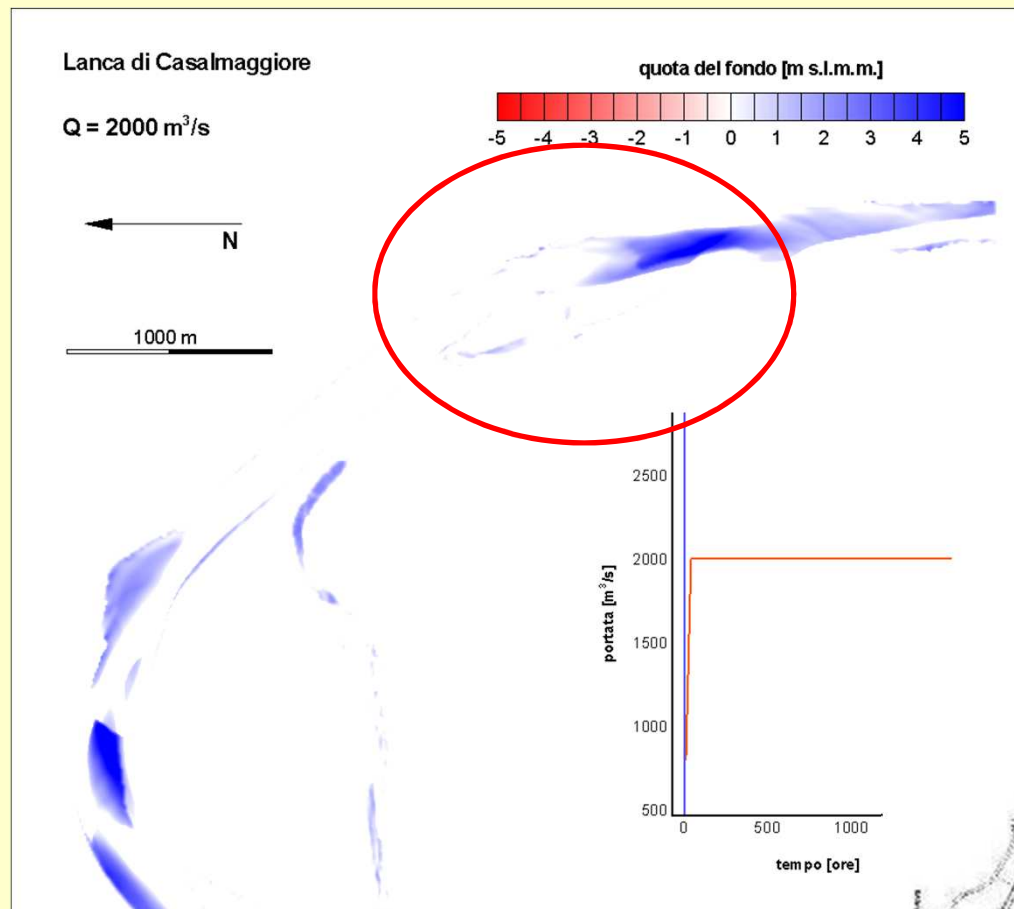
Prova n°6

Configurazione A - Portata 40 l/s - durata 48 ore

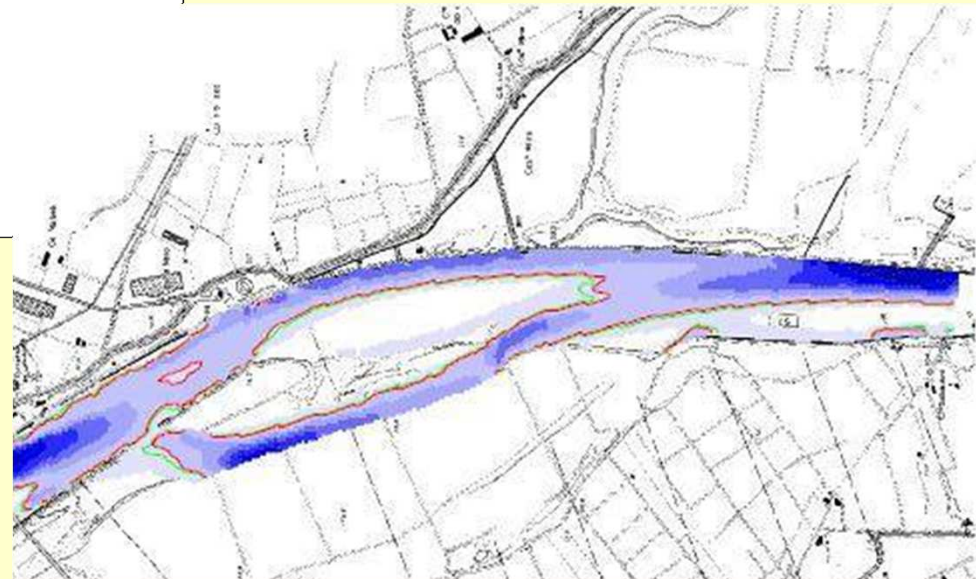
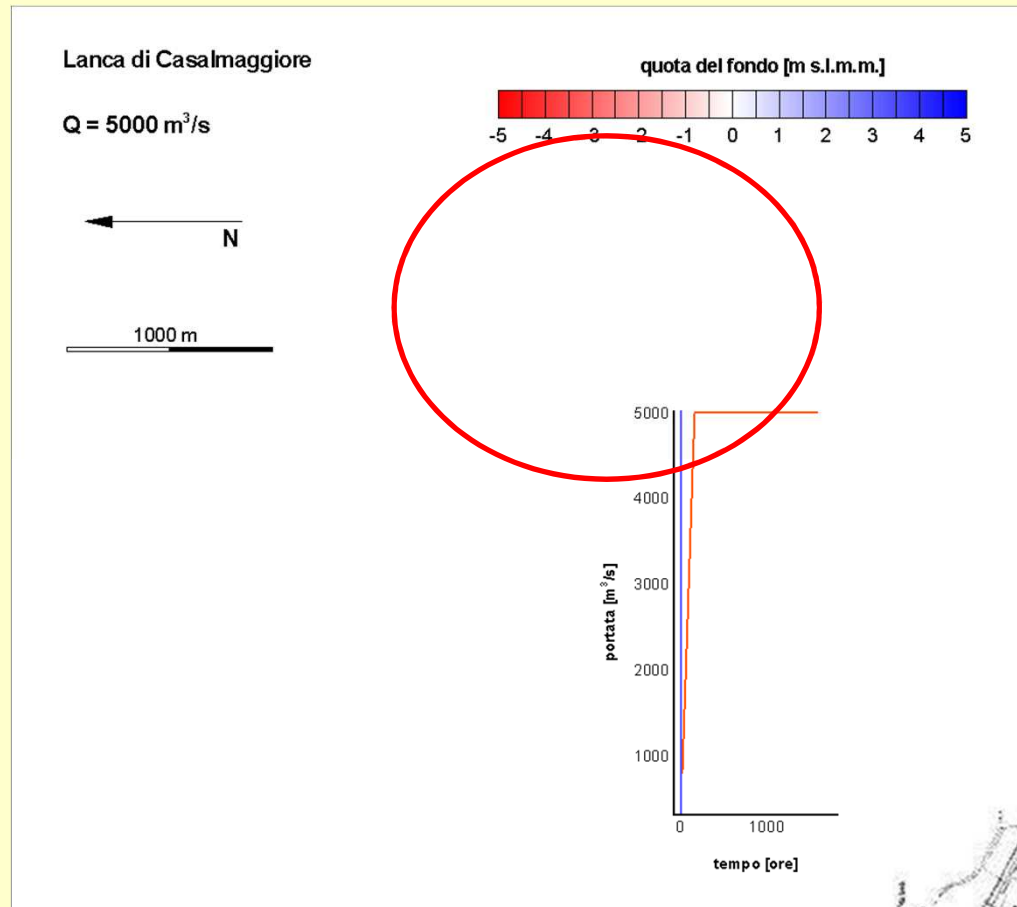


**Grazie
dell'attenzione**

Riattivazione di canali a scopo naturalistico

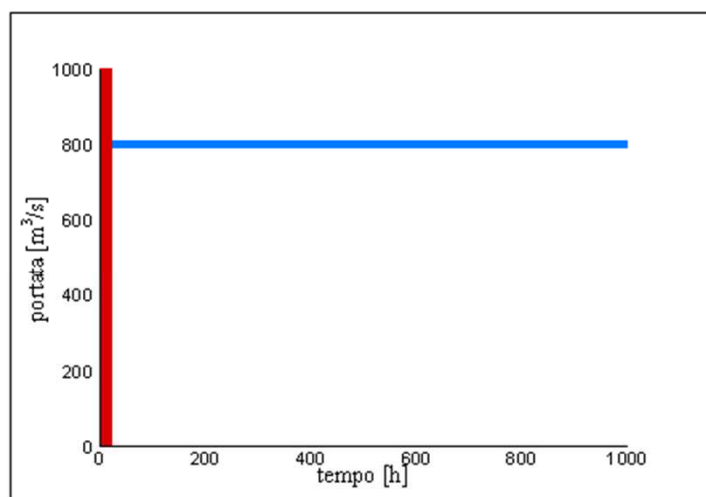


Riattivazione di canali a scopo naturalistico

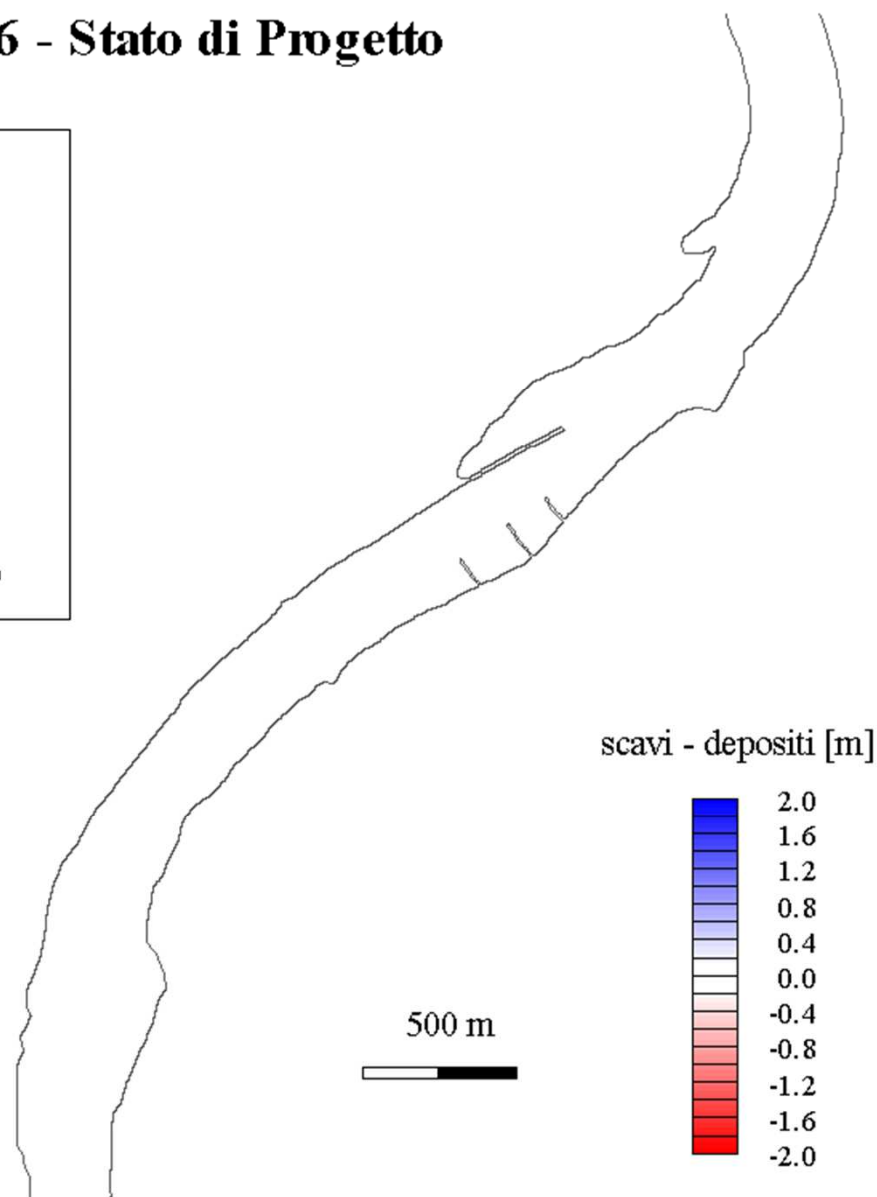


Zone di basso fondale

Basso 6 - Stato di Progetto



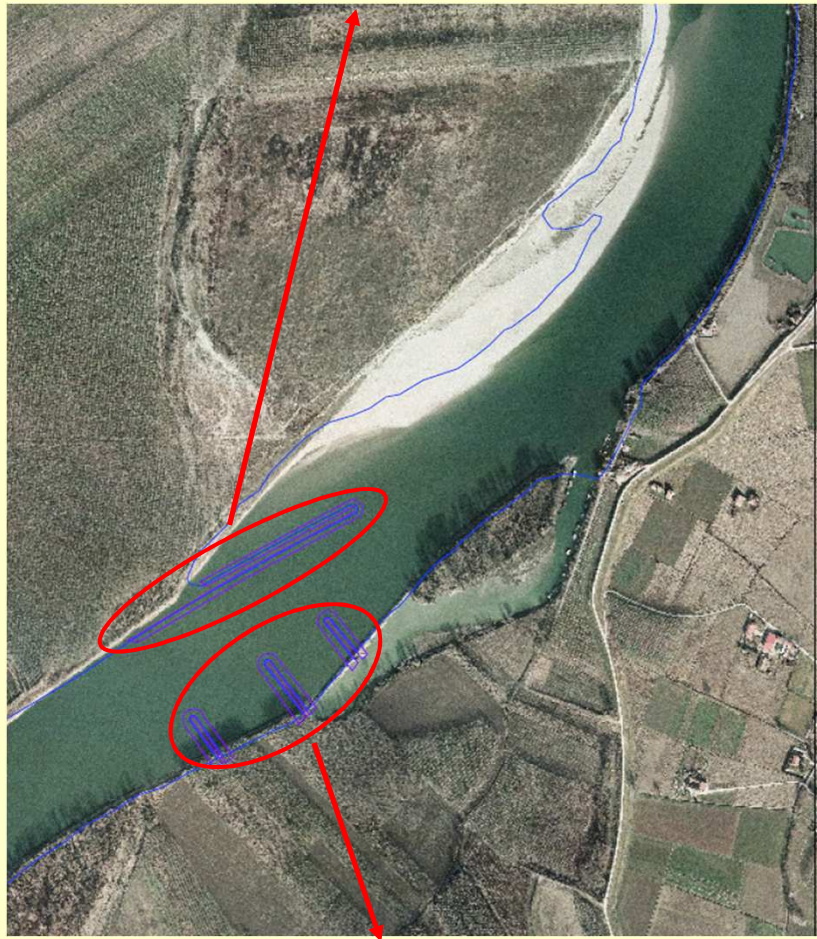
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI TRENTO
CUDAM - Centro Universitario per la Difesa
Idrogeologica dell'Ambiente Montano



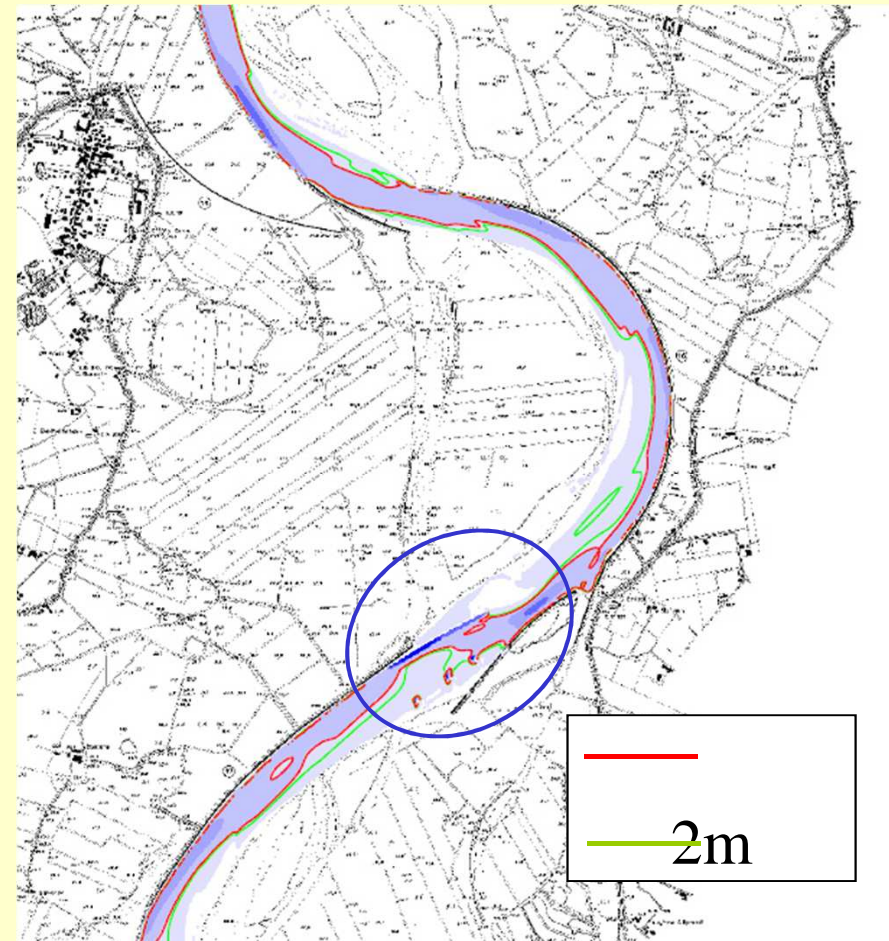
Zone di basso fondale

Basso 6

allungamento pennello longitudinale in sponda sinistra



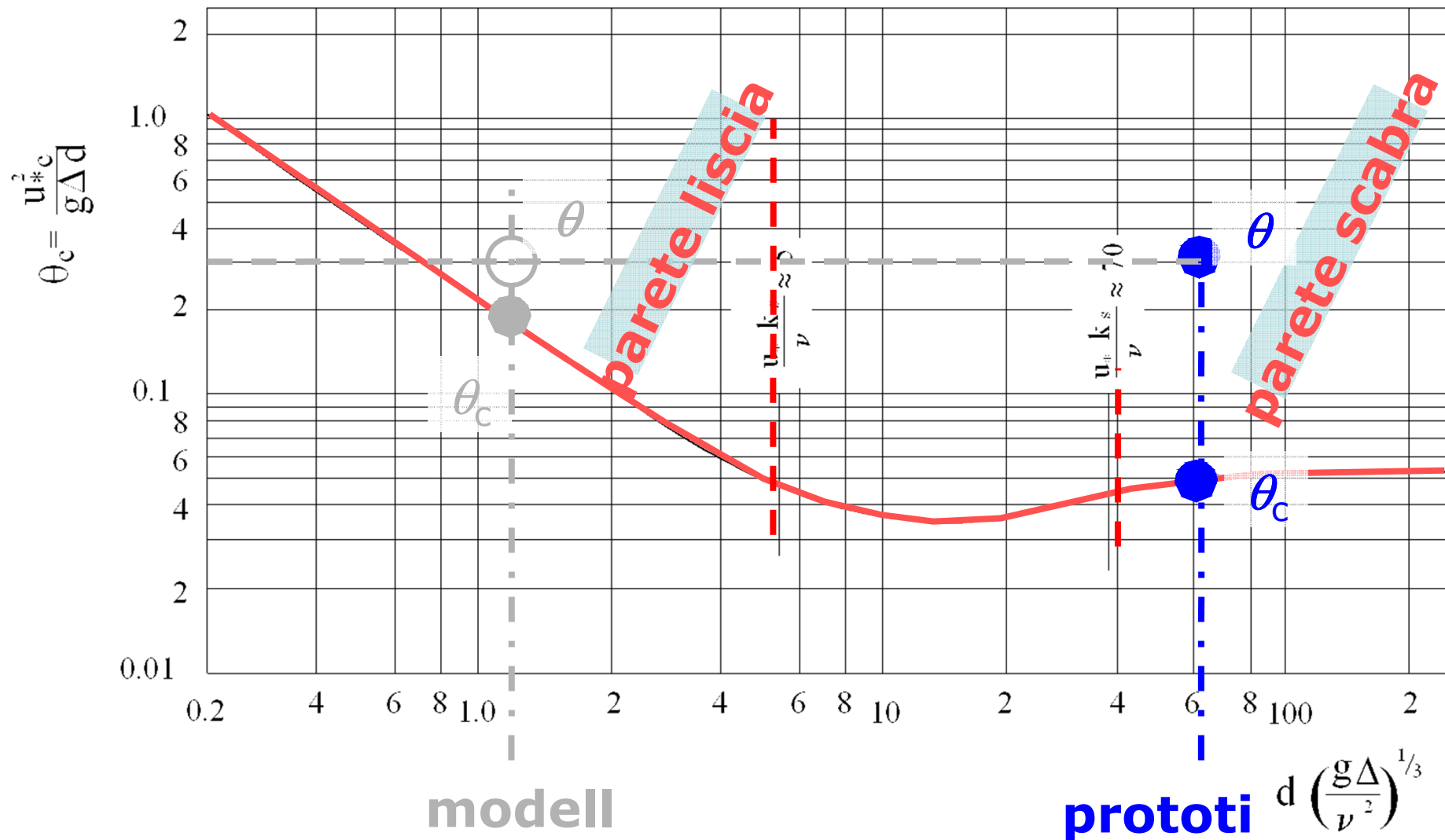
3 pennelli trasversali in sponda destra



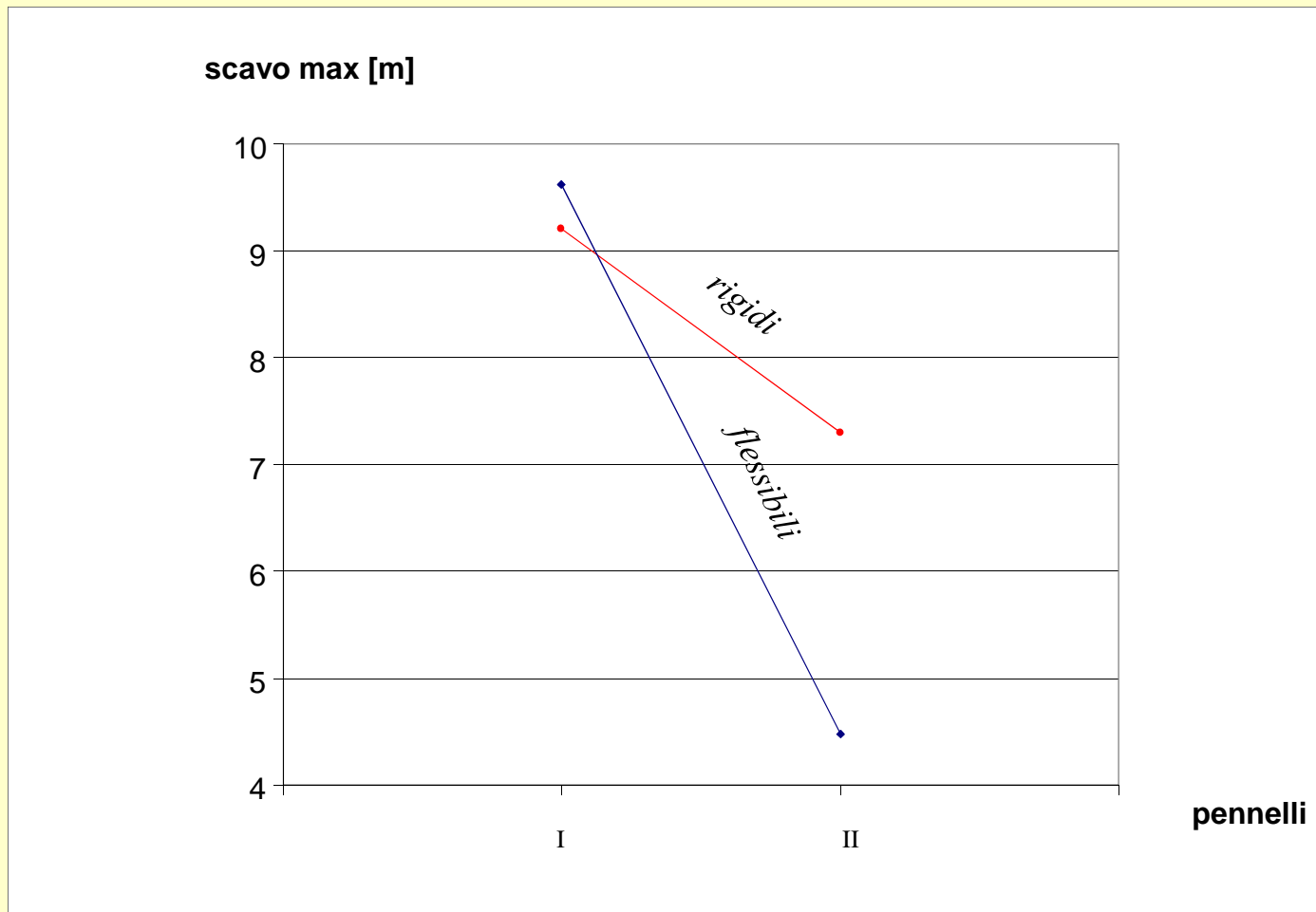
2.5 m

Considerazioni metodologiche sui modelli fisici

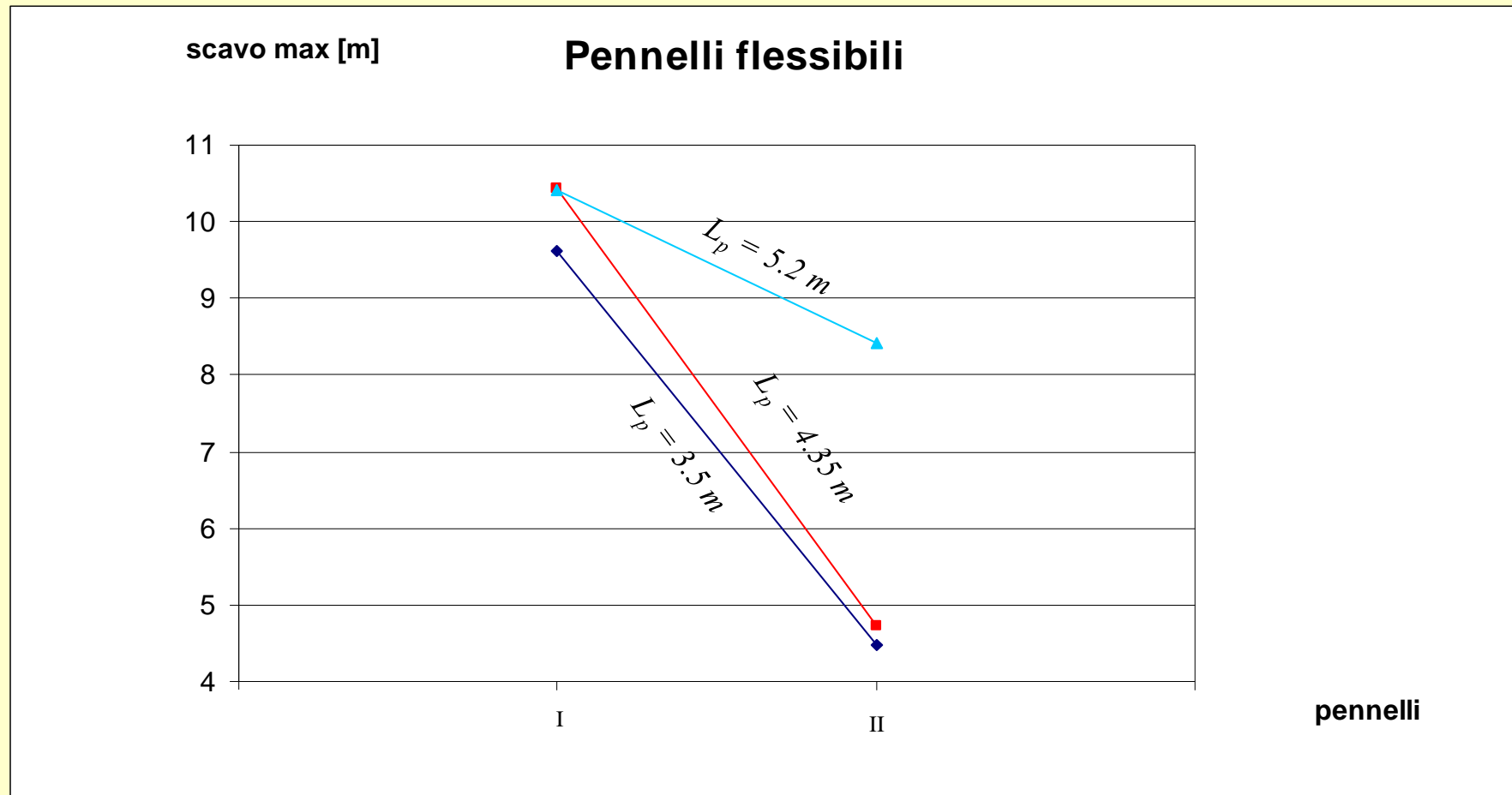
Riduzione in scala del trasporto solido:
diagramma di Shields



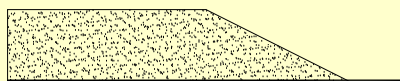
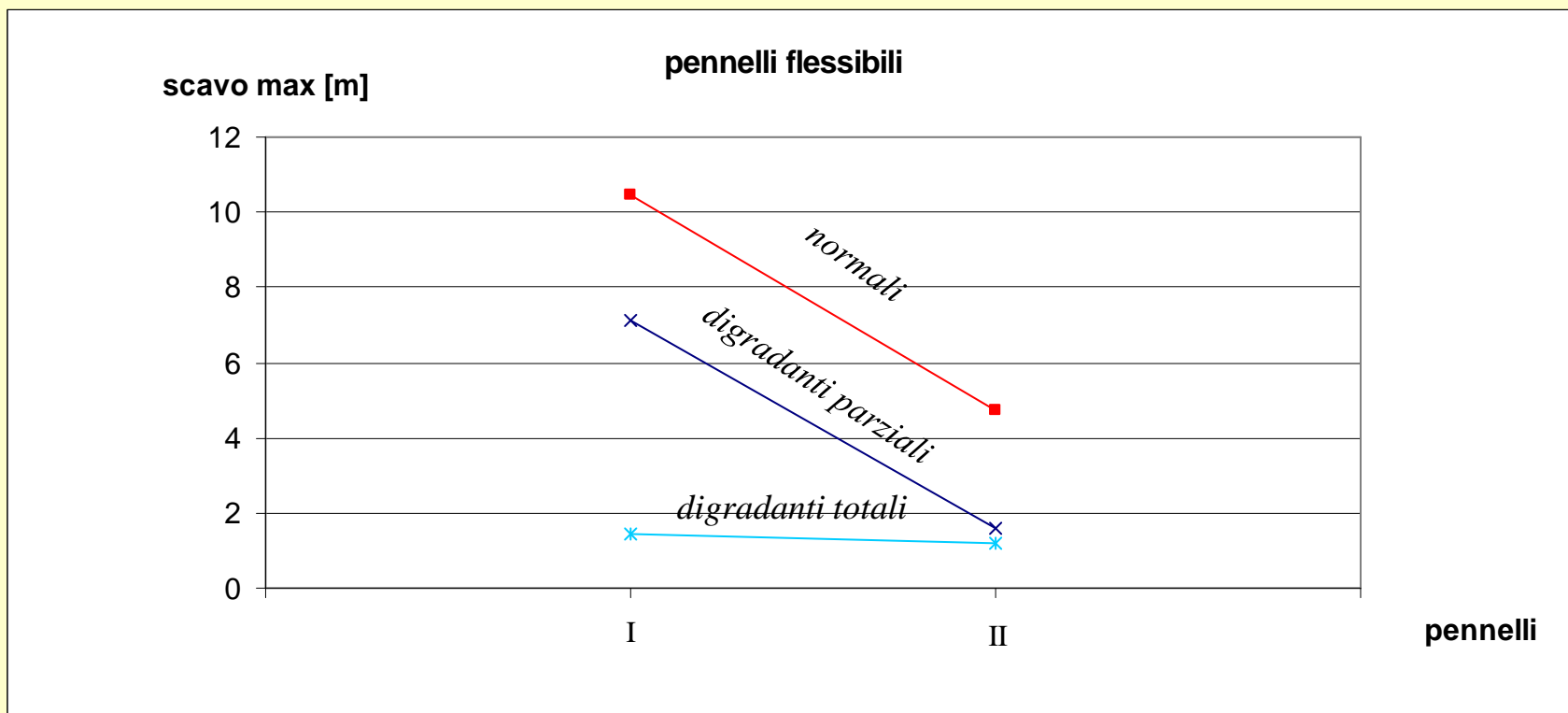
Risultati



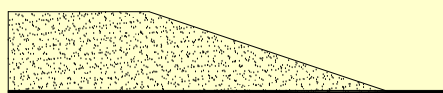
I risultati



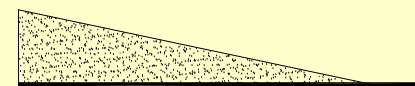
I risultati



normali

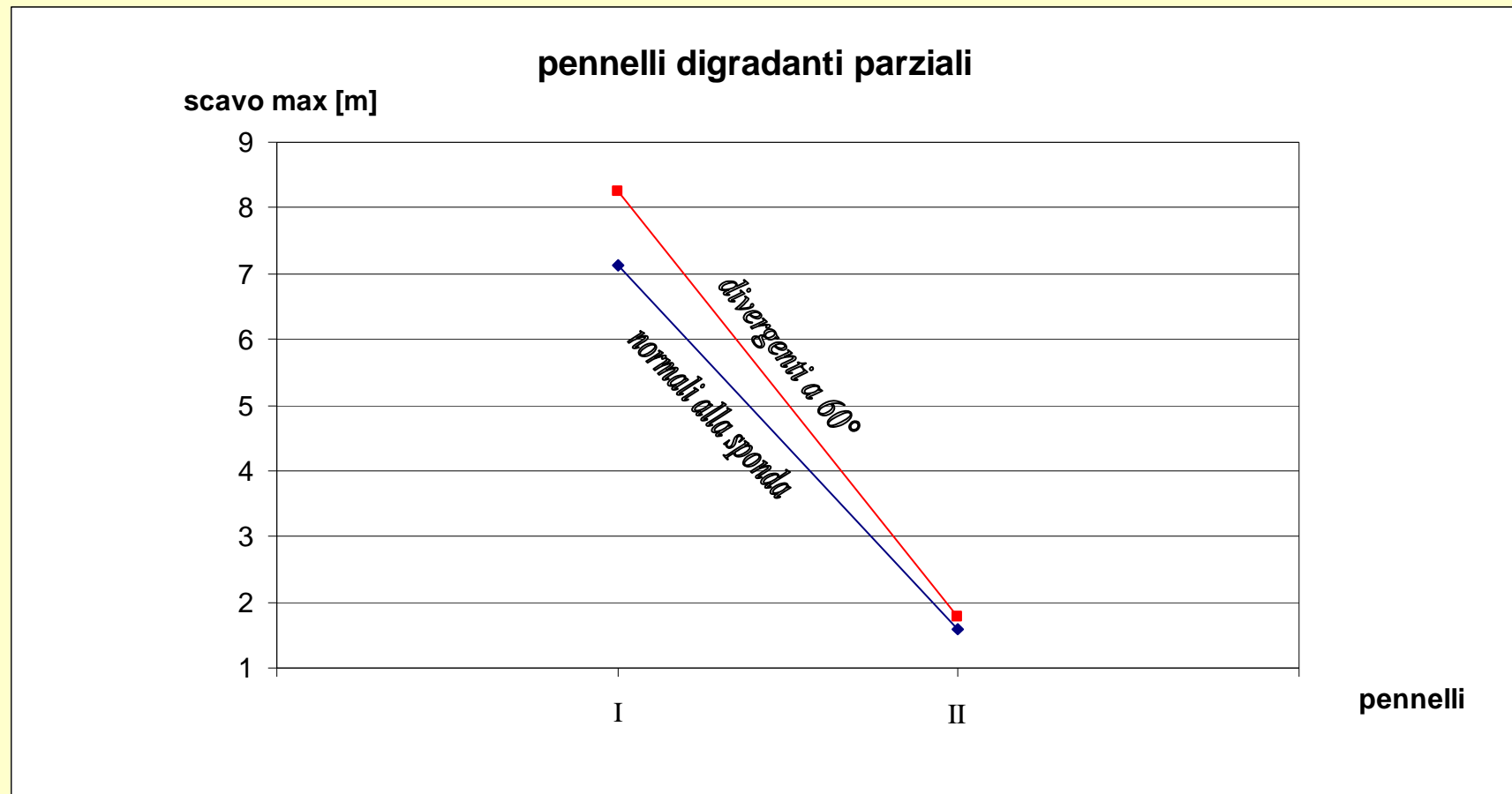


digradanti parziali



digradanti totali

Configurazioni adottate

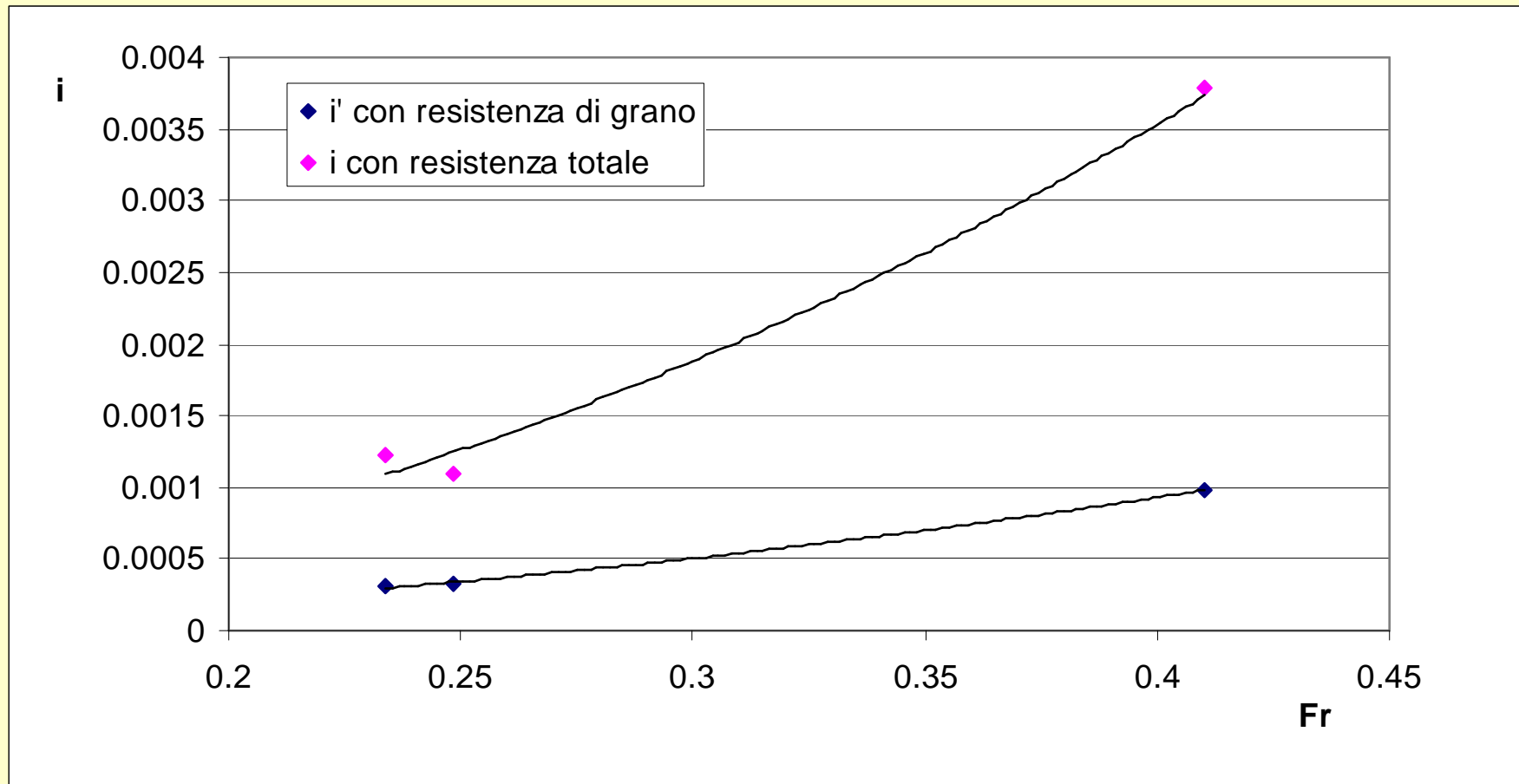


digradanti parziali

Le conclusioni

- i pennelli flessibili assolvono il compito di aumentare la zona di ripascimento tra di essi;
- i pennelli flessibili sono in grado di indurre l'abbassamento dell'alveo nella zona di fronte ad essi, tuttavia tale effetto risulta più confinato rispetto ai pennelli rigidi;
- i pennelli flessibili susseguenti al primo danno origine in loro prossimità ad uno scavo localizzato di minor entità rispetto a quello originato dai pennelli rigidi;
- nel corso delle prove con pennello flessibile da progetto è stato osservato un crollo, anche se di limitata entità, nella parte anteriore del primo pennello, cioè quello maggiormente investito dalla corrente; un problema di tal genere invece è stato riscontrato per il secondo pennello solo in occasione dell'aumento massimo dell'interasse.

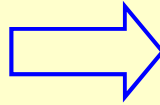
Analisi preliminari



Verifiche preliminari

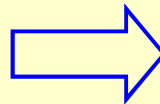
Verifica del corretto funzionamento di tutti gli apparati

Messa a punto delle procedure da utilizzare nelle fasi iniziali e finali delle prove



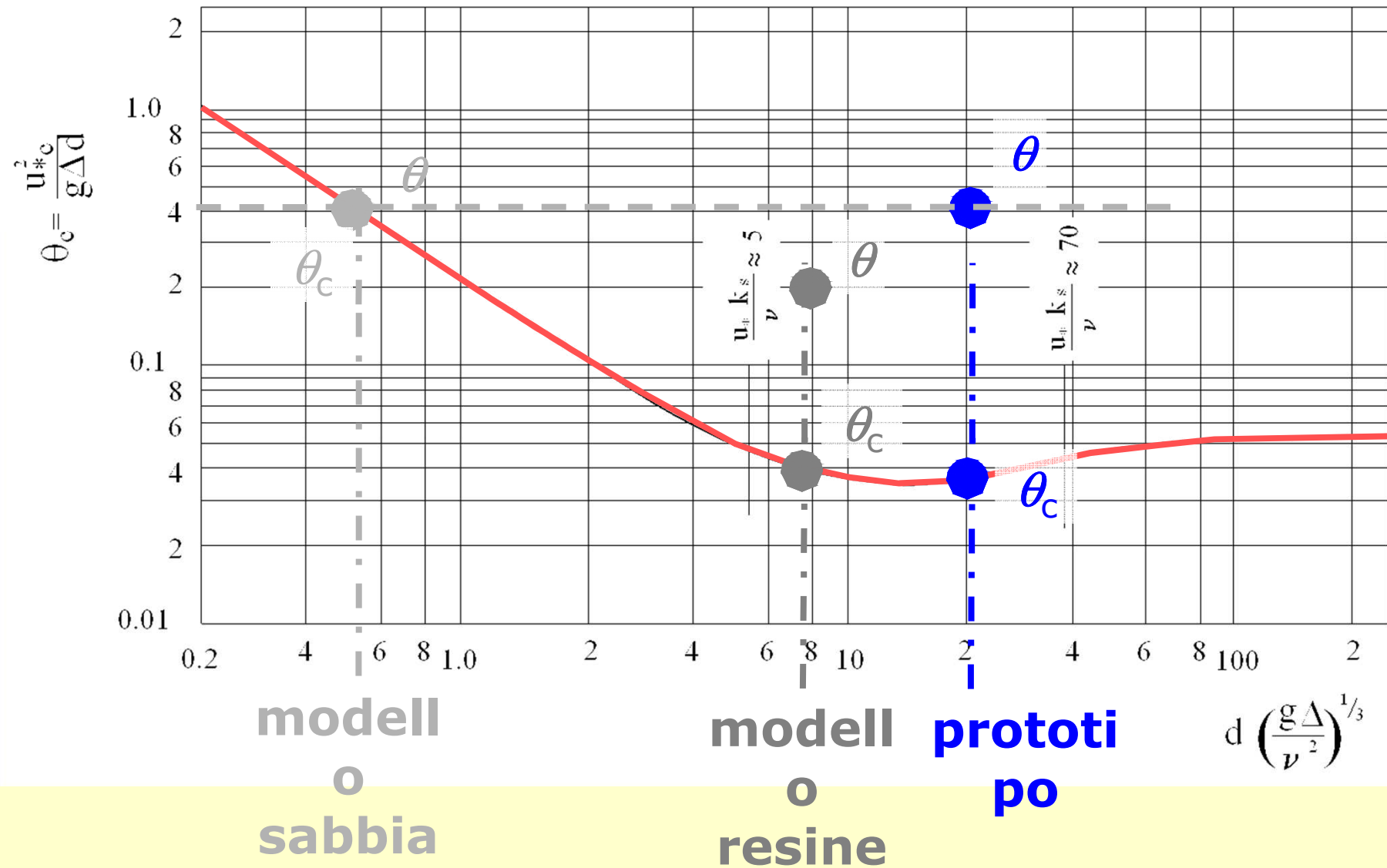
Fasi fondamentali nei modelli a fondo mobile, la cui ottimizzazione ha richiesto un elevato dispendio di tempo

Messa a punto del sistema per il rilievo piano altimetrico del fondo

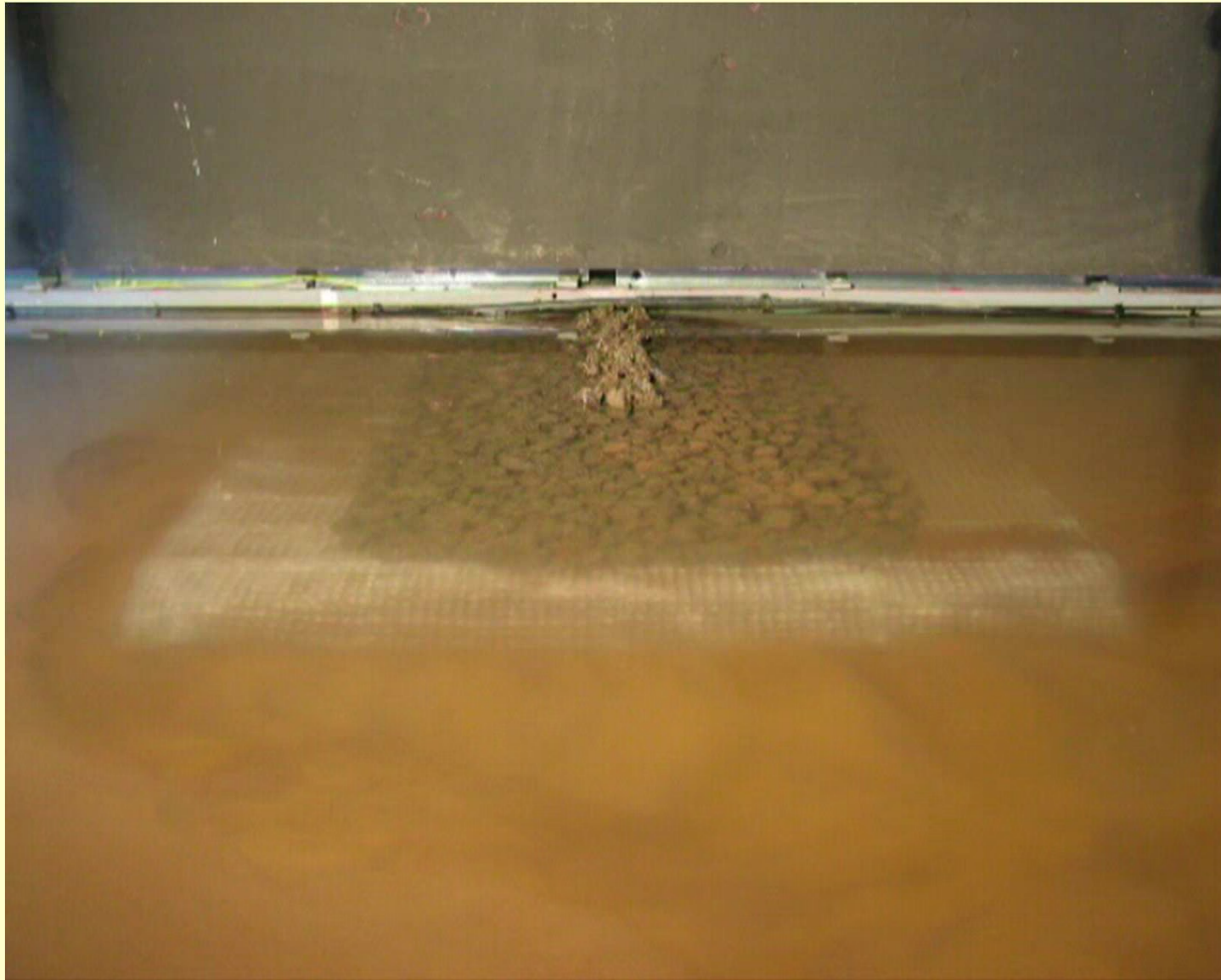


Taratura ad hoc del profilatore laser

Caratteristiche del modello



I risultati



Suggerimenti

Quanto detto suggerisce un supplemento di analisi a riguardo di una possibile estensione della zona ricoperta dai tappeti zavorrati, soprattutto nella zona antistante ai pennelli, onde prevenire il crollo osservato nel corso delle prove già effettuate.

Inoltre risulta che un aumento della distanza tra i pennelli porti effetti significativi per l'erosione indotta. Elementi utili per una migliore progettazione dei pennelli potrebbero giungere dall'effettuazione di prove in cui sia approfondito:

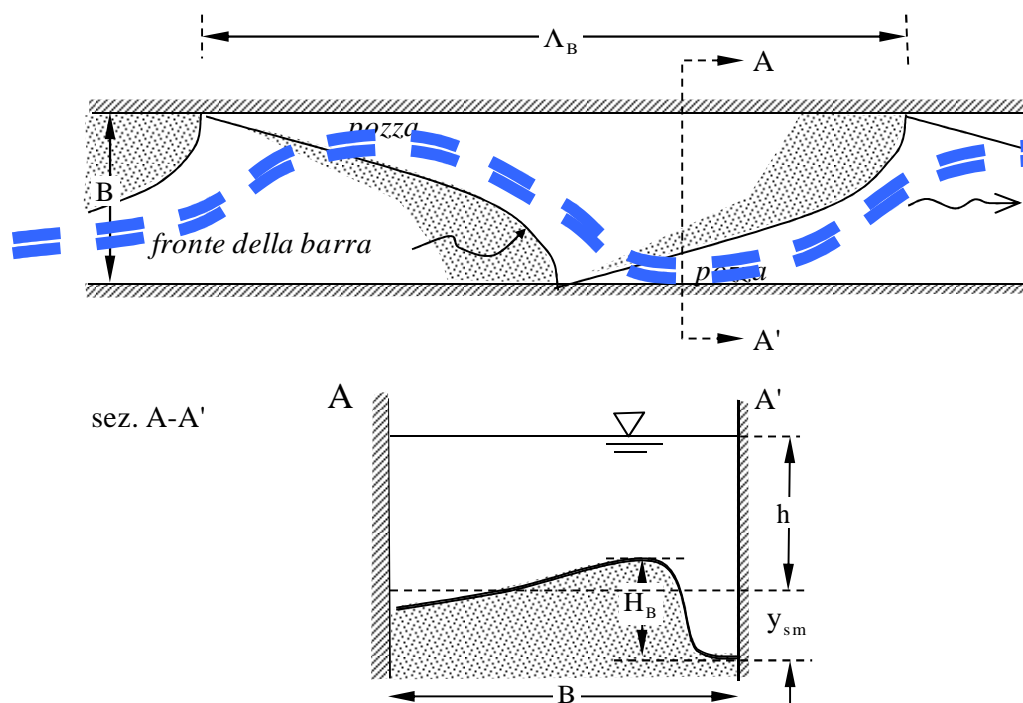
- l'effetto della variazione dell'interasse fra i pennelli;
- l'effetto della modificazione dell'angolo di attacco dei pennelli alla sponda;
 - il comportamento di pennelli digradanti.

Aspetti questi che non si sono potuti valutare nei tempi previsti, a causa della dilatazione, non prevedibile a priori, dei tempi necessari all'esecuzione delle prove.

MORFOLOGIA FLUVIALE E PAESAGGIO

ALVEO QUASI-RETTILINEO

BARRE alternate



INTERVENTI NELLE CURVE

Lunghezza dei pennelli

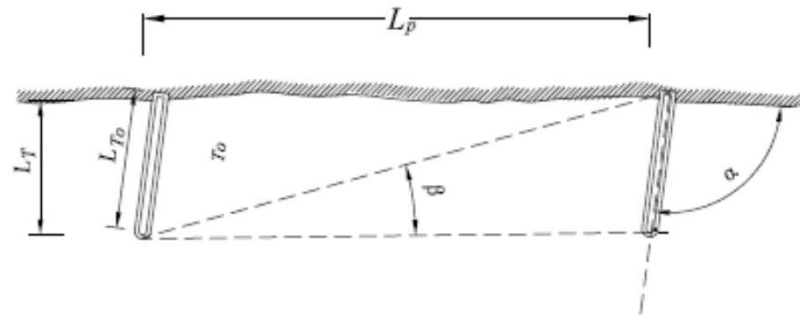
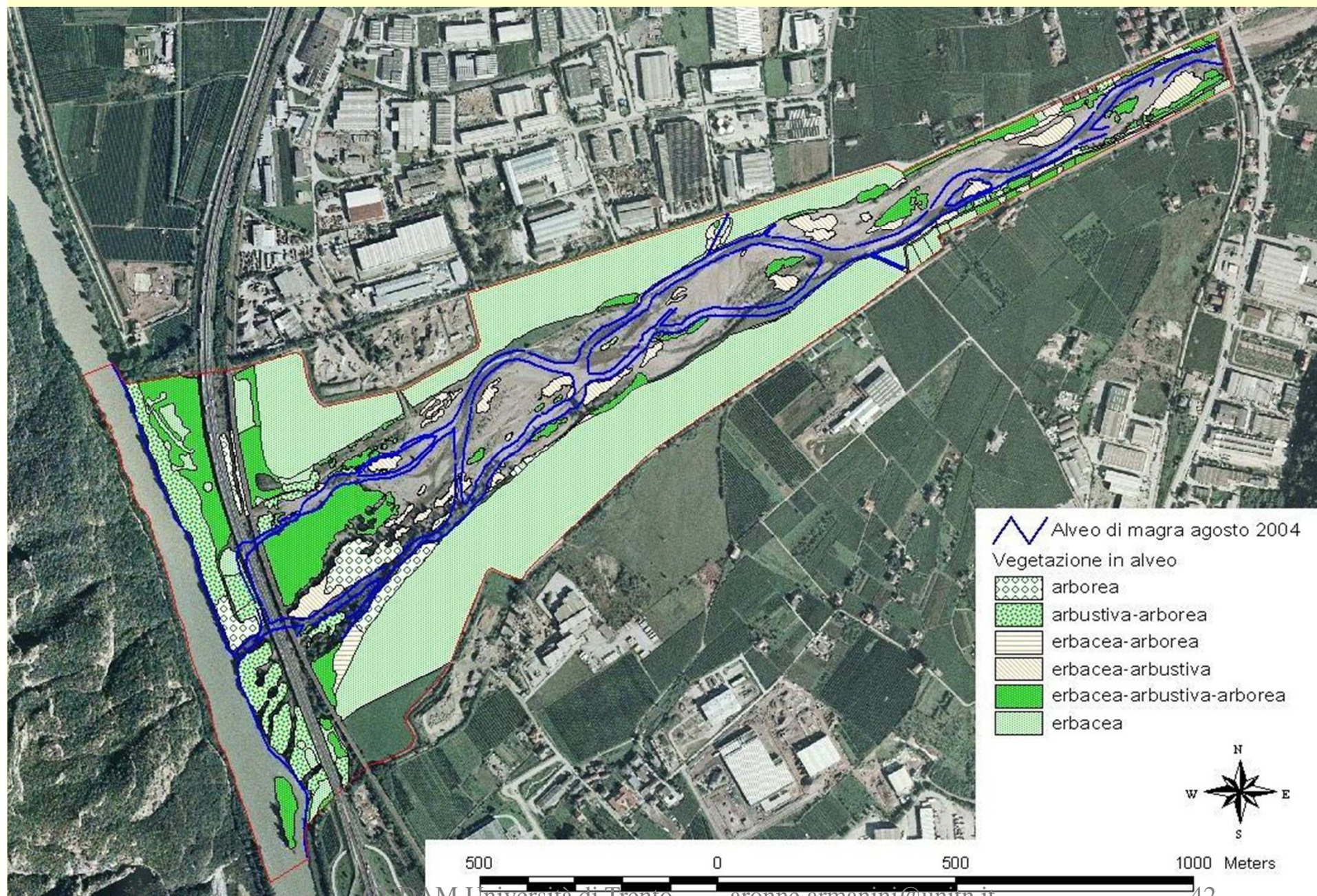


Fig. 3.37 - *Schema per la valutazione della lunghezza dei pennelli* Esistono delle regole pratiche, soprattutto per i corsi d'acqua minori:

$$h \leq L_T \leq \frac{B}{4} \quad (3.41)$$



Evoluzione del fondo

Stato attuale
 $d_{50}=0.03$ m

Tempo = 1 h

