



DICCA

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale.
Università di Genova

LA MODELLAZIONE MORFODINAMICA PER LA GESTIONE DEI CORSI D'ACQUA

M. Bolla Pittaluga & G. Seminara

La Morfodinamica Fluviale

➤ **La morfodinamica fluviale studia l'assetto altimetrico e planimetrico degli alvei fluviali**, le loro configurazioni di equilibrio e la risposta del corso d'acqua a perturbazioni di tali configurazioni, siano esse dovute a fenomeni naturali o ad interventi antropici.



I Modelli della Morfodinamica Fluviale

I MODELLI MONODIMENSIONALI (1D)

INFORMAZIONI POSSIBILI:

- Determinazione dell'evoluzione del **profilo altimetrico** del **FONDO MEDIO** del corso d'acqua al variare delle condizioni al contorno:
 - ✓ variazione degli apporti solidi/liquidi (costruzione di invasi, opere di derivazione, ...).
 - ✓ variazioni di geometria dell'alveo (restringimenti, allargamenti, ...);
 - ✓ variazione del livello della superficie libera o del fondo.

INFORMAZIONI NON POSSIBILI:

- **Assetto trasversale** del fondo indotto dalla curvatura dell'asse della corrente o dalla propagazione di forme di fondo di grande scala (barre);
- Predizione dell'entità degli scavi e depositi indotti da **fenomeni localizzati** (pile di ponti, pennelli trasversali, ecc...).

I Modelli della Morfodinamica Fluviale

I MODELLI BI- e TRI-DIMENSIONALI (2D e 3D)

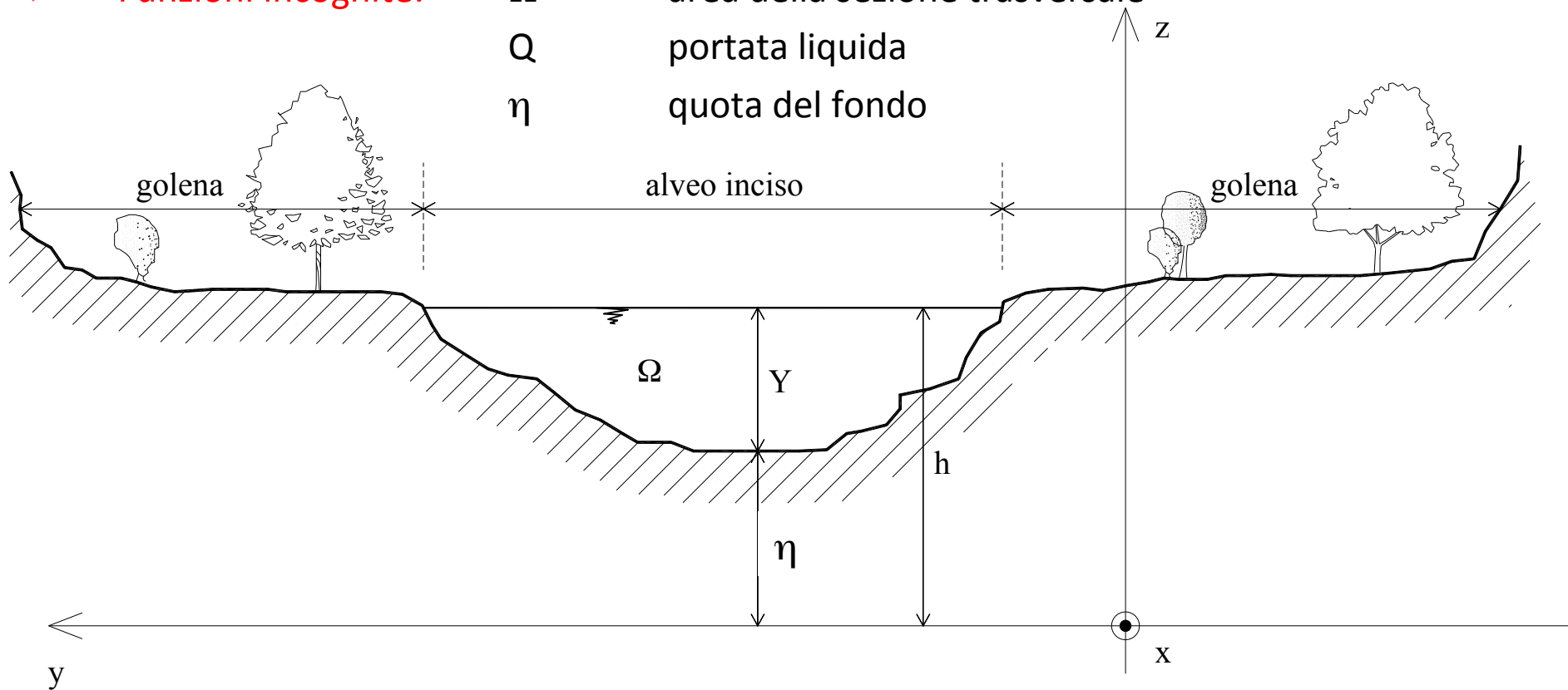
INFORMAZIONI POSSIBILI:

- Determinazione delle perturbazioni della topografia, **trasversale** e **longitudinale** del fondo (scavi e depositi) dovute a:
 - ✓ **INSTABILITA' del FONDO:** Formazione di megaforme di fondo (**barre migranti**).
 - ✓ **EFFETTI FORZANTI legati alla GEOMETRIA:** Formazione di **barre forzate** dovute alla curvatura dell'asse dell'alveo.
 - ✓ **FENOMENI LOCALIZZATI:** erosione intorno a pile di ponti, erosione a valle di platee.

Formulazione del Problema della Morfodinamica Fluviale

FORMULAZIONE DEL MODELLO MONODIMENSIONALE (1D)

- **Variabili indipendenti:**
- | | |
|-----|--------------------------|
| x | coordinata longitudinale |
| t | tempo |
- **Funzioni incognite:**
- | | |
|----------|--------------------------------|
| Ω | area della sezione trasversale |
| Q | portata liquida |
| η | quota del fondo |



Formulazione del Problema della Morfodinamica Fluviale

FORMULAZIONE DEL MODELLO MONODIMENSIONALE (1D)

➤ **Variabili indipendenti:** x coordinata longitudinale
 t tempo

➤ **Funzioni incognite:** Ω area della sezione trasversale
 Q portata liquida
 η quota del fondo

➤ **Equazioni di bilancio:**

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \Omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_e \quad \text{(Continuità fase liquida)} \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\beta \frac{Q^2}{\Omega} \right) + g\Omega \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{Q^2}{\Omega C^2 R} = q_l \frac{Q}{\Omega} \quad \text{(Principio quantità di moto)} \\ (1-p)b_f \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial Q_s}{\partial x} = q_{sl} \quad \text{(Continuità fase solida)} \end{array} \right.$$

➤ **Condizioni al contorno + relazione di chiusura per la portata solida Q_s**

Assetto di Equilibrio del Fondo nei Corsi d'Acqua Naturali

CONFIGURAZIONI DI EQUILIBRIO MORFODINAMICO

L' Equilibrio implica $\rightarrow \frac{\partial}{\partial t} = 0$

Equazione di continuità 1D della fase fluida

$$\frac{\partial \Omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_\ell$$

Senza apporti laterali $\rightarrow \frac{dQ}{dx} = 0 \rightarrow Q = \text{costante}$

Equazione di continuità 1D della fase solida (Exner)

$$(1-p)b_f \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial Q_s}{\partial x} = q_{sl}$$

Senza apporti laterali $\rightarrow \frac{dQ_s}{dx} = 0 \rightarrow Q_s = \text{costante}$

Principio della quantità di moto

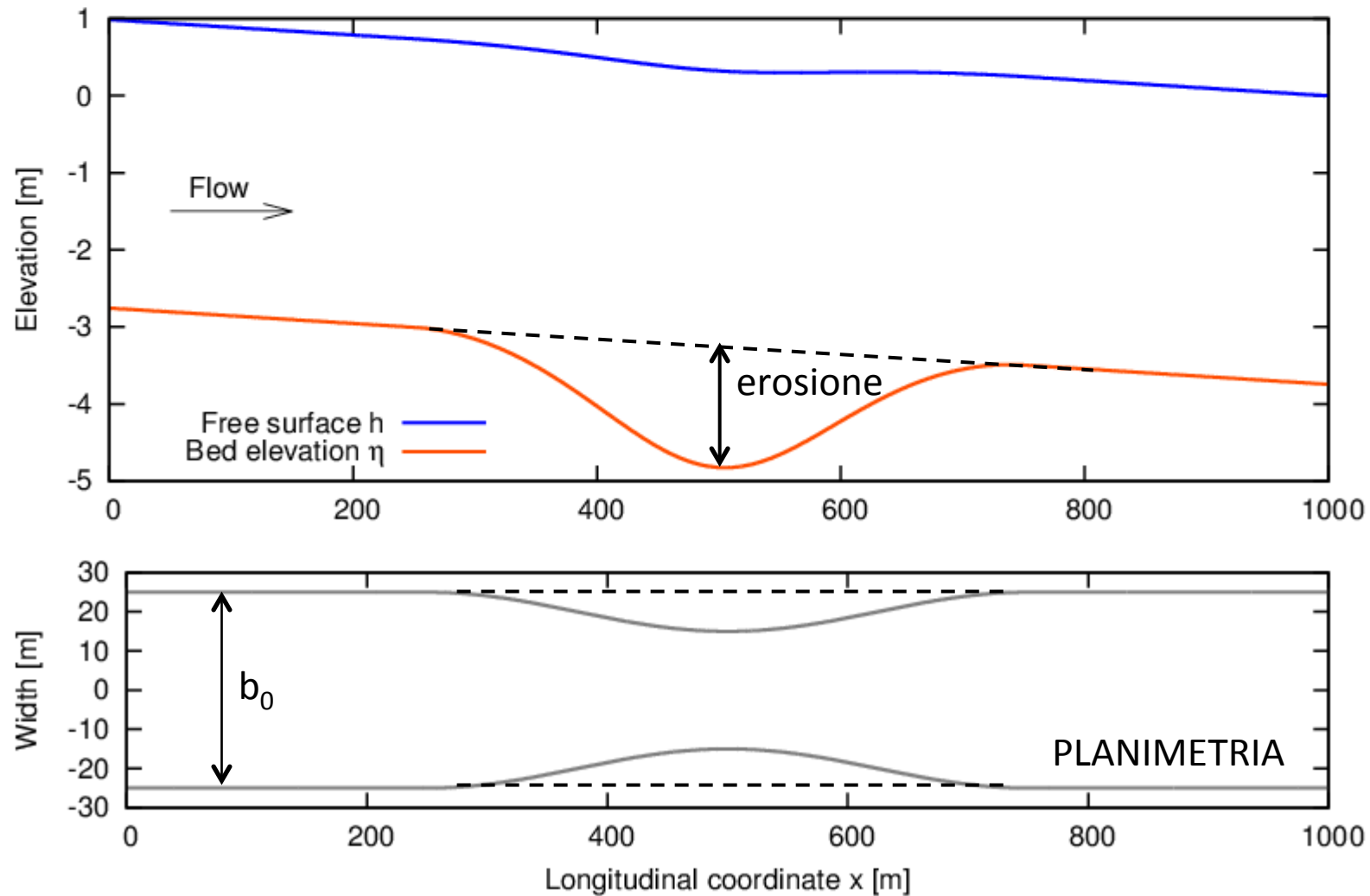
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{\Omega} \right) + g\Omega \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{Q^2}{\Omega C^2 R} = q_l \frac{Q}{\Omega}$$

Moto stazionario $Q = \text{cost}$ $\rightarrow -\frac{d}{dx} \left(h + \frac{Q^2}{2g\Omega^2} \right) = \frac{Q^2}{\Omega^2 C^2 R g} = j$

Senza apporti laterali $\rightarrow Q = \Omega C \sqrt{R g j}$ Moto "uniforme"

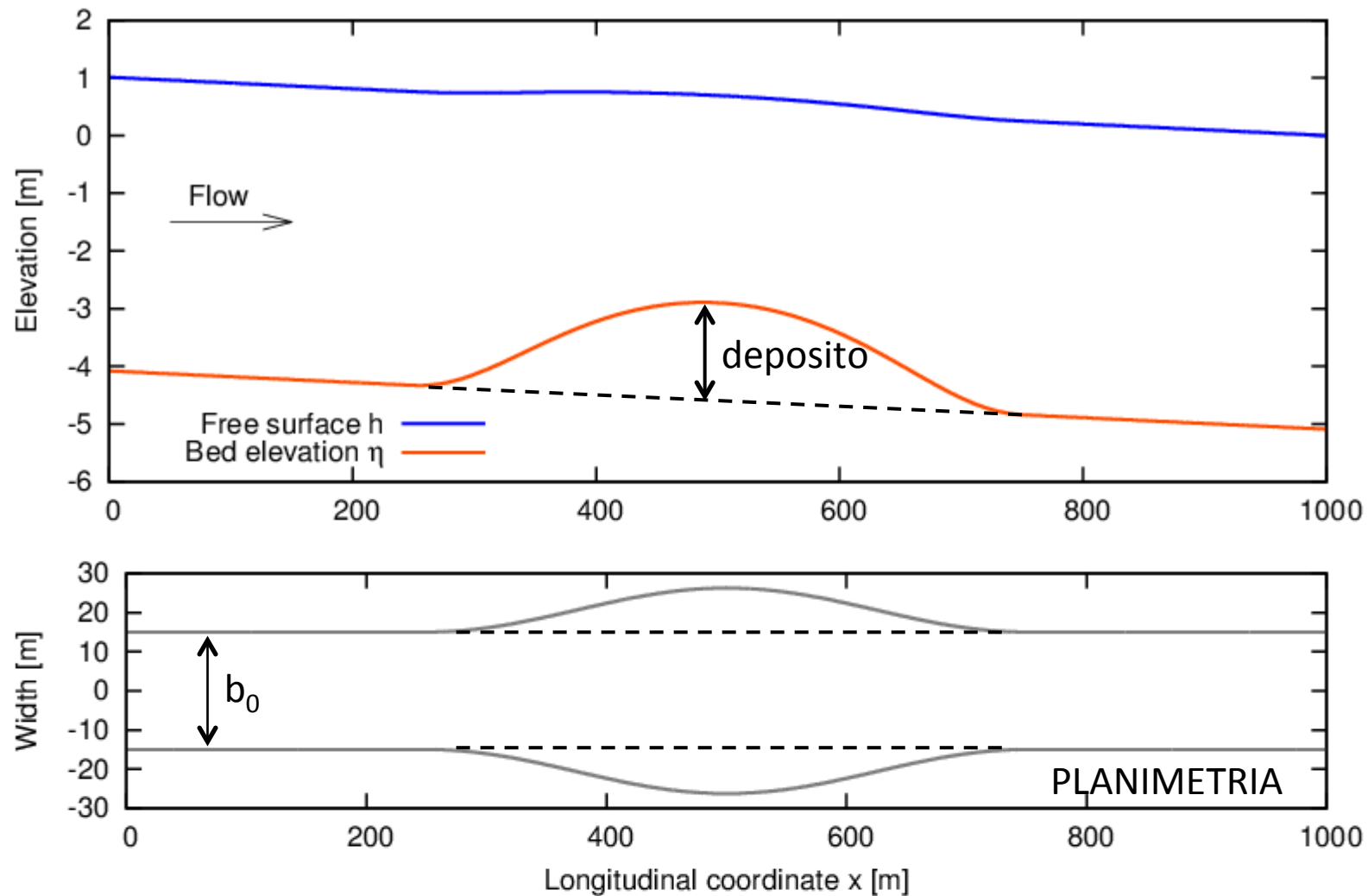
Assetto di Equilibrio del Fondo nei Corsi d'Acqua Naturali

RESTRINGIMENTO in CORRENTE LENTA ($Fr = 0.45$)



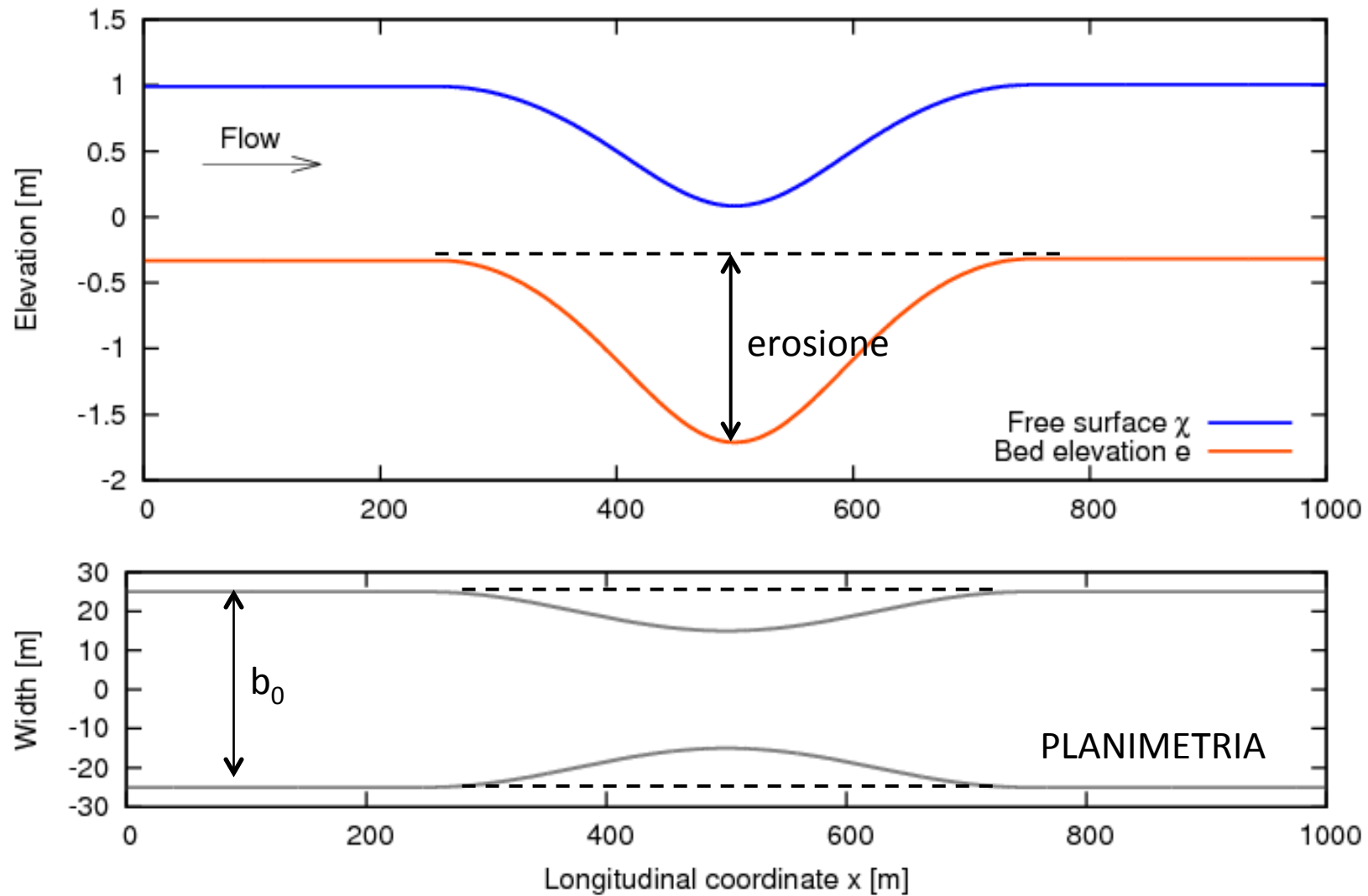
Assetto di Equilibrio del Fondo nei Corsi d'Acqua Naturali

ALLARGAMENTO in CORRENTE LENTA ($Fr = 0.45$)



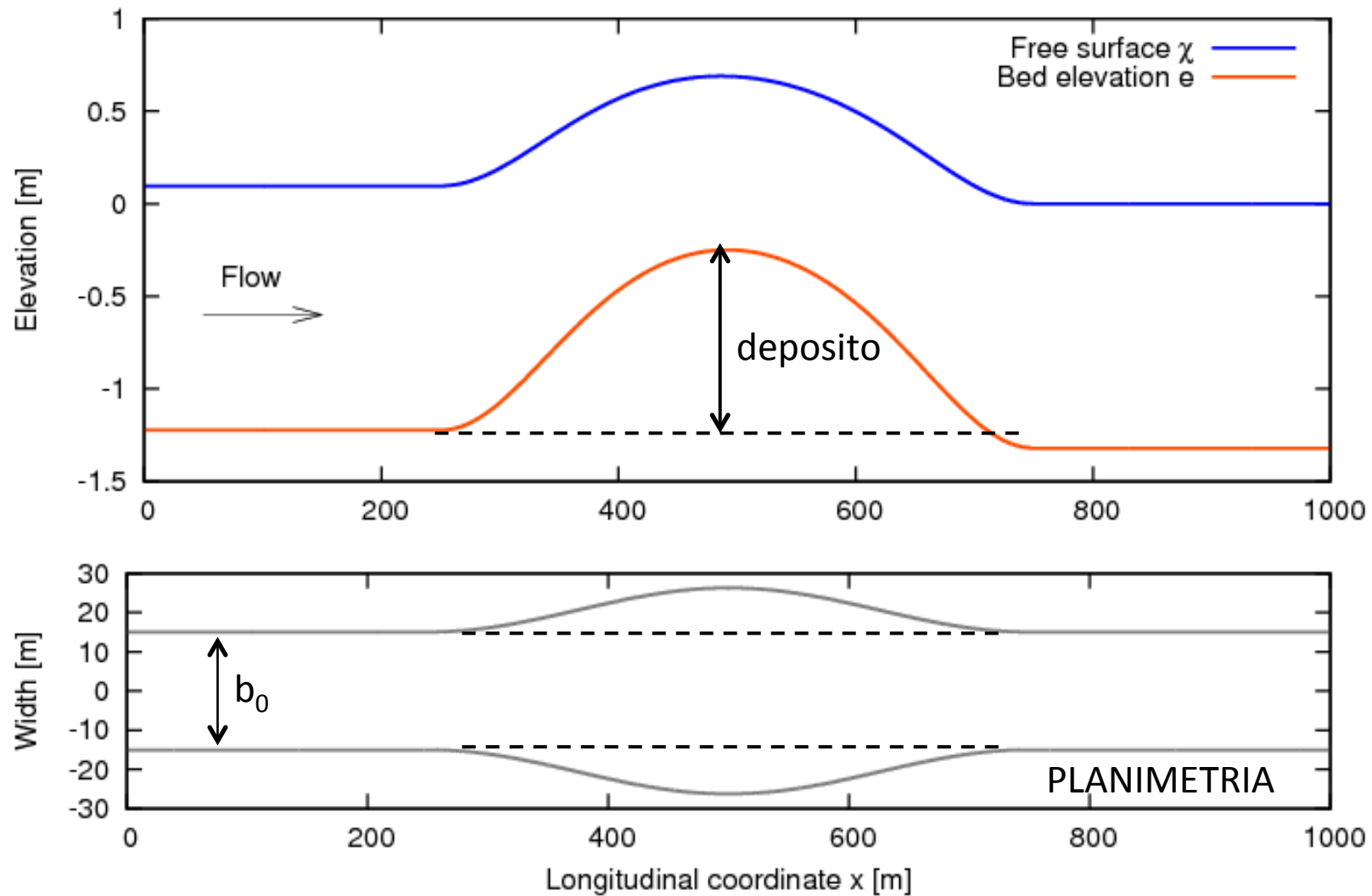
Assetto di Equilibrio del Fondo nei Corsi d'Acqua Naturali

RESTRINGIMENTO in CORRENTE VELOCE ($Fr = 1.65$)

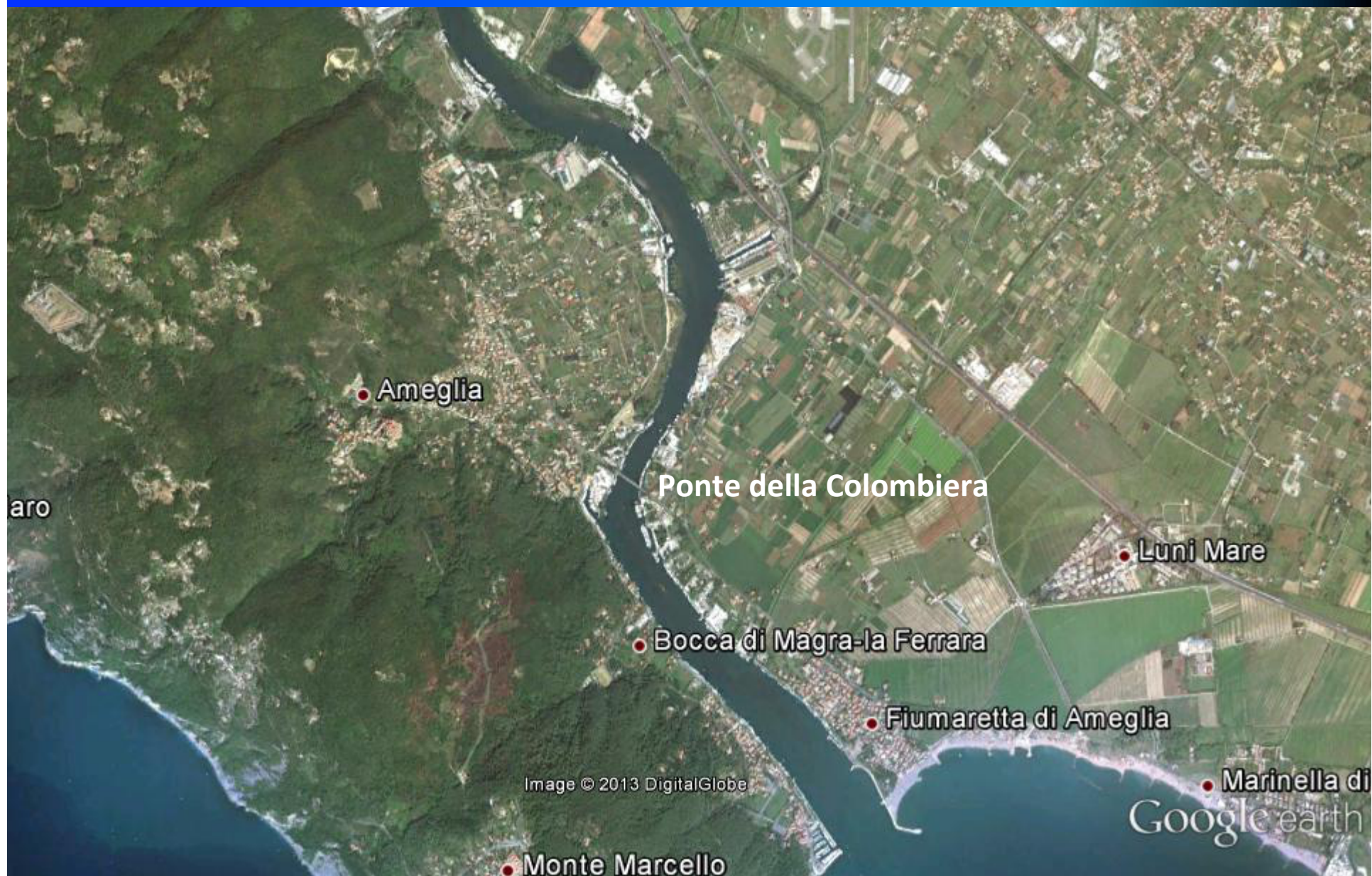


Assetto di Equilibrio del Fondo nei Corsi d'Acqua Naturali

ALLARGAMENTO in CORRENTE VELOCE ($Fr = 1.65$)

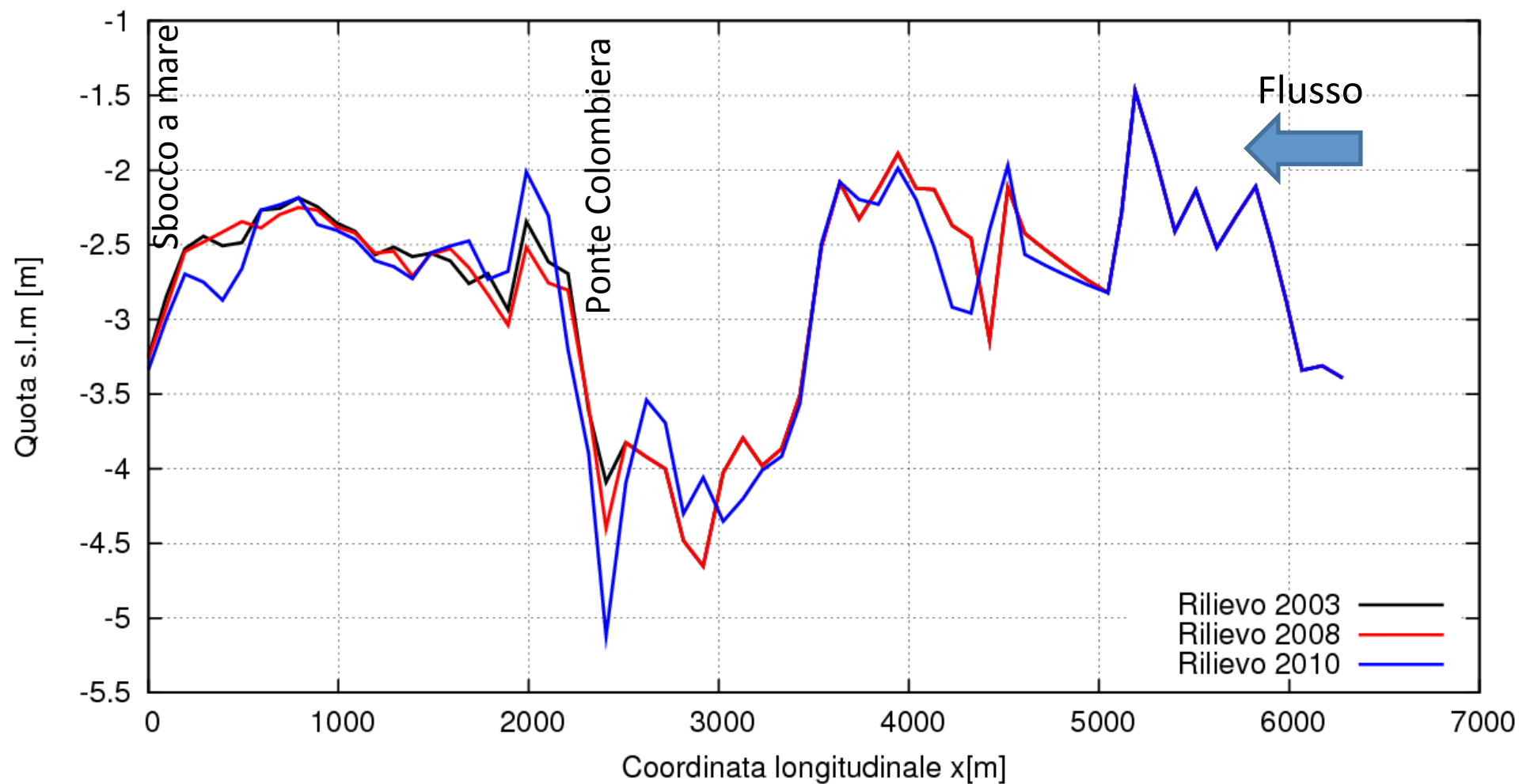


La foce del Magra



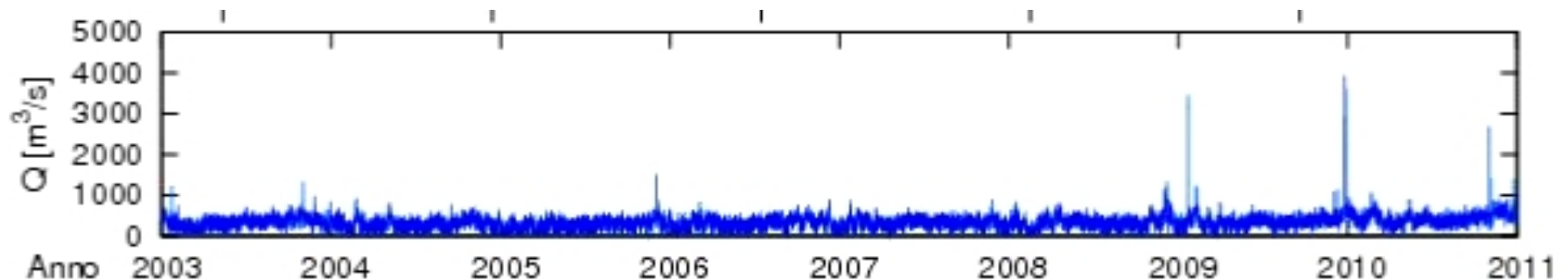
Le osservazioni di campo: rilievi batimetrici 2003-2010

Tratto terminale Fiume Magra - Fondo medio



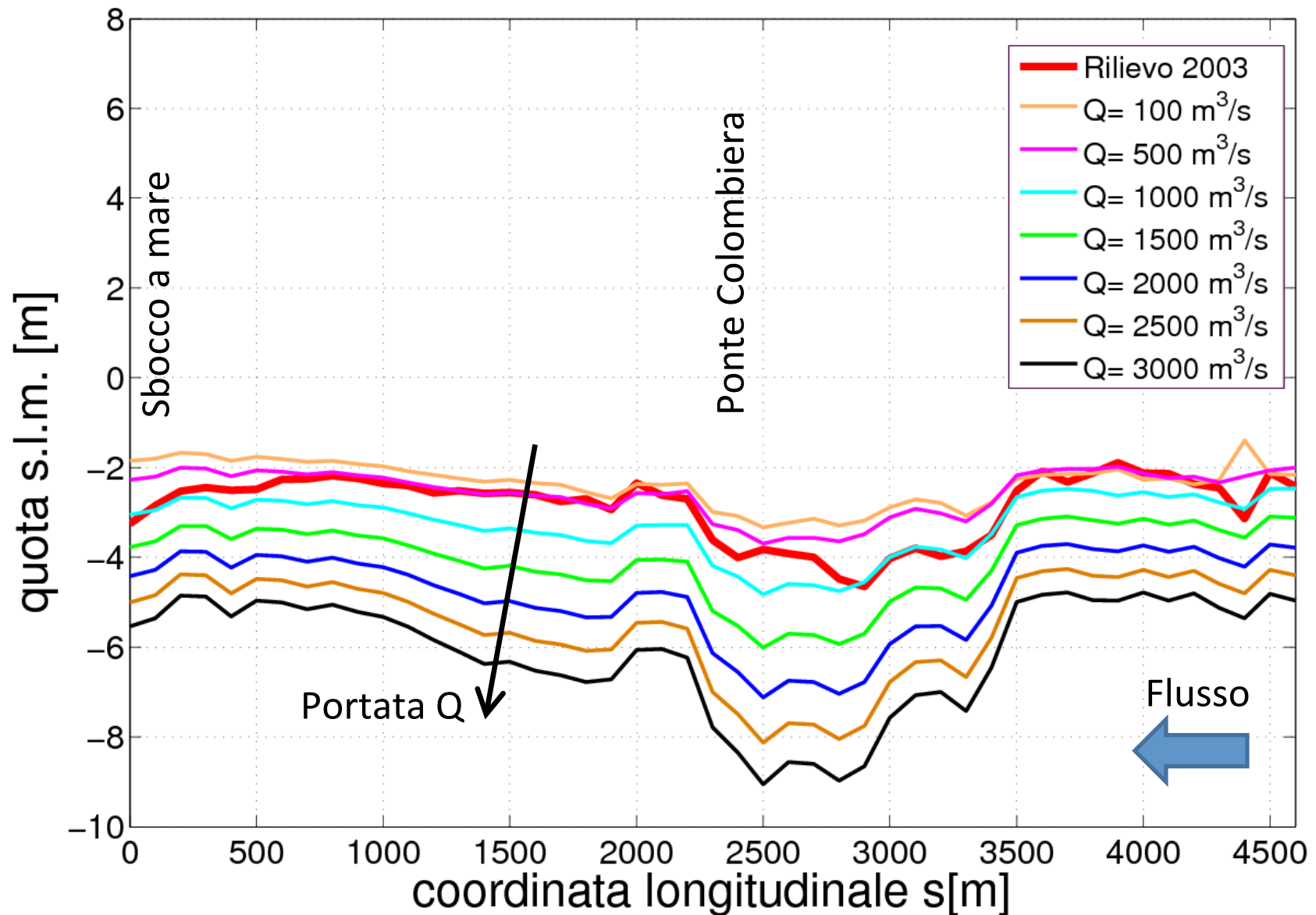
Assetto di Equilibrio del Fondo nei Corsi d'Acqua Naturali

Si può parlare di
assetto di equilibrio
del profilo del fondo medio di un corso d'acqua?



Se la *portata* del corso d'acqua fosse *costante nel tempo*,
allora
esisterebbe un assetto di equilibrio del profilo del fondo medio

Profili di equilibrio per **diverse portate** nel tratto terminale del Fiume Magra confrontati con il rilievo del 2003.



Dunque:

il profilo del fondo medio sarebbe di equilibrio per una portata bassa: intorno a 500-1000 m³/s

Scenario suggerito da questi risultati:

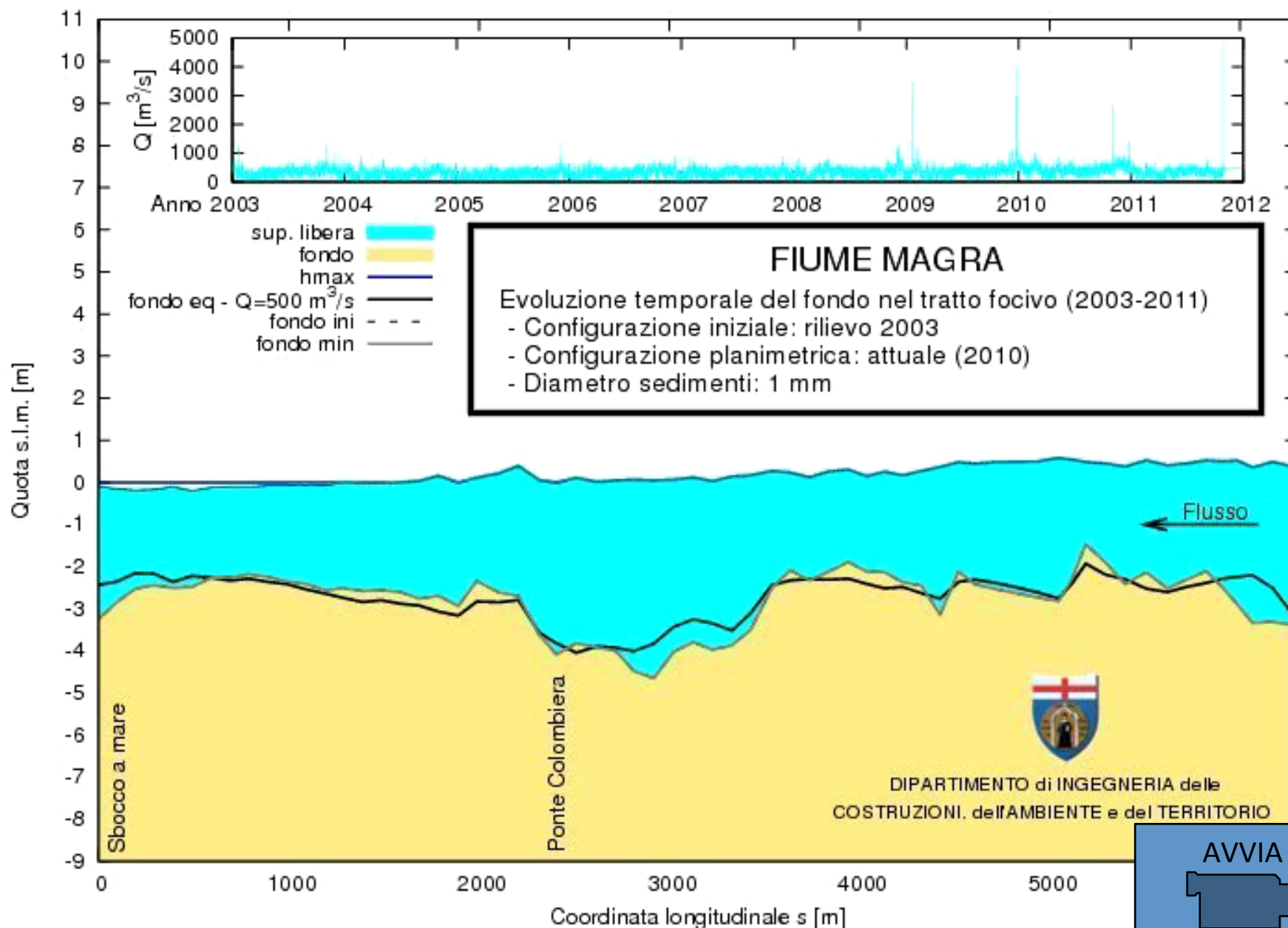
il fondo fluttua intorno ad un assetto di equilibrio determinato dalle basse portate,

approfondendosi nel corso delle piene e

ripristinando lentamente un assetto prossimo a quello iniziale negli intervalli fra piene successive.

Tale scenario risulta confermato

da simulazioni numeriche a fondo mobile



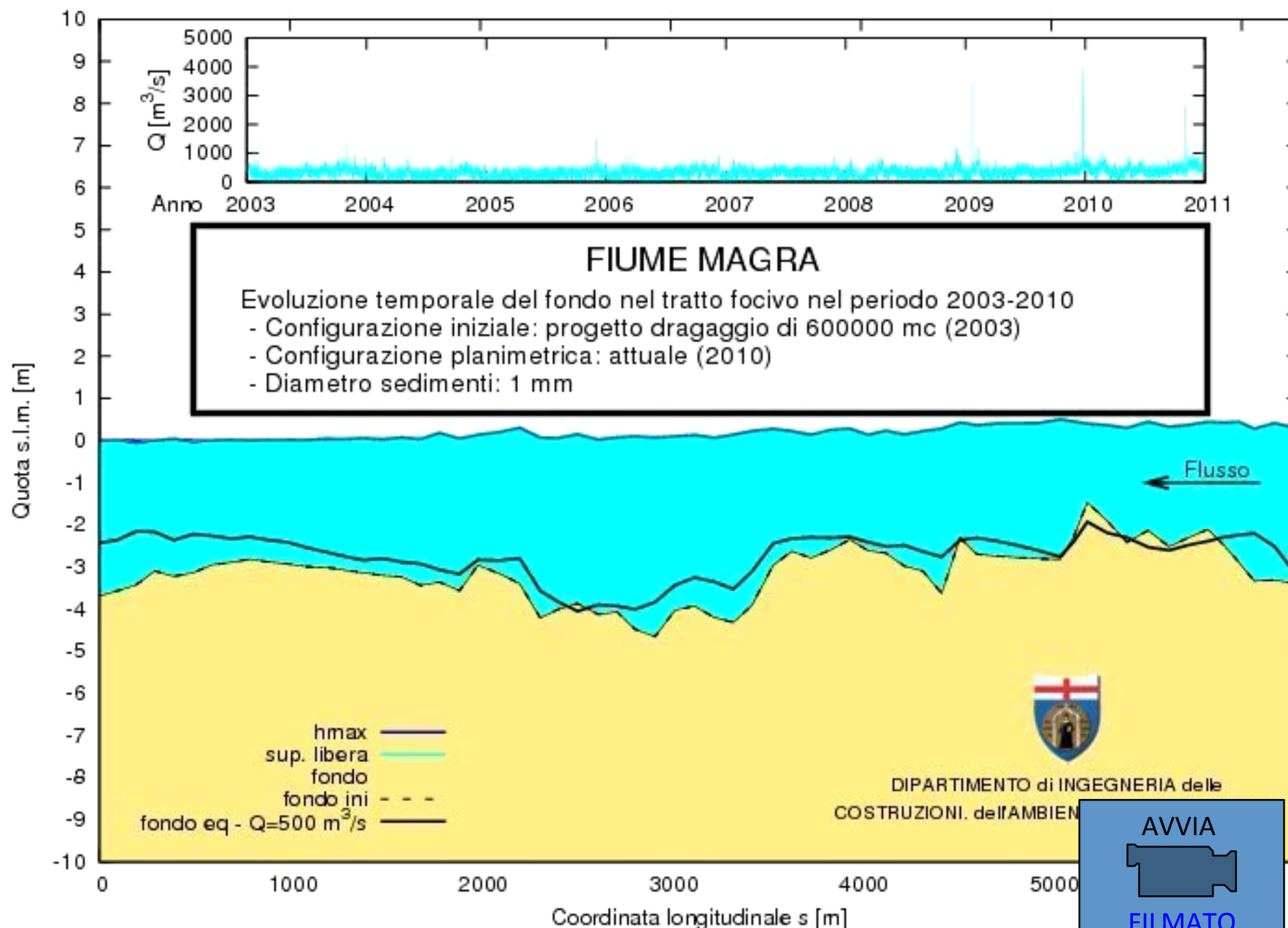
AVVIA



FILMATO

Cosa sarebbe successo
se nel 2003 fosse stato
effettuato l'intero
piano di dragaggi?

Ci sarebbero stati
vantaggi per le piene di questi ultimi anni?

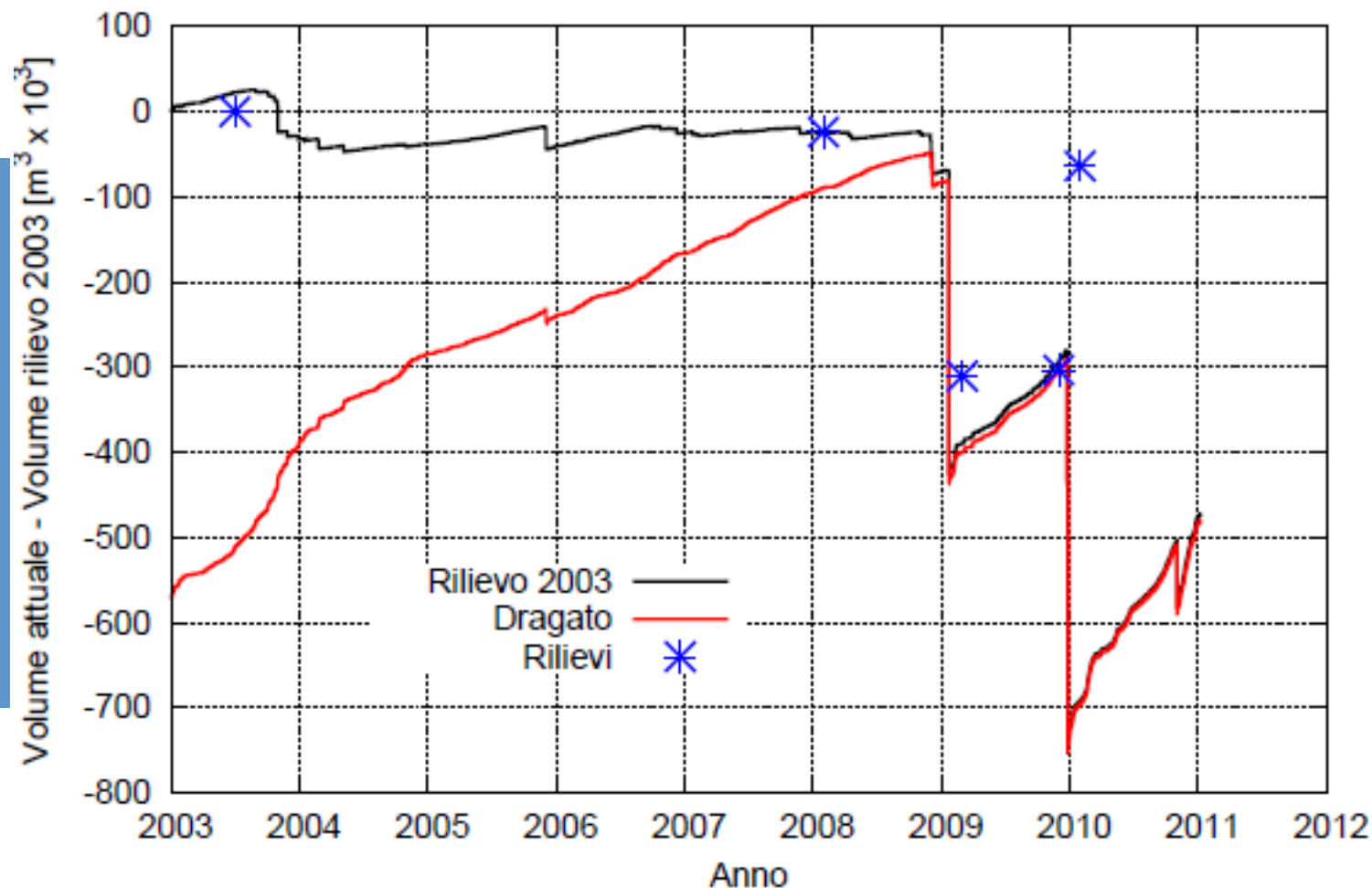


AVVIA



FILMATO

Evoluzione
temporale dei
volumi
depositati o
erosi nel tratto
focivo del
Magra a partire
dalla
configurazione



*

Rilievi sperimentali

—

**Simulazione numerica a fondo mobile con configurazione iniziale:
rilievo 2003 con dragaggio di 600000 m^3**

—

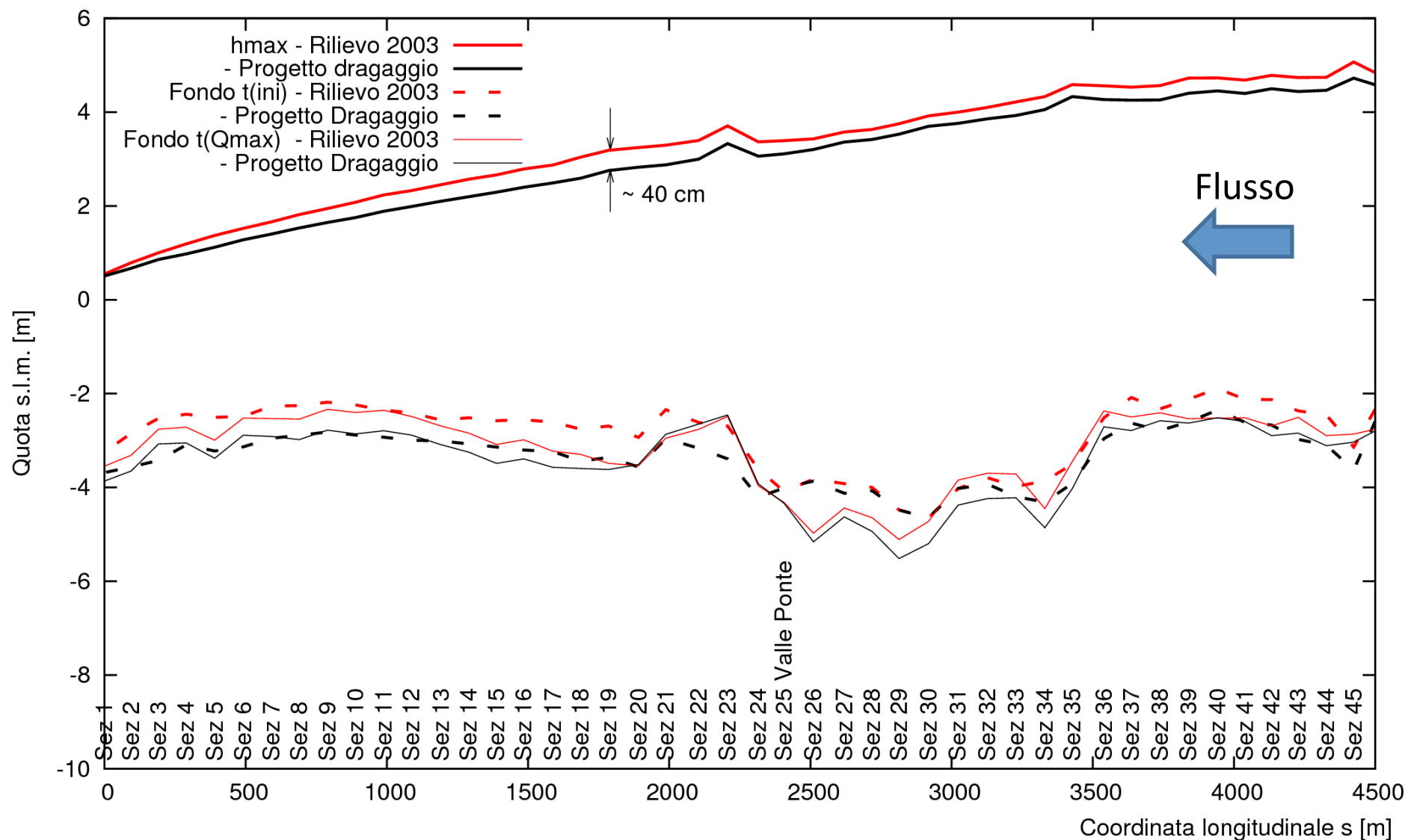
**Simulazione numerica a fondo mobile con configurazione iniziale:
rilievo 2003**

E se l'assetto dragato fosse
stato mantenuto attraverso
continui dragaggi?

Ci sarebbero stati
vantaggi per le piene degli ultimi anni?

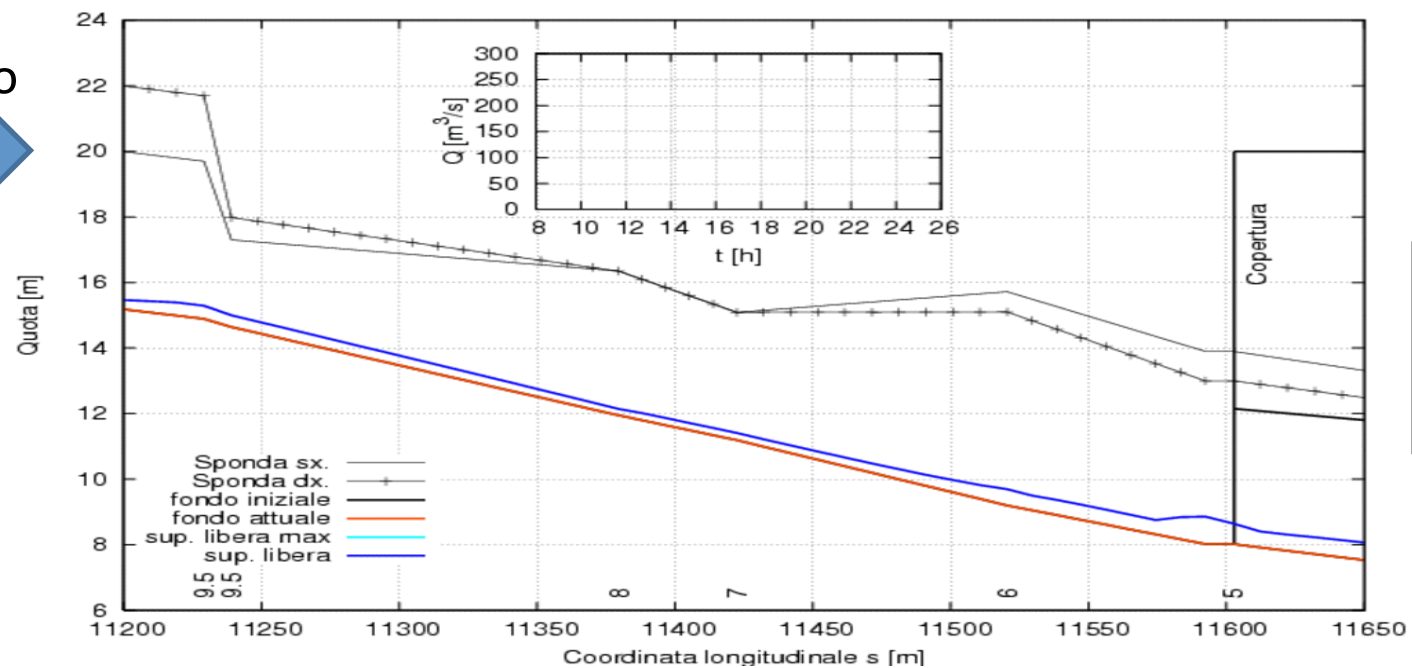
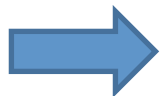
Stime fondate su simulazioni a fondo mobile

Livelli Massimi nel Fiume Magra (Tratto Sarzana - Foce) - Evento 23-25 Dicembre 2009

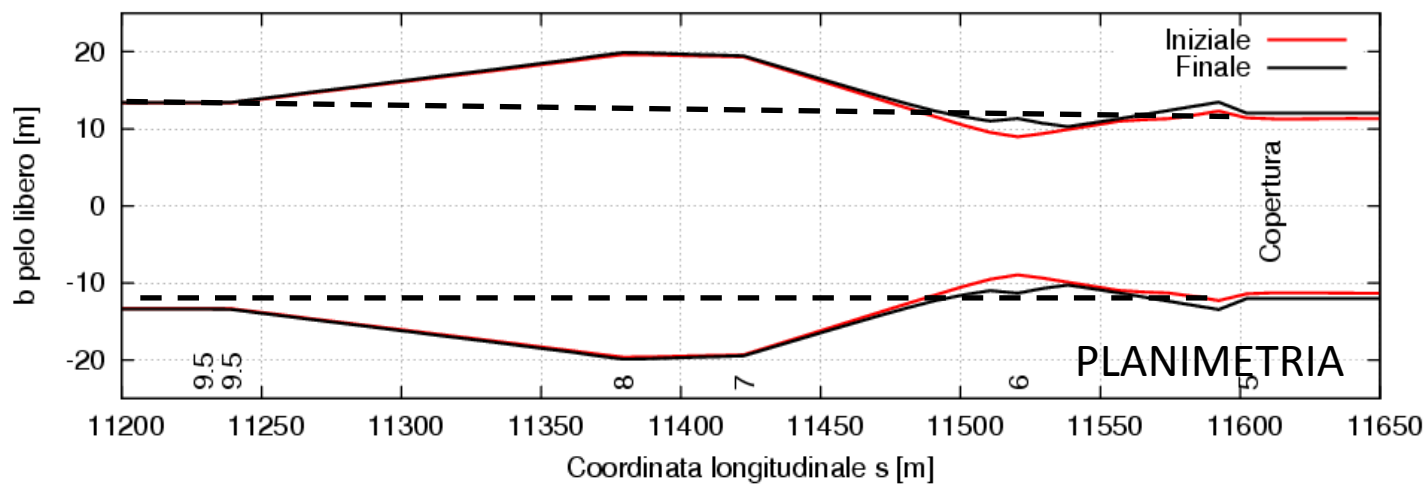


Il Torrente Armea

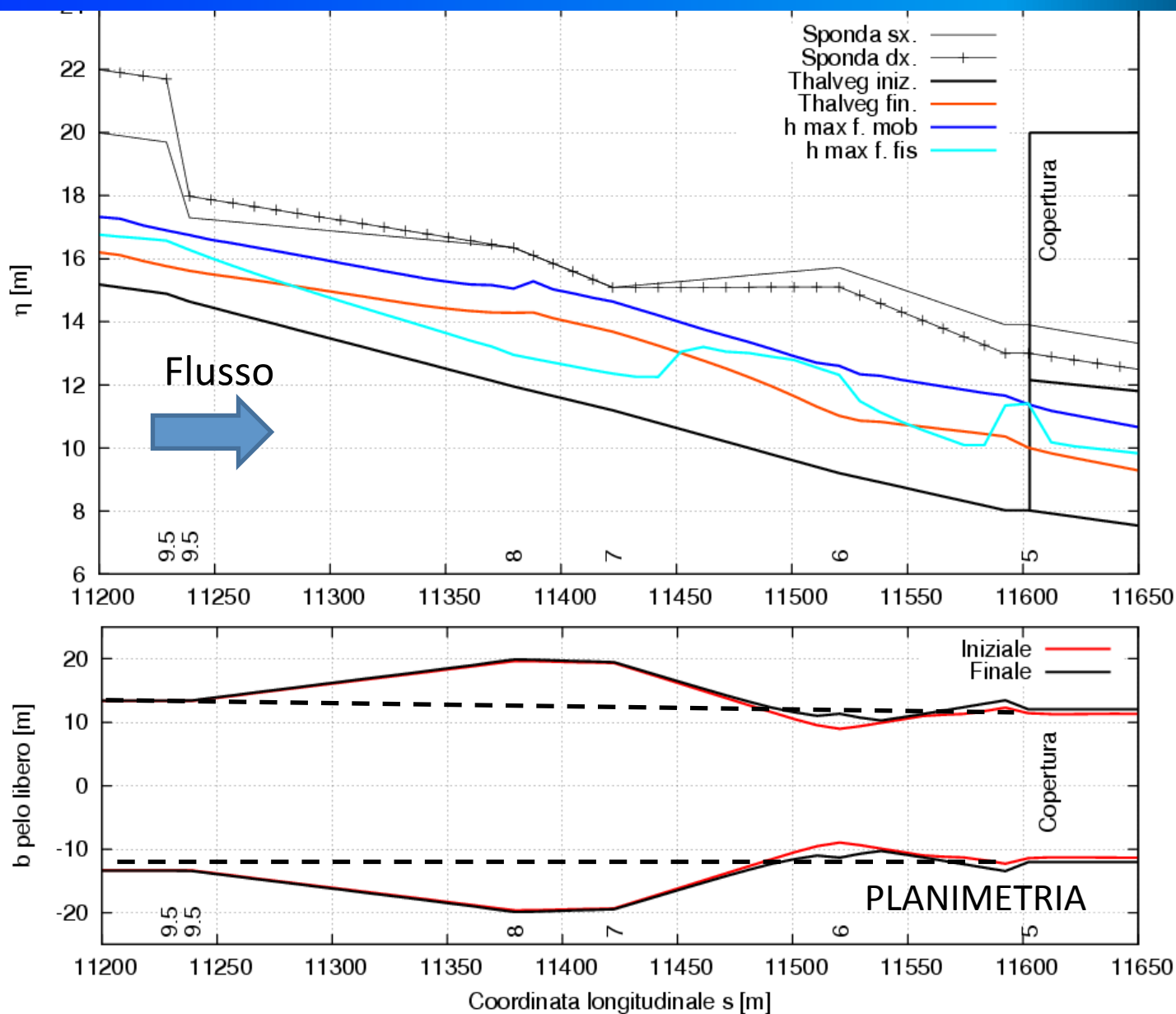
Flusso



AVVIA
FILMATO



Il Torrente Armea

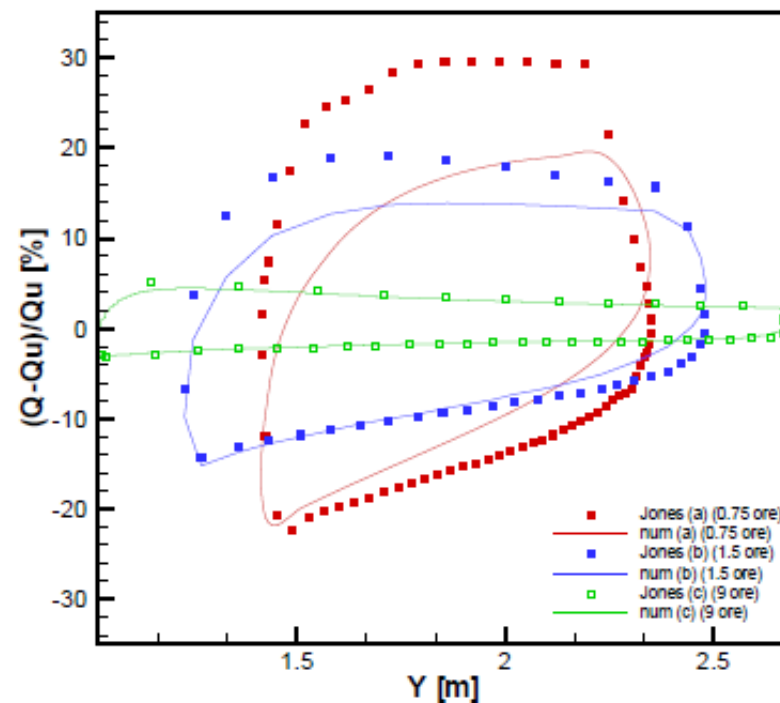
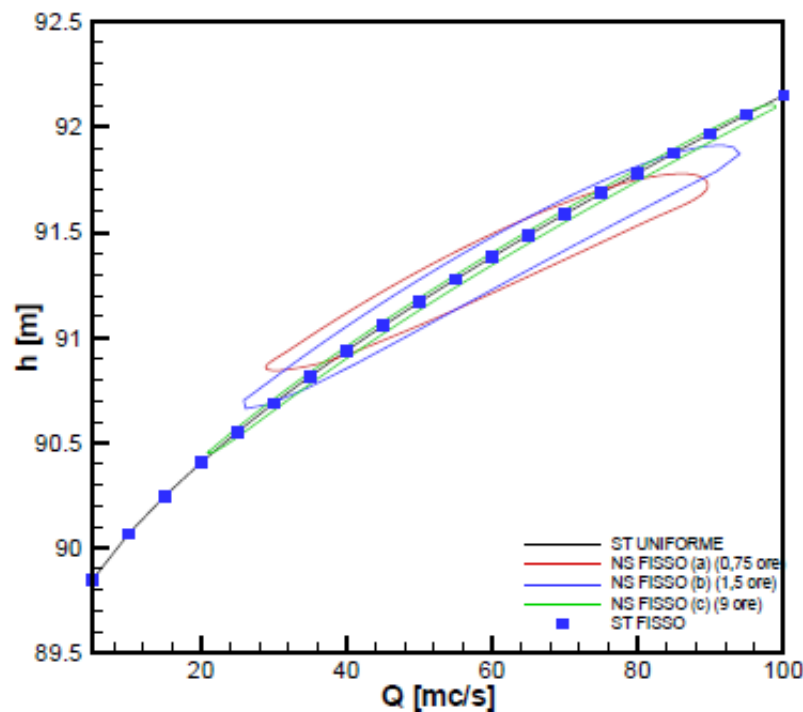


Effetti morfodinamici sulla stima
delle portate nei corsi d'acqua
naturali

Effetti morfodinamici sulle scale di deflusso

Scala di deflusso: relazione tra misura una grandezza cinematica (es. portata Q) e una grandezza geometrica (es. livello h)

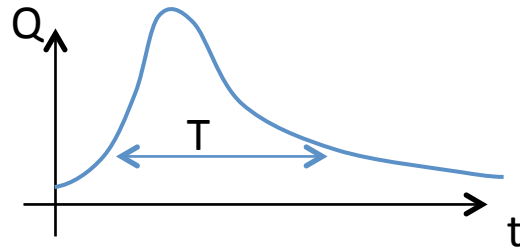
- Moto stazionario e uniforme ➡ $Q = kh^m$
- Moto stazionario (Fondo fisso) ➡ *Equazione dei profili di rigurgito*
- Moto vario (Fondo fisso): *cappio di piena*



Effetti morfodinamici sulle scale di deflusso

➤ Moto vario (Fondo mobile): coppia di fondo

Scala idrodinamica T



Scala morfologica T_m

$$T_m \approx \frac{(1-p)YL}{q_s}$$

- a) $T \ll T_m$ (evento di piena molto rapido): il **fondo non si modifica** sensibilmente durante l'evento di piena
- b) $T \gg T_m$ (evento di piena molto lungo): il fondo si modifica durante l'evento di piena adattandosi in condizioni **di quasi equilibrio** all'idrodinamica locale
- c) $T \sim T_m$: il fondo evolve durante la piena in **condizioni di non-equilibrio**

L'evento del 25 Ottobre 2011 – Livelli idrometrici

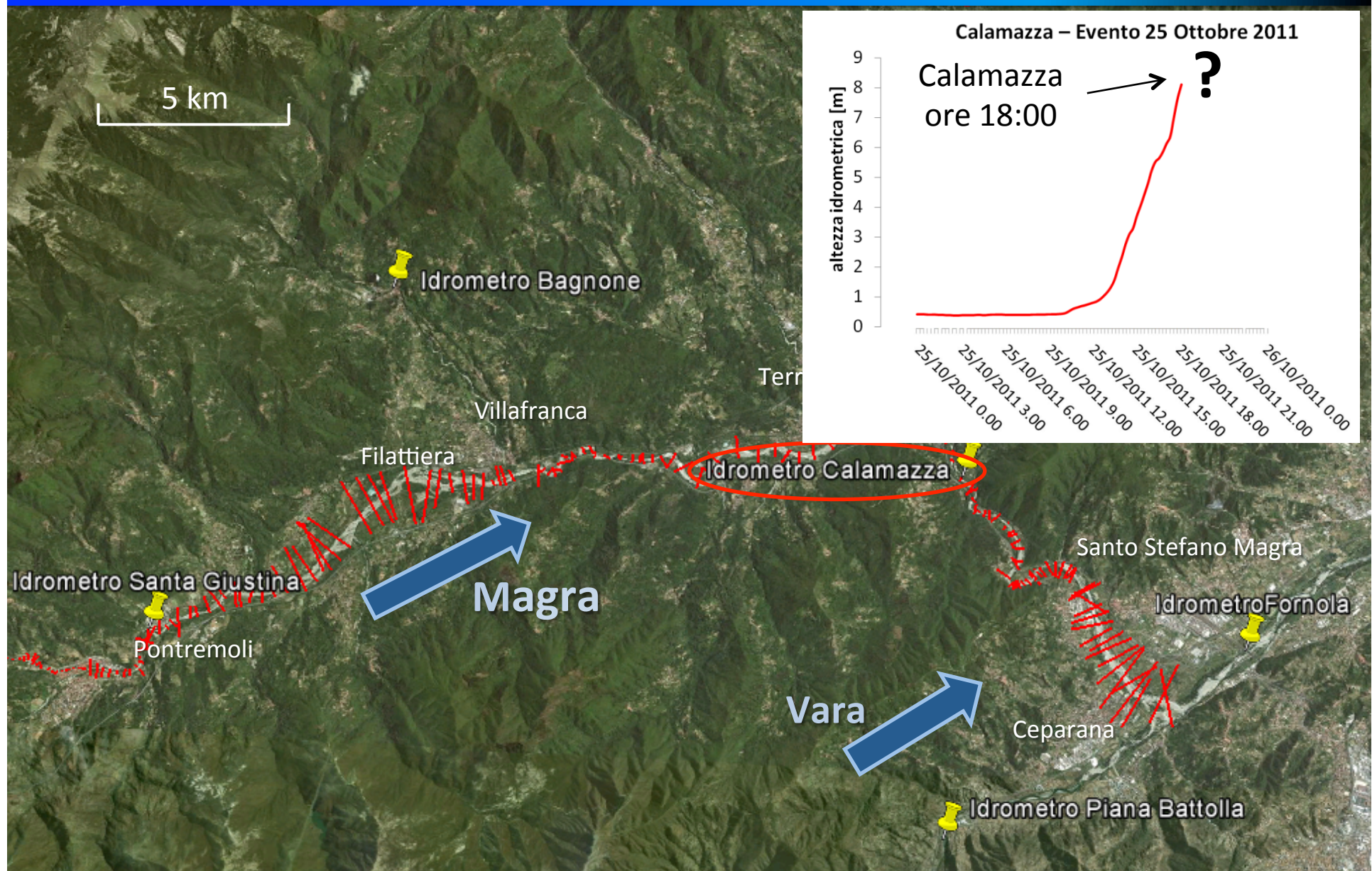




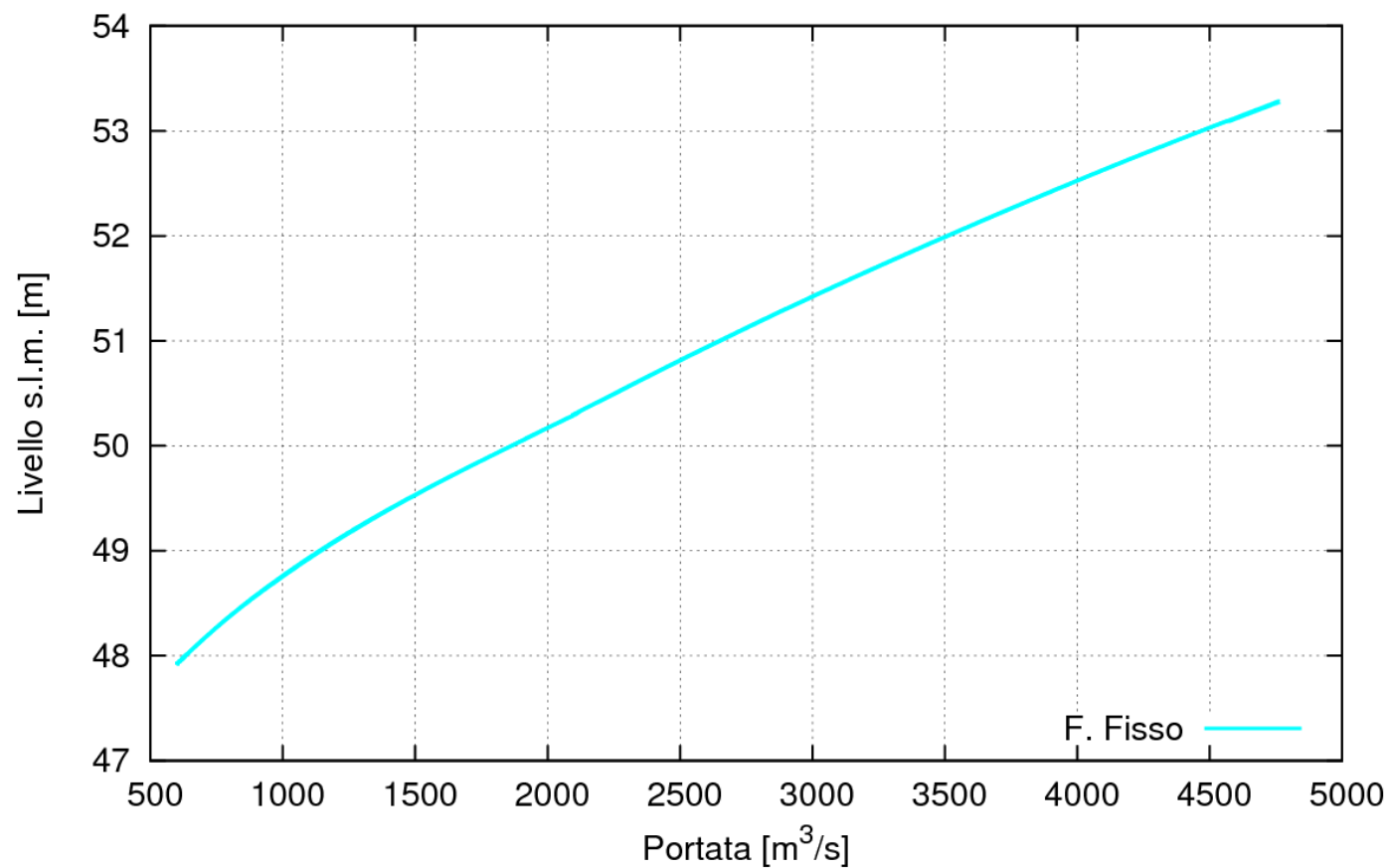
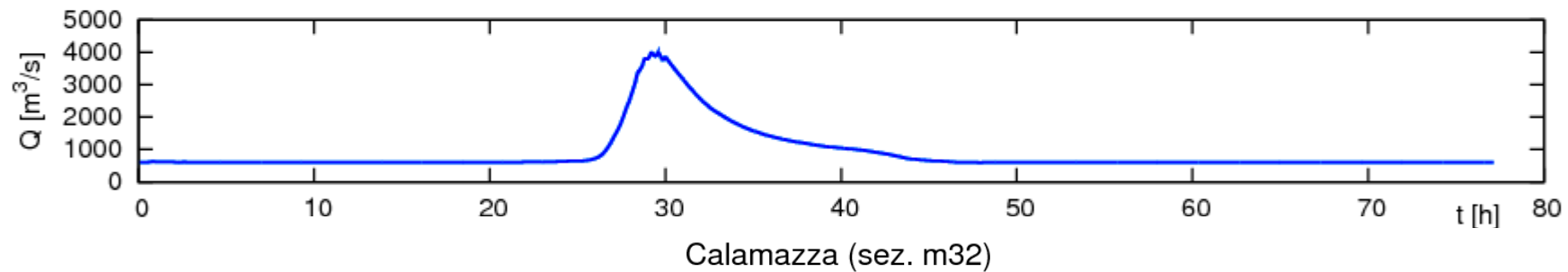
Idrometro Calamazza



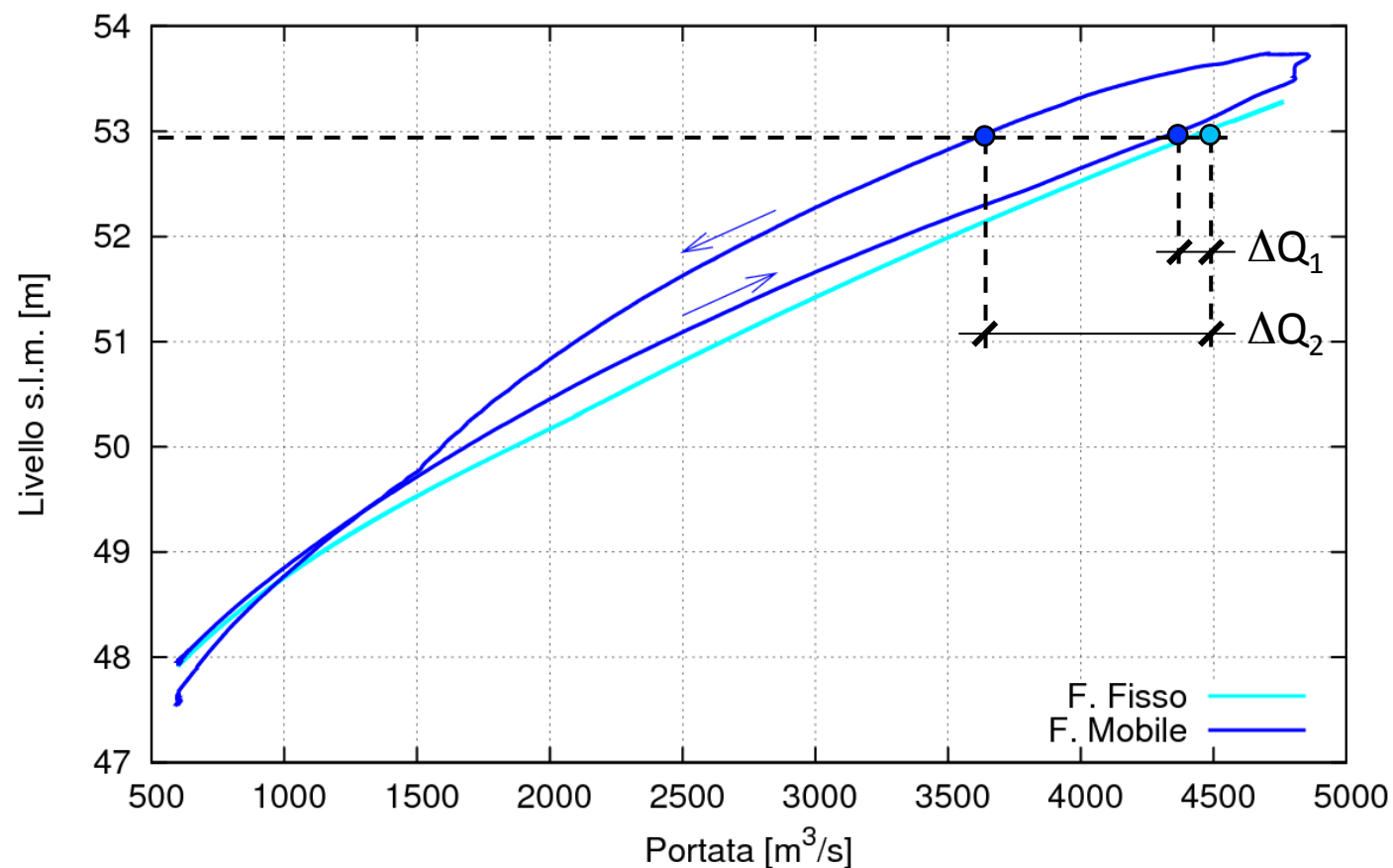
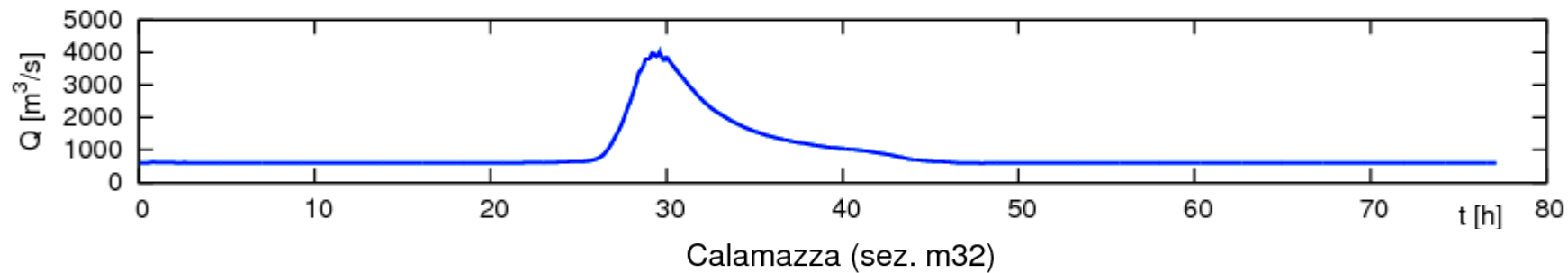
L'evento del 25 Ottobre 2011 – Livelli idrometrici



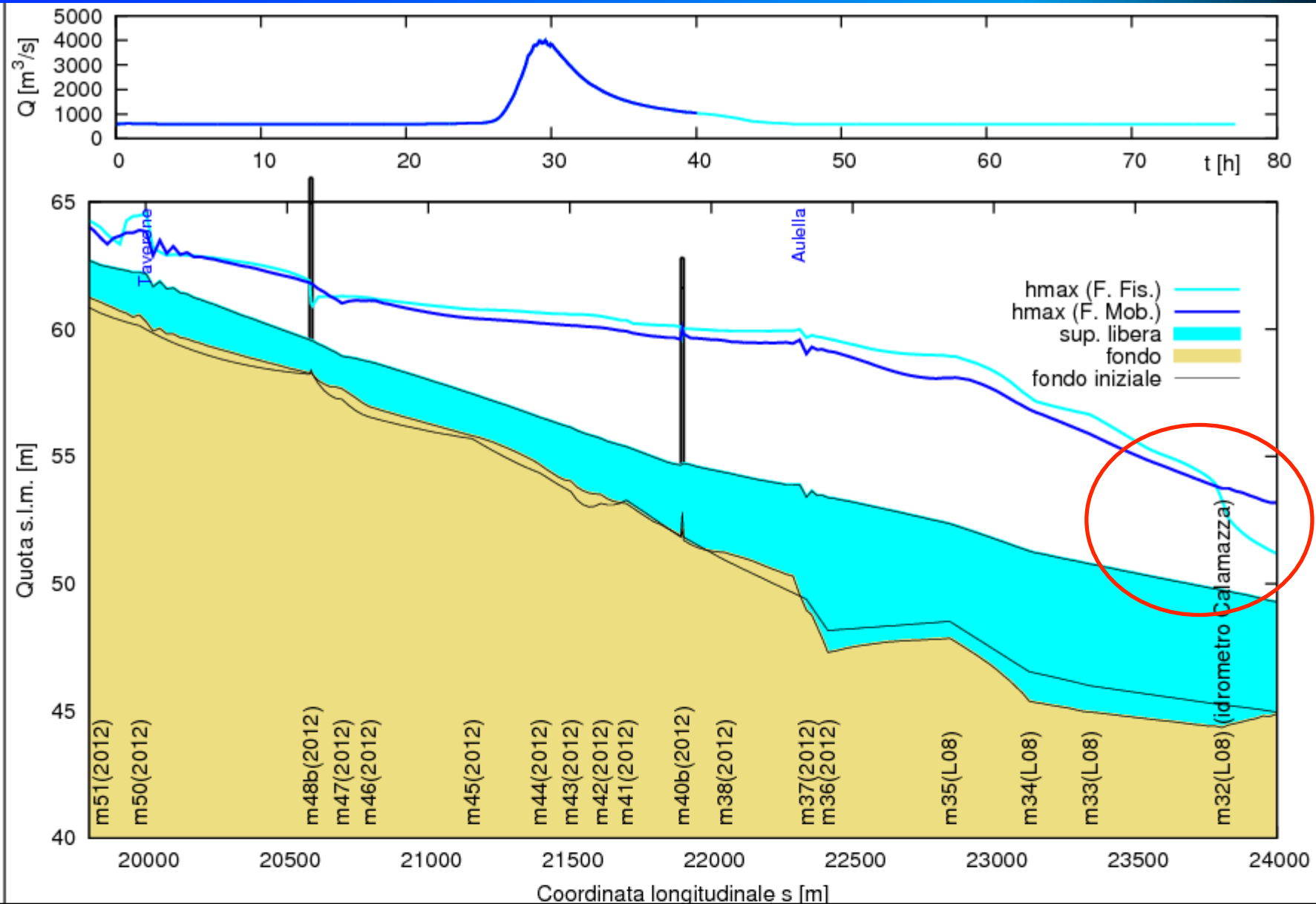
Effetti morfodinamici sulle scale di deflusso



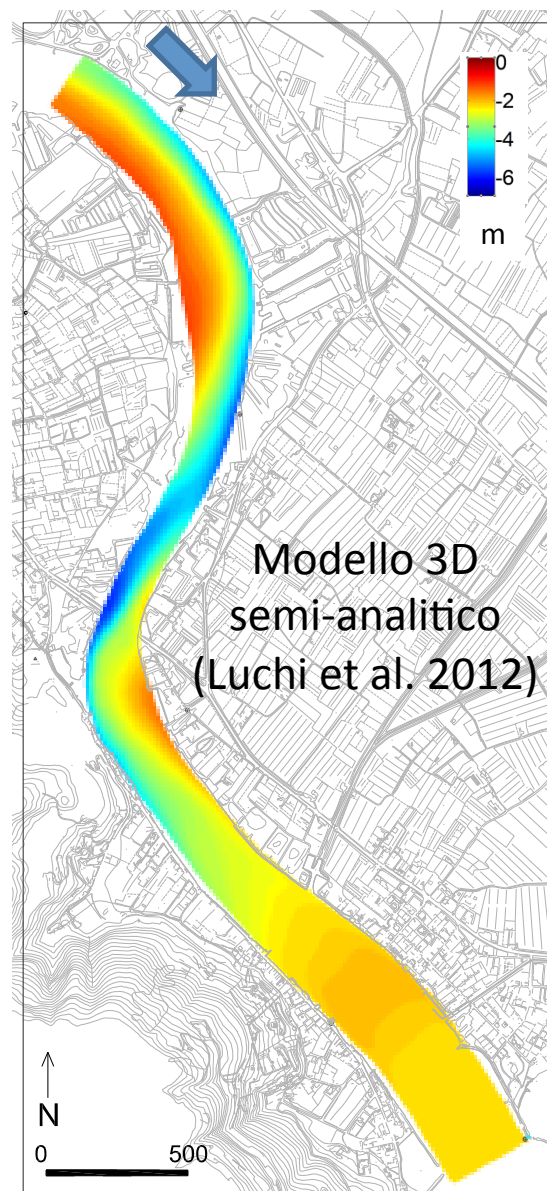
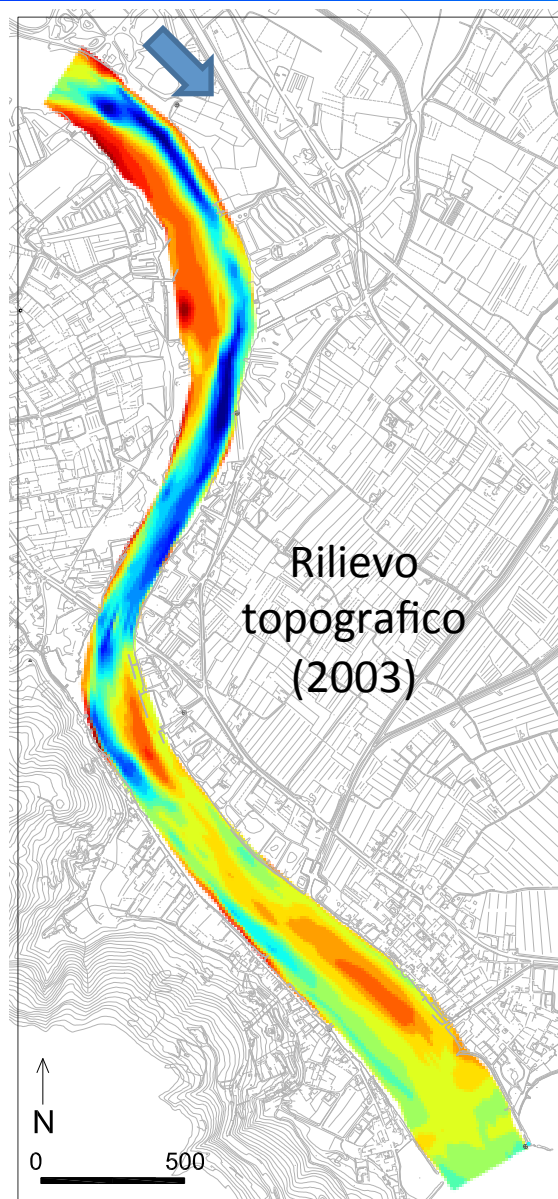
Effetti morfodinamici sulle scale di deflusso



Effetti morfodinamici sulle scale di deflusso



Applicazione alla foce del Magra (Modello 3D)



GRAZIE PER
L'ATTENZIONE



Quali portate prevede il Piano di Bacino nel tratto focivo?

Alla Colombiera:

$$Q_{30} = 3600 - 4100 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{200} = 6400 - 7000 \text{ m}^3/\text{s}$$

Le piene del Fiume Magra (dal 2003)

19-20 gennaio 2009	~ 3550 m ³ /s	T < 30 anni
23-25 dicembre 2009	~ 4050 m ³ /s	T ~ 30 anni
1 novembre 2010	~ 2750 m ³ /s	T << 30 anni
25 ottobre 2011	~ 5100 m ³ /s	T ~ 100 anni

a) 1937



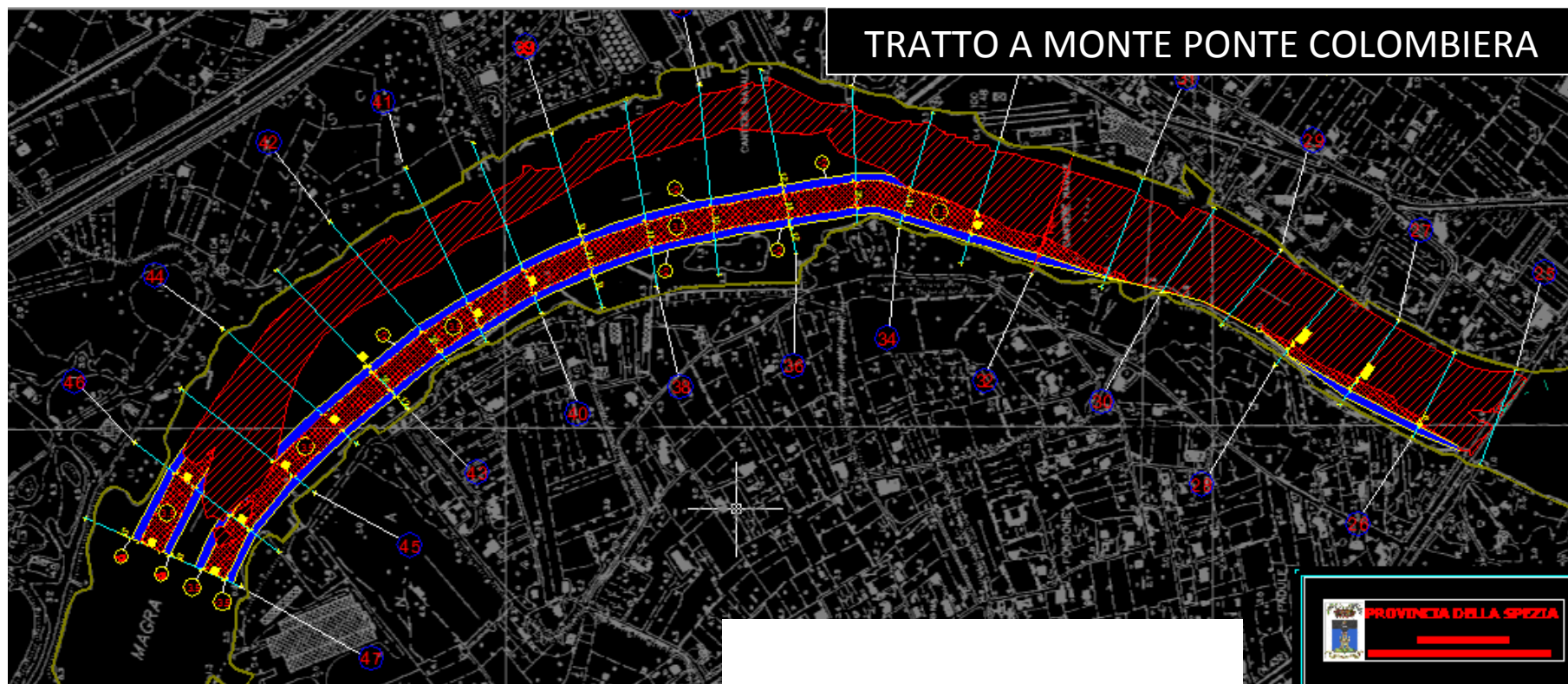
Isola



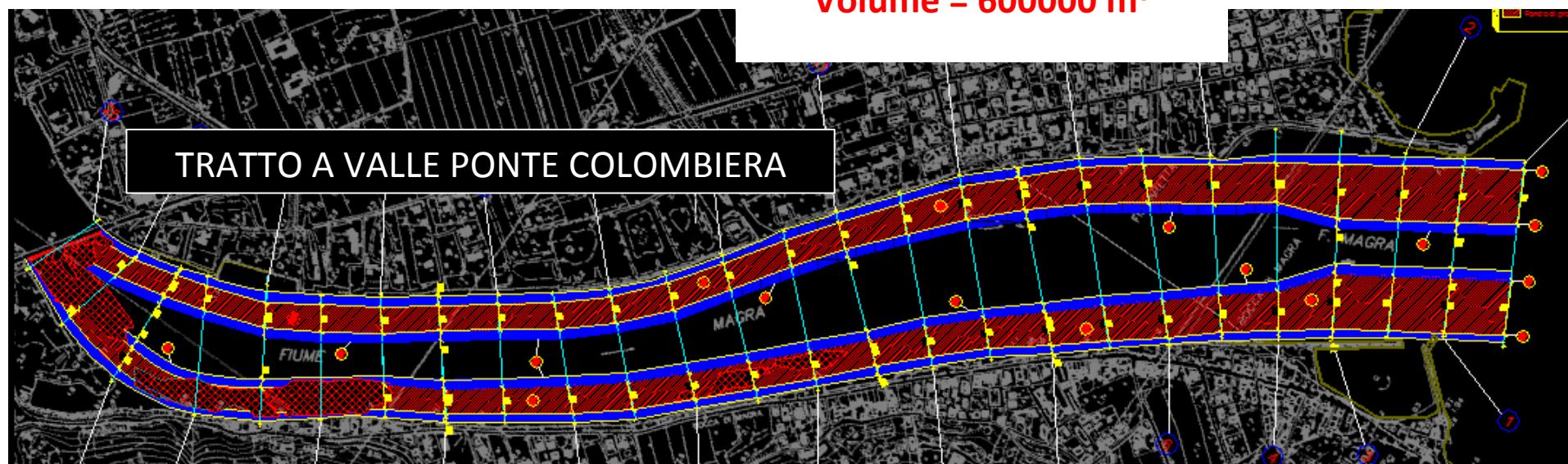
b) 1943



c) 1954

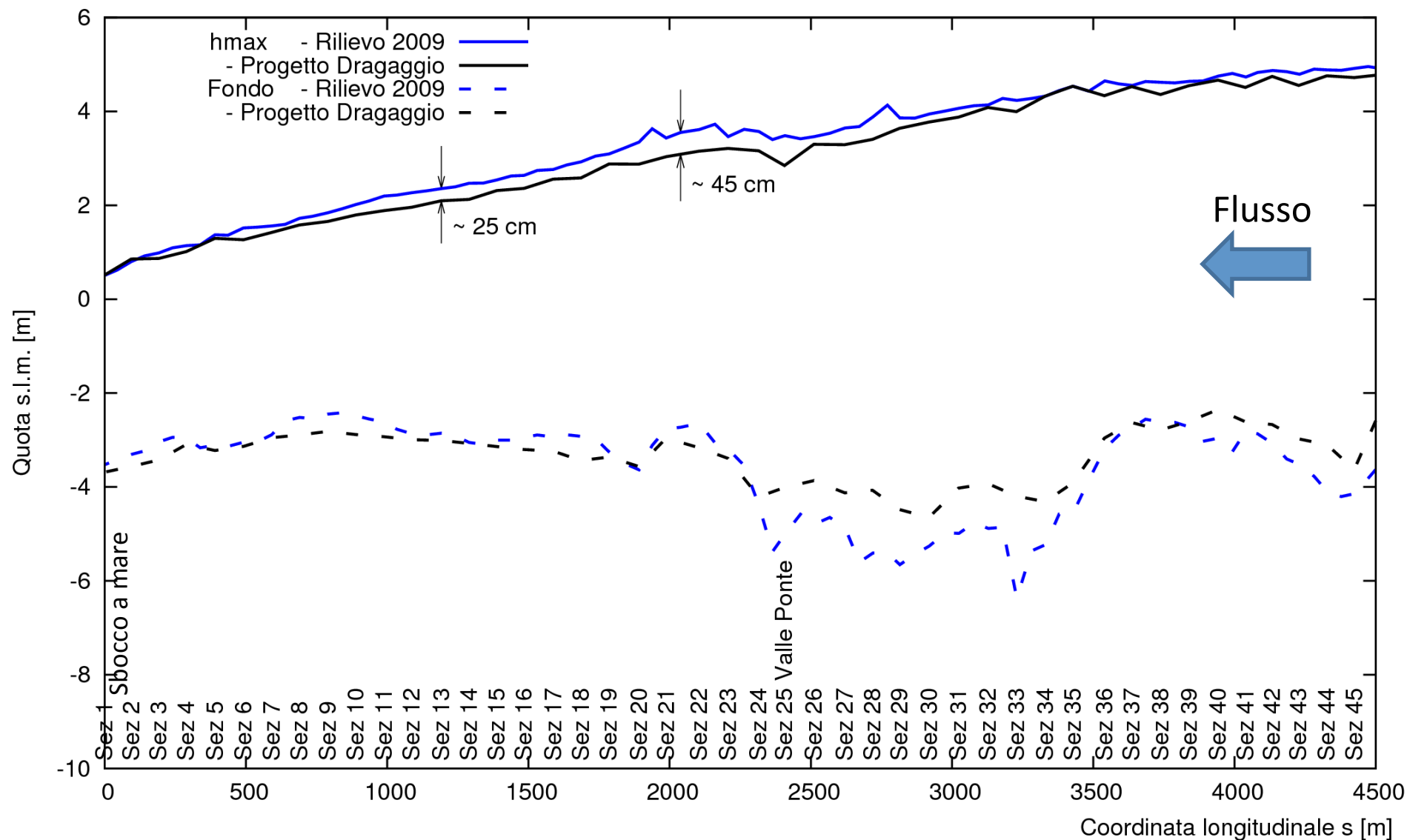


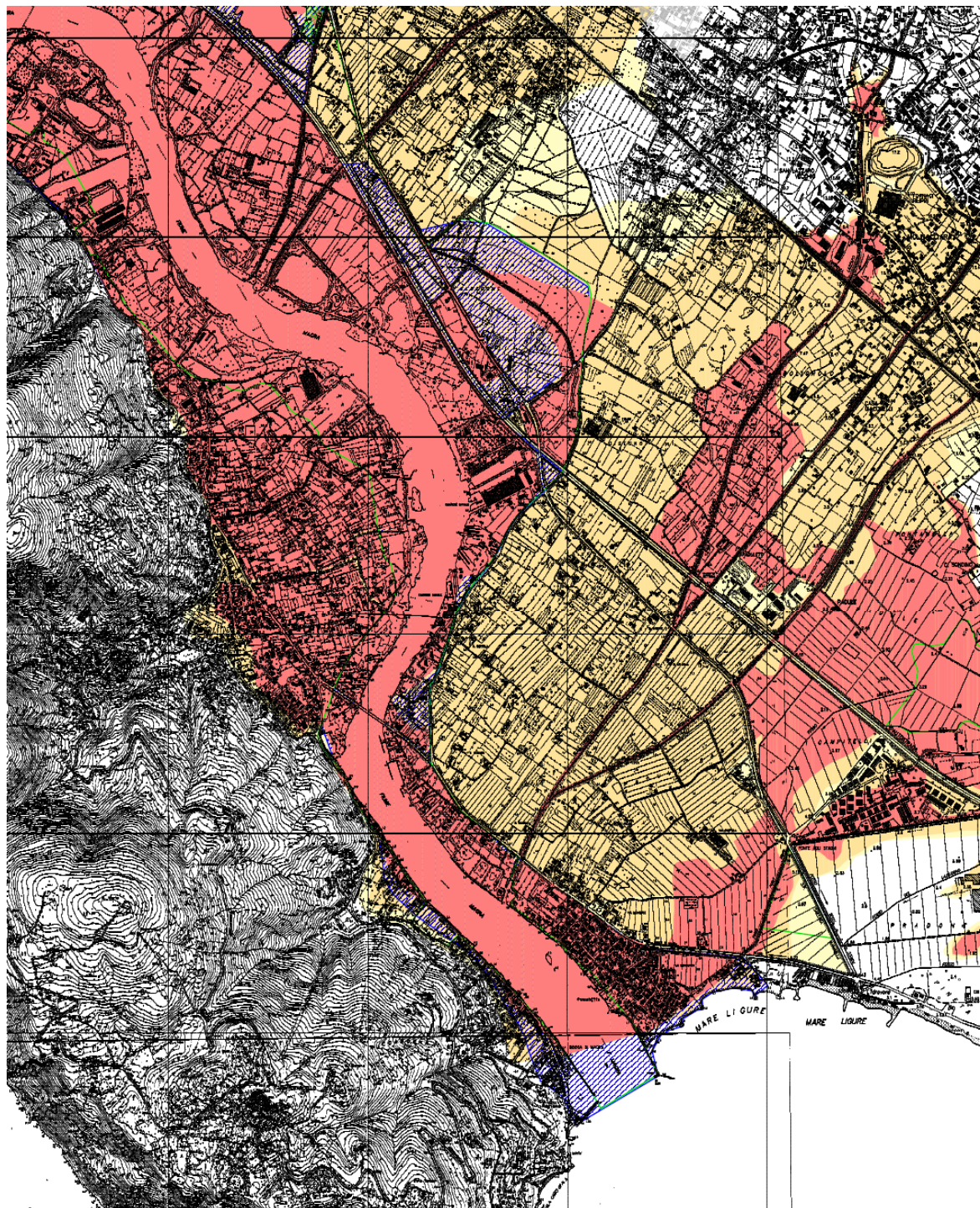
Volume = 600000 m³



Stime fondate su simulazioni idrodinamiche a fondo fisso

Livelli Massimi nel Fiume Magra (Tratto Sarzana - Foce) - Evento 23-25 Dicembre 2009





LEGENDA

-  Aree a pericolosità idraulica molto elevata - elevata
(aree inondabili con $Tr=30$ anni)
-  Aree a pericolosità idraulica media
(aree inondabili con $Tr=200$ anni)
-  Aree a pericolosità idraulica bassa
(aree inondabili con $Tr=500$ anni)
-  Aree a pericolosità idraulica bassa
(aree difese da interventi di sistemazione idraulica)
-  Aree a criticità idraulica non studiate
(aree storicamente inondate)
-  Fascia di Riassetto Fluviale
-  Zone di approfondimento
(zone in cui si rendono necessari studi di maggior dettaglio)