

Valutazione della pericolosità Idraulica

DEFINIZIONE DI RISCHIO IDRAULICO

(Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 180 del 29/9/1998, da UNESCO, 1984))

$$R = H E V$$

Pericolosità' (Natural Hazard H): probabilità (semplice) di superamento della portata al colmo di piena. E' legata alle caratteristiche del fenomeno fisico. **P=1/T**

Menu

- Definizione del problema
- Cosa ci dicono di fare
- Cosa si fa (si è fatto)
- Domanda: Le leggi ed i provvedimenti hanno ridotto il numero di vittime? (il caso del D.Lgs. n. 626/94)
- Problemi:

What to Route...

La velocità

Definizione del problema

(da Direttiva 2007/60) e collegati

Il **rischio idraulico** scaturisce dalla possibilità di danno a persone, beni o infrastrutture in conseguenza al trasporto di acqua e solidi trasportati nei corpi idrici superficiali. Può essere suddiviso in rischio da esondazione, incluso quello da dinamica d'alveo (trasporto di sedimenti e di materiale flottante) e rischio di dissesto (instabilità di coltri superficiali).

Definizione di **ALLUVIONE**:

allagamento temporaneo di aree che abitualmente non sono coperte d'acqua. Ciò include le inondazioni causate da fiumi, torrenti di montagna, corsi d'acqua temporanei mediterranei e le inondazioni marine delle zone costiere e può escludere gli allagamenti causati dagli impianti fognari

Cosa ci dicono di fare

DL 180 – L

Entro il 31 dicembre 1998, le autorità di bacino ... adottano .. piani stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico, ...che contengano in particolare **l'individuazione e la perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico.**

Direttiva 2007/60/CE

ART. 6: MAPPE DELLA PERICOLOSITA' DA ALLUVIONE

Le MAPPE DELLA PERICOLOSITÀ DA ALLUVIONE contengono la **PERIMETRAZIONE** delle aree geografiche secondo 3 scenari:

SCARSA PROBABILITA' di alluvione o eventi estremi

MEDIA PROBABILITA' di alluvione (periodo di ritorno ≥ 100 anni)

ELEVATA PROBABILITA' di alluvione ($T < 100$ anni) SE OPPORTUNO

DOVE e cosa mappare?

Dir. 2007/60

ART 5

In base alla Valutazione preliminare (Art. 4), per ciascun Distretto Idrografico, ..., gli Stati Membri individuano le zone dove esiste un rischio potenziale significativo di alluvione o dove si può ritenere probabile che si generi

Decreto Legislativo 23 febbraio 2010, n. 49

3. Per ogni scenario di cui al comma 2 **vanno indicati** almeno i seguenti elementi:

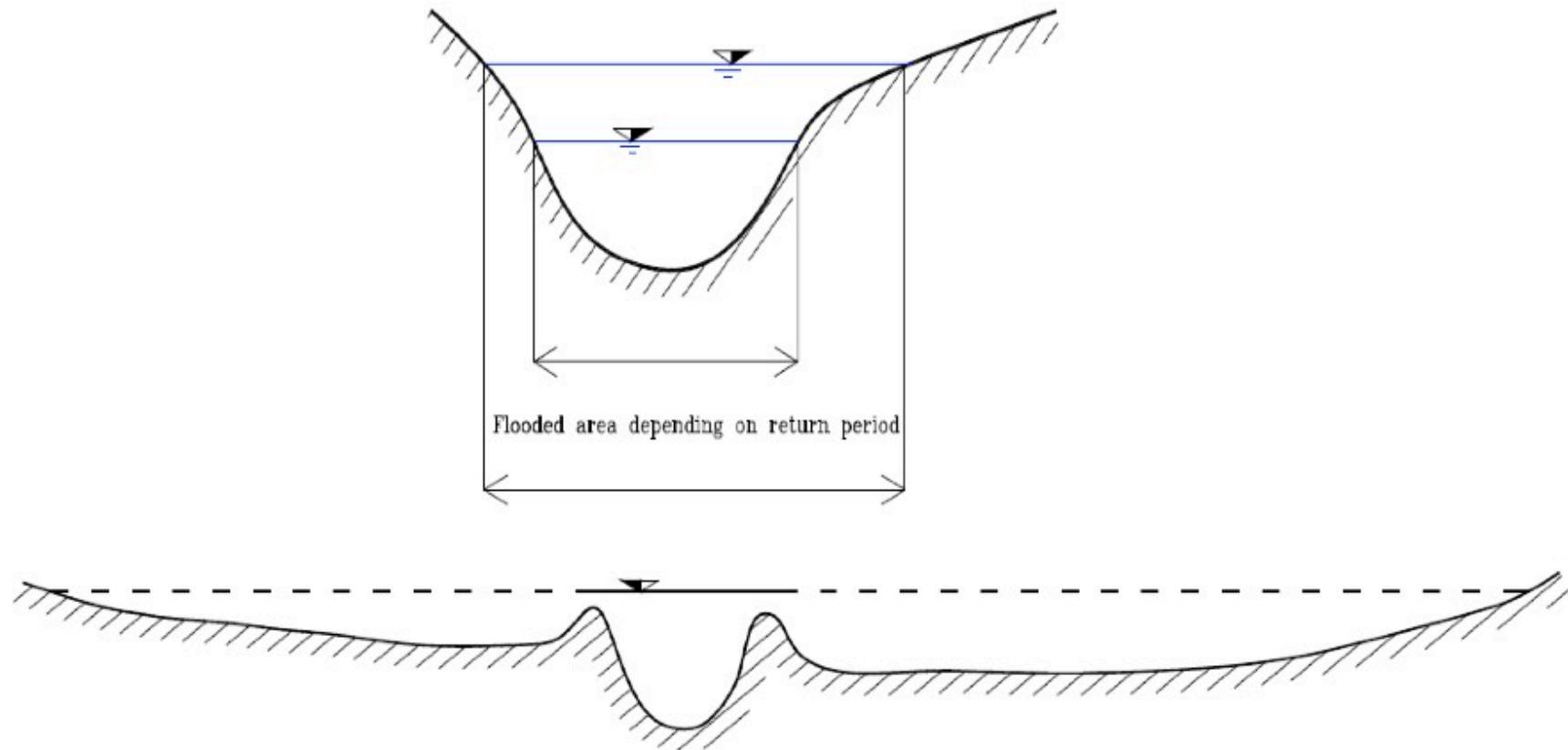
- a) estensione dell'inondazione;
- b) altezza idrica o livello;
- c) **caratteristiche del deflusso (velocita' e portata).**

Perimetrazione delle aree inondabili

(metodi speditivi)



METODO TOPOGRAFICO

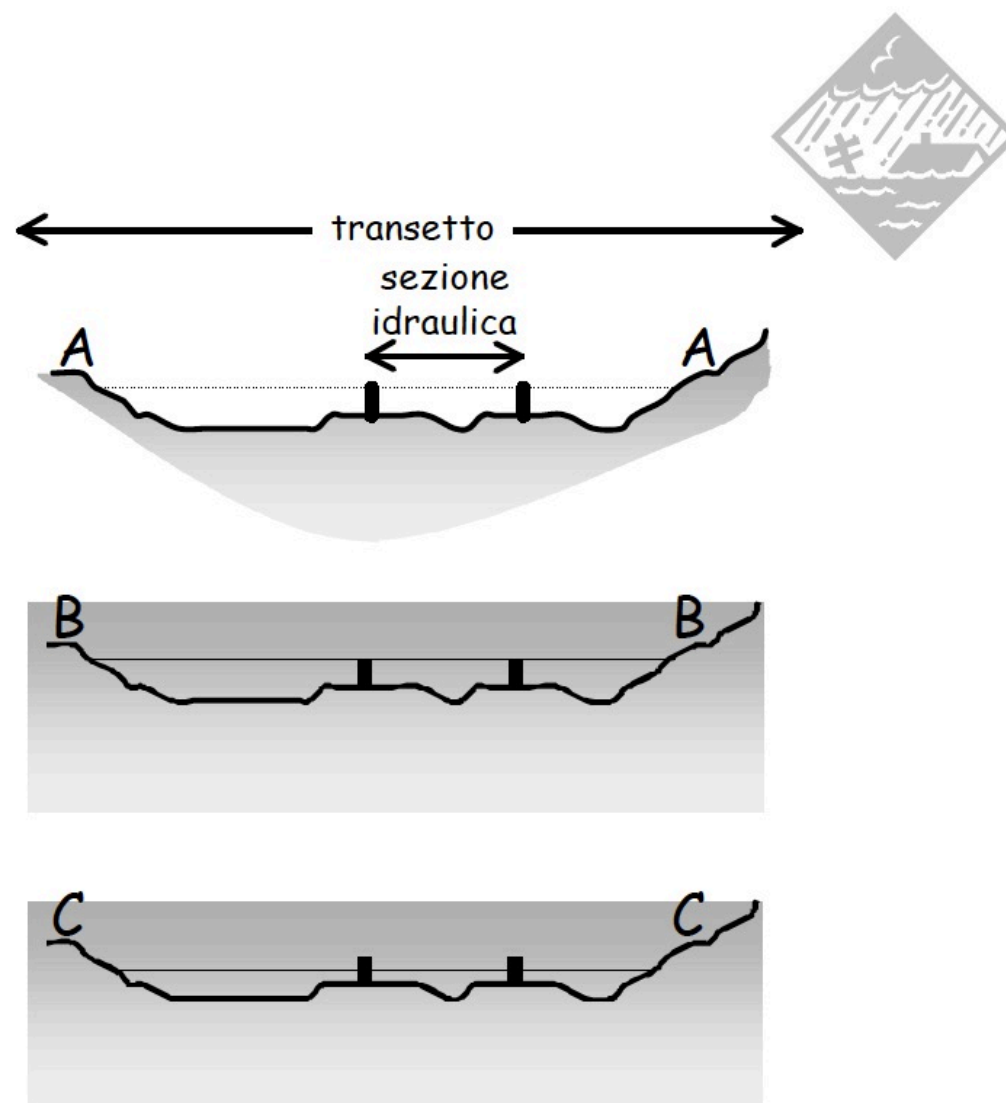


Metodo topografico

determinazione delle aree inondate con l'**ipotesi 1**: argini infinitamente alti e in grado di contenere al loro interno qualsivoglia livello idrico

determinazione delle aree inondate con l'**ipotesi 2**: raccordo di tutti i punti aventi una quota minore di quella degli argini

determinazione delle aree inondate con l'**ipotesi 3**: partecipano al moto non solo l'alveo reale compreso tra gli argini nella loro attuale posizione, ma anche le zone perfluviali esterne all'alveo in senso stretto

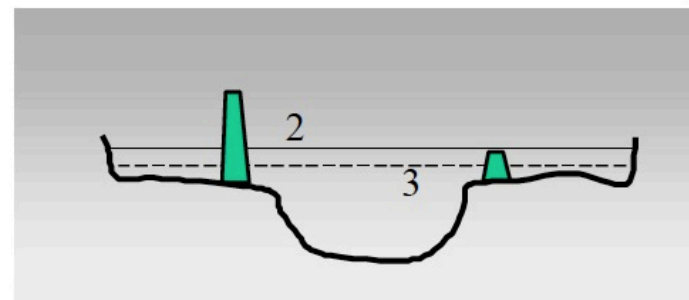


Piani golenali di dimensioni confrontabili con quelle dell'alveo

Metodo topografico



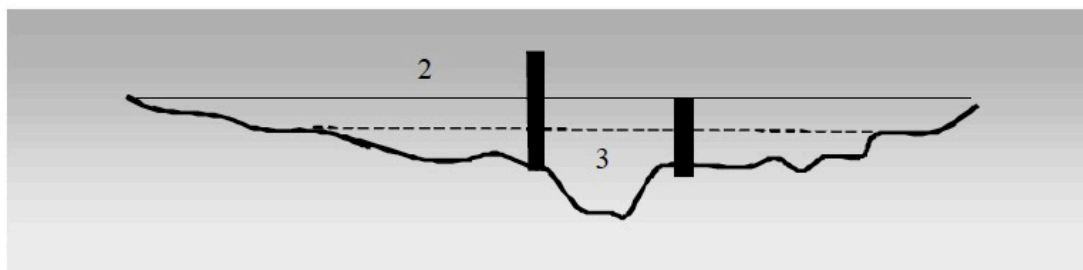
Differenza trascurabile del risultato adottando rispettivamente le due ipotesi di lavoro 2 e 3 per il calcolo delle aree inondabili in una **valle profondamente incisa**



Potenziale applicazione del metodo topografico alle **valli**

moderatamente incise con alvei arginati:

l'ipotesi 3 dà un risultato fisicamente sensato e risponde meglio alla realtà rispetto alle ipotesi precedenti.



Metodo topologico

Il calcolo si esegue partendo dall'ipotesi che l'acqua si muova passando da una condizione iniziale a una finale diminuendo il suo contenuto energetico.

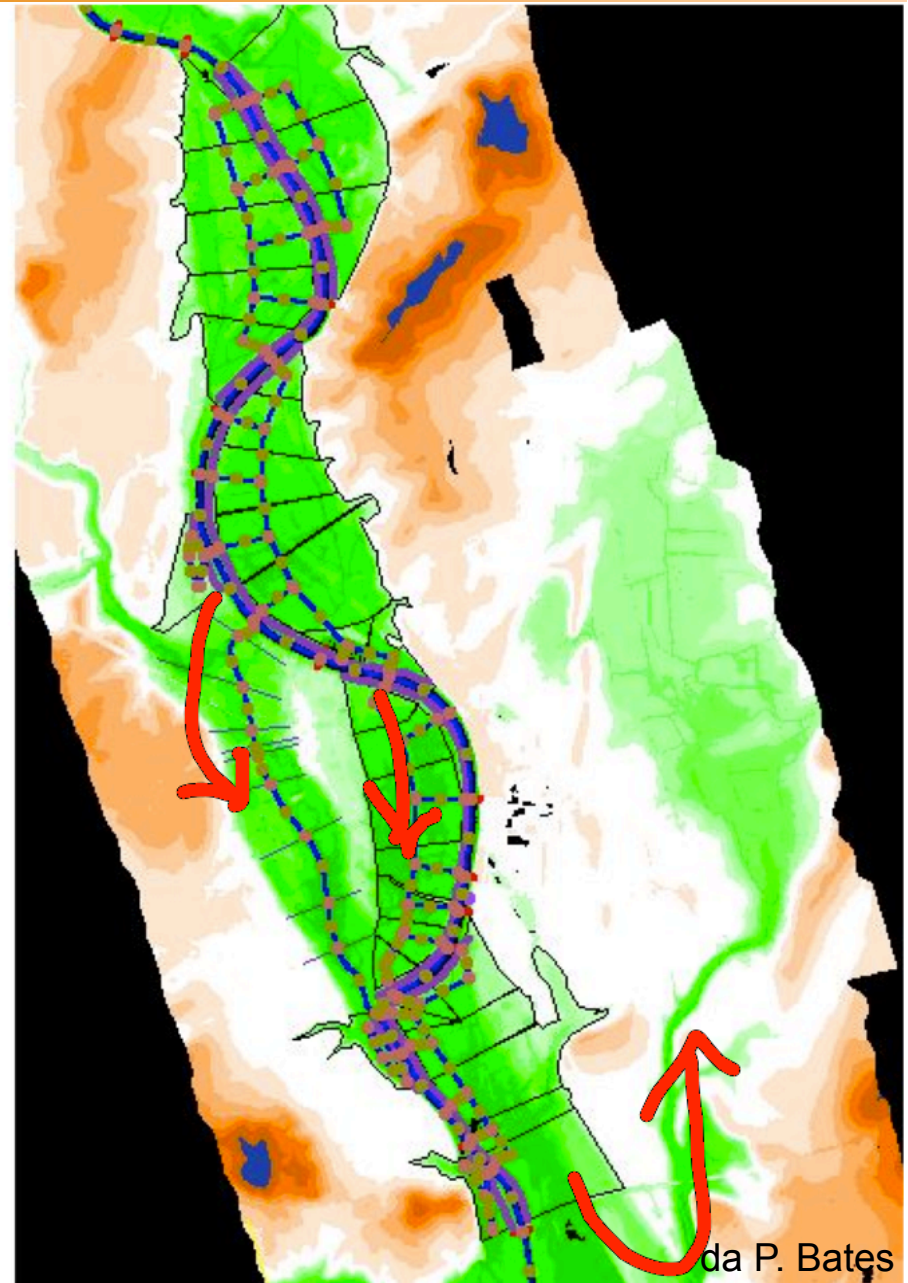
I dati di partenza sono costituiti dai **profili di corrente per tutte le portate al colmo con assegnato T** (tali profili sono ottenuti supponendo gli argini infinitamente alti).

Dallo studio di tali profili, si ricava la quota del punto degli argini in cui questi sono sovrastati dall'acqua. **La portata che defluisce in alveo a valle del punto di esondazione sarà diminuita di una quantità pari a quella stramazzata lateralmente.**

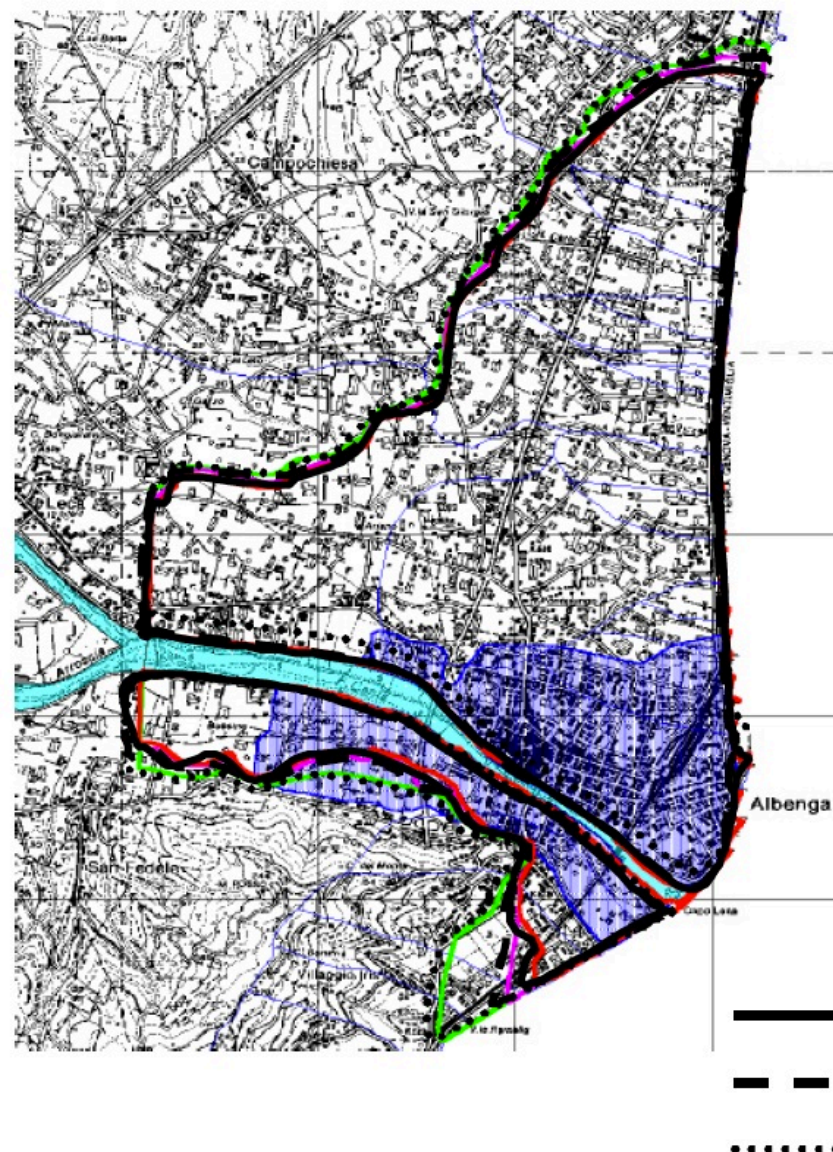
La determinazione delle aree inondabili viene eseguita **cercando sulla planimetria la zona più vicina del piano di campagna che ha quota minore, o al più uguale, a quella del punto di esondazione.**

Questa operazione si esegue fino a che l'acqua così esondata non arrivi a trovare sbocco in mare o non ritorni in alveo a valle.

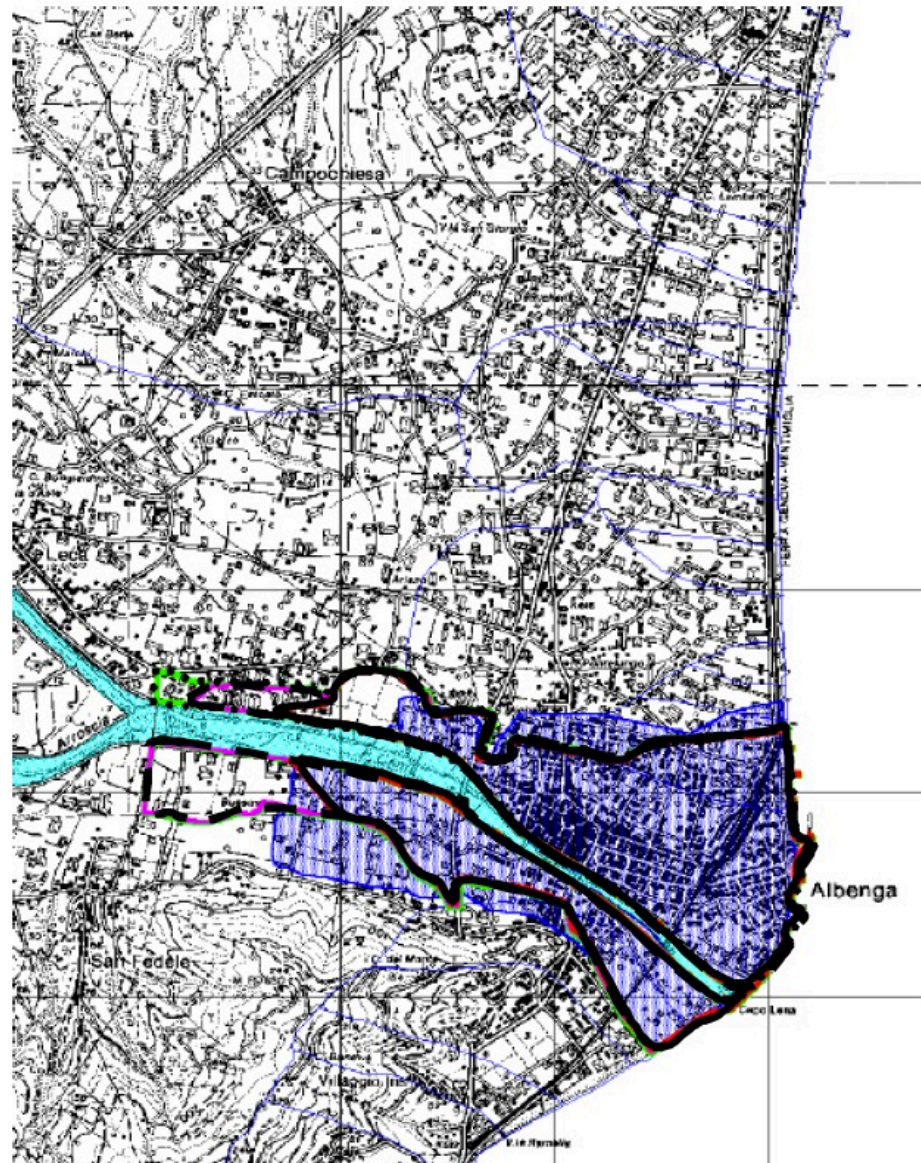
È relativamente insensibile al periodo di ritorno



Fiume Centa
Confronto tra le
aree inondabili
calcolate con il
metodo
topografico e le
aree
storicamente
inondate

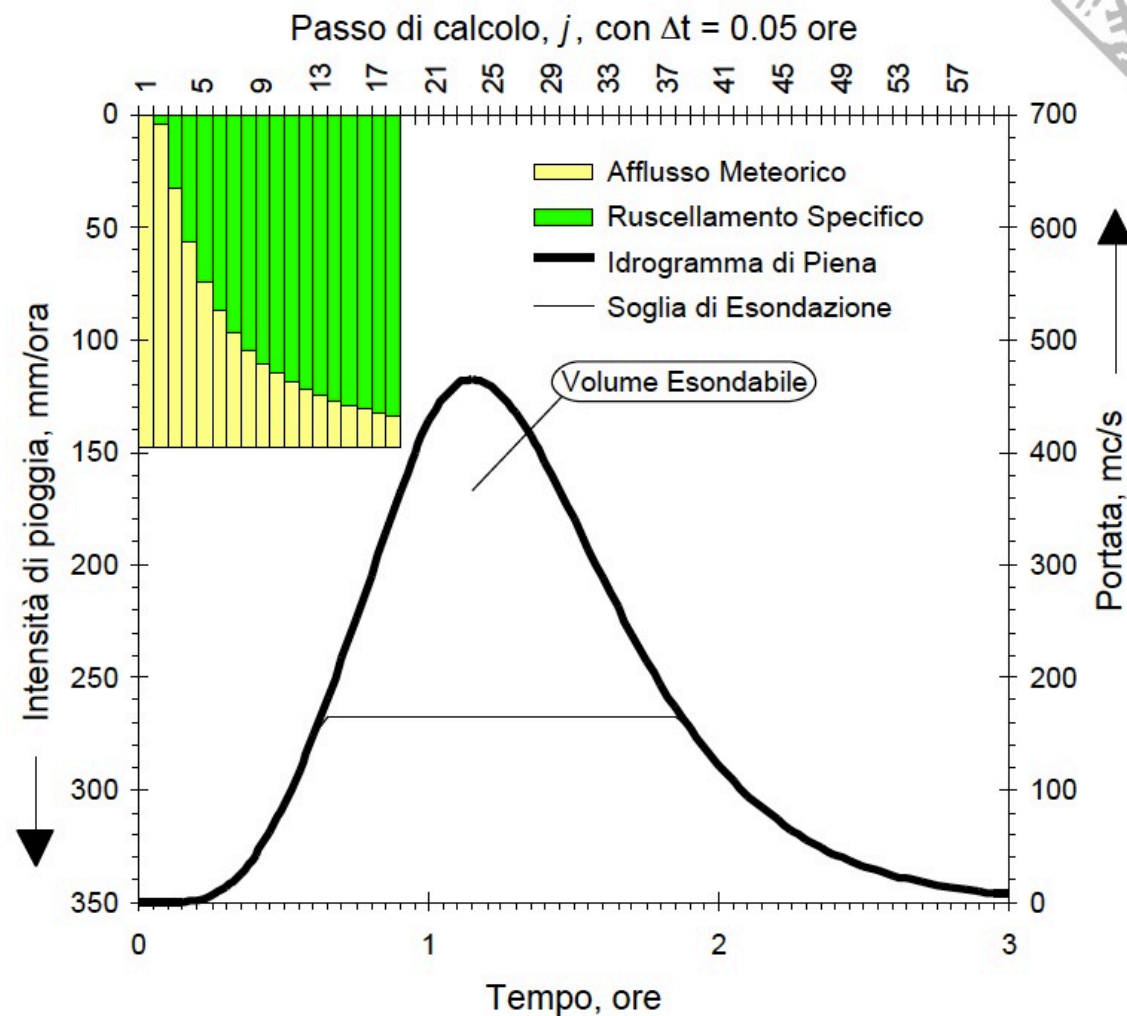


Fiume Centa
Confronto tra le
aree inondabili
calcolate con il
metodo
topologico e le
aree
storicamente
inondate

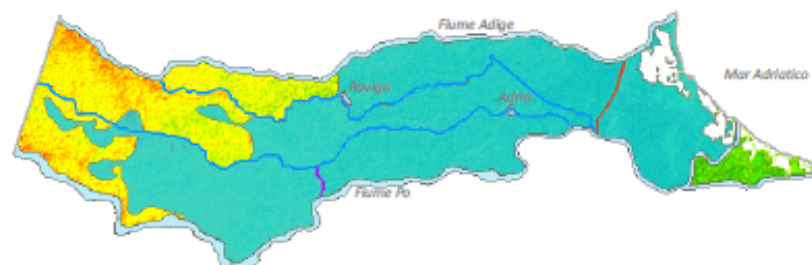


Metodo volumetrico

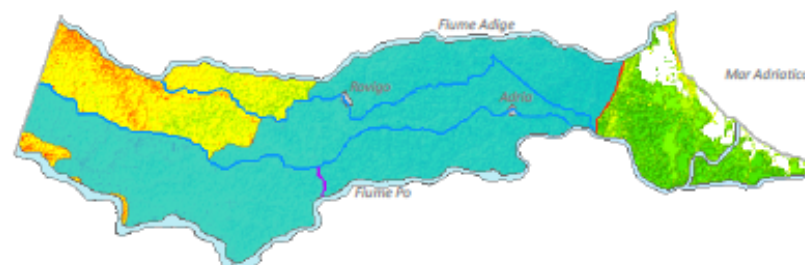
Idrogramma di piena e volume di esondazione



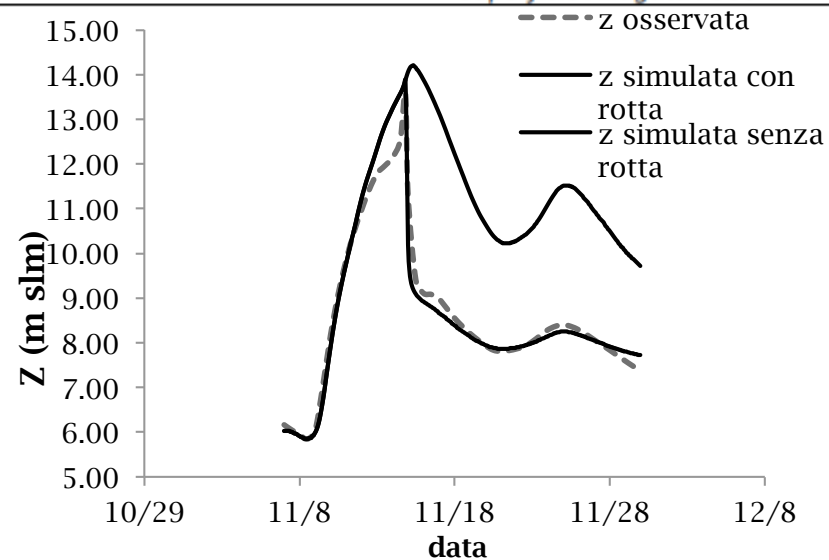
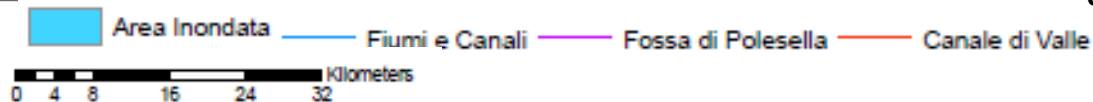
Osservate 1951

Superficie Allagata : 1080 km²

Simulazione LISFLOOD (©University of Bristol)

Superficie Allagata : 900 km²

Simulazione Sobek

Superficie Allagata : 1060 km²

Cosa serve (dati-metodi)



Topografia del tronco d'alveo

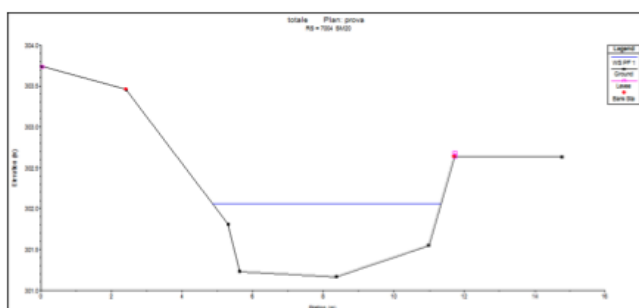
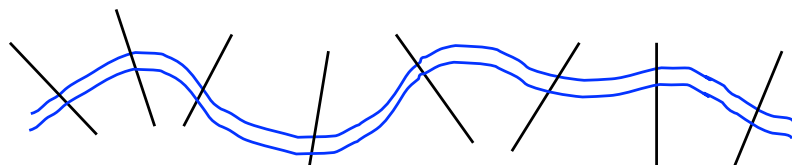


Figura A.1.13 - Schermata di Hec-Ras: sezione tipo tra San Francesco e Volpiano.

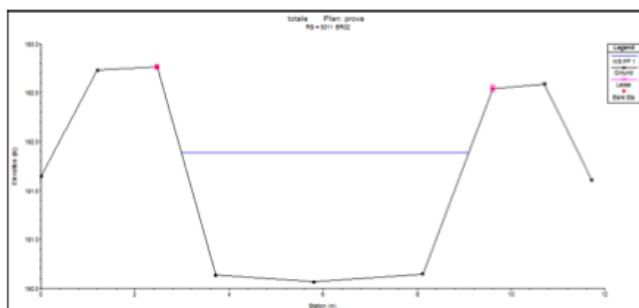
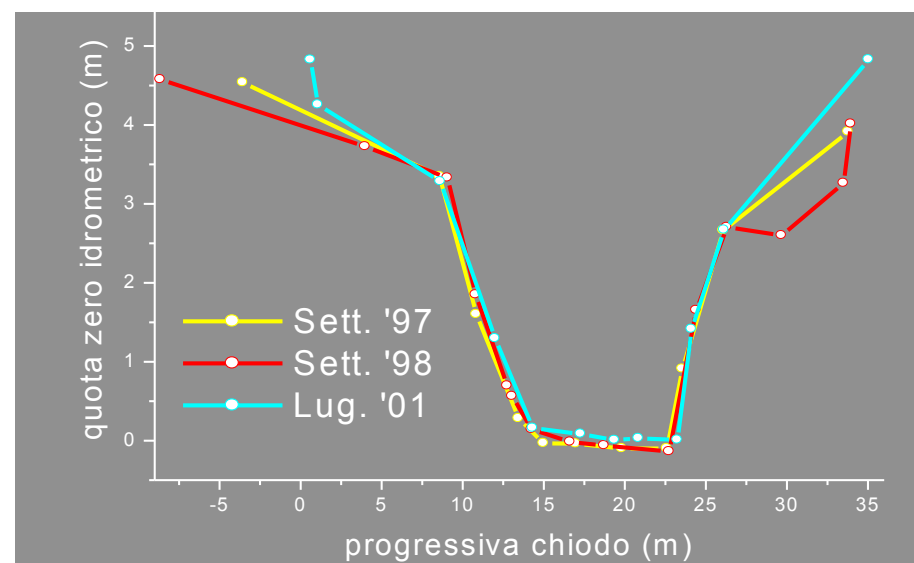


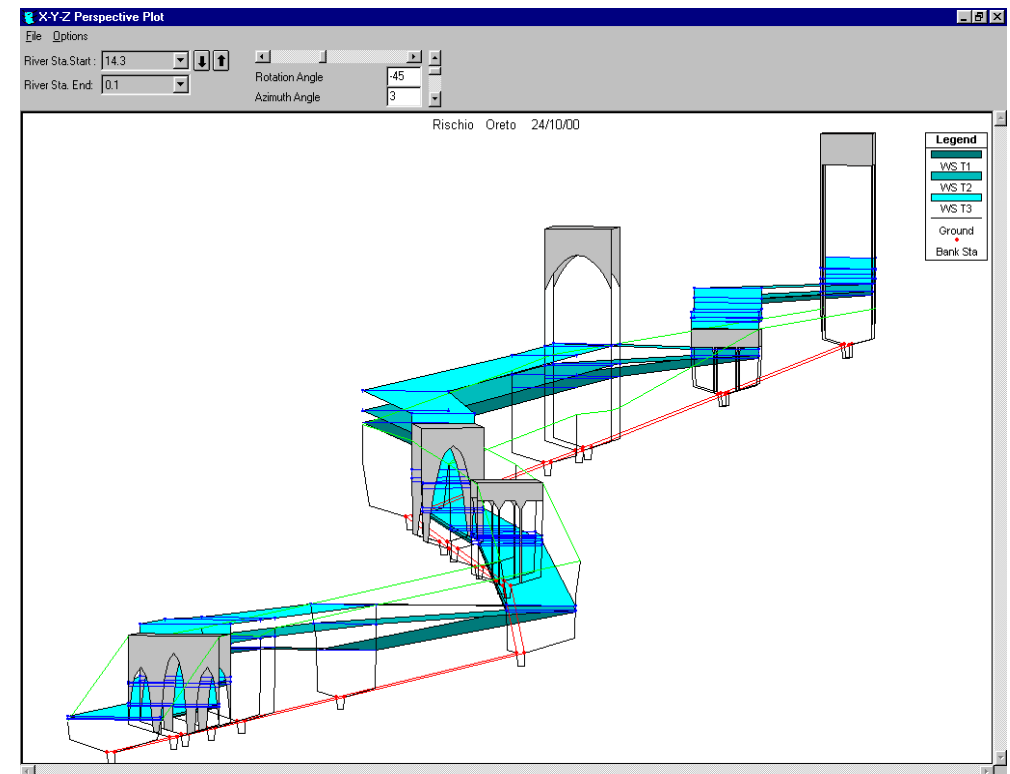
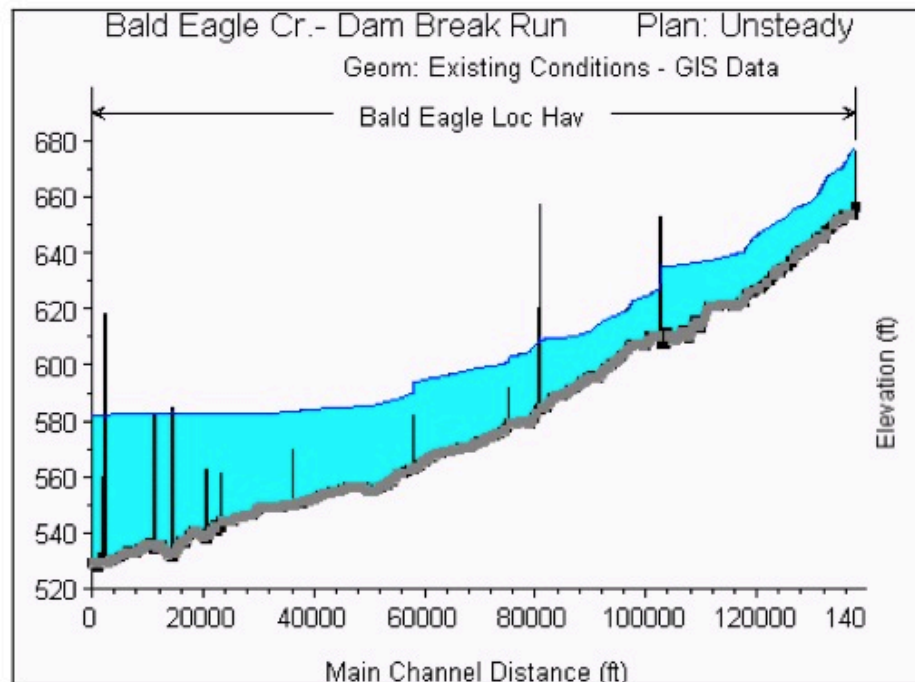
Figura A.1.14 - Schermata di Hec-Ras: sezione tipo nell'abitato di Brandizzo.



Variazioni della sezione nel tempo

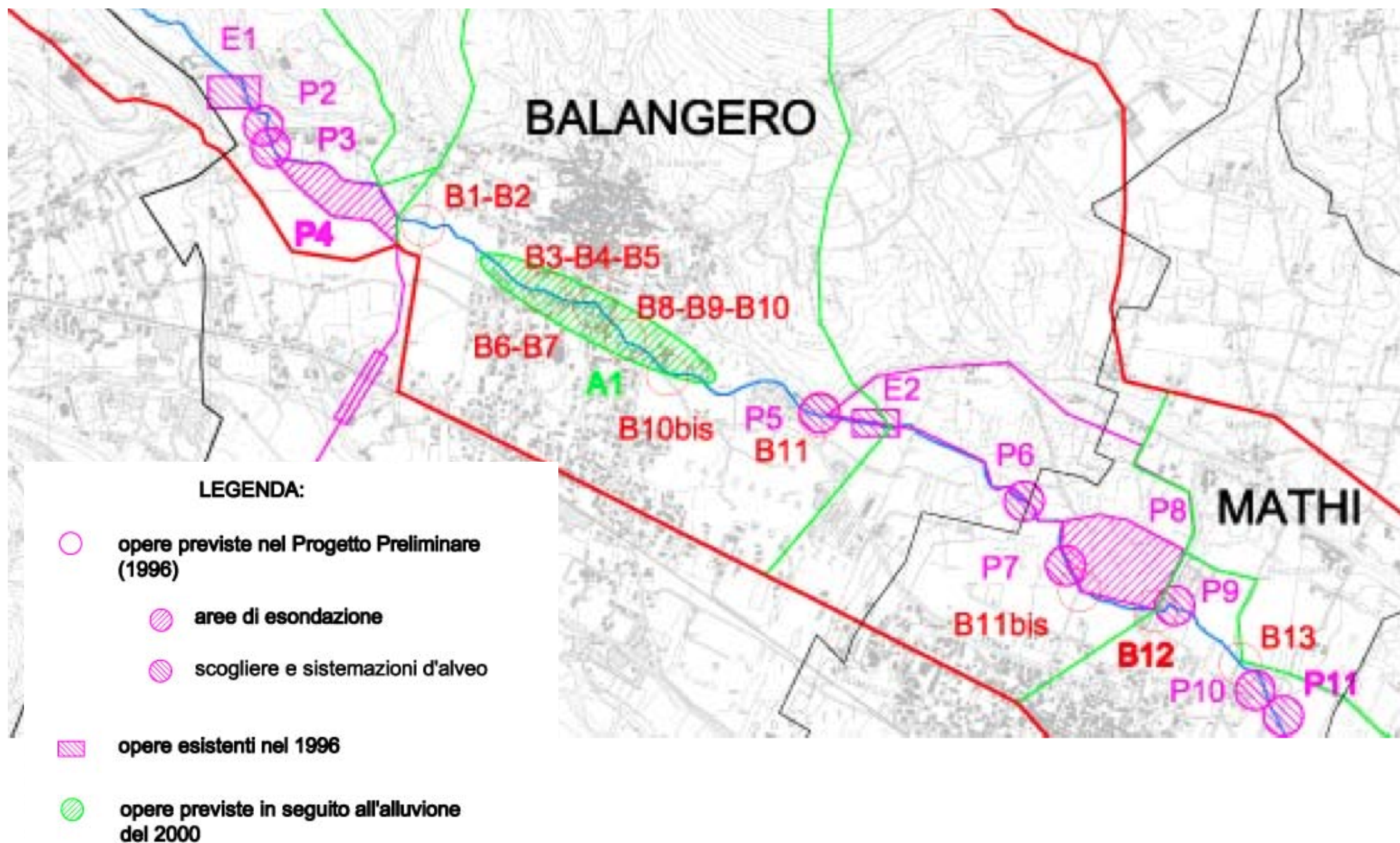
La **Simulazione Idraulica** riguarda la modellazione matematica delle relazioni tra portate, velocità e livelli idrici della piena, sia all'interno dell'alveo, che nelle zone circostanti.

In prima approssimazione si possono adoperare rappresentazioni in **MOTO PERMANENTE**

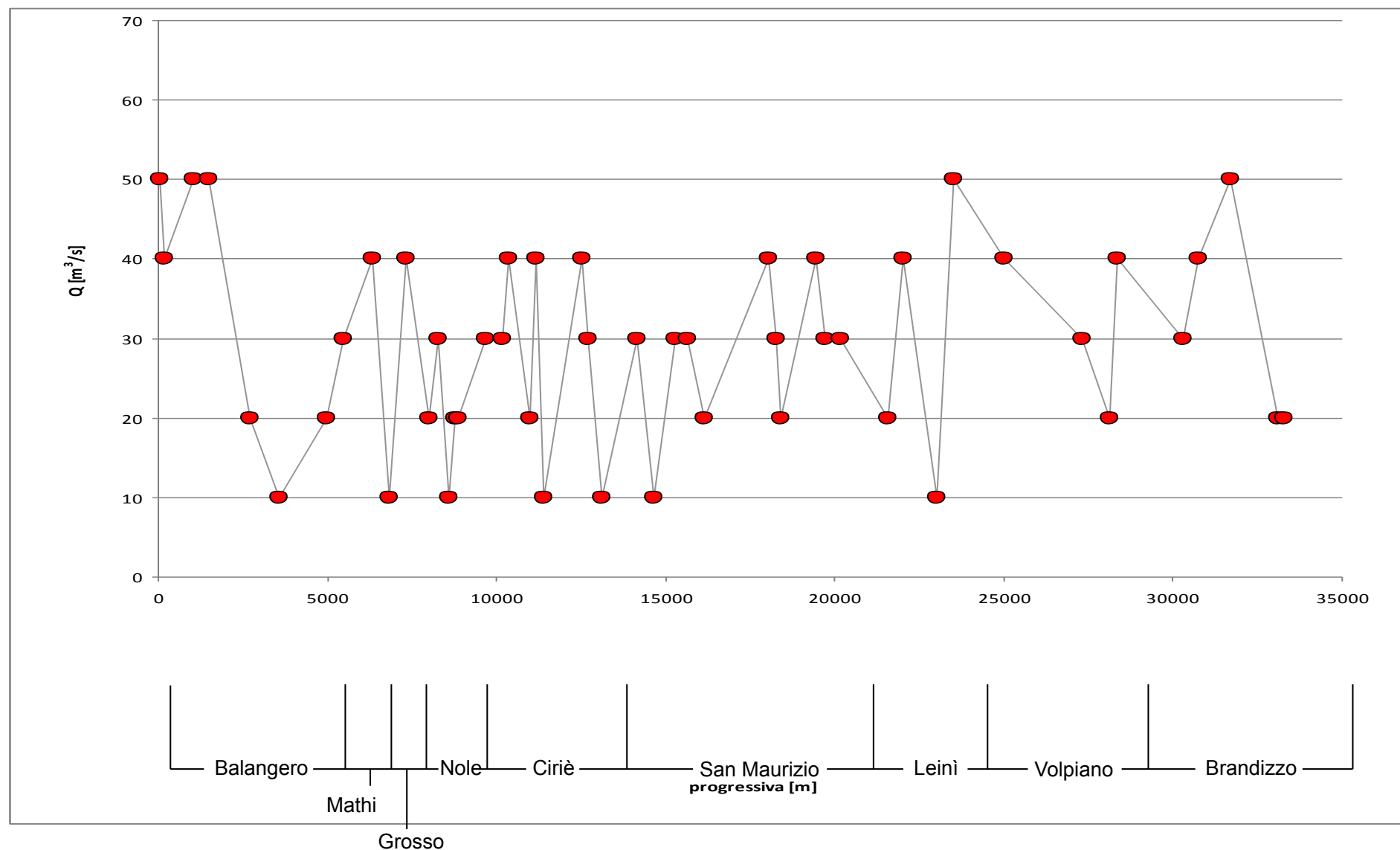


Esempi di calcolo del profilo di corrente mediante Software Hec-Ras





Condizioni idrauliche in moto permanente



Come si fa (livello 0)



Correnti uniformi e stazionarie a superficie libera

Nei moti stazionari uniformi, la linea piezometrica risulta parallela al fondo e coincide con la linea del pelo libero.

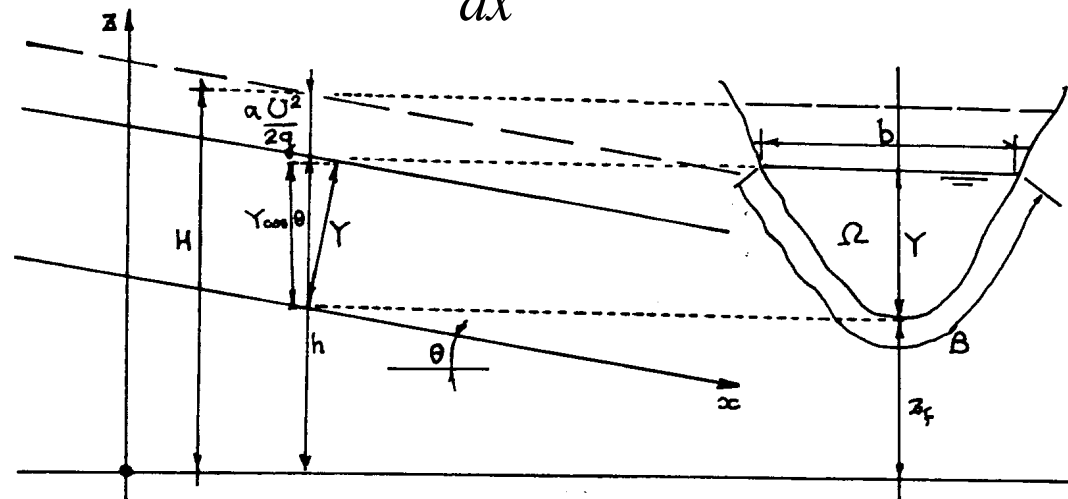
Il carico totale è

$$H = h + \alpha \frac{U^2}{2g}$$

Poiché la portata Q , e quindi la velocità U , è costante si può ricavare che la linea dei carichi totali è parallela al fondo e alla linea piezometrica

$$j = \frac{dH}{dx} = i_f = \text{cost}$$

$$i_f = \tan \theta$$



Correnti uniformi e stazionarie a superficie libera: equazione di Chezy

Nel caso di moto uniforme si ricava che gli sforzi tangenziali al fondo possono essere espressi come

$$\tau_0^f = \rho g R_i i_f$$

in cui $R_i = \Omega / B$ è il raggio idraulico, oppure utilizzando il *coefficiente di conduttanza* C

$$\tau_0^f = \frac{\rho U^2}{C^2}$$

E quindi la velocità risulta

$$U = C \sqrt{g R_i i_f}$$

O, nella forma originale proposta da Chezy:

$$U = \chi \sqrt{R_i i_f}$$

Conduttanza (conveyance)

Il coefficiente di conduttanza C , o il coefficiente di Chezy χ , dipendono dalla distribuzione di velocità all'interno della sezione

In condizioni di moto puramente turbolento, nella pratica professionale si usano le seguenti formule empiriche:

- Gauckler (1868)- Strickler (1923)

$$\chi = k_s R_i^{1/6}$$

- Bazin (1865)

$$\chi = \frac{87}{1 + \frac{\gamma_B}{\sqrt{R_i}}}$$

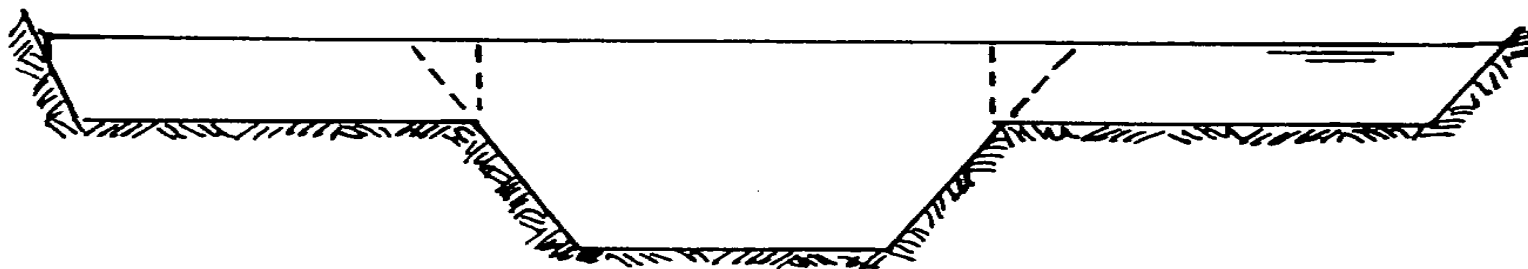
Valori di coefficienti di scabrezza per varie relazioni di resistenza

<i>Tipo di canale</i>	<i>Scabrezza omogenea equivalente ϵ (mm)</i>	<i>Bazin γ_B (m^{1/3})</i>	<i>Kutter m_K (m^{1/3})</i>	<i>Gauckler-Strickler k_g (m^{1/3} s⁻¹)</i>	<i>Manning n (m^{-1/3} s)</i>
1 - Pareti di cemento perfettamente liscio. Pareti di legno piallato. Pareti metalliche, senza risalti nei giunti.	0,15 ÷ 0,2	0,06	0,12	100 ÷ 90	0,011
- Idem ma con curve.	0,2 ÷ 0,4	0,10	0,18	90 ÷ 85	0,012
2 - Pareti di cemento non perfettamente liscio. Muratura di mattoni molto regolare. Pareti metalliche con chiodatura ordinaria.	0,4 ÷ 1,0	0,16	0,20 ÷ 0,25	85 ÷ 75	0,013
3 - Pareti di cemento in non perfette condizioni. Muratura ordinaria più o meno accurata. Pareti di legno grezzo, eventualmente con fessure.	2 ÷ 5	0,23 ÷ 0,36	0,35 ÷ 0,55	70 ÷ 65	0,014 ÷ 0,015
4 - Pareti di cemento solo in parte intonacate; qualche deposito sul fondo. Muratura irregolare (o di pietrame). Terra regolarissima senza vegetazione.	8	0,46	0,55 ÷ 0,75	60	0,018
5 - Terra abbastanza regolare. Muratura vecchia, in condizioni non buone, con depositi di limo al fondo.	15 ÷ 30	0,60 ÷ 0,85	0,75 ÷ 1,25	50	0,020 ÷ 0,022
6 - Terra con erba sul fondo. Corsi d'acqua naturali regolari.	70	1,30	1,50	40	0,025
7 - Terra in cattive condizioni. Corsi d'acqua naturali con ciottoli e ghiaia.	120 ÷ 200	1,75	2,00	35	0,030
8 - Canali in abbandono con grande vegetazione. Corsi d'acqua con alveo in ghiaia e movimento di materiali sul fondo, oppure scavati in roccia con sporgenze.	300 ÷ 400	2,0 ÷ 2,3	3,00	30	0,035

Correnti uniformi e stazionarie a superficie libera: Sezioni mistilinee

Spesso si deve affrontare lo studio di alvei in cui le sezioni trasversali hanno forma irregolare, costituite da porzioni caratterizzate da profondità e scabrezze diverse.

Spesso si deve per esempio distinguere tra un *letto di magra* e *aree golenali*.



Un semplice approccio, in questi casi, è quello di suddividere la sezione in porzioni distinte caratterizzate da scabrezze diverse.

Si noti che il raggio idraulico di ciascuna porzione è determinato dalla porzione di contorno solido in essa presente.

Alle diverse porzioni si applicano le considerazioni sul moto uniforme, per esempio la portata complessiva si sommano i contributi delle singole porzioni.

Correnti stazionarie a superficie libera: il caso degli alvei naturali

Lo studio delle correnti stazionarie a superficie libera, fondato sul modello 1-D, è finalizzato principalmente al tracciamento dei cosiddetti *profili di rigurgito*, cioè dell'andamento della superficie libera in tronchi quasi-cilindrici del corso d'acqua.

Si definisce **carico specifico** rispetto al fondo alveo

$$E = Y + \alpha \frac{U^2}{2g} = Y + \alpha \frac{Q^2}{2g\Omega^2}$$

l'equazione del moto è

$$\frac{dE}{dx} = i_f - j$$

Ovvero

$$\frac{dY}{dx} = \frac{i_f - j}{\frac{dE}{dY}}$$

che è l'equazione dei profili stazionari (di rigurgito) in alvei cilindrici.

Correnti stazionarie a superficie libera: alvei naturali con sezioni qualsiasi

Sempre nel caso di moto stazionario, le equazioni di continuità e del moto possono essere scritte come:

$$\Omega U = \text{cost}$$

$$\frac{d}{dx} \left(z_f + Y + \frac{U^2}{2g} \right) = - \frac{\tau_0^f}{\rho g R_i}$$

Negli alvei naturali, risulta spesso difficile definire una pendenza di fondo. Considerando "sezioni qualsiasi", gli **alvei** diventano **Non Cilindrici**. In particolare, per come è stato assunto il sistema di riferimento, $h = z_f + Y$ (quota assoluta di pelo libero) e l'equazione del moto diventa

$$\frac{d}{dx} \left(h + \frac{U^2}{2g} \right) = \frac{dH}{dx} = -j$$

con j pendenza dei carichi totali, calcolata nell'ipotesi che il moto sia una successione di moti uniformi:

$$j = \frac{U^2}{g C^2 R_i}$$

Soluzione numerica dell'equazione dei profili di rigurgito

L'equazione dei profili di rigurgito

$$\frac{d}{dx} \left(h + \frac{U^2}{2g} \right) = \frac{dH}{dx} = -j$$

può essere risolta nota una condizione al contorno a monte (correnti veloci) o a valle (correnti lente).

Posta nella forma
$$\left(h_2 + \frac{Q_2^2}{\Omega_2^2 2g} \right) - \left(h_1 + \frac{Q_1^2}{\Omega_1^2 2g} \right) = -j_m \Delta x$$

Se la condizione nota riguarda la sezione 1, richiede la determinazione del valore incognito di livello idrico assoluto h nella sezione 2 in funzione del valore della perdita di carico media j_m (anch'esso funzione di h_2).

$$j_m = \frac{1}{2} \left[\frac{Q_1^2}{\Omega_1^2 g C^2 R_1} + \frac{Q_2^2}{\Omega_2^2 g C^2 R_2} \right]$$

Soluzione numerica dell'equazione dei profili di rigurgito

La soluzione numerica è ricavata passo passo secondo lo schema di Eulero-Cauchy (*standard-step method*). E' un metodo **implicito**, secondo il quale

$$h_2 = h_1 + \frac{1}{2} \Delta x \left[f(x_1, h_1) + f(x_2, h_2) \right]$$

Assegnato un valore h_2 di primo tentativo al II membro, se ne otterrà uno al primo membro, detto h_2' .

Se la differenza $(h_2 - h_2')$ è diversa da zero (a meno di una tolleranza numerica), si dovrà fare un nuovo tentativo, che andrà nella direzione della riduzione, se tale differenza è positiva

Attenzione: in alvei a forte pendenza la soluzione risulta fortemente condizionata dalla scelta di Δx_n , che deve essere sufficientemente piccolo!

CONDIZIONI AL CONTORNO (Scabrezza!)



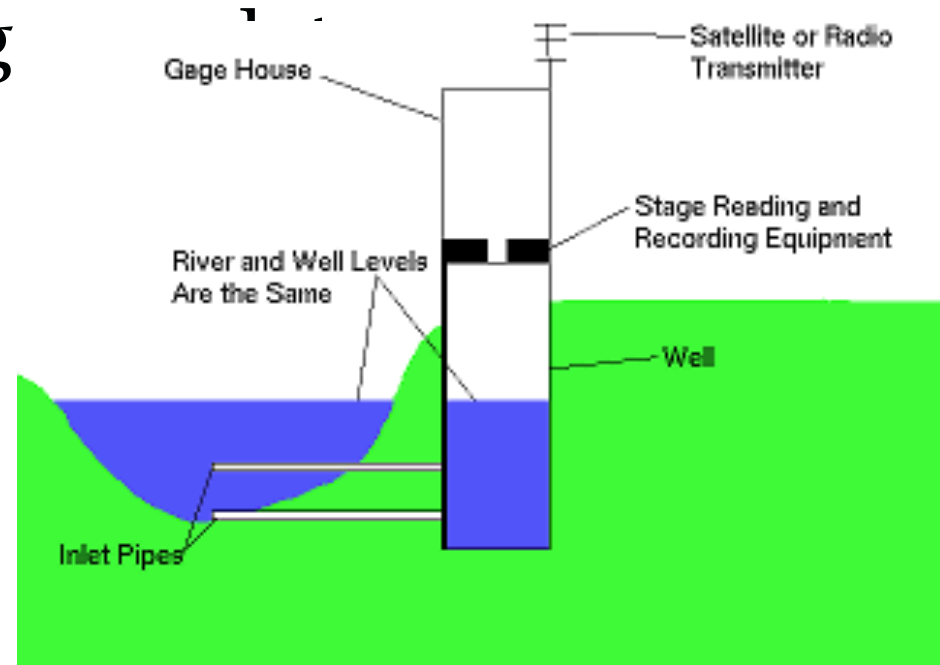
Flooding event – November 27th-28th 2005-
Ponte Nuovo Gauging Section

River g

Spacing ~10-60km

h measured and Q estimated via a rating curve

- Area and velocity data collected for a limited number of flows
- Empirical relationship between h and Q developed

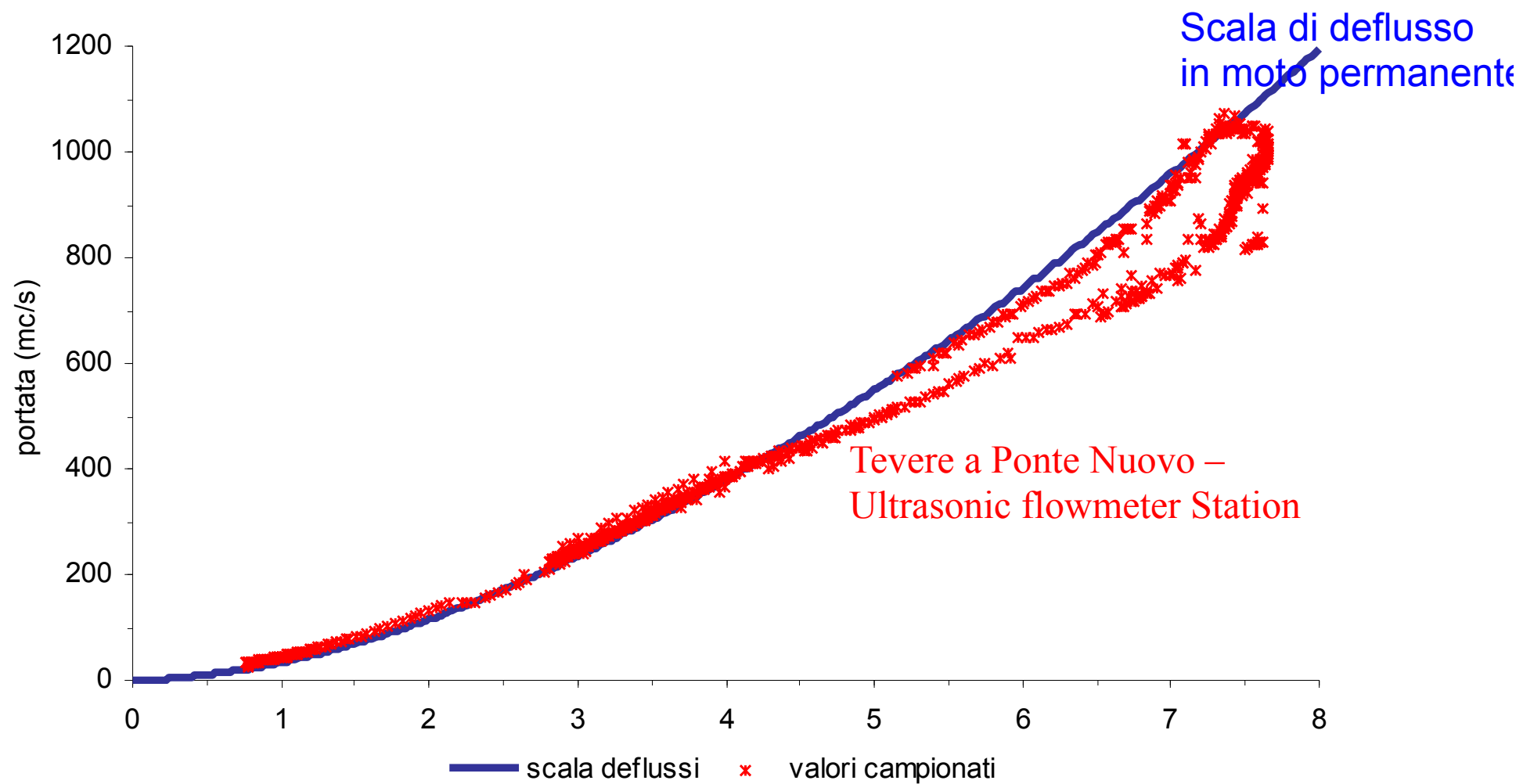


Problems

- Few velocity data collected during floods
- Rating curve inaccuracy
 - $\pm 5\%$ for in-bank flows, up to $\pm 25\%$ for out of bank

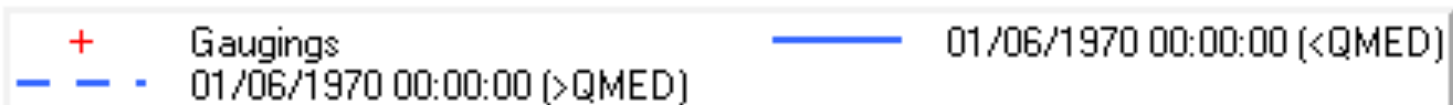
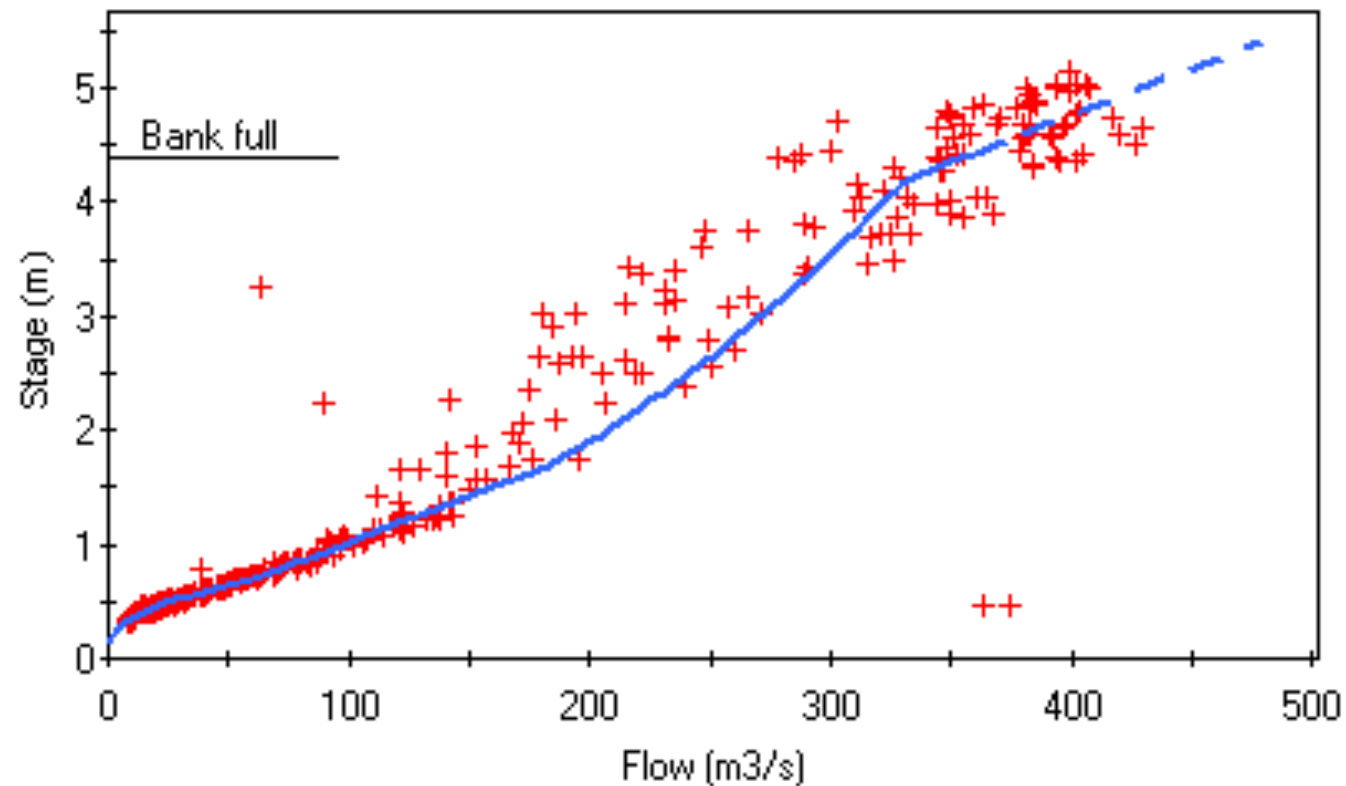


CONDIZIONI AL CONTORNO (**Scabrezza!**)



Flow rating curve

Ratings for Severn @ Saxons Lode Us



Nello studio della **propagazione delle onda di piena**, la corrente si considera gradualmente variata, con le sezioni trasversali piane e verticali, sulle quali la distribuzione della pressione si assume idrostatica. Si schematizza quindi la **corrente** come **monodimensionale**, localizzando le sezioni per mezzo di un'ascissa curvilinea x , diretta da monte verso valle e con origine arbitraria x_0 .

Le equazioni di continuità e del moto, sono quelle di De Saint Venant:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + J = 0$$

dove **Q** è la portata, **A** l'area bagnata della sezione, **H** è il carico totale medio, **V** è la velocità media, **J** è la pendenza della linea dei carichi totali.

carico totale:

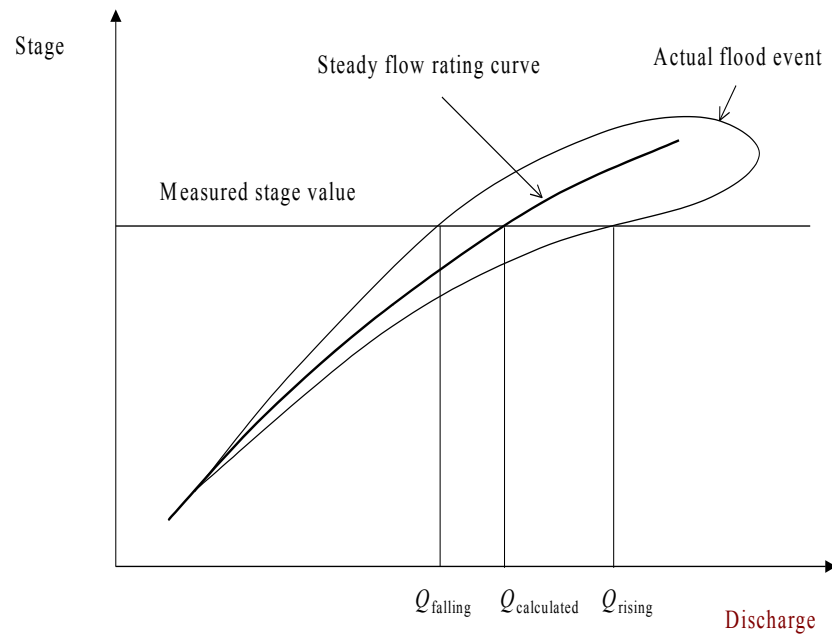
$$H = z + \frac{V^2}{2g}$$

z è l'altezza del pelo libero nella sezione, misurata rispetto a un arbitrario riferimento orizzontale

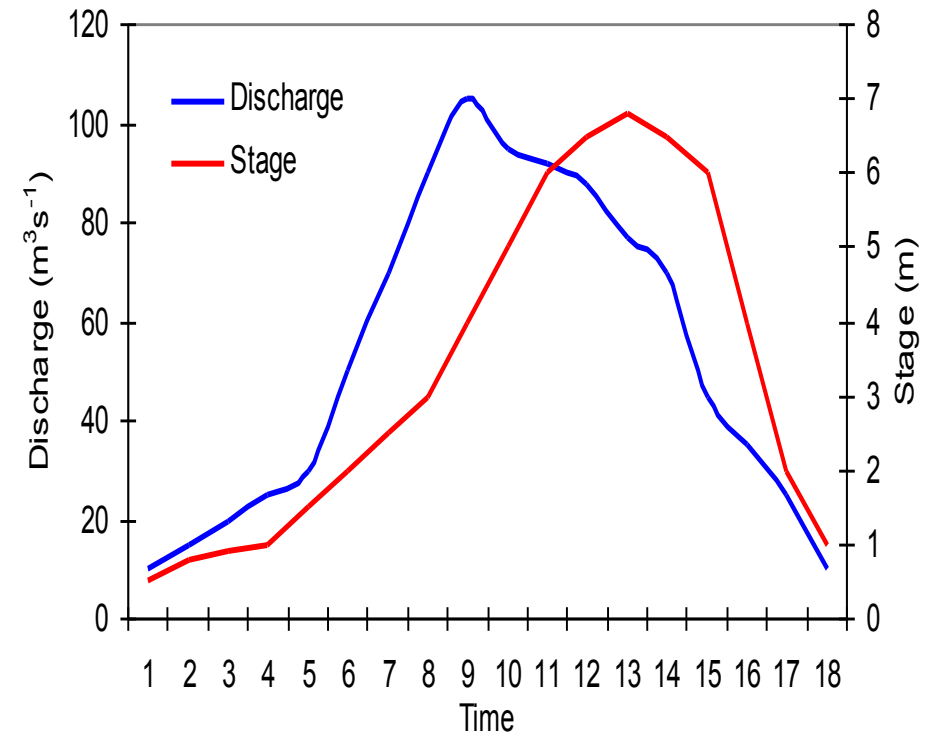
Combinando e riportando in termini di portata e area della sezione idrica A, si ha:

$$\frac{\partial z}{\partial x} + \frac{1}{gA} \left[\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) \right] + J = 0$$

scritta in questa forma, l'equazione del moto prende il nome di **equazione dell'equilibrio idrodinamico**, scritta utilizzando l'altezza d'acqua assoluta z rispetto ad un riferimento orizzontale



Cappio di piena

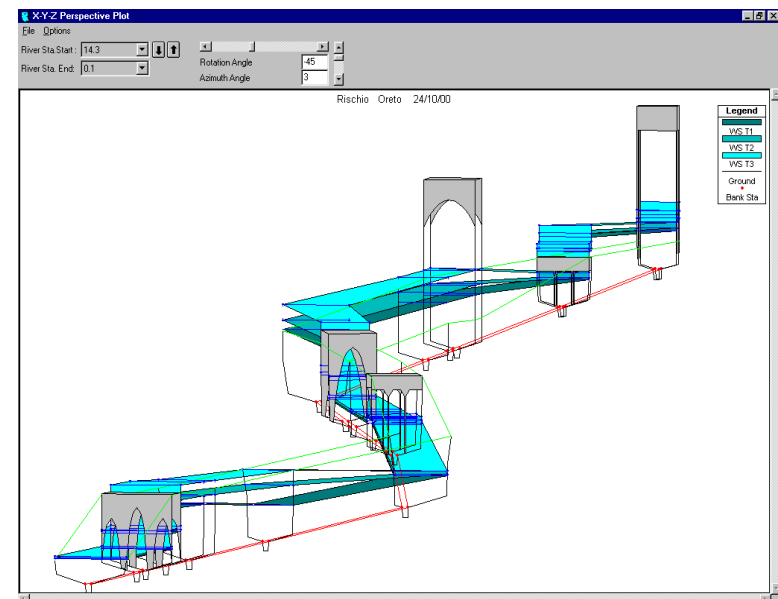


Idrogramma delle portate e dei livelli

I modelli di propagazione delle piene

Modelli monodimensionali (1-D):

Gli schemi monodimensionali sono i più semplici tra i modelli di propagazione. Tendono ad assimilare l'alveo e l'area inondabile ad un semplice canale, dove le golene (flood plains) sono viste come un particolare allargamento della sezione idrica.

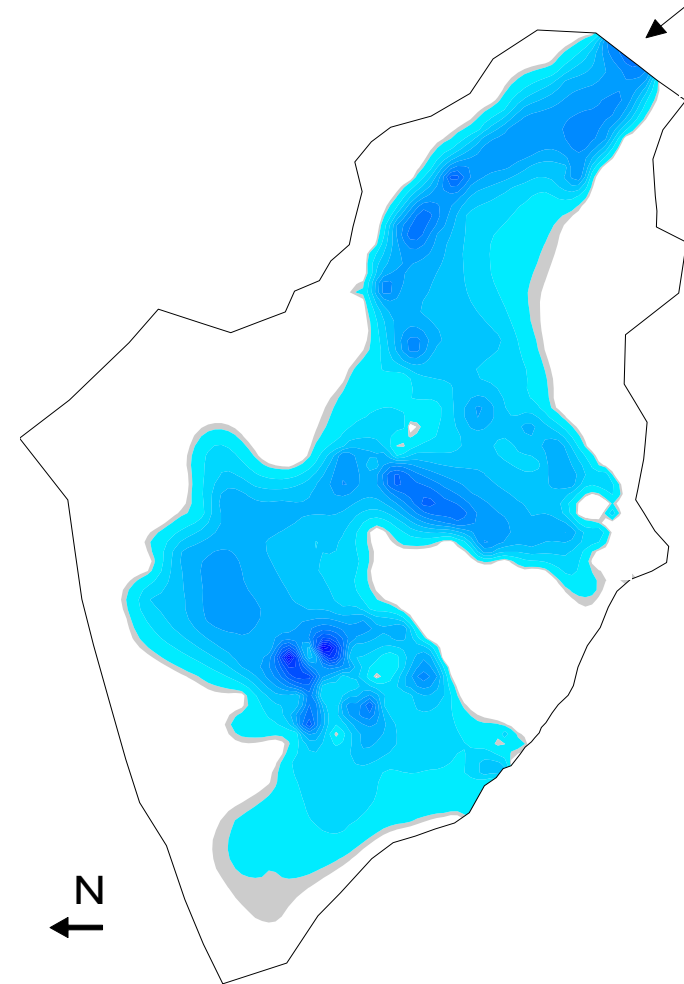


I modelli di propagazione delle piene

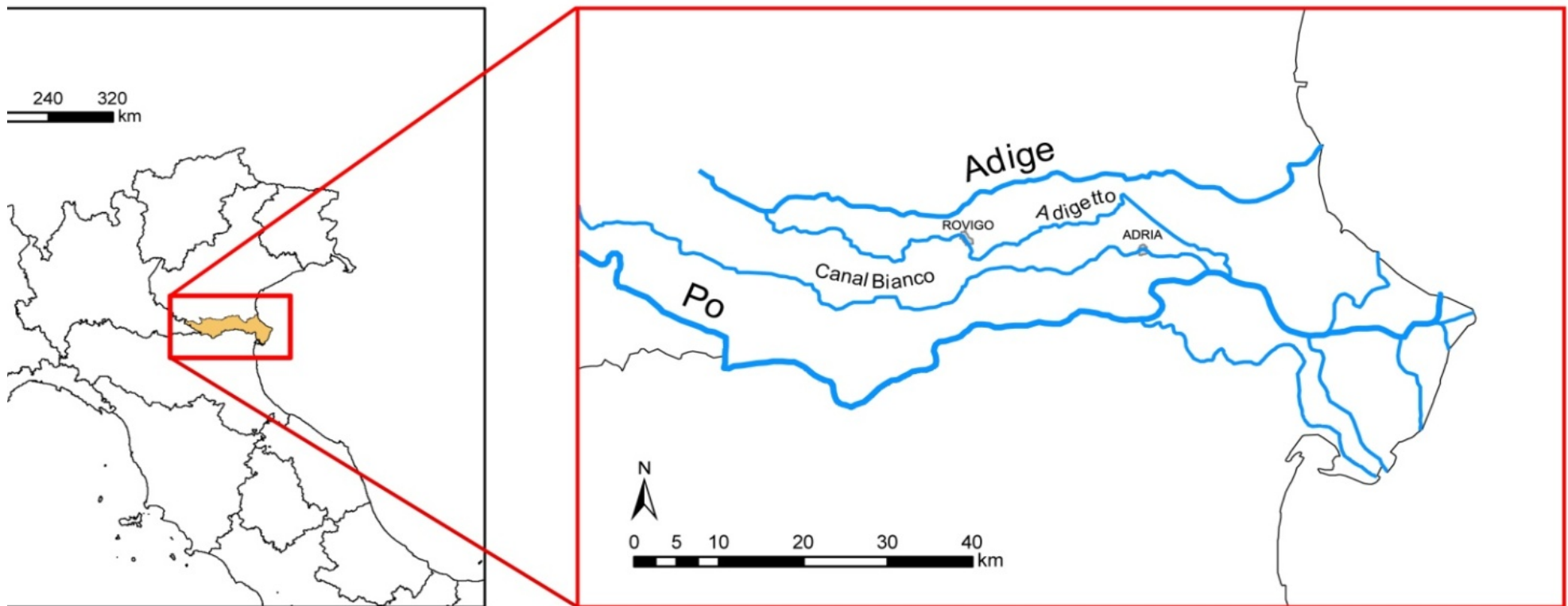
Modelli bidimensionali (2-D):

Quando:

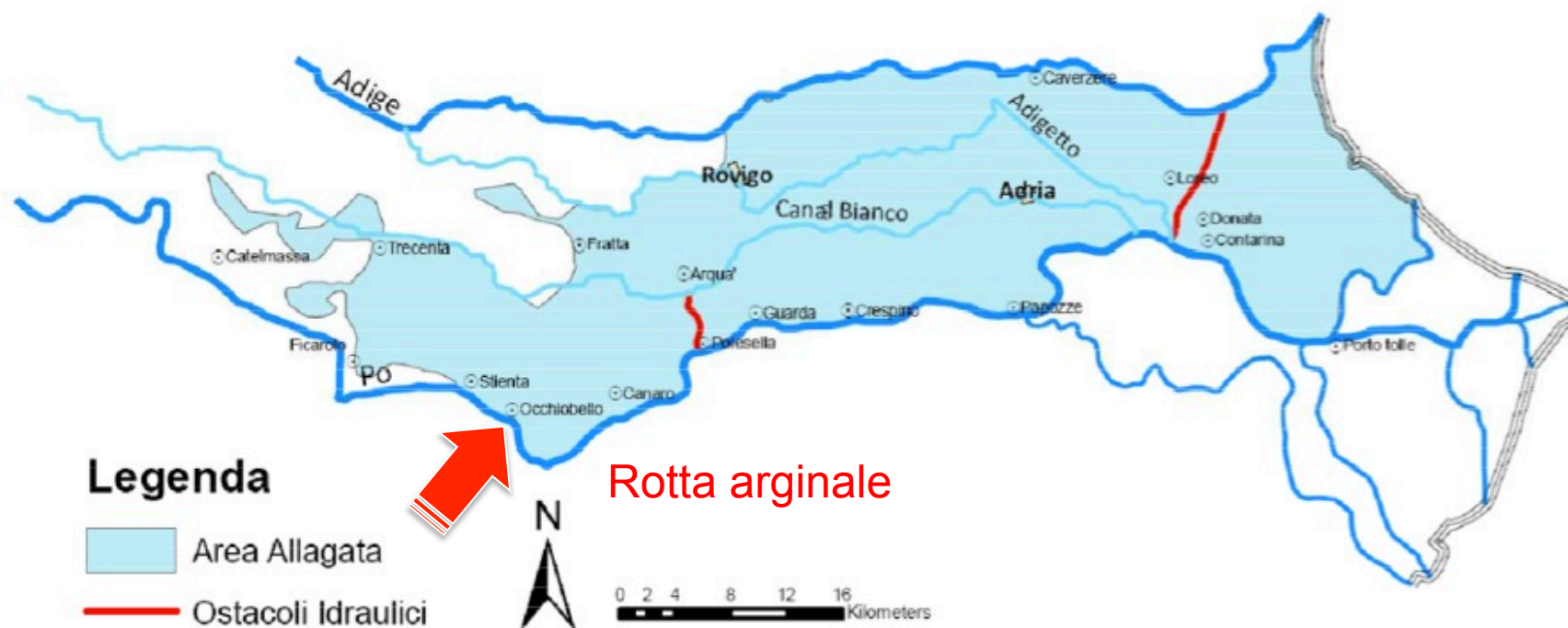
- aree inondabili ampie o con forme irregolari
- percorsi dei flussi non noti a priori,
- componenti di velocità in direzione ortogonale a quella dell'alveo.



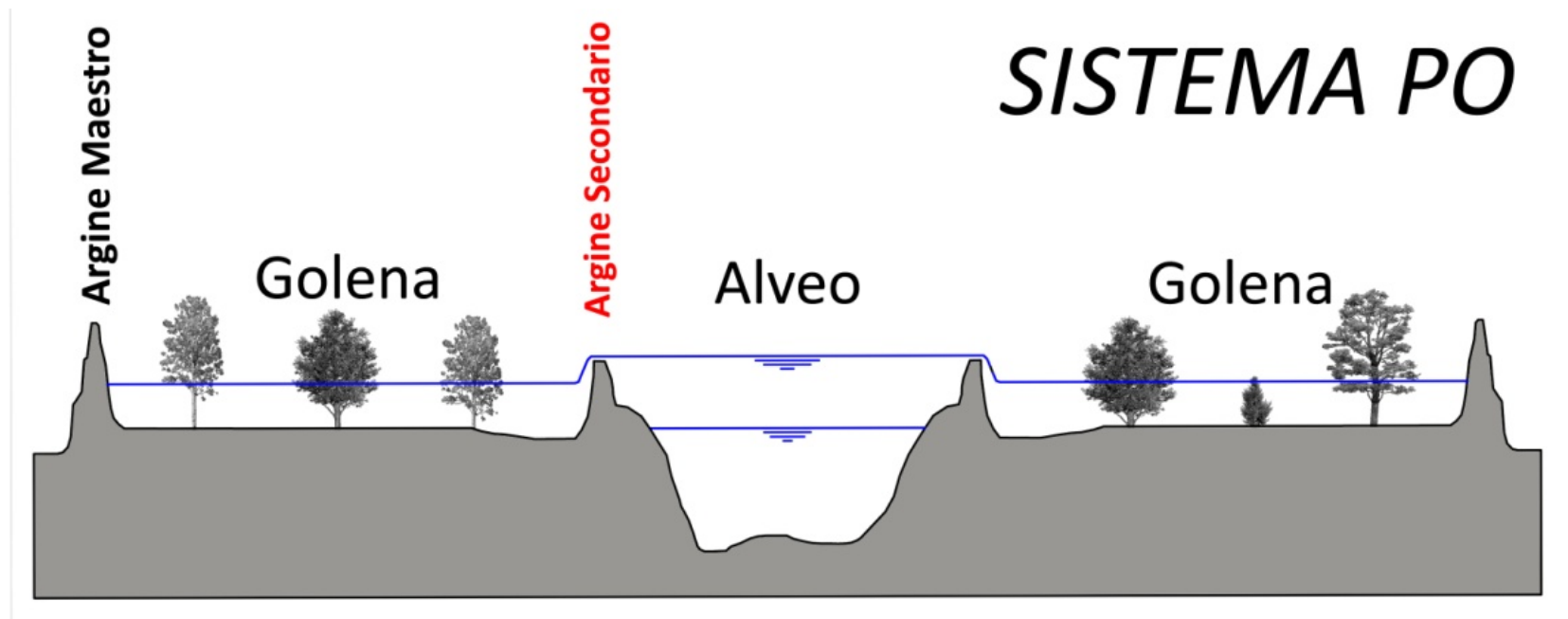
ESEMPIO: Alluvione del 1951 – Polesine



Nel Polesine, compreso tra il tratto finale del Po e quello dell'Adige, le uniche emergenze sulla pianura sono i rilevati arginali costruiti dall'uomo.



Nel “Sistema PO”. Si usano **golene chiuse**, che partecipano al moto solo in occasione di piene notevoli (*Non-Uniform Storage*).



Scale di deflusso a Viadana (Po)

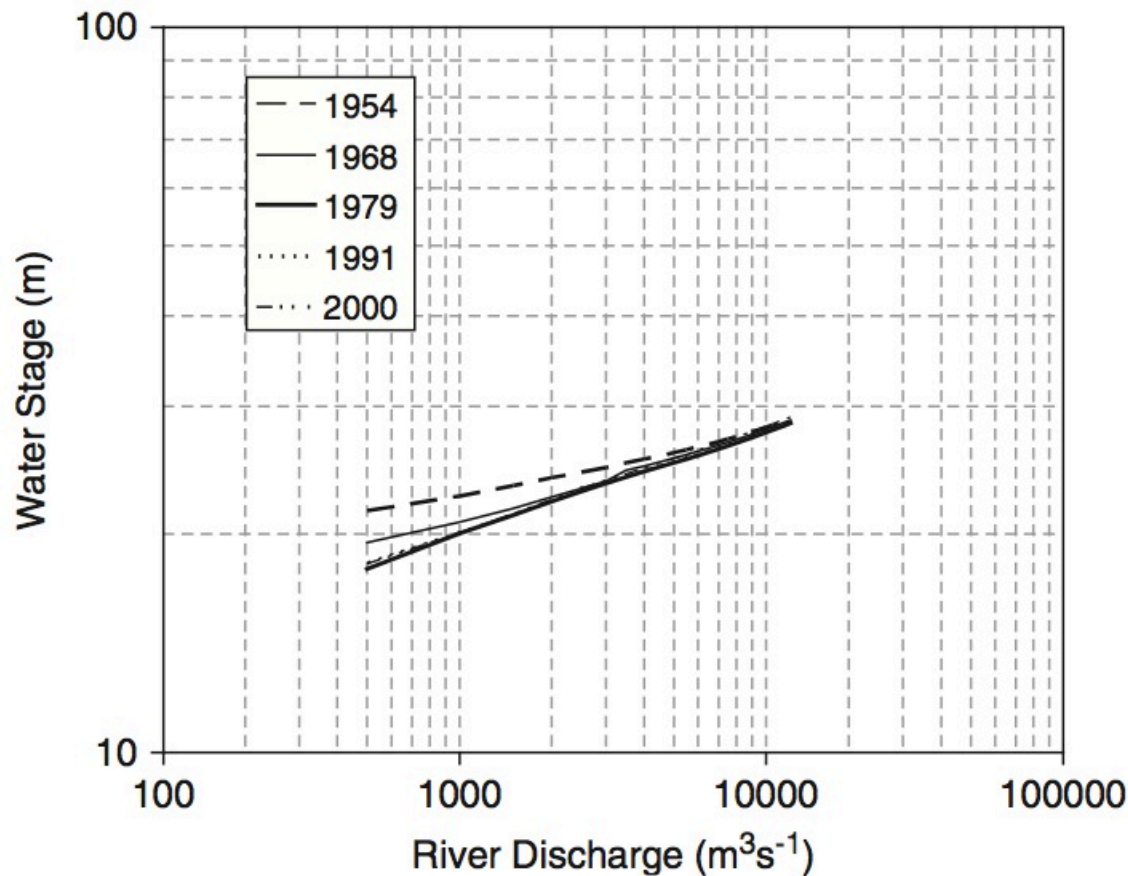
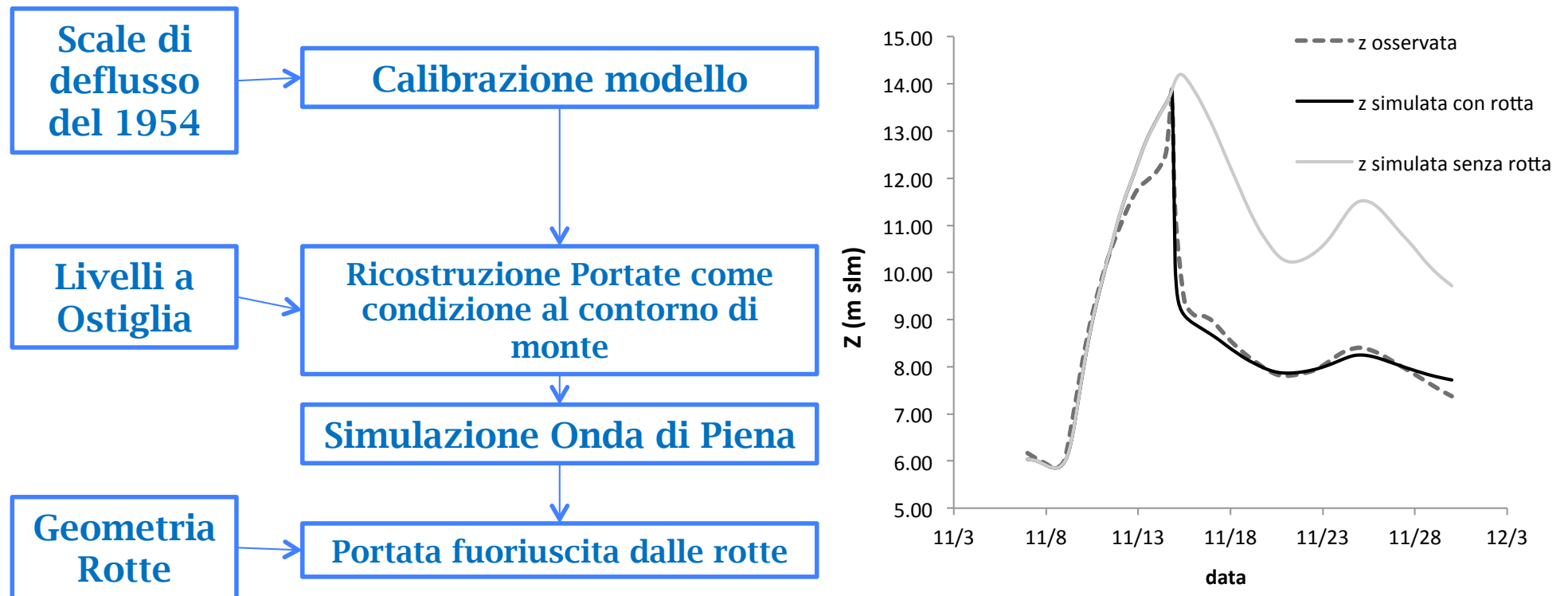


Figure 4 | Results of the second experiment: simulated water stage at Viadana versus river discharge values.

Applicazione di modello 1D, convalidato usando scale di deflusso del 1954

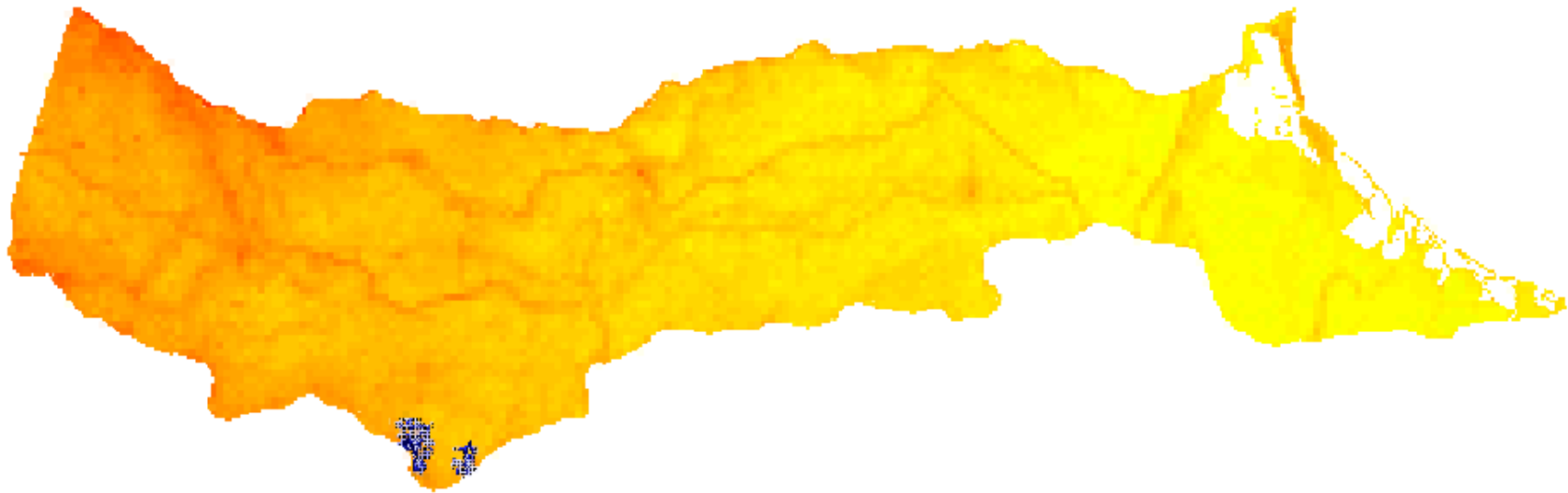
Il modello 1D fornisce le condizioni idrauliche al contorno in corrispondenza della rotta arginale

Lo schema geometrico **1D** utilizzato prende in considerazione un tratto di 93 km del Po compreso tra le stazioni idrometriche di Ostiglia (MN) e di Papozze (RO) ed è costituito da 21 sezioni topografiche trasversali rilevate nel 1954.



Modello idraulico 1D costruito con il software HEC-RAS

Modello Bi-Dimensionale di esondazione SOBEK (©Deltares)



Sono stati ricostruiti gli **ostacoli idraulici** presenti nel 1951.

Per applicare modelli idraulici:

- 5 categorie di informazioni:

Topografia

Condizioni al contorno

Condizioni iniziali

Parametri di scabrezza

Dati per la validazione



Calibrazione

- I coefficienti di scabrezza sono difficili da specificare *a priori* per applicazioni pratiche

Non sono noti i valori o la loro variabilità spaziale

- Valori inizialmente stimati sono spesso modificati in base ad una calibrazione

Si sceglie una categoria di dati 'di riferimento' rispetto ai quali le scabrezze vengono tarate (ad es. SCALE DI DEFLUSSO)

- Rappresentatività dei parametri:

Valori costanti usati per tronchi fluviali anche molto lunghi

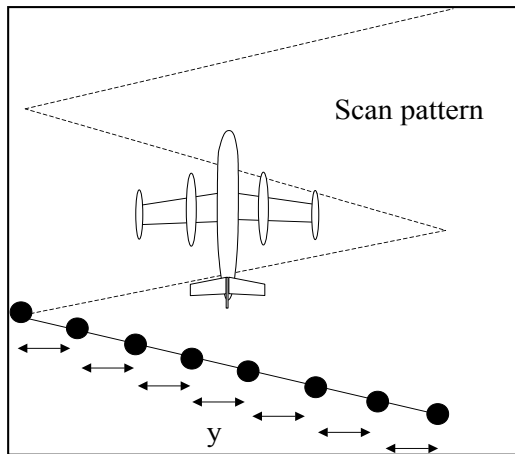
La calibrazione del modello in punti selezionati non ne garantisce in funzionamento corretto in altre aree

Possibili problemi se ci si affida ciecamente ai risultati del modello per la valutazione del rischio.

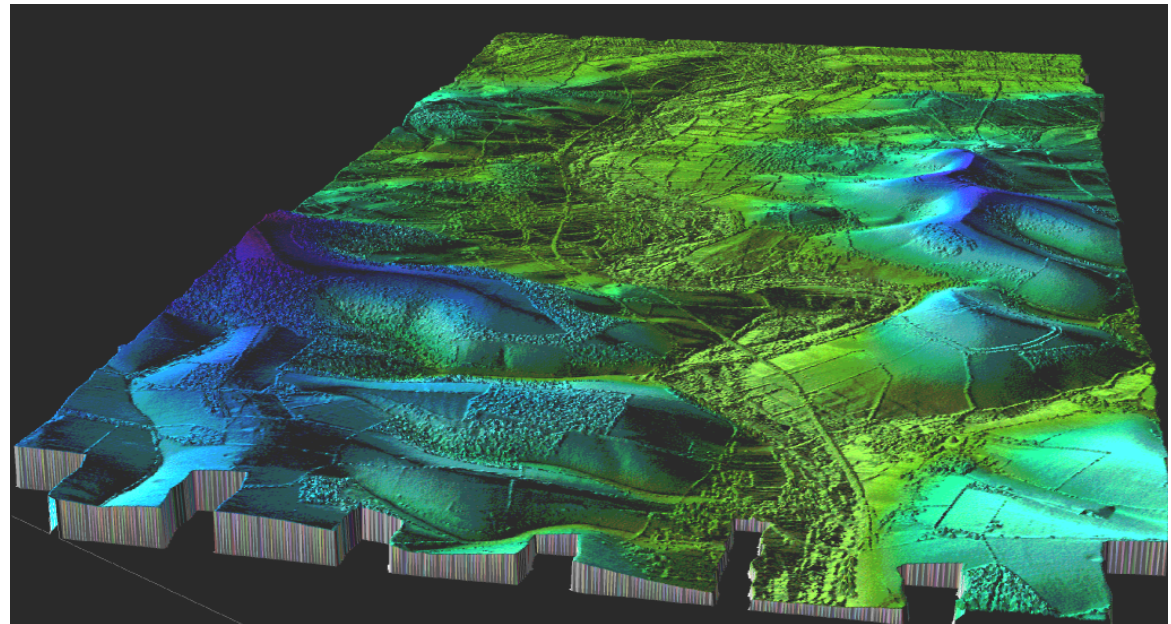


Aiuto dalle nuove tecnologie:

Remote sensing
GIS
Computer grafica



Altimetria Laser (LiDAR)



Airborne LiDAR data,
River Stour, Dorset (5
x 7 km, 3M data
points). Data
courtesy UK
Environment Agency



Inondazioni in ambiente urbano. Abbiamo abbastanza dati?



- Domanda: Le leggi ed i provvedimenti hanno ridotto il numero di vittime?
- (il caso del D.Lgs. n. 626/94)
- Problemi:
 - What to Route...*
 - La velocità
 -



Problemi (1)

"it is more important what to route than how to route"



Nubifragio Caselle Torinese (set 2008) (230 mm /6h)

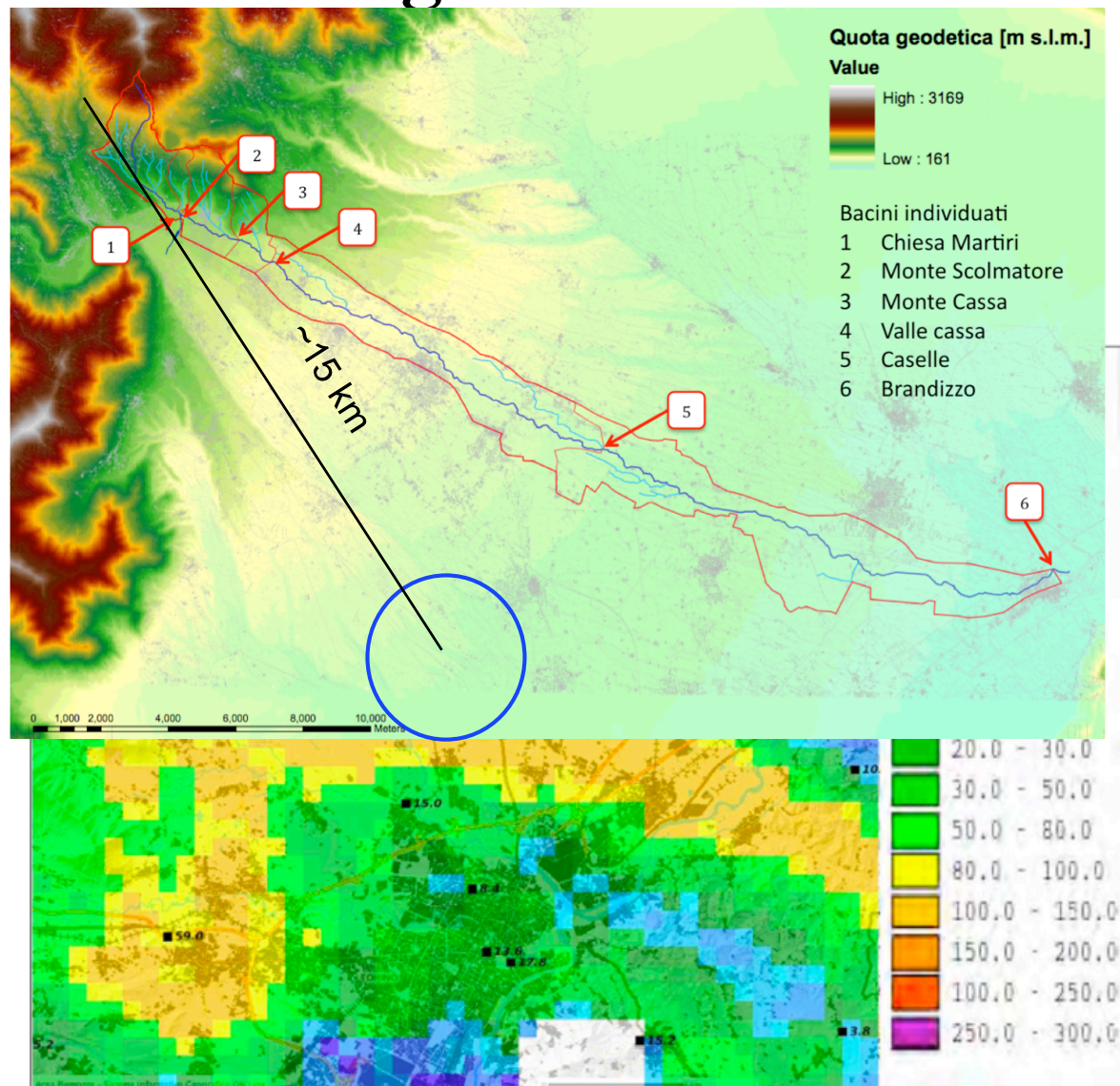
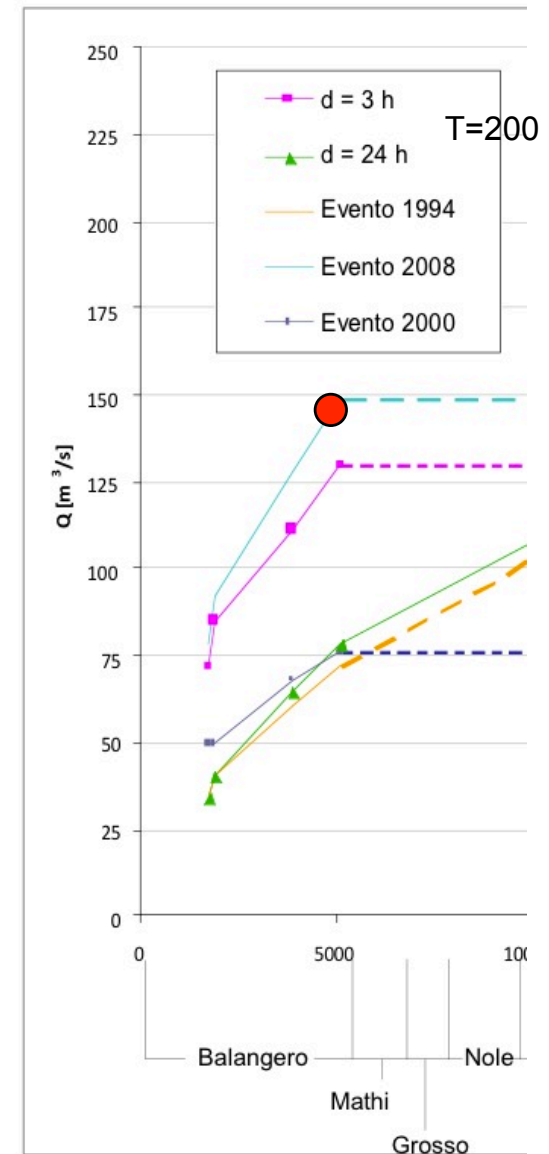


Figura 4.4.9 – Precipitazione cumulata registrata tra le 06 e le 18 UTC del 13 settembre 2008 dal sistema radar.



Il principio di precauzione

Dichiarazione di Rio

Conferenza sull'Ambiente e lo Sviluppo delle Nazioni Unite (Earth Summit) di Rio de Janeiro del 1992

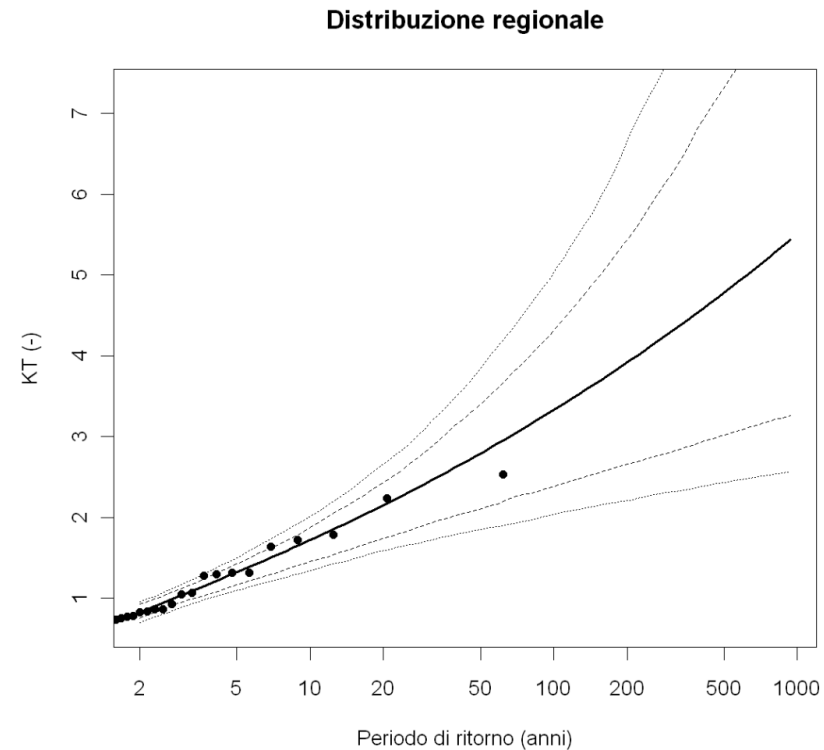
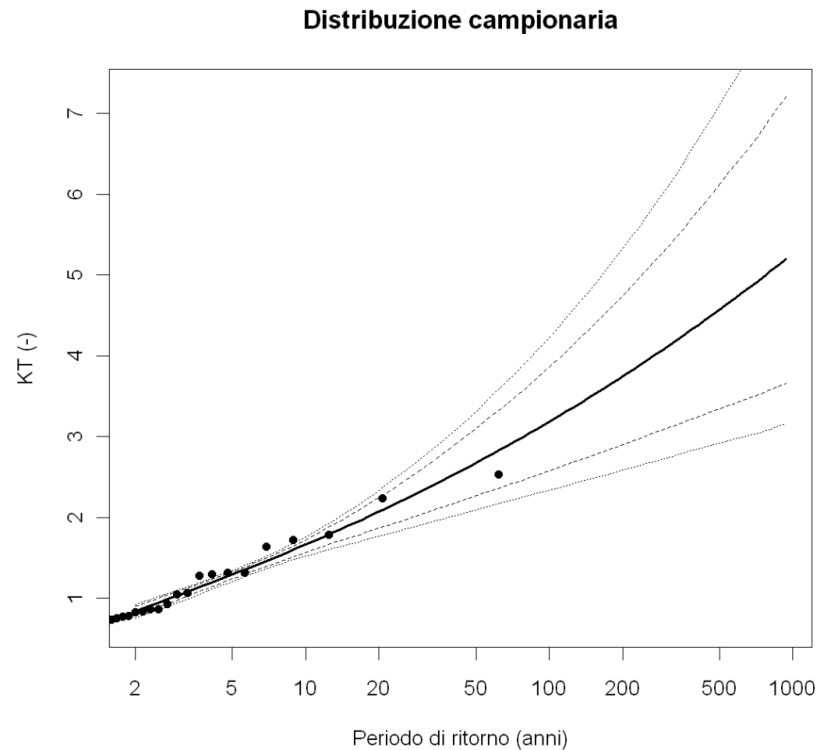
principio 15:

*« Al fine di proteggere l'ambiente, un approccio cautelativo dovrebbe essere ampiamente utilizzato dagli Stati in funzione delle proprie capacità. In caso di rischio di danno grave o irreversibile, **l'assenza di una piena certezza scientifica non deve costituire un motivo per differire l'adozione di misure adeguate ed effettive**, anche in rapporto ai costi, dirette a prevenire il degrado ambientale »*



La misura dell'ignoranza: L'incertezza di stima

986 - Crati a Conca



Metodo **ARPIEM**: Curva di crescita $\rightarrow K_T = f(T, L-CV, L-CA)$

Fasce di confidenza \rightarrow simulazioni Monte Carlo basate su ipotesi di normalità per $L-CV$, $L-CA$.

La varianza di $L-CV$, $L-CA$ è nota dalla procedura regionale di stima (regressione multipla)

Problemi (2)

La Velocità della corrente



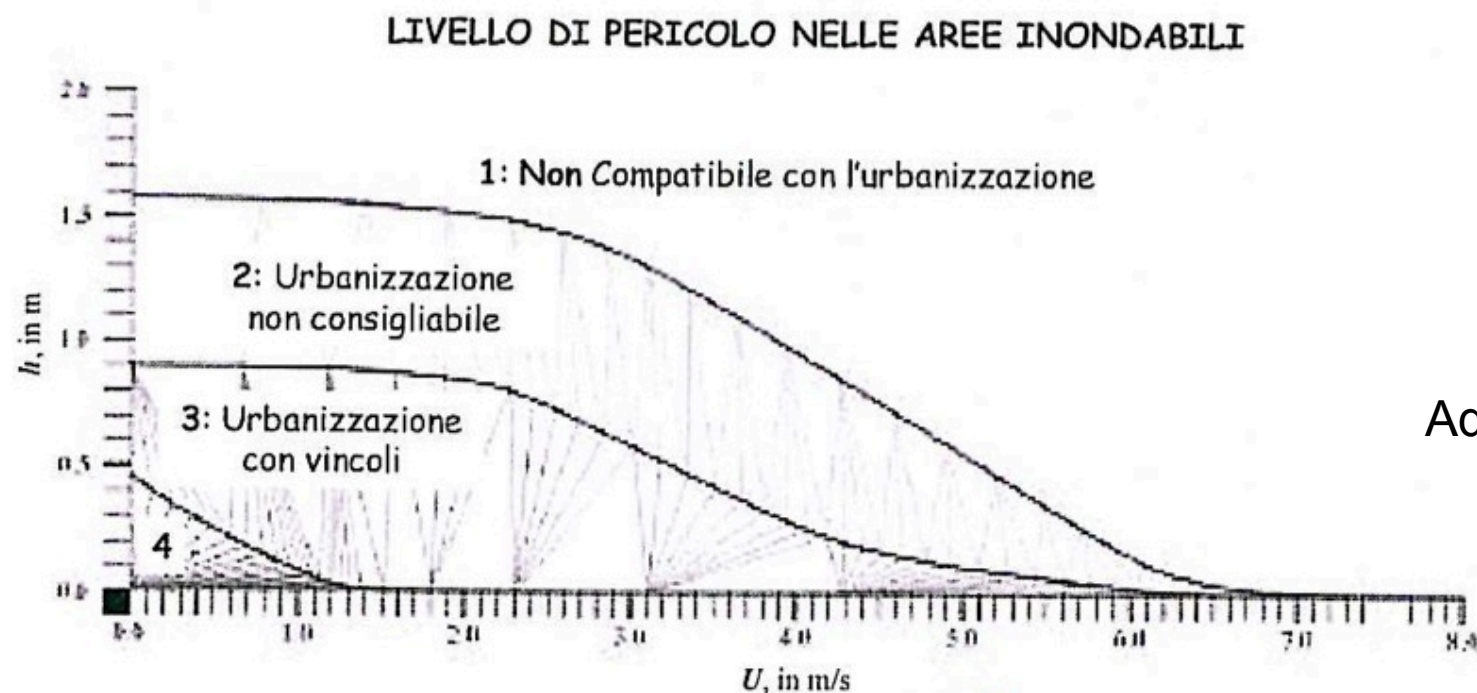
Vulnerabilità a velocità e profondità

Sia lo Scrivia a monte di Serravalle, sia l'Orba a monte di Silvano d'Orba, sia lo Stura di Ovada e il Borbera sono di genere spiccatamente torrentizio, caratterizzati da deflussi di piena con velocità notevoli e forte energia, ...

Variante al Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) approvato con DPCM 24 maggio 2001

Legge 18 Maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6-ter

Tratti di corsi d'acqua del reticolo principale e corsi d'acqua del reticolo minore non soggetti a delimitazione delle Fasce Fluviali in Provincia di Alessandria



AdBPo, 2003

La pericolosità idraulica è solo quella legata alle esondazioni?
(Altezza idrica nell'area inondata)?



ponte dell'Albertenga –Torre Pellice – 5-6/11/2011

Velocità della corrente ed azione di trascinamento

UE Project RESCDAM (Development of Rescue Actions Based on Dam-Break Flood Analysis, 1999-2001)

presso lo Ship Laboratory della Helsinki University of Technology, vasca lunga 130 m, larga 11 m, profonda circa 5.5 m, di velocità della corrente fino a 8 m/s, in acqua fredda a temperatura di circa 16°C.

	sex	age (years)	height (m)	mass (kg)	height x mass (m x kg)
1	male	28	1,70	69	117
2	male	31	1,95	100	195
3	male	28	1,79	76	136
4	female	32	1,62	57	92
5	male	60	1,82	94	171
6	female	17	1,60	48	77
7	male	19	1,74	71	124



Individuo n 4

$$hv_c = 0.004Lm + 0.2$$

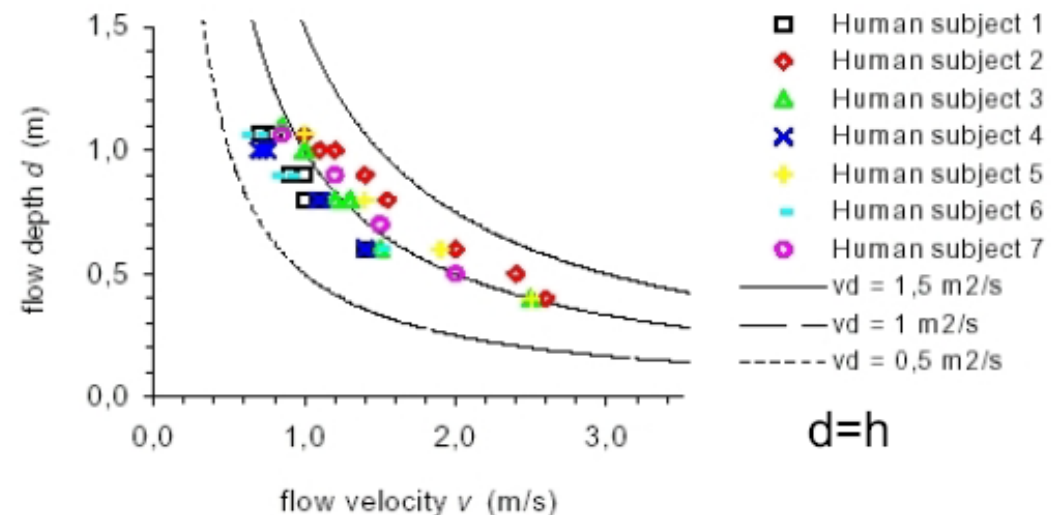
hv_c compreso tra 0.64 m²/s e 1.29 m²/s produce instabilità di persone. E' funzione di altezza (L [m]) e peso (m [kg]):



Individuo di prova n.1:
 $h = 1.1$ m e $U = 0.7$ m/s
(Maijala, 2001)



Individuo di prova n.5:
 $h = 1.07$ m e $U = 1.0$ m/s
(Maijala, 2001).



Problemi (3)

Quale corrente?



process interactions

July 30, 1992

September 29, 1992

before,and after

Woody Debris

Yalobusha River, MS, USA
(Bennett and Rhoton, 2009)

Woody Debris
Fiume Adda
Novembre 2002

Renzo Rosso, 2011

16

AA.T.O.
Autorità Ambrosiana Territoriale
LAGUNA DI VENEZIA

Università Iuav
di Venezia

I U A V

centro studi
MANUE urbana

Centro Studi Idraulica Urbana
cio DIUR - Politecnico di Milano

2011
ACQUA E CITTÀ

WWW.ACQUAECITTA.IT

POLITECNICO
MILANO

