

13

settembre 2013

Longarone Fiere-Centro congressi

Pericolosità idraulica a valle delle dighe



MODELLAZIONE MATEMATICA DELLE ONDE DI SOMMERSIONE GENERATE DAL CEDIMENTO DI UNA DIGA

Luigi D'Alpaos
Dipartimento ICEA
dell'Università di
Padova

13

settembre 2013

Longarone Fiere-Centro congressi

Pericolosità idraulica a valle delle dighe

I caratteri del fenomeno



**Cedimento di uno sbarramento
in materiale sciolto
Delton lake's – Wisconsin (USA)**

**Cedimento di uno sbarramento
in calcestruzzo
Mullaperiyar Dam - India**





Perché questo tipo di indagine

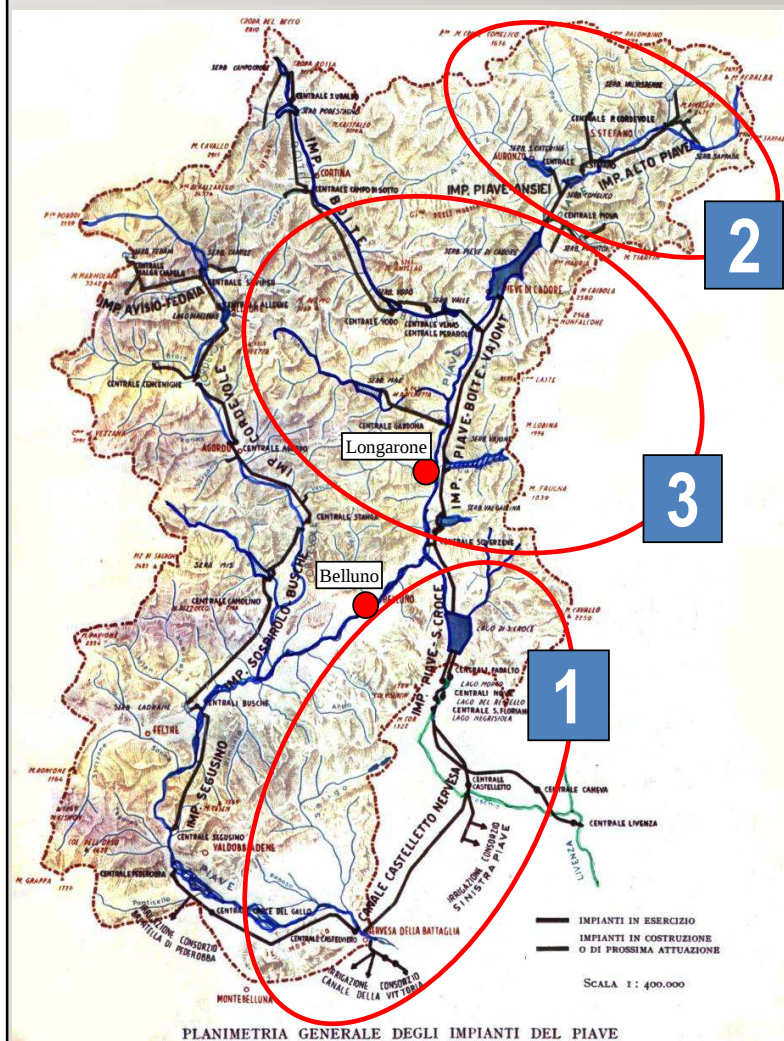
- Per un'asta fluviale interessata dalla presenza di serbatoi, affiancata da centri abitati e produttivi e da infrastrutture viarie di primaria importanza, l'analisi delle conseguenze della propagazione di un'onda impulsiva generata dal cedimento di una diga è necessaria, se si vuole inquadrare in un contesto realistico le conseguenze di eventi che, pur ipotetici o con ridottissima probabilità di accadimento, potrebbero comunque determinarsi.
- Si tratta di un'analisi che dovrebbe essere condotta al meglio delle possibilità tecnico-scientifiche e che dovrebbe essere costantemente aggiornata in considerazione sia delle mutate condizioni del territorio esposto al pericolo di inondazione sia, e soprattutto, del progresso delle conoscenze in un campo, quello della propagazione delle onde impulsive, per il quale sono attesi ancora significativi progressi, per conseguire un migliore inquadramento dei fenomeni e risultati migliori rispetto a quelli oggi raggiungibili.

13

settembre 2013

Longarone Fiere-Centro congressi

Pericolosità idraulica a valle delle dighe



Il sistema degli impianti del Piave è formato da tre sottosistemi realizzati in tempi diversi ma collegati fra loro in modo da sfruttare al meglio le risorse idrauliche del fiume

I primi furono gli impianti Piave-Santa Croce, costruiti nel decennio 1919-1929, inserendo nel sistema anche l'utilizzazione delle acque del lago di Santa Croce, già impiegate negli esistenti impianti di Fadalto e Nove, edificati negli anni immediatamente precedenti la prima guerra mondiale.

Il secondo gruppo interessò l'Alto Piave con l'impianto denominato Piave-Ansiei formato dai serbatoi di Santo Stefano di Cadore (diga del Comelico) e di Auronzo (diga di Santa Caterina) sull'Ansiei, costruiti nel periodo 1929-1932 dalla Società Forze Idrauliche Alto Cadore, poi assorbita dalla SADE nel 1933.

Il terzo gruppo è costituito dagli impianti noti come Piave-Boite-Maè-Vajont.

13

settembre 2013

Longarone Fiere-Centro congressi

Pericolosità idraulica a valle delle dighe



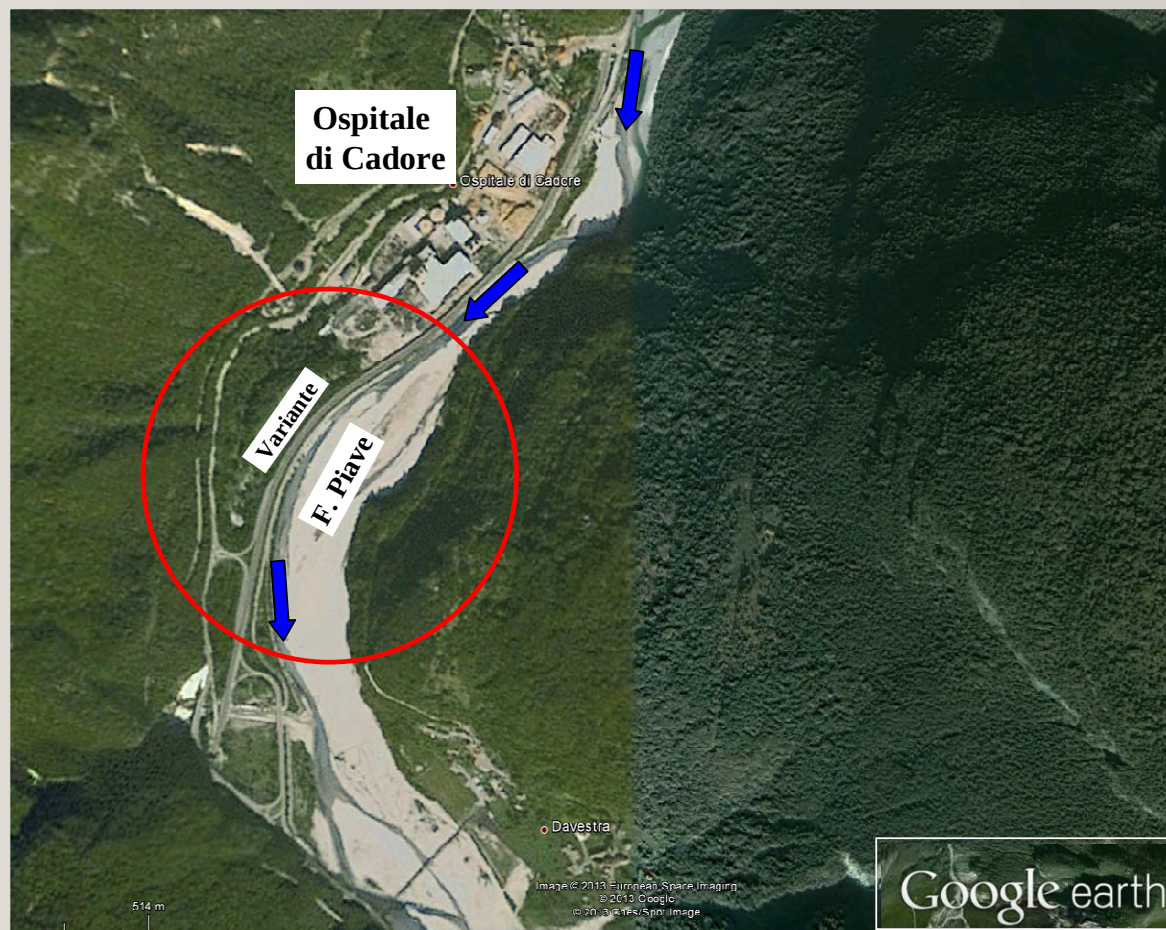
La variante della S.S. di Alemagna poco a monte di Ospitale

13

settembre 2013

Longarone Fiere-Centro congressi

Pericolosità idraulica a valle delle dighe



La variante della SS di Alemagna a Ospitale

13

settembre 2013

Longarone Fiere-Centro congressi

Pericolosità idraulica a valle delle dighe



Longarone e la sua zona industriale

13

settembre 2013

Longarone Fiere-Centro congressi

Pericolosità idraulica a valle delle dighe



Le conseguenze idrauliche del cedimento di una diga possono essere esaminate con l'ausilio di modelli numerici.

Per contenere la potenza di calcolo necessaria alla soluzione :

- i problemi riguardanti i tratti d'alveo posti immediatamente a valle dello sbarramento, che sono interessati da una rapida evoluzione delle portate nel tempo, da elevati valori delle velocità e, soprattutto, da importanti processi di interazione della corrente con il fondo,

conviene che siano disaccoppiati

- rispetto ai fenomeni che interessano i tratti d'alveo situati più a valle, lungo i quali l'onda impulsiva generata tende sostanzialmente a propagarsi assumendo il comportamento di un'onda lunga in acque basse.

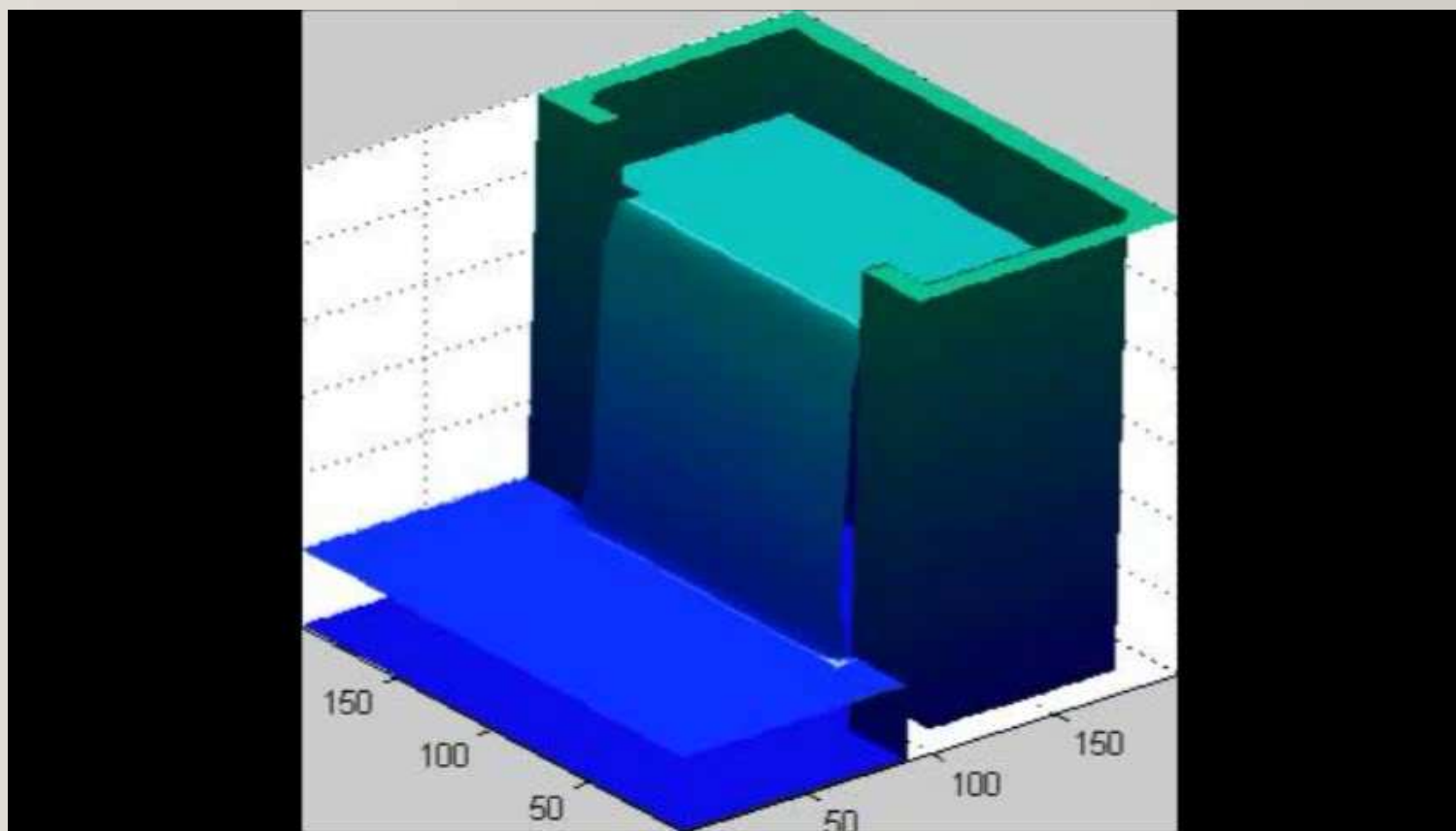
13
settembre 2013

Longarone Fiere-Centro congressi

Pericolosità idraulica a valle delle dighe



Caratteri idraulici dell'onda di sommersione generata dal cedimento di uno sbarramento a ridosso della struttura

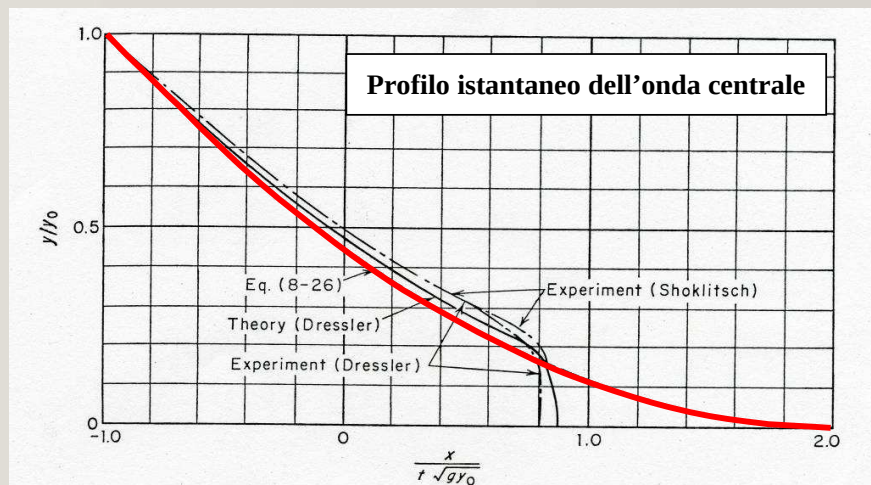
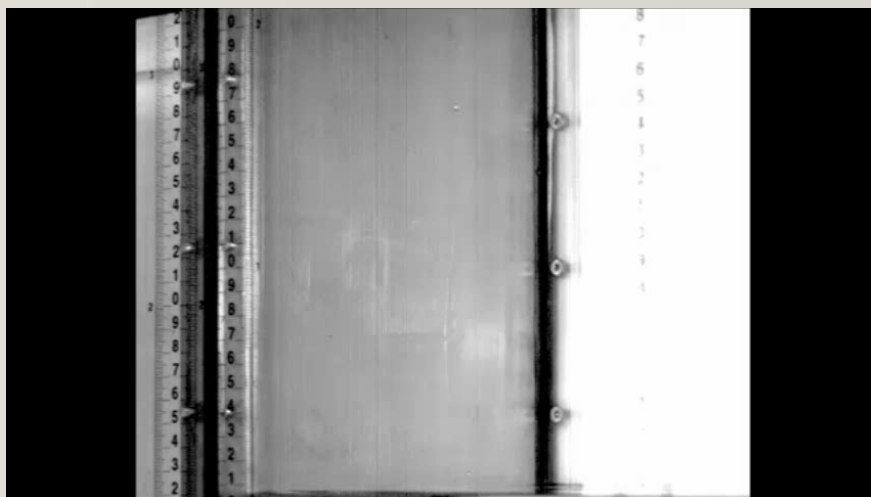


13

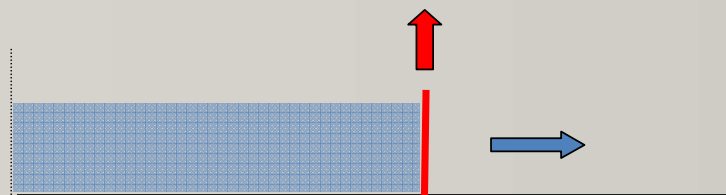
settembre 2013

Longarone Fiere-Centro congressi

Pericolosità idraulica a valle delle dighe



Dal punto di vista ingegneristico, il ruolo delle curvature del moto sulla distribuzione delle pressioni nel fenomeno dell'onda generata dal crollo di una diga non è così rilevante, come a volte si vuol far credere



La soluzione analitica dell'onda centrale e/o quella proposta da Dressler, per meglio descrivere il comportamento del piede dell'onda (sempre conservando l'ipotesi di distribuzione idrostatica delle pressioni) ben si confronta con i risultati sperimentali

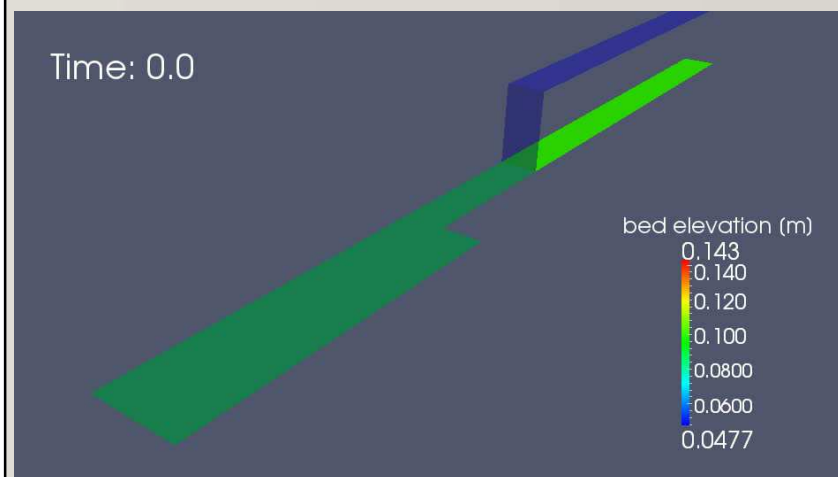
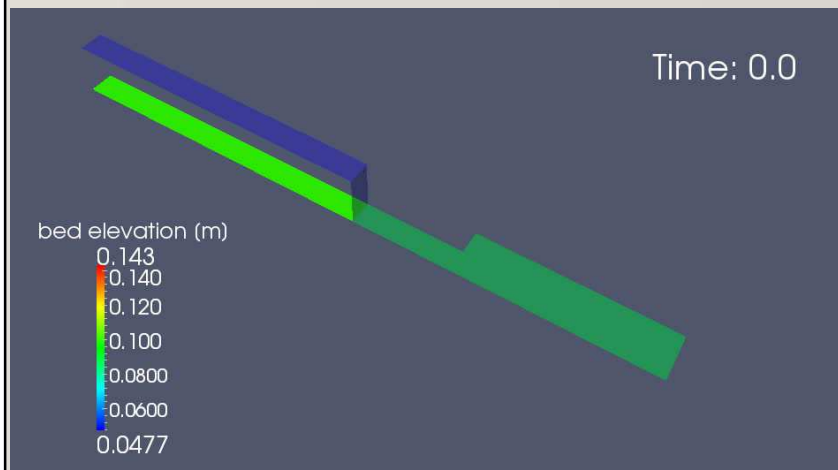


13

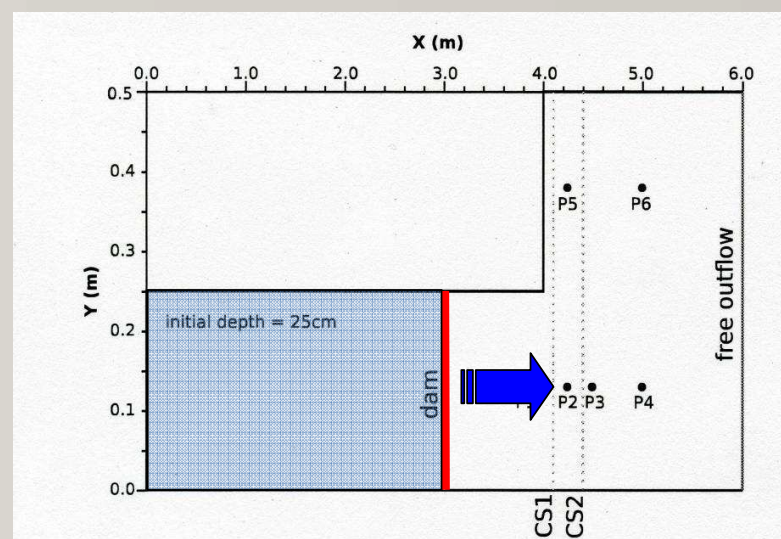
settembre 2013

Longarone Fiere-Centro congressi

Pericolosità idraulica a valle delle dighe



Importanza della mobilità del fondo in vicinanza di uno sbarramento soggetto a cedimento



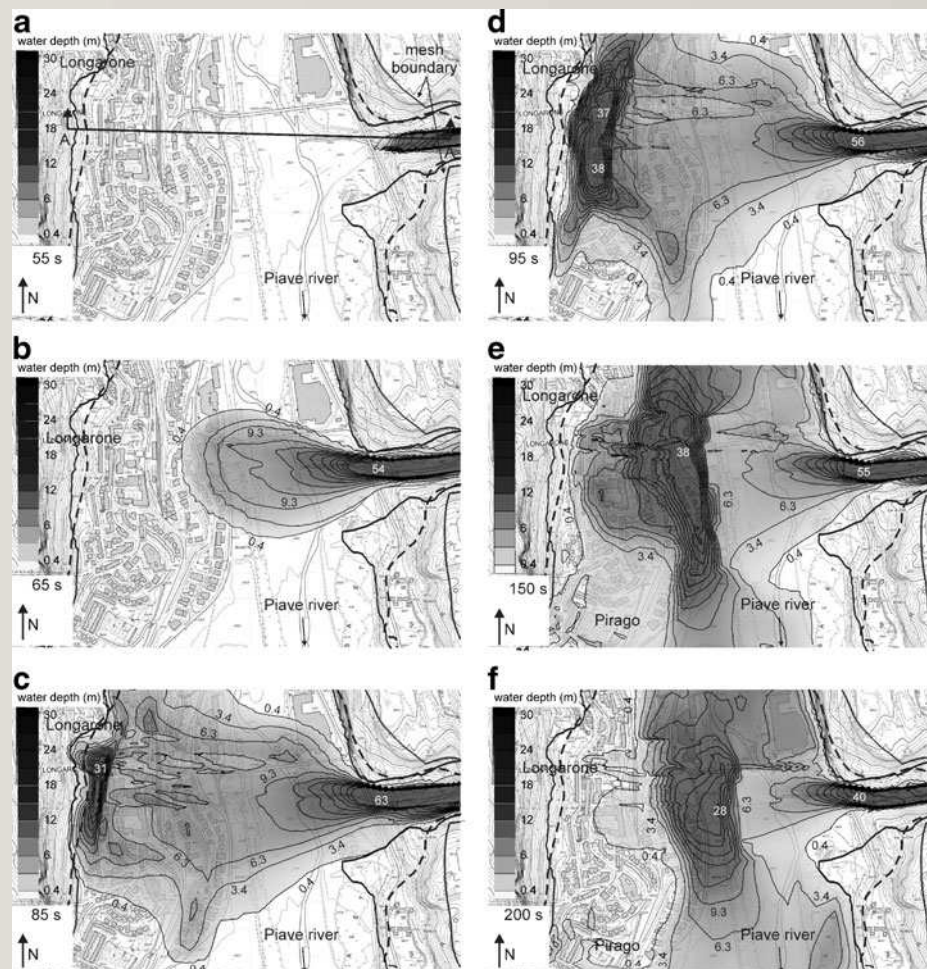
Siviglia, N. et al.: Numerical modelling of two-dimensional morphodynamics with applications to rivers bars and bifurcations. Advances in Water Resources, 2013

13

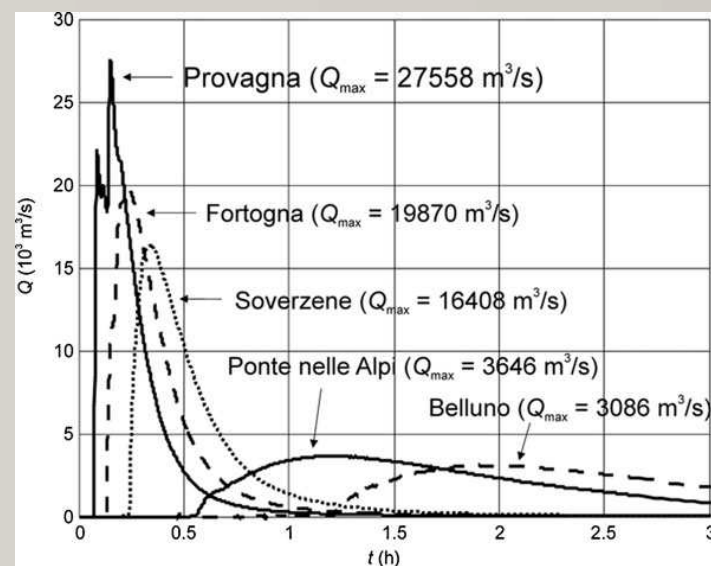
settembre 2013

Longarone Fiere-Centro congressi

Pericolosità idraulica a valle delle dighe



Nel caso di crollo di una diga, a ridosso dello sbarramento le soluzioni a fondo fisso del campo di moto sono quindi poco significative e non dovrebbero essere nemmeno proposte



S. Bosa, M. Petti – A Numerical Model of the Wave that Overtopped the Vajont Dam in 1963

13

settembre 2013

Longarone Fiere-Centro congressi

Pericolosità idraulica a valle delle dighe



Qualche osservazione sulla propagazione dell'onda generata dal cedimento di una diga sufficientemente lontano dall'opera

Ipotesi:

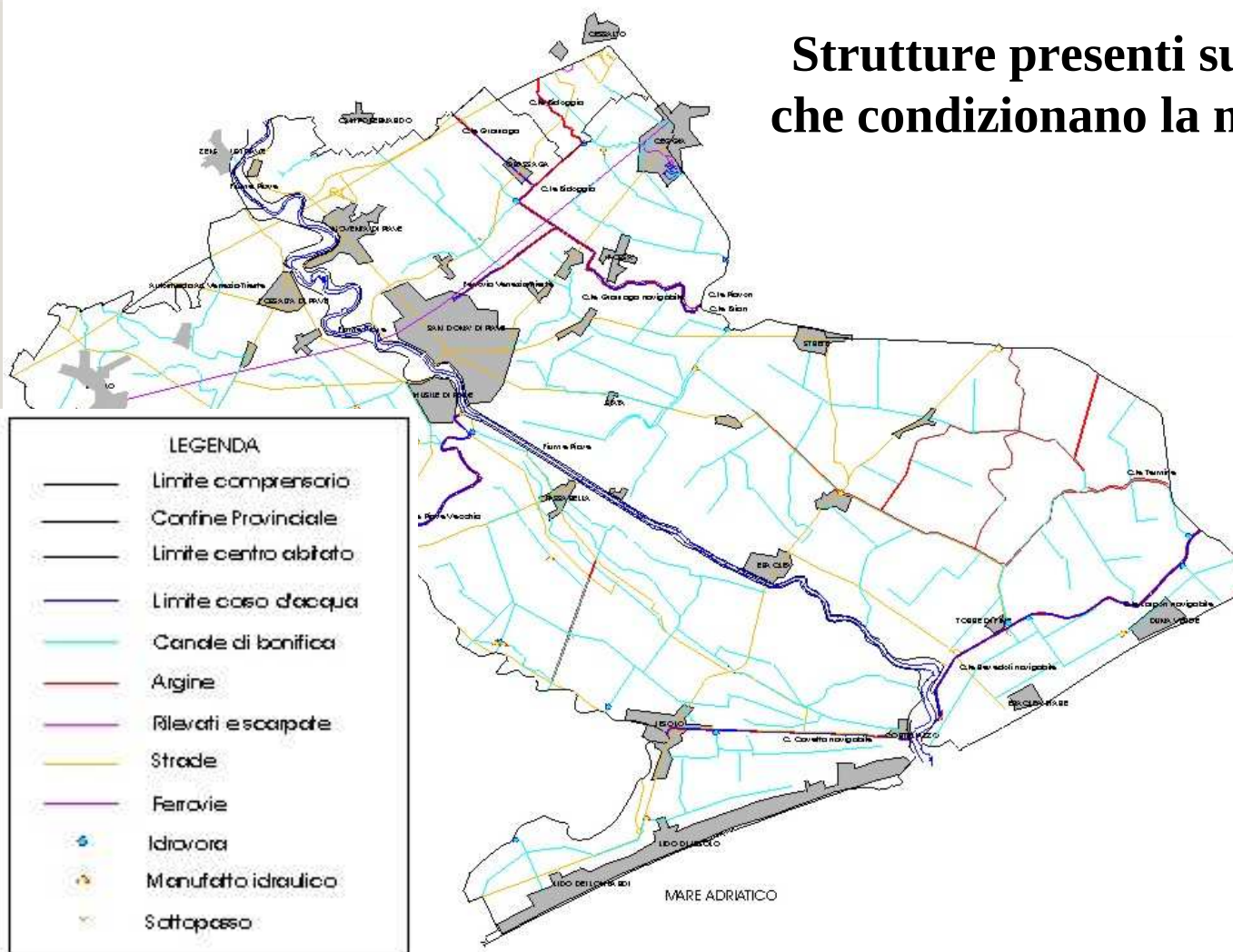
- bidimensionalità del moto con distribuzione idrostatica delle pressioni lungo la verticale
- distribuzione uniforme delle velocità lungo la verticale
- inerodibilità del fondo

applicate a:

- una corretta descrizione della geometria del campo di moto delle aree destinate ad allagarsi, generalmente caratterizzate dalla presenza di strutture idrauliche e non che condizionano la propagazione con effetti che non possono essere simulati adottando, come spesso accade, la classica formulazione delle equazioni di De Saint Venant, le quali si fondano su assunzioni che non sono sempre verificate

**PER PERSEGUIRE UNA EFFICACE SOLUZIONE DEI PROBLEMI DI
UN'AREA ESPOSTA AD ALLAGAMENTO E' IRRINUNCIABILE
IMPLEMENTARE UNA CORRETTA MODELLAZIONE MATEMATICA
DEI FENOMENI FISICI CHE LA COINVOLGONO**

Strutture presenti sul territorio che condizionano la modellazione



Adattamento delle equazioni di *De Saint Venant*, che descrivono la propagazione bidimensionale delle onde lunghe in acque basse, a un dominio di calcolo reale :

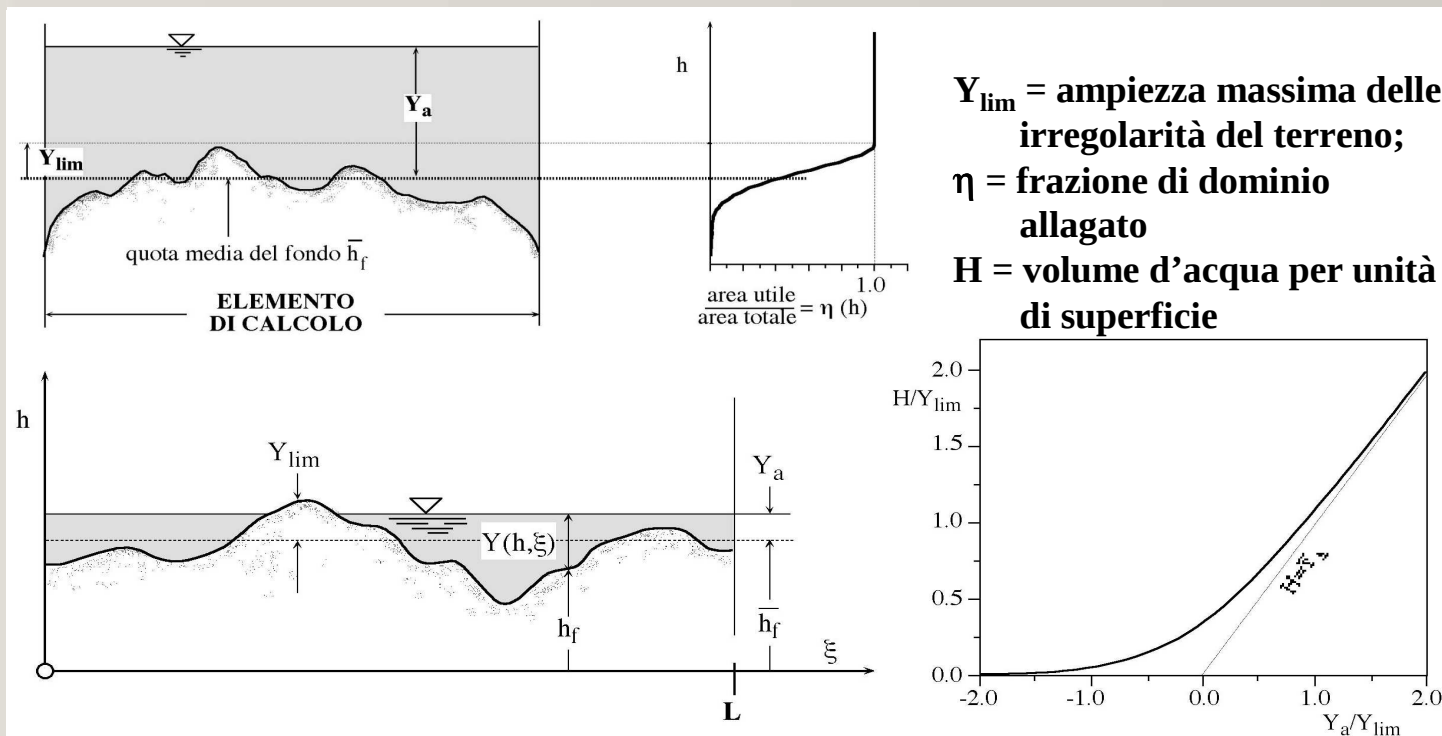
$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{du}{dt} + \frac{q_x |q|}{K_s^2 H^{10/3}} - \frac{\tau_{wx}}{\gamma Y} - \text{Re}_x - f \frac{v}{g} = 0 \\ \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{1}{g} \frac{dv}{dt} + \frac{q_y |q|}{K_s^2 H^{10/3}} - \frac{\tau_{wy}}{\gamma Y} - \text{Re}_y + f \frac{u}{g} = 0 \\ \eta \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \end{array} \right.$$

- h : livello idrometrico;
- Y : volume d'acqua per unità di superficie ;
- H : profondità d'acqua equivalente;
- $U=(u, v)$: velocità mediata in fase;
- $q=(q_x, q_y)$: velocità mediata in fase integrata sulla verticale;
- K_s : coefficiente di scabrezza secondo Strickler;
- Re : termini di Reynolds;
- $f=2\omega \sin\phi$: parametro di Coriolis
- η : porzione di area bagnata per unità di superficie.

➡ H e η permettono di descrivere gli effetti delle irregolarità del terreno a una scala inferiore di quella delle dimensioni caratteristiche delle singole maglie del reticolo di calcolo e di risolvere in maniera efficace il problema della transizione asciutto-bagnato

La transizione asciutto- bagnato è risolta nel modello attraverso:

- ✓ l'introduzione di un modello di sottogriglia di tipo concettuale, fisicamente basato, per tener conto dei fenomeni con lunghezza-scala caratteristica inferiore alle dimensioni del reticolo di calcolo



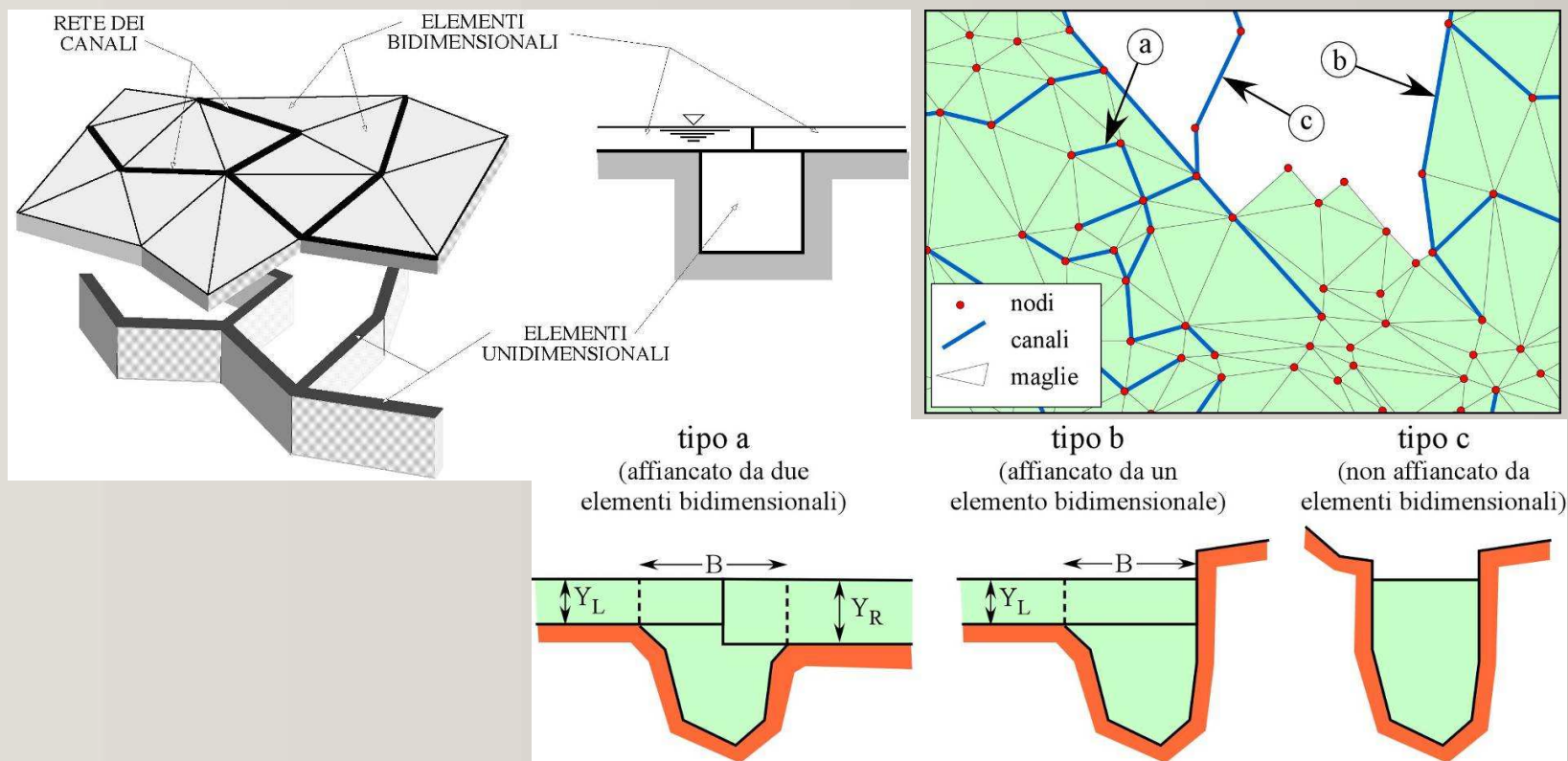
Y_{lim} = ampiezza massima delle irregolarità del terreno;

η = frazione di dominio allagato

H = volume d'acqua per unità di superficie

Accoppiamento di elementi unidimensionali e bidimensionali:

- ✓ Il modello offre la possibilità di accoppiare in modo del tutto generale in tutto il dominio di calcolo elementi bidimensionale con elementi monodimensionali



13

settembre 2013

Longarone Fiere-Centro congressi

Pericolosità idraulica a valle delle dighe



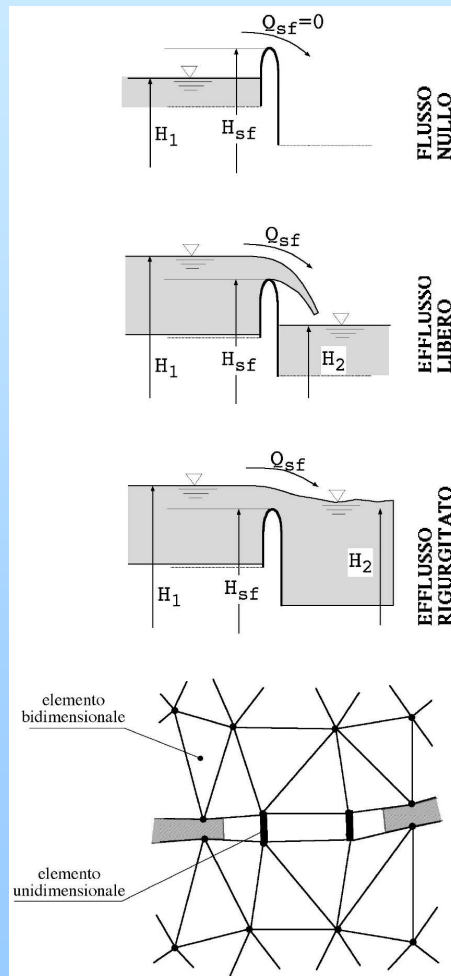
Accoppiamento degli elementi del modello a “tronchi speciali”

Il modello idrodinamico consente una modellazione efficace e accurata di tutte le strutture idrauliche che generalmente si incontrano e che influenzano la propagazione della corrente, come:

- **soglie di sfioro, argini e terrapieni stradali e ferroviari,**
- **paratoie a efflusso libero e rigurgitato,**
- **impianti idrovori,**
- **porte vinciane,**
- **ponti in attraversamento,**
- **tronchi in pressione, ecc.**
- **aree urbanizzate, ecc.**

SOGLIE E TRAVERSE

- Si considera una “traversa alta” in cui si trascurano, cioè, i carichi cinetici a monte e a valle



- se $H_1 < H_{sf}$ e $H_2 < H_{sf}$ $\longrightarrow$ $a_1 = \alpha; \quad a_2 = 0; \quad a_3 = 0$

Il funzionamento è regolato dal confronto tra le energie della corrente a monte e a valle della traversa. Se l'energia di valle è superiore all'energia minima per superare l'ostacolo allora l'efflusso sarà rigurgitato altrimenti si ha efflusso libero.

$$Q = C_q \cdot B \cdot \sqrt{2g(H_1 - H_{sf})} \cdot (H_1 - H_{sf})$$

B = larghezza soglia
 C_q = coeff. di portata

Calcolata l'energia totale di monte E :

$$E = H_2 + \frac{Q^2}{2g \cdot B^2 \cdot (H_1 - H_{sf})^2} = H_2 + C_q^2 (H_1 - H_{sf})$$

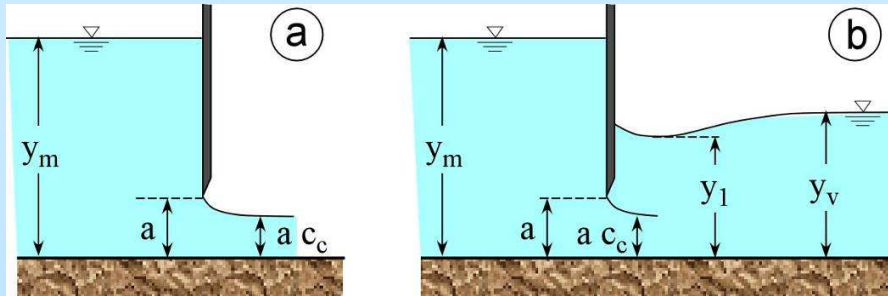
- se $H_1 < E$ posto $\alpha = \frac{2g \cdot B^2 \cdot (H_1 - H_{sf})^2}{|Q|}$ **Efflusso Rigurgitato**

$$H_1 - Q/\alpha = H_2 \longrightarrow a_1 = \alpha; \quad a_2 = -\alpha; \quad a_3 = 0$$

- se $H_1 > E$ posto $\alpha = C_q \cdot B \cdot \sqrt{2g \cdot (H_1 - H_{sf})}$ **Efflusso Libero**

$$Q = \alpha \cdot (H_1 - H_{sf}) \longrightarrow a_1 = \alpha; \quad a_2 = 0; \quad a_3 = -\alpha \cdot H_{sf}$$

PARATOIE A EFFLUSSO LIBERO E RIGURGITATO

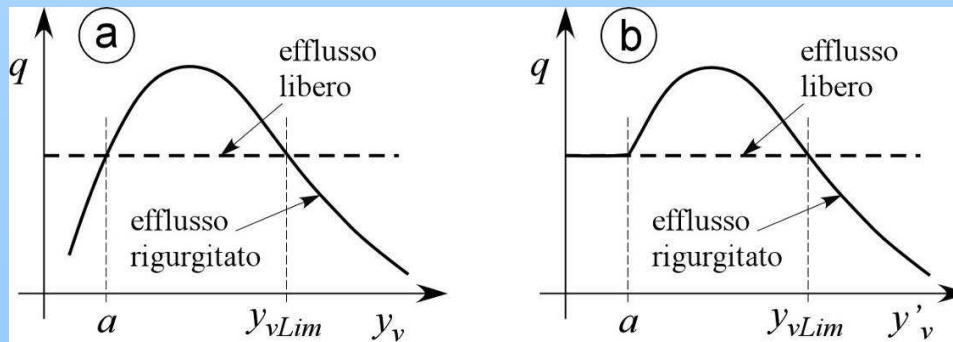


(a) Efflusso libero:

$$q_L = C_{qL} a \sqrt{2g y_m} \quad \text{con} \quad C_{qL} = c_c \left(1 + a c_c / y_m\right)^{-1/2}$$

(b) Efflusso rigurgitato:

$$q_R = C_{qR} a \sqrt{2g (y_m - y_v)} \quad \text{con} \quad C_{qR} = \left[2 \frac{a}{y_v} \left(\frac{a}{y_v} - \frac{1}{c_c} \right) + \frac{1}{c_c^2} - \frac{a^2}{y_m^2} \right]^{-1/2}$$



se introduciamo

$$y'_v = \max\{y_v, a\}$$

si ha che

$$q = \min\{q_R, q_L\}$$

PARATOIE CHE CONTROLLANO IL LIVELLO

- se $H_2 > H_1$ la paratoia viene chiusa $\longrightarrow$ $a_1 = 0; a_2 = 0; a_3 = 0$

- se $H_2 < H_1$

$$Q = a_{per} \cdot C_q \cdot B \cdot \sqrt{2g(H_1 - H_2)} \quad \text{con } a_{per} = \text{apertura della paratoia}$$

con riferimento al passo di calcolo precedente $\quad \text{cost} = (C_q \cdot B)^2 \cdot 2g / |Q|$

$$a_{per} = Q / (C_q \cdot B \cdot \sqrt{2g \cdot (h_{mon} - H_2)}) \quad \begin{cases} \text{se } H_2 > h_{mon} & a_{per} = a_{max} \\ \text{se } a_{per} > a_{max} & \text{allora } a_{per} = a_{max} \\ \text{se } H_1 < h_{fon} + a_{per} & \text{allora } a_{per} > a_{max} \text{ per annullare le perdite di carico} \end{cases}$$

$$\longrightarrow \quad a_1 = \text{cost} \cdot a_{per}^2; \quad a_2 = -\text{cost} \cdot a_{per}^2; \quad a_3 = 0$$

PARATOIE CHE REGOLANO LA PORTATA

$$Q = a_{per} \cdot C_q \cdot B \cdot \sqrt{2g(H_1 - H_2)} \quad \text{con } a_{per} = \text{apertura della paratoia}$$

con riferimento al passo di calcolo precedente $\quad \text{cost} = (C_q \cdot B)^2 \cdot 2g / |Q|$

$$a_{per} = Q / (C_q \cdot B \cdot \sqrt{2g \cdot (h_{mon} - H_2)}) \quad \begin{cases} \text{se } H_2 > H_1 & a_{per} = a_{max} \\ \text{se } a_{per} > a_{max} & \text{allora } a_{per} = a_{max} \\ \text{se } H_1 \text{ o } H_2 < h_{fon} + a_{per} \text{ e } Q < Q_{flu} & \text{allora } a_{per} > a_{max} \text{ per annullare le} \\ & \text{perdite di carico} \end{cases}$$

$$\longrightarrow \quad a_1 = \text{cost} \cdot a_{per}^2; \quad a_2 = -\text{cost} \cdot a_{per}^2; \quad a_3 = 0$$

IDROVORE

- Sono trattate dal modello come condizioni al contorno interne descritte nel file della simulazione. Si attivano automaticamente, quando i livelli idrometrici locali superano le quote di attacco previste per le pompe e si disattivano, quando gli stessi livelli scendono al di sotto delle quote di stacco (relativi al passo di calcolo precedente).

DATI

N_1 = Nodo di monte (da cui viene sottratta la portata);

N_2 = Nodo di valle (in cui viene immessa la portata sottratta da N_1);

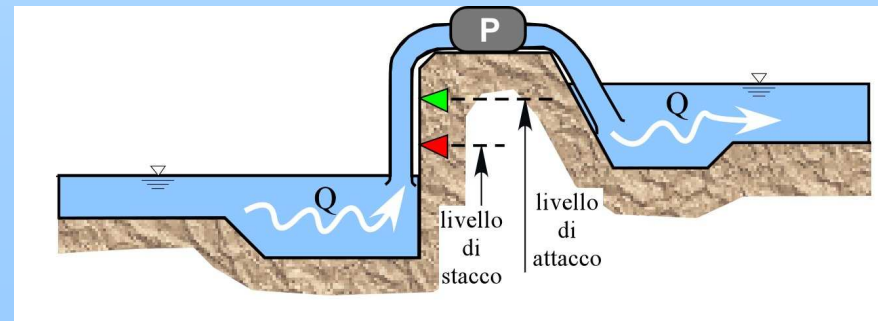
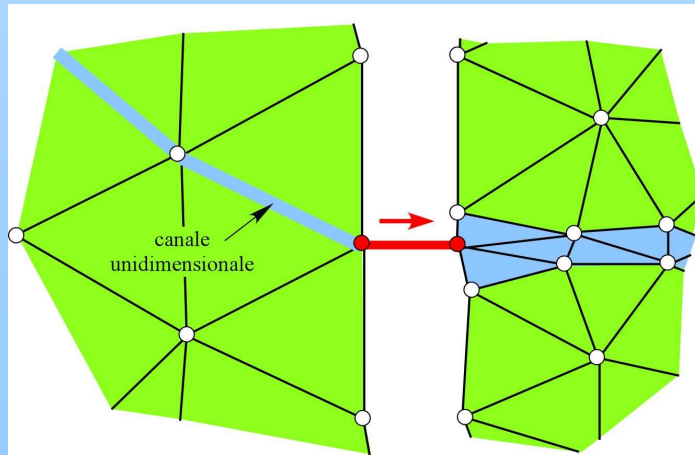
n° Pompe = numero di pompe che costituiscono l'impianto idrovoro;

Q Pompe = portata sollevata da ogni pompa;

$h_{attacco}$, h_{stacco} = quota di attacco e di stacco di ogni pompa



$$a_1 = 0; \quad a_2 = 0; \quad a_3 = Q_{idr}$$



PORTE VINCIANE

- Sono trattate dal modello come condizioni al contorno interne.

Si tratta di elementi del reticolo di calcolo per i quali si impone che il flusso possa avvenire in una sola direzione. Possono essere sia elementi bidimensionali (maglie) sia unidimensionali (canali 1D). Si attivano in funzione dei livelli idrometrici locali e si disattivano in funzione dei flussi (relativi al passo di calcolo precedente).

Lo schema di funzionamento prevede un innalzamento della quota di fondo dell'elemento in esame qualora i livelli idrometrici calcolati prevedano un flusso opposto al verso prefissato.

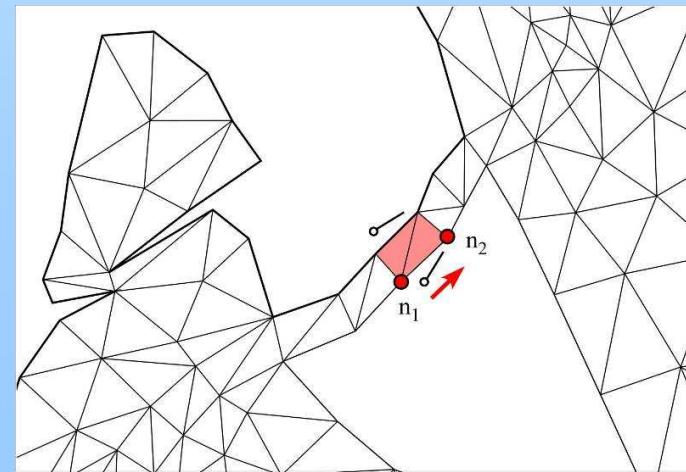
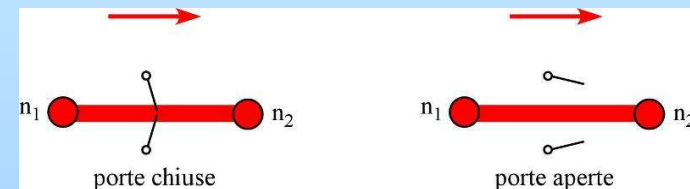
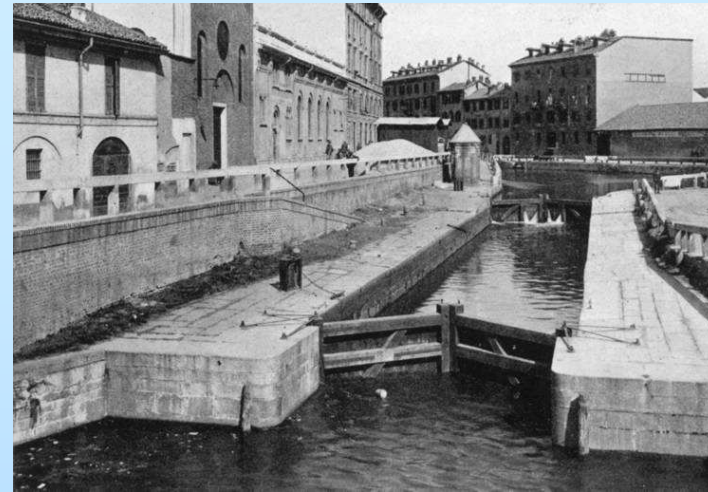
DATI

Ele = numero che identifica l'elemento che funge da porta vinciana;

N_1 = Nodo di monte nel verso di flusso consentito;

N_2 = Nodo di valle nel verso di flusso consentito
(solo se trattasi di maglia, se canale 1D il secondo nodo è univocamente determinato, inserire 0);

$h_{f,close}$ = quota del fondo cui porre l'elemento qualora la porta vinciana risulti chiusa.



MAGLIE PILA

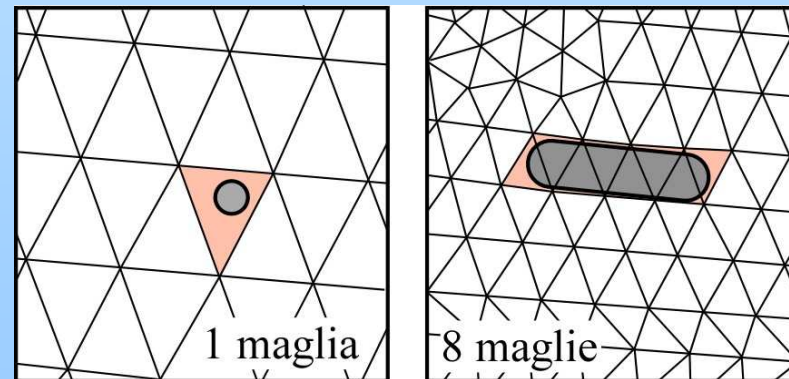
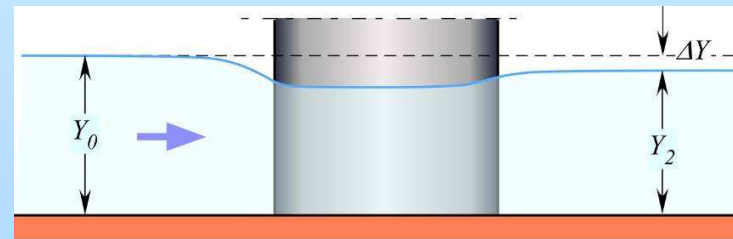
- La presenza in alveo (o fuori alveo) di ostacoli emergenti (e.g. PILE), determina una resistenza al moto addizionale. Qualora il grado di raffinatezza della griglia di calcolo non sia sufficiente a descrivere adeguatamente il campo di moto turbolento (scia vorticoso) che si sviluppa a tergo dell'ostacolo, il modello prevede la possibilità di introdurre una resistenza addizionale **S** corrispondente a quella offerta dall'ostacolo stesso. [n.b. **S** può essere concentrata in una maglia o ripartita fra più maglie]

La resistenza **S** offerta dall'ostacolo, è ripartita equamente tra le n_p maglie interessate dall'ostacolo stesso. Il contributo relativo a ciascuna è diviso per la sua area ottenendo così uno sforzo tangenziale addizionale τ_p che viene sommato τ_b al fondo

$$\tau_p = \frac{S}{n_p A_e}$$

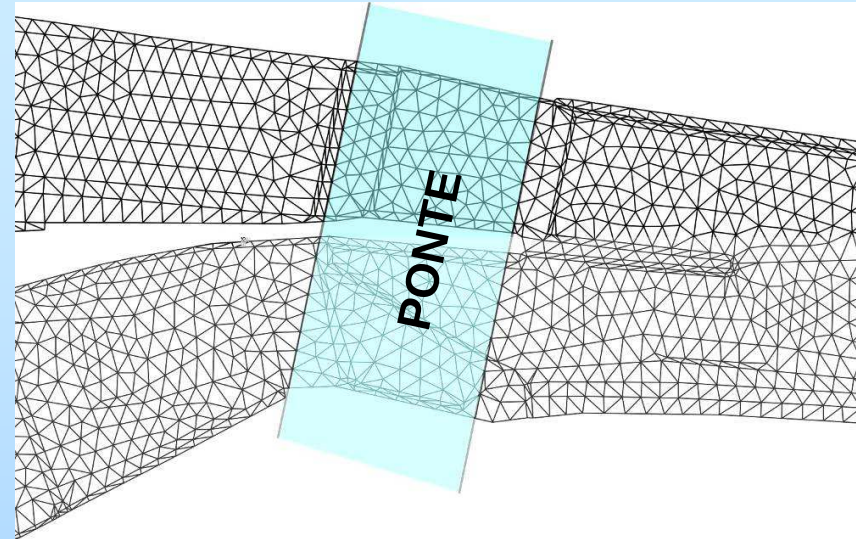
$$S = \rho C_D (d_p Y) \frac{q^2}{2Y^2}$$

Il coefficiente di resistenza C_D dipende sostanzialmente dalla geometria dell'ostacolo e, per le forme più semplici, può essere reperito nella letteratura tecnico-manualistica (e.g. Yarnell).



MAGLIE IN PRESSIONE

- Le maglie in pressione servono per descrivere quella parte di dominio bidimensionale nel quale il moto può avvenire in pressione ovvero quando la quota della superficie libera tenderebbe a superare un valore limite corrispondente al cielo della porzione di dominio descritta mediante queste maglie speciali.



Caratterizzate da un parametro addizionale, H_c che corrisponde alla quota del cielo, le equazioni dinamiche vengono modificate solo quando il livello medio sulla maglia, h tende a superare H_c .
 Caratterizzate da un parametro addizionale, H_c che corrisponde alla quota del cielo, le equazioni dinamiche vengono modificate solo quando il livello medio sulla maglia, h tende a superare H_c .

Velocità medie:

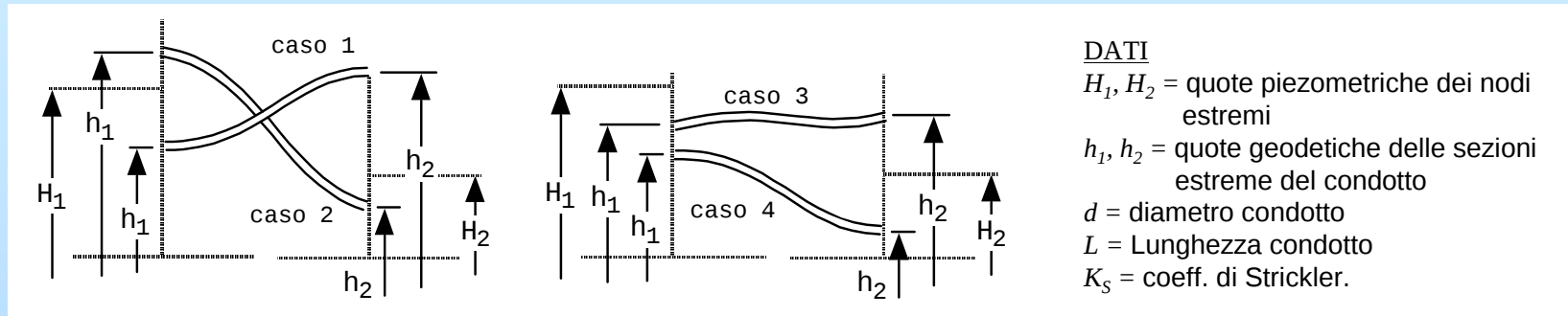
$$U = \frac{q_x}{H_c - z_b} \quad V = \frac{q_y}{H_c - z_b}$$

Dissipazione continua di energia J (essendo $R_H \cong H/2$ con $H = H_c - z_b$)

$$J = \frac{\tau_b}{g\rho Y} = 2^{4/3} \left(\frac{|\mathbf{q}|}{k_s^2 H^{10/3}} \right) \mathbf{q}$$

CONDOTTE IN PRESSIONE

- Tubazione a sezione circolare che viene fatta lavorare sempre in pressione (in entrambi i versi).



- caso 1 ($H_1 < h_1$) e caso 2 ($H_1 < h_1$)

non si ha flusso nella tubazione



$$a_1 = 0; \quad a_2 = 0; \quad a_3 = 0$$

- caso 3 ($H_2 < h_2$) e caso 4 ($H_2 > h_2$): si ha flusso nella tubazione

posto
$$\alpha = \frac{|Q| \cdot L}{K_S^2 \cdot (d/4)^{4/3} \cdot A^2}$$

caso 3 ($H_2 < h_2$)

$$H_1 - \alpha \cdot Q = h_2$$



$$a_1 = 1/\alpha; \quad a_2 = 0; \quad a_3 = -h_2/\alpha$$

**Sbocco
Annegato**

caso 4 ($H_2 > h_2$)

$$H_1 - \alpha \cdot Q = H_2$$



$$a_1 = 1/\alpha; \quad a_2 = -1/\alpha; \quad a_3 = 0$$

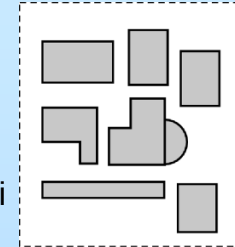
**Sbocco
Libero**

MAGLIE FABBRICATO

- queste maglie speciali possono essere utilizzate quando la discretizzazione spaziale del dominio non può spingersi fino alla descrizione, ancorché semplificata, dei fabbricati presenti sul territorio

Aspetti da considerare:

- 1) la presenza di edifici riduce l'area destinata all'invaso;
- 2) stima della resistenza offerta, nel complesso, dagli edifici
- 3) allungamento dei percorsi che l'acqua compie nell'attraversamento di un gruppo di edifici



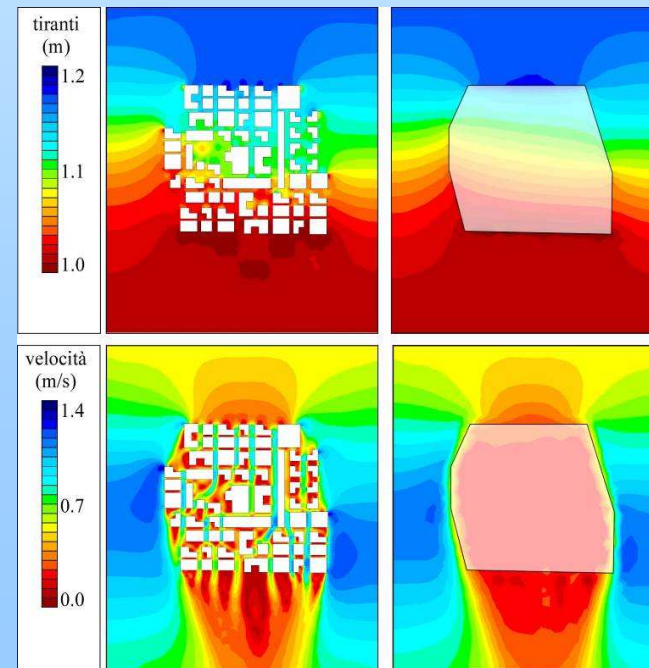
la struttura delle equazioni del modello è formulata in modo da considerare naturalmente, attraverso il parametro η , sia gli effetti di riduzione di superficie di invasio sia quelli indotti sulla dinamica:

$$\eta = \eta_0 (1 - n_{fab}) \quad \text{dove} \quad \eta_{fab} = A_{fab}/A_e$$

$$Y = \frac{Y_0 (A_e - A_{fab})}{A_e} = Y_0 (1 - n_{fab})$$

$$H = \frac{H_0 (A_e - A_{fab})}{A_e} = H_0 (1 - n_{fab})$$

$$\frac{k_{S\,corr}}{k_S} = \frac{1}{\sqrt{L_{fab}}}$$



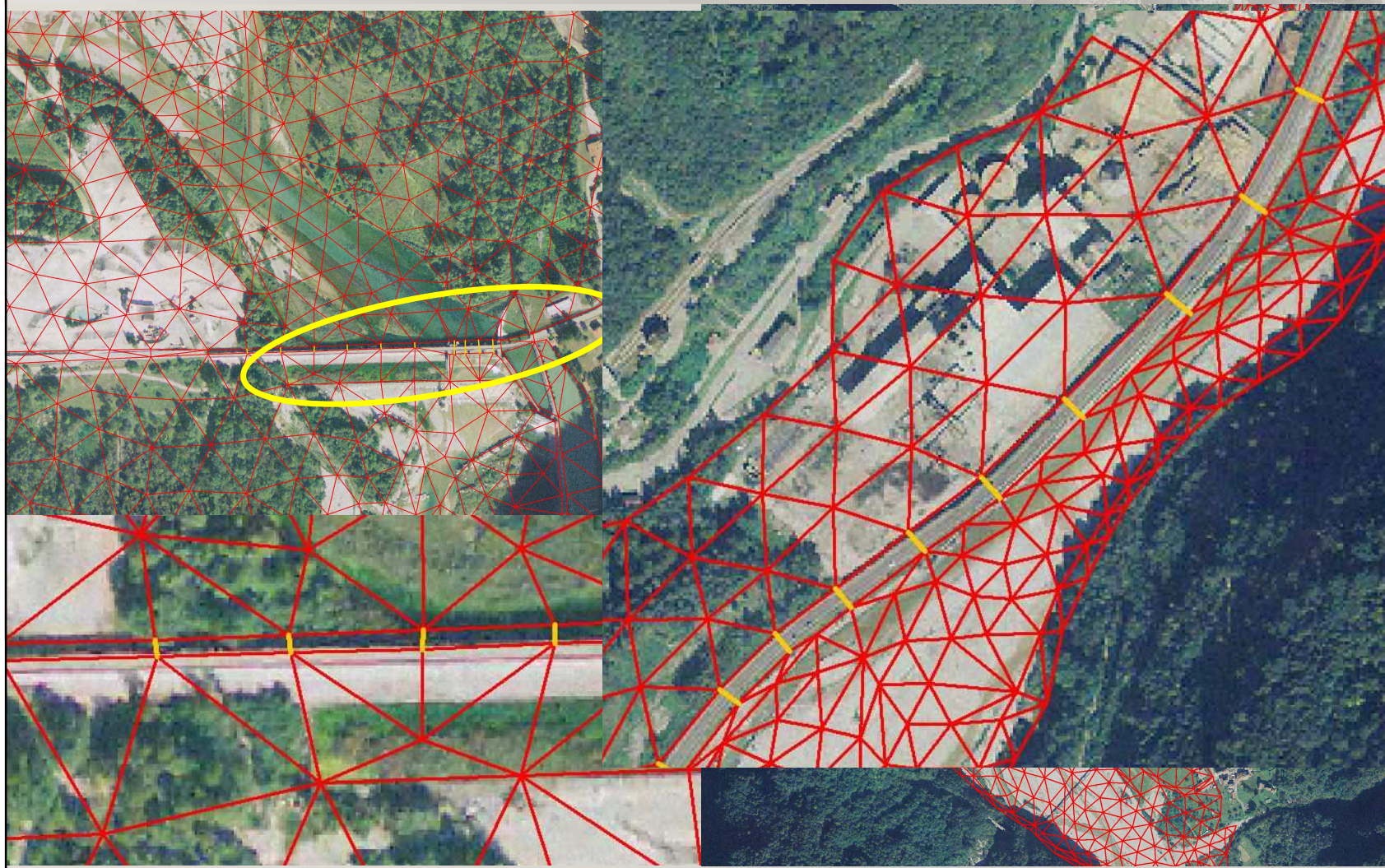
13

settembre 2013

Longarone Fiere-Centro congressi

Pericolosità idraulica a valle delle dighe

VAJONT



13

settembre 2013

Longarone Fiere-Centro congressi

Pericolosità idraulica a valle delle dighe



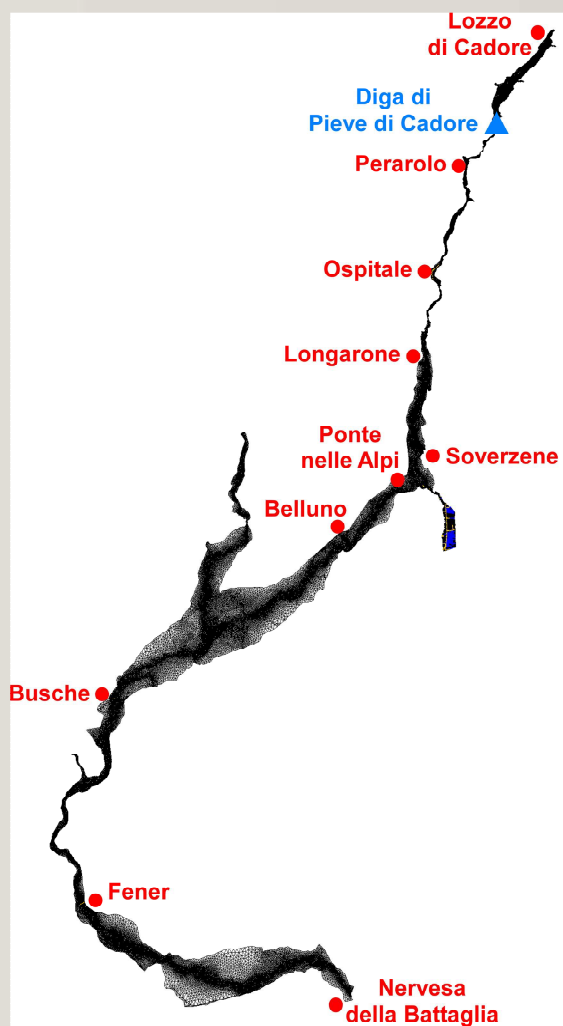
La diga di Pieve di Cadore



13
settembre 2013

Longarone Fiere-Centro congressi

Pericolosità idraulica a valle delle dighe



**Reticolo di calcolo
implementato nel modello**

**92047 nodi
176767 maglie**

13

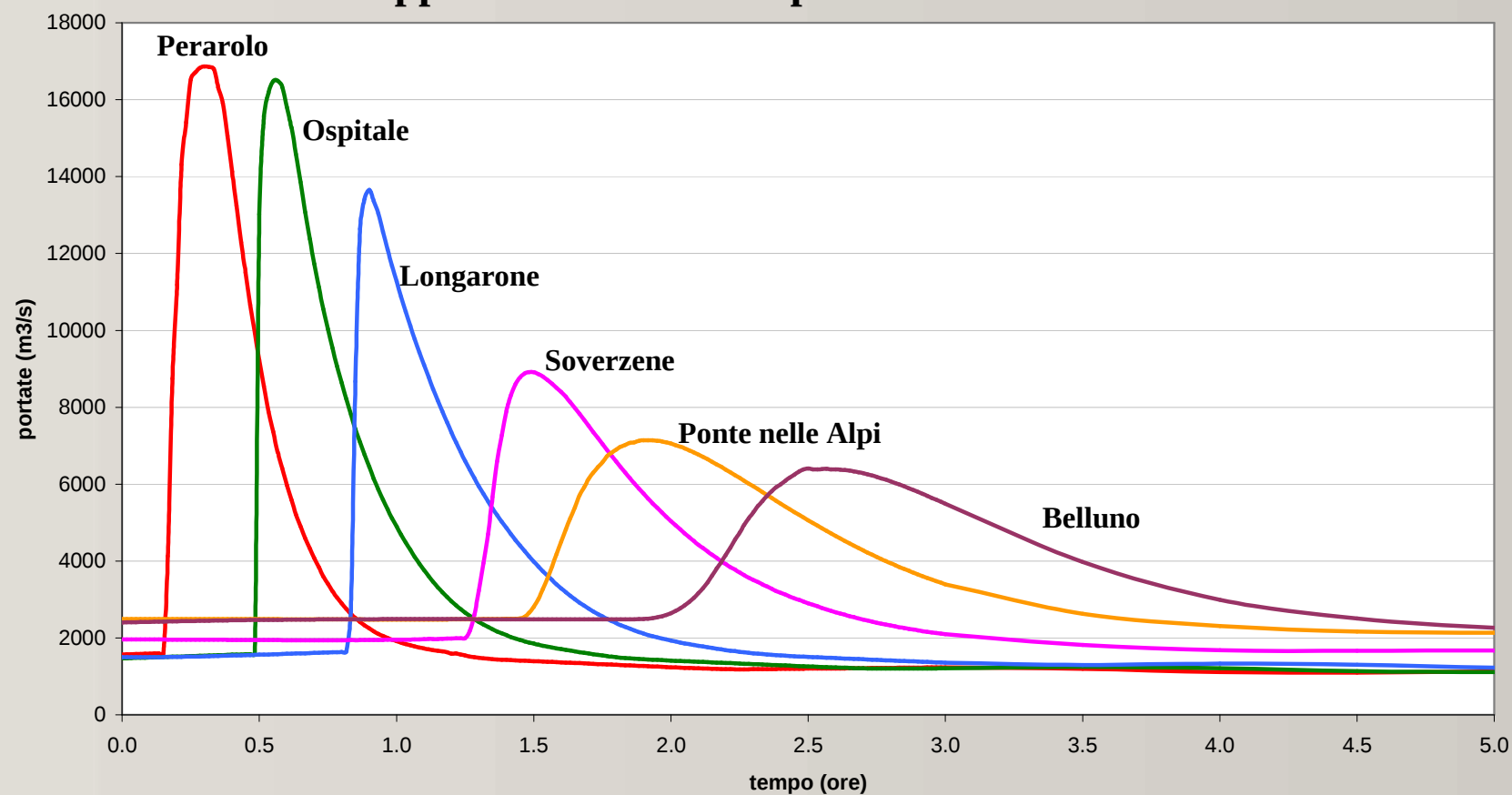
settembre 2013

Longarone Fiere-Centro congressi

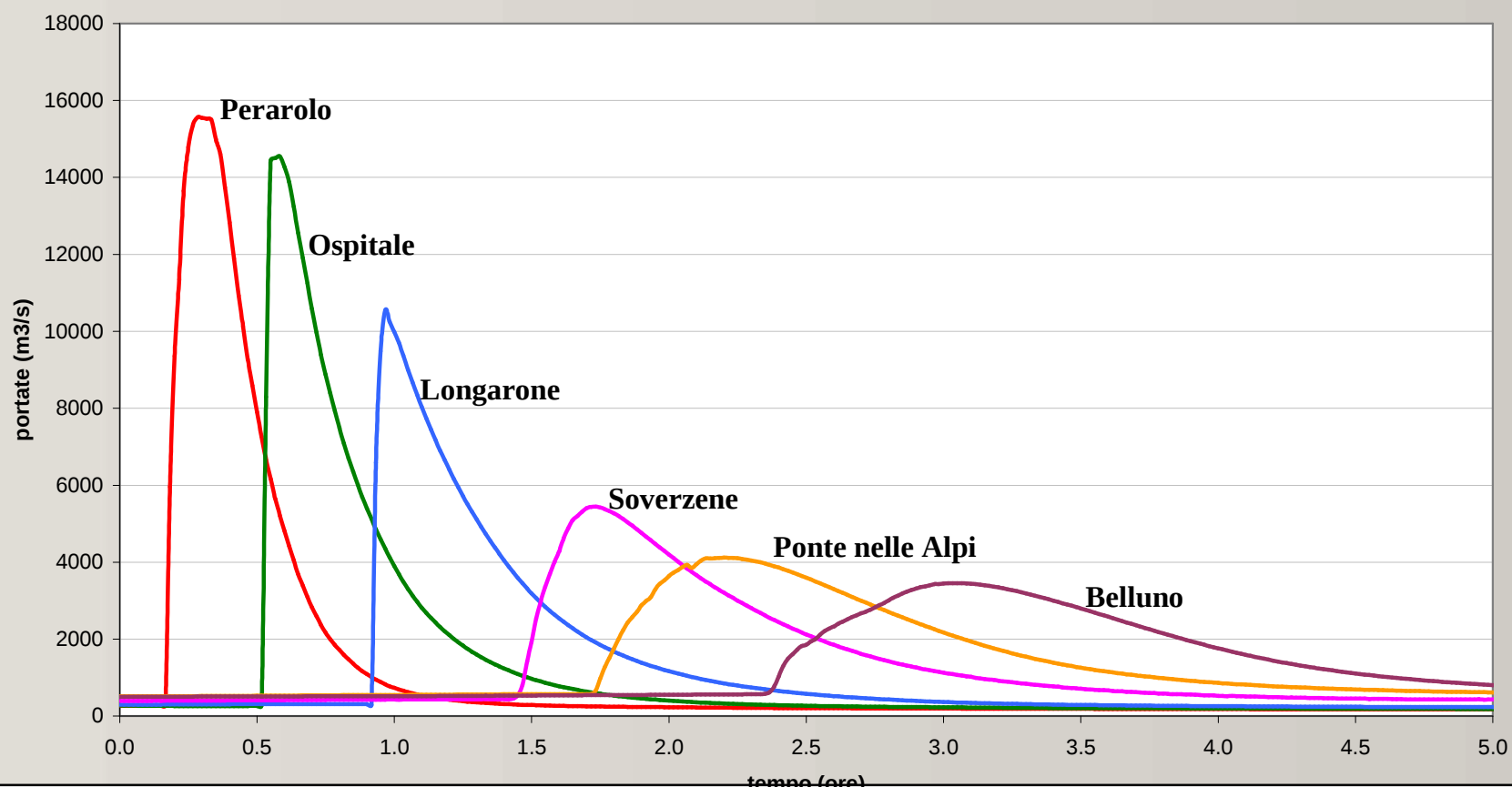
Pericolosità idraulica a valle delle dighe



Onde di sommersione conseguenti al cedimento della diga di Pieve di Cadore sovrapposte a un evento di piena con $Tr = 100$ anni



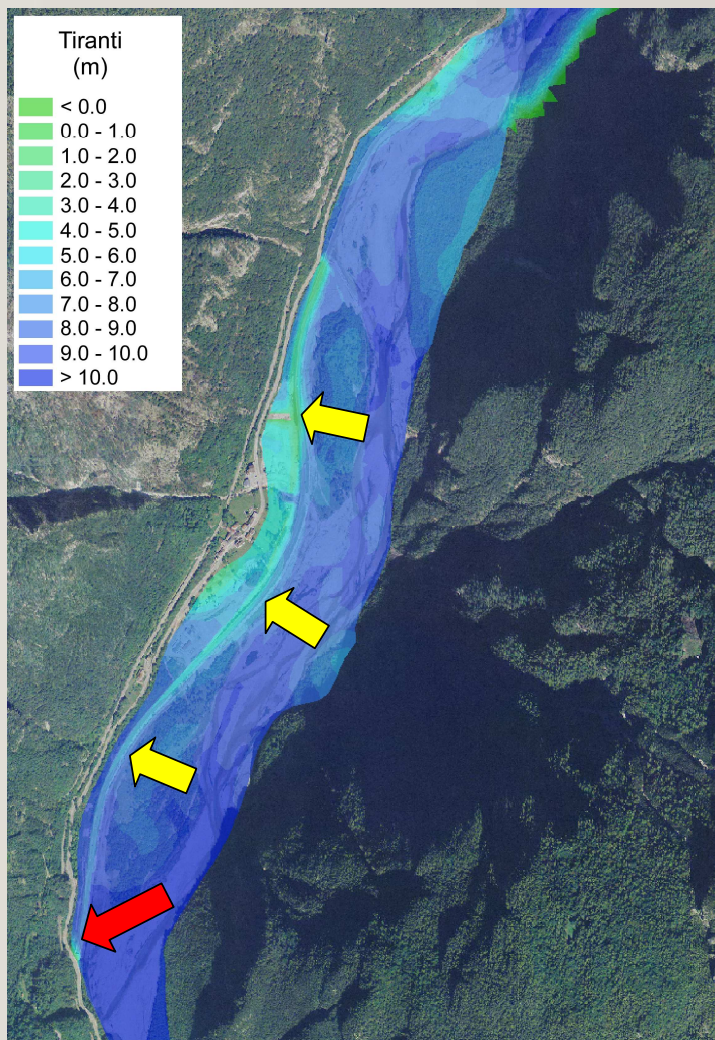
Onde di sommersione conseguenti al cedimento della diga di Pieve di Cadore sovrapposte a un evento di piena con $Tr = 10$ anni



13
settembre 2013

Longarone Fiere-Centro congressi

Pericolosità idraulica a valle delle dighe



Inviluppo dei tiranti massimi

Allagamento della variante della S.S. d'Alemagna a monte di Ospitale di Cadore

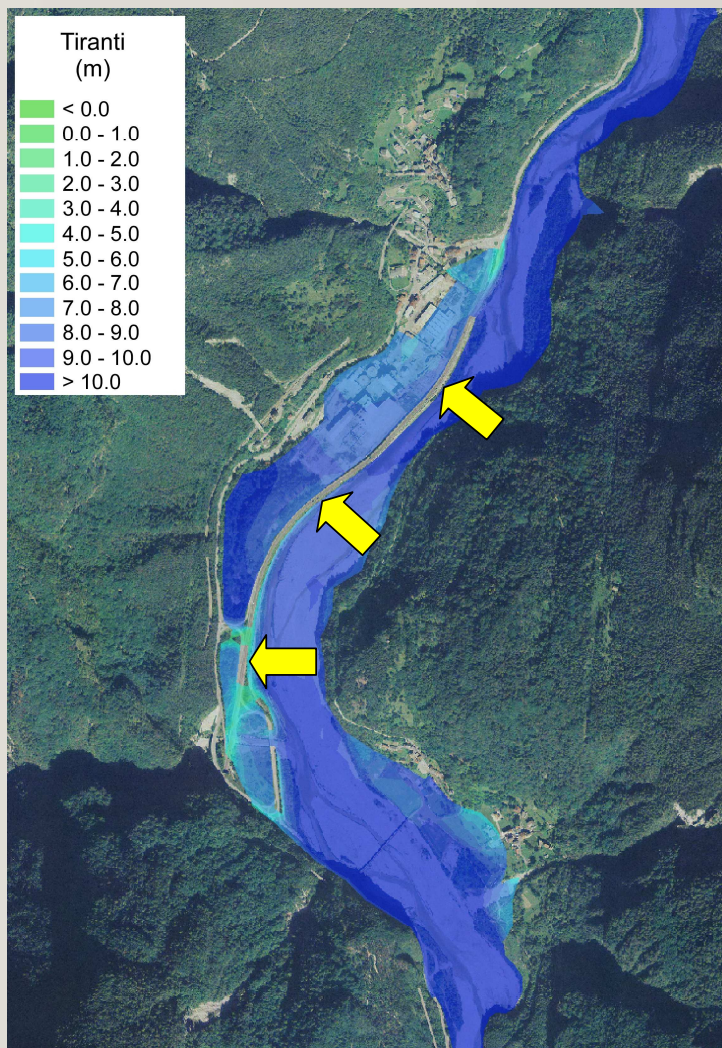
Fenomeno di cedimento della diga di Pieve di Cadore sovrapposto a un evento di piena con $Tr = 100$ anni



13
settembre 2013

Longarone Fiere-Centro congressi

Pericolosità idraulica a valle delle dighe



Inviluppo dei tiranti massimi

Allagamento della variante della
S.S. d'Alemagna
fra
Ospitale di Cadore e Davestra

Fenomeno di cedimento della
diga di Pieve di Cadore
sovrapposto a un evento di
piena con $Tr = 100$ anni

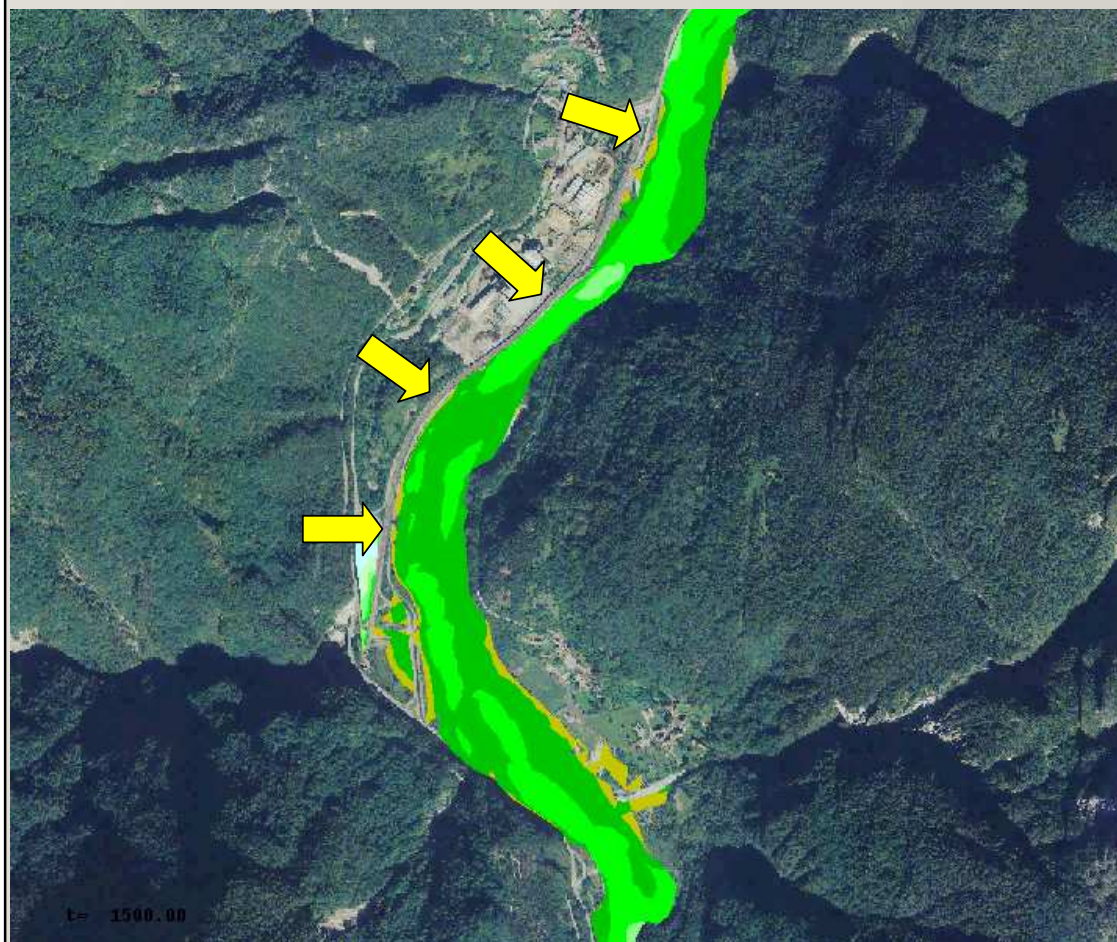


13

settembre 2013

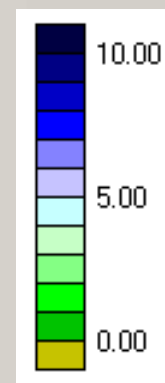
Longarone Fiere-Centro congressi

Pericolosità idraulica a valle delle dighe



**Fenomeno di cedimento
della diga di Pieve di
Cadore sovrapposto a
un evento di piena con
 $Tr = 100$ anni**

**Propagazione dell'onda di
sommersione fra Ospitale
di Cadore e Davestra**



**Tiranti
(m)**

13

settembre 2013

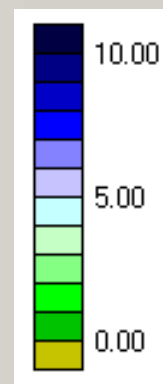
Longarone Fiere-Centro congressi

Pericolosità idraulica a valle delle dighe



**Fenomeno di cedimento
della diga di Pieve di
Cadore sovrapposto a
un evento di piena con
 $Tr = 10$ anni**

**Propagazione dell'onda di
sommersione fra Ospitale
di Cadore e Davestra**



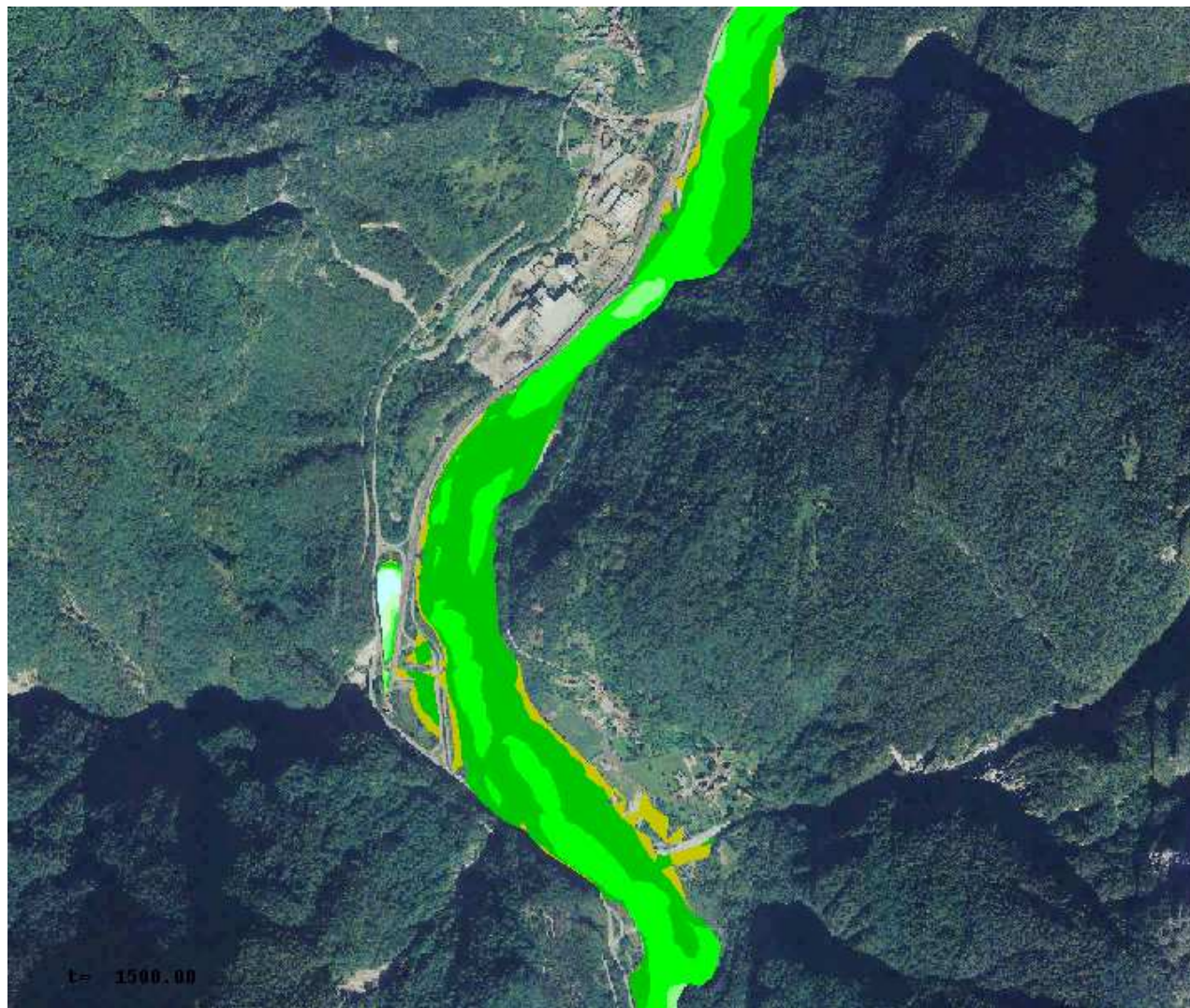
**Tiranti
(m)**

13
settembre 2013
Longarone Fiere-Centro congressi
Pericolosità idraulica a valle delle dighe

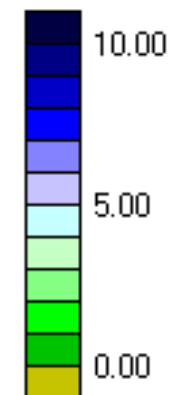


**GRAZIE
per
la vostra attenzione**

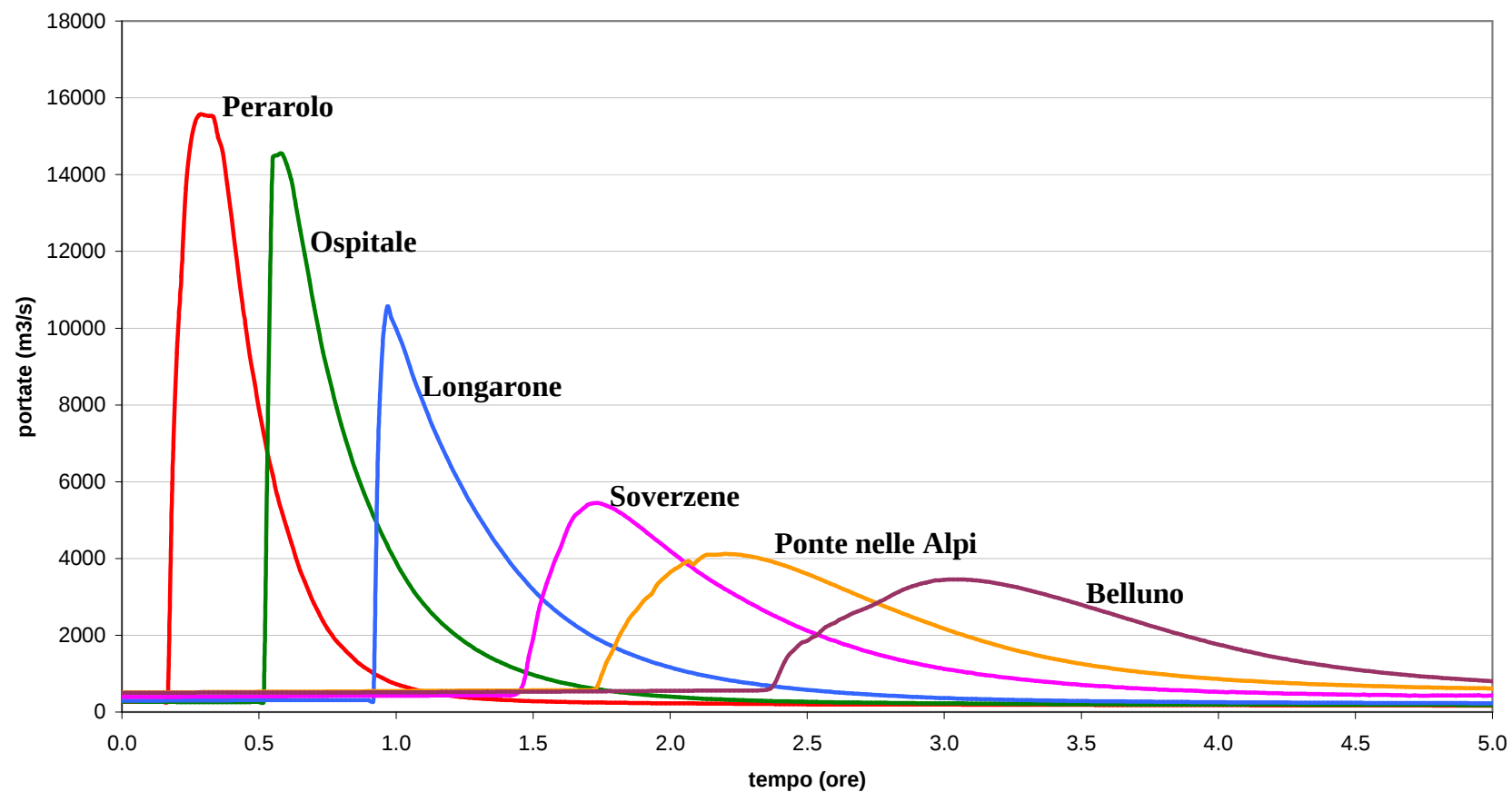
Dam-break sovrapposto ad evento di piena con $T_r = 10$ anni
OSPITALE - DAVESTRA

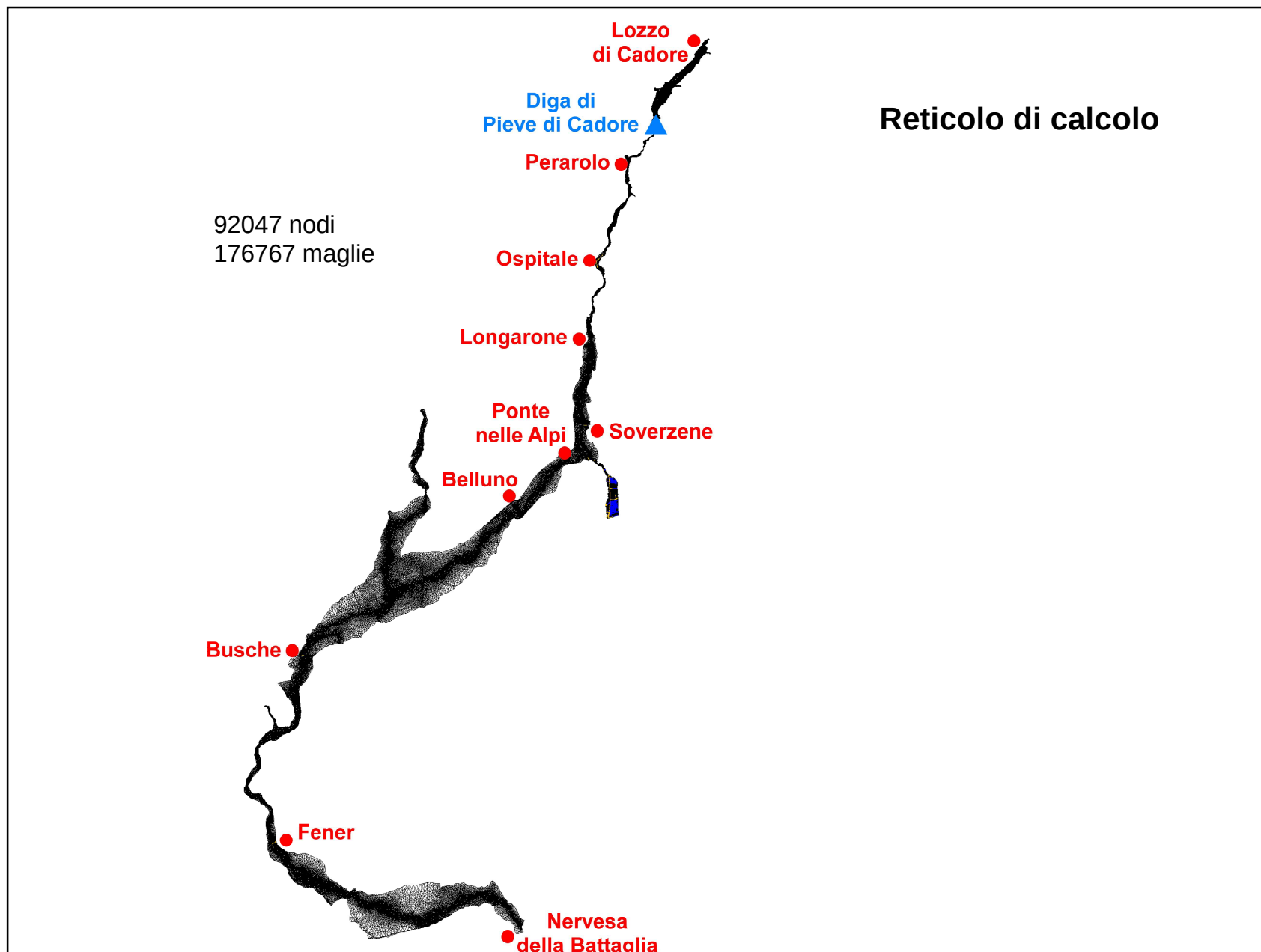


**Tiranti
(m)**

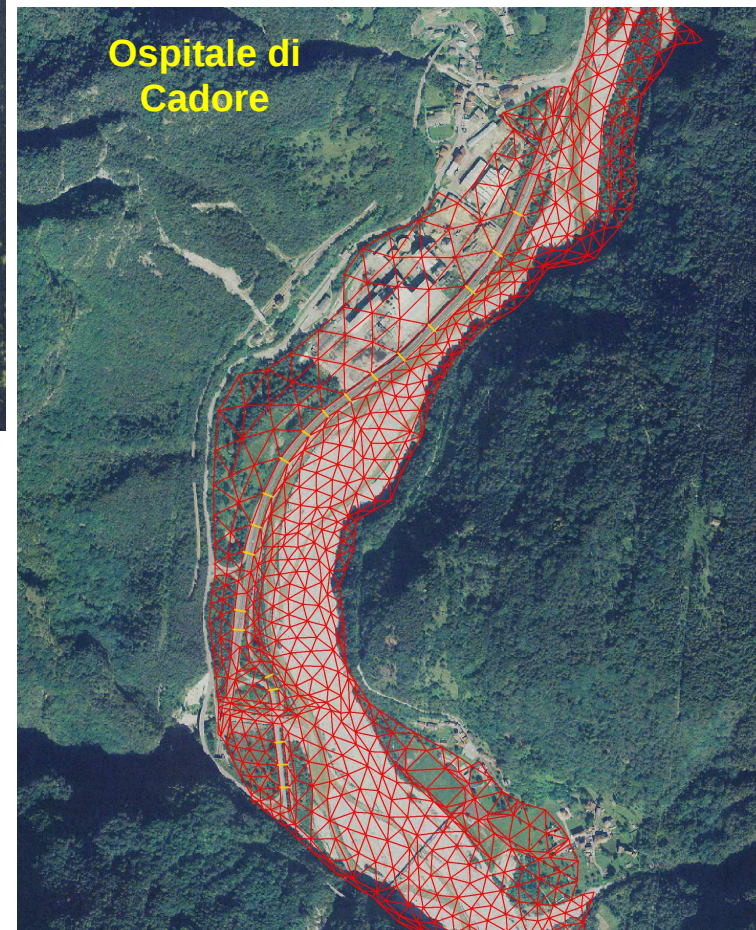
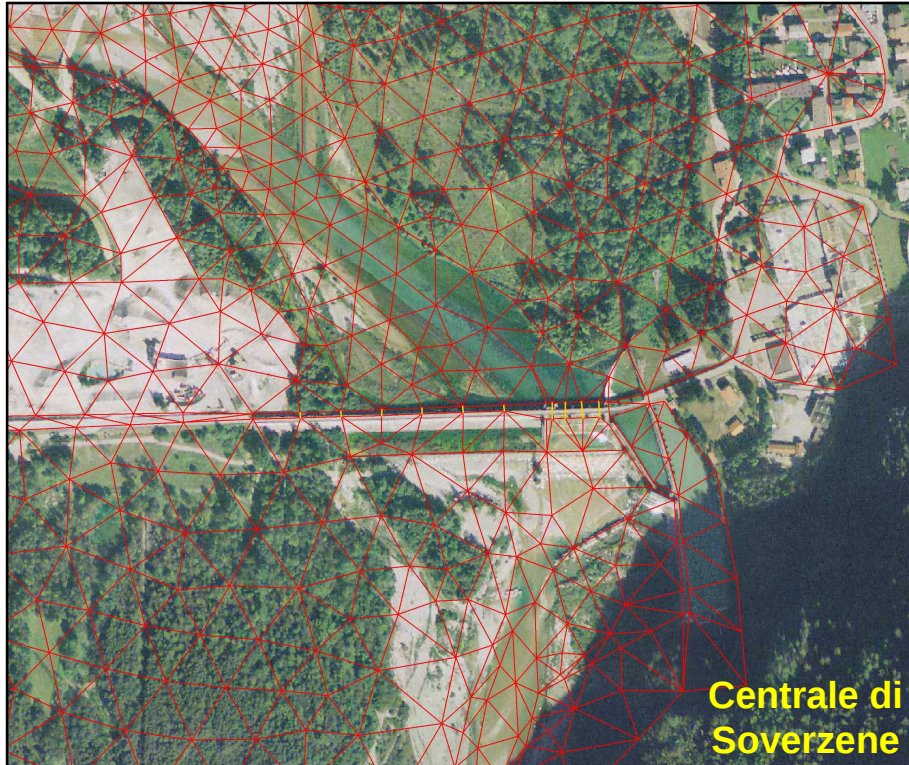


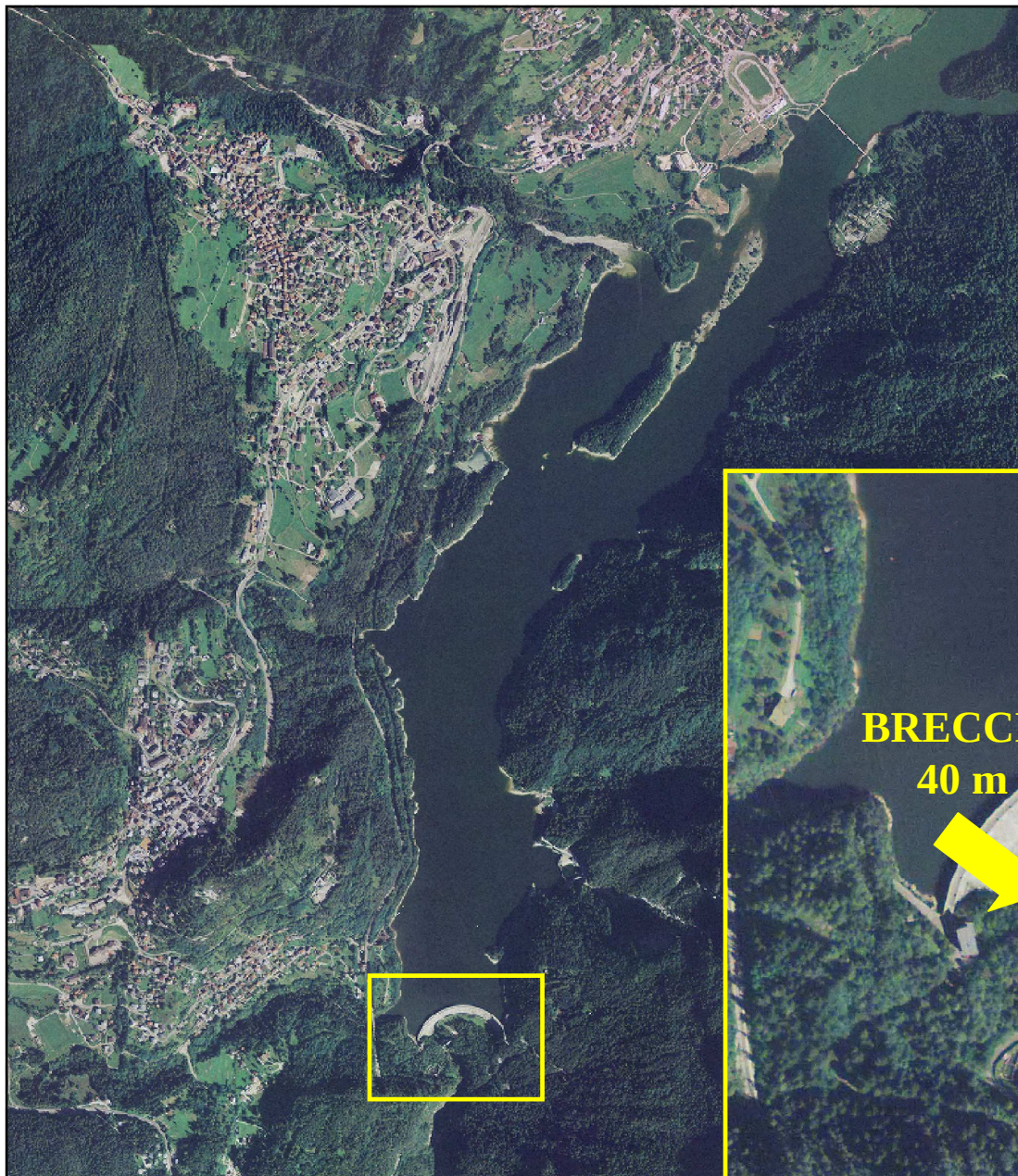
Fenomeno di cedimento della diga di Pieve di Cadore sovrapposto a un evento di piena con $T_r = 10$ anni





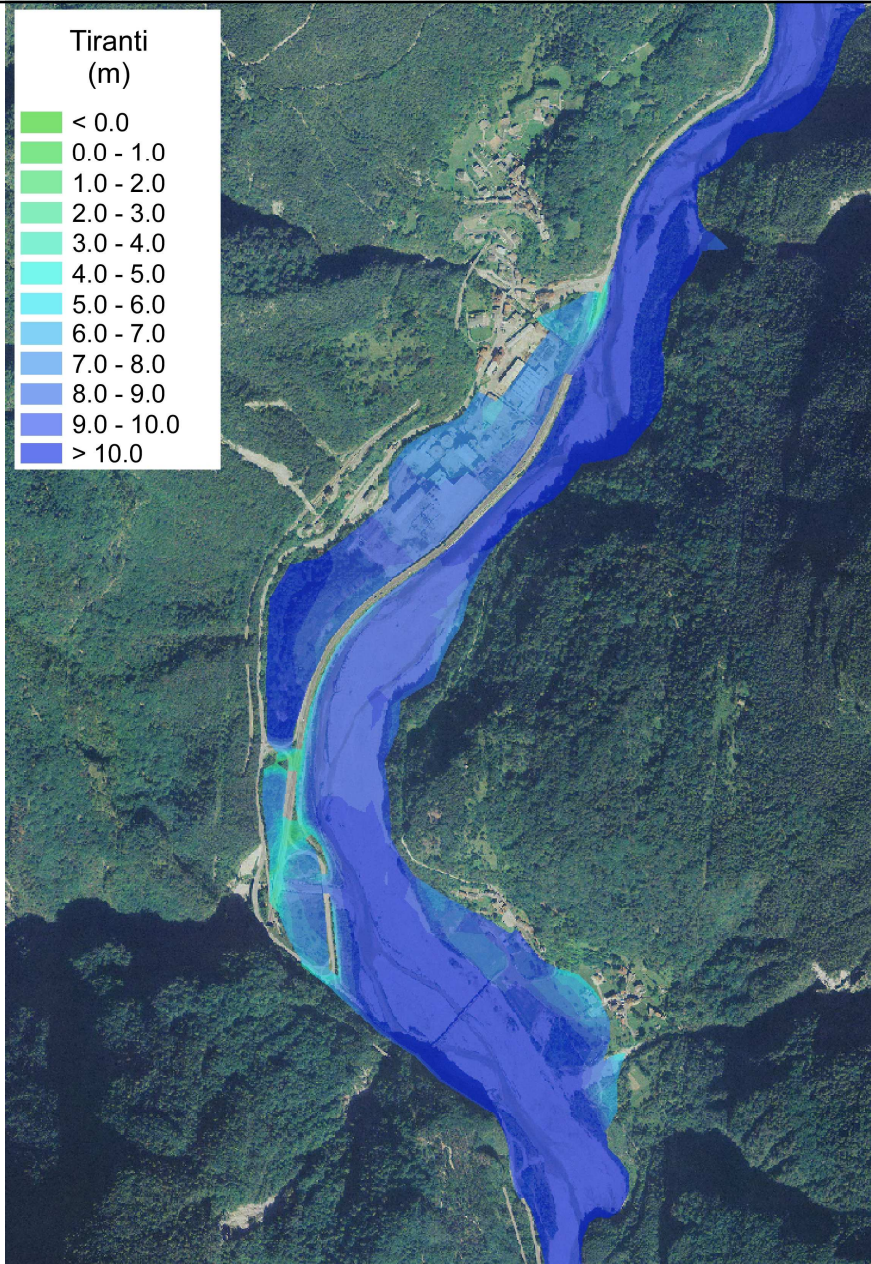
Particolari del reticolo di calcolo





**La diga di Pieve di
Cadore**

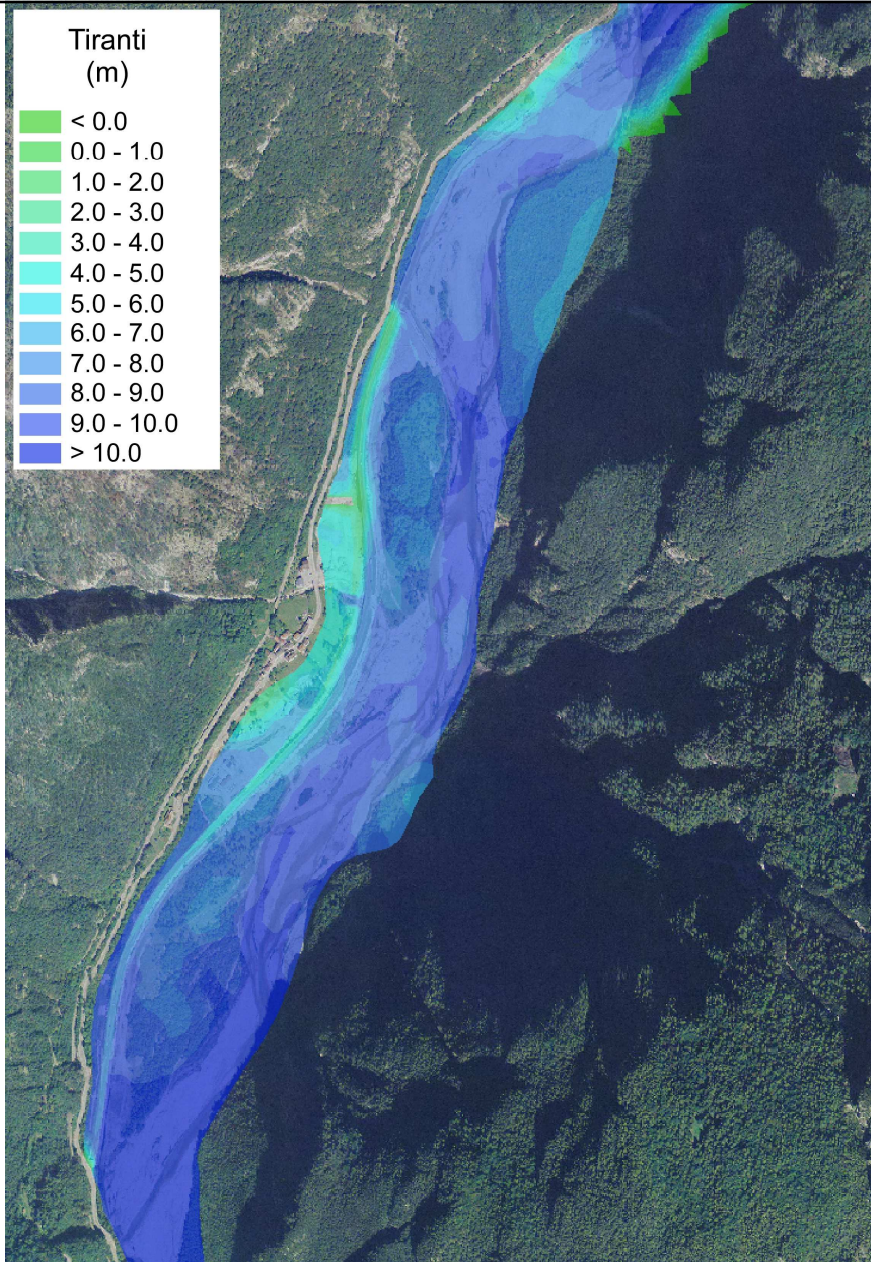




**Inviluppo dei tiranti
massimi**

OSPITALE - DAVESTRA

**Dam-break sovrapposto
ad evento di piena con
 $Tr = 100$ anni**



**Inviluppo dei tiranti
massimi**

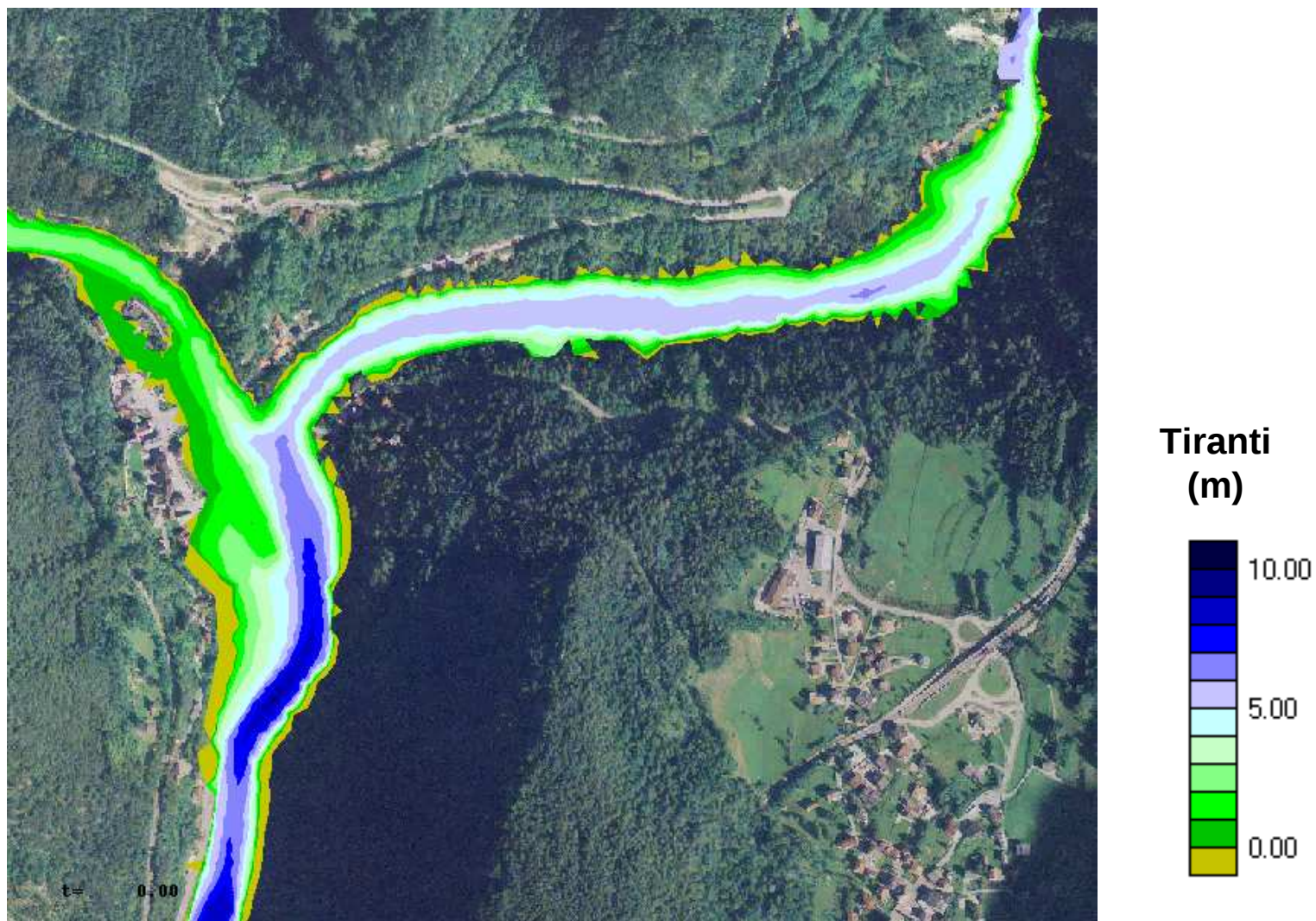
**VARIANTE
D'ALEMAGNA**

A MONTE DI OSPITALE

**Dam-break sovrapposto
ad evento di piena con
 $Tr = 100$ anni**

Dam-break sovrapposto ad evento di piena con $Tr = 100$ anni

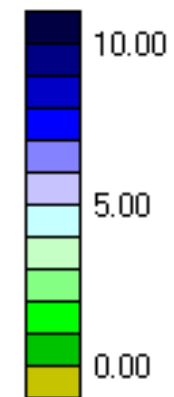
PERAROLO



Dam-break sovrapposto ad evento di piena con $T_r = 100$ anni
OSPITALE - DAVESTRA

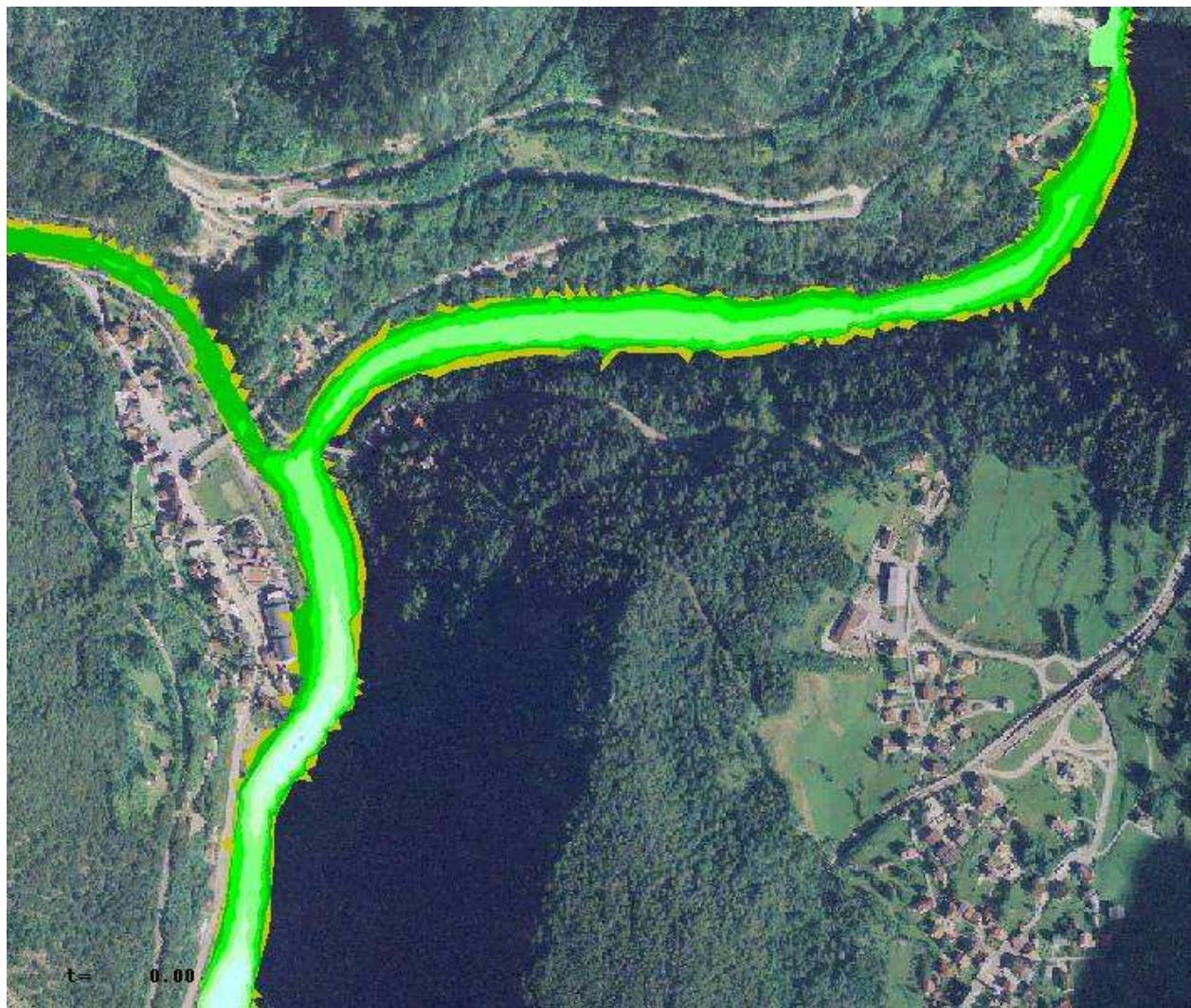


**Tiranti
(m)**

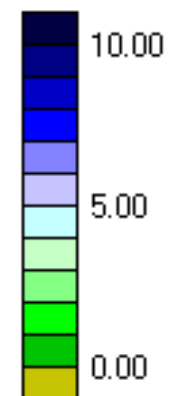


Dam-break sovrapposto ad evento di piena con $Tr = 10$ anni

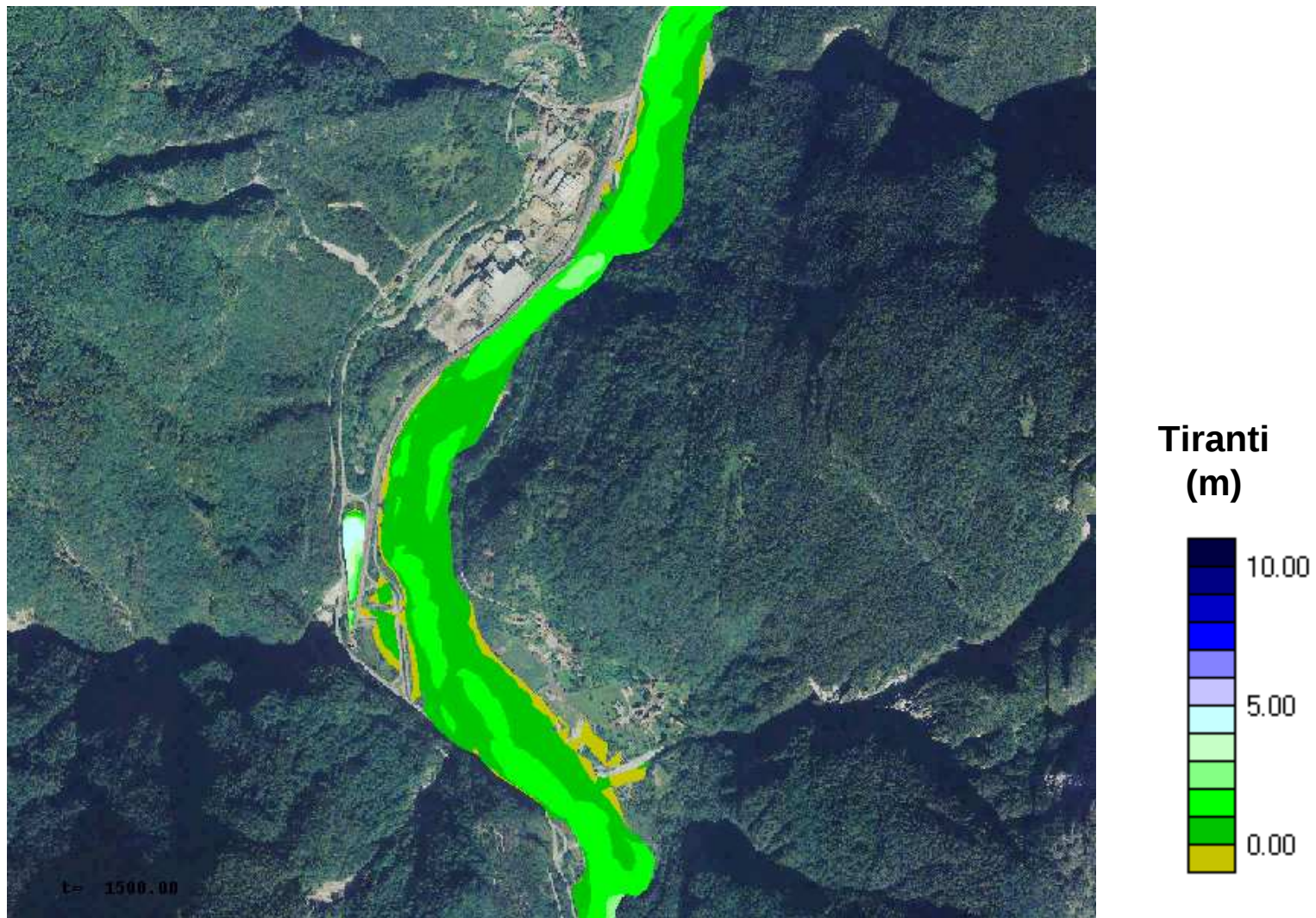
PERAROLO



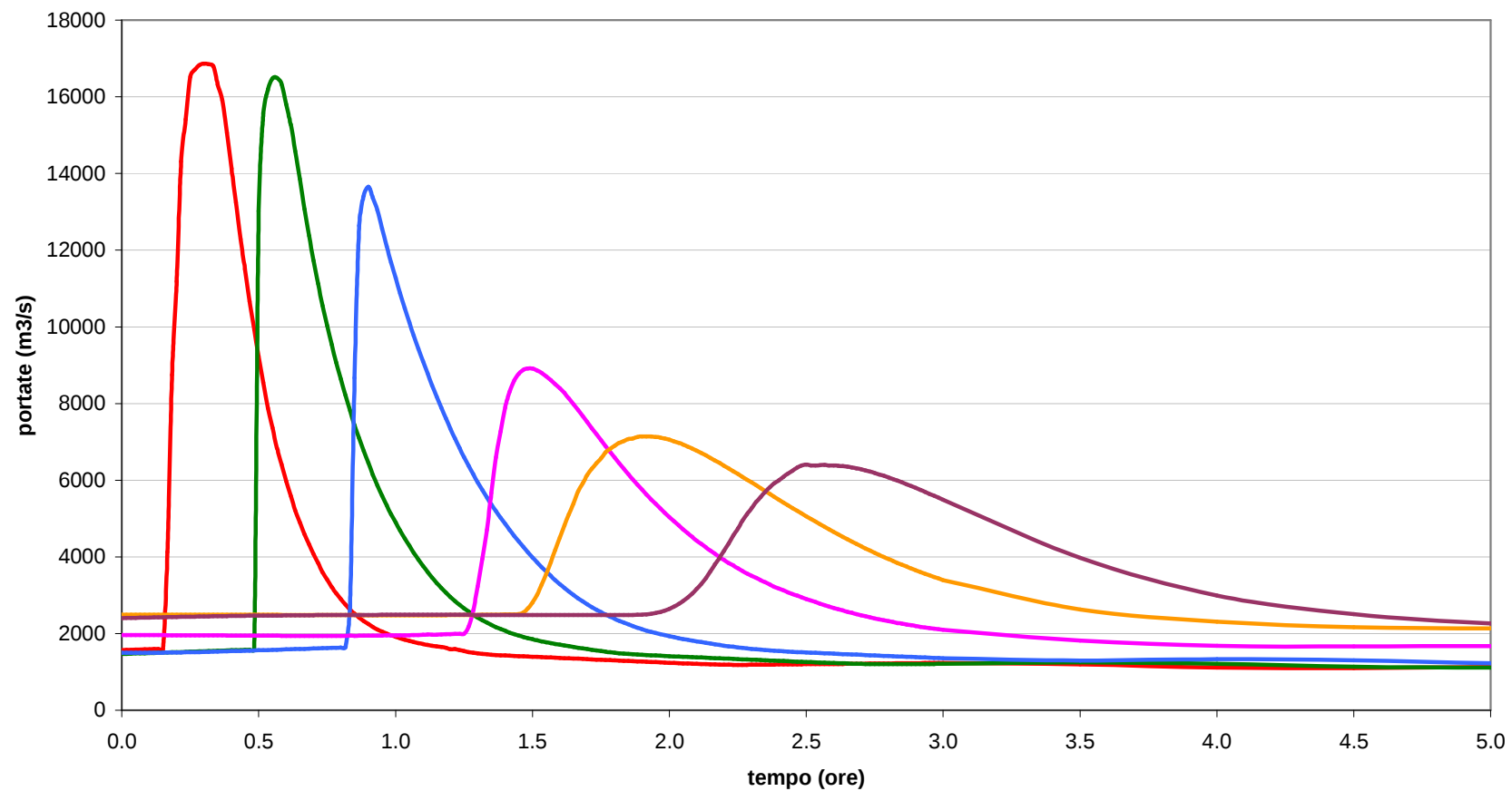
Tiranti
(m)

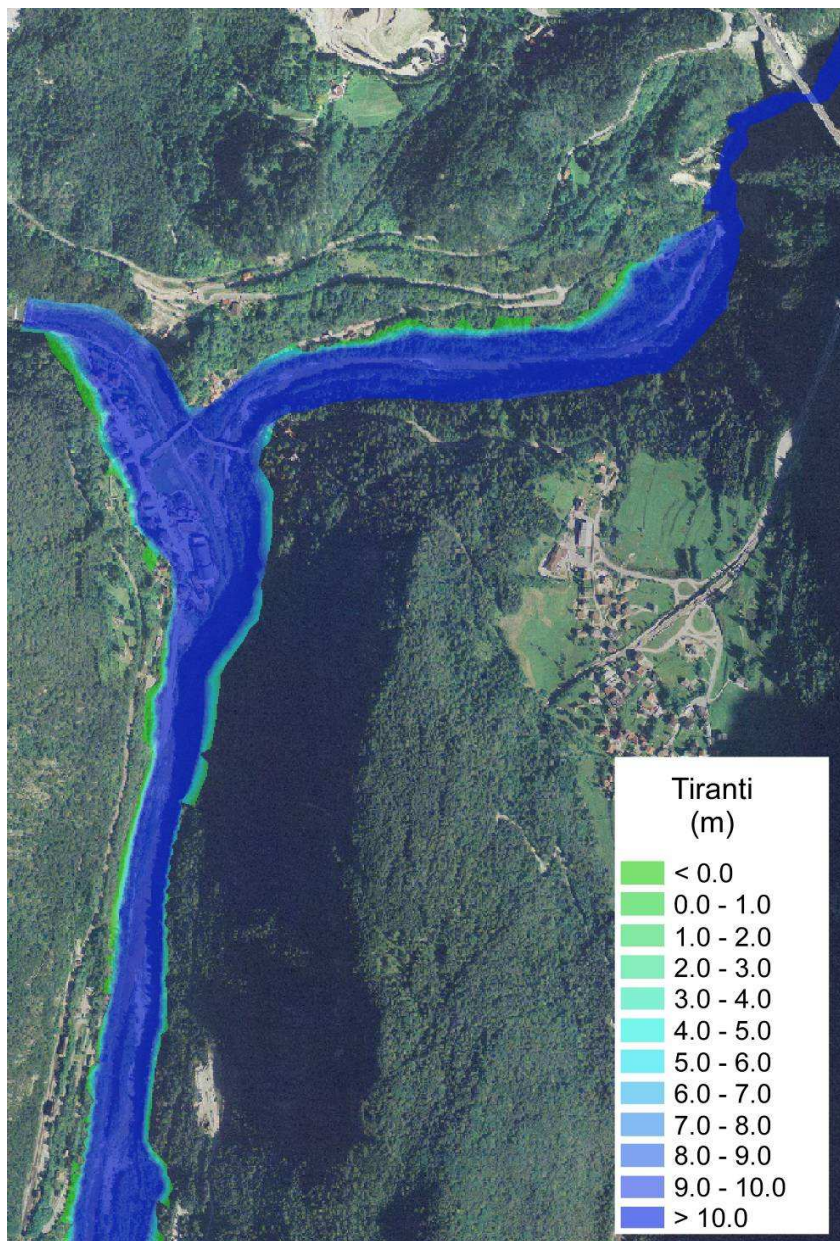


Dam-break sovrapposto ad evento di piena con $Tr = 10$ anni
OSPITALE - DAVESTRA



Dam-break sovrapposto ad evento di piena con $Tr = 100$ anni





**Inviluppo dei tiranti
massimi**

PERAROLO

**Dam-break sovrapposto
ad evento di piena con
 $Tr = 100$ anni**