

## *Calcolo del rischio idraulico nel territorio della Valle Camonica*

Marco Pilotti, Cattedra di Ingegneria Idraulica, DICATAM

[marco.pilotti@unibs.it](mailto:marco.pilotti@unibs.it)



**Acque Bresciane**  
Servizio Idrico Integrato

**AB**community  
Trasparenza / Ascolto / Sostenibilità





# Il Crollo della diga del Gleno, 1923



Foto Archivio Negri





# L'alluvione di Pisogne, 1953



# Darfo, 16-17 settembre 1960



a) Corso Italia a Boario; b) Ponte di Montecchio a Darfo





# Niardo, Agosto 1987





# Niardo, 2023





# Un po' di storia...



anno	mese	giorno/i	Comune	località	C. Ev.
1506	autunno		Darfo Boario T.	Territorio comunale	112
1521			Vione	Stadolina (Fucine)	27c
1534			Edolo	Edolo abitato	72
1536	ottobre	27-29	Braone	Braone abitato	73
1540			Cividate Camuno	Piazza di Cividate Camuno	113
1544			Esine	Territorio comunale	74
1614	ottobre	25	Incudine	Territorio com.	
1614	ottobre	25	Edolo	Territorio com.	
1614	ottobre	25	Ponte di Legno	Territorio com.	
1614	ottobre	25	Vione	Territorio com.	
1614	ottobre	25	Veza d'Oglio	Territorio com.	
1614	ottobre	25	Sonico	Territorio com.	
1614	ottobre	25	Malonno	Territorio com.	
1614	ottobre	25	Cedegolo	Territorio com.	
1614	ottobre	25	Cividate Camuno	Territorio com.	
1614	ottobre	25	Ceto	Territorio com.	
1614	ottobre	25	Braone	Territorio com.	
1614	ottobre	25	Breno	Territorio com.	
1614	ottobre	25	Esine	Territorio com.	
1614	ottobre	25	Darfo Boario T.	Territorio com.	
1615	agosto	15	Braone	Territorio com.	
1615	agosto	15	Breno	Territorio com.	
1615	agosto	15	Cividate Camuno	Territorio com.	
1615	agosto	15	Darfo Boario T.	Darfo abitato	
1644	agosto	31	Esine	Territorio com.	
1659	settembre		Berzo Demo	Abitato di De	
1676	maggio	30	Darfo Boario T.	Darfo abitato	
1738	ott/nov	18/10-primi	Veza d'Oglio	Ponte di Dav	
1738	ott/nov	18/10-primi	Cividate Camuno	Cividate Camuno	
1738	ott/nov	18/10-primi	Esine	Territorio com.	
1738	ott/nov	18/10-primi	Breno	Territorio com.	
1738	ott/nov	18/10-primi	Cedegolo	Territorio com.	
1738	ott/nov	18/10-primi	Sonico	Territorio com.	
1738	ott/nov	18/10-primi	Malonno	Territorio com.	
1738	ott/nov	18/10-primi	Edolo	Territorio com.	
1738	ott/nov	18/10-primi	Incudine	Territorio comunale	57n
1738	ott/nov	18/10-primi	Tenu'	Territorio comunale	57o

anno	mese	giorno/i	Comune	località	C. Ev.
1960	settembre	16-17	Breno	Balote	
1960	settembre	16-17	Breno	Rana	
1960	settembre	16-17	Breno	Contrada Saletto	1976 ottobre 2-3 Cividate Camuno Prada
1960	settembre	16-17	Breno	Sponda sx c/o passerella pedonale	1976 ottobre 2-3 Breno Calameto
1960	settembre	16-17	Breno	A monte del Ponte Minerva	1976 ottobre 2-3 Cividate Camuno Borgo Olcese
1960	settembre	16-17	Darfo Boario T.	Darfo - via Roccole	1976 ottobre 2-3 Cividate Camuno Via Roma - Viale Vanna
1960	settembre	16-17	Darfo Boario T.	Boario - via M. d'Azeglio	1976 ottobre 2-3 Ceto Fornaci
1960	settembre	16-17	Darfo Boario T.	Darfo - via Quarteroni	1976 ottobre 2-3 Cedegolo Territorio comunale
1960	settembre	16-17	Darfo Boario T.	Darfo - via Saletti, 50	1976 ottobre 2-3 Darfo Boario T. Bessimo
1960	settembre	16-17	Darfo Boario T.	Coma - via Lepetit	1976 ottobre 2-3 Darfo Boario T. Montecchio
1960	settembre	16-17	Darfo Boario T.	Montecchio - via Gnsti	1976 ottobre 2-3 Esine Territorio comunale
1960	settembre	16-17	Darfo Boario T.	Darfo - Via Ronchi	1965 agosto 5-6 Tenu' Pontagna, loc. Fucine
1960	settembre	16-17	Darfo Boario T.	Darfo - P.zza Beveratore	1987 luglio 18-19 Ponte di Legno Territorio comunale
1960	settembre	16-17	Darfo Boario T.	Boario - Via Valeriana	1987 luglio 18-19 Tenu' Pontagna, loc. Fontane
1960	settembre	16-17	Darfo Boario T.	Darfo - Via S. Cristoforo	1987 luglio 18-19 Veza d'Oglio Ponte Davena
1960	settembre	16-17	Darfo Boario T.	Darfo - Via Ghezza	1987 luglio 18-19 Sonico Greano
1960	settembre	16-17	Darfo Boario T.	Darfo - Via Albera	1987 luglio 18-19 Breno Calameto
1960	settembre	16-17	Capo di Ponte	Strada comunale del convento	1987 agosto 23-25 Tenu' Pontagna
1960	settembre	16-17	Capo di Ponte	Campivo	1987 agosto 23-25 Incudine Territorio comunale
1960	settembre	16-17	Capo di Ponte	Capo di Ponte abitato - via Italia	1987 agosto 23-25 Ponte di Legno Ponte di Legno abitato
1960	settembre	16-17	Capo di Ponte	Strada comunale Prada	1987 agosto 23-25 Veza d'Oglio Casot
1960	settembre	16-17	Cedegolo	Cedegolo abitato - via Roma	1987 settembre 26-30 Tenu' Pontagna
1960	settembre	16-17	Ceto	Isola	1991 settembre 30 Darfo Boario T. Bessimo - ponte sulla variante alla S.S. 42 del Tonale
1960	settembre	16-17	Breno	Follo	1993 ottobre 3-5 Tenu' Territorio comunale
1960	settembre	16-17	Edolo	Edolo - Via Ramus	1993 ottobre 3-5 Berzo Demo S. Zanone c/o carrozzeria Toretti
1960	settembre	16-17	Edolo	Strada Statale n. 42	1993 ottobre 3-5 Braone Gisole
1960	settembre	16-17	Edolo	Edolo - Via Gelpi	1993 ottobre 3-5 Cividate Camuno A valle del canale Selm
1960	settembre	16-17	Esine	Strada statale presso ponte S. Zanone	1993 ottobre 3-5 Veza d'Oglio Territorio comunale
1960	settembre	16-17	Berzo Demo	S. Zanone	1993 ottobre 3-5 Darfo Boario T. Boario - Via Manufacture
1960	settembre	16-17	Sonico	Sonico - Ditta Pasquini	1993 ottobre 3-5 Darfo Boario T. Boario T. - Sottopasso Terme
1960	settembre	16-17	Ponte di Legno	Ponte di Legno abitato	1996 novembre 14-16 Darfo Boario T. Darfo abitato
1960	ottobre	1	Darfo Boario T.	Bessimo superiore	1997 giugno 27 Darfo Boario T. Territorio comunale
1963	novembre	5	Capo di Ponte	Territorio comunale	
1963	novembre	5	Esine	Territorio comunale	14/e



# Una questione terminologica: il concetto di Rischio

$$R = P \times V \times E$$



*moltiplicazione logica*

**P, Pericolosità:** *probabilità di occorrenza di un certo fenomeno di una certa intensità in un determinato intervallo di tempo ed in una certa area.*

**E, Esposizione:** *popolazione, proprietà, attività economica, ecc. esposta a rischio in una determinata area.*

**V, Vulnerabilità:** *attitudine dell'elemento a rischio a subire danni per effetto dell'evento*

**R, Rischio:** *entità del danno atteso in una data area e in un certo intervallo di tempo in seguito al verificarsi di un particolare evento.*

*Varnes, D. J. (1984), Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practices. UNESCO Natural Hazard Series, No.3, UNESCO, Paris, 63pp.*



*DGR 30 novembre 2011 – n. IX/2616 Aggiornamento dei «Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio (PGT)»*





# Un esempio di annullamento del rischio

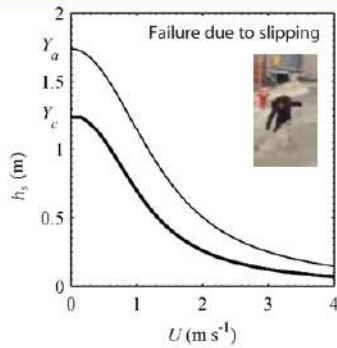
*Pericolosità: presenza dei leoni*  
*Esposizione: presenza delle persone*

*Vulnerabilità:  $> 0$*

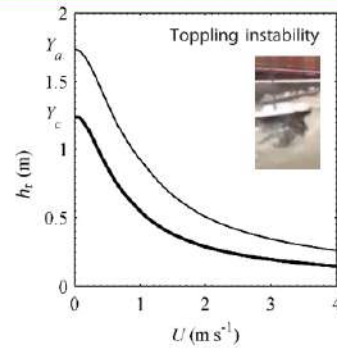
*Vulnerabilità:  $= 0$*



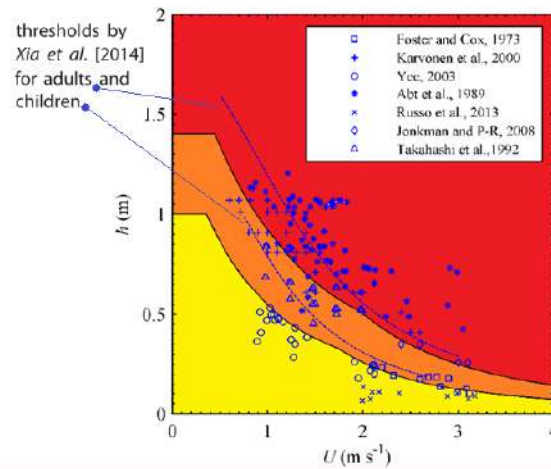
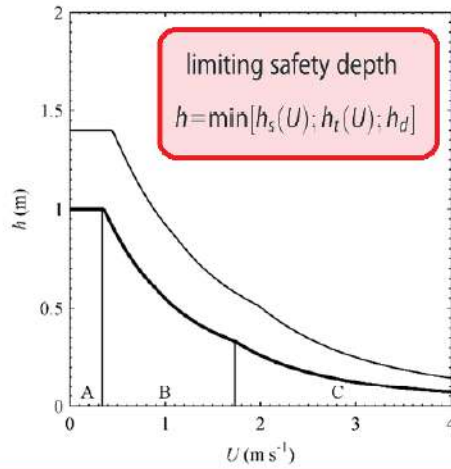
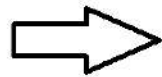
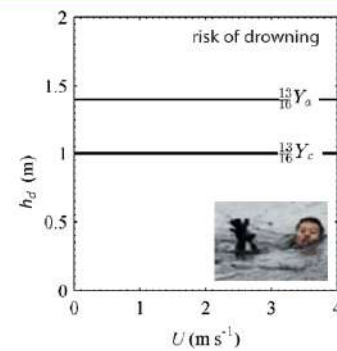
# Il Calcolo della vulnerabilità



+



+



Milanesi, L., Pilotti, M., Ranzi, R. (2015), A conceptual model of people's vulnerability to flood, *Water Resources Research*, 51





# Il ruolo dell'esposizione

1944



2023

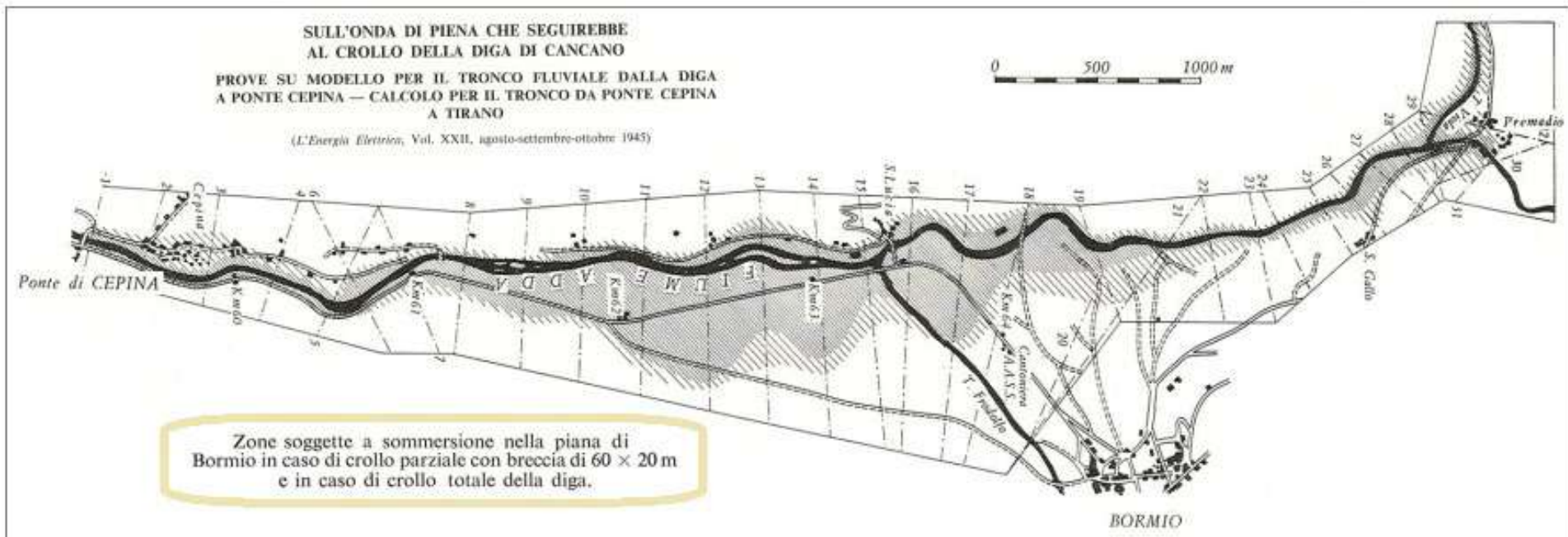


$$R = P \times V \times E$$

Regione  
Lombardia  
BOLLETTINO UFFICIALE

DGR 30 novembre 2011 – n. IX/2616  
Aggiornamento dei «Criteri ed indirizzi per  
la definizione della componente  
geologica, idrogeologica e sismica del  
piano di governo del territorio (PGT)»

# Uno studio di pericolosità ante-litteram: l'ipotetico crollo di Cancano I



«Le località non incluse in tale zona sono in modo assoluto al riparo da qualunque pericolo»

G. De Marchi, Sull'onda di piena che seguirebbe al crollo della diga di Cancano, Energia Elettrica, 1945





# Uno studio di pericolosità ante-litteram: l'ipotetico crollo della diga di Cancano



- 16 Maggio 1943: attacchi aerei a dighe nel bacino della Ruhr
- Allagamenti per più di 80 Km;
- più di 1500 morti



Allagamento a Roendenberg-Boesperde nella valle della Ruhr 20 km a sud della diga di Mohne

Allagamento a Kassel, 45 km a valle della diga di Eder



# L'ipotetico Crollo della diga di Cancano

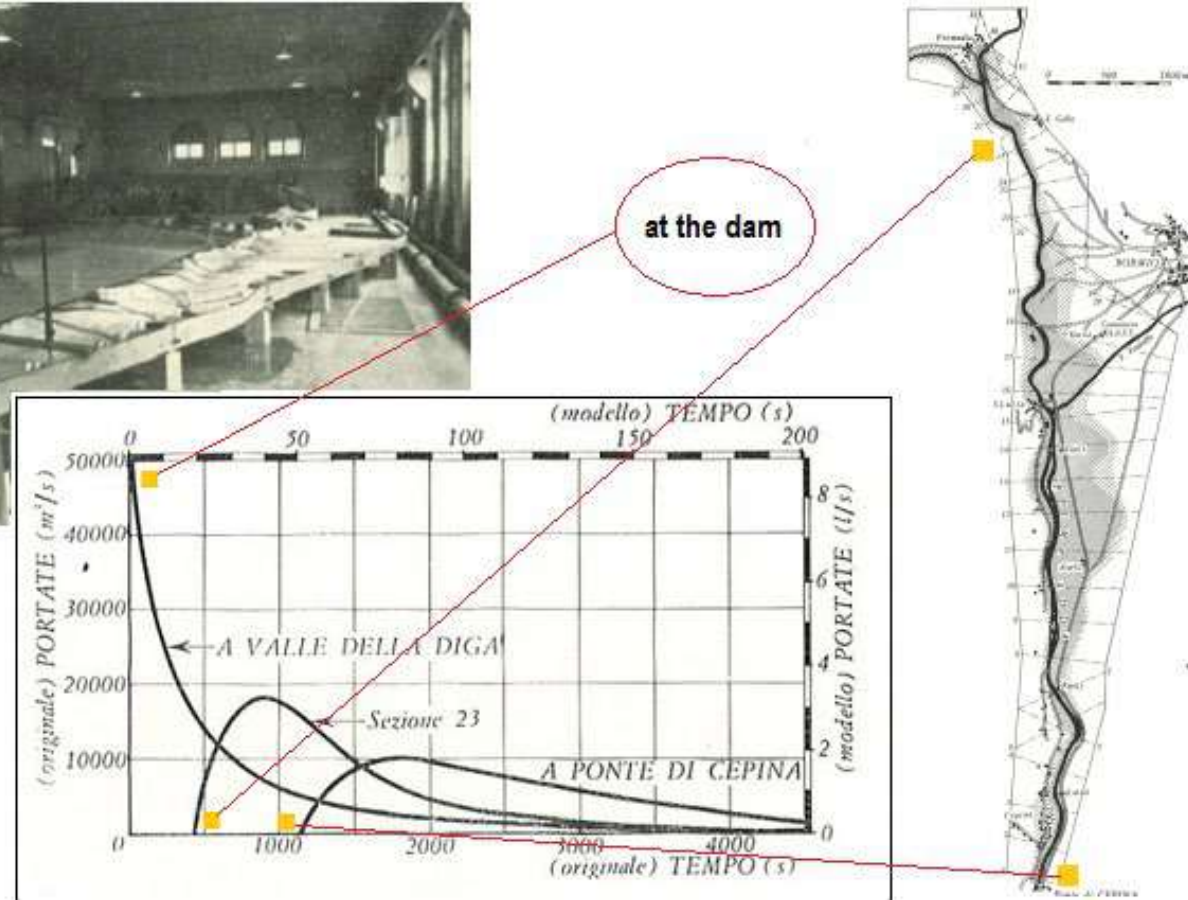
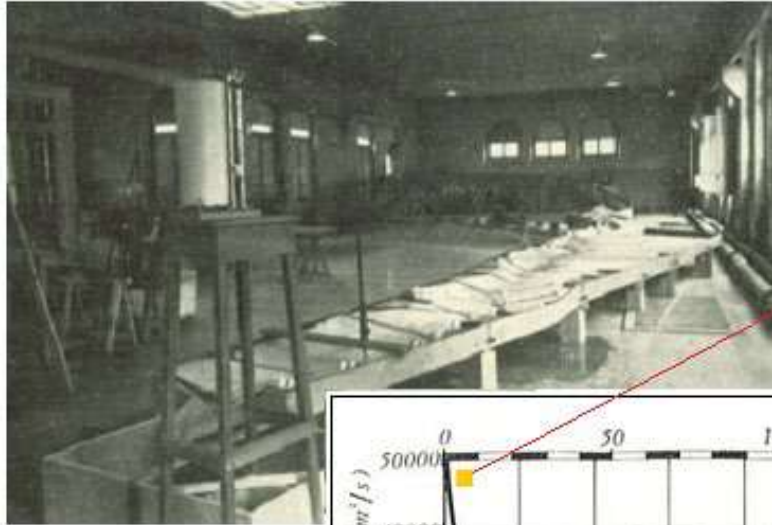
“è praticamente impossibile applicare le equazioni consuete dell’Idraulica al fondo sempre irregolare, talora irregolarissimo delle vallate montane” (De Marchi, 1945)

- Modello fisico dei primi 16 km, ipotizzando un collasso parziale e totale e misurando gli idrogrammi in tre differenti posizioni

$$\lambda_l = \frac{l_m}{l_p} = \frac{1}{500}$$

$$\lambda_v = \lambda_t = \sqrt{\lambda_l} = \frac{1}{22.4}$$

$$\frac{Q_m}{Q_p} = \lambda_l^{5/2} = \frac{1}{5.6 \cdot 10^6}$$



- Studio numerico della propagazione dell’onda di piena da Ponte Cepina fino a Tirano, laddove l’onda era ormai laminata al punto da poter essere assimilata ad una piena naturale



$$\mathbf{U}_t + \mathbf{E}_x + \mathbf{F}_y = \mathbf{S}$$

$$\mathbf{U} = \begin{pmatrix} h \\ uh \\ vh \end{pmatrix}, \quad \mathbf{E} = \begin{pmatrix} uh \\ u^2h + \frac{1}{2}gh^2 \\ uvh \end{pmatrix}, \quad \mathbf{F} = \begin{pmatrix} vh \\ uvh \\ v^2h + \frac{1}{2}gh^2 \end{pmatrix},$$

$$\mathbf{S} = \begin{pmatrix} 0 \\ gh(S_{0x} - S_{fx}) \\ gh(S_{0y} - S_{fy}) \end{pmatrix}, \quad S_{fx} = \frac{n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}}, \quad S_{fy} = \frac{n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}}$$

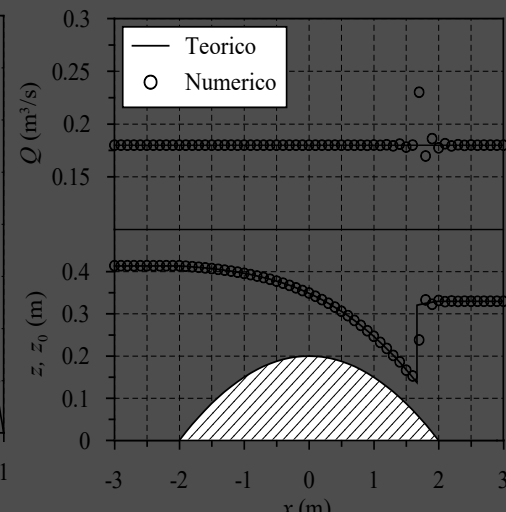
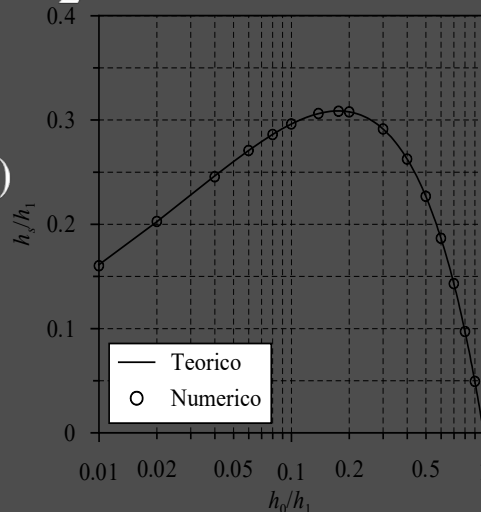
$$\left. \begin{aligned} \mathbf{U}_{i,j}^p &= \mathbf{U}_{i,j}^k - \tau_x \delta_x^- \mathbf{E}_{i,j}^k - \tau_y \delta_y^- \mathbf{F}_{i,j}^k + \Delta \mathbf{S}_{i,j}^k \\ \mathbf{U}_{i,j}^c &= \mathbf{U}_{i,j}^k - \tau_x \delta_x^+ \mathbf{E}_{i,j}^p - \tau_y \delta_y^+ \mathbf{F}_{i,j}^p + \Delta \mathbf{S}_{i,j}^p \end{aligned} \right\} \mathbf{U}_{i,j}^{k+1} = \frac{1}{2}(\mathbf{U}_{i,j}^p + \mathbf{U}_{i,j}^c) + \mathbf{D}_x \mathbf{U}^k + \mathbf{D}_y \mathbf{U}^k$$

$$\mathbf{D}_x \mathbf{U} = \varepsilon_{x_{i+1/2,j}} (\mathbf{U}_{i+1,j} - \mathbf{U}_{i,j}) - \varepsilon_{x_{i-1/2,j}} (\mathbf{U}_{i,j} - \mathbf{U}_{i-1,j})$$

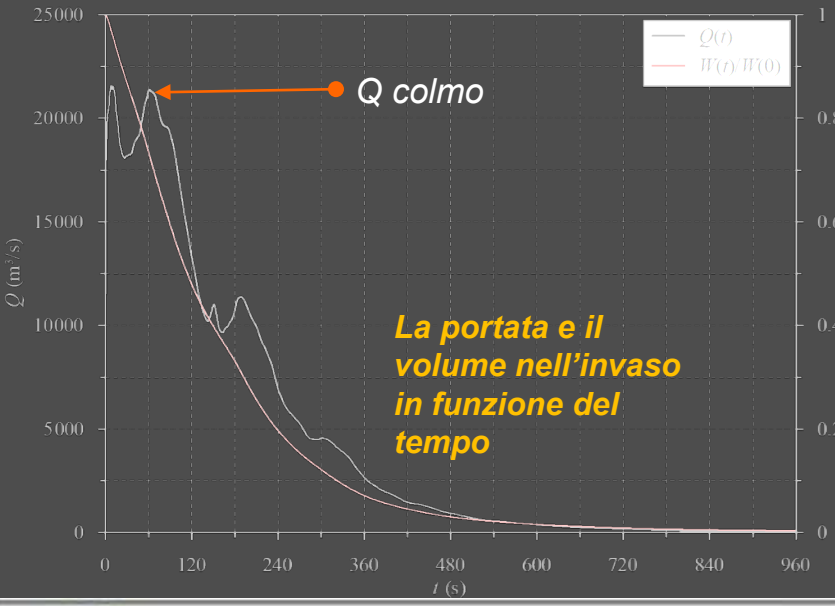
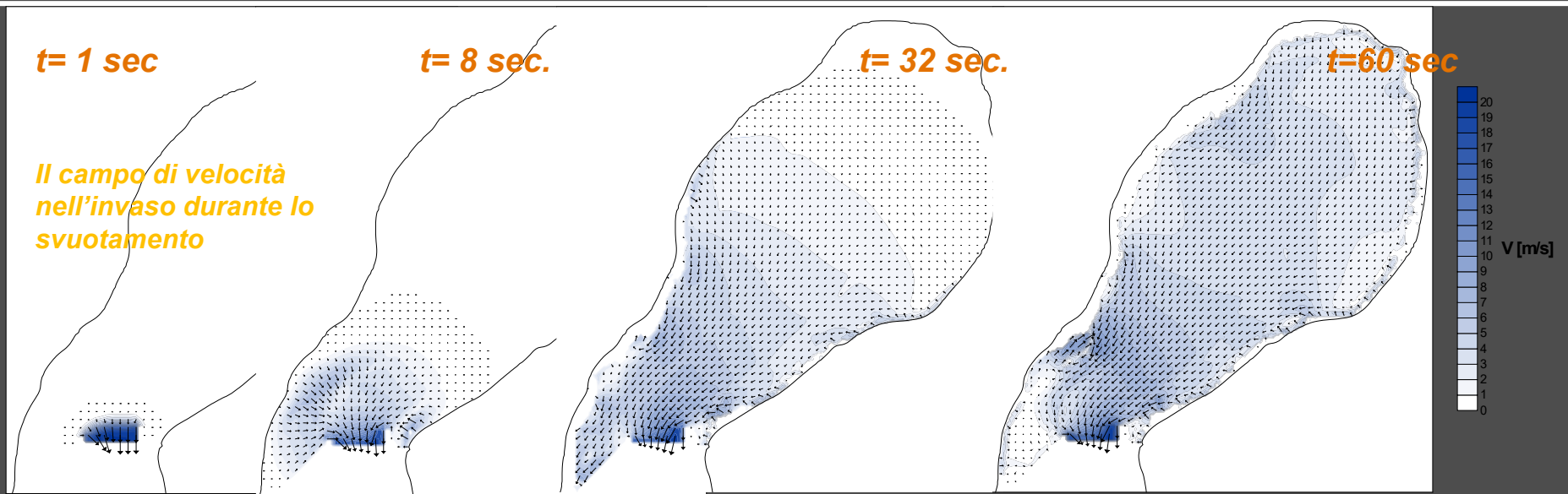
$$\varepsilon_{x_{i+1/2,j}} = \alpha \max(v_{x_{i,j}}, v_{x_{i+1,j}})$$

$$v_{x_{i,j}} = \frac{|\eta_{i+1,j} - 2\eta_{i,j} + \eta_{i-1,j}|}{|\eta_{i+1,j}| + |2\eta_{i,j}| + |\eta_{i-1,j}|}$$

Equazioni di bilancio della massa e della Quantità di moto + opportune leggi di resistenza



# Lo svuotamento dell'invaso: "Il lago si svuotò in 12-15 minuti..."

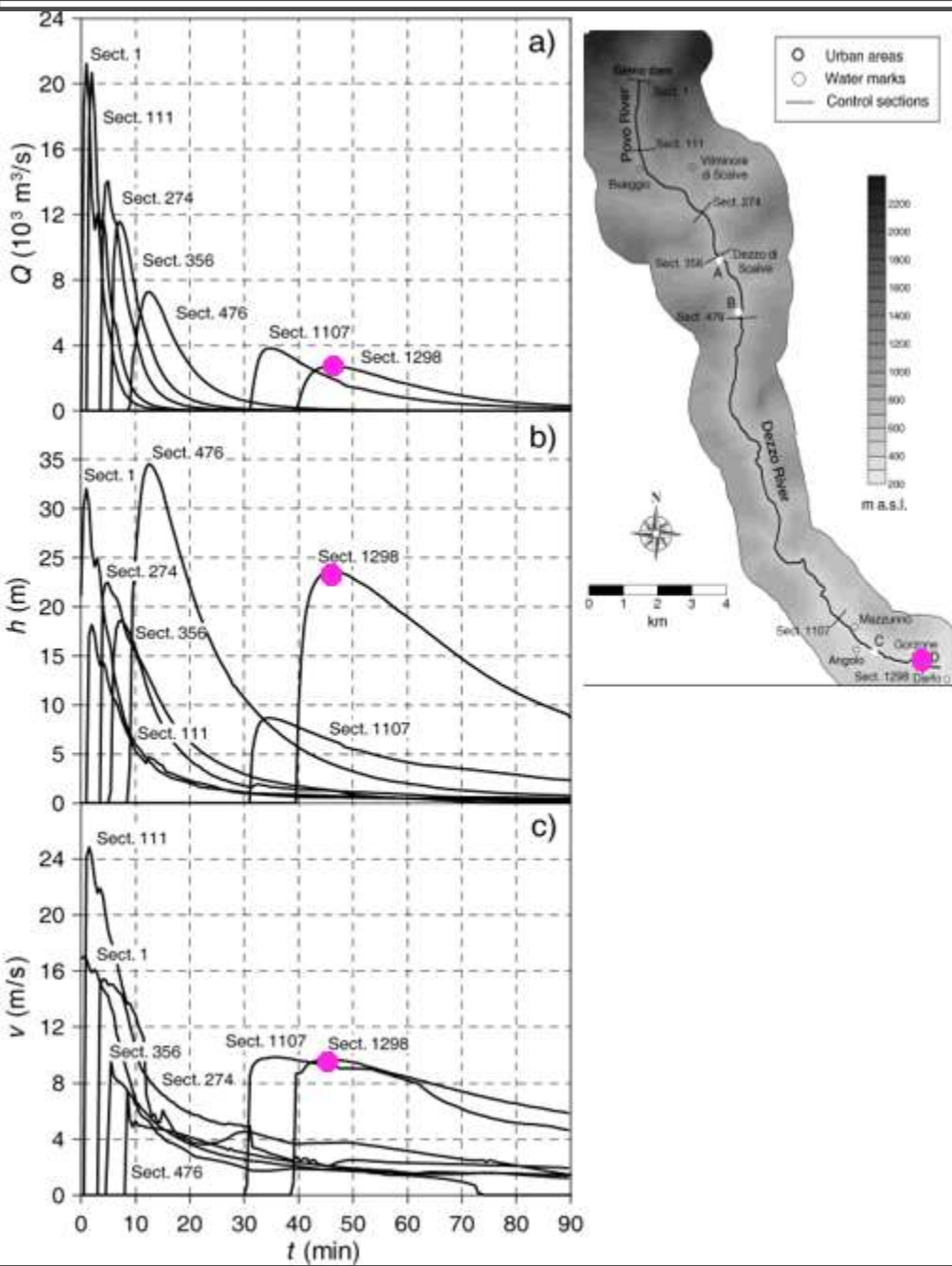




$Q_{100} : 13.000 \text{ m}^3/\text{s}$



# L'abitato di Corna e Darfo

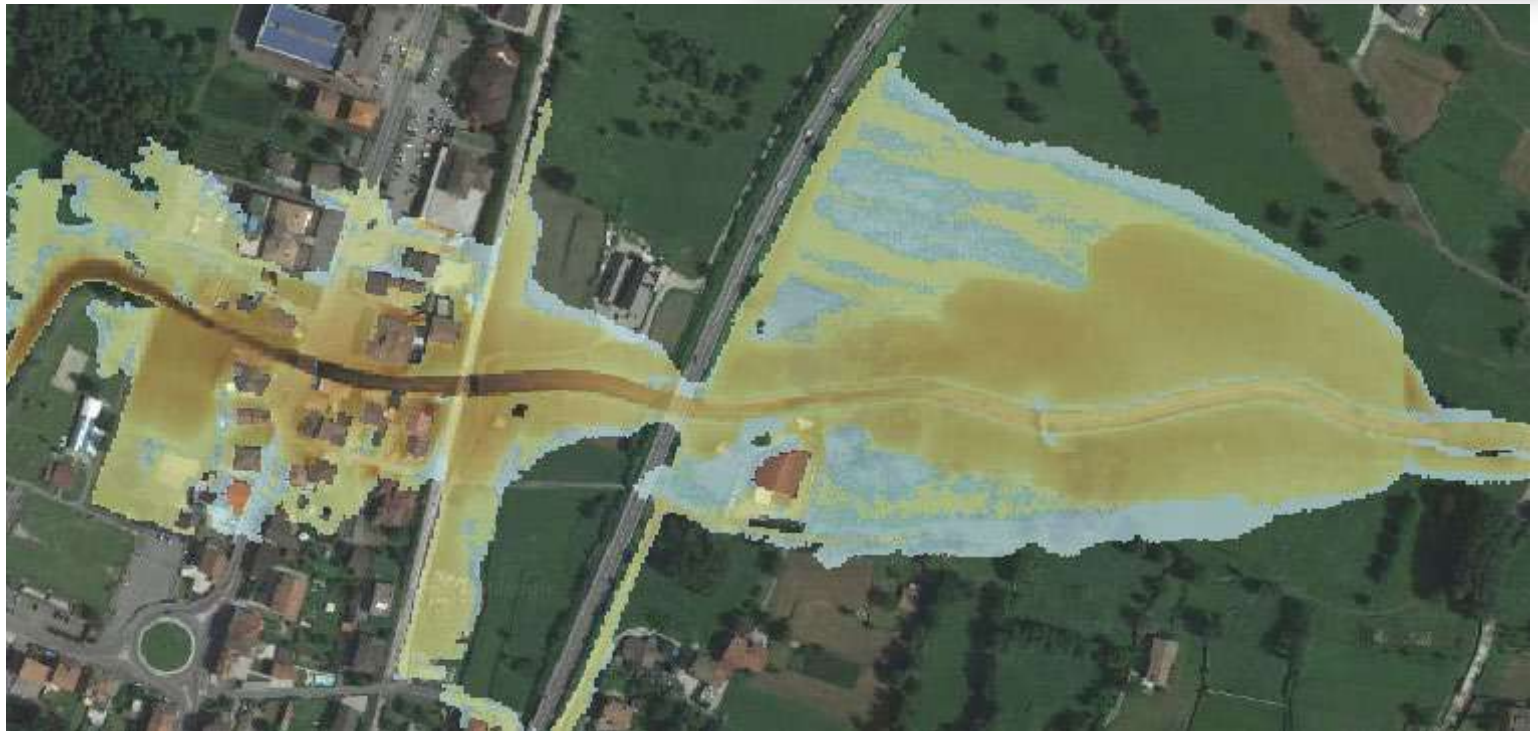




# La modellazione delle colate detritiche: Niardo

$$\text{O'Brien: } S_f = \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}} \left( \frac{\tau}{\gamma_m h} + \frac{K \mu u}{8 \gamma_m h^2} + \frac{n_t^2 u^2}{h^{4/3}} \right)$$

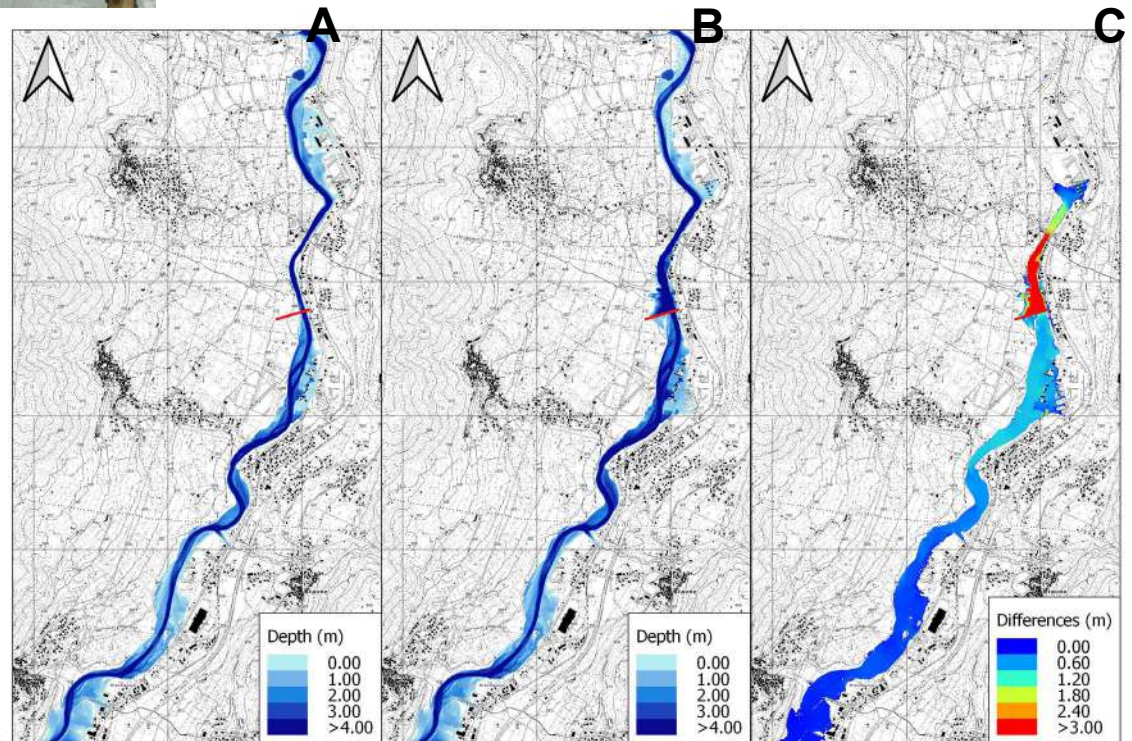
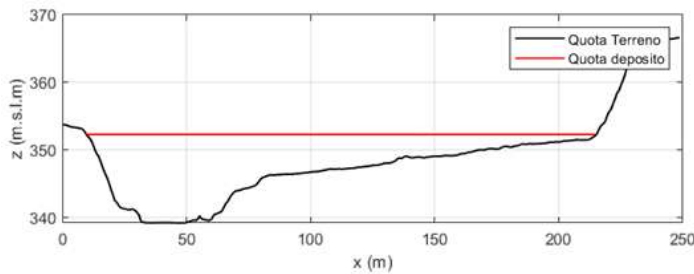
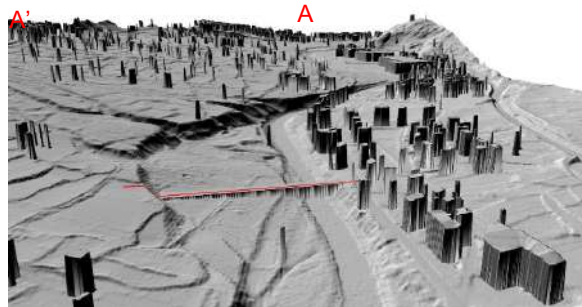
OVERLAND FLOW	WATER	BULKED W/SEDIMENT
FLOODPLAIN STORAGE	48848.28	90091.12
FLOODPLAIN OUTFLOW HYDROGRAPH	4090.81	6524.03
FLOODPLAIN OUTFLOW AND STORAGE	52939.09	96615.16
THE MAXIMUM INUNDATED AREA IS:	125372.44 SQ. METERS	



# T. Blè, Ono San Pietro: scenari di evento a seguito di colata detritica



Conseguenze di una possibile occlusione in alveo fino a filo spondale sinistro a seguito di colata detritica del T. Blè



- A. Scenario TR 200 anni (No Deposito)
- B. Scenario TR 20 anni (Deposito + dam breach deposito)
- C. Differenza Tiranti restituiti dal modello



# La perimetrazione della pericolosità in ValleCamonica

- **Attività commissionata da AdBPo ai sensi della European Floods Directive (2007/60/EC)**

Aggiornamento e revisione del Piano di Gestione del rischio di alluvione redatto ai sensi dell'art. 7 del D.lgs. 49/2010 attuativo della Dir. 2007/60/CE – Il ciclo di gestione

---

Area a potenziale rischio significativo di alluvione

APSFR Distrettuali

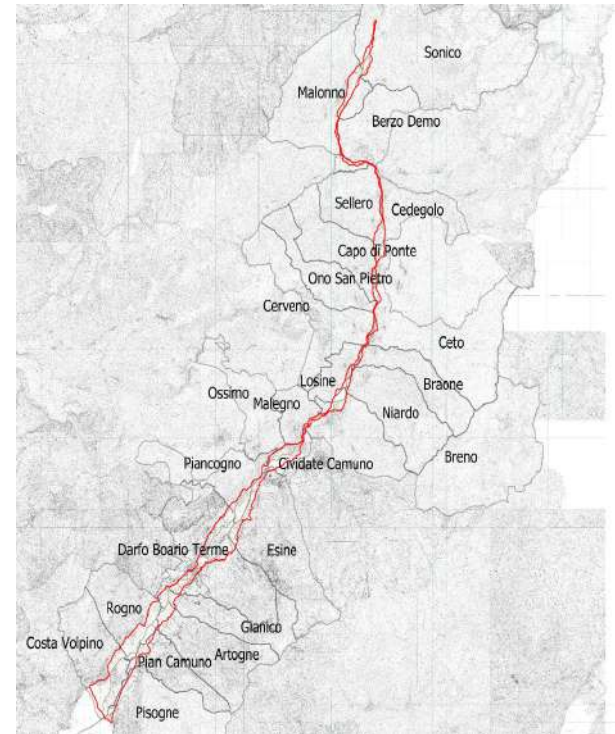
Schede monografiche

**“Valcamonica - Fiume Oglio da Sonico al lago di Iseo”**

Distretto del fiume Po

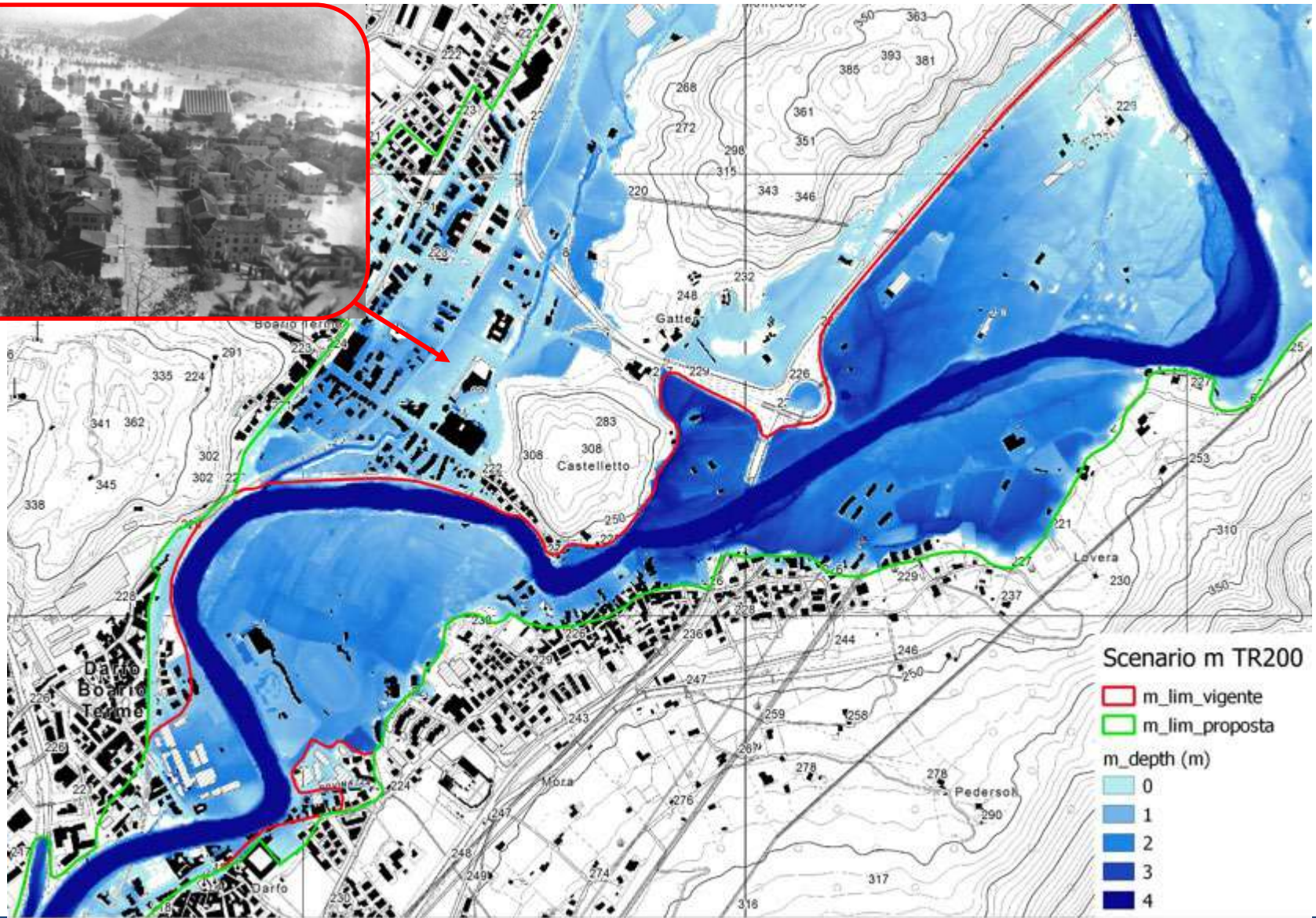


dicembre 2021



Fiume Oglio: ~55 km  
Sezione iniziale: Ponte di Dazza  
Sezione Finale: Lago di Iseo

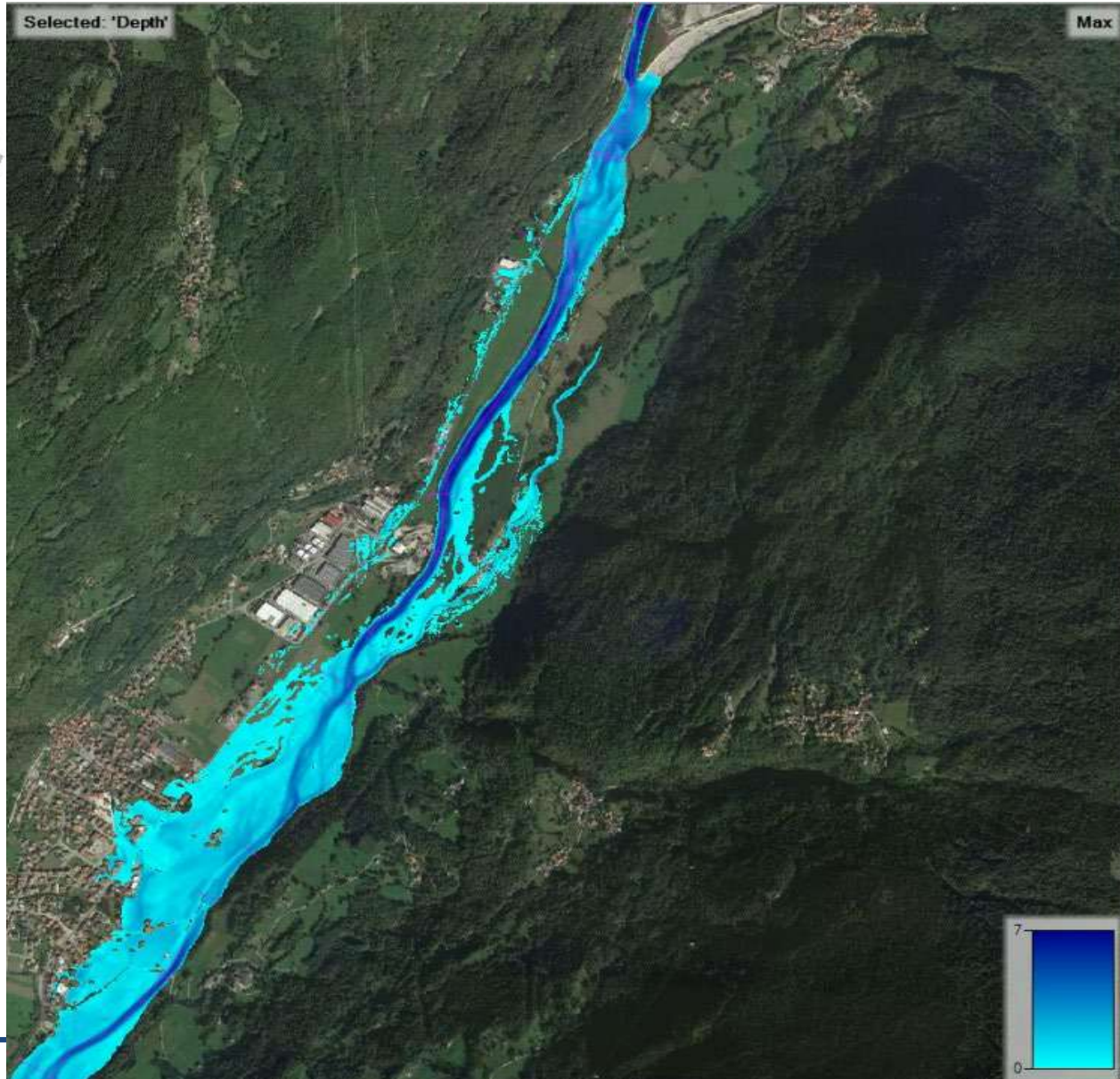
# Revisione del PGRA: Darfo Boario, T= 200 anni





# Revisione del PGRA: Malonno, in presenza di sovralluvionamento, $T= 200$ anni

a)



*Grazie per l'Attenzione*

Marco Pilotti, Cattedra di Ingegneria Idraulica, DICATAM

[marco.pilotti@unibs.it](mailto:marco.pilotti@unibs.it)



Acque Bresciane  
Servizio Idrico Integrato





*Grazie per l'Attenzione*

Marco Pilotti, Cattedra di Ingegneria Idraulica, DICATAM

[marco.pilotti@unibs.it](mailto:marco.pilotti@unibs.it)



Acque Bresciane  
Servizio Idrico Integrato





***Nomina sunt consequentia rerum...  
(catasto 1820 di Niadro)***

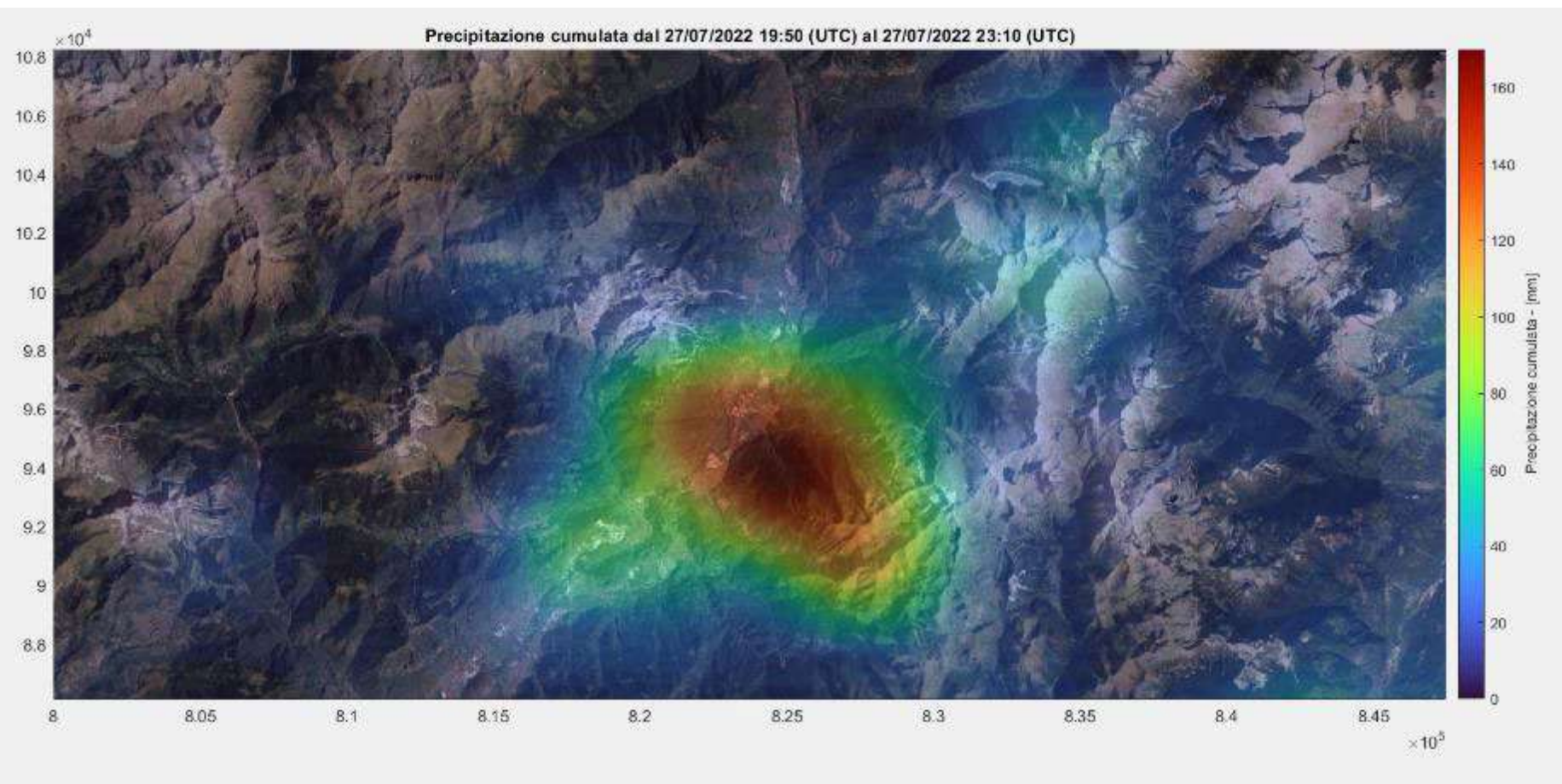


***Gèra in dialetto significa ghiaia  
grossolana...  
Toponimo ricorrente: dal latino  
"glarea" e dalla voce medievale  
"glera", indica un luogo sassoso.***

Da Enciclopedia Bresciana

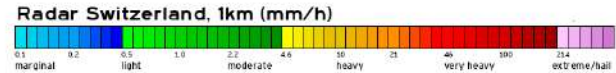
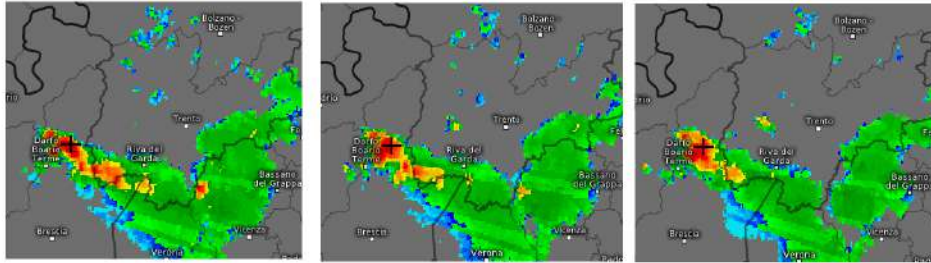
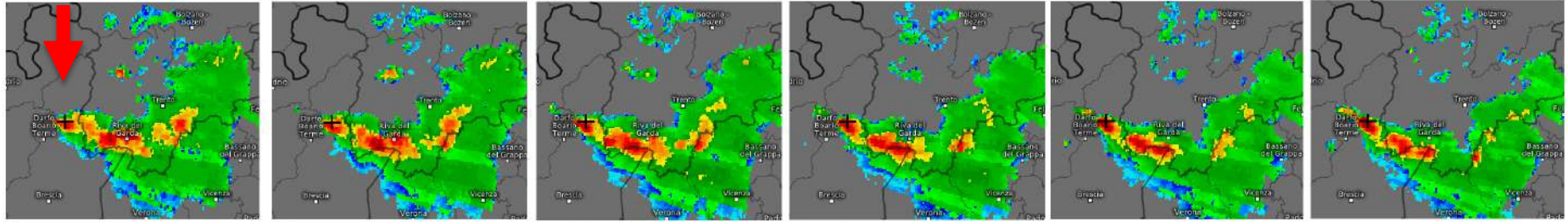


# L'evento meteorico

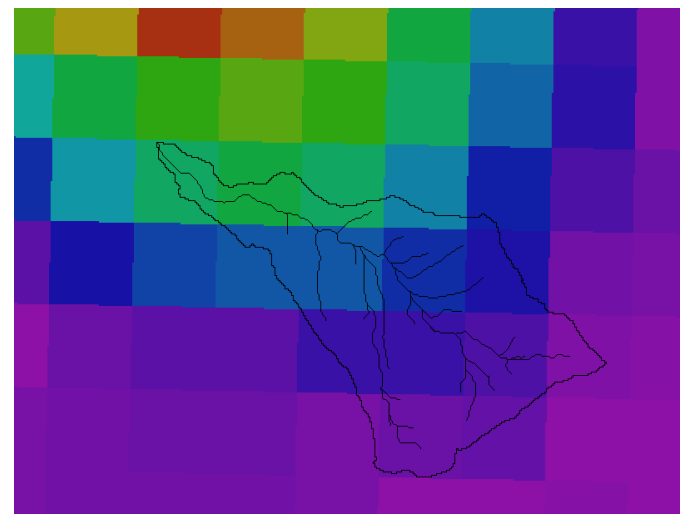
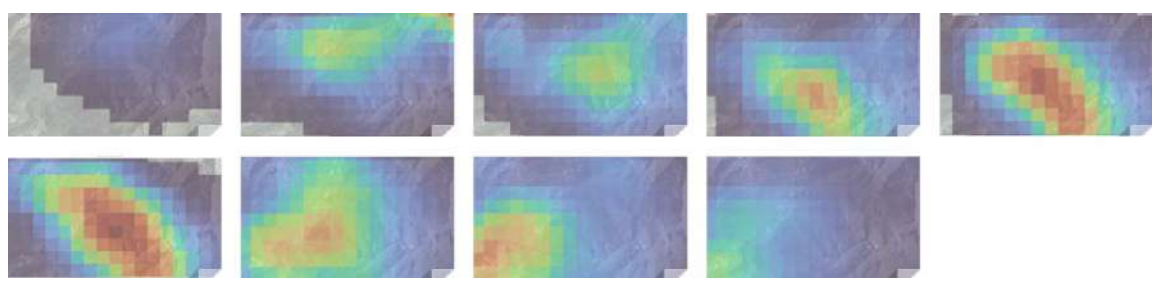


Confronto con LSPP orarie a  $T = 200$  e  $T = 500$  anni

# L'evento meteorico: le mappe radar e il carattere locale dell'evento



Dati gentilmente  
concessi da  
METEOSWISS





# L'evento a Niardo

SDPP - Modulo geomorfologico per la simulazione distribuita di processi idrologici e idraulici - marco.pilotti@unibs.it

In/Out Op. Globali Op. Locali Modelli idrologici

## Operazioni di ingresso-uscita in corso

```
[7] Scrittura file delle portate dai serbatoi per le celle: file *QQ1/Q02/Q03/Q04
[8] Chiamata al modello idrologico distribuito
[9] Lettura mappe di pioggia
[10] Lettura file parametro f0 distribuito: C:\work\area\work\local\calcol\Debris_flow\Niardo\idrologia\in\FE_Cobello_20m_Ho
[11] Lettura file parametro f_asintotico distribuito: C:\work\area\work\local\calcol\Debris_flow\Niardo\idrologia\in\FE_Cobello
[12] Valori di riferimento per le costanti dei serbatoi: sup.:0.004159770 profondo: 0.00004060
[13] Simulazione terminata
[14] Sezione: 2 Q_max(x): 215.332 mc/s; Q_max(x)/Q_max(outlet): 0.99900
[15] Sezione: 252 Q_max(x): 173.319 mc/s; Q_max(x)/Q_max(outlet): 0.90378
[16] Sezione: 39 Q_max(x): 38.887 mc/s; Q_max(x)/Q_max(outlet): 0.18025
[17] Sezione: 636 Q_max(x): 40.049 mc/s; Q_max(x)/Q_max(outlet): 0.19573
```

## Idrogramma alla sezione selezionata

```
Volume affluo [mc]: 1470606.48 Volume totale defluto [mc]: 708932.13 Coefficiente di afflusso [-]: 0.48
Volume residuo nei serbatoi di RUNOFF [mc]: 8958.44
Volume residuo nel suolo [mc]: 744976.88
Errore di massa e volume invasato nei canali [%]: 0.53
Precipitazione media areale e temporale sul bacino [mm/h]: 0.00
```

Scegli sezione con mouse  Colore linea del grafico:

Scegli sezione di identificatore n.

nome file (con estensione)

