

Ordine degli Ingegneri di Salerno
Incontri di studio & dibattito
su
Ingegneria e Rischio Idraulico

Perimetrazione delle aree a rischio di alluvione
nei corsi d'acqua caratterizzati dalla presenza di
interventi antropici

Domenico Pianese



Università degli Studi di Napoli Federico II
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e
Ambientale

Salerno, 7 maggio 2013

Percentuali delle aree classificate come inondabili in base agli studi effettuati dalle varie AdB operanti nel Distretto dell'Appennino Meridionale

<i>Autorità di Bacino</i>	<i>Sup. area a peric. idraulica [kmq]</i>	<i>Percentuale aree a peric. idraulica rispetto al bacino</i>
Liri-Garigliano e Volturno	522.6	4.6%
Trigno, Biferno e minori, Saccione e Fortore	218.0	4.6%
Puglia	827.0	4.2%
Calabria	503.6	3.3%
Basilicata	245.4	2.8%
Interregionale Sele	400.9	12.2%
Dx Sele	58.5	8.8%
Sx Sele	18.4	1.1%
Sarno	76.1	10.7%
Nord-Occidentale	427.8	30.9%



Introduzione ...

La perimetrazione delle aree a rischio di alluvione viene di norma effettuata in con un approccio interdisciplinare, che prevede:

- da un lato, una **approfondita conoscenza del territorio** da prendere in esame;
- dall'altro, **studi idrologici e idraulici** a diverso livello di descrizione della reltà fisica.

.... La conoscenza del territorio deve essere acquisita:

Per quanto riguarda gli aspetti idrologici, avvalendosi:

- Da un lato, di cartografie sufficientemente aggiornate, tipicamente in scala 1:25.000 (ma anche in scala più dettagliata o meno dettagliata, in relazione all'estensione areale dello specifico bacino idrografico da prendere a riferimento), possibilmente in formato 3D;
- Dall'altro, di cartografie sufficientemente aggiornate riportanti le caratteristiche di permeabilità dei terreni di copertura, e la presenza o meno di coperture boschive;
- Infine, di cartografie sufficientemente aggiornate riportanti gli usi del suolo

.... La conoscenza del territorio deve essere acquisita:

Per quanto riguarda gli aspetti idraulici, avvalendosi:

- Da un lato, di rilievi aerofotogrammetrici e plano-altimetrici non solo sufficientemente dettagliati e aggiornati, ma anche in grado di “dialogare” e di consentire una visione globale dei luoghi;
- Dall’altro, di una censimento sistematico delle opere presenti lungo il corso d’acqua ed in grado di interagire con le correnti in arrivo dal bacino, tanto da poterne modificare le condizioni di deflusso e, con esse, le portate e i volumi di piena (da conseguire sia interpellando gli Enti preposti alla realizzazione e/o gestione di tali opere, sia in base all’esame di ortofoto/rilievi satellitari, sia in base ai rilievi aerofotogrammetrici sia, infine, a sopralluoghi diretti

.... La conoscenza del territorio deve essere acquisita:

Per quanto riguarda gli aspetti insediativi, avvalendosi:

- Da un lato, di rilevamenti aerofotogrammetrici, ortofoto e immagini da satellite in grado di fornire una visione sufficientemente ampia, ancorché precisa, dello stato attuale dei luoghi;
- Dall'altro, degli strumenti urbanistici vigenti nei vari territori comunali e a livello provinciale, nonché delle perimetrazioni di aree di particolare pregio ambientale, archeologico, ecc.

Procedura per la valutazione del Rischio

La procedura per la perimetrazione delle aree a rischio da alluvione si articola sulla base della classica formulazione (DPCM 29.09.1998)

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

R = Rischio (in questo caso, da alluvione);

P = Pericolosità (probabilità che si verifichi l'evento alluvionale);

E = Valore dei beni esposti al danno

V = Vulnerabilità (probabilità che gli elementi esposti al rischio subiscano un determinato livello di danno = percentuale di E che viene effettivamente a perdersi)

Procedura "classica"

I valori di E e di V non sono costanti al variare di P , in quanto vengono a dipendere, a loro volta, dall'intensità del fenomeno (alluvionale) e dalla sua durata:

Ad esempio, all'aumentare del periodo di ritorno T preso a riferimento, la probabilità di esondazione

$$P = P[Q > Q^*] = \frac{1}{T}$$

tende a ridursi, ma, di norma, vengono ad aumentare (anche considerevolmente) sia l'esposizione E che la vulnerabilità V .

Procedura “classica”

Per l'individuazione della vulnerabilità, occorrerebbe produrre delle cosiddette “**CURVE DI VULNERABILITÀ**”

La **curva di vulnerabilità** è una relazione intercorrente tra la **tipologia** dell'elemento esposto al rischio, l'**intensità** dell'elemento pericoloso e il **livello di danno**

Procedura "classica"

Metodi per la valutazione delle curve di vulnerabilità

- ✓ **Curve di Vulnerabilità empiriche (osservata)**
- ✓ **Curve di Vulnerabilità basate sul giudizio esperto**
- ✓ **Curve di Vulnerabilità analitiche (calcolate)**
- ✓ **Curve di Vulnerabilità ibride (osservata e calcolata)**

Procedura “classica”

L’approccio usualmente adottato è quello di unificare il prodotto

$$V \times E$$

individuando diverse “Classi di danno”

Suddivisione in classi di danno...

- **moderato D1**: aree libere da insediamenti
- **medio D2**: aree extraurbane poco abitate, sede di edifici sparsi, d'infrastrutture secondarie, di attività produttive minori, destinate essenzialmente ad attività agricole o a verde pubblico;
- **elevato D3**: nuclei urbani, cioè insediamenti meno densamente popolati rispetto a D4, aree attraversate da linee di comunicazione e da servizi di rilevante interesse e aree sedi d'importanti attività produttive;
- **molto elevato D4**: nuclei urbani e centri urbani, ossia aree urbanizzate ed edificate con continuità, con una densità abitativa elevata.

Carta del danno....

ANTROPICO		CLASSE DI DANNO
Zona-A-	Centro storico	4
Zona-B-	Aree di completamento residenziale	4
Zona-C-	Aree di espansione residenziale	4
Zona-D-	Aree produttive	4
Zona-F-	Aree attrezzature pubbliche	4
Zona-T-	Aree attrezzature turistiche	4
Rc	Rispetto cimiteriale	3
Zona-E-	Zona agricola	1
	Spiaggia	1
	Edificio	4
	Capannoni	4
	Rudere	4
	Baracca	4
	Tettoia	4
	Piscina	4
	Campo sportivo	4
	Cabina Elettrica	4
	Depuratore	3
	Partitore	3
	Serbatoio	3
	Serre	3
	Strade Comunali	3
	Strade Provinciali	3
	Strade Statali	3
	linea ferroviaria	4

Tabella 5 – Classi di danno (rischio idraulico).

Suddivisione in fasce fluviali...

- Fascia A
- Fascia B
 - ✓ sottofascia B1
 - ✓ sottofascia B2
 - ✓ sottofascia B3
- Fascia C

Suddivisione in fasce fluviali

In quanto segue, si considera come “*piena standard*” quella relativa ad un periodo di ritorno di 100 anni $Q_{T=100}$ e si individuano tre fasce di pertinenza fluviale.

La Fascia A coincide con l'alveo di piena, e assicura il libero deflusso della piena standard.

Si escludono dall'alveo di piena (fascia A) le aree in cui i tiranti idrici siano modesti, in particolare inferiori ad 1 m, garantendo nel contempo il trasporto di almeno l'80%

Procedura "classica"

La Fascia B comprende le aree inondabili dalla piena standard, eventualmente contenenti al loro interno sottofasce inondabili con periodo di ritorno $T < 100$ anni.

In particolare possono essere considerate tre sottofasce:

- ✓ **la sottofascia B1**
- ✓ **la sottofascia B2**
- ✓ **la sottofascia B3**

Procedura "classica"

La sottofascia B1 è quella compresa tra l'alveo di piena e la linea più esterna tra la congiungente i punti in cui il livello d'acqua è pari a 30 cm per piene con periodo di ritorno $T=30$ anni e la congiungente i punti in cui il livello d'acqua è pari a 90 cm per piene con periodo di ritorno $T=100$ anni;

la sottofascia B2 è quella compresa fra il limite della Fascia B1 e la congiungente i punti in cui il livello d'acqua è pari a 30 cm per piene con periodo di ritorno $T=100$ anni;

la sottofascia B3 è quella compresa fra il limite della Fascia B2 e la congiungente i punti in cui il livello d'acqua è pari a 0 cm (limite delle aree inondabili) per piene con periodo di ritorno $T=100$ anni;

Procedura “classica”

La Fascia C è quella compresa tra il limite della sottofascia B3 e il limite delle aree inondabili in riferimento a portate relative a periodo di ritorno di 300 anni oppure alla massima piena storica registrata.

Individuazione delle aree a rischio

Una volta fissate le condizioni di rischio accettabile, dalla sovrapposizione dei vari livelli di pericolosità (fasce A, B1, B2, B3) e delle classi di danno (D1, D2, D3, D4) si possono definire i quattro livelli di Rischio R1, R2, R3 ed R4 come riportato nella tabella che segue:

Fasce fluviali Classe di danno	A	B1	B2	B3
D4	R4	R3	R2	R1
D3	R3	R2	R1	Rischio accettabile
D2	R2	R1	Rischio accettabile	Rischio accettabile
D1	R1	Rischio accettabile	Rischio accettabile	Rischio accettabile

Tabella 6 – Matrice del rischio idraulico.

Procedure utilizzabili per l'individuazione delle fasce inondabili

Osservazione generale

Le procedure utilizzabili per l'individuazione delle fasce inondabili relative a tratti d'alveo ubicati a valle di preassegnate sezioni di interesse dipendono fortemente dalle capacità di convogliamento dei vari tratti d'alveo ubicati a monte, e dall'eventuale presenza di interventi antropici in grado di provocare ostacoli al deflusso.

Procedure utilizzabili per l'individuazione delle fasce inondabili

Due distinte procedure

Procedura “tradizionale” (valida per alvei in cui la dinamica evolutiva ha potuto dispiegare pienamente i propri effetti e, parallelamente, il carico antropico risulta molto modesto),

Procedura “avanzata” (utilizzabile in qualsiasi circostanza), in cui la modellazione idrologica e quella idraulica si fondono, andando a costituire, di fatto, un unicum.

Procedura tradizionale

Applicabile nei casi in cui:

a.il bacino a monte della sezione di interesse risultasse poco antropizzato o, se antropizzato, risultasse comunque caratterizzato dalla presenza di reti di drenaggio in grado di convogliare, senza grandi effetti di laminazione, le portate di origine meteorica;

b.tutti i tratti d'alveo ubicati a monte della sezione fossero caratterizzati dal presentare una capacità di convogliamento almeno pari alle portate di origine meteorica che si producono nei vari sottobacini;

... Procedura tradizionale

c. Tutti i tronchi d'alveo ubicati a monte della sezione di interesse non fossero interessati dalla presenza di opere in grado di interferire in maniera significativa con le portate defluenti in alveo (quali: ponti e/o passerelle a sezione sufficientemente ristretta; restringimenti d'alveo; traverse fluviali, briglie di altezza troppo elevata, ecc.);

d. a monte della sezione di interesse non fossero presenti opere in grado di ridurre le portate in arrivo dal bacino (ad esempio: invasi artificiali, scolmatori di piena, aree di naturale spagliamento delle piene);

... Procedura tradizionale

La **procedura “tradizionale”** si basa su due diverse fasi:

Fase 1: Valutazione, su base puramente idrologica, delle portate e/o dei volumi massimi che possono pervenire, dal bacino a monte, per assegnati periodi di ritorno T (“analisi dei carichi”);

Fase 2: Valutazione, su base puramente idraulica, dei massimi tiranti idrici, delle massime velocità di deflusso e delle massime spinte unitarie che si possono realizzare in alveo e, eventualmente, sulle aree latitanti, in conseguenza dell’arrivo, dal bacino a monte e dai bacini laterali, delle portate corrispondenti ai prefissati valori del periodo di ritorno T (“analisi del comportamento del sistema”);

Procedura avanzata

Applicabile nei casi in cui:

a.il bacino a monte della sezione di interesse risultasse fosse, in tutto o in parte, fortemente antropizzato, con opere in grado di ridurre le portate e/o i volumi di piena in arrivo o di provocare notevoli ostacoli al deflusso, con conseguenti fenomeni di esondazione;

b.i tratti d'alveo ubicati a monte della sezione di interesse sono caratterizzati dal presentare una capacità di convogliamento minore delle portate in arrivo dal bacino, per cui si realizzano fenomeni di esondazione, con conseguenti effetti di laminazione “natural”;

Procedure utilizzabili per l'individuazione delle fasce inondabili

La **procedura “avanzata”** rende quasi indistinguibili le due fasi:

Fase 0: individuazione, per ognuno dei tratti d'alveo oggetto di simulazione, sia dei relativi sottobacini ubicati a monte (solo nel caso dei “tratti sorgente”), sia dei sottobacini che contribuiscono, in modo più o meno uniforme, a incrementare le portate defluenti nel tratto di interesse

Fase 1: valutazione, su base puramente idrologica, delle portate e/o dei volumi massimi che possono pervenire, dal bacino a monte e dai bacini laterali, per assegnati periodi di ritorno T e per assegnate durate d di pioggia (“analisi dei carichi”);

Procedure utilizzabili per l'individuazione delle fasce inondabili

Fase 2: Valutazione, su base puramente idraulica, avvalendosi di modelli uni- o bi-dimensionali di moto vario applicati a livello di intera rete di drenaggio, dei massimi tiranti idrici, delle massime velocità di deflusso e delle massime spinte unitarie che si possono realizzare in alveo e, eventualmente, sulle aree latistanti, in conseguenza dell'arrivo, dal bacino a monte e dai bacini laterali, delle portate corrispondenti ai prefissati valori del periodo di ritorno T e alla prefissata durata d (“analisi del comportamento del sistema”);

Approccio tradizionale per l'individuazione delle fasce inondabili

Fase 1 - Analisi Idrologica

a.L'analisi idrologica viene condotta con riferimento a modelli di trasformazione afflussi-deflussi di tipo:

- a scala di bacino;
- di evento;
- concettuali;
- a parametri concentrati;
- caratterizzati da pochi parametri di chiaro significato fisico

Analisi Idrologica tradizionale (VAPI)

La portata al colmo di piena corrispondente a preassegnati valori del periodo di ritorno T può essere stimata in base all'espressione

$$Q_T = \mu_Q \cdot K_T$$

nella quale :

 μ_Q

è la media dei massimi annuali della portata istantanea Q

 K_T

è il coefficiente di crescita col periodo di ritorno T

Analisi Idrologica tradizionale (VAPI)

Il coefficiente di crescita col periodo di ritorno K_T può essere individuato con l'ausilio di uno specifico modello probabilistico.

Nel caso specifico, la procedura VAPI fa riferimento al modello TCEV (Two-Components extreme value), in base al quale

$$T = \frac{1}{1 - \exp\left[-\Lambda_1 e^{-\eta K_T} - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\Theta_*} e^{-\eta K_T / \Theta_*}\right]}$$

dove i parametri Λ_* , Θ_* , Λ_1 e η possono essere stimati sulla base di un'analisi regionale condotta con riferimento a regioni idrologicamente omogenee di ampiezza molto elevata (tutta l'Italia)

Analisi Idrologica tradizionale (VAPI)

A sua volta, il valore di μ_Q può essere individuato:

1. Nel caso in cui fossero disponibili almeno 5-6 anni di osservazioni, in base alla **media aritmetica** dei valori dei massimi annuali delle portate istantanee registrati nello stesso intervallo di tempo;

2. Nel caso in cui o non fossero assolutamente disponibili osservazioni (caso estremamente frequente) o ci fossero meno di 5-6 anni di osservazioni, con analisi indirette, vale a dire:

2.a con l'ausilio di **modelli di trasformazione afflussi-deflussi** unitamente ad un “approccio variazionale”

2.b con l'ausilio di **formule di regressione**

Stima del valore di μ_Q

Di norma, il valore di μ_Q può essere individuato come:

$$\mu_Q = (C_f \cdot \mu_{i_{d_{cr}}, A} \cdot A) \cdot \delta_{d_{cr}}$$

C_f è il coefficiente di afflusso, dipendente dalla permeabilità dei terreni, dalla copertura e dalla copertura boschiva;

$\mu_{i_{d_{cr}}, A}$ è la media, mediata sull'area A del bacino, dei massimi annuali di intensità media di pioggia in una durata pari a d_{cr} ;

A è l'area del bacino sotteso dalla sezione di interesse

$\delta_{d_{cr}}$ è il coefficiente di attenuazione (<1)

Stima del valore di μ_Q

Posto

$$p_d = C_f \cdot \mu_{i_d, A} \cdot A$$

per ogni durata d di pioggia, si valuta l'idrogramma di piena corrispondente in base alle espressioni:

$$[Q(t)]_d = p_d \times S(t)$$

se

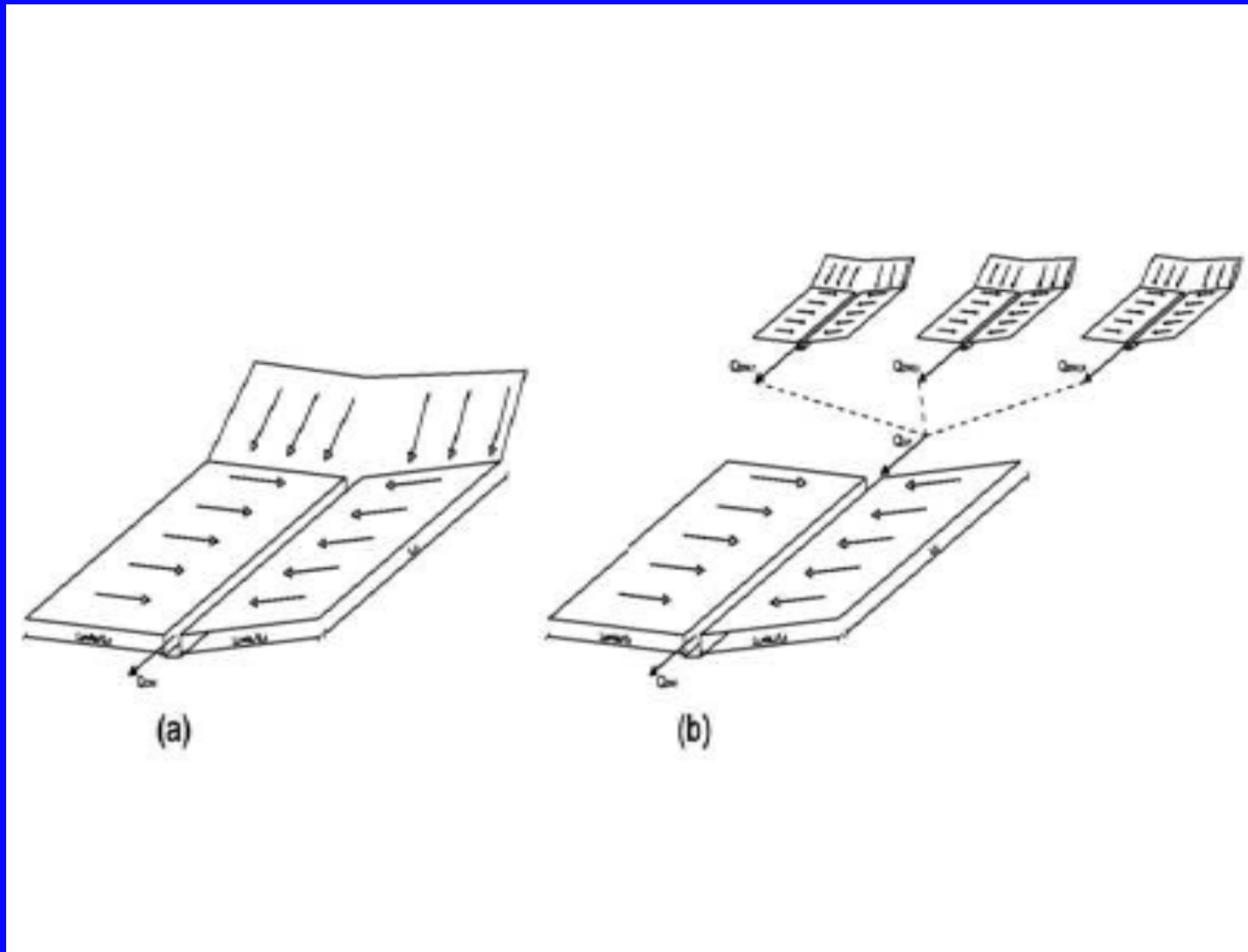
$$t \leq d$$

$$[Q(t)]_d = p_d \times [S(t) - S(t - d)]$$

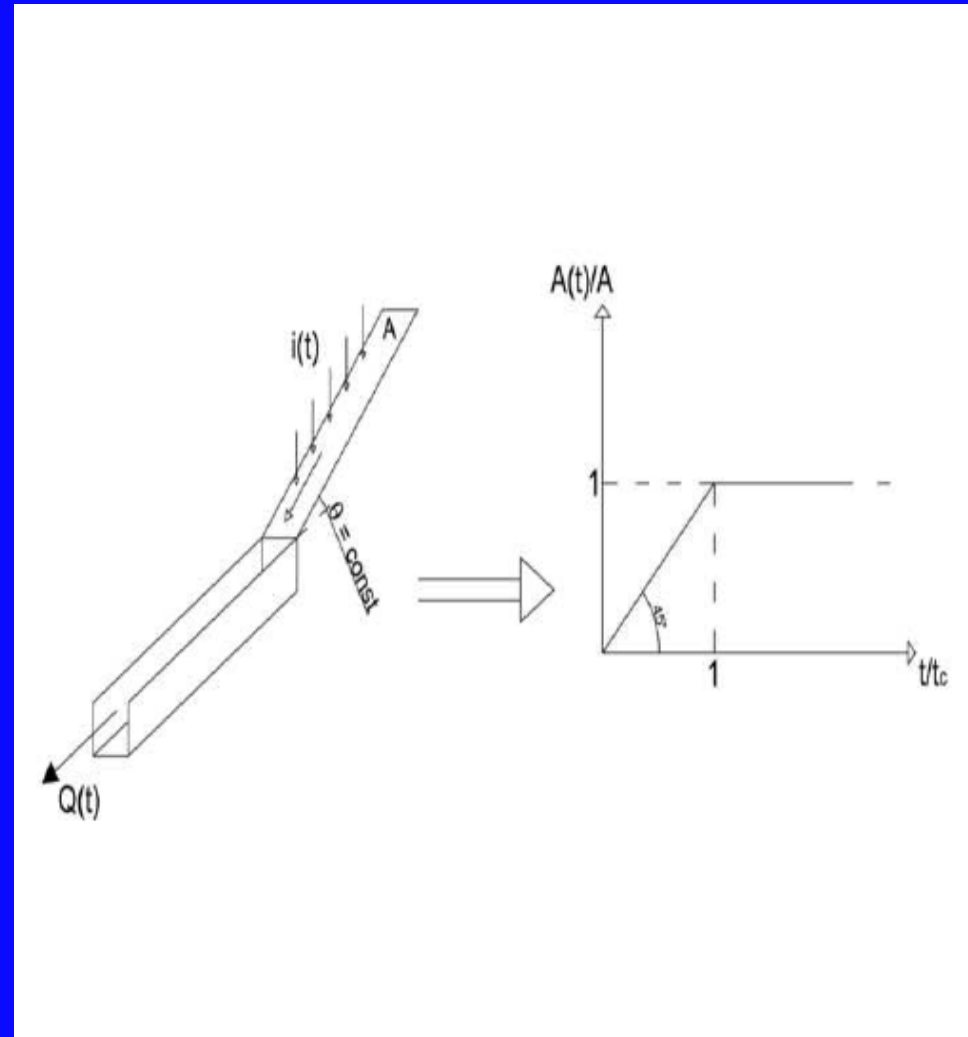
se

$$t > d$$

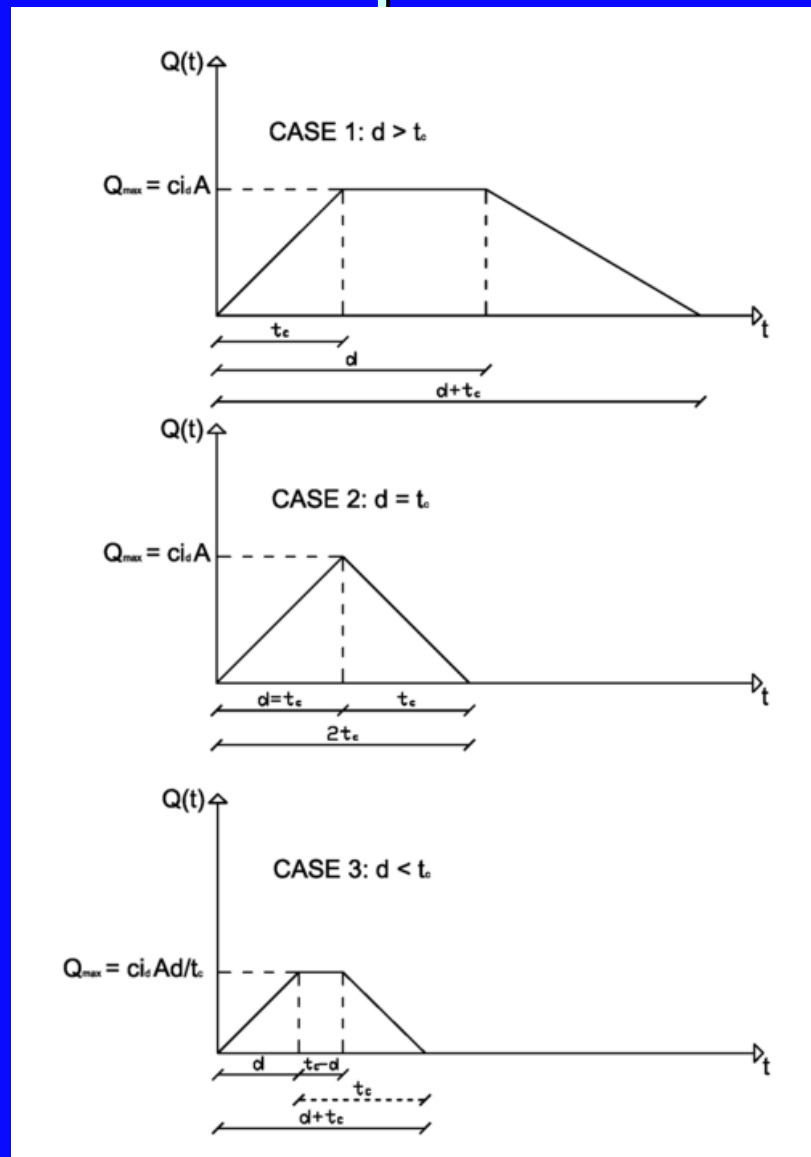
Ruscellamento superficiale



Ruscellamento superficiale



Ruscellamento superficiale



se

Stima del valore di μ_Q

Dopodiché, per la fissata durata d di tentativo, si ricerca (di norma per via numerica) il massimo della grandezza $[Q(t)]_d$ al variare del tempo t , individuando

$$[Q_{\max}]_d = \max_t [Q(t)]_d$$

La durata critica d_{cr} di pioggia viene quindi determinata come quella in corrispondenza della quale risulti massima $[Q_{\max}]_d$.

A sua volta, potrà porsi:

$$\mu_Q \equiv [Q_{\max}] = \max_d \{ [Q_{\max}]_d \}$$

Stima del valore di $\mu_{i_d, A}$

In generale, può porsi

$$\mu_{i_d, A} = \mu_{i_d} \cdot K_{d, A}$$

in cui

$$K_{d, A} = 1 - [1 - \exp(-0.0021 \cdot A)] \cdot \exp(-0.53 \cdot d^{0.25})$$

è il **coefficiente di riduzione areale delle piogge**, che tiene conto della circostanza per cui, statisticamente, il massimo dell'intensità media di pioggia che si può realizzare su una data superficie e in un determinato intervallo di tempo va riducendosi all'aumentare della superficie del bacino e della durata di pioggia,

Stima del valore di $\mu_{i_d, A}$

c.A sua volta, l'espressione “regionale” delle curve di probabilità pluviometriche caratteristiche del bacino in esame è data da una relazione del tipo

$$\mu_{i_d} = \frac{I_o}{\left(1 + \frac{d}{d_c}\right)^{C+Dz}}$$

Stima del valore di μ_Q

Dunque, per la valutazione di μ_Q occorrono vari step:

- a. Individuazione della “linea spartiacque” e, con essa, del bacino idrografico sotteso dalla sezione di interesse;
- b. Valutazione della superficie A del bacino, e di tutte le altre caratteristiche geomorfometriche di interesse (curva ipsografica, quota media sul livello del mare, pendenza media alla Taylor-Swartz, ecc.);

Stima del valore di μ_Q

c. Individuazione dell'espressione “regionale” delle curve di probabilità pluviometriche caratteristiche del bacino in esame

$$\mu_{i_d} = \frac{I_o}{\left(1 + \frac{d}{d_c}\right)^{C+Dz}}$$

d. Valutazione, in base ad espressioni preventivamente calibrate sulla base dei dati delle stazioni idrometriche e idrometrografiche disponibili, nonché della carta delle permeabilità dei terreni di copertura e della carta delle coperture boschive, dei parametri del modello di trasformazione afflussi-deflussi.

Stima del valore di μ_Q

e. Coefficiente di afflusso

$$C_f = C_{f_1} \cdot \frac{A_1}{A} + C_{f_2} \cdot \frac{A_2}{A}$$

in cui:

C_f = *coefficiente di afflusso*

A = *Superficie del bacino (in Km²);*

= 0.42

= 0.56

= 0.00

A_1 = *superficie carbonatica del bacino non coperta da bosco;*

A_2 = *superficie non carbonatica del bacino;*

A_3 = *superficie carbonatica del bacino con copertura boschiva*

Stima del valore di μ_Q

f. Tempo di ritardo

$$t_r = \frac{C_{f_1}}{C_f} \cdot \frac{A_1}{A} \cdot \frac{1.25}{3.6 \cdot c_1} \cdot \sqrt{A_1} + \frac{C_{f_2}}{C_f} \cdot \frac{A_2}{A} \cdot \frac{1.25}{3.6 \cdot c_2} \cdot \sqrt{A_2}$$

$$c_1 = 0.23 \text{ m/s}$$

$$c_2 = 1.87 \text{ m/s}$$

Stima del valore di μ_Q

Dopodiché, per la fissata durata d di tentativo, si ricerca (di norma per via numerica) il massimo della grandezza $[Q(t)]_d$ al variare del tempo t , individuando

$$[Q_{\max}]_d = \max_t [Q(t)]_d$$

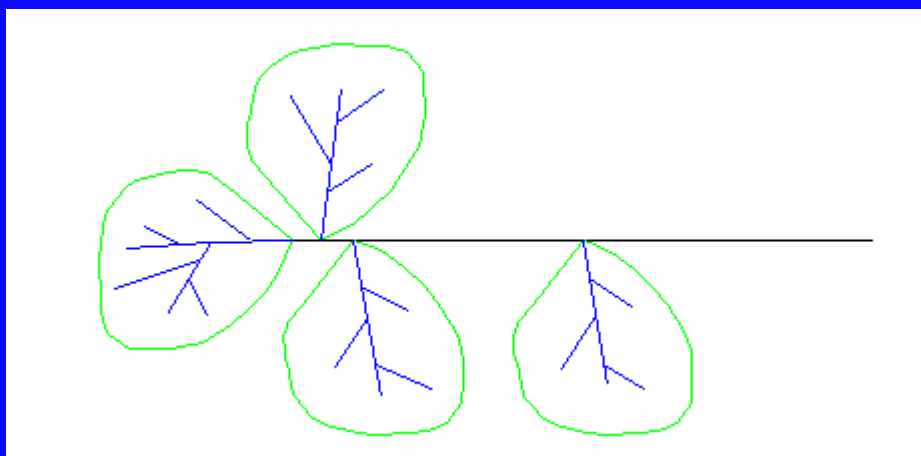
La durata critica d_{cr} di pioggia viene quindi determinata come quella in corrispondenza della quale risulti massima $[Q_{\max}]_d$.

A sua volta, potrà porsi:

$$\mu_Q \equiv [Q_{\max}] = \max_d \{ [Q_{\max}]_d \}$$

Approccio avanzato

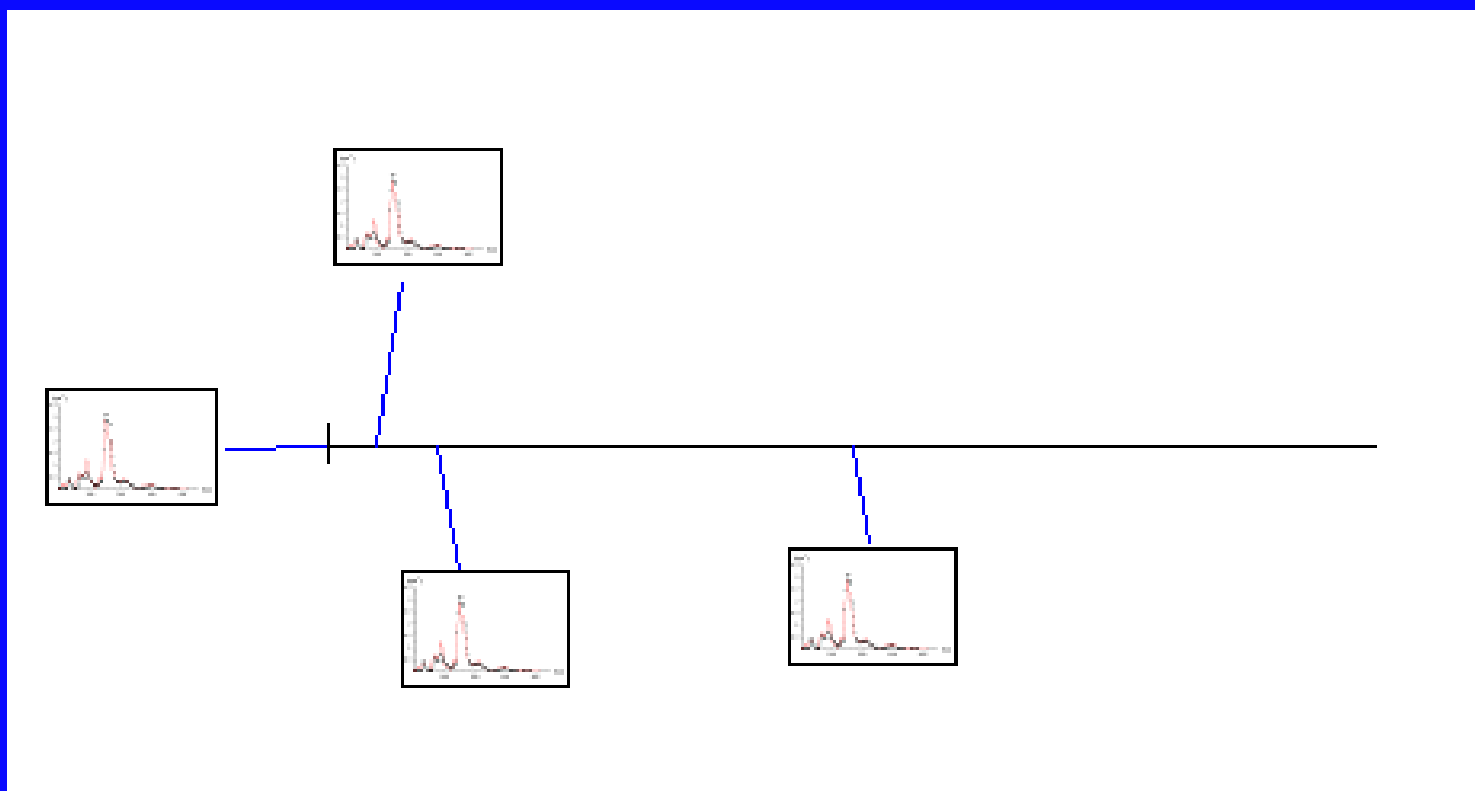
Si fa riferimento a modelli idrologici semi-distribuiti



fissato un valore del periodo di ritorno T , per ciascuna durata di pioggia d si valutano, con approccio analogo a quello già illustrato con riferimento all'approccio tradizionale, gli idrogrammi di piena corrispondenti in arrivo alle sezioni ubicate immediatamente a monte dei tratti che si intendono modellare con il modello idraulico.

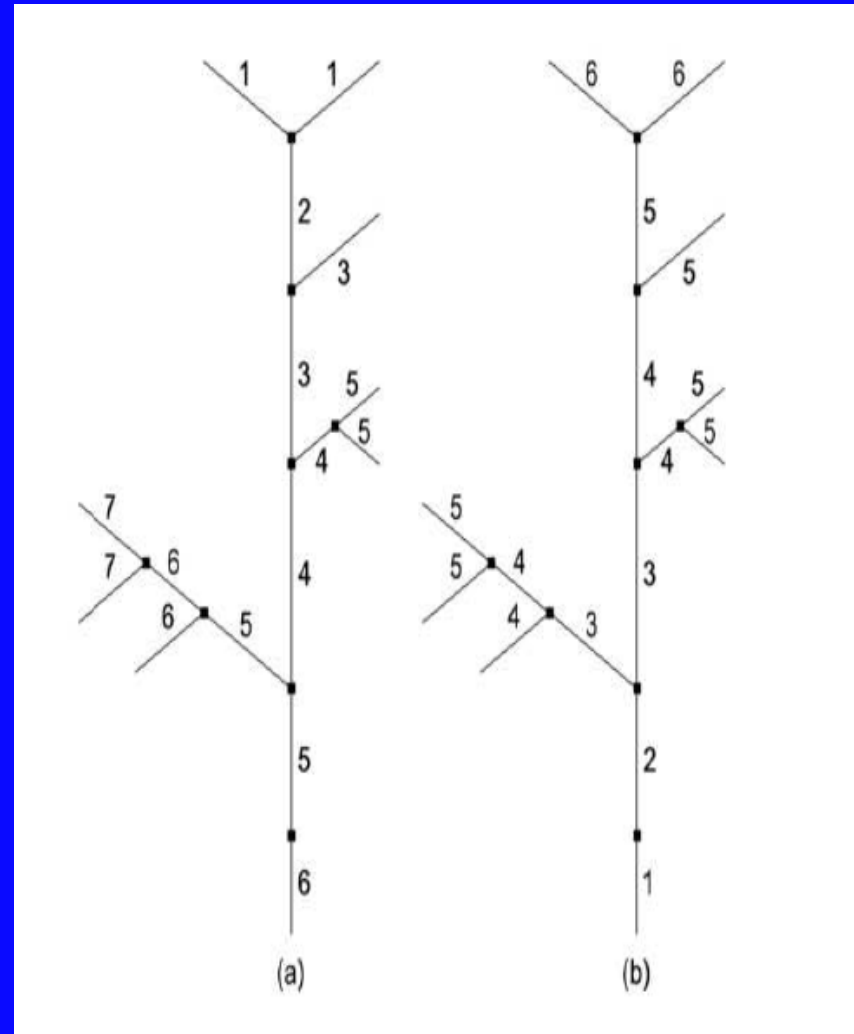
Approccio avanzato

Dopodiché, tali idrogrammi vengono inseriti, come **condizioni al contorno**, in corrispondenza delle sezioni di interesse (quelle poste all'inizio del tratto che si intende simulare)



Approccio avanzato

Ordinamento per calcolo automatico



Approccio avanzato

Dopodiché, avvalendosi di un adeguato codice di calcolo, si effettuano analisi di moto vario con riferimento all'intero reticolo oggetto di simulazione (di norma: asta principale e affluenti principali), valutando, per la fissata durata di pioggia, in ognuna delle sezioni di interesse (per la perimetrazione: tutte quelle rilevate), determinando

a) I massimi tiranti idrici che si realizzano nelle sezioni di interesse (al variare del tempo t);

b) Le massime larghezze in superficie occupate dalla corrente, sia a sinistra che a destra dell'asse del corso d'acqua

$$\left[B_{Sx_{\max}}^s \right]_{d,T} = \max_t \left\{ \left[B_{Sx}^s(t) \right]_{d,T} \right\}$$

$$\left[B_{Dx_{\max}}^s \right]_{d,T} = \max_t \left\{ \left[B_{Dx}^s(t) \right]_{d,T} \right\}$$

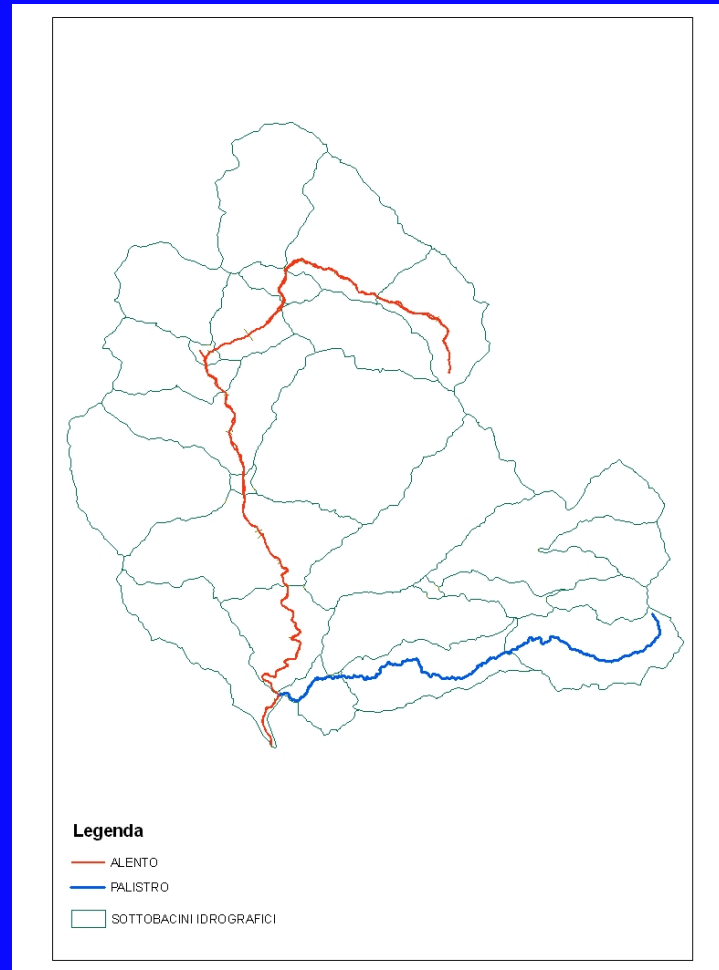
Approccio avanzato

a) Le massime larghezze in superficie libera raggiungibili dalla corrente per l'assegnato periodo di ritorno T

$$\left[B_{Sx_{\max}}^s \right]_T = \max_d \left\{ \left[B_{Sx_{\max}}^s \right]_{d,T} \right\}$$

$$\left[B_{Dx_{\max}}^s \right]_T = \max_d \left\{ \left[B_{Dx_{\max}}^s \right]_{d,T} \right\}$$

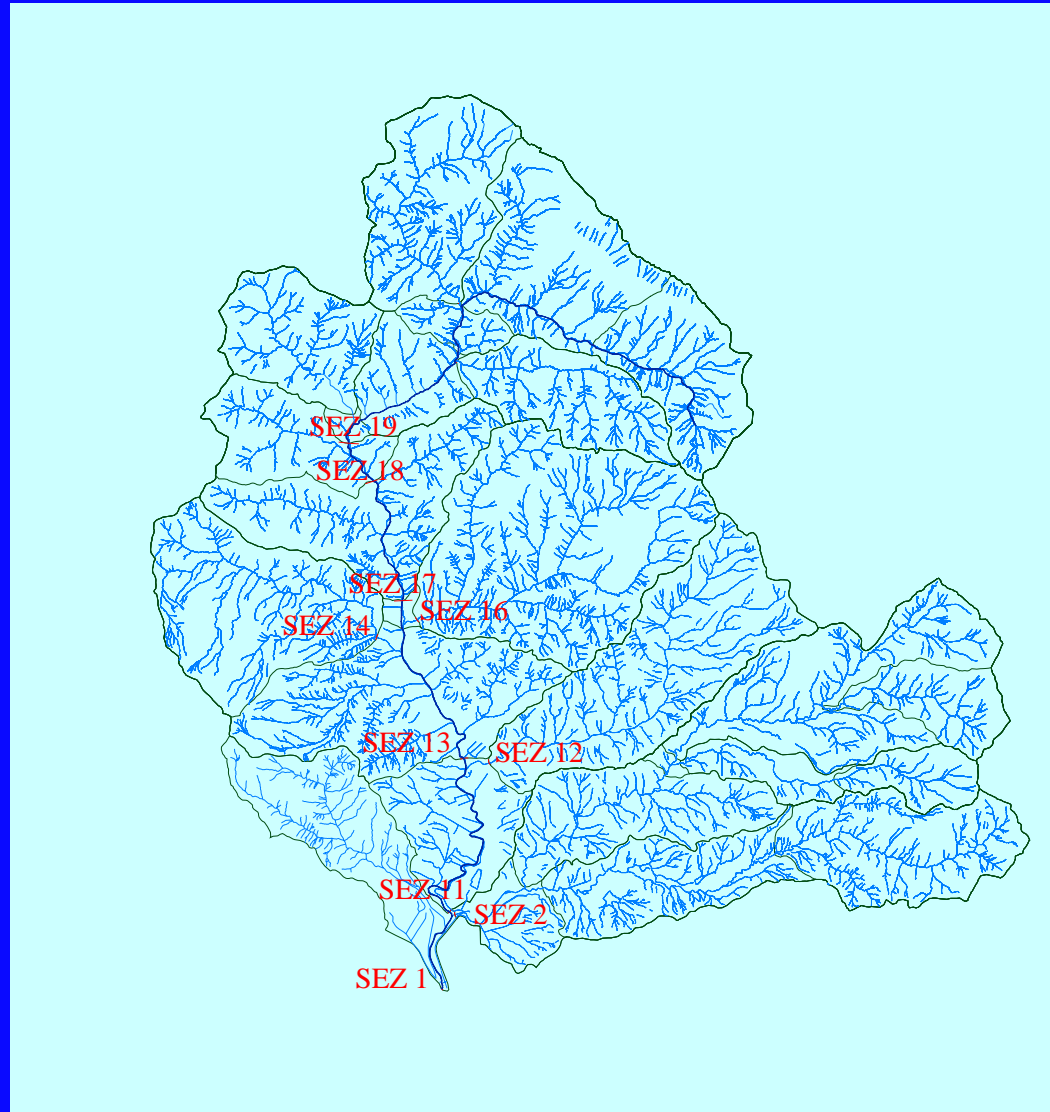
Esempio di applicazione al sistema Alento-Palistro



*Sottobacini del Fiume Alento e del Torrente Palistro*⁵⁰

Salerno, 7 maggio 2013

Esempio di applicazione al sistema Alento-Palistro



Reticolo idrografico relativo al “Sistema Alento-Palistro”

51

Salerno, 7 maggio 2013

Esempio di applicazione al sistema Alento-Palistro

Tabella 1: Principali caratteristiche geomorfologiche dei bacini idrografici del Fiume Alento e del T. Palistro e relative sezioni di chiusura

CODICE	Bacino	Area (km ²)	Quota media
SEZ 19	F. Alento alla Diga di Piano della Rocca	102.11	418.00
SEZ 18	F. Alento a monte del Vallone di Ostigliano	12.21	408.00
SEZ 16	F. Selva dei Santi a monte F. Alento	45.1	343.00
SEZ 14	La Fiumara a monte del F. Alento	27.24	419.00
SEZ 13	F. Alento a monte del T. Fiumicello	29.14	343.50
SEZ 12	T. Fiumicello a monte del F. Alento	32.76	322.00
SEZ 11	F. Alento a monte del T. Palistro	13.81	320.00
SEZ2	T. Palistro a monte del F. Alento	105.33	551.00
SEZ1	F. Alento da valle della confluenza del Palistro alla foce	14.54	285.00

Esempio di applicazione al sistema Alento-Palistro

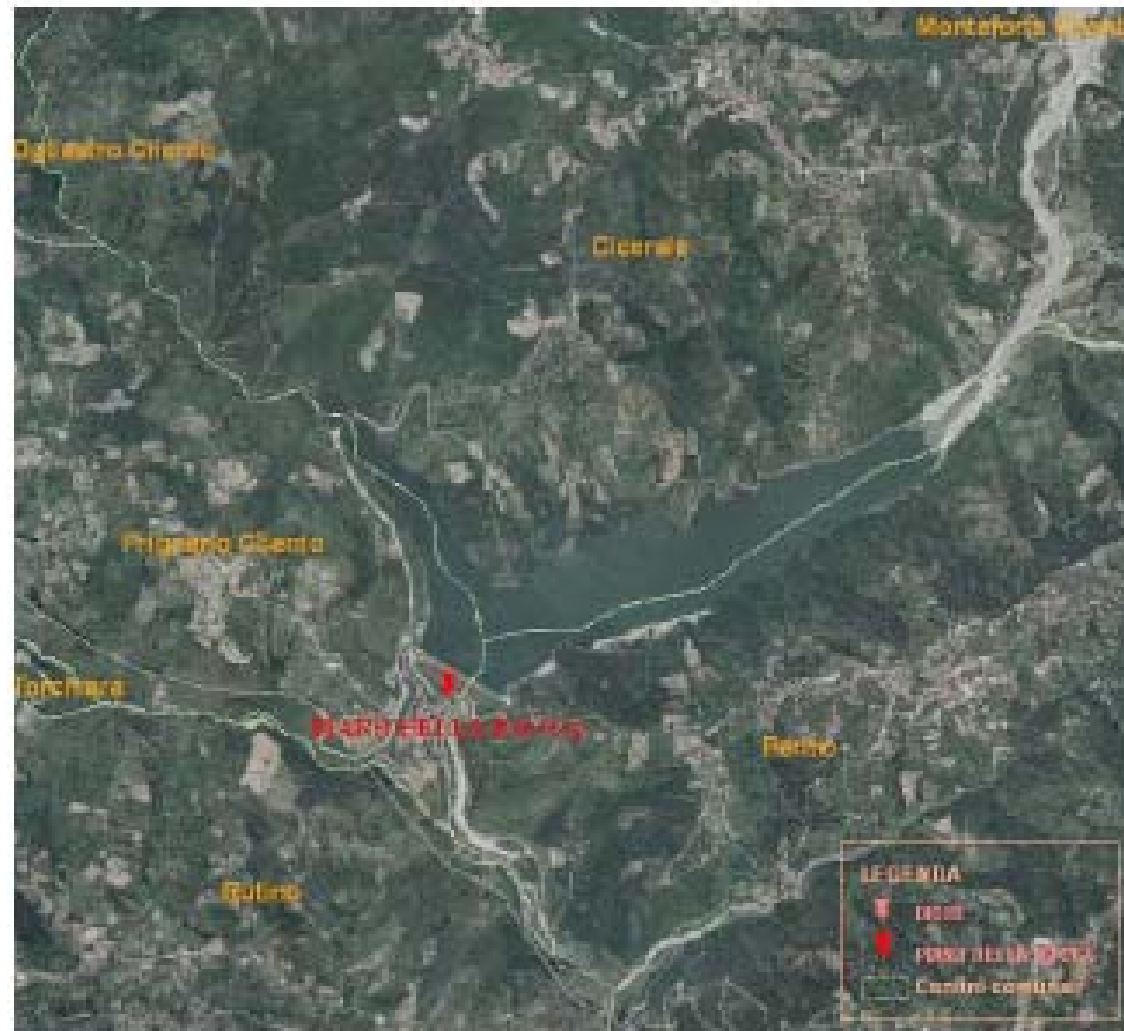


Figura 7: Ubicazione della diga di Piano della Rocca

Esempio di applicazione al sistema Alento-Palistro



Figura 5: Particolare della Diga di Piano della Rocca sul Fiume Alento.

Esempio di applicazione al sistema Alento-Palistro

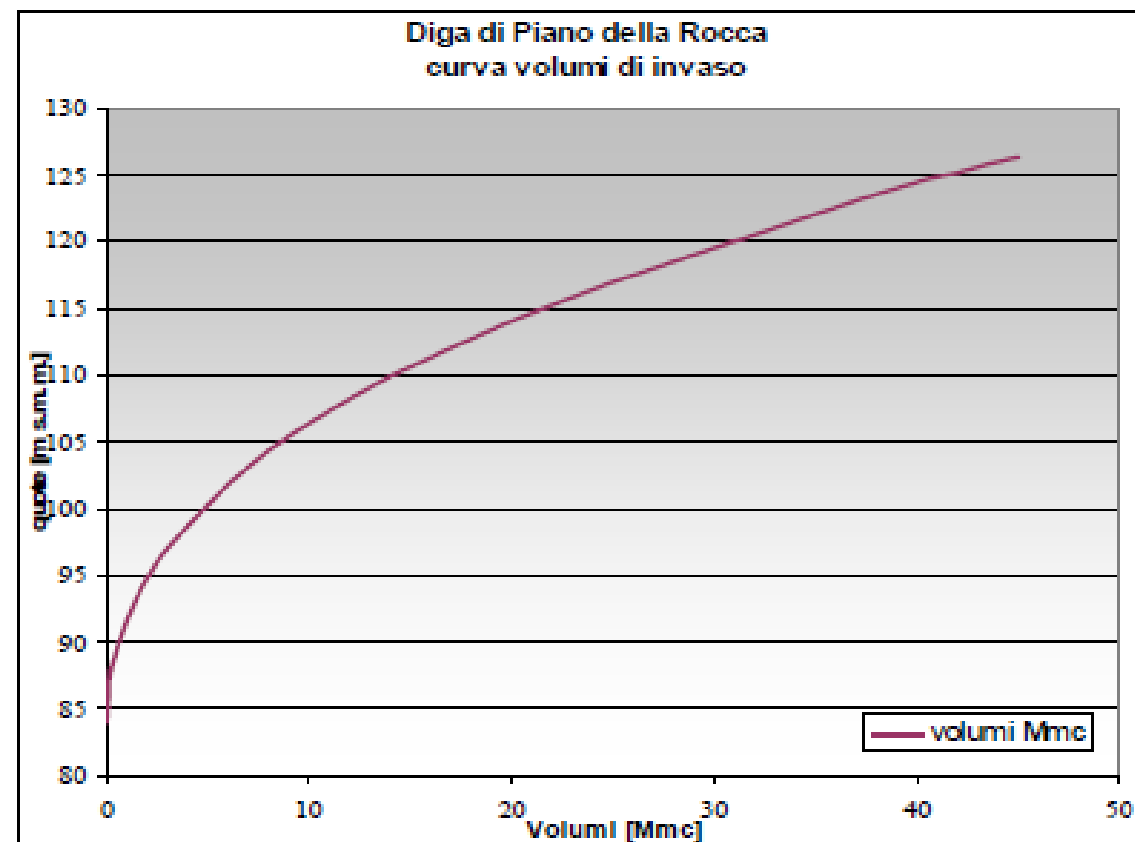
Tabella 5: Principali caratteristiche della diga di Piano della Rocca sul fiume Alento e dell'invaso artificiale.

LA DIGA DI PIANO DELLA ROCCA:	
Altezza della diga (ai sensi del D.M. 24.03.82)	43,80
Altezza della diga (ai sensi della L. 584/94)	40,30
Altezza di massima ritenuta	35,60
Quota coronamento	125,30
Franco (ai sensi del D.M. n° 44 del 24.03.'82)	3,70
Franco netto (ai sensi del D.M. n° 44 del 24.03.'82)	3,20
Sviluppo del coronamento	612
Volume del corpo diga	1.500.000
Quota di massimo invaso	121,60
Quota massima di regolazione	118,50
Quota minima di regolazione	96,00
Volume di invaso (ai sensi della L.584/1994)	28.500.000
Volume utile di regolazione	26.000.000
Volume di laminazione	5.700.000
Superficie alla quota di massimo invaso	2.120.000
Superficie alla quota massima di regolazione	1.950.000
Superficie alla quota minima di regolazione	450.000

Esempio di applicazione al sistema Alento-Palistro

Figura 6: Curva dei volumi di invaso relativa alla Diga Piano della Rocca

quota m	volumi	
	mc*10 ⁶	mc
84	0	0
88	0.2	200000
92	1.1	1100000
96	2.5	2500000
100	4.8	4800000
104	7.69	7690000
108	11.73	11730000
112	16.81	16810000
116	23.25	23250000
120	30.94	30940000
124	38.84	38840000
126.4	45	45000000



Esempio di applicazione al sistema Alento-Palistro

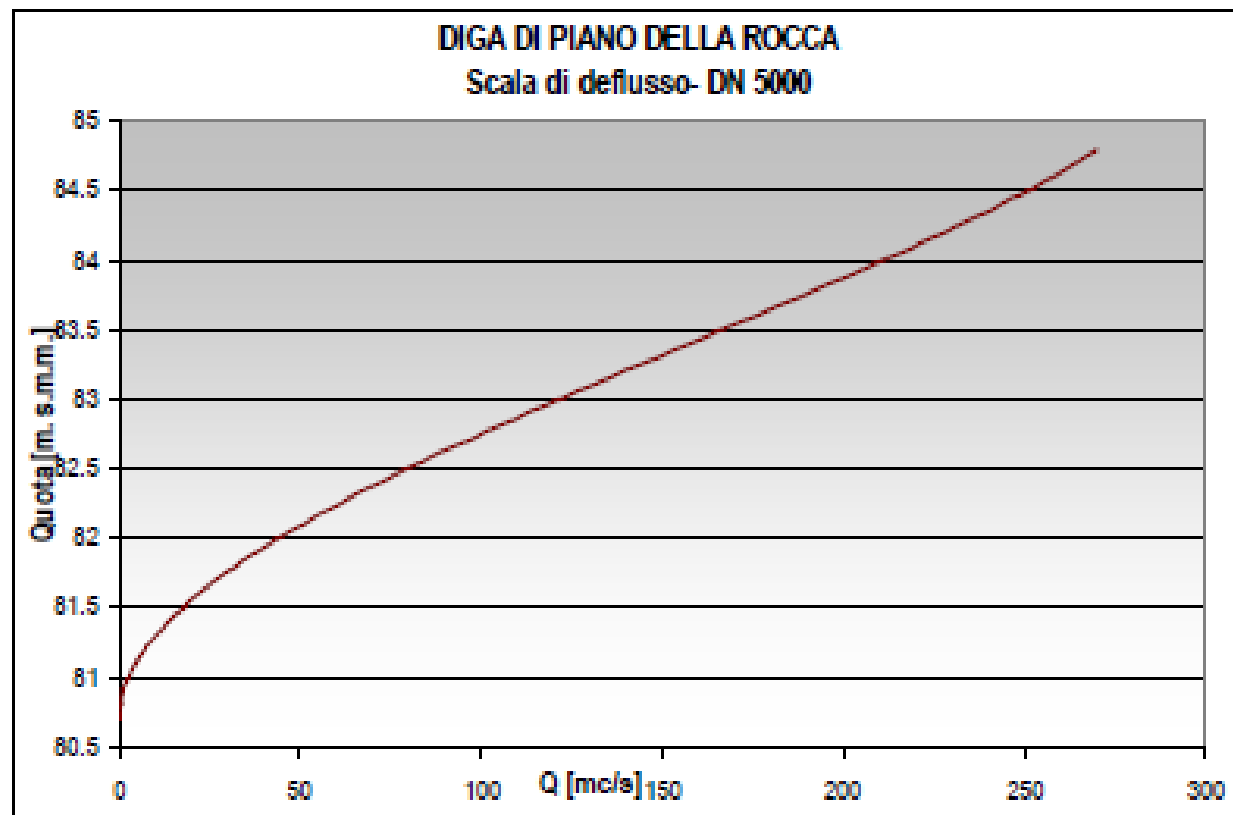


Figura 7: Scala di deflusso dello scarico di fondo a servizio della diga di Piano della Rocca (DN 5000)

Esempio di applicazione al sistema Alento-Palistro

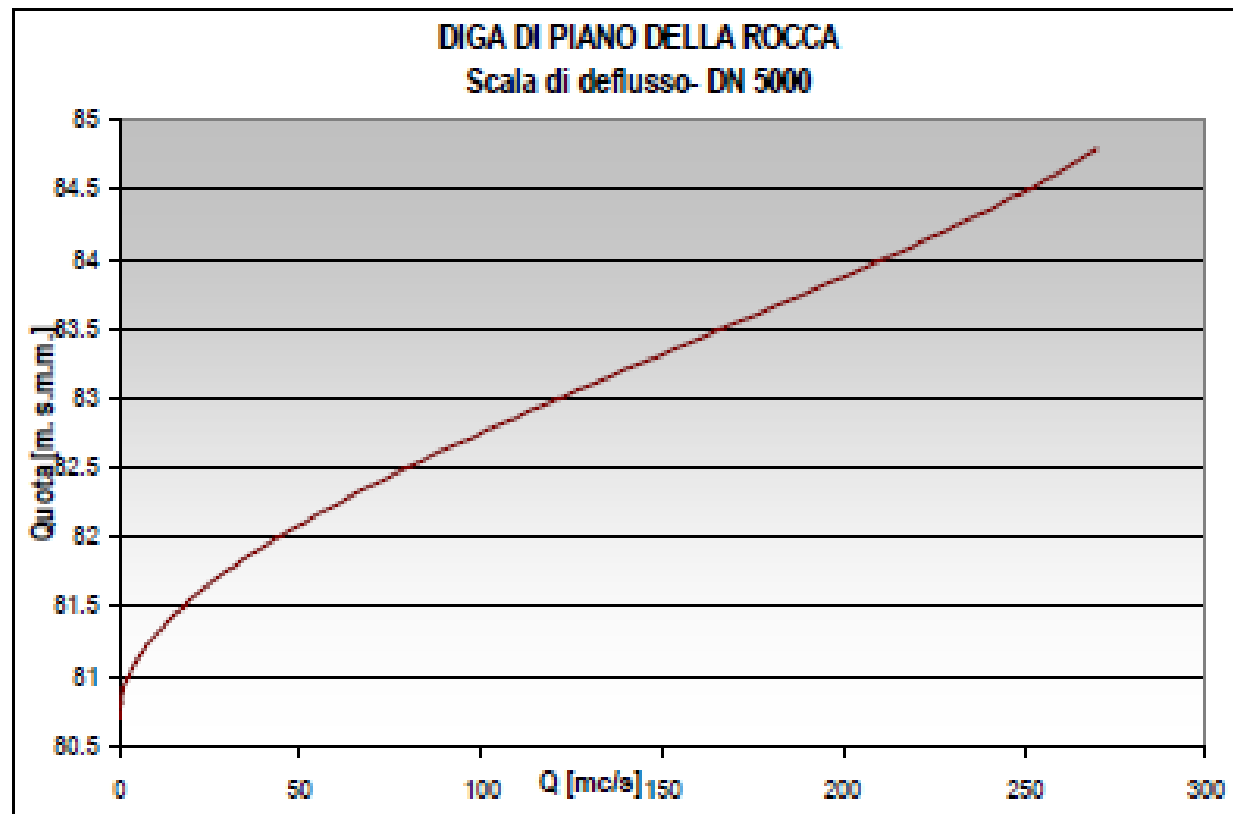


Figura 7: Scala di deflusso dello scarico di fondo a servizio della diga di Piano della Rocca (DN 5000)

Esempio di applicazione al sistema Alento-Palistro

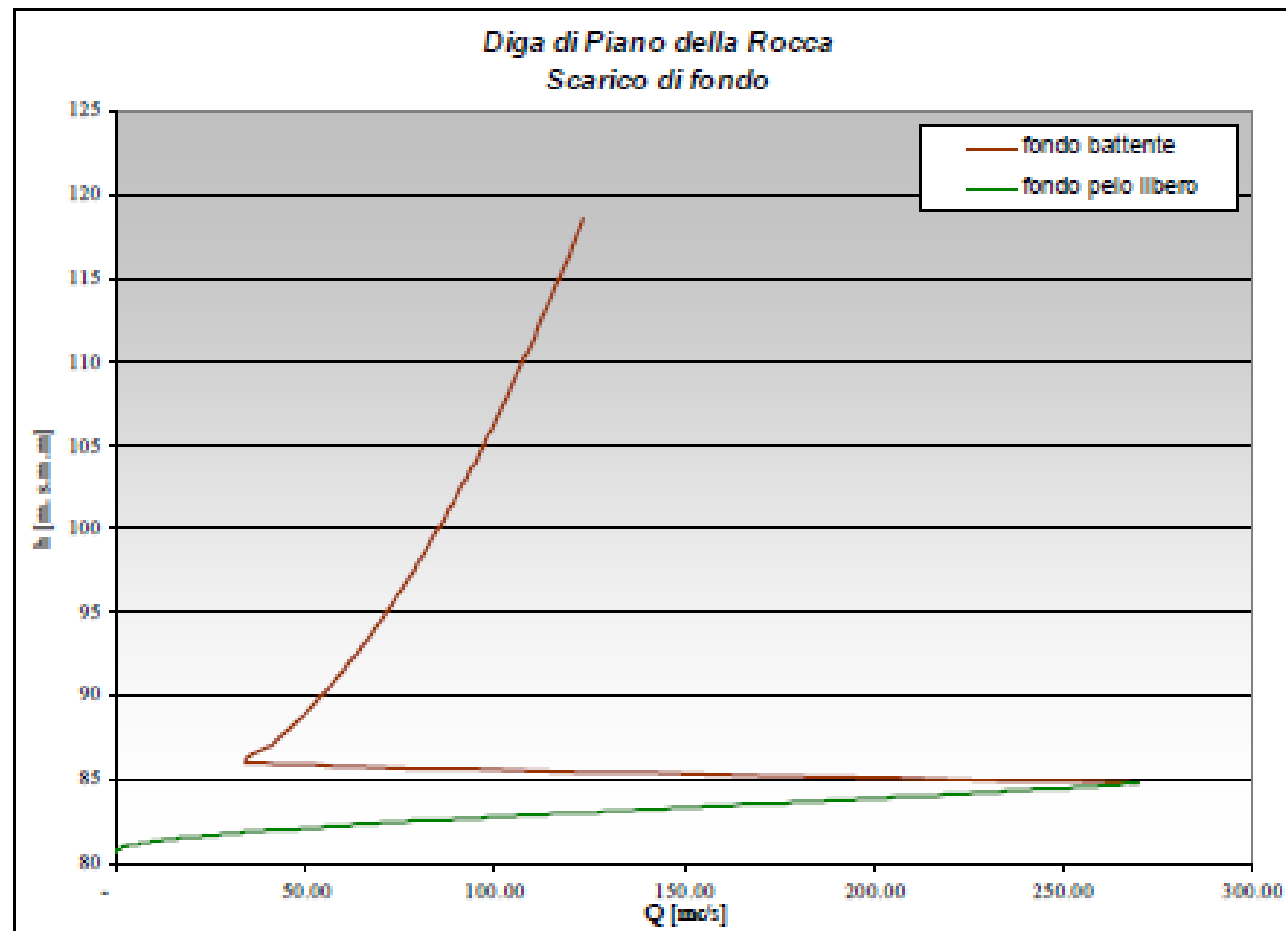


Fig. 11 – Scala di deflusso relativa allo scarico di fondo a servizio dell'invaso di Piano della Rocca

Esempio di applicazione al sistema Alento-Palistro

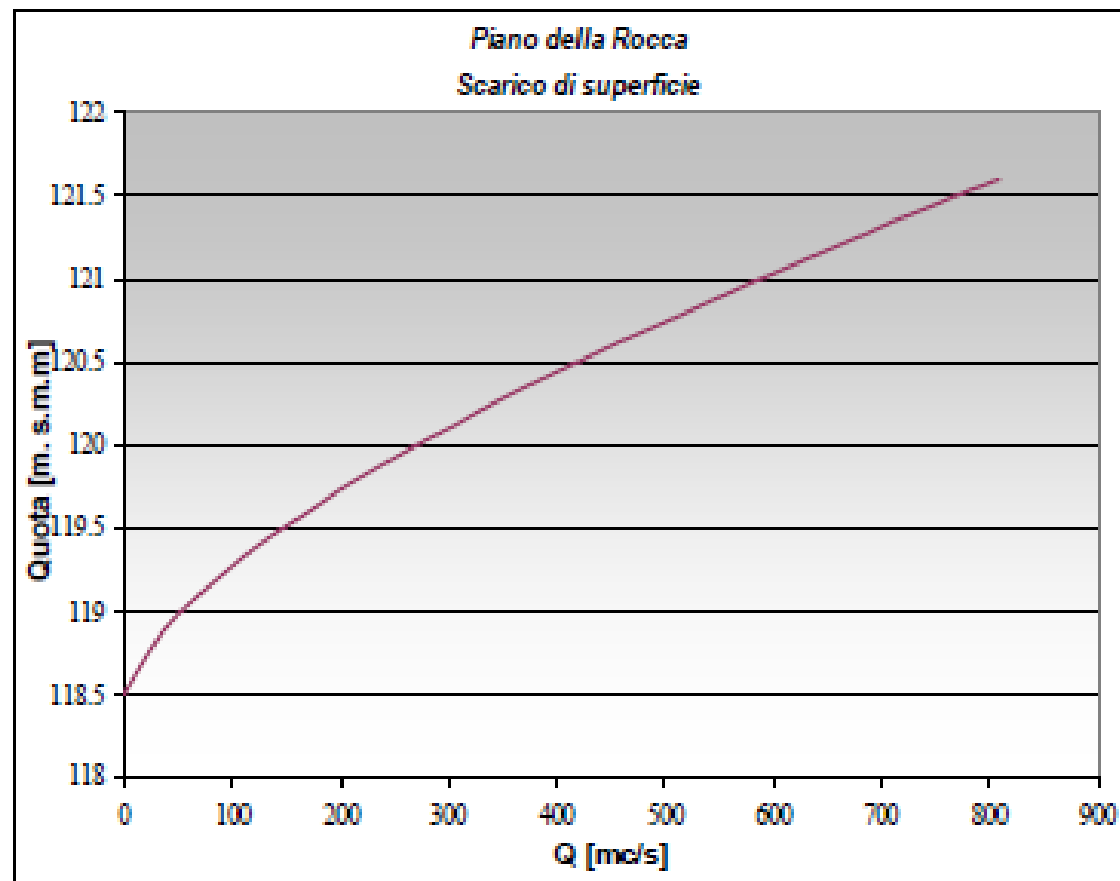


Fig. 12 – Scala di deflusso relativa allo scarico di superficie a servizio dell'invaso di Piano della Rocca

Esempio di applicazione al sistema Alento-Palistro

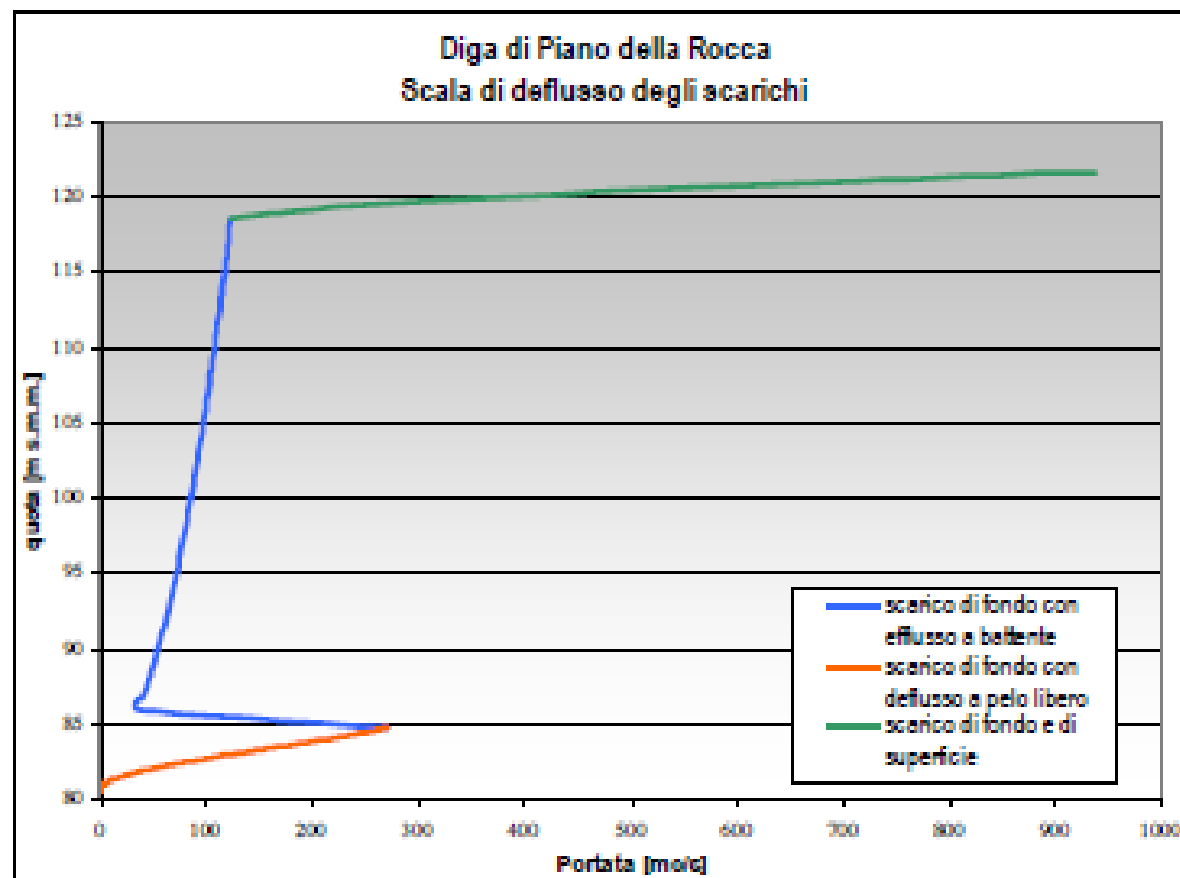


Fig. 12 – Scala di deflusso relativa all'insieme degli scarichi a servizio dell'invaso di Piano della Rocca (nell'ipotesi in cui le paratoie dello scarico di fondo siano aperte)

Esempio di applicazione al sistema Alento-Palistro

$$\int_{t_1}^{t_2} \rho_e \cdot Q_e(t) dt - \int_{t_1}^{t_2} \rho_u \cdot Q_u(t) dt = \rho_{t_2} W(t_2) - \rho_{t_1} W(t_1)$$

nella quale i simboli hanno il seguente significato:

t = tempo, contato a partire da un istante iniziale;

Q_e = portata entrante

Q_u = portata uscente

W = volume invasato

ρ_e = densità del fluido entrante nell'invaso;

ρ_u = densità del fluido uscente nell'invaso;

ρ_t = densità del fluido presente nell'invaso;

Esempio di applicazione al sistema Alento-Palistro

Poiché può ritenersi, con ottima approssimazione, $\rho_e \approx \rho_u \approx \rho_{t_1} \approx \rho_{t_2} = \rho = \text{costante}$, la (40) diviene, anziché una relazione tra masse, una relazione tra volumi, data da:

$$\int_{t_1}^{t_2} Q_e(t) dt - \int_{t_1}^{t_2} Q_u(t) dt = W(t_2) - W(t_1) \quad (41)$$

Se le funzioni sono continue, la (41) equivale a scrivere l'equazione

$$Q_e(t) - Q_u(t) = \frac{dW(t)}{dt} \quad (42)$$

nota, per l'appunto, col nome di *equazione di continuità*.

Esempio di applicazione al sistema Alento-Palistro

a) Equazione di continuità (in forma implicita)

$$[\Theta \cdot Q_e(t_2) + (1 - \Theta) \cdot Q_e(t_1)] - [\Theta \cdot Q_u(t_2) + (1 - \Theta) \cdot Q_u(t_1)] = W(t_2) - W(t_1)$$

b) Curva dei volumi di invaso

$$W(t) = f[Y(t)]$$

c) Scala di deflusso/efflusso scarichi

$$Q_u(t) = g[Y(t)]$$

Esempio di applicazione al sistema Alento-Palistro – Codice HEC-RAS (1-D)

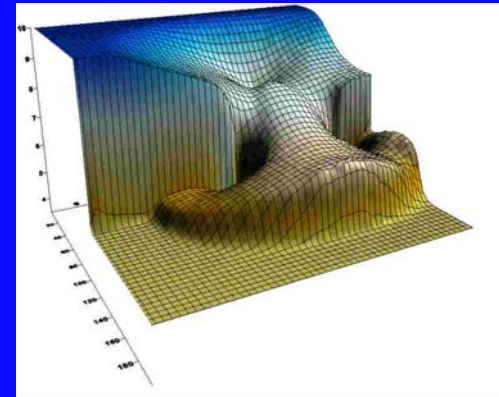
a) Equazione di continuità (in forma implicita)

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_1 = 0$$

b) Equazione del moto

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(VQ)}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f\right) = 0$$

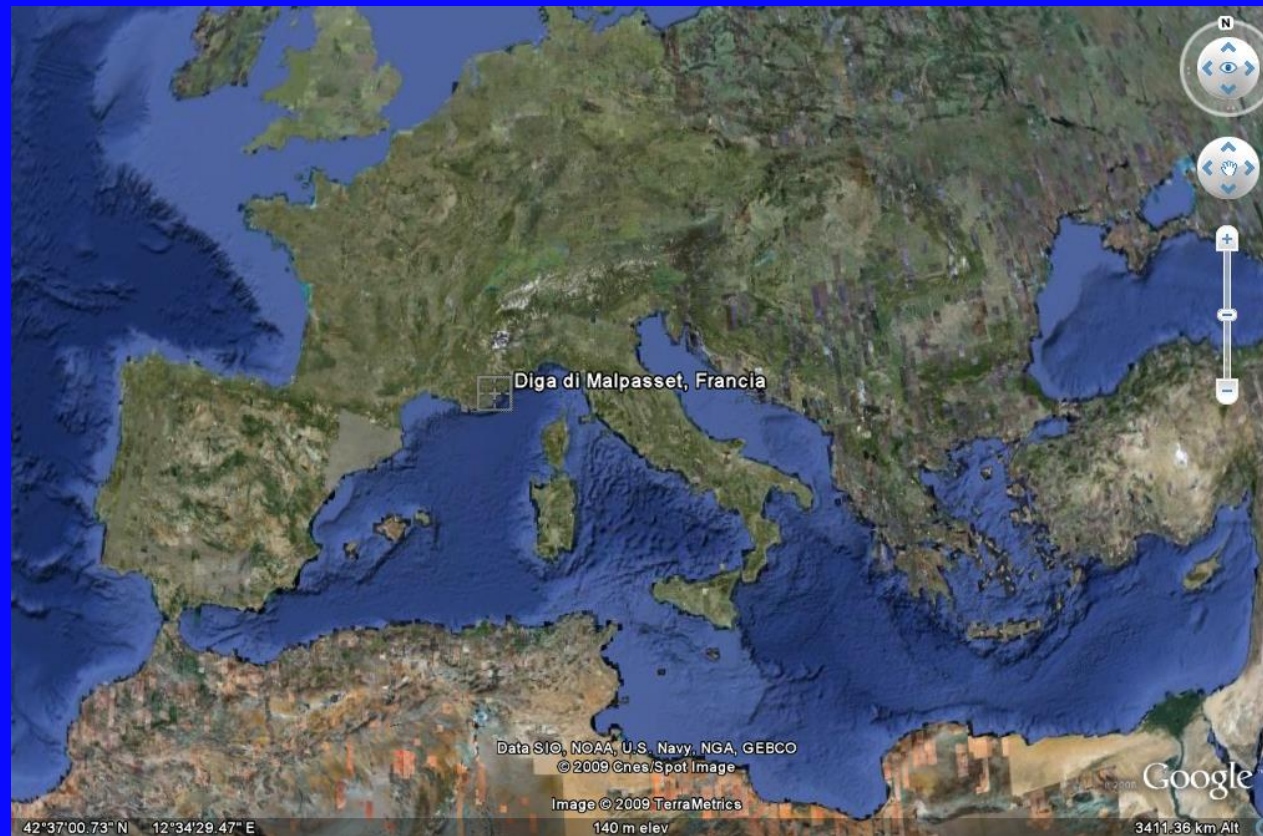
Ma modellazioni bi-dimensionali sono anche possibili (Codice: 2D-UFM)



$$\begin{cases} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hU}{\partial x} + \frac{\partial hV}{\partial y} = 0 \\ \frac{\partial hU}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(g \frac{h^2}{2} + hU^2 \right) + \frac{\partial}{\partial y} (hUV) = -gh \frac{\partial z_b}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} \\ \frac{\partial hV}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (hUV) + \frac{\partial}{\partial y} \left(g \frac{h^2}{2} + hV^2 \right) = -gh \frac{\partial z_b}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} \end{cases}$$

Applicazione al caso della Diga del Malpasset ...

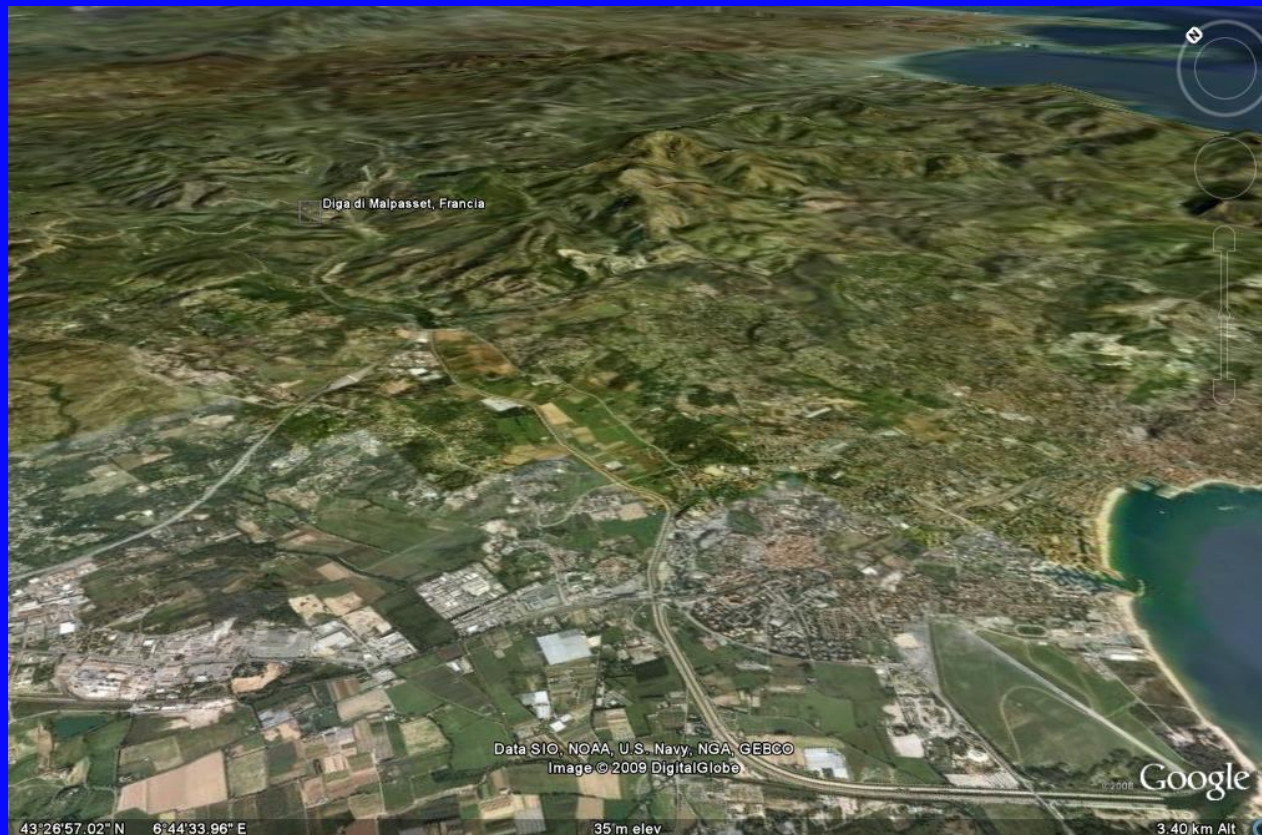
Position of the Malpasset Dam



Salerno, 7 maggio 2013

Application to the Malpasset case ...

Aereal view of the Malpasset Dam and Fréjus City

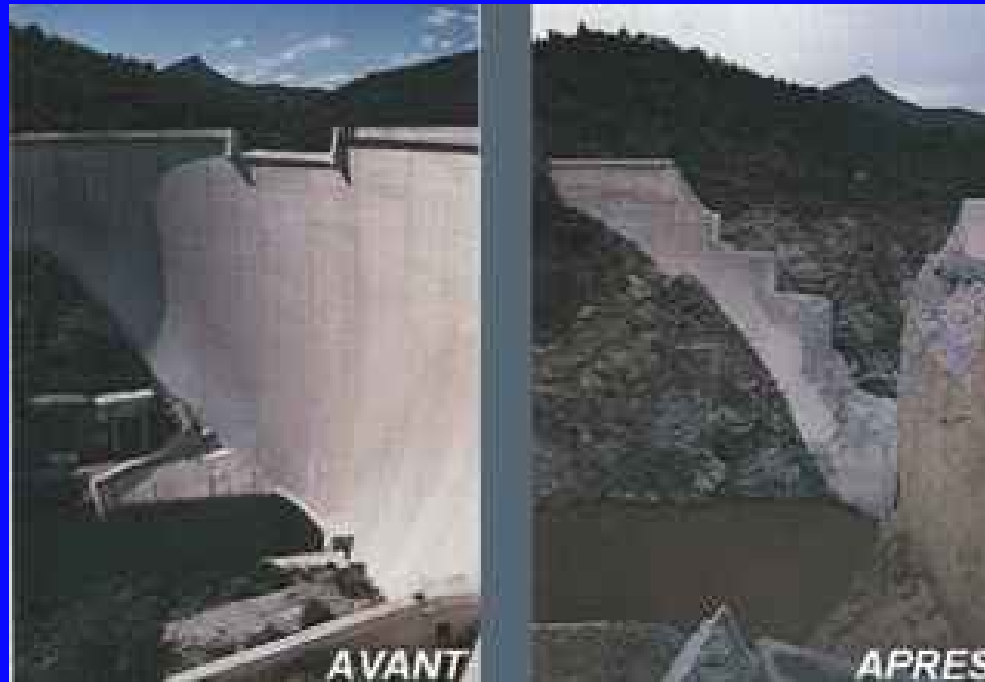


Salerno, 7 maggio 2013

68

Application to the Malpasset case ...

Malpasset Dam before and after the Dam-Break event



Application to the Malpasset case ...

Malpasset Dam after the Dam-Break phenomenon



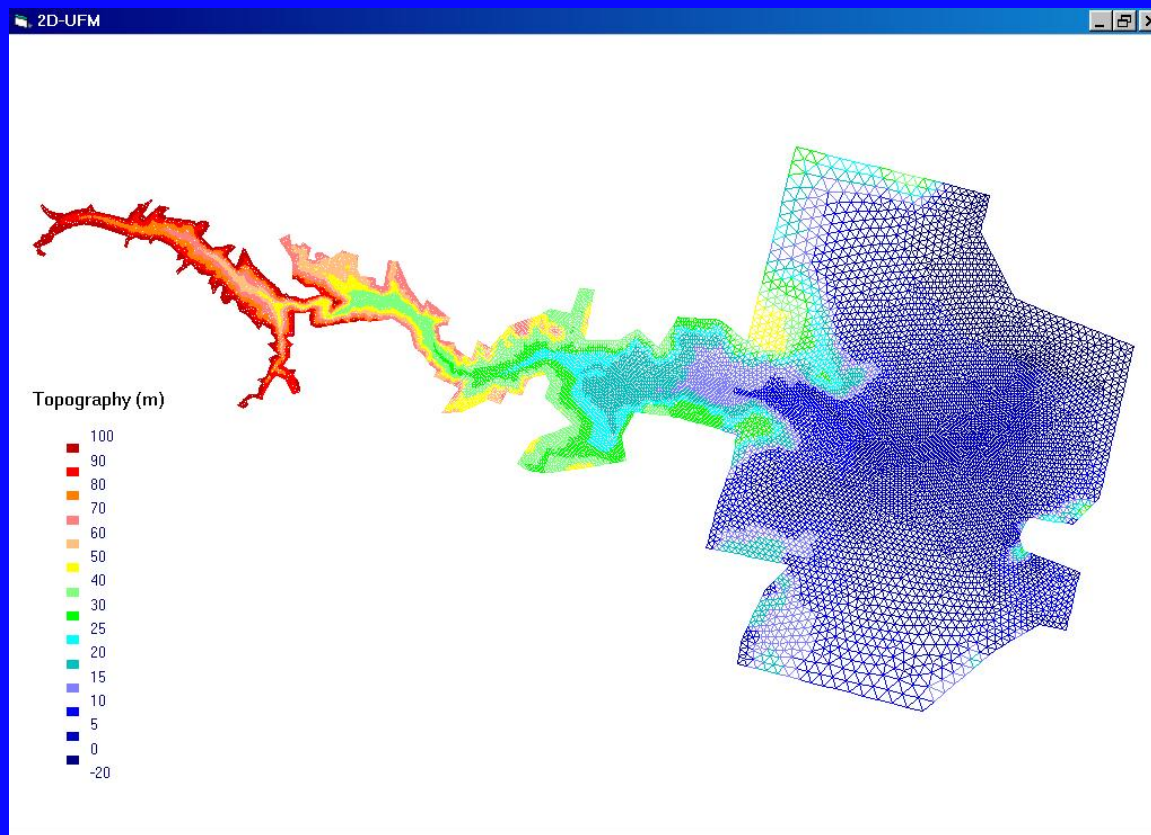
■ Application to the Malpasset case ...

MALPASSET DAM MAIN CHARACTERISTICS

- Type: Arch Dam
- Dam height: 60,00 m
- Retained water volume: 50.000.000 m³

Application to the Malpasset case ...

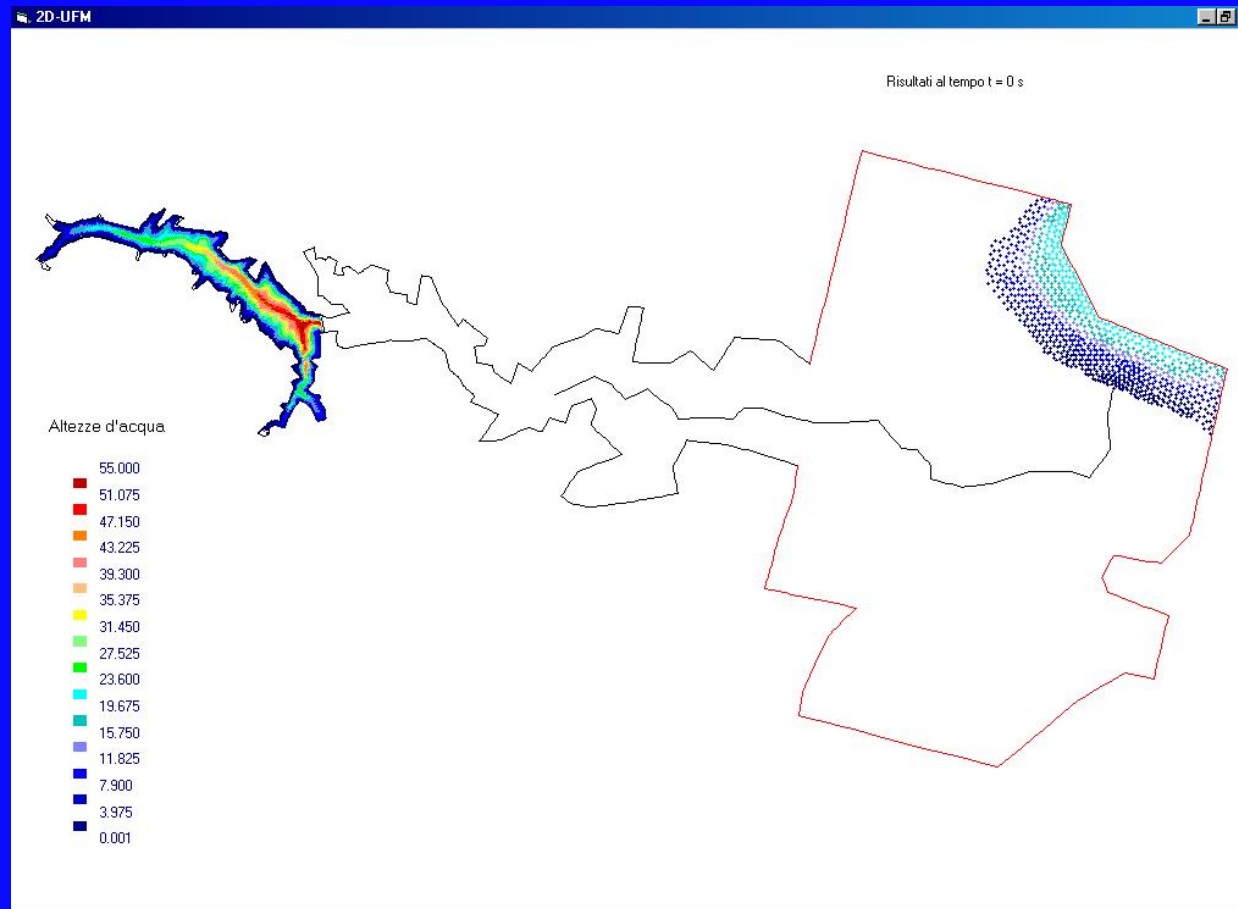
Unstructured mesh used in the calculations



Salerno, 7 maggio 2013

Application to the Malpasset case ...

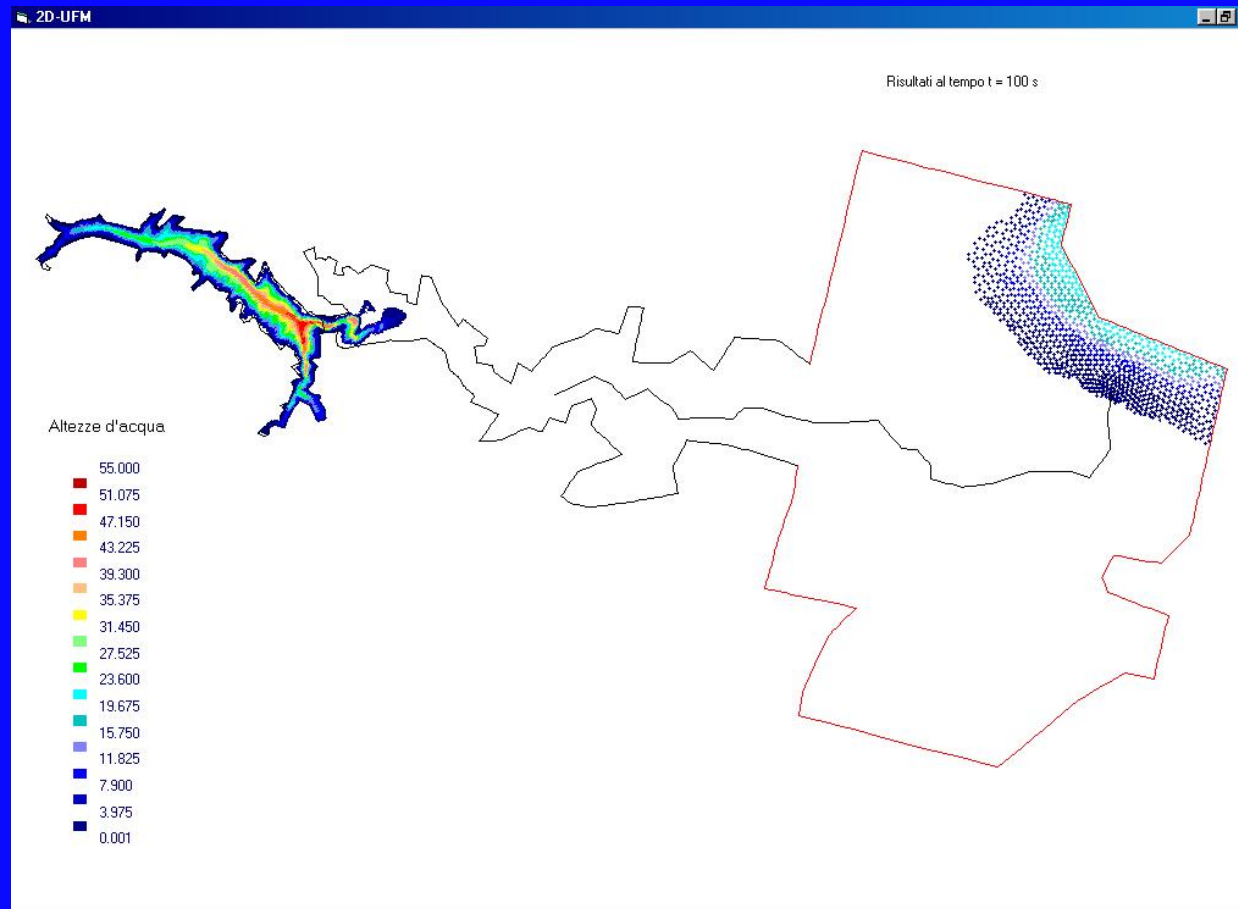
Flow field at $t = 0$ s



Salerno, 7 maggio 2013

Application to the Malpasset case ...

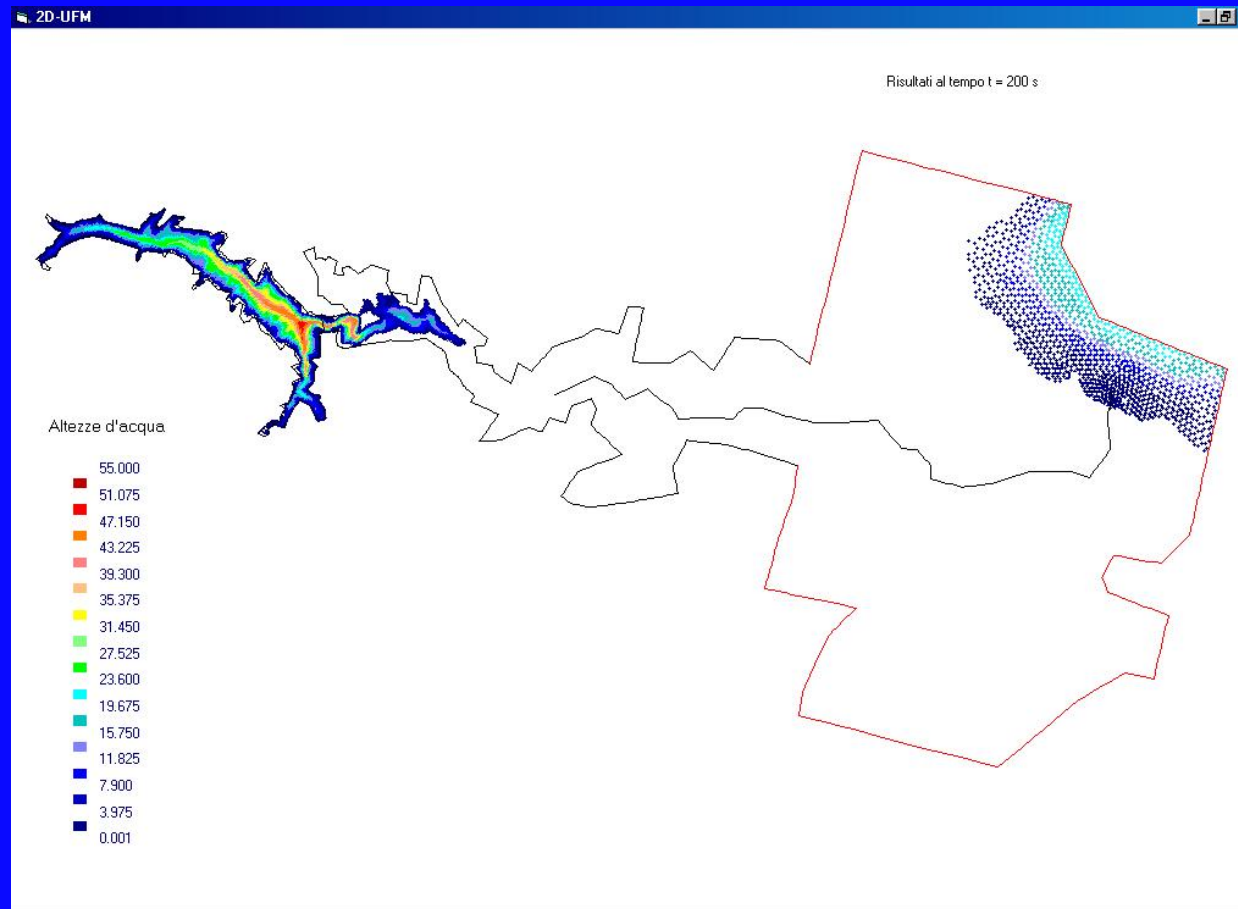
Flow field at $t = 100$ s



Salerno, 7 maggio 2013

Application to the Malpasset case ...

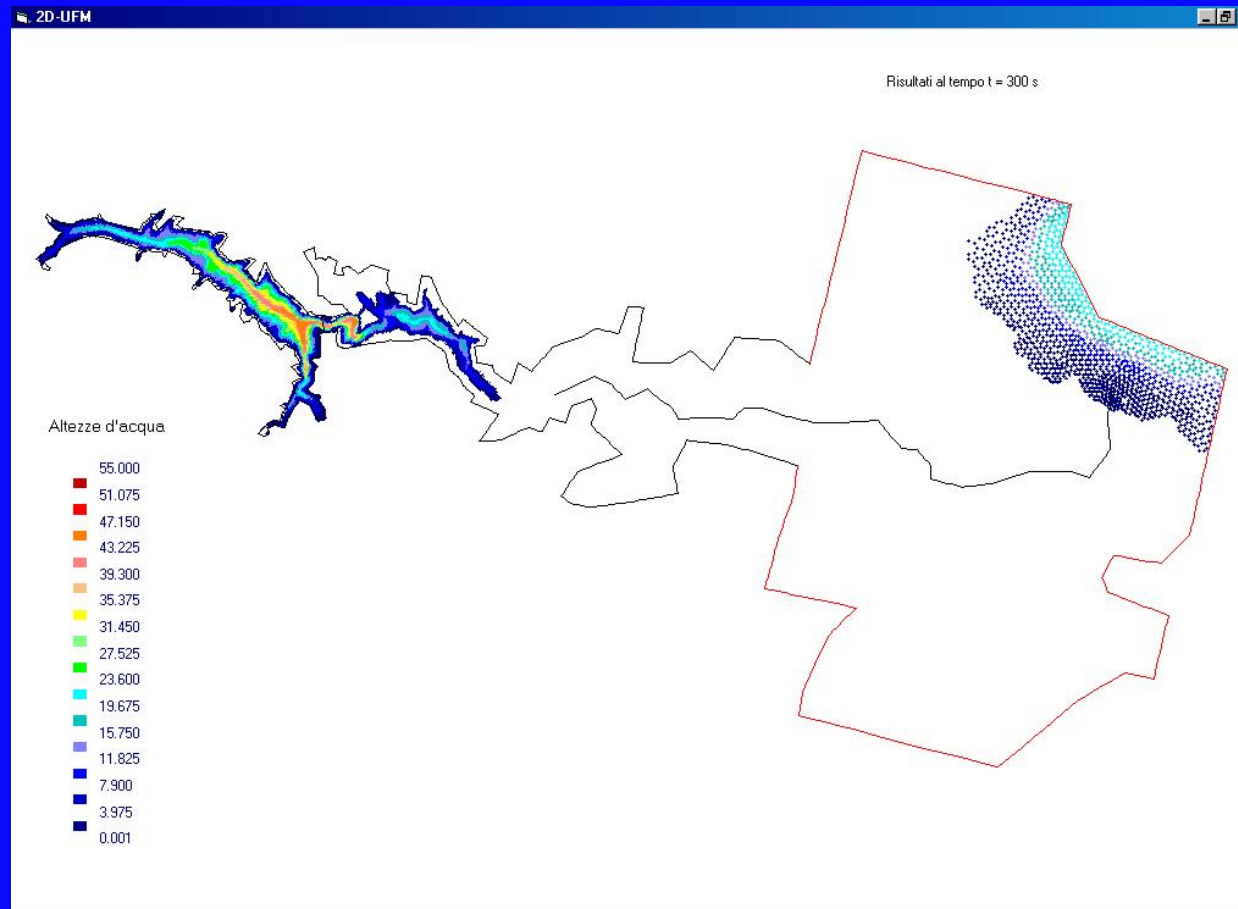
Flow field at $t = 200$ s



Salerno, 7 maggio 2013

Application to the Malpasset case ...

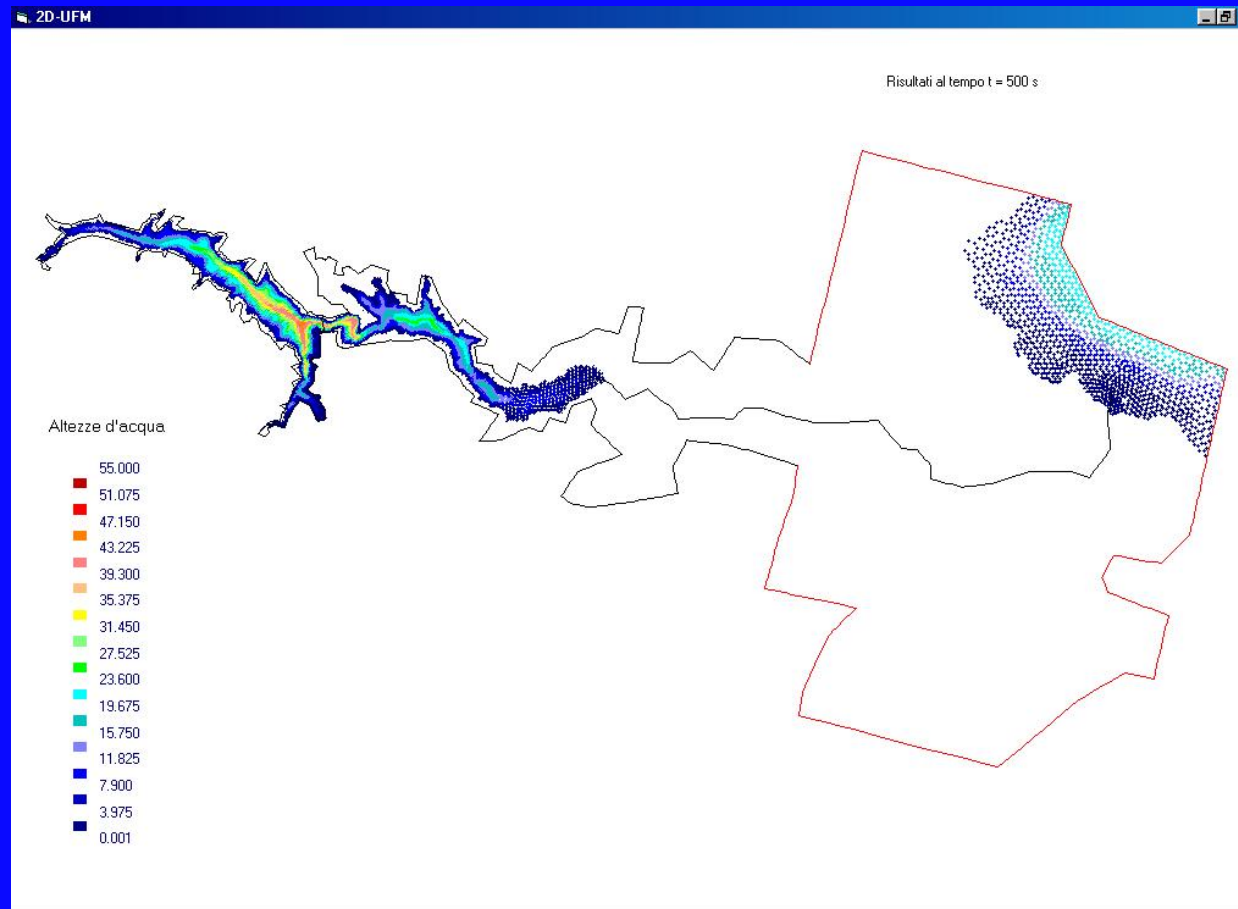
Flow field at $t = 300$ s



Salerno, 7 maggio 2013

Application to the Malpasset case ...

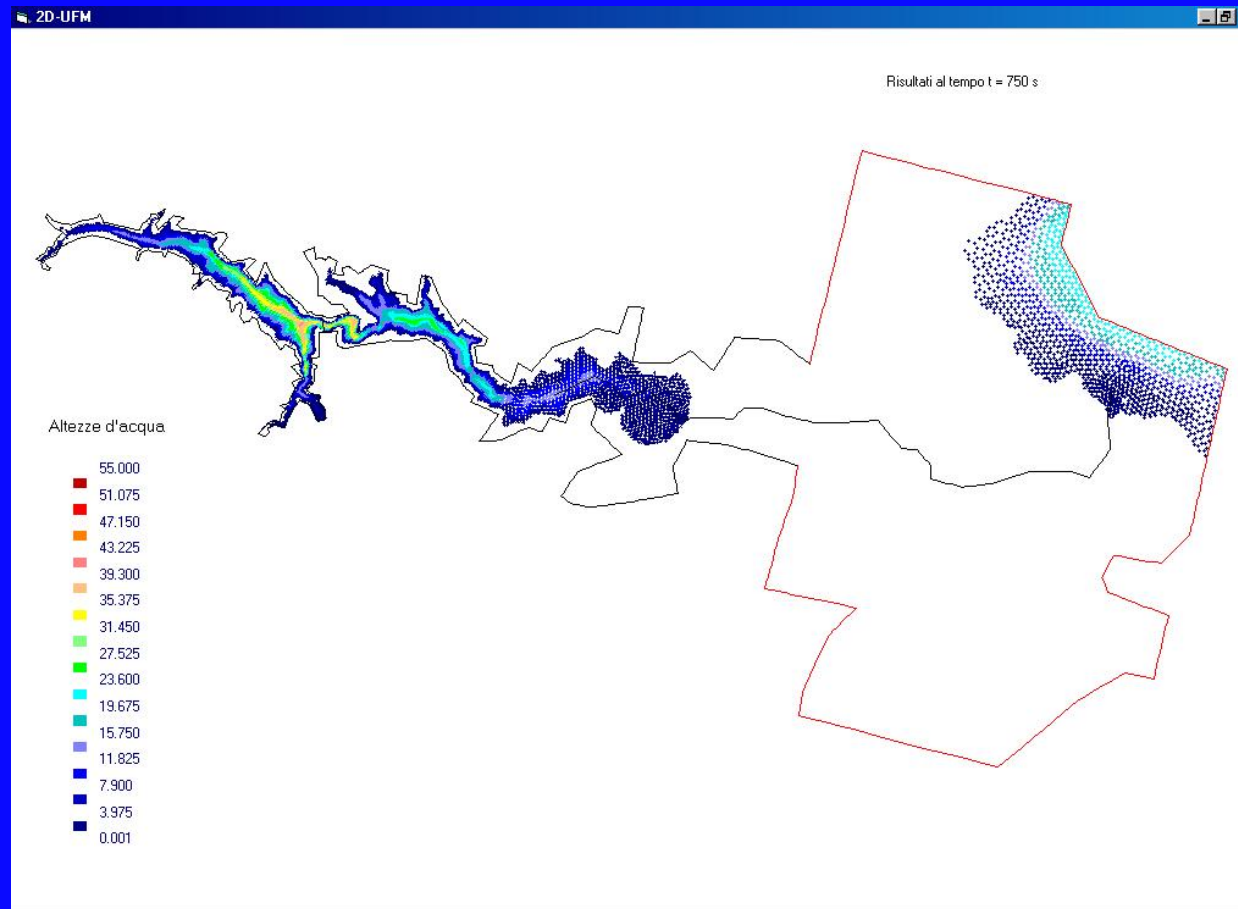
Flow field at $t = 500$ s



Salerno, 7 maggio 2013

Application to the Malpasset case ...

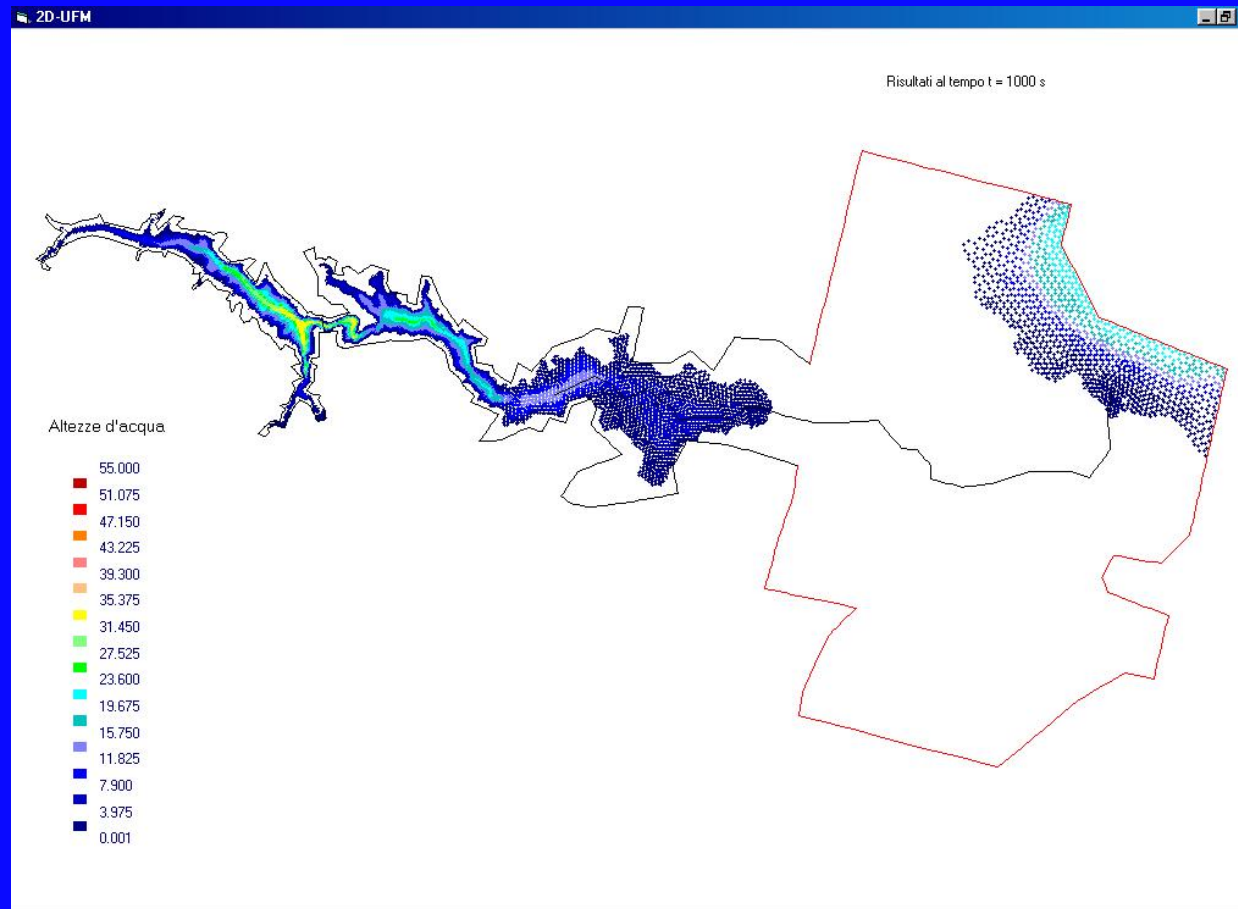
Flow field at $t = 750$ s



Salerno, 7 maggio 2013

Application to the Malpasset case ...

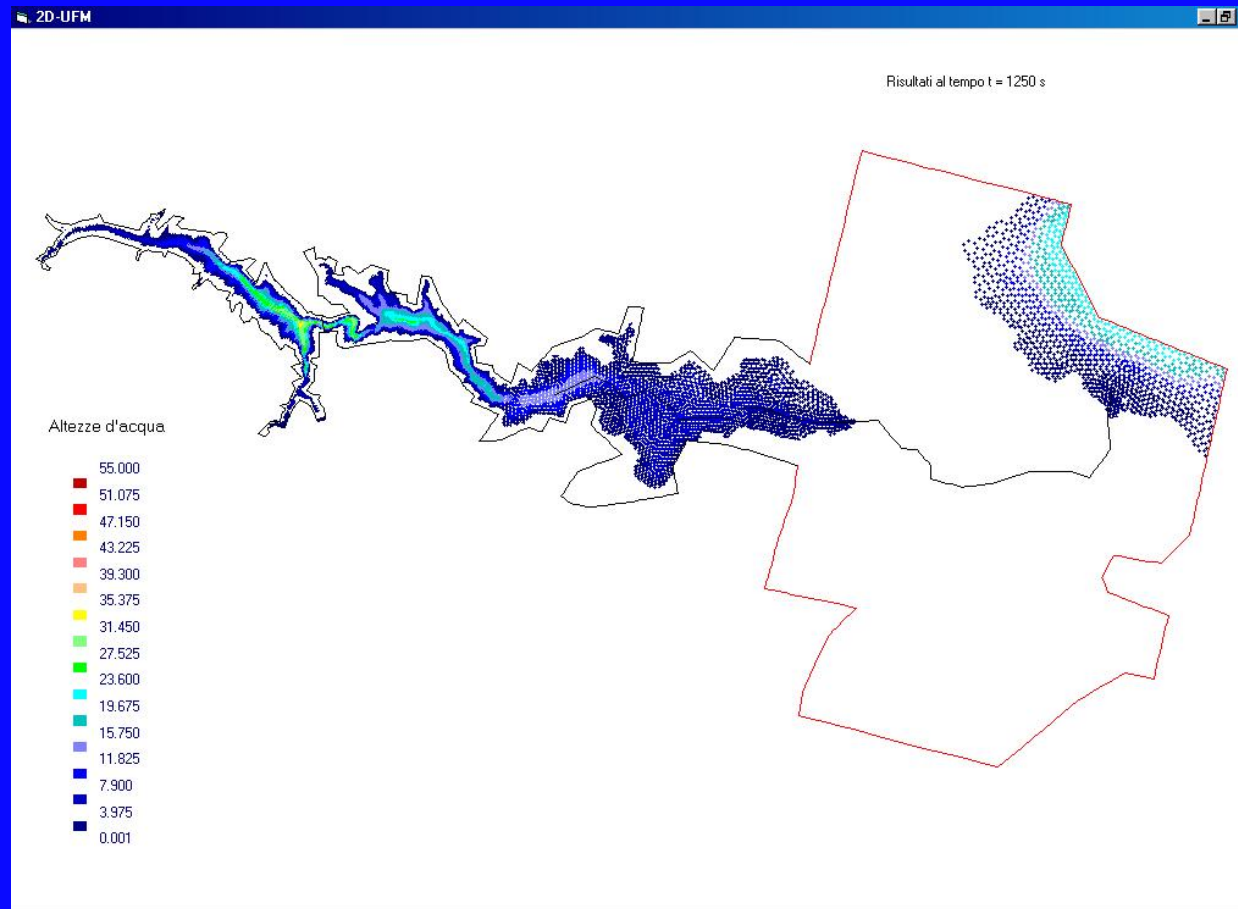
Flow field at $t = 1000$ s



Salerno, 7 maggio 2013

Application to the Malpasset case ...

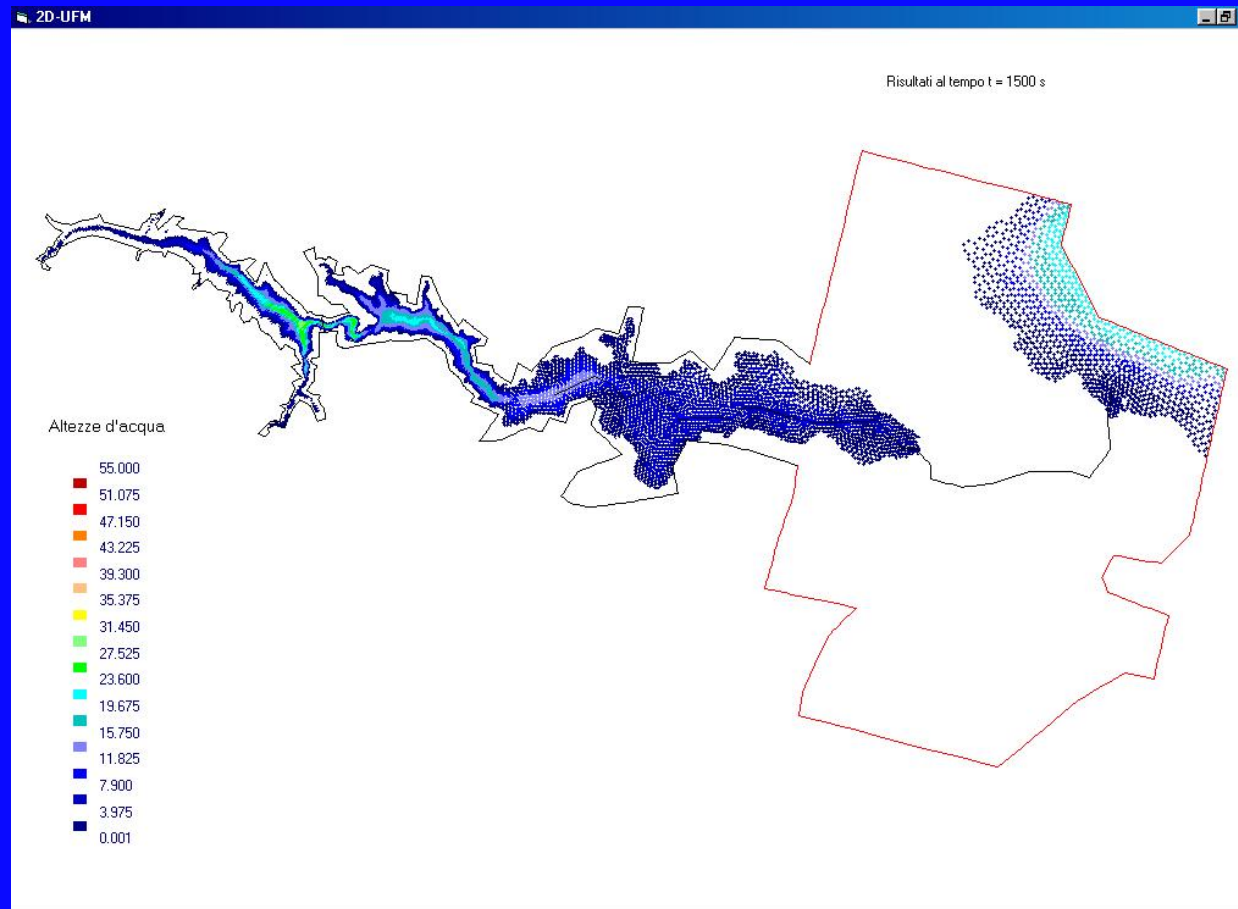
Flow field at $t = 1250$ s



Salerno, 7 maggio 2013

Application to the Malpasset case ...

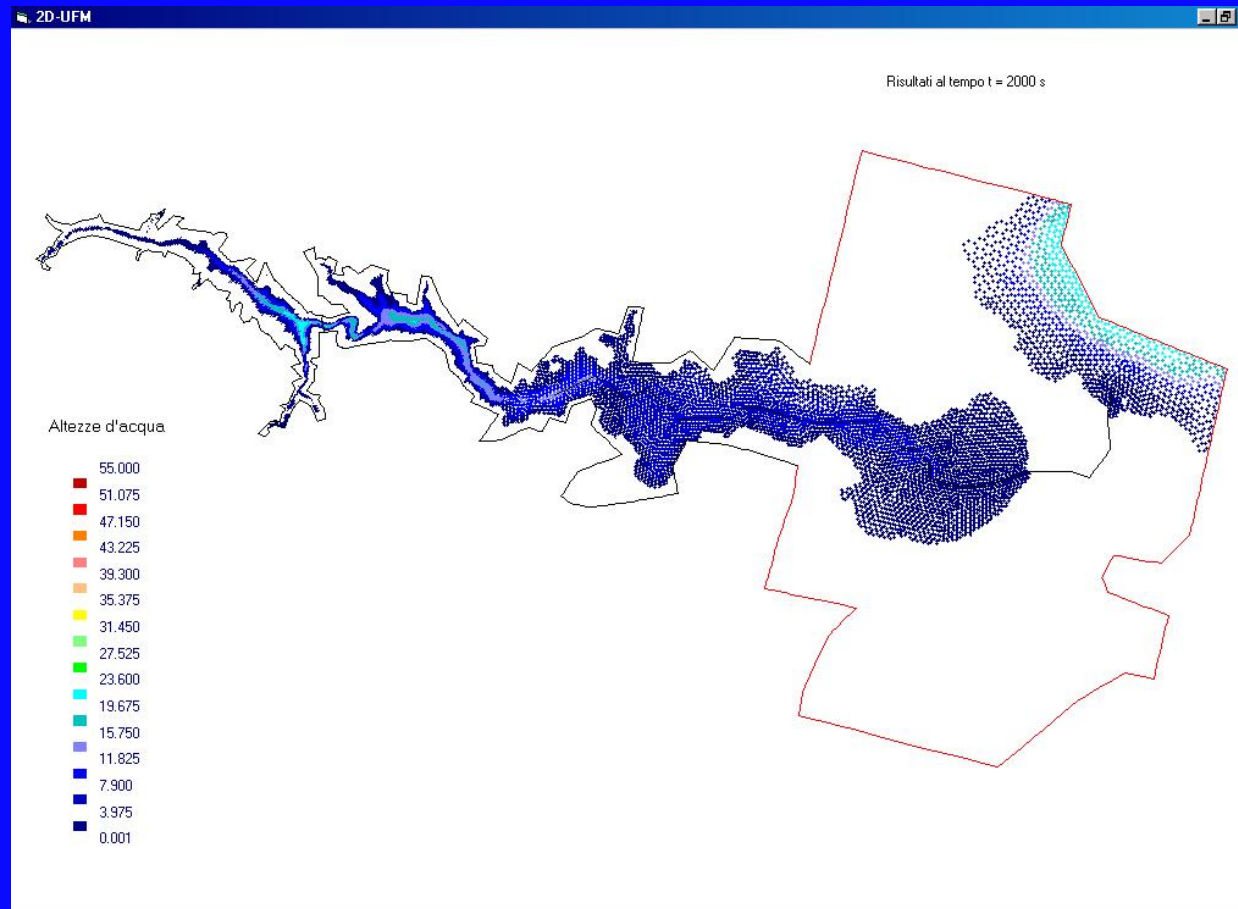
Flow field at $t = 1500$ s



Salerno, 7 maggio 2013

Application to the Malpasset case ...

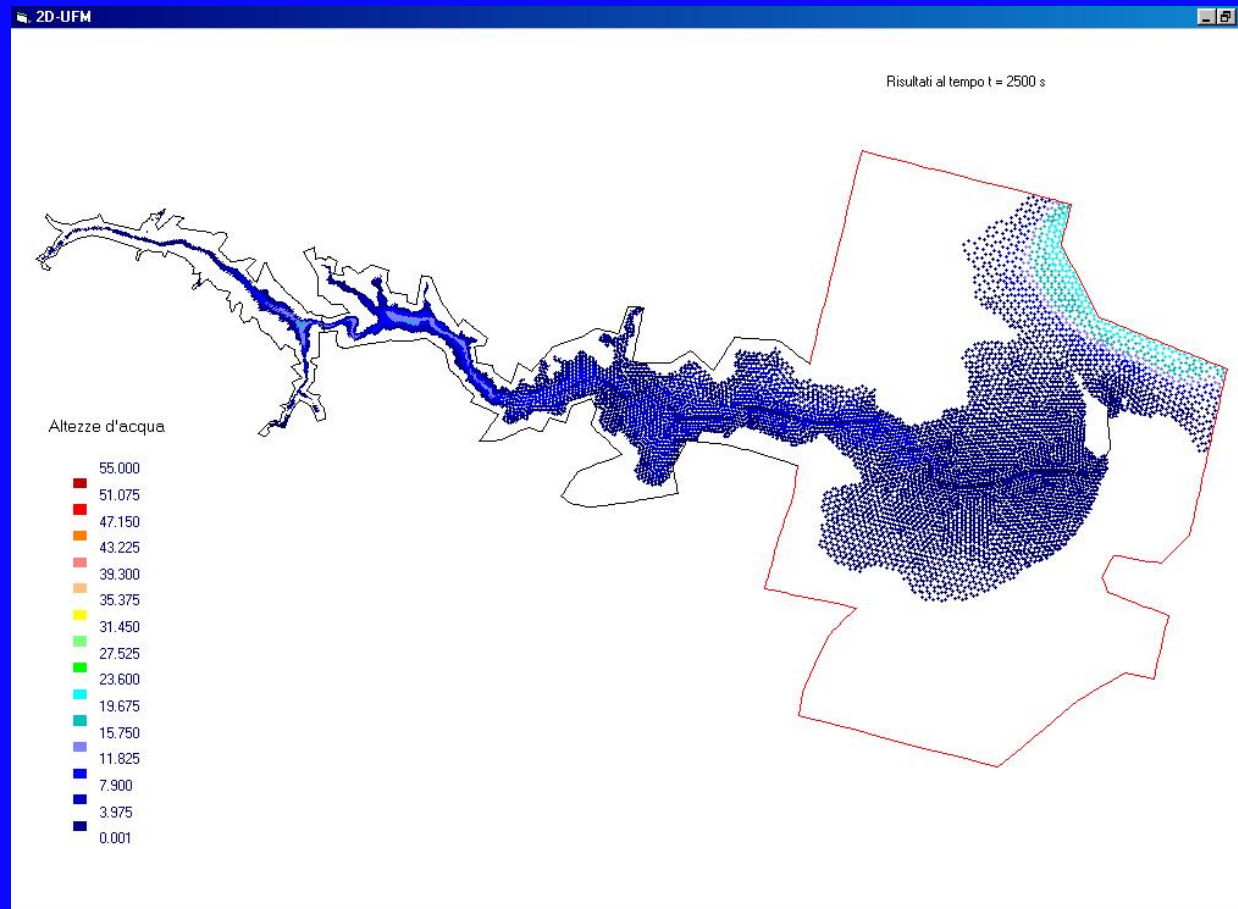
Flow field at $t = 2000$ s



Salerno, 7 maggio 2013

Application to the Malpasset case ...

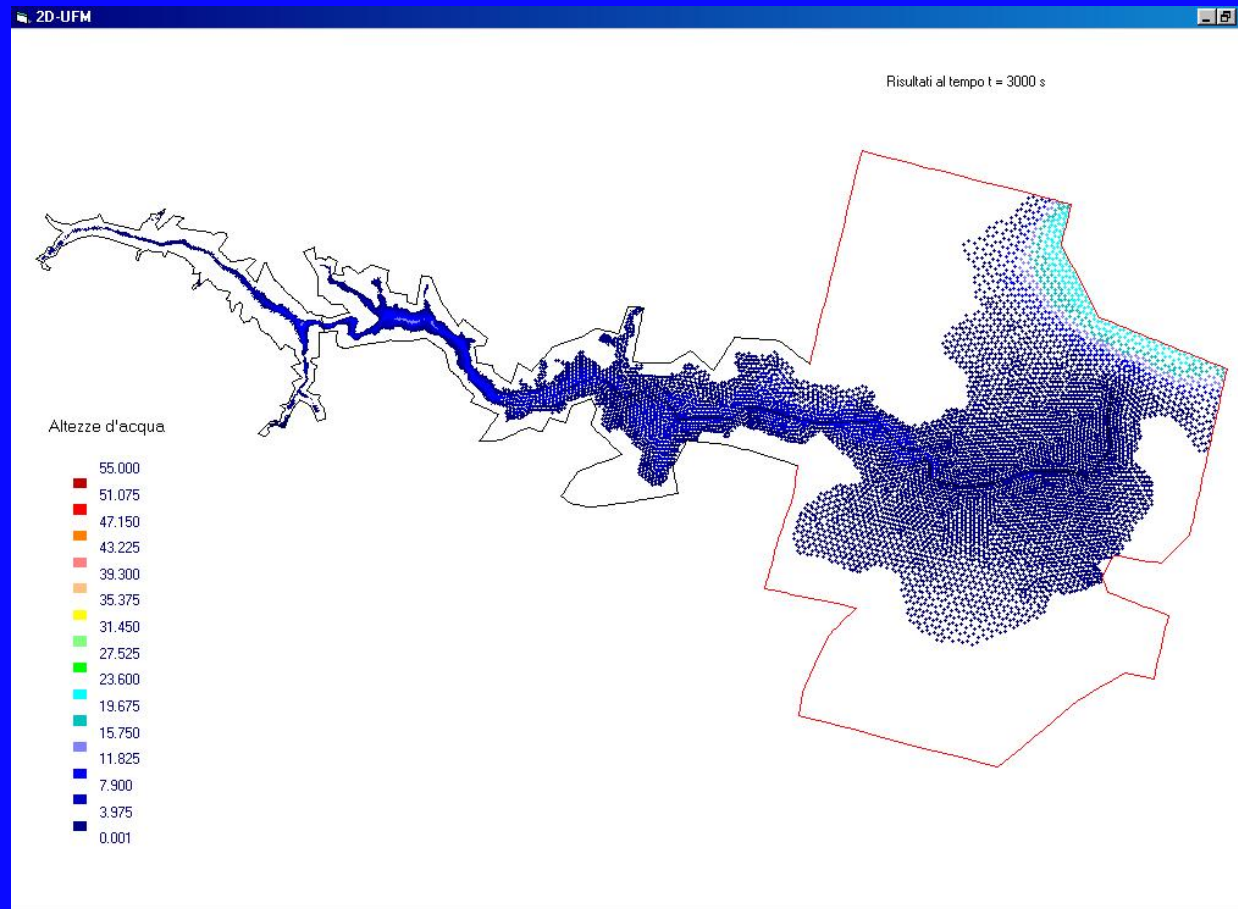
Flow field at $t = 2500$ s



Salerno, 7 maggio 2013

Application to the Malpasset case ...

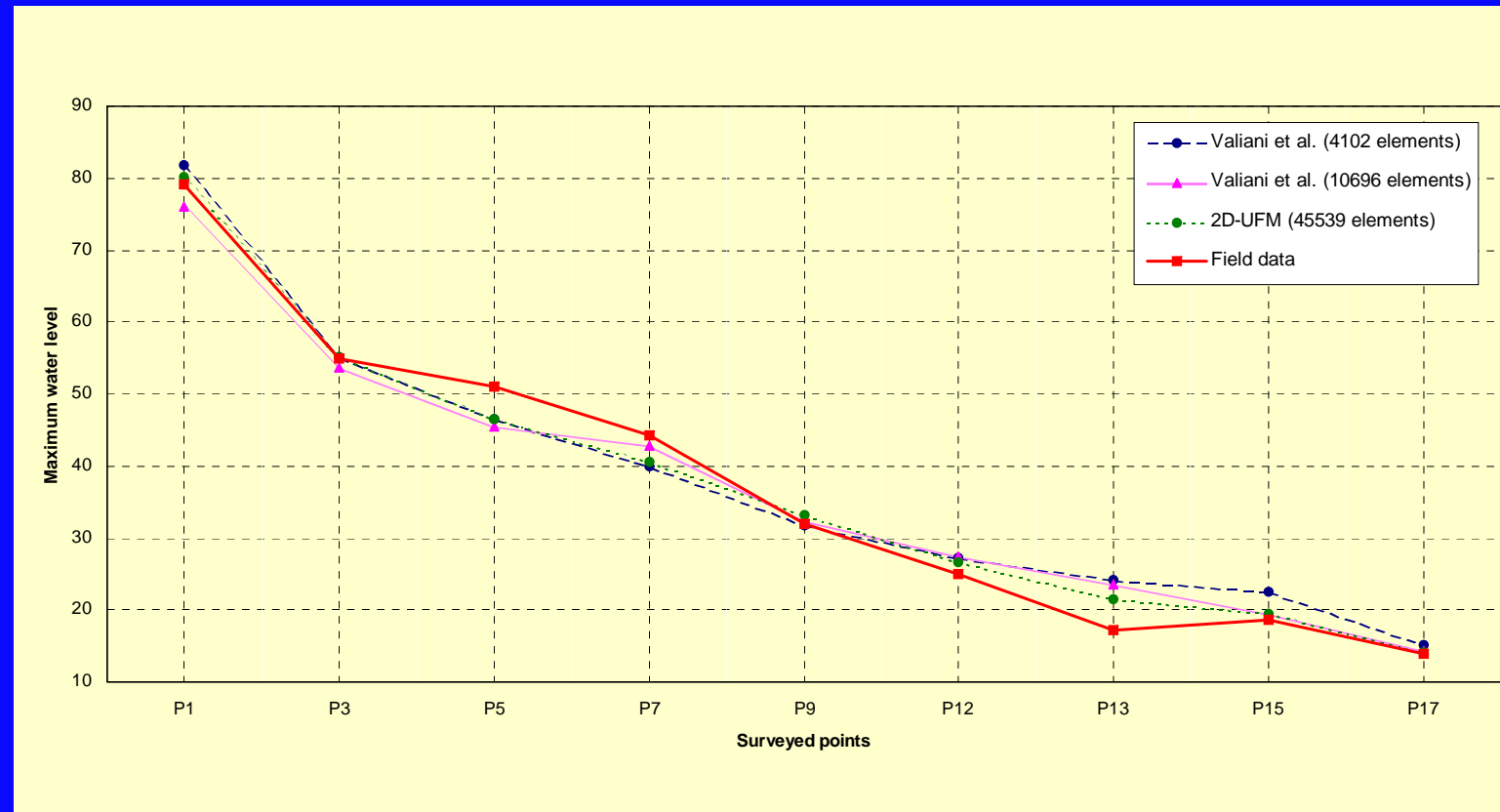
Flow field at $t = 3000$ s



Salerno, 7 maggio 2013

Application to the Malpasset case ...

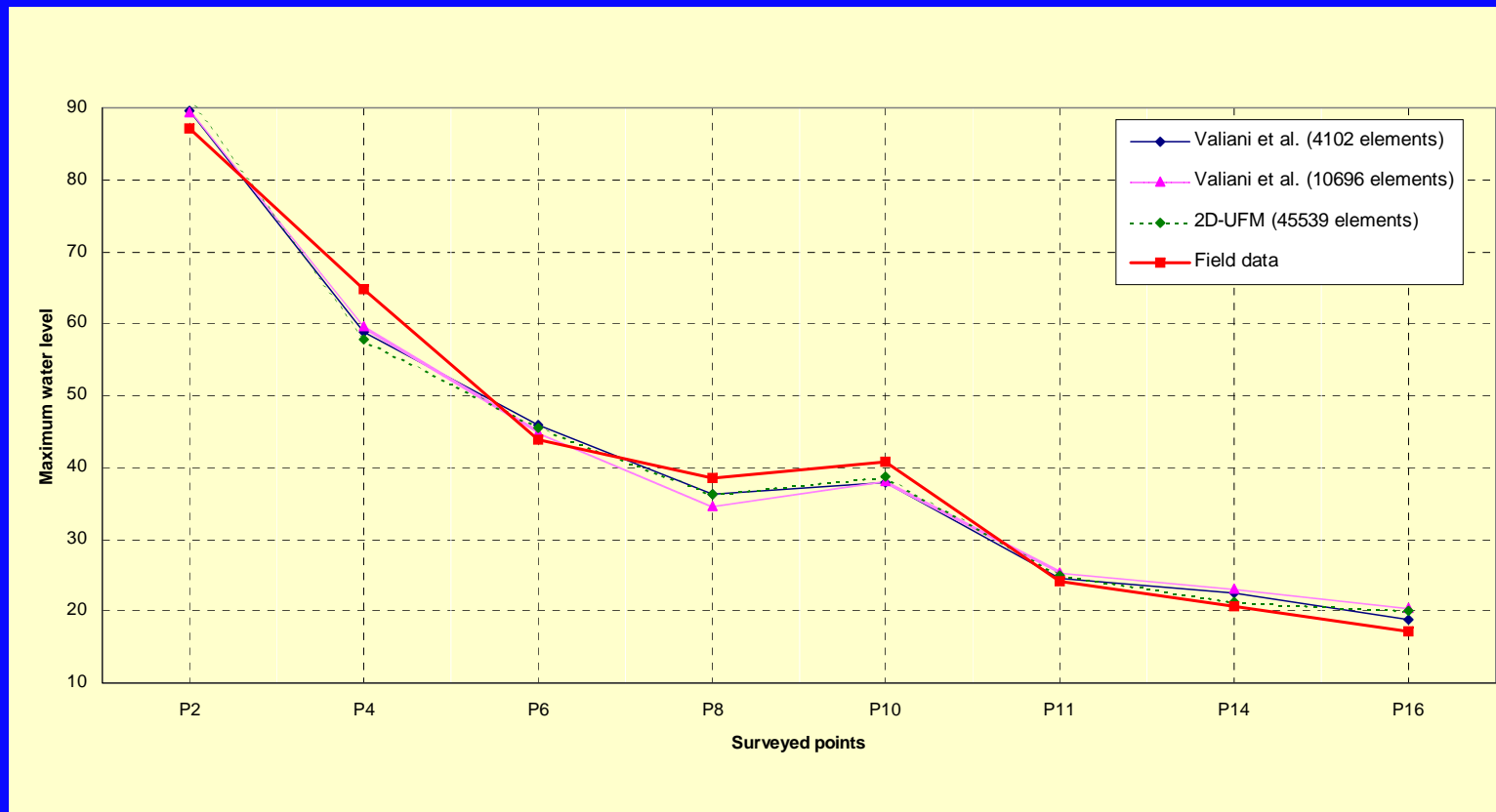
A few comparisons with ...



Points surveyed by police at right side: comparison between observed data and numerical results obtained from Valiani et al. (2002) and the writer's model 2D-UFM

Application to the Malpasset case ...

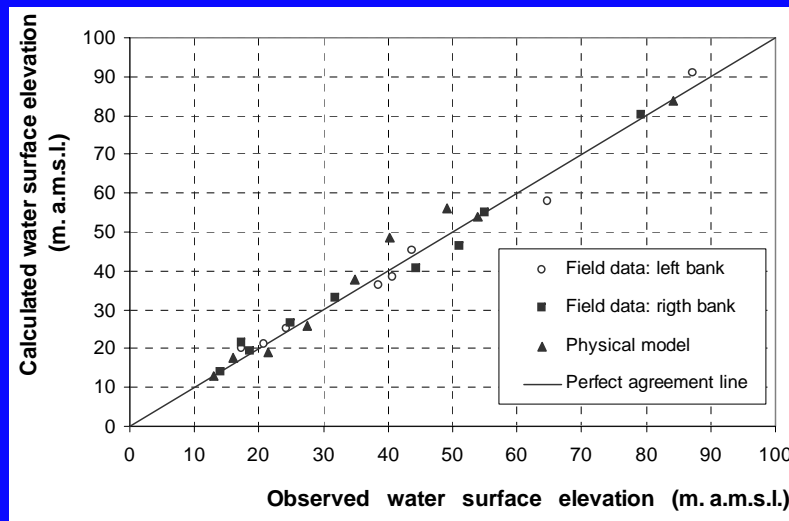
A few comparisons with...



Points surveyed by police at left side: comparison between observed data and numerical results obtained from Valiani et al. (2002) and the writers' model *2D-UFM*

Application to the Malpasset case ...

Comparison among results of the 2D_UFM model and field and laboratory observations



Grazie dell'attenzione !!