

ACCORDO DI COLLABORAZIONE SCIENTIFICA TRA REGIONE TOSCANA

E

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

DELL'UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI FIRENZE

PER

***ATTIVITA' DI RICERCA PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO***

***IDRAULICO NELLA REGIONE TOSCANA***

**Attività "F"**

**Relazione finale**

**APPLICAZIONI**

**F2- Ricostruzione eventi di piena  
eccezionali**

Gruppo di Lavoro:

Gruppo di Lavoro: Enio Paris (referente), Lorenzo Minatti (CERAFRI),  
Nicola Checchi (RT), Enzo Di Carlo, Giancarlo Trotta (CFR).

## **F2- Ricostruzione eventi di piena eccezionali**

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. INTRODUZIONE .....</b>	<b>3</b>
<b>3. RICOSTRUZIONE EVENTI: I FENOMENI IDROLOGICI E IDRAULICI .....</b>	<b>4</b>
3.1. GLI ASPETTI IDROLOGICI .....	5
3.2. GLI ASPETTI IDRAULICI .....	8
<b>4. ALTA LUNIGIANA: EVENTO ALLUVIONALE 25 OTTOBRE 2011 .....</b>	<b>17</b>
<b>5. FIUME ALBEGNA: EVENTO ALLUVIONALE 11-12 NOVEMBRE 2012 .....</b>	<b>22</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>26</b>

## **1. PREMESSA**

Nell'ambito dell'Accordo stipulato in data 19 dicembre 2012 tra la Regione Toscana e il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze, il Programma delle Attività prevede l'individuazione e la applicazione di metodologie idonee alla ricostruzione idrologica e idraulica di eventi alluvionali eccezionali e la applicazione ad un evento significativo verificatosi nel territorio toscano.

Nella presente relazione si espongono i criteri generali della metodologia proposta insieme ai risultati ottenuti nella ricostruzione dell'evento alluvionale che ha colpito il bacino del Fiume Magra nel novembre 2011.

La metodologia illustrata si basa sia sull'esperienza maturata nella ricostruzione di eventi eccezionali verificatisi nel territorio toscano (Versilia 1998, Magra 2011, Albegna 2012), sia sui risultati ottenuti dalle attività svolte nell'ambito dell'Accordo citato.

## **2. INTRODUZIONE**

Il verificarsi di un evento eccezionale spesso genera ingenti danni sul territorio con gravi conseguenze di varia natura (sociali, economiche, giuridiche, politiche) che rendono necessaria la caratterizzazione dell'evento a partire dal contesto meteorologico all'interno del quale si è sviluppato fino ad arrivare agli effetti al suolo che si sono manifestati.

La caratterizzazione dell'evento è un'operazione tanto più incerta quanto più piccole sono le scale spazio-temporali interessate: eventi che colpiscono bacini idrografici di piccole dimensioni (  $< 100 \text{ km}^2$  ), hanno anche tempi di evoluzione molto rapidi (  $< 5$  ore). Viceversa, per bacini di grandi dimensioni gli eventi hanno durate maggiori e la loro caratterizzazione risulta meno complessa. Ciò premesso la caratterizzazione dell'evento ha i seguenti obiettivi:

- a) Determinare la porzione di territorio interessato

- b) Censire e classificare gli effetti al suolo che l'evento ha generato (frane, danni alle infrastrutture, collassi arginali, alluvioni, ....)
- c) Associare all'evento il tempo di ritorno
- d) Stimare le portate massime verificatesi nel reticolo idrografico

Le principali attività connesse alle finalità sopra elencate risultano:

- Individuazione delle condizioni del bacino idrografico antecedenti l'evento (vegetazione, grado di saturazione, invasi, livelli idrometrici, stato delle opere in alveo)
- definizione delle condizioni meteo che hanno generato l'evento;
- ricostruzione del campo di precipitazione (intensità di pioggia, valori cumulati)
- ricostruzione delle portate in alveo (modelli idrologici e idraulici)

Di seguito si descrivono i criteri e le metodologie che derivano dall'esperienza sviluppata a seguito dello studio di eventi eccezionali, a partire dall'evento della Versilia del giugno 1996. In particolare si farà riferimento a bacini di piccole dimensioni che, per le caratteristiche sopra ricordate, sono quelli che presentano il grado di complessità maggiore e richiedono quindi una trattazione più estesa. All'interno di questa ricadono ovviamente anche le casistiche dei bacini di dimensioni maggiori.

### **3. RICOSTRUZIONE EVENTI: I FENOMENI IDROLOGICI E IDRAULICI**

I fenomeni idrologici, quali ad esempio l'intercettazione, il deflusso superficiale, l'infiltrazione, e i fenomeni idraulici, quali la generazione delle onde di piena e la loro propagazione, sono strettamente connessi e non è possibile definire una porzione del bacino idrografico ove avvengono solo fenomeni di un tipo. In via teorica si può affermare che i "versanti" ove non è presente un reticolo idrografico strutturato sono prevalentemente sede di fenomeni idrologici mentre i corsi d'acqua sono sede dei fenomeni idraulici. Con i modelli di tipo distribuito, ove è possibile distinguere tra zone di versante e zone di reticolo, si riesce ad effettuare una simulazione dei processi citati con maggiore affidabilità, anche se rimangono sempre incerti, o

comunque soggetti a calibrazione, parametri significativi quali le caratteristiche di saturazione del suolo e le velocità di trasferimento dei deflussi. Di seguito si descrivono i criteri che possono essere utilizzati nella definizione degli aspetti legati alla ricostruzione idrologica e idraulica tenendo comunque presente che difficilmente i due aspetti possono essere tenuti distinti.

### 3.1. Gli aspetti idrologici

La ricostruzione dell'evento sotto il profilo idrologico comprende essenzialmente le seguenti attività:

- *Raccolta e analisi dei dati meteorologici* e pluviometrici che hanno caratterizzato l'evento. I primi possono comprendere ad esempio le immagini IR da satellite, la mappa delle precipitazioni cumulate, la mappa delle fulminazioni che possono risultare utili a definire adeguatamente il territorio interessato dall'evento. I dati pluviometrici sono relativi ai valori di precipitazione registrati presso le stazioni di monitoraggio presenti sul territorio.
- *Caratterizzazione dell'evento in termini di tempo di ritorno*: in generale la valutazione è riferita alle altezze pluviometriche cumulate su diversi intervalli temporali (es.: 1 ora, 3 ore, 6 ore) ed è condotta mediante il confronto con gli andamenti statistici elaborati sulla base delle serie storiche disponibili.
- *Ricostruzione degli idrogrammi di piena in termini di portate*: ove siano disponibili le registrazioni delle altezze idrometriche, può essere tentata la ricostruzione dell'idrogramma delle portate di piena adottando un idoneo modello matematico in grado di simulare i principali processi idrologici e idraulici (intercettazione, deflusso superficiale, infiltrazione, trasferimento), da calibrare sulla base dei dati disponibili.
- In assenza di questi ultimi, occorre fare riferimento ad un modello che sia stato preventivamente calibrato sul bacino di interesse e che sia opportunamente adattato al sottobacino in esame.

La stima del tempo di ritorno per eventi estremi di precipitazione è un'operazione particolarmente delicata soprattutto per bacini idrografici non strumentati o non provvisti di una serie temporale sufficientemente estesa e affidabile di dati. Nell'ambito del presente accordo di collaborazione, e in particolare nelle attività B1, è stato affrontato il problema mediante l'analisi di frequenza regionale. Tale approccio consente di utilizzare contemporaneamente l'intera informazione pluviometrica disponibile sul territorio regionale riducendo il più possibile l'incertezza associata alla disomogeneità delle serie storiche osservate nei diversi siti di misura. Il territorio regionale è stato suddiviso in quattro regioni statisticamente e idrologicamente omogenee per ciascuna delle quali sono stati definiti i parametri del modello probabilistico TCEV – Two Component Extreme Value e i fattori di crescita, mentre la variabile indice (terzo livello di regionalizzazione) è stata spazializzata su tutta la regione mediante un'analisi multivariata funzione di diverse variabili geomorfoclimatiche.

Noti il fattore di crescita e la variabile indice è possibile determinare, per tutto il territorio regionale, l'altezza di pioggia per le durate prefissate e i tempi di ritorno associati.

Si riporta di seguito una breve sintesi della procedura operativa, rimandando alle relazioni specifiche per ogni ulteriore approfondimento [1].

Nota la durata  $t$  [ore] e l'altezza di pioggia  $h$  [mm] di un evento, è possibile stimare il tempo di ritorno dell'evento oppure stimare l'intervallo dei tempi di ritorno in cui l'evento è compreso, seguendo due possibili procedure di seguito riportate.

**A). Utilizzo dei parametri  $a$  e  $n$  della LSPP** - Nota la durata dell'evento, si confronta l'altezza di pioggia misurata con le altezze di pioggia stimate tramite la relazione:

$$h(t) = a t^n$$

con:  $h$  = altezza di pioggia [mm];  $t$  = durata dell'evento [ore],  $a$  e  $n$  parametri caratteristici per i tempi di ritorno 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni. La procedura può essere applicata in un punto o, considerando i valori medi delle altezze di pioggia, su un bacino idrografico.

**B) . Utilizzo dei valori estremi di altezza di pioggia  $h$**  - Per eventi con una durata pari ad una delle durate caratteristiche 1, 3, 6, 12 e 24 ore, è sufficiente confrontare l'altezza di pioggia misurata con quella determinata per i tempi di ritorno scelti (in un punto o su un bacino idrografico).

La ricostruzione degli idrogrammi di piena viene effettuata ricorrendo ai modelli idrologici. Sempre con riferimento alle attività sviluppate all'interno dell'Accordo di Collaborazione, le attività B2 prevedono lo sviluppo e l'adeguamento del modello idrologico MOBIDIC attualmente impiegato per la previsione degli eventi di piena con particolare riferimento al "tempo reale", al fine di renderlo maggiormente affidabile nei risultati ottenuti, compatibile e congruente anche con gli altri modelli idrologici impiegati per la Toscana.

A tal fine sono stati individuati i modelli distribuiti HEC-HMS e ALTO e implementati per la modellazione del bacino pilota dell'Ombrone Pistoiese, già oggetto di studi e approfondimenti da parte dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno. Per approfondimenti si rimanda alla documentazione prodotta nell'ambito dell'Accordo di Collaborazione [2].

### 3.2. Gli aspetti idraulici

La caratterizzazione idraulica di un evento consiste nella definizione dell'idrogramma di piena in sezioni significative del reticolo idrografico e del relativo tempo di ritorno. E' ovvio che se nelle sezioni significative fossero presenti stazioni idrometriche provviste di una scala di deflusso calibrata, l'idrogramma di piena sarebbe una "variabile misurata" e non "ricostruita".

Nelle sezioni di interesse si possono quindi presentare i seguenti casi:

- a) *è presente una stazione idrometrica con scala di deflusso tarata su un numero sufficiente di misure che includono anche eventi di piena: l'idrogramma delle portate può essere ricavato dall'idrogramma dei livelli applicando a questi la scala di deflusso nota.*
- b) *è presente una stazione idrometrica con scala di deflusso non tarata o tarata su poche misure, magari effettuate in concomitanza di modesti stati d'acqua: in tal caso occorre riverificarne l'affidabilità, anche in relazione ai fenomeni di mobilità del fondo, come evidenziato dagli studi effettuati nell'ambito del presente Accordo di Collaborazione [3].*
- c) *non sono presenti stazioni idrometriche.*

#### **Caso a)**

E' la situazione più fortunata, anche se la meno probabile. Pur potendo ricavare l'idrogramma delle portate di piena direttamente dalla scala di deflusso, è comunque sempre utile rilevare le tracce di piena nei tratti di interesse, ivi compreso quello della stazione idrometrica. Il rilievo delle tracce di piena deve essere condotto mediante strumentazione topografica a poca distanza temporale dall'evento per evitare che gran parte delle tracce lasciate dalla piena venga persa. Particolare attenzione deve essere rivolta all'identificazione corretta delle tracce di piena, distinguendo quelle associabili direttamente

alla superficie della corrente, e quindi riproducibili con un modello idraulico, da quelle prodotte per il manifestarsi di fenomeni localizzati anche temporanei (ostruzioni, urti, oggetti galleggianti).

### **Caso b)**

Anche in tal caso occorre procedere al rilievo delle tracce di piena con le modalità descritte per il Caso a). La verifica della scala di deflusso può essere condotta adottando un modello idraulico che, nel caso di tratti brevi, è sufficiente in moto permanente. Assegnando la condizione al contorno sufficientemente lontana dalla sezione di interesse, in modo da ridurre l'influenza di eventuali errori, si determina il valore della portata il cui profilo liquido meglio interpola le tracce di piena rilevate. In questa operazione entra in gioco anche la scabrezza idraulica del tratto considerato. Il tutto può essere fatto per successive approssimazioni, variando la scabrezza in modo da minimizzare, per una data portata, gli scarti tra altezze d'acqua calcolate e altezze d'acqua misurate con le tracce di piena. Una volta raggiunta la aratura del modello, si possono adottare vari valori di portata in modo da ottenere per la sezione di interesse la verifica dell'affidabilità delle scala di deflusso.

### **Caso c)**

In assenza di stazioni idrometriche, la stima dell'idrogramma delle portate è possibile solo combinando la modellistica idrologica con quella idraulica. In tal caso l'affidabilità dei risultati dipende dalla bontà del modello utilizzato e dalla sua calibrazione. Tanto più la calibrazione è basata su un bacino di dimensioni molto diverse da quello considerato, tanto minore è l'affidabilità attesa dei risultati. Per migliorare la qualità dei risultati sarebbe già sufficiente la stima della portata al colmo. In tal caso il rilievo delle tracce di piena è utile per determinare la portata il cui profilo liquido meglio si adatta alle tracce rilevate, assegnando un adeguato coefficiente di scabrezza. Può tuttavia capitare che le tracce di piena non siano visibili, o comunque presenti in scarsa quantità. In tal caso è necessario ricorrere all'acquisizione di testimonianze dirette e di materiale video e fotografico eventualmente disponibile. Nel caso di torrenti montani, ove la corrente è presumibile che si

muova in condizioni supercritiche o comunque prossime alle critiche si possono seguire i seguenti due criteri:

**Criterio di Grant [4]:** tale criterio si basa sull'ipotesi che gli alvei montani trasportano materiale liquido e solido mantenendosi in un regime prossimo alle condizioni critiche per la corrente liquida, vale a dire con valori del numero di Froude:

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{g \frac{\Omega}{W}}}$$

prossimi a 1. Nella definizione del numero di Froude,  $U$  è la velocità media della corrente,  $W$  è la larghezza di quest'ultima,  $\Omega$  è la sezione idraulica e  $g$  l'accelerazione di gravità.

In particolare, l'andamento del numero di Froude in funzione della pendenza è ricavato da Grant in base alla relazione:

$$Fr = 2.18 \left[ \ln \left( 1.65 \left[ \frac{\theta_{gr}}{S} \right] + 1.35 \right) \right] S^{0.5}$$

Tale relazione ha l'andamento riportata in Figura 1 ove è mostrato anche il confronto con i dati sperimentali reperibili in letteratura.

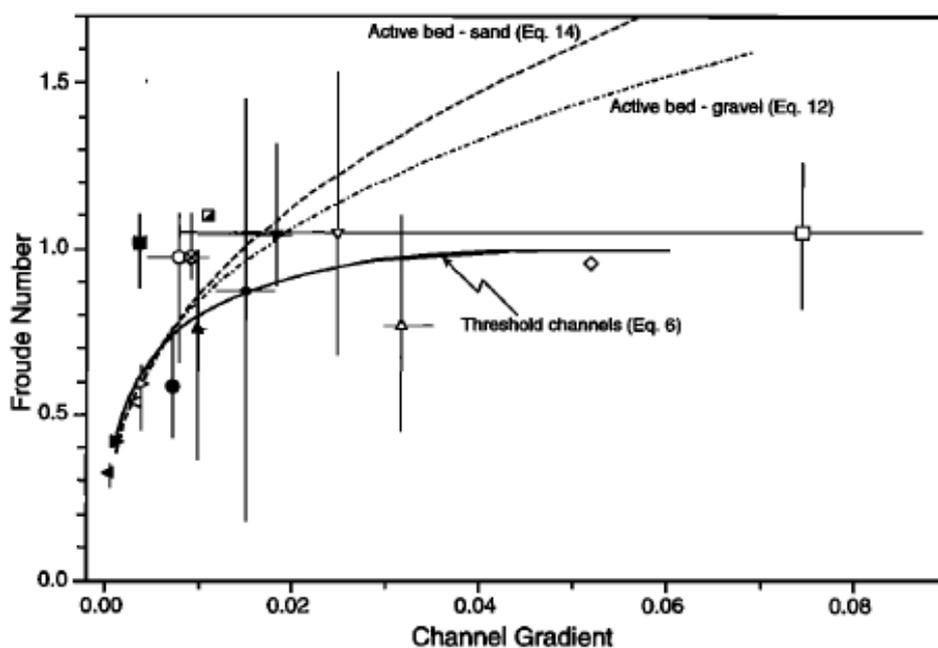


Figura 1 – Criterio di Grant [4]

Nella stessa figura sono riportati gli andamenti di Froude ottenibili con altre due formulazioni proposte da Parker. Si nota tuttavia come il criterio di Grant fornisca un miglior accordo con i dati sperimentali.

Assumendo pertanto che il valore di Froude uguale a 1 sia verificato durante l'evento di piena, la portata massima può essere calcolata come segue:

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{g \frac{\Omega}{W}}} = 1 \rightarrow U = \sqrt{g \frac{\Omega}{W}}$$
$$Q_{\max} = U \Omega_{\max} = \Omega_{\max} \sqrt{g \frac{\Omega_{\max}}{W}}$$

E' quindi sufficiente stimare la sezione idraulica e la sua larghezza in sommità.

**Criterio della velocità limite:** la stima della velocità media  $U$  e quindi della portata in transito per una determinata sezione idraulica si basa sulla valutazione della mobilità di grossi massi singoli. Ovviamente occorre avere la ragionevole certezza che un masso sia stato spostato dalla sua posizione iniziale a seguito dell'evento. Sotto tale ipotesi si può ricorrere alle formule empiriche che mettono in relazione la dimensione media del masso isolato con la velocità della corrente. Si può per esempio considerare la seguente formula di Sordo [5]:

$$U = 7.04 h^{0.05} D^{0.45}$$

dove  $h$  è la profondità media della corrente e  $D$  la dimensione media del masso, entrambi espresse in metri.

Un criterio analogo riferito non al singolo masso ma al movimento di insieme del materiale al fondo è stato proposto da Lenzi et Al. [6]. Tale criterio fornisce la portata critica per unità di larghezza dell'alveo,  $q_{ci}$ , in funzione della dimensione media del materiale  $D_i$  secondo la seguente formula:

$$q_{ci} = 1.17 D_i^{0.64}$$

Il cui andamento, ricavato da dati sperimentali raccolti sul Rio Cordon, è mostrato nella Figura 2.

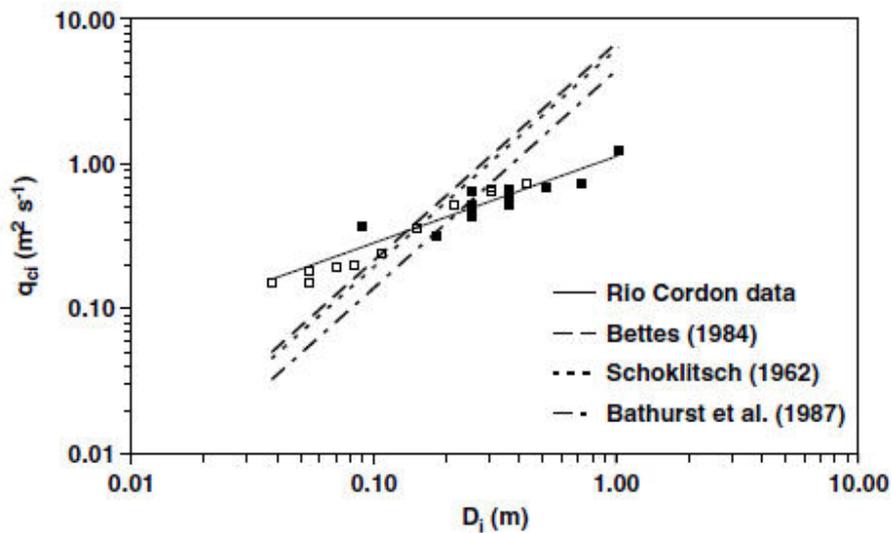


Figura 2 - Criterio di Lenzi et Al. [6]

### **Ulteriori criteri: la presenza di un invaso artificiale**

Indipendentemente dal tipo di bacino sotteso, la portata massima e l'idrogramma di piena possono essere definiti grazie alla presenza di invasi artificiali lungo il corso d'acqua interessato dall'evento di piena.

La metodologia è applicabile se sono noti i dati di base e cioè: le registrazioni dei livelli di invaso, delle portate sfiorate  $Q_u$  e la curva di invaso, vale a dire la relazione volumi-livelli caratteristica del serbatoio,  $V = f(y)$

Sotto tali ipotesi, utilizzando il principio di conservazione della massa è possibile ricostruire l'idrogramma delle portate in ingresso al lago,  $Q_i$ , e quindi l'idrogramma di piena generato dal bacino sotteso dall'invaso stesso.

Nella forma differenziale il principio di conservazione della massa (in tal caso del volume) può essere scritto nel modo seguente:

$$Q_i(t) - Q_u(t) = \frac{dV}{dt}$$

ove  $Q_i$  e  $Q_u$  rappresentano rispettivamente le portate in ingresso e in uscita al tempo  $t$ , mentre  $dV$  è la variazione del volume invasato nel tempo  $dt$ , volume che risulterà positivo per il tempo in cui  $Q_i(t)$  è maggiore di  $Q_u(t)$  (riempimento del lago), zero quando  $Q_i(t) = Q_u(t)$  (portata entrante uguale a quella uscente) e negativo quando  $Q_i(t)$  è minore di  $Q_u(t)$  (svuotamento del lago).

Nella precedente equazione la funzione incognita risulta l'idrogramma di ingresso  $Q_i(t)$ ; infatti la funzione  $Q_u(t)$  risulta nota dalle registrazioni delle portate scaricate che devono essere fornite dal Gestore dell'impianto, mentre la variazione di volume nel tempo può essere ricavata associando le variazioni di livello alla curva di invaso:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{df}{dy} \frac{dy}{dt}$$

La risoluzione dell'equazione precedente presuppone, oltre alla conoscenza della funzione  $f(y)$  anche l'andamento temporale del livello nell'invaso. Anche questo dato fa parte delle registrazioni che il Gestore è tenuto a effettuare e a rendere disponibili.

Si ottiene quindi l'andamento della portata in ingresso,  $Q_i(t)$ , ponendo:

$$Q_i(t) = Q_u(t) + \frac{dV}{dt}$$

e schematizzando alle differenze finite, al passo temporale  $n$ -esimo si ha:

$$Q_i^n = Q_u^n + \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

Per una migliore approssimazione può essere utilizzato il seguente schema numerico:

$$\frac{dV}{dt} \cong \frac{\Delta V}{\Delta t} = 0.5 \left[ \left( \frac{V^{n+1} - V^n}{t^{n+1} - t^n} \right) + \left( \frac{V^n - V^{n-1}}{t^n - t^{n-1}} \right) \right]$$

ove  $t$  indica l'ascissa temporale, l'apice  $n$  il passo temporale, e il rapporto  $\Delta V/\Delta t$  rappresenta il valore approssimato della derivata temporale  $dV/dt$ . Introducendo i dati dell'invaso tale derivata può anche essere espressa come segue:

$$Q_i^n = Q_u^n + \frac{\Delta V}{\Delta t} = Q_u^n + \frac{\Delta f}{\Delta y} \frac{\Delta y}{\Delta t}$$

Adottando un opportuno passo temporale  $\Delta t$ , da scegliere piccolo in relazione ai tempi caratteristici del fenomeno, è possibile ricostruire l'idrogramma delle portate in arrivo all'invaso che hanno dato luogo alle portate in uscita. Queste ultime sono rappresentate dall'insieme di tutte le portate evacuate dall'invaso, ossia quelle relative agli scarichi di fondo, di mezzo fondo e di superficie.

Tale criterio è stato utilizzato nella ricostruzione dell'idrogramma di piena nel bacino idrografico della Turrice di Galliciano a seguito dell'evento alluvionale del 19 giugno 1996.

L'applicazione è stata resa possibile dai dati che l'ENEL ha messo a disposizione in occasione degli studi condotti per le verifiche idrauliche post-evento. L'esperienza ha messo in evidenza quanto segue:

- il criterio descritto fornisce un bilancio di massa che in generale è rispettato entro tolleranze ampiamente accettabili;
- la definizione del colmo di piena è viceversa legato alla risoluzione dei dati relativi alle variazioni del livello di invaso,  $y(t)$ . Infatti, poiché le portate sono dipendenti dal gradiente temporale, e poiché la quantità  $\Delta V/\Delta t$  ha valori rapidamente variabili proprio in corrispondenza del picco di piena, la stima del colmo risulta tanto più accurata quanto maggiore è la definizione dei dati disponibili per la legge di riempimento. Nel presente caso si osserva che, proprio nel momento del gradiente massimo i dati hanno un passo temporale di 25'; interpolando linearmente si ha sicuramente una sottostima della portata al colmo mentre ipotizzando una variazione non lineare si ottengono stime più realistiche.

Ad oggi i Gestori degli invasi dispongono di registrazioni in continuo dei livelli di invaso, dalle quali deducono le portate scaricate sempre con andamento in continuo. E' il caso della applicazione di questo criterio condotta nell'ambito degli studi per la ricostruzione dell'evento che ha colpito l'Alta Lunigiana, come descritto nel paragrafo successivo.

### **Ulteriori criteri: la stima delle velocità superficiale della corrente di piena**

Per la ricostruzione dell'idrogramma di piena durante l'evento alluvionale del 19 giugno 1996 in Alta Versilia è stato applicato il criterio della stima delle velocità superficiale della corrente. Ciò è stato condotto nel tratto del Fiume Veza che attraversa l'abitato di

Seravezza ove è posizionato l'idrometro della rete di telerilevamento del Servizio Idrografico, circa 100 m a valle della confluenza tra il torrente Vezza e il torrente Serra.

L'idrometro è stato travolto dalla piena del 19 giugno. È comunque disponibile una registrazione parziale dei livelli idrometrici. Al fine di ottenere l'andamento delle portate defluite durante l'evento è necessario ricostruire una scala di deflusso per la sezione in esame. A tale scopo è stata utilizzata la formula di moto uniforme con il coefficiente di resistenza di Gauckler-Strickler:

$$Q = cAR^{\frac{2}{3}}i_f^{\frac{1}{2}}$$

dove:

c = coefficiente di Gauckler-Strickler [ $m^{1/3}s^{-1}$ ];

A = area della sezione [mq];

R = raggio idraulico [m];

$i_f$  = pendenza di moto uniforme.

La sezione in prossimità dell'idrometro è nota dai rilievi effettuati. La pendenza è desumibile dalle tracce di piena, anche queste rilevate immediatamente dopo l'evento di piena. Il calcolo fornisce un valore medio pari a 0.0075 che coincide con la pendenza media del fondo per lo stesso tratto. Ciò avvalorava l'ipotesi di assumere uno schema di moto uniforme. In corrispondenza della stazione idrometrica, l'area della sezione fino al massimo contenimento è di 95 mq. Le sezioni a monte e a valle ove si dispone delle altezze di piena mostrano una sezione liquida leggermente superiore (circa 105 mq). Si assume una sezione rettangolare equivalente pari a 100 mq, e un'altezza d'acqua di 4.60 m.

Assumendo un coefficiente di Strickler per la sezione pari a  $30 m^{1/3}/s$ , le caratteristiche della corrente nel tratto considerato risultano le seguenti:

Altezza d'acqua = 4.60 m

Area liquida = 100 mq

Raggio idraulico	=3.23 m
Velocità media	=5.65 m/s
Portata	=565 mc/s

Una verifica, seppure di prima approssimazione di tale risultato può essere effettuata analizzando le riprese video disponibili nei tratti di interesse. In particolare, dalla osservazione delle immagini è possibile effettuare una valutazione della velocità superficiale della corrente stimando quella di avanzamento dei corpi galleggianti. Nel tratto compreso tra il Ponte Nuovo e il Ponte Passerella, nell'abitato di Seravezza, l'analisi delle immagini offrono una stima della velocità superficiale, media sul tratto, pari a 4.35 m/s. Tale valore si assume coincidente con il valore della velocità media su tutta la sezione.

La sezione liquida, nel tratto considerato delle immagini, risulta mediamente di 120-130 mq per cui si ottiene un valore della portata a monte della confluenza con il t. Serra di circa 520-565 mc/s.

Una seconda verifica, sempre basata sulla stima della velocità di avanzamento dei galleggianti, è stata effettuata dall'analisi delle immagini subito a monte della curva di S.Bartolomeo. In tale tratto si è verificata una velocità superficiale pari a 3.7 m/s. La sezione idraulica al livello arginale è di 158 mq. Assumendo anche in tal caso che il valore stimato di velocità coincida con il valore medio sulla sezione, si avrebbe una portata di 585 mc/s.

Sulla base dei risultati sopra esposti è stato assunto un valore medio del picco di piena pari a 571 mc/s.

#### **4. ALTA LUNIGIANA: EVENTO ALLUVIONALE 25 OTTOBRE 2011**

Sin dai primi giorni successivi all'evento alluvionale del 25 ottobre 2011 sono state avviate le attività di ricognizione finalizzate ad individuare le prime azioni da intraprendere per un corretto inquadramento e analisi del fenomeno alluvionale.

In particolare, nel un primo sopralluogo del 31 ottobre sono state rilevate le tracce di piena del Fiume Magra su un tratto di circa 2000 metri nella città di Aulla. Ciò al fine di acquisire dati preziosi che altrimenti, considerata la rapida evoluzione delle attività di ripristino nel centro urbano, sarebbero andati persi.

Le attività si sono poi spostate nelle aree dei bacini montani maggiormente colpite dall'evento, acquisendo ulteriori tracce di piena e altri dati a terra utili alla ricostruzione dell'evento, come per esempio le sezioni idrauliche, le caratteristiche del materiale movimentato, i principali dissesti e la dinamica che presumibilmente li ha generati.



*Fig. 3 - Il rilievo delle tracce di piena*

Il rilievo delle tracce di piena lungo il corso principale del Fiume Magra è stato successivamente esteso al tratto compreso tra la confluenza con il Fiume Vara e l'abitato di Pontremoli.

Il riconoscimento delle tracce di piena al di fuori dei centri urbani si basa essenzialmente sugli alti depositi di detriti legnosi, sui segni lasciati in corrispondenza di manufatti, su testimonianze dirette dei residenti.

Particolarmente delicato è il riconoscimento delle tracce di piena in presenza di vegetazione. In tal caso occorre individuare quel livello che appare coerente con i depositi di piccoli legni, fogliame, materiale plastico ubicato in diverse posizioni, assumendone un valore medio (fig. 4)



Fig. 4. Le tracce di piena in presenza di vegetazione

ATTIVITÀ F – Applicazioni

I dati raccolti sul terreno, insieme alla mappatura dei dissesti e delle precipitazioni elaborate dalla Regione Toscana hanno consentito di perimetrare la porzione di territorio investita dall'evento alluvionale (Fig. 5).

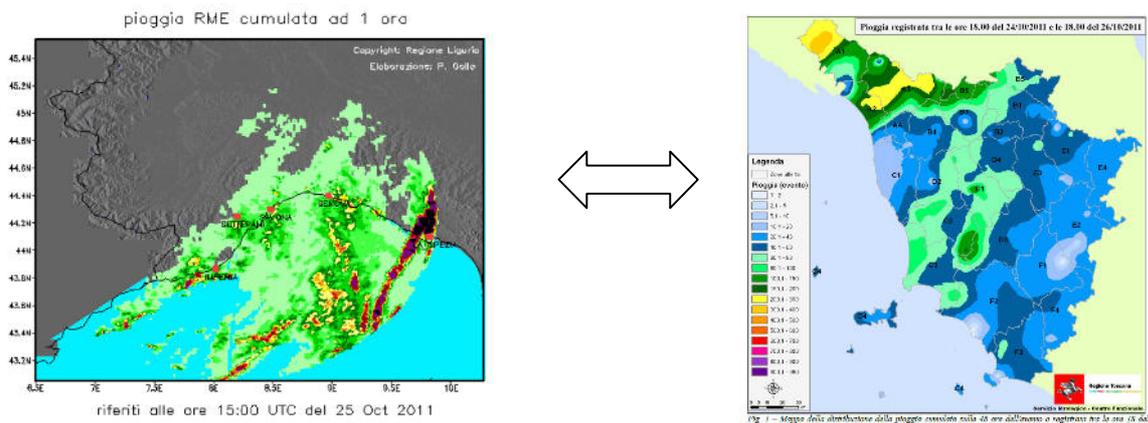
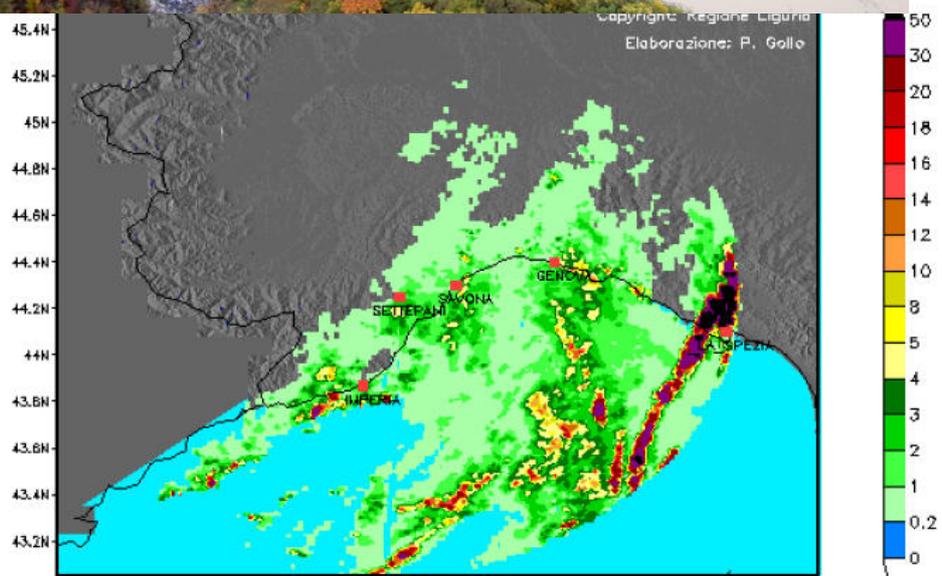


Fig. 5 - Elaborazione e combinazione di tematismi per la definizione del territorio interessato dall'evento. Nel riquadro in basso è indicata la mappatura dei dissesti elaborata dagli Uffici del Genio Civile della Regione Toscana, mentre le linee color magenta rappresentano i limiti approssimativi della parte più intensa della perturbazione dedotte dalla sovrapposizione delle diverse informazioni.

La ricostruzione degli idrogrammi di piena per i bacini montani, per i quali non esiste alcuna stazione idrometrica, si è basata sui criteri esposti in precedenza, in particolare attraverso l'acquisizione delle tracce di piena, l'applicazione del criterio di Grant e quello della velocità limite. La presenza di un invaso sul Torrente Teglia (Fig. 6) ha poi consentito l'acquisizione degli idrogrammi in ingresso e in uscita dall'invaso stesso.



In tal caso il Gest  
portate in ingresso all'  
della figura 7.



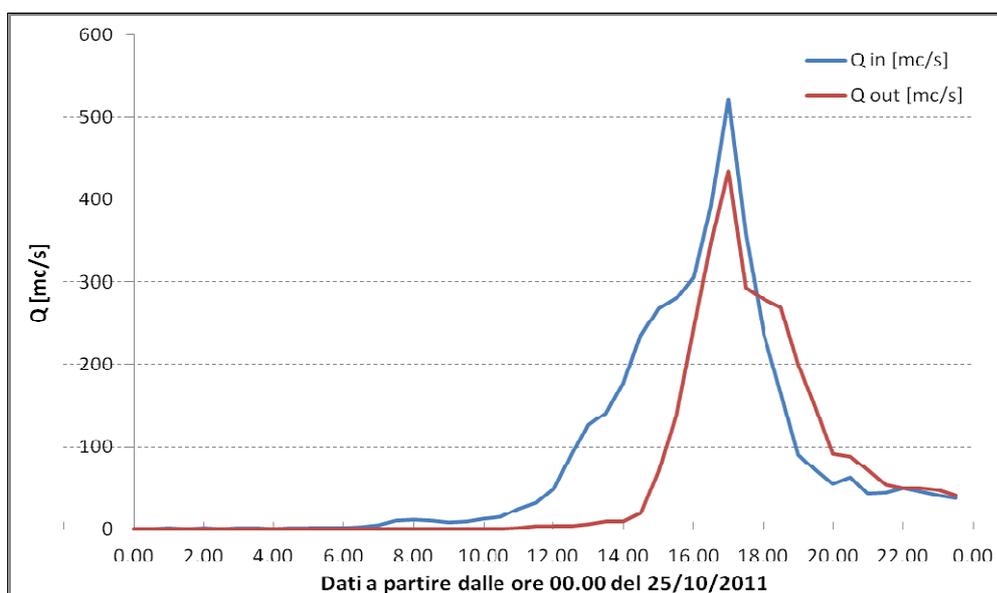


Fig. 6 - Invaso della Rocchetta: idrogrammi delle portate in ingresso e in uscita per l'evento del 25/10/2011

## 5. FIUME ALBEGNA: EVENTO ALLUVIONALE 11-12 NOVEMBRE 2012

Nell'ambito delle attività connesse alla ricostruzione dell'evento alluvionale che l'11 novembre 2012 ha colpito il bacino del F. Albegna, si è ritenuto necessario effettuare una prima verifica circa l'evoluzione altimetrica dell'alveo del F. Albegna.

A tale scopo sono stati effettuati sopralluoghi e rilievi speditivi per una valutazione delle quote del fondo alveo a seguito dell'evento di piena. Sono stati inoltre raccolti i dati disponibili relativi a profili longitudinali del corso d'acqua.

In particolare, le misure dello stato post evento sono state possibili solo in corrispondenza di due ponti sul F. Albegna, il ponte Barca del Grazi e il ponte S.S. Aurelia. Non è stato preso in considerazione il ponte della Marsiliana in quanto interessato da intensi fenomeni di tipo localizzato non rappresentativi della dinamica generalizzata del corso d'acqua. Ovviamente, al fine di comprendere con maggiore completezza e affidabilità la evoluzione altimetrica del corso d'acqua, si ritiene necessario effettuare una campagna di rilievi topografici di dettaglio a completamento di quanto emerso dalle attività qui descritte.

#### *I dati disponibili*

Il Consorzio di Bonifica Osa-Albegna ha reso disponibile i profili longitudinali del corso d'acqua relativi all'anno 1952 e all'anno 1967, estesi dalla foce fino al limite del comprensorio poco a monte della confluenza con il T. Elsa, per una lunghezza complessiva di circa 18 km.

Il Genio Civile di Grosseto ha reso disponibile la documentazione dei rilievi topografici relativa al Progetto Definitivo per gli Interventi di Messa in Sicurezza Idraulica sul Fiume Albegna. I rilievi consistono in 60 sezioni trasversali su una lunghezza complessiva di circa 10 km a partire dalla foce.

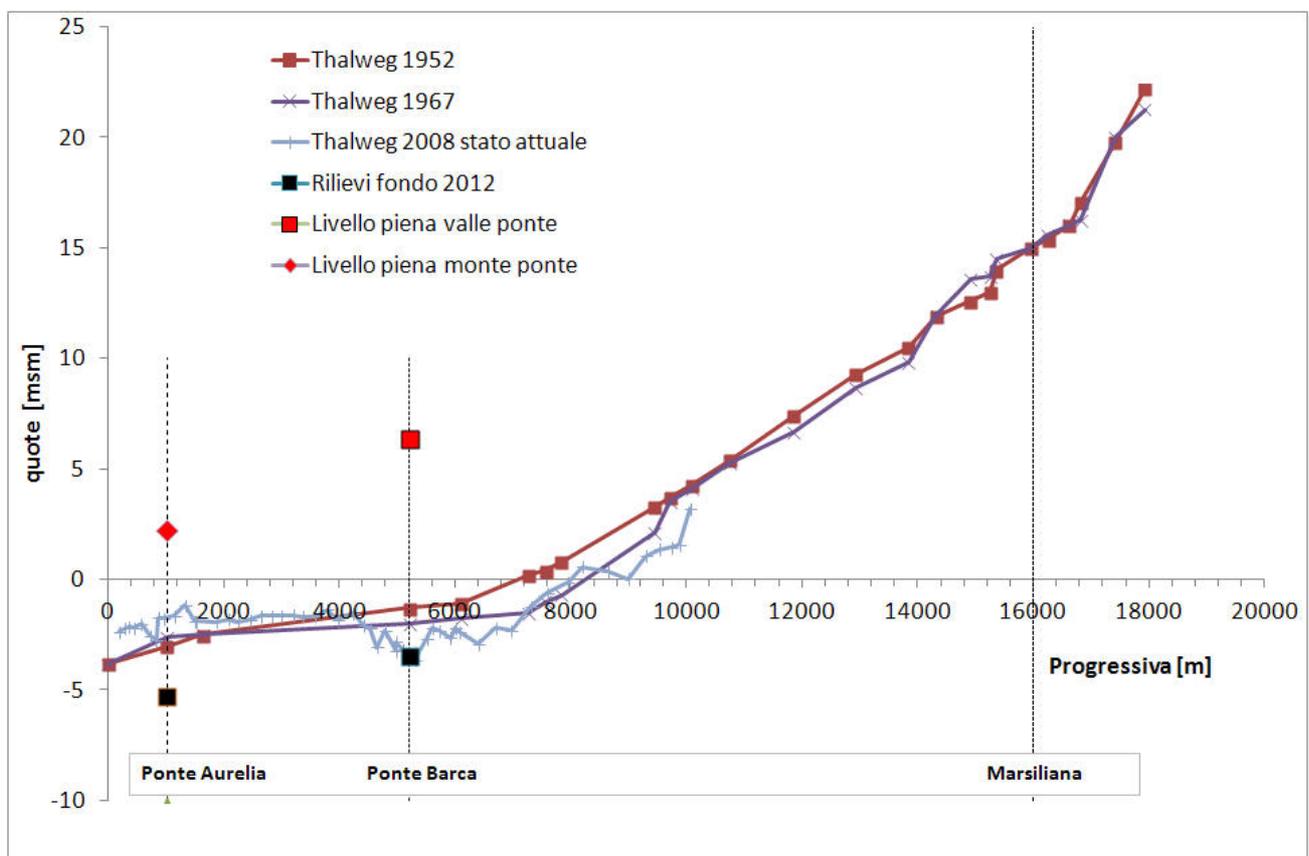
In data 21 novembre sono state effettuate misure speditive del fondo alveo e delle tracce di piena in corrispondenza del Ponte SS Aurelia e del Ponte Barca del Grazi.

I dati raccolti sono stati elaborati e messi a confronto come di seguito descritto.

#### *L'analisi dei dati*

I tre profili longitudinali sono stati messi a confronto come riportato nella Figura 1, dalla quale si possono trarre le seguenti considerazioni:

- Per il tratto di monte del f. Albegna compreso tra la confluenza con il t. Patrignone e la località Marsiliana (circa 8 km), si hanno disposizione i soli profili del 1952 e del 1967 che mostrano, durante quel periodo, un sostanziale equilibrio del corso d'acqua.
- A valle della confluenza del t. Patrignone, ai 2 profili suddetti si aggiunge il profilo del 2008. Il confronto del profilo del 1952 con quello del 1967 rileva una tendenza all'erosione che risulta massima nel tratto di monte e va via via attenuandosi verso la foce. Il confronto con il profilo recente del 2008 conferma questa tendenza fino al tratto poco a valle del ponte Barca; mentre sembrerebbe suggerire una tendenza al deposito negli ultimi 4 km prima della foce. La tendenza erosiva del tratto di monte appare confermata dalla misura effettuata dal ponte Barca, mentre la misura al ponte Aurelia sembra rivelare ancora una tendenza all'erosione che verosimilmente si è verificata a seguito del recente evento alluvionale. Tale tendenza appare anche confermata dalla rimozione della barra di foce, attualmente non presente (Fig. 8) che invece risultava presente prima dell'evento.



*Fig. 7 - Fiume Albegna: profili del Thalweg e rilievi speditivi effettuati dopo l'evento del novembre 2012*



*Figura 8: Foto della foce del F. Albegna dal Ponte SS Aurelia ( 21/11/2012).*

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Caporali E., Chiarello V., Rossi G., 2014, *Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme*, Accordo di Collaborazione Scientifica tra Regione Toscana e Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze per Attività di Ricerca per la Mitigazione del Rischio Idraulico nella Regione Toscana, *macroattività b - modellazione idrologica, attività b1: regionalizzazione precipitazioni*.
- [2] Castelli F., Gardin L., Caparrini F., Ercolani G., Mazzanti B., Di Carlo E., Turi A., Piani F., 2014, Accordo di Collaborazione Scientifica tra Regione Toscana e Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze per Attività di Ricerca per la Mitigazione del Rischio Idraulico nella Regione Toscana, *macroattività b - modellazione idrologica, attività b2: modellazione idrologica caso pilota e implementazione Mobidic*
- [3] Paris E., Minatti L., Checchi N., Di Carlo E., Trotta G., 2014, Accordo di Collaborazione Scientifica tra Regione Toscana e Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze per Attività di Ricerca per la Mitigazione del Rischio Idraulico nella Regione Toscana, *macroattività F - Applicazioni, attività F1: rete monitoraggio idropluviometrica: verifica e taratura*
- [4] Grant G., 1997, *Critical flow constrains flow hydraulics in mobile-bed streams:A new hypothesis*, WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 33, NO. 2, PAGES 349–358, FEBRUARY 1997
- [5] Sordo, S., *Critical flow constrains flow hydraulics in mobile-bed streams:A new hypothesis*, WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 33, NO. 2, PAGES 349–358, FEBRUARY 1997
- [6] Lenzi M.A., Mao L., Comiti F., 2006, *When does bedload transport begin in steep boulder-bed streams?* HYDROLOGICAL PROCESSES, *Hydrol. Process.* 20, 3517–3533 (2006) , Published online 24 April 2006 in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com). DOI: 10.1002/hyp.6168