

Ricostruzione idrologica dell'evento del 9/10 settembre 2017 nella provincia di Livorno (bacini da Ugione a Chioma compresi)

Prof. Ing. Fabio Castelli

6 gennaio 2018.

Sommario

Oggetto dello studio e metodologia.....	2
Modellazione afflussi-deflussi e propagazione della piena nel reticolo idrografico con modello a parametri distribuiti MOBIDIC.....	2
Approfondimenti sulle esondazioni e sul plausibile funzionamento delle casse d'espansione lungo il corso del Rio Maggiore.....	3
Rivalutazione, a seguito dell'evento, delle portate di progetto per diversi tempi di ritorno	3
Caratterizzazione della zona di studio e dati pluviometrici in ingresso	4
Ricostruzione dell'evento del 9-10 settembre: portate idrologiche	7
Portate al colmo e idrogrammi di piena	7
Portate massime per Tr 200 e LSPP aggiornate al 2012.....	10
Fattore di amplificazione delle portate massime di evento rispetto a quella per Tr 200	12
Approfondimento sul bacino del Rio Maggiore per la valutazione preliminare del funzionamento delle casse d'espansione.....	13
Valutazione dei volumi di allagamento	13
Modellazione delle casse d'espansione e degli allagamenti nel modello MOBIDIC	15
Risultati: andamenti di volumi, livelli e portate nelle casse d'espansione.....	17
Rivalutazione delle portate di progetto per Tr 200 a seguito dell'evento	21
Aggiornamento locale delle LSPP	21
Calcolo delle portate massime per Tr 30, 100 e 200 anni con le LSPP aggiornate dopo l'evento 2017	25
APPENDICE A - Metodo di calcolo delle portate di piena per assegnati tempi di ritorno.....	29
Impostazione dati geografici	29
Generazione di ietogrammi di progetto per assegnati tempi di ritorno e durate variabili.....	29
Calcolo degli idrogrammi di piena	29
Selezione degli idrogrammi critici	30
Salvataggio dei risultati	30
APPENDICE B - Tabella portate massime per Tr 30, 100, 200 anni (LSPP aggiornate dopo evento 2017)	31

Oggetto dello studio e metodologia

Lo studio qui descritto ha per oggetto la ricostruzione, su base idrologica, degli effetti al suolo dell'evento di pioggia eccezionale che ha colpito la provincia di Livorno la notte fra il 9 e il 10 settembre 2017. La zona presa in esame è quella compresa fra i bacini dell'Ugione e del Chioma.

Sono stati effettuati tre diversi livelli di approfondimento, con le metodologie riassunte brevemente qui sotto, aventi lo scopo di:

- valutare le portate di piena dell'evento e la loro eccezionalità;
- fornire una stima di massima delle principali caratteristiche delle esondazioni provocate dall'evento;
- aggiornare, in conseguenza dell'evento, gli idrogrammi di piena di progetto con tempo di ritorno preassegnato per il reticolo idrografico della zona oggetto di studio.

Modellazione afflussi-deflussi e propagazione della piena nel reticolo idrografico con modello a parametri distribuiti MOBIDIC.

Per la descrizione del modello idrologico a parametri distribuiti MOBIDIC, utilizzato nel presente studio, si rimanda alla seguente bibliografia scientifica:

- Campo L., F. Caparrini and F. Castelli, 2006. Use of multi-platform, multi temporal, remote sensing data for calibration of a distributed hydrological model: and application in the Arno basin, Italy. *Hydrological Processes*, **20**, 2693-2712.
- Castelli F., G. Menduni and B. Mazzanti, 2009. A distributed package for sustainable water management: A case study in the Arno basin.. In: H. J. Liebscher, R. Clarke, J. Rodda, G. Schultz, A. Schumann, L. Ubertini, G. Young. *The Role of Hydrology in Water Resources Management*, pp. 52-61, Wallingford.
- Yang, J, F. Castelli, Y. Chen, 2014. Multiobjective sensitivity analysis and optimization of distributed hydrologic model MOBIDIC. *Hydrol. and Earth System Sci.*, **18**, 4101-4112.
- Yang, J., D. Entekhabi, F. Castelli, L. Chua, 2014. Hydrologic response of a tropical watershed to urbanization. *J. of Hydrology*, **517**, 538-546.
- Castillo A., F. Castelli and D. Entekhabi, 2015. An entropy-based measure of hydrologic complexity and its applications. *Water Resour. Res.*, **51**, 5145-5160.
- Castillo A., F. Castelli and D. Entekhabi, 2015. Gravitational and capillary soil moisture dynamics for distributed hydrologic models. *Hydrol. and Earth System Sci.*, **19**, 1857-1869.
- Ercolani, G. and F. Castelli, 2017. Variational assimilation of streamflow data in distributed flood forecasting. *Water Resour. Res.*, 10.1002/2016WR019208.

I dati fondamentali in ingresso al modello sono:

- Dati pluviometrici dell'evento dalle stazioni in tempo reale di Stagno, Colle Salvetti, Livorno, Valle Benedetta, Quercianella.
- Reticolo idrografico e di gestione L.R. 79/2012.
- Modello digitale del terreno a maglia 10x10 m, fonte Regione Toscana.
- Strato informativo 'suoli' da studio DICeA per Regione Toscana, aggiornamento 2015.
- LSPP da Servizio Idrologico Regionale, aggiornamento 2012.

L'applicazione del modello MOBIDIC alla simulazione di eventi di piena richiede la calibrazione dei parametri cinematici di versante e del reticolo. In assenza di misure idrometrica sui bacini di studio, si è assunta come valida la calibrazione effettuata nell'ambito dello studio DICeA per conto della Regione Toscana sulle portate di piena dei bacini Toscana Nord e Versilia (aggiornamento 2017).

I risultati principali di questa prima fase dello studio sono:

- Portate massime e idrogrammi di evento in tutti i rami del reticolo di gestione, più avanti rappresentati graficamente su circa 40 sezioni di controllo, in particolare in prossimità di tombamenti, attraversamenti, casse di espansione ecc., senza considerazione degli effetti di laminazione dovuti ad esondazioni e funzionamenti delle casse d'espansione.
- Aggiornamento delle portate massime per Tr 100 e 200 anni in tutti i rami del reticolo di gestione, sulla base delle LSPP aggiornate al 2012, e loro confronto con stime da studi precedenti.
- Fattore di amplificazione delle portate massime idrologiche di evento rispetto a quelle per Tr 200.

Approfondimenti sulle esondazioni e sul plausibile funzionamento delle casse d'espansione lungo il corso del Rio Maggiore

Per valutare gli effetti delle esondazioni sulla laminazione delle onde di piena, limitatamente al bacino del Rio Maggiore, è stato attivato il modulo 'casse d'espansione' nel modello MOBIDIC. A tal fine si sono considerati i seguenti dati in ingresso:

- Informazioni qualitative e quantitative sulle casse d'espansione sul Rio Maggiore provenienti da:
 - a. *Studio idraulico del bacino del Rio Maggiore ed ottimizzazione delle opere di messa in sicurezza, Prof. Stefano Pagliara, 2004-2008;*
 - b. *Piano Strutturale del Comune di Livorno, Quadro Conoscitivo Idraulico, AA., VV., 2014.*
- Valutazione dei volumi esondati lungo l'asta del Rio Maggiore, comunicazione Ufficio Genio Civile di Livorno, novembre 2017.

I risultati principali di questa seconda fase dello studio sono:

- Idrogrammi di piena lungo il Rio Maggiore tenendo conto degli effetti di laminazione dovuti ad esondazioni e funzionamenti delle casse d'espansione.
- Andamenti temporali di portate, volumi e livelli relativi al funzionamento delle casse d'espansione lungo il Rio Maggiore.
- Confronto fra gli idrogrammi di evento lungo la parte terminale del Rio Maggiore con e senza effetti di laminazione da esondazioni e casse d'espansione.

Rivalutazione, a seguito dell'evento, delle portate di progetto per diversi tempi di ritorno

L'eccezionalità dell'evento suggerisce la necessità di un aggiornamento delle LSPP da utilizzare per le stime delle portate di progetto per nuovi interventi di riduzione del rischio idraulico nella zona di studio. In attesa di una sistematica rivisitazione delle LSPP da parte del Servizio Idrologico Regionale, ai soli fini del presente studio è stata formulata e applicata una metodologia speditiva di aggiornamento delle sole LSPP di Stagno, Colle Salvetti, Livorno, Valle Benedetta e Quercianella. Le LSPP aggiornate sono state quindi utilizzate in ingresso al modello MOBIDIC analogamente a quanto effettuato nella prima fase dello studio.

I risultati principali di questa terza fase dello studio sono:

- Aggiornamento delle LSPP per le stazioni pluviometriche di Stagno, Colle Salvetti, Livorno, Valle Benedetta, Quercianella tramite metodologia speditiva locale.
- Ricalcolo delle portate massime e degli idrogrammi sintetici di progetto per Tr 30, 100 e 200 anni in tutti i rami del reticolo di gestione con le nuove LSPP.

Caratterizzazione della zona di studio e dati pluviometrici in ingresso

La planimetria generale della zona di studio, delimitata a nord dal bacino del Torrente Ugione e a sud da quello del Torrente Chioma, è riportata in Figura 1, con evidenziazione del reticolo idrografico modellato e dell'areale ad esso contribuente, ricostruito sulla base del modello digitale del terreno. Sono riportate anche le posizioni dei pluviometri e dei corrispondenti poligoni di Thiessen utilizzati per la distribuzione spaziale delle stime puntuali. Sono stati esclusi dallo studio alcuni torrenti minori con sbocco a mare e areale idrologico inferiore a 1 km² e la zona del centro cittadino. Gli areali dei bacini considerati sono riportati in Tabella 1.

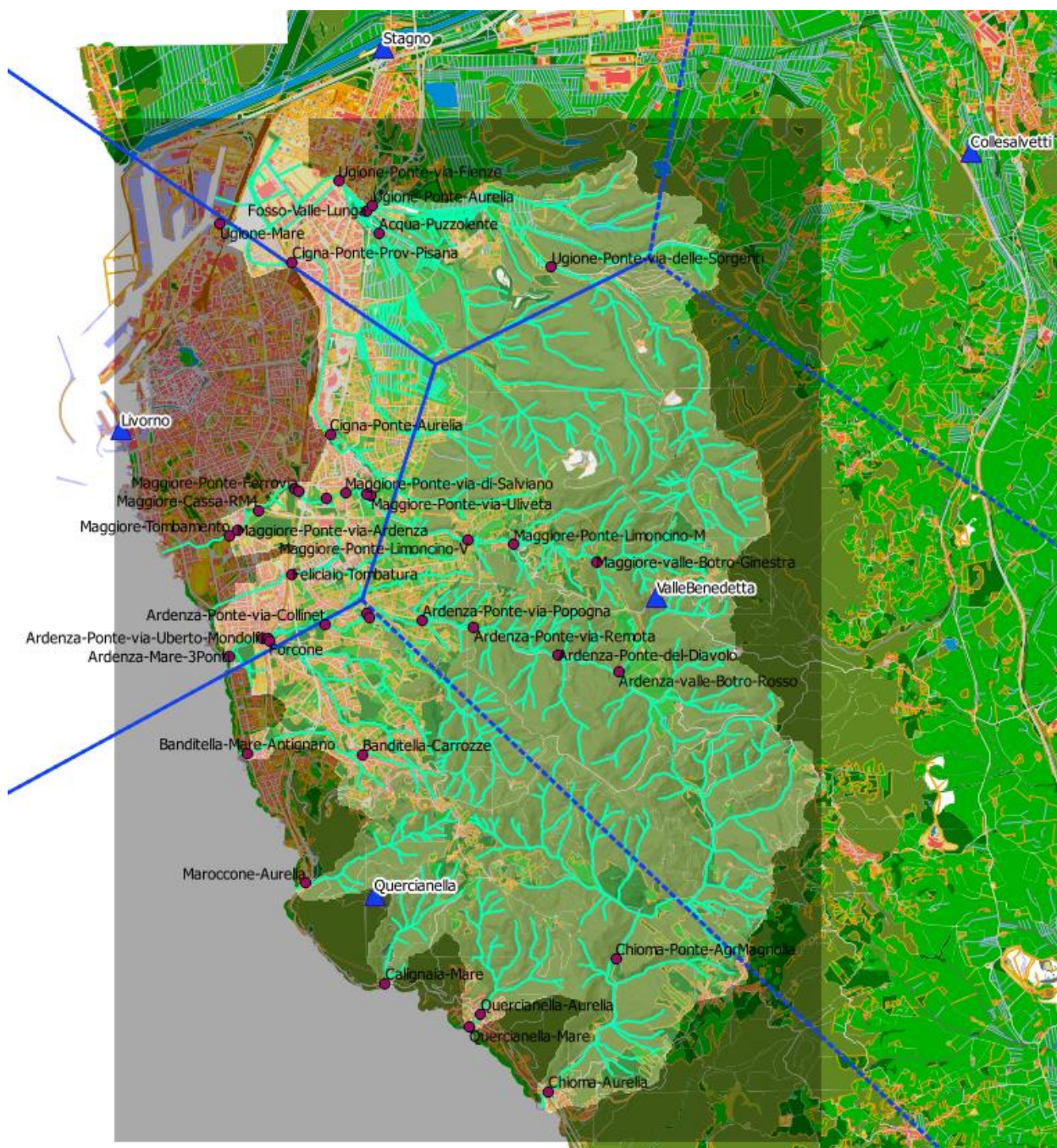


Figura 1 - Planimetria generale della zona di studio, con indicazione dei pluviometri e dei relativi topoi e delle sezioni del reticolo per le quali si riportano i risultati di dettaglio

Corso d'acqua	Area bacino sotteso (km²)
Torrente Ugione	33.184
Rio Maggiore	7.997
Botro Feliciaio	2.212
Rio Ardenza	21.190
Fosso della Banditella (Botro delle Carrozze)	1.710
Fosse del Maroccone	2.168
Botro di Calignaia	1.638
Botro di Quercianella	3.333
Torrente Chioma	18.706

Tabella 1 - Corsi d'acqua e area dei bacini sottesi

Il modello MOBIDIC rappresenta i processi di infiltrazione e produzione di deflusso sulla base di tre parametri fondamentali del suolo, considerati in forma distribuita:

- La conducibilità idraulica a saturazione dello strato superficiale
- La capacità idrica specifica (volume per unità di area) al limite della capacità di campo
- La capacità idrica specifica (volume per unità di area) compresa fra limite della capacità di campo e limite di saturazione.

Le mappe di tali parametri utilizzate nel presente studio (da fonte studio DICeA per Regione Toscana, aggiornamento 2015) sono riportate nelle Figure 2-4.

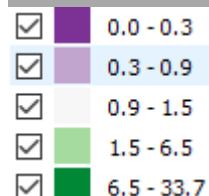
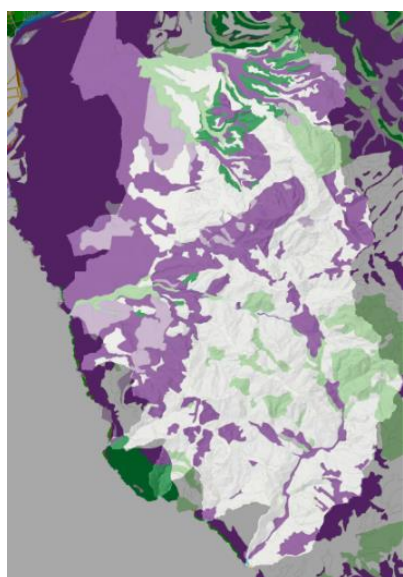


Figura 2 - Conducibilità idraulica a saturazione [cm/ora]

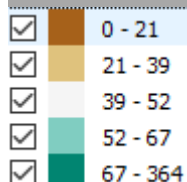


Figura 3 - Capacità del suolo fra saturazione e capacità di campo [mm]

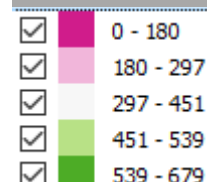


Figura 4 - Capacità di campo [mm]

Le coordinate dei pluviometri considerate nello studio, sia per la ricostruzione dell'evento che per la stima delle portate di progetto, sono riportate in Tabella 2 insieme ai parametri delle linee segnalatrici (aggiornamento 2012) per tempi di ritorno 100 e 200 anni.

Gli ietogrammi registrati durante l'evento del 9/10 settembre 2017 e le corrispondenti cumulate sono riportati in Figura 5.

Pluviometro	Codice	E_GB	N_GB	T _r 100		T _r 200	
				a	n	a	n
Livorno	1005981	1604935	4822119	97.98	0.299	109.54	0.317
Quercianella	11000513	1608937	4814774	90.72	0.291	101.42	0.309
Valle Benedetta	1001961	1613400	4819473	88.61	0.282	99.06	0.300
Collesalveti	11000036	1618359	4826518	75.94	0.277	84.75	0.284
Stagno	1005342	1609079	4828152	84.07	0.275	93.81	0.282

Tabella 2 - Parametri delle linee segnalatrici (aggiornamento al 2012, fonte Settore Idrologico Regionale)

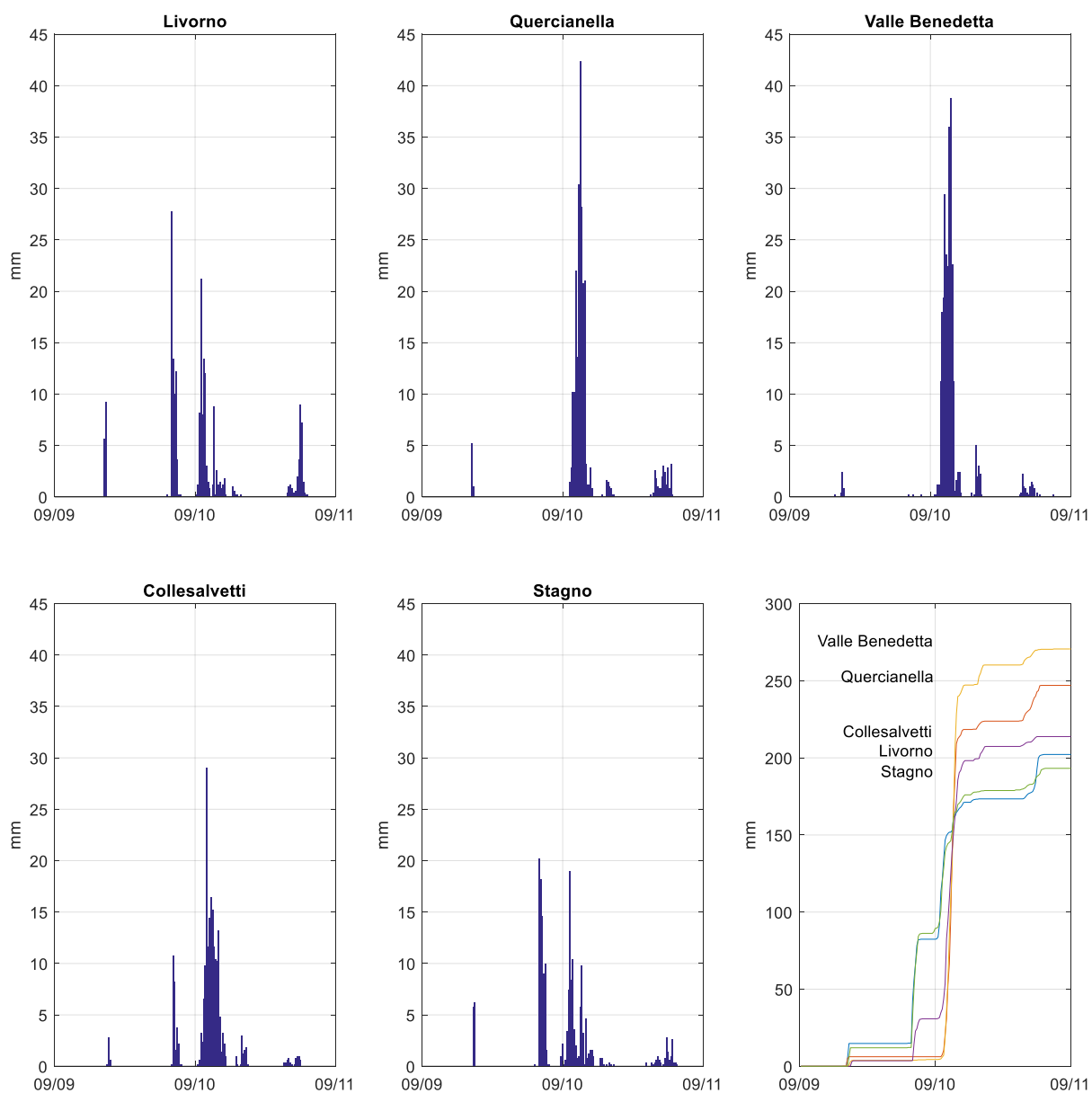
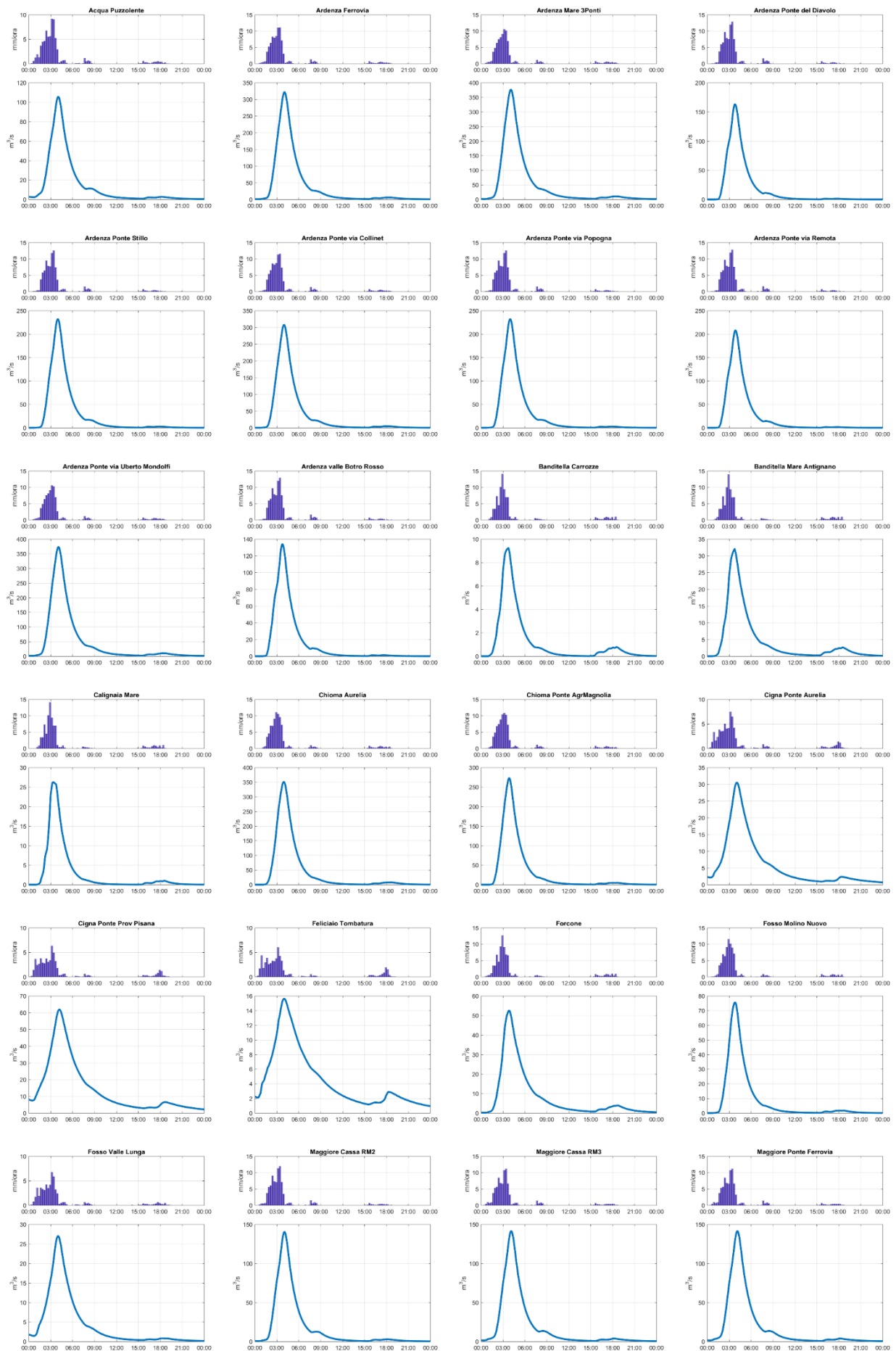


Figura 5 - Ietogrammi e cumulate di pioggia registrati durante l'evento del 9-10 settembre 2017.



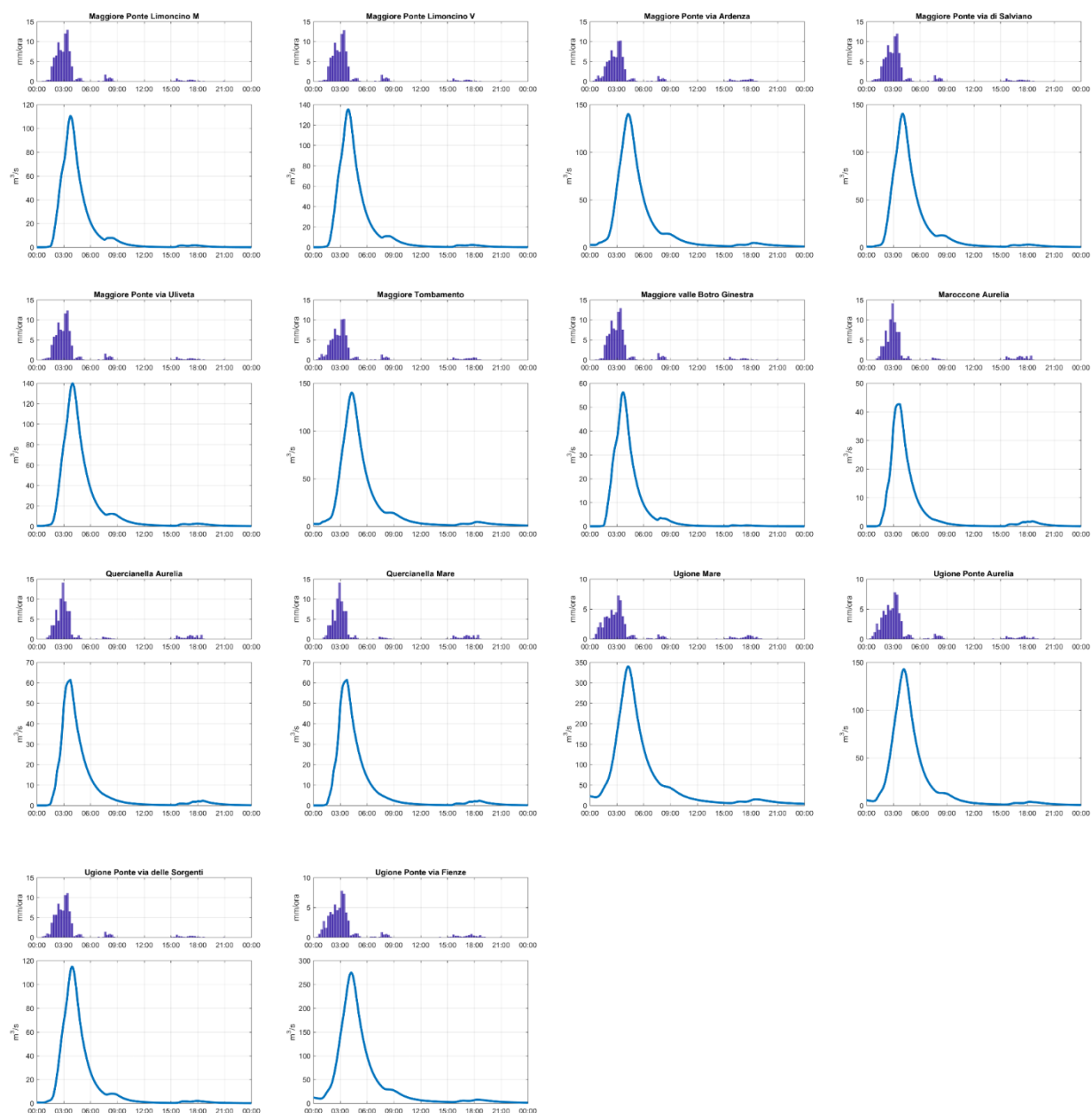


Figura 7 - Idrogrammi idrologici di evento (senza esondazioni) e ietogrammi medi sull'area dei bacini a monte di ciascuna sezione.

Portate massime per Tr 200 e LSPP aggiornate al 2012

Al fine di valutare l'eccezionalità dell'evento, le portate massime stimate con il modello MOBIDC sono state confrontate con le portate massime per tempo di ritorno di 200 anni. Quest'ultime sono state anch'esse rivalutate con il modello MOBIDIC, sia al fine di ottenere un equo confronto sia per tenere in conto dei dati territoriali più aggiornati (in particolare i parametri idraulici del suolo), sia per utilizzare le linee segnalatrici (LSPP) su tutti e 5 i pluviometri utilizzati per la ricostruzione dell'evento del 2017. La condizione iniziale del suolo è stata assunta pari a livello di saturazione relativo dell'80%, comparabile con la condizione CN-III già adottata in studi precedenti (Pagliara, 2004-2008, Piano Strutturale Livorno, 2104). La metodologia di calcolo delle portate di piena per assegnato tempo di ritorno con il modello MOBIDC è riassunto in Appendice A.

Le portate massime di piena così riviste sul reticolo idrografico oggetto dello studio sono rappresentate in Figura 8

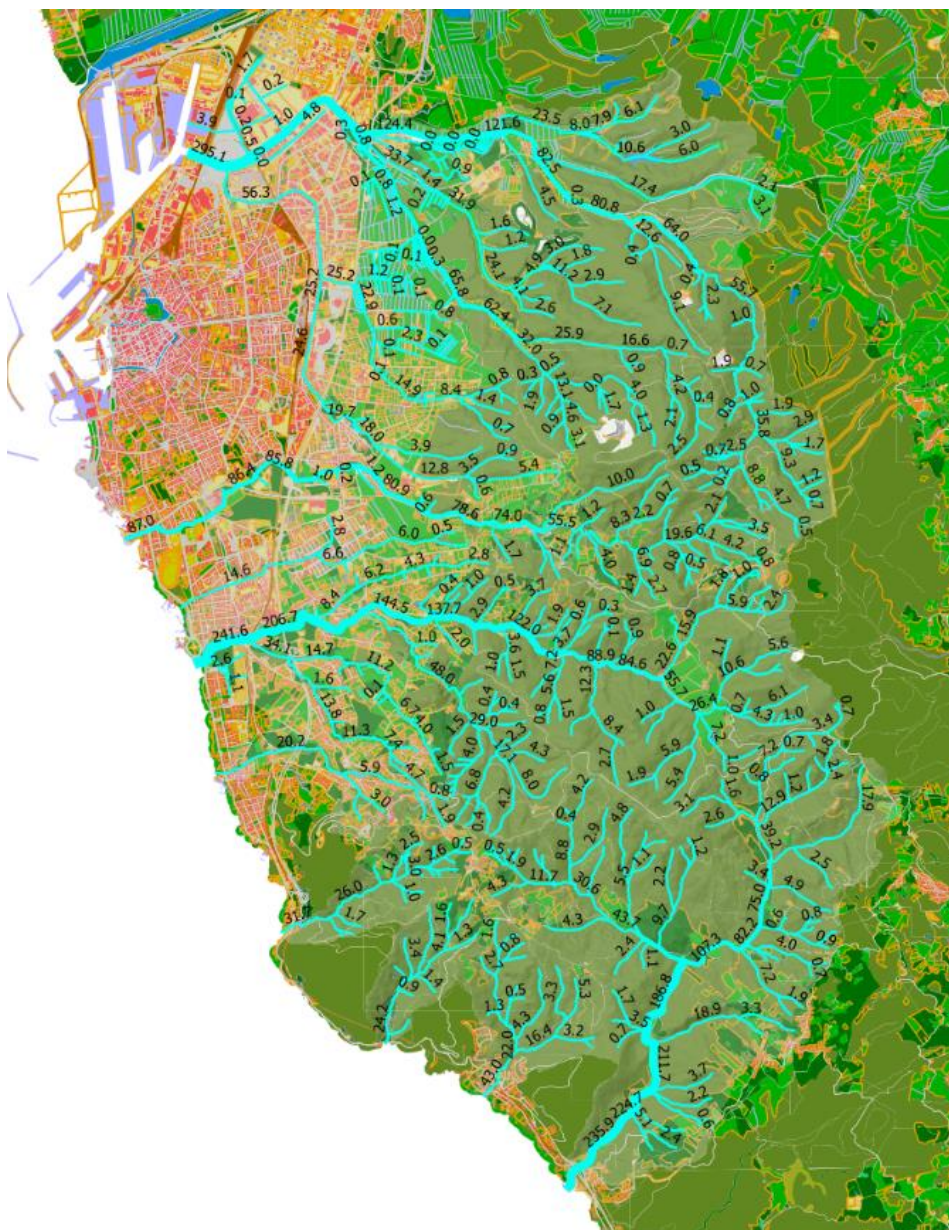


Figura 8 - Massime portate di piena per Tr 200 rivalutate con modello MOBIDIC, condizione iniziale di saturazione del suolo equivalente a CN-III e linee segnalatrici come da Tab. 1.

La Figura 9 sottostante mette a confronto le massime portate di piena per Tr 200 anni rivalutate con MOBIDIC e quelle derivanti da studi precedenti. Le portate in ciascun tratto di calcolo sono riportate in funzione dell'area del bacino contribuyente.

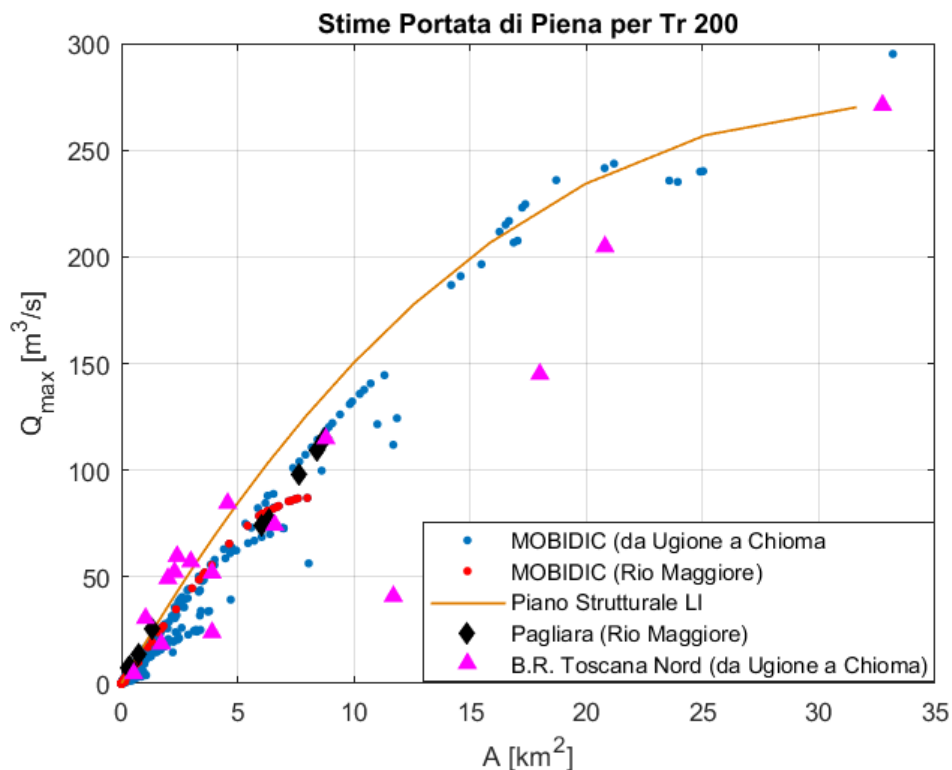


Figura 9 - Valori di portata massima di piena per Tr 200 a confronto fra rivalutazione con MOBIDIC (simboli a punto) e studi precedenti.

N.B. In alcuni bacini, quale ad esempi quello del Rio Maggiore, la rivalutazione delle portate di piena con Tr 200 anni con MOBIDIC porta valori inferiori a quelli di studi precedenti. Ciò è dovuto soprattutto alle diverse pluviometrie considerate, ed in secondo luogo alla diversa modellazione e ad iversi parametri del suolo. Ad esempio, nello studio di Pagliara per il dimensionamento delle casse d'espansione viene considerata la sola linea segnalatrice del pluviometro di Livorno. Nella rivalutazione con MOBIDIC si considerano anche le linee segnalatrici dei pluviometri circostanti. Si osserva dalla planimetria dei topoiati di Figura 1 che gran parte dei bacini collinari dell'Ugione, del Maggiore e dell'Ardenza ricadono nel topoiato di pertinenza del pluviometro di Valle Benedetta, per il quale (vedi Tabella 2) le altezze di pioggia attese sono circa il 10% inferiori a quelle di Livorno.

Fattore di amplificazione delle portate massime di evento rispetto a quella per Tr 200

La valutazione dell'eccezionalità degli effetti al suolo dell'evento del 9-10 settembre 2017, in assenza di serie idrometriche sui corsi d'acqua interessati dai fenomeni più rilevanti, è qui effettuata in termini di fattore di amplificazione delle massime portate di evento e delle massime portate per tempo di ritorno 200 anni, calcolate come sopra descritto. La mappa dei fattori di amplificazione è riportata in Figura 10.

Si osserva come nella gran parte del reticolo idrografico che drena la zona collinare intorno a Valle Benedetta (tratti in rosso) il fattore di amplificazione sia uguale o superiore a 1.5 (cioè portate di evento superiori di almeno del 50% rispetto a quelle con Tr 200, con valori massimi fino a 1.8. In studi precedenti (e.g. Piano Strutturale Livorno 2014) le portate con tempo di ritorno 500 anni sono stimate essere circa il 25% in più rispetto a quelle con tempo di ritorno 200 anni. Si può quindi concludere che le portate massime di evento (valutate idrologicamente senza tener conto delle esondazioni) hanno avuto una rarità superiore ai 500 anni in larga parte del reticolo idrografico, e addirittura più che millenaria in alcuni tratti principali.

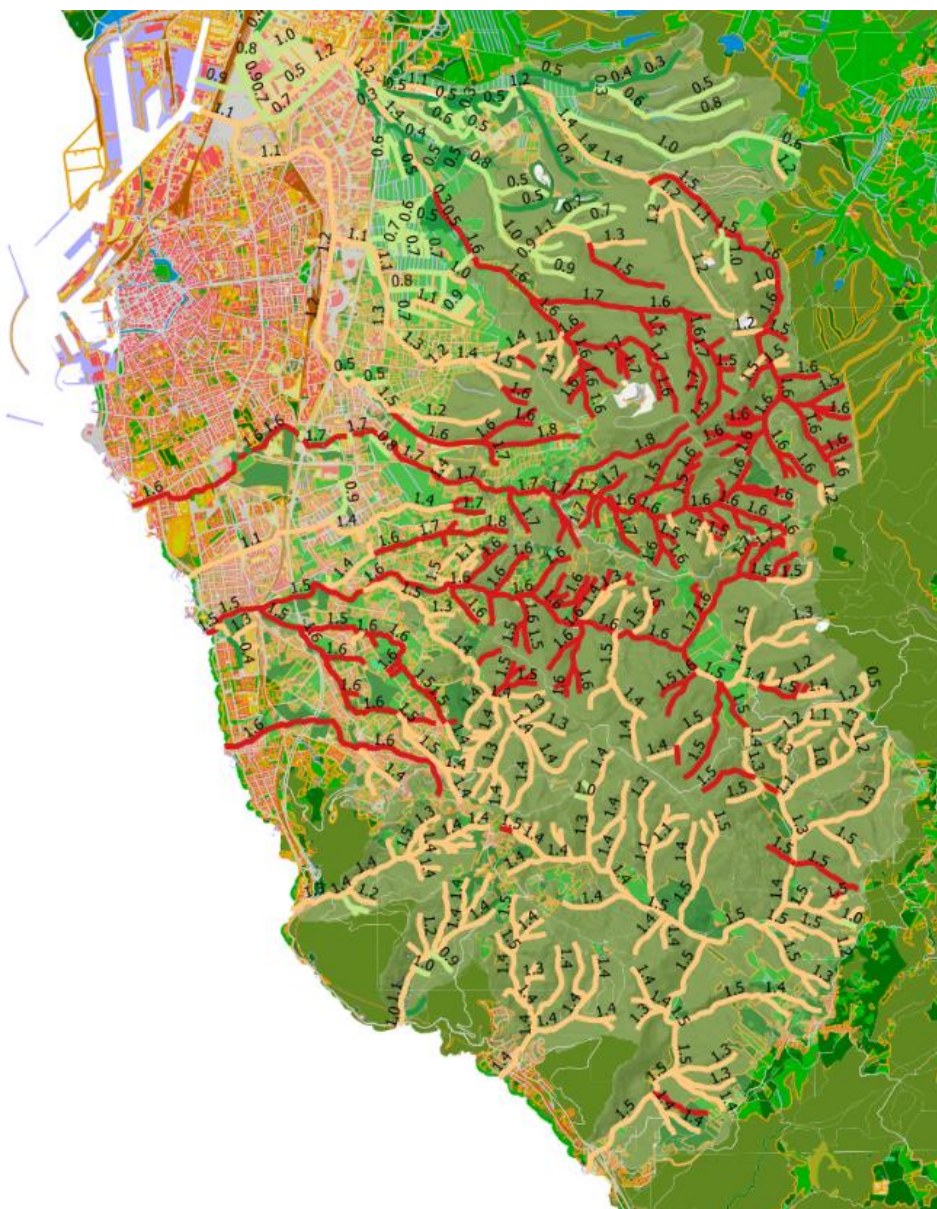


Figura 10 - Mappa del rapporto fra massima portata di evento (Figura 6) e portata con Tr 200 (Figura 8).

Approfondimento sul bacino del Rio Maggiore per la valutazione preliminare del funzionamento delle casse d'espansione.

Valutazione dei volumi di allagamento

Per la valutazione preliminare del funzionamento delle casse d'espansione del Rio Maggiore durante l'evento è necessario tenere in conto per quanto possibile dell'effettivo andamento della piena in arrivo nel tratto delle casse, in quanto il loro funzionamento è sensibile non solo ai valori di portata al picco ma anche al volume di piena.

Anche per una prima valutazione è quindi necessario stimare, almeno in maniera complessiva, l'effetto di laminazione conseguente alle esondazioni a monte delle casse.

A tal fine si è utilizzata, unica informazione disponibile al momento, il perimetro delle aree alluvionate stimato dall'ufficio Genio Civile Valdarno Inferiore e Costa tramite rilievi speditivi subito dopo l'evento (Figura 11 e Figura 12). Si osserva innanzitutto come nell'intero tratto di pianura gli allagamenti del 10 settembre risultino molto più estesi dell'area a pericolosità P3.



Figura 11 - Mappa degli allagamenti del 10/9/17 lungo il Rio Maggiore (in celeste) a confronto le aree a pericolosità P3 (in grigio).



Figura 12 - Dettaglio degli allagamenti del tratto terminale del Rio maggiore con indicazione dei principali manufatti delle casse d'espansione.

Una prima valutazione pertinente, ottenibile dal perimetro di allagamento, è la stima su base geomorfologica della superficie di inviluppo degli allagamenti e dei volumi compresi fra di essa ed il piano campagna, definiti come 'volumi inondati'. La superficie di inviluppo (Figura 13) è qui stimata come la

superficie interpolante le quote del piano campagna lungo il perimetro di allagamento, ipotizzando che lungo tale perimetro il battente massimo di allagamento sia prossimo al valore nullo.



Figura 13 - Ricostruzione geomorfologica della superficie di inviluppo degli allagamenti del 10/9/17.

Sia per stimare le quote lungo il perimetro che per calcolare i volumi inondati si utilizza un modello digitale del terreno. Il calcolo è qui effettuato utilizzando due diversi modelli: il DTM a 10 m e il rilievo Lidar a 1 m (fonte regione Toscana, Geoscopio). I risultati del calcolo sono rappresentati, in termini di cumulate lungo l'asta principale, in Figura 14. Il calcolo è stato effettuato separando i volumi compresi in area a pericolosità P3 e al di fuori di essa. Tale separazione è funzionale, come spiegato più avanti, per poter considerare come utili dal punto di vista della laminazione i soli allagamenti al di fuori dell'area di pertinenza fluviale.

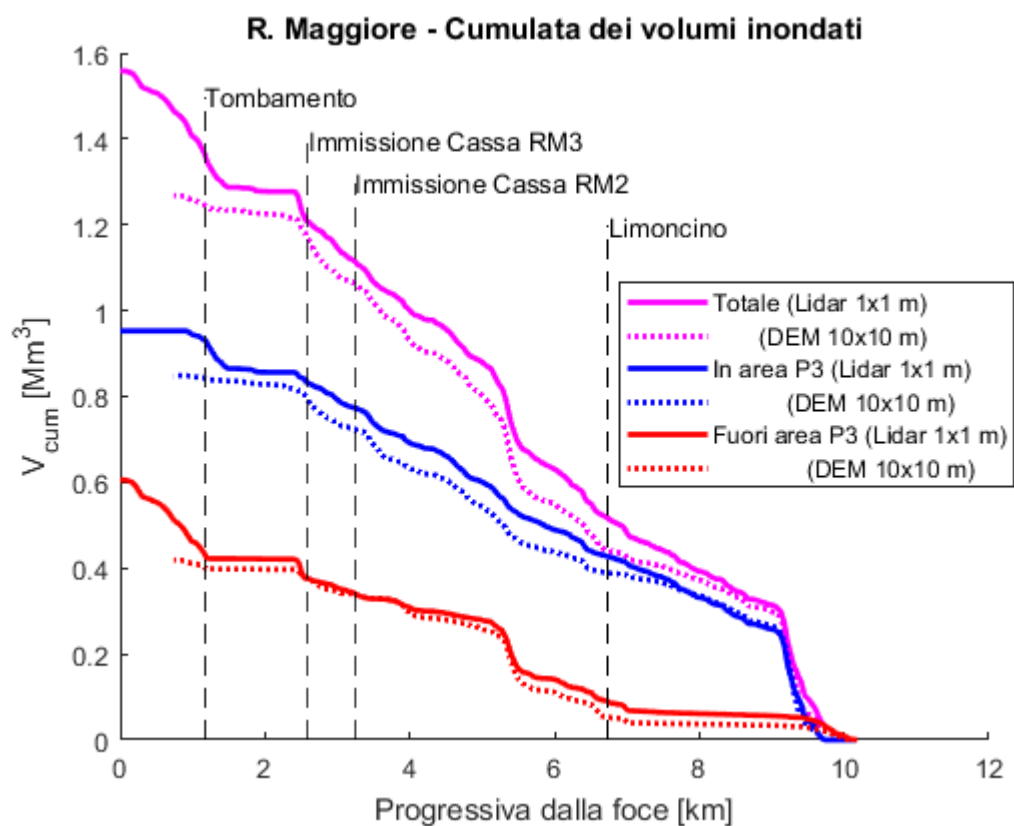


Figura 14 - Progressiva da valle verso monte lungo l'asta del Rio Maggiore dei volumi inondati cumulati durante l'evento del 10/9/17.

Modellazione delle casse d'espansione e degli allagamenti nel modello MOBIDIC

Il modello MOBIDIC consente la modellazione dinamica delle casse d'espansione tramite uno schema semplificato a base idraulica. Con riferimento allo schema in Figura 15, il modello risolve seguenti equazioni:

$$\frac{dV}{dt} = Q_{sfior} - Q_{rest}$$

$$Q_{inter,monte} = Q_{monte} - Q_{sfior}$$

$$Q_{inter,valle} = ROUTING(Q_{inter,monte})$$

$$Q_{valle} = Q_{inter,valle} + Q_{rest}$$



Figura 15 - Schema di riferimento per la simulazione in MOBIDIC delle casse d'espansione.

Ciascuna casse è quindi caratterizzata nel modello dalle tre seguenti leggi (stimabili dai dati di progetto):

- Legge di sfioro: $Q_{sfior} = f_1(Q_{monte})$
- Legge d'invaso: $V = f_2(H)$
- Legge di svaso: $Q_{rest} = f_3(H)$

Le leggi caratterizzanti le casse lungo il Rio Maggiore, dedotte dalle relazioni idrologiche e idrauliche dello studio Pagliara 2008, sono rappresentate in Figura 16.

N.B. La cassa RM4 non è come le altre, alimentata direttamente dal corso del Rio Maggiore tramite uno sfioratore, ma è invece alimentata dalla RM3bis tramite un tombino. Non sarebbe quindi rappresentabile tramite lo schema sopra descritto. Per poter quindi approssimare secondo tale schema l'insieme delle due casse RM3bis e RM4, si considera una unica cassa equivalente con legge d'invaso pari alla somma delle due, legge di sfioro uguale a quella della cassa a monte (RM3bis) e legge di restituzione pari a quella della cassa a valle (RM4). In tale maniera, però, si ha il limite di non considerare il funzionamento dello sfioratore di restituzione della RM3bis.

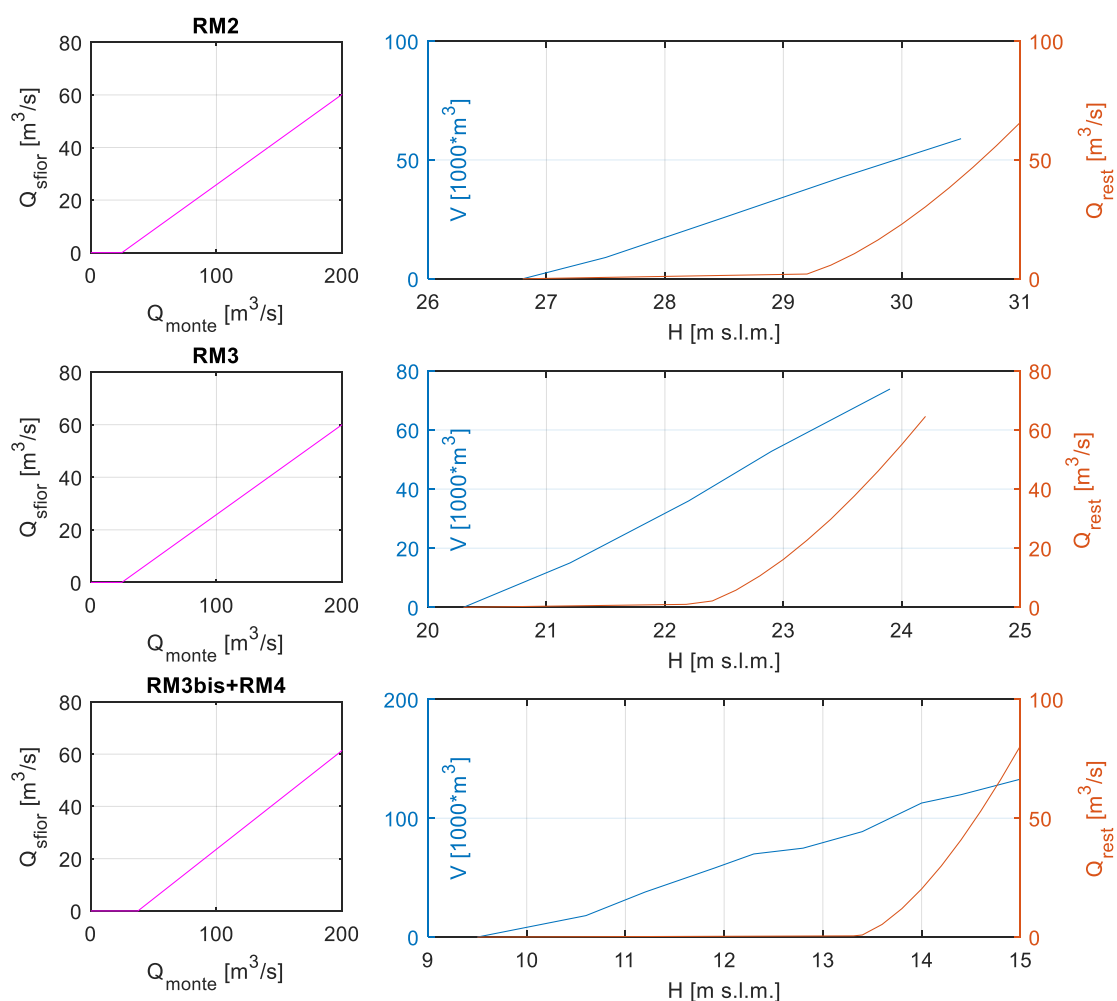


Figura 16 - Leggi di funzionamento delle casse lungo il Rio Maggiore (N.B. le casse in serie RM3bis e RM4 sono rappresentate tramite una unica cassa approssimativamente equivalente).

Infine, l'effetto della laminazione dovuto agli allagamenti nella zona a monte delle casse viene qui modellato introducendo immediatamente a monte della cassa RM2 una cassa d'espansione 'fittizia' con opportune leggi caratteristiche (Figura 17). Queste vengono determinate sulla base delle seguenti considerazioni:

- La cassa fittizia deve rappresentare i soli volumi occupati in area al di fuori di quella a pericolosità P3. Si assume che tali aree comincino ad essere inondate per portata superiore a quella con Tr 100 che, nel tratto considerato, è stata qui rivalutata in circa $69 \text{ m}^3/\text{s}$. Le portate eccedenti rimangono in alveo per circa il 20% (valore stimato in maniera euristica).
- La cassa fittizia funziona sostanzialmente come un invaso lineare, ed è quindi univocamente caratterizzabile da un coefficiente α t.c. $Q_{rest} = \alpha V$. In tale approssimazione il livello H diventa una variabile 'dummy', arbitrariamente specificabile con il solo vincolo di essere monotonicamente crescente con V . Il valore del parametro fondamentale α , avente le dimensioni dell'inverso di un tempo, può essere stimato come rapporto fra una velocità (e.g. di traslazione della corrente nella zona allagata) e una lunghezza (e.g. sviluppo della zona allagata lungo l'asta fluviale). Considerando uno sviluppo di circa 6 km della zona allagata a monte della cassa RM2 (Figura 14) ed una velocità (stimata euristicamente) di 0.5 m/s si ottiene $\alpha = 8.33 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ (corrispondente, fra l'atro, ad un tempo caratteristico di allagamento di circa $1/\alpha = 3.33 \text{ ore}$).

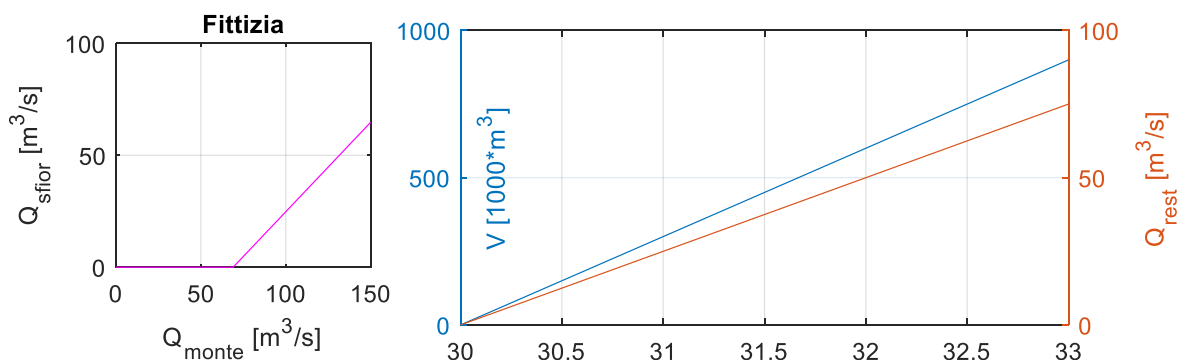


Figura 17 - Leggi di funzionamento della cassa fittizia per la modellazione degli allagamenti nel tratto di monte.

Risultati: andamenti di volumi, livelli e portate nelle casse d'espansione

Gli andamenti dei volumi, livelli e portate che rappresentano la dinamica delle esondazioni nel tratto di monte e nelle casse d'espansione, ricostruiti come sopra descritto, sono riportati nelle sottostanti Figura 18 e Figura 19.

Secondo le stime qui effettuate, le esondazioni nel tratto di monte del Rio Maggiore hanno interessato un volume utile equivalente di laminazione di poco inferiore ai 200,000 m³, riducendo il picco di piena 'idrologico' di circa il 50% (da circa 140 m³/s a poco più di 90 m³/s).

Anche però con tale riduzione, le idrogrammi che hanno sollecitato le casse sono risultati superiori a quelli di progetto, soprattutto in termini di volume. Le prime due casse hanno quindi avuto un effetto molto limitato in termini di riduzione del picco, ma hanno comunque ridotto il volume della piena nella parte delle portate più alte. Di tale ulteriore riduzione di volume (qui stimato in circa 110,00 m³) ha beneficiato l'ultima coppia di casse (RM3bis e RM4), che è quindi riuscita ad effettuare anche un sensibile taglio del picco di piena (da circa 96 m³/s a monte a circa 85 m³/s a valle).

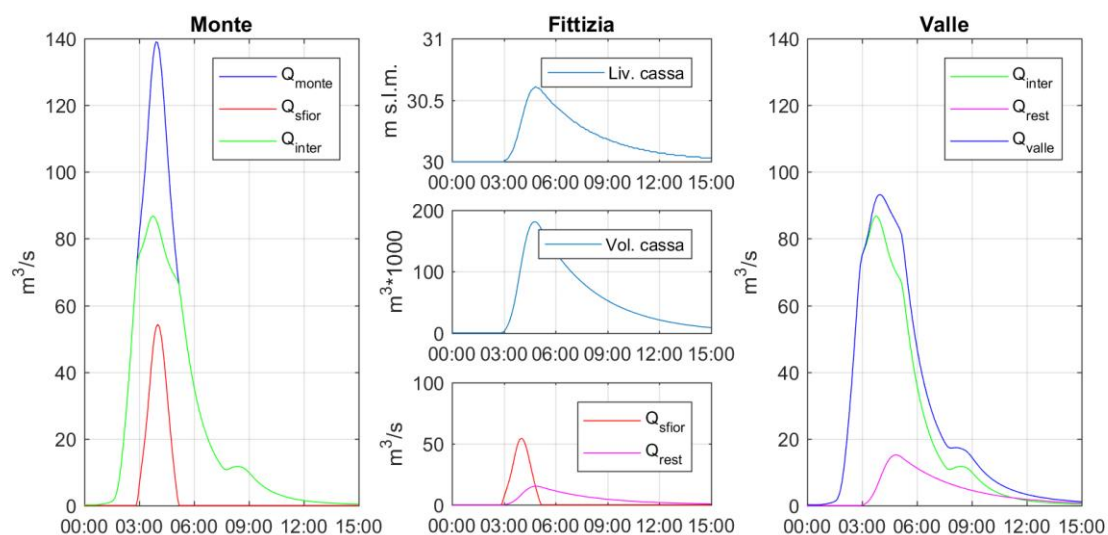


Figura 18 - Andamento di portate, livelli e volumi nella rappresentazione della dinamica di esondazione a monte delle casse sul Rio Maggiore.

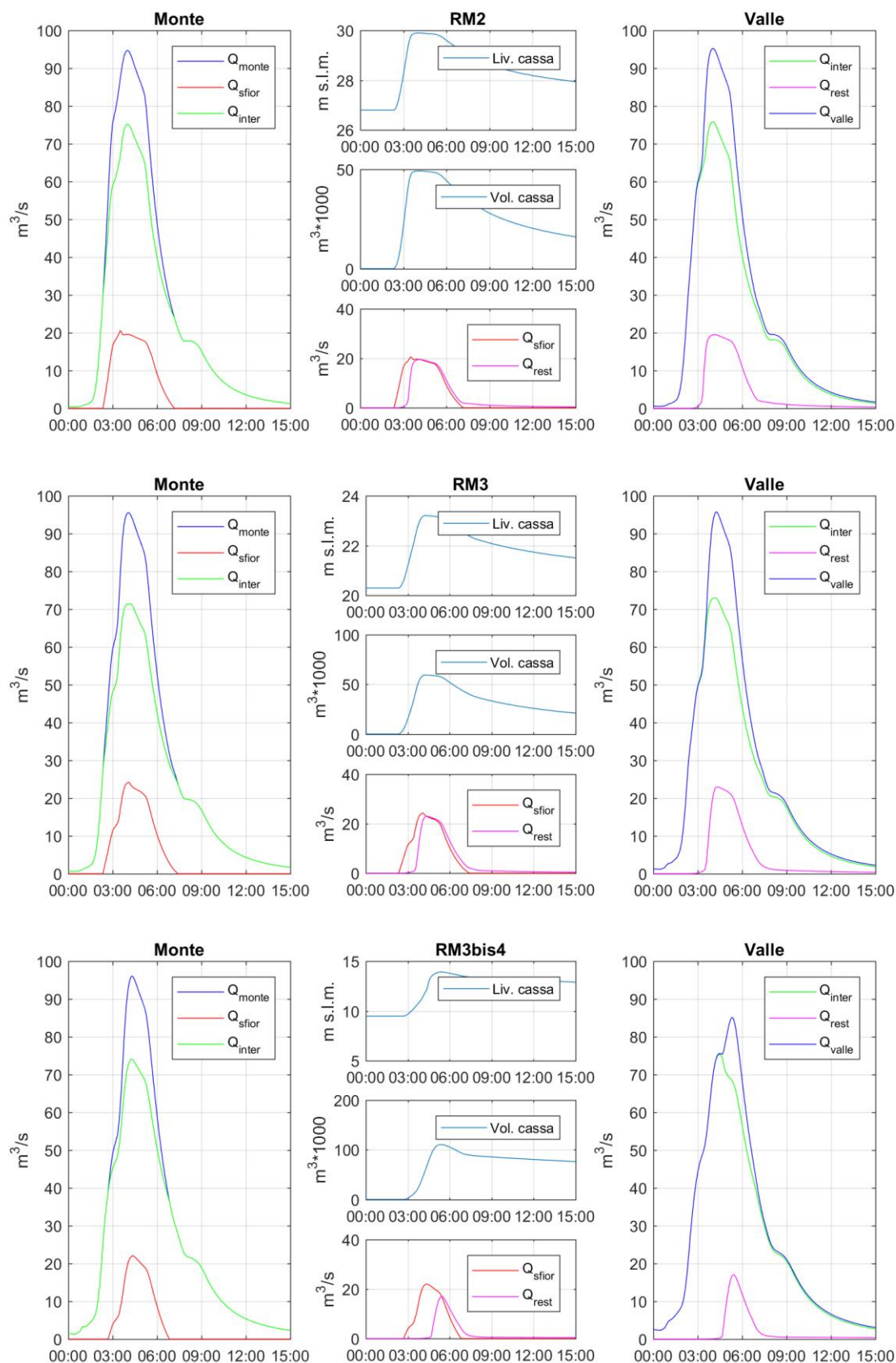


Figura 19 - Andamento di portate, livelli e volumi nella stima del funzionamento delle casse d'espansione sul Rio Maggiore.

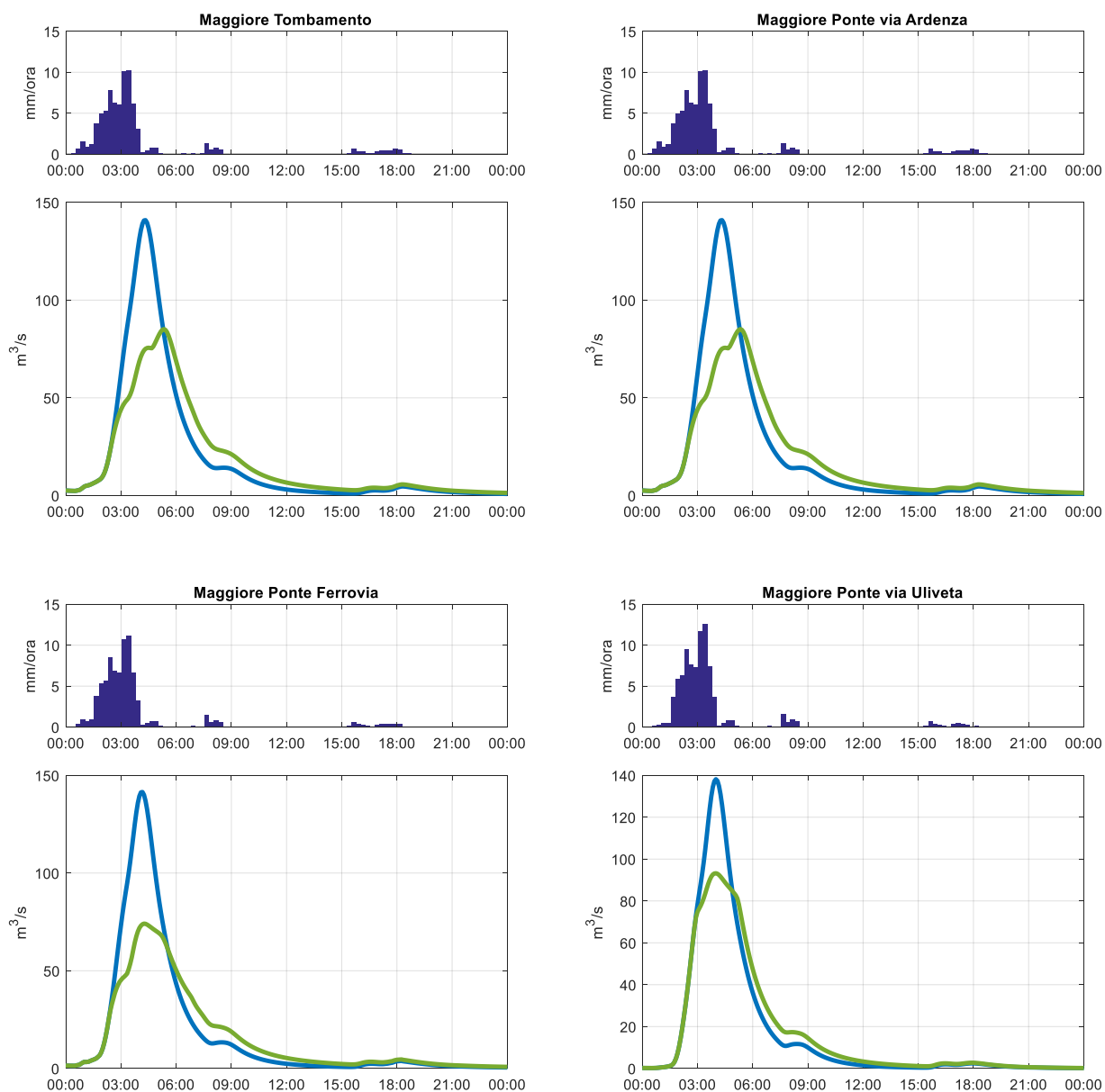


Figura 20 - Confronto fra alcuni idrogrammi ricostruiti con e senza tener conto degli effetti di laminazione.

Il confronto fra alcuni idrogrammi caratteristici, stimati con e senza i suddetti effetti di laminazione, è infine riportato in Figura 20, e in Figura 21 e Figura 22 in termini di portate al picco nel tratto terminale



Figura 21 - Portate al colmo senza laminazione

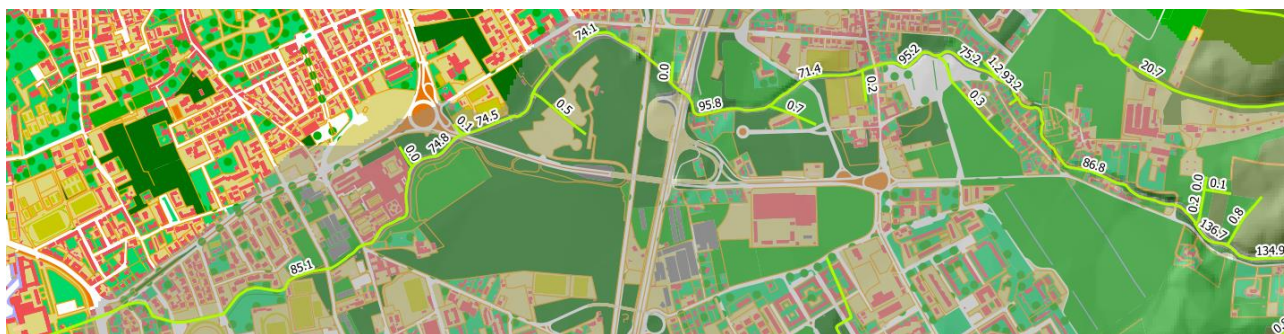


Figura 22 - Portate al colmo con laminazione (casce ed esondazioni a monte)

Rivalutazione delle portate di progetto per Tr 200 a seguito dell'evento

Aggiornamento locale delle LSPP

Per ciascuna stazione pluviometrica di interesse (e.g. Valle Benedetta), si definiscono:

$a(T), n(T)$ = parametri della linea segnalatrice, nella forma $h(d, T) = a(T)d^{n(T)}$, in funzione del tempo di ritorno T

N = numerosità del campione (# di anni) utilizzato per la stima dei parametri

$H(d)$ = altezze massime di pioggia, funzione della durata, registrate nel corso del nuovo evento.

Passi della procedura:

1. Per ciascuna durata d , fitting di una distribuzione di Gumbel alla curva $h(d, T)$ e determinazione dei corrispondenti parametri di posizione u e scala α

$$P(h \leq X) = \exp\left(-\exp\left(-\frac{X-u}{\alpha}\right)\right)$$

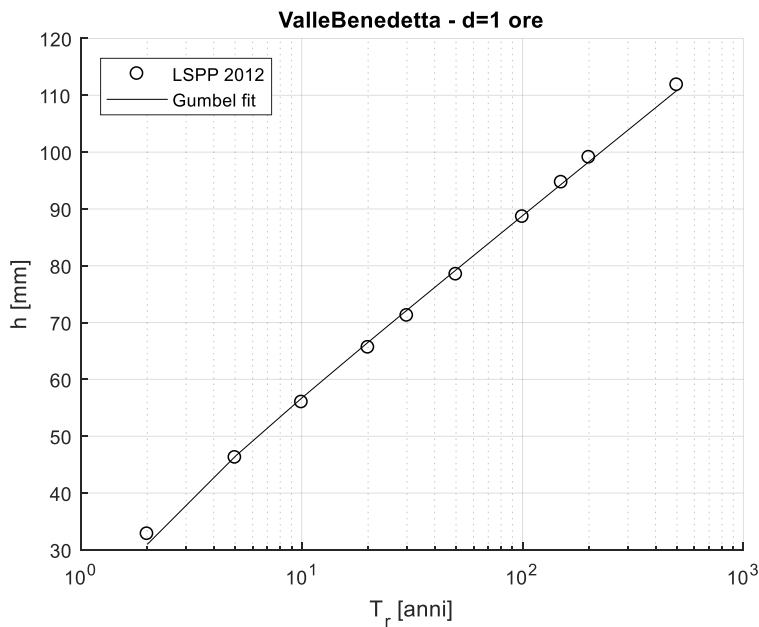


Figura 23 - Fitting di una distribuzione di Gumbel ai valori della LSPP per durata 1 ora alla stazione di Valle Benedetta.

2. Calcolo delle statistiche campionarie (media μ e deviazione standard σ) che avrebbero portato alla determinazione dei suddetti parametri

$$\begin{aligned}\sigma &= 1.2825\alpha \\ \mu &= u + 0.5772\alpha\end{aligned}$$

3. Aggiornamento delle statistiche sulla base del nuovo dato H

$$\begin{aligned}\mu^+ &= \frac{H + N\mu}{N + 1} \\ \mu^{+2} + \sigma^{+2} &= \frac{H^2 + N(\mu^2 + \sigma^2)}{N + 1}\end{aligned}$$

4. Aggiornamento dei parametri della distribuzione di Gumbel

$$\begin{aligned}\alpha^+ &= \frac{\sigma^+}{1.2825} \\ u^+ &= \mu^+ - 0.5772\alpha^+\end{aligned}$$

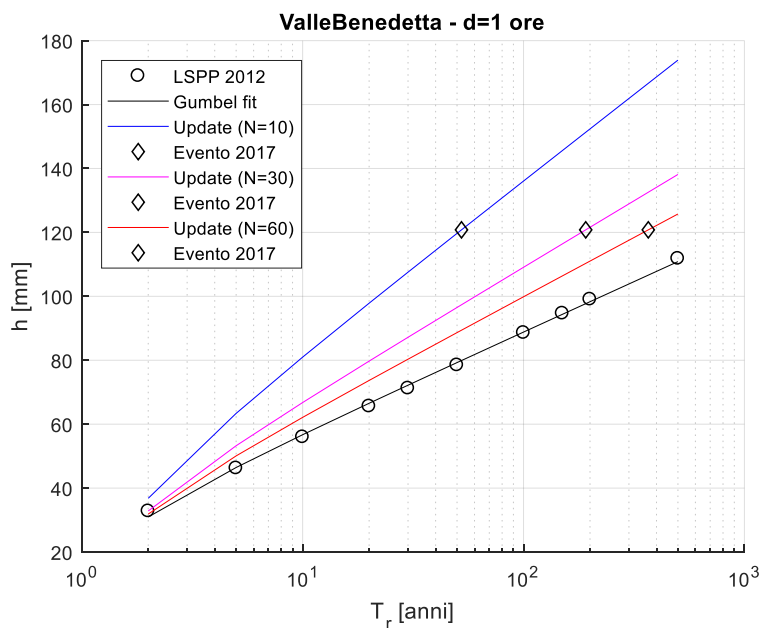


Figura 24 - Aggiornamento della distribuzione di Gumbel per diversi valori della numerosità equivalente N del campione.

5. Fitting della linea segnalatrice aggiornata alle nuove stime per varie durate e fissati tempi di ritorno

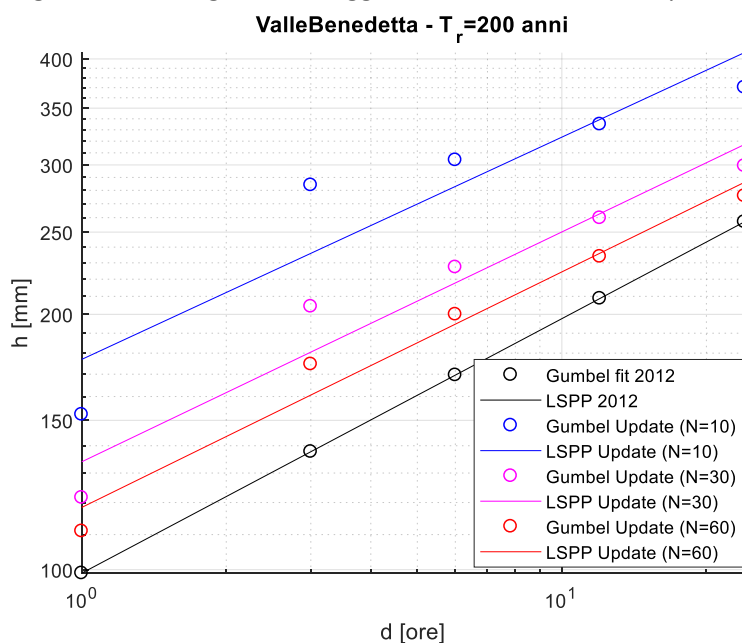


Figura 25 - Aggiornamento della LSPP per diversi valori della numerosità equivalente N del campione.

Risultati sulle 5 stazioni di interesse per il comparto Livornese

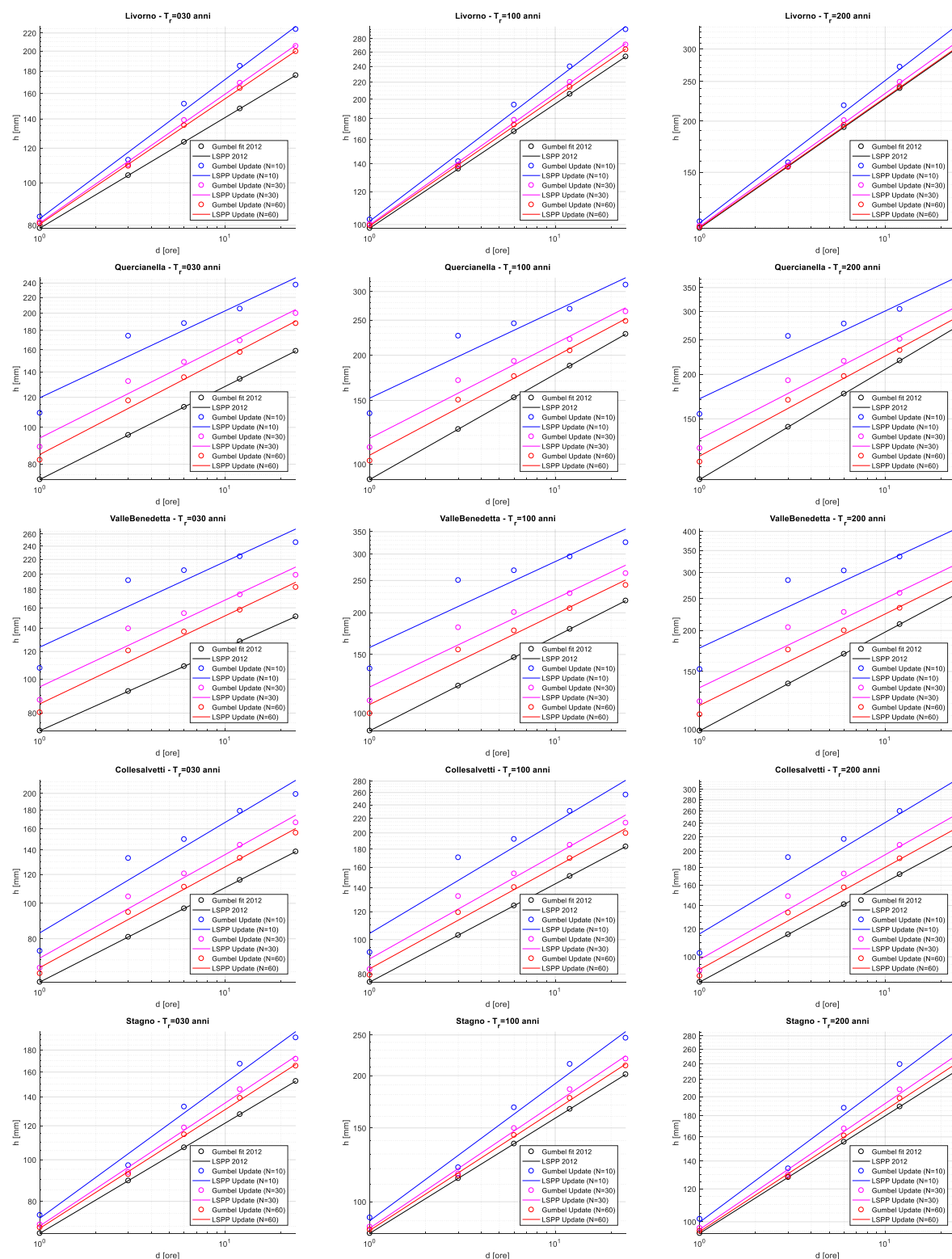


Figura 26 - Aggiornamento delle LSPP per diversi valori della numerosità equivalente N del campione (5 stazioni, T_r 30, 100, 200 anni).

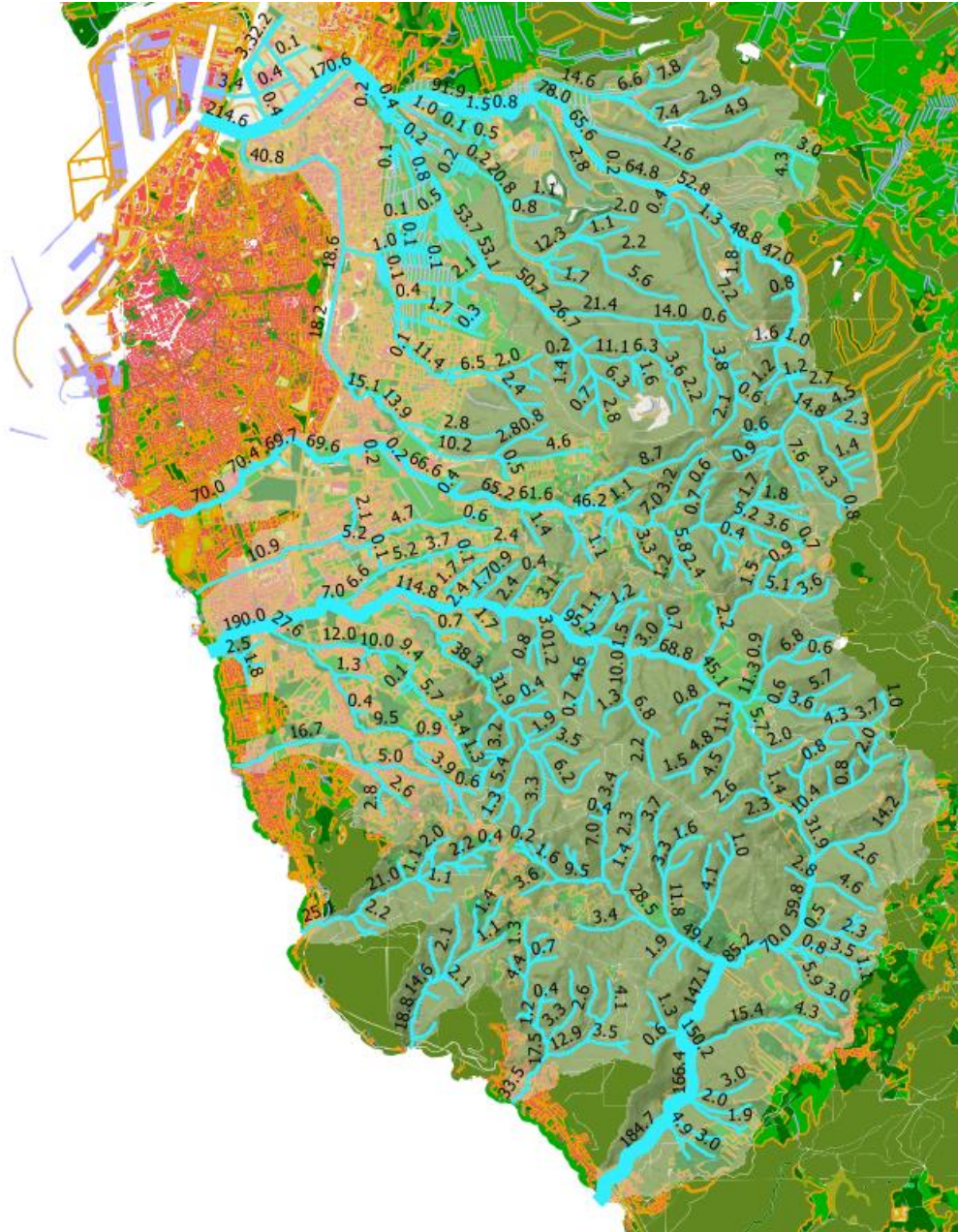
Laddove l'evento è stato più raro, maggiore è la sensibilità rispetto al parametro N (numerosità del campione di riferimento per la LSPP attuale). Essendo la rarità dell'evento molto variabile con la durata, sia ha una maggiore dispersione fra LSPP nella forma monomia e stime aggiornate con legge di Gumbel. **Per come erano state stimate le LSPP attuali, cioè tramite regionalizzazione, si ritiene opportuno considerare**

$N=60$ (numerosità media del campione nelle stazioni di riferimento per il modello reginale di stima della pioggia indice). Da cui:

	<i>Livorno</i>	<i>Quercianella</i>	<i>Valle Benedetta</i>	<i>Collesalveti</i>	<i>Stagno</i>
a_{200} attuale	109.5400	101.4200	99.0600	84.7470	93.8100
a_{200} aggiornato	109.9577	118.0135	118.4120	92.0514	94.7076
n_{200} attuale	0.3166	0.3087	0.3	0.2843	0.2823
n_{200} aggiornato	0.3172	0.2802	0.2776	0.2907	0.2920
a_{100} attuale	97.9820	90.7200	88.6090	75.9430	84.0660
a_{100} aggiornato	99.2217	105.9390	106.2524	82.8332	85.4480
n_{100} attuale	0.2990	0.2911	0.2824	0.2768	0.2747
n_{100} aggiornato	0.3085	0.2729	0.2703	0.2864	0.2874
a_{30} attuale	78.7520	72.9150	71.2190	60.8980	67.4110
a_{30} aggiornato	80.4877	84.8526	85.0101	66.7230	69.2714
n_{30} attuale	0.2532	0.2452	0.2366	0.2587	0.2566
n_{30} aggiornato	0.2866	0.2544	0.2519	0.2758	0.2763

Tabella 3 - Aggiornamento dei parametri delle LSPP per diversi valori della numerosità equivalente N del campione (5 stazioni, T_r 30, 100, 200 anni).

A seguito dell'aggiornamento locale delle LSPP tenendo conte dell'evento del 9-10 settembre 2017, sono stati ricalcolati gli idrogrammi di progetto per tempo di ritorno 30, 100 e 200. Le mappe nelle figure successive riportano i corrispondenti valori di picco.



25

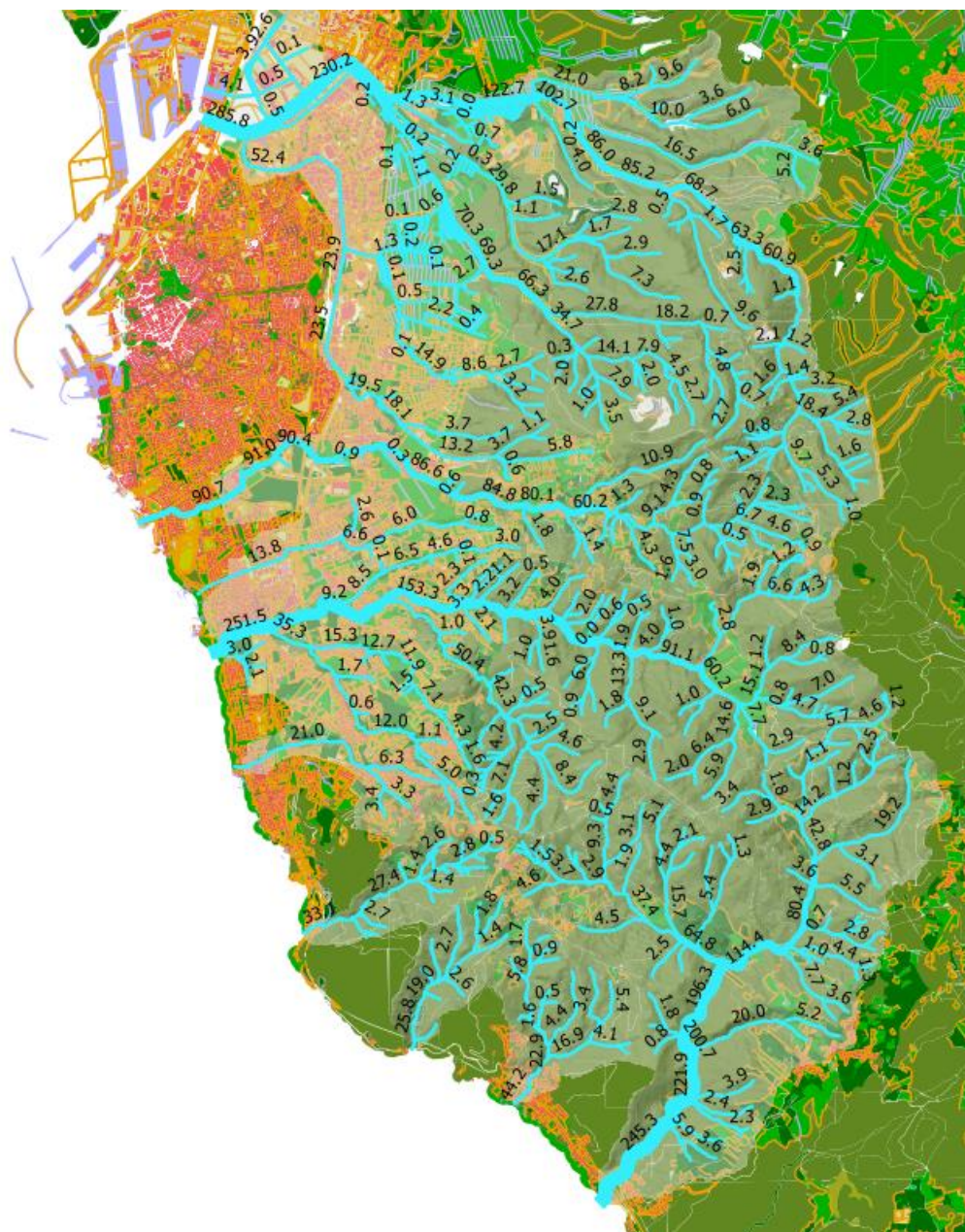


Figura 28 - Massime portate di piena per Tr 100 rivalutate con modello MOBIDIC, condizione iniziale di saturazione del suolo equivalente a CN-III e linee seanalatrici con aggiornamento locale dopo evento 2017

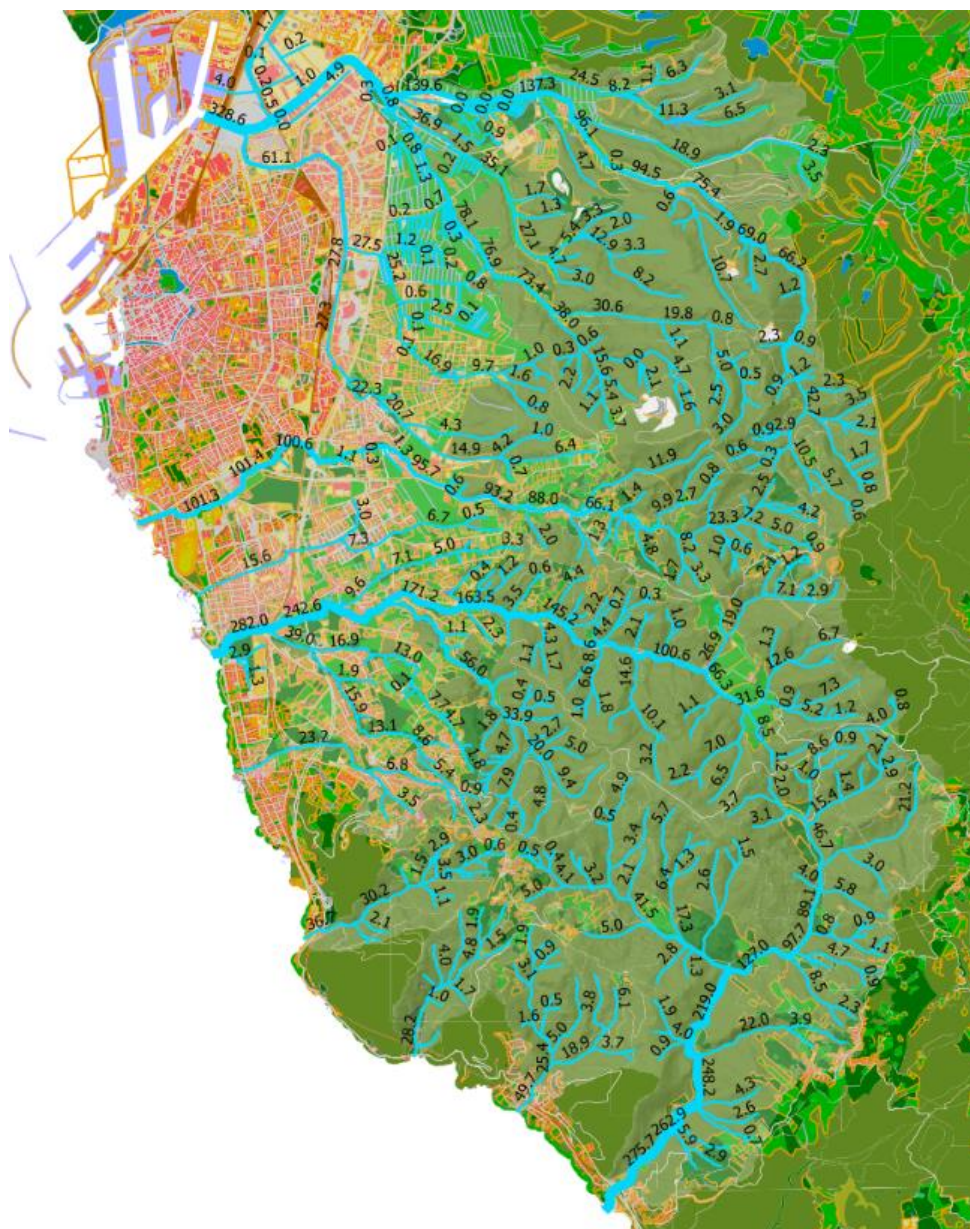


Figura 29 - Massime portate di piena per Tr 200 rivalutate con modello MOBIDIC, condizione iniziale di saturazione del suolo equivalente a CN-III e linee seanalatrici con aggiornamento locale dopo evento 2017

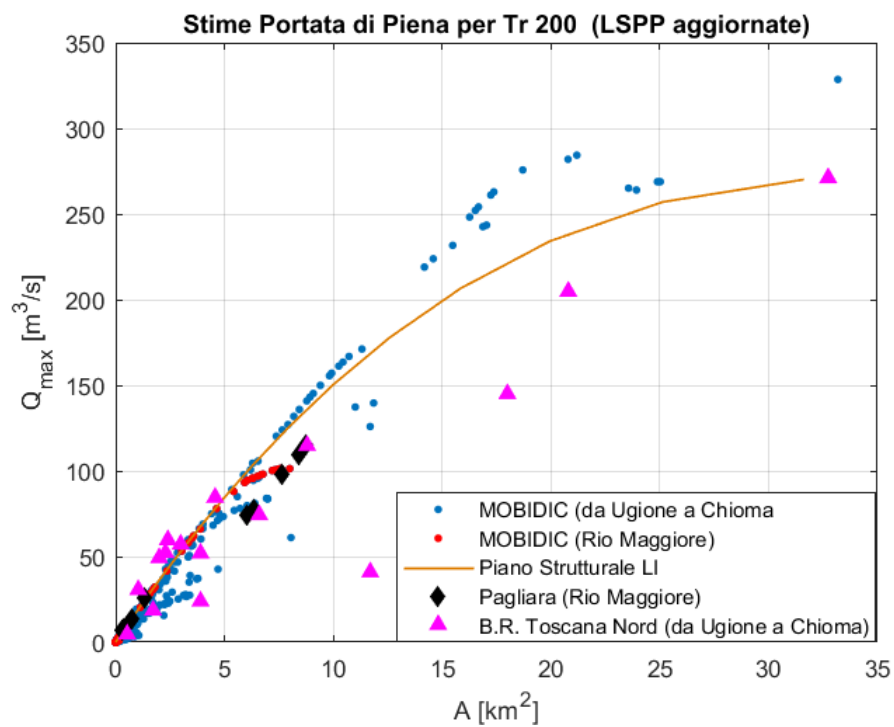


Figura 30 - Valori di portata massima di piena per Tr 200 a confronto fra rivalutazione con MOBIDIC (simboli a punto, dopo aggiornamento locale delle LSPP) e studi precedenti.

APPENDICE A - Metodo di calcolo delle portate di piena per assegnati tempi di ritorno

Il metodo adottato per il calcolo delle portate di piena per assegnati tempi di ritorno si basa sull'utilizzo di un modello idrologico distribuito (MOBIDIC) che consente il calcolo degli idrogrammi di piena contemporaneamente su tutti i rami del reticolo idrografico della regione considerata in risposta ad eventi di pioggia di arbitraria distribuzione spaziale e temporale.

Ciò consente di non predefinire forma e durata di eventi critici per ciascun tratto fluviale, ma di simulare invece un elevato numero di eventi con pari tempo di ritorno e selezionare a posteriori come evento critico quello che genera il più elevato valore di picco di portata per ciascun tratto.

Per ciascun tratto sarà quindi disponibile l'idrogramma di piena per assegnati tempi di ritorno, ma anche potenzialmente l'idrogramma di piena in risposta ad eventi critici per altri tratti fluviali. In tale modo sono quindi anche potenzialmente valutabili le probabilità congiunte di piena in diversi tratti fluviali.

Per contro, non è possibile utilizzare coefficienti di ragguaglio all'area per singoli sottobacini della regione considerata. Tale rigidità può comunque ritenersi accettabile per regioni di area non superiore ai 100 kmq.

I passi fondamentali della metodologia sono:

Impostazione dati geografici

L'impostazione dei dati geografici per la regione di interesse viene effettuata con criteri analoghi a quelli già utilizzati dal programma MOBIDIC per i calcoli di previsione in tempo reale o bilancio idrologico, al cui manuale e bibliografia si rimanda per ulteriori dettagli.

Gli elementi geografici strettamente necessari sono:

- Modello digitale del terreno in forma raster a maglia quadrata, corredato di matrice delle direzioni di deflusso.
- Reticolo idrografico in forma vettoriale semplicemente connesso (senza *loop*), eventualmente con più foci se la regione non coincide con un singolo bacino idrografico.
- Mappe di caratteristiche idrauliche del suolo (conducibilità idraulica a saturazione dello strato superficiale, capacità idrica totale e capacità di campo).

Sono utilizzabili, ma non strettamente necessarie, mappe su parametri legati all'uso del suolo e agli acquiferi.

Generazione di ietogrammi di progetto per assegnati tempi di ritorno e durate variabili

Nella versione attualmente implementata gli ietogrammi vengono generati per tutte le durate multiple del passo di calcolo Δt fino ad un valore massimo prefissato. Ciascun ietogramma ha intensità costante nel tempo, funzione di durata e tempo di ritorno secondo la classica formulazione in termini di linea segnalatrice $i = at^n$, ma variabile nello spazio. In particolare si considerano variabili nello spazio i parametri a e n . Questi vengono geo-interpolati dal programma di calcolo a partire da valori puntuali corrispondenti a singole stazioni di misura o punti virtuali risultanti da altre procedure di tipo geostatistico.

Calcolo degli idrogrammi di piena

Per ciascun ietogramma di progetto, il programma MOBIDIC calcola la risposta idrologica del bacino (vedi letteratura di riferimento) e quindi l'idrogramma di piena in ciascun ramo del reticolo.

Selezione degli idrogrammi critici

Per ciascun ramo di reticolo, vengono automaticamente selezionati due idrogrammi critici fra tutti quelli calcolati con lo stesso tempo di ritorno: quello con massima portata al picco e quello con massimo volume di piena. Nel caso particolare in cui siano calcolati gli idrogrammi di piena con tempo di ritorno 2 anni, i volumi di piena vengono calcolati come volumi al di sopra della portata massima per tale tempo di ritorno. In tale maniera si considerano volumi derivanti sostanzialmente dai soli deflussi superficiali.

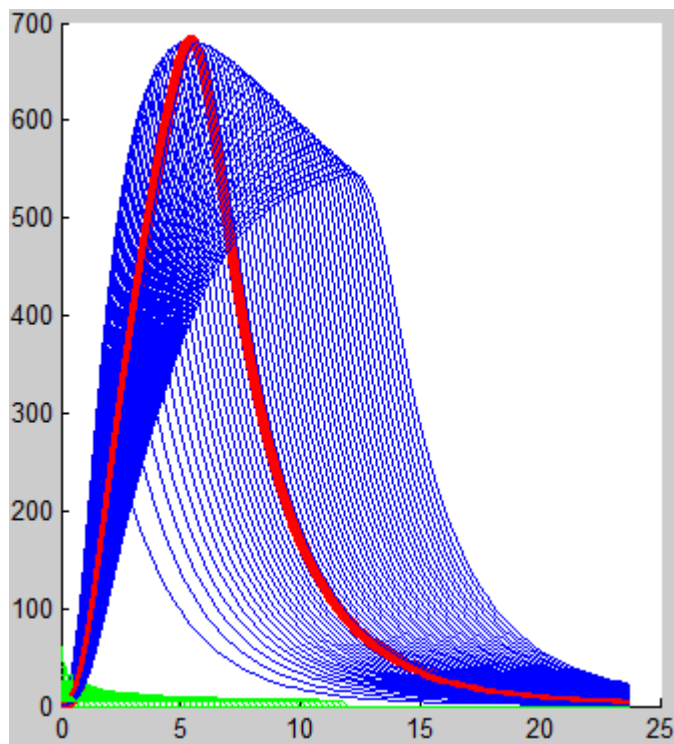


Figura 31 – Esempio dell'insieme degli idrogrammi calcolati per assegnato tempo di ritorno e diverse durate di pioggia. In rosso è evidenziato quello critico per massima portata al picco.

Salvataggio dei risultati

Per ciascun tempo di ritorno ### i risultati vengono salvati nel seguente modo:

Shape-file del reticolo idrografico contenente, per ciascun ramo, i seguenti campi:

- Qmax### – Portata massima [m^3/s] per evento con massima portata al picco.
- dQmax### - Durata [ore] dell' evento con massima portata al picco.
- VQmax### - Volume di piena [$100 \times \text{m}^3$] dell' evento con massima portata al picco.
- Vmax### - Portata massima [m^3/s] per evento con massimo volume di piena.
- dVmax### - Durata [ore] dell' evento con massimo volume di piena.
- QVmax### - Volume di piena [$100 \times \text{m}^3$] dell' evento con massimo volume di piena.

Tabella in formato .csv in cui è riportato, per ciascun ramo del reticolo, l'andamento temporale dell'idrogramma di piena per evento con massima portata al picco.

APPENDICE B - Tabella portate massime per Tr 30, 100, 200 anni (LSPP aggiornate dopo evento 2017)

Si riportano i valori per i soli tratti con nome assegnato (layer Reticolo idrografico e di gestione L.R. 79/2012) e area del bacino contribuente maggiore di 0.1 kmq.

Nome	Area (km²)	Q30 (m³/s)	Q100 (m³/s)	Q200 (m³/s)
BORRO DELL'ARME	1.06	10.19	13.81	15.48
BORRO DELL'ARME	4.74	52.80	68.70	75.37
BORRO DELL'ARME	6.33	64.75	85.16	94.50
BORRO FORCONI	1.64	17.54	22.88	25.38
BORRO FORCONI	3.33	33.48	44.19	49.67
BOTRO DEI FRANONI	0.18	2.41	3.06	3.27
BOTRO DEI FRANONI	0.25	3.31	4.22	4.54
BOTRO DEI FRANONI	0.31	3.94	5.05	5.47
BOTRO DEI FRANONI	0.56	7.64	9.73	10.53
BOTRO DEL DIAVOLO	0.11	1.35	1.78	1.93
BOTRO DEL DIAVOLO	0.12	1.52	1.99	2.16
BOTRO DEL DIAVOLO	0.19	2.18	2.88	3.18
BOTRO DEL DIAVOLO	0.57	6.83	9.13	10.06
BOTRO DELLA GINESTRAIA	0.33	4.20	5.42	5.87
BOTRO DELLA GINESTRAIA	0.45	5.78	7.53	8.18
BOTRO DELLA GINESTRAIA	1.81	22.67	29.55	32.22
BOTRO DELLA GINESTRAIA	2.35	29.08	38.02	41.56
BOTRO DELL'ALBATRO	0.25	2.61	3.42	3.81
BOTRO DELL'ALBATRO	0.43	4.08	5.40	6.07
BOTRO DELLE CASINE	0.13	1.62	2.10	2.30
BOTRO DELLE CASINE	0.28	4.27	5.34	5.65
BOTRO DELLE FONTANELLE (5)	0.16	2.23	3.06	3.28
BOTRO DELLE FONTANELLE (5)	0.35	6.85	8.38	6.73
BOTRO DELLE FONTANELLE (5)	0.66	8.72	11.74	12.65
BOTRO DELLE FONTANELLE (5)	0.82	10.06	13.55	14.85
BOTRO DELLE FONTANELLE (5)	0.90	11.28	15.07	16.47
BOTRO DELLE FONTANELLE (5)	1.77	21.70	29.12	31.57
BOTRO DELLE PIASTRAIE	0.28	3.60	4.74	5.18
BOTRO DI CALIGNAIA	0.12	1.40	1.77	1.91
BOTRO DI CALIGNAIA	0.12	1.44	1.84	1.99
BOTRO DI CALIGNAIA	0.18	2.06	2.72	3.03
BOTRO DI CALIGNAIA	0.19	4.47	5.35	3.99
BOTRO DI CALIGNAIA	0.29	3.44	4.40	4.80
BOTRO DI CALIGNAIA	0.57	6.63	8.57	9.39
BOTRO DI CALIGNAIA	0.76	8.78	11.41	12.55
BOTRO DI CALIGNAIA	0.89	10.51	13.68	15.00
BOTRO DI CALIGNAIA	1.08	13.40	17.33	18.82
BOTRO DI CALIGNAIA	1.17	14.60	19.02	20.65
BOTRO DI CALIGNAIA	1.56	18.79	25.76	28.17
BOTRO DI CALIGNAIA	1.64	19.93	27.46	29.98
BOTRO DI CANIBOTRI	0.15	2.45	3.01	2.86
BOTRO DI CANIBOTRI	0.34	4.63	6.38	6.77
BOTRO DI CANIBOTRI	0.64	8.32	11.36	12.24
BOTRO DI CANIBOTRI	0.83	10.45	14.24	15.36
BOTRO DI QUERCIANELLA	0.32	3.35	4.42	4.98
BOTRO DI QUERCIANELLA	1.08	11.72	15.27	16.86
BOTRO DI QUERCIANELLA	1.27	13.70	17.83	19.81
BOTRO DI SANT'ANTONIO	0.27	3.61	4.63	4.96

BOTRO DI SANT'ANTONIO	0.39	5.16	6.68	7.23
BOTRO DI SANT'ANTONIO	0.72	9.04	11.77	12.88
BOTRO FELICIAIO	0.43	2.05	2.61	2.98
BOTRO FELICIAIO	0.67	4.74	5.99	6.69
BOTRO FELICIAIO	0.77	5.18	6.56	7.34
BOTRO FELICIAIO	2.21	10.86	13.79	15.61
BOTRO FORCONE O PRUGNOLICCE	0.14	1.60	2.07	2.26
BOTRO FORCONE O PRUGNOLICCE	0.34	3.89	4.97	5.42
BOTRO QUARATA	0.18	1.92	2.52	2.80
BOTRO QUARATA	0.33	3.42	4.46	4.96
BOTRO QUARATA	1.13	12.11	15.64	17.31
BOTRO ROSSO	0.13	3.61	4.33	2.88
BOTRO ROSSO	0.22	3.93	4.71	4.36
BOTRO SANTA LUCIA (2)	0.10	1.36	1.75	1.89
BOTRO SANTA LUCIA (2)	0.14	1.74	2.25	2.46
BOTRO SANTA LUCIA (2)	0.14	1.79	2.32	2.55
BOTRO SANTA LUCIA (2)	0.23	3.44	4.12	4.22
BOTRO SANTA LUCIA (2)	0.41	5.19	6.71	7.32
BOTRO SANTA LUCIA (2)	0.60	7.41	9.66	10.59
BOTRONE (2)	0.17	3.78	4.52	3.17
BOTRONE (2)	0.22	4.34	5.19	3.85
BOTRONE (2)	1.30	15.44	20.03	22.00
BOTRONE (2)	14.59	150.17	200.75	223.87
BOTRONE (2)	16.26	166.35	221.94	248.23
FOSSO BASSO	0.14	1.82	2.35	2.55
FOSSO BASSO	0.35	4.08	5.37	5.93
FOSSO BASSO	0.69	7.95	10.37	11.45
FOSSO BASSO	4.77	49.14	64.76	72.29
FOSSO BASSO	5.59	57.97	76.32	85.00
FOSSO DEI FORCONI (3)	0.11	0.85	1.12	1.26
FOSSO DEI FORCONI (3)	0.33	2.78	3.69	4.16
FOSSO DEI FORCONI (3)	1.25	10.18	13.23	14.95
FOSSO DEI LECCI BUI	0.14	1.88	2.36	2.52
FOSSO DEI LIVELLI	0.10	1.18	1.51	1.65
FOSSO DEI LIVELLI	0.14	1.56	2.01	2.21
FOSSO DEI LIVELLI	0.26	2.82	3.67	4.06
FOSSO DEI LIVELLI	0.88	9.51	12.29	13.52
FOSSO DEL CAPANNINO (2)	0.17	2.61	3.14	3.03
FOSSO DEL CAPANNINO (2)	1.24	14.16	19.19	21.25
FOSSO DEL CAPANNINO (2)	1.61	17.90	24.31	27.06
FOSSO DEL CAPANNONE (4)	0.10	1.11	1.45	1.61
FOSSO DEL CAPANNONE (4)	0.11	1.25	1.62	1.79
FOSSO DEL CAPANNONE (4)	0.25	3.09	4.07	4.44
FOSSO DEL CAPANNONE (4)	0.40	4.58	5.99	6.65
FOSSO DEL CAPANNONE (4)	0.53	5.86	7.68	8.56
FOSSO DEL CAPANNONE (4)	7.66	84.22	112.01	123.92
FOSSO DEL CASTELLO (7)	0.35	3.74	5.08	5.66
FOSSO DEL CASTELLO (7)	0.35	4.42	5.92	6.45
FOSSO DEL CASTELLO (7)	1.06	11.78	15.69	17.26
FOSSO DEL CASTELLO (7)	3.39	34.65	45.40	50.69
FOSSO DEL CASTELLO (7)	4.48	46.43	61.36	68.28
FOSSO DEL LUPO (14)	0.10	1.40	1.74	1.83
FOSSO DEL LUPO (14)	0.14	2.20	2.73	2.87
FOSSO DEL LUPO (14)	0.21	2.86	3.60	3.85
FOSSO DEL LUPO (14)	0.24	3.60	4.47	4.73

FOSSO DEL LUPO (14)	0.47	6.31	7.91	8.46
FOSSO DEL LUPO (14)	0.90	11.13	14.12	15.21
FOSSO DEL LUPO (14)	0.91	11.26	14.38	15.56
FOSSO DEL LUPO (14)	1.82	22.44	28.52	30.72
FOSSO DEL LUPO GRASSO	0.40	4.47	5.86	6.46
FOSSO DEL MAROCCONE	0.13	2.79	3.34	2.50
FOSSO DEL MAROCCONE	0.93	10.88	14.10	15.50
FOSSO DEL MAROCCONE	1.20	13.97	18.10	19.91
FOSSO DEL MAROCCONE	1.76	21.04	27.41	30.17
FOSSO DEL MAROCCONE	1.87	22.55	29.41	32.35
FOSSO DEL MAROCCONE	2.17	25.13	33.14	36.66
FOSSO DEL MOLINO NUOVO	0.10	1.30	1.65	1.79
FOSSO DEL MOLINO NUOVO	0.22	2.37	3.12	3.46
FOSSO DEL MOLINO NUOVO	0.28	3.21	4.20	4.67
FOSSO DEL MOLINO NUOVO	0.29	3.34	4.37	4.85
FOSSO DEL MOLINO NUOVO	0.46	5.44	7.14	7.91
FOSSO DEL MOLINO NUOVO	0.59	6.21	8.38	9.39
FOSSO DEL MOLINO NUOVO	1.23	13.40	17.92	19.97
FOSSO DEL MOLINO NUOVO	1.69	18.89	25.13	27.98
FOSSO DEL MOLINO NUOVO	2.05	23.11	30.58	33.89
FOSSO DEL MOLINO NUOVO	2.33	26.36	34.79	38.63
FOSSO DEL MOLINO NUOVO	2.57	28.84	38.08	42.17
FOSSO DEL MOLINO NUOVO	2.86	31.92	42.26	46.79
FOSSO DEL MOLINO NUOVO	3.47	38.31	50.37	56.00
FOSSO DEL MOLINO NUOVO	3.55	38.87	51.15	56.66
FOSSO DEL MOLINO NUOVO	3.92	40.90	53.97	60.23
FOSSO DEL MOLINO NUOVO	11.32	114.85	153.29	171.16
FOSSO DEL QUERCIAIO	0.24	2.39	3.00	3.25
FOSSO DEL QUERCIAIO	0.39	3.68	4.62	5.03
FOSSO DEL QUERCIAIO	0.57	5.15	6.50	7.11
FOSSO DEL QUERCIAIO	0.89	6.57	8.55	9.58
FOSSO DELLA CIGNA	0.48	4.57	5.82	6.41
FOSSO DELLA CIGNA	0.54	5.04	6.45	7.11
FOSSO DELLA CIGNA	1.92	13.93	18.12	20.69
FOSSO DELLA CIGNA	1.94	14.00	18.20	20.79
FOSSO DELLA CIGNA	3.21	18.60	23.95	27.79
FOSSO DELLA CIGNA	3.40	18.41	23.69	27.45
FOSSO DELLA CIGNA	8.06	40.85	52.36	61.06
FOSSO DELLA CIGNA	25.02	174.13	234.55	268.86
FOSSO DELLA CIGNA	33.18	214.58	285.82	328.56
FOSSO DELLA GIORGIA	0.11	1.28	1.64	1.77
FOSSO DELLA GIORGIA	0.15	1.16	1.46	1.60
FOSSO DELLA GIORGIA	0.65	6.83	8.61	9.37
FOSSO DELLA GIORGIA	1.02	9.39	11.90	12.98
FOSSO DELLA MALFRANCA	0.13	1.58	2.01	2.17
FOSSO DELLA MALFRANCA	0.18	2.18	2.79	3.02
FOSSO DELLA MALFRANCA	0.28	3.45	4.43	4.79
FOSSO DELLA MALFRANCA	0.53	6.26	8.10	8.85
FOSSO DELLA MALFRANCA	0.58	6.77	8.79	9.64
FOSSO DELLA MALFRANCA	0.83	9.69	12.52	13.81
FOSSO DELLA QUARANTOLA	0.21	2.28	3.05	3.43
FOSSO DELLA QUARANTOLA	0.29	3.39	4.45	4.90
FOSSO DELLA QUARANTOLA	0.34	3.91	5.13	5.66
FOSSO DELLA QUARANTOLA	0.63	7.04	9.25	10.30
FOSSO DELLA QUARANTOLA	0.89	9.86	13.03	14.42

FOSSO DELLA SOLITA	0.12	1.43	1.87	2.07
FOSSO DELLA SOLITA	0.14	1.67	2.18	2.42
FOSSO DELLA VALLE LUNGA	0.16	1.09	1.48	1.67
FOSSO DELLA VALLE LUNGA	0.26	2.18	2.92	3.31
FOSSO DELLA VALLE LUNGA	0.38	2.73	4.00	4.66
FOSSO DELLA VALLE LUNGA	0.63	5.62	7.34	8.20
FOSSO DELLA VALLE LUNGA	0.92	3.13	4.41	5.75
FOSSO DELLA VALLE LUNGA	1.01	8.54	11.44	12.89
FOSSO DELLA VALLE LUNGA	1.62	12.34	17.06	19.52
FOSSO DELLA VALLE LUNGA	2.33	16.42	23.30	27.08
FOSSO DELLA VALLE LUNGA	3.38	20.79	29.75	35.09
FOSSO DELLA VALLE LUNGA	3.72	21.67	31.22	36.92
FOSSO DELLA VALLE LUNGA	3.78	21.75	31.30	37.19
FOSSO DELLA VALLE LUNGA	4.70	24.54	35.49	42.61
FOSSO DELLA VALLE LUNGA	6.99	56.59	74.59	83.75
FOSSO DELLA VALLE LUNGA	11.70	80.76	110.04	125.91
FOSSO DELLA VALLETTA (2)	0.10	3.02	3.64	2.31
FOSSO DELLA VALLETTA (2)	1.87	12.60	16.54	18.87
FOSSO DELLA VALLETTA (2)	6.57	65.64	86.49	96.06
FOSSO DELLA VALLETTA (2)	8.62	78.01	102.68	114.59
FOSSO DELLE CASINE	0.43	5.04	6.42	6.99
FOSSO DELLE CASINE	1.48	12.02	15.34	16.90
FOSSO DELLE CASINE	1.50	13.46	17.05	18.64
FOSSO DELLE FORNACETTE	0.10	1.19	1.56	1.70
FOSSO DI LIMONE	0.21	2.76	3.47	3.69
FOSSO DI LIMONE	0.33	3.93	5.02	5.44
FOSSO DI LIMONE	0.39	4.45	5.74	6.26
FOSSO DI LIMONE	0.45	6.32	7.90	8.39
FOSSO DI LIMONE	1.86	22.87	29.06	31.35
FOSSO DI MONTENERO (2)	0.40	5.28	6.58	7.00
FOSSO DI MONTENERO (2)	0.43	5.04	6.31	6.81
FOSSO DI MONTENERO (2)	1.71	16.66	21.03	23.16
RIO ARDENZA	0.16	1.69	2.15	2.34
RIO ARDENZA	0.28	2.38	3.26	3.67
RIO ARDENZA	0.39	3.18	3.83	3.43
RIO ARDENZA	0.84	10.03	13.34	14.63
RIO ARDENZA	0.99	7.02	9.18	10.32
RIO ARDENZA	3.42	27.63	35.26	38.97
RIO ARDENZA	6.54	72.34	95.88	105.74
RIO ARDENZA	7.38	81.90	108.58	120.27
RIO ARDENZA	9.08	98.03	130.45	145.21
RIO ARDENZA	9.41	101.32	134.56	149.97
RIO ARDENZA	9.82	105.02	139.68	155.56
RIO ARDENZA	9.93	106.05	140.99	157.07
RIO ARDENZA	10.25	108.93	144.99	161.20
RIO ARDENZA	10.44	110.35	147.02	163.52
RIO ARDENZA	10.72	112.49	149.98	166.84
RIO ARDENZA	15.49	155.25	206.98	231.70
RIO ARDENZA	17.04	162.82	216.89	243.52
RIO ARDENZA	20.79	189.98	251.52	281.95
RIO ARDENZA	21.19	191.61	253.58	284.35
RIO CIGNOLO	0.34	1.34	1.72	2.15
RIO CIGNOLO	0.38	3.29	4.37	4.93
RIO CIGNOLO	0.50	2.67	3.41	4.05
RIO CIGNOLO	0.76	6.54	8.63	9.69

RIO CIGNOLO	1.54	11.41	14.88	16.89
RIO CIGNOLO	1.70	11.99	15.59	17.78
RIO CIGNOLO	2.24	14.77	19.12	21.95
RIO CIGNOLO	2.42	15.38	19.89	22.79
RIO CIGNOLO	2.87	16.92	21.82	25.18
RIO DELL'ACQUA PUZZOLENTE	0.14	0.47	0.60	0.72
RIO DELL'ACQUA PUZZOLENTE	0.38	2.09	2.69	3.16
RIO DELL'ACQUA PUZZOLENTE	5.45	53.07	69.27	76.95
RIO DELL'ACQUA PUZZOLENTE	6.04	54.68	71.72	79.77
RIO DELL'ACQUA PUZZOLENTE	6.39	55.26	72.52	81.07
RIO DELL'ACQUA PUZZOLENTE	11.85	91.93	122.75	139.63
RIO DELL'ACQUA PUZZOLENTE	23.57	171.73	231.58	265.08
RIO MAGGIORE (2)	0.15	0.70	0.89	1.05
RIO MAGGIORE (2)	0.16	1.98	2.51	2.70
RIO MAGGIORE (2)	0.23	3.27	4.26	4.59
RIO MAGGIORE (2)	0.30	3.34	4.33	4.77
RIO MAGGIORE (2)	0.73	8.68	10.94	11.86
RIO MAGGIORE (2)	1.14	14.25	18.58	20.32
RIO MAGGIORE (2)	1.32	16.42	21.23	23.32
RIO MAGGIORE (2)	1.59	20.17	26.08	28.60
RIO MAGGIORE (2)	1.72	21.75	28.26	30.72
RIO MAGGIORE (2)	3.04	37.10	48.45	53.24
RIO MAGGIORE (2)	3.34	40.36	52.84	58.04
RIO MAGGIORE (2)	3.51	42.17	55.29	60.68
RIO MAGGIORE (2)	3.59	43.21	56.61	62.08
RIO MAGGIORE (2)	3.89	46.23	60.15	66.10
RIO MAGGIORE (2)	5.92	65.24	84.76	93.22
RIO MAGGIORE (2)	6.05	66.04	85.84	94.51
RIO MAGGIORE (2)	6.29	66.65	86.57	95.72
RIO MAGGIORE (2)	6.30	66.64	86.59	95.64
RIO MAGGIORE (2)	6.69	67.83	88.22	97.78
RIO MAGGIORE (2)	6.77	68.09	88.40	98.10
RIO MAGGIORE (2)	7.20	69.63	90.43	100.21
RIO MAGGIORE (2)	7.32	69.67	90.41	100.60
RIO MAGGIORE (2)	7.48	70.12	90.99	101.09
RIO MAGGIORE (2)	7.59	70.41	91.36	101.42
RIO MAGGIORE (2)	8.00	70.01	90.70	101.34
RIO PAGANELLO	0.16	2.14	2.75	2.97
RIO PAGANELLO	0.27	3.80	4.75	5.05
RIO PAGANELLO	0.40	5.29	6.89	7.49
RIO PAGANELLO	0.51	6.57	8.53	9.32
RIO PAGANELLO	0.87	11.40	14.62	15.78
RIO PAGANELLO	1.13	14.01	18.18	19.81
RIO PAGANELLO	1.99	21.43	27.78	30.57
RIO PAGANELLO	2.37	26.70	34.74	37.98
RIO PAGANELLO	4.94	50.75	66.35	73.35
RIO POPOGNA	0.14	1.79	2.35	2.54
RIO POPOGNA	1.00	11.14	14.61	16.07
RIO POPOGNA	2.35	27.72	37.19	40.54
RIO POPOGNA	3.47	39.78	53.16	58.28
RIO POPOGNA	6.19	68.84	91.10	100.64
RIO VALLELUNGA DI SUESE	1.02	7.38	9.96	11.27
RIO VALLELUNGA DI SUESE	2.02	13.50	18.96	21.85
TORRENTE CHIOMA	0.24	2.98	3.91	4.30
TORRENTE CHIOMA	0.25	2.79	3.63	4.01

TORRENTE CHIOMA	0.32	4.58	5.48	5.78
TORRENTE CHIOMA	0.56	6.89	8.92	9.78
TORRENTE CHIOMA	0.58	7.04	9.47	10.32
TORRENTE CHIOMA	1.43	16.98	22.52	24.70
TORRENTE CHIOMA	2.69	31.89	42.80	46.72
TORRENTE CHIOMA	4.41	50.50	68.14	75.02
TORRENTE CHIOMA	5.34	59.79	80.40	89.12
TORRENTE CHIOMA	7.92	85.18	114.38	127.02
TORRENTE CHIOMA	14.19	147.05	196.30	219.03
TORRENTE CHIOMA	16.53	168.96	225.45	252.08
TORRENTE CHIOMA	16.67	170.34	227.32	254.15
TORRENTE CHIOMA	17.24	174.71	232.86	261.06
TORRENTE CHIOMA	18.71	184.66	245.35	275.73
TORRENTE UGIONE	0.11	2.69	3.22	2.27
TORRENTE UGIONE	0.13	1.60	2.12	2.29
TORRENTE UGIONE	0.18	0.62	0.90	1.14
TORRENTE UGIONE	0.27	5.56	6.65	6.04
TORRENTE UGIONE	0.53	8.55	10.62	11.10
TORRENTE UGIONE	2.29	31.66	39.88	42.74
TORRENTE UGIONE	2.39	14.63	21.03	24.50
TORRENTE UGIONE	2.49	34.06	43.00	46.25
TORRENTE UGIONE	2.55	34.72	43.88	47.41
TORRENTE UGIONE	2.62	35.62	45.06	48.37
TORRENTE UGIONE	3.33	43.20	55.21	59.86
TORRENTE UGIONE	3.84	47.02	60.90	66.24
TORRENTE UGIONE	6.50	65.32	86.04	95.72
TORRENTE UGIONE	11.01	91.28	121.44	137.31