

# Accordo di Collaborazione Scientifica RT-UNIFI ATTIVITÀ DI RICERCA PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO NELLA REGIONE TOSCANA

Macroattività B - Modellazione idrologica - Referente: Prof. Ing. Fabio Castelli

Addendum:

## **Ricalibrazione del modello MOBIDIC sul bacino del Fiume Versilia e rideterminazione degli idrogrammi di piena a seguito degli eventi del 2013 e del 2016**

### Sommario

1. Premessa .....	2
2. Gli eventi di piena del 2013 e del 2016 .....	3
3. Ricalibrazione del modello MOBIDIC.....	3
4. Idrogrammi per assegnati tempi di ritorno .....	5
5. Approfondimenti .....	7
a. Coefficienti di deflusso .....	7
b. Confronto con i tempi di ritorno degli eventi 2013 e 2016.....	8
c. Confronto con studi precedenti .....	9
APPENDICE 1 – Mappa delle portate massime al picco con tempo di ritorno 2 anni.....	10
APPENDICE 2 – Mappa delle portate massime al picco con tempo di ritorno 30 anni.....	11
APPENDICE 3 – Mappa delle portate massime al picco con tempo di ritorno 200 anni.....	12

## 1. Premessa

Nel corso degli anni la Regione Toscana ha promosso diversi accordi di collaborazione scientifica con l'Università di Firenze, in particolare con il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICEA). Nell'ambito dell'Accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla D.G.R.T. 1133/2012 è stato effettuato un aggiornamento dell'analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme fino all'anno 2012 compreso, al fine di ottenere un aggiornamento del quadro conoscitivo idrologico del territorio toscano (Macroattività B - Modellazione idrologica. Attività B1: Regionalizzazione precipitazioni. Referente: Prof. Enrica Caporali - Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale Università degli Studi di Firenze).

Questa attività ha portato alla stima, su tutto il territorio regionale, delle altezze di pioggia per le durate 1, 3, 6, 12, 24 ore ed i tempi di ritorno 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200, 500 e, utilizzando una regressione lineare, sono stati calcolati i parametri delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica a ed n, messi a disposizione in formato raster, risoluzione 1kmx1km.

Sempre nell'ambito dell'Accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla D.G.R.T. 1133/2012 si è proceduto ad effettuare un aggiornamento del modello Idrologico distribuito sviluppato dal Dipartimento di Ingegneria civile ed Ambientale in uso presso il Centro Funzionale della Regione Toscana per la previsione degli eventi di piena in tempo reale (MOBIDIC), anche alla luce dell'aggiornamento della banca dati pedologica, che ha permesso di stimare in maniera più efficace alcuni parametri del modello tra cui la densità apparente, la ritenzione idrica (contenuto in acqua gravitazionale e di acqua capillare) e la conducibilità idraulica satura sia per l'intero suolo che per l'orizzonte superficiale (Macroattività B - Modellazione idrologica. Attività B2: Modellazione idrologica caso pilota; Implementazione modello distribuito per la Toscana MOBIDIC. Referente: Prof. Fabio Castelli - Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale Università degli Studi di Firenze).

Il modello aggiornato è stato applicato per la previsione delle portate di piena per i corsi d'acqua presenti nel bacino Toscana Nord, utilizzando i risultati delle elaborazioni sulle precipitazioni estreme derivanti dalla attività B1.

A seguito di nuove informazioni e sopralluoghi lungo il corso del Fiume Versilia che hanno permesso una migliore stima delle portate e degli idrogrammi di piena degli eventi utilizzati per la calibrazione del modello idrologico MOBIDIC sul Fiume Versilia e di un evento avvenuto nel mese di novembre 2016 che ha rappresentato un valido punto di riferimento, soprattutto per le informazioni raccolte dagli Ufficiali Idraulici entrati in servizio, la Regione Toscana ha chiesto all'Università di Firenze di procedere a una ricalibrazione del modello sul bacino del Fiume Versilia e a una eventuale rideterminazione delle portate di piena che caratterizzano i rami in cui sono stati suddivisi i diversi corsi d'acqua ivi presenti.

## 2. Gli eventi di piena del 2013 e del 2016

I recenti eventi di piena rilevati nel 2013 e nel 2016 alla stazione idrometrica di Ponte Tavole consentono delle importanti considerazioni sulla dinamica idrologica del bacino montano del Versilia, a partire dagli aspetti dibattuti relativi ai volumi di piena, alla consistenza dei deflussi ipodermici nella forma della piena e dei valori complessivi del coefficiente di deflusso. Dei due eventi si hanno misurazioni pluviometriche e idrometriche, quest'ultime però non accompagnate da una scala di deflusso ufficiale. Da recentissime considerazioni e valutazioni aggiuntive fornite dal Servizio Idrologico regionale (comunicazione dei picchi di piena dei due eventi sono adesso valutabili alla stazione di Ponte Tavole:

- fra 310 e 340 m<sup>3</sup>/s per l'evento del 21 ottobre 2013;
- fra 240 e 270 m<sup>3</sup>/s per l'evento del 19 novembre 2016.

Partendo da tali stime di picco, gli idrogrammi di piena sono stati ricostruiti ipotizzando un valore di portata nulla alla misura idrometrica di 0.8m s.z.i. e scale di deflusso con esponenti 3/2 e 5/3 (Figura 1). Per ciascun evento si hanno quindi a riferimento quattro possibili idrogrammi, come combinazione di due possibili portate al picco e due esponenti della scala di deflusso.

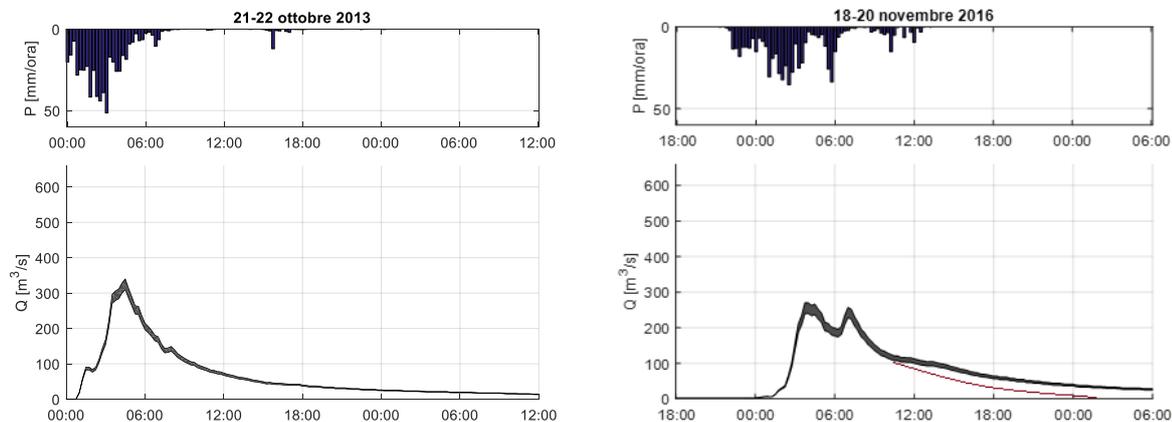


Figura 1 - Ricostruzione degli eventi di piena del 2013 e del 2016 registrati sul Versilia a Ponte Tavole

Dagli idrogrammi sopra riportati (la linea 'spessa' per gli idrogrammi rappresenta il range di stima sopra ricordato) si può osservare che i reali eventi di piena del Versilia mostrano consistenti volumi, indicativi di deflussi ipodermici (o comunque ritardati) non trascurabili. Si noti ad esempio come nell'evento del 2013 la portata è rimasta al di sopra di circa 50 m<sup>3</sup>/s (pari a 1/6 del picco di piena) per circa 12 ore dal termine dello scroscio principale. L'interpretazione dell'evento del 2016 è resa più complessa dal succedersi di tre diversi scrosci. Ipotizzando (in linea rossa) il proseguimento dell'esaurimento dopo il secondo scroscio, anche questo evento conferma la persistenza di portate consistenti per almeno 12 ore dal termine della pioggia.

## 3. Ricalibrazione del modello MOBIDIC

La calibrazione di MOBIDIC (per i parametri concettuali di tipo globale, come descritto nelle relazioni tecniche citate in Premessa) è stata effettuata minimizzando contemporaneamente l'errore sulla portata al picco e l'errore sulla distribuzione delle portate al di sopra dei 100 m<sup>3</sup>/s. Per i motivi meglio dettagliati più avanti, si è dato maggior peso all'evento del 2013. Il confronto fra gli idrogrammi stimati su base idrometrica e ricostruiti da MOBIDIC sono riportati, insieme alla distribuzione dei valori di portata al di sopra dei 100 m<sup>3</sup>/s, nei grafici in Figura 2 e Figura 3.

Si osserva una sostanziale aderenza per l'evento del 2013, con una modesta sovrastima del picco, a fronte di una certa sottostima per l'evento del 2016 sia in termini di portata che di volume.

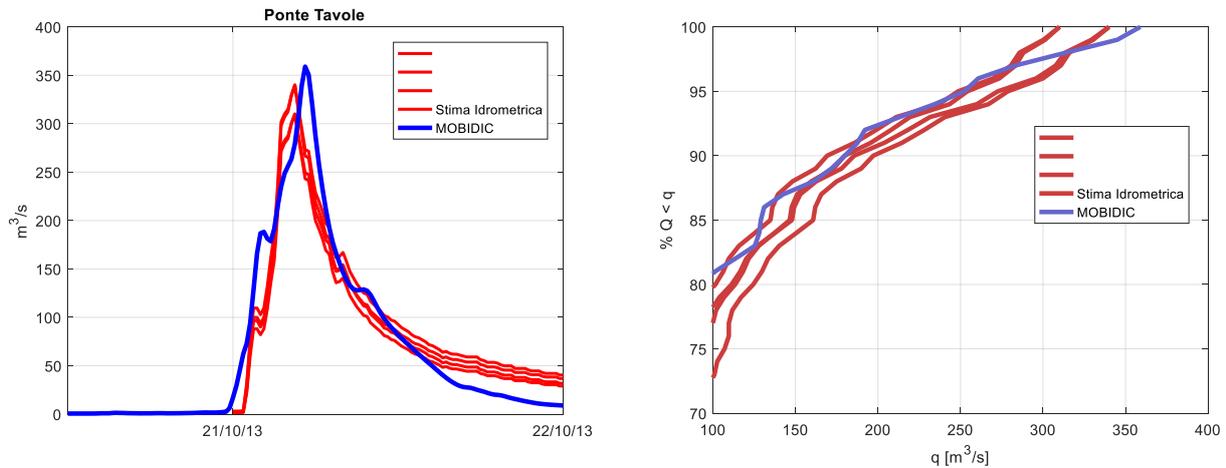


Figura 2 - Confronto fra simulazione dell'evento del 2013 con la nuova calibrazione di MOBIDIC (in blu) e stime su base idrometrica per diversi valori di picco ed esponenti della scala di deflusso (in rosso) in termini di idrogramma (a sinistra) e distribuzione di frequenza delle portate (a destra).

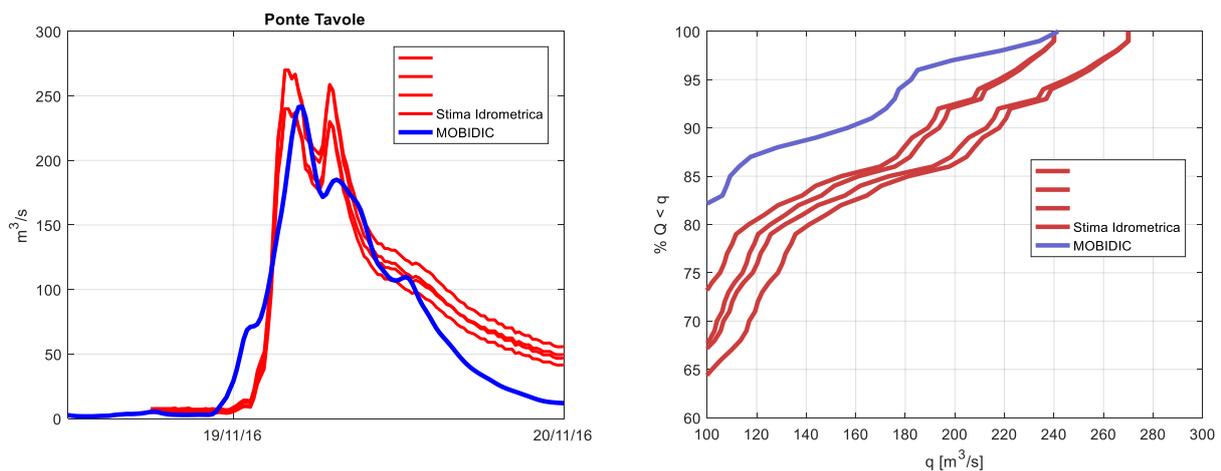


Figura 3 - Come in Figura 2, ma per l'evento del 2016.

L'effetto principale della ricalibrazione, adesso possibile anche in termini di portate e volumi, ha portato ad una maggiore sensibilità della risposta rispetto ai deflussi superficiali diretti rispetto a quelli ipodermici e ritardati, comunque rilevanti in termini volumetrici complessivi (vedi considerazioni successive). La durata critica di pioggia, nella calibrazione precedente pari a circa 5 ore per l'evento duecentennale a valle della confluenza del Serra e del Veza, risulta adesso drasticamente ridotta (circa 2 ore nella suddetta sezione di controllo) proprio a causa della accresciuta rilevanza, rispetto alla calibrazione precedente, dei deflussi superficiali caratterizzati da risposta molto più rapida. Si ricorda che il modello di trasformazione afflussi/deflussi MOBIDIC rappresenta in maniera esplicita le forti non-linearità dei processi di infiltrazione e assorbimento dell'acqua nel suolo, a seguito dei quali anche modeste variazioni del peso relativo dei diversi contributi possono portare anche a drammatiche variazioni del ritardo fra picco di piena e baricentro della pioggia.

## 4. Idrogrammi per assegnati tempi di ritorno

Come descritto nelle relazioni tecniche citate in Premessa, la procedura di stima di idrogrammi di progetto per assegnato tempo di ritardo tramite il modello distribuito MOBIDIC è basato sulla simulazione della risposta idrologica a eventi sintetici di intensità costante nel tempo e variabile nello spazio, caratterizzati da diversa durata e diverso tempo di ritorno. In particolare in questa rianalisi delle portate di progetto si sono considerate le durate da un minimo di 15' a un massimo di 24 ore e tempi di ritorno di 2, 30 e 200 anni. Dall'intero insieme delle simulazioni è quindi poi possibile valutare, per ciascun tratto fluviale del bacino, l'idrogramma con massima portata al picco o anche altri idrogrammi con minore portata al picco ma maggiore volume di piena.

Rispetto alle valutazioni citate in Premessa, è stato ritenuto opportuno anche rivedere lo schema idrologico di contribuzione all'asta terminale arginata del Fiume Versilia a valle della ferrovia. In particolare gli idrogrammi di piena per tale tratto sono adesso calcolati senza computare i contributi degli affluenti di pianura (Bonazzera, Strettoia, Montignoso), soggiacenti rispetto ai livelli di piena del Versilia stesso. L'area contribuente all'asta terminale del Versilia in condizioni di piena è adesso ridotto a circa 75 km<sup>2</sup>. Il nuovo assetto idrologico è riportato in Figura 4, nella quale sono indicati, per ciascun tratto, i nuovi valori di portata massima di piena per tempo di ritorno pari a 200 anni.

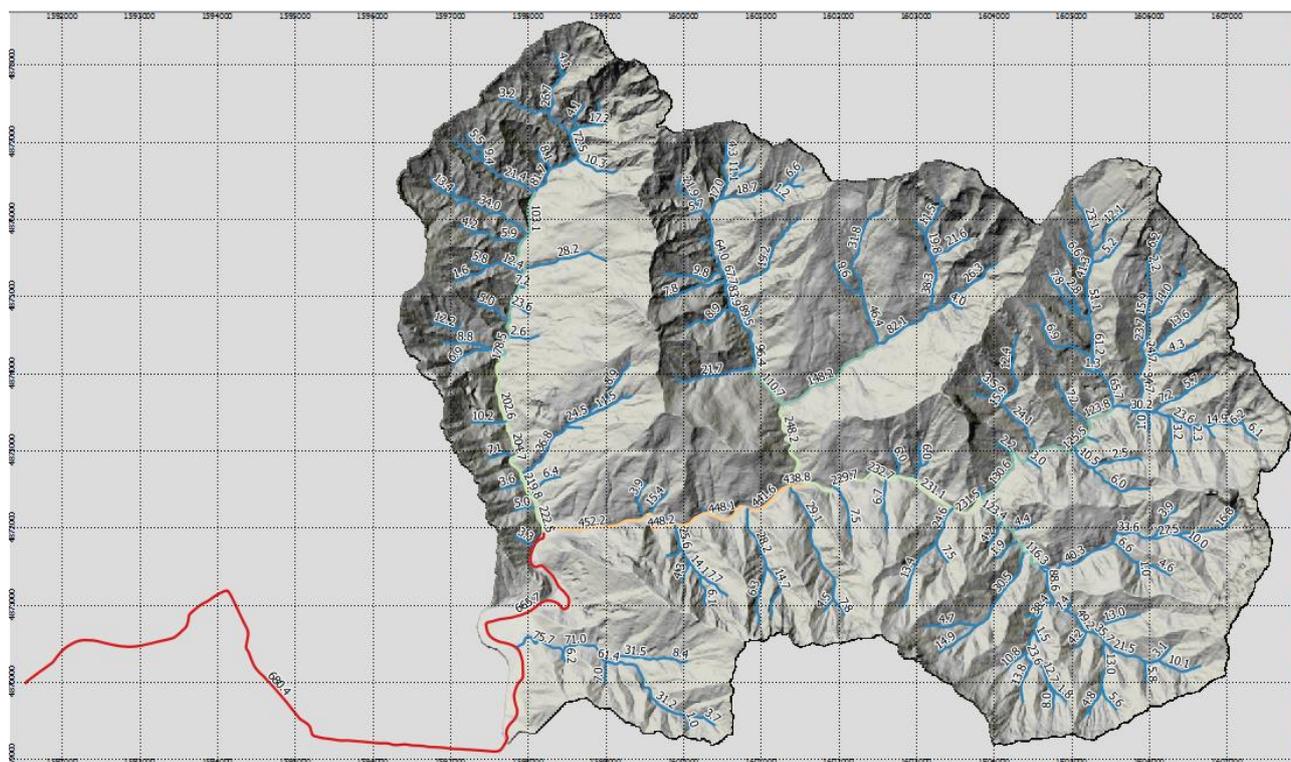


Figura 4 - Mappa delle portate massime di piena nel bacino del Versilia per tempo di ritorno di 200 anni. I valori, in m<sup>3</sup>/s, si riferiscono alla sezione terminale di ciascun tratto.

Si riportano in Figura 5 tutti gli idrogrammi calcolati, per T<sub>r</sub> 200 anni, al variare del tempo di pioggia per il tratto a valle della confluenza del Serra e del Vezza e per il tratto in prossimità del Lago di Porta. La progressione degli idrogrammi al variare della durata di pioggia è marcatamente diversa dall'andamento caratteristico dei modelli lineari, in cui il picco di piena diminuisce in maniera progressiva una volta superata la cosiddetta 'durata critica' di pioggia. I risultati del modello MOBIDIC mostrano in maniera evidente come cambia, al variare della durata di pioggia, il ruolo relativo dei diversi meccanismi di generazione del deflusso (superficiale per eccesso dell'intensità di pioggia rispetto all'intensità di infiltrazione, superficiale per saturazione del suolo, ipodermico). Per le durate brevi, di maggiore intensità,

prevale il meccanismo di eccesso dell'intensità di infiltrazione. Questo è per sua natura molto più veloce degli altri, e i tempi di risposta risultano molto brevi (dell'ordine delle 2 ore). Ad aumentare della durata, e quindi dei totali di pioggia, aumentano i contributi legati alla saturazione del suolo e di deflusso ipodermico, sensibilmente più lenti. I meccanismi legati alla saturazione diventano prevalenti per durate superiori a circa 4 ore, con la formazione di un secondo massimo relativo per durate intorno alle 6 ore. I volumi corrispondenti (totali e al di sopra di soglie predeterminate) agli idrogrammi sono riportati in Figura 6 e i relativi massimi in Tabella 1.

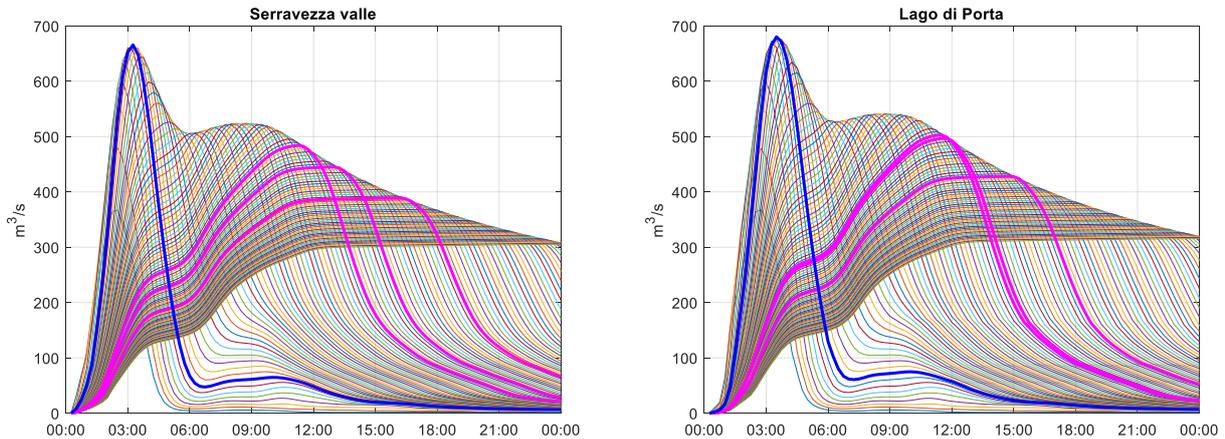


Figura 5 - Idrogrammi di piena simulati per tempo di ritorno 200 anni e piogge di durata variabile fra 15' e 24 ore a valle della confluenza fra Serra e Veza (sx) e in prossimità dello sfioratore sul lago di Porta (dx).

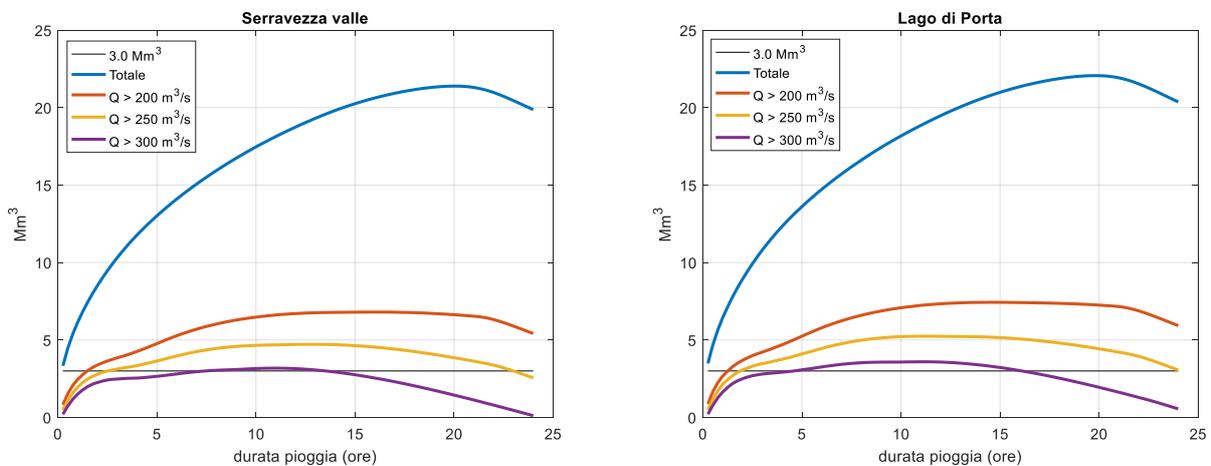


Figura 6 - Volumi di piena totali e al di sopra di portate-soglia nominali di 200, 250 e 300 m<sup>3</sup>/s al variare della durata di pioggia e tempo di ritorno di 200 anni, per il tratto a valle della confluenza del Serra e del Veza (sx) e per il tratto in prossimità dello sfioratore sul lago di Porta (dx).

	$Q_{max} (m^3/s)$	$V_{max-Tot} (Mm^3)$	$V_{max-Q>200} (Mm^3)$	$V_{max-Q>250} (Mm^3)$	$V_{max-Q>300} (Mm^3)$
<b>Serravezza valle</b>	665.7	21.390	6.803	4.719	3.180
<b>Lago di Porta</b>	680.4	22.066	7.433	5.245	3.592

Tabella 1 - Valori massimi di portata e di volume al di sopra di portate-soglia nominali di 200, 250 e 300 m<sup>3</sup>/s per tempo di ritorno di 200 anni.

## 5. Approfondimenti

### a. Coefficienti di deflusso

Si calcolano, con riferimento alla sezione idrometrica di Ponte Tavole, due diversi coefficienti deflusso:

- $\phi_v(t)$ , inteso come rapporto fra volume totale di afflusso (volume di pioggia caduto sul bacino) e volume totale di deflusso (integrale dell'idrogramma di piena). Il coefficiente di deflusso 'volumetrico' è una quantità che, in uno stesso evento, a causa del ritardo piogge portate varia sensibilmente nel tempo: all'inizio sarà pressoché nullo, crescerà rapidamente all'arrivo dell'onda di piena e tenderà ad un valore asintotico massimo nella fase di esaurimento. Nei grafici in Figura 7 si mette a confronto la progressione temporale del coefficiente di deflusso 'volumetrico' per gli eventi 2013 e 2016 e l'evento sintetico duecentennale MOBIDIC.

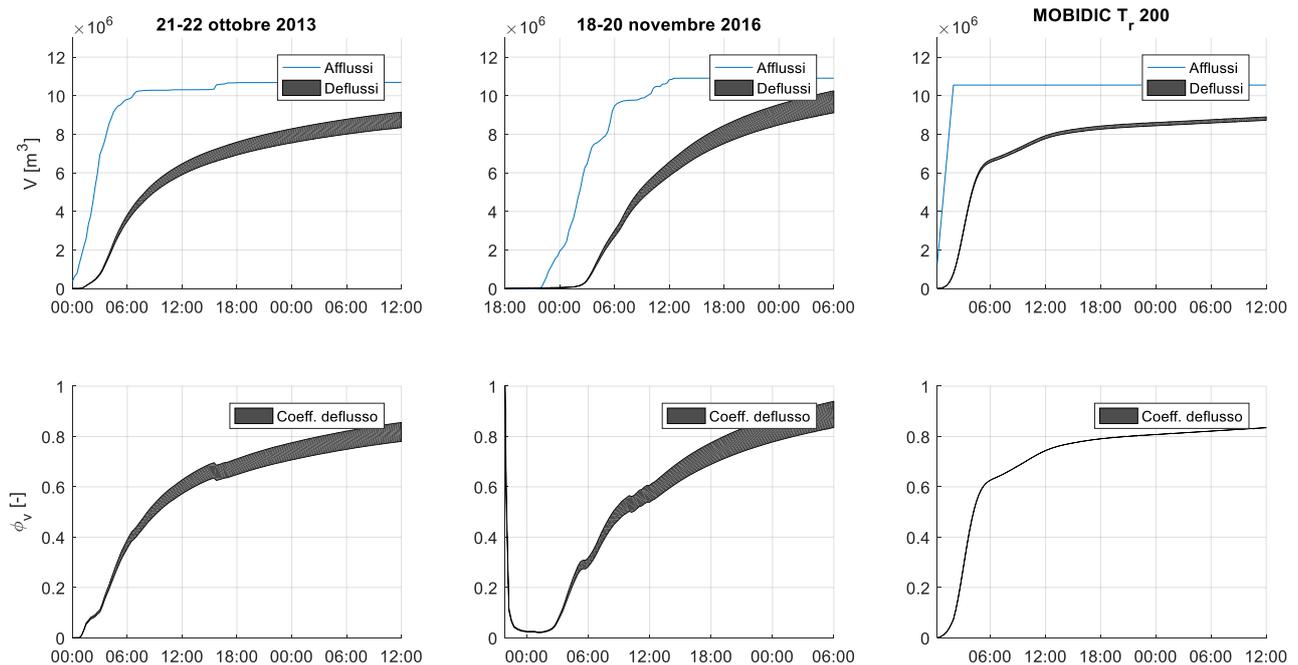


Figura 7 - Progressione temporale dei volumi di afflusso e deflusso (sopra) e del coefficiente di deflusso volumetrico (sotto) per l'evento del 2013 (sx), del 2016 (centro) e per l'evento di progetto con tempo di ritorno 200 anni (dx).

- $\phi_p$ , inteso, come nella formula razionale, come rapporto fra valore di portata al picco per unità di area del bacino e intensità massima di pioggia media areale sulla durata critica. I valori calcolati per i due eventi di riferimento e le portate di MOBIDIC, assumendo come detto sopra una durata critica di pioggia di 2.0 ore, sono riportati nella Tabella 2. Si osserva:
  - o Il valore anormalmente alto per l'evento del 2016, motivo per il quale in fase di calibrazione è stato dato maggior peso all'evento del 2013.
  - o La tendenza di MOBIDIC a fornire valori del coefficiente di deflusso crescenti con il tempo di ritorno, coerentemente con la maggior produzione di deflusso per saturazione del suolo al crescere di intensità e cumulata di pioggia.
  - o Il coefficiente di deflusso dell'evento del 2013, il cui tempo di ritorno è stimabile intorno ai 13 anni (vedi più avanti), risulta compreso fra i valori di MOBIDIC per tempo di ritorno di 2 e 30 anni.

	$P_{max}$ su 2 ore (mm/ora)	$Q_{max}$ ( $m^3/s$ )	$\phi_p$
Evento 2013	44.0	310.0	0.354
		340.0	0.388
Evento 2016	30.0	240.0	0.519
		270.0	0.569
MOBIDIC $T_r$ 2	23.3	127.0	0.274
MOBIDIC $T_r$ 30	51.9	412.9	0.399
MOBIDIC $T_r$ 200	73.6	665.7	0.454

Tabella 2 - Coefficienti di deflusso istantanei per gli eventi del 2013 e del 2016 e gli eventi di progetto per tempi di ritorno 2, 30 e 200 anni.

### b. Confronto con i tempi di ritorno degli eventi 2013 e 2016

Ulteriori confronti, al fine della validazione delle stime MOBIDIC, sono utili in termini di intensità di pioggia, valore del picco di piena e corrispondenti tempi di ritorno. Per il calcolo delle intensità di pioggia, si considera la durata di 2.0 ore evidenziata da MOBIDIC come durata di pioggia critica duecentennale per il bacino del Versilia chiuso a valle di Serravezza.

Il grafico a sinistra in Figura 8 riporta in ascissa i valori massimi nell'evento dell'intensità di pioggia media sul bacino e sulla finestra temporale di 2.0 ore, e in ordinata il valore del picco di piena. Insieme agli eventi del 2013 e del 2016, si riportano per MOBIDIC i valori calcolati con tempi di ritorno 2, 30 e 200 anni. Per gli eventi 2013 e 2016 si rappresenta il 'range' delle stime di portata di picco fornite dal Servizio Idrologico.

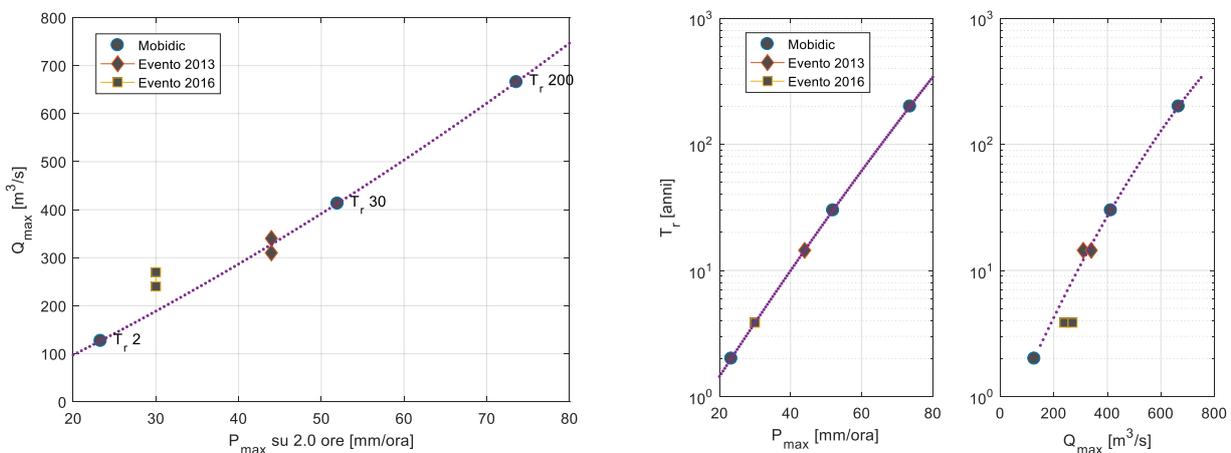


Figura 8 - Confronto fra portate massime, intensità di pioggia e tempi di ritorno delle simulazioni MOBIDIC e degli eventi 2013 e 2016.

Il grafico conferma l'ottimo allineamento del valore dell'evento 2013 con la curva interpolante le stime MOBIDIC. Invece è rilevabile un rapporto portata/pioggia maggiore per l'evento 2016 rispetto alla curva MOBIDIC. Una possibile causa può essere legata alla possibile maggiore saturazione del suolo immediatamente prima dell'evento 2016, verificatosi in novembre.

Analoga corrispondenza si osserva, come nel riportato nel grafico a destra, stimando i tempi di ritorno per gli eventi 2013 e 2016. Questa stima è qui effettuata sulla base delle intensità medie sull'area del bacino con durata 2.0 ore e interpolando i valori corrispondenti ottenuti con le linee segnalatrici e tempi di ritorno 2, 30 e 200 anni. In tale maniera si ottengono stime di tempo di ritorno di poco meno di 5 anni per l'evento del 2016 e di circa 13 per quello del 2013.

### c. Confronto con studi precedenti

Precedenti stime delle portate di piena nel bacino del Versilia si hanno dallo studio effettuato nel 1996 a firma Prof. Ing. Enio Paris, di cui si riportano in Figura 9 e Figura 10 due estratti significativi.

Tah. 12 Bacino del f. Versilia: stima delle portate di piena nelle sezioni di interesse

sezione	Area kmq	Q2 mc/s	Q50 mc/s	Q70 mc/s	Q100 mc/s	Q150 mc/s	Q200 mc/s	Q300 mc/s	Qevento mc/s
t. Cardoso monte t. Deglio (CD01)	5.5	35	86	99	114	132	146	167	239
t. Cardoso valle t. Deglio (CD03)	9.1	51	125	145	166	193	214	245	396
t. Cardoso a Colle del Cavallo (CD19)	12.6	55	145	167	192	222	245	281	490
C.le Mulina a Culerchia (VZ01)	3.5	16	41.3	49	58	69	77	89	112
C.le Mulina monte t. Cardoso (VZ20)	10.7	42	110	129	151	178	199	230	341
t. Zezza valle t. Cardoso (VZ24)	24.2	87	238	275	318	371	411	471	510
Canale del Bosco (CG1)	7.9	30	79	93	108	127	141	163	100
Canale del Giardino (CG21)	16.3	49	135	158	185	218	242	280	100
t. Zezza valle C.le Giardino (VZ34)	45	110	317	370	430	503	558	641	530
t. Serra (SR20)	16.1	94	118	140	164	195	215	250	304
f. Versilia a Seravezza (VZ73)	68.3	112	356	418	487	573	638	737	571
C.le Bonazzera (BZ20)	3.1	24	30	45	52	61	68	78	---
t. Strettaia (ST20)	6.2	43	70	82	95	111	123	141	---
t. Montignoso (MT18)	7.4	45	77	89	103	120	133	152	---

Figura 9 - Tabella delle portate massime di piena per assegnato tempo di ritorno dallo studio E. Paris (1996).

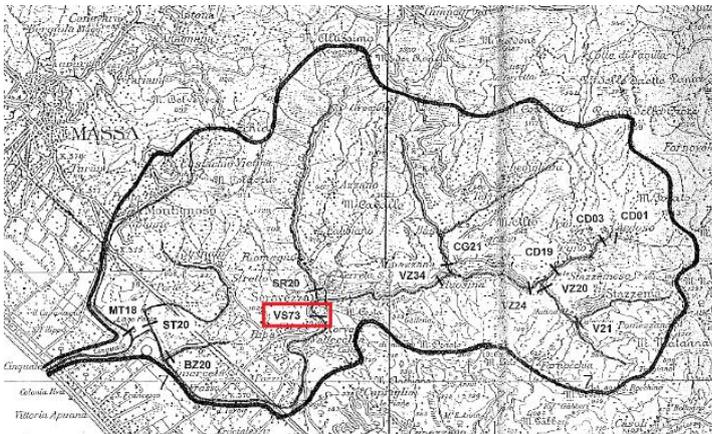


Figura 10 - Planimetria del bacino del Versilia e sezioni di controllo dallo studio E. Paris (1996).

Con riferimento alla portata duecentennale alla sezione VZ73, la stima di 665.7 m<sup>3</sup>/s ottenuta con MOBIDIC mostra un incremento di poco più del 4% rispetto ai 638 m<sup>3</sup>/s dello studio Paris. Ciò è il risultato combinato di:

- diverso modello di stima;
- diverse linee segnalatrici di possibilità pluviometrica;
- diversa area del bacino a monte (valutabile in circa 68 km<sup>2</sup> a monte della sezione VZ73 di Paris e in circa 72 km<sup>2</sup> al termine del tratto di confronto MOBIDIC<sup>1</sup>)

<sup>1</sup> In MOBIDIC la portata corrispondente a ciascun tratto è calcolata nella sua sezione terminale, includendo anche la parte di bacino direttamente contribuente al tratto stesso





