

INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO DELLA DIGA DROVE DI CEPPARELLO



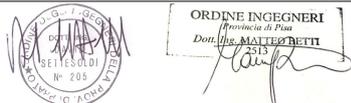
PROGETTO DEFINITIVO

Codice elaborato: ET02	Nome Elaborato: RELAZIONE IDROLOGICA	Scala: -
		Data: 18/04/2019

Settore:  INGEGNERIE TOSCANE	Sede Firenze Via de Sanctis, 49 Cod. Fiscale e P.I. 06111950488
<small>Organizzazione dotata di Sistema di Gestione Integrato certificato in conformità alla normativa ISO9001 - ISO14001 - OHSAS18001 - SA8000</small>	

PROGETTAZIONE :	COLLABORATORI :
PROGETTISTA - PROJECT MANAGER : ING MARIO CHIARUGI ING. MATTEO BETTI	DOTT. GEOL. CARLO FERRI DOTT. GEOL. ALESSANDRO AGNELLI PER. AGR. DAVIDE MORETTI GEOM. ANDREA BERNARDINI
GEOLOGO: DOTT. GEOL. NICOLA CEMPINI	
ESPROPRI: GEOM. ANDREA PATRIARCHI	

CONSULENTI TECNICI :	COMMESSA I.T. :
 PROGETTISTA OPERE IDRAULICHE E STRUTTURALI :ING. DAVID SETTESOLDI	INGT-TPLPD-ACQAC159

	RESPONSABILE COMMITTENTE : GEOM. ALESSANDRO PIOLI
---	--

DIRETTORE TECNICO INGEGNERIE TOSCANE :	RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO :
ING. MARIO CHIARUGI	 ING. ROBERTO CECCHINI

Rev.	Data	Descrizione / Motivo della revisione	Redatto	Controllato / Approvato
01	18 / 04 / 2019	Prima Emissione	Settesoldi	Settesoldi

INDICE

1	PREMESSA	1
2	QUADRO CONOSCITIVO	2
3	ANALISI IDROLOGICA	3
3.1	CARATTERISTICHE DEL MODELLO AFFLUSSI-DEFLUSSI	3
3.2	LE FASI COMPUTAZIONALI	5
3.3	LE CARATTERISTICHE GEOGRAFICHE	6
3.4	TARATURA DEL MODELLO IDROLOGICO	10
3.5	AGGIORNAMENTO DELLE LSPP	17
3.6	CALCOLO DEI CONTRIBUTI DI PIENA PER I DIVERSI TEMPI DI RITORNO	22
4	VERIFICA DEGLI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO IDRAULICO	23
4.1	CALCOLO DEL FRANCO MINIMO REGOLAMENTARE	23
4.2	VERIFICA DEL FRANCO IDRAULICO	23
4.2.1	<i>Legge di invaso serbatoio</i>	<i>23</i>
4.2.2	<i>Scale di deflusso scarichi di superficie</i>	<i>25</i>
4.2.3	<i>Laminazione esercitata dall'invaso</i>	<i>31</i>
4.3	ANNULLAMENTO DEL FRANCO IDRAULICO	35
A.	APPENDICE	39
	IL MODELLO IDROLOGICO	39
	LE PRECIPITAZIONI	42
	TABULATI ANALISI IDROLOGICHE	44

ELENCO FIGURE

Figura 3-1 – Planimetria bacino idrografico sotteso alla sezione dello sbarramento della diga di Cepparello.	4
Figura 3-2 – Mappa delle quote del bacino idrografico sotteso alla sezione dello sbarramento della diga di Cepparello.	7
Figura 3-3 – Mappa della capacità di ritenuta del bacino idrografico sotteso alla sezione dello sbarramento della diga di Cepparello.	8
Figura 3-4 – Mappa della velocità di filtrazione del bacino idrografico sotteso alla sezione dello sbarramento della diga di Cepparello	9
Figura 3-5 - Posizione planimetrica del pluviometro.....	11
Figura 3-6 – Curva invaso attuale	12
Figura 3-7 – Curva di deflusso degli scarichi a sifone	13
Figura 3-8 Dati livelli idrometrici dell’invaso e rispettivi portate affluenti per l’evento del 2012	13
Figura 3-9 Dati livelli idrometrici dell’invaso e rispettivi portate affluenti per gli eventi del 2013.....	14
Figura 3-10 Dati livelli idrometrici dell’invaso e rispettivi portate affluenti per l’evento del 2014	14
Figura 3-11 Evento di pioggia compreso tra il 26-11-2012 e il 01-12-2012	15
Figura 3-12 Evento di pioggia compreso tra il 20-10-2013 e il 23-10-2013	15
Figura 3-13 Evento di pioggia compreso tra il 23-10-2013 e il 25-10-2013	16
Figura 3-14 Evento di pioggia compreso tra il 29-01-2014 e il 03-02-2014	16
Figura 3-15 – Spazializzazione sull’intera regione del parametro “a” della LSPP per Tr = 50 anni (“Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme”, 2014).....	18
Figura 3-16 – Spazializzazione sull’intera regione del parametro “n” della LSPP per Tr = 50 anni (“Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme”, 2014).....	18
Figura 3-17 – Spazializzazione sull’intera regione del parametro “a” della LSPP per Tr = 200 anni (“Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme”, 2014).....	19
Figura 3-18 – Spazializzazione sull’intera regione del parametro “n” della LSPP per Tr = 200 anni (“Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme”, 2014).....	19
Figura 3-19 – LSPP per il tempo di ritorno di 1000 anni adottata nelle precedenti elaborazioni e quella aggiornata.....	20
Figura 3-20 – Coefficiente a.....	21
Figura 3-21 – Coefficiente n	21
Figura 3-22 – Idrogrammi delle portate per i vari tempi di ritorno a seguito dell’aggiornamento dell’analisi idrologica.	22
Figura 4-1 – Curva di invaso progetto e attuale.	25
Figura 4-2 - Modello idraulico	28
Figura 4-3 - Relazione tra Cd e portata in uscita indagata sperimentalmente.....	29
Figura 4-4 – Curva di deflusso scolmatore sinistro ricavata per intervallo di portate indagate sperimentalmente	30
Figura 4-5 – Curva di deflusso scolmatore destro ricavata per intervallo di portate indagate sperimentalmente	31
Figura 4-6 – Laminazione del serbatoio per Tr = 30 anni nello stato di progetto.	32
Figura 4-7 – Laminazione del serbatoio per Tr = 50 anni nello stato di progetto.	33
Figura 4-8 – Laminazione del serbatoio per Tr = 100 anni nello stato di progetto.	33
Figura 4-9 – Laminazione del serbatoio per Tr = 200 anni nello stato di progetto.	34

Figura 4-10 – Laminazione del serbatoio per $Tr = 500$ anni nello stato di progetto.	34
Figura 4-11 – Laminazione del serbatoio per $Tr = 1000$ anni nello stato di progetto.	35
Figura 4-12 – Curva di deflusso scolmatore sinistro	36
Figura 4-13 – Curva di deflusso scolmatore destro	37
Figura 4-14 – Andamento del franco e della laminazione del serbatoio al variare del periodo di ritorno.	38
Figura A-1 – Schema del modello afflussi-deflussi.	39
Figura A-2 – Schema dello ietogramma Chicago.	42

ELENCO TABELLE

Tabella 3-1– Parametri del modello idrologico PIENE.....	5
Tabella 3-2 - Eventi di pioggia significativi utilizzati per la taratura	11
Tabella 3-3 – Parametri curva invaso attuale.....	12
Tabella 3-4 – Parametri della scala di deflusso degli scarichi a sifone	12
Tabella 3-5– Parametri degli eventi pluviometrici e parametri adottati nel modello idrologico	17
Tabella 3-6 – Confronto tra i parametri caratteristici medi a , n e m delle LSPP.....	20
Tabella 3-7 – Confronto tra i colmi di portata per i vari periodi di ritorno.	22
Tabella 4-1– Calcolo del franco idraulico minimo regolamentare.	23
Tabella 4-2 – Dati utilizzati per la costruzione della legge di invaso	24
Tabella 4-3 – Parametri della curva di invaso.....	25
Tabella 4-4 – Scala delle portate degli sfioratori sperimentalmente rilevate in data 23/10/2018.....	26
Tabella 4-5 – Scala delle portate degli sfioratori sperimentalmente rilevate in data 08/11/2018.....	26
Tabella 4-6 – Scala delle portate degli sfioratori sperimentalmente rilevate in data 12/11/2018.....	26
Tabella 4-7 – Scala delle portate degli sfioratori sperimentalmente rilevate in data 11/12/2018.....	27
Tabella 4-8 – Scala delle portate degli sfioratori sperimentalmente rilevate in data 14/12/2018.....	27
Tabella 4-9 – Tabulati verifiche idrauliche per la costruzione delle scale di deflusso degli scolmatori sinistro e destro.....	29
Tabella 4-10 – Parametri delle curve di deflusso valide per portata totale uscente fino a 350 m ³ /s.....	30
Tabella 4-11 – Portate evacuate e livelli di invaso per i periodi di ritorno di 30, 50, 100, 200, 500 e 1000 anni.	32
Tabella 4-12 – Portate evacuate e livelli di invaso per verifiche a franco nullo	36
Tabella 4-13 – Parametri delle curve di deflusso per portate totali in uscita superiori a 350 m ³ /s.....	37
Tabella 4-14 – Portate evacuate e livelli di invaso per i periodi di ritorno superiori a 1000 anni.....	38
Tabella A-1 – Elenco della variabili utilizzate dal modello afflussi-deflussi.....	41
Tabella A-2 – Portate al colmo per la durata di 24 ore per i vari tempi di ritorno aggiornate con le LSPP. ...	44

1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la relazione idrologica a supporto della progettazione definitiva degli interventi di miglioramento della diga di Cepparello ubicata nel Comune di Poggibonsi (Prov. SI) sul Borro di Cepparello.

Le attività condotte nel presente documento hanno riguardato la verifica della conformità degli interventi di miglioramento idraulico previsti ai requisiti indicati nel cap. C.1 del D.M. 26/06/2014.

Nella presente relazione si riportano la metodologia ed i risultati ottenuti dall'analisi idrologica.

Nella prima fase è stato messo a punto un modello idrologico per la stima degli idrogrammi di piena per il bacino idrografico sotteso alla sezione dello sbarramento. Il modello idrologico adottato è costituito da un modello a parametri distribuiti (*software* PIENE v.4.13).

La portata millenaria era stata calcolata nei progetti precedenti al preliminare in circa 190 mc/s. Tale portata era stata validata dall'Ufficio Idraulica del Servizio Dighe. Nella redazione del progetto preliminare tale portata è stata ricalcolata con lo stesso modello idrologico utilizzando le curve di possibilità pluviometrica aggiornate al 2012 in circa **210 mc/s**. Nel presente progetto definitivo tale portata è stata confermata sulla base di un modello idrologico di maggiore dettaglio che utilizza oltre alle curve di possibilità pluviometrica aggiornate al 2012 anche le caratteristiche idrologiche dei suoli fornite della Regione Toscana. Tale modello è stato tarato sulla base di alcuni eventi significativi registrati alla diga di Cepparello provvedendo a calcolare sulla base della equazione di continuità l'afflusso all'invaso e con l'acquisizione dei dati pluviometrici del Servizio Idrografico Regionale.

Nella seconda fase è stato valutato l'effetto di laminazione esercitato dal serbatoio nello stato di progetto sulle portate di piena, col fine di illustrare i sensibili miglioramenti del livello di sicurezza della diga rispetto allo stato attuale.

2 QUADRO CONOSCITIVO

Il presente studio idrologico ha fatto riferimento ai seguenti studi:

- [1] *“Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme. Macroattività B - Modellazione idrologica. Attività B1 - Regionalizzazione precipitazioni”*, studio redatto nell’ambito dell’accordo di collaborazione scientifica tra Regione Toscana e Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell’Università degli Studi di Firenze per lo sviluppo di attività di ricerca sulla mitigazione del rischio idraulico nella Regione Toscana, finalizzata all’approfondimento dell’attuale quadro conoscitivo e alla definizione delle azioni di riduzione del rischio idraulico e idrogeologico (Caporali E., Chiarello V. e Rossi G., marzo 2014);
- [2] *“Implementazione modello distribuito per la Toscana MOBIDIC. Macroattività B – Modellazione idrologica. Attività B2 – Caratterizzazione idrologica dei suoli della Toscana per il modello MOBIDIC”*, redatto nell’ambito dell’accordo di collaborazione scientifica tra Regione Toscana e Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell’Università degli Studi di Firenze per lo sviluppo di attività di ricerca sulla mitigazione del rischio idraulico nella Regione Toscana, finalizzata all’approfondimento dell’attuale quadro conoscitivo e alla definizione delle azioni di riduzione del rischio idraulico e idrogeologico (Castelli F., novembre 2014).

I risultati dell’Analisi di Frequenza Regionale sono archiviati nello spazio ServiziOnline della Regione Toscana:

http://www.regione.toscana.it/cittadini/ambiente/difesa-del-suolo/-/asset_publisher/eonjZadAbVH6/content/nuovi-dati-sulla-regionalizzazione-delle-precipitazioni

I parametri e i risultati derivanti dall’implementazione del modello idrologico distribuito per il territorio toscano sono archiviati nello spazio ServiziOnline della Regione Toscana:

<http://www.regione.toscana.it/-/implementazione-di-modello-idrologico-distribuito-per-il-territorio-toscano>

Sono stati inoltre acquisite le registrazioni dei livelli dell’invaso e delle precipitazioni per tre eventi significativi verificatesi nel bacino del borro di Cepparello dal 2012 al 2014.

3 ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica, mirata a fornire la valutazione delle portate di piena per il bacino idrografico sotteso alla sezione dello sbarramento Figura 3-1, si basa su un modello a parametri distribuiti e tiene conto degli studi a condotti dall'Università di Firenze per conto della Regione Toscana per l'aggiornamento delle curve di possibilità pluviometrica [1] e per l'implementazione di un modello distribuito per la Toscana MOBIDIC [2].

Il suddetto modello a parametri distribuiti è in grado di simulare sia il fenomeno della formazione dell'onda di piena che quello del suo trasferimento a scala di bacino.

Il modello idrologico è descritto nell'Appendice A alla presente relazione.

In particolare si mette in evidenza quanto segue:

- le curve di possibilità pluviometrica aggiornate fino al 2012 sono quelle elaborate dall'Università di Firenze nello studio [1] per conto della Regione Toscana;
- gli ietogrammi di pioggia sono assunti di forma Chicago con tempo di picco pari a 0.4 volte la durata dell'evento assunta pari a 24 ore;
- la parametrizzazione delle caratteristiche idrologiche del suolo è condotta attraverso l'osservazione di una serie di eventi di pioggia significativi che si sono verificati dal 2012 al 2014;
- il grado di saturazione adottato è assunto pari a 1.

3.1 CARATTERISTICHE DEL MODELLO AFFLUSSI-DEFLUSSI

Il modello idrologico utilizzato può essere classificato come *distribuito* in quanto i parametri sono definiti per ognuna delle singole celle che caratterizzano il bacino idrografico. Dal punto di vista concettuale il modello valuta dapprima la formazione del deflusso superficiale mediante la simulazione del fenomeno dell'intercettazione e, successivamente, il trasferimento di tale deflusso sino alla sezione di chiusura.

Il modello che simula il fenomeno dell'intercettazione calcola il deflusso superficiale di ciascuna cella, considerando sia la capacità di ritenuta del suolo che la velocità di infiltrazione a saturazione (percolazione). Il modello mette in conto anche la componente di deflusso ipodermico che raggiunge il reticolo con tempi maggiori rispetto al deflusso superficiale.

La simulazione delle modalità di trasferimento del deflusso superficiale si basa sulla schematizzazione del fenomeno mediante una componente di tipo cinematico e una di tipo "serbatoio lineare" (modello tipo Clark).

L'applicazione di un modello a parametri distribuiti prevede la schematizzazione a celle del bacino, per ciascuna delle quali viene definito un set di parametri che ne caratterizzano la risposta idrologica.

Le mappe che forniscono la parametrizzazione dei processi di formazione e trasferimento dei deflussi sul bacino in esame sono:

1. *mappa dei puntatori;*
2. *mappa degli ordini di calcolo;*
3. *mappa dei bacini;*
4. *mappa delle velocità;*
5. *mappa dei tempi di trasferimento;*
6. *mappa della capacità di ritenuta (GRAV – contenuto di acqua gravimetrica)*
7. *mappa della velocità di filtrazione a saturazione (percolazione) (KSAT-150 conducibilità satura intero suolo)*

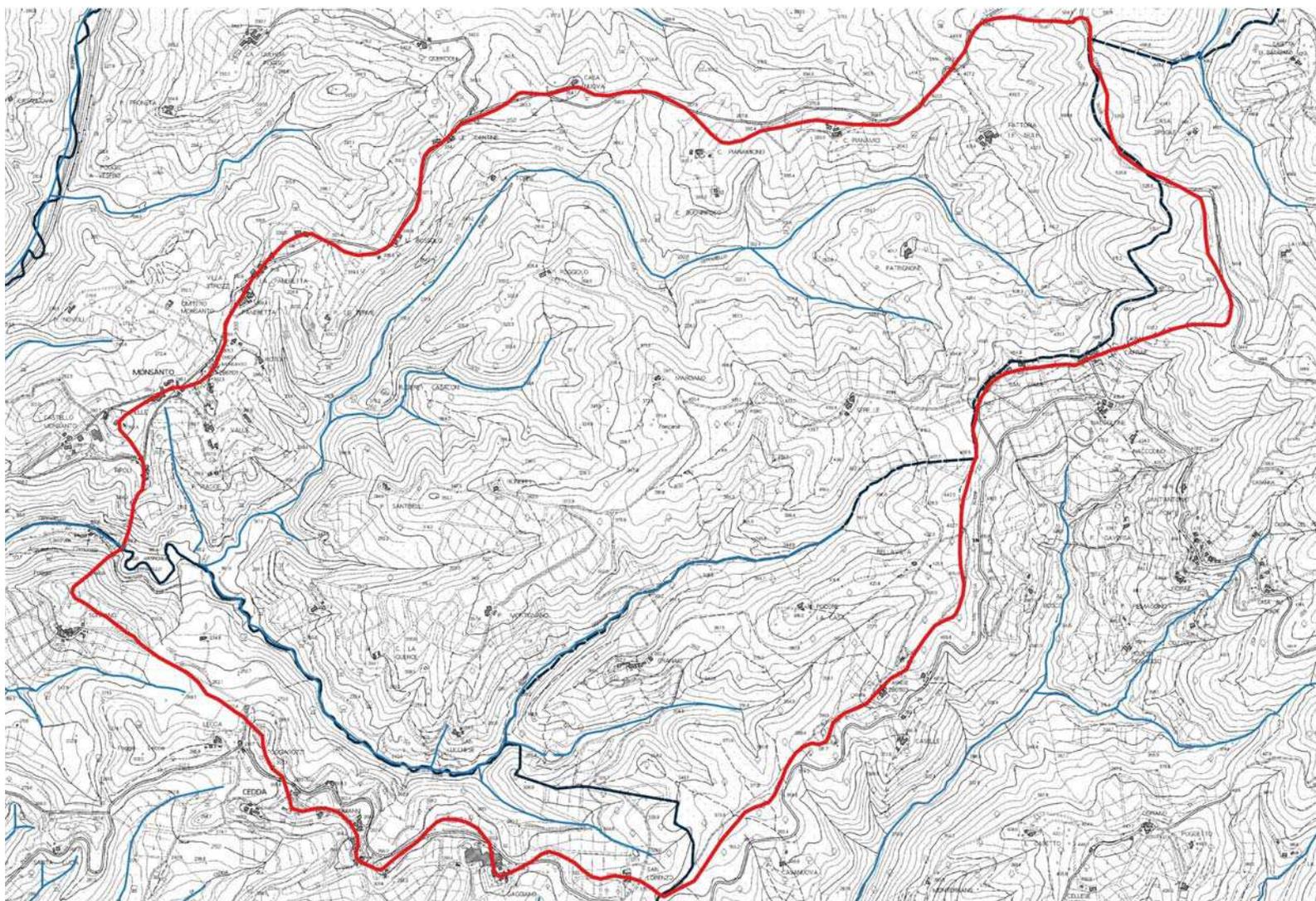


Figura 3-1 – Planimetria bacino idrografico sotteso alla sezione dello sbarramento della diga di Cepparello.

3.2 LE FASI COMPUTAZIONALI

Il calcolo viene condotto per ciascuna cella e per tutti i passi temporali secondo le seguenti fasi:

- *intercettazione*: in questa fase si effettua una stima della quantità di acqua che viene comunque sottratta al deflusso superficiale. La stima è riferita ad una componente iniziale che comprende le varie perdite per intercettazione (vegetazione, assorbimento del suolo) e ad una componente a regime riferita alla capacità di infiltrazione a saturazione;
- *suolo*: in questa fase si ricostruisce il bilancio idrologico del suolo, valutando la quantità d'acqua che va ad alimentare il volume profondo e la componente del deflusso ipodermico;
- *canale*: in questa fase si simula il trasferimento del deflusso superficiale e di quello ipodermico dalla singola cella alla sezione di chiusura.

All'inizio dell'evento di precipitazione una parte della pioggia si infiltra nel suolo fino a saturarne la capacità di ritenuta. Saturato tale volume, l'acqua continua a infiltrare nel suolo con un tasso definito dalla velocità di infiltrazione. Se l'afflusso eccede la velocità di infiltrazione si ha deflusso superficiale verso il canale. Tale deflusso contribuisce alla portata con un ritardo dettato dal modello di trasferimento.

Il bilancio del serbatoio "suolo" tiene pertanto conto da una parte dell'afflusso per infiltrazione, dall'altra delle perdite. Le perdite sono tali che per suolo saturo la quantità di acqua che si infiltra nel suolo sia pari alla velocità di infiltrazione.

La capacità di ritenuta [mm], ovvero la quantità di acqua che può essere immagazzinata nella parte gravitazionale del suolo (grado di saturazione uguale a 1), e la velocità di infiltrazione a saturazione [mm/h], che rappresenta la velocità di infiltrazione nel suolo in condizioni di saturazione (grado di saturazione uguale a 1), sono definite tramite mappe con maglia uguale a quella del modello digitale del terreno.

Sulla base di quanto esposto, il modello necessita della definizione dei seguenti parametri validi su tutto il bacino:

- grado di saturazione iniziale, che rappresenta la percentuale di acqua presente nel volume gravitazionale di suolo;
- coefficiente di ripartizione cinematico/invaso, che esprime il peso relativo del tempo di ritardo attribuibile alla componente cinematica e alla componente di serbatoio lineare;
- parametro di scala per il calcolo della velocità di trasferimento, che rappresenta la velocità con cui il deflusso superficiale generato nella singola cella si trasferisce alla sezione di chiusura.

Nella Tabella 3-1 si riportano i valori dei parametri adottati per la ricostruzione delle portate di piena. Essi sono determinati tenendo conto degli eventi di pioggia significativi dal 2012 al 2014.

α_o	Grado di saturazione iniziale []	1.00
RI	coefficiente moltiplicativo della capacità di ritenuta del suolo []	1.00
IN	coefficiente moltiplicativo della velocità di infiltrazione a saturazione []	0.20
IP	coefficiente moltiplicativo della componente ipodermica []	0.10
MT	coefficiente moltiplicativo della velocità di trasferimento []	1.85
CI	coefficiente ripartizione cinematico-invaso []	0.35

Tabella 3-1– Parametri del modello idrologico PIENE.

Si rimanda al paragrafo 3.4 per la descrizione della taratura del suddetto modello idrologico.

3.3 LE CARATTERISTICHE GEOGRAFICHE

Le basi di dati cartografici, in formato digitale (*grid*), sono costituite da:

- modello digitale del terreno con maglia 10m x 10m adeguata a consentire l'individuazione delle linee di impluvio ed una corretta individuazione dei bacini imbriferi (Figura 3-2);
- mappa della capacità di ritenuta (Figura 3-3);
- mappa della velocità di filtrazione a saturazione (Figura 3-4).

Le mappe sopra indicate si riferiscono al bacino idrografico alla sezione dello sbarramento della diga di Cepparello.

La mappa dei “puntatori idrologici e dei tempi di trasferimento” sono stati elaborati a partire dal DTM 10×10 m. La mappa dei puntatori indica la direzione del deflusso superficiale e viene ricavato assumendo che ogni cella versi nella cella vicina a quota minore.

I tempi di trasferimento sono stati valutati nella ipotesi che la velocità di trasferimento nella singola sezione sia proporzionale all'area del bacino a monte elevata all'esponente 0.15 e alla pendenza locale elevata alla 0.2.

Il legame funzionale è quindi del tipo $v = 1.85 A^{0.15} J^{0.2}$, dove v è la velocità di trasferimento [m/s], A l'area del bacino [km²] e J la pendenza locale.

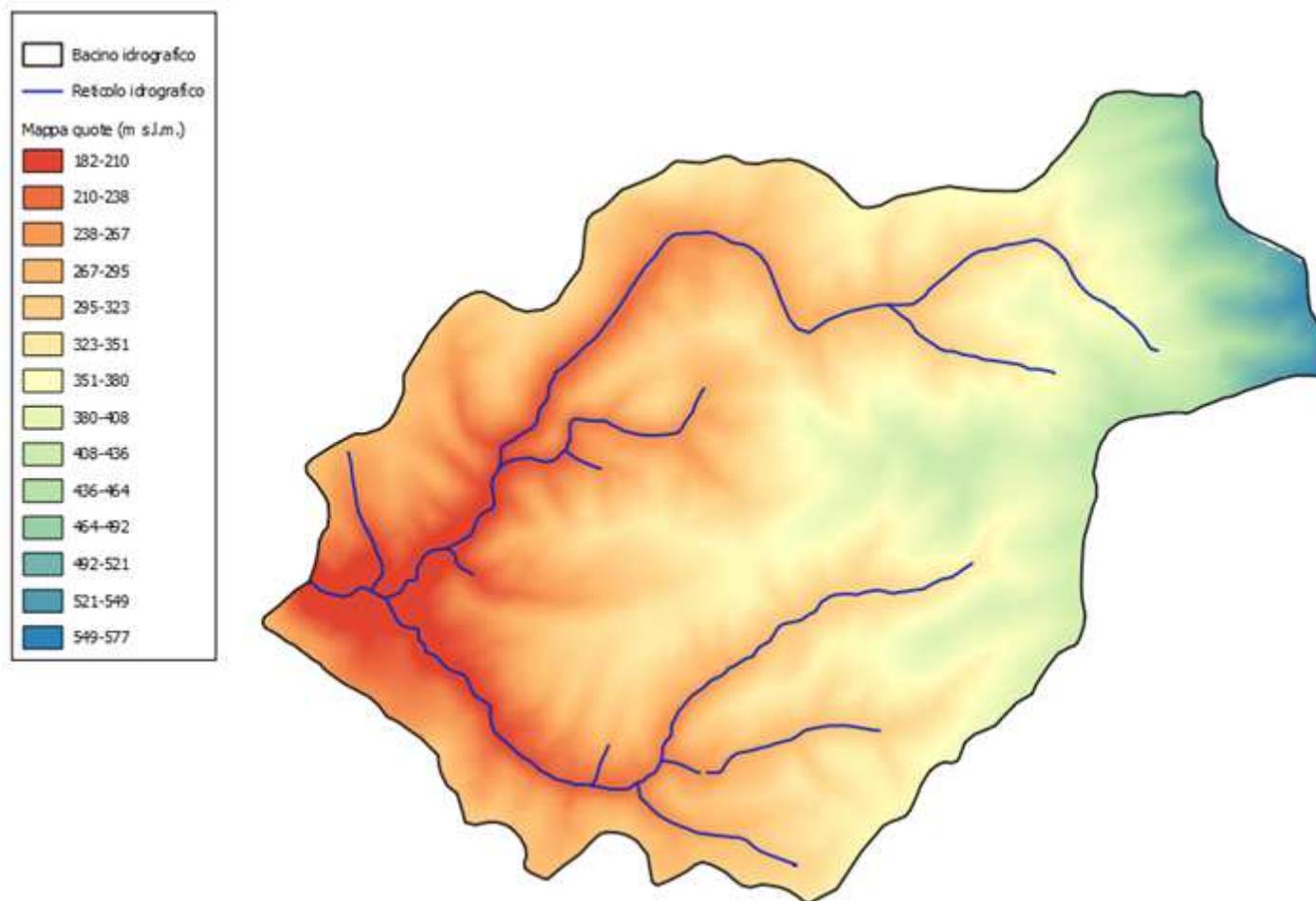


Figura 3-2 – Mappa delle quote del bacino idrografico sotteso alla sezione dello sbarramento della diga di Cepparello.

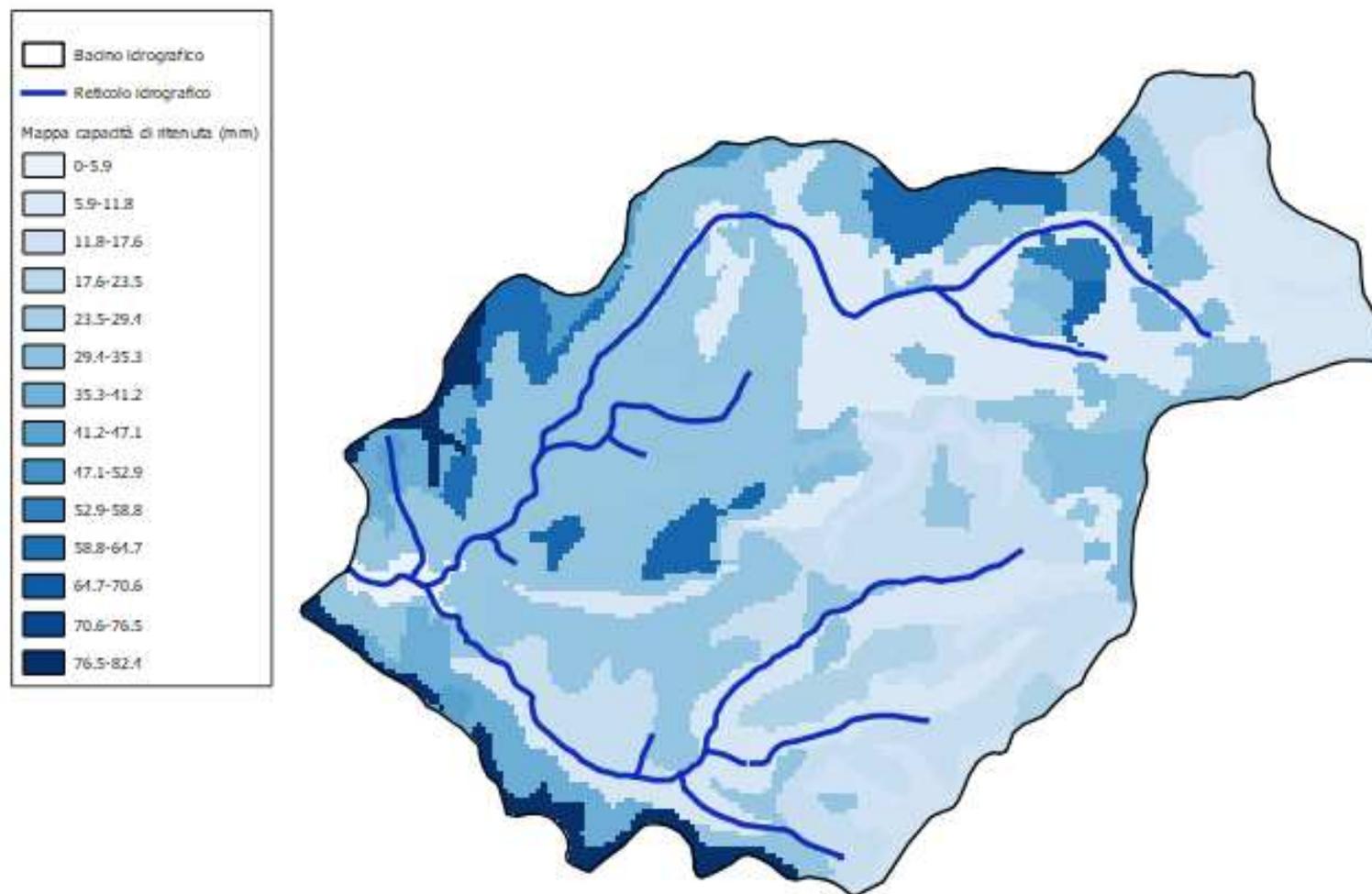


Figura 3-3 – Mappa della capacità di ritenuta del bacino idrografico sotteso alla sezione dello sbarramento della diga di Cepparello.

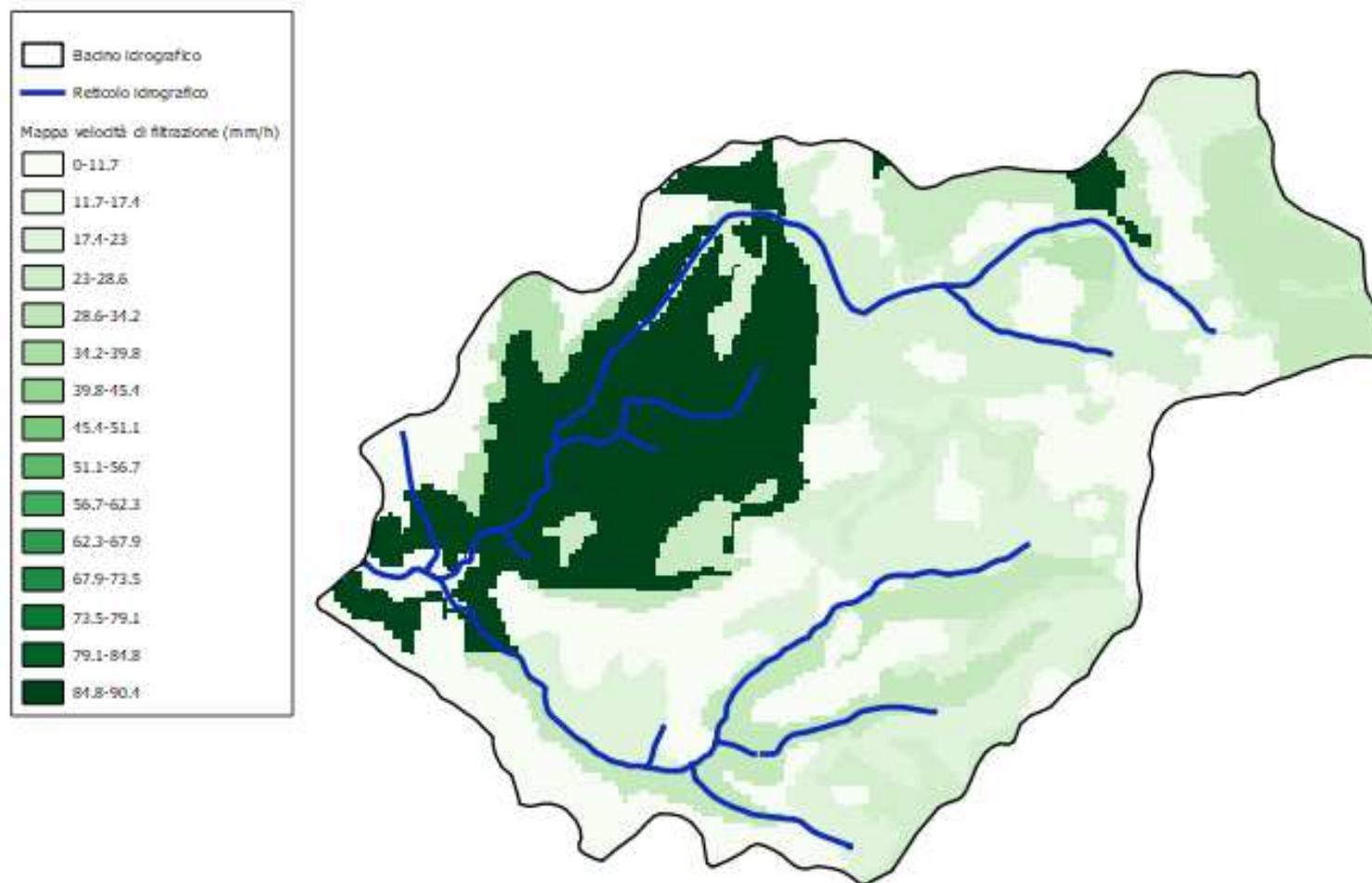


Figura 3-4 – Mappa della velocità di filtrazione del bacino idrografico sotteso alla sezione dello sbarramento della diga di Cepparello

3.4 TARATURA DEL MODELLO IDROLOGICO

La taratura del modello idrologico è stata effettuata sulla base di eventi meteorici noti dove, oltre alle altezze di pioggia registrate nella stazione pluviometrica di riferimento ad intervalli di 15 minuti, sono disponibili i dati dei livelli idrometrici presente nell'invaso della diga di Cepparello per gli stessi step temporali.

In particolare questo modello è stato tarato su 4 eventi significativi dal 2012 al 2014, le cui altezze di pioggia sono registrate nella stazione pluviometrica di Barberino Val d'Elsa (codice TOS1100022 • 749907 • 22).

La posizione planimetrica della stazione rispetto alla diga di Cepparello è rappresentata in Figura 3-5.

I periodi di osservazione del pluviometro di Barberino Val d'Elsa e dell'idrometro presente nell'invaso della diga sono invece riportati nella Tabella 3-2.

I dati pluviometrici sono stati forniti dal SIR (Servizio Idrologico Regionale).

La curva di invaso attuale della diga di Cepparello, i cui parametri sono descritti in Tabella 3-3, è riportata graficamente in Figura 3-6. Tale legge di invaso è stata determinata sulla base del rilievo topografico realizzato dal Gestore nel corso della campagna di misure svolta nel corso del 2016.

La scala di deflusso dei due sifoni, realizzati nel 2003 in attesa del completo ripristino dello scarico di fondo, è riportata graficamente in Figura 3-7, mentre i suoi parametri sono descritti in Tabella 3-4. Questa curva è stata determinata ipotizzando vari livelli idrici nell'invaso e calcolando la corrispondente portata defluente nei sifoni, tenuto conto delle perdite energetiche distribuite e concentrate all'interno delle tubazioni stesse.

Applicando quindi l'equazione di continuità all'invaso della diga di Cepparello a step temporali di 15 minuti, noti i livelli idrometrici e la scala di deflusso dei due sifoni disposti a cavaliere dell'incile del canale fugatore di sinistra, sono stati ricavati gli idrogrammi di afflusso per gli eventi osservati. Tali idrogrammi e l'andamento del livello liquido nell'invaso sono riportati per i vari eventi osservati in Figura 3-8, Figura 3-9, Figura 3-10.

Il modello idrologico a parametri distribuiti è stato quindi tarato per ogni evento in modo tale da ottenere la miglior stima dei valori dei picchi di portata e dei volumi transitati per gli idrogrammi calcolati rispetto agli idrogrammi misurati dall'idrometro presente nell'invaso. Tale corrispondenza è visibile graficamente in Figura 3-11, Figura 3-12, Figura 3-13, Figura 3-14.

Successivamente, tenuto conto dei parametri ottenuti per gli eventi di pioggia osservati, sono stati fissati cautelativamente per il bacino i parametri idrologici riportati in Tabella 3-7.

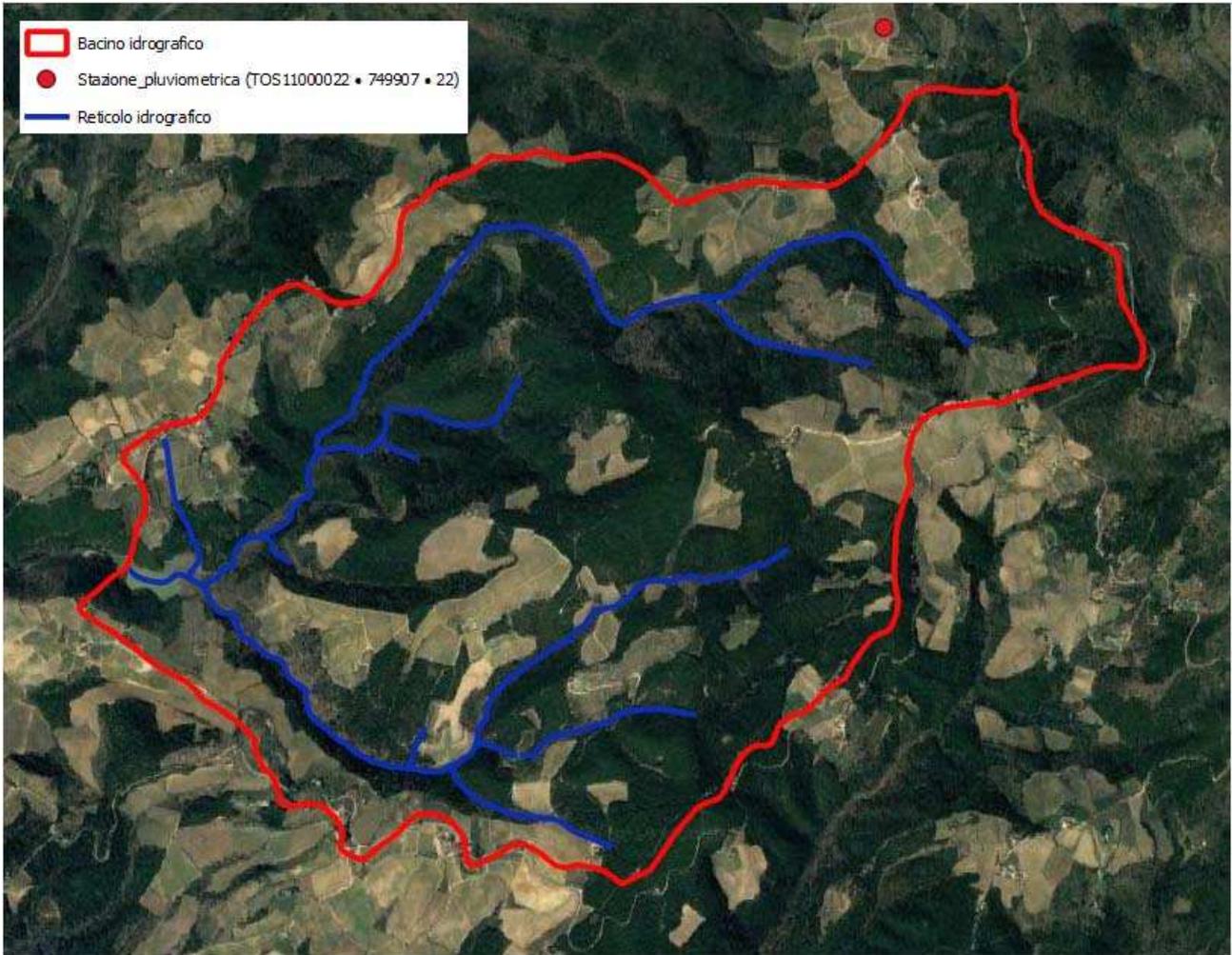


Figura 3-5 - Posizione planimetrica del pluviometro

Num.	Inizio	Fine
1	26/11/2012 12:00	01/12/2012 12:00
2	20/10/2013 12:00	23/10/2013 12:00
3	23/10/2013 12:15	25/10/2013 12:00
4	29/01/2014 12:00	03/02/2014 12:00

Tabella 3-2 - Eventi di pioggia significativi utilizzati per la taratura

Curva di invaso attuale

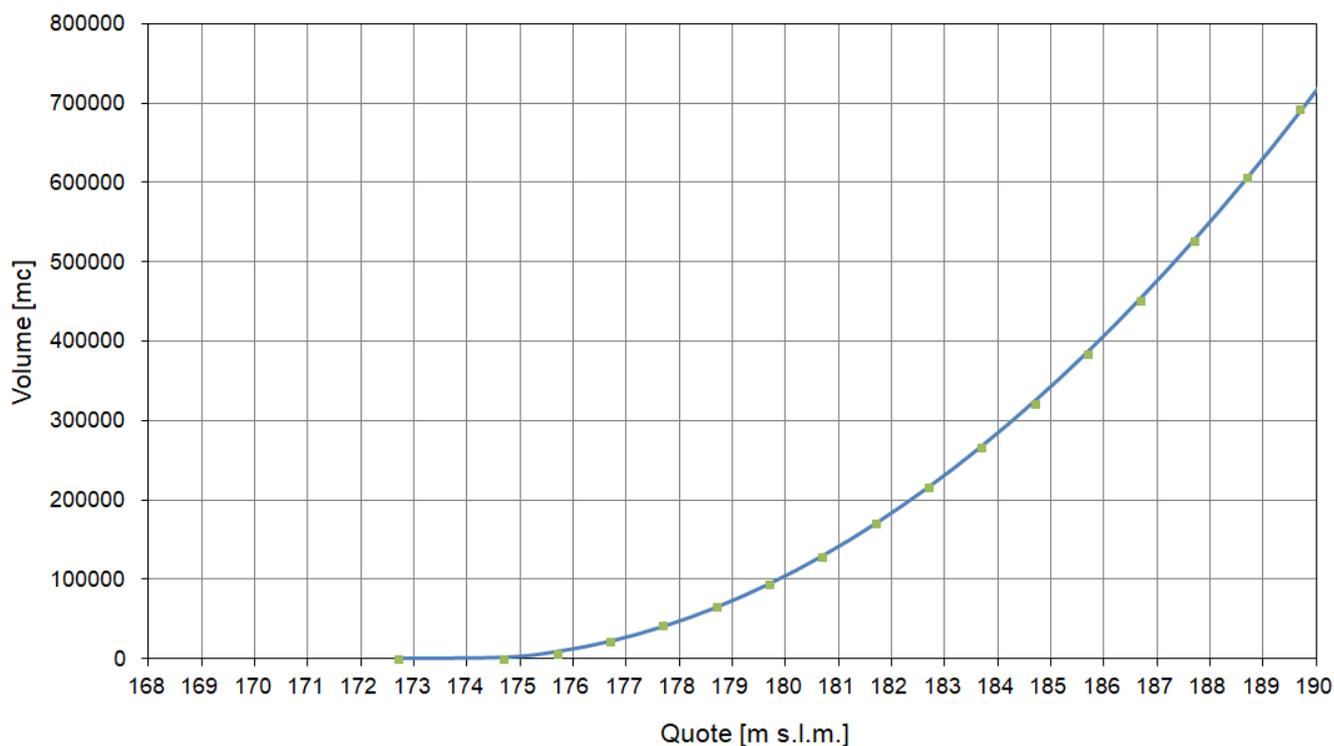


Figura 3-6 – Curva invaso attuale

	Parametri curva invaso attuale
a	3072.23
H ₀ [m s.l.m.]	174.00
b	1.97

Tabella 3-3 – Parametri curva invaso attuale

	Parametri scarichi sifoni attuale
a	95.50
H ₀ [m s.l.m.]	169.70
b	0.51

Tabella 3-4 – Parametri della scala di deflusso degli scarichi a sifone

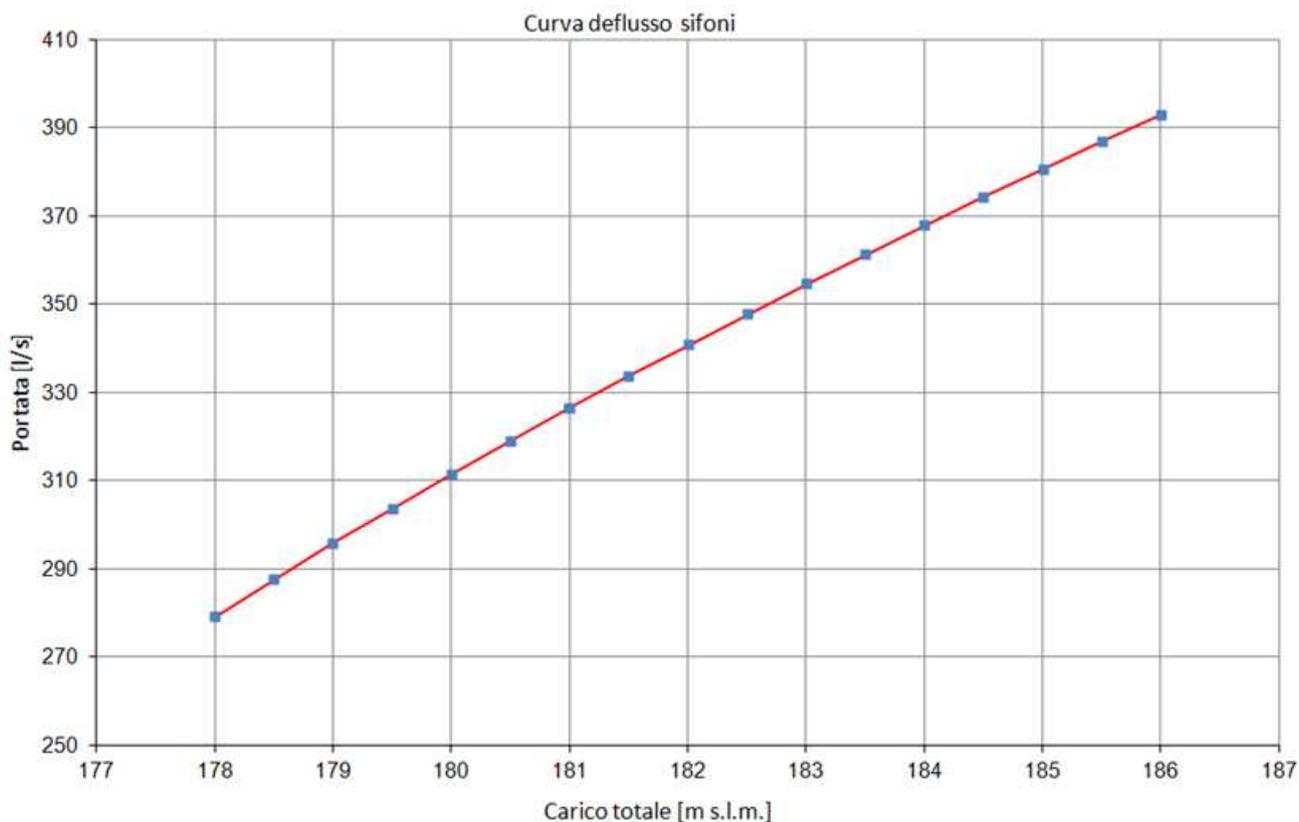


Figura 3-7 – Curva di deflusso degli scarichi a sifone

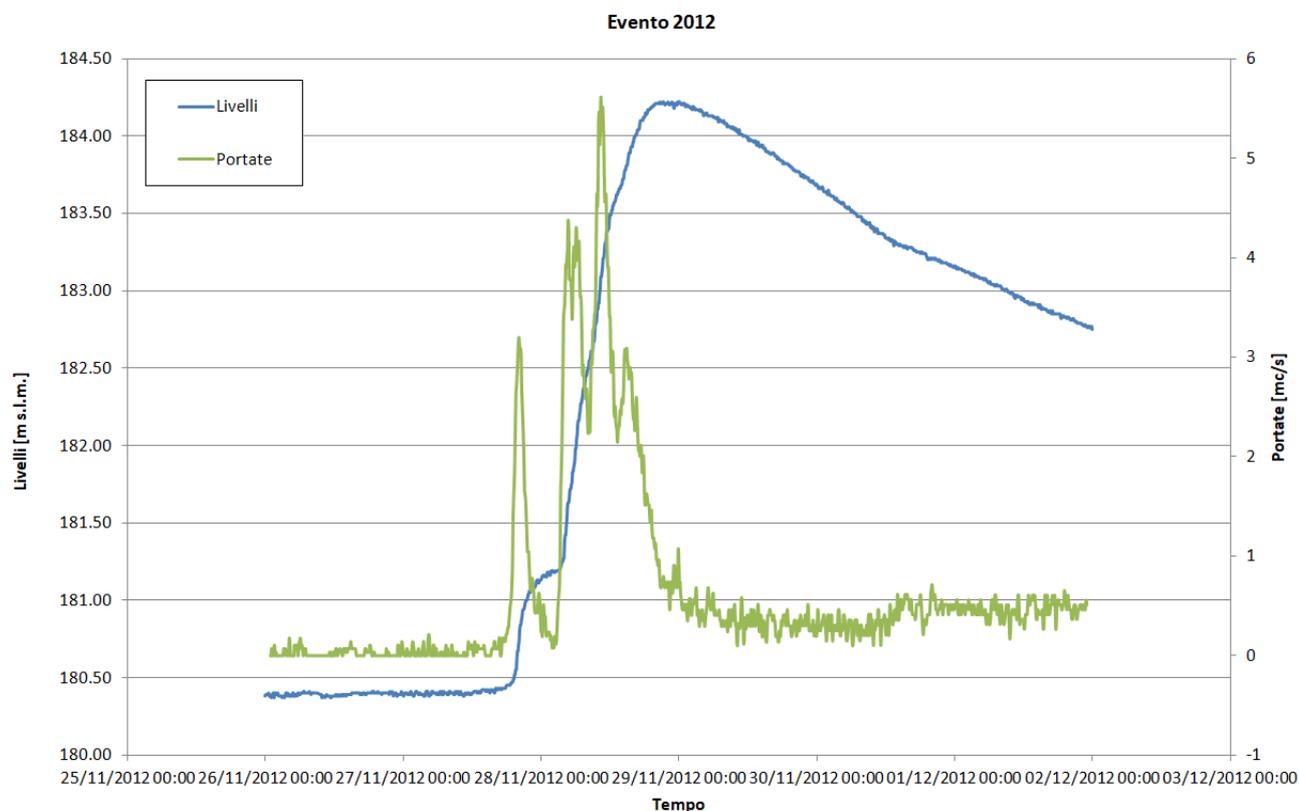


Figura 3-8 Dati livelli idrometrici dell'invaso e rispettivi portate affluenti per l'evento del 2012

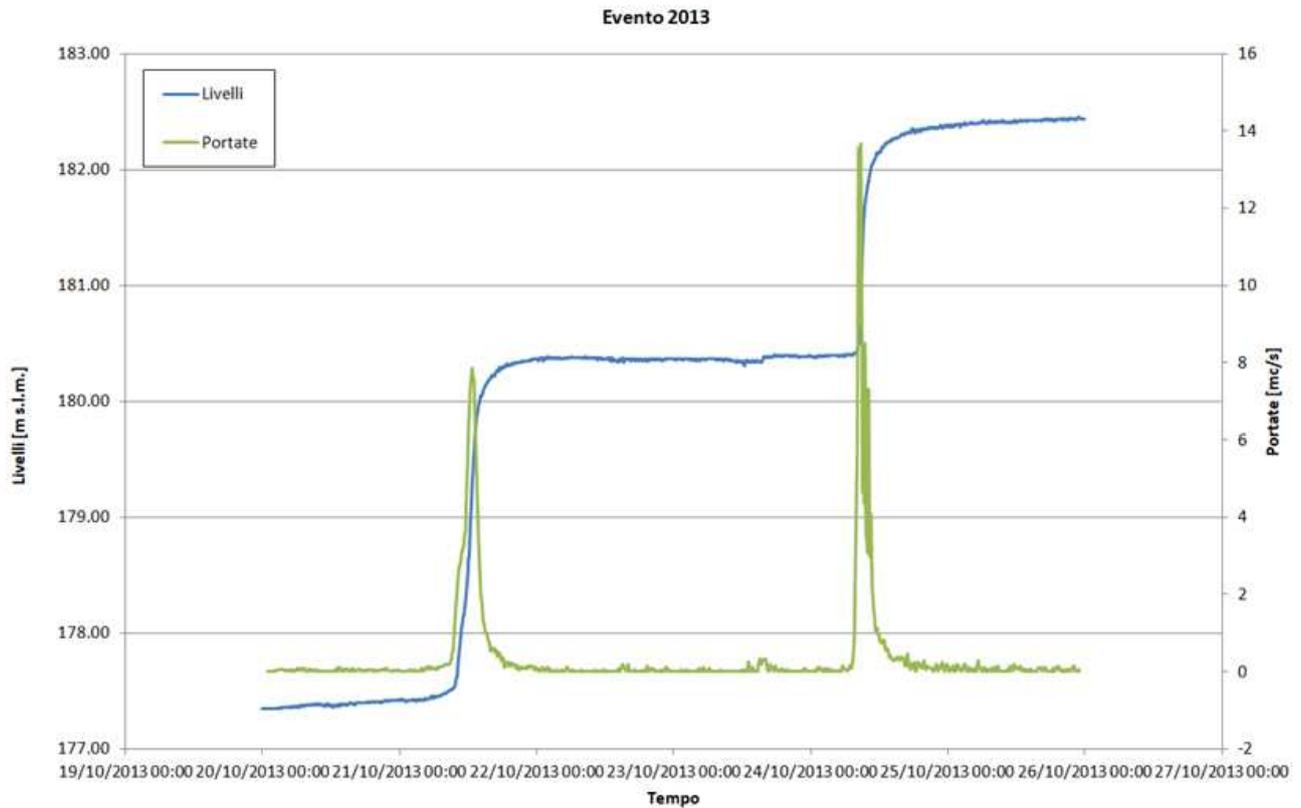


Figura 3-9 Dati livelli idrometrici dell'invaso e rispettivi portate affluenti per gli eventi del 2013

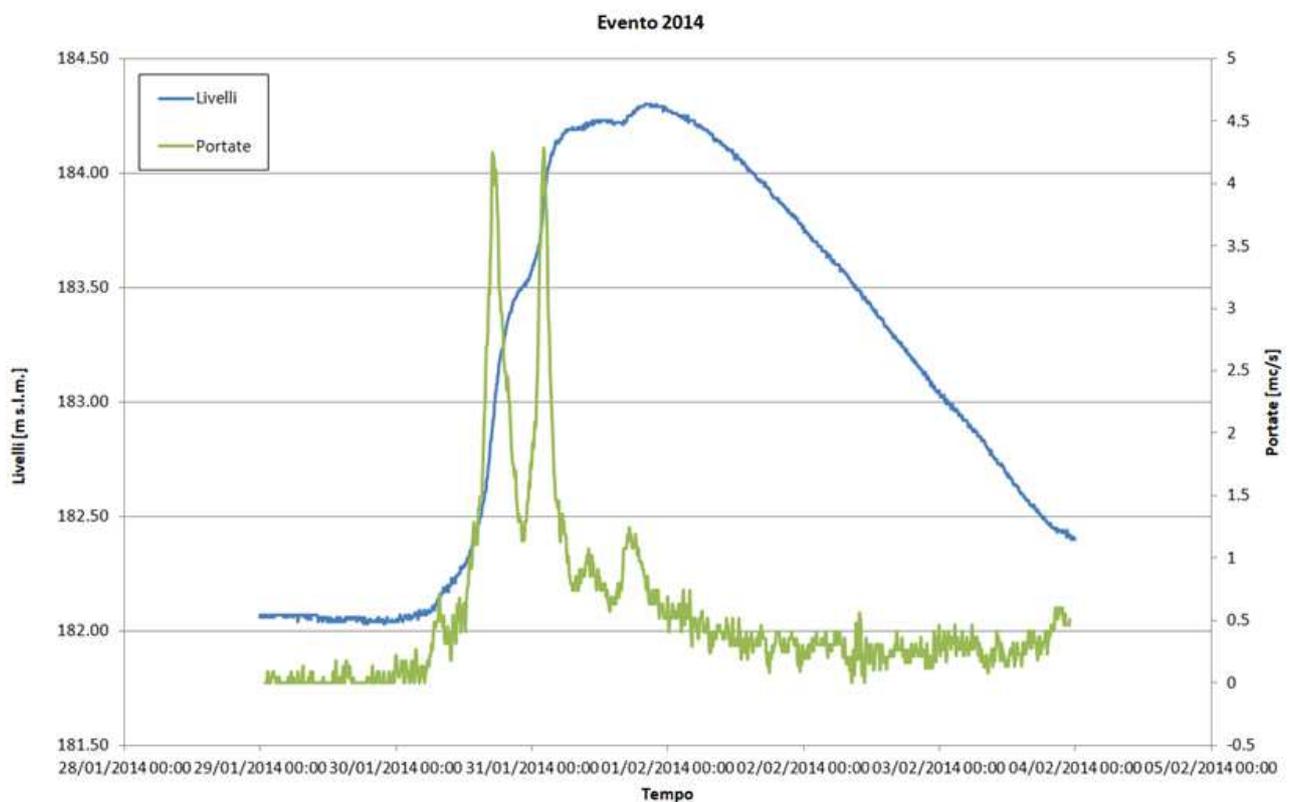


Figura 3-10 Dati livelli idrometrici dell'invaso e rispettivi portate affluenti per l'evento del 2014

Evento Cepparello 26-11-2012 12:00 / 01-12-2012 12:00

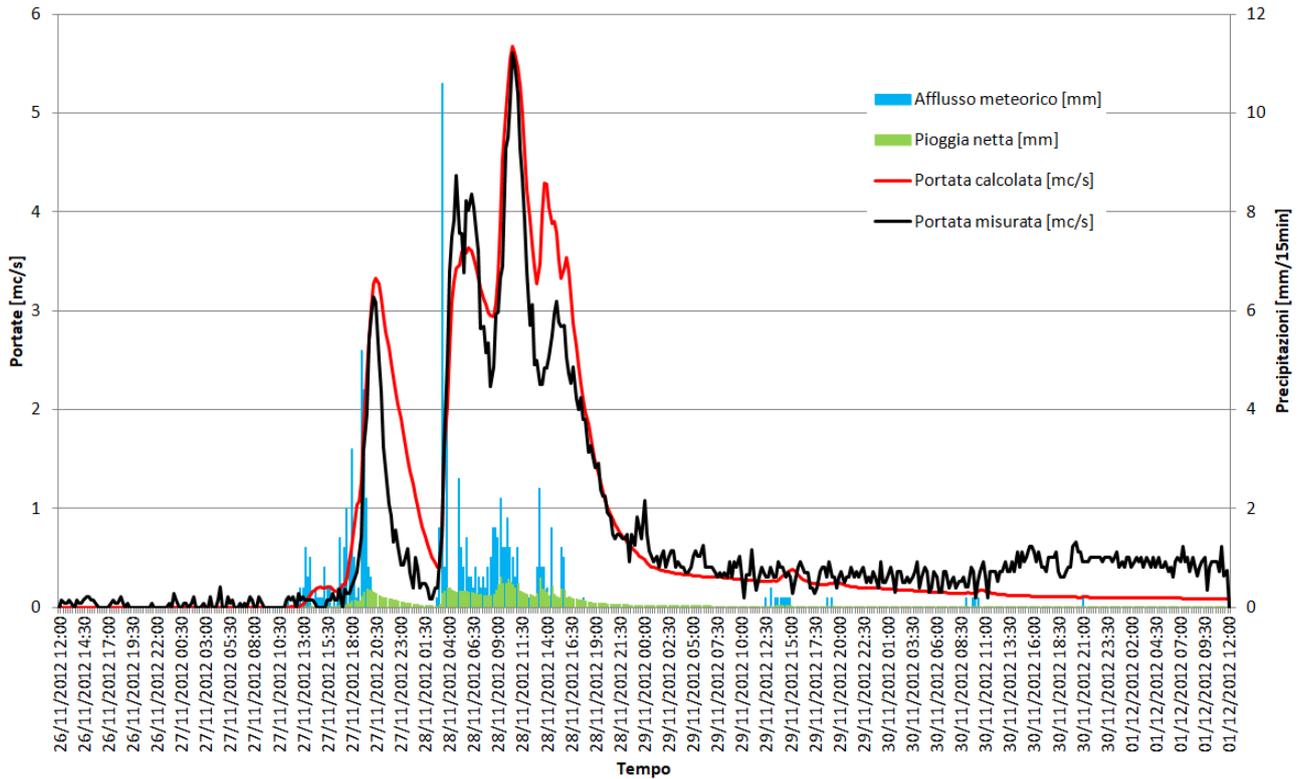


Figura 3-11 Evento di pioggia compreso tra il 26-11-2012 e il 01-12-2012

Evento Cepparello 20-10-2013 12:00 / 23-10-2013 12:00

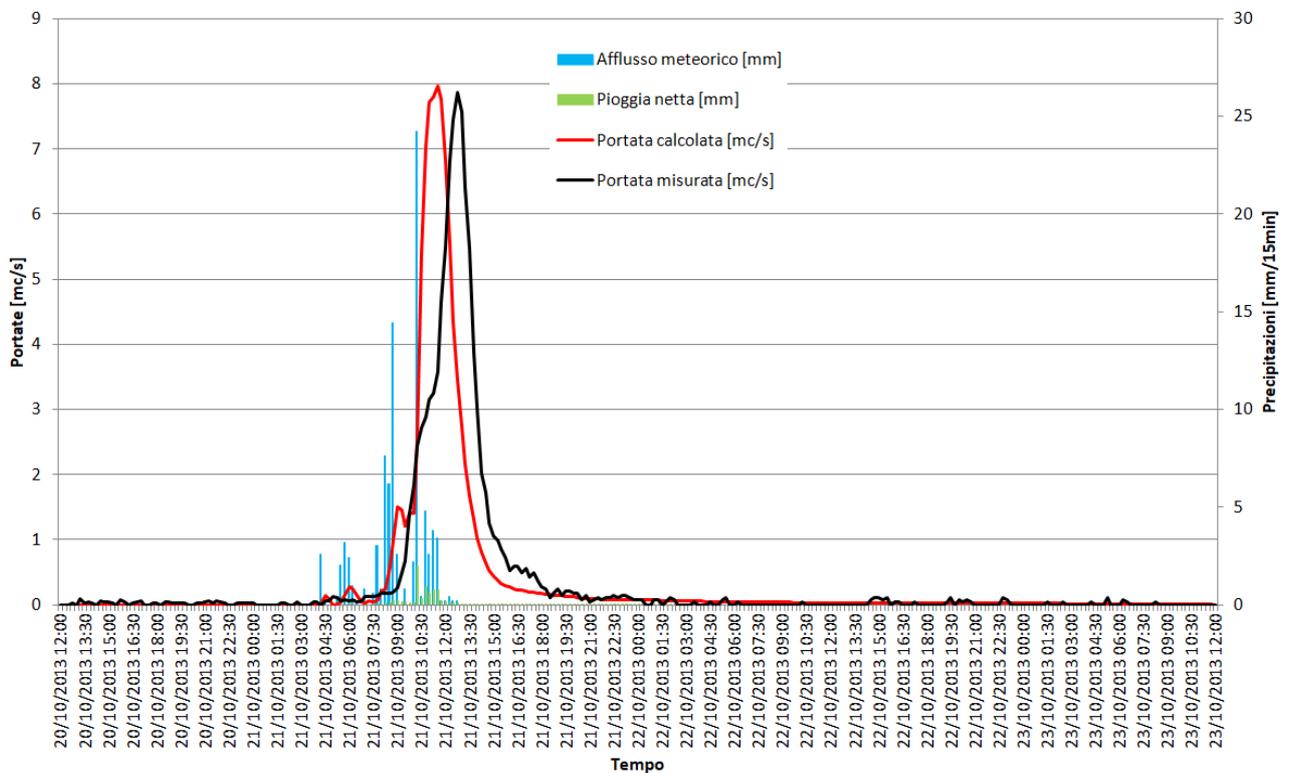


Figura 3-12 Evento di pioggia compreso tra il 20-10-2013 e il 23-10-2013

Evento Cepparello 23-10-2013 12:15 / 25-10-2013 12:00

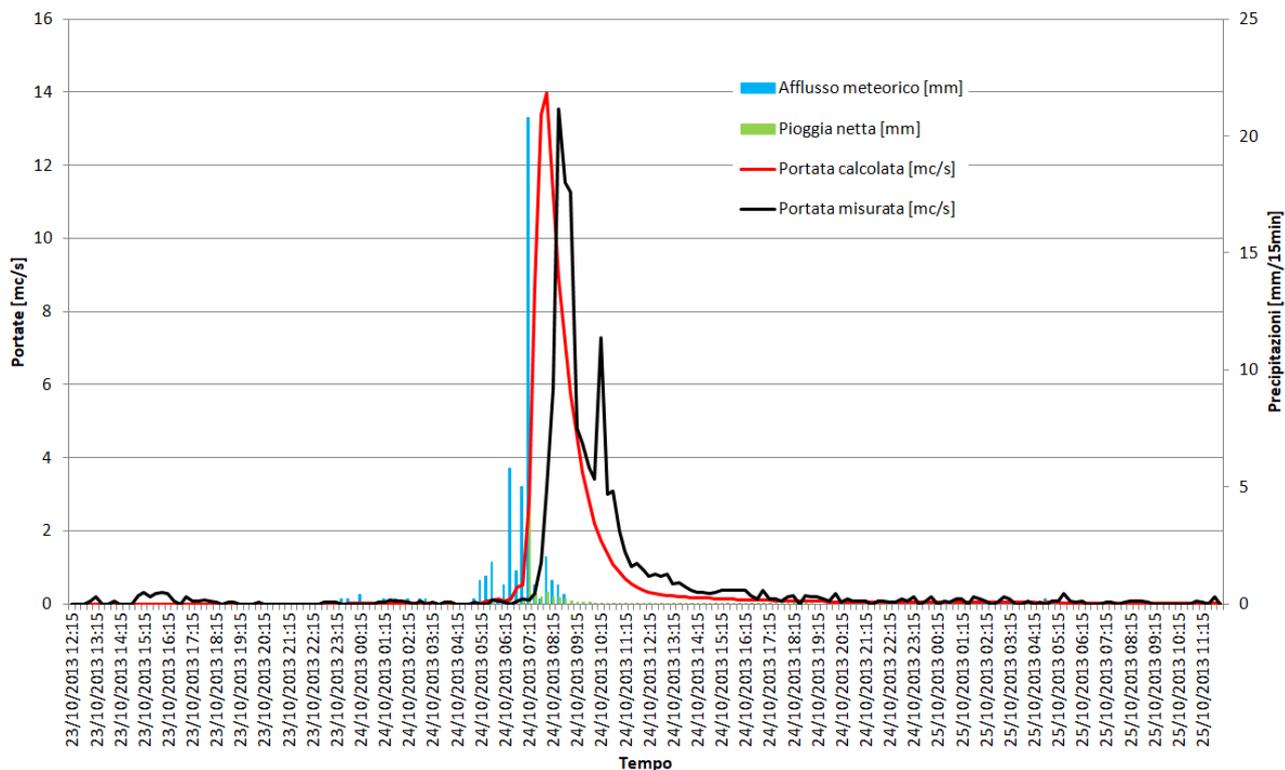


Figura 3-13 Evento di pioggia compreso tra il 23-10-2013 e il 25-10-2013

Evento Cepparello 29-01-2014 12:00 / 03-12-2014 12:00

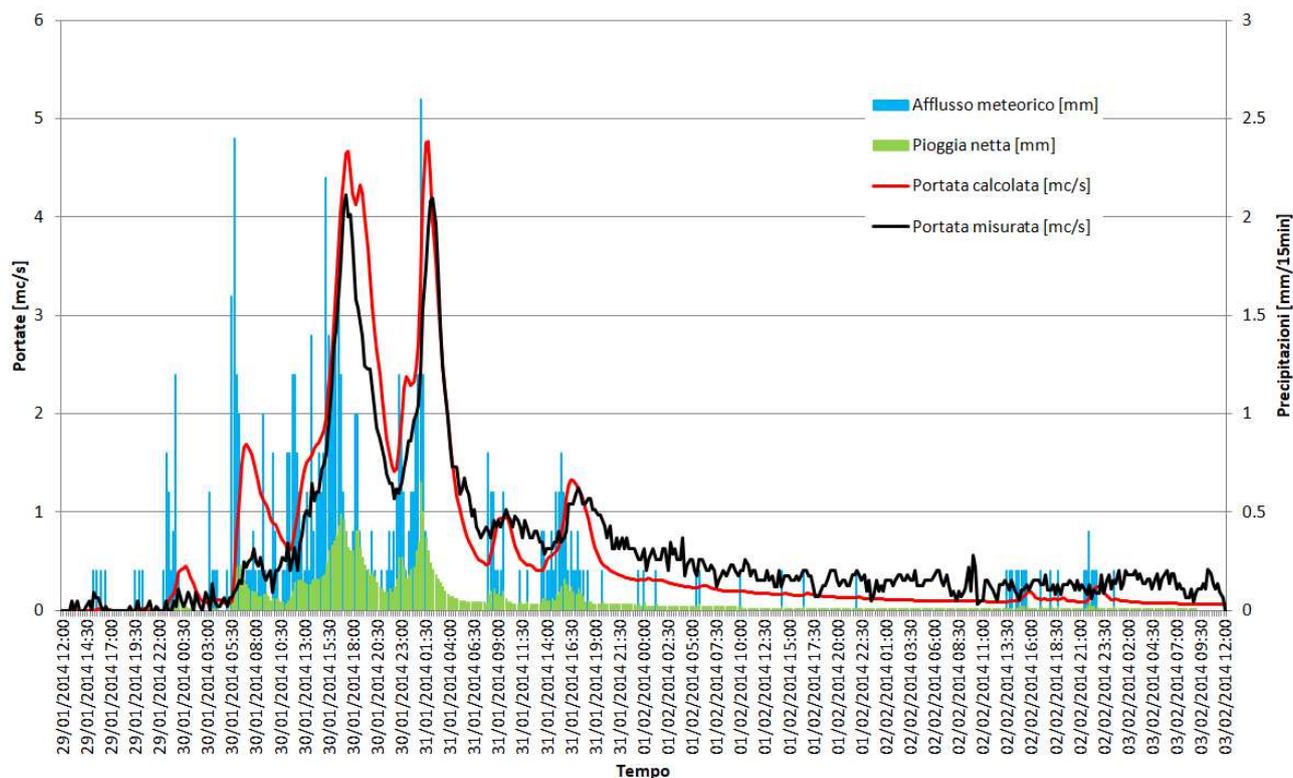


Figura 3-14 Evento di pioggia compreso tra il 29-01-2014 e il 03-02-2014

		Evento compreso tra il 26-11-2012 e il 01-12-2012	Evento compreso tra il 20-10-2013 e il 23-10-2013	Evento compreso tra il 23-10-2013 e il 25-10-2013	Evento compreso tra il 29-01-2014 e il 03-02-2014	Modello idrologico
α_o	Grado di saturazione iniziale [/]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Rl	coefficiente moltiplicativo della capacità di ritenuta del suolo [/]	1.70	1.80	1.00	1.00	1.00
IN	coefficiente moltiplicativo della velocità di infiltrazione a saturazione [/]	0.060	0.500	0.250	0.044	0.20
IP	coefficiente moltiplicativo della componente ipodermica [/]	0.080	0.050	0.070	0.200	0.10
MT	coefficiente moltiplicativo della velocità di trasferimento [/]	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85
CI	coefficiente ripartizione cinematico-invaso [/]	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35

Tabella 3-5– Parametri degli eventi pluviometrici e parametri adottati nel modello idrologico

3.5 AGGIORNAMENTO DELLE LSPP

L'analisi idrologica è condotta utilizzando i risultati ottenuti nell'ambito della "Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme. Macroattività B - Modellazione idrologica. Attività B1 - Regionalizzazione precipitazioni", i cui obiettivi sono:

- aggiornamento del database dei dati pluviometrici estremi fino all'anno 2012 compreso;
- analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme giornaliere e di durata oraria compresa fra 1 ora e 24 ore;
- aggiornamento delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP) rispetto a quelle attualmente in uso presenti nel software ALTO (2000) e a quelle pubblicate dal Settore Idrologico della Regione Toscana SIR (2002) mediante un'analisi di frequenza regionale.

Nello studio condotto dall'Università di Firenze è stato scelto di utilizzare la formula monomia della curva o linea segnalatrice di probabilità pluviometrica (LSPP) comunemente descritta da una legge di potenza del tipo:

$$h(t) = at^n \quad [3.1]$$

dove h è l'altezza di pioggia in [mm] e t la durata in [ore], mentre a e n sono i parametri caratteristici espressi per i tempi di ritorno 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni.

Lo studio rende disponibili, per i tempi di ritorno 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni, i parametri a e n con una griglia 1km × 1km su tutta la regione.

Nella Figura 3-15 e Figura 3-16 si riportano rispettivamente i parametri caratteristici a e n stimati dall'Analisi di Frequenza Regionale per il tempo di ritorno di 50 anni sul territorio regionale, mentre nella Figura 3-17 e nella Figura 3-18 quelli calcolati per il tempo di ritorno di 200 anni.

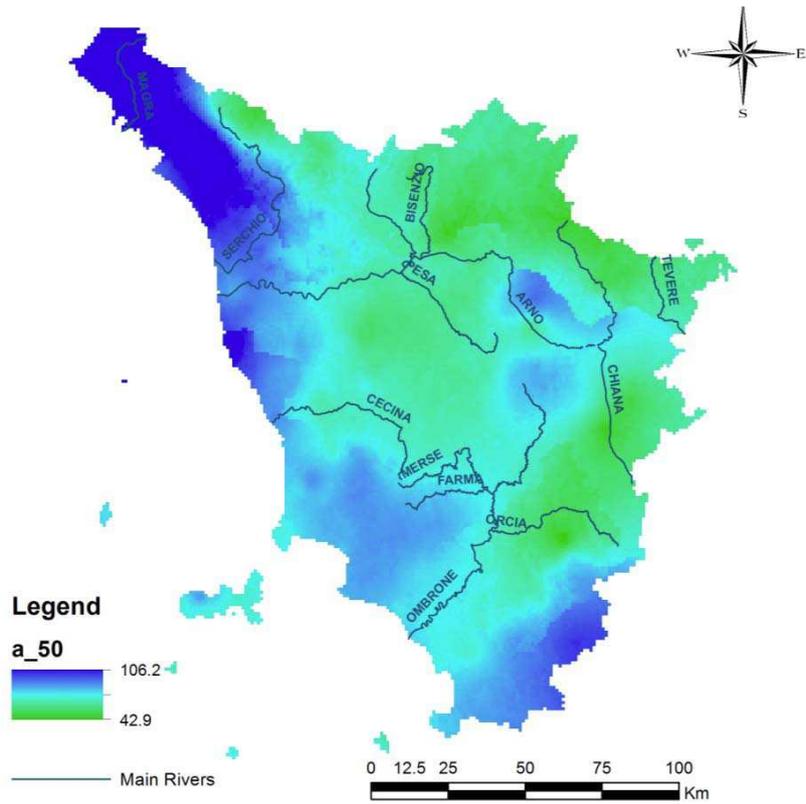


Figura 3-15 – Spazializzazione sull'intera regione del parametro "a" della LSPP per Tr = 50 anni ("Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme", 2014).

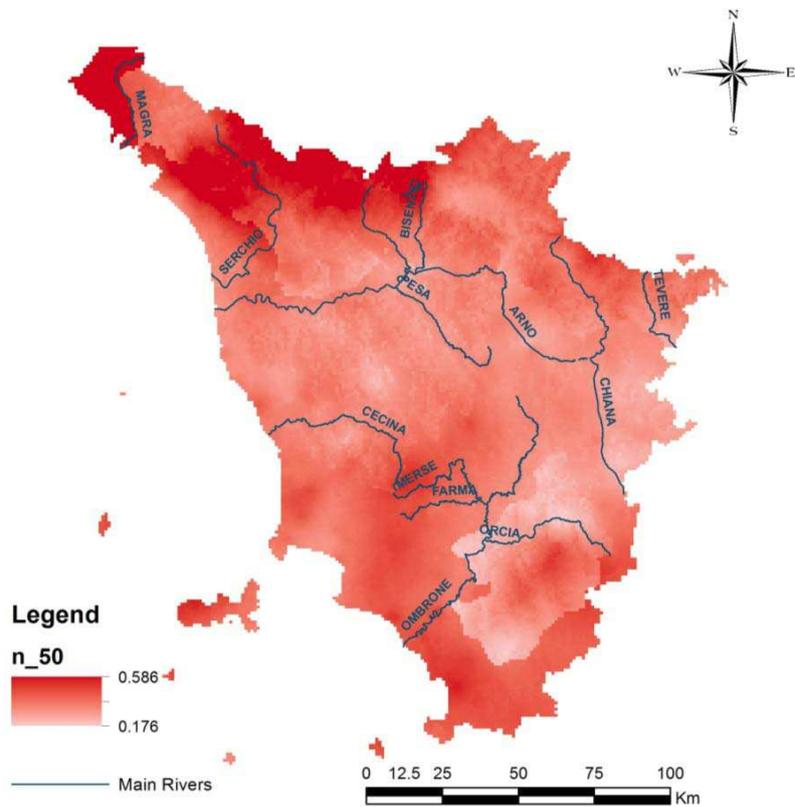


Figura 3-16 – Spazializzazione sull'intera regione del parametro "n" della LSPP per Tr = 50 anni ("Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme", 2014).

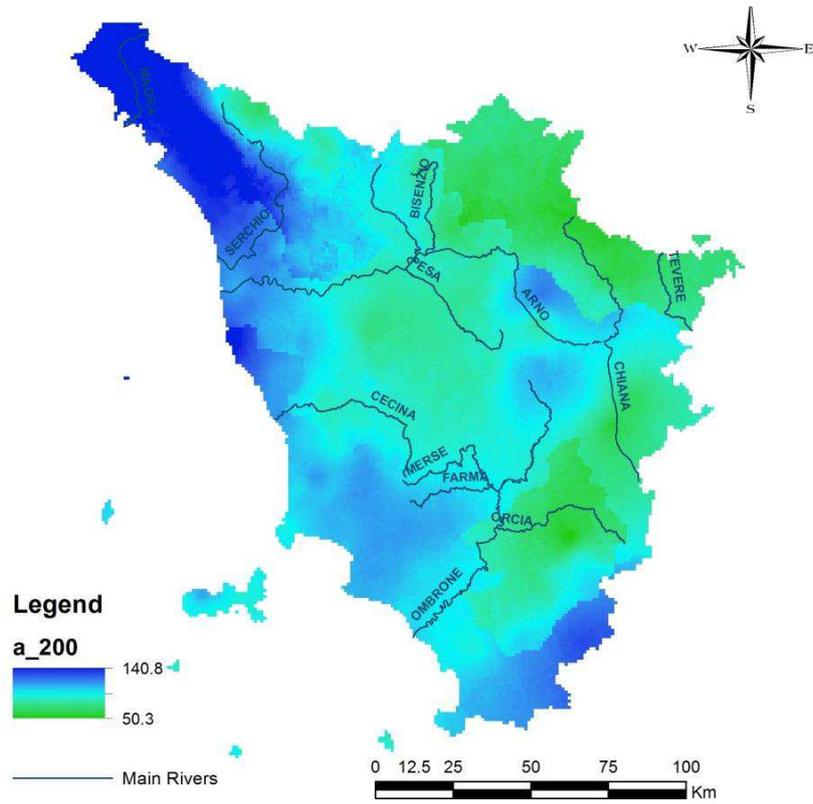


Figura 3-17 – Spazializzazione sull’intera regione del parametro “a” della LSPP per $Tr = 200$ anni (“Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme”, 2014).

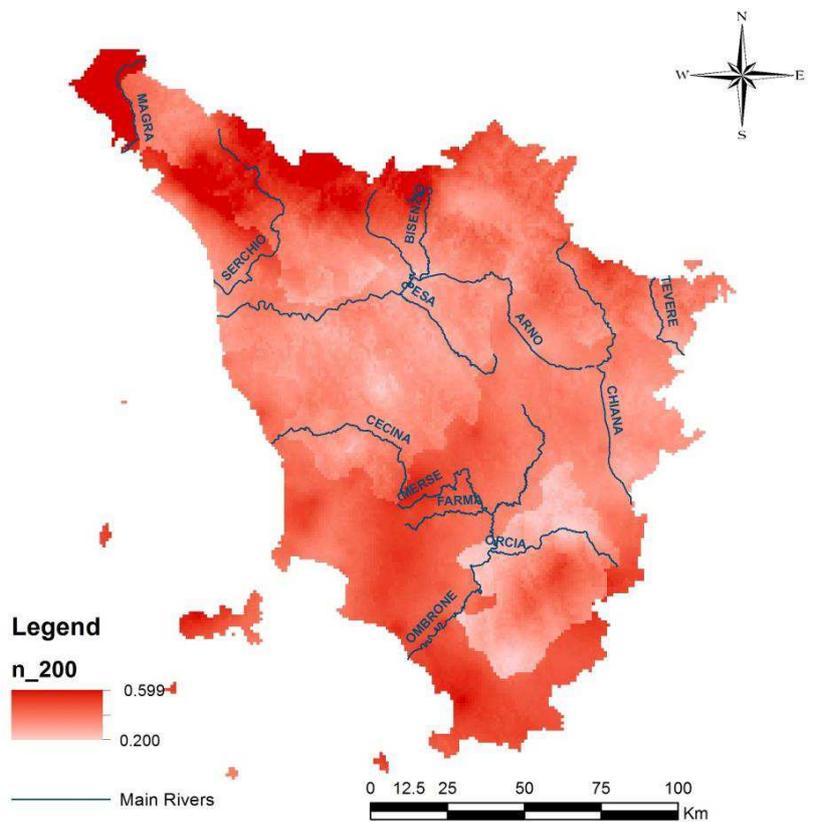


Figura 3-18 – Spazializzazione sull’intera regione del parametro “n” della LSPP per $Tr = 200$ anni (“Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme”, 2014).

I risultati sono stati condivisi come ASCII Grid con celle quadrate di risoluzione pari a 1km, georeferenziati nel sistema di riferimento *Gauss Boaga*:

- ASCII Grid dei parametri a ed n delle LSPP per i tempi di ritorno prefissati (2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni);
- ASCII Grid delle altezze di pioggia per le 5 durate considerate (1h, 3h, 6h, 12h, 24h) suddivise per i tempi di ritorno prefissati.

Le precipitazioni sul bacino sono calcolate aggiornando le LSPP utilizzate nelle precedenti fasi progettuali con quelle ricavate nello studio del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università di Firenze.

Le LSPP dello studio del 2014 sono ricondotte alla forma classica $h=a \cdot t^n \cdot T^m$ tramite una regressione multipla, quindi sono calcolati i valori medi dei parametri caratteristici per il bacino idrografico nella sezione di calcolo ubicata in corrispondenza dello sbarramento.

Nella Tabella 3-6 si riportano i valori medi dei parametri a , n e m delle LSPP per le durate superiori ed inferiori all'ora adottati nelle precedenti elaborazioni e quelli ottenuti con il presente aggiornamento.

Nella Figura 3-19 è rappresentato il confronto tra gli andamenti della LSPP calcolata per il tempo di ritorno di 1000 anni nelle precedenti elaborazioni e quella aggiornata.

Nella Figura 3-20 e Figura 3-21 si riportano i parametri caratteristici a e n delle LSPP nel bacino idrografico sotteso alla sezione terminale della diga di Cepparello ottenuti con l'aggiornamento.

Descrizione	t > 1 ora			t < 1 ora		
	a	n	m	a	n	m
LSPP studi precedenti	22.136	0.304	0.222	23.856	0.315	0.174
LSPP aggiornamento 2014	26.285	0.268	0.184	26.285	0.268	0.184

Tabella 3-6 – Confronto tra i parametri caratteristici medi a , n e m delle LSPP.

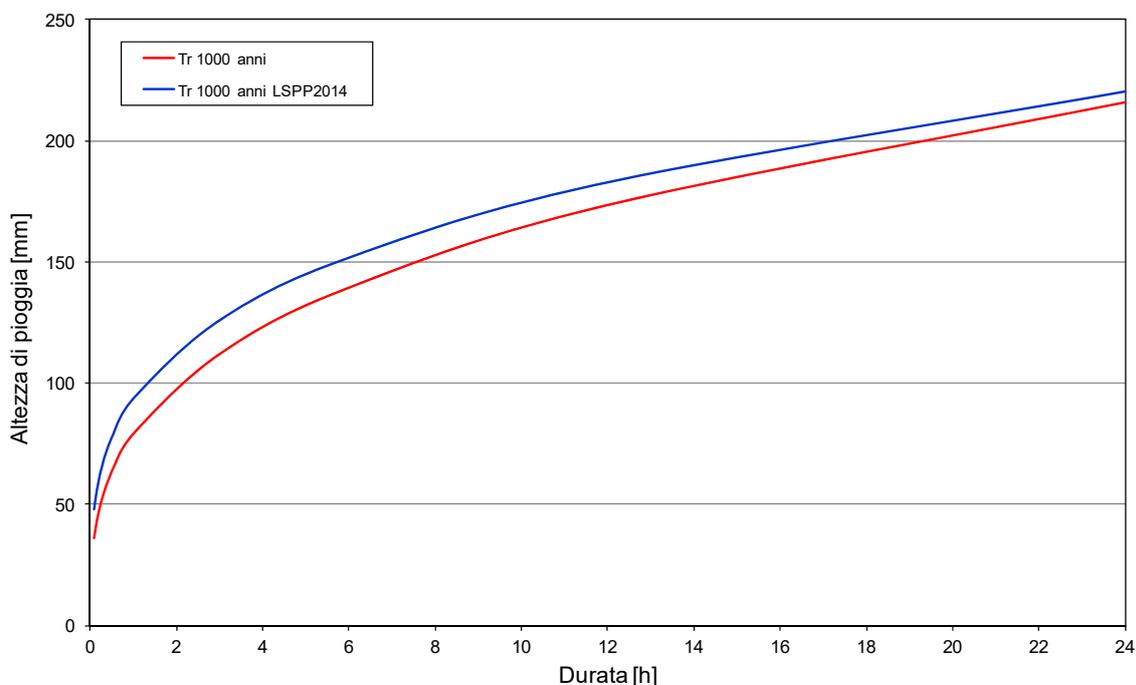


Figura 3-19 – LSPP per il tempo di ritorno di 1000 anni adottata nelle precedenti elaborazioni e quella aggiornata.

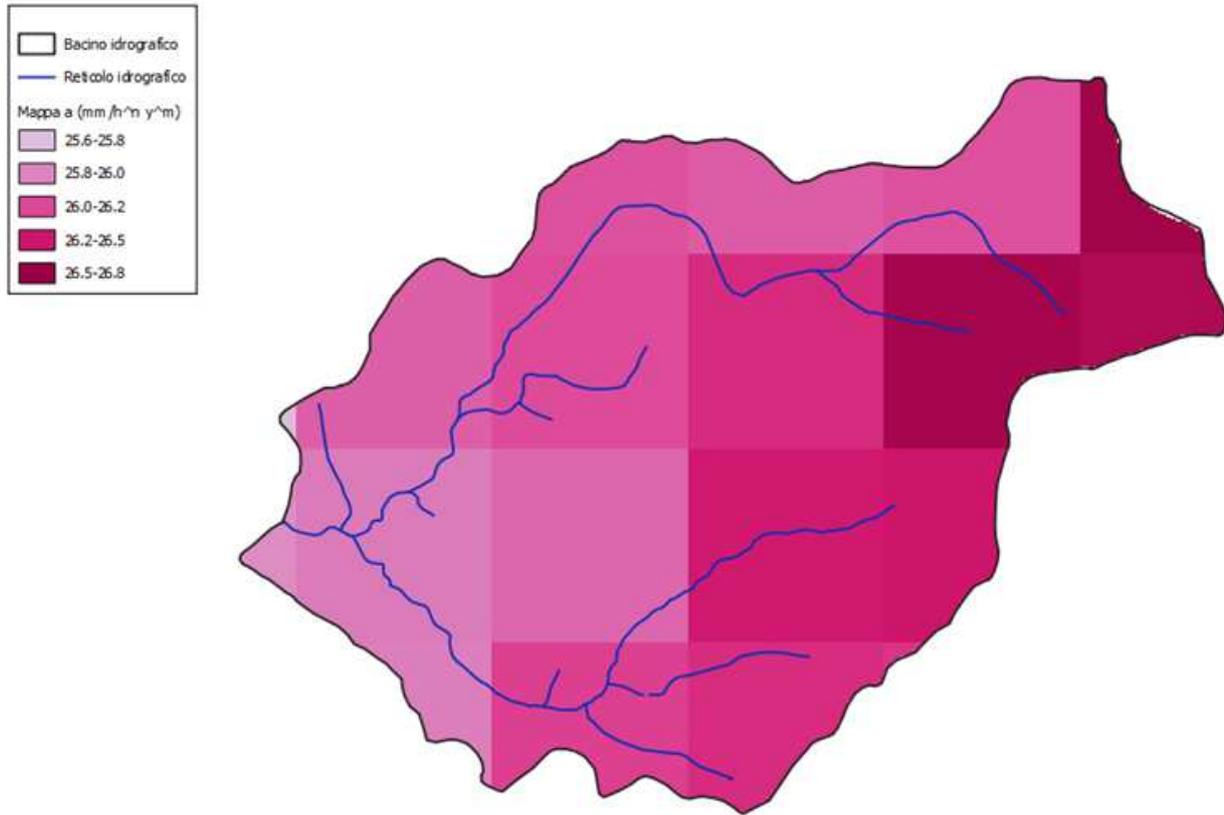


Figura 3-20 – Coefficiente a

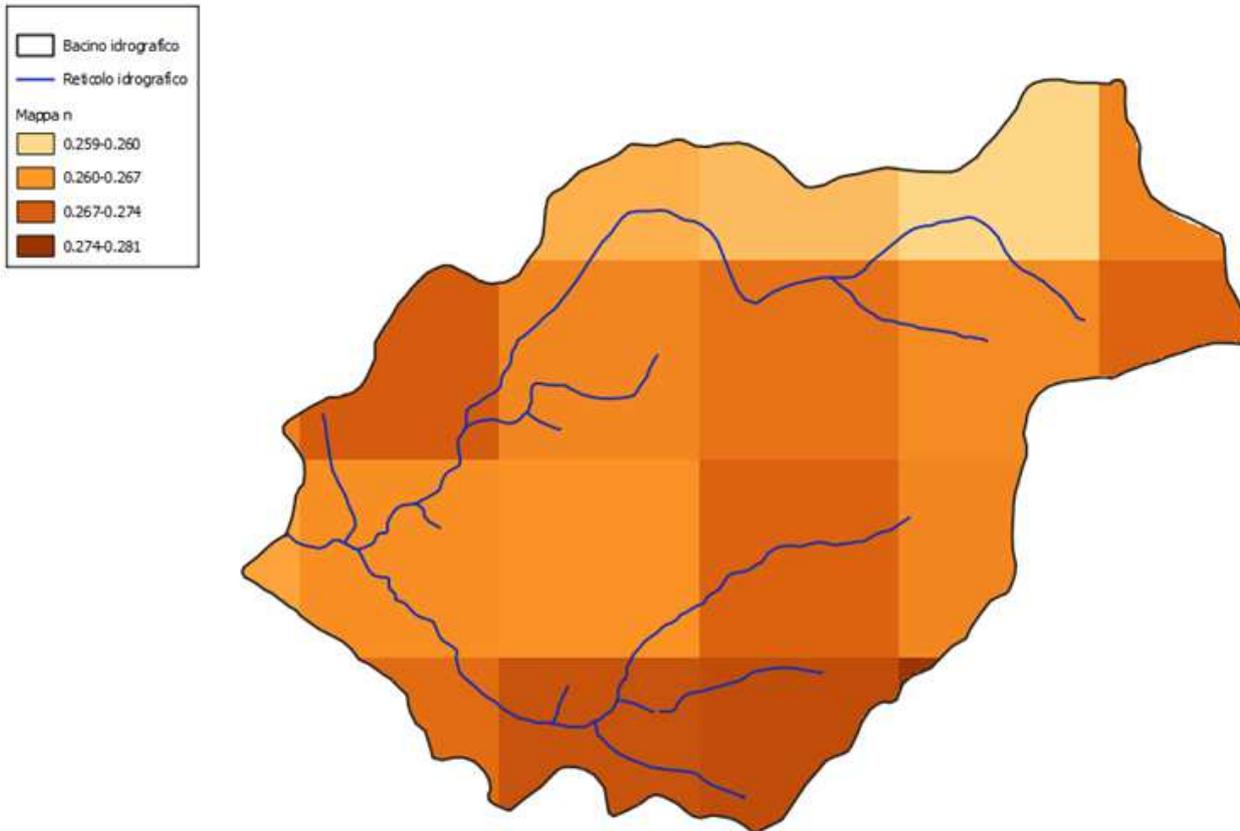


Figura 3-21 – Coefficiente n

3.6 CALCOLO DEI CONTRIBUTI DI PIENA PER I DIVERSI TEMPI DI RITORNO

La stima delle portate di piena per i diversi tempi di ritorno è condotta utilizzando il modello idrologico descritto nei paragrafi precedenti.

L'input di precipitazione, in termini di ietogramma *Chicago*, è ricavato sulla base delle curve di possibilità pluviometria aggiornate al 2012 dall'Università di Firenze (§3.5).

La generazione degli idrogrammi di piena è condotta utilizzando ietogrammi di durata pari a 24 ore (ossia sicuramente maggiore del tempo di corrivazione dell'intero bacino).

Le portate di piena per i diversi tempi di ritorno sono valutate nella sezione di chiusura del bacino idrografico sotteso alla sezione dello sbarramento, caratterizzato da una superficie di 11.36 km².

I risultati delle analisi idrologiche sono tabulati nell'Appendice A.

Nella Tabella 3-7 si riporta il confronto tra i colmi di portata stimati nelle precedenti fasi progettuali e quelli calcolati nel corso del presente aggiornamento, rispettivamente per i tempi di ritorno di 30, 50, 100, 200, 500 e 1000 anni.

Nella Figura 3-22 sono riprodotti i corrispondenti idrogrammi calcolati per i tempi di ritorno di 30, 50, 100, 200, 500 e 1000 anni.

Portate	Area bacino [km ²]	Q ₃₀ [m ³ /s]	Q ₅₀ [m ³ /s]	Q ₁₀₀ [m ³ /s]	Q ₂₀₀ [m ³ /s]	Q ₅₀₀ [m ³ /s]	Q ₁₀₀₀ [m ³ /s]
Portate studi precedenti	11.36	66	107	122	–	164	189
Portate aggiornate	11.36	74.08	85.26	105.18	131.80	172.57	207.87

Tabella 3-7 – Confronto tra i colmi di portata per i vari periodi di ritorno.

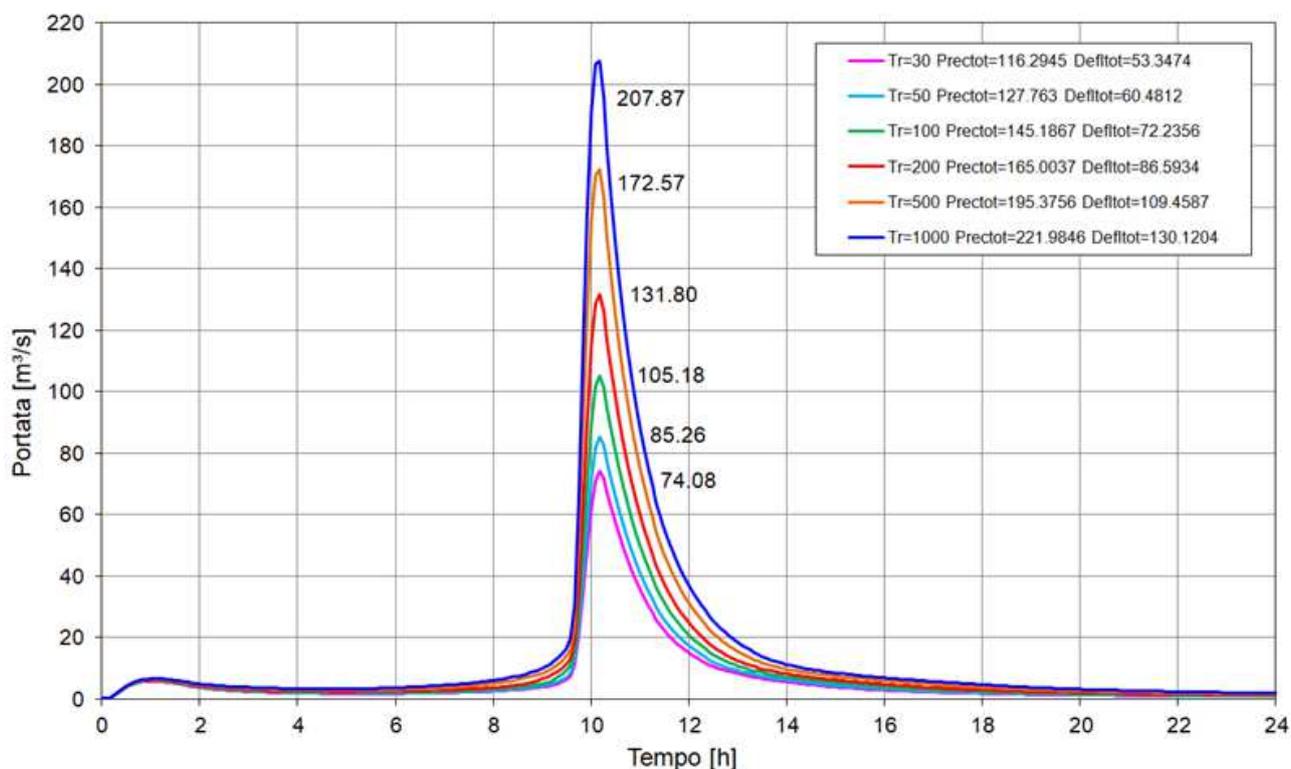


Figura 3-22 – Idrogrammi delle portate per i vari tempi di ritorno a seguito dell'aggiornamento dell'analisi idrologica.

4 VERIFICA DEGLI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO IDRAULICO

Allo stato attuale la diga Dovre di Cepparello presenta carenze strutturali che non garantiscono le minime condizioni di sicurezza idraulica previste dalle norme del D.M. del 26 giugno 2014 per le nuove realizzazioni, in quanto al verificarsi dell'evento millenario la diga potrebbe essere tracimata anche qualora l'invaso fosse limitato o addirittura pressoché vuoto ad inizio evento.

Gli interventi di miglioramento idraulico sono necessari secondo quanto riportato al cap. H.2.2. del D.M. 26/06/2014, essendo il tempo di ritorno della portata di piena scaricabile rispettando il franco idraulico indicato al cap. C.1 inferiore a 1000 anni.

Nel presente capitolo è illustrata la verifica della conformità degli interventi di miglioramento idraulico progettati ai requisiti indicati nel cap. C.1 del D.M. 26/06/2014.

4.1 CALCOLO DEL FRANCO MINIMO REGOLAMENTARE

Si riportano di seguito le determinazioni per il calcolo del franco idraulico minimo regolamentare secondo la procedura riportata ai capp. C.1 e C.2 del D.M. del 26 giugno 2014.

Il franco netto risultante dalla procedura di interpolazione (tra il valore di 1.5 m attribuito alle dighe alte 3.5 m ed il valore di 15 m associato alle dighe alte 90 m) è 1.93 m essendo l'altezza della diga pari a 31.3 m.

L'abbassamento massimo dovuto al sisma è assunto cautelativamente pari a 0.40 m.

Il valore dell'ampiezza d'onda minimo per *Fetch* 1 km e velocità del vento pari a 100 km/h per la zona 3 vale 0.27 m, mentre la risalita contro il paramento dello sbarramento è pari a 0.033 m.

Il **franco idraulico minimo regolamentare** è, pertanto, pari a **2.54 m** (Tabella 4-1).

Quota coronamento [m s.l.m.]	190.0
Quota minima a valle [m s.l.m.]	158.7
Altezza diga [m]	31.3
Franco netto [m]	1.93
Abbassamento da sisma [m]	0.30
Franco onda [m]	0.27
Franco <i>run up</i> [m]	0.033
Franco minimo totale [m]	2.54

Tabella 4-1– Calcolo del franco idraulico minimo regolamentare.

4.2 VERIFICA DEL FRANCO IDRAULICO

I livelli massimi di invaso associati agli eventi di piena con cui è cimentata la diga sono determinati tenendo conto dell'effetto di laminazione esercitato dal serbatoio.

4.2.1 LEGGE DI INVASO SERBATOIO

La legge di invaso utilizzata per la stima della laminazione della diga di Cepparello è determinata sulla base della superficie topografica di progetto dell'invaso.

I dati utilizzati per la costruzione della legge di riempimento sono riportati nella Tabella 4-2.

Nella Tabella 4-3 sono invece restituiti i parametri caratteristici della curva di invaso.

Nella Figura 4-1 è rappresentata graficamente e confrontata con la curva di invaso attuale, da cui è possibile dedurre che la capacità di invaso della diga è mantenuta..

Quota [m s.l.m.]	Area specchio liquido [m ²]	Volume invasato [m ³]
168	97	18.6
168.5	233	99.4
169	464	272.2
169.5	653	551.3
170	1117	986.2
170.5	1540	1650.4
171	2205	2560.0
171.5	3250	3913.4
172	4465	5894.5
172.5	4957	8249.9
173	5492	10859.4
173.5	6039	13741.6
174	6646	16914.7
174.5	7266	20389.6
175	7983	24185.9
175.5	9084	28435.8
176	12063	33683.4
176.5	15237	40461.4
177	19022	49200.9
177.5	20657	59116.8
178	22755	69958.2
178.5	25073	81895.5
179	27908	95216.9
179.5	29576	109585.4
180	32118	125056.8
180.5	33678	141521.3
181	35847	158920.6
181.5	37714	177338.8
182	39411	196678.3
182.5	40723	216737.9
183	51425	239918.2
183.5	53113	266116.7
184	55531	293319.6
184.5	58460	321832.0
185	61489	351885.0
185.5	63841	383209.4
186	66561	415809.8
186.5	69300	449778.0
187	72018	485126.7
187.5	74688	521790.5
188	77797	559766.7
188.5	81101	599364.8
189	84691	640777.9
189.5	88342	684014.4
190	104074	730408.4

Tabella 4-2 – Dati utilizzati per la costruzione della legge di invaso

a	139.02
H ₀ [m s.l.m.]	168.70
b	2.80

Tabella 4-3 – Parametri della curva di invaso.

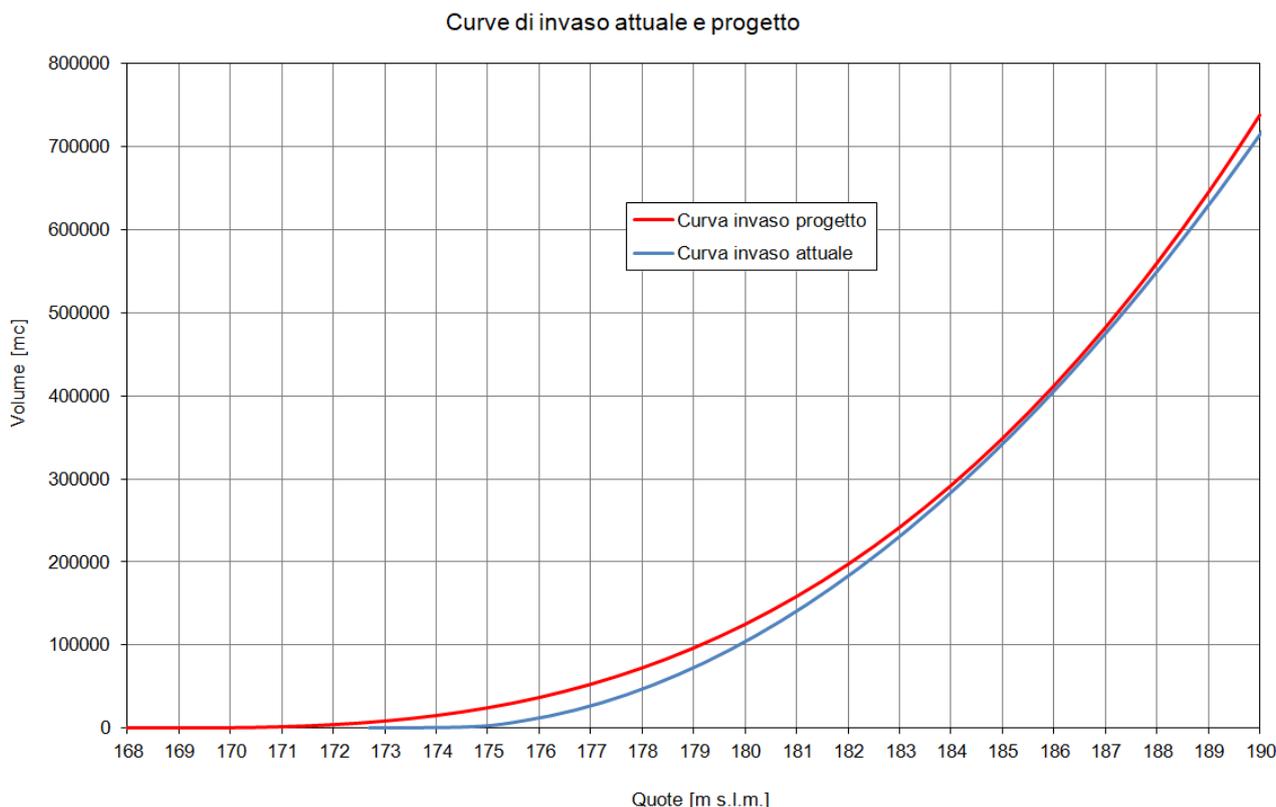


Figura 4-1 – Curva di invaso progetto e attuale.

4.2.2 SCALE DI DEFLUSSO SCARICHI DI SUPERFICIE

Le scale di deflusso per la schematizzazione degli scarichi di superficie sono determinate mediante i dati ricavati da prove sperimentali su modello fisico presso il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale (ICEA) dell'Università di Padova.

Esso ha consentito di rilevare il livello liquido nella vasca di carico con l'ausilio di due idrometri al nonio di millimetro posti rispettivamente in destra e sinistra della stessa vasca. Le stesse misure sono state acquisite in digitale mediante l'utilizzo di due sensori di livello ad ultrasuoni (modelli USS 635 della General Acoustic e UC500 della Pepperl & Fuchs).

I segnali trasmessi dai sensori di livello e dal misuratore di portata sono acquisiti tramite una scheda della National Instruments e registrati in un computer dotato di software dedicato all'acquisizione (LabView). Si riportano in Tabella 4-4, Tabella 4-5, Tabella 4-6, Tabella 4-7, Tabella 4-8 le scale delle portate degli sfioratori sperimentalmente rilevate.

23/10/2018						
Portata in ingresso			Carico sfioro sinistro		Carico sfioro destro	
Modello [l/s]	Modello [m ³ /h]	Reale [m ³ /s]	Modello [cm]	Reale [m]	Modello [cm]	Reale [m]
1.955	7.037	19.779	0.71	0.28	0.74	0.30
4.909	17.674	49.679	1.36	0.54	1.40	0.56
8.883	31.979	89.889	2.11	0.85	2.15	0.86
10.172	36.618	102.93	2.36	0.94	2.40	0.96
12.085	43.505	122.288	2.74	1.10	2.78	1.11
14.411	51.881	145.833	3.22	1.29	3.25	1.30
17.760	63.936	179.718	3.92	1.57	3.95	1.58
20.591	74.127	208.363	4.50	1.80	4.54	1.82
24.286	87.428	245.754	5.27	2.11	5.30	2.12
27.145	97.721	274.686	5.90	2.36	5.91	2.36
29.616	106.618	299.695	6.44	2.58	6.42	2.57

Tabella 4-4 – Scala delle portate degli sfioratori sperimentalmente rilevate in data 23/10/2018

08/11/2018						
Portata in ingresso			Carico sfioro sinistro		Carico sfioro destro	
Modello [l/s]	Modello [m ³ /h]	Reale [m ³ /s]	Modello [cm]	Reale [m]	Modello [cm]	Reale [m]
0.984	3.542	9.958	0.51	0.20	0.53	0.21
2.759	9.931	27.914	1.02	0.41	1.03	0.41
4.436	15.970	44.889	1.40	0.56	1.39	0.56
6.955	25.036	70.375	1.88	0.75	1.86	0.74
8.338	30.018	84.378	2.08	0.83	2.09	0.84
10.076	36.275	101.965	2.41	0.96	2.42	0.97
12.505	45.018	126.542	2.95	1.18	2.90	1.16
16.276	58.592	164.698	3.72	1.49	3.68	1.47
19.315	69.532	195.450	4.37	1.75	4.33	1.73
22.613	81.407	228.828	5.02	2.01	5.01	2.00
25.597	92.148	259.019	5.68	2.27	5.66	2.26
30.726	110.615	310.929	6.80	2.72	6.72	2.69

Tabella 4-5 – Scala delle portate degli sfioratori sperimentalmente rilevate in data 08/11/2018

12/11/2018						
Portata in ingresso			Carico sfioro sinistro		Carico sfioro destro	
Modello [l/s]	Modello [m ³ /h]	Reale [m ³ /s]	Modello [cm]	Reale [m]	Modello [cm]	Reale [m]
10.988	39.557	111.191	2.61	1.04	2.60	1.04
14.289	51.442	144.598	3.24	1.29	3.25	1.30
19.944	71.800	201.824	4.43	1.77	4.44	1.78
20.638	74.295	208.837	4.57	1.83	4.57	1.83
30.165	108.595	305.251	6.62	2.65	6.57	2.63

Tabella 4-6 – Scala delle portate degli sfioratori sperimentalmente rilevate in data 12/11/2018

11/12/2018						
Portata in ingresso			Carico sfioro sinistro		Carico sfioro destro	
Modello [l/s]	Modello [m ³ /h]	Reale [m ³ /s]	Modello [cm]	Reale [m]	Modello [cm]	Reale [m]
5.019	18.069	50.791	1.51	0.60	1.44	0.58
10.067	36.243	1101.875	2.46	0.99	2.40	0.96
14.301	51.485	144.719	3.29	1.31	3.23	1.29
20.723	74.601	209.697	4.61	1.84	4.54	1.82
29.675	106.83	300.291	6.52	2.61	6.43	2.57

Tabella 4-7 – Scala delle portate degli sfioratori sperimentalmente rilevate in data 11/12/2018

14/12/2018						
Portata in ingresso			Carico sfioro sinistro		Carico sfioro destro	
Modello [l/s]	Modello [m ³ /h]	Reale [m ³ /s]	Modello [cm]	Reale [m]	Modello [cm]	Reale [m]
5.920	21.312	59.905	1.66	0.66	1.68	0.67
10.080	36.288	102.002	2.45	0.98	2.46	0.98
14.345	51.642	145.162	3.29	1.32	3.29	1.32
17.750	63.898	179.612	3.98	1.59	3.98	1.59
19.777	71.196	200.125	4.41	1.76	4.41	1.77
20.936	75.369	211.856	4.66	1.86	4.66	1.86
24.699	88.915	249.933	5.44	2.18	5.40	2.16
29.481	106.13	298.324	6.50	2.60	6.44	2.58

Tabella 4-8 – Scala delle portate degli sfioratori sperimentalmente rilevate in data 14/12/2018

Il modello fisico in questione ha rilevato la portata totale in uscita, mentre non sono state misurate le singole portate evacuate nei due canali fuggatori.

Di conseguenza, al fine di conoscere la ripartizione della portata in uscita nei due canali fuggatori, per la determinazione delle rispettive scale di deflusso, è stato costruito un modello idraulico unidimensionale in moto permanente in corrente mista (*software* HEC-RAS v.5-0-6) (Figura 4-2).

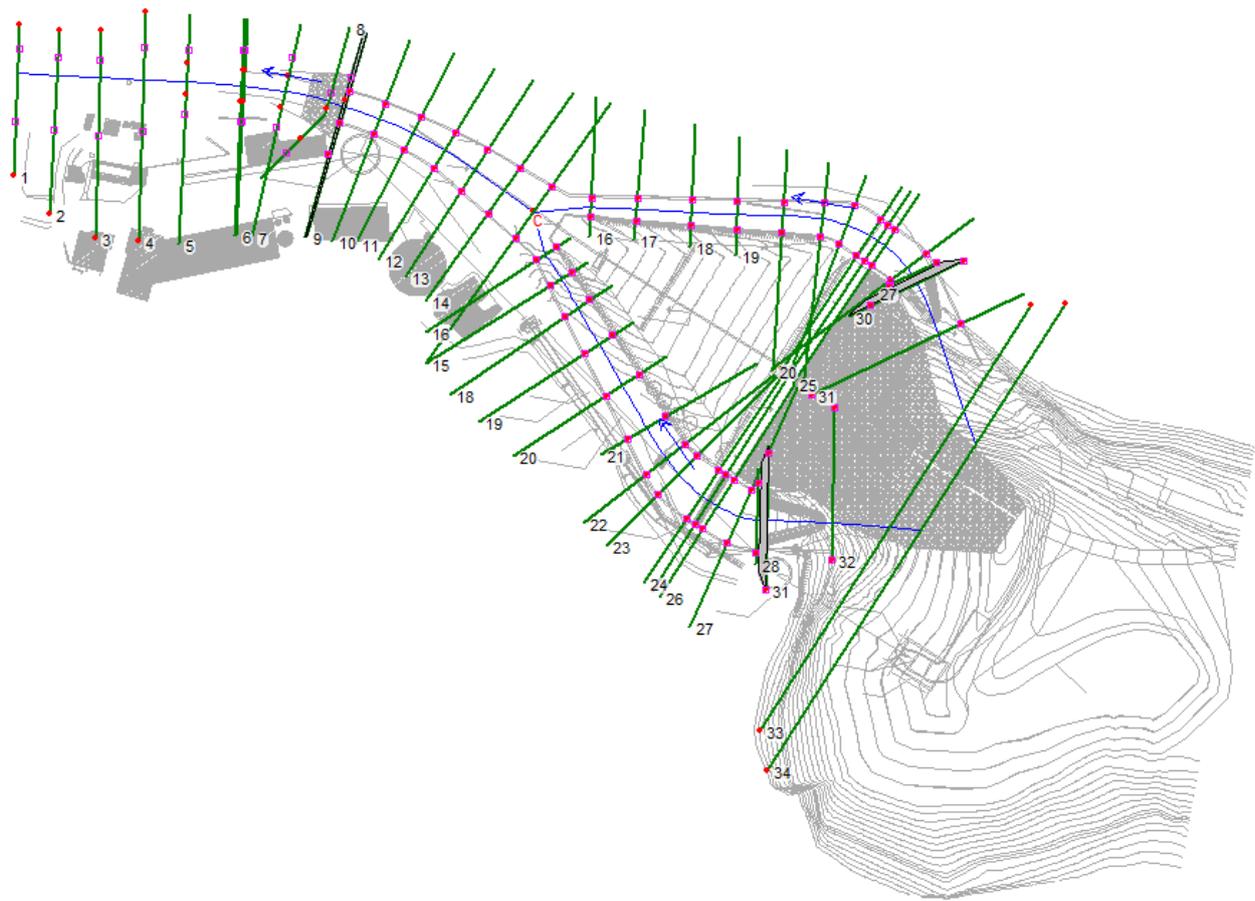


Figura 4-2 - Modello idraulico

Le opere di sfioro degli scarichi di superficie sono schematizzate mediante n. 2 sezioni trasversali (a monte e a valle) e una struttura trasversale al moto della corrente.

Le sezioni trasversali, rispettivamente a monte e a valle degli sfioratori a becco d’anatra, sono distinte in base ai seguenti suffissi:

- _1a : sezione ubicata immediatamente a monte del ciglio sfiorante con quota di fondo a 184.2 m s.l.m. e una larghezza analoga a quella della soglia sfiorante;
- _1d: sezione posizionata in corrispondenza del ciglio di valle dell’opera di sfioro con quota di fondo a 183.7 m s.l.m. pari a quella del canale di valle e larghezze differenti nei due canali.

La struttura trasversale è definita da una quota dell’estradosso pari a 185.7 m s.l.m. e da C_d , cioè il coefficiente di stramazzo; quest’ultimo viene utilizzato per il calcolo della portata di stramazzo secondo la seguente equazione:

$$Q = C_d L H^{3/2}$$

dove:

Q = portata totale dello stramazzo;

L = larghezza dello stramazzo;

H = carico totale sullo stramazzo.

Tale coefficiente C_d , ipotizzato uguale per lo sfioratore destro e sinistro, è stato ricavato attraverso la simulazione di una serie di coppie di portate di tentativo nei due canali fuggatori, imponendo che la loro somma deve essere pari alla portata totale in uscita dall'invaso. Il valore del coefficiente di C_d corretto è quello che consente di ottenere una coppia di portate che rispetti i carichi sugli sfiori rilevati sperimentalmente mediante modello fisico (Tabella 4-9). Quest'ultime portate sono state poi utilizzate per la costruzione delle relative scale di deflusso.

Portata totale in ingresso [m ³ /s]	Cd	Scarico superficie sinistro		Scarico superficie destro	
		Carico [m]	Portata [m ³ /s]	Carico [m]	Portata [m ³ /s]
50	1.83	0.54	27.80	0.56	22.20
90	1.71	0.85	50.95	0.86	39.05
102	1.58	0.98	58.15	0.98	43.85
122	1.58	1.10	69.15	1.11	52.85
145	1.48	1.29	82.35	1.30	62.65
180	1.375	1.57	102.45	1.58	77.55
211	1.25	1.86	120.70	1.86	90.30
300	1.10	2.61	173.15	2.57	126.85

Tabella 4-9 – Tabulati verifiche idrauliche per la costruzione delle scale di deflusso degli scolmatori sinistro e destro.

In Figura 4-3 si riporta il legame individuato tra il coefficiente di stramazzo C_d e la portata totale in uscita indagata sperimentalmente. L'andamento di tale legge è motivato dall'essere il carico di progetto sullo sfioratore comparabile con il petto dello stramazzo, mentre per i carichi inferiori la vena sfiorante si "appoggia" come di norma sul manufatto, risultando le curvature della stessa vena ben inferiori a quelle che si realizzano in uno sfioro libero. Tale legame è stato poi successivamente utilizzato per determinare il valore di C_d per portate totali arbitrarie superiori e quindi ricavare la loro ripartizione nei due canali fuggatori. Le portate aggiuntive studiate al fine di determinare il comportamento della diga per tempi di ritorno notevolmente superiori a 1000 anni sono: 350 m³/s, 400 m³/s, 450 m³/s, 500 m³/s, 550 m³/s, 600 m³/s. Per opportuni chiarimenti si rimanda al paragrafo 4.3.

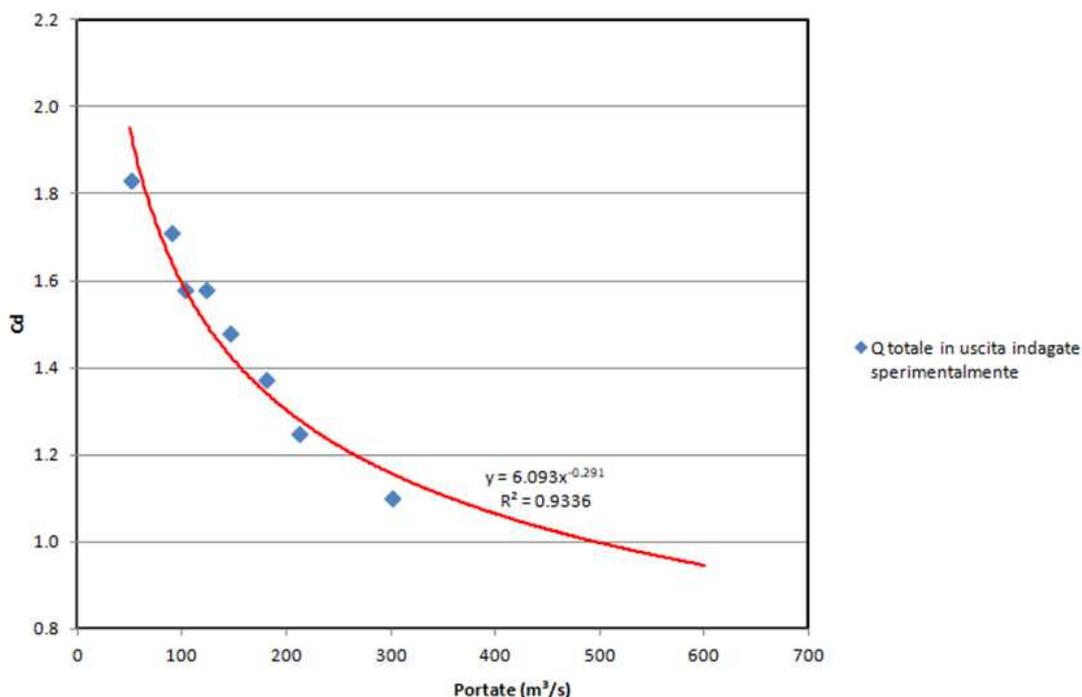


Figura 4-3 - Relazione tra Cd e portata in uscita indagata sperimentalmente

Le scale di deflusso degli sfioratori sono rappresentate Figura 4-4 e nella Figura 4-5 rispettivamente per lo scolmatore sinistro e destro, mentre i parametri caratteristici di entrambe le scale di deflusso sono restituiti in forma analitica nella Tabella 4-10. Si evidenzia che tali valori sono stati ricavati per un determinato intervallo di portate, per cui la loro validità risulta per portate totali uscenti dai due sfioratori fino a 350 m³/s; si rimanda al paragrafo 4.3 per gli opportuni chiarimenti in merito.

Scarico superficie sinistro		Scarico superficie destro	
a	59.728	a	45.183
H ₀ [m s.l.m.]	185.70	H ₀ [m s.l.m.]	185.70
b	1.153	b	1.137

Tabella 4-10 – Parametri delle curve di deflusso valide per portata totale uscente fino a 350 m³/s.

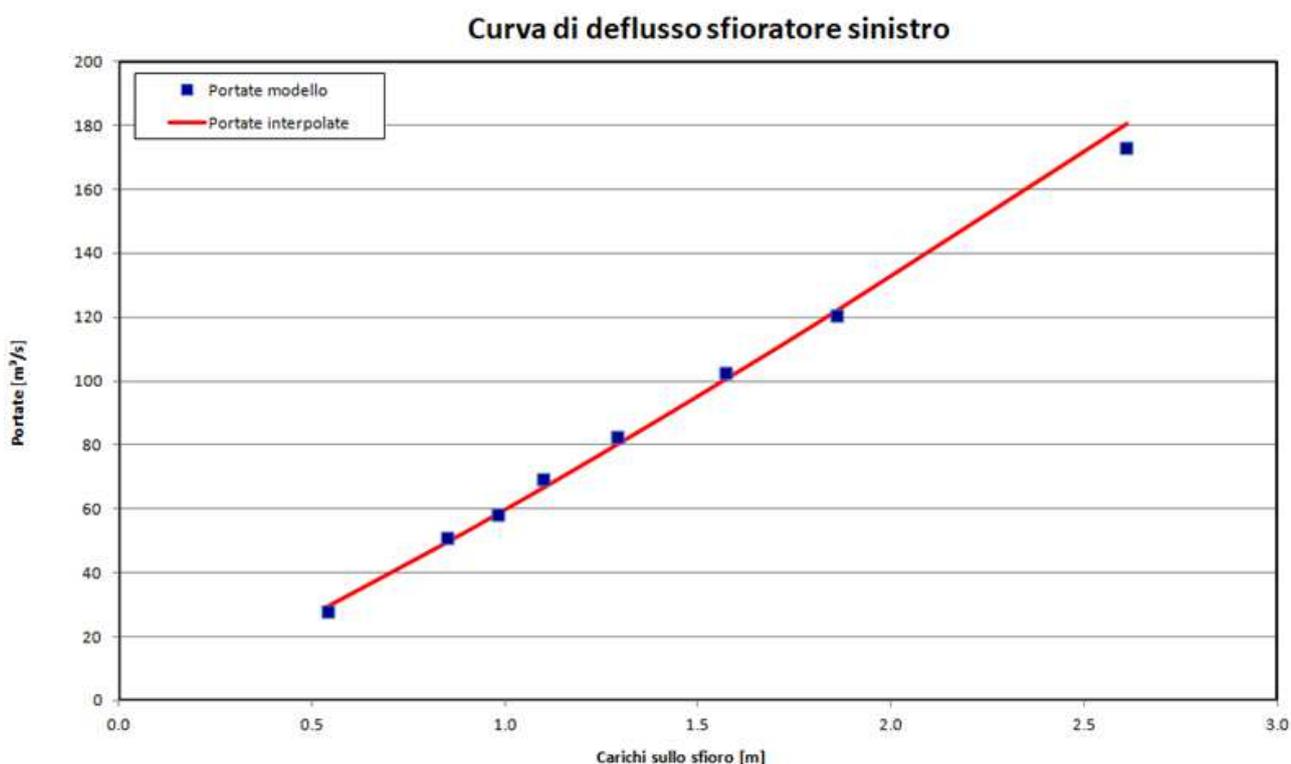


Figura 4-4 – Curva di deflusso scolmatore sinistro ricavata per intervallo di portate indagate sperimentalmente

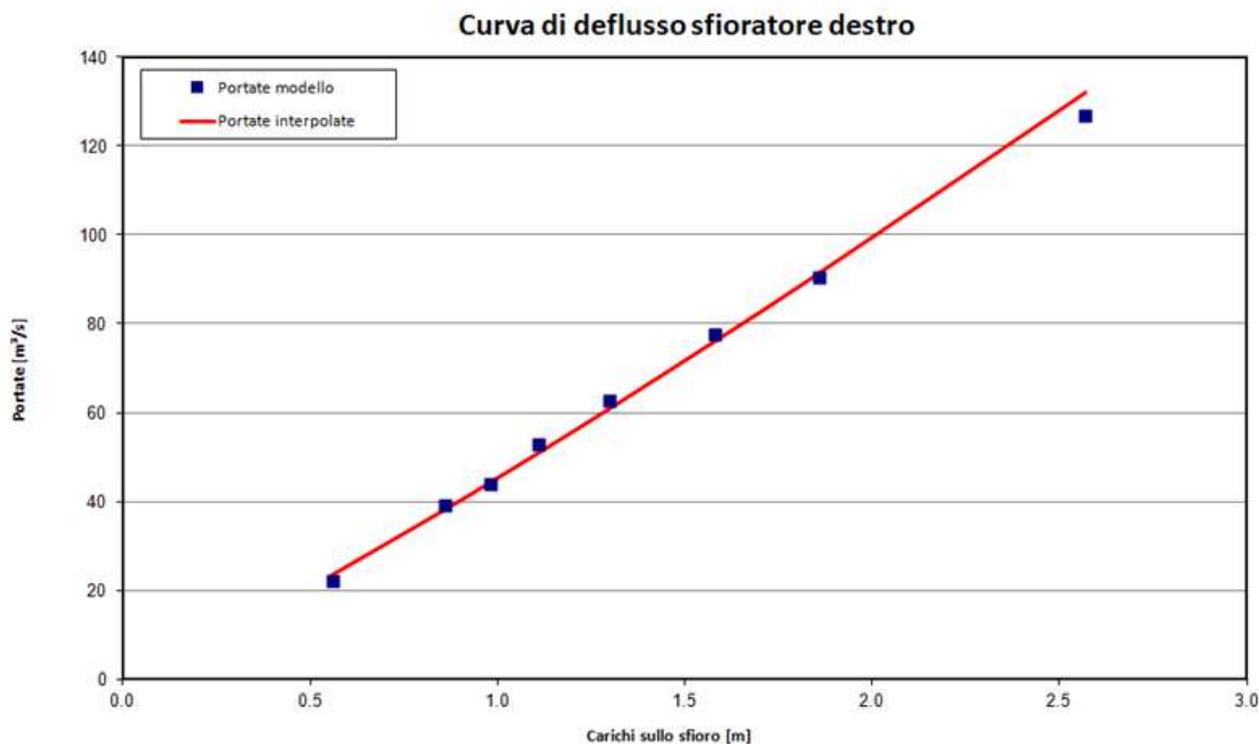


Figura 4-5 – Curva di deflusso scolmatore destro ricavata per intervallo di portate indagate sperimentalmente

4.2.3 LAMINAZIONE ESERCITATA DALL'INVASO

Il calcolo della laminazione degli idrogrammi di piena in arrivo all'invaso è condotto con il solo ausilio degli scarichi di superficie, nell'ipotesi che all'inizio dell'evento il livello nell'invaso corrisponda alla quota di massima regolazione di progetto ovvero pari a 185.70 m s.l.m..

Nella simulazione numerica, in accordo alle modalità di scarico previste dal D.M. 24/03/1982, la portata è evacuata unicamente utilizzando lo scarico di superficie. È dunque ignorato il contributo dello scaricatore di fondo.

I risultati delle elaborazioni relative alla laminazione operata dal serbatoio sugli eventi di piena per i tempi di ritorno di 30, 50, 100, 200, 500 e 1000 anni sono riportati nella Tabella 4-11.

La massima portata evacuata per l'evento millenario risulta pari a 186.81 m³/s a cui corrisponde un livello idrometrico nell'invaso di 187.35 m s.l.m. (1.65 m rispetto alle soglie di sfioro poste a 185.70 m s.l.m.) con un **franco idraulico di 2.65 m**.

Nelle condizioni di progetto, con un livello nell'invaso di 187.35 m s.l.m., lo scarico di sinistra evacua 106.73 m³/s e quello di destra 80.08 m³/s.

Nella redazione del progetto preliminare la portata millenaria in ingresso nell'invaso risultava pari a 211 m³/s, mentre la portata laminata evacuata dai canali fugatori era pari a 202 m³/s. In sede di progetto definitivo il valore della portata in ingresso, determinata attraverso studio idrologico, risulta pressoché uguale; si nota invece una differenza più marcata nel valore della portata evacuata dai canali fugatori giustificata dalla diversa forma dell'onda di piena dedotta attraverso la taratura del modello idrologico su eventi reali e della scala di deflusso degli sfioratori di superficie a becco d'anatra.

Nella figure seguenti si riportano gli idrogrammi delle portate affluite al lago, delle portate scaricate e dei livelli nell'invaso in occasione degli eventi di piena per i tempi di ritorno di 30, 50, 100, 200, 500 e 1000 anni (Figura 4-6, Figura 4-7, Figura 4-8, Figura 4-9, Figura 4-10, Figura 4-11).

Tempo di ritorno [anni]	Portata in arrivo [m ³ /s]	Portata uscita totale [m ³ /s]	Portata uscita canale sinistra [m ³ /s]	Portata uscita canale destra [m ³ /s]	Quota livello inizio evento [m s.l.m.]	Quota livello fine evento [m s.l.m.]	Franco idraulico [m]
30	74.08	66.12	37.54	28.58	185.7	186.37	3.63
50	85.26	76.20	43.29	32.90	185.7	186.46	3.54
100	105.18	94.17	53.58	40.59	185.7	186.61	3.39
200	131.80	118.00	67.23	50.77	185.7	186.81	3.19
500	172.57	154.74	88.31	66.43	185.7	187.10	2.90
1000	207.87	186.81	106.73	80.08	185.7	187.35	2.65

Tabella 4-11 – Portate evacuate e livelli di invaso per i periodi di ritorno di 30, 50, 100, 200, 500 e 1000 anni.

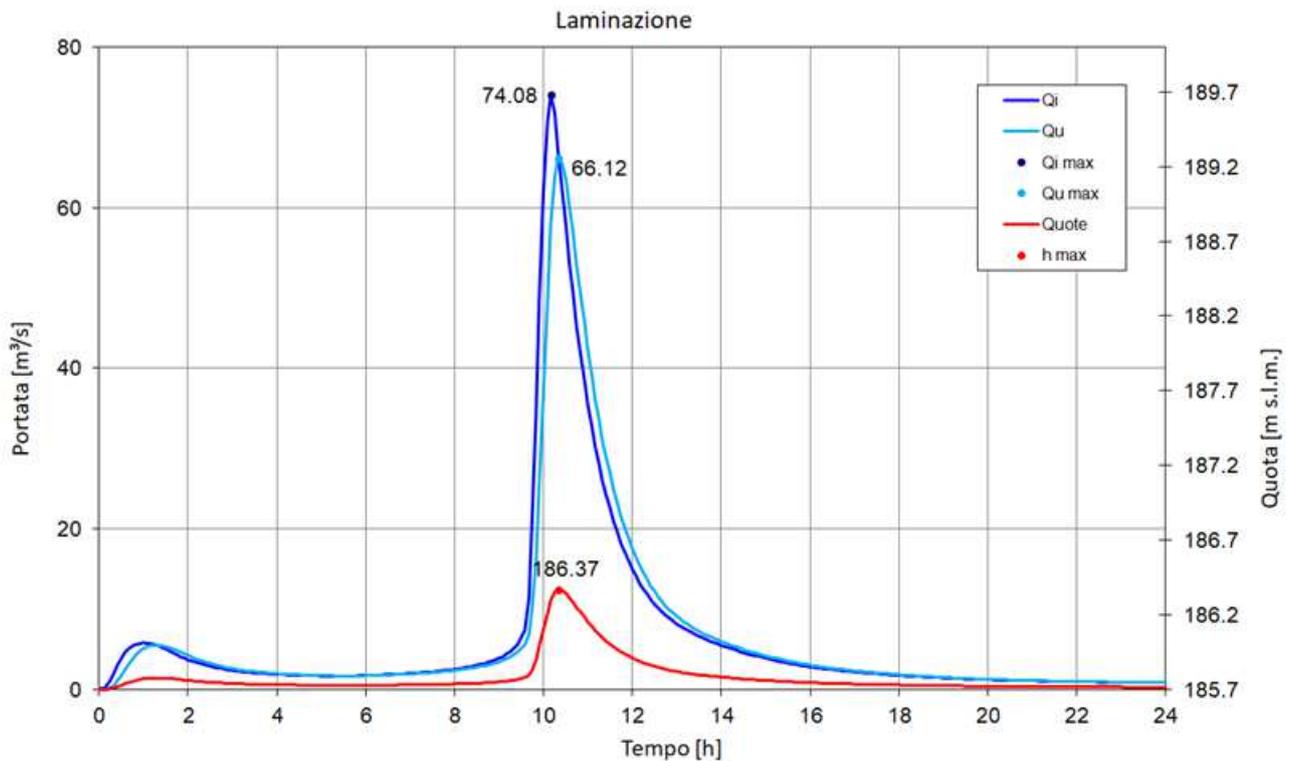


Figura 4-6 – Laminazione del serbatoio per Tr = 30 anni nello stato di progetto.

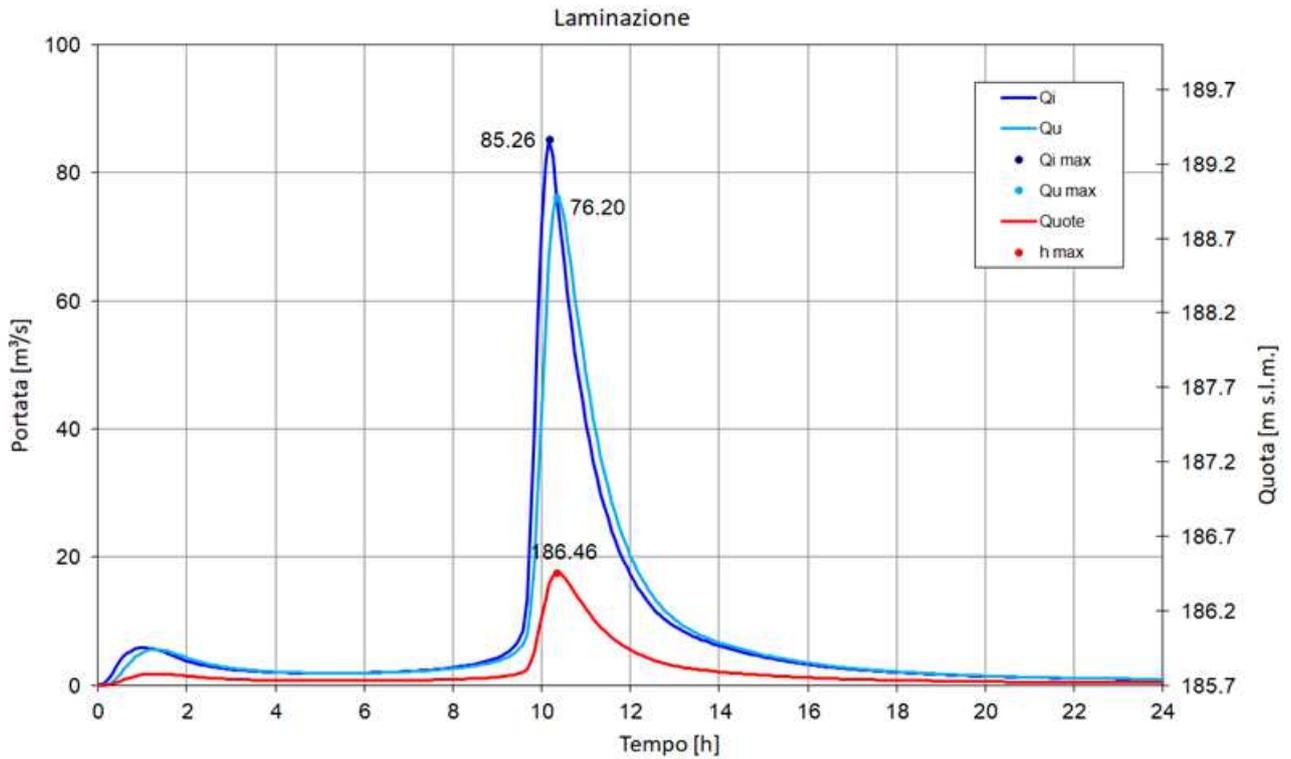


Figura 4-7 – Laminazione del serbatoio per $Tr = 50$ anni nello stato di progetto.

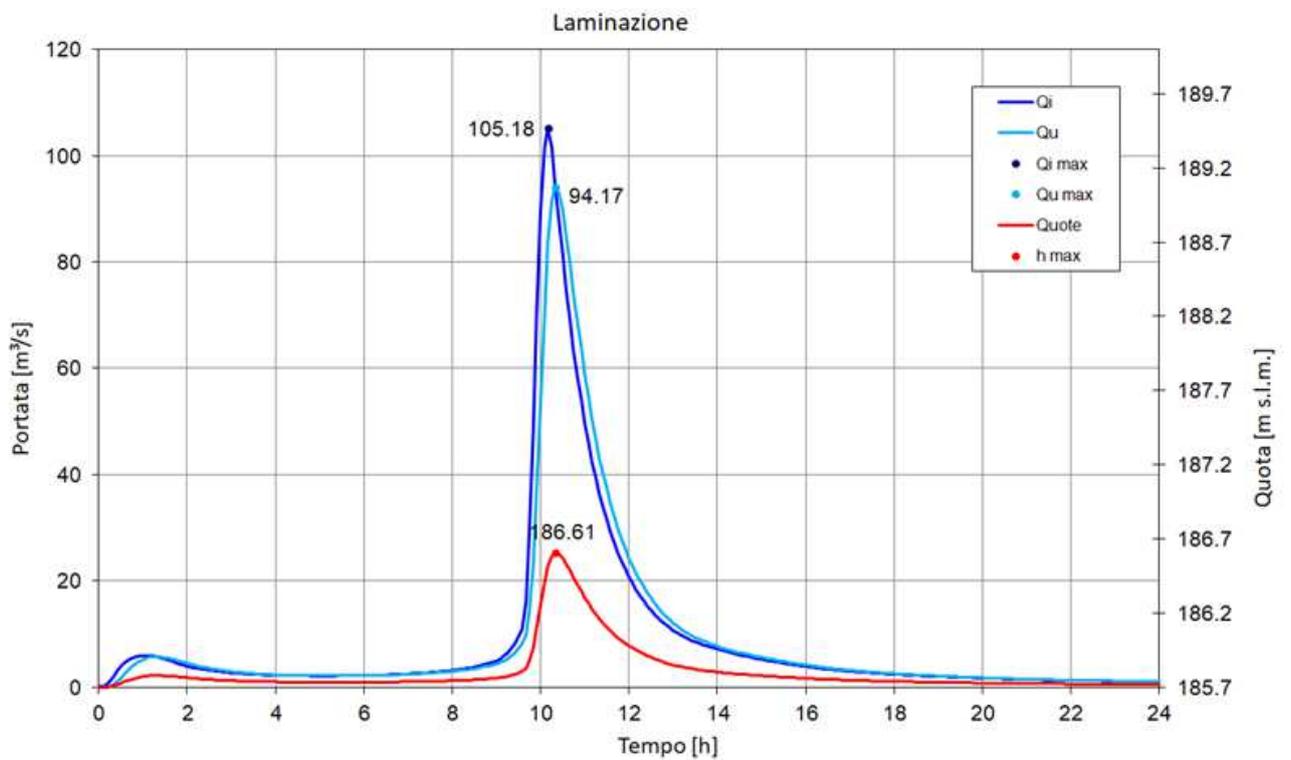


Figura 4-8 – Laminazione del serbatoio per $Tr = 100$ anni nello stato di progetto.

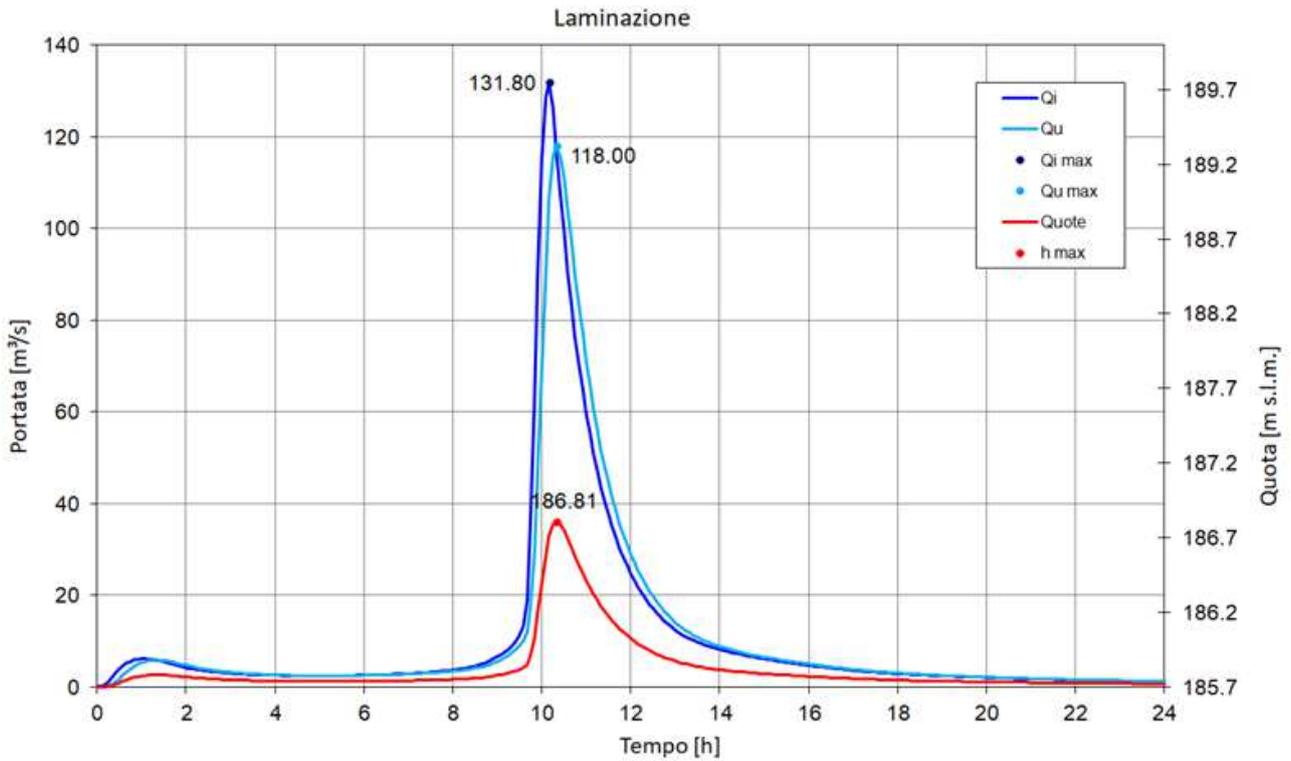


Figura 4-9 – Laminazione del serbatoio per $Tr = 200$ anni nello stato di progetto.

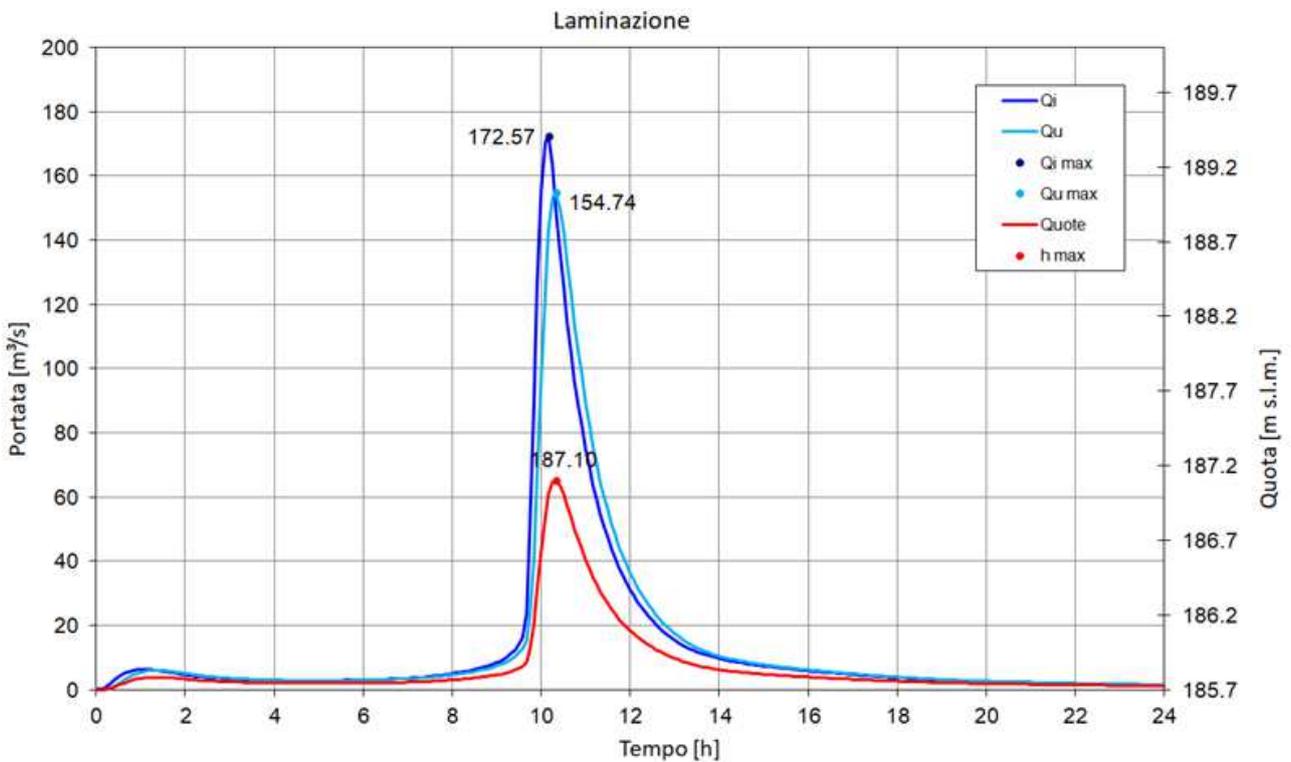


Figura 4-10 – Laminazione del serbatoio per $Tr = 500$ anni nello stato di progetto.

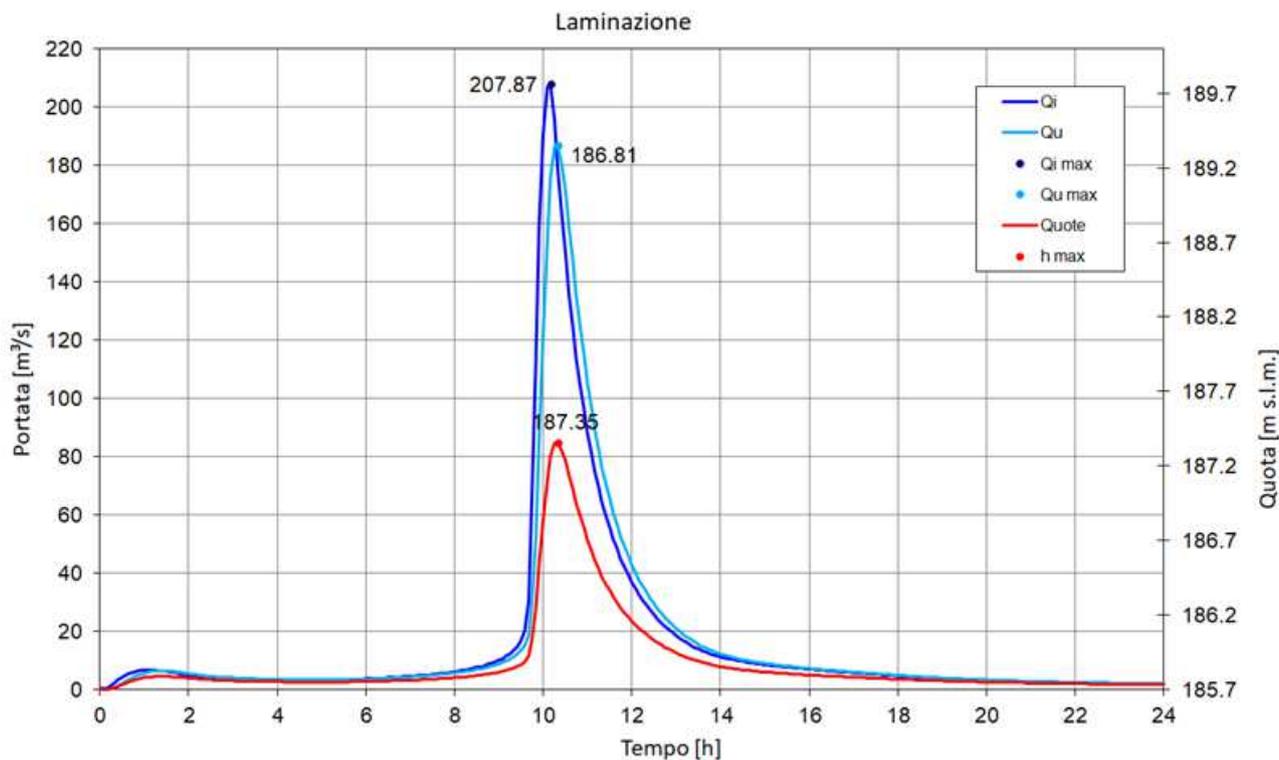


Figura 4-11 – Laminazione del serbatoio per $T_r = 1000$ anni nello stato di progetto.

4.3 ANNULLAMENTO DEL FRANCO IDRAULICO

Le prove sperimentali su modello fisico svolte dal Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale (ICEA) dell'Università di Padova sono effettuate fino a una portata massima in uscita di circa $300 \text{ m}^3/\text{s}$. Al fine di determinare quindi la ripartizione della portata in uscita nei due canali fugatori per valori superiori a $300 \text{ m}^3/\text{s}$, è stato innanzitutto ricavato i coefficienti di stramazzo C_d corrispondenti ad una serie di portate arbitrarie mediante la legge di variazione determinata nel paragrafo 4.2.2, sempre nell'ipotesi di C_d uguale per lo sfioratore destro e sinistro. Successivamente, mediante il software HEC-RAS v.5-0-6, sono state effettuate simulazioni di una serie di coppie di portate di tentativo nei due canali fugatori, imponendo che la loro somma dovesse essere pari alla portata totale in uscita dall'invaso. La coppia di valori delle portate corrette nei due canali fugatori sono quelle che consentono di soddisfare l'ipotesi di carichi uguali per i due sfioratori. Tali portate sono state poi utilizzate per verificarne l'adattamento alle curve di deflusso degli scarichi di superficie calcolati fino a una portata totale in uscita pari a $300 \text{ m}^3/\text{s}$.

I valori del coefficiente di deflusso per le portate totali indagate ($350 \text{ m}^3/\text{s}$, $400 \text{ m}^3/\text{s}$, $450 \text{ m}^3/\text{s}$, $500 \text{ m}^3/\text{s}$, $550 \text{ m}^3/\text{s}$, $600 \text{ m}^3/\text{s}$) e il valore della coppia di portate che consente di verificare l'ipotesi di carichi uguali per i due sfioratori, sono riportati nella Tabella 4-14.

Portata totale in ingresso [m ³ /s]	Cd	Scarico superficie sinistro		Scarico superficie destro	
		Carico [m]	Portata [m ³ /s]	Carico [m]	Portata [m ³ /s]
350	1.11	2.86	199.90	2.86	150.10
400	1.06	3.22	227.75	3.22	172.25
450	1.03	3.58	255.40	3.58	194.60
500	1.00	3.94	284.10	3.94	215.90
550	0.97	4.30	313.65	4.30	236.35
600	0.95	4.65	342.90	4.65	257.10

Tabella 4-12 – Portate evacuate e livelli di invaso per verifiche a franco nullo

Per battenti superiori a 2.86m è stato necessario, per una migliore rappresentazione dei risultati, adottare diverse curve di deflusso.

Le curve di deflusso dei due sfioratori ricavate per battenti superiori a 2.86m sono riportate in Figura 4-12 e Figura 4-13.

Pertanto per portate totali sfiorate fino a 350 m³/s vengono utilizzate le scale di deflusso determinate al paragrafo 4.2.2, mentre per portate totali sfiorate superiori a 350 m³/s i parametri caratteristici di entrambe le scale di deflusso sono restituiti in forma analitica nella Tabella 4-13.

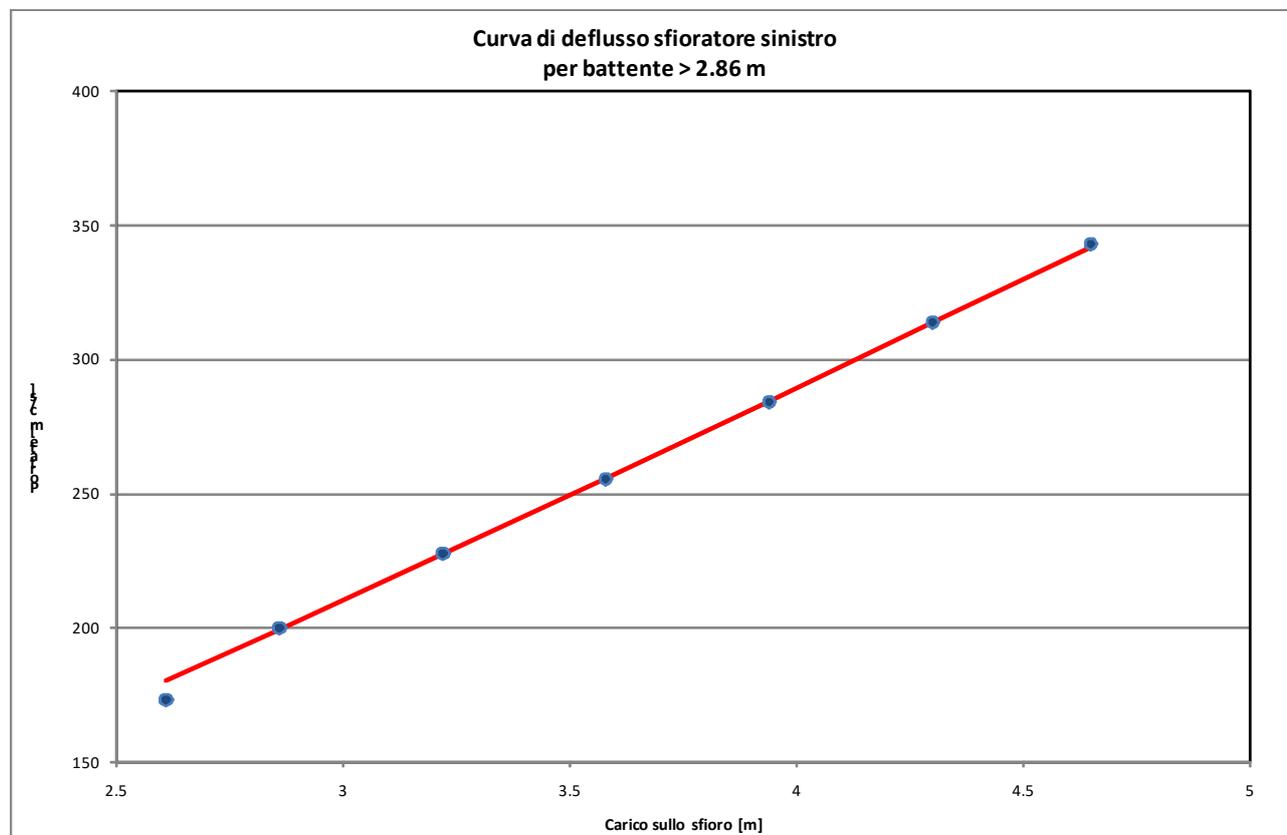


Figura 4-12 –Curva di deflusso scolmatore sinistro

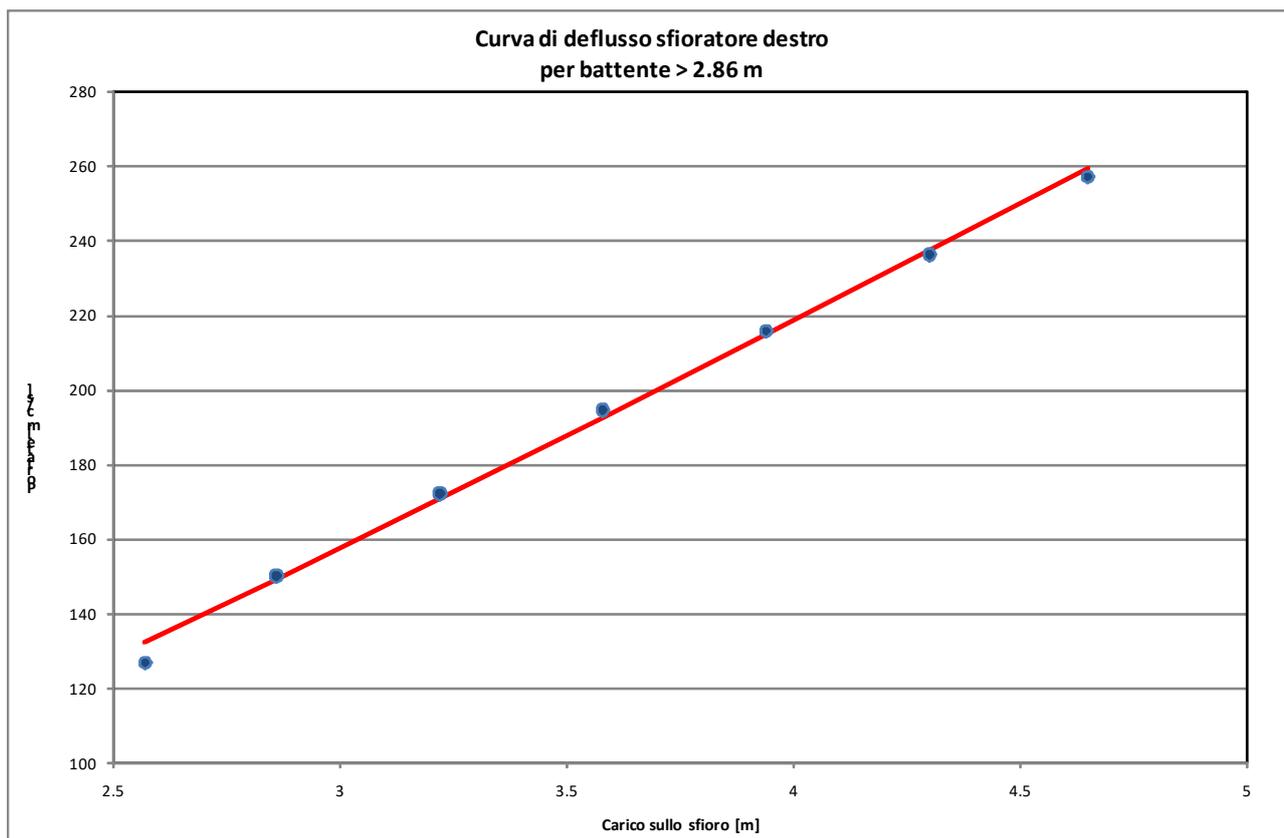


Figura 4-13 – Curva di deflusso scolmatore destro

Scarico superficie sinistro		Scarico superficie destro	
a	62.106	a	45.183
H ₀ [m s.l.m.]	185.70	H ₀ [m s.l.m.]	185.70
b	1.110	b	1.137

Tabella 4-13 – Parametri delle curve di deflusso per portate totali in uscita superiori a 350 m³/s.

I risultati delle verifiche condotte per gli eventi di piena con periodo di ritorno superiore a 1000 anni per l'individuazione dell'evento che annulla il franco idraulico sono riportati nella Tabella 4-14.

Tempo di ritorno [anni]	Portata in arrivo [m³/s]	Portata uscita totale [m³/s]	Portata uscita canale sinistra [m³/s]	Portata uscita canale destra [m³/s]	Quota livello inizio evento [m s.l.m.]	Quota livello fine evento [m s.l.m.]	Franco idraulico [m]
3000	273.54	246.93	141.32	105.61	185.7	187.81	2.19
5000	308.85	278.86	159.72	119.15	185.7	188.05	1.95
10000	361.49	325.49	186.33	139.16	185.7	188.39	1.61
20000	420.09	377.94	216.03	161.91	185.7	188.77	1.23
30000	457.52	411.29	234.89	176.40	185.7	189.01	0.99
40000	485.65	436.30	249.02	187.28	185.7	189.19	0.81
50000	508.44	456.49	260.43	196.06	185.7	189.34	0.66
60000	527.71	473.54	270.05	203.49	185.7	189.46	0.54
70000	544.47	488.36	278.42	209.94	185.7	189.56	0.44
80000	559.36	501.51	285.84	215.67	185.7	189.65	0.35

Tempo di ritorno [anni]	Portata in arrivo [m ³ /s]	Portata uscita totale [m ³ /s]	Portata uscita canale sinistra [m ³ /s]	Portata uscita canale destra [m ³ /s]	Quota livello inizio evento [m s.l.m.]	Quota livello fine evento [m s.l.m.]	Franco idraulico [m]
90000	572.77	513.35	292.52	220.83	185.7	189.74	0.26
100000	585.01	524.12	298.59	225.53	185.7	189.81	0.19
110000	596.27	534.04	304.19	229.86	185.7	189.88	0.12
120000	606.71	543.23	309.37	233.86	185.7	189.95	0.05
130000	616.46	551.78	314.19	237.60	185.7	190.01	-0.01
140000	625.60	559.81	318.71	241.10	185.7	190.06	-0.06
150000	634.22	567.39	322.98	244.41	185.7	190.11	-0.11
160000	642.37	574.54	327.01	247.53	185.7	190.16	-0.16
170000	650.12	581.30	330.82	250.48	185.7	190.21	-0.21
180000	657.49	587.78	334.47	253.31	185.7	190.26	-0.26
190000	664.53	593.94	337.94	256.00	185.7	190.30	-0.30
200000	671.28	599.84	341.26	258.58	185.7	190.34	-0.34

Tabella 4-14 – Portate evacuate e livelli di invaso per i periodi di ritorno superiori a 1000 anni.

Nella Figura 4-14 è rappresentato l'andamento del franco idraulico al variare del periodo di ritorno. Il periodo di ritorno dell'evento che annulla il franco è di circa 130'000 anni.

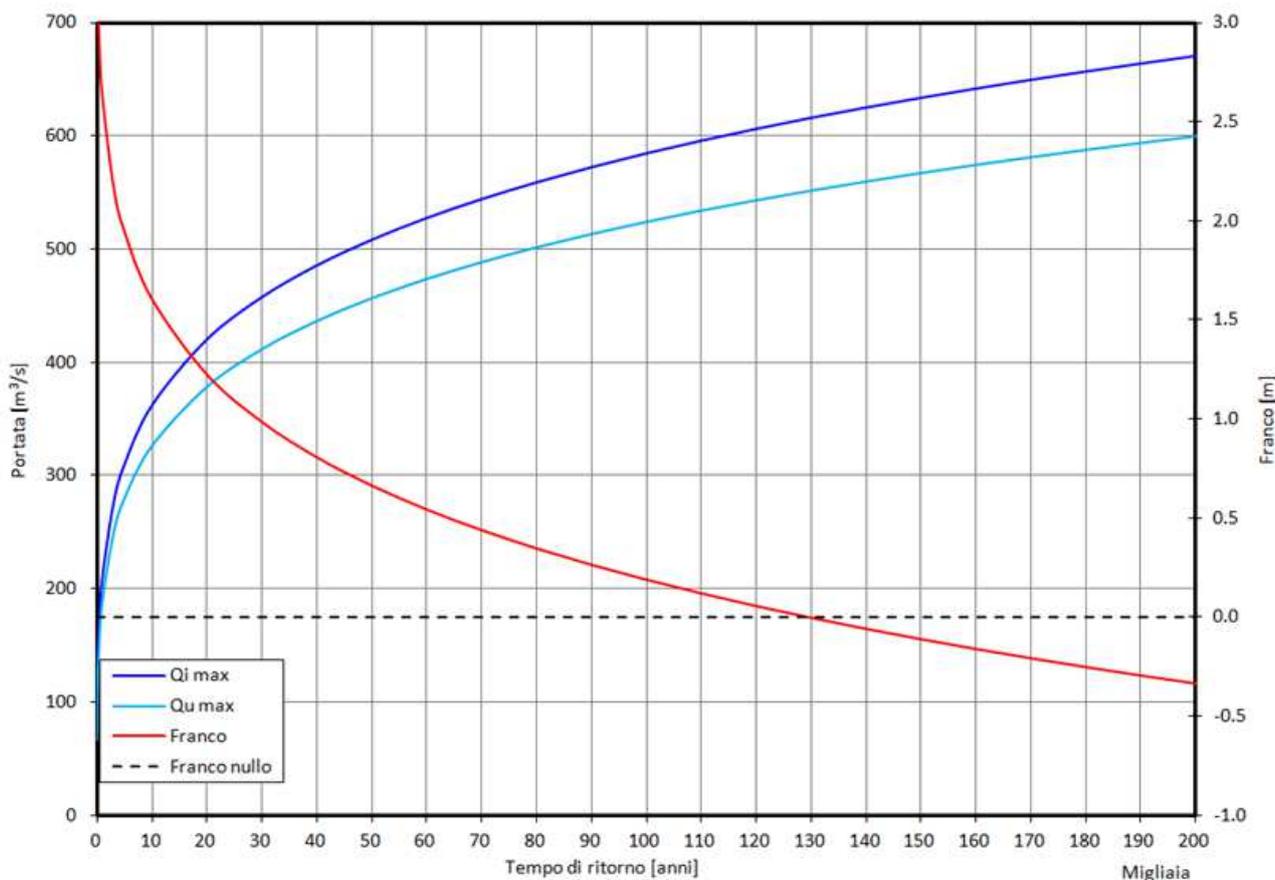


Figura 4-14 – Andamento del franco e della laminazione del serbatoio al variare del periodo di ritorno.

A. APPENDICE

IL MODELLO IDROLOGICO

Il modello idrologico simula il processo di generazione e trasferimento dei deflussi attraverso la successione, per ciascuna cella e per tutti i passi temporali, delle seguenti fasi:

- intercettazione: in questa fase si effettua una stima della quantità di acqua che viene comunque sottratta al deflusso superficiale. La stima è riferita ad una componente iniziale che comprende le varie perdite per intercettazione (vegetazione, assorbimento del suolo) e ad una componente a regime riferita alla capacità di infiltrazione a saturazione.
- suolo: in questa fase si ricostruisce il bilancio idrologico del suolo, valutando la quantità d'acqua che va ad alimentare il volume profondo e la componente del deflusso ipodermico.
- canale: in questa fase si simula il trasferimento del deflusso superficiale e di quello ipodermico dalla singola cella alla sezione di chiusura.

Nella figura seguente si riporta uno schema del modello idrologico adottato.

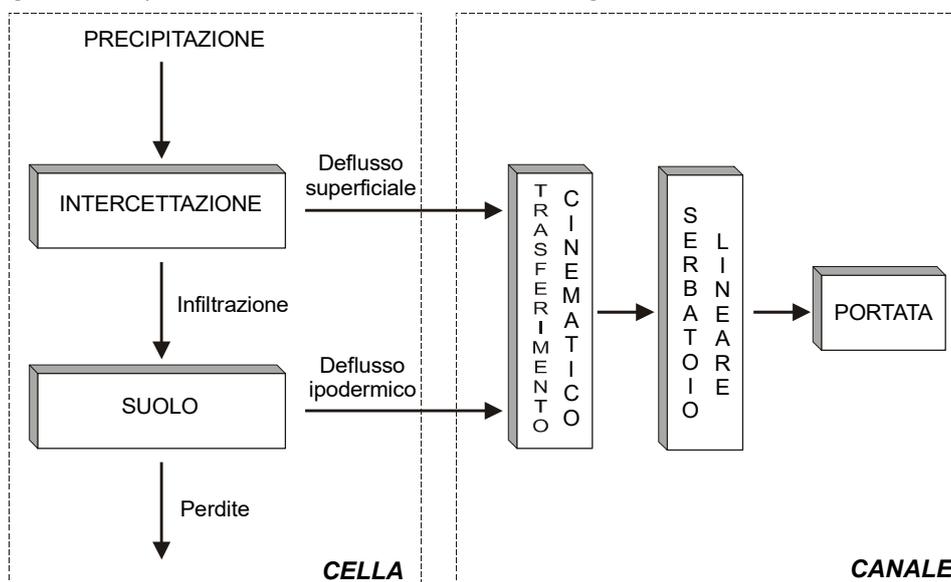


Figura A-1 – Schema del modello afflussi-deflussi.

All'inizio dell'evento di precipitazione una parte della pioggia si infiltra nel suolo, fino a saturare la capacità di ritenuta del suolo. Saturato tale volume, l'acqua continua a infiltrare nel suolo con un tasso definito dalla velocità di infiltrazione. Se l'afflusso eccede la velocità di infiltrazione si ha deflusso superficiale verso il canale. Tale deflusso contribuisce alla portata con un ritardo dettato dal modello di trasferimento.

Il bilancio del serbatoio "suolo" tiene pertanto conto da una parte dell'afflusso per infiltrazione, dall'altra delle perdite. Le perdite sono tali che per suolo saturo la quantità di acqua che si infiltra nel suolo sia pari alla velocità di infiltrazione.

La capacità di ritenuta in [mm], ovvero la quantità di acqua che può essere immagazzinata nella parte gravitazionale del suolo (corrisponde al grado di saturazione uguale a 1) e la velocità di infiltrazione a saturazione [mm/h] che rappresenta la velocità di infiltrazione nel suolo in condizioni di saturazione (grado di saturazione uguale a 1) sono definite dalle mappe *raster* relative. Per quanto riguarda il deflusso ipodermico si assume che esso sia funzione della velocità di filtrazione a saturazione moltiplicata per un fattore 1000.

Passando all'algoritmo di calcolo, con riferimento alle variabili elencate nella tabella 9 si riportano di seguito i principali calcoli effettuati dal programma per ciascuna cella costituente il bacino:

1. l'afflusso sulla singola cella, P_{i_k} [mm/h];
2. il suolo è assimilato a un serbatoio lineare che si riempie in ragione della precipitazione (di intensità costante sul passo di bilancio) e si svuota in ragione della percolazione, K_s [mm/h], e del deflusso ipodermico regolato dal parametro K [1/h].
3. l'equazione di continuità, da cui si ricava il contenuto di acqua nel suolo da un passo a quello successivo, è esprimibile in forma differenziale nel seguente modo:

$$\Delta\theta = \theta_{k+1} - \theta_k = \left(P_i - K_s - K \cdot \frac{\theta_{k+1} + \theta_k}{2} \right) dt$$

$$\frac{\theta_{k+1}}{dt} + \frac{K}{2} \cdot \theta_{k+1} = \frac{\theta_k}{dt} - \frac{K}{2} \cdot \theta_k + P_i - K_s$$

$$\theta_{k+1} = \left(\frac{\left(\frac{1}{dt} - \frac{K}{2} \right) \theta_k + P_{i_k} - K_s}{\frac{1}{dt} + \frac{K}{2}} \right)$$

Il contenuto di acqua nel suolo all'inizio θ_0 [mm] è uguale a $\alpha_0 \theta_{\max}$, dove α_0 è il grado di saturazione iniziale. Il valore del contenuto di acqua nel suolo è limitato tra 0 e θ_{\max} , pertanto si possono distinguere tre casi:

- 1) essiccamento del suolo:

se $\theta_k / dt + P_{i_k} > K_s$ allora

$$\theta_{k+1} = 0$$

$$Q_{1k} = \theta_k / dt + P_{i_k} - K_s$$

$$I_{\text{eff}} = K_s$$

altrimenti

$$\theta_{k+1} = 0$$

$$Q_{1k} = 0$$

$$I_{\text{eff}} = \theta_k / dt + P_{i_k}$$

- 2) saturazione del suolo:

$$\theta_{k+1} = \theta_{\max}$$

$$Q_{1k} = (\theta_k - \theta_{\max}) / dt + P_{i_k} - K_s$$

$$I_{\text{eff}} = K_s$$

- 3) caso intermedio:

$$0 < \theta_{k+1} < \theta_{\max}$$

$$Q_{1k} = (\theta_k - \theta_{k+1}) / dt + P_{i_k} - K_s$$

$$I_{\text{eff}} = K_s$$

4. il modello di trasferimento nel reticolo è costituito da una componente di invaso e da una componente cinematica poste in serie. La componente di invaso è caratterizzata dalla seguente espressione:

$$\varphi_{k+1} = \left(\frac{\left(\frac{1}{dt} - \frac{C_s}{2} \right) \varphi_k + Q_{1k}}{\frac{1}{dt} + \frac{C_s}{2}} \right)$$

dove C_s [1/h] è il parametro del serbatoio calcolato come $1/\tau_i$ e φ_k il volume d'acqua nel reticolo (assunto inizialmente nullo). Il contributo verso la componente cinematica risulta:

$$Q_k = C_s \frac{\varphi_{k+1} + \varphi_k}{2}$$

5. la componente cinematica trasla nel tempo il contributo Q_k di un fattore pari a τ_c .

Il contributo complessivo alla sezione di chiusura avviene attraverso la convoluzione dei contributi delle singole celle.

Sulla base di quanto esposto, il modello necessita della definizione dei seguenti parametri:

- α_0 = frazione di volume di suolo inizialmente occupata da acqua (stato di umidità iniziale) [/];
- RI = coefficiente moltiplicativo del raster della capacità di ritenuta del suolo [/];
- IN = coefficiente moltiplicativo della velocità di infiltrazione a saturazione [/];
- IP = coefficiente moltiplicativo della componente ipodermica [/];
- MT = coefficiente moltiplicativo della velocità di trasferimento [/];
- CI = coefficiente ripartizione cinematico-invaso [/].

Simbolo	Descrizione	U.I.
P_{ik}	valore dell'afflusso (precipitazione) per la singola cella al passo k-esimo	[mm/h]
Δt	passo temporale	[h]
Dx	passo spaziale	[m]
SC	valore della capacità di ritenuta del suolo (storage capacity)	[mm]
KL	valore della velocità di infiltrazione a saturazione	[mm/h]
RI	coefficiente moltiplicativo della capacità di ritenuta del suolo	[/]
IN	coefficiente moltiplicativo della velocità di infiltrazione a saturazione	[/]
IP	coefficiente moltiplicativo della componente ipodermica	[/]
T	valore dei tempi di trasferimento	[h]
$T_c = CI T$	valore dei tempi di trasferimento o di risposta secondo lo schema cinematico	[h]
$T_i = (1-CI) T/MT$	valore dei tempi di trasferimento secondo lo schema di trasferimento di invasore	[h]
MT	coefficiente moltiplicativo della velocità di trasferimento	[/]
CI	coefficiente ripartizione cinematico-invaso	[/]
$\theta_{max} = RI SC$	valore distribuito della capacità di ritenuta massima del suolo (volume utile del suolo)	[mm]
$K_s = IN KL$	valore distribuito della velocità di infiltrazione a saturazione (o permeabilità)	[mm/h]
$\tau_c = T_c/MT$	valore distribuito dei tempi di trasferimento secondo il metodo cinematico	[h]
$\tau_i = T_i/MT$	valore distribuito dei tempi di trasferimento secondo il metodo dell'invasore	[h]
$C_{s=1/\tau_i}$	valore distribuito della costante di esaurimento del serbatoio lineare	[1/h]
α_0	frazione di volume di suolo inizialmente occupata da acqua (stato di umidità iniziale)	[/]
θ_0	contenuto di acqua nel suolo nello stato iniziale	[mm]
$K = IP(KL/SC)$	coefficiente di deflusso ipodermico	[1/h]
θ_k	contenuto di acqua nel suolo al passo k-esimo	[mm]
I_{eff}	Infiltrazione effettiva	[mm/h]
Q_{1k}	contributo verso il reticolo al passo k-esimo	[mm/h]
φ_k	volume d'acqua invasata nel reticolo	[mm]
Q_k	contributo alla foce passo k-esimo	[mm/h]

Tabella A-1 – Elenco della variabili utilizzate dal modello afflussi-deflussi.

LE PRECIPITAZIONI

L'*input* di precipitazione, in termini di ietogramma, può essere definito sulla base delle curve di possibilità pluviometrica (CPP) adottando un particolare ietogramma di intensità variabile, noto in letteratura scientifica come *ietogramma Chicago*.

Lo ietogramma Chicago prevede la seguente formulazione per la parte antecedente e successiva al picco di intensità della precipitazione:

$$i(t) = n(aT^m) \left(\frac{t_b}{r} \right)^{n-1} \quad \text{per } t \leq t_p$$

$$i(t) = n(aT^m) \left(\frac{t_a}{(1-r)} \right)^{n-1} \quad \text{per } t > t_p$$

dove:

- a, n, m parametri della CPP ($h = a d^n T^m$);
- T tempo di ritorno (anni) prescelto per l'evento;
- t tempo dall'inizio dell'evento;
- t_p tempo di picco;
- t_b tempo mancante al verificarsi del picco;
- t_a tempo trascorso dal verificarsi del picco;
- d durata dell'evento;
- r fattore di fase (determina la posizione temporale del picco).

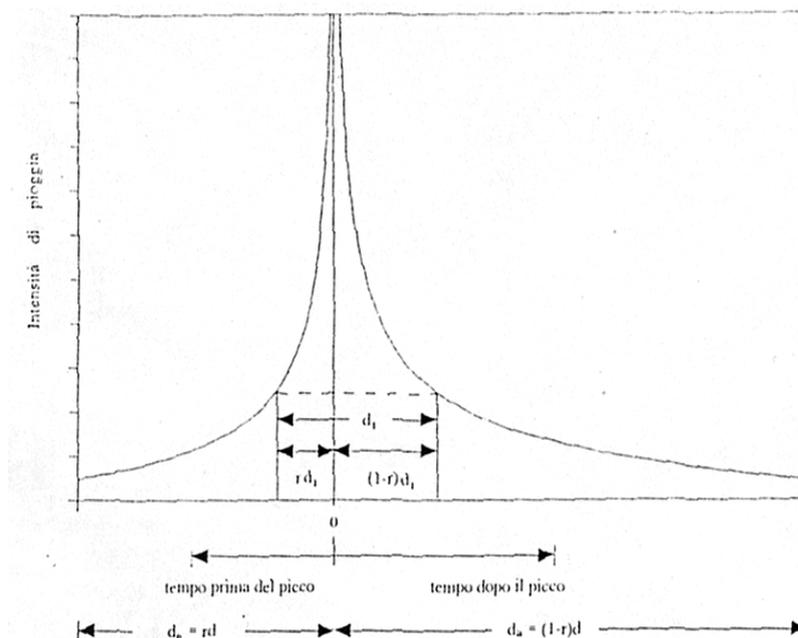


Figura A-2 – Schema dello ietogramma Chicago.

La particolarità di questo ietogramma (che è anche la sua comodità), è quello di racchiudere al suo interno, per tutte le durate minori di quella complessiva t_b , eventi congruenti con la CPP, e quindi di sollecitare sicuramente in modo critico il bacino di volta in volta considerato.

La variabilità spatio-temporale della precipitazione è messa in conto attraverso un *coefficiente di ragguglio areale* K_r del tipo:

$$K_r = h_A(A, t) / h(t)$$

dove $h_A(A, t)$ è l'altezza di pioggia di durata t raggugliata all'area A e $h(t)$ l'altezza di pioggia di durata t nel centro di scroscio.

Il valore di K_r dipende da tre fattori:

- l'estensione dell'area investita dalla precipitazione;
- la durata considerata;
- l'altezza di pioggia.

Per la quantificazione di K_r si è fatto riferimento alla formula dell'USWB:

$$K_r = 1 - \exp(-\alpha t^\beta) + \exp(-\alpha t^\beta - \gamma A)$$

dove α , β e γ sono i parametri della formula, t [h] la durata della precipitazione e A [km²] l'area del bacino.

I parametri di *default* sono i seguenti:

- $\alpha = 0.036 a$, dove a è il parametro della CPP;
- $\beta = 0.25$;
- $\gamma = 0.01$.

L'applicazione del coefficiente di ragguglio areale allo ietogramma di tipo Chicago è condotta applicando la formula separatamente a ciascun intervallo di tempo a cavallo del picco di pioggia in modo da modificare la forma dello ietogramma di progetto in funzione dell'area del bacino a cui questo viene applicato.

Una tale applicazione consente di modificare automaticamente la forma dello ietogramma in considerazione del fatto che le piogge raggugliate per bacini piccoli mantengono alti valori di intensità che poi diminuiscono all'aumentare della dimensione del bacino fino a divenire assimilabili a precipitazioni di intensità costante per grandi bacini.

TABULATI ANALISI IDROLOGICHE

Est UTM WGS84 32N	Nord UTM WGS84 32N	Area bacino [km ²]	Tempo ritorno [anni]	Durata [h]	Grado saturaz.	Rapporto cinem./inv.	Fa	Fb	Fc	Molt. infiltraz.	Molt. ritenuta	Portata [m ³ /s]	Precipitaz. [mm]	Deflusso [mm]
679589	4818502	11.36	30	24.0	1.0	0.35	0.036	0.25	0.01	0.20	1.0	66.12	116.29	53.35
679589	4818502	11.36	50	24.0	1.0	0.35	0.036	0.25	0.01	0.20	1.0	76.20	127.76	60.48
679589	4818502	11.36	100	24.0	1.0	0.35	0.036	0.25	0.01	0.20	1.0	94.17	145.19	72.24
679589	4818502	11.36	200	24.0	1.0	0.35	0.036	0.25	0.01	0.20	1.0	118.00	165.00	86.59
679589	4818502	11.36	500	24.0	1.0	0.35	0.036	0.25	0.01	0.20	1.0	154.74	195.38	109.46
679589	4818502	11.36	1000	24.0	1.0	0.35	0.036	0.25	0.01	0.20	1.0	186.81	221.98	130.12
679589	4818502	11.36	2000	24.0	1.0	0.35	0.036	0.25	0.01	0.20	1.0	246.93	271.88	170.31
679589	4818502	11.36	5000	24.0	1.0	0.35	0.036	0.25	0.01	0.20	1.0	278.86	298.72	192.72
679589	4818502	11.36	10000	24.0	1.0	0.35	0.036	0.25	0.01	0.20	1.0	325.49	339.41	227.55
679589	4818502	11.36	20000	24.0	1.0	0.35	0.036	0.25	0.01	0.20	1.0	377.94	385.77	267.84
679589	4818502	11.36	30000	24.0	1.0	0.35	0.036	0.25	0.01	0.20	1.0	411.29	415.72	294.15
679589	4818502	11.36	40000	24.0	1.0	0.35	0.036	0.25	0.01	0.20	1.0	436.30	438.28	314.25
679589	4818502	11.36	50000	24.0	1.0	0.35	0.036	0.25	0.01	0.20	1.0	456.49	456.77	330.74
679589	4818502	11.36	60000	24.0	1.0	0.35	0.036	0.25	0.01	0.20	1.0	473.54	472.45	344.67
679589	4818502	11.36	70000	24.0	1.0	0.35	0.036	0.25	0.01	0.20	1.0	488.36	486.03	356.87
679589	4818502	11.36	80000	24.0	1.0	0.35	0.036	0.25	0.01	0.20	1.0	501.51	498.12	367.75
679589	4818502	11.36	90000	24.0	1.0	0.35	0.036	0.25	0.01	0.20	1.0	513.35	509.05	377.59
679589	4818502	11.36	100000	24.0	1.0	0.35	0.036	0.25	0.01	0.20	1.0	524.12	519.00	386.56
679589	4818502	11.36	110000	24.0	1.0	0.35	0.036	0.25	0.01	0.20	1.0	534.04	528.22	394.87
679589	4818502	11.36	120000	24.0	1.0	0.35	0.036	0.25	0.01	0.20	1.0	543.23	536.80	402.61
679589	4818502	11.36	130000	24.0	1.0	0.35	0.036	0.25	0.01	0.20	1.0	551.78	544.83	409.85
679589	4818502	11.36	140000	24.0	1.0	0.35	0.036	0.25	0.01	0.20	1.0	559.81	552.35	416.66
679589	4818502	11.36	150000	24.0	1.0	0.35	0.036	0.25	0.01	0.20	1.0	567.39	559.39	423.08
679589	4818502	11.36	160000	24.0	1.0	0.35	0.036	0.25	0.01	0.20	1.0	574.54	566.10	429.20
679589	4818502	11.36	170000	24.0	1.0	0.35	0.036	0.25	0.01	0.20	1.0	581.30	572.40	435.04
679589	4818502	11.36	180000	24.0	1.0	0.35	0.036	0.25	0.01	0.20	1.0	587.78	578.45	440.60
679589	4818502	11.36	190000	24.0	1.0	0.35	0.036	0.25	0.01	0.20	1.0	593.94	584.26	445.96
679589	4818502	11.36	200000	24.0	1.0	0.35	0.036	0.25	0.01	0.20	1.0	599.84	589.81	451.06

Tabella A-2 – Portate al colmo per la durata di 24 ore per i vari tempi di ritorno aggiornate con le LSPP.