

COMUNE DI MONTEMURLO

Provincia di Prato



DEFINIZIONE E VERIFICA DI UNA IPOTESI PROGETTUALE PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO NELLA FRAZIONE DI OSTE

CODICE:

R01.01

ELABORATO:

Relazione integrativa condizioni al contorno

SCALA

VARIE



West Systems s.r.l. divisione PHYSIS
- Ingegneria per l'ambiente

Viale Donato Giannotti, 24 - 50126 - FI

Tel. 055 461429 / 055 4684253

Fax. 055 0460426

Email. info@westsystems.com

Pec. amministrazione@pec.westsystems.it

PROGETTISTA:

Ing. David Settesoldi

COLLABORATORI TECNICI:

Ing. Michele Catella
Geol. Silvia Angelini

COMMITTENTE:

COMUNE DI MONTEMURLO
Via Montalese, 472
59013 - Montemurlo (PO)

02					
01					
00	PRIMA EMISSIONE	09/02/2019	Ing. Michele Catella	Geol. Silvia Angelini	Ing. David Settesoldi
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
REVISIONE			DATA		
A			09/02/2019		

PROVINCIA DI PRATO
Comune di Montemurlo

**DEFINIZIONE E VERIFICA DI UNA IPOTESI PROGETTUALE PER LA
RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO NELLA FRAZIONE DI OSTE**

R01.1. RELAZIONE INTEGRATIVA CONDIZIONI AL CONTORNO

WEST SYSTEMS s.r.l. – PHYSIS s.r.l. Ingegneria per l'Ambiente

Ing. David Settesoldi

Firenze

Febbraio 2019

INDICE

1	PREMESSA	4
2	AREA DI STUDIO.....	4
3	CONDIZIONI AL CONTORNO DI MONTE	6
3.1	<i>Il modello idrologico PIENE</i>	6
3.1.1	Le fasi computazionali	7
3.1.2	Le caratteristiche geografiche e idrologiche	10
3.2	<i>Taratura del modello PIENE</i>	14
3.3	<i>Le curve di possibilità pluviometrica</i>	18
3.4	<i>Implementazione del modello PIENE</i>	20
3.5	<i>Confronto con gli studi precedenti</i>	23
4	CONDIZIONI AL CONTORNO DI VALLE.....	25

INDICE DELLE FIGURE

Figura 2-1-Area modellazione bidimensionale.	5
Figura 3-1 – Modello digitale del terreno.	11
Figura 3-2 – Capacità di ritenuta.	12
Figura 3-3 – Velocità filtrazione.	13
Figura 3-4 – Sezione in corrispondenza dell'idrometro del Calice alla Variante Pratese.	14
Figura 3-5-Caposaldo sul ponte della Variante Pratese.	15
Figura 3-6-Sezione in corrispondenza del ponte della Variante Pratese (fonte rilievo Mazzetti 2008).	15
Figura 3-7-Scala di deflusso del Calice alla Variante Pratese	16
Figura 3-8 – Evento 06-03-2017.....	17
Figura 3-9 – Evento 08-12-2017.....	18
Figura 3-10 - Coefficienti a, n e m.....	20
Figura 3-11 – Confronto portate studio 2011-studio 2018 per Tr 30	23
Figura 3-12 – Confronto portate studio 2011-studio 2018 per Tr 200	24
Figura 3-13 – Confronto portate studio 2011-studio 2018 per Tr 500	24
Figura 4-1-Scala di deflusso torrente Bagnolo.	26
Figura 4-2- Scala di deflusso torrente Calice.....	26
Figura 4-3-Scala di deflusso torrente Calicino.....	27
Figura 4-4-Scala di deflusso torrente Ficarello.	27
Figura 4-5-Scala di deflusso torrente Ficarello (ausiliaria).....	28

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 2-1– Elenco dei corsi d’acqua considerati.....	4
Tabella 3-1- Elenco delle variabili utilizzate dal modello afflussi-deflussi.....	8
Tabella 3-2 – Eventi del Calice alla Variante Pratese.....	16
Tabella 3-3 – Stazioni pluviometriche.....	17
Tabella 3-4 – Parametri taratura del Calice alla Variante Pratese.....	18
Tabella 3-5 – Tabella parametri del modello.....	20
Tabella 3-6 – Valori di portata al colmo valutati per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni per i bacini totali sottesi alle immissioni.....	22
Tabella 4-1 – Parametri scale di deflusso.....	25

1 PREMESSA

La presente relazione integrativa è finalizzata a evidenziare le condizioni al contorno utilizzate per la redazione dello studio a supporto del Piano Operativo del comune di Montemurlo.

In particolare la relazione risponde a quanto richiesto all'art.14 commi 6 e 7 e all'allegato 3 della Disciplina di Piano del PGRA.

2 AREA DI STUDIO

I corsi d'acqua oggetto di studio sono riportati nella [Tabella 2-1](#):

Sigla [codice]	Corso d'acqua [tratto]	L [m]	Sezioni [#]	Sigla [codice]	Corso d'acqua [tratto]	L [m]	Sezioni [#]
AG	Aгна	6415.9	112	FU	Funandola_03	2146.0	63
AN	Agnaccino_01	1378.8	49	FU	Funandola_dv	642.1	22
AN	Agnaccino_02	317.3	28	GR	Gramigneto	546.2	51
AN	Agnaccino_03	285.3	25	ME	Mendacione_00	1994.4	68
BG	Bagnolo	4716.1	107	ME	Mendacione_01	1098.9	69
BU	Bure_01	6789.3	137	ME	Mendacione_02	666.4	30
BU	Bure_02	511.5	14	ME	Mendacione_03	732.3	30
BU	Bure_03	373.0	10	PL	Poltronova	201.3	26
BU	Bure_04	58.4	2	SE	Selvavecchia	1104.9	69
CA	Calice	1032.2	23	SE	Selvavecchia_fo	285.6	12
CN	Calicino	1407.0	30	FG	Fosso_Guardia	127.7	6
FI	Ficarello	2679.4	91	ST	Stregale_01	2247.1	64
FU - DF	Funandola_01	874.1	36	ST	Stregale_02	1088.6	39
FU	Funandola_02	1285.4	78				

[Tabella 2-1– Elenco dei corsi d'acqua considerati.](#)

Lo studio è stato condotto con un modello monodimensionale in alveo, quasi bidimensionale per le aree inondabili esterne al comune di Montemurlo e bidimensionale per le aree ricadenti nel comune.

Sul confine ovest del comune il limite del modello bidimensionale coincide con gli argini dell'Aгна a est con l'alveo del fosso Ficarello. E' ricompresa nel modello bidimensionale anche una porzione del comune di Prato ricadente in destra del torrente Bagnolo (vedi [Figura 2-1](#)).

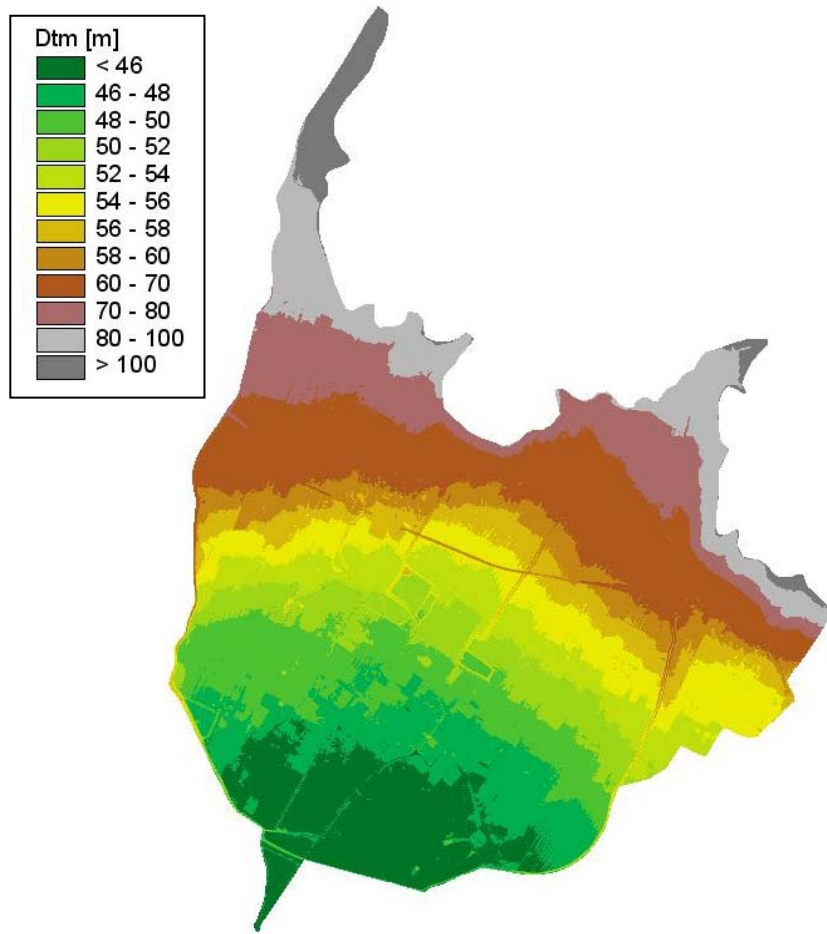


Figura 2-1-Area modellazione bidimensionale.

3 CONDIZIONI AL CONTORNO DI MONTE

Le condizioni al contorno di monte sono state ricavate con il modello PIENE. Il modello PIENE è un modello idrologico a parametri distribuiti.

Il modello utilizza per l'input pluviometrico e le caratteristiche idrologiche del bacino i dati ricavati nei recenti studi condotti dalla Regione Toscana di seguito elencati:

- *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);¹
- *Implementazione modello distribuito per la Toscana MOBIDIC. Addendum: Parametrizzazione HMS. Macroattività B - Modellazione idrologica. Attività B2 – Modellazione idrologica caso pilota*, 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)².

Il modello è stato tarato utilizzando i dati registrati dall'idrometro del Calice a Variante Pratese (codice TOS03004847-751559-4847).

3.1 Il modello idrologico PIENE

Il modello idrologico utilizzato può essere classificato come distribuito in quanto i parametri sono definiti per ognuna delle singole celle. 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.

¹ 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/eoniZadAbVH6/content/nuovi-dati-sulla-regionalizzazione-delle-precipitazioni

² 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>

La capacità di ritenuta e la velocità di filtrazione a saturazione sono state ricavate dal DB idrologico realizzato nell'ambito dello studio condotti dalla Regione Toscana *Macroattività B – Modellazione idrologica – Attività B2 – Modellazione idrologica caso pilota e Implementazione modello distribuito Mobidic*.

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. Il modello necessita, quindi, di una serie di mappe relative alle grandezze idrologiche e geografiche. 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)*

3.1.1 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;
- *suolo*: in questa fase si ricostruisce il bilancio idrologico del suolo, valutando la quantità d'acqua che va ad alimentare il volume profondo ed eventualmente 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.

Con riferimento alle variabili elencate nella [Tabella 3-1](#) 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] è determinato con il metodo dei topoieti;
- 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].

Simbolo	Significato	U.M.
P_{i_k}	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 (<i>storage capacity</i>)	[mm]
KL	valore della velocità di infiltrazione a saturazione	[mm/h]
RI	coefficiente moltiplicativo della capacità di ritenuta del suolo	[/]
IN	<i>coefficiente moltiplicativo della velocità di infiltrazione a saturazione</i>	[/]
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 invaso	[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'invaso	[h]
$C_{s=1/\tau_i}$	valore distribuito della costante di esaurimento del serbatoio lineare	[1/h]
α_o	frazione di volume di suolo inizialmente occupata da acqua (stato di umidità iniziale)	[/]
θ_o	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_{rk}	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 3-1- Elenco delle variabili utilizzate dal modello afflussi-deflussi

- 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:

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

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

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

- 4) 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:

- *essiccamento del suolo:*

se $\theta_k / dt + Pi_k > K_s$ allora

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

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

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

altrimenti

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

$$Q_{1k} = 0$$

$$l_{\text{eff}} = \theta_k / dt + Pi_k$$

- *saturazione del suolo:*

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

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

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

- *caso intermedio:*

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

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

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

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 validi su tutto il bacino:

- α_0 frazione di volume di suolo inizialmente occupata da acqua (stato di umidità iniziale) [/]
 Rl coefficiente moltiplicativo 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 [/]

3.1.2 Le caratteristiche geografiche e idrologiche

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 3-1);
- mappa della capacità di ritenuta ritenuta (Figura 3-2);
- mappa della velocità di filtrazione a saturazione (Figura 3-3).

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.

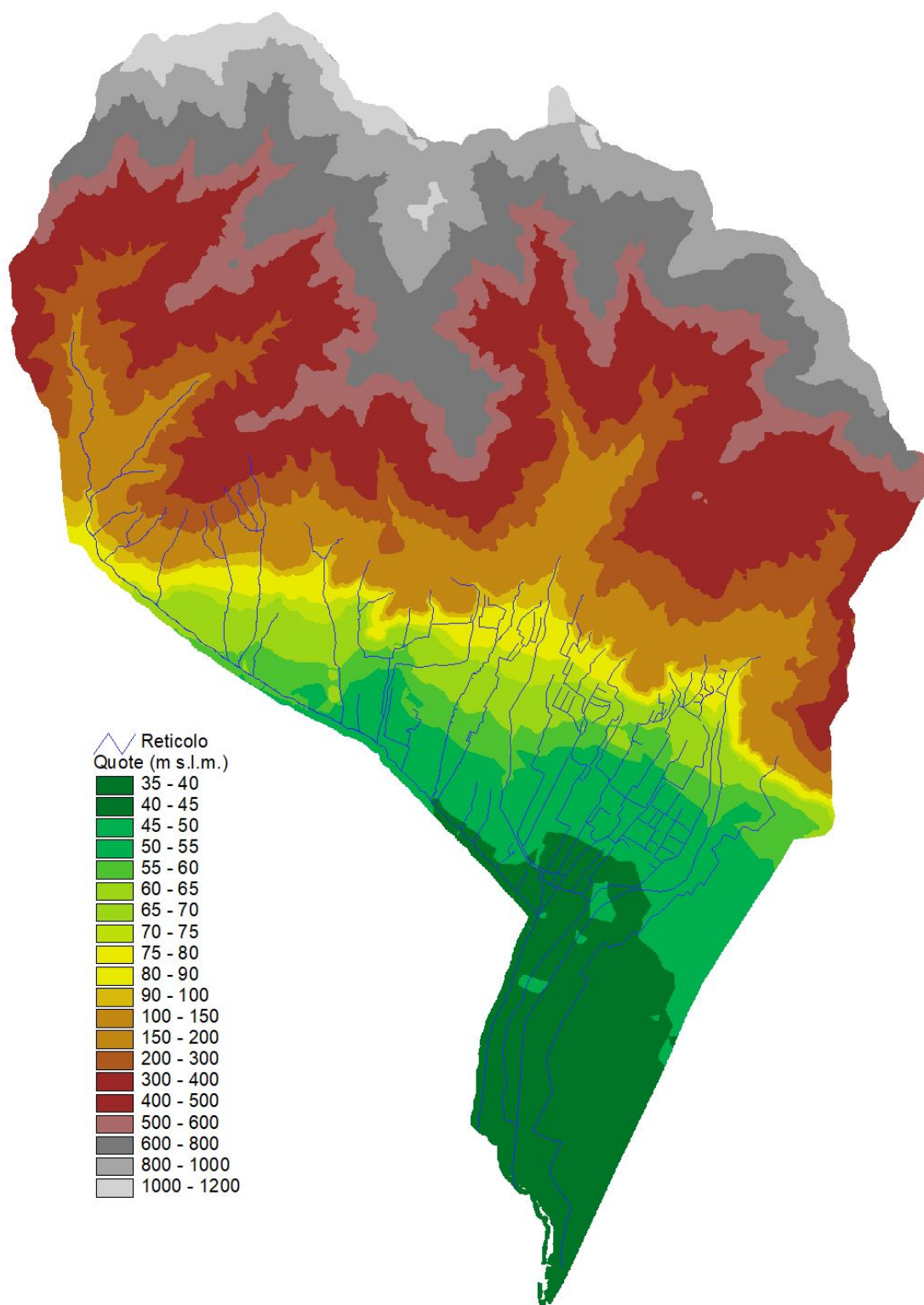


Figura 3-1 – Modello digitale del terreno.

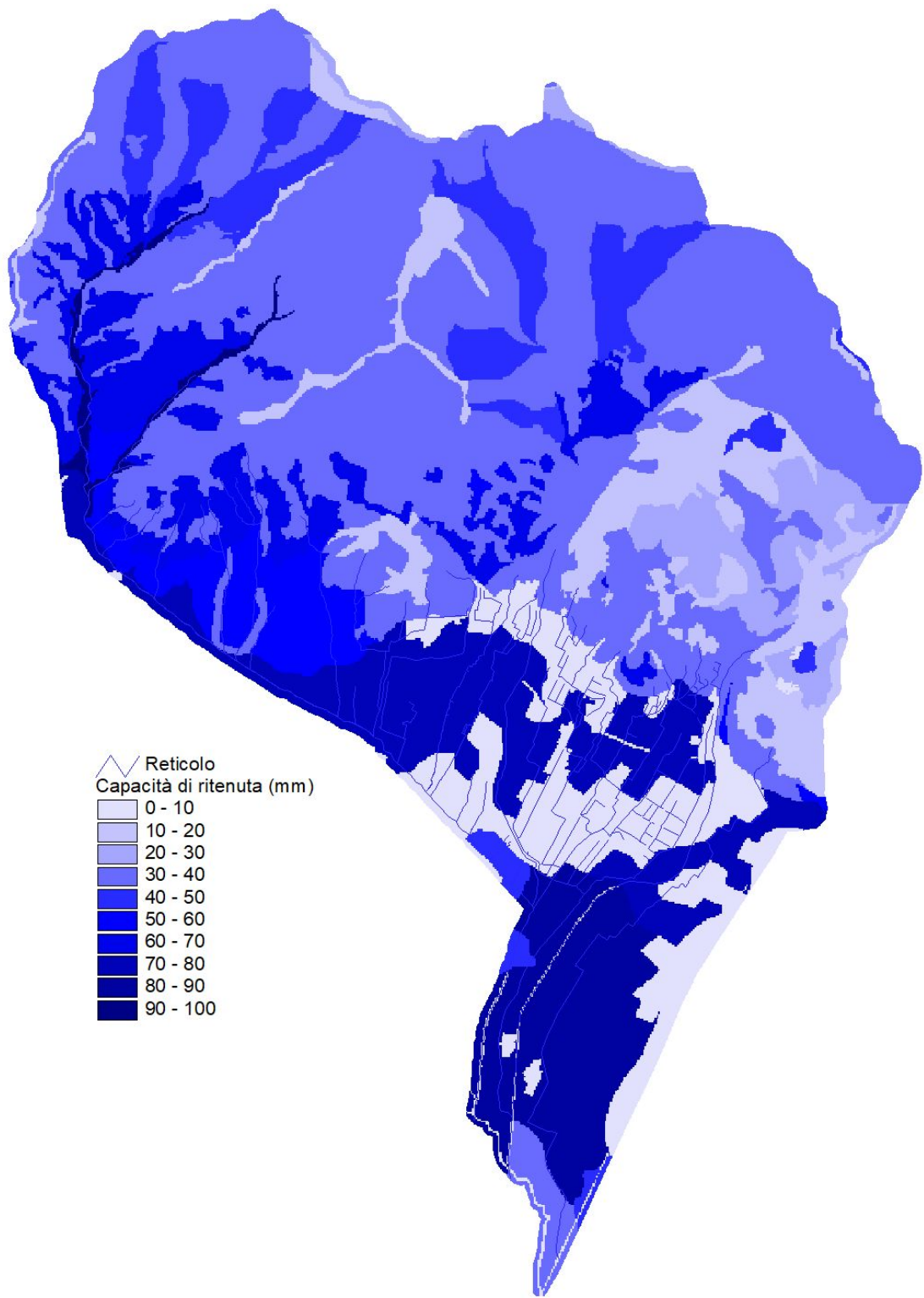


Figura 3-2 – Capacità di ritenuta.

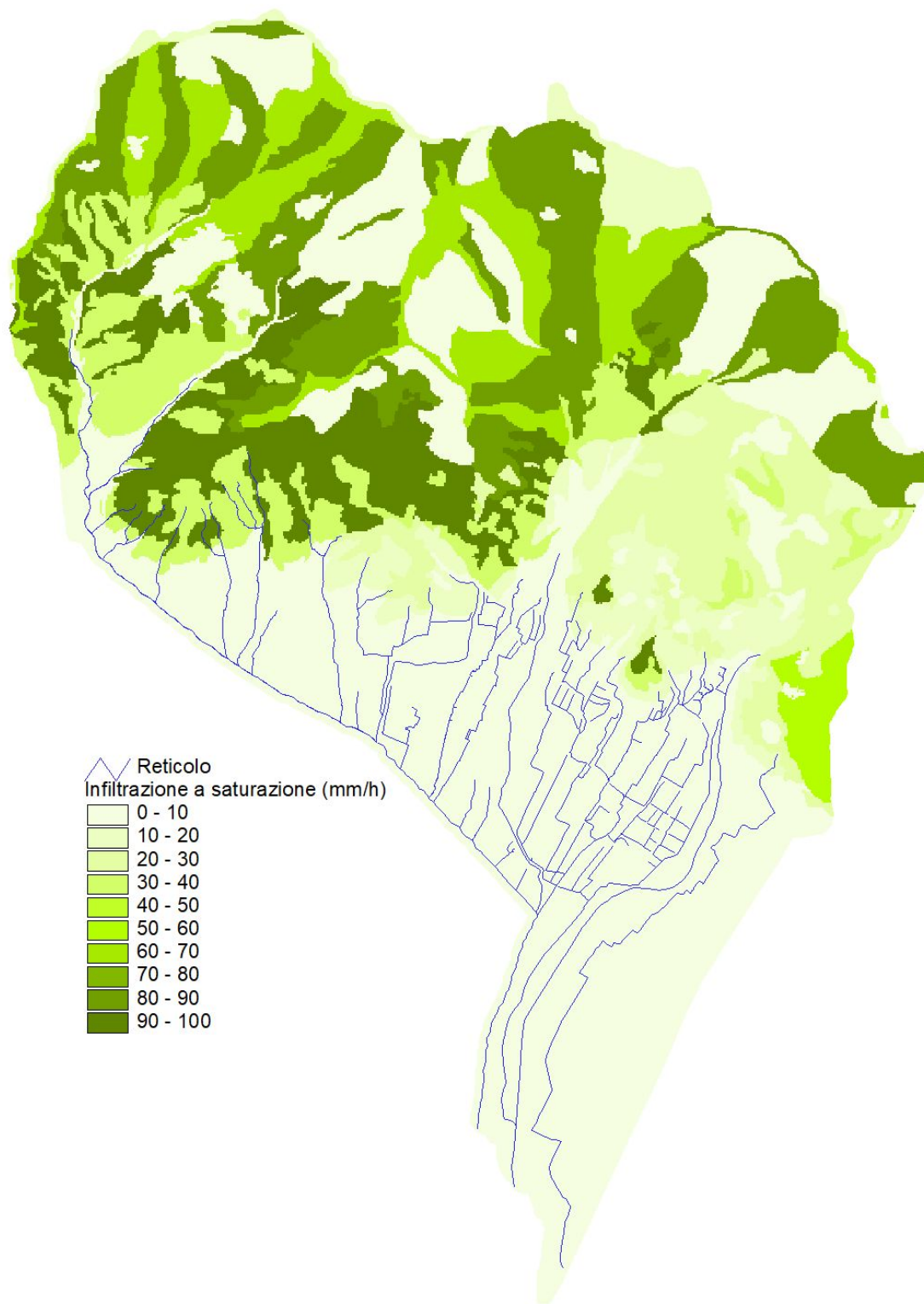


Figura 3-3 – Velocità filtrazione.

3.2 Taratura del modello PIENE

Sono stato acquisiti i dati per alcuni eventi significativi verificatisi nel bacino sotteso alla stazione del torrente Calice alla Variante Pratese per il periodo dal 01-03-2017 al 21-01-2018 (vedi [Figura 3-4](#)).

La stazione è priva di scala di deflusso pertanto la stessa è stata ricostruita attraverso una modellazione di un tratto significativo del torrente Calice in moto permanente. È stato inoltre condotto un rilievo con strumentazione GPS in modalità RTK per il calcolo dello zero idrometrico. Il calcolo dello zero idrometrico è stato condotto misurando il livello idrometrico in un dato istante in cui era nota anche la lettura dell'idrometro. Per il caposaldo posto sul ponte della Variante Pratese è stata misurata una quota di 47.33 m s.l.m. (vedi [Figura 3-5](#)). In data 24-01-2018 è stato misurato un dislivello di 6.82 m tra il suddetto caposaldo e il pelo libero, allo stesso istante l'idrometro registrava un livello di 0.46m (vedi [Figura 3-6](#)). Pertanto la quota dello zero idrometrico è stata stimata pari a 40.05 m s.l.m. Lo zero idrometrico stimato dal Centro Funzionale è di 39.98 m s.l.m. del tutto congruente con la stima effettuata come precedentemente descritto.



Figura 3-4 – Sezione in corrispondenza dell'idrometro del Calice alla Variante Pratese.



Figura 3-5-Caposaldo sul ponte della Variante Pratese.

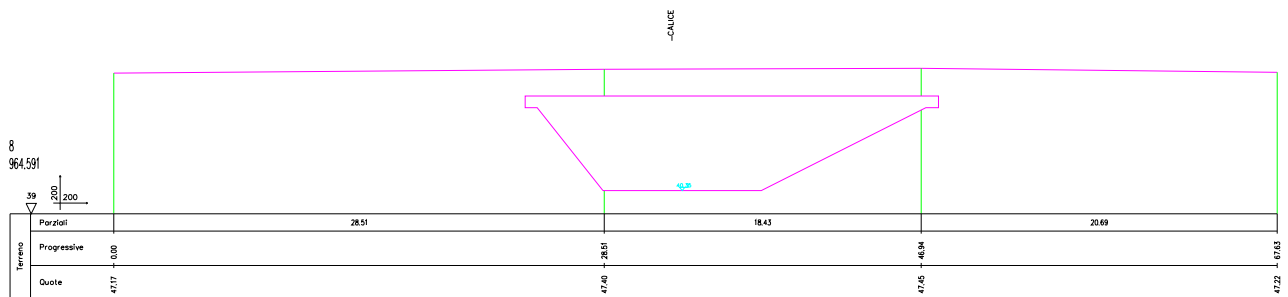


Figura 3-6-Sezione in corrispondenza del ponte della Variante Pratese (fonte rilievo Mazzetti 2008).

La scale di deflusso è riportata nella Figura 3-7.

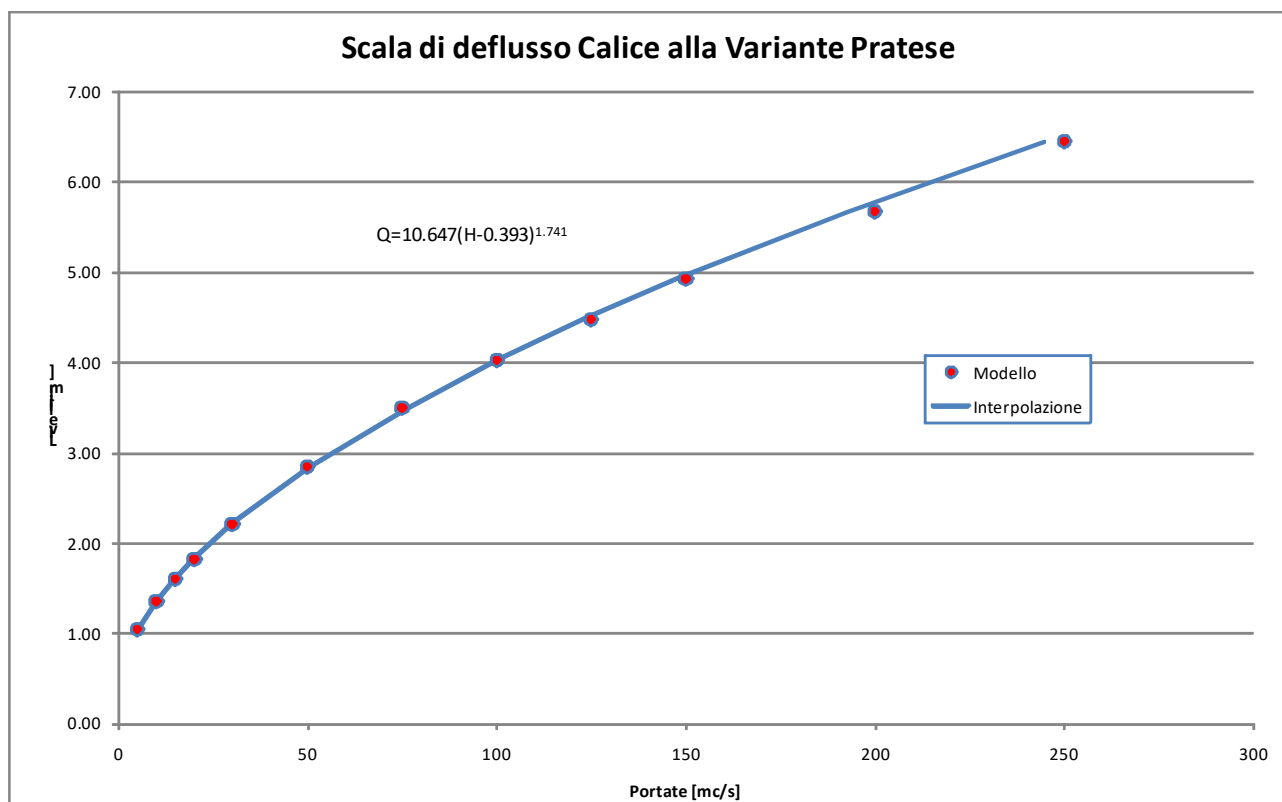


Figura 3-7-Scala di deflusso del Calice alla Variante Pratese

Il modello idrologico è stato tarato su 2 eventi significativi registrati nella stazione idrometrica del Calice a Variante Pratese (codice TOS03004847-751559-4847) i cui periodi di osservazione sono riportati nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** La stazione sottende un bacino di circa 91.7 kmq.

Inoltre, sono state utilizzate le precipitazioni delle stazioni riportate nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

I dati pluvioidrometrici sono stati forniti dal Servizio Idrografico Regionale. Le precipitazioni sono state ragguagliate al bacino con il metodo dei topoi.

Num.	Inizio	Fine
1	06/03/2017 12:00:00	08/03/2017 12:00:00
2	08/12/2017 00:15:00	18/12/2017 00:00:00

Tabella 3-2 – Eventi del Calice alla Variante Pratese.

Codice stazione	Descrizione
TOS11000094	Acquerino
TOS01001263	Baggio
TOS01001151	Cantagallo
TOS01001273	Fattoria di Iavello
TOS01001269	La Ferruccia
TOS10001210	Prato Galceti
TOS11000093	Santomato

Tabella 3-3 – Stazioni pluviometriche.

I risultati della verifica sono riportati nella [Figura 3-8](#) e [Figura 3-9](#).

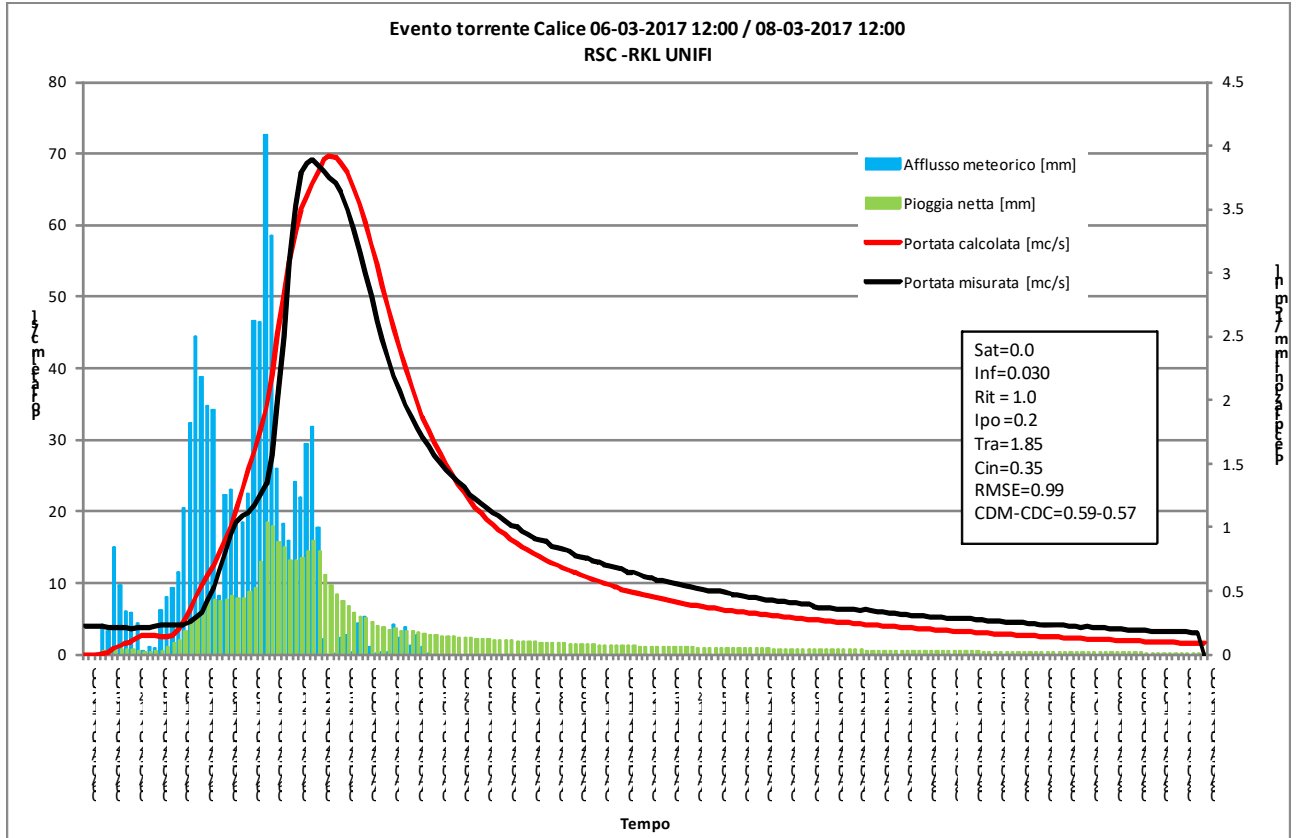


Figura 3-8 – Evento 06-03-2017.

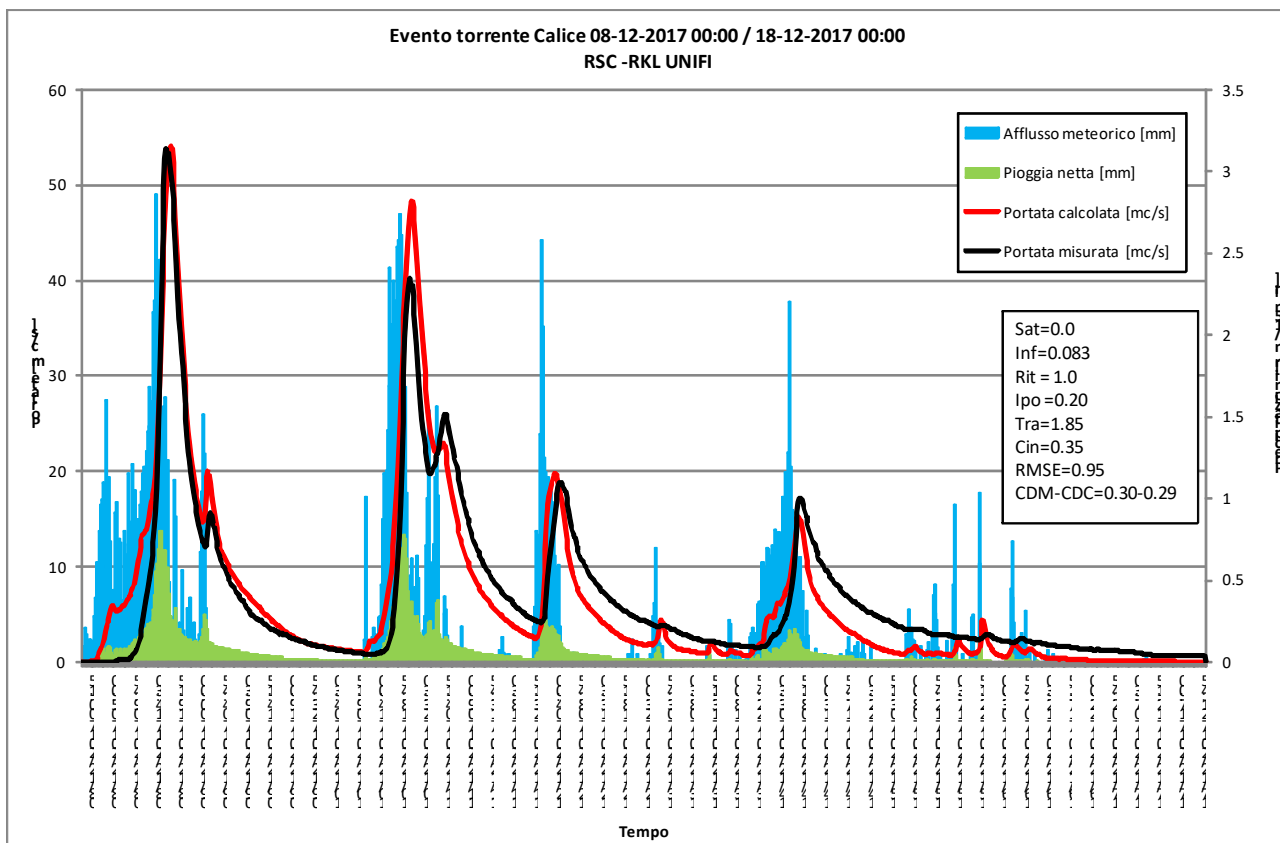


Figura 3-9 – Evento 08-12-2017.

I parametri di taratura di PIENE per il Calice alla Variante Pratese sono riportati nella [Tabella 3-4](#)

Si osserva una buona corrispondenza del valore del picco di piena per l'evento del 2012 e del 2016. Per l'evento del 2013 si ha una sottostima mentre in quello del 2016 una sovrastima imputabili probabilmente allo scarso numero di stazioni pluviometriche presenti nel bacino.

Inizio	Fine	Saturazione	Filtrazione	Ritenuta	Ipodermico	Trasferimento	Cinematico / invaso
06/03/2017 12:00	08/03/2017 12:00	0.00	0.030	1.000	0.200	1.850	0.350
08/12/2017 00:10	18/12/2017 00:00	0.00	0.083	1.000	0.200	1.850	0.350
Media		0.00	0.057	1.000	0.200	1.850	0.350

Tabella 3-4 – Parametri taratura del Calice alla Variante Pratese.

3.3 Le curve di possibilità pluviometrica

Le curve di possibilità pluviometrica sono quelle dello studio di approfondimento condotto dalla Università di Firenze che utilizza i dati pluviometrici al 2012.

La curva di possibilità pluviometrica può essere espressa nella forma generica:

$$h = a t^n$$

dove:

- h altezza di pioggia in [mm/h];
- a coefficiente dipendente dal tempo di ritorno [mm/h ^{n}];
- n esponente della curva di possibilità pluviometrica.

Lo studio fornisce i valori di a e n su una maglia di 1kmx1km su tutto il territorio regionale per vari tempi di ritorno.

Approssimando la curva di crescita, che dipende dal modello probabilistico utilizzato per la stima delle altezze di pioggia per le varie durate e per i vari tempi di ritorno, con un legge di potenza la curva di possibilità pluviometrica può essere espressa nella forma:

$$h = a' t^n T^m$$

dove:

- a' coefficiente [mm/h ^{n} y ^{m}];
- T tempo di ritorno in anni [y].
-

Di seguito si riportano i valori dei coefficienti a, n e m (Figura 3-10).

Tali coefficienti sono validi sia per durate superiori che inferiori all'ora.

La variabilità spazio-temporale della precipitazione è messa in conto attraverso un coefficiente di riduzione, K_r , del tipo:

$$K_r = \frac{h_A(A, t)}{h(t)}$$

dove $h_A(A, t)$ è l'altezza di pioggia di durata t ragguagliata all'area A e $h(t)$ è 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 opportunamente modificata per tenere in conto delle caratteristiche peculiari della Regione Toscana:

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

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

Per la regione Toscana nell'ambito dello studio di regionalizzazione sono stati definiti i seguenti valori per i parametri:

- $\alpha = F_a \times a = 0.036 \times a$, dove a è il parametro della curva di possibilità
- $\beta = F_b = 0.25$
- $\gamma = F_c = 0.01$

Per il calcolo delle portate degli interbacini è stata utilizzata l'opzione globale che consente di mantenere congruente il volume complessivo della precipitazione procedendo da monte verso valle su un dato corso d'acqua.

Per il calcolo di K_r dell'interbacino K_a si procede pertanto al calcolo separatamente per la sezione di monte K_m e per la sezione di valle K_v procedendo pertanto al calcolo con la seguente formula:

$$K_a = \frac{K_v A_v - K_m A_m}{(A_v - A_m)}$$

dove: K_v = coefficiente di ragguaglio areale per il bacino di valle; A_v = area del bacino di valle; K_m = coefficiente di ragguaglio areale per il bacino di monte; A_m = area del bacino di monte

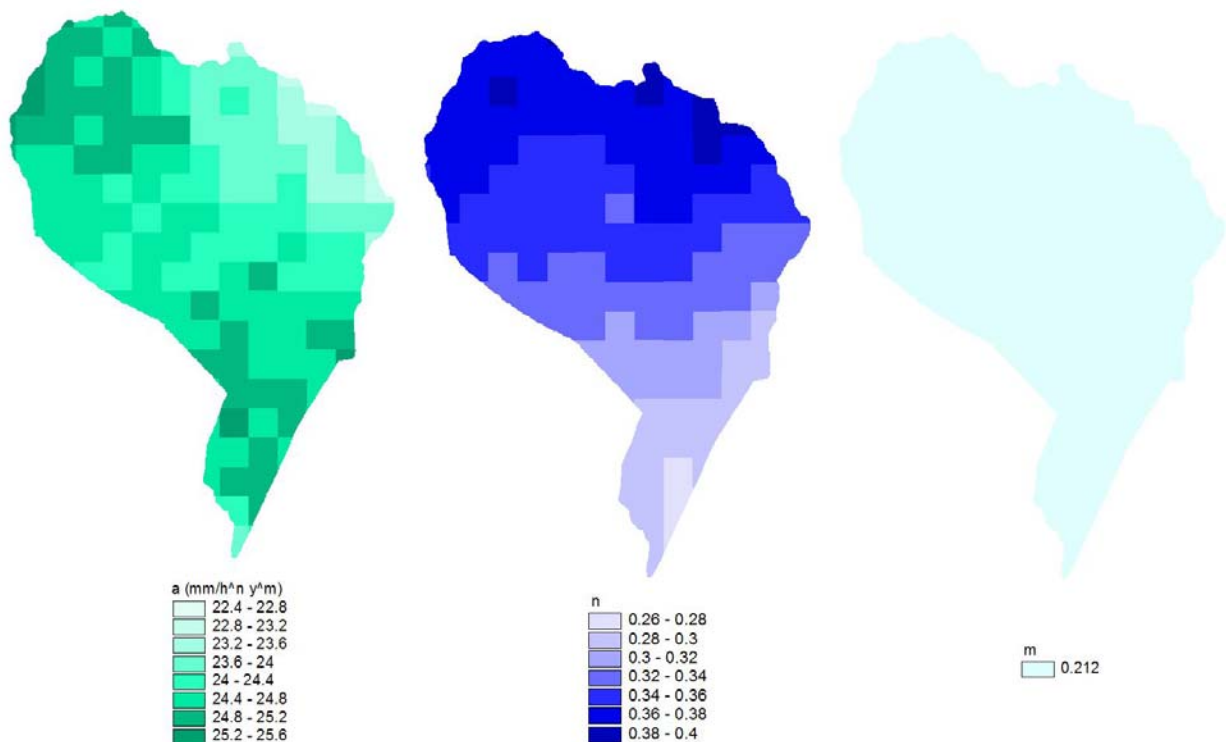


Figura 3-10 - Coefficienti a, n e m

3.4 Implementazione del modello PIENE

I parametri del modello idrologico sono riportati nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** Tali parametri sono stati ricavati in fase di taratura.

Acque Alte		
α_o	frazione di volume di suolo inizialmente occupata da acqua (stato di umidità iniziale) [/]	0.20
RI	coefficiente moltiplicativo della capacità di ritenuta del suolo [/]	1.00
IN	coefficiente moltiplicativo della velocità di infiltrazione a saturazione [/]	0.03
IP	coefficiente moltiplicativo della componente ipodermica [/]	0.20
MT	coefficiente moltiplicativo della velocità di trasferimento [/]	1.85
CI	coefficiente ripartizione cinematico-invaso [/]	0.35

Tabella 3-5 – Tabella parametri del modello.

La valutazione degli idrogrammi di piena è stata condotta sulla base di quanto esposto nei paragrafi precedenti utilizzando il modello afflussi-deflussi

Il calcolo delle sollecitazioni al sistema idraulico ipotizza eventi caratterizzati da un campo di precipitazione a intensità costante, di fissata durata e fissato tempo di ritorno interessante tutto il bacino. Le durate degli eventi sono definite in modo tale da comprendere le varie condizioni critiche.

Gli idrogrammi di piena sono stati calcolati per le durate di 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 3.5, 5.5 e 7.5 ore e per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni su un totale di 62 immissioni.

Nella [Tabella 3-6](#) sono riepilogati i valori della portata idrologica al colmo di portata valutati per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni con la modellistica idrologica implementata per i bacini totali sottesi alle immissioni.

Nella Tavola T01 si riportano i bacini idrografici e le sezioni di calcolo della portata. Nella Tavola T02 si riporta la planimetria delle immissioni al sistema idraulico.

Immissione	Area bacino [kmq]	Portata [mc/s]		
		Tr 030	Tr 200	Tr 500
IMI001	29.47	103.01	227.59	299.02
IMI002	30.25	101.78	212.66	278.38
IMI003	48.03	142.21	283.83	373.48
IMI004	53.78	149.65	287.82	377.70
IMI005	0.46	3.32	5.97	7.97
IMI006	1.10	3.26	11.43	15.51
IMI007	1.43	3.43	13.79	18.64
IMI008	1.46	3.45	13.23	17.83
IMI009	0.28	3.22	4.82	5.85
IMI010	0.29	3.14	4.70	5.71
IMI011	1.80	6.70	16.07	21.60
IMI012	55.59	152.31	290.97	381.80
IMI013	0.48	7.28	10.89	13.23
IMI014	0.73	8.07	13.14	16.92
IMI015	56.34	151.65	287.89	377.59
IMI016	11.88	61.01	129.46	170.22
IMI017	25.56	108.41	231.16	303.61
IMI018	26.03	90.24	172.91	223.76
IMI019	82.37	222.39	412.15	542.49
IMI020	0.54	6.74	12.77	17.05
IMI021	1.44	13.86	26.36	34.91
IMI022	1.51	9.41	17.81	23.11
IMI023	0.80	3.42	7.46	10.29
IMI024	2.45	11.25	22.92	30.39
IMI025	0.15	3.07	4.59	5.58
IMI026	0.55	7.73	11.57	14.05
IMI027	3.00	13.80	27.95	36.95

Immissione	Area bacino [kmq]	Portata [mc/s]		
		Tr 030	Tr 200	Tr 500
IMI028	0.96	10.94	18.79	23.87
IMI029	1.37	9.13	16.18	20.59
IMI030	0.41	3.05	6.56	9.25
IMI031	0.74	2.83	9.20	12.79
IMI032	0.15	0.29	1.94	2.75
IMI033	0.91	2.91	10.68	14.81
IMI034	2.30	11.21	25.09	32.95
IMI035	2.34	11.33	22.42	29.29
IMI036	5.37	23.22	45.99	60.35
IMI037	1.29	13.69	24.49	31.61
IMI038	2.13	19.45	34.35	44.09
IMI039	2.38	20.37	35.85	46.01
IMI040	2.63	21.03	37.40	47.99
IMI041	3.04	19.75	36.23	46.50
IMI042	3.07	17.97	32.91	42.13
IMI043	3.13	15.89	28.09	35.76
IMI044	8.50	37.69	70.95	91.81
IMI045	0.70	8.07	12.06	14.69
IMI046	9.25	39.37	73.67	95.12
IMI047	91.66	233.69	432.86	571.10
IMI048	0.34	2.65	3.99	6.56
IMI049	1.51	8.66	16.74	22.18
IMI050	1.98	9.50	19.08	25.33
IMI051	2.66	8.49	21.52	28.89
IMI052	6.56	43.14	78.73	101.56
IMI053	9.87	69.30	121.01	155.40
IMI054	10.20	68.19	118.52	151.75
IMI055	10.61	63.88	110.17	140.53
IMI056	10.81	44.97	75.80	95.82
IMI057	0.25	5.70	9.79	12.40
IMI058	0.38	5.41	9.39	11.97
IMI060	1.35	10.15	20.26	27.22
IMI061	2.44	18.10	33.00	43.03
IMI059	0.63	9.05	15.77	20.16
IMI062	3.63	18.60	36.35	47.47

Tabella 3-6 – Valori di portata al colmo valutati per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni per i bacini totali sottesi alle immissioni.

3.5 Confronto con gli studi precedenti

Le condizioni al contorno di monte sono state confrontate con quelle dello studio del 2011. Nel 2011 era stato implementato il modello PIENE utilizzando come input pluviometrico delle CPP ricavate con una analisi regionale locale applicando il modello probabilistico TCEV e come parametrizzazione idrologica del bacino la carta geolitologica e dell'uso del suolo delle Autorità di Bacino del Fiume Arno.

Nella [Figura 3-11](#) , [Figura 3-12](#) e [Figura 3-13](#) si riportano i grafici delle portate al colmo per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni calcolati con il modello del 2011 e con quello del 2018.

Si riscontra una sostanziale coincidenza tra le portate calcolate con il modello 2011 e quelle del modello 2018. Si osserva unicamente che una riduzione delle portate per Tr 30 anni per i bacini compresi tra 20 kmq e 30 kmq che nello specifico corrispondono al bacino del torrente Agna.

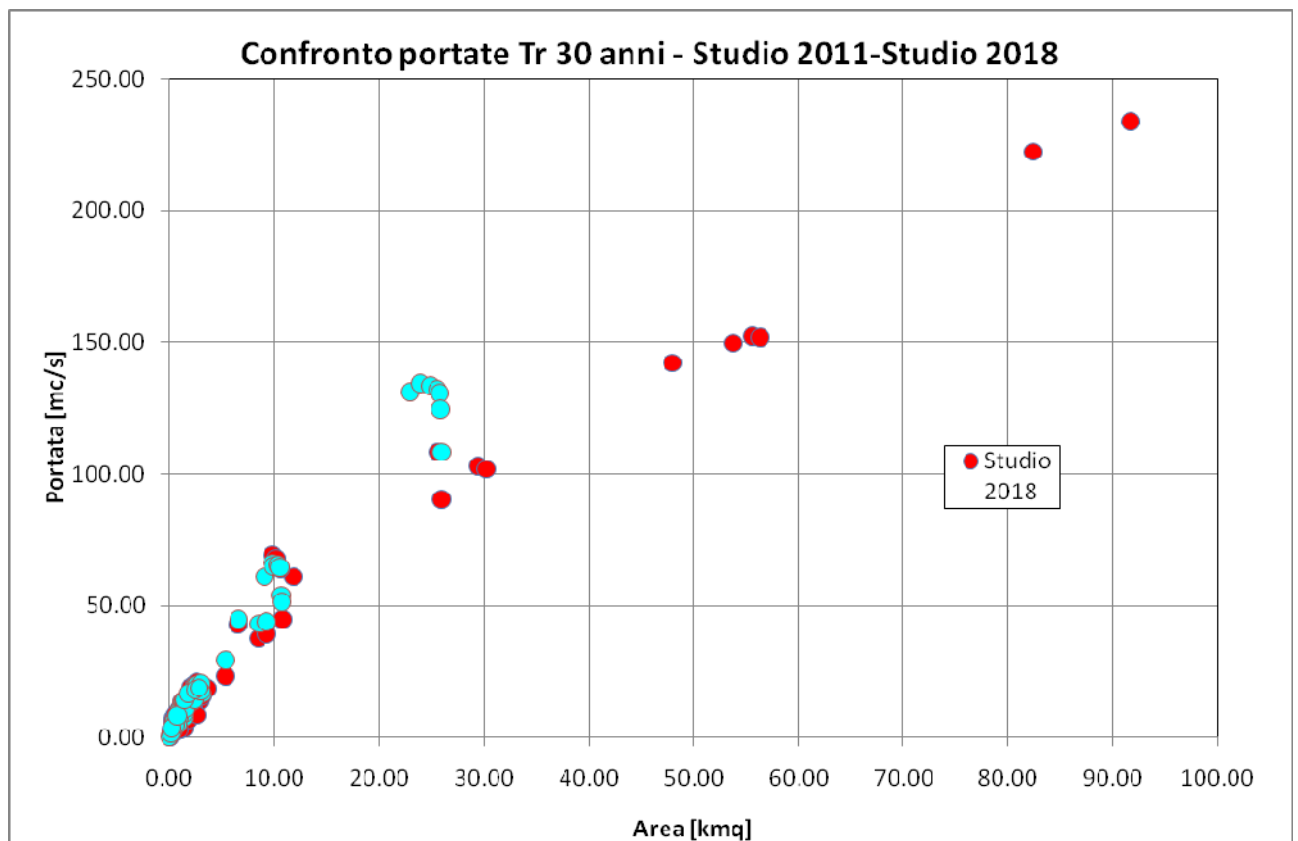


Figura 3-11 – Confronto portate studio 2011-studio 2018 per Tr 30

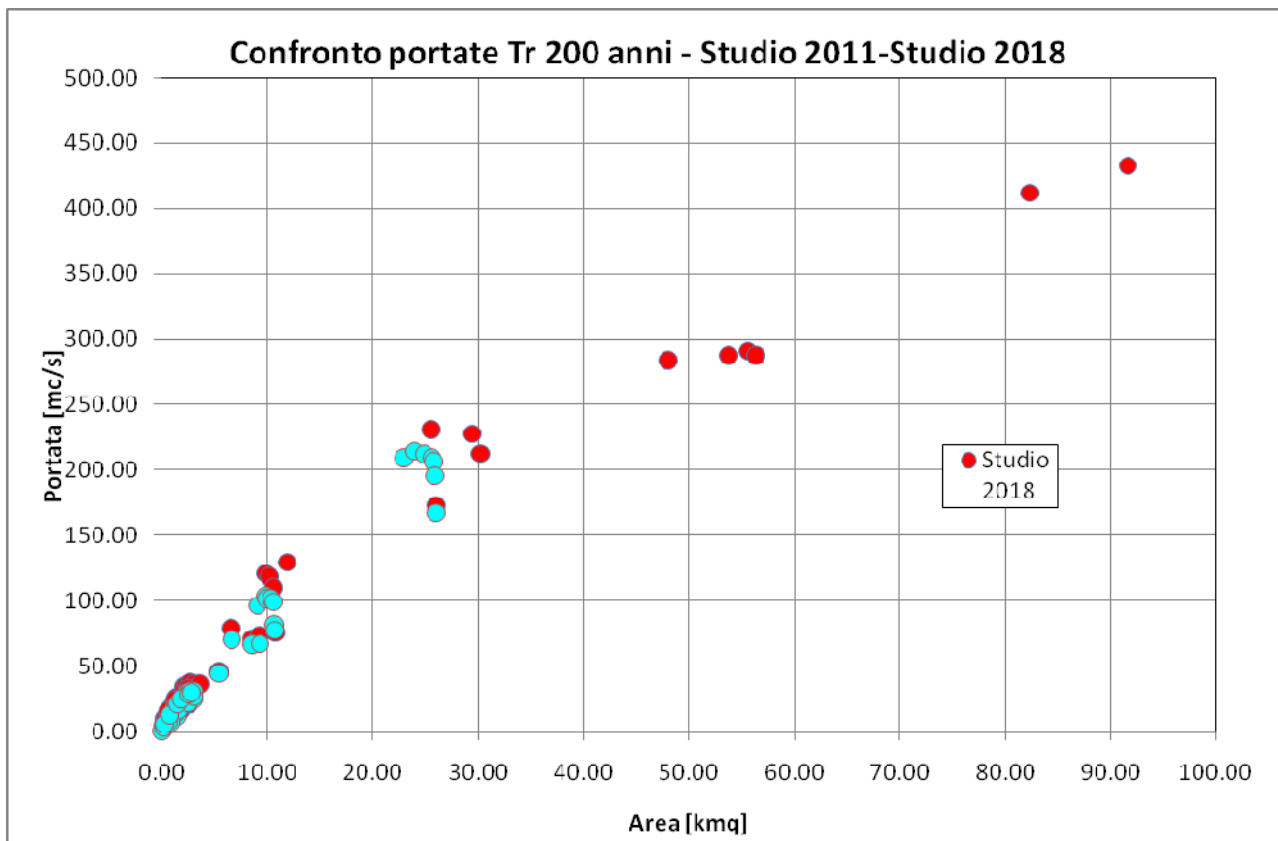


Figura 3-12 – Confronto portate studio 2011-studio 2018 per Tr 200

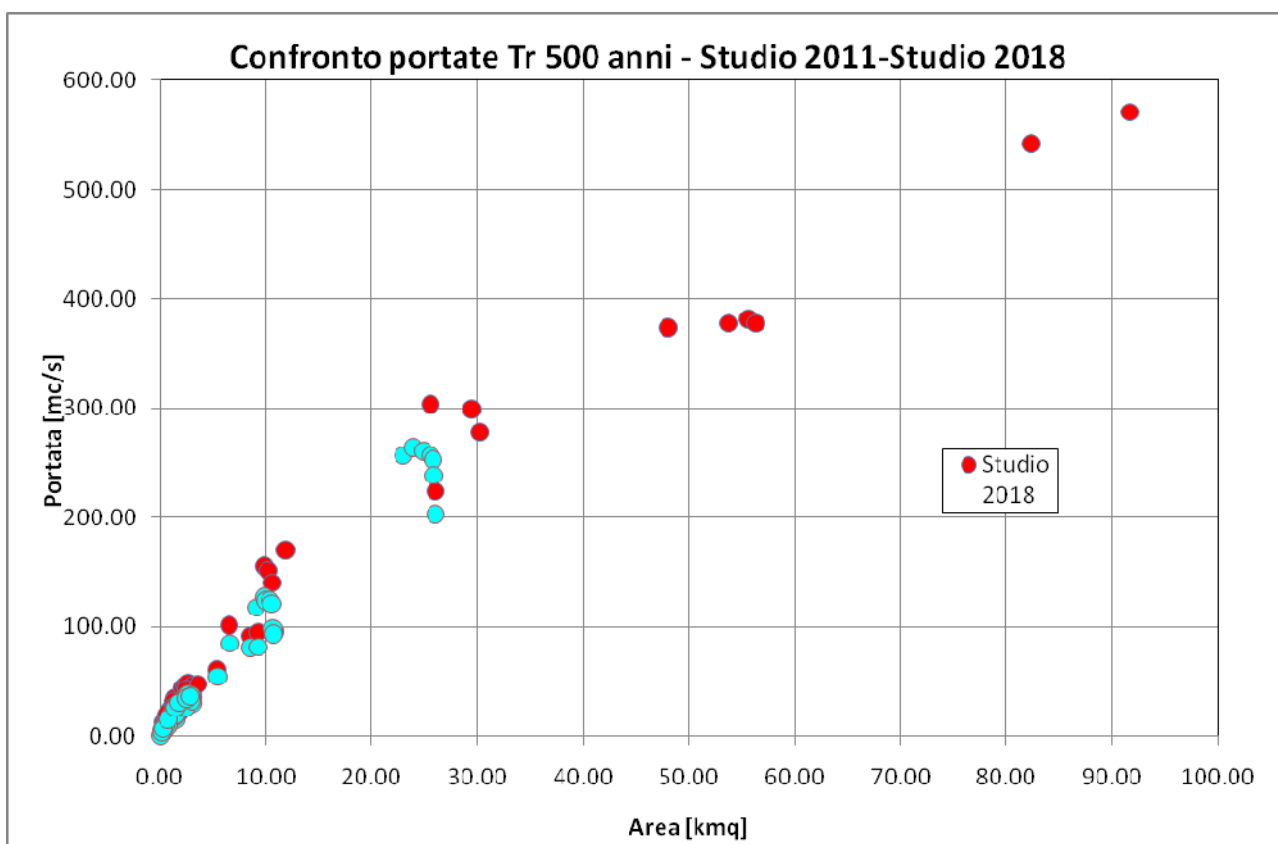


Figura 3-13 – Confronto portate studio 2011-studio 2018 per Tr 500

4 CONDIZIONI AL CONTORNO DI VALLE

Le condizioni al contorno di valle sono state fornite dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale a seguito della richiesta del comune di Montemurlo prot. 6902 del 22 Marzo 2017.

Le scale di deflusso sono state ricavate dalle coppie altezza idrometrica - portata desumibili dal modello idraulico implementato dalla Autorità di Bacino del fiume Arno sul bacino del fiume Ombrone P.se.

Le scale di deflusso sono rappresentate da una espressione del tipo:

$$Q = a(h - b)^c + q_0$$

Dove a, b, c e q_0 sono i parametri della scala di deflusso:

Corso d'acqua [tratto]	Sezione modello AdB [codice]	a	b	c	q_0
Bagnolo	RS: 60001	2.725	40.520	2.148	0.00
Calice	RS: 12	5.180	40.210	2.242	0.00
Calicino	RS: 85	0.808	38.840	2.746	0.00
Ficarello	RS: 44	2.460	39.050	1.926	0.00

Tabella 4-1 – Parametri scale di deflusso.

Le scale di deflusso sono rappresentate nella [Figura 4-1](#), [Figura 4-2](#), [Figura 4-3](#) e [Figura 4-4](#).

Le condizioni al contorno di valle per il torrente Calice, il torrente Calicino, il torrente Bagnolo e sono state espresse in termini di scala di deflusso, assegnate all'ultima sezione dei tratti verificati (sezioni CA0012__, CN0085__, BA0101__).

Per il torrente Ficarello, a seguito della riduzione del tratto oggetto di studio, è stato necessario ricavare una ulteriore scala di deflusso nella sezione del modello AdB RS: 76.9 corrispondente alla sezione del fosso Ficarello e FI4076_A.

Corso d'acqua [tratto]	Sezione modello AdB [codice]	a	b	c	q_0
Ficarello	RS: 76.9	3.476	47.37	1.187	0.00

La scala di deflusso ausiliaria del fosso Ficarello è riportata nella [Figura 4-5](#)..

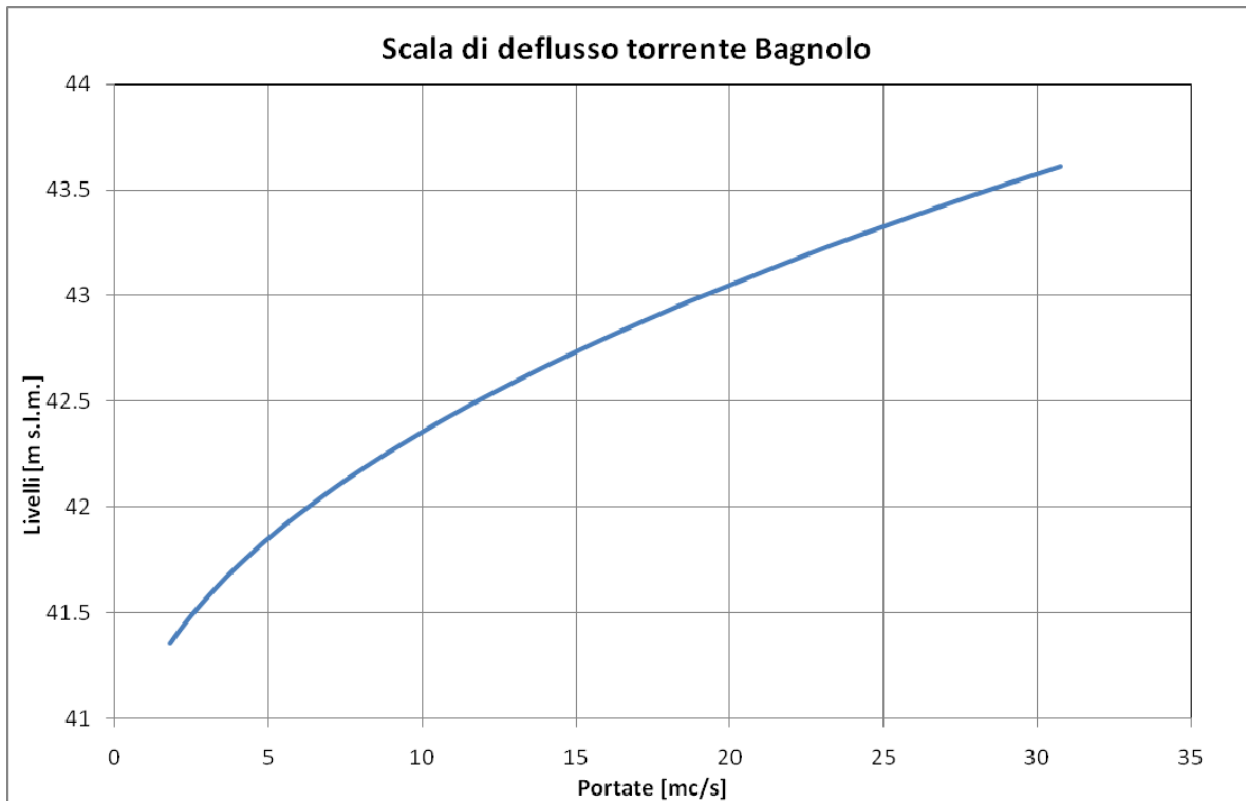


Figura 4-1-Scala di deflusso torrente Bagnolo.

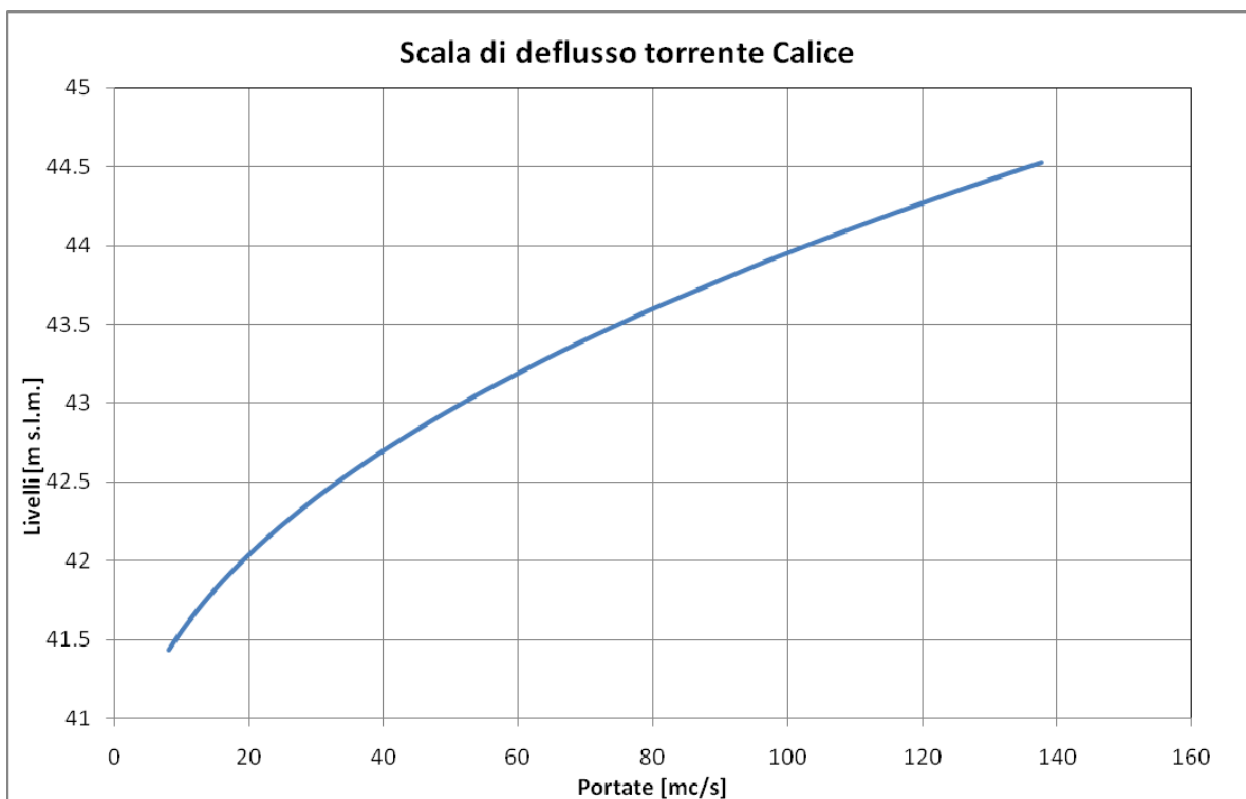


Figura 4-2- Scala di deflusso torrente Calice.

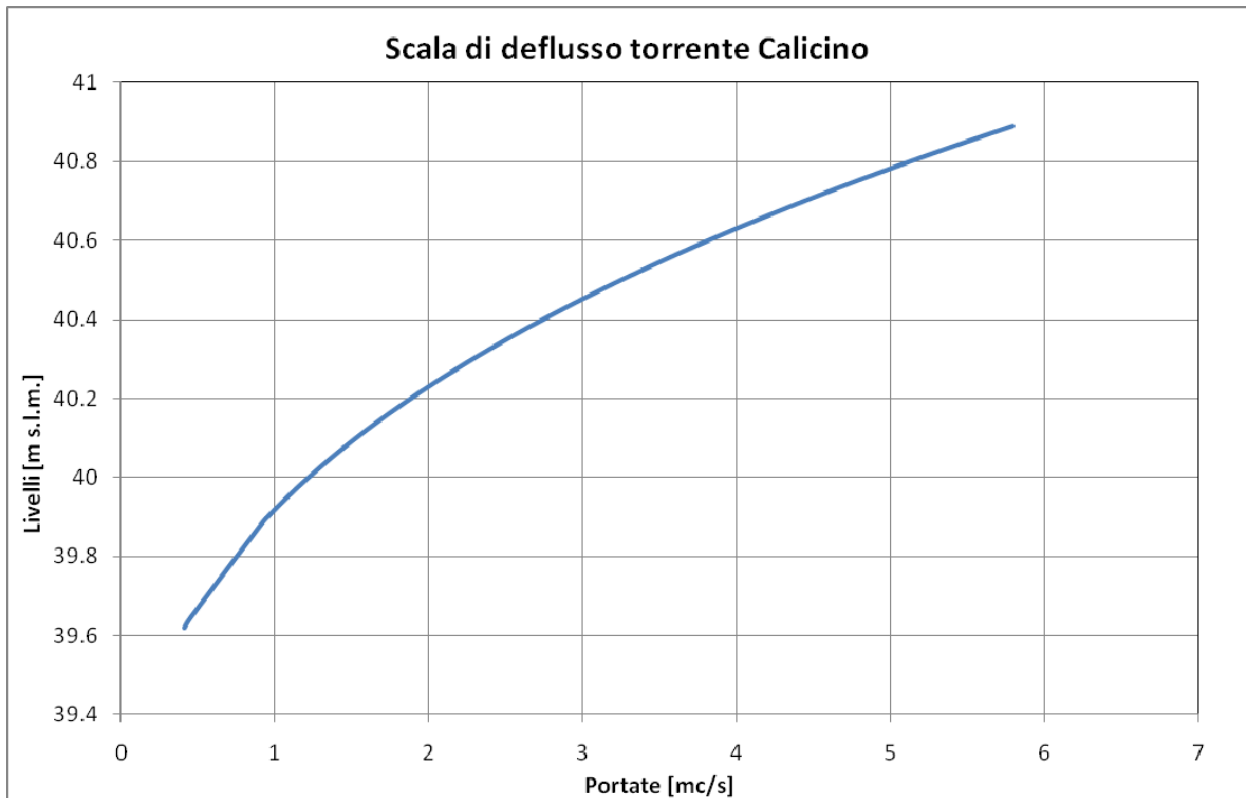


Figura 4-3-Scala di deflusso torrente Calicino.

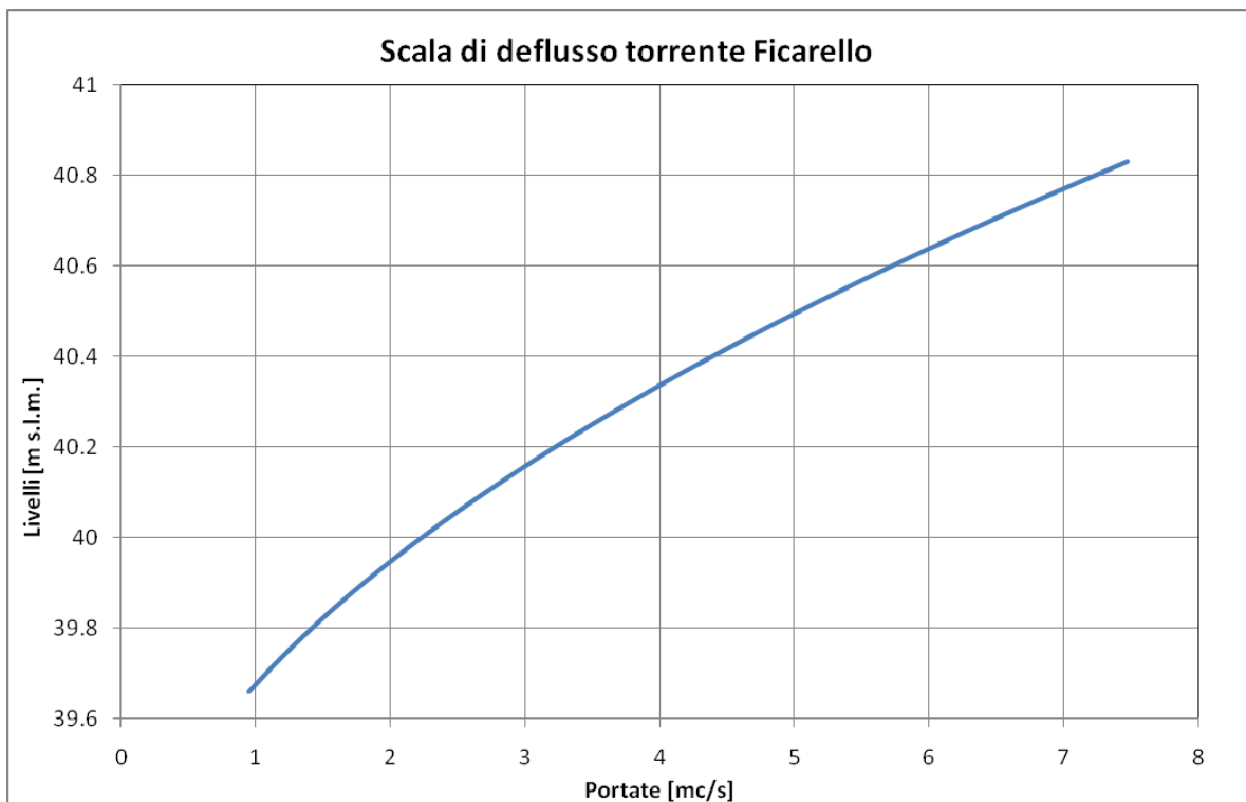


Figura 4-4-Scala di deflusso torrente Ficarello.

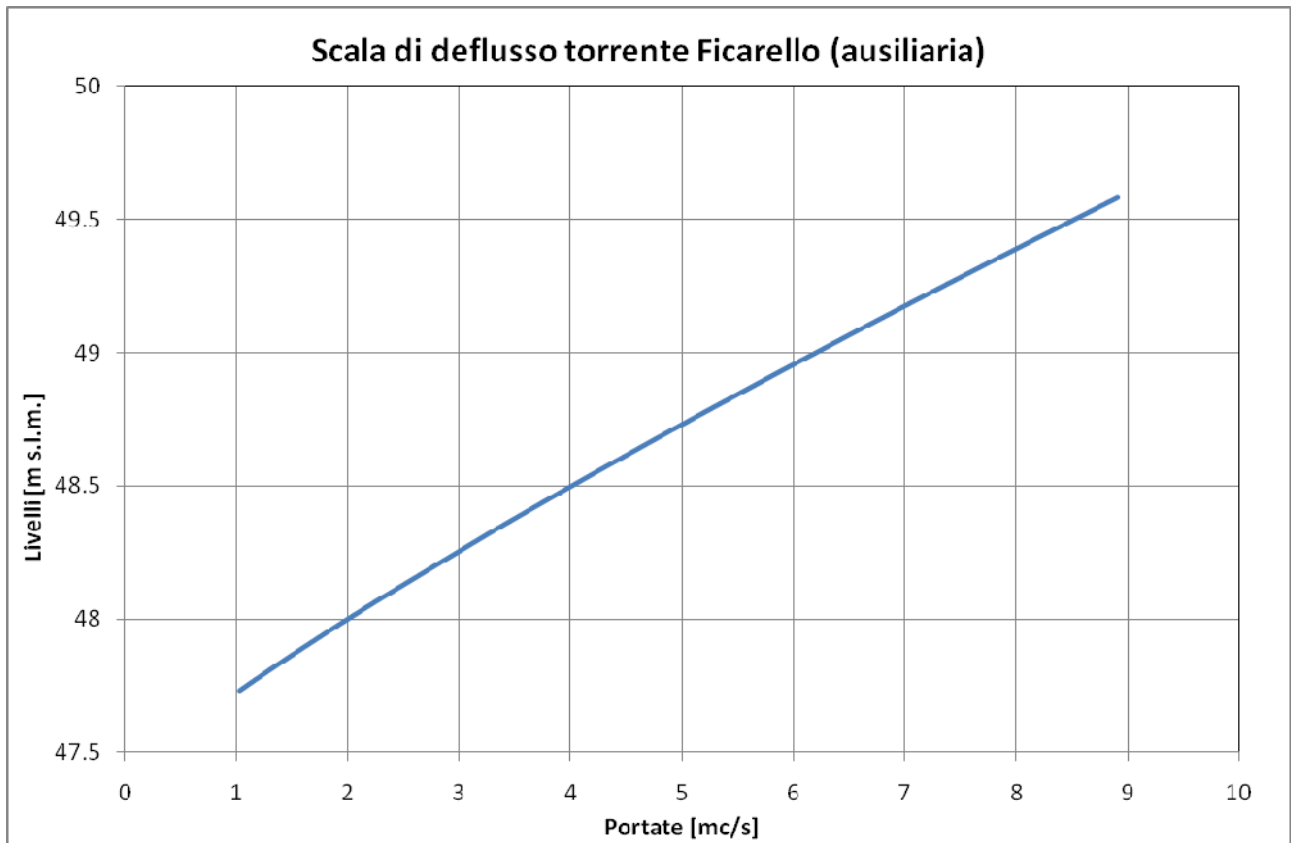


Figura 4-5-Scala di deflusso torrente Ficarello (ausiliaria)