



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTÀ DI SCIENZE MM. FF. NN.

Dipartimento di Geoscienze

TESI DI LAUREA MAGISTRALE  
IN  
GEOLOGIA E GEOLOGIA TECNICA

**STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA PER LA  
PREVENZIONE DEI DISSESTI IDRAULICI E  
IDROGEOLOGICI E MITIGAZIONE DEL RISCHIO IN  
UN'AREA DI FUTURA URBANIZZAZIONE**

*Relatore: Prof. Paolo Scotton*

*Laureando: Nicolò Biziato*

ANNO ACCADEMICO 2015/ 2016



## INDICE

INTRODUZIONE.....	pg. 1
1. INQUADRAMENTO GENERALE.....	pg. 4
2. ELABORAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI: COSTRUZIONE DELLA CURVA DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA.....	pg. 6
2.1 SITUAZIONE CLIMATICA E DATI IDROGEOLOGICI.....	pg 6
2.2 PROCEDURA DI CALCOLO.....	pg 11
2.3 CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA.....	pg. 24
3. STATO DI FATTO E DI PROGETTO.....	pg. 30
4. PROGETTAZIONE FOGNATURA ACQUE BIANCHE.....	pg. 33
4.1 CENNI SUL MODELLO DELL'INVASO LINEARE.....	pg. 33
4.2 DIMENSIONAMENTO FOGNATURA ACQUE BIANCHE.....	pg. 37
5. MODELLO GEOMORFOLOGICO.....	pg. 43
5.1 PROCEDURA CALCOLO IUH TRAMITE PROGRAMMA SASTEPA.....	pg. 44
5.2 TARATURA MODELLO GEOMORFOLOGICO.....	pg. 47
5.3 CONTROLLO DELLE PORTATE IN USCITA DALLE VASCHE DI LAMINAZIONE.....	pg. 49
6. VOLUMI VASCHE DI LAMINAZIONE: MODELLO CINEMATICO.....	pg. 51
7. RISULTATI MODELLO GEOMORFOLOGICO.....	pg. 52
CONCLUSIONI.....	pg. 61

BIBLIOGRAFIA.....	pg. 62
APPENDICE 1.....	pg. 63
APPENDICE 2.....	pg. 69

## INTRODUZIONE

Il presente studio è stato redatto in ottemperanza al **D.G.R. del Veneto n° 2948 del 2009** *“Valutazione di compatibilità idraulica per la redazione degli strumenti urbanistici - Modalità operative ed indicazioni tecniche”*; tale normativa individua i seguenti scopi nell’ambito delle trasformazioni urbanistiche:

- *“Al fine di consentire una più efficace prevenzione dei dissesti idraulici ed idrogeologici ogni nuovo strumento urbanistico comunale (PAT/PATI o PI) deve contenere uno studio di compatibilità idraulica che valuti per le nuove previsioni urbanistiche le interferenze che queste hanno con i dissesti idraulici presenti e le possibili alterazioni causate al regime idraulico.*
- *In relazione alla necessità di non appesantire l’iter procedurale, la “valutazione” di cui sopra è necessaria solo per gli strumenti urbanistici comunali (PAT/PATI o PI), o varianti che comportino una trasformazione territoriale che possa modificare il regime idraulico. Per le varianti che non comportano alcuna alterazione del regime idraulico ovvero comportano un’alterazione non significativa la valutazione di compatibilità idraulica è sostituita dalla relativa asseverazione del tecnico estensore dello strumento urbanistico attestante che ricorre questa condizione. La valutazione di compatibilità idraulica non sostituisce ulteriori studi e atti istruttori di qualunque tipo richiesti al soggetto promotore dalla normativa statale e regionale, in quanto applicabili.*
- *Lo studio di compatibilità idraulica è parte integrante dello strumento urbanistico e ne dimostra la coerenza con le condizioni idrauliche del territorio. Nella valutazione di compatibilità idraulica si deve assumere come riferimento tutta l’area interessata dallo strumento urbanistico in esame, cioè l’intero territorio comunale per i nuovi strumenti urbanistici (o anche più Comuni per strumenti intercomunali) PAT/PATI o PI, ovvero le aree interessate dalle nuove previsioni urbanistiche, oltre che quelle strettamente connesse, per le varianti agli strumenti urbanistici vigenti. Il grado di approfondimento e dettaglio della valutazione di compatibilità idraulica dovrà essere rapportato all’entità e, soprattutto, alla tipologia delle nuove previsioni urbanistiche. Per i nuovi strumenti urbanistici, o per le varianti, dovranno essere analizzate le problematiche di carattere idraulico, individuate le zone di tutela e fasce*

*di rispetto a fini idraulici ed idrogeologici nonché dettate le specifiche discipline per non aggravare l'esistente livello di rischio idraulico, fino ad indicare tipologia e consistenza delle misure compensative da adottare nell'attuazione delle previsioni urbanistiche. Nel corso del complessivo processo approvativo degli interventi urbanistico-edilizi è richiesta con progressiva definizione la individuazione puntuale delle misure compensative, eventualmente articolata tra pianificazione strutturale (Piano di assetto del Territorio - PAT), operativa (Piano degli Interventi - PI), ovvero Piani Urbanistici Attuativi - PUA. Nel caso di varianti successive, per le analisi idrauliche di carattere generale si può anche fare rimando alla valutazione di compatibilità già esaminato in occasione di precedenti strumenti urbanistici.*

- *Nella valutazione devono essere verificate le variazioni della permeabilità e della risposta idrologica dell'area interessata conseguenti alle previste mutate caratteristiche territoriali nonché devono essere individuate idonee misure compensative, come nel caso di zone non a rischio di inquinamento della falda, il reperimento di nuove superfici atte a favorire l'infiltrazione delle acque o la realizzazione di nuovi volumi di invaso, finalizzate a non modificare il grado di permeabilità del suolo e le modalità di risposta del territorio agli eventi meteorici. Deve essere quindi definita la variazione dei contributi specifici delle singole aree prodotte dalle trasformazioni dell'uso del suolo e verificata la capacità della rete drenante di sopportare i nuovi apporti. In particolare, in relazione alle caratteristiche della rete idraulica naturale o artificiale che deve accogliere le acque derivanti dagli afflussi meteorici, dovranno essere stimate le portate massime scaricabili e definiti gli accorgimenti tecnici per evitarne il superamento in caso di eventi estremi.”*
- *Lo studio di compatibilità può altresì prevedere la realizzazione di interventi di mitigazione del rischio, indicandone l'efficacia in termini di riduzione del pericolo”*

In estrema sintesi, per l'analisi dell'area sono state previste le seguenti fasi:

- Studio delle precipitazioni di breve durata (scrosci inferiori a 1 ora) e per piogge di durata da 1 ora a 24 ore, previa raccolta dei dati registrati alle stazioni pluviografiche di Po di Tramontana di Rosolina (ARPAV) e Pradon di Porto Tolle (ARPAV); elaborazione statistica dei suddetti per l'individuazione delle altezze di precipitazione a prefissati tempi di ritorno;

- Valutazione delle portate e dei volumi di afflusso relativi alla situazione futura (di progetto) mediante il metodo italiano semplificato dell'invaso lineare per reti di smaltimento di acque di prima pioggia e mediante un modello geomorfologico di trasformazione degli afflussi in deflussi.
- Confronto tra il modello cinematico proposto dal D.G.R.V 2948/2009 e quello elaborato nel seguente studio.

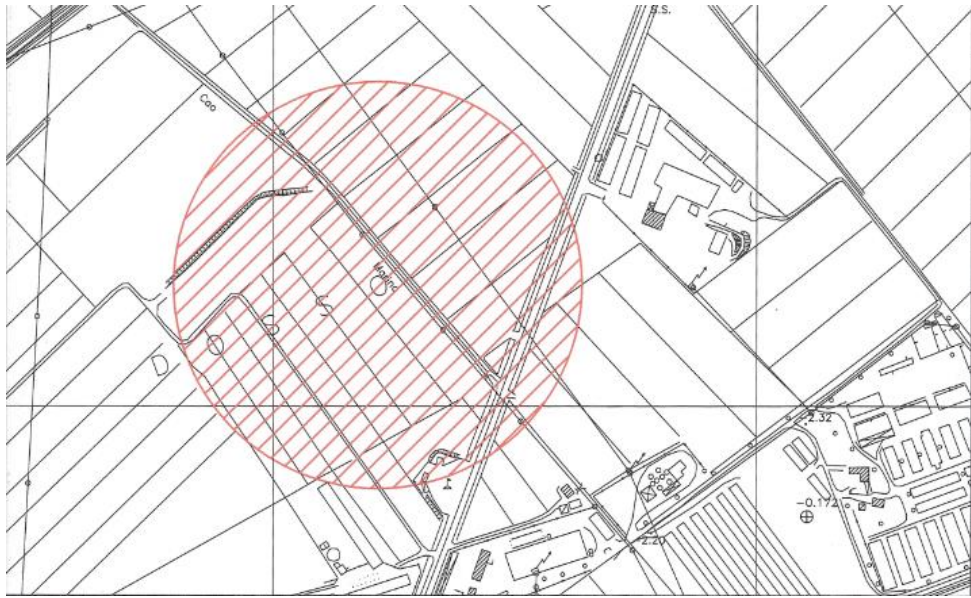
## 1. INQUADRAMENTO GENERALE

L'area oggetto di intervento è sita in "Zona D1A" (Produttiva e commerciale di progetto, superficie fondiaria di 5.9 ha) su un terreno ubicato ad Ovest della S.S. 309 Romea, in località Contarina nel Comune di Porto Viro in Provincia di Rovigo. Lo smaltimento delle acque meteoriche avviene attraverso la naturale infiltrazione e l'allontanamento lungo i vari fossi a scopo irriguo presenti in loco. Stante le informazioni ottenute dal PAT del Comune di Porto Viro e dal Consorzio di Bonifica Delta del Po la zona non presenta problematiche di natura idraulica.



*Fig 1.1: Inquadramento dell'intervento. Estratto foto satellitare.  
(Google Earth 2003)*





*Fig 1.2: zona di intervento (estratto C.T.R. scala 1:5000)*



*Fig 1.3: zona di intervento (estratto C.T.R. scala 1:10000)*

## **2. ELABORAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI: COSTRUZIONE DELLA CURVA DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA**

### **2.1 SITUAZIONE CLIMATICA E DATI IDROLOGICO-CLIMATICI**

Per lo studio dell'area in oggetto si fa riferimento ai dati di precipitazione di breve durata e forte intensità (scrosci e piogge orarie) registrate nelle due stazioni pluviografiche interessanti il territorio in esame, ovvero quella di Pradon di Porto Tolle (ARPAV, periodo di osservazione 1989-2014) e Po di tramontana di Rosolina (ARPAV, periodo di osservazione 1992-2014)

Le stazioni sono state scelte perché le più vicine alla zona di interesse (distanti entrambe all'incirca 15 km) e in area orograficamente simile.

Sono state prese in considerazione le precipitazioni massime annuali di durata compresa fra 5 minuti e 1 ora (Tabella 2.1, Tabella 2.3) e di durata compresa fra 1 ora e 24 ore (Tabella 2.2, Tabella 2.4).

	<b>Altezza della precipitazione, h [mm]</b>				
	<b>Durata</b>				
<b>Anno</b>	<b>5 minuti</b>	<b>10 minuti</b>	<b>15 minuti</b>	<b>30 minuti</b>	<b>45 minuti</b>
<b>1989</b>	7.2	12.6	14.8	27.2	34.2
<b>1990</b>	6.2	9.6	13	19	25.4
<b>1991</b>	5.8	10.8	14.2	21	25.6
<b>1992</b>	9.6	16.4	19.2	20.6	34.6
<b>1993</b>	5.6	9.2	11.8	15.6	16
<b>1994</b>	10.6	17.2	20.6	23.2	25.8
<b>1995</b>	12.4	22.6	26.6	28.6	34.8
<b>1996</b>	7.6	14.8	16.2	22.2	29.4
<b>1997</b>	14	23.6	25.2	30.4	36
<b>1998</b>	10.8	16.8	20.2	23.2	35.4
<b>1999</b>	7.4	11.8	18.2	21.2	21.2
<b>2000</b>	14	24.8	30.4	41.2	43.8
<b>2001</b>	4.2	7.2	10	14.2	15.6
<b>2002</b>	9	13.8	17.4	28.8	30.2
<b>2003</b>	11	19.2	26.6	42.6	50.2
<b>2004</b>	8.4	16.2	22.4	29.2	29.8
<b>2005</b>	14.6	21	28	43.2	50.2
<b>2006</b>	13.4	19.2	21	24.4	26.8
<b>2007</b>	8	14.8	19.4	25	29
<b>2008</b>	7.6	13.8	21	34.4	44.6
<b>2009</b>	12	20	25.2	30.6	31.2
<b>2010</b>	6.6	12	17.2	21	23.2
<b>2011</b>	10.6	16.6	20.8	34.6	42.6
<b>2012</b>	5.2	10	13.2	20.6	22.2
<b>2013</b>	8.8	15	20.8	28.8	29.6
<b>2014</b>	10.8	16.2	21.4	25	26.2

*Tabella 2.1: massimi annuali di altezza di precipitazione per piogge brevi (scrosci);  
Stazione Pradon di Porto Tolle.*

	<b>Altezza della precipitazione, h [mm]</b>				
	<b>Durata</b>				
<b>Anno</b>	<b>1 ora</b>	<b>3 ore</b>	<b>6 ore</b>	<b>12 ore</b>	<b>24 ore</b>
<b>1989</b>	34.4	49	52.8	71	76
<b>1990</b>	28.6	43.8	77	95	97.2
<b>1991</b>	28	35.2	39.6	52.6	60.4
<b>1992</b>	35	51.8	52.4	54.2	79
<b>1993</b>	18.2	30.4	39.6	45	45.4
<b>1994</b>	27.2	36.2	40.6	44.4	44.6
<b>1995</b>	36.4	40	54.4	80.4	133
<b>1996</b>	37.6	73	87.8	89.2	96.6
<b>1997</b>	41	46.2	46.2	46.4	56
<b>1998</b>	36.8	40	43	43.4	48.4
<b>1999</b>	21.2	33.8	53.4	79.4	81.6
<b>2000</b>	45	48.2	48.2	58.2	64.2
<b>2001</b>	15.8	27	36.6	53.4	59
<b>2002</b>	31.6	32.8	33	41.2	45.4
<b>2003</b>	53.8	60.8	60.8	60.8	60.8
<b>2004</b>	32.6	47	48.4	48.4	49.2
<b>2005</b>	55	71.2	99.2	114.6	128.2
<b>2006</b>	28.8	41.6	43.4	68.6	89.4
<b>2007</b>	29.8	36.6	41.4	46.6	49.8
<b>2008</b>	50.2	56.2	63.6	66.8	101.2
<b>2009</b>	31.2	45.6	55.8	56.2	59.2
<b>2010</b>	23.8	33.8	37.4	41.6	45.8
<b>2011</b>	44.4	46	46.2	52.2	52.2
<b>2012</b>	23.4	31.2	42.8	53	54.2
<b>2013</b>	29.8	31.4	40.4	53.4	68.2
<b>2014</b>	27.4	32.6	40.8	52.4	56.4

*Tabella 2.2: massimi annuali di altezza di precipitazione per piogge orarie;  
Stazione Pradon di Porto Tolle.*

	<b>Altezza della precipitazione, h [mm]</b>				
	<b>Durata</b>				
<b>Anno</b>	<b>5 minuti</b>	<b>10 minuti</b>	<b>15 minuti</b>	<b>30 minuti</b>	<b>45 minuti</b>
<b>1992</b>	7	9.8	10.2	15.6	15.8
<b>1993</b>	5.4	9.6	12.8	22.2	24.2
<b>1994</b>	10.2	17.8	22.4	29.6	29.6
<b>1995</b>	11.2	21.6	27.2	47.8	57.8
<b>1996</b>	5.8	9.6	13.4	20.2	20.8
<b>1997</b>	10.2	16	20.4	28.4	29.4
<b>1998</b>	12.6	24.6	31.2	36	37.6
<b>1999</b>	9.4	15.4	20.4	25.4	26.4
<b>2000</b>	7.6	14	17.8	29.8	33.4
<b>2001</b>	5.2	8.6	12.2	23.8	30
<b>2002</b>	8	12.4	16.8	25.8	27.4
<b>2003</b>	13.2	23.4	32.6	41.4	44.6
<b>2004</b>	6.6	10.4	14.6	22.8	25.6
<b>2005</b>	6.8	11.4	15	20.6	23.2
<b>2006</b>	6.6	11.8	16	18	19.8
<b>2007</b>	5.8	9.4	12.8	14.2	15.2
<b>2008</b>	14.6	28.4	39.2	60.6	84.8
<b>2009</b>	6.8	12.8	15	24.8	28.4
<b>2010</b>	8.4	15.8	20.2	26.2	28.6
<b>2011</b>	8.6	15.2	17.8	21.6	25.8
<b>2012</b>	10.2	19	22.4	27.8	30.2
<b>2013</b>	6.2	8.8	11.8	13.4	15.6
<b>2014</b>	14.6	25	32.6	38.8	42.6

*Tabella 2.3: massimi annuali di altezza di precipitazione per piogge brevi (scrosci);  
Stazione Po di Tramontana di Rosolina.*

	<b>Altezza della precipitazione, h [mm]</b>				
	<b>Durata</b>				
<b>Anno</b>	<b>1 ora</b>	<b>3 ore</b>	<b>6 ore</b>	<b>12 ore</b>	<b>24 ore</b>
<b>1992</b>	22.8	28.8	45	63.8	92
<b>1993</b>	24.6	25.4	29.4	35.6	36.8
<b>1994</b>	29.8	35.8	35.8	36.8	39.8
<b>1995</b>	61.4	94.2	105.2	127.2	157.2
<b>1996</b>	21.6	34.2	38.4	47	52.4
<b>1997</b>	31.6	39	53.2	53.2	53.2
<b>1998</b>	38	42.4	56	57	63.6
<b>1999</b>	26.6	47	68.2	98	101.4
<b>2000</b>	34	40	46.2	48	67.6
<b>2001</b>	31.6	50	57	73.8	78.8
<b>2002</b>	28.4	30.4	34.2	36.4	40.4
<b>2003</b>	46.4	53.6	54	54.4	54.4
<b>2004</b>	26	28.4	28.8	37.2	64.8
<b>2005</b>	30.4	35.2	45.8	61.6	81.6
<b>2006</b>	20	22.8	27.6	40.8	61.6
<b>2007</b>	18.4	21.8	41.2	44.4	44.6
<b>2008</b>	98.4	147.6	154.2	176.8	187
<b>2009</b>	28.6	45.2	55.8	66	74.6
<b>2010</b>	29.4	44.8	48	48.8	59.8
<b>2011</b>	31.2	34.2	34.4	44.6	46.6
<b>2012</b>	31	56	75.8	87	88.2
<b>2013</b>	22	26.2	31	43.2	72.6
<b>2014</b>	44	59	69.4	73	76.6

*Tabella 2.4: massimi annuali di altezza di precipitazione per piogge orarie;  
Stazione Po di Tramontana di Rosolina.*

## 2.2 PROCEDURA DI CALCOLO

I dati di precipitazione, per ogni durata di precipitazione, sono stati organizzati in ordine crescente.

Le frequenze cumulate di non superamento, adottando la formula di Weibull per la frequenza relativa (Form. 2.1), sono riportate nei Grafici 2.1 e 2.3 per la stazione di Porto Tolle, e nei Grafici 2.2 e 2.4 per la stazione di Po di Tramontana – Rosolina.

$$f_{(xi)} = n_i / (N + 1), \quad (\text{Form. 2.1})$$

dove  $f_{(xi)}$  è la frequenza relativa,  $n_i$  la frequenza e  $N$  la numerosità del campione.

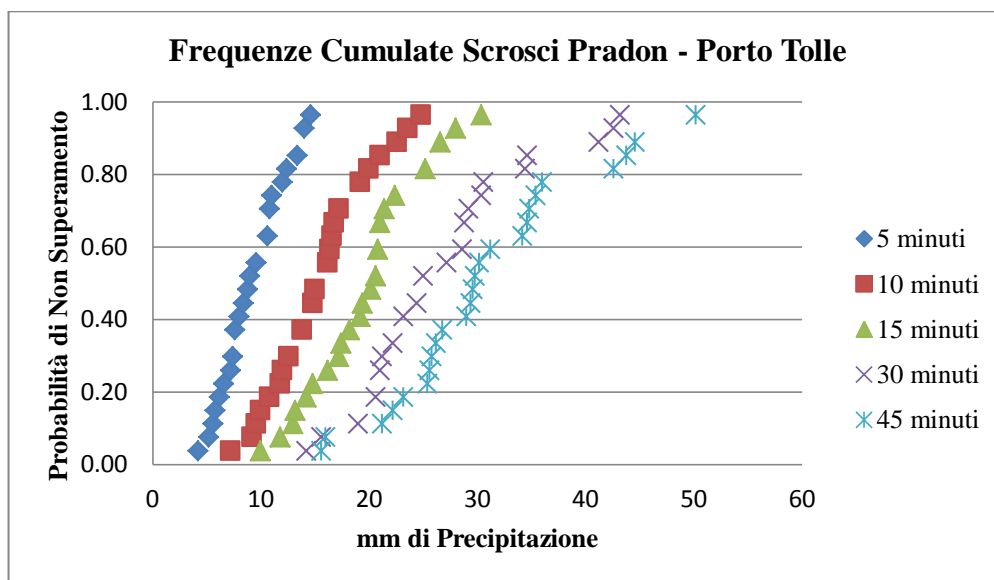


Grafico 2.1: relativi alla probabilità di non superamento per gli scrosci;  
Stazione Pradon di Porto Tolle.

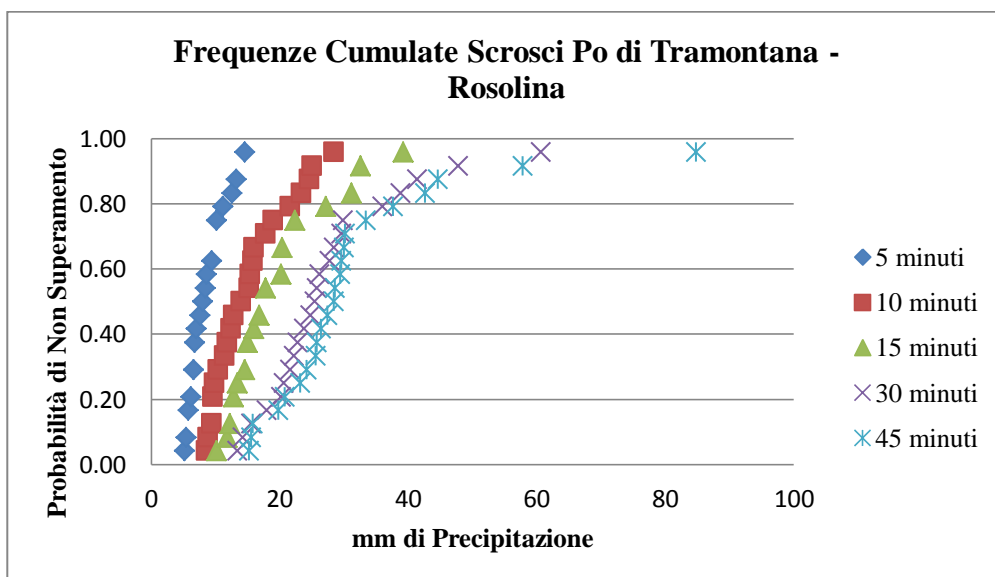


Grafico 2.2: relativi alla probabilità di non superamento per gli scrosci;  
 Stazione Po di Tramontana di Rosolina.

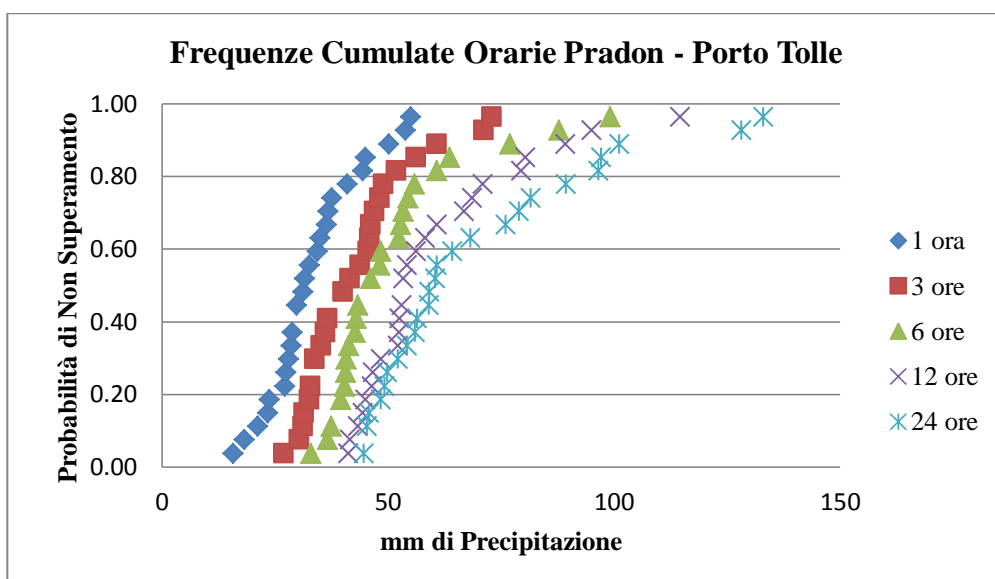


Grafico 2.3: Grafico relativo alla probabilità di non superamento, delle piogge orarie;  
 Stazione Pradon di Porto Tolle.



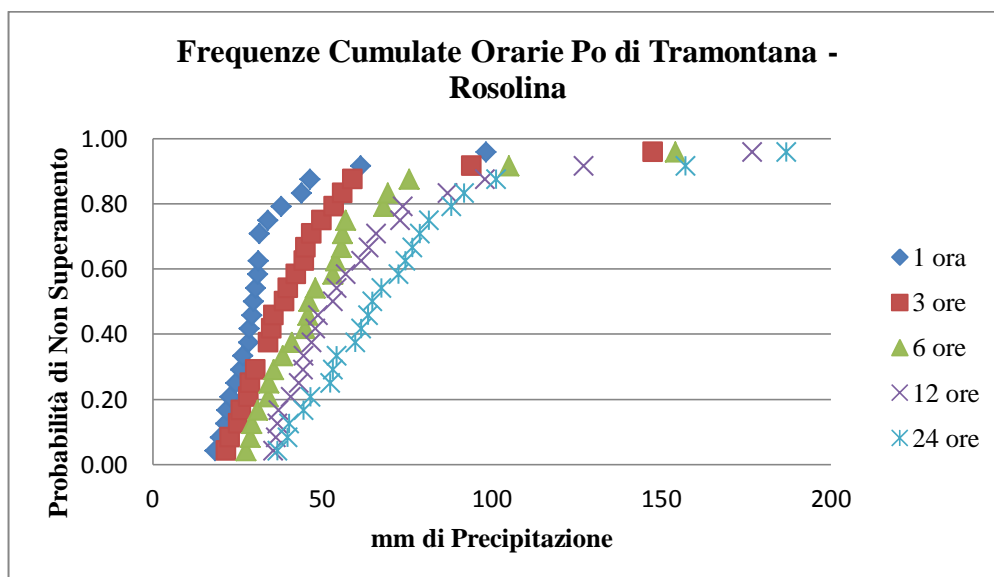


Grafico 2.4: Grafico relativo alla probabilità di non superamento, delle piogge orarie; Stazione Po di Tramontana di Rosolina.

I parametri  $u$  ed  $\alpha$ , della distribuzione di probabilità di Gumbel sono stati stimati attraverso il *Metodo dei Momenti*, della *Massima Verosimiglianza* e dei *Minimi Quadrati*.

Con il *Metodo dei Momenti*, i parametri  $u$  e  $\alpha$  vengono calcolati a partire dalla media  $m_{(x)}$  e dallo scarto quadratico medio  $s_{(N-1)}(x)$  (corretto per le stime indistorte) di ogni campione di dati relativo ai diversi tempi di precipitazione, mediante le equazioni che legano i parametri della distribuzione con i momenti del primo e del secondo ordine della popolazione. Nelle Form. 2.2 e Form. 2.3 sono riportate tali equazioni dove ai momenti della popolazione sono stati sostituiti i momenti del campione.

$$u = m_{(x)} - 0.450 * s_{N-1}(x) \quad (\text{Form. 2.2})$$

$$\alpha = 1.283/s_{N-1}(x) \quad (\text{Form. 2.3})$$

Le distribuzioni così ottenute sono state plottate insieme ai dati di frequenza cumulata di non superamento nei Grafici 2.5 e 2.7 per la stazione di Pradon – Porto Tolle e nei Grafici 2.6 e 2.8 per la stazione di Po di Tramontana – Rosolina.

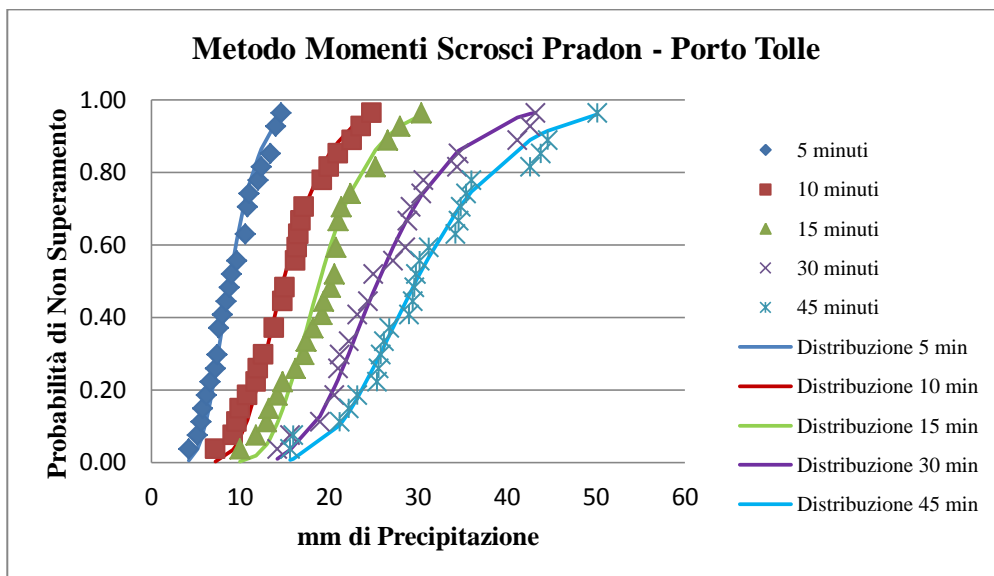


Grafico 2.5: Grafico relativo al Metodo dei Momenti per piogge di breve durata (scrosci);  
Stazione Pradon di Porto Tolle.

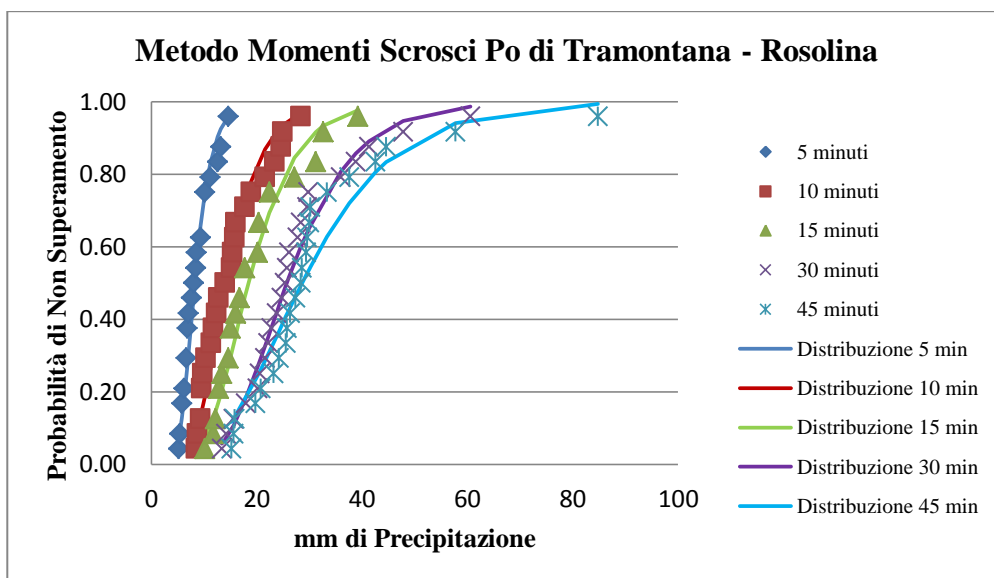


Grafico 2.6: Grafico relativo al Metodo dei Momenti per piogge di breve durata (scrosci);  
Stazione Po di Tramontana di Rosolina.

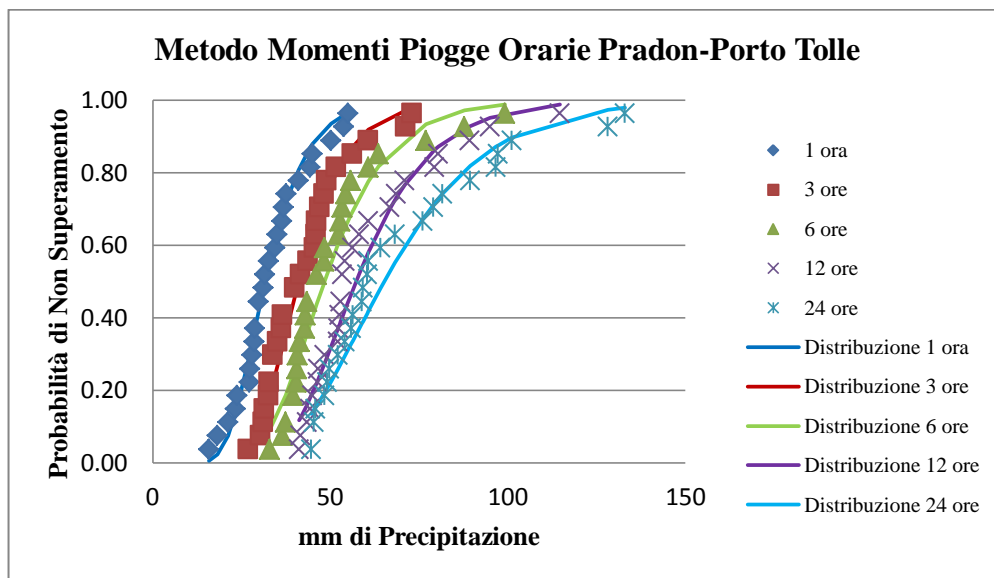


Grafico 2.7: Grafico relativo al Metodo dei Momenti per piogge orarie; Stazione Pradon di Porto Tolle.

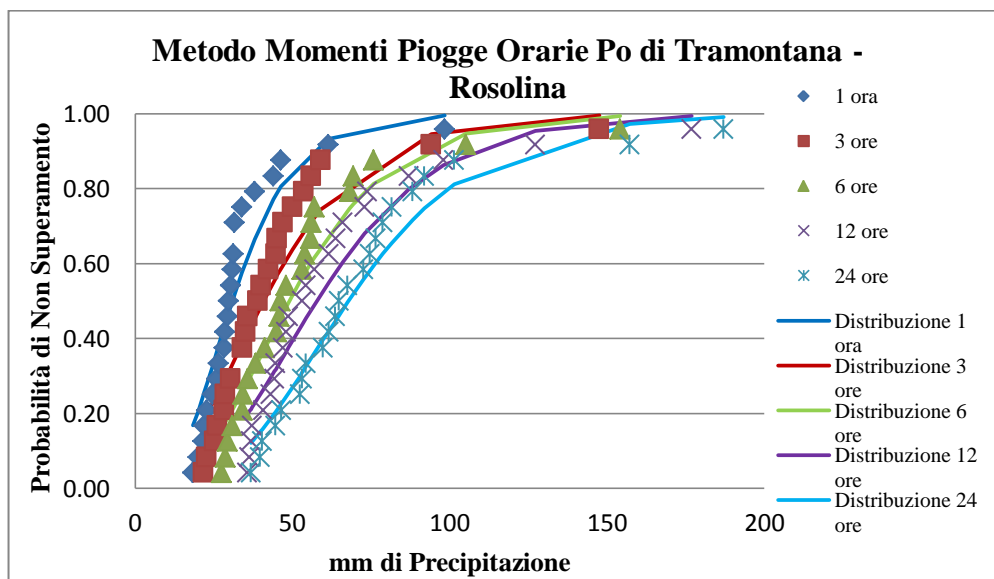


Grafico 2.8: Grafico relativo al Metodo dei Momenti per piogge orarie; Stazione Po di Tramontana di Rosolina.

Con il metodo della *Massima Verosimiglianza* i valori dei parametri sono stati determinati massimizzando la funzione di verosimiglianza (Maione U., Moisello U., Introduzione alle elaborazioni statistiche). Le distribuzioni così ottenute sono state plottate insieme ai dati di frequenza cumulata di non superamento nei Grafici 2.9 e 2.11 per la stazione di Pradon – Porto Tolle e nei Grafici 2.10 e 2.12 per la stazione di Po di Tramontana – Rosolina.

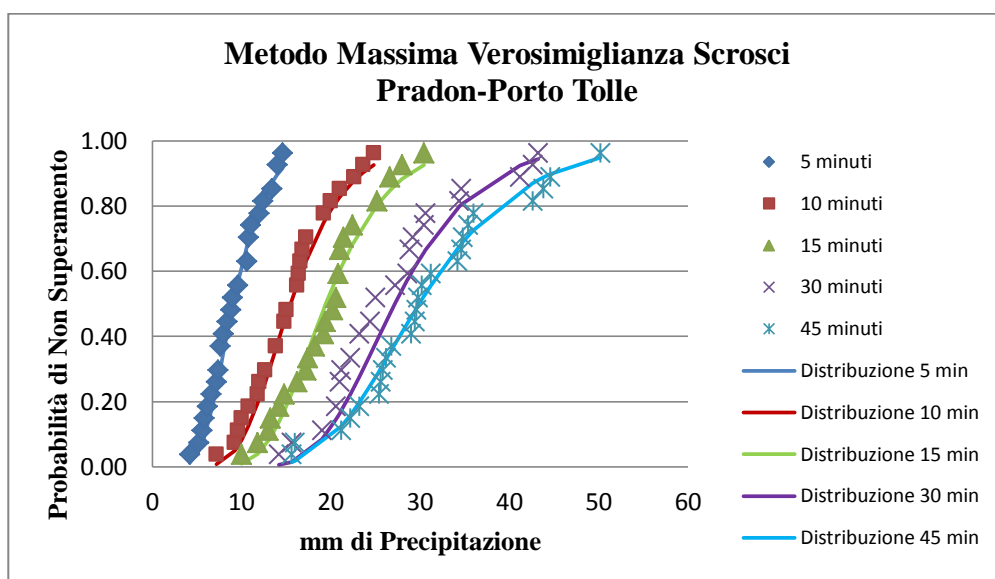


Grafico 2.9: Grafico relativo al Metodo della Massima Verosimiglianza per scrosci;  
Stazione Pradon di Porto Tolle.

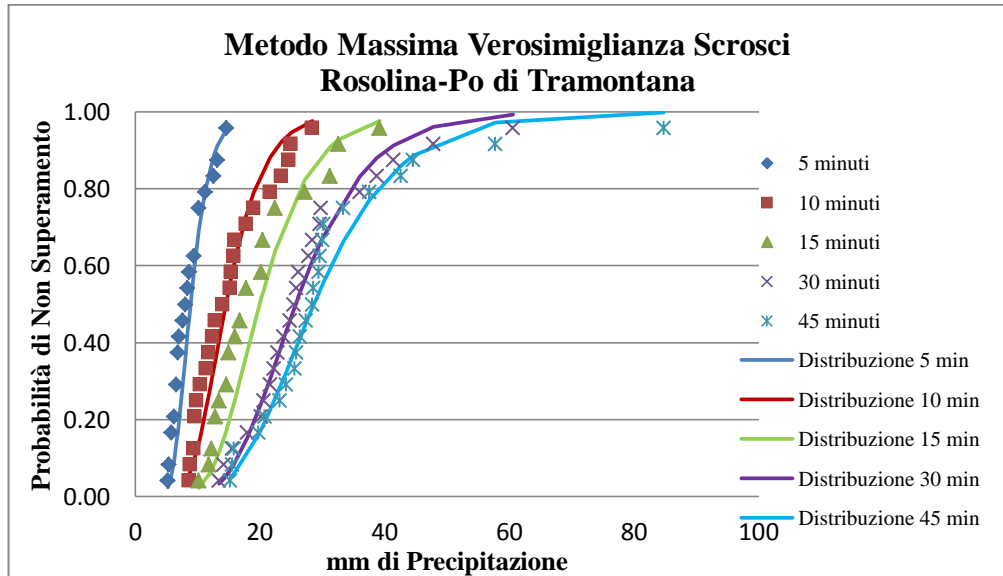


Grafico 2.10: Grafico relativo al Metodo della Massima Verosimiglianza per scrosci;  
Stazione Po di Tramontana di Rosolina.

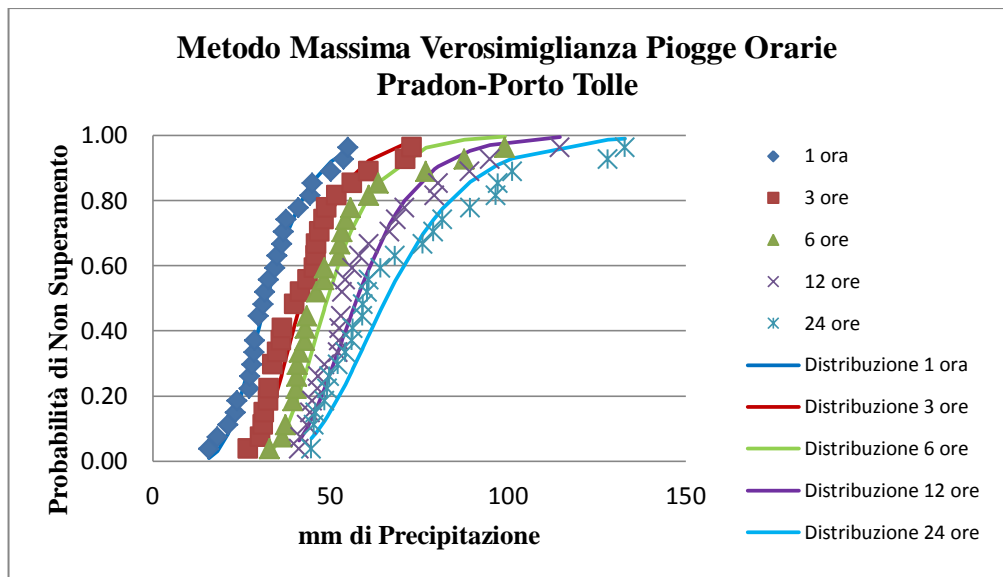


Grafico 2.11: Grafico relativo al Metodo della Massima Verosimiglianza per piogge orarie;  
Stazione Pradon di Porto Tolle.

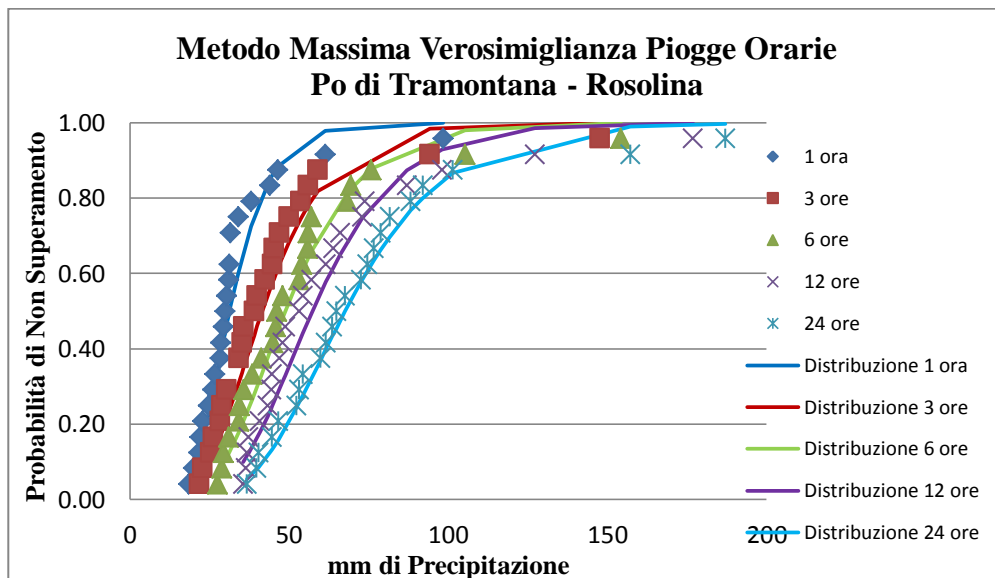


Grafico 2.12: Grafico relativo al Metodo della Massima Verosimiglianza per piogge orarie; Stazione Po di Tramontana di Rosolina.

Con il *Metodo dei Minimi Quadrati* viene determinata la regressione lineare tra la variabile ridotta della distribuzione di Gumbel e la variabile statistica (Maione U., Moisello U., Introduzione alle elaborazioni statistiche). Le distribuzioni così ottenute sono state plottate insieme ai dati di frequenza cumulata di non superamento nei Grafici 2.13 e 2.15 per la stazione di Pradon – Porto Tolle e nei Grafici 2.14 e 2.16 per la stazione di Po di Tramontana – Rosolina.

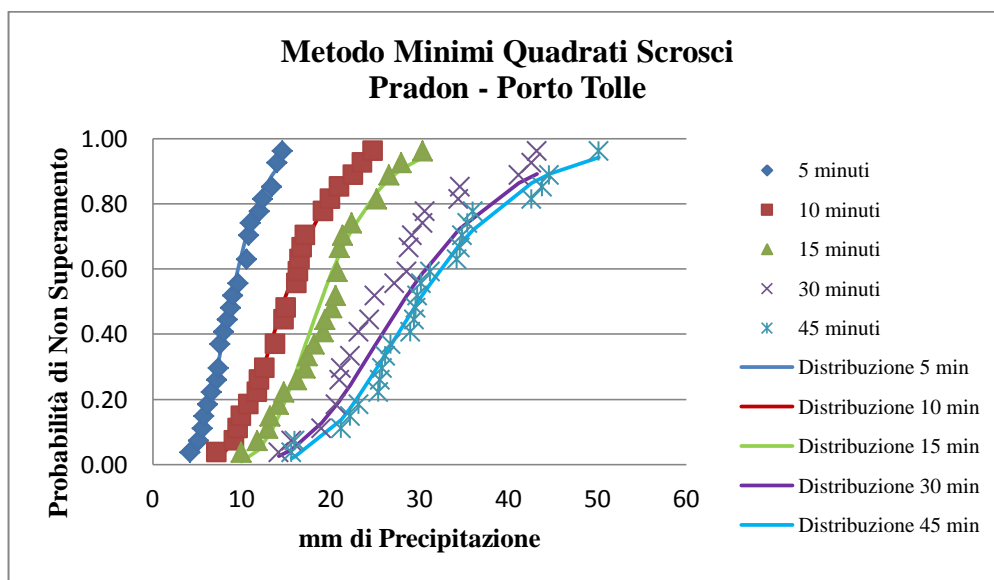


Grafico 2.13: Grafico relativo al Metodo dei Minimi Quadrati per gli scrosci;  
Stazione Pradon di Porto Tolle.

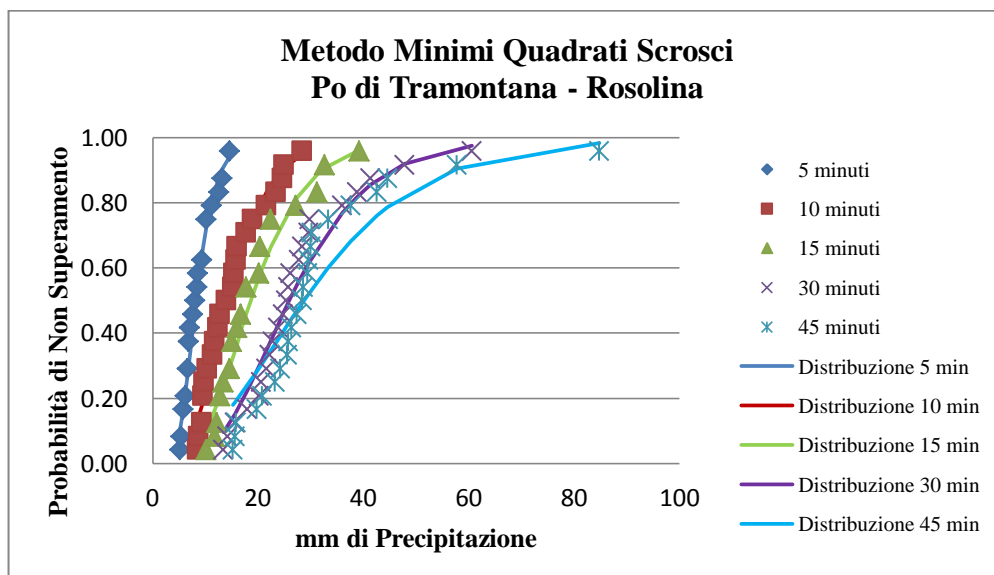


Grafico 2.14: Grafico relativo al Metodo dei Minimi Quadrati per gli scrosci;  
Stazione Po di Tramontana di Rosolina.

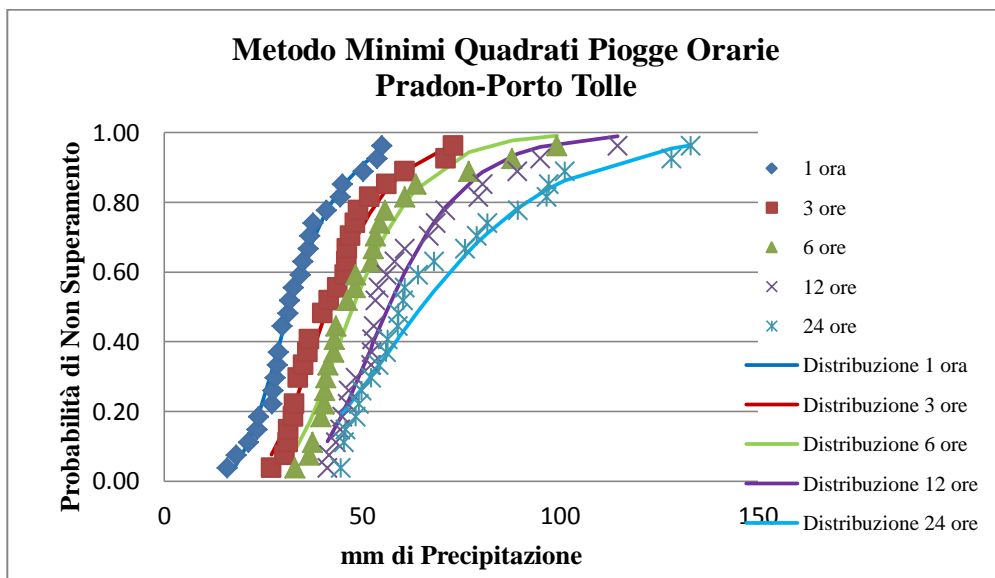


Grafico 2.15: Grafico relativo al Metodo dei Minimi Quadrati per piogge orarie; Stazione Pradon di Porto Tolle.

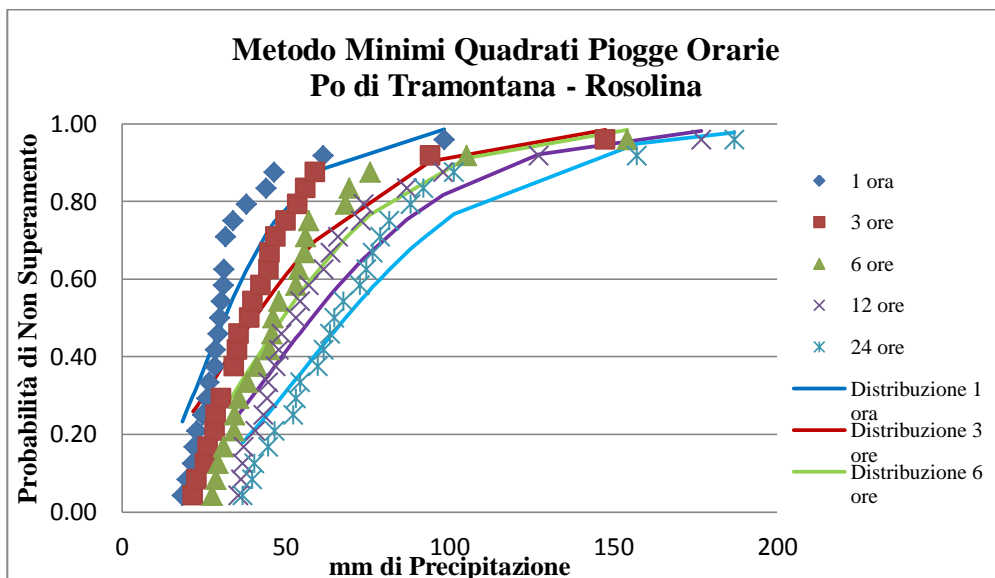


Grafico 2.16: Grafico relativo al Metodo dei Minimi Quadrati per piogge orarie; Stazione Po di Tramontana di Rosolina.



La verifica delle ipotesi statistiche e parametriche eseguite è stata fatta con il *Test d'Ipotesi di Pearson* (Maione U., Moisello U., Introduzione alle elaborazioni statistiche). Il test è stato applicato ad ogni metodo di determinazione dei parametri  $u$  e  $\alpha$ , scegliendo di lavorare con un livello di significatività pari a 0,05. Il test viene superato, per tutti i tempi di precipitazione considerati, in almeno uno dei tre metodi (tabella 2.5 e 2.6).

<b>PRADON -PORTO TOLLE</b>					
<b>5 minuti</b>		$\alpha$ (mm <sup>-1</sup> )	$u$ (mm)	$\chi^2$	lim $\chi^2$
	Min. Quad.	0.379	7.793	1.31	5.99
	Momenti	0.433	7.952	1.31	5.99
	Max. Ver.	0.377	8.120	0.54	5.99
<b>10 minuti</b>		$\alpha$ (mm <sup>-1</sup> )	$u$ (mm)	$\chi^2$	lim $\chi^2$
	Min. Quad.	0.242	13.220	2.46	5.99
	Momenti	0.280	13.523	3.62	5.99
	Max. Ver.	0.235	13.902	1.31	5.99
<b>15 minuti</b>		$\alpha$ (mm <sup>-1</sup> )	$u$ (mm)	$\chi^2$	lim $\chi^2$
	Min. Quad.	0.215	17.179	3.19	5.99
	Momenti	0.246	17.453	3.62	5.99
	Max. Ver.	0.201	17.626	3.19	5.99
<b>30 minuti</b>		$\alpha$ (mm <sup>-1</sup> )	$u$ (mm)	$\chi^2$	lim $\chi^2$
	Min. Quad.	0.119	25.076	4.77	5.99
	Momenti	0.167	23.312	2.85	5.99
	Max. Ver.	0.156	24.813	2.46	5.99
<b>45 minuti</b>		$\alpha$ (mm <sup>-1</sup> )	$u$ (mm)	$\chi^2$	lim $\chi^2$
	Min. Quad.	0.122	26.836	0.54	5.99
	Momenti	0.139	27.133	0.15	5.99
	Max. Ver.	0.127	27.003	8.23	5.99
<b>1 ora</b>		$\alpha$ (mm <sup>-1</sup> )	$u$ (mm)	$\chi^2$	lim $\chi^2$
	Min. Quad.	0.109	28.447	0.15	5.99
	Momenti	0.126	28.771	0.15	5.99
	Max. Ver.	0.117	28.966	0.15	5.99
<b>3 ore</b>		$\alpha$ (mm <sup>-1</sup> )	$u$ (mm)	$\chi^2$	lim $\chi^2$
	Min. Quad.	0.092	37.325	2.08	5.99
	Momenti	0.107	37.725	0.54	5.99
	Max. Ver.	0.115	38.742	3.62	5.99

*continua*

<b>6 ore</b>		$\alpha$ (mm <sup>-1</sup> )	$u$ (mm)	$\chi^2$	lim $\chi^2$
	Min. Quad.	0.085	43.393	4.38	5.99
	Momenti	0.081	43.812	4.38	5.99
	Max. Ver.	0.104	45.619	3.62	5.99
<b>12 ore</b>		$\alpha$ (mm <sup>-1</sup> )	$u$ (mm)	$\chi^2$	lim $\chi^2$
	Min. Quad.	0.074	51.702	1.69	5.99
	Momenti	0.070	52.081	1.69	5.99
	Max. Ver.	0.084	53.190	5.15	5.99
<b>24 ore</b>		$\alpha$ (mm <sup>-1</sup> )	$u$ (mm)	$\chi^2$	lim $\chi^2$
	Min. Quad.	0.043	56.459	8.23	56.46
	Momenti	0.051	58.066	2.85	5.99
	Max. Ver.	0.063	59.984	5.15	5.99

Tabella 2.5: risultato test di Pearson per le piogge di Pradon-Porto Tolle

<b>ROSOLINA-PO DI TRAMONTANA</b>					
<b>5 minuti</b>		$\alpha$ (mm <sup>-1</sup> )	$u$ (mm)	$\chi^2$	lim $\chi^2$
	Min. Quad.	0.387	7.285	0.70	5.99
	Momenti	0.442	7.433	1.13	5.99
	Max. Ver.	0.465	8.045	8.52	5.99
<b>10 minuti</b>		$\alpha$ (mm <sup>-1</sup> )	$u$ (mm)	$\chi^2$	lim $\chi^2$
	Min. Quad.	0.184	12.373	2.00	5.99
	Momenti	0.218	12.602	2.00	5.99
	Max. Ver.	0.240	12.975	2.00	5.99
<b>15 minuti</b>		$\alpha$ (mm <sup>-1</sup> )	$u$ (mm)	$\chi^2$	lim $\chi^2$
	Min. Quad.	0.140	16.016	3.74	5.99
	Momenti	0.163	16.235	0.26	5.99
	Max. Ver.	0.175	17.824	6.35	5.99
<b>30 minuti</b>		$\alpha$ (mm <sup>-1</sup> )	$u$ (mm)	$\chi^2$	lim $\chi^2$
	Min. Quad.	0.097	22.156	2.87	5.99
	Momenti	0.115	22.583	2.87	5.99
	Max. Ver.	0.129	22.886	1.13	5.99
<b>45 minuti</b>		$\alpha$ (mm <sup>-1</sup> )	$u$ (mm)	$\chi^2$	lim $\chi^2$
	Min. Quad.	0.067	23.263	8.52	5.99
	Momenti	0.084	24.284	8.52	5.99
	Max. Ver.	0.109	25.295	4.17	5.99
<b>1 ora</b>		$\alpha$ (mm <sup>-1</sup> )	$u$ (mm)	$\chi^2$	lim $\chi^2$
	Min. Quad.	0.118	26.850	6.35	5.99
	Momenti	0.075	26.087	2.82	5.99
	Max. Ver.	0.057	24.941	16.78	5.99
<b>3 ore</b>		$\alpha$ (mm <sup>-1</sup> )	$u$ (mm)	$\chi^2$	lim $\chi^2$
	Min. Quad.	0.079	34.105	0.70	5.99
	Momenti	0.047	33.030	6.78	5.99
	Max. Ver.	0.036	30.246	13.74	5.99

continua

6 ore		$\alpha$ (mm <sup>-1</sup> )	$u$ (mm)	$\chi^2$	lim $\chi^2$
	Min. Quad.	0.062	41.402	0.26	5.99
	Momenti	0.045	40.873	2.00	5.99
	Max. Ver.	0.036	38.930	15.04	5.99
12 ore		$\alpha$ (mm <sup>-1</sup> )	$u$ (mm)	$\chi^2$	lim $\chi^2$
	Min. Quad.	0.050	48.451	1.57	5.99
	Momenti	0.039	48.267	9.83	5.99
	Max. Ver.	0.031	46.068	15.04	5.99
24 ore		$\alpha$ (mm <sup>-1</sup> )	$u$ (mm)	$\chi^2$	lim $\chi^2$
	Min. Quad.	0.048	57.875	4.61	5.99
	Momenti	0.036	57.603	2.00	5.99
	Max. Ver.	0.029	55.529	0.26	5.99

Tabella 2.6: risultato test di Pearson per le piogge di Rosolina- Po di tramontana

È stato evidenziato in rosso il metodo che non supera il test e in verde il metodo che lo ha superato. I metodi evidenziati in azzurro invece sono quelli che superato il test vengono utilizzati per il calcolo delle CPP.

Infine, le curve di possibilità pluviometrica (Form. 2.4), sono state stimate, al variare del tempo di ritorno, con il metodo dei minimi quadrati, determinando la curva di regressione tra i valori del logaritmo dell'altezza di precipitazione e del tempo di precipitazione. A questo fine è stata utilizzata la relazione esistente tra Probabilità di non superamento,  $P(h)$ , e Tempo di ritorno, ( $Tr$ ), (Form. 2.5).

$$h = a(Tr) * tp^{n(Tr)} \quad (Form. 2.4)$$

$$Tr = \frac{1}{1-P(h)} \quad (Form. 2.5)$$

## 2.3 CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA

PRADON-PORTO TOLLE:

	<i>Tr</i>	50 anni	20 anni	10 anni
<i>durata precipitazione &lt; 1 ora</i>	<i>a (mm/ore<sup>n</sup>)</i>	<b>68.52</b>	<b>60.46</b>	<b>54.24</b>
	<i>n</i>	<b>0.4915</b>	<b>0.4988</b>	<b>0.5061</b>
<i>durata precipitazione &gt; 1 ora</i>	<i>a (mm/ore<sup>n</sup>)</i>	<b>61.75</b>	<b>53.96</b>	<b>47.96</b>
	<i>n</i>	<b>0.2253</b>	<b>0.2258</b>	<b>0.2263</b>

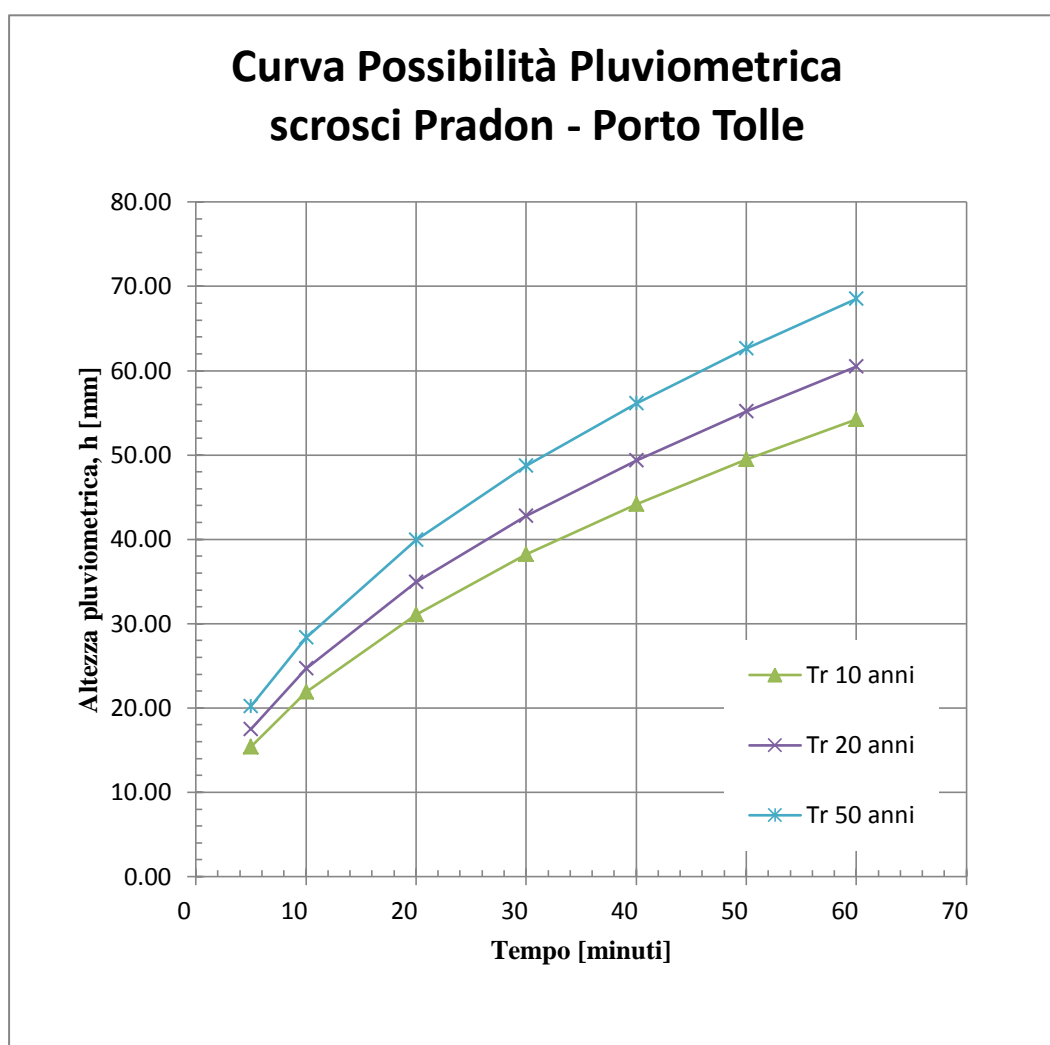
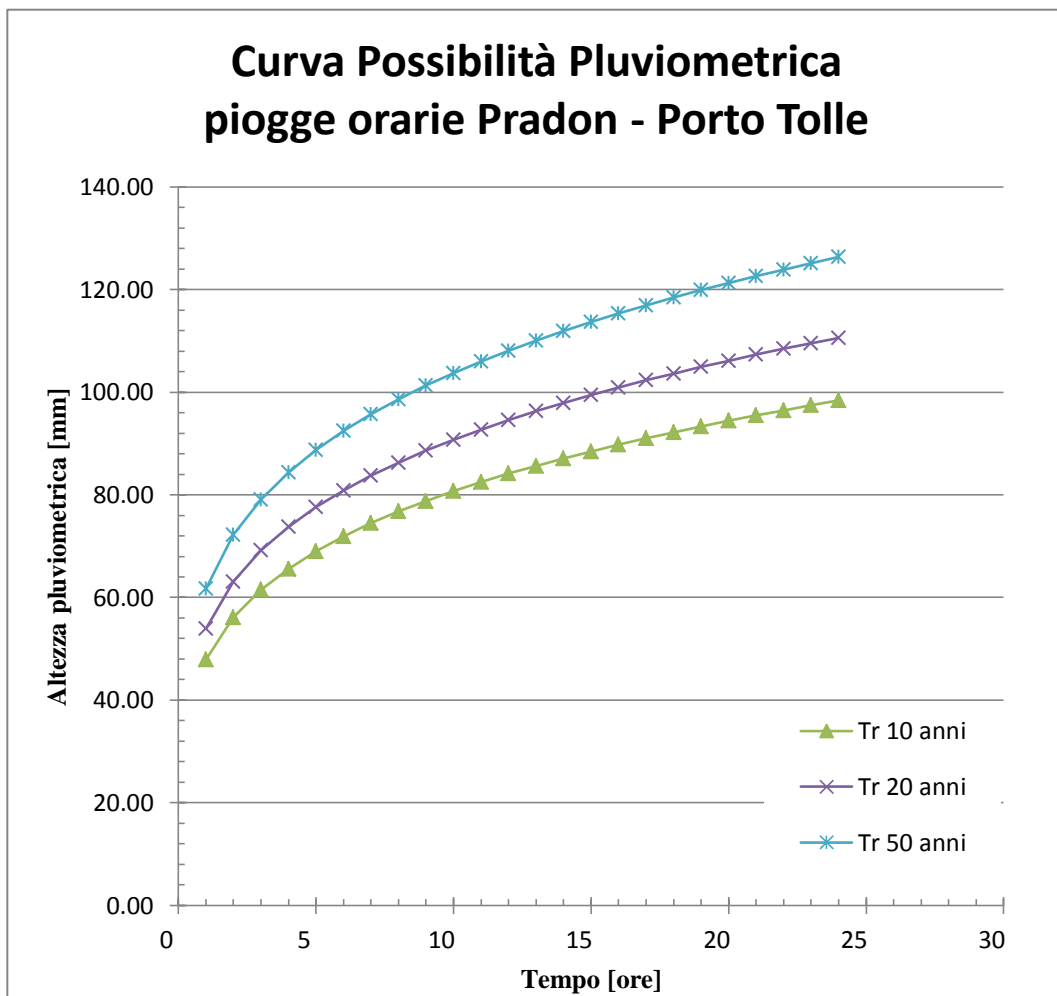


Grafico 2.17: curve di possibilità pluviometrica per piogge minori di un'ora;  
Stazione di Pradon-Porto Tolle



*Grafico 2.18: curve di possibilità pluviometrica per piogge orarie;  
Stazione di Pradon-Porto Tolle*

ROSOLINA-PO DI TRAMONTANA:

	<i>Tr</i>	50 anni	20 anni	10 anni
<i>durata precipitazione &lt; 1 ora</i>	<i>a (mm/ore<sup>n</sup>)</i>	<b>77.84</b>	<b>67.05</b>	<b>58.72</b>
	<i>n</i>	<b>0.546</b>	<b>0.5484</b>	<b>0.551</b>
<i>durata precipitazione &gt; 1 ora</i>	<i>a (mm/ore<sup>n</sup>)</i>	<b>68.93</b>	<b>58.75</b>	<b>50.89</b>
	<i>n</i>	<b>0.2759</b>	<b>0.2727</b>	<b>0.2692</b>

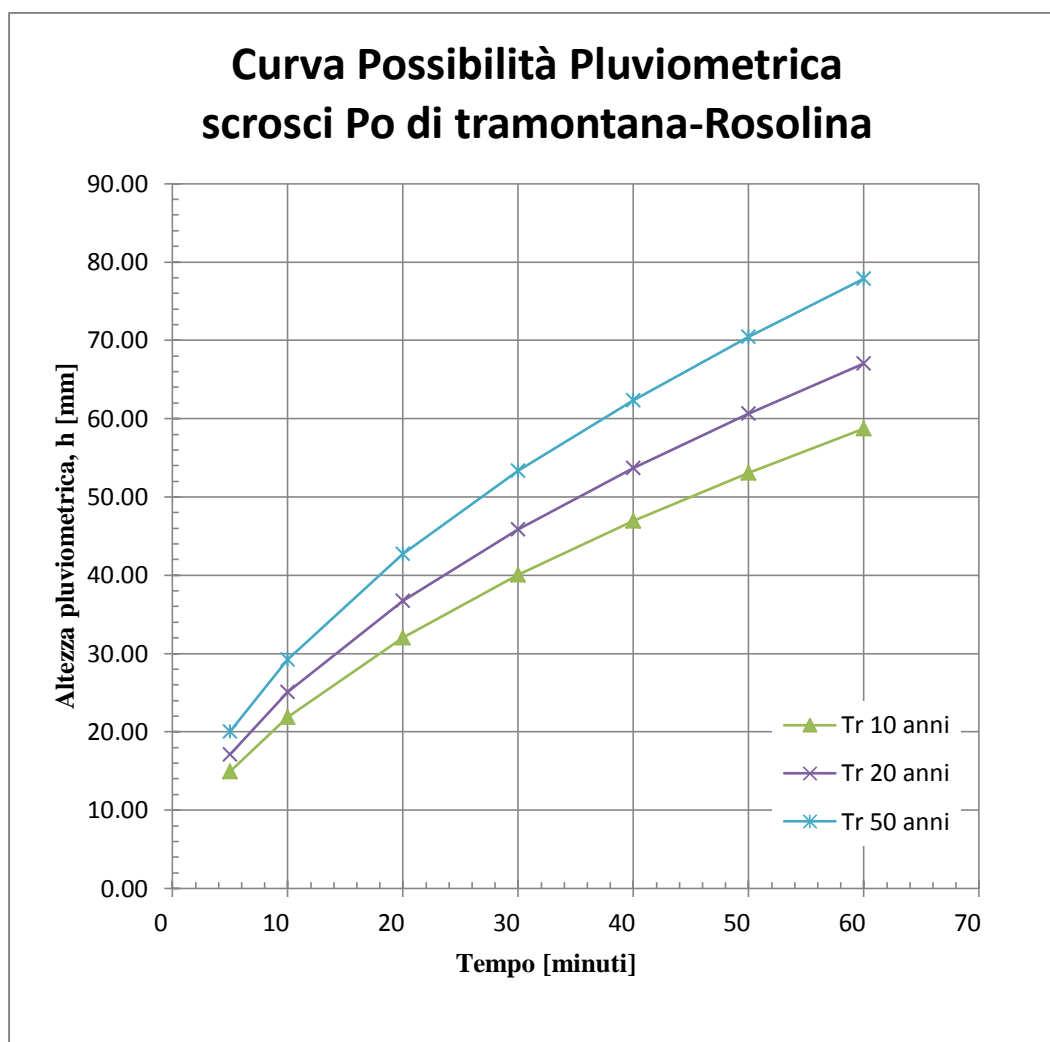
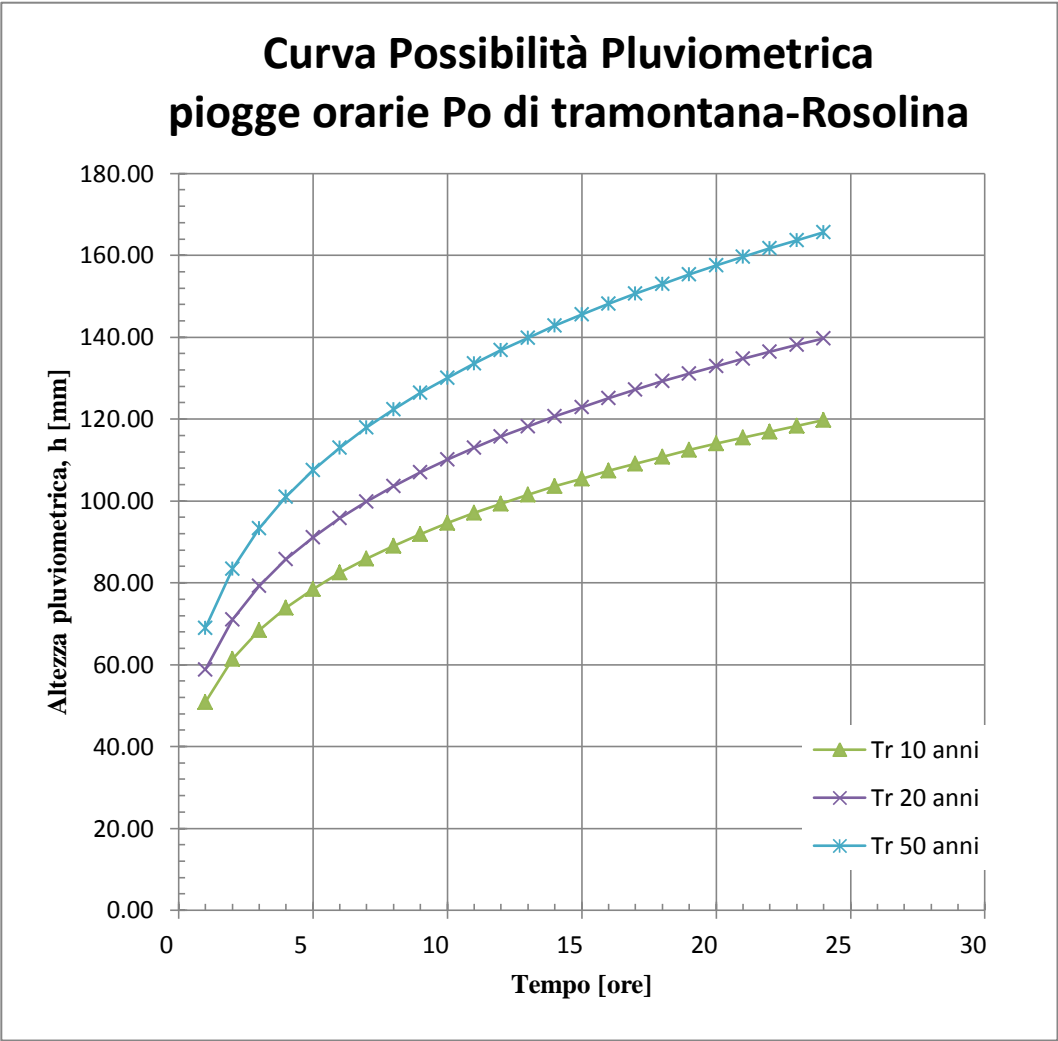


Grafico 2.19: curve di possibilità pluviometrica per piogge minori di un'ora;  
Stazione di Po di tramontana-Po di tramontana.

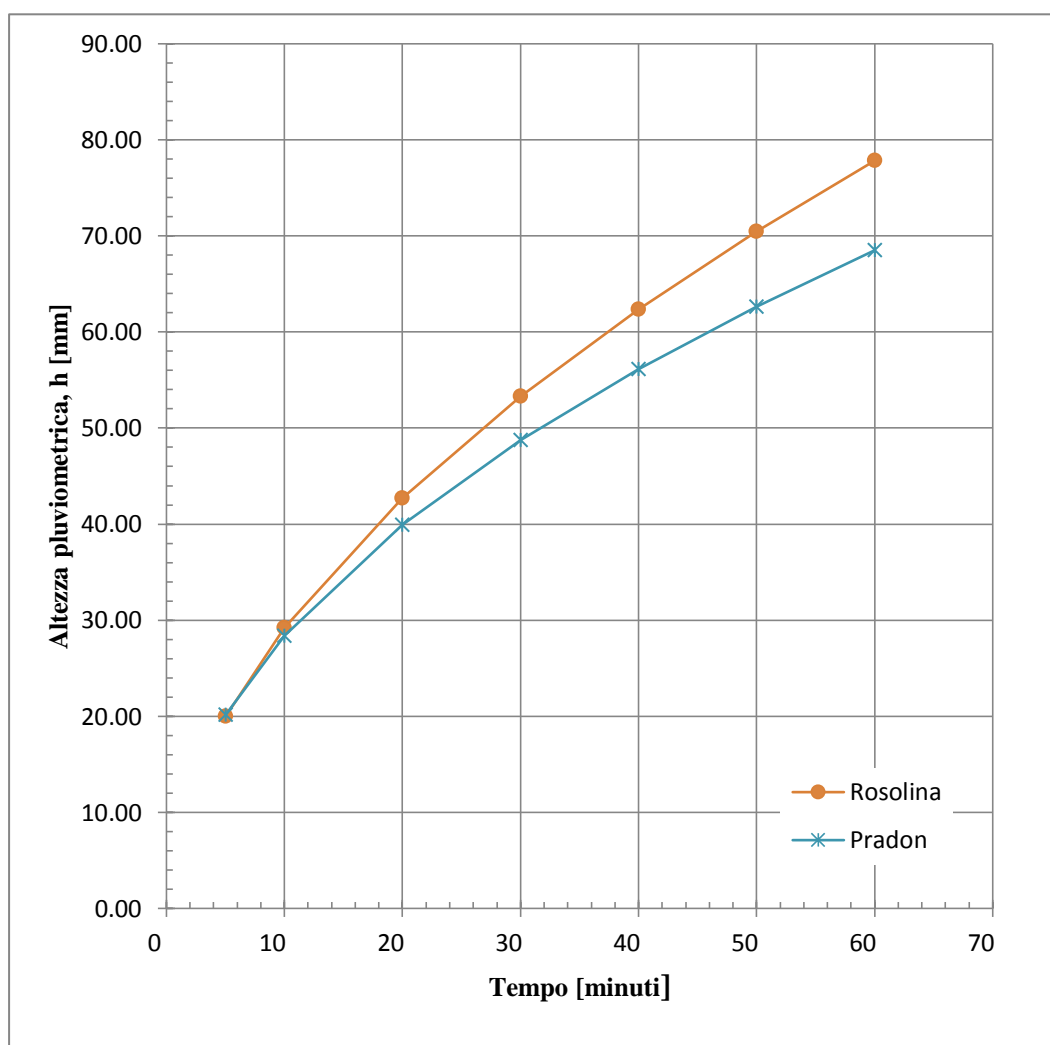


*Grafico 2.20: curve di possibilità pluviometrica per piogge orarie;  
Stazione di Po di tramontana-Rosolina.*

Dal raffronto dei dati relativi alle due stazioni ( $T_R = 50$  anni), si evince che le altezze di pioggia registrate nelle stazioni di Pradon e Rosolina, risultano avere una notevole differenza (grafico 2.21 e 2.22).

Ai fini della valutazione delle misure compensative (volumi vasche di laminazione), si sceglie di utilizzare gli effetti delle piogge di Rosolina.

Ciò considerato, nei calcoli successivi si farà riferimento ai dati relativi della stazione pluviografica di Rosolina, in quanto ritenuti più precauzionali.



*Grafico2.21: confronto delle curve di possibilità pluviometrica degli scrosci ottenute dai dati delle stazioni di Pradon e Rosolina.*



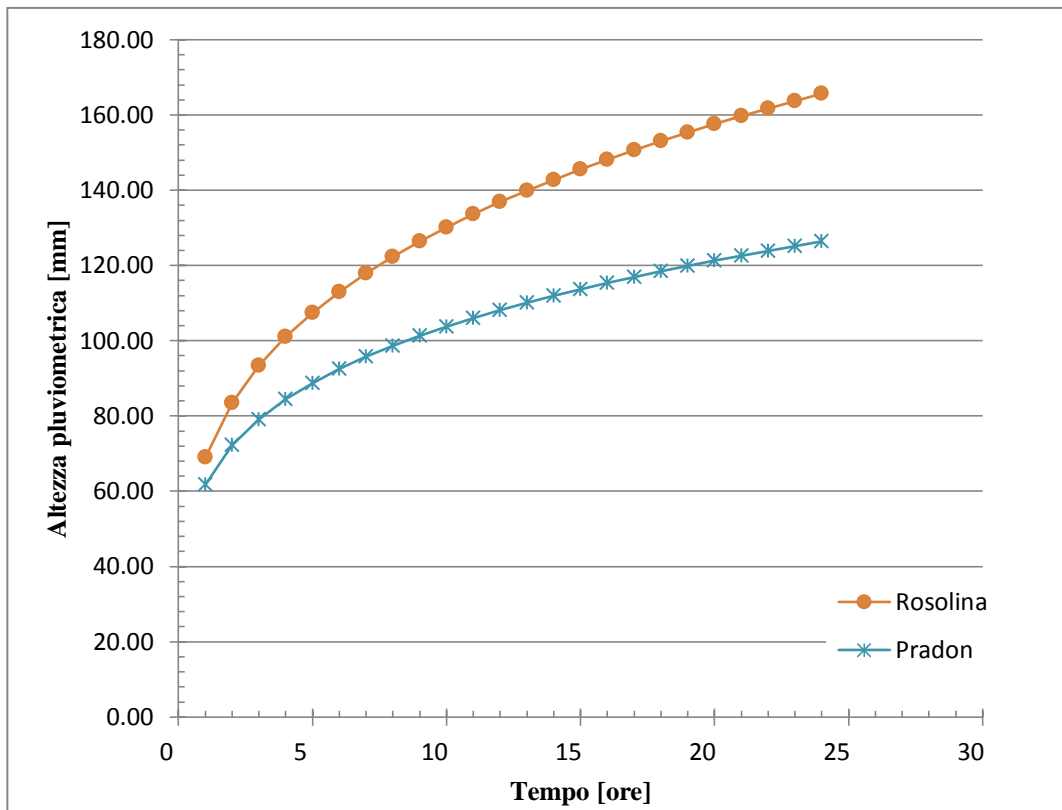


Grafico 2.22: confronto delle curve di possibilità pluviometrica delle piogge orarie ottenute dai dati delle stazioni di Pradon e Rosolina.

### 3.STATO DI FATTO E DI PROGETTO

L'area adibita alla trasformazione urbanistica era precedentemente destinata ad uso agricolo. La variazione di destinazione d'uso da area agricola ad area urbanizzata comporta un'alterazione del regime idraulico, in quanto la permeabilità del suolo diminuisce, i tempi di corrivazione diminuiscono, le portate e i volumi di deflusso aumentano. In considerazione del fatto che il rischio idraulico non deve aumentare, ovvero deve essere mantenuta l'invarianza idraulica, occorre prevedere delle misure compensative idonee per lo smaltimento di tali volumi di deflusso. Con riferimento alla situazione precedente alla urbanizzazione, vengono valutati i parametri idrologici (portata, volumi di deflusso competenti all'area di uso agricolo), parametri i cui valori non potranno essere superati nella fase di modifica di destinazione d'uso dell'area.

Facendo riferimento alle precipitazioni relative a un tempo di ritorno prefissato ( $T_R = 50$  anni), per la valutazione del coefficiente udometrico, si fa ricorso convenzionalmente al metodo cinematico di Turazza (Luigi Da Deppo e Claudio Datei, Fognature):

$$u = 0.1157 m \varphi h / (t_p + t_c), \quad (\text{Form. 3.1})$$

con  $m$  coefficiente di piena,  $h$  altezza di precipitazione,  $\varphi$  coefficiente di deflusso e  $t_p$ ,  $t_c$  rispettivamente: tempo di pioggia e tempo di corrivazione.

Considerata la condizione più critica (durata pari al tempo di concentrazione), si perviene alle seguenti espressioni del coefficiente udometrico e della portata massima:

$$u = 0.1157 \varphi h / t_c, \quad (\text{Form. 3.2})$$

$$Q_{max} = u A. \quad (\text{Form 3.3})$$

Nei calcoli si è fatto riferimento ad un valore del coefficiente di deflusso pari a  $\phi = 0.10$ , tipico di aree agricole (valore definito dalla D.G.R.V n°2948 del 2009). Per la valutazione dei tempi di corrivazione, nell'ipotesi di superfici praticamente pianeggianti e di modesta estensione, si è fatto ricorso all'espressione di Ventura (G. Ventura - "Sulla bonifica della bassa pianura bolognese", "Giornale del Genio Civile, 1905):

$$t_c = 0.315 A^{1/2} \quad (\text{Form 3.4})$$

con A area bacino in  $\text{km}^2$  e  $t_c$  in giorni.

Ciò considerato è stata esaminata l'area di trasformazione con superficie nominale di 5.9 ha.

Con  $T_R = 50$  anni, si sono quindi ottenuti i seguenti valori del tempo di corrivazione e del coefficiente udometrico competenti alla situazione preesistente l'urbanizzazione (area agricola):

$$t_c = 1.837 \text{ ore} = 110.23 \text{ minuti}$$

$$u = 12.32 \text{ litri / s ha}$$

$$Q_{max} = 72.8 \text{ litri / s}$$

Per quanto concerne i calcoli per la valutazione dei volumi di laminazione, si è fatto riferimento a un valore massimo del coefficiente udometrico, imposto dal consorzio di bonifica, pari a:

$$u = 5 \text{ litri/s ha} < 12.32 \text{ litri/s ha}$$

A fronte della variazione di destinazione d'uso della zona sarà necessario creare zone di raccolta e deflusso dell'acqua fino al recettore finale (fosso di guardia della S.S 309 Romea) per mantenere l'invarianza idraulica. In base alla futura pianificazione descritta nella Tavola n° 1 sono stati attribuiti i valori del

coefficiente di deflusso e del grado di impermeabilizzazione in funzione delle diverse tipologie di superficie (permeabili, semipermeabili, impermeabili).

I valori sono stati prescritti dalla D.G.R.V n° 2948/09.

Destinazione	Area [m <sup>2</sup> ]	$\phi$
Verde	8130	0.2
Parcheggio	1038	0.6
Strada, marciapiedi	9231	0.9
Aree lottizzazione	40658	0.8
Totale	59057	

*Tab. 3.1 : Valori dei coefficienti di deflusso per le diverse aree allo stato di progetto.*

Tutto ciò premesso si è proceduto all'analisi della situazione futura e al calcolo delle portate e delle misure compensative. I volumi utili di tali misure (vasche di laminazione) adottati nel progetto, sono stati stimati mediante il modello cinematico proposto dalla D.G.R.V n° 2948/09 ( risultati capitolo 6).

## 4. PROGETTAZIONE FOGNATURA ACQUE BIANCHE

Il sistema fognario di raccolta delle acque bianche della futura area di urbanizzazione è stato eseguito mediante il Modello Italiano dell'Invaso Lineare (MIIL). Tale modello prevede che la portata al colmo venga stimata in funzione del volume immagazzinato nel sistema bacino-rete. Per dare una valutazione più adeguata del volume effettivamente invasato si è adottato il calcolo speditivo proposto da Del Giudice et alii del 1996.

### 4.1 CENNI SUL MODELLO DELL'INVASO LINEARE

Il metodo dell'invaso lineare mette in relazione la portata che defluisce dalla sezione di chiusura di un sistema fognario di raccolta delle acque di pioggia con il volume che viene contemporaneamente invasato nel bacino a monte della sezione stessa. Si assume che il legame sia di tipo lineare ed esprimibile con la relazione:

$$Q(t) = \frac{W(t)}{K} \quad (\text{Form. 4.1})$$

Dove  $Q(t)$  è la portata alla sezione di interesse,  $W(t)$  è il volume invasato a monte e  $K$ , dimensionalmente un tempo, viene definita come costante di invaso, ricavabile mediante diversi metodi. Nel caso in oggetto si è ritenuto opportuno utilizzare l'eq proposta da Desbordes (Desbordes, 1975):

$$K = \frac{4 S^{0.18} L^{0.15} t_p^{0.21}}{h^{0.07} (1+I_m)^{1.9} (100 s)^{0.36}} - 0.21 \quad (\text{Form. 4.2})$$

Noto l'afflusso netto  $I(t)$ , cioè la parte di precipitazione che contribuisce effettivamente alla generazione dell'idrogramma di piena, e il valore della costante  $K$ , è possibile ricostruire l'idrogramma di piena integrando, rispetto al tempo  $t$ , le equazioni del serbatoio lineare (Form. 4.1) e di continuità (Form. 4.3):

$$I(t)dt = dW(t) + Q(t)dt \quad (\text{Form. 4.3})$$

Nelle condizioni iniziali di rete vuota (  $Q = 0$  per  $t = 0$  ), si ottiene:

$$Q(t) = \int_0^{\tau^*} \frac{1}{K} e^{-\frac{t-\tau}{K}} I(\tau) d\tau \quad (\text{Form. 4.4a})$$

$$\tau^* = t \text{ per } t < t_p \quad (\text{Form. 4.4b})$$

$$\tau^* = t_p \text{ per } t > t_p \quad (\text{Form. 4.4c})$$

dove il termine:

$$u(t) = \frac{1}{K} e^{-\frac{t}{K}} \quad (\text{Form. 4.5})$$

rappresenta l'*idrogramma unitario istantaneo (IUH)* del modello dell'invaso lineare e il parametro  $K$  assume il significato di tempo di detenzione medio delle particelle d'acqua nel bacino idrografico. Nel caso si consideri l'ipotesi che l'afflusso netto  $I(t)$  sia costante, la massima portata si verifica alla fine della precipitazione e vale:

$$Q_m = \varphi i(t_p) S \left( 1 - e^{-\frac{t_p}{K}} \right) \quad (\text{Form. 4.6})$$

dove  $\varphi i(t_p) S$  è l'afflusso netto costante nel tempo, con  $i(t_p)$  l'intensità di precipitazione costante,  $\varphi$  il coefficiente di afflusso alla rete e  $S$  la superficie del bacino.

La Form. 4.6 permette di determinare la durata della precipitazione che rende massima la portata alla sezione di interesse, una volta esplicitata la curva di possibilità pluviometrica a due parametri. Questa condizione è definita dalla relazione:

$$n = 1 - r \frac{e^{-r}}{1 - e^{-r}} \quad (\text{Form. 4.7a})$$

$$\text{in cui } r = t_p / K. \quad (\text{Form. 4.7b})$$

Volendo esprimere la massima portata dalla Form. 4.6 in funzione della curva di possibilità pluviometrica a due parametri si ottiene la seguente equazione:

$$Q_m = \varphi a S K^{n-1} r^{n-1} (1 - e^{-r}) \quad (\text{Form. 4.8})$$

fornendo il massimo valore della portata in funzione del tempo di ritorno quando  $r$  viene definito dalla Form. 4.7b.

Il MIIL invece stima la portata massima non più in funzione del valore di  $K$  ma in funzione dei volumi che vengono invasati nel bacino.

Il parametro  $K$  viene stimato secondo la Form. 4.9:

$$K = \frac{W(t)}{Q(t)} = \frac{W_M}{Q_M}, \quad (\text{Form. 4.9})$$

Cioè come rapporto tra  $W(t)$ , cioè il volume immagazzinato in un dato istante di tempo  $t$ , e la portata nella sezione di chiusura del sistema  $Q(t)$  al medesimo istante  $t$ . Sostituendo la condizione di Form. 4.9 nella Form. 4.8 si ottiene:

$$Q_m = n (\varphi a S)^{1/n} W^{(n-1)/n} z \quad (\text{Form. 4.10})$$

dove  $z$  viene ricavato dalla seguente espressione:

$$z = \frac{1}{n} [r^{(n-1)/n} (1 - e^{-r})^{1/n}]. \quad (\text{Form. 4.11})$$

Approssimando  $z$  al valore di 0.78, la Form. 4.11 assume la forma tradizionale (Supino, 1933):

$$u = 2168 \frac{n(\varphi a)^{1/n}}{w^{(\frac{1}{n}-1)}}, \quad (\text{Form. 4.12})$$

Con  $u$  coefficiente udometrico, ottenuto dal rapporto tra  $Q_M$  e  $S$ ,  $w$  dato dal rapporto tra  $W_M$  e  $S$ .

L'ipotesi di asincronismo viene affrontata mediante il calcolo speditivo, come prima citato, da Del Giudice et alii del 1996, il quale definisce il volume invasato a monte del sistema mediante la relazione:

$$W_M = w_{0I} * S_I + W_I + \frac{u}{\varphi} \sum_{j=1}^J W_j \frac{\varphi_j}{u_j} \quad (\text{Form. 4.13})$$

con  $u$ ,  $\varphi$ ,  $W_M$  coefficiente udometrico, coefficiente d'afflusso e volume invasato a monte dell'intero bacino;  $u_j$ ,  $\varphi_j$ ,  $W_j$  coefficiente udometrico, coefficiente d'afflusso e volume invasato a monte dei tratti che gravano sul tratto in fase di calcolo;  $S_I$  la superficie dell'area parziale che grava sul tratto di calcolo,  $w_{0I}$  il volume dei piccoli invasi per la stessa superficie,  $W_I$  il volume proprio del collettore  $I$  in calcolo e  $J$  il numero di tratti confluenti in testa al collettore  $I$  in calcolo.

Per quanto riguarda il valore dei volume dei piccoli invasi,  $w_{0I}$ , è stato definito in funzione della formula proposta dalla ricerca effettuata da Benedetto e alii (1955) che tiene conto dei parametri caratteristici della singola area:

$$w_{0I} = 0.6 \left( \frac{a\varphi_I}{3600^n} \right)^{\frac{1.5}{1.5+n}} \left( \frac{l_{0I}}{220\sqrt{s_I}} \right)^{\frac{1.5n}{1.5+n}} \quad (\text{Form. 4.14})$$

Con  $l_{0I}$  dato dal rapporto tra la superficie dell'area in calcolo e due volte la lunghezza del collettore ricevente,  $s_I$  non è altro che la pendenza media del collettore.



## 4.2 DIMENSIONAMENTO FOGNATURA ACQUE BIANCHE

Il dimensionamento del sistema fognario per la zona in oggetto è stato eseguito mediante il Metodo italiano dell'invaso lineare (MIIL). La rete di deflusso delle acque bianche è stata suddivisa in diversi tratti attribuendo ad ognuno di essi le aree che gravano come afflusso. Per il calcolo delle portate di massima sono stati utilizzati i valori della CPP ottenuti dalla stazione di Po di Tramontana-Rosolina con il tempo di ritorno di 10 anni, adottando la seguente legge di pioggia:

$$h = 58.72 t^{0.551} \quad (\text{valida per } t < 1 \text{ ora})$$

Per quanto riguarda i coefficienti di afflusso da attribuire alle diverse aree ci si è basato sulle direttive date dal D.G.R.V n° 2948/2009, mentre il valore di  $K_{GS}$  è pari a 85 , parametro caratteristico di condotte in cls in buono stato.

Le successive tabelle 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 raccolgono i parametri e i risultati ottenuti mediante il MIIL, descrivendo quanto segue:

*Ac*: area colante;

*Ac. tot.* : area colante totale;

$\varphi$ : coefficiente di deflusso

*w<sub>o</sub>*: volume dei piccoli invasi calcolato mediante la formula 4.14;

*Sezione*: diametro interno condotta;

$K_{GS}$ : coefficiente di Gauckler Strickler;

*Lungh*: lunghezza condotta;

*i*: inclinazione della condotta;

*Qpiena*: portata di piena della condotta;

*v*: velocità del flusso d'acqua all'interno della condotta;

*Gr*: grado di riempimento della condotta.

Nome	Ac [m <sup>2</sup> ]	Ac. tot. [m <sup>2</sup> ]	$\phi$ [-]	w <sub>0</sub> [m <sup>3</sup> /ha]	Sezione [mm]	Kgs [m <sup>1/2</sup> /s]	Lungh. [m]	i [m/m]	Q piena [m <sup>3</sup> /s]	v [m/s]	Gr [%]
A1.1	1455	1455	0.8	24.17	400	85	70	0.002	0.048	0.812	49
A1.2	3383	3383	0.8	29.16	500	85	118	0.0015	0.092	0.855	55
A1.3	3493	4948	0.8	35.44	600	85	65	0.0015	0.149	0.959	54
A1.4	684	9015	0.8	27	700	85	25	0.002	0.249	1.277	54
A2.1	2319	2319	0.8	31.04	500	85	60	0.0015	0.075	0.809	48
A2.2	2176	2176	0.8	30.25	500	85	60	0.0015	0.07	0.801	47
A2.3	1044	3363	0.8	23.3	500	85	55	0.002	0.1	0.974	53
A2.4	335	5874	0.8	18.82	600	85	30	0.002	0.172	1.108	54
A3.1	985	985	0.8	23.95	400	85	56	0.0015	0.033	0.663	43
A3.2	1237	1237	0.8	27.25	400	85	46	0.002	0.044	0.789	46
A3.3	247	1232	0.8	18.13	500	85	28	0.0015	0.037	0.683	34
A3.4	118	2587	0.8	47.77	500	85	23	0.002	0.078	0.823	50
A4.1	1340	1340	0.8	25.22	400	85	58	0.002	0.048	0.805	48
A4.2	1598	1598	0.8	27.41	500	85	65	0.0015	0.052	0.733	39
A4.3	249	3187	0.8	22.7	500	85	14	0.002	0.102	0.974	53

Tab. 4.1: parametri e dimensionamento fognatura bianca da Area A1 a Area A4 (Tavola 1)

Nome	Ac [m <sup>2</sup> ]	Ac. tot. [m <sup>2</sup> ]	φ [-]	w <sub>0</sub> [m <sup>3</sup> /ha]	Sezione [mm]	Kgs [m <sup>1/3</sup> /s]	Lungh. [m]	i [m/m]	Q piena [m <sup>3</sup> /s]	v [m/s]	Gr [%]
A5.1	1354	1354	0.8	20.76	400	85	95	0.002	0.043	0.782	45
A5.2	2676	2676	0.8	29.59	500	85	90	0.0015	0.076	0.769	52
A5.3	400	4430	0.8	29.24	500	85	12	0.002	0.124	1.019	60
A6.1	3916	3916	0.8	31.59	500	85	112	0.0015	0.108	0.883	60
A6.2	952	952	0.8	20.06	400	85	84	0.0015	0.029	0.632	39
A6.3	1127	1127	0.8	20.52	400	85	94	0.002	0.034	0.739	40
A6.4	400	5268	0.8	26.04	500	85	16	0.002	0.145	1.053	67
A6.5	200	6595	0.8	18.78	600	85	18	0.002	0.179	1.123	56
A7.1	4297	4297	0.8	36.65	500	85	85	0.0015	0.123	0.909	66
A7.2	1343	1343	0.8	32.93	400	85	30	0.002	0.05	0.812	49
A7.3	960	960	0.8	28.76	400	85	30	0.002	0.037	0.757	42
A7.4	532	532	0.8	24.03	350	85	30	0.0015	0.02	0.585	40
A7.5	1020	7620	0.8	29.35	700	85	35	0.0015	0.223	1.663	54
A7.6	818	8970	0.8	27.84	700	85	32	0.0015	0.259	1.098	59

Tab. 4.2: parametri e dimensionamento fognatura bianca da Area A5 a Area A7 (Tavola 1)

Nome	Ac [m <sup>2</sup> ]	Ac. tot. [m <sup>2</sup> ]	φ [-]	w <sub>0</sub> [m <sup>3</sup> /ha]	Sezione [mm]	Kgs [m <sup>1/2</sup> /s]	Lungh. [m]	i [m/m]	Q piena [m <sup>3</sup> /s]	v [m/s]	Gr [%]
1-2	500	500	0.9	25.54	350	85	30	0.0015	0.022	0.6	42
2-3	500	1000	0.9	24.1	400	85	30	0.002	0.042	0.782	45
3-4	500	10015	0.9	24.1	700	85	30	0.002	0.339	1.302	64
4-5	500	10515	0.9	24.1	700	85	30	0.002	0.341	1.307	65
5-6	500	11015	0.9	24.1	700	85	30	0.002	0.341	1.313	66
6-VI	500	17889	0.9	24.1	800	85	10	0.003	0.541	1.726	62
7-8	500	500	0.9	25.54	350	85	30	0.0015	0.022	0.6	42
8-9	500	1000	0.9	24.1	400	85	30	0.002	0.042	0.789	46
9-10	500	1500	0.9	26.26	500	85	28	0.0015	0.058	0.76	42
10-11	500	200	0.9	28.43	500	85	23	0.0015	0.075	0.809	48
11-12	500	5087	0.9	26.83	600	85	23	0.002	0.175	1.123	56
12-13	500	5587	0.9	26.45	600	85	27.5	0.0015	0.184	1.007	62
13-14	500	9274	0.9	26.96	700	85	27.5	0.002	0.304	1.332	61
14-15	500	9774	0.9	26.45	700	85	27.5	0.0015	0.307	1.142	67
17-16	500	500	0.9	25.54	350	85	30	0.0015	0.022	0.6	42
16-15	500	1000	0.9	24.1	400	85	30	0.002	0.042	0.782	45

Tab. 4.3: parametri e dimensionamento fognatura bianca del tratto stradale (Tavola 1)

Nome	Ac [m <sup>2</sup> ]	Ac. tot. [m <sup>2</sup> ]	φ [-]	w <sub>0</sub> [m <sup>3</sup> /ha]	Sezione [mm]	K <sub>gs</sub> [m <sup>1/2</sup> /s]	Lungh. [m]	i [m/m]	Q piena [m <sup>3</sup> /s]	v [m/s]	Gr [%]
18-19	500	500	0.9	25.54	350	85	30	0.0015	0.022	0.6	42
19-20	500	5430	0.9	25.54	600	85	30	0.0015	0.174	1.002	61
20-21	500	5930	0.9	24.1	600	85	30	0.002	0.183	1.132	57
21-22	500	13075	0.9	24.1	800	85	30	0.002	0.397	1.369	57
26-25	500	500	0.9	24.1	350	85	30	0.0015	0.023	0.6	42
25-24	500	1000	0.9	24.1	400	85	30	0.002	0.043	0.782	45
24-23	500	9470	0.9	25.54	700	85	30	0.0015	0.299	1.137	66

Tab 4.4: parametri e dimensionamento fognatura bianca del tratto stradale (Tavola 1)

Il modello MIIL fornisce il massimo valore di portata, e il corrispondente tempo di precipitazione, che può verificarsi per ogni tratto di condotta fognaria considerata. Non fornisce l'idrogramma di piena che la precipitazione genera nel sistema fognario. Allo scopo di stimare l'idrogramma di piena generato dal sistema fognario e procedere al dimensionamento delle vasche di laminazione (che dipendono dal volume idrico generato e dalla sua distribuzione nel tempo) i risultati ottenuti dal MIIL vengono utilizzati per la taratura di un modello geomorfologico di trasformazione degli afflussi in deflussi. La taratura dei parametri del modello geomorfologico viene effettuata al tempo di ritorno di 10 anni. Il modello geomorfologico viene poi applicato sia al tempo di ritorno di dieci anni che di cinquant'anni.

## 5. MODELLO GEOMORFOLOGICO

Il modello fisico di trasformazione degli afflussi in deflussi è un modello basato sulle caratteristiche geo-morfologiche del bacino. Il bacino relativo alla sezione di chiusura di interesse, viene suddiviso in un adeguato numero di aree (aree sorgenti), ognuna delle quali costituisce un sottobacino interno del bacino principale. Ogni area sorgente viene connessa alla sezione di chiusura del bacino mediante una sequenza ordinata di tratti di scorrimento costituiti da tratti di canalizzazione facenti parte della rete fognaria delle acque bianche interna al bacino. Le particelle d'acqua costituenti la precipitazione cadono su una delle aree sorgenti, scorrono superficialmente verso il collettore principale dell'area e formano, in corrispondenza della sezione di chiusura dell'area sorgente, un idrogramma che successivamente si propaga lungo i tratti di scorrimento fino alla sezione di chiusura del bacino principale. L'obiettivo di tale modello è la rappresentazione matematica dei fenomeni fisici che si realizzano nella formazione del deflusso. Per far questo è necessaria la conoscenza delle precipitazioni sul bacino, note grazie alla presenza degli strumenti adatti alla loro misurazione (pluviometri, pluviografi) oppure ottenute mediante metodi matematici o statistici che permettono di distribuire la precipitazione su tutte le componenti areali del bacino.

È necessario poter rappresentare le modalità attraverso le quali la precipitazione, una volta raggiunta la superficie terrestre, si divide in scorrimento superficiale e scorrimento profondo perso.

Di grande importanza è infine la possibilità di definire in quali condizioni iniziali la superficie del bacino si presenti alla precipitazione oggetto di studio. La quantificazione dei parametri fisici che rappresentano i fenomeni su richiamati viene eseguita per taratura, cioè attraverso la riproduzione mediante modello fisico-numerico di un evento del quale si conoscano tutte le proprietà fisiche fondamentali. Nel caso presente si tratta di simulare numericamente i processi di trasformazione della pioggia in portate conoscendo la distribuzione della pioggia

al suolo, le proprietà geo-morfologiche del bacino e le portate nella sezione di chiusura del bacino. Queste ultime sono considerate note perché determinate con il MIIL. Tutto questo permette di rappresentare analiticamente il processo di accumulo delle particelle d'acqua, che cadono nei diversi punti del bacino, attraverso un idrogramma unitario istantaneo (*IUH*, portata nel tempo).

Le ipotesi che stanno alla base dell'*IUH* sono la linearità della risposta del bacino ad una precipitazione e l'invarianza nel tempo dei processi di trasformazione degli afflussi in deflussi.

Considerando che si possa ritenere valido lo schema di *IUH*, il modello geomorfologico tiene conto anche del fenomeno di laminazione prodotto nel processo di formazione degli idrogrammi di piena, fenomeno prodotto nel caso in oggetto dalle vasche di laminazione presenti nel sistema di allontanamento delle acque. Gli effetti di laminazione appena citati vengono simulati mediante le classiche equazioni dei serbatoi, risolte quando sono note le condizioni al contorno e iniziali.

## **5.1 PROCEDURA CALCOLO IUH TRAMITE PROGRAMMA SASTEPA**

L'idrogramma unitario istantaneo rappresenta la portata nel tempo generata da un bacino sul quale precipita, in un intervallo di tempo, un volume di pioggia unitario. Il modello geomorfologico suddivide quindi il bacino in diversi sottobacini, ad ognuno dei quali viene attribuito un *IUH* relativo.

La rappresentazione matematica della trasformazione di una precipitazione di volume unitario su un'area sorgente in idrogramma è definita dal comportamento teorico di un serbatoio lineare e descritta dall'eq:

$$iuh_{as}(t) = \frac{1}{\lambda_s} e^{-t/\lambda_s} \quad (Form. 5.1)$$

dove il coefficiente  $\lambda$  ha le dimensioni di un tempo e rappresenta il tempo medio di residenza delle particelle d'acqua all'interno dell'area sorgente. Tale parametro viene ricavato mediante l'eq:



$$\lambda_s = \alpha_s A^{0.38} \quad (\text{Form. 5.2})$$

con  $\alpha_s = \in [0.05, 10]$ ,

con A espresso in km<sup>2</sup> e  $\alpha_s$  è un parametro di taratura dipendente dalle caratteristiche geometriche e morfologiche del bacino.

Per quanto riguarda l'IUH per le aree di transito, si determina mediante l'eq:

$$iuh_{at}(t) = \frac{L}{\sqrt{4\pi D_L t^3}} e^{-\frac{(L - \langle u \rangle t)^2}{4\pi D_L t}}, \quad (\text{Form. 5.3})$$

ottenuta a partire dal modello parabolico di propagazione delle onde di piena.

I parametri  $D_L$  e  $\langle u \rangle$  vengono stimati sulla base della conoscenza delle caratteristiche morfologiche del corso d'acqua. Il campo di variabilità dei valori fisicamente assunti dai parametri  $D_L$  e  $\langle u \rangle$  è indicato nelle seguenti relazioni:

$D_L$	$m^2 / s$	[10 – 2000]	
$\langle u \rangle =$	$\alpha A_c^{-\delta}$	[1 – 2.5]	(Form. 5.4)
$\alpha$		[0.05 – 2]	
$\delta$		[0.05 – 0.2]	

dove  $A_c$  è l'area cumulata in km<sup>2</sup> a monte del tratto considerato. La  $\langle u \rangle$  tenderà a calare all'aumentare di  $A_c$

Nella modellazione matematica, un volume di pioggia unitario, caduto quasi istantaneamente sull'area sorgente 1 e distribuito uniformemente, subisce una prima trasformazione secondo la Form 5.1. Ogni volumetto infinitesimo dell'idrogramma prodotto alla sezione di chiusura dell'area sorgente 1 (ottenuto come prodotto tra la portata ad un certo istante temporale ed un intervallo temporale infinitesimo) viene trasformato secondo la legge della Form.5.3. Alla fine della prima area di transito si produce un nuovo idrogramma come somma dei contributi su indicati ottenuta sulla base delle ipotesi fondamentali di linearità e costanza nel tempo delle leggi di trasformazione. Il processo di trasformazione continua per tutte le aree di transito che rimangono fino alla sezione di chiusura

del bacino. La sequenza di convoluzioni appena descritta si scrive come nelle relazioni (nella ipotesi che alla area sorgente iniziale seguano sei aree di transito):

$$\begin{aligned} iuh_1(t) &= \frac{1}{\lambda_{s1}} e^{-t/\lambda_{s1}} \\ iuh_{1-2}(t) &= \int_0^t iuh_1(t-\tau) \cdot iuh_2(t) d\tau; \quad iuh_2(t) = \frac{L_2}{\sqrt{4\pi D L_2 t^3}} e^{-\frac{(L_2 - \langle u \rangle_2 t)^2}{4D L_2 t}} \\ iuh_{1-3}(t) &= \int_0^t iuh_{1-2}(t-\tau) \cdot iuh_3(t) d\tau \\ &\vdots \\ iuh_{1-7}(t) &= \int_0^t iuh_{1-6}(t-\tau) \cdot iuh_7(t) d\tau \end{aligned}$$

e sinteticamente come in equazione:

$$iuh_{1-7}(t) = iuh_1(t) * iuh_2(t) * iuh_3(t) * \dots * iuh_7(t) \quad (\text{Form. 5.5})$$

A seguire l'IUH dell'intero bacino si ottiene attraverso la somma di tutti i percorsi possibili e si esprime attraverso la seguente relazione:

$$iuh_{bacino}(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=percorso}^n iuh_i(t) \quad (\text{Form. 5.6})$$

dove il volume moltiplicativo  $1/n$  riporta ad 1 il volume di pioggia sull'intero bacino.

Infine, la portata alla sezione di chiusura all'interno di un percorso generico è data dalla convoluzione tra la funzione che esprime l'intensità di precipitazione sull'area sorgente e l'IUH del percorso

$$Q_{1-7}(t) = \int_0^t j_1(t-\tau) * iuh_{1-7}(t) d\tau = j_1(t) * iuh_1(t) * iuh_2(t) * \dots * iuh_7(t) \quad (\text{Form 5.7})$$

dove  $j_i$  è l'intensità di precipitazione che partecipa alla formazione della portata a seguito della separazione tra la pioggia totale e quella persa.

Quindi, l'idrogramma dell'intero bacino è formato dalla somma degli idrogrammi prodotti da tutti i percorsi esistenti all'interno del bacino, ed è rappresentabile mediante la seguente equazione:

$$Q_t = \sum_{i=percorso}^n Q_i(t) \quad (\text{Form. 5.8})$$

## 5.2 TARATURA MODELLO GEOMORFOLOGICO

Il modello geomorfologico, come detto a fine paragrafo 4, è stato utilizzato per il dimensionamento delle vasche di laminazione del sistema fognario al tempo di ritorno di dieci anni e di cinquant'anni, come previsto dalla normativa.

I parametri idrologici utilizzati nel modello geomorfologico sono stati tarati sulla base della applicazione del modello dell'invaso lineare al tempo di ritorno di dieci anni. I parametri così definiti sono stati poi utilizzati anche al tempo di ritorno di cinquant'anni.

Tutta la taratura è stata effettuata sulla base della descrizione della rete delle acque bianche dimensionate precedentemente mediante il MIIL.

I parametri derivati dal MIIL sono stati il tempo di precipitazione che massimizza la portata, ricavato tramite la Form 4.7b, avendo definito in precedenza la costante di vaso  $K$  attraverso l'equazione della Form. 4.2, la portata massima, il coefficiente di deflusso, la velocità di scorrimento dell'acqua nelle varie condotte. Invece i parametri idrologici ottenuti per taratura sono stati il coefficiente CN del metodo SCS di separazione delle piogge totali in piogge a scorrimento superficiale, trascurando quelle a scorrimento profondo in quanto la frazione di acqua infiltrata nella zona non è rilevante per il caso in studio.

In ogni elaborazione del modello geomorfologico il rapporto tra il volume idrico a scorrimento superficiale e il volume idrico precipitato al tempo di pioggia stabilito è stato mantenuto pari al coefficiente di afflusso adottato nel MIIL.

Nel *Grafico 5.1* sono riportati gli idrogrammi di piena ottenuti dal modello geomorfologico applicato all'AREA1 (vedi Tavola 1 allegata, sezione di chiusura al pozzetto 3, aree A1.1, A1.2, A1.3, A1.4 di *Tab. 4.1*). Per questa area, in fase di progetto della fognatura bianca, il modello dell'invaso lineare italiano (MIIL) al tempo di ritorno di 10 anni ha fornito una portata massima pari a  $0.249 \text{ m}^3/\text{s}$  in corrispondenza del tempo di precipitazione di 8.30 minuti, con un coefficiente di afflusso pari a 0.8. Queste condizioni sono state imposte al modello geomorfologico tarando i suoi parametri e ottenendo l'idrogramma centrale nel *Grafico 5.1*. La applicazione del modello geomorfologico ad altri tempi di

precipitazione (minori e maggiori rispetto a quelli che massimizzano la portata ottenuta dal MIIL) forniscono portate massime minori rispetto a quella di taratura, a parità di volume a scorrimento superficiale, rendendo coerenti i due modelli. Analogamente si è proceduto nella taratura dei parametri del modello geomorfologico su tutte le sotto-aree considerate, ottenendo risultati del tutto simili.

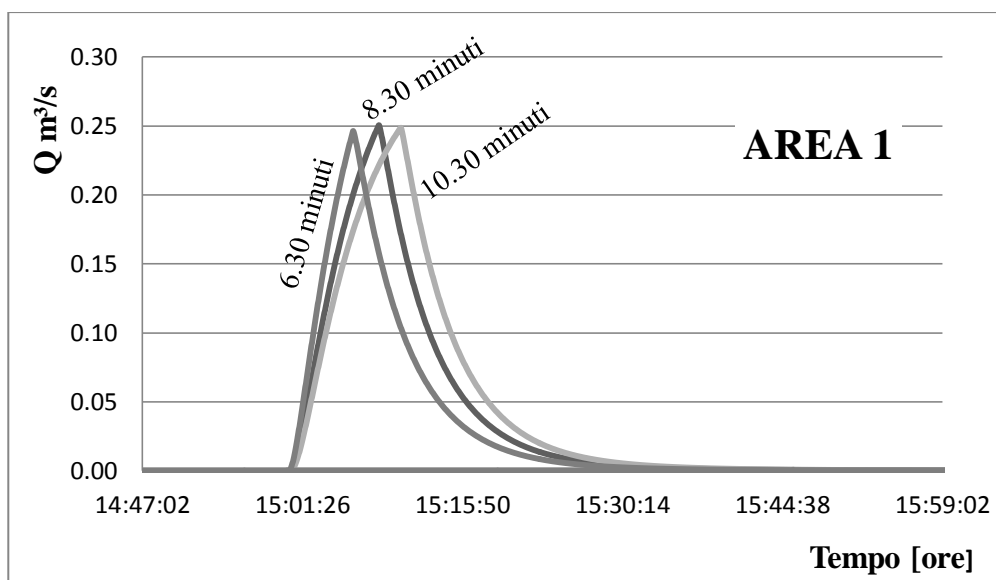


Grafico 5.1: esempio di idrogrammi di piena ottenuti mediante il modello geomorfologico a seguito della taratura. La taratura dei parametri del modello geomorfologico, per questo caso è stata eseguita imponendo che il tempo di precipitazione al quale corrisponde la massima portata sia pari a 8.30 minuti, che la portata massima sia pari a 0.249  $\text{m}^3/\text{s}$  e che il coefficiente di afflusso sia pari a 0.80, come ottenuti dalla applicazione del MIIL.

### 5.3 CONTROLLO DELLE PORTATE IN USCITA DALLE VASCHE DI LAMINAZIONE

I manufatti per il controllo delle portate all'interno delle vasche di laminazione sono stati dimensionati utilizzando la seguente curva caratteristica di scarico:

$$0 < h \leq p \quad Q(h) = 0; \quad (\text{Form.5.9})$$

$$p < h \leq p + 1.5a \quad Q(h) = b \cdot \left(\frac{2}{3} h - p\right) \cdot \sqrt{\frac{1}{3} 2g(h - p)}; \quad (\text{Form. 5.10})$$

$$h > p + 1.5a \quad Q(h) = b \cdot a \cdot C_c \sqrt{2g(h - a)}. \quad (\text{Form. 5.11})$$

Ovvero la portata in uscita dalla vasca di laminazione viene determinata in funzione della altezza idrometrica  $h$  nella vasca. Nella prima fase (Form 5.9), finché  $h$  è inferiore a “ $p$ ”, altezza di vasca adibita al solo invaso, la portata è nulla. Nella seconda fase (Form 5.10), quando il tirante idrico nella vasca è compreso tra il valore “ $p$ ” e la quota pari a “ $p + 1.5 a$ ” (quota che permette il passaggio nell’apertura in condizioni critiche) la portata è stimata attribuendo al moto la condizione di minimo di energia. Nella terza fase (Form 5.11), quando il tirante è maggiore di “ $p + 1.5 a$ ”, la portata è stimata nella ipotesi di luce in parete verticale, con coefficiente di contrazione pari a 0.61 (apertura di piccole dimensioni rispetto al tirante idrico, apertura di piccole dimensioni rispetto a “ $p$ ”, larghezza grande rispetto all’apertura). Chiamata “ $b$ ” la larghezza della luce e “ $a$ ” altezza della luce, si ottengono, per le diverse fasi, le portate descritte nelle formule 5.9, 5.10, 5.11.

Nella fase di modellazione sono state adottate nella VASCA1 (Tavola 2 allegata) una luce a battente in parete verticale di larghezza pari a 0.9 m e altezza 0.045 m, mentre nella VASCA2 viene adottata una luce a battente in parete verticale di larghezza 0.6 m e altezza 0.03 m. La profondità complessiva della VASCA1 è di 0.90 m, quella della VASCA2 è di 1.00 m. Il volume complessivo (somma dei volumi delle due vasche) è pari a 4978 m<sup>3</sup> (volume VASCA1 = 1178 m<sup>3</sup>; volume VASCA2 = 3800 m<sup>3</sup>), dello stesso ordine di grandezza di quello previsto dal

D.G.R.V 2948/09 pari a 4680 m<sup>3</sup> (vedi par. 6.). Il valore del parametro “p” è posto pari a 0.2 m sia per la VASCA1 che per la VASCA2. Nella VASCA1 alla quota idrometrica di 0.9 m la portata dello scarico è pari a 90 l/s. Nella VASCA2 alla quota idrometrica di 1.0 m la portata dello scarico è pari a 43 l/s.

## 6. VOLUMI VASCHE DI LAMINAZIONE: METODO CINEMATICO

In funzione della situazione futura si procede al calcolo delle misure compensative (volumi delle vasche di laminazione) mediante il metodo cinematico, convenzionalmente utilizzato e proposto dal D.G.R.V 2948/09.

Rifacendosi alla *Form* 3.2 per il calcolo del coefficiente udometrico e alla *Form*. 3.3 per il calcolo della portata massima, ai diversi tempi di precipitazione, si ricava il volume di invaso considerando una portata dello scarico pari ai 5 litri/s·ha, per valori di precipitazione al tempo di ritorno di 50 anni. I parametri adottati e il risultato finale sono riportati nella seguente *Tab. 6.1* (le elaborazioni sono contenute nell'APPENDICE 1, *Tab. A1.1*).

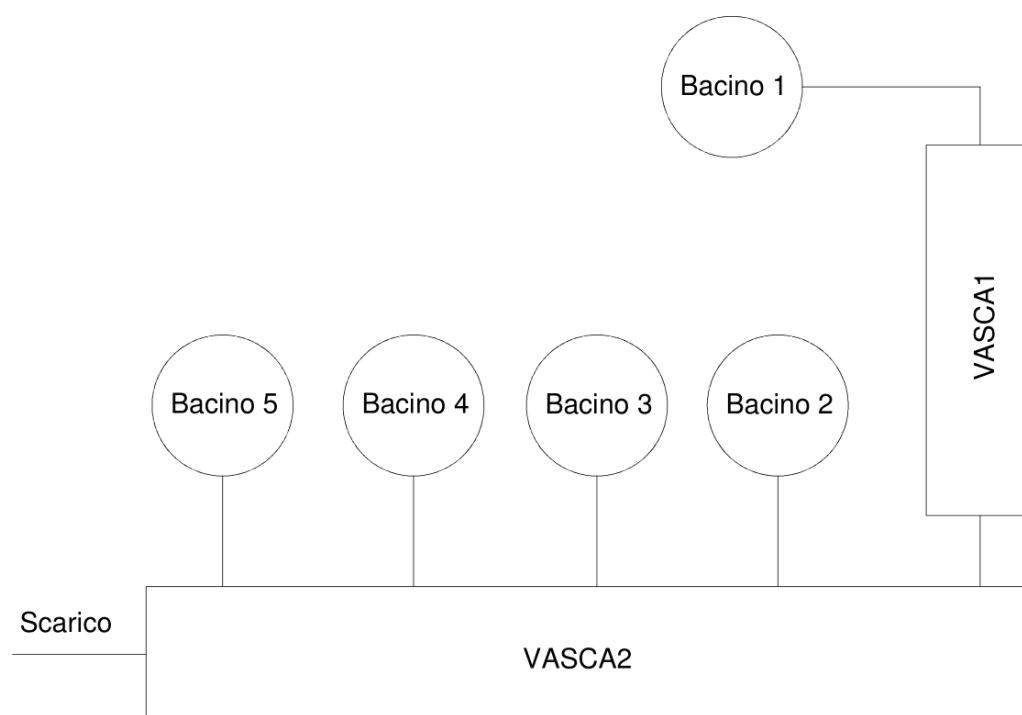
	<i>Tr</i>	<i>50 anni</i>
<i>durata precipitazione &lt; 1 ora</i>	<i>a (mm/ore<sup>n</sup>)</i>	<b>77.84</b>
	<i>n</i>	<b>0.546</b>
<i>durata precipitazione &gt; 1 ora</i>	<i>a (mm/ore<sup>n</sup>)</i>	<b>68.93</b>
	<i>n</i>	<b>0.2759</b>
<i>coeff. deflusso</i>	<i>[-]</i>	<b>0.73</b>
<i>superficie</i>	<i>[m<sup>2</sup>]</i>	<b>59057</b>
<i>Volume invaso</i>	<i>[m<sup>3</sup>]</i>	<b>4679.96</b>
<i>Volume invaso specifico</i>	<i>[m<sup>3</sup>/ha]</i>	<b>792.45</b>
<i>tempo di pioggia</i>	<i>[ore]</i>	<b>16.75</b>

*Tab. 6.1: dati riassuntivi per il calcolo del volume di invaso con il modello cinematico, come richiesto dal D.G.R.V 2948/09.*

Nei *Grafico A1.1* e *Grafico A1.2* sono rappresentati, rispettivamente, i volumi di invaso richiesti secondo le indicazioni del D.G.R.V 2948/09 e le portate massime ottenute mediante la applicazione del modello cinematico, al variare del tempo di pioggia.

## 7. RISULTATI MODELLO GEOMORFOLOGICO

Il modello geomorfologico è stato applicato al sistema di condotte e vasche sopra descritto e rappresentato nel *Grafico 7.0*. La VASCA2 è collocata alla quota più bassa e riceve l'acqua dalla VASCA1 e dai Sotto-bacini 2 (Area7 di Tavola1), 3 (Area6 + Area5 di Tavola1), 4 (Area3 + Area4 di Tavola1), 5 (tratto stradale tra pozzetto 17 e pozzetto 15 di Tavola1) per caduta. Nella VASCA1 afferisce, per caduta, l'acqua del Sotto-bacino 1 (Area1 + Area2 di Tavola1).



*Grafico 7.0: schema della rete della fognatura bianca e dei collegamenti con le vasche di laminazione adottato nel modello geomorfologico.*

Nei Grafici 7.1, 7.2, 7.3 sono rappresentati alcuni risultati ottenuti dalle elaborazioni al tempo di ritorno di 10 anni e per tempi di precipitazione di 2 ore, 5 ore, 10 ore. Vengono riportati gli idrogrammi in ingresso e in uscita dalla VASCA1 e dalla VASCA2 e le altezze idrometriche nelle vasche, riferite al fondo delle stesse. Al tempo di precipitazione di 2 ore il sistema fornisce una portata in uscita dalla VASCA2 sempre inferiore a quella imposta (pari a 29.5 l/s).



Al tempo di precipitazione di 5 ore e di 10 ore le portate massime in uscita sono dell'ordine di 45 l/s e quindi superiori al limite imposto (una valutazione eseguita sul valore medio della portata nel tempo fornisce, invece, valori prossimi al valore limite imposto). La VASCA2 è completamente riempita, mentre il volume della VASCA1 (di volume circa 1/3 della VASCA2) è stato utilizzato per circa la metà. Alla luce dei risultati ottenuti, pur considerando che in questa fase non è stata definita una configurazione ottimale dei parametri di progetto, si deve considerare che al tempo di ritorno di 10 anni il volume previsto dal D.G.R.V 2948/09 non è sufficiente a lunghi tempi di precipitazione, al fine di rispettare i limiti imposti alla portata uscente. Considerazioni molto diverse possono essere fatte nel caso in cui il limite della portata in uscita possa essere definito come valore medio nel tempo (procedura adottata con il modello cinematico).

Nei Grafici 7.4, 7.5, 7.6, 7.7 sono rappresentati alcuni risultati ottenuti dalle elaborazioni al tempo di ritorno di 50 anni e per tempi di precipitazione di 6 ore, 8 ore, 10 ore, 15 ore. Anche in questo caso il volume della VASCA1 non viene utilizzato in modo ottimale. All'aumentare del tempo di precipitazione, da 6 ore a 15 ore, il volume non utilizzato passa dal 15% circa al 50% circa. La VASCA2, invece, mostra quote idrometriche massime al tempo di precipitazione di 15 ore pari a circa 1.5m, ben al di là della quota di progetto (1m). In queste condizioni le portate massime, 50 l/s – 60 l/s, in uscita sono ben superiori a quelle limite imposte, mentre i valori medi delle portate si avvicinano molto, come nel caso al tempo di ritorno di 10 anni, al limite stabilito.

In definitiva, benché il sistema di smaltimento delle acque di pioggia debba essere ottimizzato, appare chiaro come il limite di portata massima imposto dal Consorzio di Bonifica Delta del Po non possa essere conservato con i volumi proposti dal D.G.R.V 2948/09.

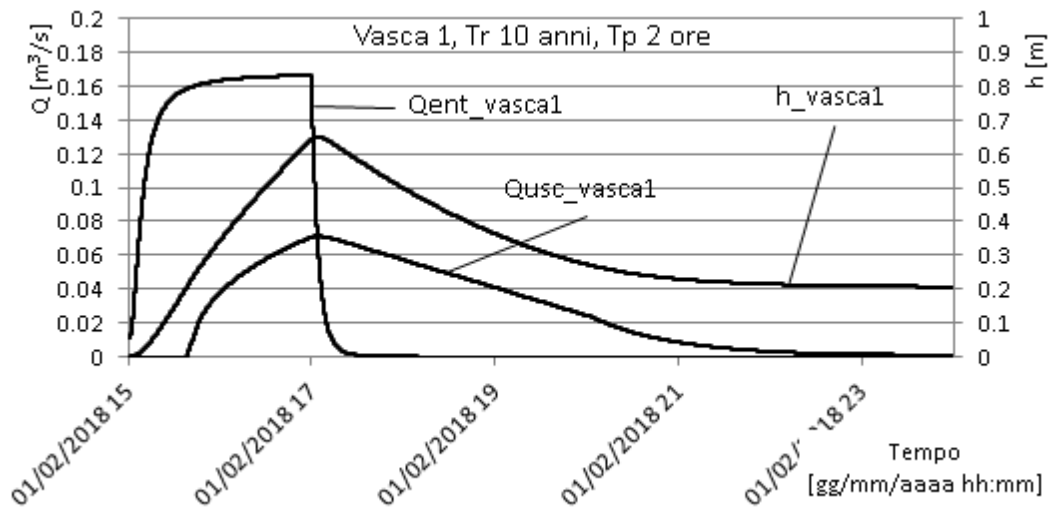


Grafico 7.1a: valori della portata in uscita, portata in entrata e altezza idrometrica della vasca 1, al  $T_R$  di 10 anni per un tempo di pioggia di 2 ore.

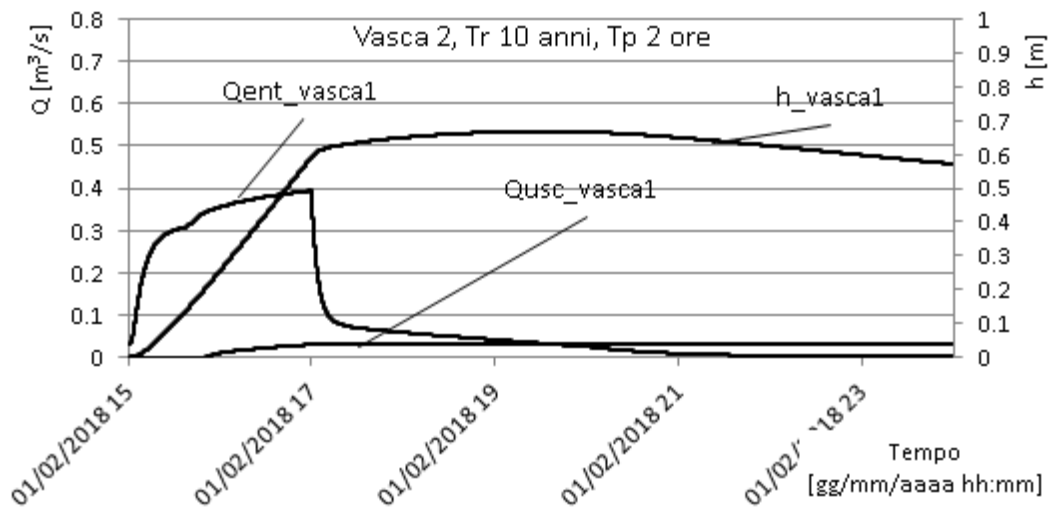


Grafico 7.1b: valori della portata in uscita, portata in entrata e altezza idrometrica della vasca 2, al  $T_R$  di 10 anni per un tempo di pioggia di 2 ore.

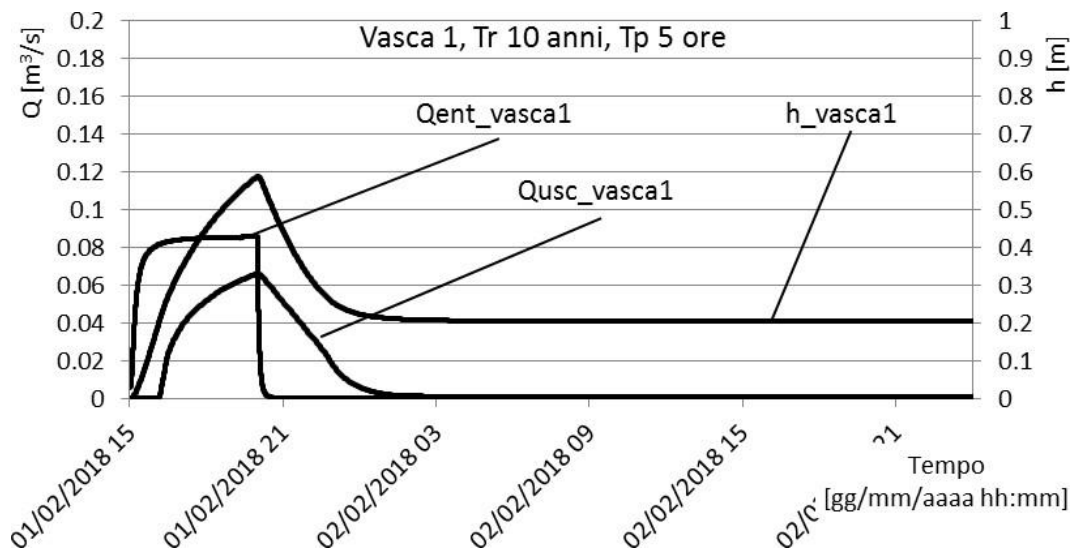


Grafico 7.2a: valori della portata in uscita, portata in entrata e altezza idrometrica della vasca 1, al  $T_R$  di 10 anni per un tempo di pioggia di 5 ore.

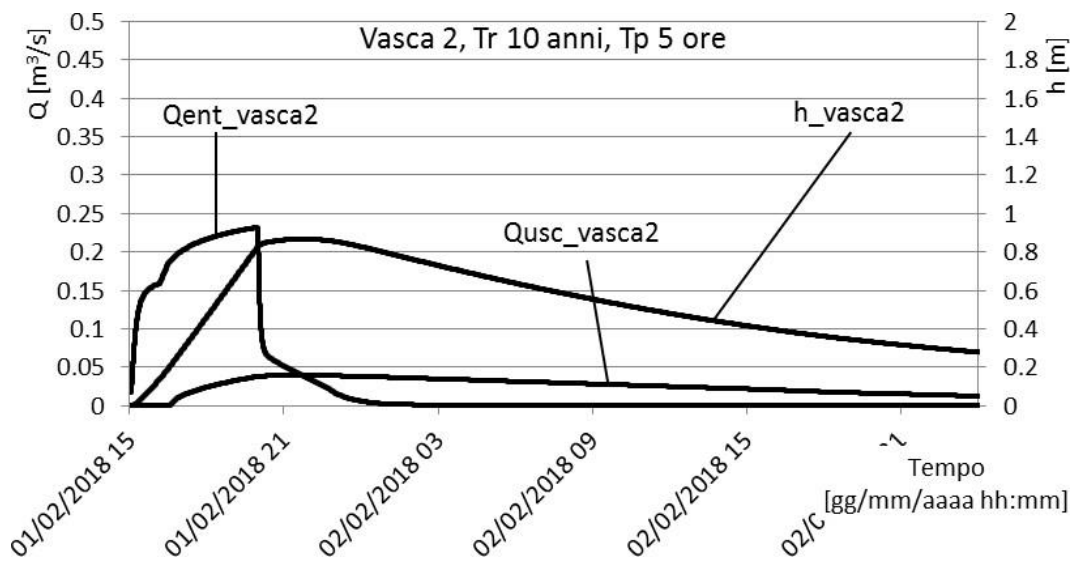


Grafico 7.2b: valori della portata in uscita, portata in entrata e altezza idrometrica della vasca 1, al  $T_R$  di 10 anni per un tempo di pioggia di 5 ore.

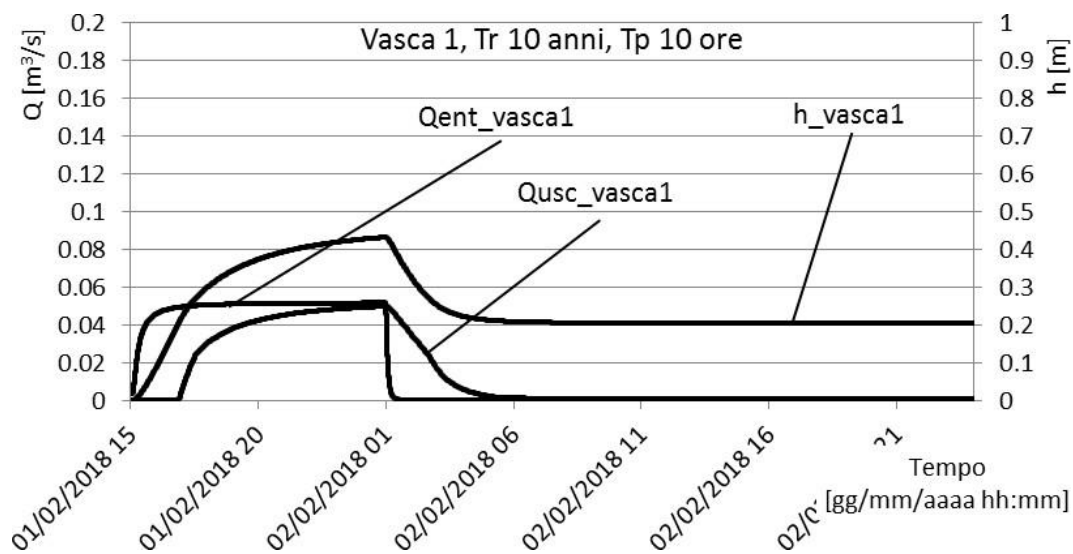


Grafico 7.3a: valori della portata in uscita, portata in entrata e altezza idrometrica della vasca 1, al  $T_R$  di 10 anni per un tempo di pioggia di 10 ore.

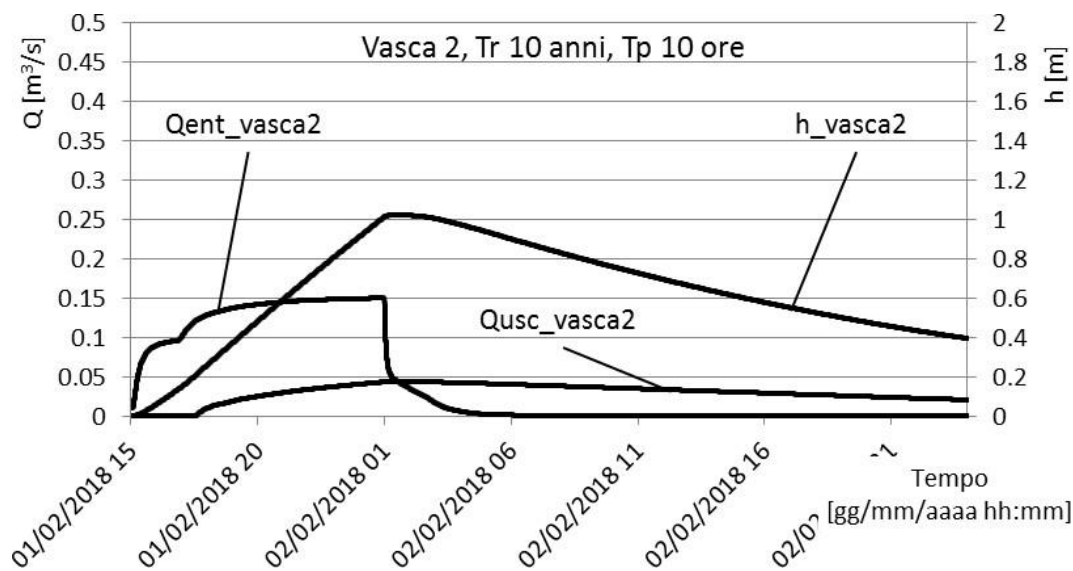


Grafico 7.3b: valori della portata in uscita, portata in entrata e altezza idrometrica della vasca 1, al  $T_R$  di 10 anni per un tempo di pioggia di 10 ore.

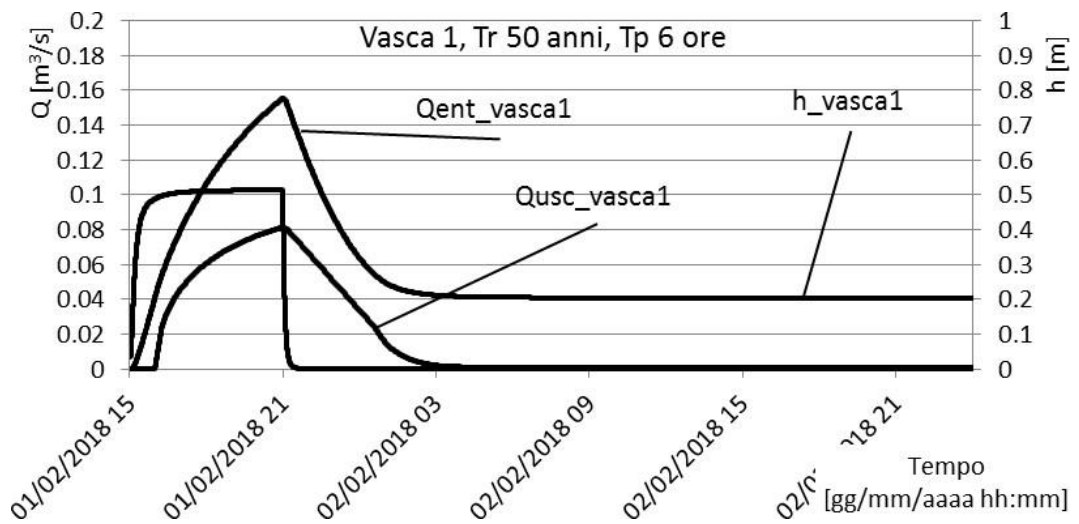


Grafico 7.4a: valori della portata in uscita, portata in entrata e altezza idrometrica della vasca 1, al  $T_R$  di 50 anni per un tempo di pioggia di 6 ore.

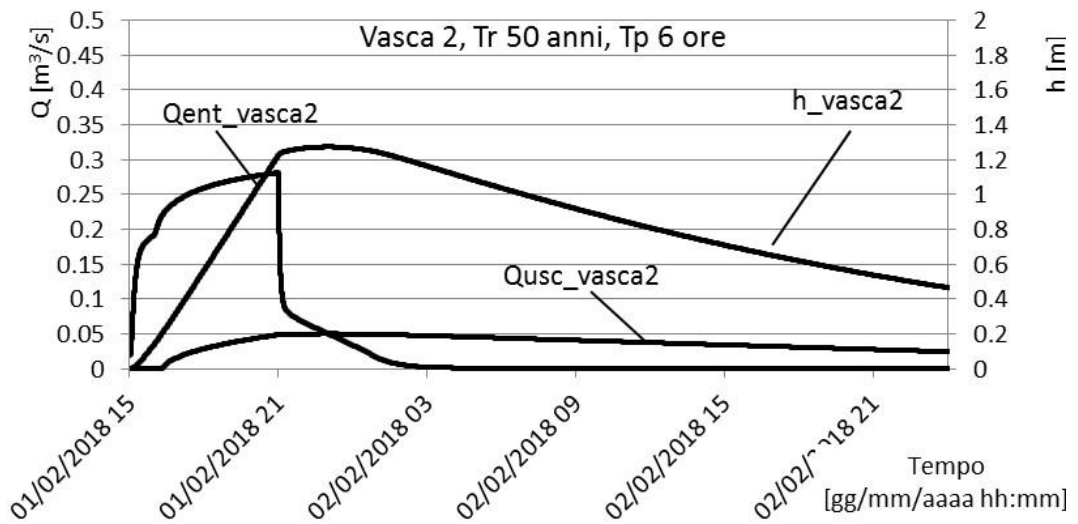


Grafico 7.4b: valori della portata in uscita, portata in entrata e altezza idrometrica della vasca 2, al  $T_R$  di 50 anni per un tempo di pioggia di 6 ore.

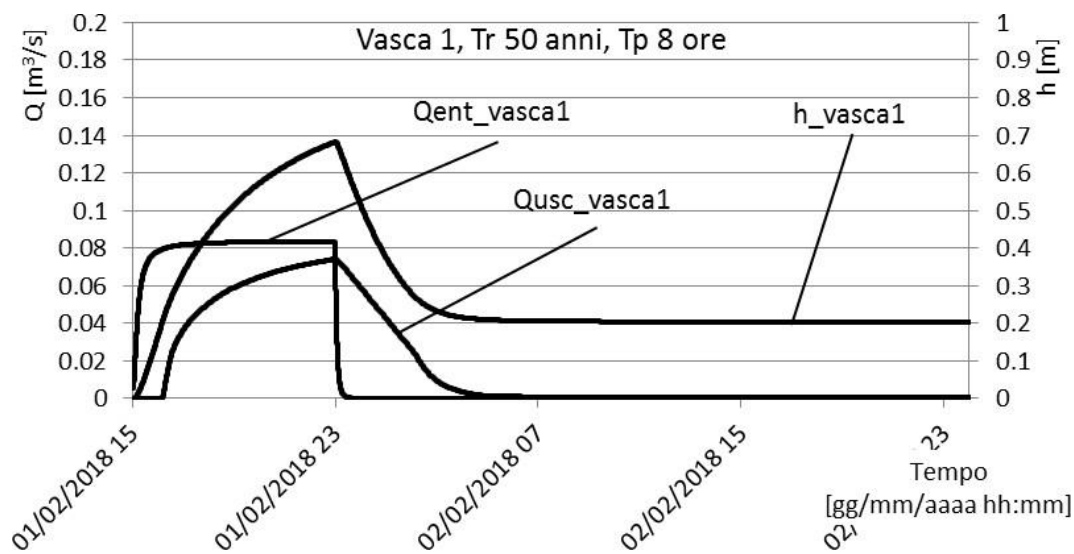


Grafico 7.5a: valori della portata in uscita, portata in entrata e altezza idrometrica della vasca 1, al  $T_R$  di 50 anni per un tempo di pioggia di 8 ore.

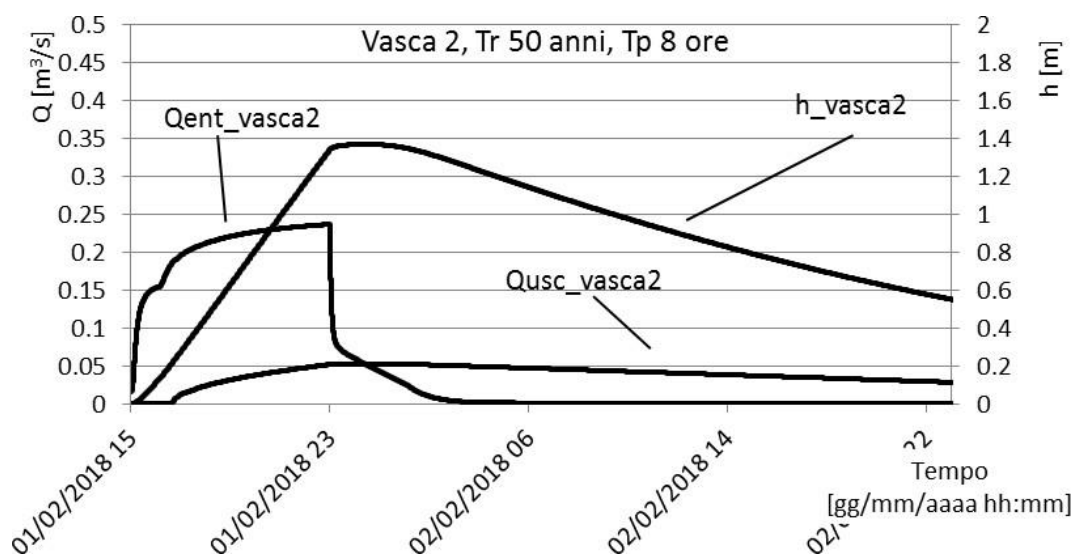


Grafico 7.5b: valori della portata in uscita, portata in entrata e altezza idrometrica della vasca 2, al  $T_R$  di 50 anni per un tempo di pioggia di 8 ore.

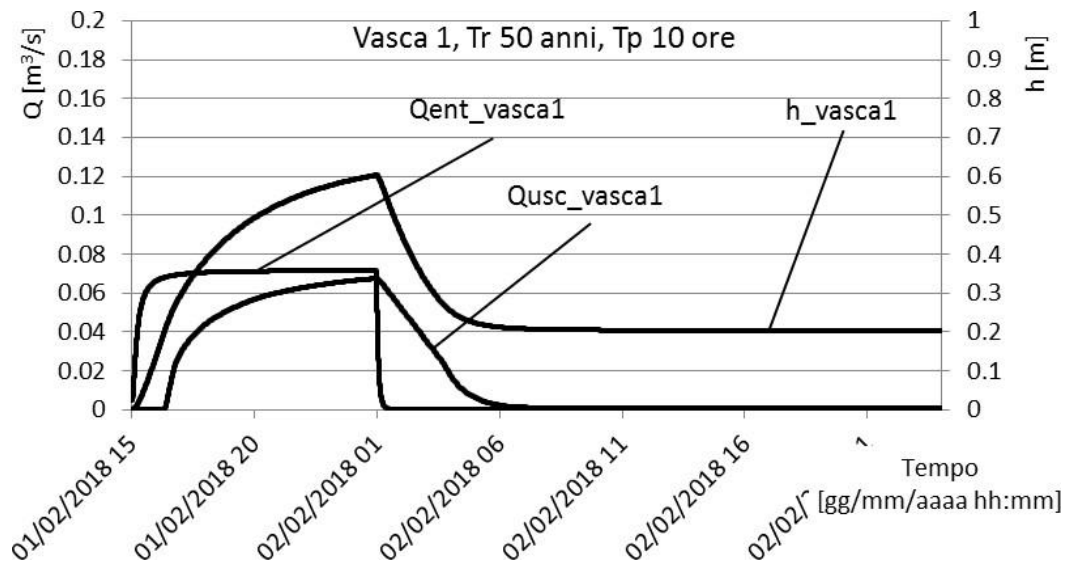


Grafico 7.6a: valori della portata in uscita, portata in entrata e altezza idrometrica della vasca 1, al  $T_R$  di 50 anni per un tempo di pioggia di 10 ore.

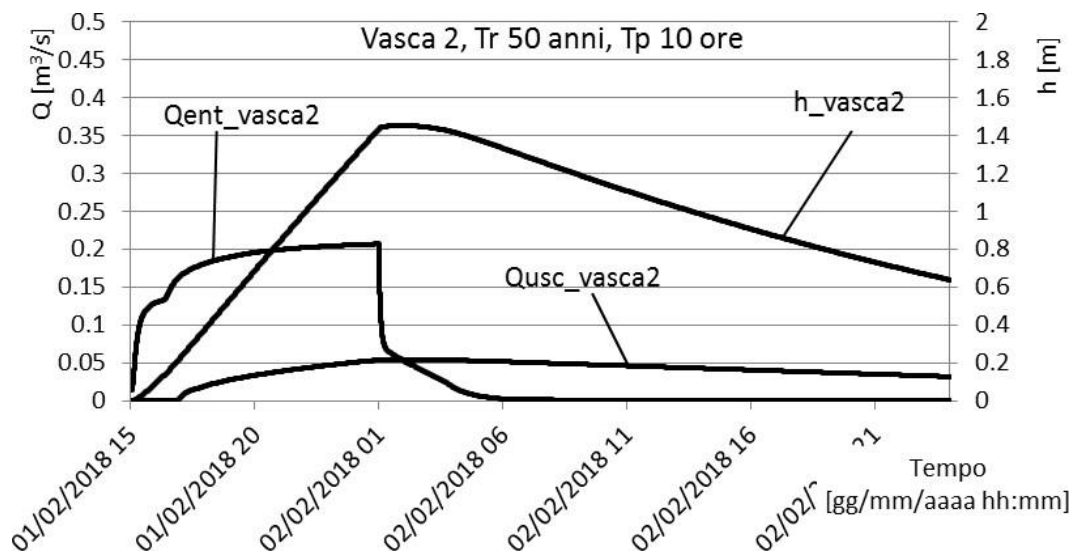


Grafico 7.6b: valori della portata in uscita, portata in entrata e altezza idrometrica della vasca 2, al  $T_R$  di 50 anni per un tempo di pioggia di 10 ore.

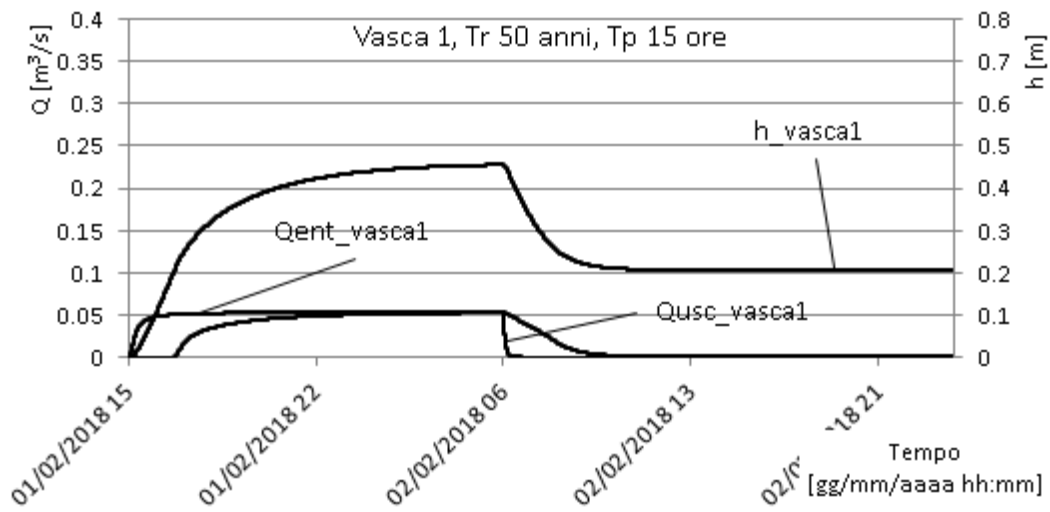


Grafico 7.7a: valori della portata in uscita, portata in entrata e altezza idrometrica della vasca 1, al  $T_R$  di 50 anni per un tempo di pioggia di 50 ore.

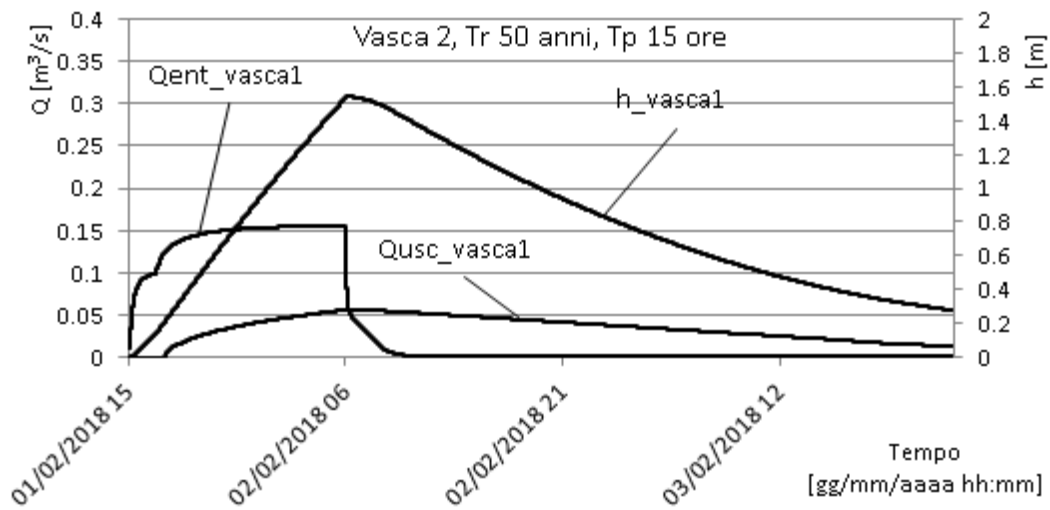


Grafico 7.7b: valori della portata in uscita, portata in entrata e altezza idrometrica della vasca 2, al  $T_R$  di 50 anni per un tempo di pioggia di 15 ore.



## CONCLUSIONI

Nel presente lavoro di tesi ci si è posti l'obiettivo di valutare le procedure che vengono utilizzate nella Regione Veneto per la verifica della compatibilità idraulica in occasione della trasformazione d'uso di un terreno agricolo in terreno soggetto a lottizzazione a scopo edilizio.

La norma di riferimento è il D.R.G.V 2948/2009, che suggerisce la modalità di calcolo dei volumi da attribuire alle vasche di laminazione a seguito di una variazione urbanistica.

Nella prima fase di lavoro, dopo aver reperito i dati pluviometrici relativi alle stazioni pluviografiche di Pradon di Porto Tolle e Po di Tramontana di Rosolina, sono state calcolate le curve di possibilità pluviometrica ai tempi di ritorno di 10 anni e 50 anni. Dal loro confronto si è scelto di procedere all'elaborazione dei calcoli successivi in funzione dei dati di pioggia della stazione Rosolina in quanto più gravosi. Successivamente è stata sviluppata la rete fognaria per le acque bianche mediante il modello dell'invaso italiano lineare asincrono, al tempo di ritorno di dieci anni.

I risultati della progettazione della rete fognaria sono stati utilizzati per la taratura di un modello geomorfologico della stessa rete, che fornisce, oltre ai massimi di portata, anche l'idrogramma di piena delle diverse componenti del sistema.

Il nuovo sistema fognario è stato poi integrato con le vasche di laminazione ed elaborato con il modello geomorfologico, integrato con le equazioni dei serbatoi, al tempo di ritorno di 10 anni e di 50 anni.

Benché le elaborazioni eseguite necessitino di un affinamento nella definizione dei parametri progettuali delle vasche di laminazione, i risultati ottenuti mostrano come i volumi, convenzionalmente stimati per la laminazione, siano ragionevoli per il tempo di ritorno di 10 anni, ma significativamente insufficienti al tempo di ritorno di 50 anni.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Gupta, V.K., Waymire, E., Wang, C.T., 1980, A representation of an Instantaneous Unit Hydrograph From Geomorfology, Water Resources Research, vol. 16, No. 5, p. 855-862.
- Iturbe, I.R., Valdes, J. B., 1979, The Geomorfologic structure of Hydrologic Response, Water Resources Research, vol. 15, No. 6, p. 1409-1420.
- Scotton, P., Appunti del corso di Sistemazione dei Bacini Idrografici, Corso di Laurea Magistrale in Geologia e Geologia Tecnica, a.a. 2014-2015, Università di Padova;
- Scotton P., Scotton S., Campestrini S, 2001, Un modello geomorfologico per la trasformazione degli afflussi in deflussi.
- Scotton, P., Appunti del corso di Idrologia e Idraulica, Corso di Laurea Magistrale in Geologia e Geologia Tecnica, a.a. 2014-2015, Università di Padova;
- Maione, U., Moisello, U., 1981, Appunti di Idrologia: introduzione alle elaborazioni statistiche, La Gogliardica Pavese.
- Tonini, D., 1959, Elementi di Idrografia ed Idrologia, vol. 1, Istituto di Idraulica dell'Università di Padova
- Tonini, D., 1959, Elementi di Idrografia ed Idrologia, vol. 2, Istituto di Idraulica dell'Università di Padova.
- Artina S. et alii, 1997, Sistemi di Fognatura, Manuale di Progettazione, Centro Studi Deflussi Urbani, Hoepli, ISBN 88-203-2442-3.
- Luigi Da Deppo e .Claudio Datei, Fognature, Libreria Internazionale Cortina Padova, ISBN 88-7784-242-3.

## APPENDICE 1

### CALCOLO VOLUME DI INVASO - METODO CINEMATICO

Si riportano di seguito i calcoli eseguiti per il volume di invaso considerando la portata in uscita pari ai 5 l/s/ha.

<b>tp</b>	<b>tp</b>	<b>h</b>	<b>u</b>	<b>Q e</b>	<b>Q e</b>	<b>Ve vasca</b>	<b>Qu vasca</b>	<b>Vu vasca</b>	<b>V invaso</b>
[minuti]	[ore]	[mm]	[l/s ha]	[l/s]	[m <sup>3</sup> /h]	[m <sup>3</sup> ]	[l/s ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
10	0.167	29.26	355.68	2100.56	7562.02	1260.34	29.53	17.72	1242.62
15	0.250	36.52	295.88	1747.39	6290.60	1572.65	29.53	26.58	1546.07
20	0.333	42.73	259.65	1533.44	5520.39	1840.13	29.53	35.43	1804.70
25	0.417	48.26	234.64	1385.70	4988.53	2078.56	29.53	44.29	2034.26
30	0.500	53.31	216.00	1275.62	4592.24	2296.12	29.53	53.15	2242.97
35	0.583	59.41	206.29	1218.31	4385.93	2558.46	29.53	62.01	2496.45
40	0.667	61.63	187.28	1106.03	3981.71	2654.48	29.53	70.87	2583.61
45	0.750	63.67	171.97	1015.61	3656.20	2742.15	29.53	79.73	2662.43
50	0.833	65.55	159.34	941.01	3387.64	2823.03	29.53	88.59	2734.45
55	0.917	67.29	148.71	878.26	3161.73	2898.25	29.53	97.44	2800.81
60	1.000	68.93	139.63	824.63	2968.67	2968.67	29.53	106.30	2862.37
65	1.083	70.47	131.77	778.20	2801.50	3034.96	29.53	115.16	2919.80
70	1.167	71.92	124.89	737.54	2655.13	3097.65	29.53	124.02	2973.63
75	1.250	73.31	118.80	701.60	2525.75	3157.18	29.53	132.88	3024.31
80	1.333	74.62	113.38	669.56	2410.43	3213.90	29.53	141.74	3072.17
85	1.417	75.88	108.51	640.81	2306.90	3268.11	29.53	150.60	3117.52
90	1.500	77.09	104.11	614.83	2213.37	3320.06	29.53	159.45	3160.61
95	1.583	78.25	100.11	591.22	2128.39	3369.96	29.53	168.31	3201.64
100	1.667	79.36	96.46	569.66	2050.79	3417.99	29.53	177.17	3240.82
105	1.750	80.44	93.11	549.89	1979.60	3464.31	29.53	186.03	3278.28
110	1.833	81.48	90.03	531.68	1914.03	3509.06	29.53	194.89	3314.17
115	1.917	82.48	87.18	514.83	1853.41	3552.36	29.53	203.75	3348.61
120	2.000	83.46	84.53	499.21	1797.16	3594.32	29.53	212.61	3381.71
125	2.083	84.40	82.07	484.67	1744.81	3635.03	29.53	221.46	3413.57
130	2.167	85.32	79.77	471.10	1695.96	3674.58	29.53	230.32	3444.25
135	2.250	86.21	77.62	458.40	1650.24	3713.04	29.53	239.18	3473.86
140	2.333	87.08	75.60	446.49	1607.35	3750.48	29.53	248.04	3502.44
145	2.417	87.93	73.71	435.28	1567.02	3786.97	29.53	256.90	3530.07
150	2.500	88.76	71.92	424.73	1529.02	3822.56	29.53	265.76	3556.80
155	2.583	89.56	70.23	414.76	1493.15	3857.30	29.53	274.62	3582.68
160	2.667	90.35	68.63	405.34	1459.21	3891.23	29.53	283.47	3607.76
165	2.750	91.12	67.12	396.40	1427.06	3924.41	29.53	292.33	3632.08
170	2.833	91.87	65.69	387.93	1396.54	3956.87	29.53	301.19	3655.67
175	2.917	92.61	64.32	379.87	1367.53	3988.64	29.53	310.05	3678.59
180	3.000	93.34	63.02	372.20	1339.92	4019.76	29.53	318.91	3700.85
185	3.083	94.04	61.79	364.89	1313.60	4050.26	29.53	327.77	3722.50

*continua*

190	3.167	94.74	60.60	357.91	1288.48	4080.17	29.53	336.62	3743.55
195	3.250	95.42	59.47	351.24	1264.47	4109.52	29.53	345.48	3764.04
200	3.333	96.09	58.39	344.86	1241.50	4138.32	29.53	354.34	3783.98
205	3.417	96.75	57.36	338.75	1219.50	4166.61	29.53	363.20	3803.41
210	3.500	97.39	56.37	332.89	1198.40	4194.41	29.53	372.06	3822.35
215	3.583	98.02	55.42	327.27	1178.16	4221.73	29.53	380.92	3840.81
220	3.667	98.65	54.50	321.86	1158.71	4248.59	29.53	389.78	3858.81
225	3.750	99.26	53.62	316.67	1140.00	4275.01	29.53	398.63	3876.38
230	3.833	99.87	52.77	311.67	1122.00	4301.02	29.53	407.49	3893.52
235	3.917	100.46	51.96	306.85	1104.67	4326.61	29.53	416.35	3910.26
240	4.000	101.05	51.17	302.21	1087.95	4351.82	29.53	425.21	3926.61
245	4.083	101.62	50.41	297.73	1071.83	4376.64	29.53	434.07	3942.58
250	4.167	102.19	49.68	293.41	1056.27	4401.11	29.53	442.93	3958.18
255	4.250	102.75	48.97	289.23	1041.23	4425.22	29.53	451.79	3973.43
260	4.333	103.30	48.29	285.19	1026.69	4448.99	29.53	460.64	3988.35
265	4.417	103.85	47.63	281.29	1012.63	4472.43	29.53	469.50	4002.93
270	4.500	104.38	46.99	277.50	999.01	4495.56	29.53	478.36	4017.20
275	4.583	104.91	46.37	273.84	985.83	4518.38	29.53	487.22	4031.15
280	4.667	105.44	45.77	270.29	973.05	4540.89	29.53	496.08	4044.81
285	4.750	105.95	45.19	266.85	960.66	4563.12	29.53	504.94	4058.18
290	4.833	106.46	44.62	263.51	948.64	4585.07	29.53	513.80	4071.27
295	4.917	106.96	44.07	260.27	936.97	4606.75	29.53	522.65	4084.09
300	5.000	107.46	43.54	257.12	925.63	4628.16	29.53	531.51	4096.64
305	5.083	107.95	43.02	254.06	914.62	4649.31	29.53	540.37	4108.94
310	5.167	108.44	42.52	251.09	903.91	4670.22	29.53	549.23	4120.99
315	5.250	108.92	42.03	248.19	893.50	4690.88	29.53	558.09	4132.79
320	5.333	109.39	41.55	245.38	883.37	4711.31	29.53	566.95	4144.36
325	5.417	109.86	41.09	242.64	873.51	4731.50	29.53	575.81	4155.70
330	5.500	110.33	40.63	239.97	863.90	4751.47	29.53	584.66	4166.81
335	5.583	110.78	40.19	237.37	854.55	4771.23	29.53	593.52	4177.71
340	5.667	111.24	39.77	234.84	845.43	4790.77	29.53	602.38	4188.39
345	5.750	111.69	39.35	232.37	836.54	4810.11	29.53	611.24	4198.87
350	5.833	112.13	38.94	229.96	827.87	4829.24	29.53	620.10	4209.14
355	5.917	112.57	38.54	227.61	819.41	4848.18	29.53	628.96	4219.22
360	6.000	113.01	38.15	225.32	811.15	4866.92	29.53	637.82	4229.10
365	6.083	113.44	37.77	223.08	803.09	4885.48	29.53	646.67	4238.80
370	6.167	113.86	37.40	220.89	795.22	4903.85	29.53	655.53	4248.32
375	6.250	114.29	37.04	218.76	787.53	4922.05	29.53	664.39	4257.65
380	6.333	114.70	36.69	216.67	780.01	4940.07	29.53	673.25	4266.82
385	6.417	115.12	36.34	214.63	772.66	4957.91	29.53	682.11	4275.81
390	6.500	115.53	36.00	212.63	765.48	4975.60	29.53	690.97	4284.63
395	6.583	115.94	35.67	210.68	758.45	4993.11	29.53	699.83	4293.29
400	6.667	116.34	35.35	208.77	751.57	5010.47	29.53	708.68	4301.79
405	6.750	116.74	35.03	206.90	744.84	5027.68	29.53	717.54	4310.13
410	6.833	117.13	34.72	205.07	738.25	5044.72	29.53	726.40	4318.32
415	6.917	117.53	34.42	203.28	731.80	5061.62	29.53	735.26	4326.36
420	7.000	117.92	34.12	201.52	725.48	5078.38	29.53	744.12	4334.26
425	7.083	118.30	33.83	199.80	719.29	5094.98	29.53	752.98	4342.01
430	7.167	118.68	33.55	198.12	713.23	5111.45	29.53	761.84	4349.62
435	7.250	119.06	33.27	196.47	707.28	5127.78	29.53	770.69	4357.09
440	7.333	119.44	32.99	194.85	701.45	5143.98	29.53	779.55	4364.42
445	7.417	119.81	32.72	193.26	695.74	5160.04	29.53	788.41	4371.63
450	7.500	120.18	32.46	191.70	690.13	5175.97	29.53	797.27	4378.70

*continua*

450	7.500	120.18	32.46	191.70	690.13	5175.97	29.53	797.27	4378.70
455	7.583	120.55	32.20	190.17	684.63	5191.77	29.53	806.13	4385.65
460	7.667	120.91	31.95	188.68	679.23	5207.45	29.53	814.99	4392.47
465	7.750	121.27	31.70	187.20	673.94	5223.01	29.53	823.85	4399.16
470	7.833	121.63	31.45	185.76	668.74	5238.44	29.53	832.70	4405.74
475	7.917	121.99	31.21	184.34	663.63	5253.76	29.53	841.56	4412.20
480	8.000	122.34	30.98	182.95	658.62	5268.96	29.53	850.42	4418.54
485	8.083	122.69	30.75	181.58	653.70	5284.05	29.53	859.28	4424.77
490	8.167	123.04	30.52	180.24	648.86	5299.02	29.53	868.14	4430.88
495	8.250	123.38	30.30	178.92	644.11	5313.88	29.53	877.00	4436.89
500	8.333	123.73	30.08	177.62	639.44	5328.64	29.53	885.86	4442.78
505	8.417	124.07	29.86	176.35	634.85	5343.29	29.53	894.71	4448.57
510	8.500	124.40	29.65	175.09	630.33	5357.83	29.53	903.57	4454.26
515	8.583	124.74	29.44	173.86	625.90	5372.27	29.53	912.43	4459.84
520	8.667	125.07	29.23	172.65	621.53	5386.61	29.53	921.29	4465.32
525	8.750	125.40	29.03	171.46	617.24	5400.85	29.53	930.15	4470.71
530	8.833	125.73	28.83	170.28	613.02	5415.00	29.53	939.01	4475.99
535	8.917	126.06	28.64	169.13	608.86	5429.04	29.53	947.86	4481.18
540	9.000	126.38	28.45	167.99	604.78	5442.99	29.53	956.72	4486.27
545	9.083	126.70	28.26	166.88	600.75	5456.85	29.53	965.58	4491.27
550	9.167	127.02	28.07	165.78	596.79	5470.62	29.53	974.44	4496.18
555	9.250	127.34	27.89	164.69	592.90	5484.30	29.53	983.30	4501.00
560	9.333	127.66	27.71	163.63	589.06	5497.88	29.53	992.16	4505.73
565	9.417	127.97	27.53	162.58	585.28	5511.38	29.53	1001.02	4510.37
570	9.500	128.28	27.35	161.54	581.56	5524.80	29.53	1009.87	4514.92
575	9.583	128.59	27.18	160.53	577.89	5538.12	29.53	1018.73	4519.39
580	9.667	128.90	27.01	159.52	574.28	5551.37	29.53	1027.59	4523.78
585	9.750	129.20	26.84	158.53	570.72	5564.53	29.53	1036.45	4528.08
590	9.833	129.51	26.68	157.56	567.21	5577.61	29.53	1045.31	4532.31
595	9.917	129.81	26.52	156.60	563.76	5590.62	29.53	1054.17	4536.45
600	10.000	130.11	26.36	155.65	560.35	5603.54	29.53	1063.03	4540.51
605	10.083	130.41	26.20	154.72	557.00	5616.38	29.53	1071.88	4544.50
610	10.167	130.70	26.04	153.80	553.69	5629.15	29.53	1080.74	4548.41
615	10.250	131.00	25.89	152.90	550.42	5641.84	29.53	1089.60	4552.24
620	10.333	131.29	25.74	152.00	547.21	5654.46	29.53	1098.46	4556.00
625	10.417	131.58	25.59	151.12	544.03	5667.01	29.53	1107.32	4559.69
630	10.500	131.87	25.44	150.25	540.90	5679.48	29.53	1116.18	4563.30
635	10.583	132.16	25.30	149.39	537.82	5691.88	29.53	1125.04	4566.84
640	10.667	132.45	25.15	148.55	534.77	5704.21	29.53	1133.89	4570.31
645	10.750	132.73	25.01	147.71	531.76	5716.47	29.53	1142.75	4573.72
650	10.833	133.01	24.87	146.89	528.80	5728.66	29.53	1151.61	4577.05
655	10.917	133.30	24.73	146.08	525.87	5740.79	29.53	1160.47	4580.32
660	11.000	133.58	24.60	145.27	522.99	5752.84	29.53	1169.33	4583.51
665	11.083	133.85	24.46	144.48	520.14	5764.84	29.53	1178.19	4586.65
670	11.167	134.13	24.33	143.70	517.32	5776.76	29.53	1187.05	4589.72
675	11.250	134.41	24.20	142.93	514.54	5788.62	29.53	1195.90	4592.72
680	11.333	134.68	24.07	142.17	511.80	5800.42	29.53	1204.76	4595.66
685	11.417	134.95	23.95	141.42	509.09	5812.16	29.53	1213.62	4598.54
690	11.500	135.22	23.82	140.67	506.42	5823.83	29.53	1222.48	4601.35
695	11.583	135.49	23.70	139.94	503.78	5835.45	29.53	1231.34	4604.11
700	11.667	135.76	23.57	139.21	501.17	5847.00	29.53	1240.20	4606.80
705	11.750	136.03	23.45	138.50	498.59	5858.49	29.53	1249.06	4609.44
710	11.833	136.29	23.33	137.79	496.05	5869.93	29.53	1257.91	4612.01

*continua*

710	11.833	136.29	23.33	137.79	496.05	5869.93	29.53	1257.91	4612.01
715	11.917	136.56	23.21	137.09	493.54	5881.30	29.53	1266.77	4614.53
720	12.000	136.82	23.10	136.40	491.05	5892.62	29.53	1275.63	4616.99
725	12.083	137.08	22.98	135.72	488.60	5903.88	29.53	1284.49	4619.39
730	12.167	137.34	22.87	135.05	486.17	5915.09	29.53	1293.35	4621.74
735	12.250	137.60	22.75	134.38	483.77	5926.24	29.53	1302.21	4624.03
740	12.333	137.86	22.64	133.72	481.41	5937.33	29.53	1311.07	4626.27
745	12.417	138.12	22.53	133.07	479.06	5948.37	29.53	1319.92	4628.45
750	12.500	138.37	22.42	132.43	476.75	5959.36	29.53	1328.78	4630.58
755	12.583	138.63	22.32	131.79	474.46	5970.30	29.53	1337.64	4632.66
760	12.667	138.88	22.21	131.17	472.20	5981.18	29.53	1346.50	4634.68
765	12.750	139.13	22.10	130.54	469.96	5992.01	29.53	1355.36	4636.65
770	12.833	139.38	22.00	129.93	467.75	6002.79	29.53	1364.22	4638.57
775	12.917	139.63	21.90	129.32	465.56	6013.52	29.53	1373.08	4640.44
780	13.000	139.88	21.80	128.72	463.40	6024.20	29.53	1381.93	4642.27
785	13.083	140.12	21.70	128.13	461.26	6034.83	29.53	1390.79	4644.04
790	13.167	140.37	21.60	127.54	459.15	6045.41	29.53	1399.65	4645.76
795	13.250	140.61	21.50	126.96	457.05	6055.94	29.53	1408.51	4647.43
800	13.333	140.86	21.40	126.38	454.98	6066.43	29.53	1417.37	4649.06
805	13.417	141.10	21.30	125.81	452.93	6076.86	29.53	1426.23	4650.64
810	13.500	141.34	21.21	125.25	450.91	6087.25	29.53	1435.09	4652.17
815	13.583	141.58	21.11	124.70	448.90	6097.60	29.53	1443.94	4653.65
820	13.667	141.82	21.02	124.14	446.92	6107.90	29.53	1452.80	4655.09
825	13.750	142.06	20.93	123.60	444.96	6118.15	29.53	1461.66	4656.49
830	13.833	142.30	20.84	123.06	443.01	6128.36	29.53	1470.52	4657.84
835	13.917	142.53	20.75	122.53	441.09	6138.52	29.53	1479.38	4659.14
840	14.000	142.77	20.66	122.00	439.19	6148.64	29.53	1488.24	4660.40
845	14.083	143.00	20.57	121.47	437.31	6158.72	29.53	1497.09	4661.62
850	14.167	143.23	20.48	120.96	435.44	6168.75	29.53	1505.95	4662.80
855	14.250	143.46	20.39	120.44	433.60	6178.74	29.53	1514.81	4663.93
860	14.333	143.70	20.31	119.94	431.77	6188.69	29.53	1523.67	4665.02
865	14.417	143.93	20.22	119.43	429.96	6198.59	29.53	1532.53	4666.06
870	14.500	144.15	20.14	118.94	428.17	6208.46	29.53	1541.39	4667.07
875	14.583	144.38	20.06	118.44	426.40	6218.28	29.53	1550.25	4668.04
880	14.667	144.61	19.97	117.96	424.64	6228.07	29.53	1559.10	4668.96
885	14.750	144.84	19.89	117.47	422.90	6237.81	29.53	1567.96	4669.85
890	14.833	145.06	19.81	116.99	421.18	6247.51	29.53	1576.82	4670.69
895	14.917	145.29	19.73	116.52	419.48	6257.18	29.53	1585.68	4671.50
900	15.000	145.51	19.65	116.05	417.79	6266.80	29.53	1594.54	4672.26
905	15.083	145.73	19.57	115.59	416.11	6276.39	29.53	1603.40	4672.99
910	15.167	145.95	19.49	115.13	414.46	6285.94	29.53	1612.26	4673.68
915	15.250	146.17	19.42	114.67	412.82	6295.45	29.53	1621.11	4674.33
920	15.333	146.39	19.34	114.22	411.19	6304.92	29.53	1629.97	4674.95
925	15.417	146.61	19.26	113.77	409.58	6314.35	29.53	1638.83	4675.52
930	15.500	146.83	19.19	113.33	407.98	6323.75	29.53	1647.69	4676.06
935	15.583	147.05	19.12	112.89	406.40	6333.11	29.53	1656.55	4676.57
940	15.667	147.27	19.04	112.45	404.84	6342.44	29.53	1665.41	4677.03
945	15.750	147.48	18.97	112.02	403.28	6351.73	29.53	1674.27	4677.46
950	15.833	147.70	18.90	111.60	401.75	6360.98	29.53	1683.12	4677.86
955	15.917	147.91	18.82	111.17	400.22	6370.20	29.53	1691.98	4678.22
960	16.000	148.12	18.75	110.75	398.71	6379.39	29.53	1700.84	4678.55
965	16.083	148.34	18.68	110.34	397.21	6388.54	29.53	1709.70	4678.84
970	16.167	148.55	18.61	109.93	395.73	6397.65	29.53	1718.56	4679.09

*continua*

970	16.167	148.55	18.61	109.93	395.73	6397.65	29.53	1718.56	4679.09
975	16.250	148.76	18.54	109.52	394.26	6406.74	29.53	1727.42	4679.32
980	16.333	148.97	18.48	109.11	392.80	6415.78	29.53	1736.28	4679.51
985	16.417	149.18	18.41	108.71	391.36	6424.80	29.53	1745.13	4679.66
990	16.500	149.39	18.34	108.31	389.93	6433.78	29.53	1753.99	4679.79
995	16.583	149.59	18.27	107.92	388.51	6442.73	29.53	1762.85	4679.88
1000	16.667	149.80	18.21	107.53	387.10	6451.64	29.53	1771.71	4679.93
1005	16.750	150.01	18.14	107.14	385.70	6460.53	29.53	1780.57	4679.96
1010	16.833	150.21	18.08	106.76	384.32	6469.38	29.53	1789.43	4679.95
1015	16.917	150.42	18.01	106.37	382.95	6478.20	29.53	1798.29	4679.91
1020	17.000	150.62	17.95	106.00	381.59	6486.99	29.53	1807.14	4679.85
1025	17.083	150.83	17.88	105.62	380.24	6495.75	29.53	1816.00	4679.74
1030	17.167	151.03	17.82	105.25	378.90	6504.47	29.53	1824.86	4679.61
1035	17.250	151.23	17.76	104.88	377.58	6513.17	29.53	1833.72	4679.45
1040	17.333	151.43	17.70	104.52	376.26	6521.84	29.53	1842.58	4679.26
1045	17.417	151.63	17.64	104.15	374.96	6530.47	29.53	1851.44	4679.04
1050	17.500	151.83	17.58	103.79	373.66	6539.08	29.53	1860.30	4678.78
1055	17.583	152.03	17.52	103.44	372.38	6547.65	29.53	1869.15	4678.50
1060	17.667	152.23	17.46	103.08	371.11	6556.20	29.53	1878.01	4678.19
1065	17.750	152.43	17.40	102.73	369.84	6564.72	29.53	1886.87	4677.85
1070	17.833	152.62	17.34	102.39	368.59	6573.21	29.53	1895.73	4677.48
1075	17.917	152.82	17.28	102.04	367.35	6581.67	29.53	1904.59	4677.08
1080	18.000	153.02	17.22	101.70	366.12	6590.10	29.53	1913.45	4676.65
1085	18.083	153.21	17.16	101.36	364.89	6598.50	29.53	1922.31	4676.20
1090	18.167	153.41	17.11	101.02	363.68	6606.88	29.53	1931.16	4675.72
1095	18.250	153.60	17.05	100.69	362.48	6615.23	29.53	1940.02	4675.20
1100	18.333	153.79	16.99	100.36	361.28	6623.55	29.53	1948.88	4674.67
1105	18.417	153.99	16.94	100.03	360.10	6631.84	29.53	1957.74	4674.10
1110	18.500	154.18	16.88	99.70	358.92	6640.11	29.53	1966.60	4673.51
1115	18.583	154.37	16.83	99.38	357.76	6648.34	29.53	1975.46	4672.89
1120	18.667	154.56	16.77	99.06	356.60	6656.56	29.53	1984.32	4672.24
1125	18.750	154.75	16.72	98.74	355.45	6664.74	29.53	1993.17	4671.57
1130	18.833	154.94	16.67	98.42	354.31	6672.90	29.53	2002.03	4670.87
1135	18.917	155.13	16.61	98.11	353.18	6681.04	29.53	2010.89	4670.14
1140	19.000	155.32	16.56	97.79	352.06	6689.14	29.53	2019.75	4669.39
1145	19.083	155.50	16.51	97.49	350.95	6697.22	29.53	2028.61	4668.62
1150	19.167	155.69	16.45	97.18	349.84	6705.28	29.53	2037.47	4667.81

Tab. A1.1: calcolo volume di invaso con il modello cinematico

LISTA SIMBOLI TAB. A.1.1:

$tp$ : tempo di precipitazione;

$h$ : altezza di precipitazione;

$u$ : coefficiente udometrico calcolato con la formula di Turazza (Form. 3.2).

$Q_e$ : portata entrante nella vasca;

$Q_u$ : portata uscente nella vasca;

$V_e$ : volume entrante nella vasca;

$V_u$ : volume uscente dalla vasca;

$V_{invaso}$ : volume di invaso.

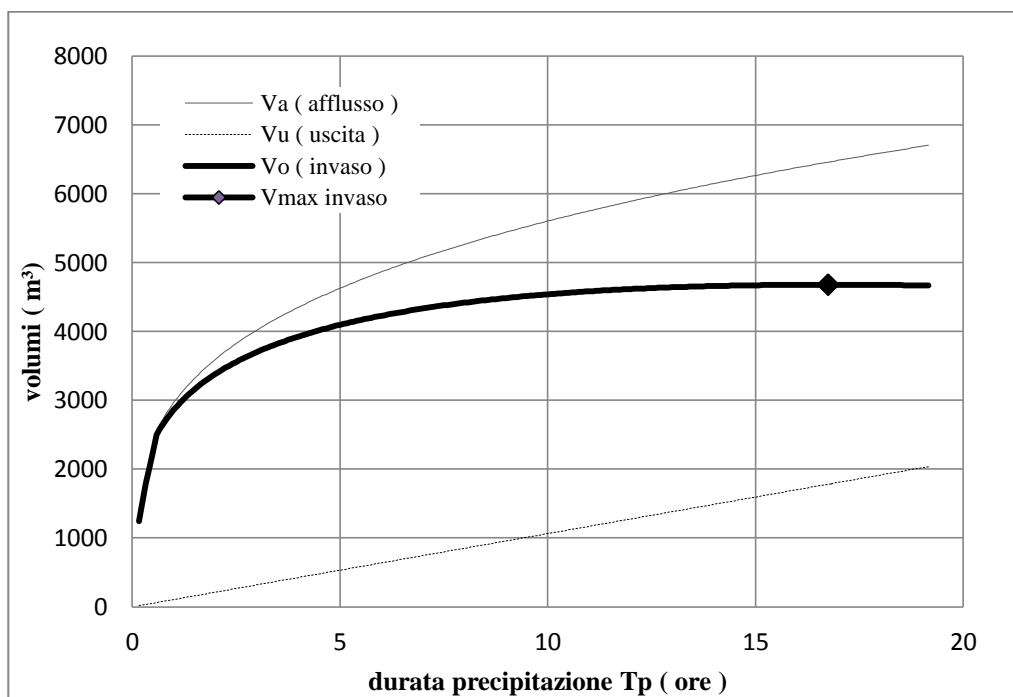


Grafico A1.1: diagramma dei volumi di invaso ( richiesti dal D.G.R.V 2948/09 ) al variare del tempo di pioggia.

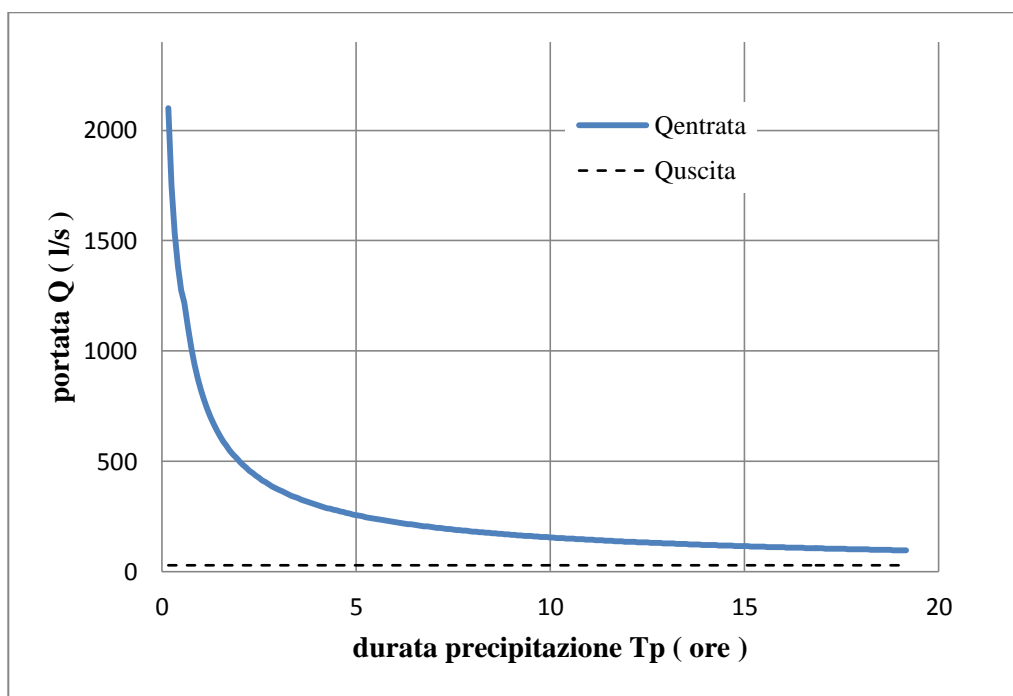


Grafico A1.2: diagramma delle portate massime ( $Q_{entrata}$ ) ottenute con il modello cinematico (Tab. A1.1), al variare del tempo di pioggia.



## APPENDICE 2

### TARATURA MODELLO GEOMORFOLOGICO

Si riporta di seguito i parametri geometrici utilizzati per il processo di taratura e i relativi parametri geomorfologici ottenuti, riferiti al rispettivo tratto di fognatura bianca.

Tratto	Tipo area	area successiva	Superficie	$\alpha$ iuh superficiale	lungh. tratto	$v$	DL	$\delta$ iuh transito	$\alpha$ iuh transito	CN
			[m <sup>2</sup> ]		[m]	[m/s]	[m <sup>2</sup> /s]			[-]
A1.1	sorgente	A1.3	1455	0.64	70	0.812	-	-	-	98.75
A1.2	sorgente	A1.4	3383	0.73	118	0.855	-	-	-	99
A1.3	transito	A1.4	3493	0.638	65	0.959	100	0.05	1.15	98.6
A1.4	transito	3-6	684	4	25	1.277	100	0.05	1.6	94.9
A2.1	sorgente	A2.3	2319	0.599	60	0.809	-	-	-	98.9
A2.2	sorgente	A2.4	2176	0.619	60	0.801	-	-	-	98.91
A2.3	transito	A2.4	1044	1.045	55	0.974	100	0.06	1.128	98.6
A2.4	transito	6-VI	335	3	30	1.108	100	0.09	1.157	91.5
A3.1	sorgente	unito ad A3.3	985	-	-	0.663	-	-	-	-
A3.2	sorgente	A3.4	1237	0.55	46	0.789	-	-	-	99.085
A3.3	sorgente	A3.4	247	1	28	0.683	-	-	-	98.95
A3.4	transito	11-13	118	10	23	0.823	100	0.1	0.753	88
A4.1	sorgente	A4.3	1340	0.625	58	0.805	-	-	-	98.945
A4.2	sorgente	A4.3	1598	0.693	65	0.733	-	-	-	98.945
A4.3	transito	13-15	249	5	14	0.974	100	0.079	1	95.45
A5.1	sorgente	A5.3	1354	0.77	95	0.782	-	-	-	99.01
A5.2	sorgente	A5.3	2676	0.73	90	0.769	-	-	-	98.832
A5.3	transito	19-21	400	7	12	1.019	100	0.1	0.975	96.1
A6.1	sorgente	A6.4	3916	0.68	112	0.883	-	-	-	98.75
A6.2	sorgente	A6.4	952	0.89	84	0.632	-	-	-	98.99
A6.3	sorgente	A6.5	1127	0.83	94	0.739	-	-	-	99.03
A6.4	transito	A6.5	400	3	16	1.053	100	0.1	1.03	97
A6.5	transito	21-22	200	15	18	1.123	100	0.1	1.13	80
A7.1	sorgente	A7.5	4297	0.61	85	0.909	-	-	-	98.766
A7.2	sorgente	A7.5	1343	0.36	30	0.812	-	-	-	98.55
A7.3	sorgente	A7.5	960	0.2	30	0.757	-	-	-	98.4
A7.4	sorgente	A7.6	532	0.695	30	0.585	-	-	-	99.22
A7.5	transito	A7.6	1020	0.6	35	1.663	100	0.1	1.075	98.18
A7.6	transito	24-23	818	5.7	32	1.098	100	0.1	1.14	97.4
1-3	sorgente	3-4	1000	0.55	60	0.782	-	-	-	99.58
3-6	transito	6-VI	1500	0.1	90	1.313	100	0.1	1.381	100
6-VI	transito	Vasca 1	500	0.1	10	1.726	100	0.1	0.91	100
7-11	sorgente	11-13	2000	0.567	111	0.809	-	-	-	99.461
11-13	transito	13-15	1000	0.605	50.5	1.007	100	0.1	0.98	98.5
13-15	transito	Vasca 2	1000	0.97	55	1.142	100	0.1	1.185	98
17-15	sorgente	Vasca 2	1000	0.55	60	0.782	-	-	-	99.565
18-19	sorgente	19-21	500	0.55	30	0.6	-	-	-	99.167
19-21	transito	21-22	1000	0.05	60	1.132	100	0.1	1.118	97.7
21-22	transito	Vasca 2	500	0.05	30	1.369	100	0.15	1.185	95.5
26-24	sorgente	24-23	1000	0.44	60	0.782	-	-	-	99.075
24-23	transito	Vasca 2	500	2.05	30	1.137	100	0.1	1.195	94.8

Tab. A2: tabella dei parametri geometrici e geomorfologici ottenuti mediante il processo di taratura