

NUOVA S.S. 341 "GALLARATESE" - TRATTO DA SAMARATE A CONFINE  
CON LA PROVINCIA DI NOVARA - TRATTO NORD

STRALCIO FUNZIONALE DAL KM 6+500 (SVINCOLO S.S. 336 NORD)  
AL KM 8+844 (SVINCOLO AUTOSTRADA A8)  
"BRETELLA DI GALLARATE"

PROGETTO ESECUTIVO

  Ing. Renato Vaira <small>(Ordine degli Ingg. di Torino e Provincia n° 4663 W)</small>	  Ing. Valerio Bajetti <small>Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-26211</small>	ING. RENATO DEL PRETE  Ing. Renato Del Prete <small>Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5073</small>	  Arch. Nicoletta Frattini <small>Ordine degli Arch. di Torino e provincia n° A-8433</small>	  Ing. Gabriele Incecchi <small>Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-12102</small>
	 Società designata: <b>GA&amp;M</b>  Prof. Ing. Matteo Ranieri <small>Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1137</small>	 Servizi & Engineering Trasporti Ambiente Costruzioni  Prof. Ing. Luigi Monterisi <small>Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1771</small>	  Ing. Gioacchino Angarano <small>Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5970</small>	DOTT. GEOL. DANILO GALLO  Dott. Geol. Danilo Gallo <small>Ordine dei Geologi della Regione Puglia n° 588</small>
VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO  Dott. Ing. Giancarlo LUONGO	RESPONSABILE INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE   Ing. Renato DEL PRETE	IL PROGETTISTA FIRMATARIO DELLA PRESTAZIONE   Ing. Valerio BAJETTI	GEOLOGO   Prof. Ing. Geol. Luigi MONTERISI	COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE   Ing. Gaetano RANIERI

FD001

F-PROGETTO IDRAULICO

FD- STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROLOGICA ED IDRAULICA DEI TORRENTI RILE E TENORE  
Relazione Idrologica

CODICE PROGETTO

PROGETTO      LIV. PROG.      N. PROG.

MI533      E      1801

NOME FILE

FD001-P00ID03IDRRE01\_A.dwg

REVISIONE

SCALA:

CODICE ELAB. P 0 0 I D 0 3 I D R R E 0 1

A

-

C

B

A

REV.

EMISSIONE

DESCRIZIONE

Maggio 2021

DATA

ING. NICOLA DEL  
DUCA

REDATTO

ING. VALERIO  
BAJETTI

VERIFICATO

ING. RENATO  
DEL PRETE

APPROVATO

## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>DESCRIZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>ANALISI PLUVIOMETRICA</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>ANALISI IDROLOGICA</b>	<b>9</b>
4.1	APPLICAZIONE DEL METODO DI HORTON PER LA MASSIMIZZAZIONE DEI VOLUMI	9
4.2	APPLICAZIONE DEL METODO DEL SCS-CN PER LA MASSIMIZZAZIONE DEI COLMI DI PIENA	15
4.2.1	DISTRIBUZIONE DELLE PRECIPITAZIONI	15
4.2.2	CALCOLO DELLA RISPOSTA IDROLOGICA DEL BACINO	16
<b>5</b>	<b>ALLEGATO: SERIE STORICHE DI PRECIPITAZIONE</b>	<b>19</b>

## 1 PREMESSA

La presente relazione tecnica idrologica ha per oggetto l'analisi dei bacini idrografici dei Rile e del Tenore allo scopo di definire gli idrogrammi di piena con assegnato tempo di ritorno (pari a 20, 100 e 200 anni) da utilizzare nella modellazione idraulica bidimensionale. Le analisi sono state effettuate in ottemperanza a quanto disposto dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici in merito alle seguenti prescrizioni riportate nella delibera CIPE 27\_2018:

- Appare opportuno sia l'aggiornamento delle valutazioni idrologiche sulla base dei dati attualmente disponibili sia le verifiche idrauliche in moto permanente bidimensionale (Consiglio superiore dei lavori pubblici);
- Si chiede di rideterminare la portata di massima piena con un tempo di ritorno bicentenario (Consiglio superiore dei lavori pubblici);

Si riporta una descrizione dei bacini idrografici del Rile e del Tenore, seguita da un'**Analisi pluviometrica**, finalizzata all'ottenimento dei parametri delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica da utilizzare nella modellazione idrologica.

## 2 DESCRIZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI

I Torrenti Rile e Tenore sono dotati di fasce fluviali e costituiscono un sistema di tipo endoreico, ossia senza recapito finale, che ha funzionato storicamente attraverso lo spaglio delle portate su vaste aree nei tratti finali del loro corso e lo smaltimento delle stesse tramite l'infiltrazione in falda in terreni di natura alluvionale.

I Torrenti Rile e Tenore appartengono al reticolo idrico principale della Regione Lombardia di competenza dell'AIPO.

Il Rile nasce nella parte meridionale del Comune di Caronno Varesino, scende in direzione Nord-Sud attraversando Carnago e, dopo Milanello, penetra nel territorio di Cassano Magnago.

Presenta un bacino idrografico di forma allungata e stretta, caratterizzato nella sua porzione più centrale da una valle piuttosto incassata; sono assenti rami tributari rilevanti, ad eccezione del Rio Freddo che vi confluisce immediatamente a monte del tratto urbano di Cassano Magnano dove sono immessi quasi esclusivamente scarichi provenienti dalla rete fognaria mista.

In questo Comune, il torrente presenta un lungo tratto tombinato con sezione policentrica e successivamente rettangolare. A valle della tombinatura il Rile prosegue il proprio corso, sottopassa l'autostrada A8 Milano-Varese e termina in vasche di accumulo e disperdimento in falda localizzate nell'estrema porzione meridionale del territorio di Cassano Magnago, in corrispondenza del confine con Busto Arsizio da un lato e Gallarate dall'altro. La superficie del bacino del torrente Rile è pari a 8.63 Km<sup>2</sup>, di cui 1.07 Km<sup>2</sup> del bacino del torrente Rio Freddo, il principale affluente.

Il Torrente Tenore ha origine nel Comune di Morazzone, nella parte montana confina a Ovest con quelli dell'Arno e del Rile e a Est con quello dell'Olonza, scende verso meridione attraverso i territori di Caronno Varesino e di Castelserpio ed a valle, a cominciare della frazione di Preveranza riceve gli scarichi fognari di vaste aree urbanizzate, si adagia nella pianura alluvionale di Cairate e Fagnano Olona, terminando il proprio corso, che grosso modo è parallelo a quello del Rile, nella zona meridionale di Cassano Magnano nelle già citate in vasche di accumulo e disperdimento comuni al torrente Rile. La superficie del bacino idrografico del torrente Tenore è di 18.74 Km<sup>2</sup>. I Bacini sono riportati in allegato FD003 e nella successiva figura 1, in cui si riporta anche il reticolo idrografico ed il Modello Digitale del Terreno estratti dal Geoportale della Lombardia.

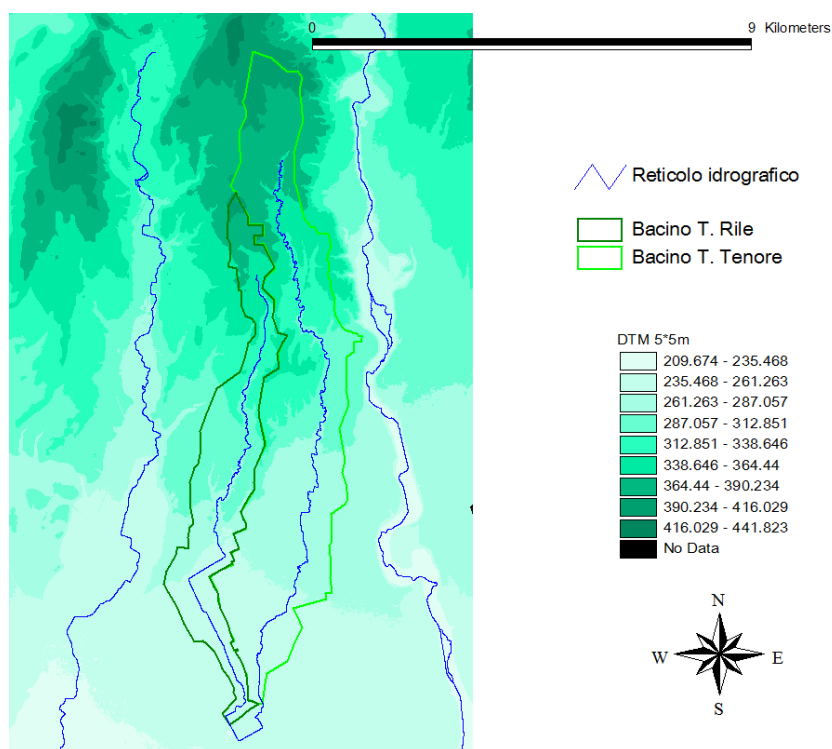


Figura 1. Bacini idrografici dei Torrenti Rile e Tenore.

Come riportato nel progetto definitivo le vasche di laminazione e spagliamento hanno i seguenti volumi:

- il bacino R alimentato dal torrente Rile; volume d'invaso: 90 000 m<sup>3</sup>;
- il bacino T alimentato dal torrente Tenore; volume d'invaso: 85 000 m<sup>3</sup>;
- il bacino RT costituito dalle vasche Rtm1, Rtm2 alimentabile dalle vasche R e T; volume d'invaso: 8 000 m<sup>3</sup>;
- il bacino Rtp alimentato per sfioro dai bacini R e T; volume d'invaso: 190 000 m<sup>3</sup>.
- il volume totale disponibile di tali vasche risulta dunque essere pari a 373 000 m<sup>3</sup>.

Poiché i volumi delle vasche sopra indicati non sono sufficienti a contenere i volumi della piena centenaria di Torrenti Rile e Tenore, si è individuata una estesa area per l'accumulo temporaneo ed il disperdimento in falda del volume di piena eccedente la capacità di invaso delle attuali vasche. Il tracciato della strada in oggetto dalla progressiva 7+800 alla progr 8+843 insiste in fascia B delle suddette vasche di spagliamento.

### 3 ANALISI PLUVIOMETRICA

L'analisi ha riguardato l'aggiornamento dei dati pluviometrici secondo quanto disposto dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici; in particolare utilizzando il "Portale Idrologico Geografico di ARPA Lombardia" sono stati acquisiti i dati pluviometrici (aggiornati all'anno 2017) con riferimento alla scala temporale oraria, per tutte le stazioni di misura pluviometriche che interessano i bacini idrografici di competenza del Rile e del Tenore. Trattasi in particolare delle stazioni pluviometriche recenti di Busto Arsizio via Rossini (dati disponibili dal 1987-1996, dal 2003 al 2018), Castronno (dati disponibili dal 2004-2017), Cavaria con Premezzo (dati disponibili dal 2004-2018) e Gallarate san Lorenzo (dati disponibili dal 1992-1994, dal 1999-2009) i cui poligoni di Thiessen interferiscono con i bacini idrografici del Rile e del Tenore come si evince dalla figura 2 sotto riportata.

Inoltre, tali serie storiche sono state integrate con le serie storiche di precipitazione di durata giornaliera ricavate dallo stesso portale ARPA per le stazioni storiche con funzionamento meccanico di Azzate (1961-2007), Ponte Gurone (1996-2005), Busto Arsizio (1951-1999) e Venegono Inf. (1961-1989), riportate in verde in figura 2.

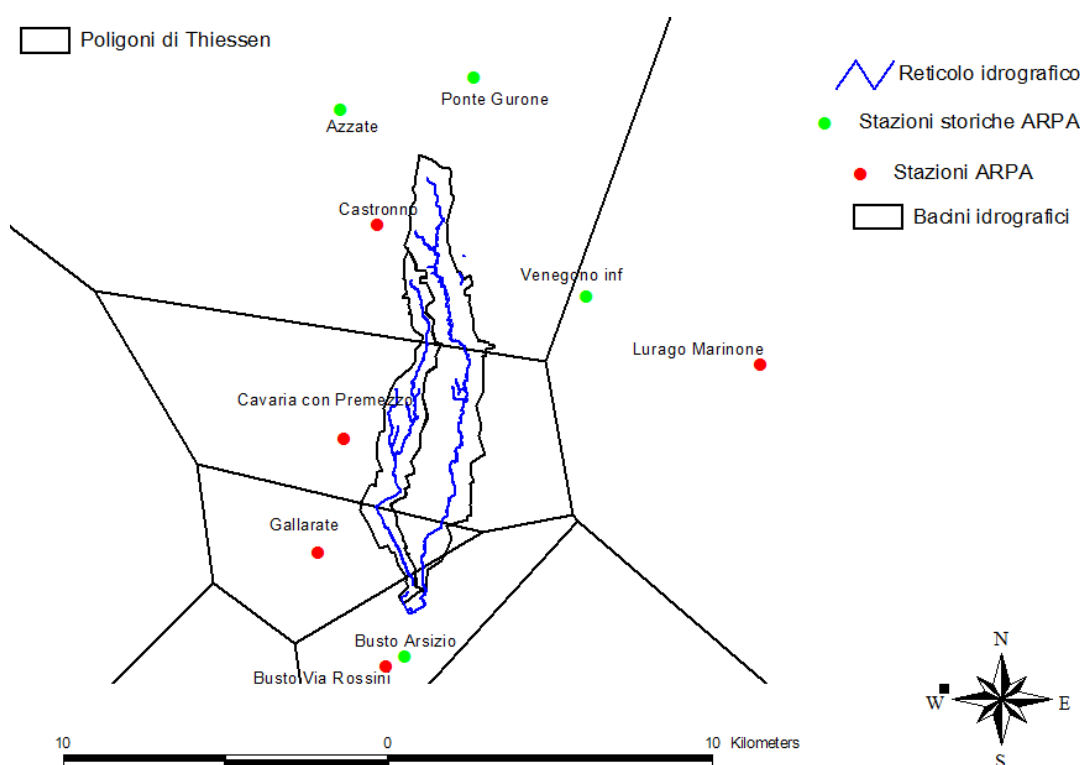


Figura 2. Poligoni di Thiessen delle stazioni che interferiscono con i bacini oggetto di indagine.

Successivamente è stata determinata la curva di pioggia con tempo di ritorno duecentennale utilizzando le serie storiche di precipitazione massima annua (per le durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore) estratte dalle serie orarie di dati aggiornati, per tutte le stazioni pluviometriche considerate. Le serie storiche di precipitazione massima annua di durata pari a 24 ore delle stazioni recenti (stazioni ARPA, in rosso in figura 2) sono state integrate con i valori ricavati dalle serie storiche di precipitazione giornaliera delle stazioni meccaniche (stazioni storiche ARPA, in verde in figura 2). L'aggiornamento è stato effettuato mediante interpolazione con il metodo della Inverse distance weighting (IDW).

Per la ricostruzione della distribuzione di probabilità associata a ciascuna serie storica di precipitazione utilizzata per l'analisi statistica, si è fatto uso della distribuzione di Gumbel (in analogia con il progetto definitivo) e del metodo dei momenti per la stima dei parametri.

Si sono così ottenute le curve segnalatrici di possibilità pluviometrica delle stazioni che interessano i bacini oggetto di studio; successivamente, effettuando una media pesata dei relativi parametri in ragione delle aree dei poligoni di Thiessen che interessano le varie porzioni dei bacini analizzati, è stato possibile ricostruire le curve di possibilità pluviometrica per i bacini del Rile e del Tenore; tali

curve sono state confrontate con quelle adottate nel progetto definitivo, che fa riferimento a quelle definite dall’Autorità di Bacino del fiume Po.

Inoltre, si sono presi in considerazione i parametri delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica (determinate mediante approccio probabilistico basato sull'utilizzo della distribuzione GEV) con riferimento alle durate inferiori alle 24 ore, estratti dal Portale Idrologico Geografico ARPA Lombardia relativamente alle elaborazioni effettuate con aggiornamento al 2011. Dallo stesso portale si sono inoltre estratti i parametri delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 20, 100 e 200 anni e con riferimento alle durate da 1 a 5 giorni.

In particolare, i parametri della distribuzione probabilistica GEV da cui è stato possibile ricavare le curve di pioggia sono disponibili in forma distribuita sui bacini oggetto di studio; mediante l'utilizzo dei sistemi informativi geografici è stato possibile ricavare i parametri delle suddette curve alla scala di bacino.

Nelle figure 3, 4, 5 e 6 che seguono si riporta il confronto (utilizzando il tempo di ritorno pari a 100 e 200 anni) tra le curve di pioggia dei torrenti Rile e Tenore proposte nel progetto definitivo, quelle individuate mediante utilizzo dei dati pluviometrici aggiornati all’anno 2017 e quelle ricavate dal portale ARPA con aggiornamento al 2011.

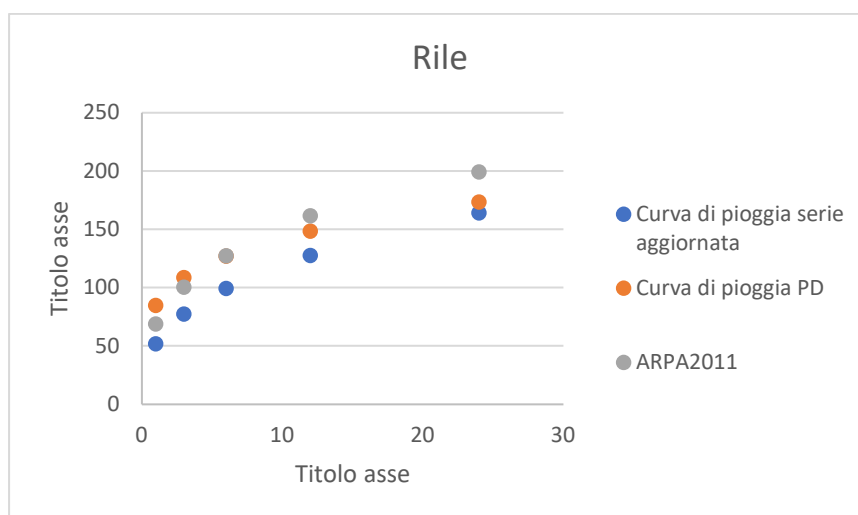


Figura 3. Confronto curve di pioggia torrente Rile per T= 100 anni, con riferimento alle durate inferiori alle 24 ore

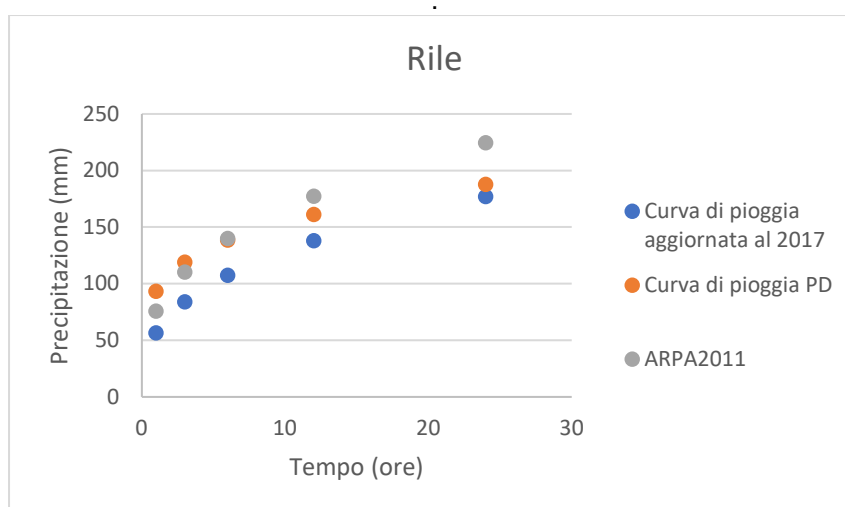


Figura 4. Confronto curve di pioggia torrente Rile per T= 200 anni, con riferimento alle durate inferiori alle 24 ore.

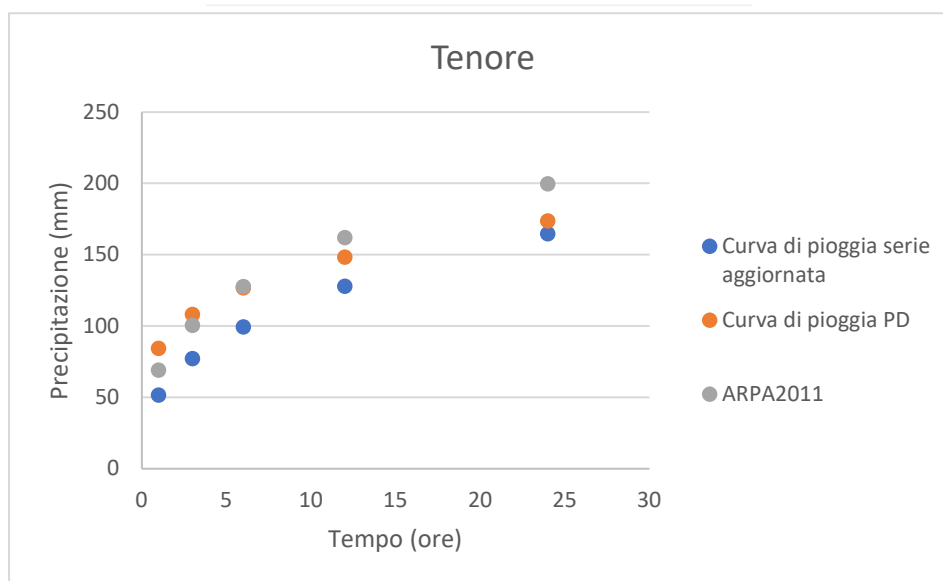


Figura 5. Confronto curve di pioggia torrente Tenore per T= 100 anni, con riferimento alle durate inferiori alle 24 ore.

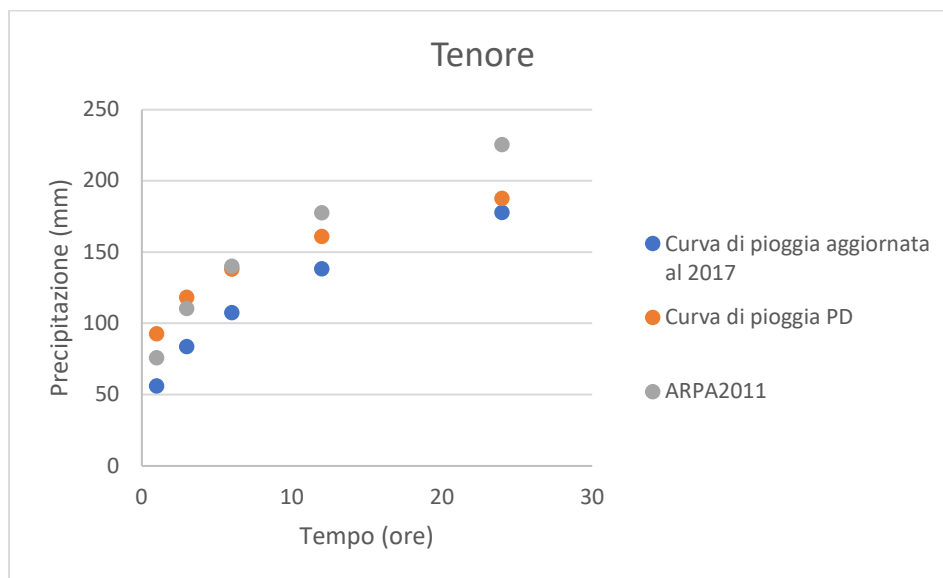


Figura 6. Confronto curve di pioggia torrente Tenore per T= 200 anni, con riferimento alle durate inferiori alle 24 ore.

Dal confronto si evince che le curve segnalatrici di possibilità pluviometrica che utilizzano i dati ARPA aggiornati al 2011 risultano più cautelative; pertanto, si sono utilizzate queste ultime per le successive analisi idrologiche. Nella tabella 1 che segue si riportano i parametri delle curve segnalatrici di possibilità climatica ottenute a partire dai dati ARPA aggiornati al 2011 per T=20, 100 e 200 anni.

Tabella 1. Parametri delle curve segnalatrici di possibilità climatica adottate per T=20, 100 e 200 anni e per durate inferiori alle 24 ore.

Durata inferiore alle 24 ore						
	Torrente Rile			Torrente Tenore		
Parametri	T=20 anni	T=100 anni	T=200 anni	T=20 anni	T=100 anni	T=200 anni
a (mm/ora)	53,77	69,12	75,76	53,795	69,12	75,73
n	0,342	0,342	0,342	0,343	0,343	0,343



Nella tabella 2 che segue, si riportano i parametri delle curve di possibilità pluviometrica relativamente alle durate superiori alle 24 ore, per i due corsi d'acqua analizzati, ottenute mediante utilizzo dei dati ARPA aggiornati al 2011.

Tabella 2. Parametri delle curve segnalatrici di possibilità climatica adottate per T=20, 100 e 200 anni e per durate superiori alle 24 ore.

Durata superiore alle 24 ore						
	Torrente Rile			Torrente Tenore		
Parametri	T=20 anni	T=100 anni	T=200 anni	T=20 anni	T=100 anni	T=200 anni
a (mm/ora)	62,39	81,12	83,36	62,39	81,065	83,159
n	0,2869	0,2828	0,3061	0,2881	0,284	0,3078

## 4 ANALISI IDROLOGICA

La determinazione dell'idrogramma di piena al variare del tempo di ritorno da inserire nella modellazione idraulica è stata effettuata considerando due scenari idrologici differenti:

- 1) massimizzazione dei volumi nei bacini endoreici mediante applicazione del metodo di Horton;
  - 2) massimizzazione delle portate al colmo di piena mediante applicazione del metodo del SCS-CN.
- Nei paragrafi che seguono si riporta la descrizione delle due metodologie adottate e gli idrogrammi di piena così ottenuti al variare del tempo di ritorno.

### 4.1 APPLICAZIONE DEL METODO DI HORTON PER LA MASSIMIZZAZIONE DEI VOLUMI

Definita la curva di pioggia si è proceduto alla valutazione della precipitazione di progetto da utilizzare come input nella modellazione idrologica afflussi-deflussi; a tal fine è stata utilizzata la metodologia di Horton (Horton, 1940<sup>1</sup>) per individuare la durata di precipitazione critica che massimizza i volumi di ruscellamento superficiale; infatti l'andamento asintotico della curva di infiltrazione di Horton, determina un volume di ruscellamento superficiale che risulta via via crescente all'aumentare della durata dell'evento meteorico fino a raggiungere un massimo in corrispondenza della durata critica.

Il modello hortoniano è stato applicato sfruttando il legame tra i parametri della curva della capacità di infiltrazione di Horton e le caratteristiche fisiche dei bacini idrografici, sulla base della classificazione dei suoli suggerita dal Soil Conservation Service nelle seguenti 4 tipologie<sup>2</sup>:

- Gruppo A: Suoli aventi scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde, con scarsissimo limo ed argilla e ghiaie profonde, molto permeabili. Capacità di infiltrazione in condizione di saturazione molto elevata.
- Gruppo B: Suoli aventi moderata potenzialità di deflusso. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A. Elevate capacità di infiltrazione anche in condizioni di saturazione.
- Gruppo C: Suoli aventi potenzialità di deflusso moderatamente alta. Suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali. Scarsa capacità di infiltrazione e saturazione.
- Gruppo D: Potenzialità di deflusso molto elevata. Argille con elevata capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie. Scarsissima capacità di infiltrazione a saturazione.

La curva della capacità di infiltrazione di Horton assume la seguente espressione:

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c)e(-kt),$$

dove  $f(t)$  è la capacità di infiltrazione calcolata all'istante temporale  $t$ ,  $f_c$  è la capacità di infiltrazione per  $t$  tendente ad infinito,  $f_0$  è la capacità di infiltrazione iniziale e  $k$  è la costante di esaurimento; tali parametri sono stati ricavati sfruttando il legame con le caratteristiche fisiche del territorio, mediante applicazione della seguente tabella riportata in letteratura<sup>3</sup>:

Tabella 3. Parametri della legge di Horton.

GRUPPO SCS	$f_0$ [mm/h]	$f_c$ [mm/h]	$K$ [h <sup>-1</sup> ]
A	250	187.69	2
B	200	115.2	2
C	125	23.0	2
D	76	96.9	2

<sup>1</sup> Horton, R.E., 1940. An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity. Soil Sci. Soc. Am. J. 5, 399e417.

<sup>2</sup> Ugo Maione. Le piene fluviali. Edizioni LA goliardica Pavese s.r.l. ISBN 88-7830-219-8

<sup>3</sup> Ugo Maione. Le piene fluviali. Edizioni LA goliardica Pavese s.r.l. ISBN 88-7830-219-8

Per applicare la legge di Horton è stato necessario stimare (mediante l'utilizzo dei sistemi informativi geografici) le porzioni di bacino caratterizzate dalle differenti classi di suolo A, B, C e D; ciò è stato effettuato utilizzando la mappa litologica estratta dal Geoportale della Lombardia; nella tabella 4 che segue si riportano le frazioni di bacino (espresse in percentuale) caratterizzate dalle differenti classi di suolo, per i due bacini analizzati.

Tabella 4. Frazioni di bacino caratterizzate dalle differenti classi di suolo.

	Rile	Tenore
Classe di suolo tipo A (%)	0	0
Classe di suolo tipo B (%)	8.46	23.43
Classe di suolo tipo C (%)	0.04	1.49
Classe di suolo tipo D (%)	91.5	75.08

Dalla tabella 4 sopra riportata si evince che il Rile è caratterizzato dal 91.5% di suolo di tipo D, mentre il Tenore è caratterizzato dal 75.08% di suolo di tipo D; pertanto il Rile risulta più impermeabile del Tenore.

Nota l'intensità di precipitazione lorda a partire dalle curve di pioggia riportate nel paragrafo precedente, è stato possibile applicare la procedura hortoniana per ricavare i volumi di ruscellamento superficiale in funzione della durata dell'evento per i due bacini idrografici analizzati; in particolare poiché l'intensità di precipitazione media diminuisce all'aumentare della durata dell'evento meteorico e la curva di Horton tende ad un valore asintotico ( $f_c$ ) all'aumentare della durata stessa, i volumi di ruscellamento superficiale assumono andamento parabolico con un massimo in corrispondenza della durata critica. Nelle figure 7 e 8 si riportano i volumi di ruscellamento superficiale in funzione della durata dell'evento meteorico per i due bacini analizzati e per il tempo di ritorno di 200 anni; si evince in particolare che per entrambi i bacini idrografici l'evento critico è caratterizzato da una durata pari a 34 ore; inoltre, si riscontra un volume di ruscellamento superficiale pari a 1.05 Mm<sup>3</sup> per il Rile e pari a 1.89 Mm<sup>3</sup> per il Tenore.

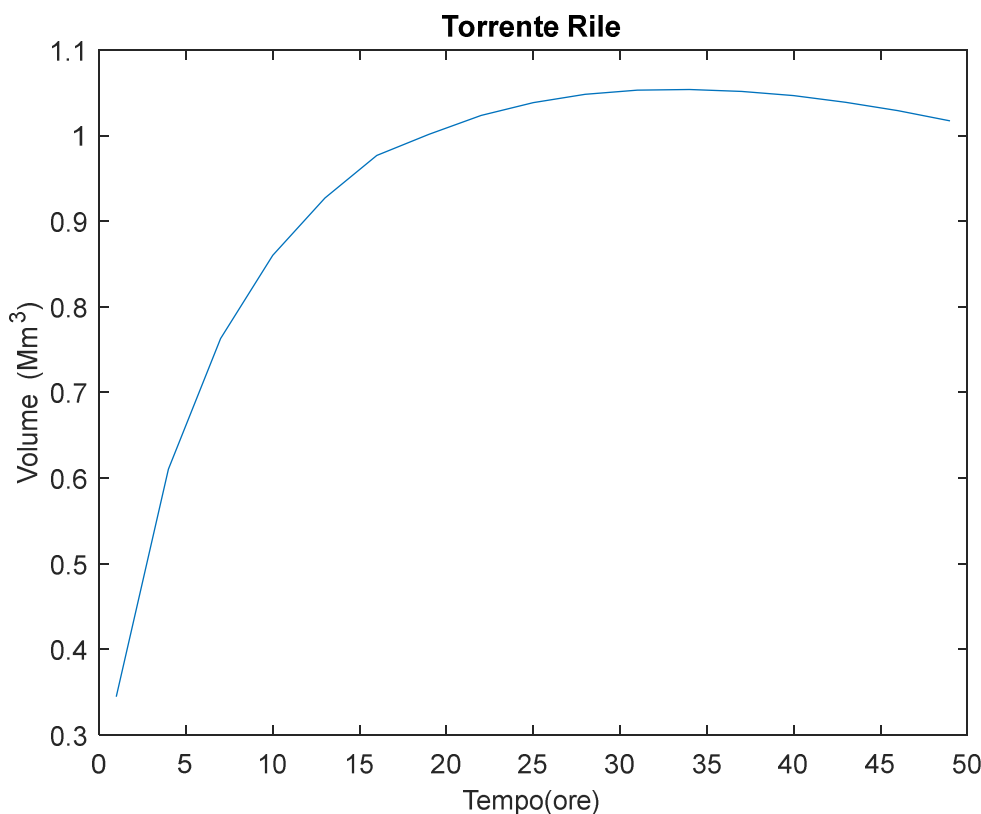


Figura 7. Curva dei volumi di ruscellamento superficiale in funzione della durata dell'evento per il bacino del Rile.

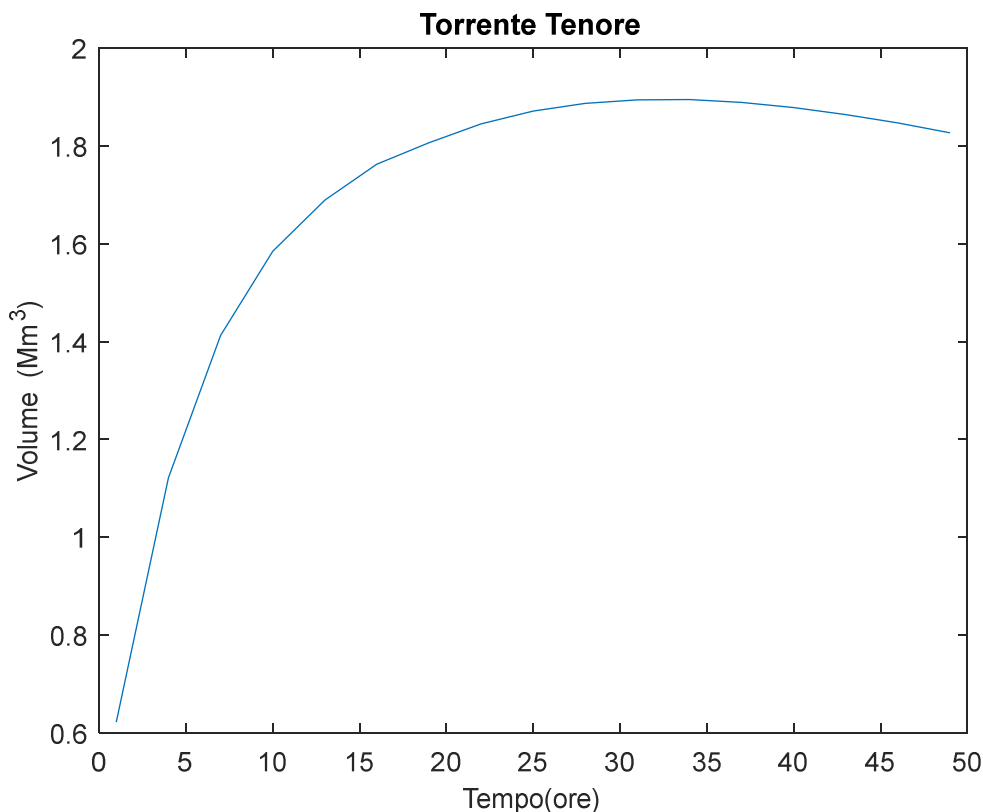


Figura 8. Curva dei volumi di ruscellamento superficiale in funzione della durata dell'evento per il bacino del Tenore.

L'applicazione della metodologia sopra menzionata ha consentito di ricavare l'intensità di pioggia netta per i due bacini idrografici analizzati; nelle figure 9 e 10 si riporta, per ciascun bacino analizzato e per T=200 anni, l'intensità di pioggia lorda (in arancione), l'intensità di pioggia netta (in blu) e il tasso di infiltrazione in grigio ricavato mediante la stima del tempo di Ponding. L'altezza di pioggia netta totale (per t=200 anni) risulta pari a 101.12mm per il Tenore e pari a 122.08 mm per il Rile (più impermeabile, come detto sopra).

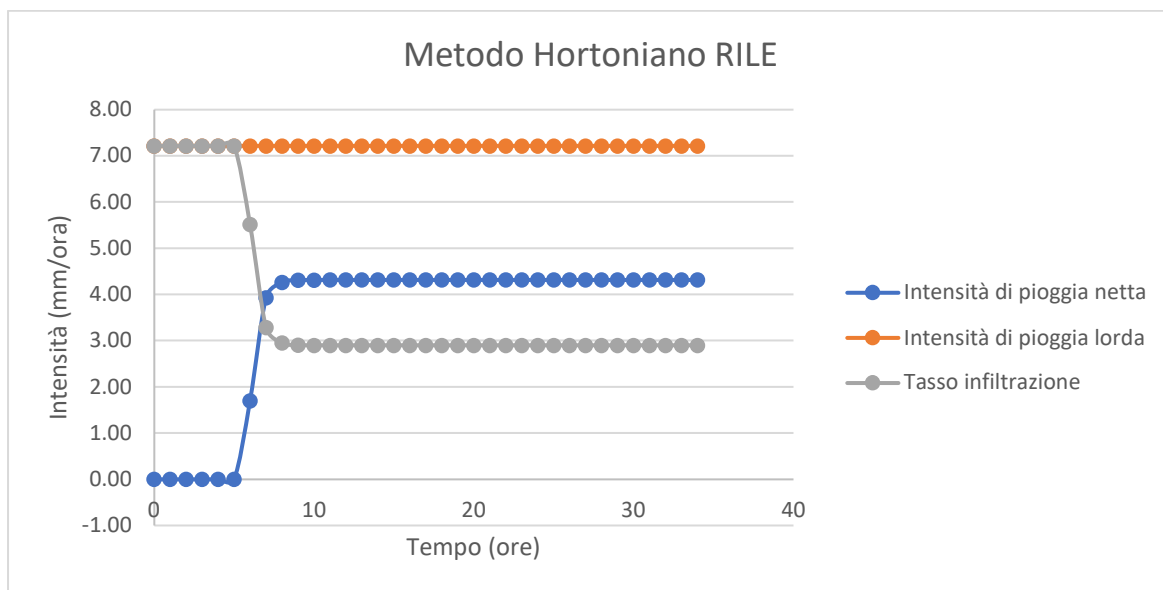


Figura 9. Intensità di pioggia e tasso di infiltrazione per il torrente Rile per T=200 anni e durata pari a 34 ore.

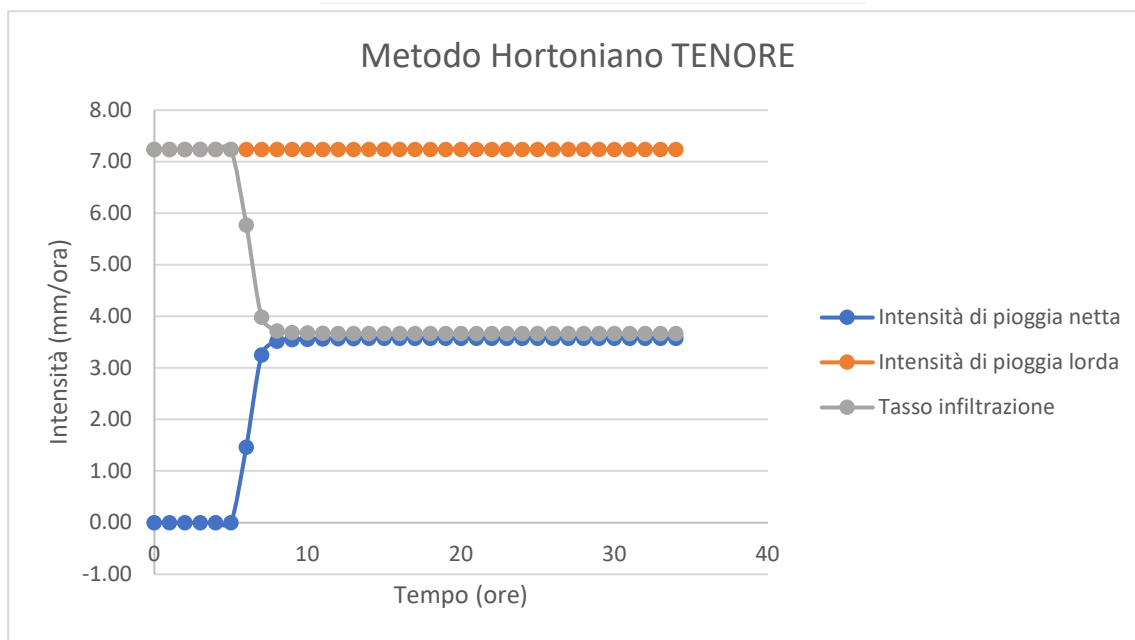


Figura 10. Intensità di pioggia e tasso di infiltrazione per il torrente Tenore per T=200 anni e durata pari a 34 ore.

La stima degli idrogrammi di piena bicentenari è stata effettuata mediante applicazione numerica del metodo dell'idrogramma adimensionale e unitario proposta dal Soil Conservation Service [SCS 1972, USDA-SCS 1985].

La metodologia prevede la combinazione tra la pioggia netta, ricavata utilizzando la metodologia di Horton sopra esposta, e l'idrogramma unitario ricavato a partire dall'idrogramma adimensionale di Mokus<sup>4</sup> utilizzando la portata al colmo dell'idrogramma unitario e la durata della fase crescente  $t_a$  dello stesso idrogramma unitario, dipendente dal tempo di ritardo del bacino; in tabella 5 si riportano le caratteristiche principali dei bacini idrografici, utilizzate per applicare la metodologia descritta. Si fa presente che i tempi di ritardo sono stati estratti dal progetto definitivo.

Tabella 5. Caratteristiche dei Bacini idrografici analizzati

	<b>Torrente Rile</b>	<b>Torrente Tenore</b>
Area (km <sup>2</sup> )	8.63	18.74
Tempo di ritardo (ore)	3.58	6.83
Tempo di corrivazione (ore)	5.97	11.38
Portata al colmo (Qp) idrogramma unitario (m <sup>3</sup> /s)	0.45	0.51
Tempo di accumulo dell'idrogramma unitario ( $t_a$ ) (ore)	3.98	7.59

In tabella 6 si riporta lo sviluppo dell'idrogramma adimensionale di mokus da cui è stato ricavato l'idrogramma unitario riscaldando, come detto sopra, le portate e i tempi rispettivamente per la portata al colmo e per il tempo di accumulo dell'idrogramma unitario.

<sup>4</sup>V. Ferro: "La sistemazione dei bacini idrografici" - McGraw - Hill

Tabella 6. Idrogramma adimensionale di Mokus

$t/t_a$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
$Q/Q_p$	0,03	0,10	0,19	0,31	0,47	0,66	0,82	0,93
	0,99	1,00	0,99	0,93	0,86	0,78	0,68	0,56
$t/t_a$	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,5	5,0
$Q/Q_p$	0,46	0,39	0,33	0,28	0,207	0,147	0,107	0,077
	0,055	0,04	0,029	0,021	0,015	0,011	0,005	0,0

Si sono pertanto ricostruiti gli idrogrammi di piena con tempo di ritorno pari a 200 anni (così come disposto dal Consiglio superiore dei lavori pubblici) relativamente ai bacini del Rile e del Tenore, mediante applicazione numerica della metodologia sopra descritta.

Nelle figure 11 e 12 che seguono si riportano gli idrogrammi di piena del Rile e del Tenore ottenuti mediante applicazione della metodologia sopra esposta per un tempo di ritorno pari a 200 anni, considerando un evento di durata pari a 34 ore per entrambi i corsi d'acqua e utilizzando la curva di pioggia più cautelativa ovvero quella estratta dai dati ARPA aggiornati al 2011.

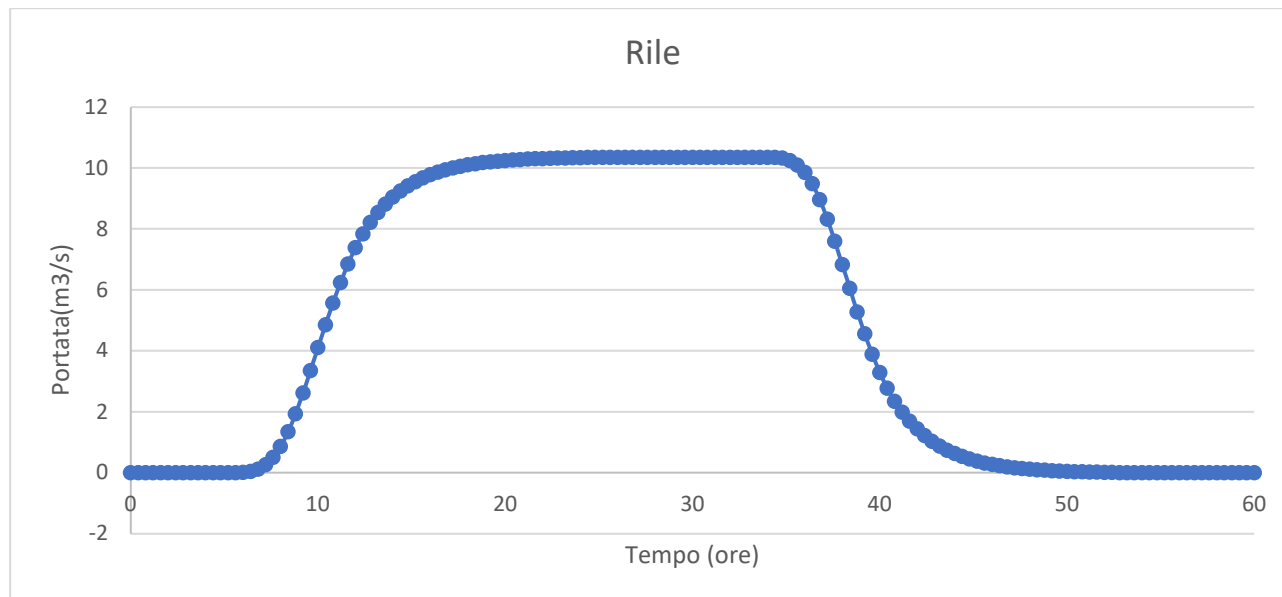


Figura 11. Idrogramma di piena torrente Rile per T=200 anni.

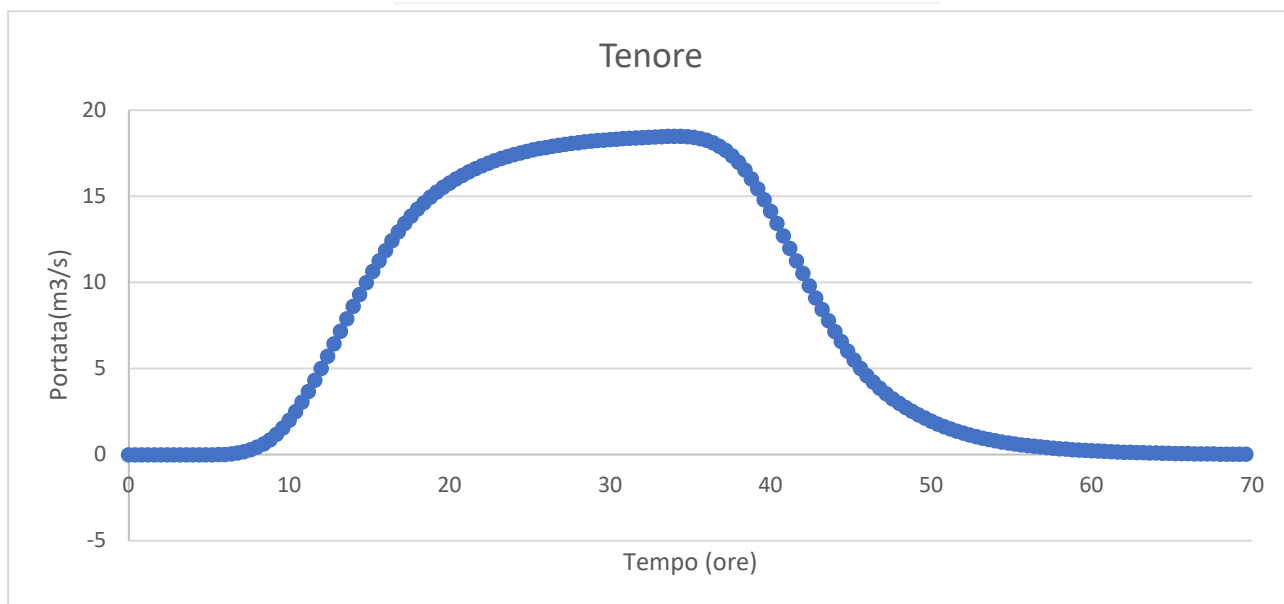


Figura 12. Idrogramma di piena torrente Tenore T=200 anni.

Il volume di ruscellamento superficiale del torrente Rile risulta pari a **1.05 Mm<sup>3</sup>**, mentre quello del torrente Tenore risulta pari a **1.89 Mm<sup>3</sup>**; pertanto il volume di ruscellamento superficiale totale dei due corsi d'acqua per l'evento caratterizzato da tempo di ritorno duecentennale e durata pari a 34 ore risulta pari a **circa 2.95 Mm<sup>3</sup>**.

Nella tabella 7 che segue si riportano le quantità idrologiche principali per i torrenti Rile e Tenore per effetto dell'applicazione del metodo di Horton e per i tre tempi di ritorno analizzati (10, 20, 100 e 200 anni); si riportano in particolare i valori di precipitazione netta, i valori delle portate al colmo di piena ed i volumi degli idrogrammi di piena.

Tabella 7. Quantità idrologiche principali per i torrenti Rile e Tenore – applicazione del metodo di Horton.

	Scenario Max Volume					
	TR 10 anni	TR 10 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 20 anni	TR 20 anni
	Pioggia netta (mm)	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Volume (Mm <sup>3</sup> )	Pioggia netta (mm)	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Volume (Mm <sup>3</sup> )
T. Rile	49,37	10,77	0,43	64,17	9,58	0,55
T. Tenore	40,93	15,75	0,77	53,16	17,70	1,00
Volumi totali	90,30		1,20	117,33		1,55
	Scenario Max Volume					
	TR 100 anni	TR 100 anni	TR 100 anni	TR 200 anni	TR 200 anni	TR 200 anni
	Pioggia netta (mm)	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Volume (Mm <sup>3</sup> )	Pioggia netta (mm)	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Volume (Mm <sup>3</sup> )
T. Rile	101,44	10,83	0,88	122,08	10,35	1,05
T. Tenore	84,08	21,13	1,58	101,12	18,49	1,89
Volumi totali	185,53		2,45	223,20		2,95

## 4.2 APPLICAZIONE DEL METODO DEL SCS-CN PER LA MASSIMIZZAZIONE DEI COLMI DI PIENA

Per la massimizzazione del colmo di piena si è applicata la metodologia del SCS CN; a tal fine, definita la curva di pioggia, si è proceduto alla valutazione della precipitazione di progetto da utilizzare come input nella modellazione idrologica afflussi-deflussi.

### 4.2.1 DISTRIBUZIONE DELLE PRECIPITAZIONI

Per il metodo afflussi – deflussi risulta necessario definire non solo l'entità della precipitazione ma anche la sua distribuzione temporale. Essendo la modellazione afflussi deflussi "ad evento" ovvero condizionata dal tipo di evento pluviometrico in ingresso al sistema, è possibile recuperare il significato statistico di tempo di ritorno creando opportuni eventi di pioggia aventi una distribuzione spaziale e temporale, oltre che un quantitativo di pioggia complessivo caduto, tali da essere assimilabili ad un evento di pioggia avente un determinato tempo di ritorno. Nel caso in esame tra le numerose possibilità di distribuzione spaziale delle piogge si è deciso di assumere una distribuzione spaziale uniforme sul bacino.

Alla distribuzione spaziale uniforme per ciascun bacino si è accoppiata una distribuzione temporale di pioggia non uniforme, utilizzando la stessa metodologia riportata nel progetto definitivo che consiste nella determinazione del pluviogramma a blocchi alterni, ovvero dello ietogramma Chicago discretizzato, caratterizzato da durata pari a 24 ore. Il pluviogramma adottato risulta noto come pluviogramma a blocchi alterni: nota curva di possibilità pluviometrica  $h(T_r, T_p)$ , la durata di pioggia di simulazione  $T_p$  scelta ed un intervallo di campionamento  $t$  del pluviogramma tale che  $T_p = nt$ ; si assume il blocco centrale del pluviogramma pari a  $h(T_r, t)$  [mm], ed alternativamente a sinistra ed a destra si dispongono gli altri blocchi  $B_i$  [mm] di precipitazione:

$$B_1 = h(T_r, t) - h(T_r, 2t)$$

...

$$B_n = h(T_r, (n-1)t) - h(T_r, nt)$$

Graficamente i pluviogrammi adottati per il torrente Rile e Tenore sono riportati nel seguente grafici per tempo di pioggia pari a 12 e 24 ore.

Nelle figure seguenti si riportano i pluviogrammi dei due bacini idrografici analizzati.

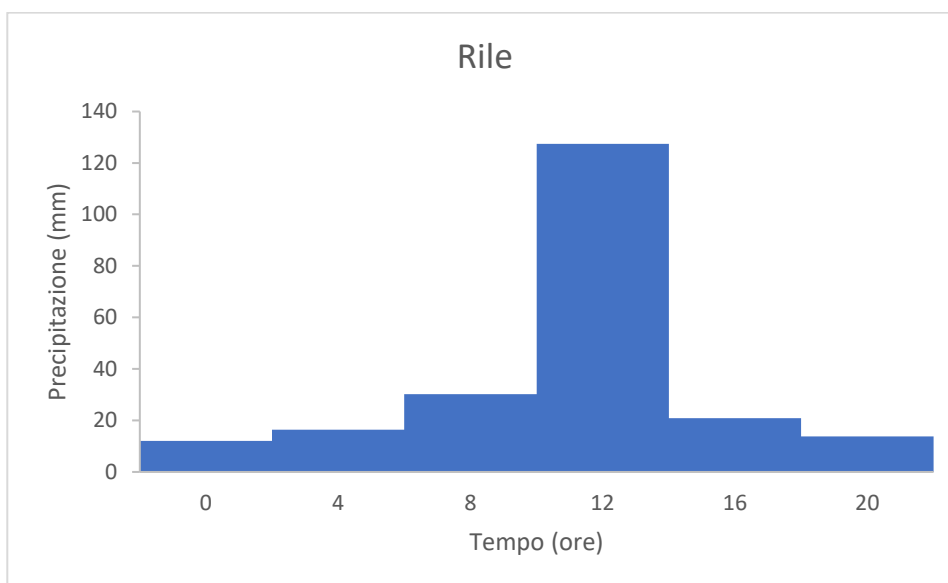


Figura 13. Pluviogramma torrente Rile T=200 anni e durata pari a 24 ore.



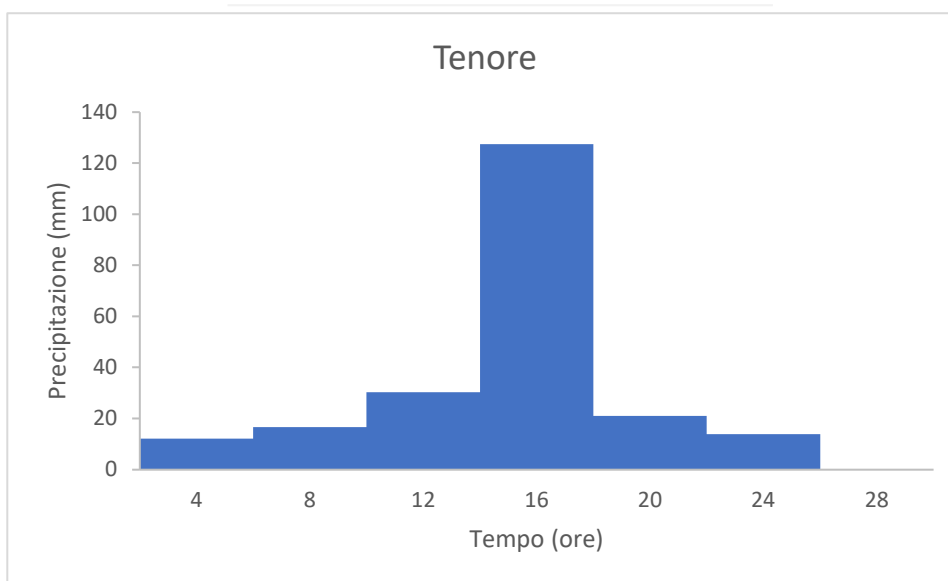


Figura 14. Pluviogramma torrente Tenore T=200 anni e durata pari a 24 ore.

#### 4.2.2 CALCOLO DELLA RISPOSTA IDROLOGICA DEL BACINO

Per applicare il modello idrologico è stato necessario ricavare il volume di precipitazione netta a partire dal volume di precipitazione totale, mediante l'utilizzo del metodo del SCS Soil Conservation Service Method (SCS-CN), in funzione del tipo di suolo, di copertura e delle precipitazioni antecedenti. Il parametro che sintetizza le caratteristiche del suolo prende il nome di Curve Number, CN. Tale metodo assume che, nel corso di un evento, il volume del deflusso superficiale per unità di superficie, R, sia proporzionale a quello della precipitazione P depurato della perdita iniziale per assorbimento del suolo Pa. Il rapporto è assunto pari a quello esistente fra infiltrazione I ed un volume S che caratterizza la massima ritenzione potenziale del terreno. La relazione è pertanto:

$$\frac{R}{P - P_a} = \frac{I}{S}$$

E tenendo conto dell'equazione della conservazione della massa esprimibile con

$$I = P - P_a - R$$

Si può giungere alla relazione:

$$R = \frac{(P - P_a)^2}{P - P_a + S}$$

che mostra il volume del ruscellamento (P) in funzione di quello della precipitazione e di due parametri caratteristici del suolo, la capacità d'assorbimento iniziale (Pa) e la massima ritenzione potenziale (S). La massima ritenzione potenziale dipende, quindi, dalla natura del suolo e dalla copertura, il cui effetto combinato è rappresentato dal parametro dimensionale CN.

Nel presente progetto esecutivo si sono adottati per i due bacini idrografici presi in considerazione, gli stessi valori del CN utilizzati nel progetto definitivo ed in particolare il valore di CN=62 per il torrente Rile ed il valore di CN=68.8 per il torrente Tenore.

In tabella 8 si riportano le grandezze utilizzate per il calcolo per i due bacini analizzati ed in particolare si riporta per il tempo di ritorno pari a 200 anni l'altezza di pioggia totale (P) estratta dalla curva di pioggia per una durata di 24 ore, il volume massimo invasabile (S), le perdite iniziali (Ia), l'altezza di pioggia netta (Pn) ed il volume di pioggia netta integrato sull'intero bacino (Vn); si evince che il volume di ruscellamento totale dei due bacini risulta pari a circa 3.25 Mm<sup>3</sup>.

Tabella 8. Determinazione del volume di ruscellamento.

	Rile	Tenore
Precipitazione totale P (mm)	220.51	221.18
Volume idrico massimo invasabile S (mm)	155.7	115.18
Perdite iniziali Ia (mm)	31.1	23.03
Pioggia netta Pn (mm)	103.94	125.30
Volume di pioggia netta Vn (m <sup>3</sup> )	896994	2348130

L'analisi idrologica è stata effettuata mediante applicazione numerica del metodo del Soil Conservation Service dimensionless unit hydrograph [SCS 1972, USDA-SCS 1985].

La metodologia prevede la combinazione tra la pioggia netta, ricavata mediante applicazione del metodo SCS-CN, e l'idrogramma unitario ricavato a partire dall'idrogramma adimensionale di Mokus<sup>5</sup> utilizzando la portata al colmo dell'idrogramma unitario e la durata della precipitazione che produce l'idrogramma unitario, dipendente dal tempo di ritardo del bacino; in tabella 1 si riportano le caratteristiche principali (estratte dal progetto definitivo) dei bacini idrografici, utilizzate per applicare la metodologia descritta.

Tabella 9. Caratteristiche dei Bacini idrografici analizzati

	Torrente Rile	Torrente Tenore
Area (km <sup>2</sup> )	8.63	18.74
CN II	62.0	68.8
Tempo di ritardo (ore)	3.58	6.83
Tempo di corrivazione (ore)	5.97	11.38

Si sono pertanto ricostruiti gli idrogrammi di piena con tempo di ritorno pari a 200 anni (così come disposto dal Consiglio superiore dei lavori pubblici) relativamente ai bacini del Rile e del Tenore, mediante applicazione numerica della metodologia sopra descritta.

Nelle figure 15 e 16 che seguono si riportano gli idrogrammi di piena del Rile e del Tenore ottenuti mediante applicazione della metodologia sopra esposta per un tempo di ritorno pari a 200 anni, considerando un evento di durata pari a 24 ore e utilizzando la curva di pioggia riportata nel progetto definitivo.

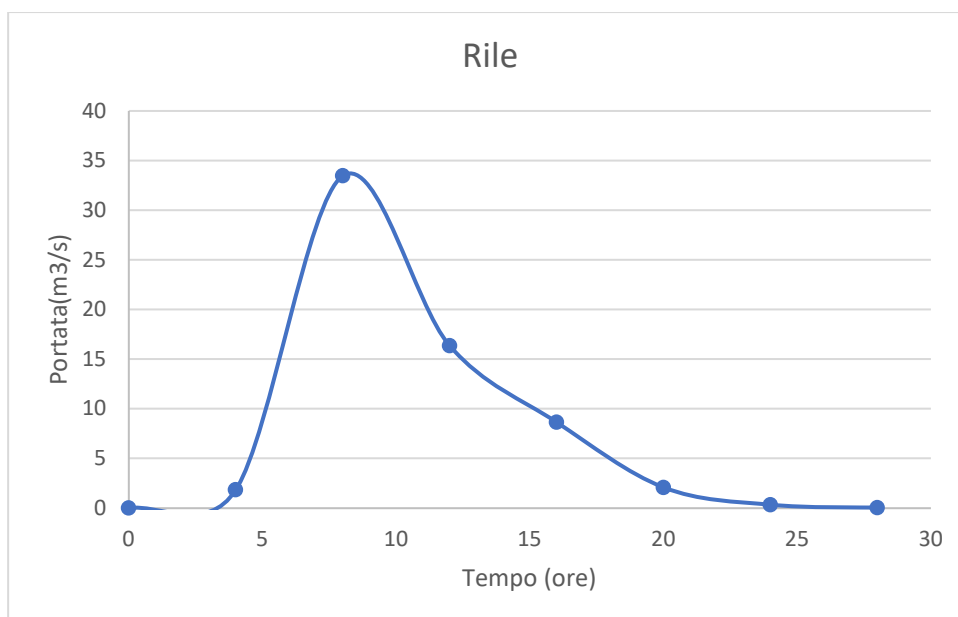


Figura 15. Idrogramma di piena torrente Rile per T=200 anni.

<sup>5</sup>V. Ferro: "La sistemazione dei bacini idrografici" - McGraw - Hill

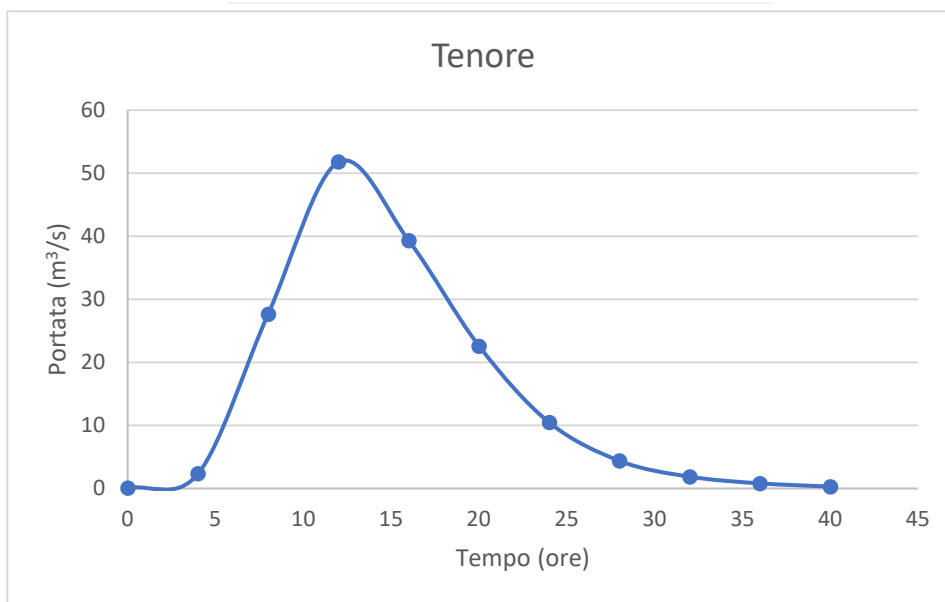


Figura 16. Idrogramma di piena torrente Tenore T=200 anni.

Il volume di deflusso totale (superficiale) dei due idrogrammi di piena risulta pari a circa 3.25 Mm<sup>3</sup>. Nella tabella 10 che segue si riportano le quantità idrologiche principali per i torrenti Rile e Tenore per effetto dell'applicazione del metodo del SCS-CN e per i tre tempi di ritorno analizzati (10, 20, 100 e 200 anni); si riportano in particolare i valori di precipitazione netta, i valori delle portate al colmo di piena ed i volumi degli idrogrammi di piena.

Tabella 10. Quantità idrologiche principali per i torrenti Rile e Tenore – applicazione del metodo del SCS-CN.

	Scenario Max Portata					
	TR 10 anni	TR 10 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 20 anni	TR 20 anni
	Pioggia netta (mm)	Portata (m³/s)	Volume (Mm³)	Pioggia netta (mm)	Portata (m³/s)	Volume (Mm³)
T. Rile	42,35	13,39	0,36	55,07	17,80	0,48
T. Tenore	56,51	23,37	1,06	71,15	29,68	1,33
Volumi totali	98,86		1,42	126,22		1,81
	Scenario Max Portata					
	TR 100 anni	TR 100 anni	TR 100 anni	TR 200 anni	TR 200 anni	TR 200 anni
	Pioggia netta (mm)	Portata (m³/s)	Volume (Mm³)	Pioggia netta (mm)	Portata (m³/s)	Volume (Mm³)
T. Rile	87,30	28,85	0,75	103,94	33,47	0,90
T. Tenore	107,10	45,07	2,01	125,30	51,79	2,35
Volumi totali	194,40		2,76	229,24		3,25

**5 ALLEGATO: SERIE STORICHE DI PRECIPITAZIONE**

Si riportano di seguito le serie storiche di precipitazione massima annua per le durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore relativamente alle 5 stazioni analizzate.

Busto Arsizio Via Rossini

durata (ore)	1	3	6	12	24
1987	25	42.8	42.8	54.6	63.2
1988	26.6	49.8	49.8	50.2	75.4
1989	24.4	32.2	38.8	62	103.8
1990	21.2	32.4	51.4	57.6	61.2
1991	14.4	24	37.4	48.2	60.4
1992	45.8	92	98	98.2	100.2
1993	30	41.6	52.4	77.4	114.8
1994	19.2	29.4	40	50.8	68.2
1995	33.4	56	63.6	101.6	126.6
1996	25	37.8	47.4	73	108.4
2003	38.2	39	39.6	61.4	82.8
2004	24.8	34.8	41.8	47.2	77.2
2005	24	45	45	47	53.6
2006	47.4	82.8	82.8	86.8	105.8
2007	21.6	37.2	67.2	79.8	103.4
2008	40.6	63.6	70	76.4	93.4
2009	31.4	70.6	73.8	74	96.8
2010	45.6	52.2	52.6	53.8	82.2
2011	31	37.6	45.6	77	112
2012	26.2	45.2	47.6	73.4	97.6
2013	13	26.8	39.6	67.4	103.6
2014	33.2	55.2	72.4	73.4	105.4
2015	32.2	75.8	82.8	94	94.6
2016	25.8	28.2	30.6	50	74.8
2017	17.8	30.8	32	48.8	72.2
2018	21.8	31.8	41	46.4	48.4

## Castronno

durata (ore)	1	3	6	12	24
2004	17	31.9	41.1	52.3	86.2
2005	6.5	13.1	23.5	27.1	28.7
2006	11	28.4	40.8	73.8	87.1
2007	14.7	36.9	54.6	68.9	94.8
2008	32.3	46.8	53.7	63.6	102.4
2009	27.4	49.9	62.1	69.8	101.8
2010	19.1	34.1	47.8	62.4	88.9
2011	14.8	28.7	51.1	87.2	122.4
2012	33.6	37.6	49.6	71	109.4
2013	24.8	29.2	41.4	70.4	129.8
2014	49.2	57.6	81.6	99.6	123
2015	25.2	45.8	55	64	78.6
2016	27.2	52.8	59.8	66.4	128.4
2017	26.4	39.4	40.6	61.2	86.6

## Cavaria

Durate (ore)	1	3	6	12	24
2004	18.2	28.8	39.3	48	91.5
2005	18.6	26.2	34	60.2	64.5
2006	31.2	36.4	43.8	67.8	106.3
2007	23.1	48.5	77.6	99.1	116.6
2008	28.3	39.5	48.6	54.4	83.3
2009	27.6	57.9	87.9	92.5	121.6
2010	21.5	30.2	42	59.7	88.9
2011	38.8	40.8	49	88	121
2012	16.8	28	36	59.6	92.4
2013	14.8	29.8	46.4	77.8	122.6
2014	33.6	42.4	52.2	66.6	117
2015	34.6	58.2	69.8	77.2	106
2016	33.2	34.8	38.2	54.6	85.2
2017	24.6	34.4	38	62.8	88.6
2018	32.2	41.6	43.2	43.2	45.8

## Gallerate San Lorenzo

Durate (ore)	1	3	6	12	24
1992	22	35.2	46.2	53.6	70.2
1993	23.6	42.4	56.2	82.6	110.8
1994	18.2	24.6	26	42	57.6
1999	42.6	47	48.2	54.4	54.8
2000	38.6	89	89.8	102.6	121.2
2001	27	40.8	40.8	57.8	61
2002	34	64.2	84.6	117.8	133.6
2003	29	33.6	35.4	58	70.4
2004	21.6	28.6	43.4	49	72.8
2005	28.2	45.6	48	48.2	50.8
2006	35.8	43.4	43.4	72	104.2
2007	26.8	58	98.4	118.4	140
2008	38	49.4	58	62.8	84
2009	27.4	45.8	80.8	89.2	116.6

## Venegono Inferiore

Anno	Stazione	Massimo annuo di durata giornaliera (mm)
1961	VENEGONO_INF	81.2
1962	VENEGONO_INF	63.6
1963	VENEGONO_INF	115
1964	VENEGONO_INF	55
1965	VENEGONO_INF	68.4
1966	VENEGONO_INF	90.2
1967	VENEGONO_INF	71
1968	VENEGONO_INF	104
1969	VENEGONO_INF	52
1970	VENEGONO_INF	79.4
1971	VENEGONO_INF	51.2
1972	VENEGONO_INF	70.4
1973	VENEGONO_INF	90.2
1974	VENEGONO_INF	60.8
1975	VENEGONO_INF	83.4
1976	VENEGONO_INF	90.6
1977	VENEGONO_INF	83.2
1978	VENEGONO_INF	122.8
1979	VENEGONO_INF	93
1980	VENEGONO_INF	76.4
1981	VENEGONO_INF	129
1982	VENEGONO_INF	89.2
1983	VENEGONO_INF	50
1984	VENEGONO_INF	58
1986	VENEGONO_INF	76.2
1987	VENEGONO_INF	51.4
1988	VENEGONO_INF	62
1989	VENEGONO_INF	91.6

## Azzate

Anno	Stazione	Massimo annuo di durata giornaliera (mm)
1961	AZZATE	60
1962	AZZATE	76
1963	AZZATE	132
1964	AZZATE	55
1965	AZZATE	127.5
1966	AZZATE	139
1967	AZZATE	88
1968	AZZATE	197
1969	AZZATE	87.5
1970	AZZATE	112
1971	AZZATE	112
1972	AZZATE	146
1973	AZZATE	106
1974	AZZATE	98
1975	AZZATE	115
1976	AZZATE	130
1977	AZZATE	217
1978	AZZATE	147
1980	AZZATE	106
1981	AZZATE	200
1982	AZZATE	79
1983	AZZATE	70
1984	AZZATE	67.2
1986	AZZATE	70
1987	AZZATE	88.2
1988	AZZATE	92.6
1989	AZZATE	124
1990	AZZATE	106.8
1991	AZZATE	57.8
1992	AZZATE	114.6
1993	AZZATE	106.2
1994	AZZATE	140.4
1995	AZZATE	136.6
1996	AZZATE	83
1997	AZZATE	63.6
1998	AZZATE	67.2
1999	AZZATE	108.6
2000	AZZATE	81.8
2001	AZZATE	80.6
2002	AZZATE	150.4
2003	AZZATE	88
2004	AZZATE	81
2005	AZZATE	34.8
2006	AZZATE	83.4
2007	AZZATE	160

## Busto Arsizio

Anno	Stazione	Massimo annuo di durata giornaliera (mm)
1951	Busto Arsizio	150
1952	Busto Arsizio	84.4
1953	Busto Arsizio	66.8
1954	Busto Arsizio	82.2
1955	Busto Arsizio	65.2
1956	Busto Arsizio	79.6
1957	Busto Arsizio	78.4
1958	Busto Arsizio	85.8
1959	Busto Arsizio	101.4
1960	Busto Arsizio	65
1961	Busto Arsizio	82
1962	Busto Arsizio	63.2
1963	Busto Arsizio	58.4
1964	Busto Arsizio	57.4
1965	Busto Arsizio	42.4
1966	Busto Arsizio	90
1967	Busto Arsizio	65.4
1968	Busto Arsizio	0
1969	Busto Arsizio	39.2
1970	Busto Arsizio	63
1971	Busto Arsizio	97
1972	Busto Arsizio	100
1973	Busto Arsizio	76
1974	Busto Arsizio	69
1975	Busto Arsizio	73
1976	Busto Arsizio	76
1977	Busto Arsizio	70
1978	Busto Arsizio	159
1979	Busto Arsizio	84.8
1980	Busto Arsizio	85
1981	Busto Arsizio	81
1982	Busto Arsizio	55.2
1983	Busto Arsizio	58.6
1984	Busto Arsizio	66
1985	Busto Arsizio	73.4
1986	Busto Arsizio	79.2
1987	Busto Arsizio	58.8
1988	Busto Arsizio	62
1989	Busto Arsizio	98.5
1990	Busto Arsizio	57.6
1991	Busto Arsizio	49
1992	Busto Arsizio	114
1993	Busto Arsizio	79.8
1994	Busto Arsizio	93.2
1995	Busto Arsizio	74.8
1996	Busto Arsizio	101
1997	Busto Arsizio	12
1998	Busto Arsizio	84.4
1999	Busto Arsizio	50



## Ponte Gurone

Anno	Stazione	Massimo annuo di durata giornaliera (mm)
1996	Ponte Gurone	83.8
1997	Ponte Gurone	65.4
1998	Ponte Gurone	62.2
1999	Ponte Gurone	121.2
2000	Ponte Gurone	69.6
2001	Ponte Gurone	63.2
2002	Ponte Gurone	133
2003	Ponte Gurone	76.8
2004	Ponte Gurone	79.4
2005	Ponte Gurone	43.6