

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)
"BRETTELLA DI GALLARATE"

PROGETTO ESECUTIVO

	 <p>Ing. Valerio Bajetti Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-26211</p>	<p>ING. RENATO DEL PRETE</p> <p>Ing. Renato Del Prete Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5073</p>	 <p>Arch. Nicoletta Frattini Ordine degli Arch. di Torino e provincia n° A-8433</p>	 <p>Ing. Gabriele Incechi Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-12102</p>
	<p>Ing. Renato Vaira (Ordine degli Ingg. di Torino e Provincia n° 4863 W)</p>	 <p>Società designata: GA&M</p> <p>Prof. Ing. Matteo Ranieri Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1137</p>	<p>SETAC Srl Servizi & Engineering Trasporti Ambiente Costruzioni</p> <p>Prof. Ing. Luigi Monterisi Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1771</p>	<p>ARKE' INGEGNERIA s.r.l. Via Immediatore Italiano n. 4 - 70126 Bari</p> <p>Ing. Gioacchino Angarano Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5970</p>

VISTO: IL RESPONSABILE
DEL PROCEDIMENTO

RESPONSABILE
INTEGRAZIONE DELLE
PRESTAZIONI
SPECIALISTICHE

IL PROGETTISTA FIRMATARIO
DELLA PRESTAZIONE

GEOLOGO

COORDINATORE DELLA
SICUREZZA IN FASE DI
PROGETTAZIONE

Dott. Ing. Giancarlo LUONGO

Ing. Renato DEL PRETE

Ing. Valerio BAJETTI

Prof. Ing. Geol. Luigi MONTERISI

Ing. Gaetano RANIERI

F002

F - PROGETTO IDRAULICO
FO - PROGETTO IDRAULICO GENERALE
Relazione generale idraulica

CODICE PROGETTO PROGETTO LIV. PROG. N. PROG. MI533 E 1801		NOME FILE F002-T00ID00IDRRE02_A.dwg		REVISIONE A	SCALA: -
CODICE ELAB.		T00ID00IDRRE02			
C					
B					
A	EMISSIONE	Maggio 2021	ING. NICOLA DEL DUCA	ING. VALERIO BAJETTI	ING. RENATO DEL PRETE
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

SOMMARIO

1	PREMESSA	2
2	DESCRIZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI	3
3	LINEE SEGNALETRICI POSSIBILTA' PLUVIOMETRICA	5
4	GENERALITÀ.....	6
5	SENSORI DELL'ARPA LOMBARDIA	7
6	CURVE DI POSSIBILITÀ CLIMATICA DELL'AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO	10
7	PLUVIOMETRI DEL SIMI.....	14
8	CONCLUSIONI IN MERITO ALLE PRECIPITAZIONI CON DURATA SUPERIORE ALL'ORA	15
9	DEFINIZIONE DELLE PRECIPITAZIONI CON DURATA INFERIORE ALL'ORA	17
10	AGGIORNAMENTO CON I DATI DEL 2017-OTTEMPANZA ALLE PRESCRIZIONI DELLA DELIBERA CIPE 27_2018 ...	32
10.1	ANALISI PLUVIOMETRICA	32
10.2	ANALISI IDROLOGICA	35
10.2.1	<i>Applicazione del metodo di horton per la massimizzazione dei volumi.....</i>	<i>35</i>
10.2.2	<i>Applicazione del metodo del scs-cn per la massimizzazione dei colmi di piena.....</i>	<i>41</i>
11	ALLEGATO: SERIE STORICHE DI PRECIPITAZIONE	46

1 PREMESSA

La presente relazione riporta le valutazioni idrologiche che hanno condotto alla individuazione delle portate di massima piena adottate per le verifiche idrauliche di piattaforma.

Per quanto concerne le valutazioni idrologiche di compatibilità idraulica relativamente alle interferenze con il reticolo idrografico delle opere in progetto, dalla analisi dei reticoli idrografici principale e minore sono state individuate le interferenze con le vasche di spagliamento dei Torrenti Rile e Tenore. Stante la complessità e l'unicità dell'interferenza individuata si rimanda all'apposita relazione di compatibilità redatta.

Lo stralcio funzionale dal km 6+500 (svincolo ss 336 nord) al km 8+844 (svincolo autostrada a8) non influisce la presente relazione nel senso che l'analisi idrologica risulta svolta sull'intero tracciato al fine di poter definire anche per le zone in stralcio funzionale una corretta e congruente curva di possibilità pluviometrica e conseguenti grandezze idrauliche congruenti con l'intero percorso.

Nella stessa si riporta, oltretutto, 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 Km², di cui 1.07 Km² 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 Km². 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.

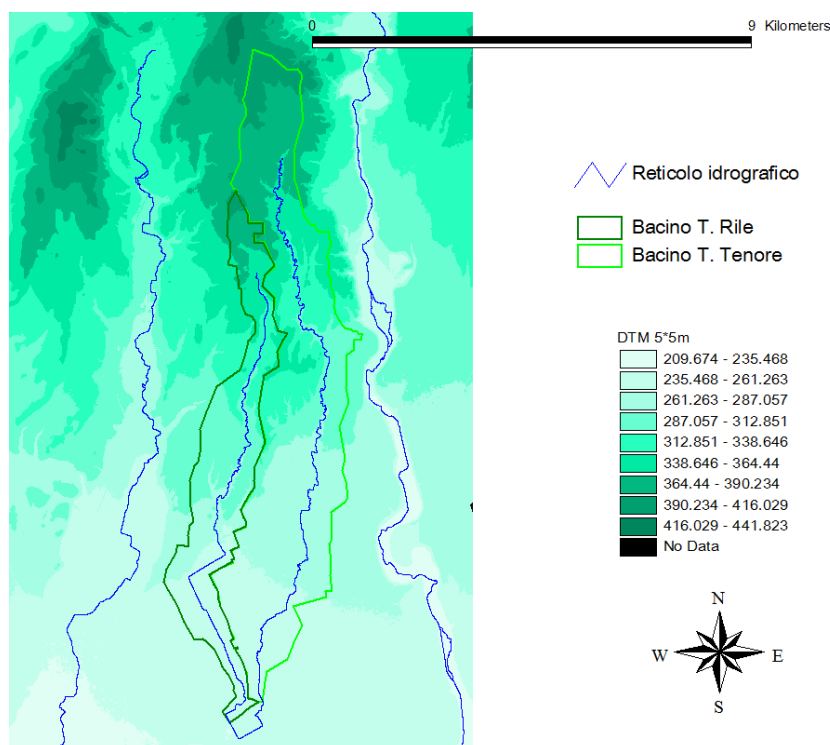


Figura 1. Bacini idrografici dei Torrenti Rile e Tenore.

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 m³;
- il bacino T alimentato dal torrente Tenore; volume d'invaso: 85 000 m³;
- il bacino RT costituito dalle vasche Rtm1, Rtm2 alimentabile dalle vasche R e T; volume d'invaso: 8 000 m³;
- il bacino Rtp alimentato per sfioro dai bacini R e T; volume d'invaso: 190 000 m³.
- il volume totale disponibile di tali vasche risulta dunque essere pari a 373 000 m³.

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 LINEE SEGNALETRICI POSSIBILTA' PLUVIOMETRICA

Si riporta nel seguito un riassunto delle informazioni disponibili ed utilizzate per la redazione della presente relazione idrologica.

Sono state analizzate le seguenti fonti di dati:

- 1) stazioni meteorologiche dell'arpa Lombardia. Mediante l'accesso alla banca dati idrologica è possibile scaricare i dati di pioggia delle stazioni meteo regionali:
http://idro.arpalombardia.it/pmapper-3.2/wg_serv_idro.phtml
 è possibile, inoltre, accedere ad un web gis che fornisce direttamente le curve di possibilità pluviometrica calcolate in base alle misure delle varie stazioni.
- 2) L'Autorità di Bacino del fiume Po, ha pubblicato la DIRETTIVA SULLA PIENA DI PROGETTO DA ASSUMERE PER LE PROGETTAZIONI E LE VERIFICHE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA: La suddetta direttiva contiene in allegato un certo numero di stazioni di pioggia puntuali e nell'allegato 3 la distribuzione spaziale delle precipitazioni intense.
- 3) il regime delle piogge intense di Milano U Moissello - ingegneria Ambientale n° 6 nov-dic 1976. Già citato anche dalla relazione idrologica del collegamento autostradale Dalmine – Como – Varese – Valico del Giaggiolo e opere connesse (Pedelombarda S.c.p.A.).
- 4) Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona. – Torrente Bozzente "Definizione delle portate di piena di riferimento"

4 GENERALITÀ

La previsione quantitativa delle piogge intense in una determinata area di piccole dimensioni è effettuata tramite la determinazione della curva di probabilità pluviometrica, cioè la relazione che lega l'altezza di precipitazione alla sua durata, per un assegnato tempo di ritorno.

Il tempo di ritorno è direttamente legato alla probabilità di accadimento di un certo evento ed è espresso in anni. L'altezza di precipitazione in un punto è comunemente misurata in mm ed è l'altezza d'acqua che si formerebbe al suolo su una superficie orizzontale ed impermeabile, in un certo intervallo di tempo (durata della precipitazione) ed in assenza di perdite.

La curva di possibilità pluviometrica è comunemente espressa da una legge di potenza del tipo:

$$h(t) = at^n$$

dove il parametro "a" è espresso in mm ed il tempo "t" in ore; a e n dipendono inoltre dallo specifico tempo di ritorno assegnato.

A seconda delle fonti i parametri a ed n sono stati determinati mediante differenti metodologie, per le definizioni teoriche utilizzate in ciascuna fonte, si rimanda alla pubblicazione citata; merita invece riprendere brevemente nel seguito la definizione della distribuzione probabilistica di Gumbel utilizzata nel seguito per la regolarizzazione dei dati di pioggia dei sensori Arpa della Regione Lombardia.

La legge di distribuzione probabilistica di Gumbel prende la seguente forma:

$$\Phi(z) = e^{-e^{-z}}$$

Nella quale, con z si indica la variabile ridotta $z = \alpha(h-\beta)$

Mentre $\alpha = 1.283/\sigma$ e $\beta = \mu - 0.450\sigma$

Con la media e lo scarto quadratico medio espressi dalle note relazioni:

$$\mu = \sum_{i=1}^N \frac{x_i}{N} = \bar{x} \quad \sigma = \left[\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N} \right]^{1/2}$$

Sulla base dei dati misurati ad una stazione Si ricavano i parametri della distribuzione di Gumbel relativamente alle diverse durate di pioggia.

La determinazione della precipitazione attesa di avere un assegnato tempo di ritorno T_r viene effettuata richiamando la relazione esistente tra il tempo di ritorno T_r e la funzione probabilità di non superamento $\phi(z)$:

$$\phi(z) = 1 - 1/T_r$$

$$z = -1n[-1n(\phi(z))]$$

In tale espressione, fissato T_r , viene valutata $\phi(z)$ per ognuna delle serie di dati e per ognuno dei tempi di pioggia.

Per ciascuna stazione e tempo di pioggia, i corrispondenti valori della massima precipitazione attesa con tempo di ritorno pari a quello prefissato, sono utilizzati, mediante una regressione ai minimi quadrati, per determinare i valori dei coefficienti a ed n della legge di potenza che meglio si adatta alla serie di massimi attesi.

Nei successivi capitoli dal 5 al 9 si riportano i calcoli idrologici eseguiti sulla base delle serie storiche fino al 2010 poste a base della progettazione definitiva. Nel successivo capitolo 10 le stesse analisi sono ripetute con i dati aggiornati al 2018 in ossequio alle osservazioni pervenute sul progetto definitivo dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

5 SENSORI DELL'ARPA LOMBARDIA

Rispetto ad altri dati di pioggia considerati il presente approccio presenta il vantaggio che la rete dei sensori dell'Arpa è stato infittito ed è costituito di serie storiche recenti e che quindi, sebbene presentino serie storiche più corte, hanno il pregio di essere sensibili alle variazioni climatiche. Risulta quindi importante il fatto di poter confrontare i risultati con quelli provenienti da serie storiche più datate anche se la consistenza del campione e la conseguente analisi statistica è purtroppo limitata.

Per ciascuna stazione si sono individuate le massime precipitazioni attese secondo la distribuzione di Gumbel in funzione del tempo di pioggia e del tempo di ritorno;

i valori di massima pioggia attesi per ogni tempo di pioggia di 1,3,6,12,24 h e per tempi di ritorno di 10,20,25,50,100,200,500 anni così definiti sono stati interpolati lungo lo sviluppo della strada utilizzando come peso in n° di dati a disposizione e l'inverso della distanza rispetto all'ubicazione delle stazioni. Successivamente le altezze di pioggia attese alle varie progressive, definite ad ogni kilometro di percorrenza, per ciascun tempo di pioggia e di ritorno sono state regolarizzate mediante la regressione con legge di potenza individuando così le curve di possibilità climatica alle varie progressive.

I sensori Arpa sono riportati nella seguente tabella con il numero di anni di misura disponibile indicato per ciascuna stazione

	5933 Accam	5934 V Magenta	5938 Lonate	5940 Somma	8219 Rossini	9116 Cavaria	10373 Ferno	Totale anni
n° anni	11	20	14	11	8	7	4	75

L'ubicazione delle stazioni risulta dalla seguente immagine; il tracciato riportato in rosso:

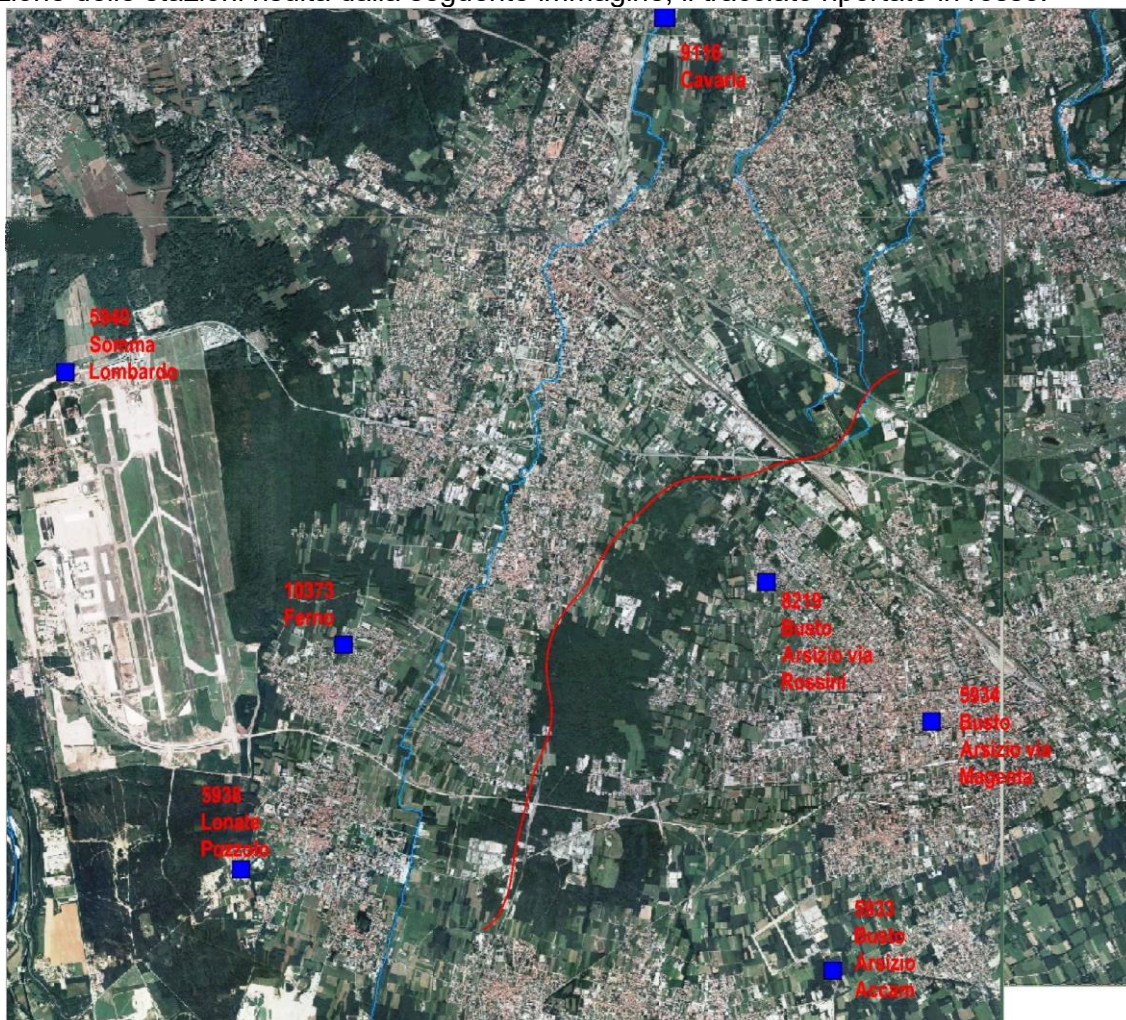


Figura 2. Ubicazione delle stazioni

I risultati sono riassunti nella seguente tabella:

tr	Km 8+800		Km 7+800		Km 6+800		Km 5+800	
	a	n	a	n	a	n	a	n
500	86.68	0.2585	88.489	0.2515	88.631	0.258	87.092	0.2723
200	77.374	0.2639	78.994	0.257	79.142	0.263	77.79	0.2766
100	70.32	0.2689	71.797	0.262	71.949	0.2676	70.737	0.2807
50	63.248	0.2689	64.583	0.268	64.738	0.273	63.667	0.2855
25	56.127	0.2822	57.318	0.2754	57.476	0.2798	56.546	0.2915
20	53.815	0.285	54.959	0.2781	55.119	0.2824	54.234	0.2937
10	46.539	0.2952	47.537	0.2884	47.699	0.2918	46.956	0.3021

tr	Km 4+800		Km 3+800		Km 2+800		Km 1+800	
	a	n	a	n	a	n	a	n
500	85.611	0.2848	83.742	0.301	83.768	0.298	83.38	0.3013
200	76.488	0.2887	74.851	0.3041	74.861	0.3012	74.513	0.3043
100	69.572	0.2922	68.109	0.307	68.106	0.3042	67.788	0.3071
50	62.637	0.2965	61.349	0.3105	61.332	0.3078	61.045	0.3105
25	55.652	0.3017	54.539	0.3148	54.509	0.3123	54.251	0.3147
20	53.384	0.3037	52.327	0.3164	52.294	0.314	52.045	0.3163
10	46.244	0.3111	45.364	0.3225	45.317	0.3203	45.098	0.3222

tr	Km 0+900		Km 0+900	
	a	n	a	n
500	83.441	0.301	83.07	0.3055
200	74.559	0.3039	74.235	0.3081
100	67.822	0.3066	67.533	0.3105
50	61.067	0.3099	60.812	0.3135
25	54.262	0.314	54.042	0.3171
20	52.052	0.3156	51.843	0.3185
10	45.091	0.3214	44.917	0.3237

In allegato i grafici relativi alle precedenti curve di possibilità climatica mediati sul tracciato e le curve delle singole stazioni.

L'Arpa Lombardia infine fornisce sul proprio sito le curve di possibilità pluviometrica puntuale che sono state estratte in corrispondenza delle stesse progressive usate in precedenza.

La formulazione della curva di possibilità pluviometrica è del tipo:

$$h_T(D) = a_1 w_T D^n \quad \text{con} \quad w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\}$$

I coefficienti risultano riportati nel seguito in funzione della progressiva per tempo di ritorno di 10, 20, 50,100, 200 anni

Progr.	Km 8+800	Km 7+800	Km 6+800	Km 5+800	Km 4+800
a_1	35.731491	35.569359	35.351662	35.26548	34.809639
n	0.28747931	0.28806281	0.28878409	0.2897433	0.29071531
$w_{T=10}$	1.430216	1.4304399	1.431267	1.4314131	1.433632
$w_{T=20}$	1.645553	1.645772	1.646219	1.646772	1.6476049
$w_{T=50}$	1.94802	1.948953	1.94838	1.94934	1.947787
$w_{T=100}$	2.193244	2.195333	2.1936669	2.194922	2.191056
$w_{T=200}$	2.4551089	2.4591129	2.4560101	2.4575131	2.450897

Progr.	Km 3+800	Km 2+800	Km 1+800	Km 0+900	Km 0+000
a_1	34.549068	34.25285	33.904861	33.422279	33.05999
n	0.29147491	0.29076681	0.29117209	0.29271629	0.29324469
$w_{T=10}$	1.4346811	1.435986	1.437535	1.439312	1.440902
$w_{T=20}$	1.64806	1.647894	1.6487319	1.650596	1.652351
$w_{T=50}$	1.947039	1.944451	1.944342	1.945851	1.9475631
$w_{T=100}$	2.1891	2.184274	2.1835239	2.184474	2.185986
$w_{T=200}$	2.4474571	2.4400589	2.438884	2.4389679	2.4400921

L'analisi ed il confronto dei dati porta a confermare nella sostanza i dati calcolati utilizzando le stazioni dell'Arpa mediante la distribuzione di Gumbell rispetto a quelli estratti dal sito regionale

6 CURVE DI POSSIBILITÀ CLIMATICA DELL'AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO

Per definire i coefficienti a ed n delle curve di possibilità pluviometriche, l'Autorità di Bacino del Fiume Po nella "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica" (allegato 3 Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense – allegato 2 Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica puntuali) ha utilizzato le serie storiche delle precipitazioni intense riportate negli Annali Idrologici del Servizio Idrografico e Mareografico Italiano (Parte I, tabella III) relative ai massimi annuali delle precipitazioni della durata di 1, 3, 6, 12 e 24 ore consecutive.

L'intervallo di durata tra 1 e 24 ore rappresenta il campo entro cui sono tradizionalmente valide le stime della massima precipitazione attese in funzione del tempo di pioggia e del tempo di Ritorno dell'evento.

Inoltre, la distribuzione spaziale delle piogge intense nei punti privi di misure dirette è stata realizzata mediante un'interpolazione spaziale con il metodo di Kriging dei parametri a e n delle linee segnalatrici, discretizzate in base ad un reticolo di 2 km di lato.

Le curve così elaborate consentono il calcolo delle linee segnalatrici in ciascun punto del bacino del Po, a meno dell'approssimazione derivante dalla risoluzione spaziale della griglia di discretizzazione, per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni.

I valori pubblicati dall'Autorità di Bacino costituiscono riferimento anche per le esigenze connesse ai progetti come quello in esame.

Anche in tal caso la forma delle curve di possibilità pluviometrica è del tipo legge di potenza

$$h(t) = at^n$$

Per quanto riguarda l'allegato 2 alla suddetta direttiva, la stazione puntuale più vicina all'area in esame è costituita dalla seguente stazione

Codice 1057 - Busto Arsizio

TR 20		TR 100		TR 200		TR 500	
a	n	a	n	a	n	a	n
67.72	0.207	89.18	0.190	98.27	0.184	110.38	0.178

Per quanto riguarda l'allegato 3 alla direttiva, analogamente a quanto proposto per la regolarizzazione dei dati delle stazioni Arpa si è provveduto a caratterizzare le progressive mediante un opportuno valore di a e di n a seconda delle coordinate UTM del tracciato, riferibili ad una determinata cella del reticolo descritto.

In conclusione, la distribuzione spaziale su celle è così definibile:

Da progressiva km 0+00 a progressiva Km 1+700 la cella di riferimento è la CN76

Da progressiva km 1+700 a progressiva Km 3+700 la cella di riferimento è la CN75

Da progressiva km 3+800 a progressiva Km 6+800 la cella di riferimento è la CO74

Da progressiva km 6+900 a progressiva Km 8+800 la cella di riferimento è la CP73

Ai fini dello stralcio funzionale dal km 6+500 (svincolo ss 336 nord) al km 8+844 (svincolo autostrada a8) si ritiene di adottare le seguenti celle di riferimento da progressiva km 6+500 a progressiva Km 6+800 la cella di riferimento è la CO74.

Da progressiva km 6+900 a progressiva Km 8+800 la cella di riferimento è la CP73. Con riferimento alle reti di scolo da piattaforma nulla cambia in termini di contributo di piena.

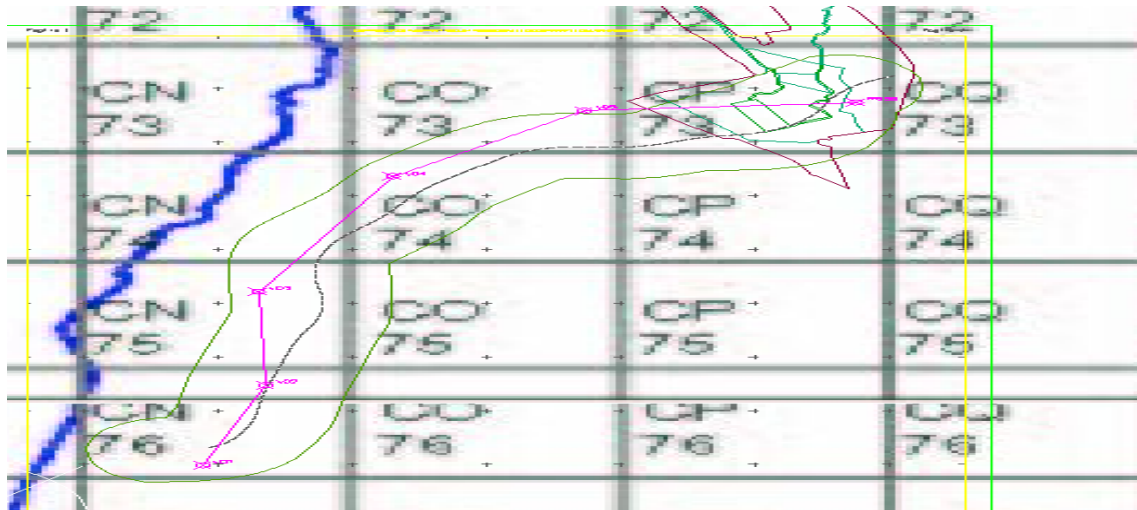


Figura 3. Distribuzione spaziale su celle

Si ha:

cella codice	Cella Coordinate Est UTM	Coordinate Nord UTM	TR 20		TR100	
			a	n	a	n
CN75	483000	5051000	63.29	0.2360	82.84	0.2230
CN76	483000	5049000	62.10	0.2390	81.19	0.2260
CO74	485000	5053000	65.39	0.2270	85.77	0.2120
CP73	487000	5055000	66.40	0.2230	87.04	0.2070

cella codice	Cella Coordinate Est UTM	Coordinate Nord UTM	TR200		TR500	
			a	n	a	n
CN75	483000	5051000	91.15	0.2180	102.18	0.2130
CN76	483000	5049000	89.30	0.2210	100.06	0.2160
CO74	485000	5053000	94.42	0.2070	105.91	0.2010
CP73	487000	5055000	95.81	0.2020	107.46	0.1970

Per le precedenti curve di possibilità pluviometrica occorre definire i valori di a e di n almeno per tempo di ritorno di 25 anni e 50 anni che sono significativi per le verifiche idrauliche.

La definizione delle curve risulta possibile procedendo ad una interpolazione dei valori di a ed n nell'ipotesi che detti valori si dispongano seguendo delle leggi di potenza al variare del tempo di ritorno considerato. Pertanto si ha:

Codice 1057 - Busto Arsizio

TR 25		TR 50	
a	n	a	n
70.87	0.2040	78.80	0.1974

Ed ancora

cella codice	Cella Coordinate Est UTM	Coordinate Nord UTM	TR25		TR50	
			a	n	a	n
CN75	483000	5051000	66.16	0.2338	73.41	0.2286
CN76	483000	5049000	64.90	0.2200	71.98	0.2316
CO74	485000	5053000	68.38	0.2245	75.93	0.2186
CP73	487000	5055000	69.43	0.2200	77.08	0.2142

Il medesimo approccio idrologico è stato utilizzato nella relazione "Relazione di compatibilità idraulica delle opere di attraversamento delle Fasce Fluviali dei torrenti Rile e Tenore" facente parte del presente progetto, al fine di definire le curve di possibilità pluviometriche medie per i T. Rile e Tenore.

I Bacini dei due torrenti sono rappresentati rispetto al reticolo delle celle idrologiche nel seguente schema grafico:

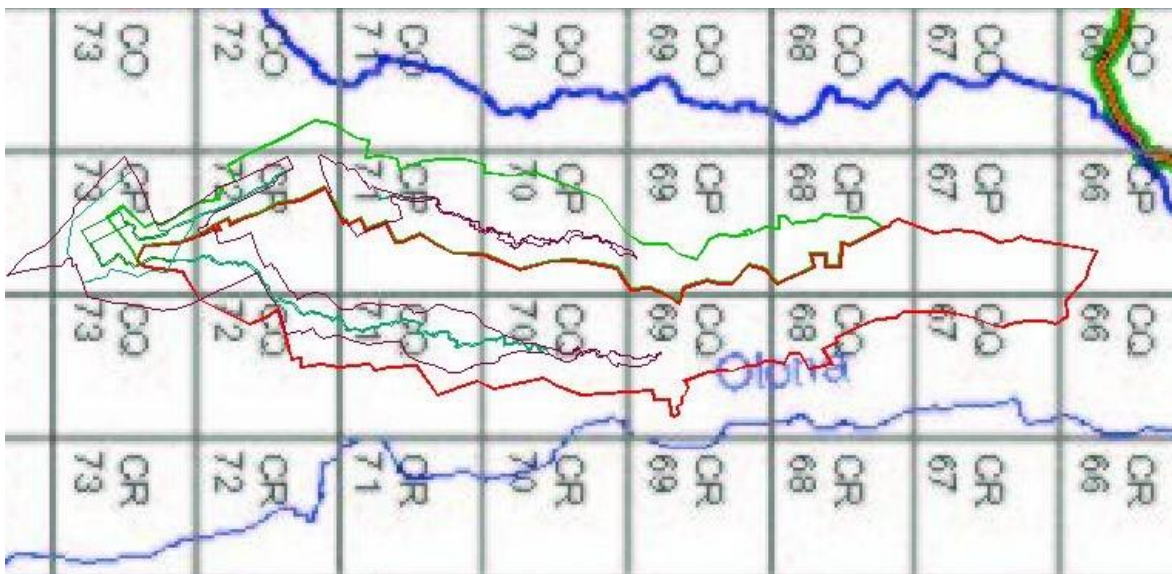


Figura 4. Rappresentazione dei bacini dei due torrenti rispetto al reticolo delle celle idrologiche

La distribuzione della superficie dei T Rile e Tenore per i due bacini risulta riassunta nella seguente tabella

Torrente Rile

cella codice	Area appartenente al bacino (kmq)	TR 20		TR100		TR 200		TR500	
		a	n	a	n	a	n	a	n
CO71	0.08	65.03	0.239	84.81	0.226	93.22	0.221	104.38	0.216
CO72	0.33	65.28	0.235	85.34	0.221	93.87	0.216	105.19	0.211
CP68	0.85	64.44	0.253	83.22	0.239	91.22	0.235	101.81	0.23
CP69	1.18	64.69	0.247	83.83	0.233	91.97	0.229	102.76	0.224
CP70	2.16	65.05	0.242	84.55	0.228	92.85	0.223	103.86	0.218
CP71	2.23	65.45	0.235	85.33	0.221	93.79	0.216	105.01	0.211
CP72	1.35	65.94	0.229	86.22	0.215	94.83	0.21	106.27	0.204
CP73	0.46	66.4	0.223	87.04	0.207	95.81	0.202	107.46	0.197
Media pesata	Tot area 8.63	65.26	0.239	84.95	0.225	93.32	0.220	104.43	0.215

Torrente Tenore

cella codice	Area appartenente al bacino (kmq)	TR 20		TR100		TR 200		TR500	
		a	n	a	n	a	n	a	n
CP66	0.26	64.14	0.264	82.28	0.251	90.01	0.247	100.24	0.242
CP67	1.66	64.26	0.258	82.71	0.245	90.57	0.241	100.98	0.236
CP68	1.24	64.44	0.253	83.22	0.239	91.22	0.235	101.81	0.23
CP69	0.32	64.69	0.247	83.83	0.233	91.97	0.229	102.76	0.224
CP70	0.85	65.05	0.242	84.55	0.228	92.85	0.223	103.86	0.218
CP71	1.57	65.45	0.235	85.33	0.221	93.79	0.216	105.01	0.211
CP72	2.34	65.94	0.229	86.22	0.215	94.83	0.21	106.27	0.204
CP73	0.32	66.4	0.223	87.04	0.207	95.81	0.202	107.46	0.197
CQ66	0.04	63.61	0.262	81.56	0.249	89.2	0.245	99.33	0.241
CQ67	0.65	63.9	0.256	82.19	0.243	89.99	0.239	100.3	0.234
CQ68	1.22	64.21	0.25	82.86	0.237	90.81	0.233	101.34	0.228
CQ69	2.39	64.57	0.244	83.61	0.231	91.72	0.226	102.46	0.221
CQ70	2.59	65.01	0.239	84.45	0.225	92.73	0.22	103.69	0.215
CQ71	2.23	65.49	0.232	85.35	0.218	93.79	0.213	104.99	0.208
CQ72	1.05	66.07	0.226	86.36	0.211	94.98	0.206	106.43	0.201
Media pesata	Tot area 18.74	65.03	0.241	84.44	0.227	92.69	0.222	103.64	0.217

7 PLUVIOMETRI DEL SIMI

Nello Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona - Studio torrente Bozzente. (Lotti e Associati Spa - Giugno 2003), vengono riportate numerose curve di possibilità pluviometrica, per quanto riguarda i pluviometri del SIMI, in particolare, si riporta la stazione di Busto Arsizio e di Gallarate situate nei pressi dell'area in esame.

Sulla base dei parametri riportati nel suddetto studio, La curva di possibilità pluviometrica, nella forma della legge di potenza, per i vari tempi di ritorno considerati risulta definibile nei parametri a ed n nella tabella seguente:

stazione	TR 20		TR25		TR50		TR100		TR200		TR500	
	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n
Busto Arsizio cod 1057	57.16	0.263	58.98	0.263	64.44	0.263	69.66	0.263	74.67	0.263	80.99	0.263
Gallarate cod 1056	59.48	0.297	62.59	0.297	73.12	0.297	85.20	0.297	99.09	0.297	120.7	0.297

8 CONCLUSIONI IN MERITO ALLE PRECIPITAZIONI CON DURATA SUPERIORE ALL'ORA

Lo scopo del presente capitolo è determinare quale delle curve in precedenza elencate risulti la più idonea e principalmente la più cautelativa ai fini del presente progetto. Risulta necessario, pertanto, confrontare le curve calcolate in precedenza. Di base osservando i coefficienti calcolati si tratta sostanzialmente di due famiglie di curve, i dati dell'Arpa e del Simi presentano valori di "a" inferiori e valori di "n" leggermente superiori rispetto alle curve individuate dall'Autorità di Bacino.

Questo significa che, ai fini del presente progetto, i tempi di pioggia da considerare per il dimensionamento del sistema di raccolta acque di piattaforma sono generalmente al limite inferiore di validità della curva, pertanto, le curve dell'Autorità di Bacino (CELLE A.B.) risultano da questo punto di vista più cautelative. Il raffronto tra le due famiglie di curve è riportato nella seguente tabella e nel successivo grafico Per quanto riguarda le curve dell'Arpa, stimando delle curve medie per ciascuna delle 4 metodologie si osserva il seguente confronto tra le curve per Tr 25 anni

T.P. (ORE)	CELLE A.B.	ARSIZIO A.B.	ARPA	GUMBELL	ARSIZIO (SIMI)	GALLARATE (SIMI)
0.5	57.53	61.53	47.65	44.39	49.15	50.94
1	67.22	70.87	58.27	55.35	58.98	62.59
2	78.54	81.63	71.27	69.03	70.77	76.90
3	86.03	88.67	80.17	78.54	78.74	86.74
4	91.77	94.03	87.16	86.08	84.93	94.47
6	100.52	102.14	98.05	97.94	94.48	106.57
8	107.23	108.32	106.59	107.34	101.91	116.07
12	117.45	117.66	119.91	122.14	113.38	130.92
16	125.29	124.77	130.36	133.86	122.29	142.60
20	131.73	130.58	139.09	143.72	129.68	152.37
24	137.24	135.53	146.65	152.31	136.05	160.85

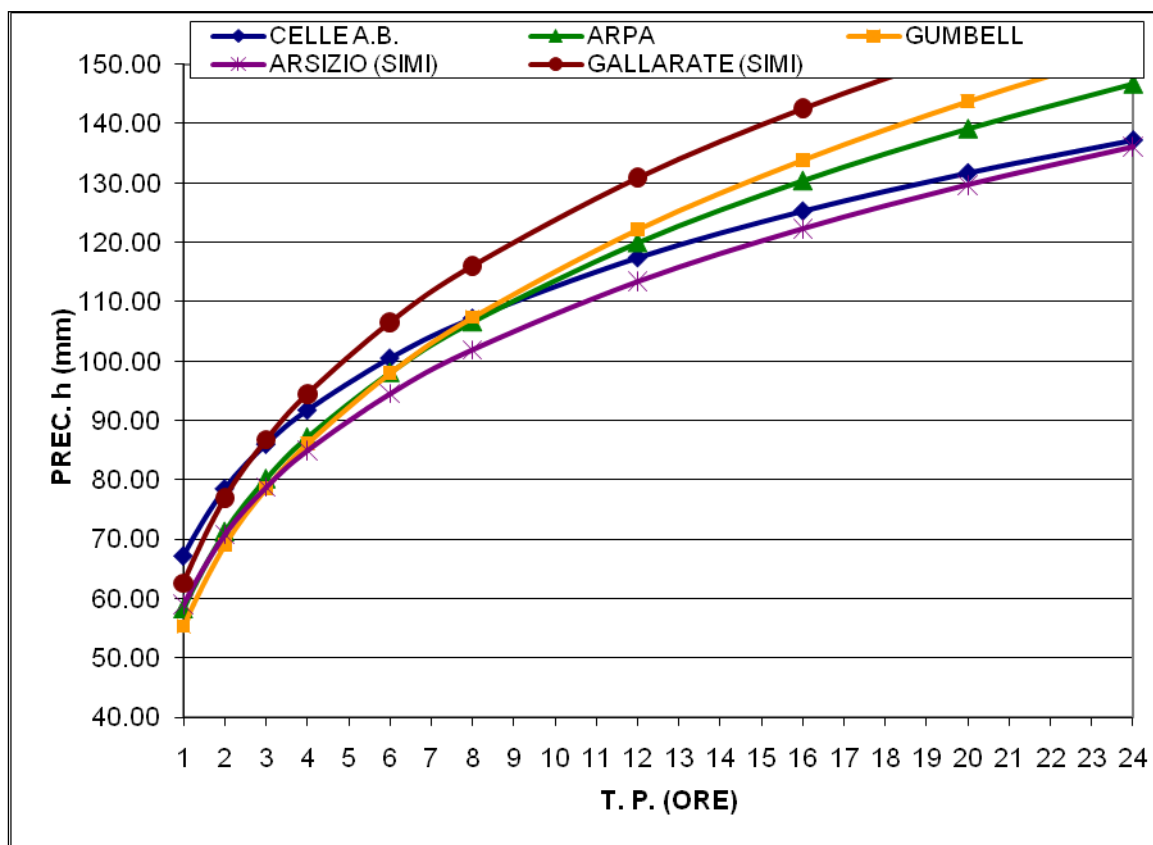


Figura 5. Curve di possibilità pluviometrica

In conclusione, per tempi di pioggia superiori all'ora si adottano le curve dell'Autorità di Bacino del Po distribuite su celle. (curva Blu scuro).

9 DEFINIZIONE DELLE PRECIPITAZIONI CON DURATA INFERIORE ALL'ORA

Le elaborazioni riportate nei precedenti paragrafi si riferiscono a piogge di durata superiore all'ora. Le reti di drenaggio di piattaforma quali quelle oggetto del presente progetto sono di ridotta estensione e pertanto possono essere messe in crisi da eventi di bassissima durata, anche inferiore all'ora.

L'estrapolazione dei valori sopra citati per le piogge di brevissima durata ($t < 1$ ora) conduce, in genere, alla sovrastima delle precipitazioni $h(t)$. Occorre quindi ricavare, in base ai dati di precipitazioni intense di durate $t < 1$ ora, i relativi valori di a e n in modo da avere, per ogni tempo di ritorno T , due curve di possibilità climatica riferite, cioè, sia alle durate t maggiori di 1 ora (dette anche a_2 e n_2) che a quelle minori di 1 ora (a_1 ed n_1).

Le metodologie per la determinazione delle suddette curve di possibilità climatica nel caso di $t < 1$ ora comportano la conoscenza di dati puntuali non sempre disponibili.

Un primo possibile approccio si basa sulla definizione dei rapporti, ritenuti in buona approssimazione costanti nello spazio, che intercorrono tra la precipitazione massima ad un dato tempo $t < 1$ ora ed il valore per $t=1$ ora generalmente disponibile. (Bell 1969, Goswami 1973, Domanaco 1986, Calenda ed altri 1993 – sul pluviometro di Roma Macao). Nel caso in esame Piga 1990 ed altri hanno determinato per il pluviometro di Milano Monviso i suddetti rapporti.

Un secondo approccio è possibile analizzando i 16 pluviometri di Milano studiati già dal 1976 dal U Moisello nel noto articolo il regime delle piogge intense di Milano - ingegneria Ambientale n° 6.

Osservando l'ubicazione dei vari pluviometri si è notato che la stazione di Garbagnate è situata ad una distanza di 15-25 km dal tracciato, in un ambito climatico - ambientale molto simile a quello in esame. L'articolo di cui sopra ha definito il rapporto n_1/n_2 per le 16 stazioni di Milano. L'ipotesi sviluppata nel presente approccio è che il rapporto a_1/a_2 sia costante. Questa ipotesi semplificatoria risulta utile per la continuità della curva per t pari ad 1 ora. Si ritiene corretto assumere che per $t < 1$ ora risulti valido, sul tracciato in esame, il rapporto n_1/n_2 della stazione di Garbagnate che risulta pari a 1.57. Detto rapporto può essere utilizzato per stimare n_1 relativo alle curve di possibilità climatica scelte per $t > 1$ ora nell'ipotesi dell'invarianza di rapporto.

In conclusione, si ha:

TR 25 anni	a	n2	n1
CN75	66.16	0.2338	0.367076
CN76	64.90	0.2200	0.345457
CO74	68.38	0.2245	0.352411
CP73	69.43	0.2200	0.345457

TR 50 anni	a	n2	n1
CN75	73.41	0.2286	0.358961
CN76	71.98	0.2316	0.363674
CO74	75.93	0.2186	0.343240
CP73	77.08	0.2142	0.336224

Un confronto effettuato con le curve MEDIE dei parametri a ed n_2 rispetto alle curve con parametri a ed n_1 riportata nel seguente grafico:

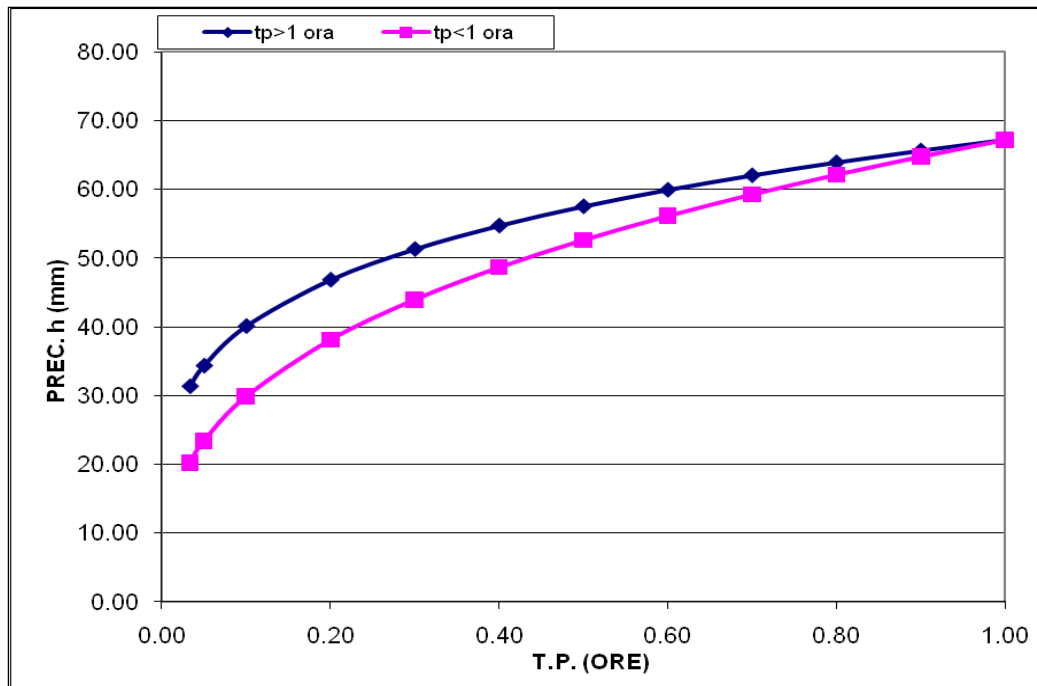
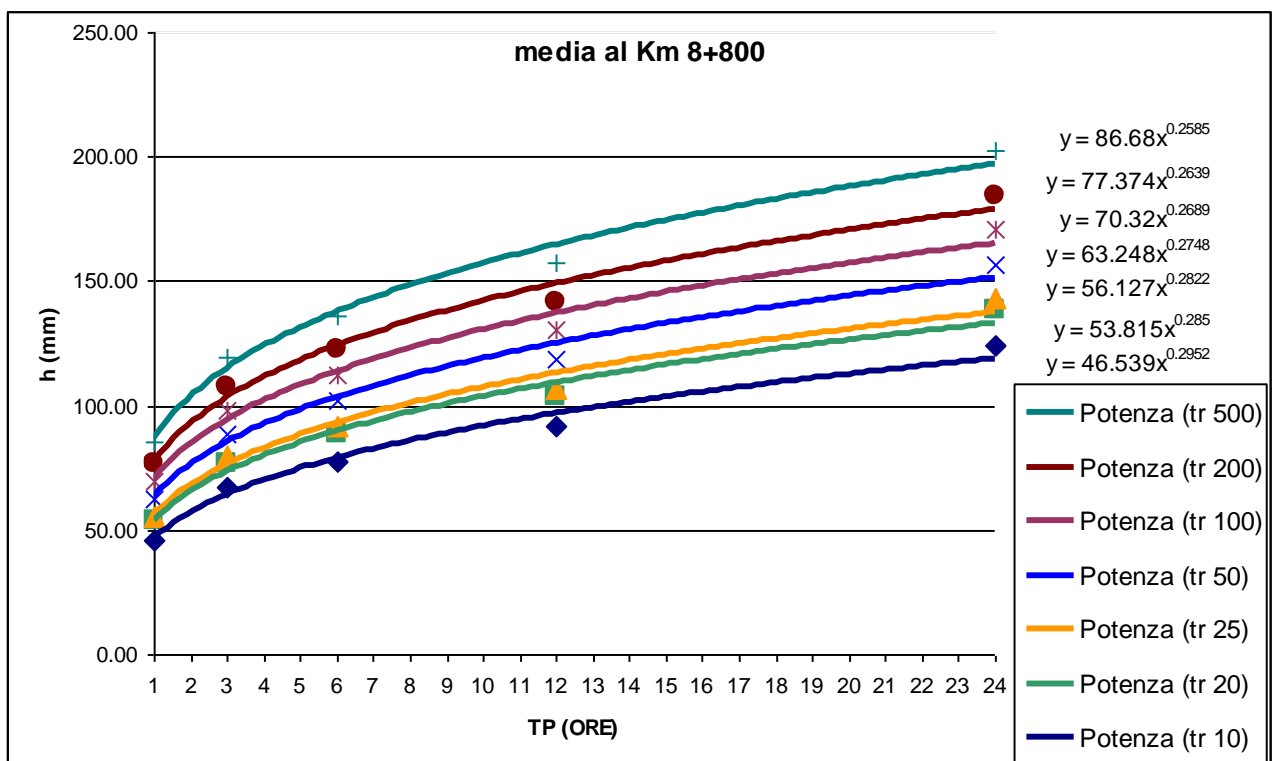


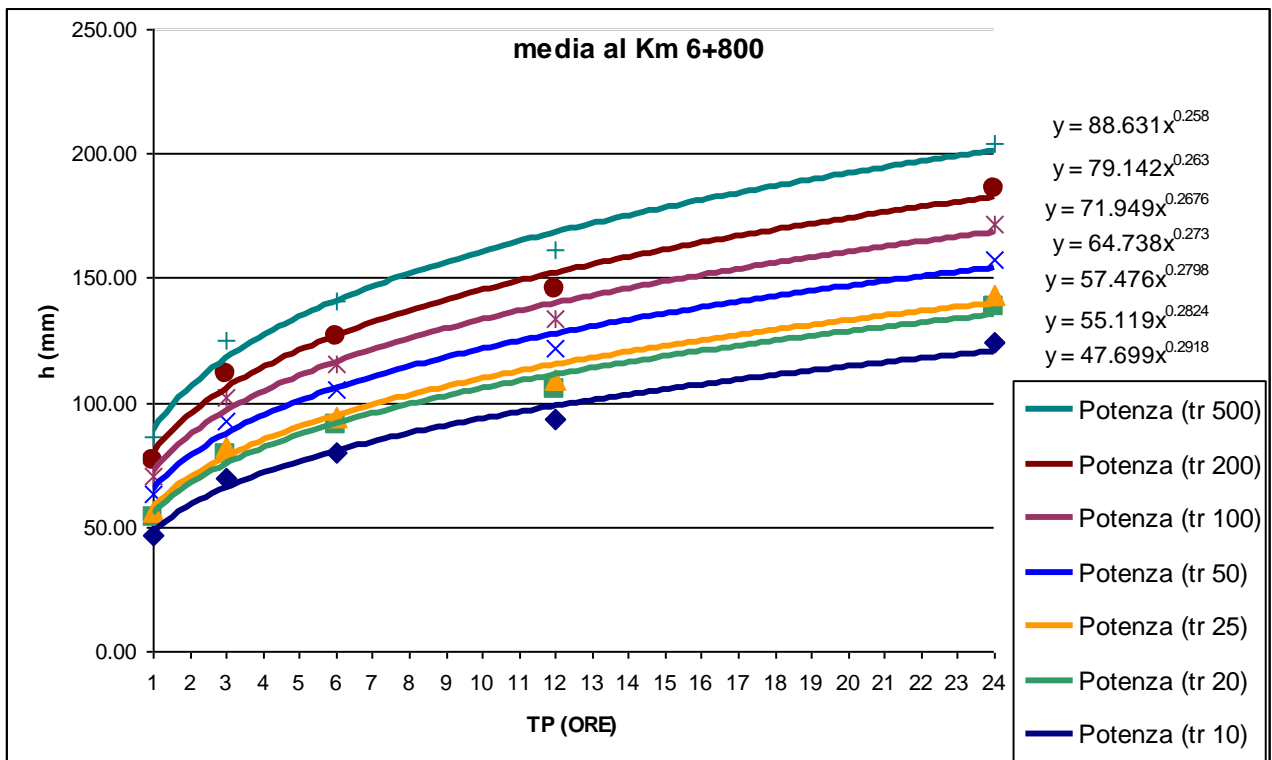
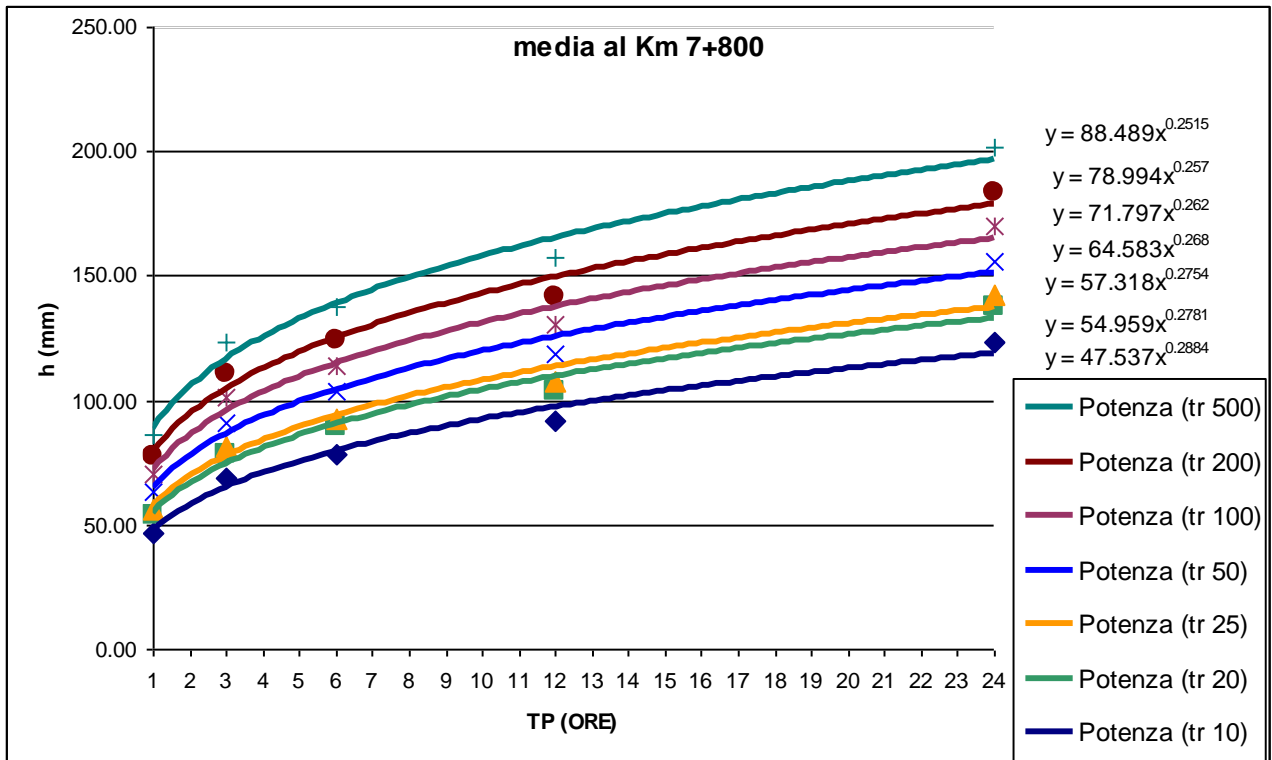
Figura 6. Confronto curve di possibilità pluviometrica

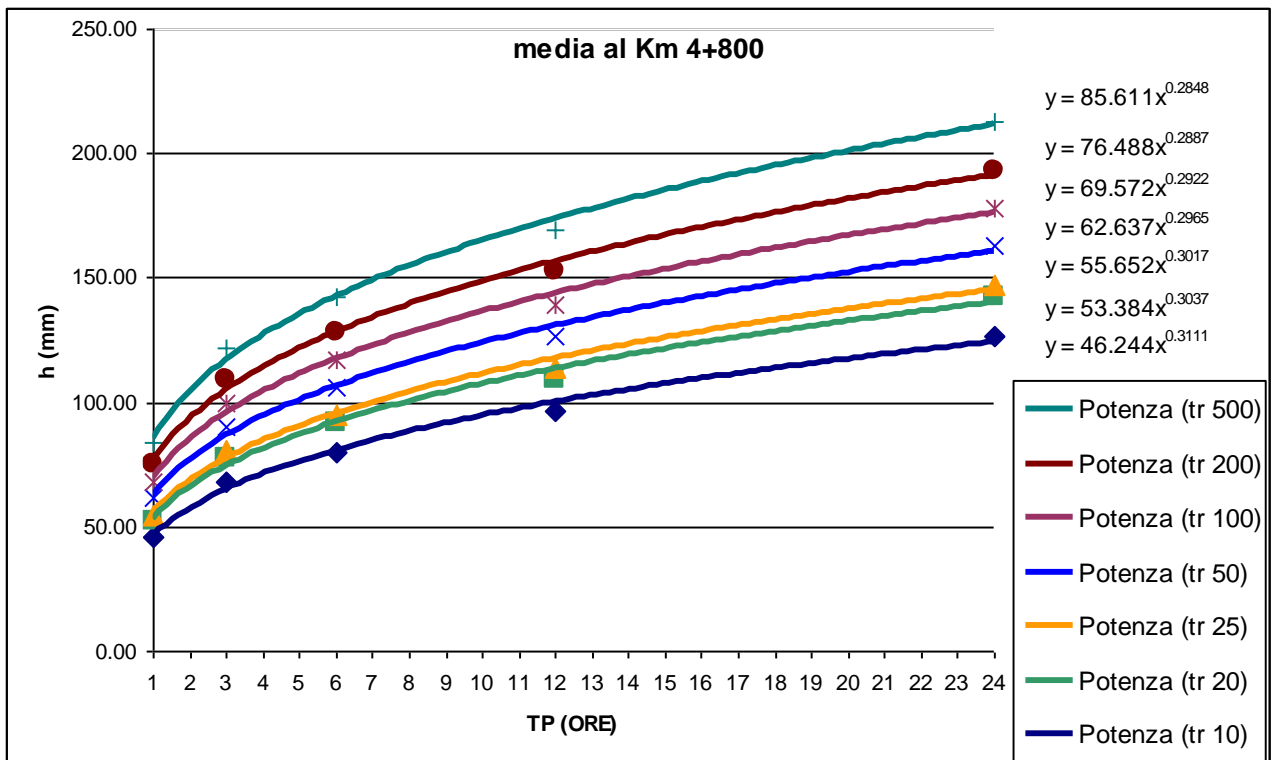
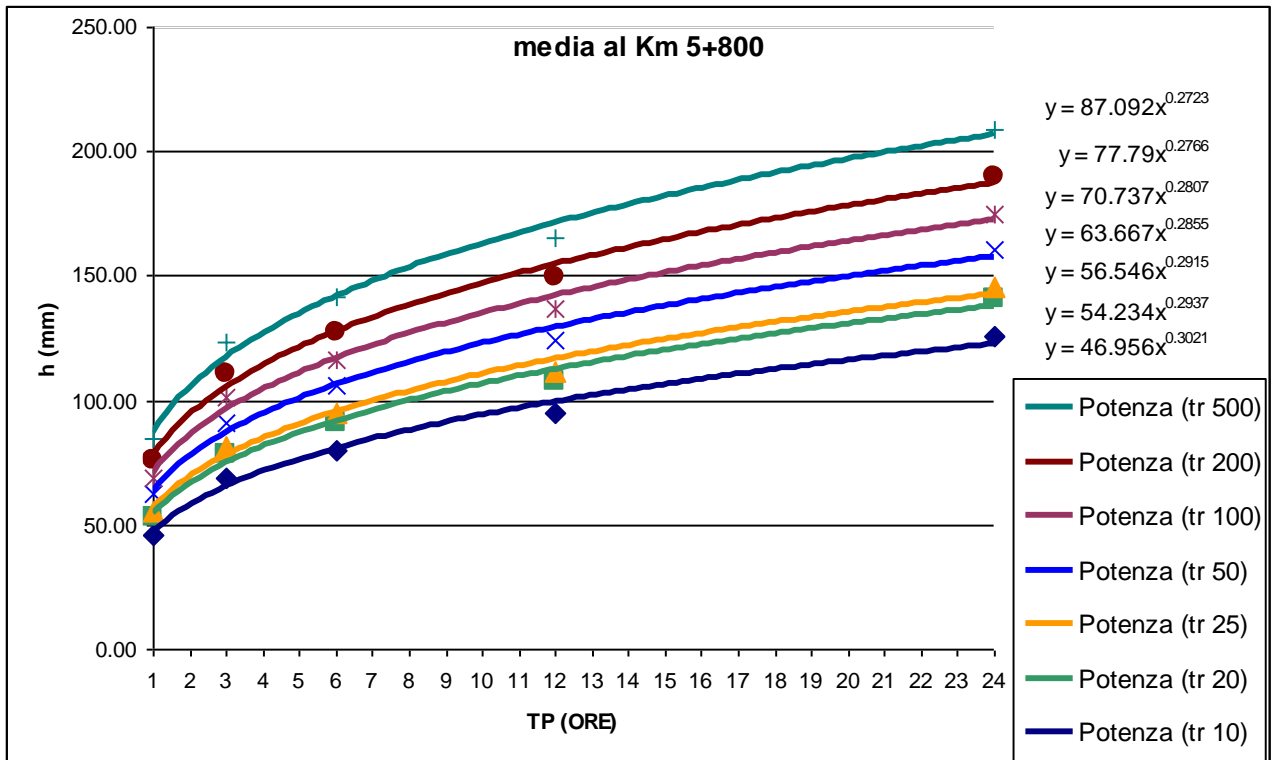
Il confronto indica una riduzione della precipitazione stimabile finanche del 30% massimo per i bassi tempi di pioggia, tuttavia, detta riduzione risulta comunque inferiore a quella che si avrebbe ad adottare una metodologia del tipo rapporti di riduzione nella forma di Bell 1969 o altri.

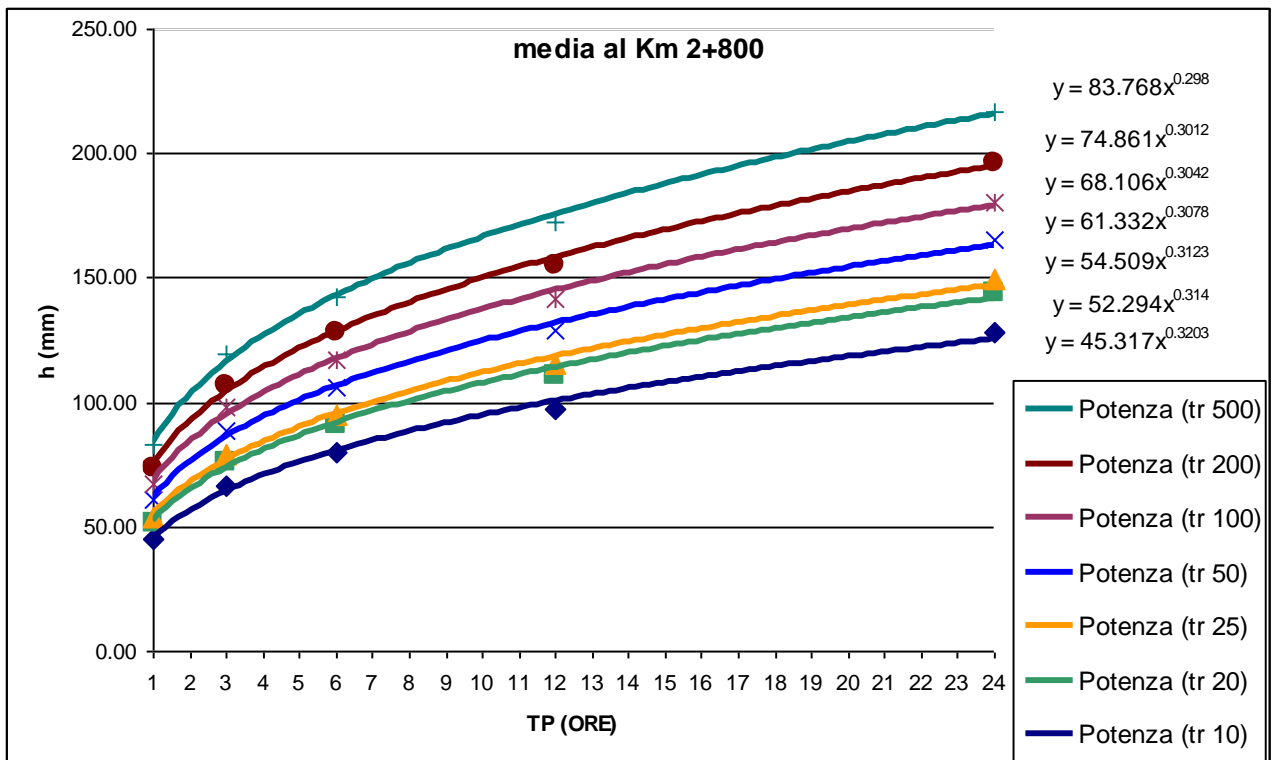
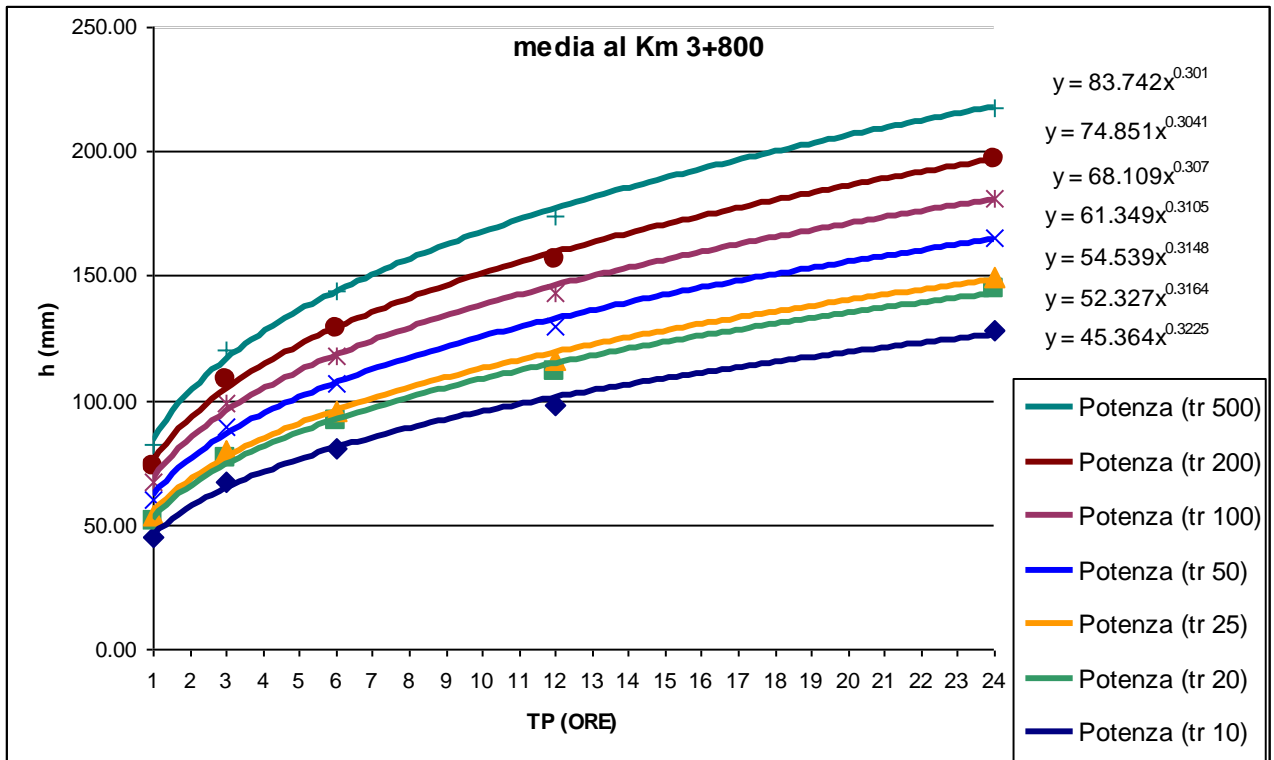
Per tale ragione l'assunzione fatta pare cautelativa e congruente con quanto potenzialmente atteso per le aree in oggetto.

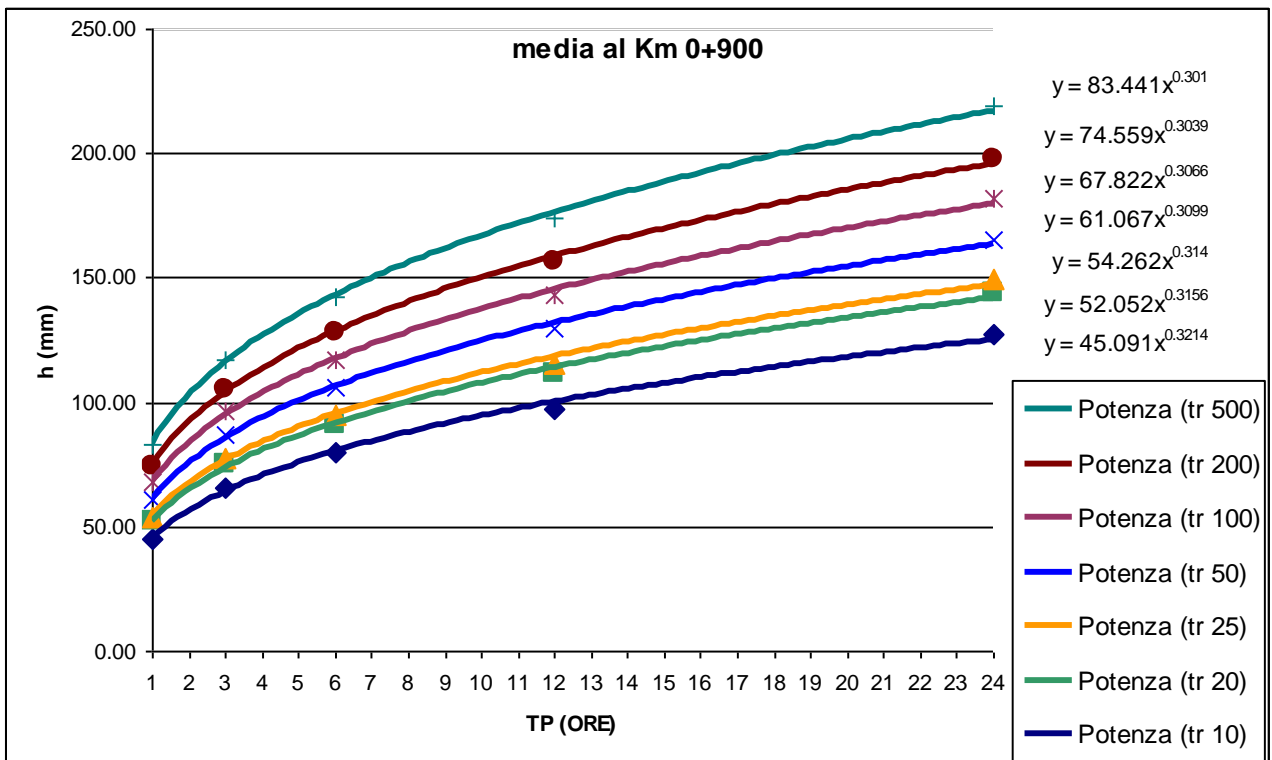
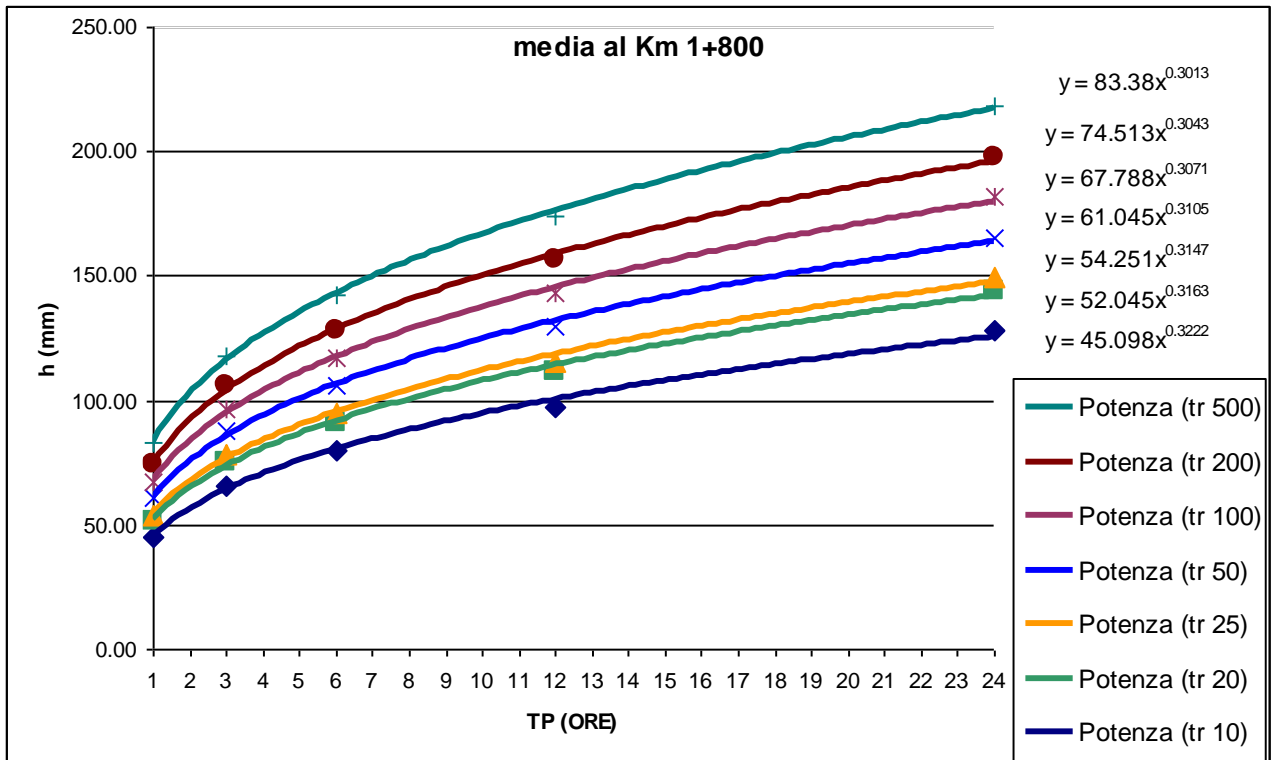
Allegato 1: curve di possibilità climatica alle progressive stradali ricavate dalle stazioni di pioggia dell'Arpa Regione Lombardia

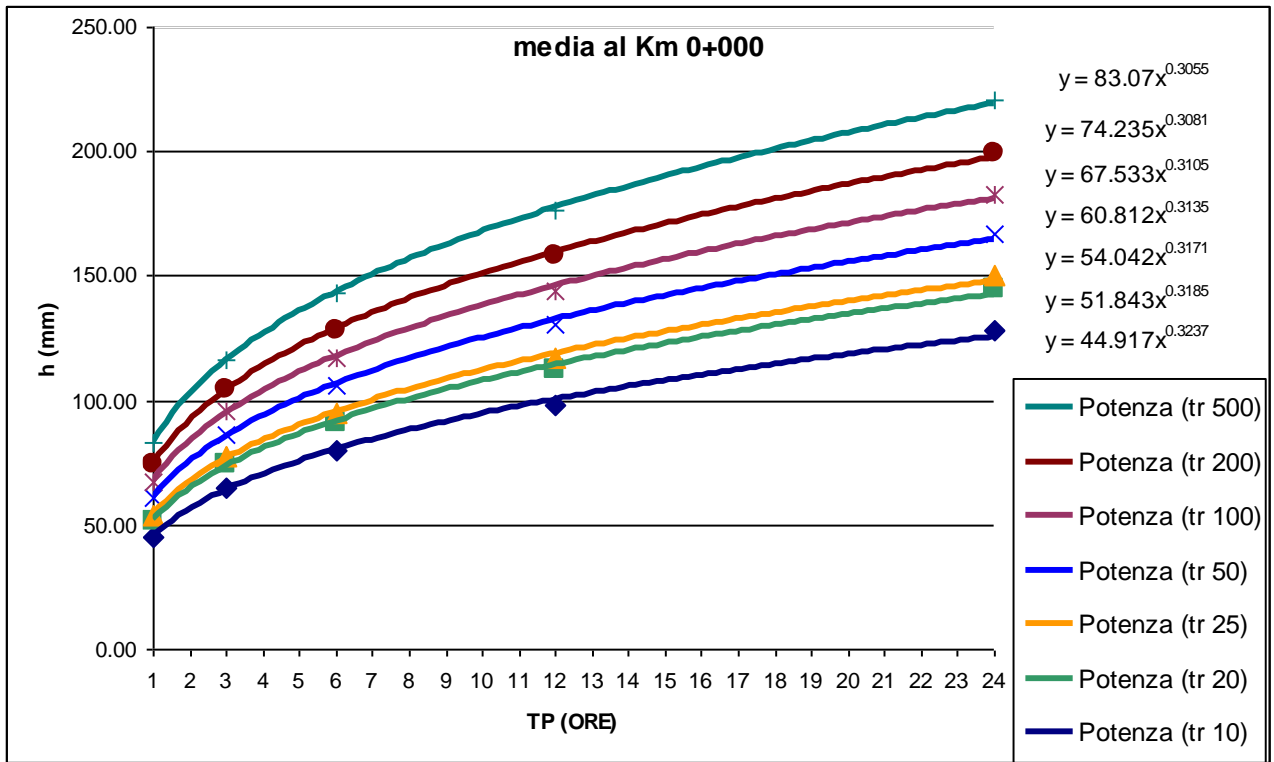












Allegato 2 Analisi delle singole stazioni

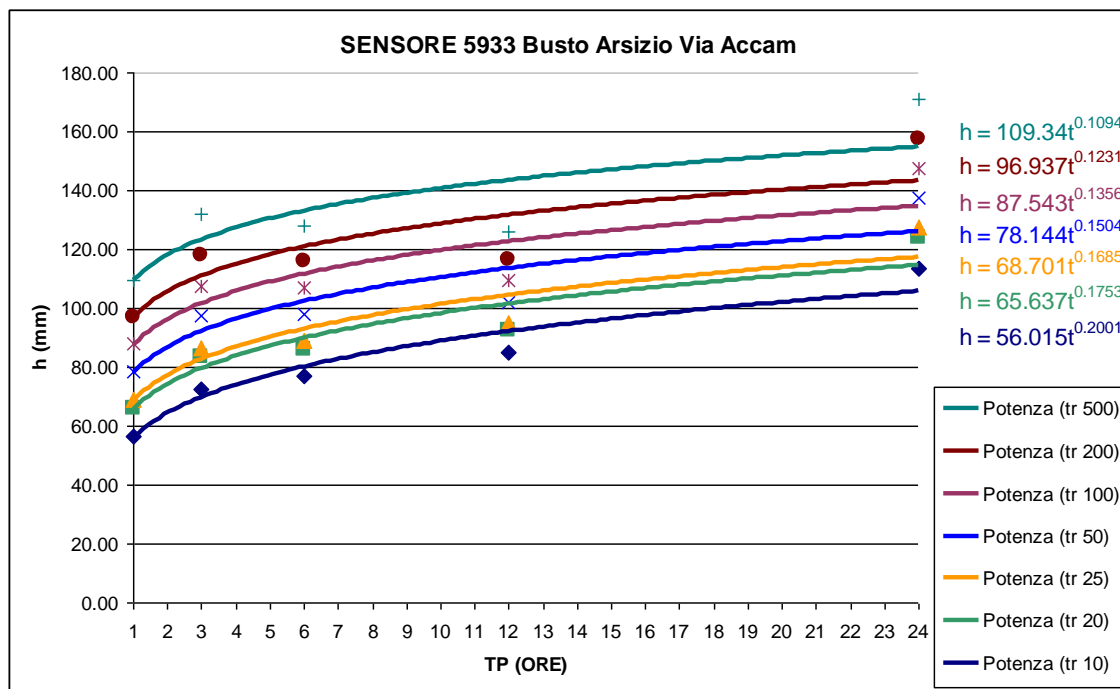
SENSORE 5933 Busto Arsizio Via Accam

Massimi annuali

anno	1 ORA	3 ORE	6 ORE	12 ORE	24 ORE
2010	26.60	33.40	43.20	50.80	84.00
2009	45.20	60.60	63.80	71.60	102.00
2008	31.40	52.40	66.80	76.40	86.80
2007	35.40	45.40	55.40	70.60	92.00
2006	21.20	35.40	39.60	68.80	101.00
2005	31.00	48.60	49.00	51.80	60.80
2004	41.80	61.60	65.40	67.50	85.70
2003	22.00	32.50	49.00	78.50	89.30
2002	64.50	76.30	79.00	79.70	114.10
2000	15.80	29.40	51.40	67.00	86.60
1999	30.60	33.20	36.60	53.00	70.00

Massime precipitazioni attese secondo la distribuzione di Gumbell

ore	tr 10	tr 20	tr 25	tr 50	tr 100	tr 200	tr 500
1	56.59	66.19	69.24	78.62	87.93	97.22	109.46
3	72.50	83.29	86.72	97.26	107.73	118.16	131.92
6	76.95	86.20	89.13	98.16	107.12	116.06	127.84
12	85.05	92.52	94.89	102.19	109.43	116.65	126.17
24	113.69	124.09	127.39	137.56	147.65	157.70	170.97



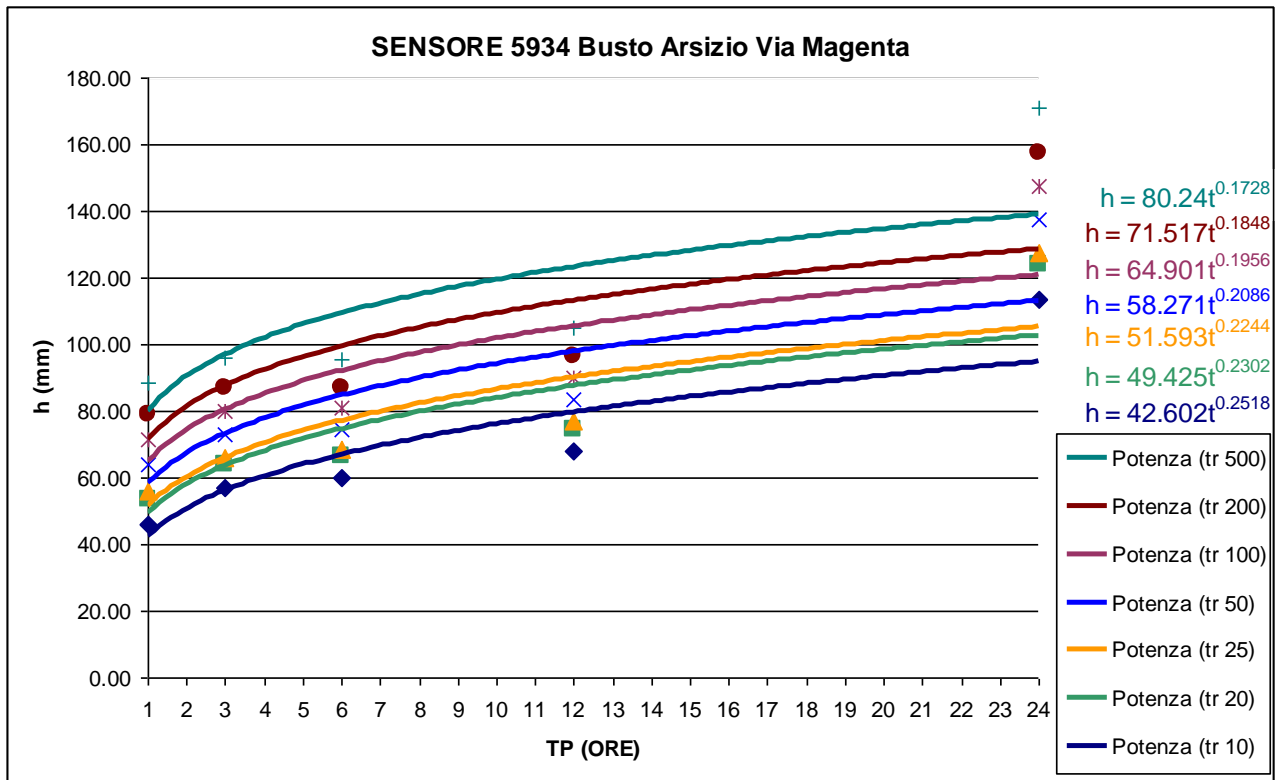
SENSORE 5934 Busto Arsizio Via Magenta

Massimi annuali

	1 ORA	3 ORE	6 ORE	12 ORE	24 ORE
2010	26.20	40.20	56.40	57.80	69.00
2009	21.60	41.00	42.80	45.60	66.40
2008	23.80	43.80	43.80	48.40	62.40
2007	25.20	32.80	41.00	50.40	67.00
2006	74.80	76.60	76.60	81.00	95.20
2005	24.00	47.60	47.80	49.60	51.00
2004	24.60	50.60	54.00	54.00	58.20
2003	31.40	34.80	35.60	49.60	57.80
2002	33.60	48.40	52.20	53.20	79.00
2001	22.80	30.20	35.20	39.00	57.60
2000	22.40	28.00	39.00	51.00	75.20
1999	28.00	39.20	39.40	49.60	57.60
1998	25.20	29.40	35.40	45.80	63.60
1997	20.80	35.20	36.40	37.20	49.80
1996	23.40	35.00	46.20	62.80	89.00
1995	18.60	31.20	40.40	46.40	76.20
1994	22.80	40.40	44.20	67.60	98.00
1993	24.20	40.40	45.00	58.60	90.70
1992	21.60	34.00	41.00	41.00	60.40
1991	30.60	33.20	36.60	53.00	70.00

Massime precipitazioni attese secondo la distribuzione di Gumbell

ore	tr 10	tr 20	tr 25	tr 50	tr 100	tr 200	tr 500
1	45.94	53.71	56.18	63.78	71.32	78.84	88.75
3	56.77	63.92	66.19	73.18	80.12	87.04	96.16
6	59.92	66.37	68.41	74.72	80.97	87.20	95.42
12	68.07	74.74	76.86	83.37	89.84	96.28	104.78
24	113.69	124.09	127.39	137.56	147.65	157.70	170.97



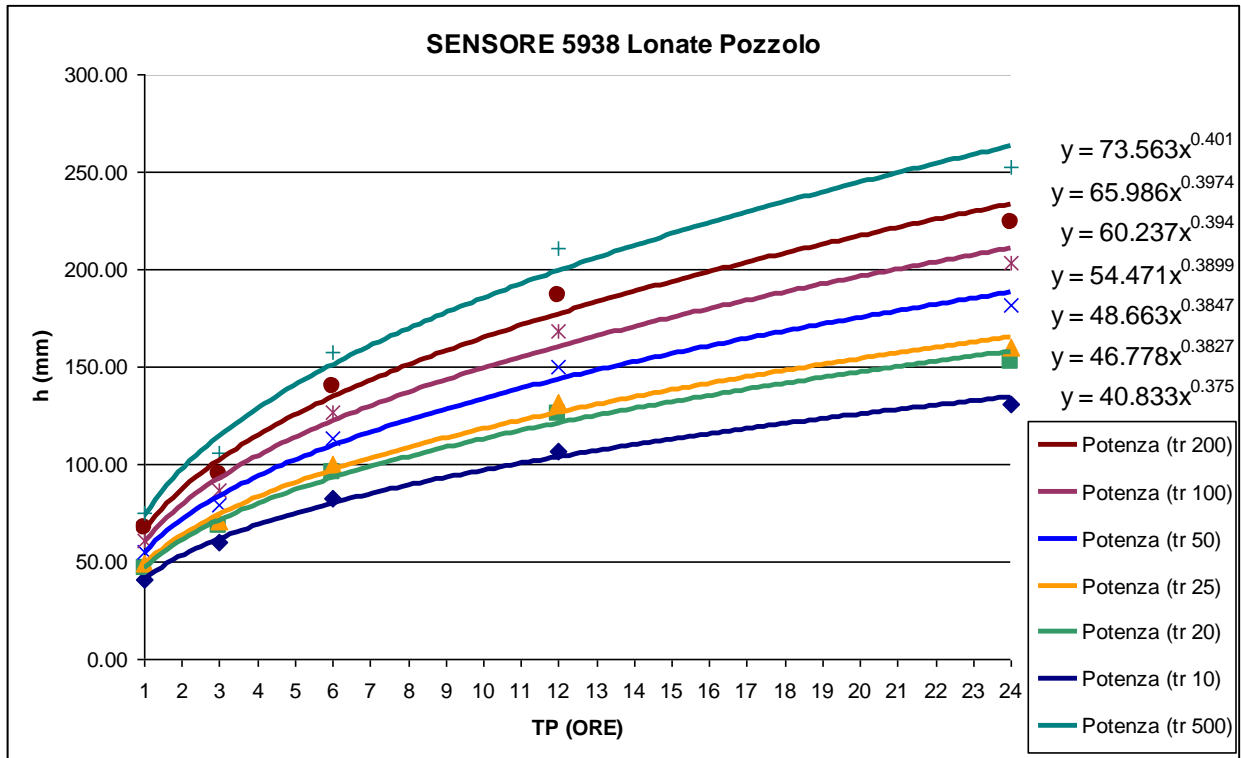
SENSORE 5938 Lonate Pozzolo

Massimi annuali

	1 ORA	3 ORE	6 ORE	12 ORE	24 ORE
2010	20.80	30.80	43.40	58.40	62.00
2009	25.00	54.00	59.20	66.40	105.60
2008	30.20	45.80	48.00	54.80	66.20
2007	27.60	61.60	111.60	151.20	171.60
2006	22.40	36.40	41.20	69.60	98.40
2005	33.80	51.60	53.20	53.40	55.00
2004	27.40	36.00	49.80	56.20	67.00
2003	16.60	33.00	41.80	61.80	74.60
2002	47.20	51.20	56.40	56.40	71.80
2001	7.60	15.40	26.20	34.40	39.40
2000	21.80	41.80	47.00	55.40	83.60
1999	22.00	30.00	38.60	46.40	60.80
1998	31.00	31.40	39.00	45.20	53.00
1997	28.20	35.60	37.00	47.20	68.20

Massime precipitazioni attese secondo la distribuzione di Gumbell

ore	tr 10	tr 20	tr 25	tr 50	tr 100	tr 200	tr 500
1	40.85	47.07	49.04	55.11	61.14	67.15	75.07
3	59.80	68.14	70.79	78.95	87.04	95.11	105.75
6	82.41	96.03	100.36	113.68	126.89	140.07	157.44
12	106.76	125.61	131.59	150.00	168.28	186.49	210.52
24	130.59	152.78	159.82	181.50	203.02	224.47	252.76



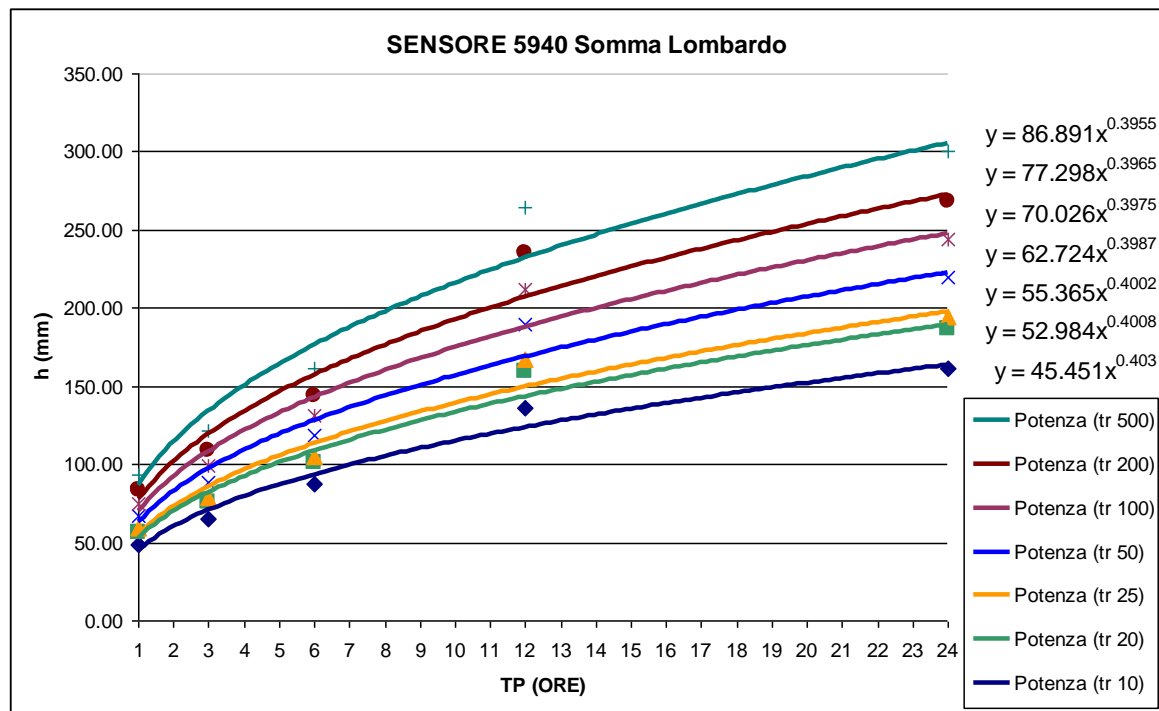
SENSORE 5940 Somma Lombardo

Massimi annuali

	1 ORA	3 ORE	6 ORE	12 ORE	24 ORE
2010	36.80	36.80	47.40	64.20	96.20
2009	28.40	42.00	53.20	65.60	110.80
2008	34.00	36.00	37.40	53.60	57.20
2007	24.60	51.60	98.40	143.60	164.60
2006	10.40	26.00	40.20	48.40	65.60
2005	19.00	28.40	41.60	58.20	64.40
2004	32.60	53.80	63.20	76.80	108.80
2003	46.20	48.80	67.20	110.60	141.60
2002	42.80	71.00	73.20	130.40	132.40
2001	13.40	25.00	39.80	63.40	65.60
2000	20.00	29.40	44.60	61.40	96.80

Massime precipitazioni attese secondo la distribuzione di Gumbell

ore	tr 10	tr 20	tr 25	tr 50	tr 100	tr 200	tr 500
1	48.17	56.46	59.08	67.18	75.22	83.23	93.79
3	65.53	75.70	78.92	88.86	98.72	108.54	121.51
6	87.57	100.91	105.14	118.18	131.13	144.02	161.04
12	136.30	159.59	166.97	189.73	212.32	234.83	264.52
24	161.69	186.91	194.91	219.55	244.00	268.37	300.52



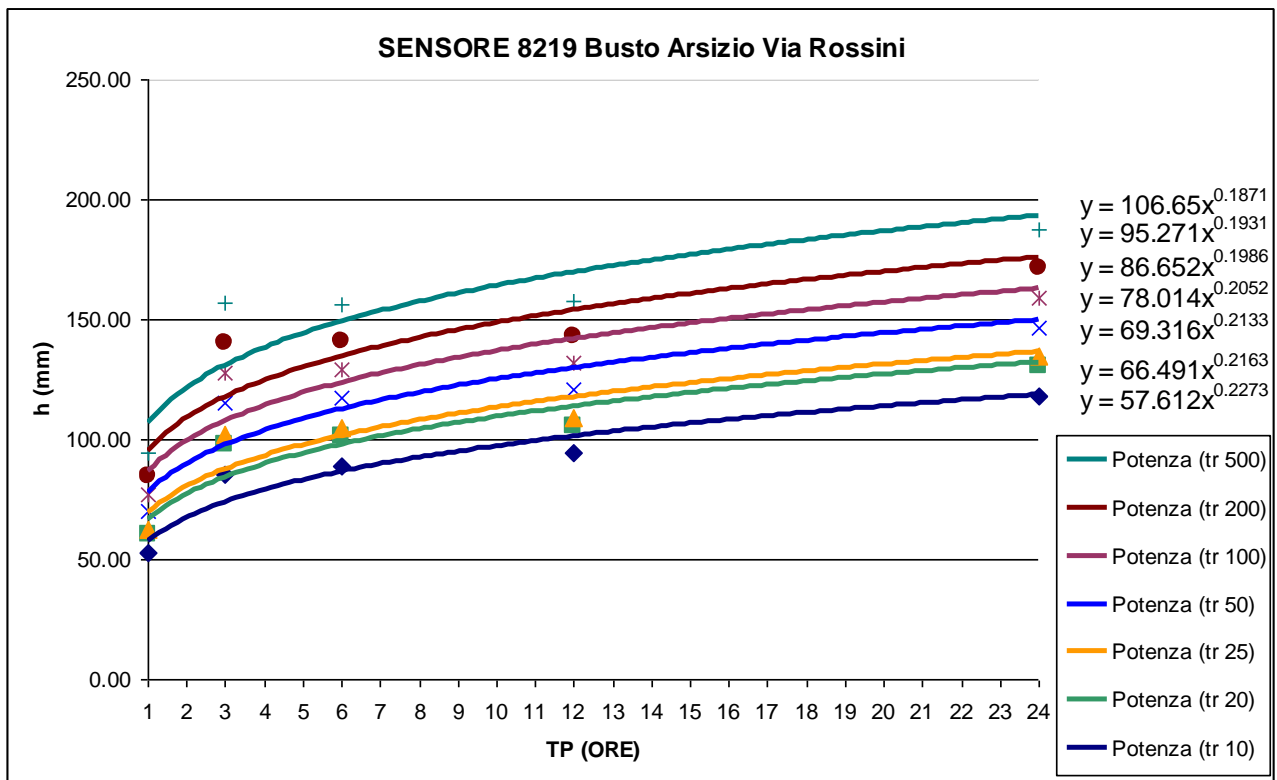
SENSORE 8219 Busto Arsizio Via Rossini

Massimi annuali

	I ORA	3 ORE	6 ORE	12 ORE	24 ORE
2010	45.60	52.20	52.60	53.80	82.20
2009	31.40	70.60	73.80	74.00	96.80
2008	40.60	63.60	70.00	76.40	93.40
2007	21.60	37.20	67.20	79.80	103.40
2006	47.40	82.80	82.80	86.80	105.80
2005	24.00	45.00	45.00	47.00	53.60
2004	24.80	34.80	41.80	47.20	77.20
2003	38.20	39.00	39.60	61.40	82.80

Massime precipitazioni attese secondo la distribuzione di Gumbell

ore	tr 10	tr 20	tr 25	tr 50	tr 100	tr 200	tr 500
1	52.73	60.28	62.68	70.06	77.38	84.68	94.31
3	85.18	98.23	102.37	115.13	127.79	140.40	157.05
6	89.06	101.27	105.15	117.08	128.92	140.72	156.29
12	94.10	105.63	109.29	120.56	131.74	142.89	157.59
24	117.87	130.49	134.49	146.83	159.07	171.27	187.36



SENSORE 9116 Cavaria

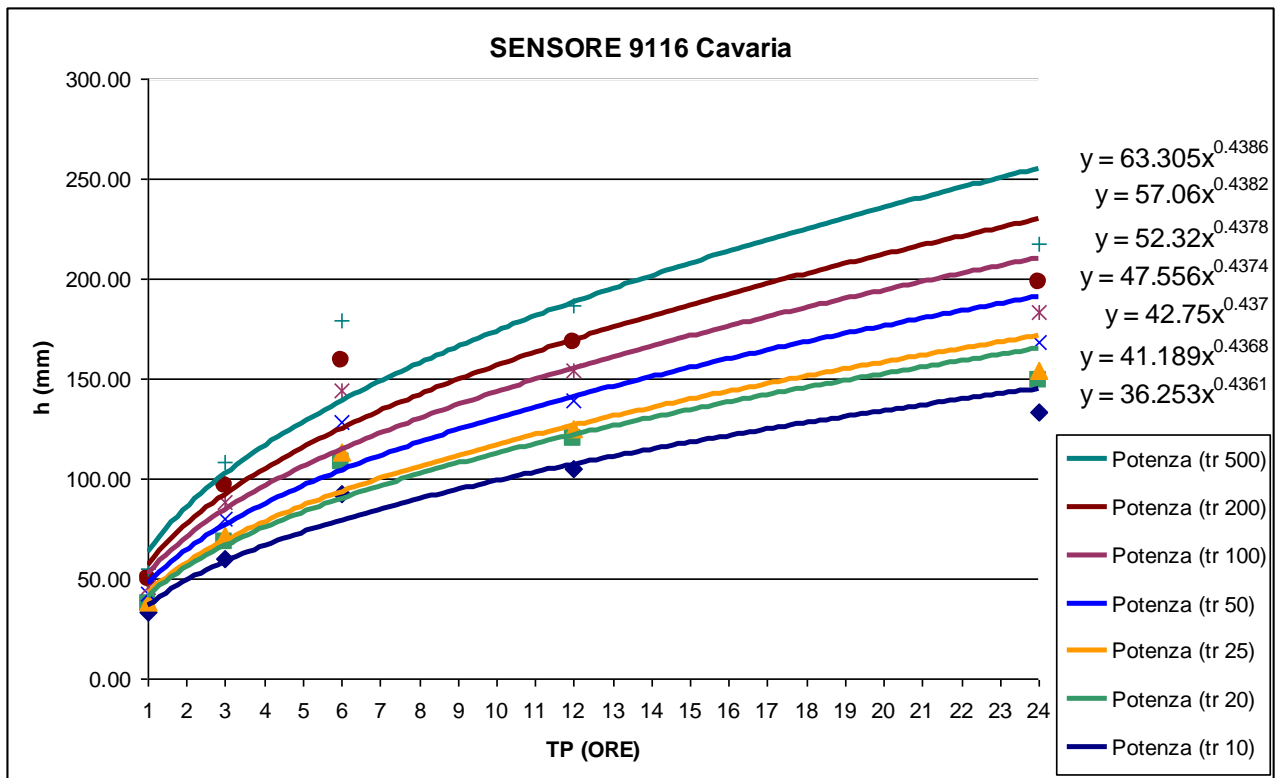
Massimi annuali

	I ORA	3 ORE	6 ORE	12 ORE	24 ORE
--	-------	-------	-------	--------	--------

2010	21.50	30.20	42.00	59.70	88.90
2009	27.60	57.90	87.90	92.50	121.60
2008	28.30	39.50	48.60	54.40	83.30
2007	23.10	48.50	77.60	99.10	116.60
2006	31.20	36.40	43.80	67.80	106.30
2005	18.60	26.20	34.00	60.20	64.50
2004	18.20	28.80	39.30	48.00	91.50

Massime precipitazioni attese secondo la distribuzione di Gumbell

ore	tr 10	tr 20	tr 25	tr 50	tr 100	tr 200	tr 500
1	33.55	37.40	38.62	42.38	46.11	49.83	54.73
3	59.82	68.59	71.37	79.94	88.45	96.92	108.10
6	92.34	108.19	113.21	128.69	144.06	159.37	179.58
12	105.37	120.21	124.92	139.42	153.81	168.15	187.08
24	133.70	148.97	153.81	168.73	183.53	198.29	217.75



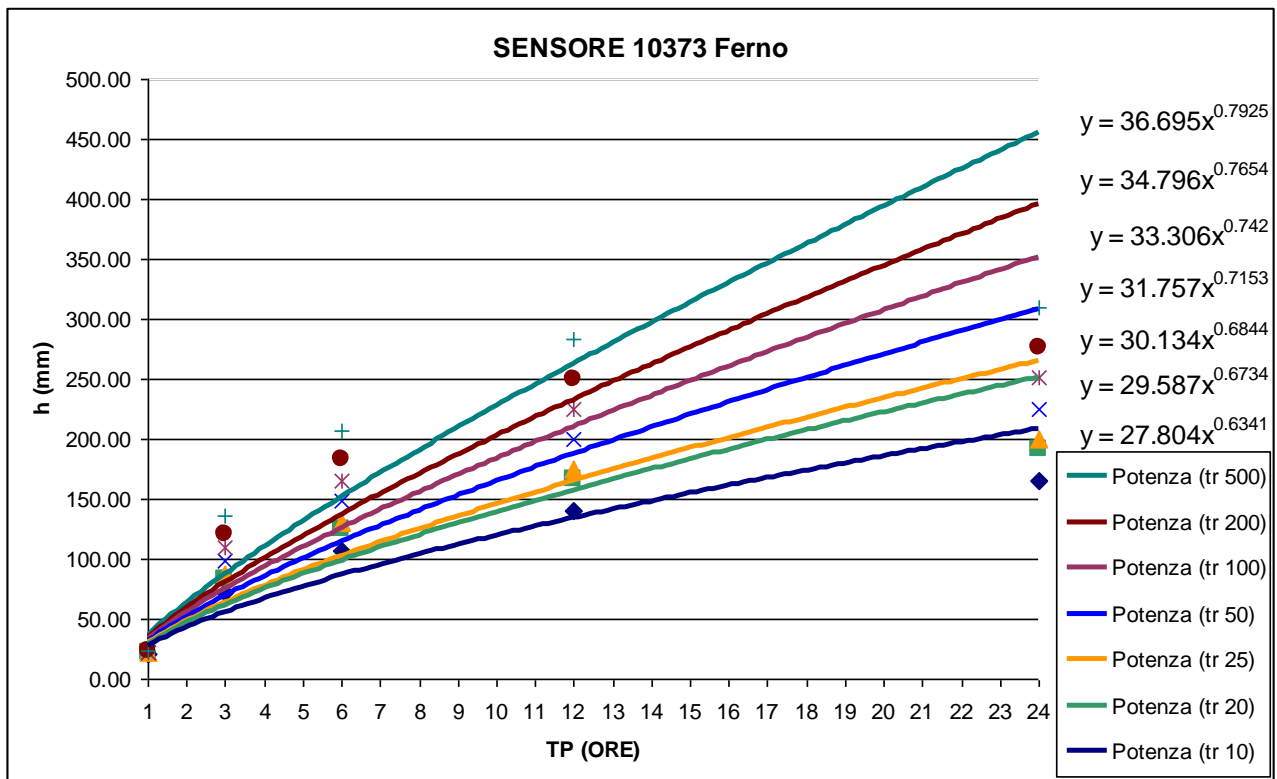
SENSORE 10373 Ferno

Massimi annuali

	1 ORA	3 ORE	6 ORE	12 ORE	24 ORE
2010	20.00	27.00	39.40	54.60	80.20
2009	20.00	44.20	64.80	69.20	105.40
2008	20.00	40.60	50.40	55.00	69.60
2007	20.00	60.00	88.80	119.40	139.20

Massime precipitazioni attese secondo la distribuzione di Gumbell

ore	tr 10	tr 20	tr 25	tr 50	tr 100	tr 200	tr 500
1	21.33	21.76	21.90	22.32	22.74	23.16	23.71
3	71.94	83.50	87.17	98.46	109.68	120.85	135.60
6	106.44	124.63	130.40	148.17	165.81	183.38	206.57
12	140.06	166.19	174.48	200.01	225.36	250.61	283.93
24	164.73	191.11	199.48	225.25	250.84	276.33	309.97



10 AGGIORNAMENTO CON I DATI DEL 2017-OTTEMPERANZA ALLE PRESCRIZIONI DELLA DELIBERA CIPE 27_2018

10.1 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 nella figura che segue.

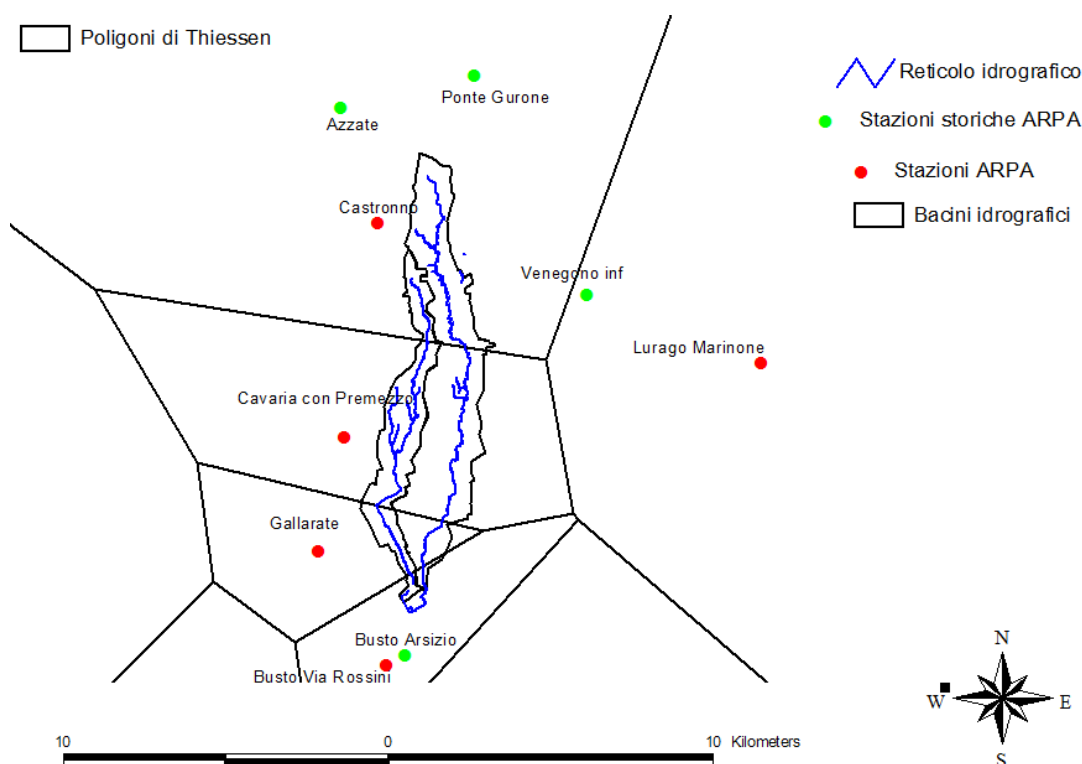


Figura 7. Stazioni di misura pluviometriche

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.

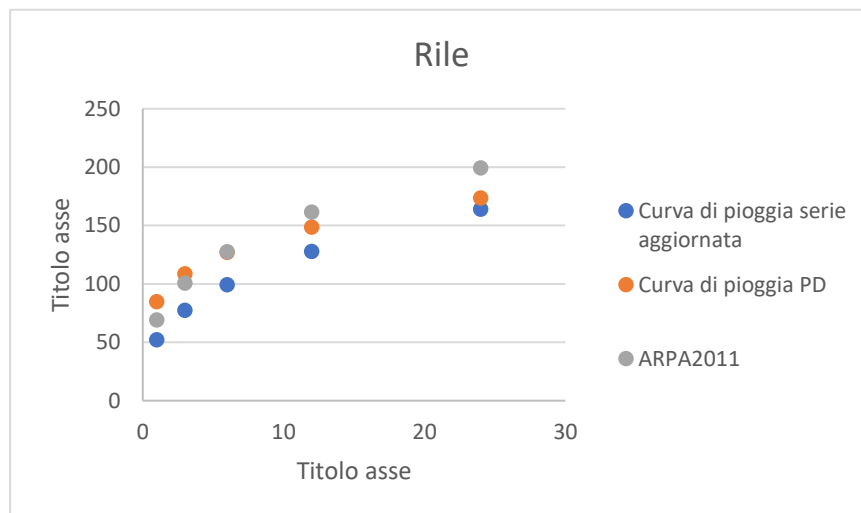


Figura 8 Confronto curve di pioggia torrente Rile per T= 100 anni, con riferimento alle durate inferiori alle 24 ore

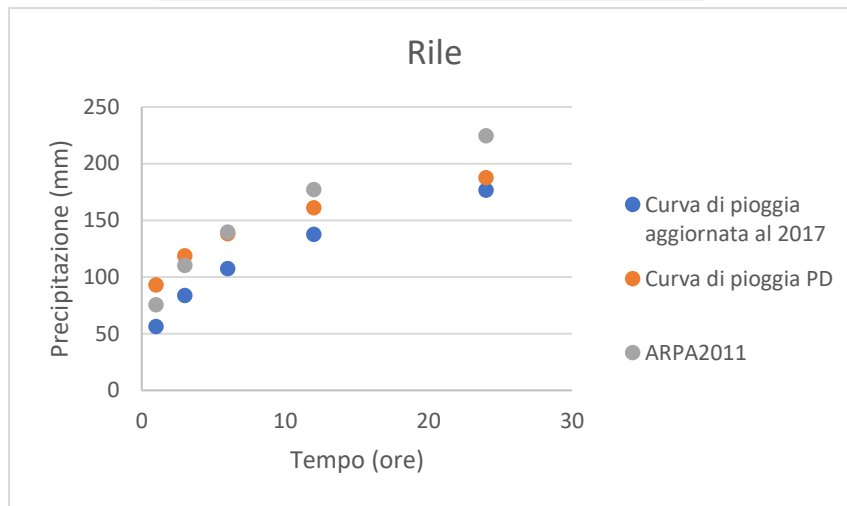


Figura 9. Confronto curve di pioggia torrente Rile per T= 200 anni, con riferimento alle durate inferiori alle 24 ore.

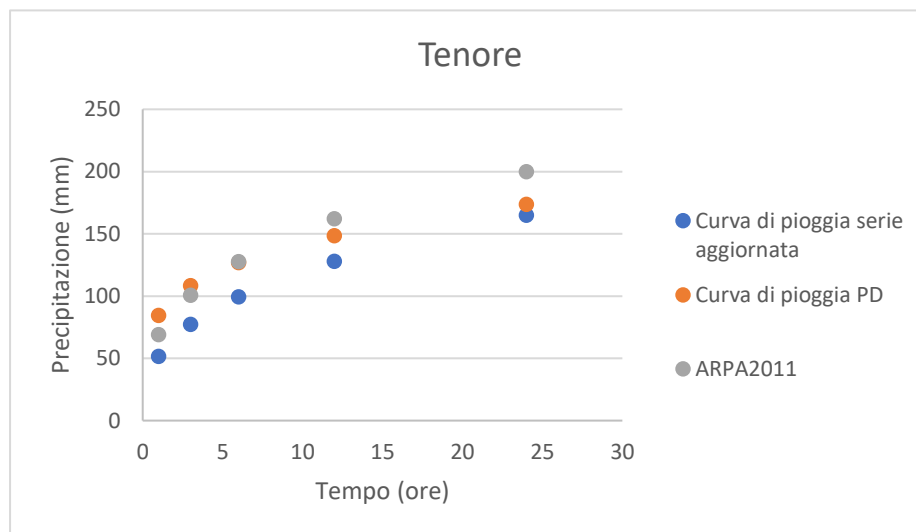


Figura 10. Confronto curve di pioggia torrente Tenore per T= 100 anni, con riferimento alle durate inferiori alle 24 ore.

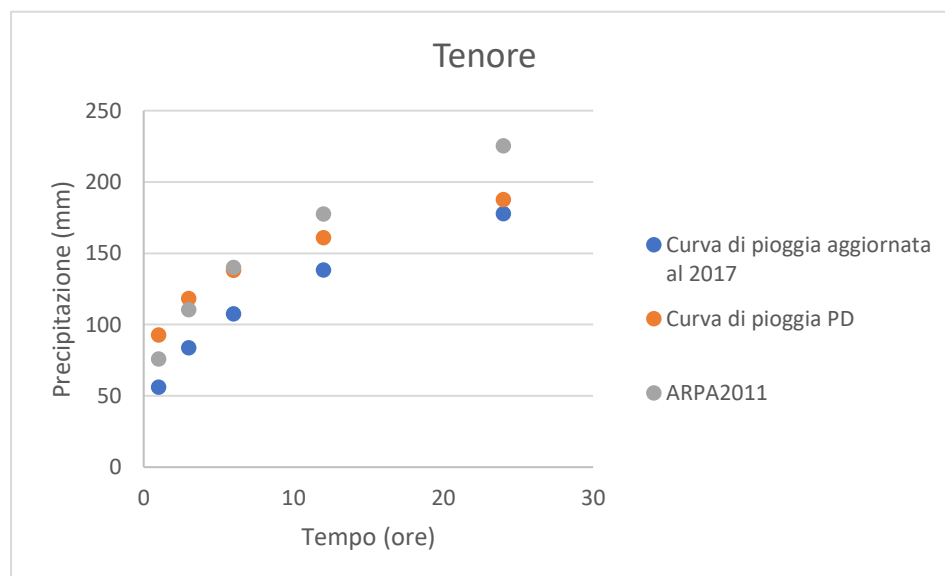


Figura 11. Confronto curve di pioggia torrente Tenore per T= 200 anni, con riferimento alle durate inferiori alle 24 ore.

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 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.

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 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.

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

10.2 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.

Applicazione del metodo di Horton per la massimizzazione

10.2.1 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, 1940¹) 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.

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

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 tipologie²:

- 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 colloid. 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:

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

dove $f(t)$ è la capacità di infiltrazione calcolata all'istante temporale t , fc 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 letteratura³:

Parametri della legge di Horton.

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

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 che segue si riportano le frazioni di bacino (espresse in percentuale) caratterizzate dalle differenti classi di suolo, per i due bacini analizzati.

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

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

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

Dalla tabella 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 Mm³ per il Rile e pari a 1.89 Mm³ per il Tenore.

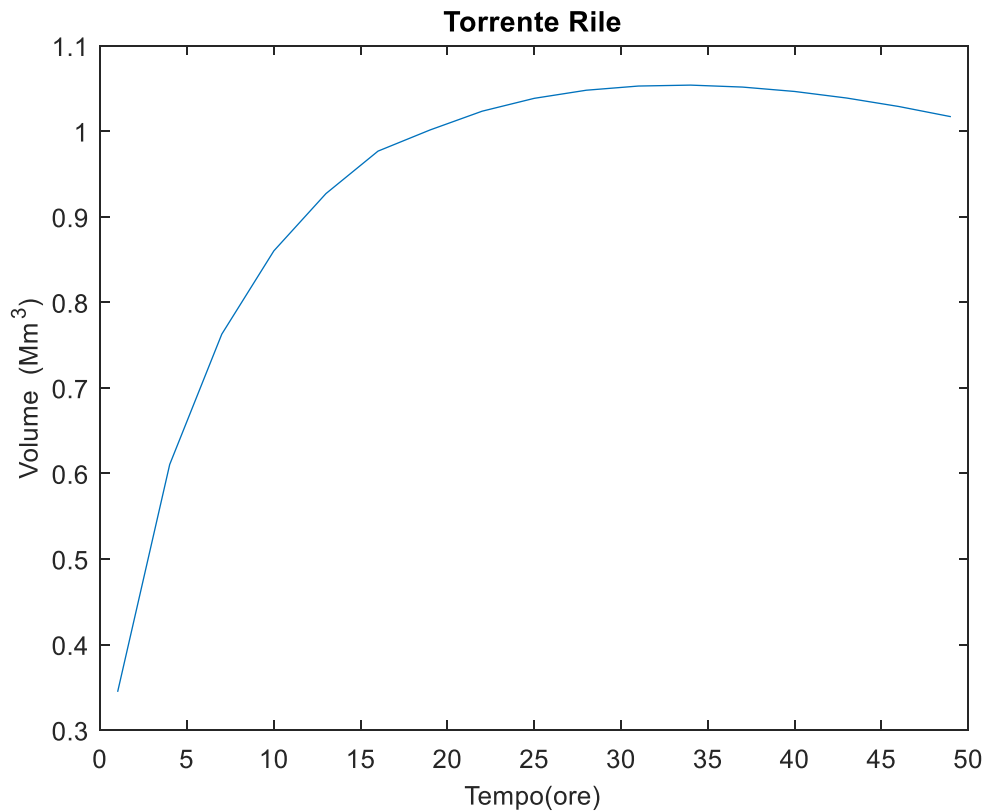


Figura 12. Curva dei volumi di ruscellamento superficiale in funzione della durata dell'evento per il bacino del Rile.

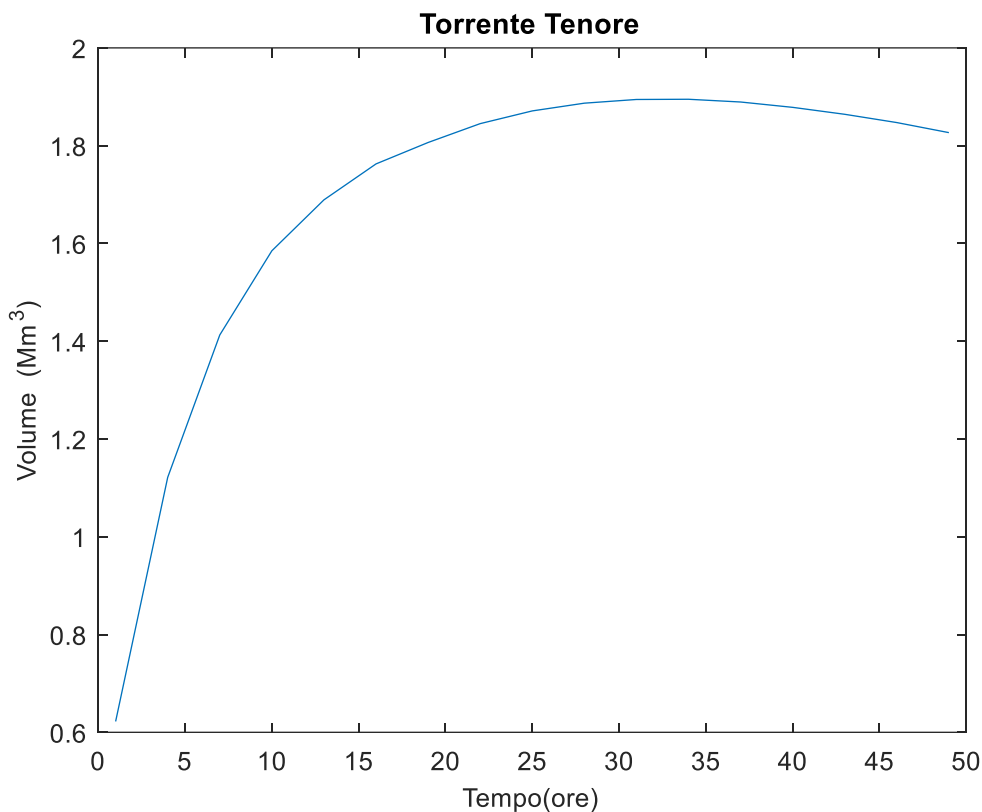


Figura 13. Curva dei volumi di ruscellamento superficiale in funzione della durata dell'evento per il bacino del Tenore.

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).

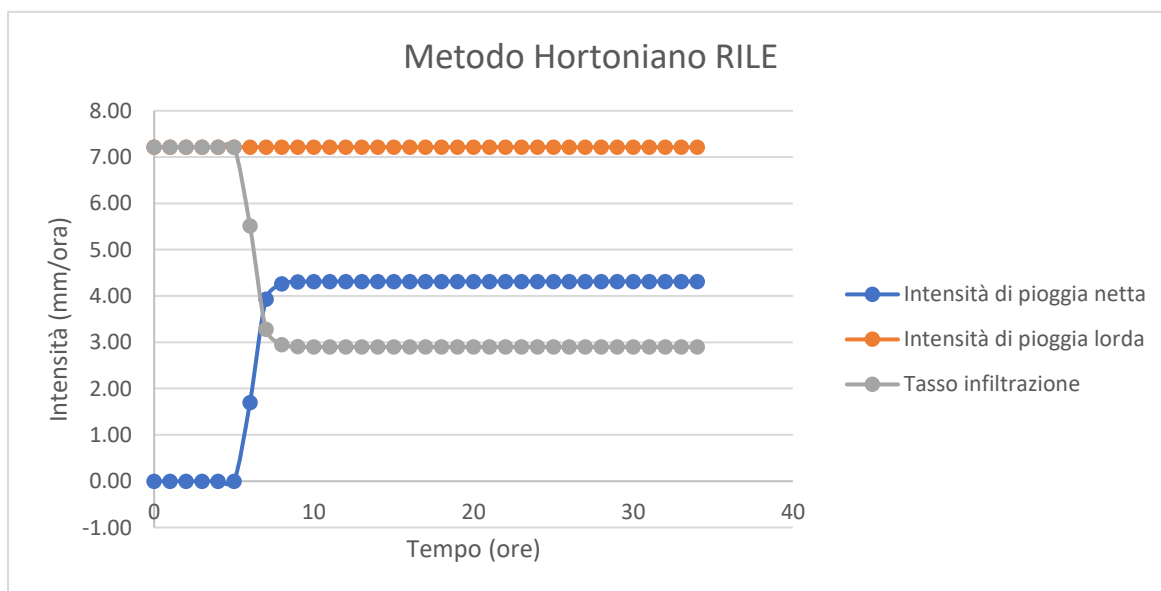


Figura 14. Intensità di pioggia e tasso di infiltrazione per il torrente Rile per T=200 anni e durata pari a 34 ore.

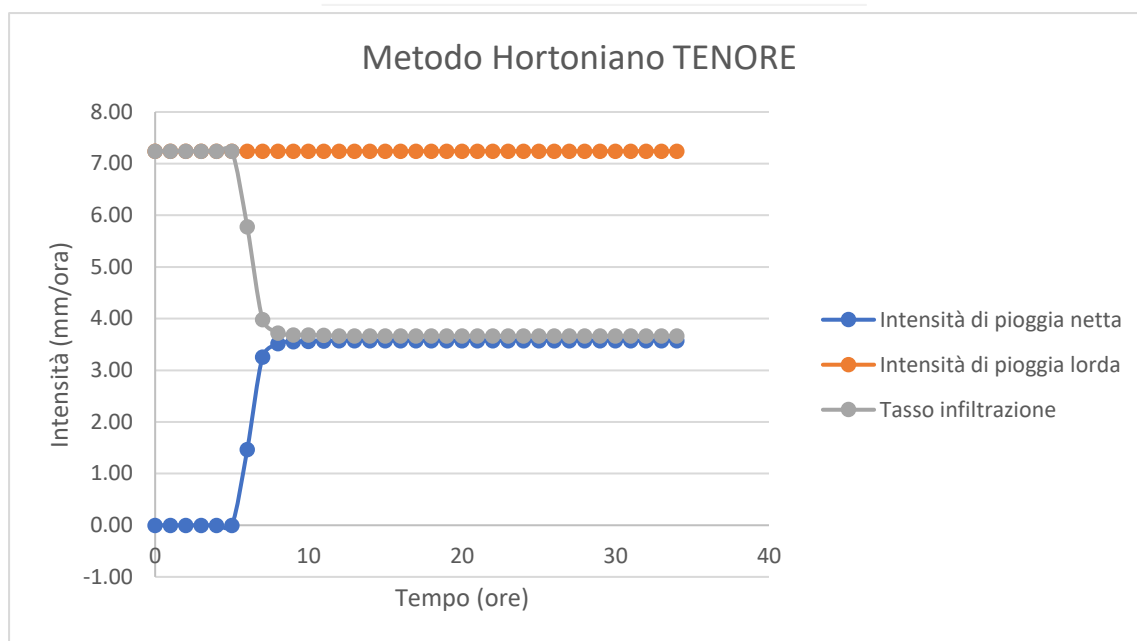


Figura 15. Intensità di pioggia e tasso di infiltrazione per il torrente Tenore per T=200 anni e durata pari a 34 ore.

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 Mokus⁴ 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; nella tabella che segue 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.

Caratteristiche dei Bacini idrografici analizzati

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

Nella tabella che segue 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.

⁴V. 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 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.

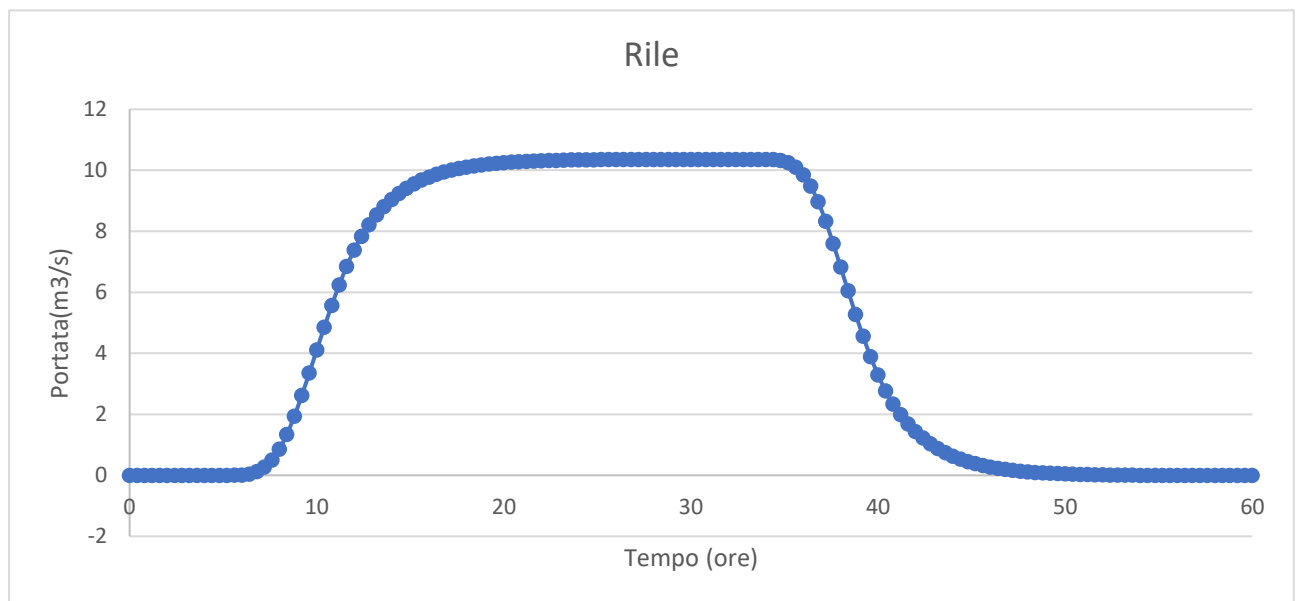


Figura 16. Idrogramma di piena torrente Rile per T=200 anni.

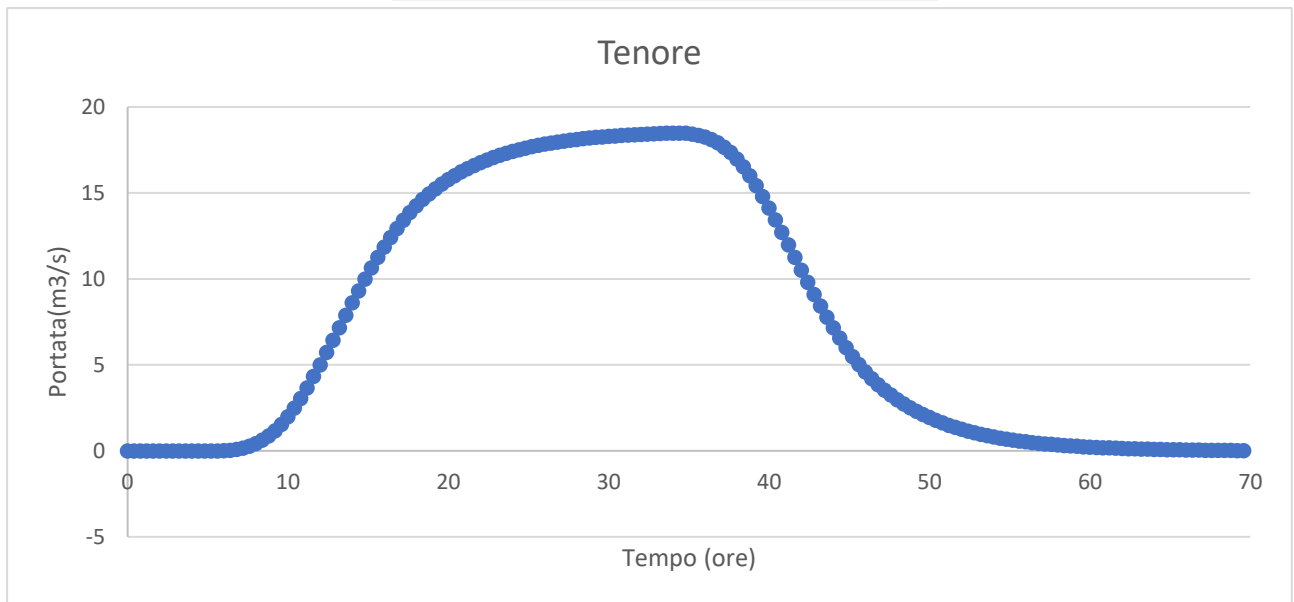


Figura 17. Idrogramma di piena torrente Tenore T=200 anni.

Il volume di ruscellamento superficiale del torrente Rile risulta pari a **1.05 Mm³**, mentre quello del torrente Tenore risulta pari a **1.89 Mm³**; 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 Mm³**.

Nella tabella 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.

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

	Scenario Max Volume					
	TR 10 anni		TR 20 anni		TR 20 anni	
	Pioggia netta (mm)	Portata (m ³ /s)	Volume (Mm ³)	Pioggia netta (mm)	Portata (m ³ /s)	Volume (Mm ³)
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 200 anni		TR 200 anni	
	Pioggia netta (mm)	Portata (m ³ /s)	Volume (Mm ³)	Pioggia netta (mm)	Portata (m ³ /s)	Volume (Mm ³)
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

10.2.2 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.

10.2.2.1 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.

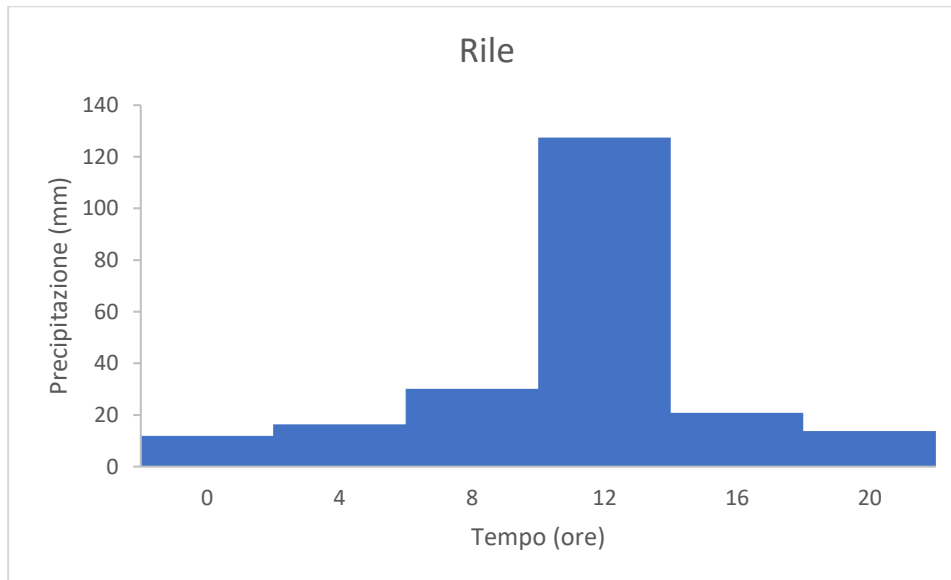


Figura 18. Pluviogramma torrente Rile T=200 anni e durata pari a 24 ore.

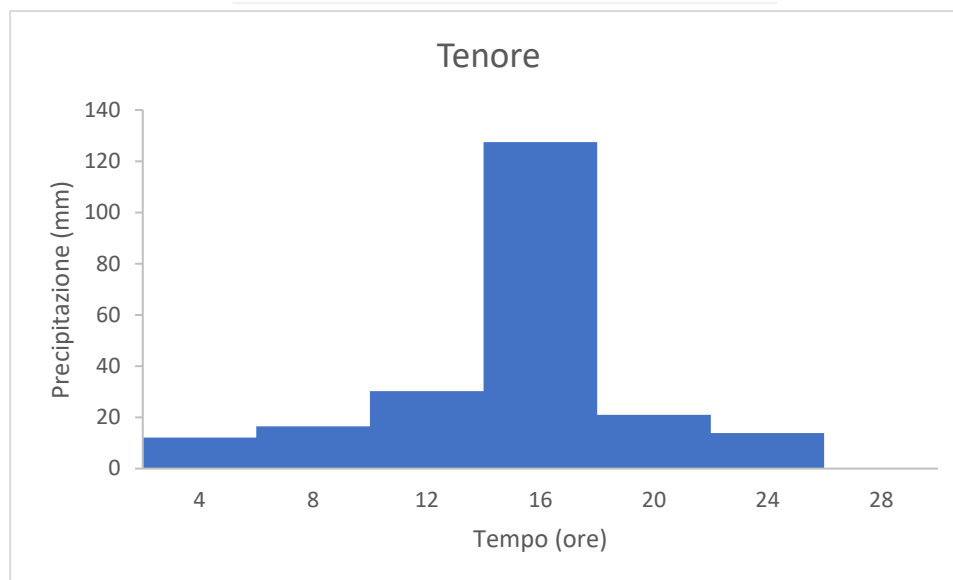


Figura 19. Pluviogramma torrente Tenore T=200 anni e durata pari a 24 ore.

10.2.2.1 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.

Nella tabella che segue 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 Mm³.

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 ³)	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 Mokus⁵ 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.

Caratteristiche dei Bacini idrografici analizzati

	Torrente Rile	Torrente Tenore
Area (km ²)	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.

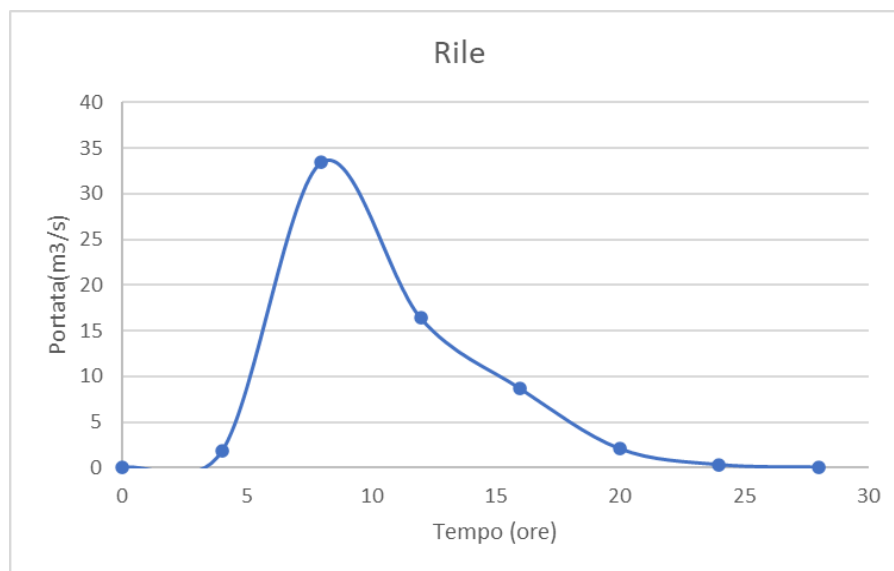


Figura 20. Idrogramma di piena torrente Rile per T=200 anni.

⁵V. Ferro: "La sistemazione dei bacini idrografici" - McGraw - Hill

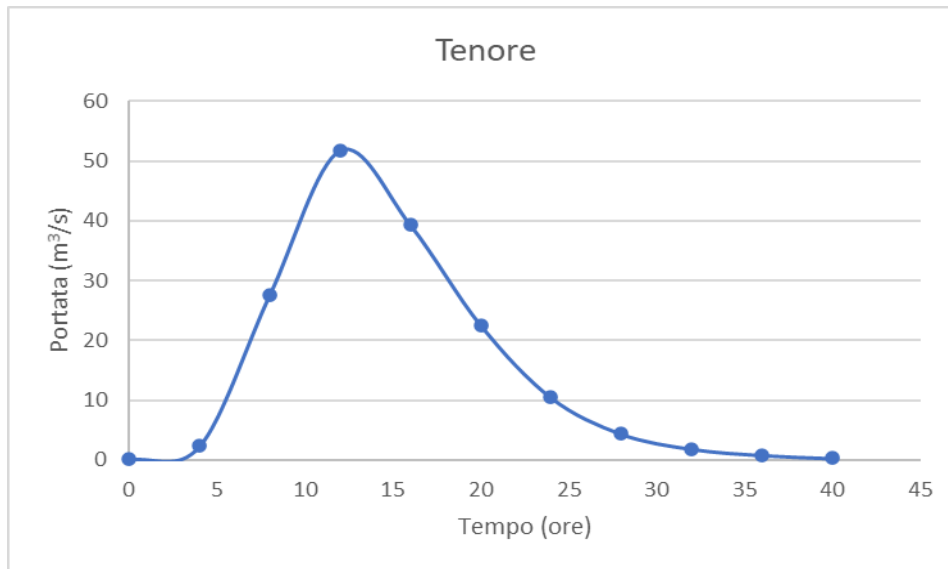


Figura 21. Idrogramma di piena torrente Tenore T=200 anni.

Il volume di deflusso totale (superficiale) dei due idrogrammi di piena risulta pari a circa 3.25 Mm³. 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.

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 (m ³ /s)	Volume (Mm ³)	Pioggia netta (mm)	Portata (m ³ /s)	Volume (Mm ³)
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 (m ³ /s)	Volume (Mm ³)	Pioggia netta (mm)	Portata (m ³ /s)	Volume (Mm ³)
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

11 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