




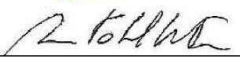





S.S. N. 9 "VIA EMILIA"

VARIANTE DI CASALPUSTERLENGO ED ELIMINAZIONE PASSAGGIO A LIVELLO SULLA S.P. EX S.S. N.234

PROGETTO ESECUTIVO

 Ing. Renato Vaira <small>(Ordine degli Ingg. di Torino e Provincia n° 4663 W)</small>	ING. RENATO DEL PRETE Ing. Renato Del Prete <small>Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5073</small>	DOTT. GEOL. DANILO GALLO Dott. Geol. Danilo Gallo <small>Ordine dei Geologi della Regione Puglia n° 588</small>	INTEGRAZIONE PRESTAZIONI	PROGETTISTA
			Ing. Renato Del Prete	Ing. Valerio Bajetti <small>(I.T. S.r.l.)</small>
 Ing. Valerio Bajetti <small>Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-26211</small>	SETAC Srl Servizi & Engineering Trasporti Ambiente Costruzioni Prof. Ing. Luigi Monterisi <small>Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1771</small>	 E&G Engineering & Graphics S.r.l. Ing. Gabriele Incecchi <small>Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-12102</small>	PROGETTAZIONE STRADALE	PROGETTAZIONE IDRAULICA
			Ing. Gaetano Ranieri <small>(Ga&M S.r.l.)</small>	Ing. Fabrizio Bajetti <small>(I.T. S.r.l.)</small>
 Prof. Ing. Matteo Ranieri <small>Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1137</small>	ECOPLAN Arch. Nicoletta Frattini <small>Ordine degli Arch. di Torino e provincia n° A-8433</small>	ARKE' INGEGNERIA s.r.l. <small>Via Imperatore Traiano n. 4 - 70129 Bari</small> Ing. Gioacchino Angarano <small>Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5970</small>	PROGETTAZIONE OPERE D'ARTE MAGGIORI	PROGETTAZIONE OPERE D'ARTE MINORI
			Ing. Renato Vaira <small>(Studio Corona S.r.l.)</small>	Ing. Nicola Ligas <small>(I.T. S.r.l.)</small>
			COMPUTI	CANTIERISTICA
			Ing. Valerio Bajetti <small>(I.T. S.r.l.)</small>	Ing. Gaetano Ranieri <small>(Ga&M S.r.l.)</small>
			GEOLOGIA	GEOTECNICA
			Dott. Danilo Gallo	Ing. Gianfranco Sodero <small>(Studio Corona S.r.l.)</small>
			AMBIENTE	SICUREZZA
			Dott. Emilio Macchi <small>(ECOPLAN S.r.l.)</small>	Ing. Gaetano Ranieri <small>(Ga&M S.r.l.)</small>
VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO	IL RESPONSABILE DELLA INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE	PROGETTISTA	GEOLOGO	IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE
				
Dott. Ing. Fabrizio CARDONE	Ing. Renato DEL PRETE	Ing. Valerio BAJETTI	Dott. Danilo GALLO	Ing. Gaetano RANIERI

F002

F - PROGETTO IDRAULICO

RELAZIONE IDROLOGICA

CODICE PROGETTO PROGETTO LIV. PROG. N. PROG. <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> COMI E 1701 </div>	NOME FILE F002-T00ID00IDRRE02_B.dwg CODICE ELAB. T00ID00IDRRE02	REVISIONE <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; text-align: center; margin: 0 auto;">B</div>	SCALA: -----
D			
C			
B	EMISSIONE A SEGUITO DI ISTRUTTORIA ANAS N.08 DEL 08.01.2018	FEBBRAIO 2018	ING. EMANUELE MACEROLA
A	EMISSIONE	DICEMBRE 2017	ING. EMANUELE MACEROLA
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO
			VERIFICATO
			APPROVATO

SOMMARIO

1	GENERALITÀ	3
1.1	Le intersezioni con il colatore naturale Brembiolo	3
1.2	Gli studi precedenti	4
2	IL COLATORE BREMBIOLO: INQUADRAMENTO TERRITORIALE ED IDROLOGICO	5
3	CALCOLO DELLA PORTATA DI MASSIMA PIENA: PORTATE AL COLMO DI PIENA PER TEMPI DI RITORNO $T_R = 50, 100$ E 200 ANNI.....	7
3.1	Analisi idrologica.....	8
3.1.1	Regime pluviometrico intenso nell'area del bacino.....	8
3.1.2	Distribuzione di Gumbel.....	9
3.1.3	Test di Pearson.....	10
3.1.4	Stazione pluviometrica di Lodi	10
3.1.5	Stazione pluviometrica di Codogno.....	10
3.1.6	Ragguaglio delle piogge all'area	13
3.2	Eventi meteorici critici: portate di massima piena.....	14
3.2.1	tempo di corrivazione.....	16
3.2.2	Perdite idrologiche (modello di pioggia netta)	17
3.2.3	Modello idrologico di trasformazione afflussi netti - deflussi.....	22
4	CALCOLO DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA PER TEMPI DI RITORNO ASSEGNATI.....	25
5	Confronto piogge con metodo Arpa Lombardia	28
5.1	Portate di piena – Piogge ARPA Lombardia	30
6	APPENDICE	31
6.1	Pluviometria di Lodi	31
6.1.1	Massimi annuali di pioggia Lodi	31
6.1.2	Distribuzione di probabilità di Gumbel e lognormale	32
6.1.3	Test di adattabilità di Pearson.....	33
6.1.4	Curva di possibilità climatica (distribuzione di Gumbel).....	33
6.2	Pluviometria di Codogno.....	34
6.2.1	Massimi annuali di pioggia Codogno.....	34
6.2.2	Distribuzione di probabilità di Gumbel e lognormale	35
6.2.3	Test di adattabilità di Pearson.....	36
6.2.4	Curva di possibilità climatica (distribuzione di Gumbel).....	36
6.3	Confronto curve Lodi e Codogno	37
6.3.1	Curva di possibilità climatica di progetto	37
6.3.2	Curva di progetto ragguagliata all'area	38
6.4	Ietogrammi Chicago ragguagliati e ragguagliati netti per $T_r = 50, 100, 200$	39
6.4.1	Sezione di chiusura "Brembiolo 1"	39
6.4.2	Sezione di chiusura "Brembiolo 2"	40
6.4.3	Sezione di chiusura "Brembiolo 3"	42
7	MODELLO AFFLUSSI - DEFLUSSI	44
7.1	Idrogramma unitario istantaneo IUH del modello dell'invaso lineare	44
7.1.1	Sezione di chiusura "Brembiolo 1"	44
7.1.2	Sezione di chiusura "Brembiolo 2"	45
7.1.3	Sezione di chiusura "Brembiolo 3"	47
7.2	Idrogramma di piena.....	49
7.2.1	Sezione di chiusura "Brembiolo 1"	49
7.2.2	Sezione di chiusura "Brembiolo 2"	50

7.2.3	Sezione di chiusura "Brembiolo 3"	52
8	SOTTOSCRIZIONE DELL'ELABORATO DA PARTE DEL R.T.P.....	54

1 GENERALITÀ

I lavori di cui al progetto "S.S. n°9 Emilia - progetto dei lavori per la costruzione della variante all'abitato di Casalpusterlengo" comprendono numerose intersezioni con vari corsi d'acqua, la quasi totalità dei quali regolati ed uno in particolare naturale: il colatore Brembiolo. In corrispondenza di tali intersezioni sono previsti manufatti di attraversamento idraulico.

L'analisi idrologica e idraulica è ovviamente differente a seconda che si tratti di corsi d'acqua regolati o naturali:

- nel primo caso l'individuazione della portata di progetto consiste nella ricostruzione della portata di competenza del canale, con le ripartizioni stagionali della medesima, effettuata sulla base delle indicazioni fornite dal Consorzio Bonifica Muzza Bassa Lodigiana. I corsi d'acqua regolati che fanno capo al reticolo idrico interferito sono caratterizzati idraulicamente nella specifica separata relazione allegata al progetto.
- nel secondo caso è stato redatto lo studio idrologico integrale del bacino idrografico di competenza. Nella presente relazione verrà esposta l'analisi effettuata sui bacini di competenza del Brembiolo nelle tre sezioni di chiusura riferite alle altrettante intersezioni con la costruenda opera.

1.1 LE INTERSEZIONI CON IL COLATORE NATURALE BREMBIOLO

Il tracciato della nuova variante stradale della s.s. 9 "Emilia" inizia presso l'abitato di Zorlesco in corrispondenza del sovrappasso ferroviario alla linea Milano - Bologna in corrispondenza del quale si ha la diversione della nuova arteria che va poi a svilupparsi a ovest dell'abitato di Casalpusterlengo.

- La prima intersezione idraulica del Brembiolo si ha proprio subito dopo tale svincolo (Brembiolo "1"), appena a monte del tratto urbano in Zorlesco del colatore.
- La seconda intersezione del colatore (Brembiolo "2") è costituita dall'interferenza con il raccordo della nuova variante stradale con la s.s. 9 "Emilia", subito a monte della località Borasca, peduncolo urbanizzato a nord di Casalpusterlengo.
- L'ultima sovrapposizione avviene a sud di Casale (Brembiolo "3"), appena a monte del raccordo della nuova variante con la via "Emilia" e appena a valle dell'immissione nel colatore dello scarico del depuratore comunale della medesima cittadina. Tutte le intersezioni sono riportate nella planimetria generale (T00ID01GENPL01_A).

La presente relazione, con riferimento alle opere da eseguirsi sul colatore Brembiolo, comprende l'analisi idrologica integrale per l'individuazione dell'input pluviometrico alle tre sezioni di interesse per assegnati tempi di ritorno T_r (50, 100 e 200 anni), attraverso una idonea ricostruzione della climatologia locale fondata su serie storiche di rilevazioni strumentali della zona.

I risultati qui ottenuti costituiscono la base per il successivo studio idraulico, riportato nella relativa specifica relazione ed eseguito mediante l'ausilio di software di modellazione idraulica, per l'ottenimento dei profili di rigurgito in moto permanente, alle sezioni di interesse per assegnati tempi di ritorno.

Il tutto coerentemente alle norme dettate dall'Autorità di Bacino del fiume Po con la direttiva di attuazione dell' art. 15 delle norme del piano stralcio delle fasce fluviali: "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all' interno delle fasce A e B".

1.2 GLI STUDI PRECEDENTI

Lo studio idrologico - idraulico è stato redatto in sede di progetto definitivo a cura della Provincia di Lodi.

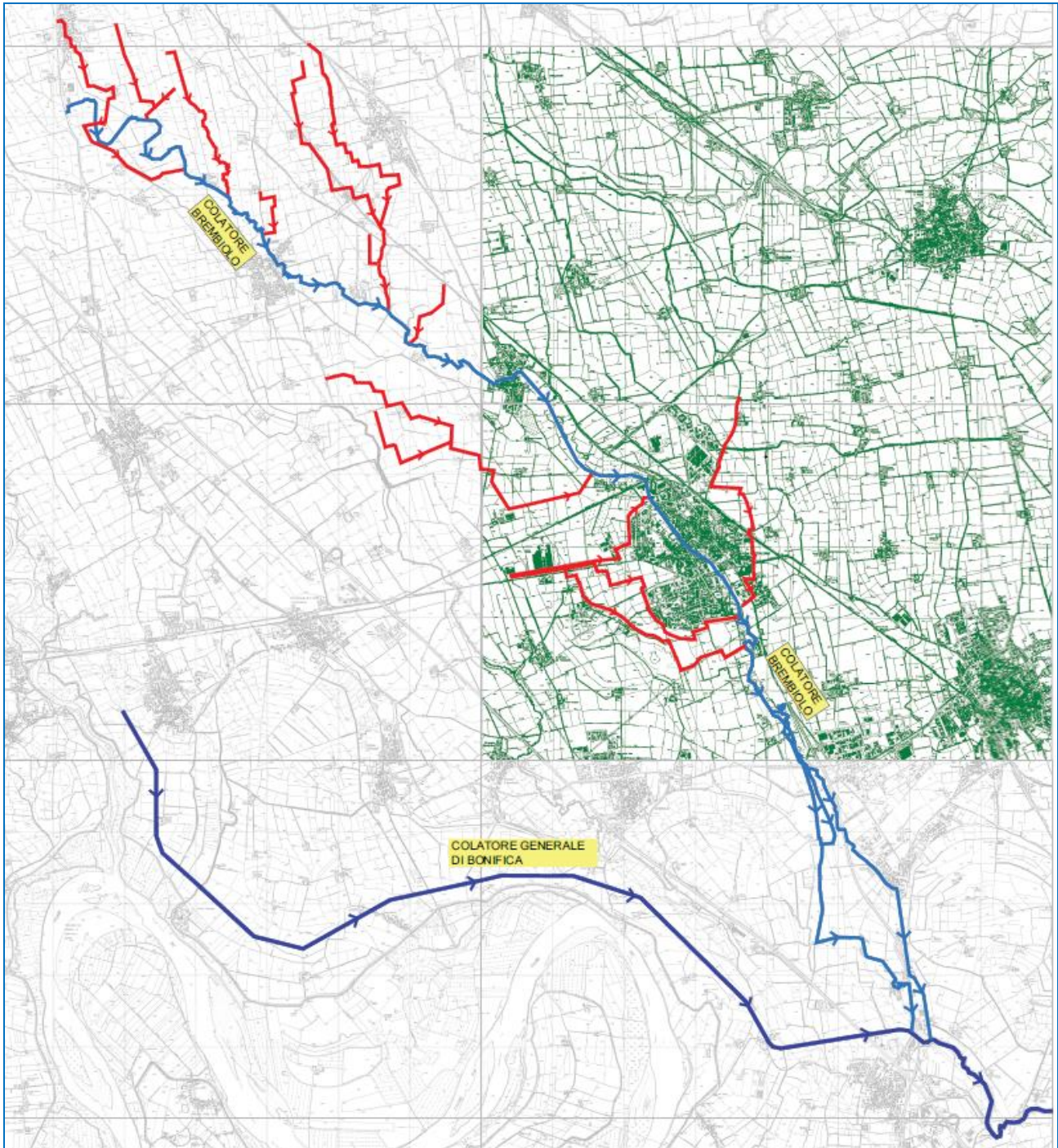
In sede di progettazione esecutiva, i progettisti incaricati da ANAS SpA hanno dapprima analizzato i criteri con i quali è stato redatto detto studio, quindi verificato la procedura e validato i risultati idrologici.

Tutte le analisi di modellazione idraulica sono state quindi eseguite sulla base di tali parametri idrologici. Si anticipa che le modellazioni idrauliche sono invece state eseguite ex novo, avendo modificato le luci degli attraversamenti ed integrato i rilievi topografici.

2 IL COLATORE BREMBIOLO: INQUADRAMENTO TERRITORIALE ED IDROLOGICO

Il corso d'acqua oggetto dell'analisi idrologica integrale è, come già accennato, il colatore Brembiolo, un canale naturale caratterizzato da una giacitura d'alveo fortemente in trincea, che funge da recapito per diversi scarichi connessi a sistemi di drenaggio superficiale.

Il percorso del canale si snoda naturalmente per oltre 18 km in senso nord-ovest/sud-est prendendo origine dalle campagne limitrofe all'abitato di Ossago Lodigiano, con recapito finale nel colatore Ancona, in prossimità alla s.s. 9 "Emilia" in comune di Guardamiglio in provincia di Lodi (vedasi tav. T00ID01GENPL02_A in scala 1:25.000 riportante l'intero bacino del colatore).



Il tratto di colatore oggetto del presente studio e la relativa porzione territoriale connessa ai fini idraulici (relativamente alle tre sezioni di chiusura per interferenza), sono situati nella parte centrale

del territorio lodigiano, a sud di Lodi. Il contesto territoriale è quindi quello tipico rurale basso padano, capillarmente irrigato, regolarmente pianeggiante ed estensivamente coltivato, contraddistinto dalla presenza di centri urbani di piccola - media estensione con sistemi di drenaggio urbano di natura mista, gravanti per la parte pluviale, nella maggioranza dei casi, sul reticolo idrico irriguo - idraulico superficiale gestito dal Consorzio Bonifica Muzza Bassa Lodigiana. In questo contesto il colatore Brembiolo costituisce un'importante vettore idraulico con specifiche funzioni territoriali di drenaggio misto - pluviale e, non secondarie, irrigue, sottendendo centinaia di ettari di terreno coltivati attraverso diramazioni accessorie nella parte centrale e meridionale del suo percorso.

Gli input idrologici al sono derivanti da immissioni di natura urbana o da minori scarichi di colature o regolazione irrigua. Le prime sono costituite dagli scarichi pluviali delle reti di drenaggio urbano, le seconde sono relative a scarichi di regolazione o di colatura direttamente connessi alla rete irriguo - idraulica superficiale.

- Di fatto gli scarichi urbani sono stati considerati nel calcolo degli afflussi con la metodologia del Soil conservation service, attraverso il computo delle relative superfici scolanti ed adottando per esse opportuni coefficienti di deflusso ed idonee condizioni al contorno (AMC III).
- Le immissioni di colature non constano di vere e proprie immissioni di canali (almeno nella parte di bacino interessata dallo studio), sono invece riferibili ai coli poderali limitrofi e direttamente connessi al colatore. Dette immissioni, di entità modesta e non contemporanee, sono state trascurate in quanto le condizioni del territorio antecedenti l'evento, prese in considerazione per la conduzione delle simulazioni idrauliche, sono state quelle di tipo III, ovvero molto umide. In siffatta situazione è reale infatti l'ipotesi che non sia in atto la pratica irrigua nel bacino di competenza e non si abbia quindi la formazione delle colature di cui sopra.

Per la valutazione del drenaggio diretto del territorio sotteso di competenza sono state classificate le varie tipologie di suolo di cui si compone, secondo la classificazione adottate dal metodo SCS-CN sopra citato, per i tre bacini di competenza alle sezioni di interesse (rappresentati in dettaglio nelle tavole T00ID01DRPL03, PL04, PL05 in scala 1:10.000).

I centri urbani (tutti in provincia di Lodi) che recapitano le portate drenate di origine pluviale nel colatore Brembiolo sono i seguenti:

- Ossago Lodigiano
- Brembio
- Secugnago (indirettamente e parzialmente)
- Zorlesco
- Casalpusterlengo

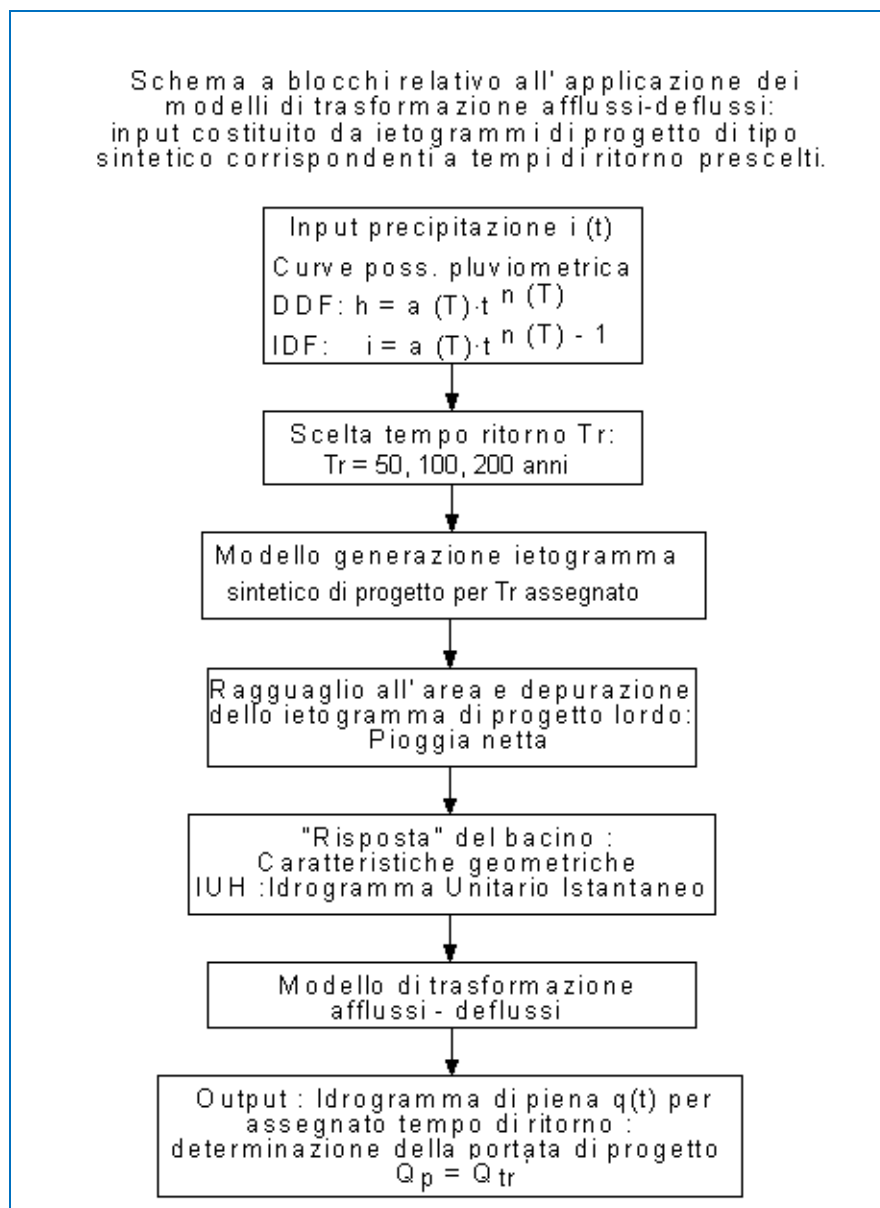
Nel calcolo delle superfici stradali afferenti al colatore Brembiolo sono state ricomprese anche quelle relative al nuovo tratto stradale, oggetto della presente perizia, in quanto si prevede di scaricare in esso le relative portate di origine pluviale drenate.

3 CALCOLO DELLA PORTATA DI MASSIMA PIENA: PORTATE AL COLMO DI PIENA PER TEMPI DI RITORNO $T_R = 50, 100$ E 200 ANNI

La formazione delle portate in deflusso nel colatore viene determinata attraverso il calcolo globale della trasformazione afflussi – deflussi, dove la diversa natura delle superfici del bacino sotteso viene caratterizzata dall’assunzione di coefficienti descrittivi diversi.

Le valutazioni idrologiche e le verifiche idrauliche sono state elaborate simulando le più sfavorevoli condizioni di afflusso - deflusso ipotizzabili, che consistono nel considerare gli apporti idrici in input sopra descritti in conseguenza di un evento pluviale di media e alta intensità (assegnato tempo di ritorno $T_r = 50, 100,$ e 200 anni) che solleciti il territorio tributario diretto che raccoglie e trasferisce le portate meteoriche al canale.

L’indagine idro - pluviometrica è stata sviluppata secondo il seguente diagramma a blocchi, che sintetizza le principali fasi tecniche elaborate.



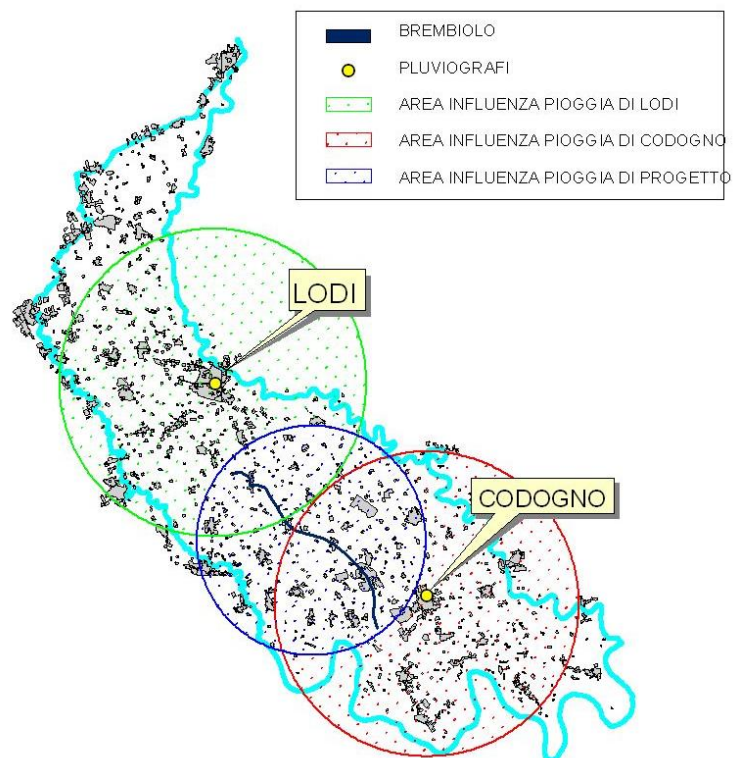
3.1 ANALISI IDROLOGICA

3.1.1 REGIME PLUVIOMETRICO INTENSO NELL'AREA DEL BACINO

Il regime delle piogge intense viene usualmente sintetizzato nelle cosiddette curve di possibilità pluviometrica $h = at^f$ che esprimono il legame tra l'altezza massima di precipitazione h [mm] e la sua durata t [ore] in funzione della frequenza probabile dell'evento meteorico estremo. Quest'ultima in genere è espressa in termini di tempo di ritorno T_r [anni], inteso come quel periodo temporale in cui il valore della variabile $h^*(t)$ è superato almeno una volta.

L'analisi pluviometrica per la determinazione delle curve $h(t)$ è stata condotta sulle serie storiche dei pluviometri di Lodi e Codogno, che geograficamente contengono il territorio tributario del colatore.

L'individuazione delle due stazioni è stata indotta dalla considerazione che, sebbene quella di Codogno è più vicina alle sezioni di chiusura di interesse, l'implementazione dei dati pluviometrici di Lodi consente di apprezzare l'effettiva distribuzione spaziale dell'input pluviometrico sollecitante il bacino drenante anche nella parte centro - settentrionale del medesimo. In effetti si è notato che le altezze di pioggia di Lodi sono generalmente maggiori di quelle di Codogno, coerentemente con la nota tendenza decrescente della pluviometria lombarda nella direzione nord - sud. Ciò consente implicitamente di tenere in giusta considerazione tale andamento crescente dell'input pluviale, che si sarebbe invece trascurato se si fosse considerata la sola stazione di Codogno.



Ulteriormente, il bacino del Brembiolo, si sviluppa lungo la congiungente i due centri urbani con andamento sub-parallelo alla medesima, rendendo così aderente alla realtà fisica del fenomeno, l'adozione di una pluviometria fondata su entrambe le stazioni.

Dalle serie storiche di pluviometria delle due stazioni sono state estratte le massime altezze di pioggia annuali relative alle durate di interesse dello studio: 30 minuti, 1 ora, 2 ore*, 3 ore, 6 ore, 12 ore e 24 ore (*: per la sola stazione di Lodi).

Il periodo di osservazione è di 30 anni (1976 - 2005) per la stazione di Lodi e 25 anni (1951 - 1977) per Codogno. Le due serie storiche come si può notare, non sono contemporanee: per Codogno era l'unica disponibile ed utilizzabile. Per Lodi si sarebbe potuto invece far riferimento ad una serie storica che dal 1956 si protraesse sino al 2005, senonché le curve di possibilità climatica che ne sarebbero scaturite sarebbero state meno sollecitanti di quelle che si sono ottenute osservando gli ultimi 30 anni di dati.

Tale circostanza rende conto della tendenza evolutiva della pluviometria lombarda degli ultimi decenni, che ha portato alla concentrazione degli eventi di pioggia in termini di maggiori volumi apportati in tempi inferiori. In questo modo si è potuto quindi riprodurre tale evoluzione in almeno

una delle stazioni, facendo sì che lo sfasamento temporale passasse in secondo piano rispetto al vantaggio di non trascurare tale fenomeno, già noto ed osservato.

I dati sono quindi stati elaborati statisticamente: è stata verificata l'adattabilità di due distribuzioni di probabilità al campione delle massime altezze di pioggia osservate per le due stazioni di misura. Tali distribuzioni sono quella di Gumbel (o del massimo valore) e la distribuzione lognormale, per le quali è stato condotto il test di Pearson (anche detto del "chi quadro") che ne ha verificato l'adattabilità ai campioni delle popolazioni sopra citate. I risultati sono riportati nel seguito.

3.1.2 DISTRIBUZIONE DI GUMBEL

La distribuzione del massimo valore o di Gumbel si fonda sul fatto che la distribuzione di probabilità $P(x)$ della variabile originaria per grandi valori di x e per N che tende ad infinito, può essere approssimata ad una distribuzione esponenziale tendente ad uno. Si può scrivere

$$P_N(x) = (1 - e^{-\lambda x})^N$$

Nota che λ è il parametro caratteristico della distribuzione esponenziale, l'espressione di P_N può essere riscritta nel seguente modo:

$$P_N = \left[1 - \frac{1}{N} e^{-\frac{(x-u)}{\alpha}} \right]^N$$

Passando ora al limite per N all'infinito, otteniamo la forma della distribuzione asintotica di Gumbel indicata come

$$F(x) = \lim_{N \rightarrow \infty} P_N = e^{-e^{-\frac{(x-u)}{\alpha}}}$$

In questa espressione è possibile notare i due parametri su cui si fonda la legge di Gumbel che sono: il parametro di scala " α " e il parametro di posizione " μ ".

Per la determinazione di questi ci si avvale di formule legate alla media e scarto quadratico medio dei valori di x delle altezze di pioggia con le seguenti formule:

$$\alpha = 1,283 / \sigma(x)$$

$$\mu = m(x) - 0,450 \sigma(x)$$

dove m è la media del campione e σ è la deviazione standard. Il parametro di scala α , dipende solamente dalla deviazione standard ed è una misura di dispersione dei valori attorno alla media.

Il parametro di posizione μ , dipende sia dalla media che dalla deviazione standard ed inoltre coincide con la moda della distribuzione.

I risultati delle elaborazioni numeriche sono contenuti nell'appendice allegata alla presente relazione.

3.1.3 TEST DI PEARSON

Per verificare l'adattabilità delle distribuzioni prescelte al campione della popolazione in esame è stato condotto come detto il test di adattamento di Pearson o del "chi quadro". E' un test che analizza la frequenza di probabilità della serie di dati, basandosi sul valore della variabile X^2 : più i valori assunti da tale variabile sono piccoli, tanto più la distribuzione è affidabile e meglio rappresenta la distribuzione della grandezza in esame.

"Chi quadro" è funzione del numero degli intervalli in cui si è divisa la serie (k), della probabilità che un'osservazione ricada in un i-esimo intervallo (p_i), del numero delle osservazioni che ricadono nell'i-esimo intervallo (N_i) e della dimensione del campione (N).

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(N_i - Np_i)^2}{Np_i}$$

Nell'esecuzione del test si assume

$$k = \text{INT}(N/5) \text{ o } \text{INT}(N/3)$$

$$p_i = 1/k \text{ (equiprobabilità)}$$

I risultati del test di Pearson, in cui si sono confrontate le adattabilità delle due distribuzioni prese in considerazione (Gumbel e Lognormale), sono i seguenti:

3.1.4 STAZIONE PLUVIOMETRICA DI LODI

	1h	2h	3h	6h	12h	24h
chi ² Gumbel	4,75	6,8	7,2	9,2	8,8	1,8
chi ² lognormale	10,6	6,8	7,6	12,0	8,0	9,6

3.1.5 STAZIONE PLUVIOMETRICA DI CODOGNO

	1h	2h	3h	6h	12h	24h
chi ² Gumbel	2,80	-	4,40	0,80	10,80	9,60
chi ² lognormale	6,40	-	6,00	7,20	6,80	6,80

Come si può notare, sia per Codogno che per Lodi, i valori di X^2 più bassi si ottengono per la distribuzione di Gumbel, che quindi meglio rappresenta la popolazione del campione esaminato. Alla luce di tali risultati è stata adottata la distribuzione di Gumbel nella costruzione delle curve di possibilità pluviometrica delle due stazioni considerate.

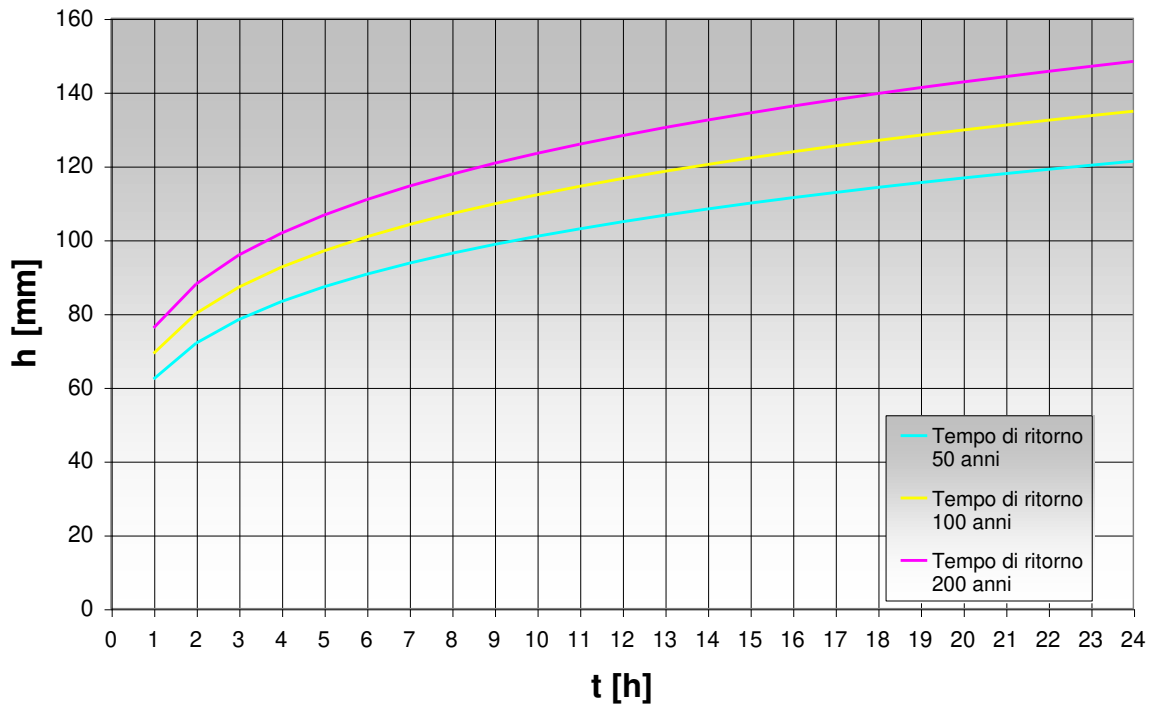
Si sono così ottenute le curve DDF per le due stazioni di Lodi e Codogno per i tempi di ritorno T_r di 50, 100 e 200 anni. I parametri delle curve, in funzione del tempo di ritorno, sono i seguenti:

Curva di possibilità climatica – Pluviometro di Lodi		
tempo di ritorno T_r	a	n
200	59,51	0,3575
100	53,81	0,3590
50	40,35	0,3625

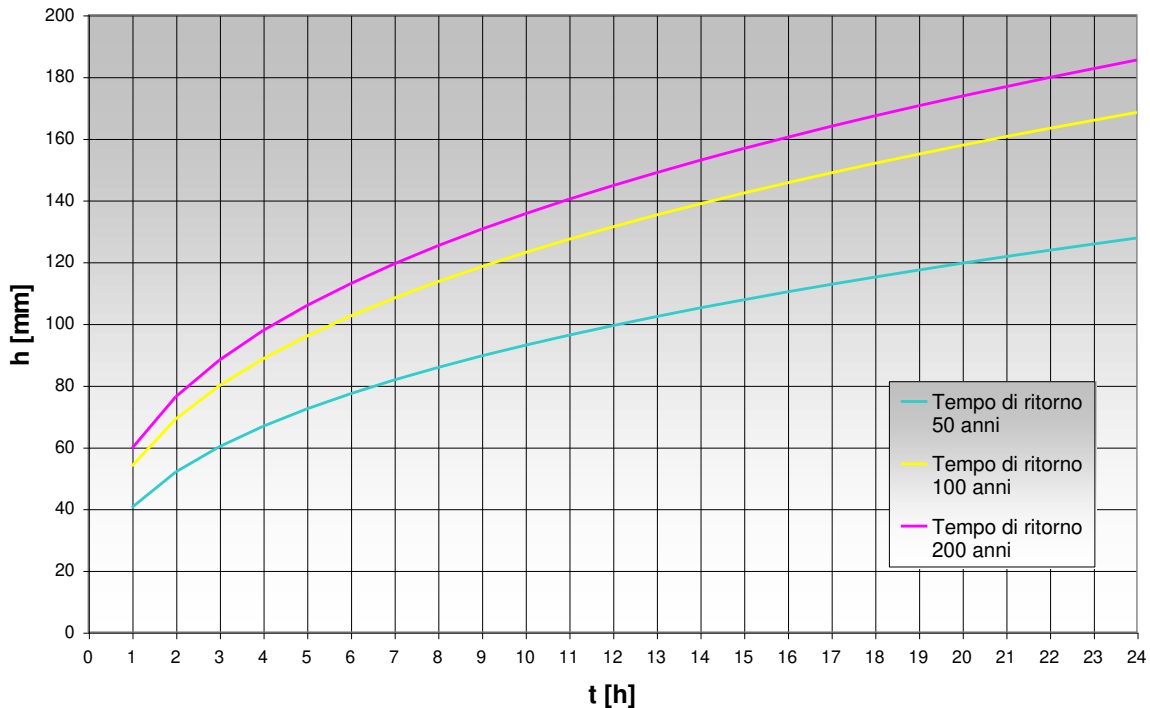
Curva di possibilità climatica – Pluviometro di Codogno		
tempo di ritorno T_r	a	n
200	76,09	0,2100
100	69,17	0,2100
50	62,22	0,2100

Nel grafico che segue sono riportati gli andamenti delle 3 curve di Lodi e delle 3 di Codogno: si può osservare come, relativamente ai tempi di ritorno di 100 e 200 anni la pluviometria di Lodi è più gravosa già per durate superiori alle 5 ore, in particolare in corrispondenza delle durate critiche relative alle tre sezioni di interesse (comprese tra le 8 e le 9,5 ore) si ha una significativa maggiore altezza di pioggia attesa, coerentemente con le considerazioni sopra esposte circa la maggior gravosità pluviale in direzione sud - nord.

curve di possibilita' climatica
per le stazioni pluviometriche di Codogno



curve di possibilita' climatica
per le stazioni pluviometriche di Lodi



Ai fini delle elaborazioni di simulazione idraulica, è stata utilizzata una **curva di progetto** ottenuta come media delle due di Lodi e Codogno, per ciascun assegnato tempo di ritorno (ovvero ricavata come media delle altezze di pioggia relative alle due stazioni di Lodi e Codogno).

Con tale metodologia si è costituita una stazione pluviometrica baricentrica al territorio tributario del Brembiolo alle sezioni di interesse, i cui valori parametrici, ottenuti per regressione non lineare, sono contenuti nella tabella che segue:

Curva di possibilità climatica di progetto		
tempo di ritorno T_r	a	n
200	67,80	0,2815
100	61,50	0,2800
50	51,29	0,2771

In coerenza a quanto stabilito dalla direttiva di attuazione dell' art. 15 delle norme del piano stralcio delle fasce fluviali: "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B", sono state condotte tre simulazioni idrauliche in ciascuna delle sezioni di interesse del colatore, in base agli input pluviometrici sollecitanti corrispondenti ai tempi di ritorno assegnati.

In particolare gli esiti idrometrici dei calcoli per T_r pari a 200 anni sono stati assunti a vincolo geometrico per la determinazione dei franchi idraulici.

3.1.6 RAGGUAGLIO DELLE PIOGGE ALL'AREA

Le piogge ottenute attraverso le sopradescritte curve DDF (Depth-Duration-Frequency) si riferiscono alla intensità puntuale del centro di scroscio, che in generale diminuisce all'aumentare della distanza da esso. Occorre quindi raggugliare le piogge all'area del bacino attraverso un coefficiente di ragguglio con il quale si ottiene una pioggia media valida per l'intero bacino analizzato. Per affrontare il problema della variabilità spazio - temporale degli eventi è stato introdotto un coefficiente di riduzione R funzione della durata critica individuata e dell'area del bacino. E' stato utilizzato a tal fine quello proposto da Columbo per piogge di durata compresa tra 0,25 e 24 ore, ricavato con riferimento all'area milanese.

$$R = \alpha - \beta \ln(A) - \gamma \ln(A)^2$$

dove l'area A è definita in Km^2 , la durata t in ore e i coefficienti α, β, γ secondo le formule seguenti:

$$\alpha = - 8,262 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 + 7,545 \cdot 10^{-4} \cdot t + 0,9704$$

$$\beta = - 2,836 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 1,270 \cdot 10^{-4} \cdot t + 0,03682$$

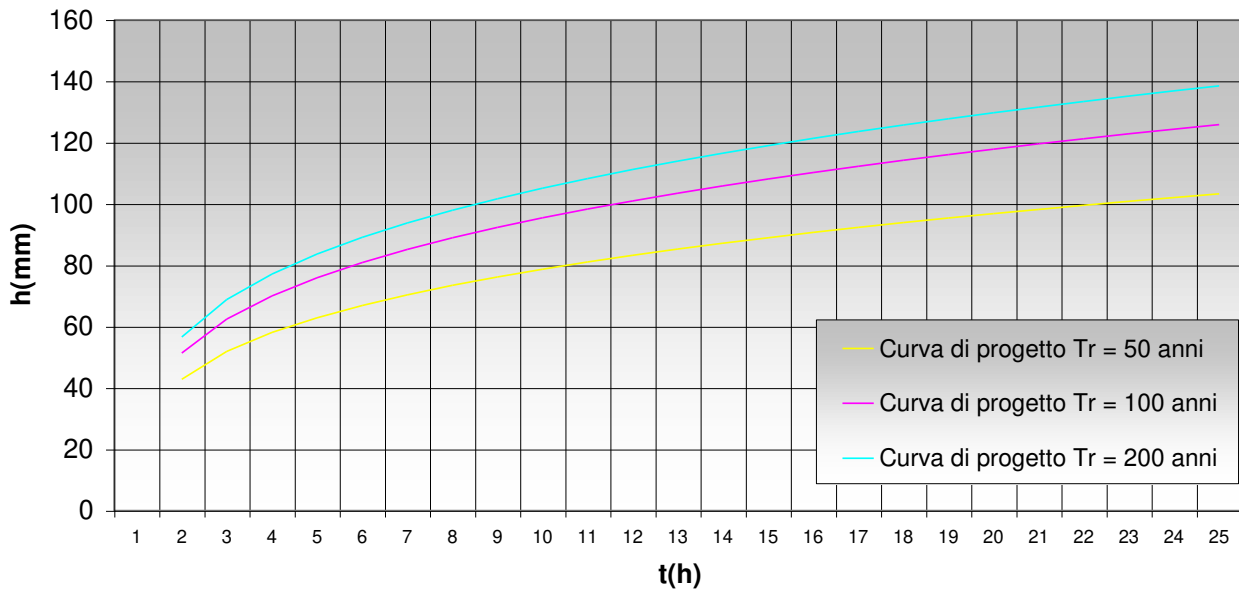
$$\gamma = 7,878 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-0,06801t}$$

Il valore del coefficiente di ragguglio per l'area dell'intero bacino del colatore Brembiolo è $R = 0,835$

Si ottengono i seguenti valori per la curva di possibilità climatica di progetto ragguagliata all'area del bacino:

Curva di possibilità climatica - Pluviometro di Codogno		
tempo di ritorno T_r	a	n
200	56,61	0,2815
100	51,35	0,2821
50	42,82	0,2771

curve di possibilità climatica di progetto ragguagliata all'area



3.2 EVENTI METEORICI CRITICI: PORTATE DI MASSIMA PIENA

La criticità degli eventi meteorici nei confronti dei deflussi di piena dipende da due fattori: dalla frequenza probabile degli eventi meteorici massimi e dalla distribuzione spazio - temporale di tali eventi. Occorre quindi legare tali caratteristiche di criticità, ai fini della pratica progettuale, in modo da poterne tenere in considerazione gli effetti sulla formazione dei deflussi di massima piena.

Viene così assunto un unico evento pluviometrico teorico (*ietogramma di progetto*) ricavato dai dati pluviometrici osservati, associato come visto, ad un prefissato tempo di ritorno T_r e valido per tutto il bacino in oggetto (ovvero nei tre bacini tributari in studio).

E' stato scelto, ai fini del calcolo della portata di massima piena nella sezione di interesse, lo ietogramma Chicago, contraddistinto da un andamento temporale non costante dell'intensità di pioggia in modo tale che l'intensità media della precipitazione, anche per durate parziali, sia congruente con quella definita dalla curva di possibilità climatica.

La forma analitica dello ietogramma è definita dalle due seguenti equazioni:

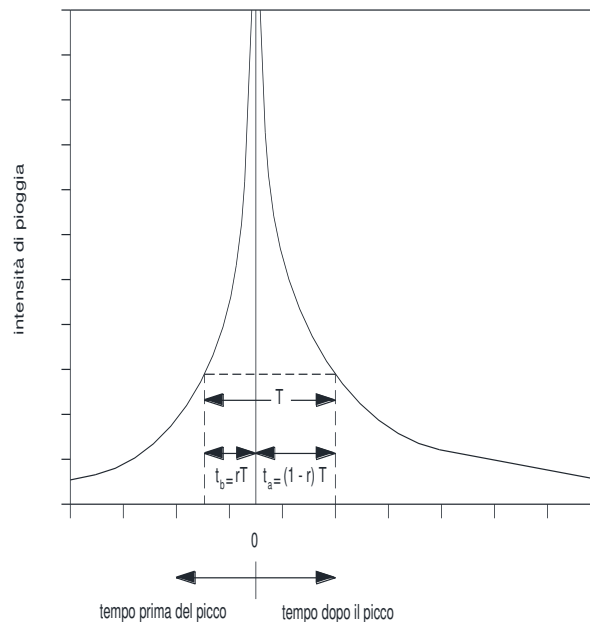
$$i(t) = n a [t_b/r]^{n-1} \qquad i(t) = n a [(t_a/(1-r))]^{n-1}$$

con

- $i(t)$ = intensità di pioggia all'istante t -esimo
- a = parametro della curva di possibilità pluviometrica
- n = parametro della curva di possibilità pluviometrica
- t_b = tempo contato dal picco verso l'inizio dell'evento
- t_a = tempo contato dal picco verso la fine dell'evento
- r = posizione del picco all'interno dell'intera durata dell'evento, assunto pari a 0,4

L'andamento di $i(t)$ fornito dalle due equazioni sopra è caratterizzato da un ramo sempre crescente sino all'istante di picco e da un ramo sempre decrescente dopo il picco. In questo modo lo ietogramma contiene in sé gli eventi critici per tutte le durate parziali inferiori della durata complessiva, peculiarità che libera dalla necessità di individuare la durata critica del bacino, purchè la durata T totale dell'evento sia sicuramente maggiore del tempo di corruzione T_c del bacino.

Nell'appendice allegata sono riportati gli ietogrammi di progetto per i tempi di ritorno $T_r = 50, 100$ e 200 anni, per le tre sezioni di chiusura di interesse.



Andamento tipologico – qualitativo dello ietogramma Chicago

Dato che lo ietogramma Chicago risulta molto poco sensibile alle variazioni di durata dell'evento pluviale, in quanto la parte dell'evento a cavallo del picco è invariabile, è sufficiente quindi considerare una durata superiore al tempo T_c di concentrazione del bacino.

L'implementazione dello ietogramma di progetto è stato effettuato mediante apposito software di calcolo.

L'evento meteorico di progetto, opportunamente ragguagliato all'area e depurato delle perdite idrologiche, costituisce la base per effettuare la stima delle portate di massima piena attraverso l'applicazione di un modello afflussi-deflussi. Stante la scarsità di dati sperimentali rilevati direttamente sul territorio, ma sufficienti per poter individuare la classificazione proposta dall'SCS per la valutazione delle perdite idrologiche, si adotta un modello idrologico concettuale - globale.

Il calcolo è effettuato per i bacini sottesi alle sezioni di riferimento (intersezioni del colatore con la costruenda opera ed identificate con dicitura "Brembiolo 1", "Brembiolo 2" e "Brembiolo 3").

3.2.1 TEMPO DI CORRIVAZIONE

La valutazione del tempo di corrivazione del bacino viene effettuata in quanto necessaria alla definizione dei parametri idrologici della trasformazione afflussi -deflussi. In particolare in base al tempo di corrivazione T_c viene stimata la costante di invaso del bacino nell'ambito della metodologia di trasformazione dell'omonimo metodo. Inoltre detto parametro è determinante nell'adozione della durata critica dell'evento pluviometrico di progetto.

La stima del tempo di corrivazione di bacini idrografici di pianura è sempre una determinazione di non semplice effettuazione. Infatti l'influenza dei parametri geometrici ed idraulici in zone pianeggianti risulta sempre molto elevata, in funzione delle caratteristiche locali del bacino, sulla variabilità del tempo di concentrazione. A fronte di formulazioni specifiche presenti in letteratura, valide per zone geografiche circostanziate, non sussistono studi specifici condotti per la pianura lombarda del sud milanese. Si è quindi operata una disamina tra le metodologie adottabili ai fini di individuare quella che fosse le più aderente alla realtà del lodigiano, quindi al caso in esame.

Si sono quindi riprodotti i tempi di corrivazione secondo detti metodi, valutandone la corrispondenza con le osservazioni dirette eseguite dal consorzio su corsi d'acqua similari del territorio consortile. La tabella che segue riassume i risultati ottenuti.

parametri del bacino			confronto metodi di determinazione							
alle tre sezioni di chiusura			del tempo di corrivazione							
Sup. A	Lung. asta L	Pend. i	Pasini	Ventura	Pezzoli	h.s.	Giandotti	Pasini2	S.C.S.	Ogrosky
[km ²]	[km]	[m/m]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]	[h]
14,81	13,50	0,0007	33,62	18,47	28,06	17,00	15,75	23,87	28,78	8,27
19,20	15,20	0,0007	38,13	21,03	31,60	23,00	15,94	27,08	31,64	8,71
31,00	18,80	0,0007	48,01	26,73	39,08	26,00	16,29	34,10	37,50	9,53

Dall'esame dei risultati numerici ottenuti si evidenzia come il più aderente alla situazione del territorio consortile risulta il **metodo di Ogrosky - Mockus** (ampliamento a bacini di superficie superiore ai 50 ha, degli studi di Kirpich per bacini rurali). Detto metodo infatti considera quali parametri in input: la lunghezza dell'asta principale del corso d'acqua e la differenza di quota tra il punto più lontano del bacino e la sezione di chiusura, ovvero i parametri che più caratterizzano il colatore Brembiolo da un punto di vista morfologico e idrologico (la forma del bacino tributario del colatore è infatti fortemente allungata, quindi con una forte influenza dello sviluppo monodimensionale del medesimo).

La formulazione analitica del metodo di stima del tempo di corrivazione T_c secondo Ogrosky - Mockus è la seguente:

$$t_c = \frac{0.914 \cdot L^{1,15}}{C^{0,38}}$$

Dove:

- L = lunghezza dell'asta principale del corso d'acqua [km]
- C = differenza di quota tra il punto più lontano del bacino e la sezione di chiusura [m]

3.2.2 PERDITE IDROLOGICHE (MODELLO DI PIOGGIA NETTA)

Vengono considerate quelle dovute ad infiltrazione ed immagazzinamento nelle depressioni superficiali. La valutazione quantitativa di tali volumi è effettuata con il modello lineare di pioggia netta CN "Curve Number" del Soil Conservation Service americano che prevede una classificazione dei suoli del bacino in base alla struttura geologica ed in base all'utilizzo degli stessi.

L'equazione di continuità assume la forma:

$$Q(t) = P(t) - S'(t)$$

con

- Q(t) = volume defluito sino all'istante t in mm
- P(t) = volume affluito sino al medesimo istante t in mm
- S'(t) = volume infiltrato sino al medesimo istante t in mm

Il modello Curve Number ipotizza che sussista la seguente relazione di proporzionalità:

$$S'(t)/S = Q(t)/P(t)$$

con

S(t) = capacità di campo (volume massimo immagazzinabile nel terreno a saturazione)

Il volume S dipende da un ulteriore parametro denominato CN, attraverso la relazione

$$S = 25400/CN - 254$$

Il valore di CN è compreso tra 0 e 100 ed è funzione delle caratteristiche del terreno.

Per tenere in conto della parte di precipitazione che va ad invasarsi nelle depressioni superficiali o che si infiltra prima che il deflusso abbia inizio si introduce la depurazione iniziale I [mm].

I è anch'esso legato ad S definendo:

$$I = 0,2 S$$

Si ottiene:

$$Q(t) = [P(t) - I]^2 / [P(t) - I + S]$$

Il calcolo della pioggia netta Q(t) dipende quindi dall'unico parametro CN che viene stabilito in funzione della tipologia del terreno e dell'uso del suolo. Sono rappresentate nella due tabelle che seguono le classificazioni in base alle quali viene stabilito il valore del parametro CN. Tale metodologia risulta vantaggiosa in quanto limita alla definizione di un solo parametro l'individuazione dell'effetto del suolo sullo ietogramma di progetto lordo.

Suddivisione in classi delle varie tipologie di terreno

CLASSE	
CLASSE A	Scarsa potenzialità di deflusso: comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
CLASSE B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa: comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
CLASSE C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta: comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D; il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
CLASSE D	Potenzialità di deflusso molto alta: comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

I valori del Curve Number CN sono riportati nella tabella seguente, per i diversi tipi di suolo e con riferimento alla cosiddetta condizione di umidità precedente l'inizio dell'evento, di tipo standard (AMC antecedent moisture conditions di tipo II)

TIPO DI COPERTURA (uso del suolo)	TIPO DI SUOLO			
	A	B	C	D
Terreno coltivato				
Senza trattamenti di conservazione	72	81	88	91
Con interventi di conservazione	62	71	78	81
Terreno da pascolo				
Cattive condizioni	68	79	86	89
Buone Condizioni	39	61	74	80
Praterie				
Buone Condizioni	30	58	71	78
Terreni boscosi o forestati				
Terreno sottile, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
Sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
Spazi aperti, prati rasati, parchi				
Buone condizioni con almeno il 75% dell'area con copertura erbosa	39	61	74	80
Condizioni normali, con copertura erbosa intorno al 50%	49	69	79	84
Aree commerciali (impermeabilità 85%)	89	92	94	95
Distretti industriali (impermeabilità 72%)	81	88	91	93
Aree residenziali				
Impermeabilità media % 65	77	85	90	92
38	61	75	83	87
30	57	72	81	86
25	54	70	80	85
20	51	68	79	84
Parcheggi impermeabilizzati, tetti	98	98	98	98
Strade				
Pavimentate, con cordoli e fognature	98	98	98	98
Inghiaiate o selciate con buche	76	85	89	91
In terra battuta (non asfaltate)	72	82	87	89

La tipologia dei suoli dei bacini in esame è individuata come appartenente alla classe compresa tra A e B per le superfici rurali, con riferimento a terreno coltivato e interventi di conservazione. Per le superfici urbane si è invece individuata l'appartenenza alla classe C relativamente alle aree residenziali con impermeabilità media pari al 65 %.

Per quanto concerne la percentuale di uso suolo individuabile come strade e relative aree di pertinenza si è ottenuto un valore complessivo di 50 ha. Tale termine contiene anche la parte di superficie relativa alla nuova arteria viabilistica in oggetto che consta di 15 ha complessivi.

Gli usi del suolo individuati nel bacino del canale sono i seguenti:

- aree commerciali, parcheggi impermeabilizzati, strade pavimentate CN = 98
- aree residenziali con impermeabilità media del 65 % CN = 90
- zone rurali coltivate CN = 65

Si è poi fatto riferimento ad una situazione del suolo antecedente l'evento pluviometrico di progetto al massimo tasso di umidità, ovvero corrispondente alla classe AMC III del metodo CN. Tale condizione viene implementata con la opportuna variazione dei valori di CN sopra individuati attraverso la tabella di conversione di seguito riportata.

Valori del Curve Number per condizioni antecedenti l'evento molto umide (AMC tipo III) o molto asciutte (AMC tipo I) rispetto a quelle di tipo standard (AMC tipo II)

Classe AMC		
I	II	III
100	100	100
87	95	98
78	90	96
70	85	94
63	80	91
57	75	88
51	70	85
45	65	82
40	60	78
35	55	74
31	50	70
22	40	60
15	30	50
9	20	37
4	10	22
0	0	0

Si ottengono così i valori definitivi dei coefficienti CN caratterizzanti le superfici costituenti il bacino come di seguito riportato:

- CN = 98 => CN = 99
- CN = 90 => CN = 96
- CN = 65 => CN = 82

Con riferimento a ciascuna delle tre sezioni di interesse, i valori di CN attribuiti alle superfici individuate sono poi stati fatti oggetto di media pesata rispetto all'area, al fine di ottenere un unico valore medio ponderale valevole per tutto il bacino.

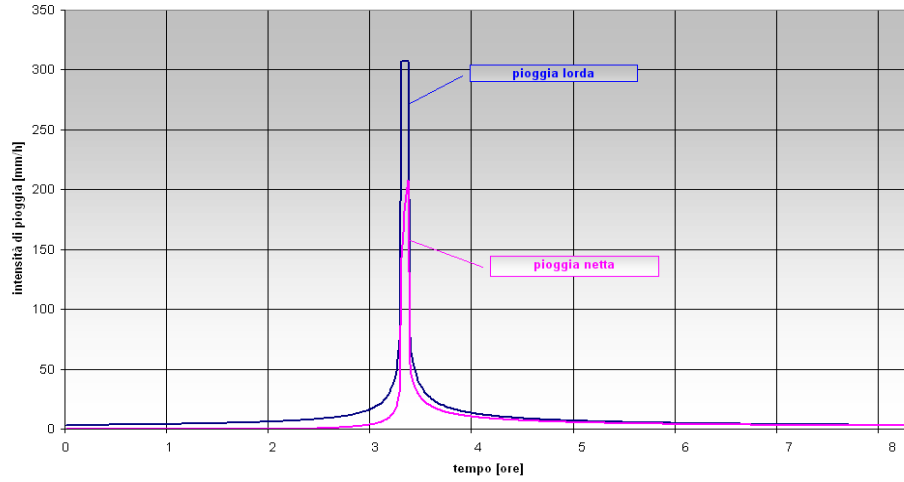
I dati di riferimento per le tre sezioni di chiusura sono riportati nella tabella che segue:

Intersezione idraulica	Area Totale	tipologia Suolo		CN pesato
		Urbanizzato <i>(residenziale+cinematico)</i>	Rurale	
	Km ²	Km ²	Km ²	
Brembiolo 1	14,81	1,15	13,66	83
Brembiolo 2	19,4	1,51	17,89	83
Brembiolo 3	31	5,96	25,04	85

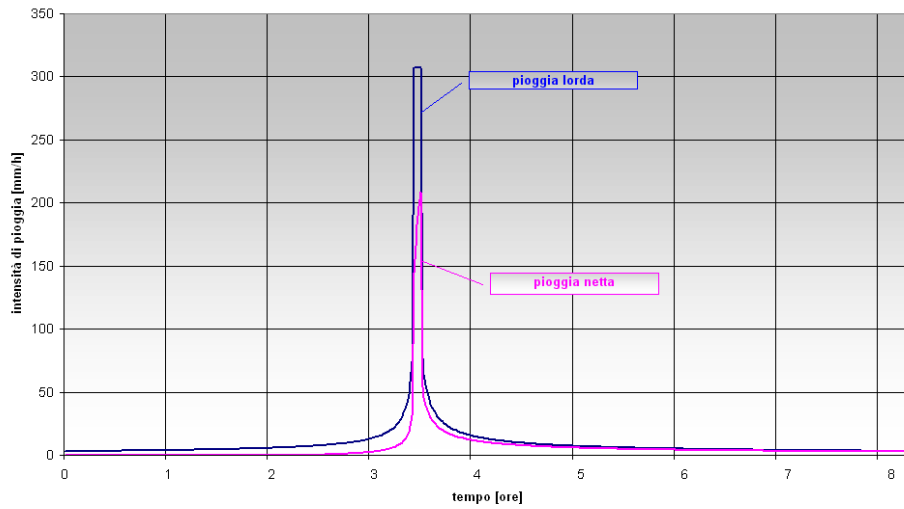
Nelle figure che seguono sono riportati il confronto tra gli ietogrammi di progetto lordi (come detto il tipo scelto è quello Chicago) e la pioggia netta, ovvero gli stessi ietogrammi ragguagliati alle rispettive aree (metodo di Columbo) e depurati delle perdite idrologiche secondo la metodologia CN del Soil Conservation Service americano. Qui vengono riportati gli ietogrammi relativi al tempo di ritorno T_r pari a 100 anni (impiegati per le simulazioni idrauliche di riferimento a livello progettuale), per una consultazione completa dei dati di pioggia netta si rimanda all'appendice allegata alla presente relazione.

Dall'andamento delle curve si può notare l'aderenza degli andamenti con un maggiore scostamento nella fase iniziale del fenomeno, dovuto alla decurtazione della pioggia lorda per fenomeni di infiltrazione.

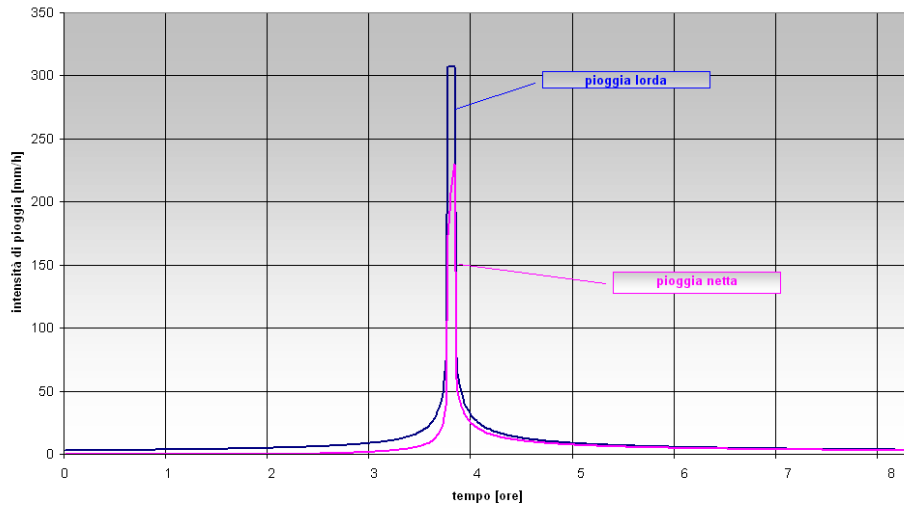
Colatore Brembiolo - confronto tra ietogramma chicago ragguagliato (pioggia lorda) e ietogramma chicago ragguagliato netto (pioggia netta) Tr = 100 anni - Sezione di chiusura "Brembiolo 1"



Colatore Brembiolo - confronto tra ietogramma chicago ragguagliato (pioggia lorda) e ietogramma chicago ragguagliato netto (pioggia netta) Tr = 100 anni - Sezione di chiusura "Brembiolo 2"



Colatore Brembiolo - confronto tra ietogramma chicago ragguagliato (pioggia lorda) e ietogramma chicago ragguagliato netto (pioggia netta) Tr = 100 anni - Sezione di chiusura "Brembiolo 3"



3.2.3 MODELLO IDROLOGICO DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI NETTI - DEFLUSSI

Per determinare l'idrogramma di piena generato dall'evento idrologico assunto a riferimento, stante la complessità del fenomeno e la relativa scarsità di dati sperimentali sui quali poter tarare e successivamente verificare l'applicazione di modelli complessi, si è applicato un modello lineare - stazionario, basato sull'ipotesi che il bacino abbia caratteristiche di proporzionalità tra cause ed effetti.

In tali ipotesi l'operatore che lega la portata $q(t)$ alla pioggia netta caduta sino all'istante t è dato dall'integrale di convoluzione:

$$q(t) = \int_0^t p(\tau) u(t-\tau) d\tau$$

che può anche scriversi

$$q(t) = \int_0^t p(t-\tau) u(\tau) d\tau$$

dove la funzione $u(t)$, avente le dimensioni dell'inverso di un tempo, è il cosiddetto "idrogramma unitario istantaneo" (denominato anche IUH: "Instantaneous Unit Hydrograph"). Esso rappresenta l'idrogramma di piena che si origina nel bacino in occasione di un singolo impulso di precipitazione, quindi di un evento di durata infinitesima, di intensità infinita e volume unitario.

L'idrogramma di piena $q(t)$ derivante dalla pioggia $p(t)$ va inteso come la somma di tutti i contributi determinati appunto dalle piogge verificatesi sino all'istante t , immaginando di poterle suddividere in infiniti contributi elementari.

L'IUH racchiude in se quindi le caratteristiche fisiche del bacino che determinano la formazione dei deflussi di piena, rappresentandone sinteticamente le sue particolarità (morfologia, pendenza ecc). Essendo le tre sezioni interessate dallo studio quelle all'intersezione con la nuova variante viabilistica alla ss. 9 "Emilia", gli IUH ricercati sono quelli specifici relativi ai bacini sottesi a tali sezioni.

Alla base della determinazione dell'onda di piena vi è la definizione dell'IUH, per il quale è stato adottato il modello dell'invaso lineare che schematizza il bacino come un serbatoio a funzionamento lineare.

Il modello dell'invaso si basa sull'ipotesi che la formazione della piena del bacino avvenga per fenomeni di vaso simili a quelli che hanno luogo in un serbatoio soggetto ad afflussi variabili nel tempo ed a deflussi dipendenti dalle caratteristiche idrauliche della sua bocca di uscita.

Con tale ipotesi il fenomeno viene simulato dalla seguente equazione di continuità

$$P(t) - q(t) = dW(t) / dt$$

In cui le funzioni $p(t)$ e $q(t)$ hanno il consueto significato rispettivamente di portata di precipitazione netta e di portata nella sezione di chiusura del bacino, mentre $W(t)$ è il volume idrico invasato nel bacino.

Essendo data la precipitazione $p(t)$, per la determinazione dell'onda di piena $q(t)$ è necessaria una seconda equazione che leghi $W(t)$ alla $q(t)$: si fa quindi riferimento, nell'ipotesi di serbatoio sufficientemente grande, alla legge di efflusso di moto permanente che in generale ha forma

$$q(t) = k_e h^n$$

dove n dipende dalle caratteristiche geometriche della bocca di efflusso.

In virtù del fatto che il carico h è funzione univoca dell'invaso W , le precedenti individuano il legame tra $q(t)$ e $W(t)$.

Ammettendo che tale legame sia lineare si ottiene una relazione del tipo:

$$W = K q$$

Che sostituita nell'equazione di continuità porta alla:

$$p(t) - q(t) = K \frac{dq(t)}{dt}$$

riscrivendo l'equazione sopra rispetto a q:

$$Q(t) = \frac{W(t)}{K}$$

dove K, chiamata costante di invaso, ha le dimensioni di un tempo. L'integrale generale dell'equazione differenziale di continuità per il modello dell'invaso è il seguente:

$$Q(t) = \int_0^{\tau^*} p(t) \frac{1}{K} e^{-\frac{t-\tau}{K}} d\tau$$

con i seguenti limiti di integrazione

$$\tau^* = t \quad \text{per } t < t_p$$

$$\tau^* = t_p \quad \text{per } t > t_p$$

dove il termine "1/K e^{-t/K}" è la forma analitica dell' IUH del metodo dell'invaso.

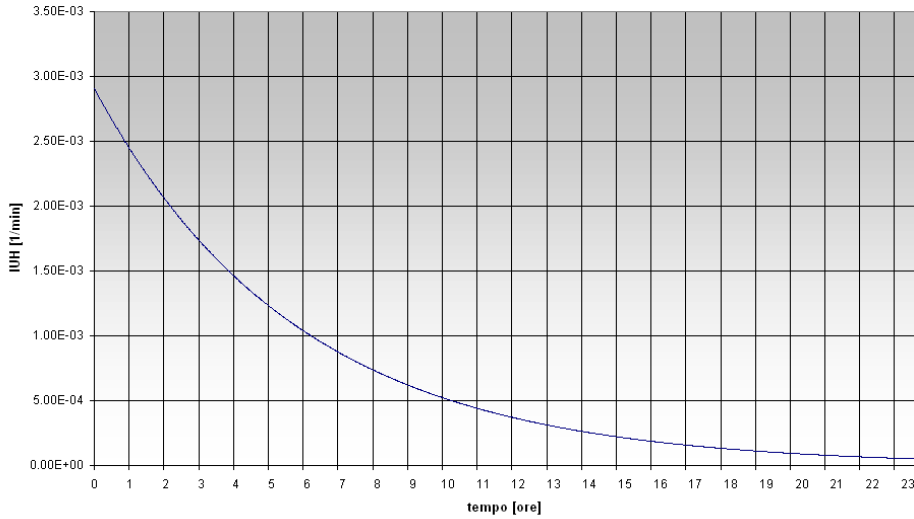
La determinazione della costante di invaso K è stata effettuata con il metodo URBIS (Mignosa - Paoletti) che calcola il medesimo in funzione del tempo di corrivazione t_c secondo la relazione:

$$K = 0,7 t_c$$

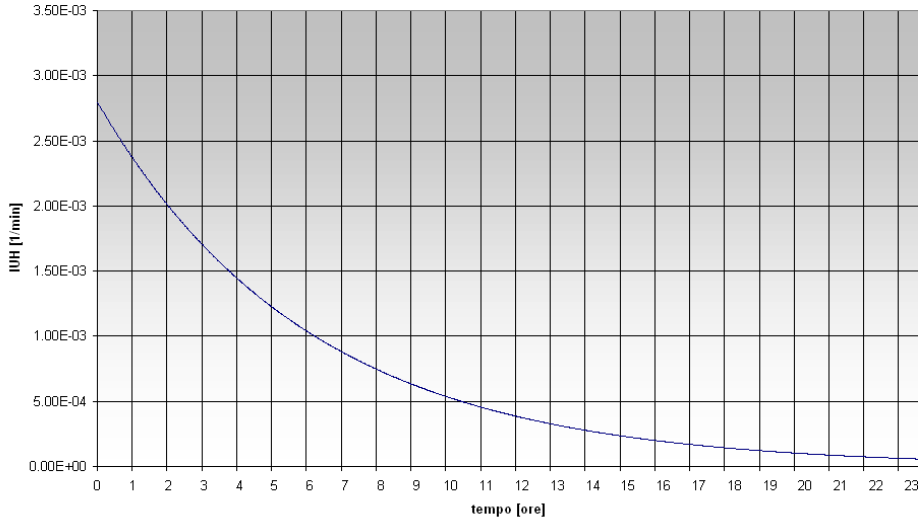
Il parametro K è alla base della modellazione del fenomeno della trasformazione afflussi - deflussi: la sua scelta deve essere effettuata in modo che sia ben rappresentato il tempo caratteristico di risposta del bacino, calcolato come detto in precedenza, con riferimento alle caratteristiche pluviometriche e morfologiche del bacino. Infatti per K crescenti l'IUH si abbassa e si allunga nel tempo, simulando quindi bacini progressivamente più grandi e con maggiori capacità di invaso e di ritenzione superficiale. Ecco allora che appare conseguente considerare K legato al tempo t_c di corrivazione, che, dopo vari riscontri e tarature, ha portato nel metodo URBIS alla espressione sopra indicata.

Di seguito sono riportate le diagrammazioni degli IUH determinati alle tre sezioni di interesse.

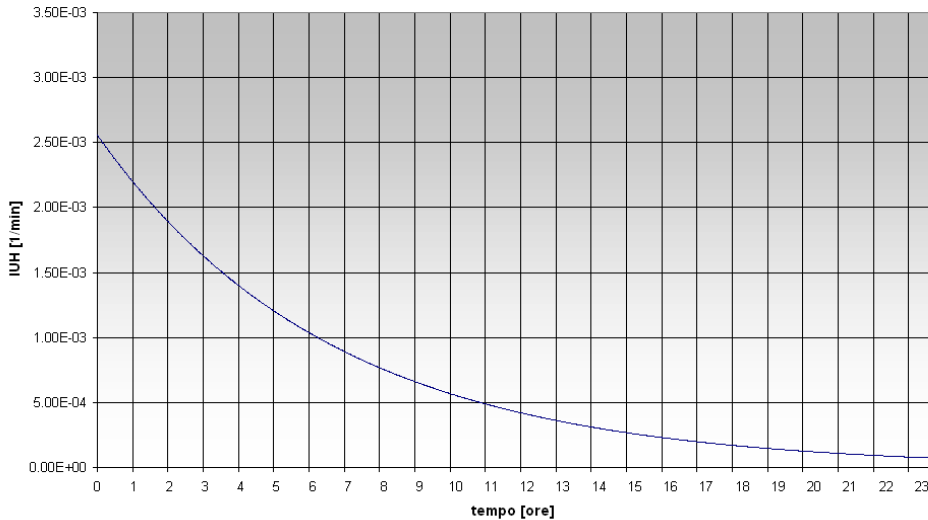
Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - idrogramma unitario istantaneo
 Sezione di chiusura "Brembiolo 1"



Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - idrogramma unitario istantaneo
 Sezione di chiusura "Brembiolo 2"



Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - idrogramma unitario istantaneo
 Sezione di chiusura "Brembiolo 3"



4 CALCOLO DELLE PORTATA DI MASSIMA PIENA PER TEMPI DI RITORNO ASSEGNATI

Nell'ambito dell'indagine relative al bacino drenato diretto, l'ultimo passo della trasformazione afflussi - deflussi riguarda l'ottenimento degli idrogrammi di piena, che, come detto, viene effettuato, per le tre sezioni di chiusura "Brembiolo 1", "Brembiolo 2" e "Brembiolo 3" relativamente ai tempi di ritorno $T_r = 50, 100$ e 200 anni.

La taratura ha riguardato dapprima il modello di pioggia netta per l'ottenimento degli ietogrammi netti di progetto, con l'individuazione del valore di CN per le tre tipologie di superfici riconosciute: urbane in *AMC di tipo III* (residenziale CN = 96, cinematica CN = 99), e rurali sempre in *AMC di tipo III* (CN = 82).

Quindi, come visto, attraverso la stima del tempo di corrvazione T_c con la metodologia di Ogrosky - Mockus e quindi di K, si è determinata la risposta del bacino ai fini della trasformazione afflussi netti - deflussi. Le informazioni territoriali necessarie all'elaborazione sono state desunte dalla cartografia facente parte integrante della presente perizia progettuale (differenza di quota tra il punto più lontano dalla sezione di chiusura e la quota della medesima, lunghezze dei percorsi idraulici più lunghi, superfici ecc.).

Trattandosi di un modello di tipo globale è stato valutato, come detto, il valore di *CN* medio ponderale riferito a ciascun bacino delle tre sezioni di interesse (vedasi la tabella riportata nell'ambito del paragrafo "perdite idrologiche modello di pioggia netta").

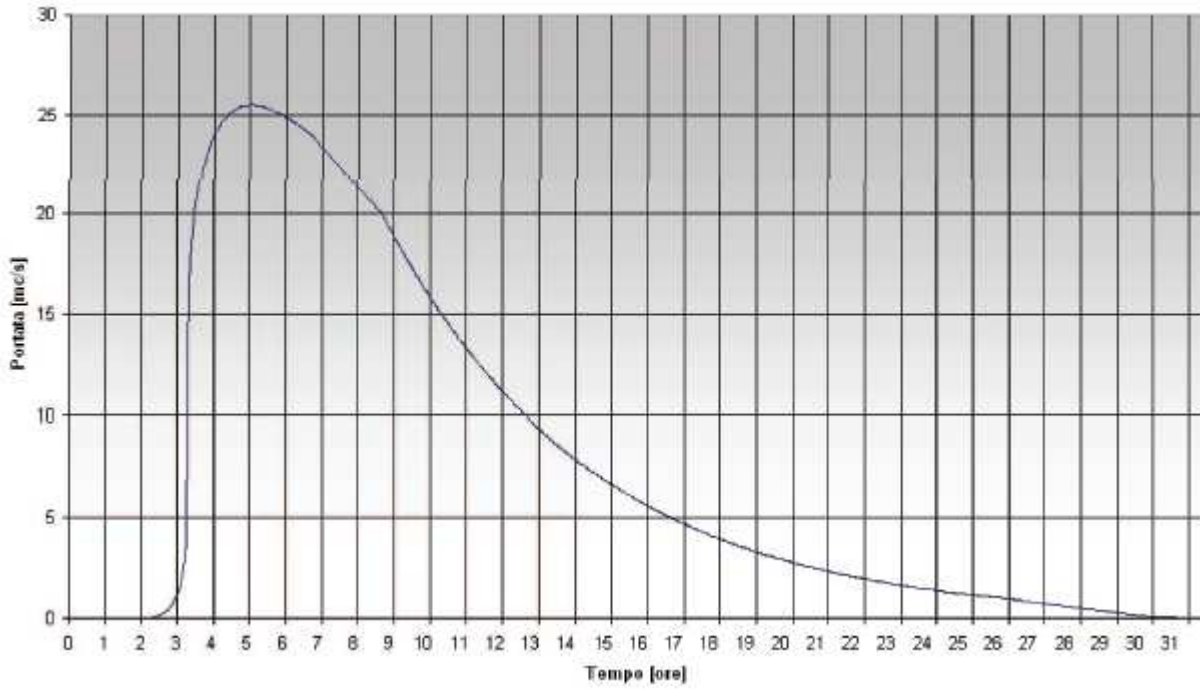
Si è proceduto quindi al calcolo delle onde di piena relative alle sezioni di riferimento del bacino, per tempo di ritorno di 50, 100 e 200 anni. Il valore di colmo Q_p costituirà il dato relativo al bacino diretto drenato da assumere a base di verifica per il deflusso in moto permanente con T_r assegnato nella rispettiva sezione.

Nella tabella che segue sono riportati i valori di portata ottenuti nelle tre sezioni di chiusura per assegnato tempo di ritorno.

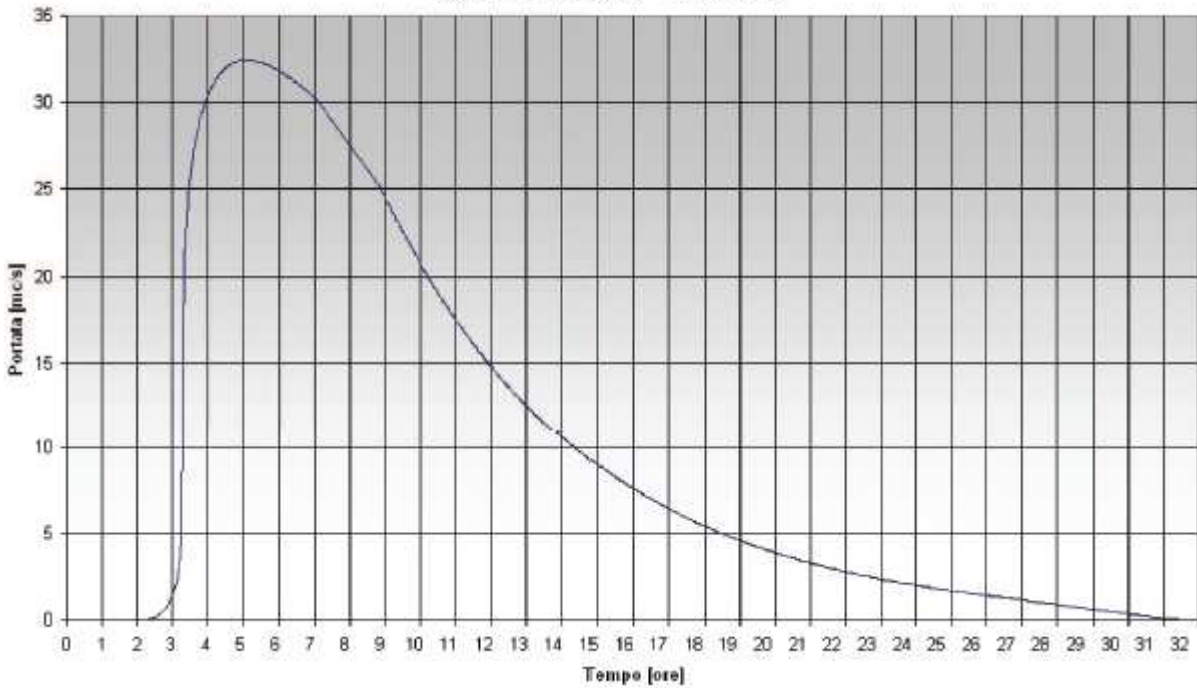
<i>Sezione di chiusura</i>	portata per $T_r=50$ anni [m ³ /s]	portata per $T_r=100$ anni [m ³ /s]	portata per $T_r=200$ anni [m ³ /s]
<i>Brembiolo 1</i>	15,99	21,82	25,50
<i>Brembiolo 2</i>	20,51	27,99	32,50
<i>Brembiolo 3</i>	34,50	47,90	53,50

Nei grafici che seguono sono indicati gli idrogrammi di piena ottenuti per tempo di ritorno $T_r = 100$ anni. La serie completa degli idrogrammi di piena di progetto è contenuta nell'appendice allegata alla presente relazione

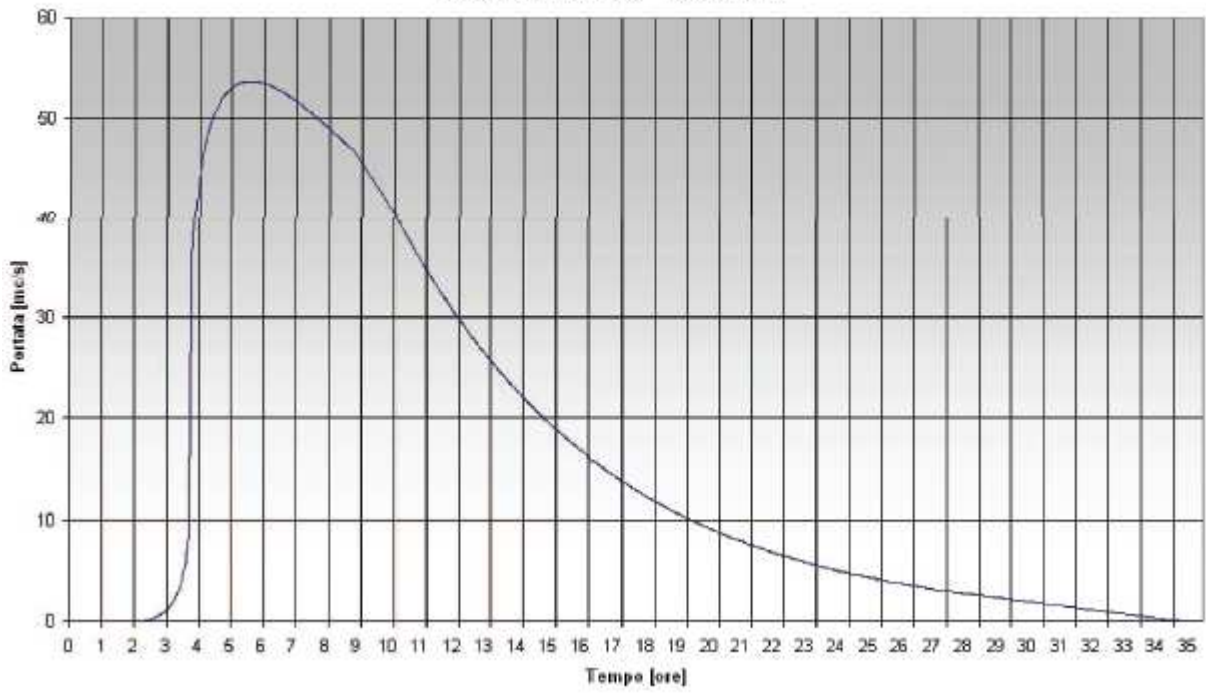
Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - Idrogramma di piena Tr = 200 anni -
 Sezione di chiusura "Brembiolo 1"



Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - Idrogramma di piena Tr = 200 anni -
 Sezione di chiusura "Brembiolo 2"



Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - Idrogramma di piena $T_r = 200$ anni -
 Sezione di chiusura "Brembiolo 3"



5 CONFRONTO PIOGGE CON METODO ARPA LOMBARDIA

Le curve di possibilità climatica riportate nel paragrafo 3.1 sono state approvate dalle Autorità competenti in sede di Conferenza dei Servizi. Ad esse pertanto si deve fare riferimento nell'elaborazione del progetto esecutivo.

Di seguito sono comunque riportati i valori di pioggia di durata 1 – 24 ore, desunti dal sito di ARPA Lombardia ed il grafico con le relative curve .

Agente Regionale per la Protezione dell'Ambiente

Calcolo della linea segnatrice 1-24 ore

Località: *Iodi*
Coordinate:

Linea segnatrice
Tempo di ritorno (anni)

Evento pluviometrico
Durata dell'evento [ore]
Precipitazione cumulata [mm]

Parametri ricavati da: <http://idro.arpalombardia.it>
A1 - Coefficiente pluviometrico orario 22
N - Coefficiente di scala 0,31650001
GEV - parametro alpha 0,365
GEV - parametro kappa -0,11
GEV - parametro epsilon 0,745

Formulazione analitica

$$h_T(D) = a_1 w_T D^n$$

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\}$$

Bibliografia ARPA Lombardia:
<http://idro.arpalombardia.it/manual/lspo.pdf>
http://idro.arpalombardia.it/manual/STRADA_report.pdf

Tabella delle precipitazioni previste al variare delle durate e dei tempi di ritorno

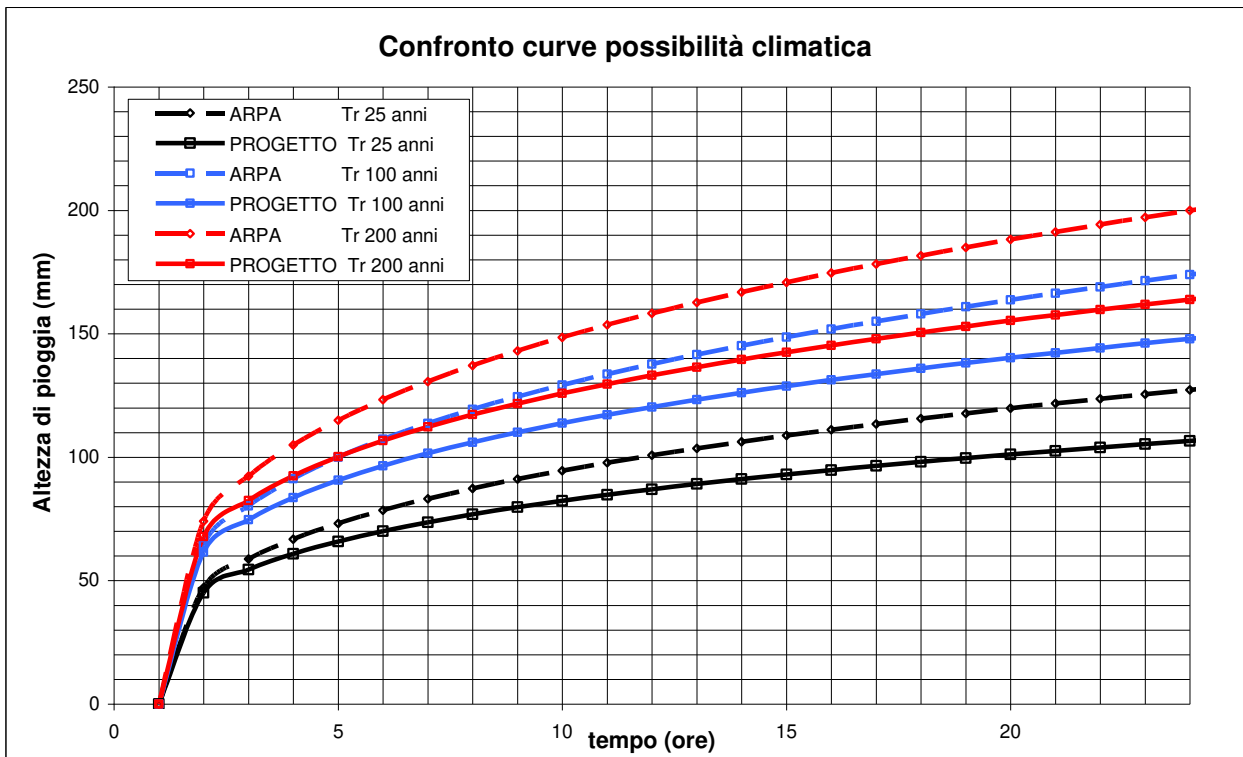
Tr	2	5	10	20	50	100	200	25
wT	0,88151	1,34023	1,67698	2,02720	2,52371	2,93059	3,36829	2,14420854

Durata (ore)	TR 2 anni	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni	TR 200 anni	TR 25 anni
1	19,4	29,5	36,9	44,6	55,5	64,5	74,1	47,1725879
2	24,2	36,7	45,9	55,5	69,1	80,3	92,3	58,7442954
3	27,5	41,7	52,2	63,1	78,6	91,3	104,9	66,7880224
4	30,1	45,7	57,2	69,2	86,1	100,0	114,9	73,1546094
5	32,3	49,1	61,4	74,2	92,4	107,3	123,3	78,5079642
6	34,2	52,0	65,0	78,6	97,9	113,7	130,7	83,171509
7	35,9	54,6	68,3	82,6	102,8	119,4	137,2	87,3299558
8	37,5	56,9	71,2	86,1	107,2	124,5	143,1	91,0998564
9	38,9	59,1	74,0	89,4	111,3	129,2	148,5	94,5600006
10	40,2	61,1	76,5	92,4	115,1	133,6	153,6	97,7664199
11	41,4	63,0	78,8	95,3	118,6	137,7	158,3	100,760543
12	42,6	64,7	81,0	97,9	121,9	141,6	162,7	103,573959
13	43,7	66,4	83,1	100,4	125,0	145,2	166,9	106,231371
14	44,7	68,0	85,1	102,8	128,0	148,6	170,8	108,752497
15	45,7	69,5	86,9	105,1	130,8	151,9	174,6	111,153361
16	46,6	70,9	88,7	107,3	133,5	155,1	178,2	113,447176
17	47,5	72,3	90,4	109,3	136,1	158,1	181,7	115,644983
18	48,4	73,6	92,1	111,3	138,6	160,9	185,0	117,756113
19	49,2	74,9	93,7	113,3	141,0	163,7	188,2	119,788528
20	50,1	76,1	95,2	115,1	143,3	166,4	191,3	121,749086
21	50,8	77,3	96,7	116,9	145,5	169,0	194,2	123,643737
22	51,6	78,4	98,1	118,6	147,7	171,5	197,1	125,477684
23	52,3	79,5	99,5	120,3	149,8	173,9	199,9	127,255504
24	53,0	80,6	100,9	121,9	151,8	176,3	202,6	128,981248

Linee segnatrici di probabilità pluviometrica

Di seguito si evidenzia il confronto tra i valori di pioggia di ARPA Lombardia e quelli assunti nel progetto esecutivo, in tabella e grafico, per tempi di ritorno di 25, 100 e 200 anni.

ORA	ARPA	PROGETTO	ARPA	PROGETTO	ARPA	PROGETTO
	Tr 25 anni	Tr 25 anni	Tr 100 anni	Tr 100 anni	Tr 200 anni	Tr 200 anni
1	47,17	45,00	64,47	61,50	74,10	67,80
2	58,74	54,45	80,29	74,67	92,28	82,41
3	66,79	60,87	91,28	83,65	104,92	92,37
4	73,15	65,88	99,98	90,67	114,92	100,16
5	78,51	70,05	107,30	96,51	123,33	106,66
6	83,17	73,66	113,67	101,57	130,65	112,27
7	87,33	76,84	119,36	106,05	137,18	117,25
8	91,10	79,72	124,51	110,09	143,11	121,74
9	94,56	82,34	129,24	113,78	148,54	125,85
10	97,77	84,76	133,62	117,19	153,58	129,64
11	100,76	87,02	137,71	120,36	158,28	133,16
12	103,57	89,12	141,56	123,32	162,70	136,46
13	106,23	91,11	145,19	126,12	166,88	139,57
14	108,75	92,98	148,64	128,76	170,84	142,52
15	111,15	94,76	151,92	131,27	174,61	145,31
16	113,45	96,46	155,05	133,67	178,21	147,98
17	115,64	98,08	158,06	135,96	181,66	150,52
18	117,76	99,64	160,94	138,15	184,98	152,96
19	119,79	101,13	163,72	140,26	188,17	155,31
20	121,75	102,56	166,40	142,29	191,25	157,57
21	123,64	103,95	168,99	144,24	194,23	159,75
22	125,48	105,29	171,50	146,13	197,11	161,85
23	127,26	106,58	173,93	147,96	199,90	163,89
24	128,98	107,84	176,28	149,74	202,61	165,87



Dal confronto si evince che, per Tempi di ritorno 200 anni, i valori indicati da ARPA sono superiori rispettivamente del 9% per piogge di durata 1 ora, del 18% per t=9 ore e del 22% per t=24 ore.

Peraltro si deve considerare, come meglio esplicitato negli elaborati del progetto esecutivo, che:

- I valori esposti in progetto, come già detto, sono stati approvati dagli Enti preposti sul territorio, in sede di Conferenza dei Servizi;
- Il progetto prevede la verifica idraulica del Brembiolo con portate con tempo di ritorno 200anni (rispetto al $T_r=100$ anni approvato in sede di Conferenza dei Servizi);
- rispetto al tempo di corrivazione di circa 9 ore, l'altezza di pioggia adottata in progetto ($T_r=200$ anni) è di $h=126\text{mm}$, contro la pioggia ARPA ($T_r=100$ anni) di $h=114\text{mm}$ e quindi maggiorate di oltre il 10%;
- Il progetto prevede l'ampliamento della luce dei ponti sul Brembiolo, da 33m a 40m;
- In progetto sono stati assunti franchi di sicurezza adeguati rispetto alla quota di intradosso degli attraversamenti;

Tutto ciò premesso, si ritiene che la potenziale maggiorazione di circa l'11% del valore dell'altezza di pioggia centennale, delle valutazioni ARPA rispetto ai valori riportati in progetto esecutivo, sia compensata dall'aver assunto in progetto piogge con tempo di ritorno duecentennale rispetto a quelle centennali calcolate da ARPA, con maggiorazione di circa il 10%.

5.1 PORTATE DI PIENA – PIOGGE ARPA LOMBARDIA

A favore della sicurezza, in questa sede si è comunque proceduto al calcolo delle portate di piena con $T_r=200$ anni, considerate le piogge definite da ARPA Lombardia.

Sotto il profilo teorico, le portate di piena sono direttamente proporzionali all'intensità di pioggia: a parità di tempo di corrivazione, coincidente con il tempo di pioggia, è sufficiente moltiplicare il valore della portata di piena per il rapporto delle intensità di pioggia calcolate con i due metodi di cui sopra.

Sezione	Tc (ore)	Progetto definitivo			Valutazioni ARPA			Rapporto $i_{Arpa} / i_{P.D.}$	Q _{Arpa} (mc/s)
		Q _{p.def.} (mc/s)	h pioggia (mm)	i pioggia (mm/ora)	h pioggia (mm)	i pioggia (mm/ora)			
B1	8,27	25,5	123,0	14,86	145	17,53	18%	30,09	
B4	8,27	25,5	123,0	14,86	145	17,53	18%	30,09	
B2	8,71	32,5	124,7	14,32	144	16,43	15%	37,4	
B3	9,53	53,5	127,9	13,42	143	15,02	12%	59,9	

Nella relazione idraulica relativa alla verifica del deflusso del Colatore Brembiolo (FA01) sono riportati i risultati – positivi – della verifica idraulica.

6 APPENDICE
6.1 PLUVIOMETRIA DI LODI
6.1.1 MASSIMI ANNUALI DI PIOGGIA LODI

anni	30	1	2	3	6	12	24
1976	20.00	26.67	26.67	28.00	45.84	53.50	53.50
1977	5.25	10.50	21.00	24.00	32.00	33.00	38.00
1978	33.00	33.00	33.00	33.00	35.00	35.00	35.00
1979	3.93	7.86	15.72	23.58	45.36	90.72	102.00
1980	6.50	13.00	26.00	26.00	32.28	35.16	66.00
1981	10.50	21.00	31.50	31.50	38.00	38.00	38.16
1982	12.17	24.33	36.50	36.50	36.50	36.50	38.00
1983	4.75	9.50	19.00	19.00	36.00	53.16	62.00
1984	6.65	13.33	20.00	23.00	24.50	29.50	38.00
1985	12.50	25.00	25.00	25.00	25.00	28.20	31.20
1986	16.00	16.00	28.00	28.00	28.00	28.00	30.00
1987	23.00	30.00	30.00	30.00	30.00	33.12	47.00
1988	23.00	23	26.72	40.08	80.16	80.16	80.16
1989	23.50	23.5	94	94	94	94	94
1990	19.00	27.78	55.56	83.34	125	125	125
1991	4.84	9.67	19.34	29	40.5	43	43
1992	22.00	41	41	55	55	56	56
1993	9.50	19	25	26	26	127	127
1994	15.00	30	45	45	45	49	49
1995	7.16	14.32	28.64	36	36	44	44
1996	10.00	20	20	28.5	65	65	65
1997	5.95	11.9	24	24	43	43.08	52
1998	11.00	22	31	31	31	31	31
1999	15.34	30.67	46	57	57	57	57
2000	20.00	34	34	35	35	36	36
2001	3.35	6.7	13.4	20.1	33.5	33.5	34
2002	25.00	25	32	35.5	35.5	51	73.4
2003	10.00	20	23.2	29	43	43	46
2004	11.48	4.96	9.92	14.88	29.76	59.52	69.4
2005	10.50	21	21	21	36	72	72

6.1.2 DISTRIBUZIONE DI PROBABILITÀ DI GUMBEL E LOGNORMALE

Dove h e' l'altezza di pioggia e P la probabilità di non superamento

DISTRIBUZIONE DI GUMBEL

30		1		2		3		6		12		24	
h	P	h	P	h	P	h	P	h	P	h	P	h	P
3.35	0.0474	4.96	0.0063	9.92	0.0827	14.88	0.0967	24.50	0.1729	28.00	0.1459	30.00	0.1124
3.93	0.0630	6.7	0.0191	13.4	0.1537	19.00	0.1775	25.00	0.1819	28.20	0.1487	31	0.1247
4.75	0.0901	7.86	0.0348	15.72	0.2127	20.1	0.2028	26	0.2004	29.50	0.1670	31.20	0.1273
4.84	0.0932	9.50	0.0698	19.00	0.3065	21	0.2245	28.00	0.2394	31	0.1893	34	0.1658
5.25	0.1095	9.67	0.0744	19.34	0.3167	23.00	0.2750	29.76	0.2753	33.00	0.2208	35.00	0.1806
5.95	0.1401	10.50	0.0992	20.00	0.3365	23.58	0.2902	30.00	0.2803	33.12	0.2227	36	0.1960
6.50	0.1668	11.9	0.1503	20	0.3365	24.00	0.3012	31	0.3014	33.5	0.2289	38.00	0.2282
6.65	0.1745	13.00	0.1976	21.00	0.3667	24	0.3012	32.00	0.3227	35.00	0.2538	38.00	0.2282
7.16	0.2015	13.33	0.2128	21	0.3667	25.00	0.3278	32.28	0.3286	35.16	0.2565	38.00	0.2282
9.50	0.3401	14.32	0.2605	23.2	0.4328	26.00	0.3546	33.5	0.3549	36	0.2708	38.16	0.2309
10.00	0.3712	16.00	0.3464	24	0.4564	26	0.3546	35.00	0.3872	36.50	0.2794	43	0.3146
10.00	0.3712	19	0.4999	25.00	0.4856	28.00	0.4082	35	0.3872	38.00	0.3055	44	0.3324
10.50	0.4022	20	0.5479	25	0.4856	40.00	0.6887	35.5	0.3979	43	0.3943	46	0.3684
10.50	0.4022	20	0.5479	26.00	0.5140	28.5	0.4216	36.00	0.4086	43	0.3943	47.00	0.3864
11.00	0.4331	21.00	0.5932	40.00	0.8099	29	0.4348	36	0.4086	43.08	0.3957	49	0.4223
11.48	0.4622	21	0.5932	26.72	0.5340	29	0.4348	36	0.4086	44	0.4120	52	0.4750
12.17	0.5029	22	0.6355	28.00	0.5685	30.00	0.4611	36.50	0.4193	49	0.4986	53.50	0.5008
12.50	0.5223	23	0.6748	28.64	0.5852	31	0.4869	38.00	0.4511	51	0.5317	56	0.5423
15.00	0.6534	23.5	0.6931	30.00	0.6193	31.50	0.4997	40.5	0.5028	53.16	0.5661	57	0.5584
15.34	0.6689	24.33	0.7219	31	0.6431	33.00	0.5370	43	0.5521	53.50	0.5714	62.00	0.6337
16.00	0.6981	25.00	0.7435	31.50	0.6546	35	0.5843	43	0.5521	56	0.6090	65	0.6745
19.00	0.8054	25	0.7435	32	0.6659	35.5	0.5957	45	0.5896	57	0.6235	66.00	0.6873
20.00	0.8330	26.67	0.7914	33.00	0.6876	36	0.6069	45.36	0.5961	59.52	0.6583	69.4	0.7280
20.00	0.8330	27.78	0.8188	34	0.7082	36.50	0.6178	45.84	0.6047	65	0.7257	72	0.7561
22.00	0.8778	30.00	0.8642	36.50	0.7550	40.08	0.6902	55	0.7452	72	0.7958	73.4	0.7703
23.00	0.8958	30	0.8642	41	0.8235	45	0.7720	57	0.7698	80.16	0.8574	80.16	0.8291
23.00	0.8958	30.67	0.8757	45	0.8695	55	0.8828	65	0.8489	90.72	0.9119	94	0.9092
23.50	0.9038	33.00	0.9090	46	0.8791	57	0.8979	80.16	0.9348	94	0.9243	102.00	0.9377
25.00	0.9245	34	0.9205	55.56	0.9429	83.34	0.9844	94	0.9705	125	0.9826	125	0.9794
33.00	0.9799	41	0.9697	94	0.9975	94	0.9928	125	0.9951	127	0.9842	127	0.9813
MEDIA	13.36	20.49		30.52		34.80		43.96		53.44		57.76	
SCARTO	7.589335	9.058647		15.71511		17.55051		21.90821		26.4889		26.19923	
ALFA	0.169053	0.141633		0.081641		0.073103		0.058563		0.048435		0.048971	
NU	9.946632	16.41328		23.44487		26.9016		34.10464		41.51733		45.97102	

DISTRIBUZIONE LOGNORMALE

30		1		2		3		6		12		24	
H	P	h	P	h	P	h	P	h	P	h	P	h	P
3.35	0.00	4.96	0.00	9.92	0.00	14.88	0.01	24.50	0.06	28.00	0.04	30.00	0.03
3.93	0.00	6.7	0.00	13.4	0.02	19.00	0.07	25.00	0.07	28.20	0.05	31	0.03
4.75	0.00	7.86	0.00	15.72	0.05	20.1	0.09	26	0.09	29.50	0.06	31.20	0.04
4.84	0.01	9.50	0.01	19.00	0.13	21	0.11	28.00	0.13	31	0.08	34	0.06
5.25	0.01	9.67	0.01	19.34	0.14	23.00	0.16	29.76	0.16	33.00	0.11	35.00	0.08
5.95	0.03	10.50	0.02	20.00	0.16	23.58	0.18	30.00	0.17	33.12	0.11	36	0.09
6.50	0.05	11.9	0.05	20	0.16	24.00	0.19	31	0.19	33.5	0.12	38.00	0.12
6.65	0.06	13.00	0.09	21.00	0.20	24	0.19	32.00	0.21	35.00	0.14	38.00	0.12
7.16	0.08	13.33	0.11	21	0.20	25.00	0.22	32.28	0.22	35.16	0.14	38.00	0.12
9.50	0.23	14.32	0.15	23.2	0.26	26.00	0.25	33.5	0.24	36	0.16	38.16	0.12
10.00	0.26	16.00	0.23	24	0.29	26	0.25	35.00	0.28	36.50	0.17	43	0.20
10.00	0.26	19	0.38	25.00	0.32	28.00	0.30	35	0.28	38.00	0.19	44	0.22
10.50	0.30	20	0.42	25	0.32	28.00	0.30	35.5	0.29	43	0.28	46	0.26
10.50	0.30	20	0.42	26.00	0.35	28.5	0.31	36.00	0.30	43	0.28	47.00	0.27
11.00	0.33	21.00	0.47	26.67	0.37	29	0.33	36	0.30	43.08	0.29	49	0.31
11.48	0.36	21	0.47	26.72	0.37	29	0.33	36	0.30	44	0.30	52	0.36
12.17	0.40	22	0.50	28.00	0.40	30.00	0.35	36.50	0.31	49	0.39	53.50	0.38
12.50	0.42	23	0.54	28.64	0.42	31	0.38	38.00	0.34	51	0.42	56	0.42
15.00	0.54	23.5	0.56	30.00	0.46	31.50	0.39	40.5	0.39	53.16	0.45	57	0.44
15.34	0.55	24.33	0.58	31	0.48	33.00	0.42	43	0.44	53.50	0.45	62.00	0.50
16.00	0.58	25.00	0.60	31.50	0.49	35	0.47	43	0.44	56	0.49	65	0.54
19.00	0.67	25	0.60	32	0.50	35.5	0.48	45	0.47	57	0.50	66.00	0.55
20.00	0.70	26.67	0.65	33.00	0.52	36	0.49	45.36	0.48	59.52	0.53	69.4	0.59
20.00	0.70	27.78	0.67	34	0.54	36.50	0.50	45.84	0.49	65	0.59	72	0.62
22.00	0.74	30.00	0.72	36.50	0.59	40.08	0.56	55	0.61	72	0.66	73.4	0.63
23.00	0.76	30	0.72	41	0.66	45	0.64	57	0.63	80.16	0.72	80.16	0.69
23.00	0.76	30.67	0.73	45	0.71	55	0.74	65	0.71	90.72	0.77	94	0.77
23.50	0.77	33.00	0.77	46	0.72	57	0.76	80.16	0.80	94	0.79	102.00	0.81
25.00	0.79	34	0.78	55.56	0.80	83.34	0.88	94	0.85	125	0.88	125	0.87
33.00	0.87	41	0.85	94	0.93	94	0.91	125	0.92	127	0.88	127	0.88
MEDIA	13.36	20.49		30.07		34.40		43.96		53.44		57.76	
SCARTO	7.589335	9.058647		15.625922		17.56464		21.90821		26.4889		26.19923	
varianza y	0.279606	0.178531		0.2390136		0.231685		0.221808		0.219713		0.187091	
media y	2.4526	2.930655		3.2840988		3.422195		3.672452		3.868653		3.962763	

6.1.3 TEST DI ADATTABILITÀ DI PEARSON

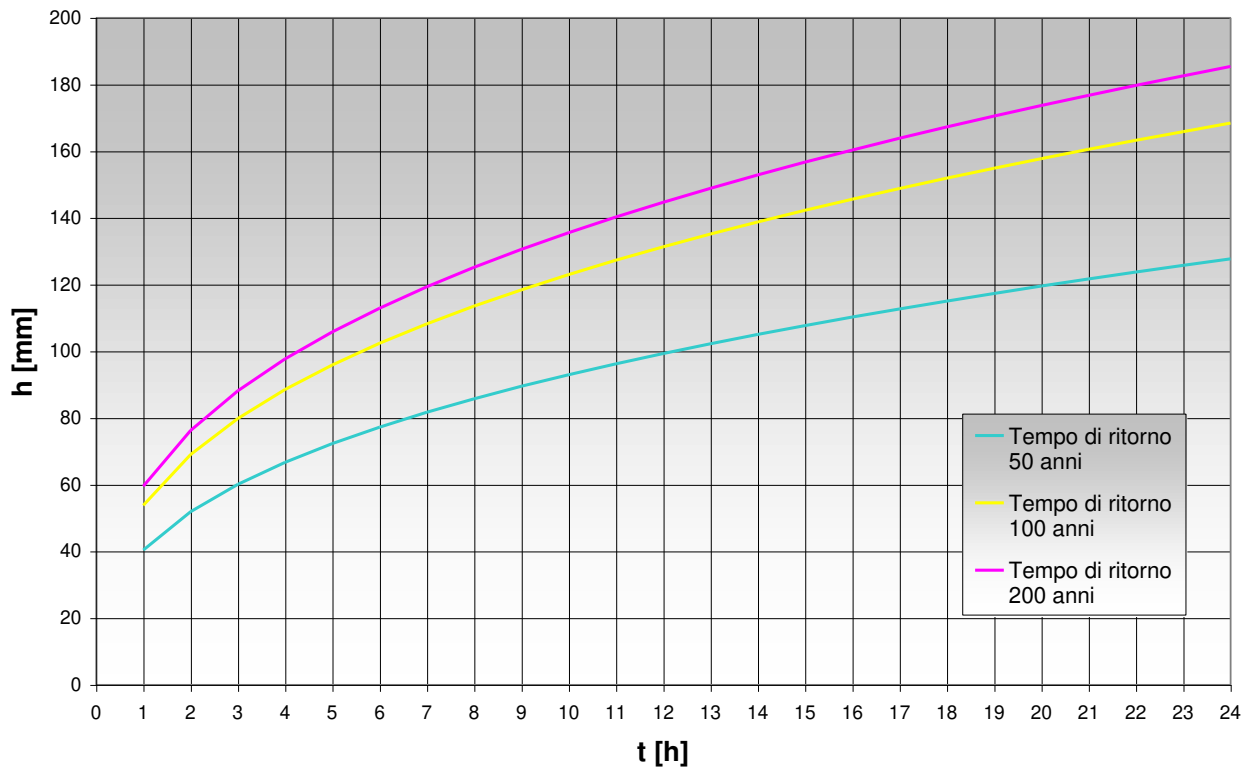
Test di Pearson o del "chi quadro"									
gumbel									
1h	2h	3h	6h	12h	24h	1h	2h	3h	6h
8	1.02857143	6	0.028571429	3	1.20714286	3	1.20714286	3	1.20714286
2	2.31428571	4	0.457142857	7	0.35	9	2.064285714	8	1.02857143
3	1.20714286	7	0.35	9	2.06428571	6	0.028571429	7	0.35
8	1.02857143	6	0.028571429	5	0.064285714	5	0.064285714	5	0.064285714
7	0.35	5	0.064285714	4	0.45714286	5	0.064285714	5	0.064285714
chi^2	5.92857143		0.928571429		4.14285714		3.428571429		2.71428571

lognormale									
1h	2h	3h	6h	12h	24h	1h	2h	3h	6h
9	2.06428571	8	1.028571429	8	1.02857143	8	1.028571429	11	5.20714286
2	2.31428571	7	0.35	10	3.45714286	9	2.064285714	5	0.064285714
8	1.02857143	7	0.35	5	0.06428571	6	0.028571429	6	0.02857143
8	1.02857143	3	1.207142857	3	1.20714286	3	1.207142857	3	1.20714286
1	3.77857143	3	1.207142857	2	2.31428571	2	2.314285714	3	1.20714286
chi^2	10.2142857		4.142857143		8.07142857		6.642857143		7.71428571

6.1.4 CURVA DI POSSIBILITÀ CLIMATICA (DISTRIBUZIONE DI GUMBEL)

Curva di possibilità climatica - Pluviometro di Lodi		
tempo di ritorno T_r	a	n
200	59,51	0,3575
100	53,81	0,3590
50	40,35	0,3625

curve di possibilità climatica
per le stazioni pluviometriche di Lodi



6.2 PLUVIOMETRIA DI CODOGNO

6.2.1 MASSIMI ANNUALI DI PIOGGIA CODOGNO

MASSIMI ANNUALI DI PRECIPITAZIONE 1976-2005

anni	1	3	6	12	24
1951	25.60	36.20	44.80	53.00	75.40
1952	10.00	19.40	31.00	39.60	60.40
1953	43.60	60.00	83.00	104.00	117.00
1954	60.00	60.20	70.80	82.60	86.40
1955	45.60	46.60	46.80	47.00	47.00
1956	25.80	29.80	29.80	41.40	49.20
1957	31.00	68.00	96.00	116.60	133.80
1958	12.20	22.00	37.80	45.00	56.80
1959	30.40	35.40	50.80	69.00	75.20
1960	21.80	38.00	52.00	64.40	65.40
1961	23.80	32.20	44.00	46.20	51.80
1962	17.00	17.40	26.00	39.80	49.40
1963	35	42.2	42.6	43	44.4
1964	24.6	25.2	36.2	38.4	49.2
1966	31.8	31.8	31.8	39.6	58.4
1969	24.2	48.2	48.8	48.8	48.8
1970	20	28	33	53.6	86.6
1971	17	21.4	27.6	28.8	62.4
1972	26	29.6	31.2	44.4	52.2
1973	30	35	37.4	38.6	48.8
1974	24.8	48	53.4	53.6	53.6
1975	66.8	68	68.8	68.8	68.8
1976	33.2	40.4	42.2	44.2	53
1977	28.6	40.4	44.6	48.6	50.4
1985	18.1	27.8	29.7	32.1	40.8

6.2.2 DISTRIBUZIONE DI PROBABILITÀ DI GUMBEL E LOGNORMALE

Dove h e' l'altezza di pioggia e P la probabilità di non superamento

DISTRIBUZIONE DI GUMBEL									
1		3		6		12		24	
h	P	h	P	h	P	h	P	h	P
10.00	0.0292	17.40	0.0293	26.00	0.0968	28.8	0.0838	40.8	0.1295
12.20	0.0574	19.40	0.0521	27.6	0.1251	32.1	0.1315	44.4	0.1894
17.00	0.1655	21.4	0.1866	29.7	0.1679	38.4	0.2507	47.00	0.2383
17	0.1655	22.00	0.2047	29.80	0.1701	38.6	0.2550	48.8	0.2742
18.1	0.1983	25.2	0.3099	31.00	0.1973	39.60	0.2763	48.8	0.2742
20	0.2600	27.8	0.4002	31.2	0.2019	39.6	0.2763	49.20	0.2823
21.80	0.3223	28	0.4071	31.8	0.2162	39.80	0.2807	49.2	0.2823
23.80	0.3931	29.6	0.4620	33	0.2457	41.40	0.3157	49.40	0.2864
24.2	0.4072	29.80	0.4687	36.2	0.3288	43	0.3513	50.4	0.3070
24.6	0.4213	31.8	0.5342	37.4	0.3609	44.2	0.3781	51.80	0.3362
24.8	0.4283	32.20	0.5468	37.80	0.3716	44.4	0.3826	52.2	0.3446
25.60	0.4561	35	0.6293	42.2	0.4872	45.00	0.3960	53	0.3614
25.80	0.4630	35.40	0.6402	42.6	0.4974	46.20	0.4226	53.6	0.3740
26	0.4699	36.20	0.6614	44.00	0.5322	47.00	0.4403	56.80	0.4409
28.6	0.5556	38.00	0.7057	44.6	0.5467	48.6	0.4750	58.4	0.4736
30	0.5984	40.4	0.7575	44.80	0.5515	48.8	0.4793	60.40	0.5134
30.40	0.6101	40.4	0.7575	46.80	0.5977	53.00	0.5657	62.4	0.5517
31.00	0.6273	42.2	0.7912	48.8	0.6408	53.6	0.5773	65.40	0.6059
31.8	0.6494	46.60	0.8569	50.80	0.6806	53.6	0.5773	68.8	0.6620
33.2	0.6858	48	0.8735	52.00	0.7028	64.40	0.7520	75.20	0.7512
35	0.7283	48.2	0.8757	53.4	0.7272	68.8	0.8040	75.40	0.7536
43.60	0.8708	60.00	0.9575	68.8	0.9013	69.00	0.8061	86.40	0.8600
45.60	0.8922	60.20	0.9583	70.80	0.9140	82.60	0.9100	86.6	0.8615
60.00	0.9720	68.00	0.9799	83.00	0.9637	104.00	0.9746	117.00	0.9741
66.8	0.9853	68	0.9799	96.00	0.9857	116.60	0.9881	133.80	0.9900
MEDIA	29.08	38.05		45.60		53.24		63.41	
SCARTO	13.3038	14.4086		17.6473		21.1172		22.4452	
ALFA	0.096439	0.08904		0.0727		0.06076		0.05716	
NU	23.08929	31.5641		37.6627		43.7413		53.3077	

DISTRIBUZIONE LOGNORMALE									
1		3		6		12		24	
h	P	h	P	h	P	h	P	h	P
10.00	0.0001	17.40	0.0009	26.00	0.0239	28.8	0.0162	40.8	0.0479
12.20	0.0028	19.40	0.0053	27.6	0.0415	32.1	0.0449	44.4	0.0929
17.00	0.0637	21.4	0.0181	29.7	0.0732	38.4	0.1433	47.00	0.1336
17	0.0637	22.00	0.0243	29.80	0.0749	38.6	0.1472	48.8	0.1645
18.1	0.0921	25.2	0.0768	31.00	0.0971	39.60	0.1666	48.8	0.1645
20	0.1500	27.8	0.1405	31.2	0.1011	39.6	0.1666	49.20	0.1717
21.80	0.2108	28	0.1460	31.8	0.1133	39.80	0.1705	49.2	0.1717
23.80	0.2800	29.6	0.1914	33	0.1391	41.40	0.2028	49.40	0.1752
24.2	0.2937	29.80	0.1973	36.2	0.2145	43	0.2358	50.4	0.1934
24.6	0.3073	31.8	0.2568	37.4	0.2440	44.2	0.2607	51.80	0.2194
24.8	0.3141	32.20	0.2688	37.80	0.2538	44.4	0.2648	52.2	0.2269
25.60	0.3407	35	0.3513	42.2	0.3602	45.00	0.2773	53	0.2419
25.80	0.3472	35.40	0.3627	42.6	0.3695	46.20	0.3020	53.6	0.2532
26	0.3537	36.20	0.3852	44.00	0.4013	47.00	0.3183	56.80	0.3135
28.6	0.4338	38.00	0.4336	44.6	0.4145	48.6	0.3504	58.4	0.3430
30	0.4731	40.4	0.4932	44.80	0.4189	48.8	0.3543	60.40	0.3790
30.40	0.4838	40.4	0.4932	46.80	0.4611	53.00	0.4334	62.4	0.4138
31.00	0.4995	42.2	0.5339	48.8	0.5006	53.6	0.4441	65.40	0.4632
31.8	0.5195	46.60	0.6196	50.80	0.5371	53.6	0.4441	68.8	0.5147
33.2	0.5526	48	0.6431	52.00	0.5578	64.40	0.6052	75.20	0.5989
35	0.5912	48.2	0.6463	53.4	0.5806	68.8	0.6554	75.40	0.6013
43.60	0.7280	60.00	0.7867	68.8	0.7589	69.00	0.6575	86.40	0.7102
45.60	0.7509	60.20	0.7884	70.80	0.7745	82.60	0.7696	86.6	0.7118
60.00	0.8584	68.00	0.8433	83.00	0.8462	104.00	0.8665	117.00	0.8680
66.8	0.8875	68	0.8433	96.00	0.8931	116.60	0.8992	133.80	0.9086
MEDIA	29.08	38.05		45.60		53.24		63.41	
SCARTO	13.3	14.409		17.647		21.117		22.445	
varianza y	0.19	0.134		0.1395		0.1461		0.1181	
media y	3.275	3.5718		3.7502		3.9018		4.0906	

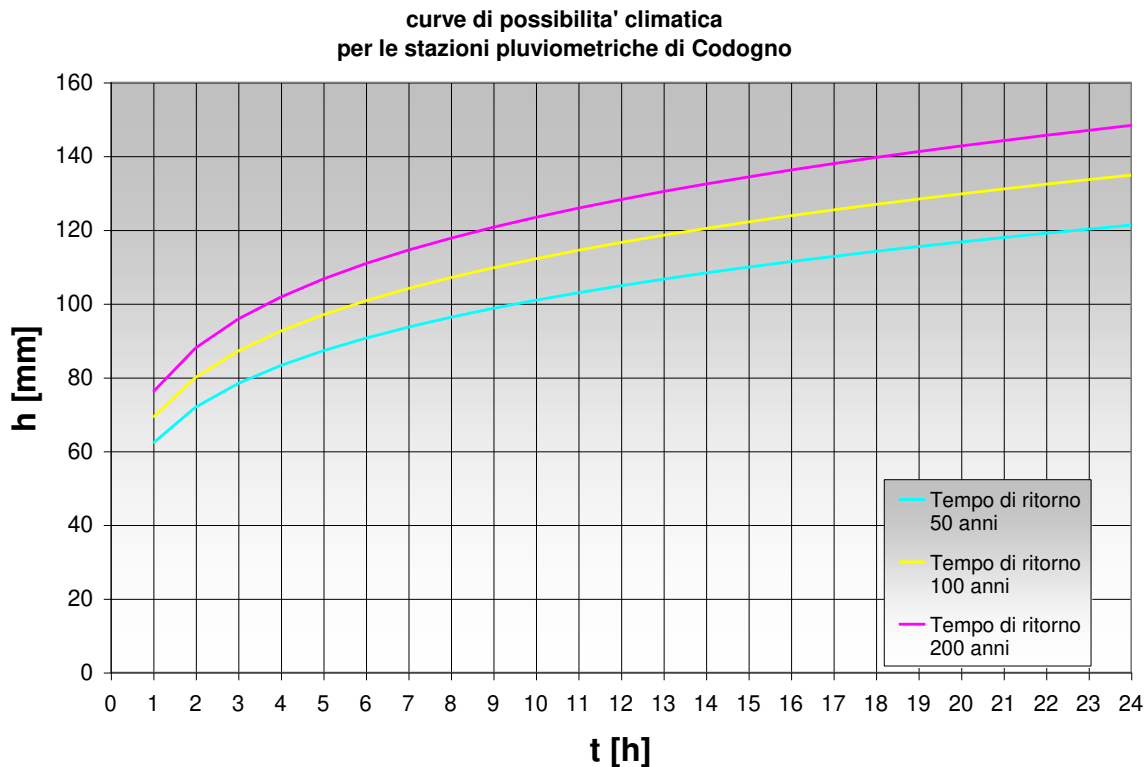
6.2.3 TEST DI ADATTABILITÀ DI PEARSON

Test di Pearson o del "chi quadro"									
gumbel									
1h		3h		6h		12h		24h	
5	0	3	0.8	5	0	2	1.8	2	1.8
3	0.8	2	1.8	6	0.2	10	5	11	7.2
8	1.8	6	0.2	6	0.2	7	0.8	4	0.2
5	0	7	0.8	4	0.2	1	3.2	4	0.2
4	0.2	7	0.8	4	0.2	5	0	4	0.2
chi^2	2.8		4.4		0.8		10.8		9.6

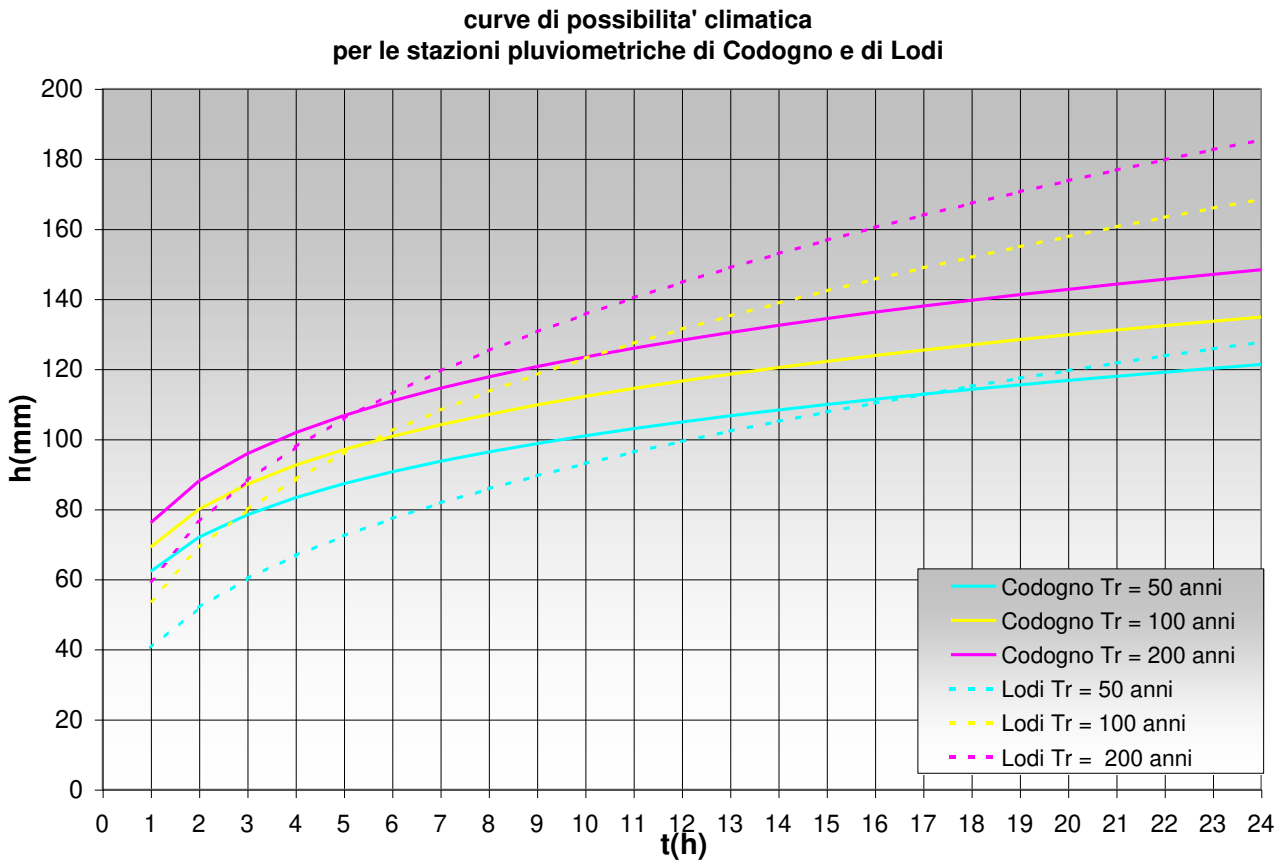
lognormale									
1h		3h		6h		12h		24h	
6	0.2	9	3.2	8	1.8	7	0.8	9	3.2
8	1.8	3	0.8	5	0	9	3.2	7	0.8
7	0.8	4	0.2	8	1.8	3	0.8	4	0.2
2	1.8	5	0	2	1.8	4	0.2	3	0.8
2	1.8	2	1.8	2	1.8	2	1.8	2	1.8
chi^2	6.4		6		7.2		6.8		6.8

6.2.4 CURVA DI POSSIBILITÀ CLIMATICA (DISTRIBUZIONE DI GUMBEL)

Curva di possibilità climatica - Pluviometro di Codogno		
tempo di ritorno T_r	a	n
200	76,09	0,2100
100	69,17	0,2100
50	62,22	0,2100



6.3 CONFRONTO CURVE LODI E CODOGNO

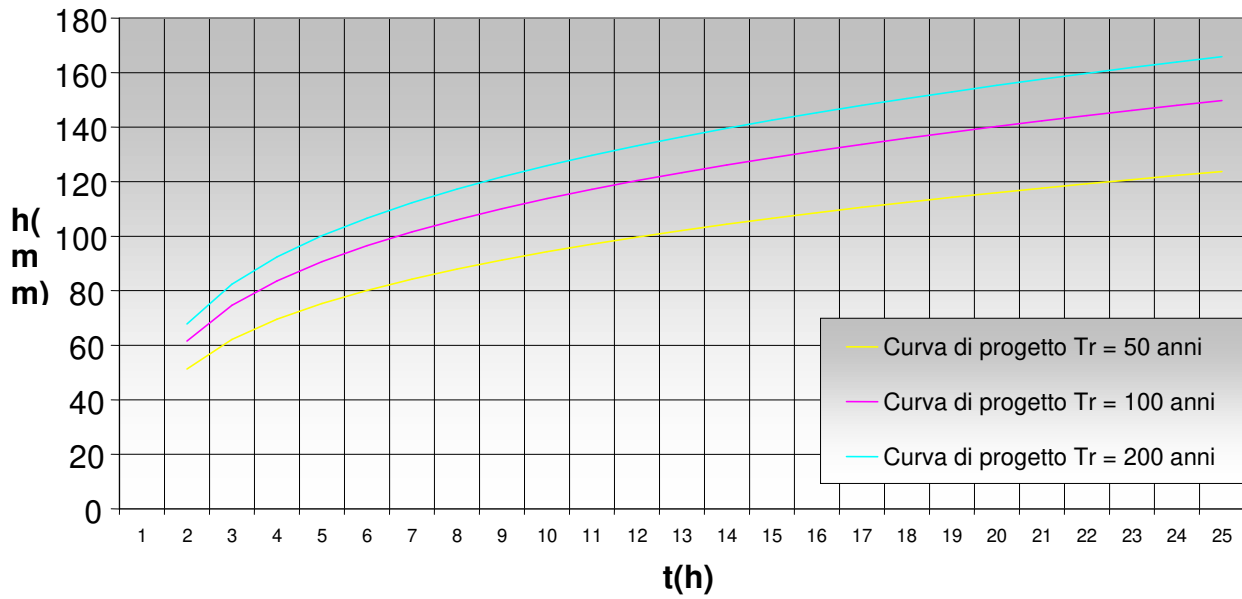


6.3.1 CURVA DI POSSIBILITÀ CLIMATICA DI PROGETTO

Facendo media delle altezze di pioggia di Lodi e Codogno e' stata determinata per interpolazione la curva di possibilità pluviometrica che descrive meglio il regime pluviometrico sul bacino interessato.

Curva di possibilità climatica - Pluviometro di Codogno		
tempo di ritorno T_r	a	n
200	67,80	0,2815
100	61,50	0,2800
50	51,29	0,2771

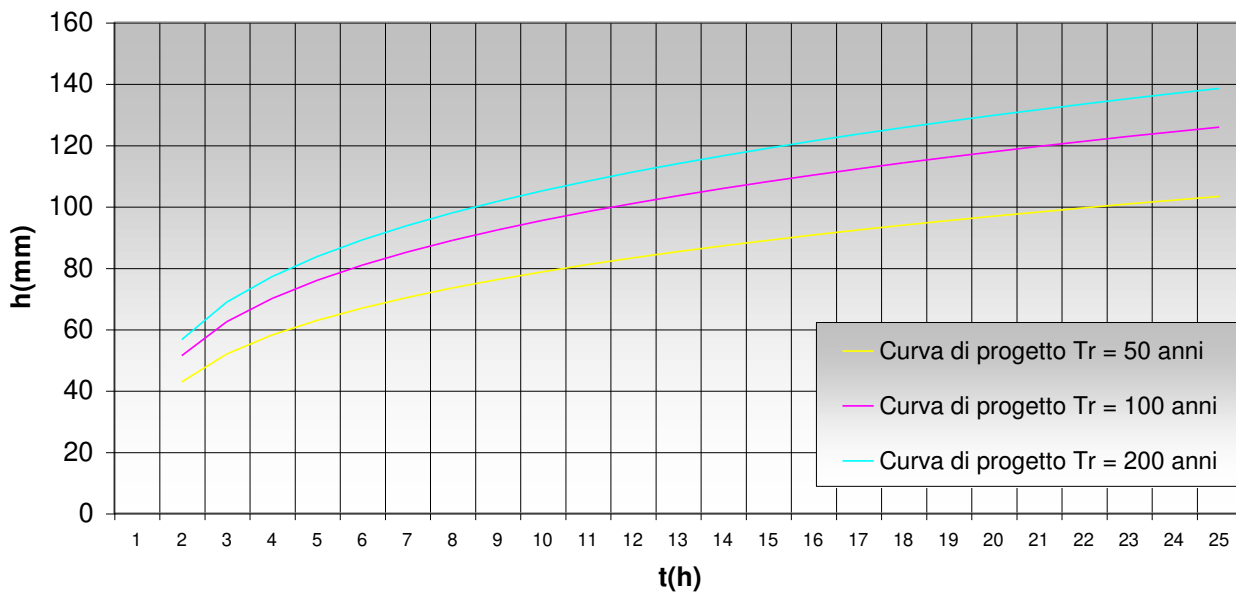
curve di possibilita' climatica di progetto



6.3.2 CURVA DI PROGETTO RAGGUAGLIATA ALL'AREA

Curva di possibilità climatica - Pluviometro di Codogno		
tempo di ritorno T_r	a	n
200	56,61	0,2815
100	51,35	0,2821
50	42,82	0,2771

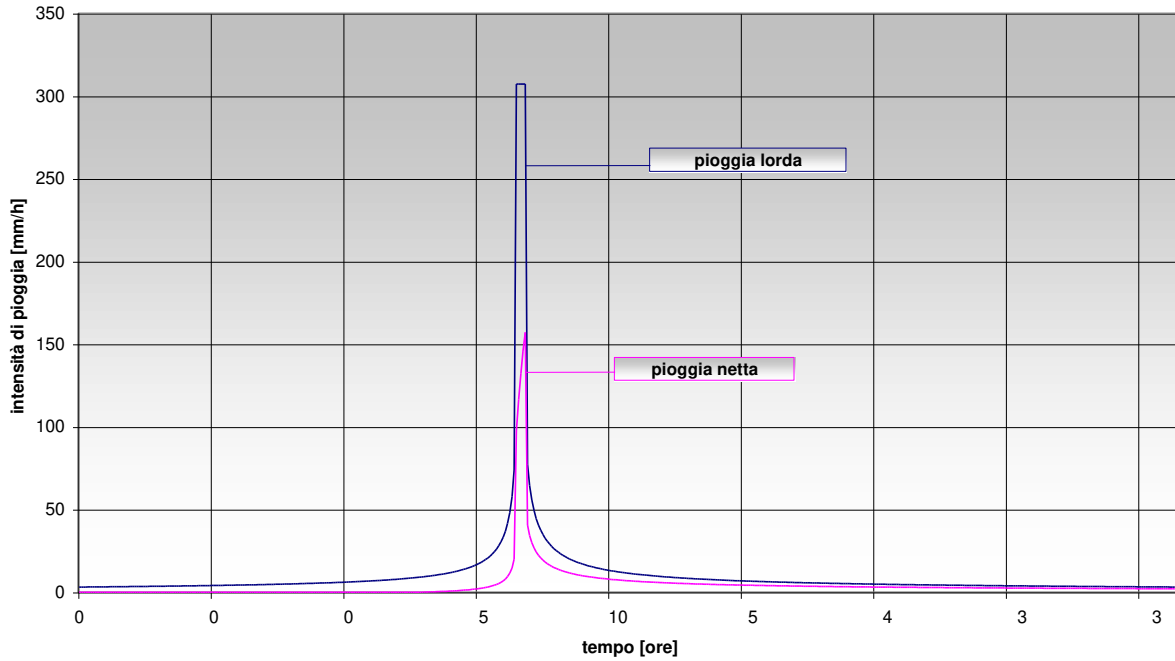
curve di possibilita' climatica di progetto raggugliata all'area



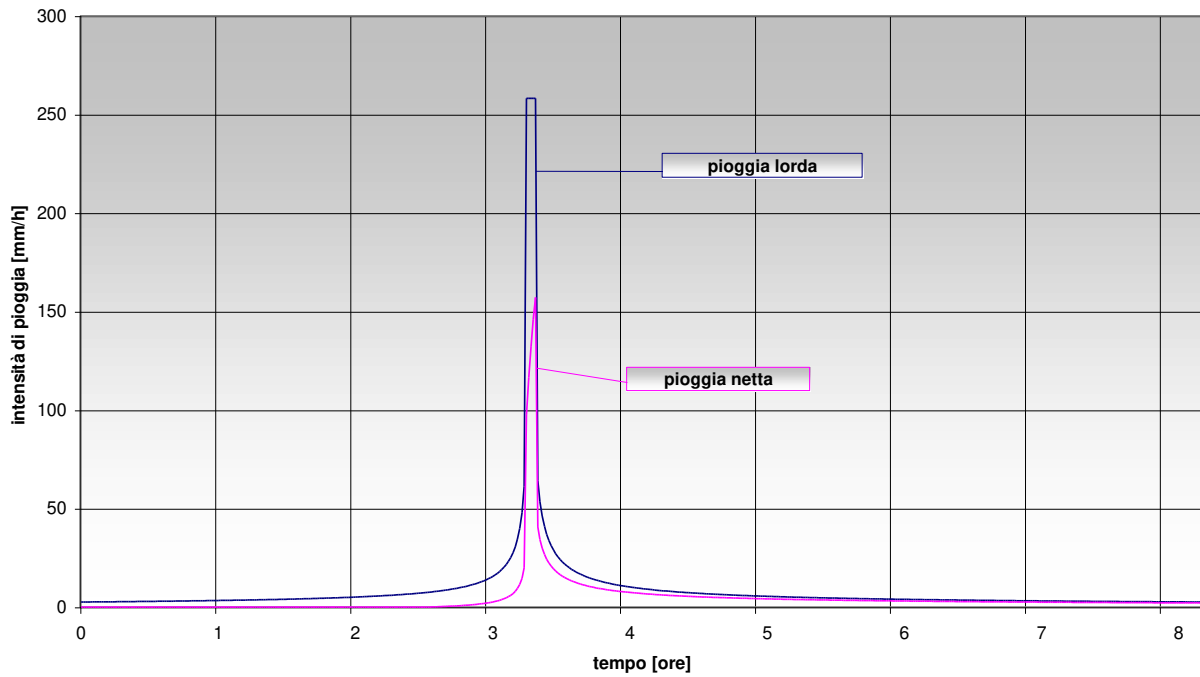
6.4 IETOGRAMMI CHICAGO RAGGUAGLIATI E RAGGUAGLIATI NETTI PER $Tr = 50, 100, 200$

6.4.1 SEZIONE DI CHIUSURA "BREMBIOLO 1"

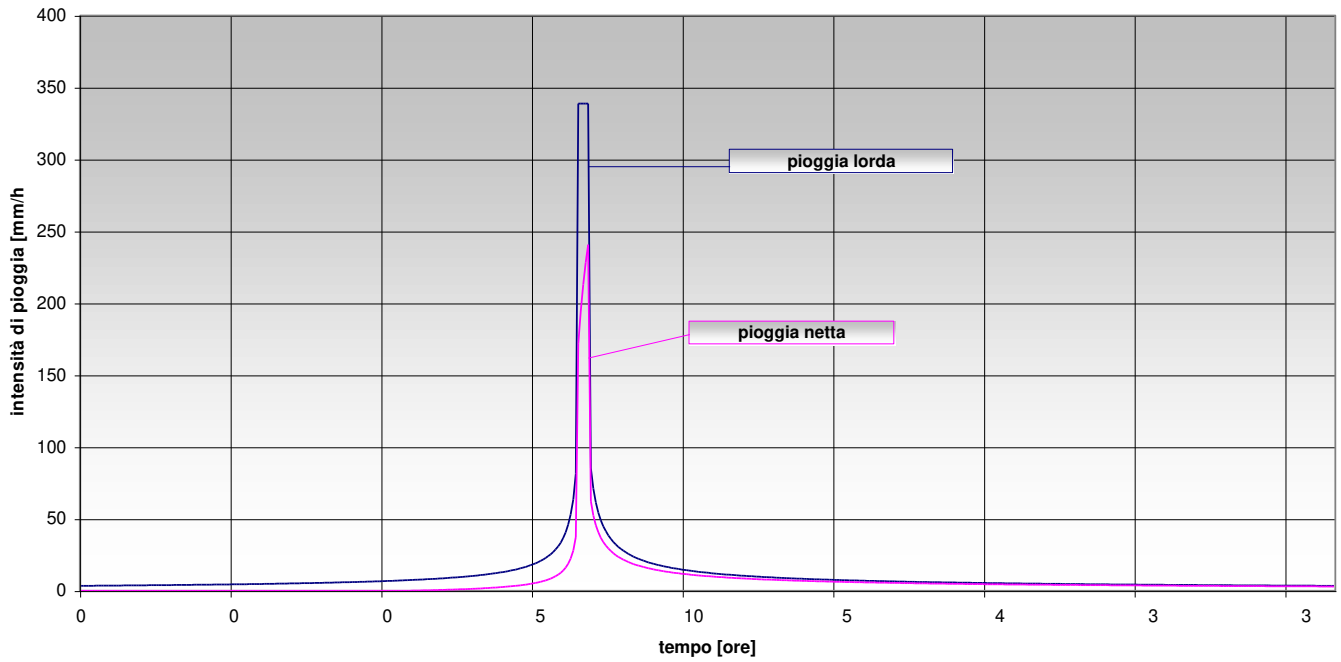
Colatore Brembiolo - confronto tra ietogramma chicago ragguagliato (pioggia lorda) e ietogramma chicago ragguagliato netto (pioggia netta) $Tr = 100$ anni- Sezione di chiusura "Brembiolo 1"



Colatore Brembiolo - confronto tra ietogramma chicago ragguagliato (pioggia lorda) e ietogramma chicago ragguagliato netto (pioggia netta) $Tr = 50$ anni- Sezione di chiusura "Brembiolo 1"

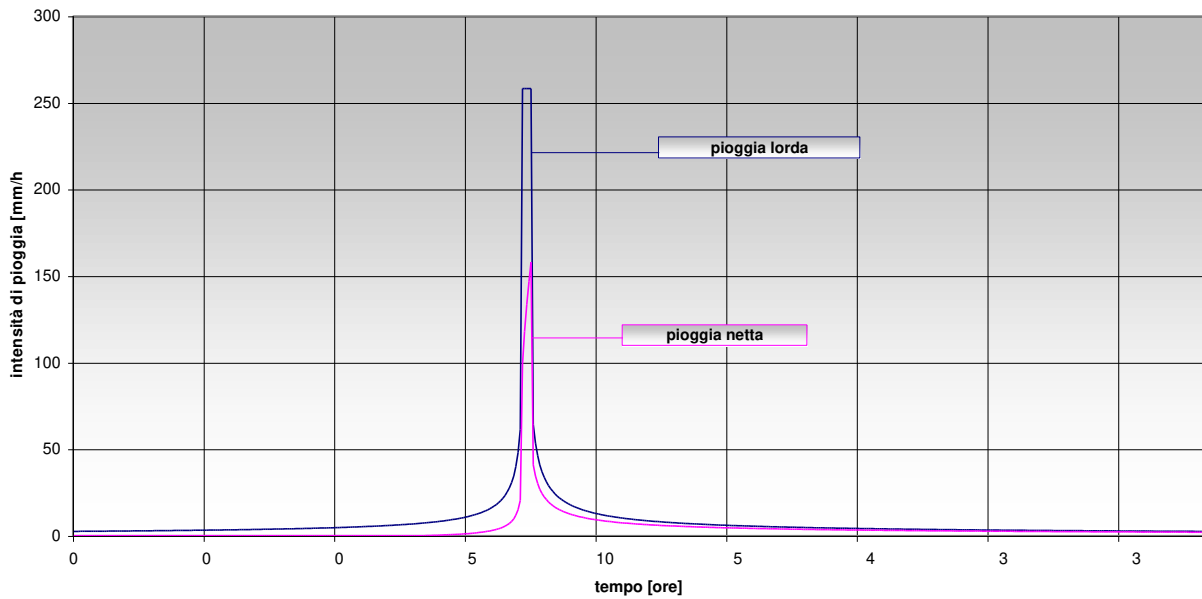


Colatore Brembiolo - confronto tra ietogramma chicago ragguagliato (pioggia lorda) e ietogramma chicago ragguagliato netto (pioggia netta) Tr = 200 anni- Sezione di chiusura "Brembiolo 1"

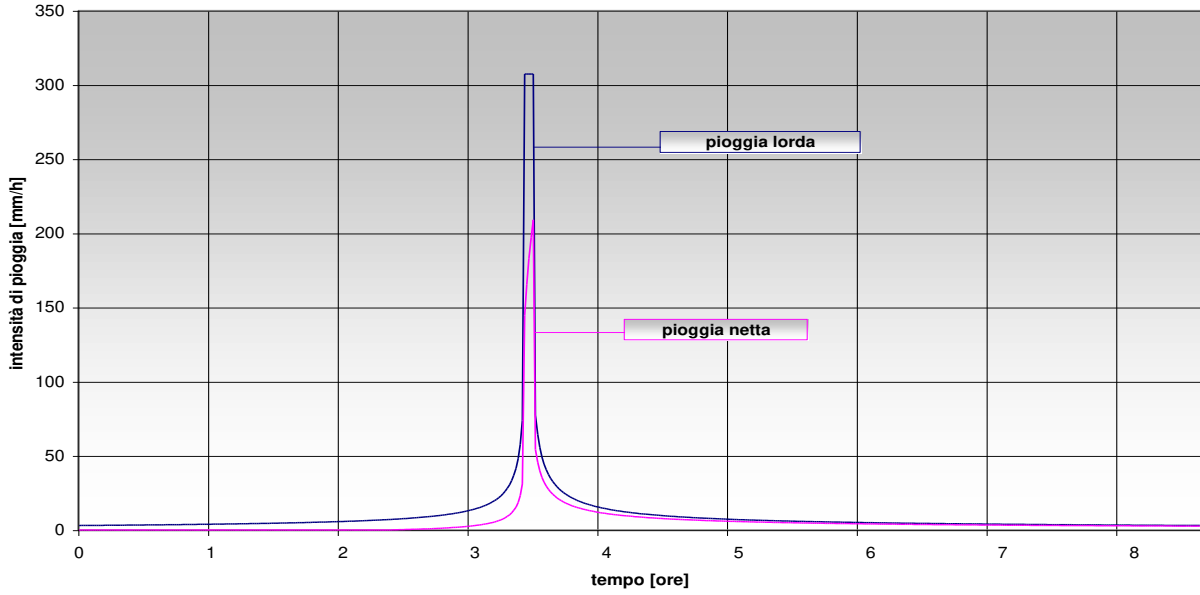


6.4.2 SEZIONE DI CHIUSURA "BREMBIOLO 2"

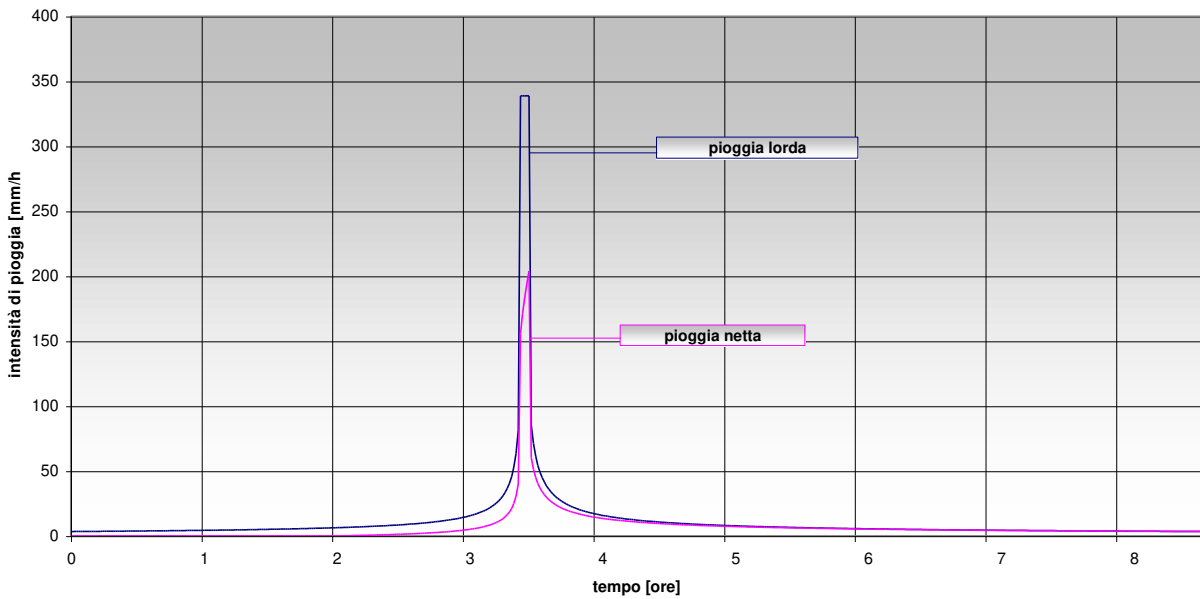
Colatore Brembiolo - confronto tra ietogramma chicago ragguagliato (pioggia lorda) e ietogramma chicago ragguagliato netto (pioggia netta) Tr = 50 anni- Sezione di chiusura "Brembiolo 2"



Colatore Brembiolo - confronto tra ietogramma chicago ragguagliato (pioggia lorda) e ietogramma chicago ragguagliato netto (pioggia netta) Tr = 100 anni- Sezione di chiusura "Brembiolo 2"

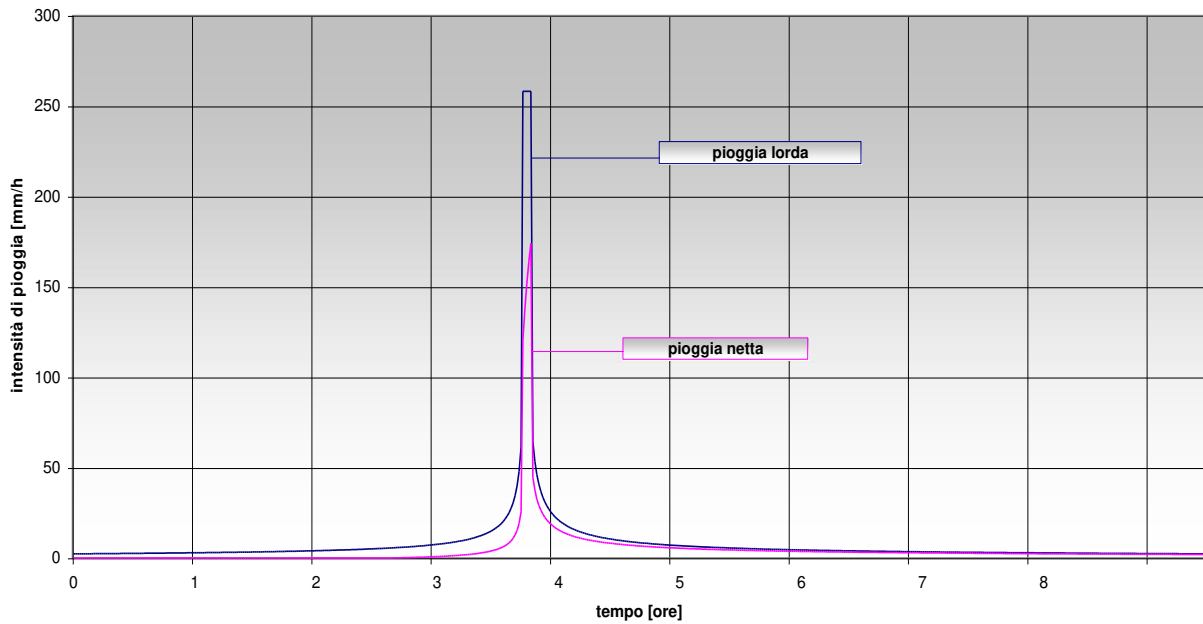


Colatore Brembiolo - confronto tra ietogramma chicago ragguagliato (pioggia lorda) e ietogramma chicago ragguagliato netto (pioggia netta) Tr = 200 anni- Sezione di chiusura "Brembiolo 2"

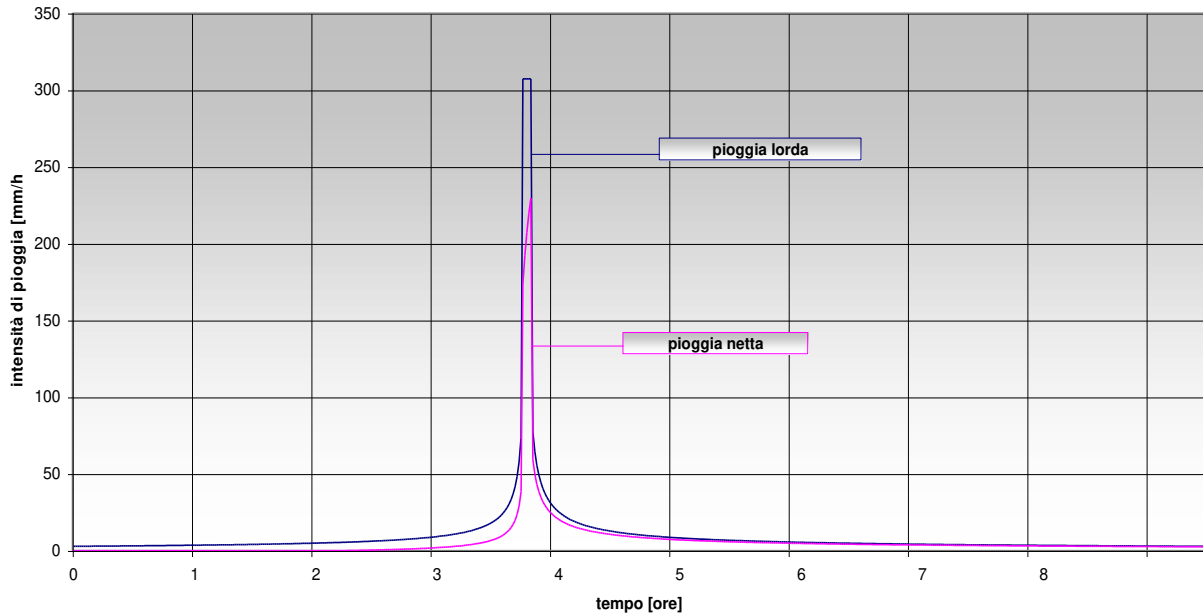


6.4.3 SEZIONE DI CHIUSURA "BREMBIOLO 3"

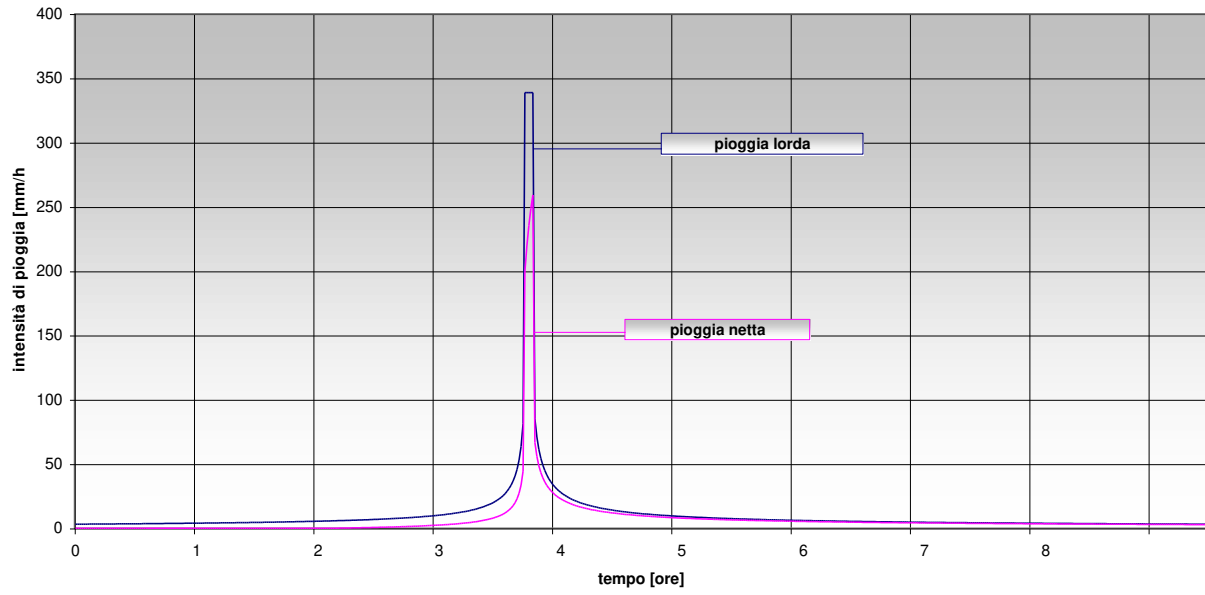
Colatore Brembiolo - confronto tra ietogramma chicago ragguagliato (pioggia lorda) e ietogramma chicago ragguagliato netto (pioggia netta) Tr = 50 anni- Sezione di chiusura "Brembiolo 3"



Colatore Brembiolo - confronto tra ietogramma chicago ragguagliato (pioggia lorda) e ietogramma chicago ragguagliato netto (pioggia netta) Tr = 100 anni- Sezione di chiusura "Brembiolo 3"



Colatore Brembiolo - confronto tra ietogramma chicago ragguagliato (pioggia lorda) e ietogramma chicago ragguagliato netto (pioggia netta) Tr = 200 anni- Sezione di chiusura "Brembiolo 3"

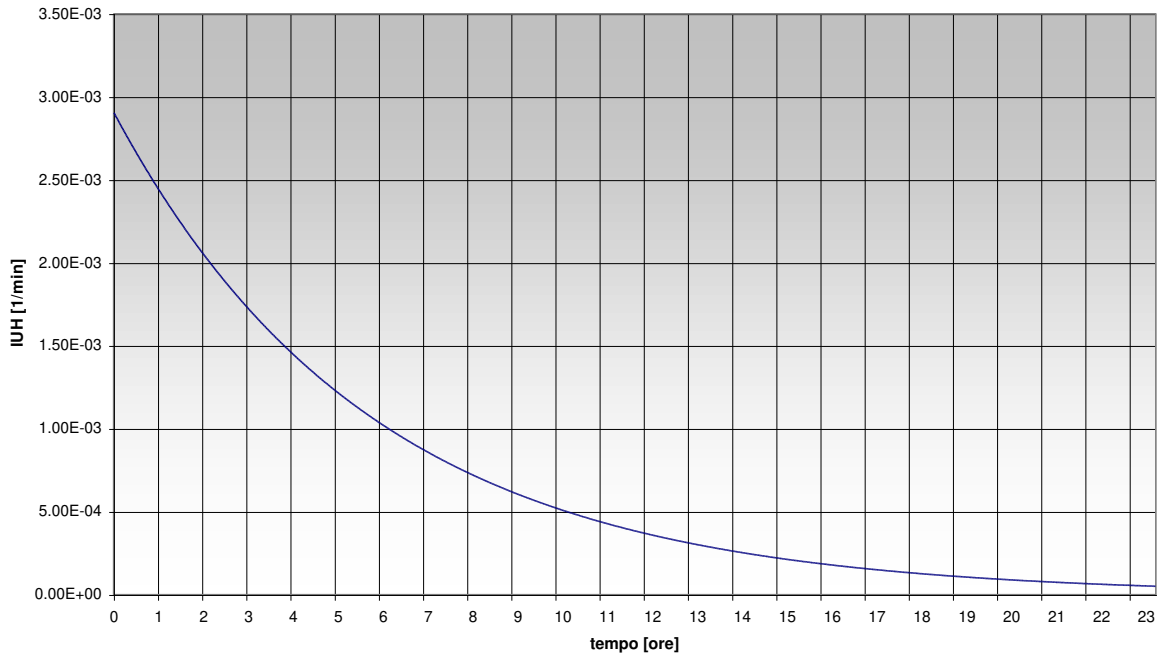


7 MODELLO AFFLUSSI - DEFLUSSI

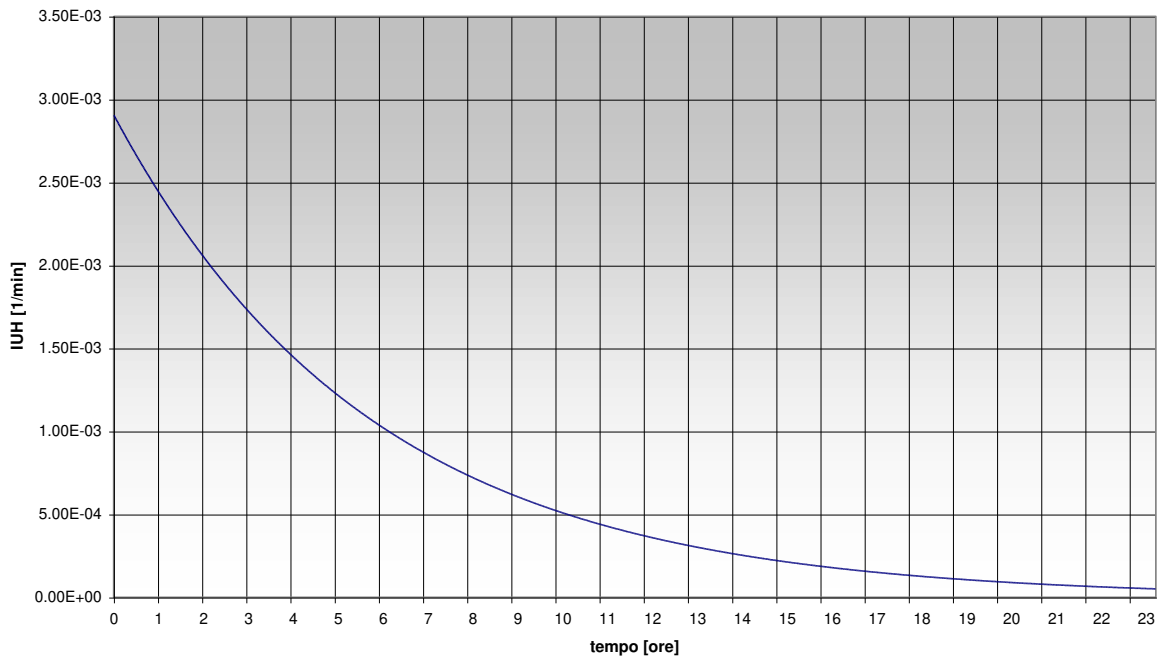
7.1 IDROGRAMMA UNITARIO ISTANTANEO IUH DEL MODELLO DELL'INVASO LINEARE

7.1.1 SEZIONE DI CHIUSURA "BREMBIOLO 1"

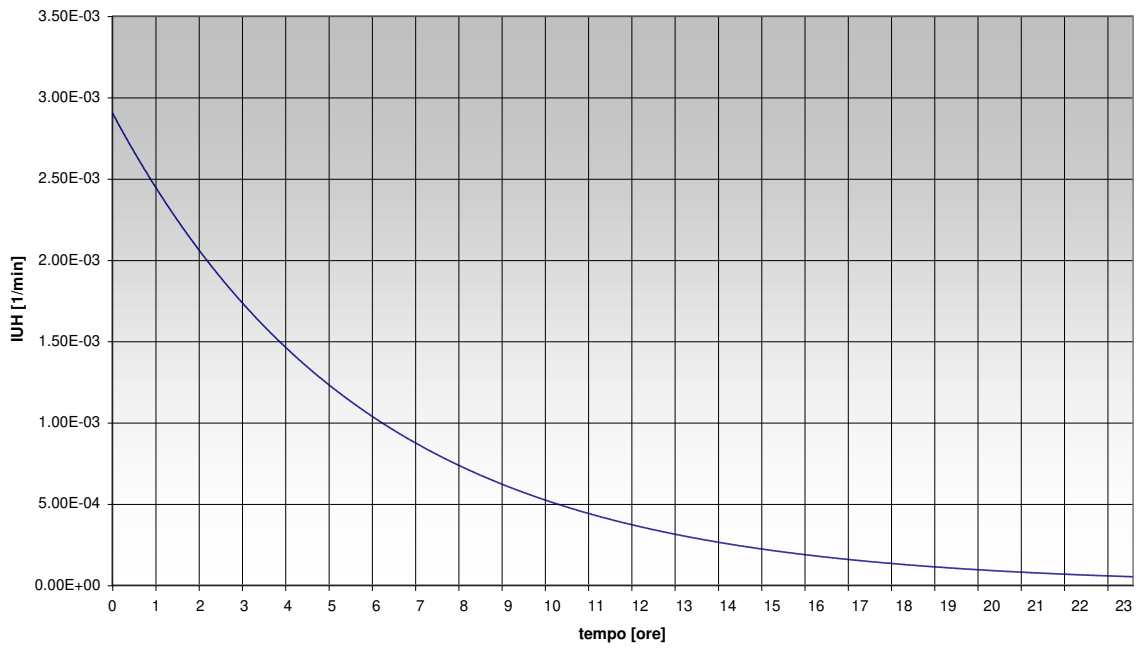
Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - idrogramma unitario istantaneo
 Tr = 100 anni - Sezione di chiusura "Brembiolo 1"



Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - idrogramma unitario istantaneo
 Tr = 50 anni - Sezione di chiusura "Brembiolo 1"

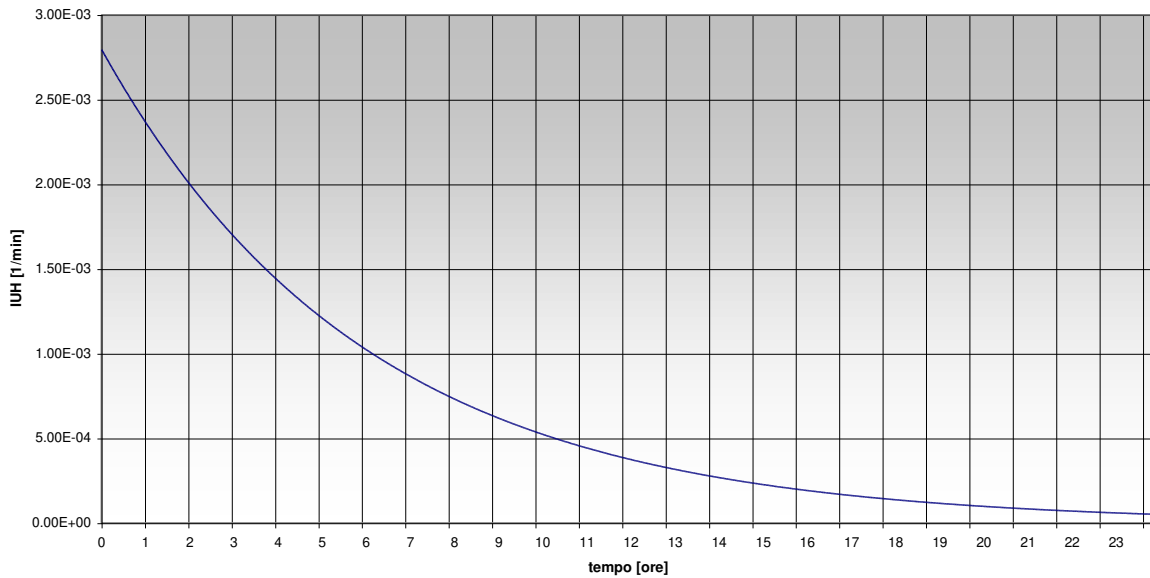


Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - idrogramma unitario istantaneo
 Tr = 200 anni - Sezione di chiusura "Brembiolo 1"

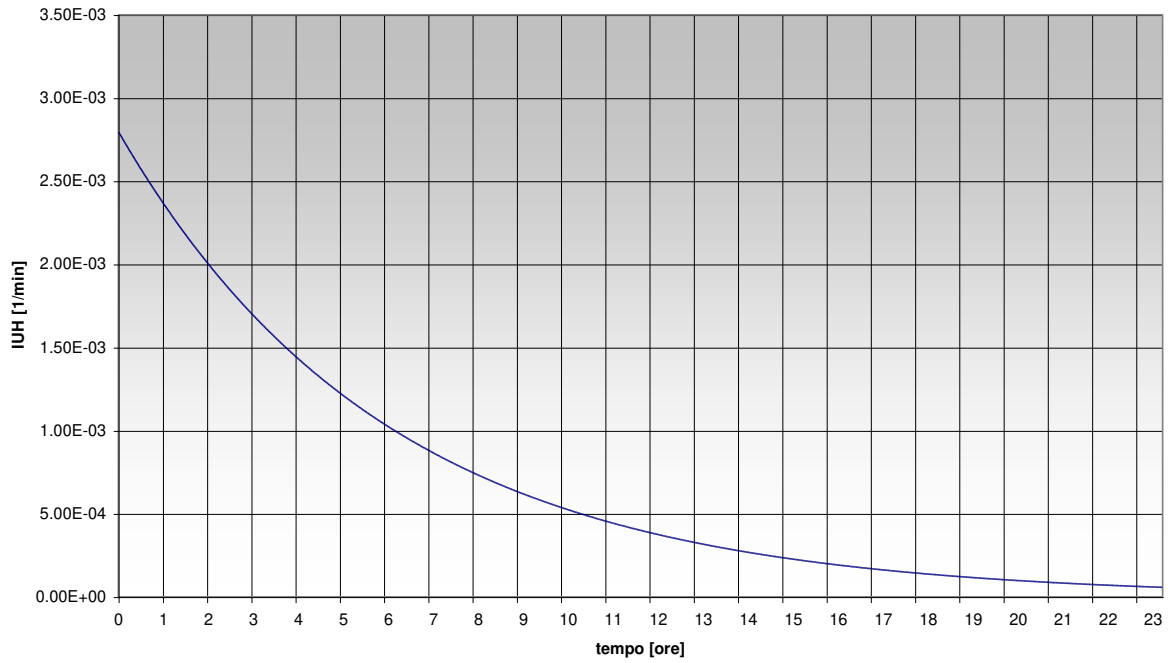


7.1.2 SEZIONE DI CHIUSURA "BREMBIOLO 2"

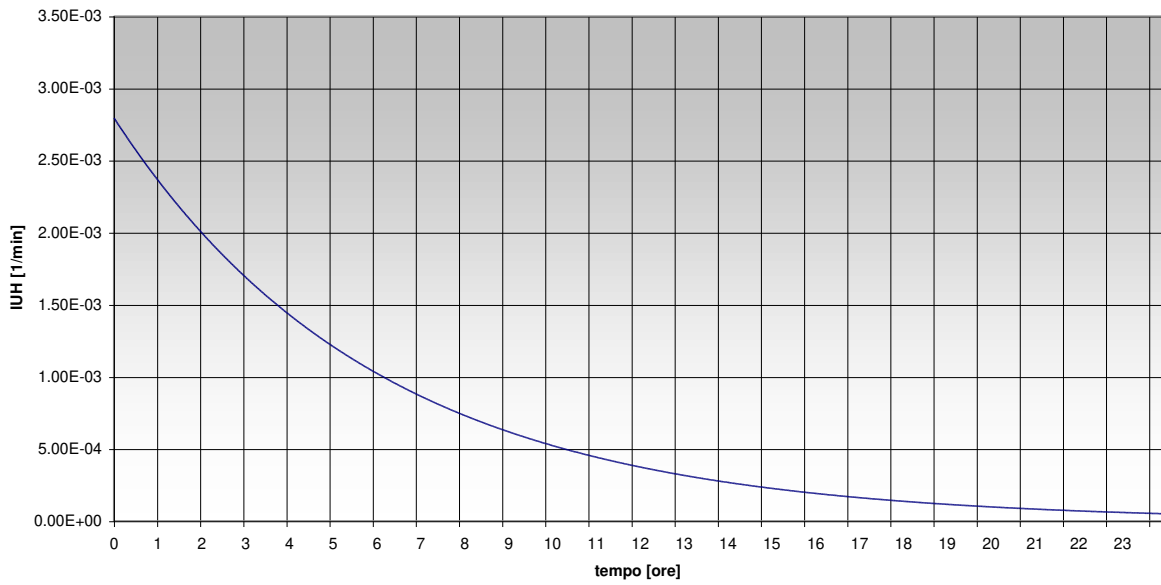
Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - idrogramma unitario istantaneo
 Tr = 50 anni - Sezione di chiusura "Brembiolo 2"



Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - idrogramma unitario istantaneo
Tr = 100 anni - Sezione di chiusura "Brembiolo 2"

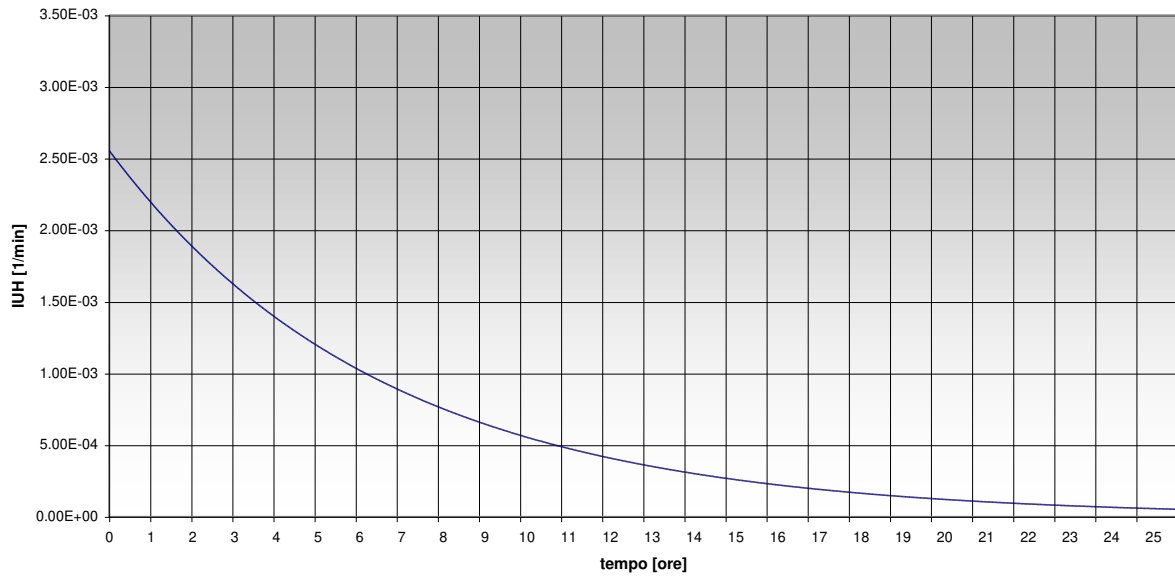


Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - idrogramma unitario istantaneo
Tr = 200 anni - Sezione di chiusura "Brembiolo 2"

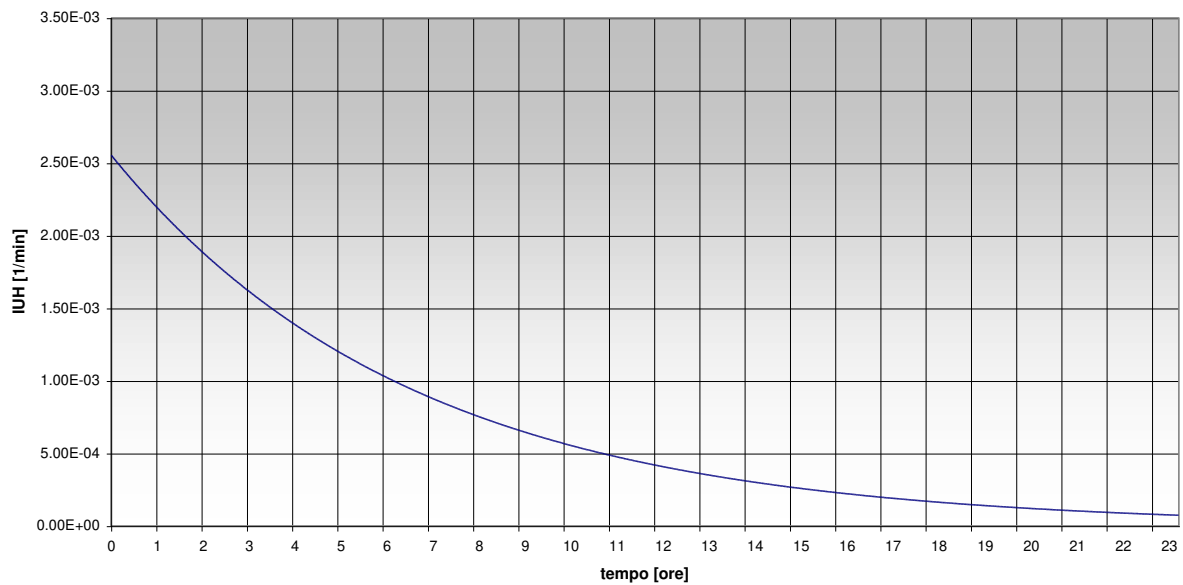


7.1.3 SEZIONE DI CHIUSURA "BREMBIOLO 3"

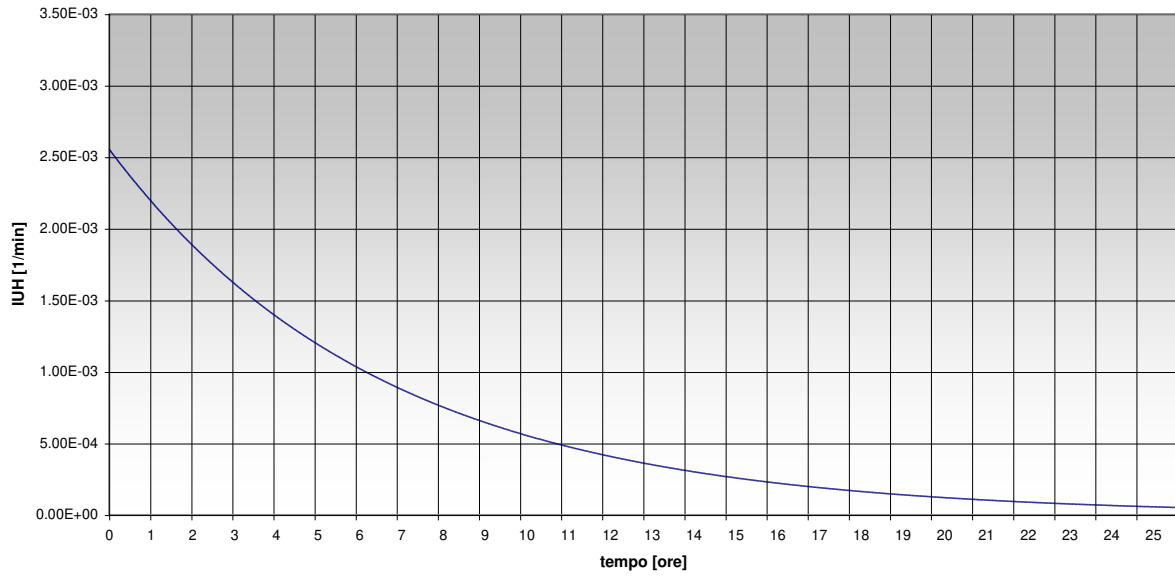
Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - idrogramma unitario istantaneo
 Tr = 50 anni - Sezione di chiusura "Brembiolo 3"



Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - idrogramma unitario istantaneo
 Tr = 100 anni - Sezione di chiusura "Brembiolo 3"



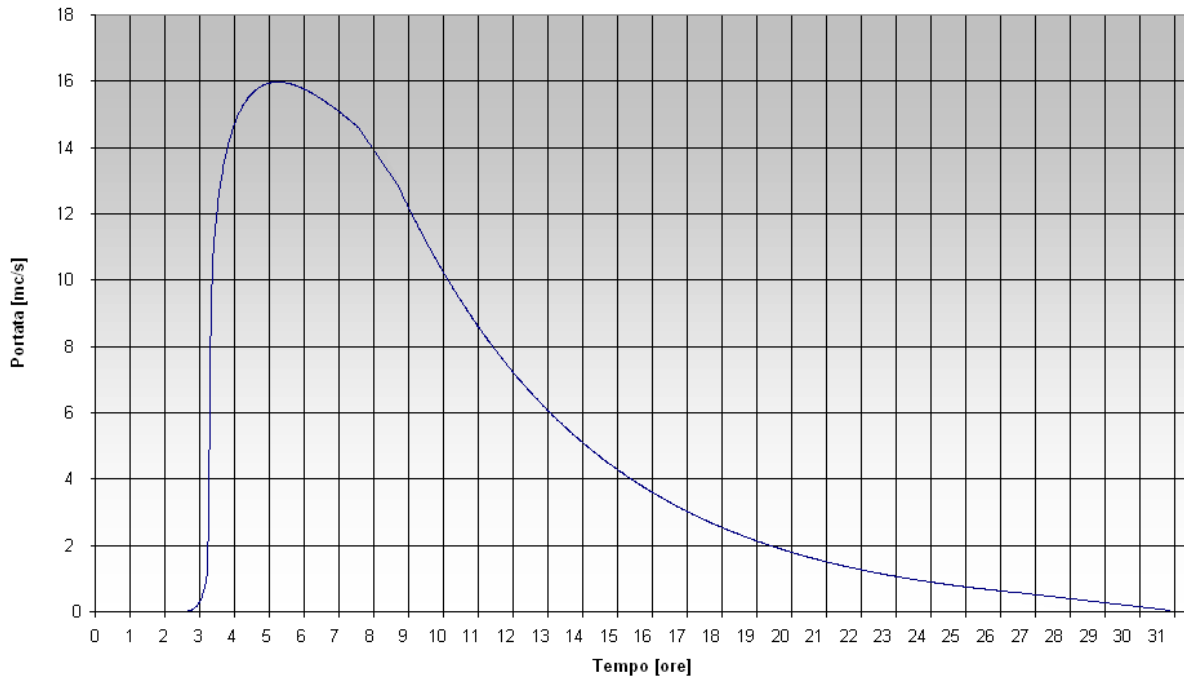
Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - idrogramma unitario istantaneo
 Tr = 200 anni - Sezione di chiusura "Brembiolo 3"



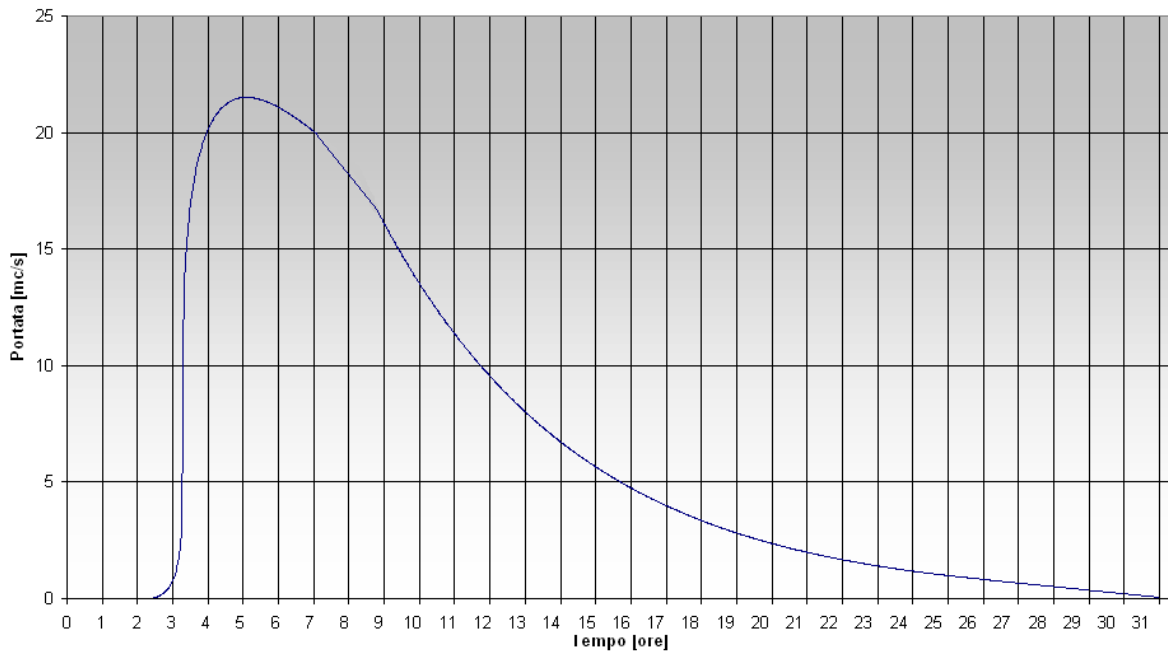
7.2 IDROGRAMMA DI PIENA

7.2.1 SEZIONE DI CHIUSURA "BREMBIOLO 1"

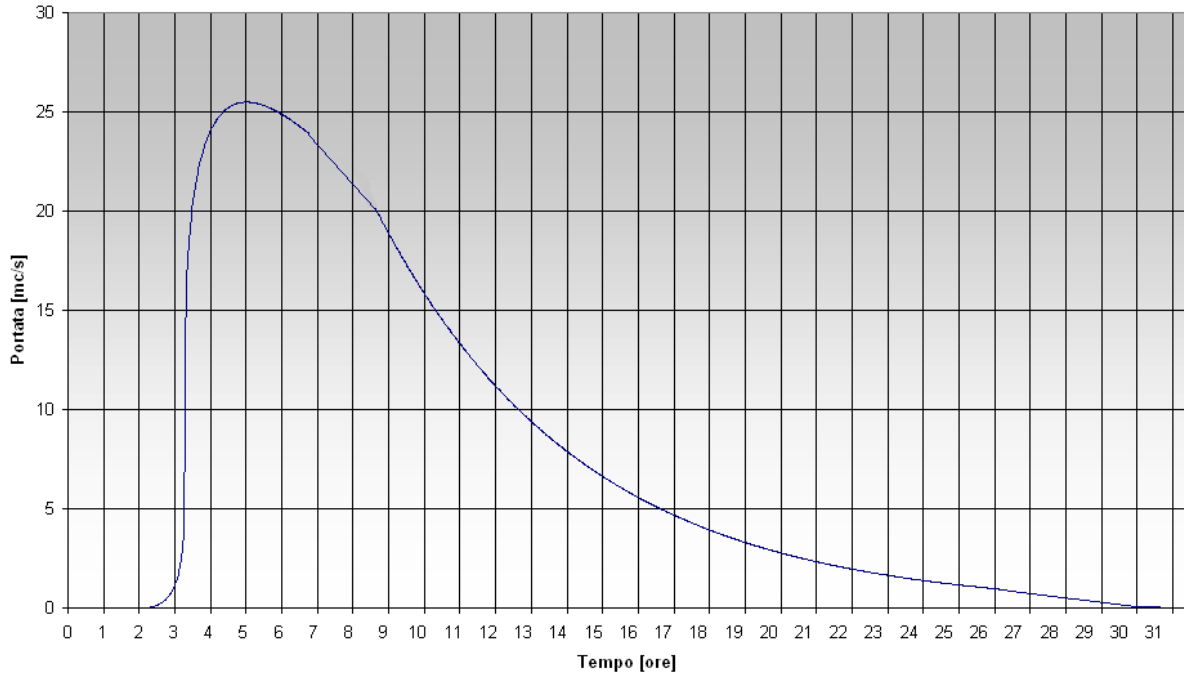
Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - Idrogramma di piena $Tr = 50$ anni -
 Sezione di chiusura "Brembiolo 1"



Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - Idrogramma di piena $Tr = 100$ anni -
 Sezione di chiusura "Brembiolo 1"

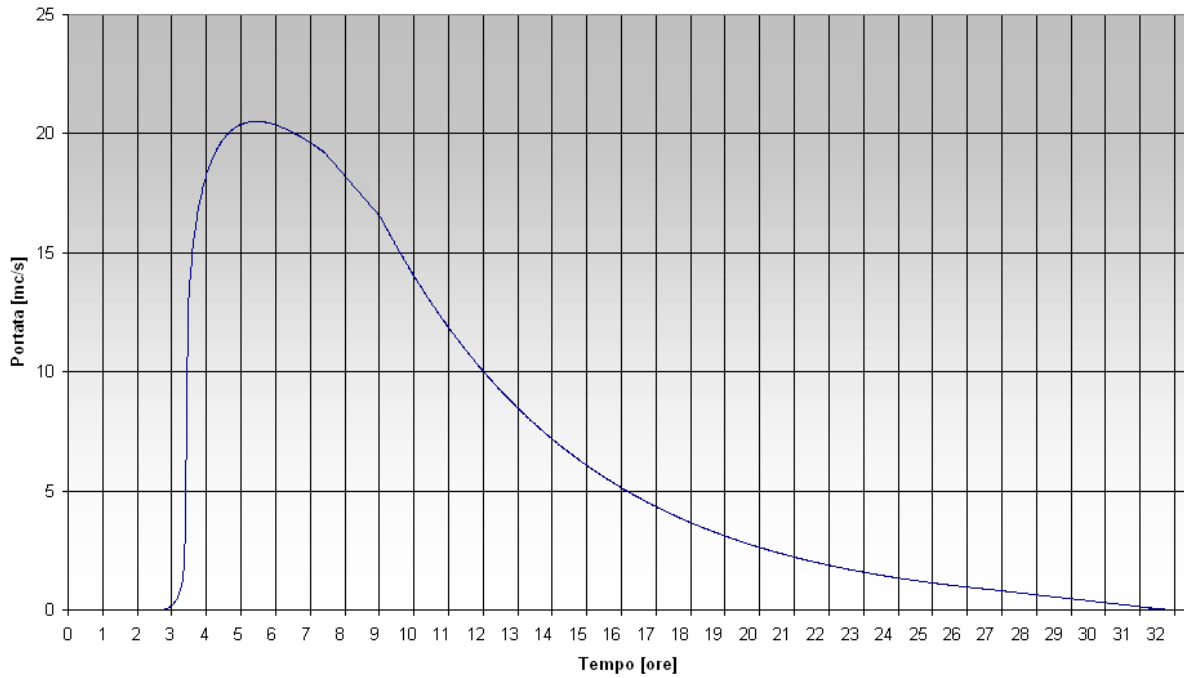


Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - Idrogramma di piena $Tr = 200$ anni -
 Sezione di chiusura "Brembiolo 1"

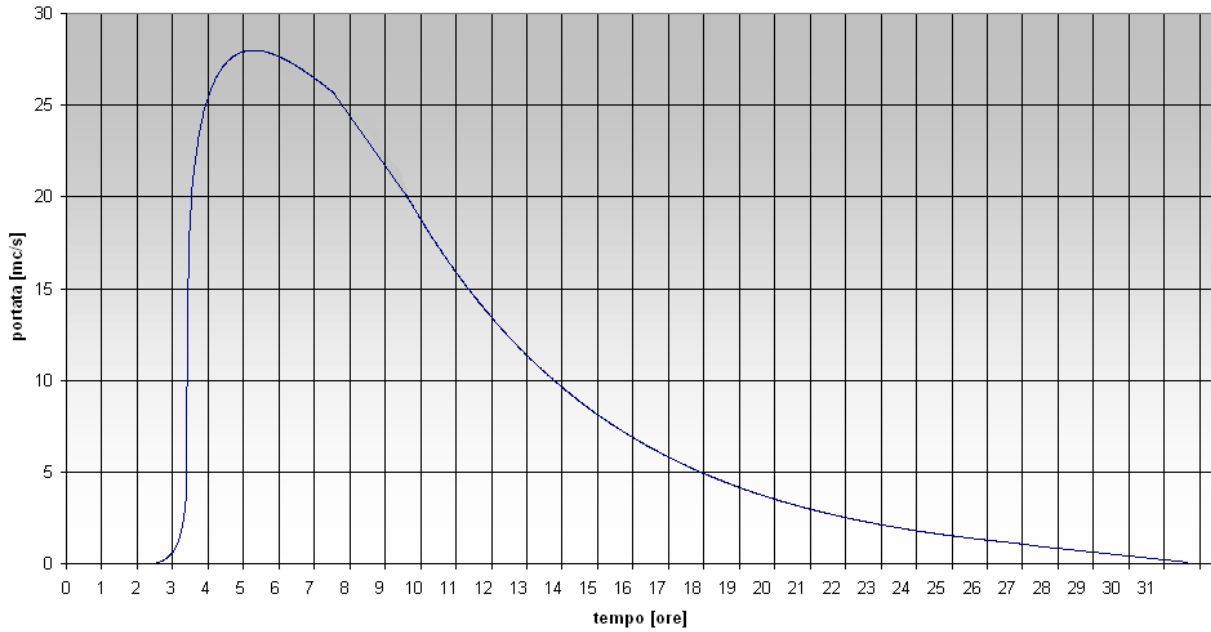


7.2.2 SEZIONE DI CHIUSURA "BREMBIOLO 2"

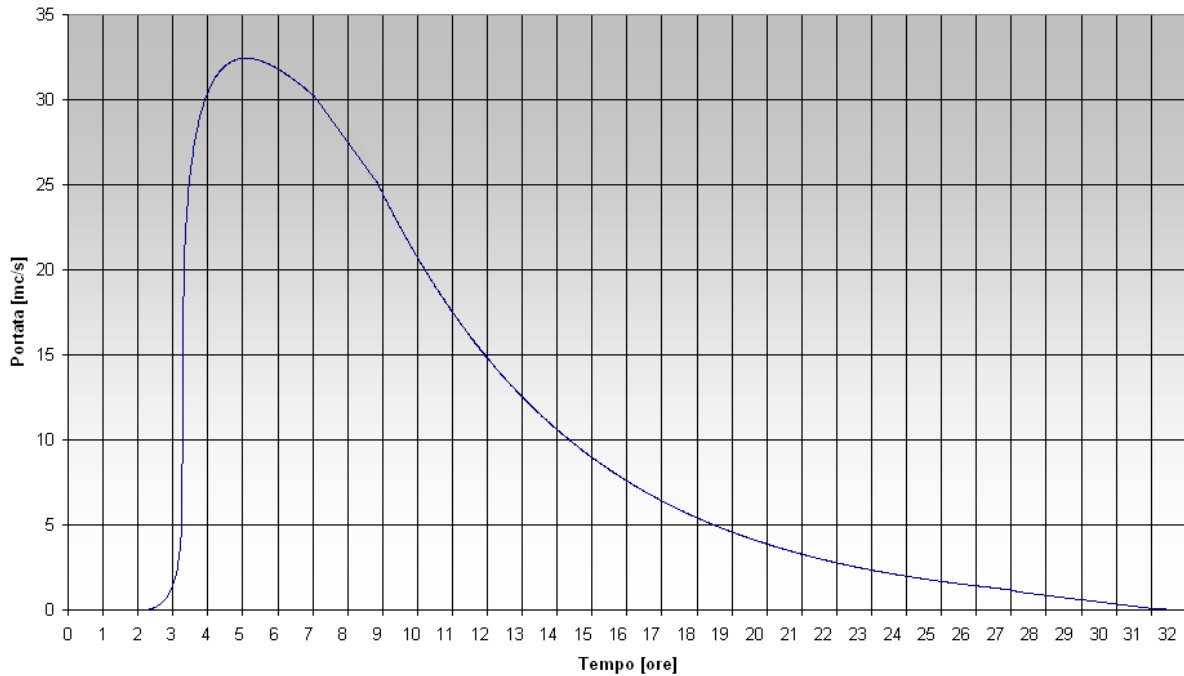
Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - Idrogramma di piena $Tr = 50$ anni -
 Sezione di chiusura "Brembiolo 2"



Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - Idrogramma di piena Tr = 100 anni - Sezione di chiusura "Brembiolo 2"

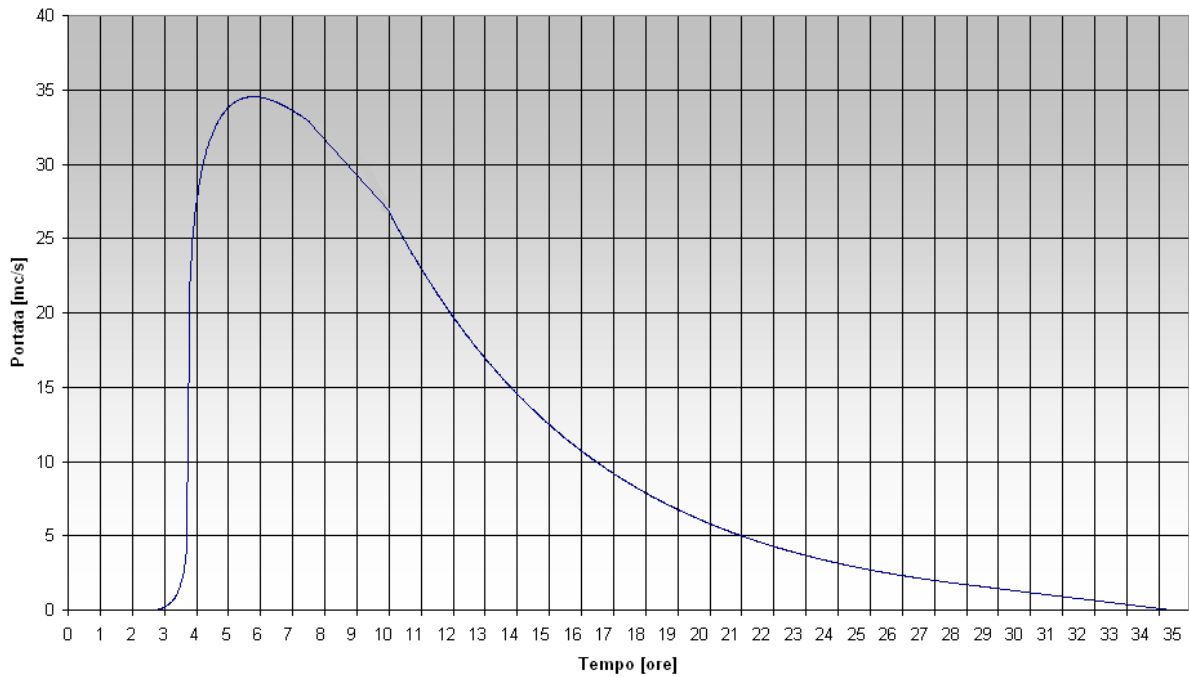


Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - Idrogramma di piena Tr = 200 anni - Sezione di chiusura "Brembiolo 2"

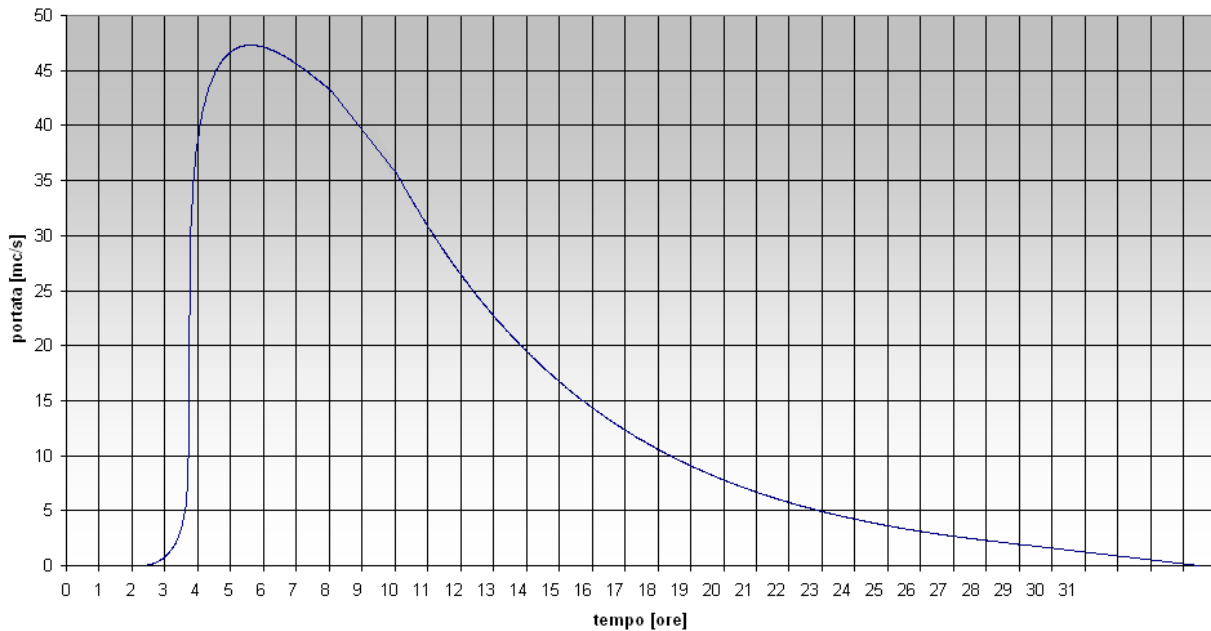


7.2.3 SEZIONE DI CHIUSURA "BREMBIOLO 3"

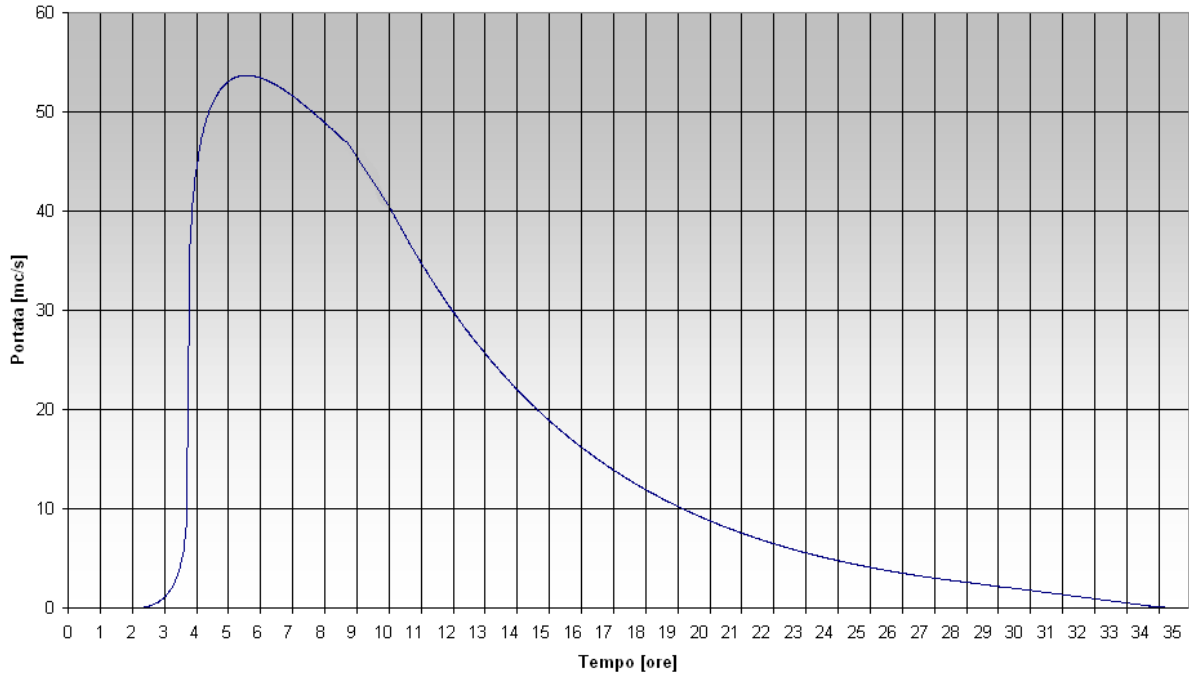
Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - Idrogramma di piena $T_r = 50$ anni -
 Sezione di chiusura "Brembiolo 3"



Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - Idrogramma di piena $T_r = 100$ anni -
 Sezione di chiusura "Brembiolo 3"



Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - Idrogramma di piena $T_r = 200$ anni -
 Sezione di chiusura "Brembiolo 3"



8 SOTTOSCRIZIONE DELL'ELABORATO DA PARTE DEL R.T.P.

STUDIO CORONA S.r.l.

ECOPLAN S.r.l.

I.T. S.r.l.

E&G S.r.l.

CONSORZIO UNING

ARKE' INGEGNERIA S.r.l.

SETAC S.r.l.

ING. RENATO DEL PRETE

DOTT. DANILO GALLO
