



S.S. N. 9 "Via Emilia" Variante di Casalpusterlengo ed eliminazione passaggio a livello sulla SP ex S.S. N. 234

PROGETTO DEFINITIVO

CONTRIBUTI SPECIALISTICI

TECNOSTUDIO BIEFFE S.R.L.
VIA MAZZETTI 7
FONTANELLATO (PR)

COMPONENTE STRADALE E STRUTTURALE; SICUREZZA, COORDINAMENTO, FASAGGI DI CANTIERE, MOVIMENTAZIONE DI CAVA; RILIEVI E COMPUTAZIONE

CONSORZIO MUZZA BASSA LODIGIANA
VIA NINO DALL'ORO, 4 - LODI

COMPONENTE IDRAULICA

ARCH. MADDALENA GIOIA GIBELLI
VIA SENATO, 45
MILANO

COMPONENTE PAESAGGISTICA ED AMBIENTALE

P I GIOVANNI PERRI
VIA PRIORATO, 16
FONTANELLATO (PR)

COMPONENTE IMPIANTISTICA, TECNOLOGICA ED ILLUMINOTECNICA

CI.TRA S.R.L.
VIALE LOMBARDIA, 5
MILANO,
IN COLLABORAZIONE CON
L.C.E. SRL
VIA DEI PLATANI, 7
OPERA

COMPONENTE TRASPORTISTICA ED ACUSTICA

I PROGETTISTI

Arch. Savino GARILLI PROVINCIA DI LODI
Iscritto all'Ordine degli Architetti della Provincia di Piacenza al n° 280

Ing. Antonio SIMONE COMUNE DI CASALPUSTERLENGO
Iscritto all'ordine degli Ingegneri della provincia di Foggia al n° 1270

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Gianluca CANTARELLI
Iscritto all'Ordine dei Geologi dell' Emilia Romagna al n° 359
via Malpeli, 2
FIDENZA (PR)

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Geom: Fiorenzo BERGAMASCHI
Iscritto al Collegio dei Geometri della Provincia di Parma al n° 1606
via Mazzetti, 7
FONTANELLATO (PR)

VISTO:IL RESPONSABILE
DEL PROCEDIMENTO
Ing Massimo SIMONINI

DATA

PROTOCOLLO

BREMBIOLO - RELAZIONE IDROLOGICA

CODICE PROGETTO



| | | | | | |
|------|---|---------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| D | RECEPIMENTO PRESCRIZIONI ISTRUTTORIA ANAS | | | | |
| C | RECEPIMENTO PRESCRIZIONI CONFERENZA DEI SERVIZI | FEBBRAIO 2011 | | | |
| B | VERIFICA DI OTTEMPERANZA AL DECRETO VIA | APRILE 2010 | | | |
| A | PRIMA CONSEGNA PROGETTO | MARZO 2009 | | | |
| REV. | DESCRIZIONE | DATA | VERIFICATO RESP. TECNICO | CONTROLLATO RESP. D'ITINERARIO | APPROVATO RESP. DI SETTORE |

Codice
Elaborato

ID00 0601

Data Revisione:

FEBBRAIO 2011

REV.

C

FOGLIO

01 DI **01**

Scala:

ELABORATO DI TESTO

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, come già evidenziato nella relazione generale introduttiva, 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 infatti nella ricostruzione della portata di competenza del canale, con le ripartizioni stagionali della medesima, mentre nel secondo caso invece occorre redigere lo studio idrologico integrale del bacino idrografico di competenza. Nella presente relazione verrà pertanto prima esposta l’analisi effettuata sui bacini di competenza del Brembiolo nelle tre sezioni di chiusura riferite alle altrettante intersezioni con la costruenda opera. I corsi d’acqua regolati che fanno capo al reticolo idrico interferito verranno caratterizzati idraulicamente nella specifica relazione allegata.

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 di tavola ID00 0611.

La presente relazione, inerentemente 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 costituiranno quindi la base per il successivo studio idraulico condotto 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"*.

La presente relazione idrologico - idraulica costituisce parte integrante della perizia progettuale *"S.S. n°9 Emilia - progetto dei lavori per la costruzione della variante all'abitato di Casalpusterlengo"* redatta a cura della Provincia di Lodi.

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, limitrofamente alla s.s. 9 "Emilia" in comune di Guardamiglio in provincia di Lodi (vedasi ID00 0612 in scala 1:25.000 riportante l'intero tracciato 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.

Possiamo quindi identificare gli input idrologici al colatore come di seguito specificato:

- 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 (di seguito descritta) attraverso il computo delle relative superfici scolanti ed adottando per esse opportuni coefficienti di deflusso (vedasi la parte successiva relativa alla trasformazione afflussi - deflussi) 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.
- drenaggio diretto del territorio sotteso di competenza: per esso 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 in scala 1:10.000 ID00 0613, ID00 0614, ID00 0615).

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
- Casalpuusterlengo

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.

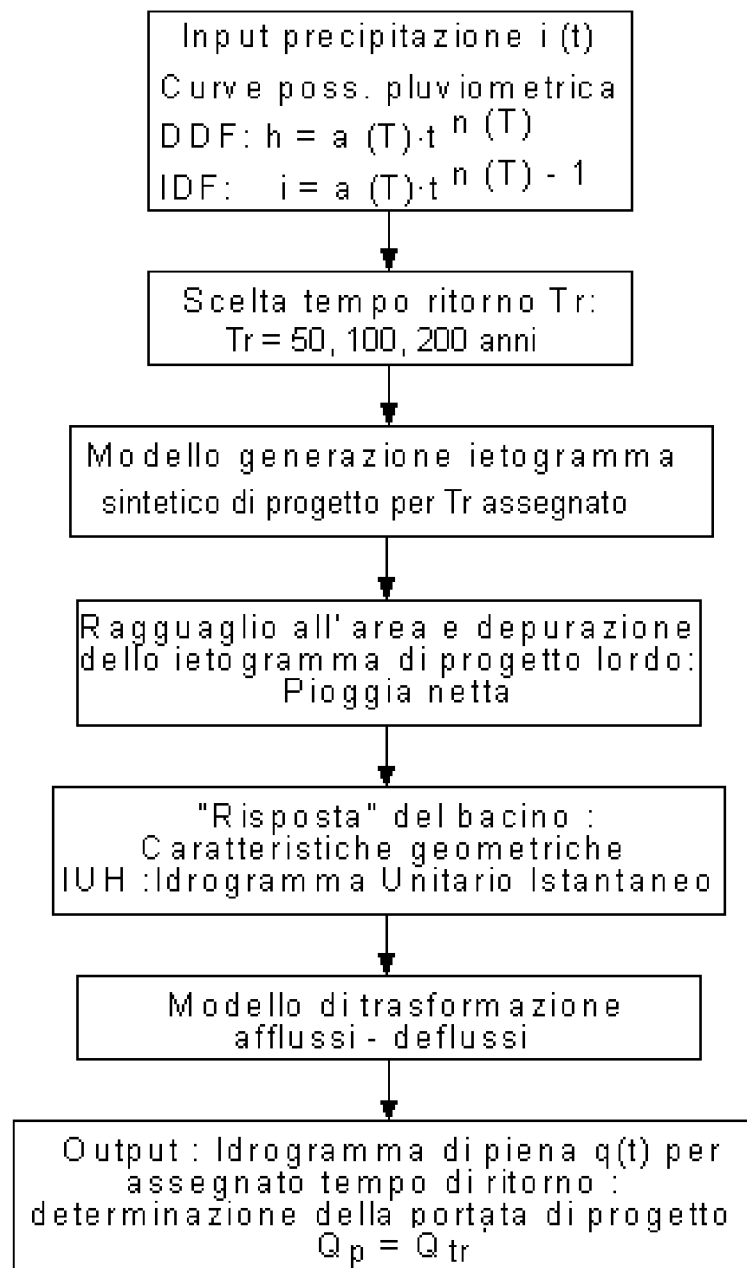
Calcolo della portata di massima piena: portate al colmo di piena per Tempi di ritorno $T_r = 50, 100$ e 200 anni

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, come detto, 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 di seguito riportata è sviluppata secondo i moderni criteri dell'analisi idrologica ed idraulica. Per meglio interpretare la varie fasi dell'indagine esse sono state rappresentate nel diagramma a blocchi che segue e che sintetizza le principali fasi tecniche elaborate.

Schema a blocchi relativo all' applicazione dei modelli di trasformazione afflussi-deflussi: input costituito da ietogrammi di progetto di tipo sintetico corrispondenti a tempi di ritorno prescelti.

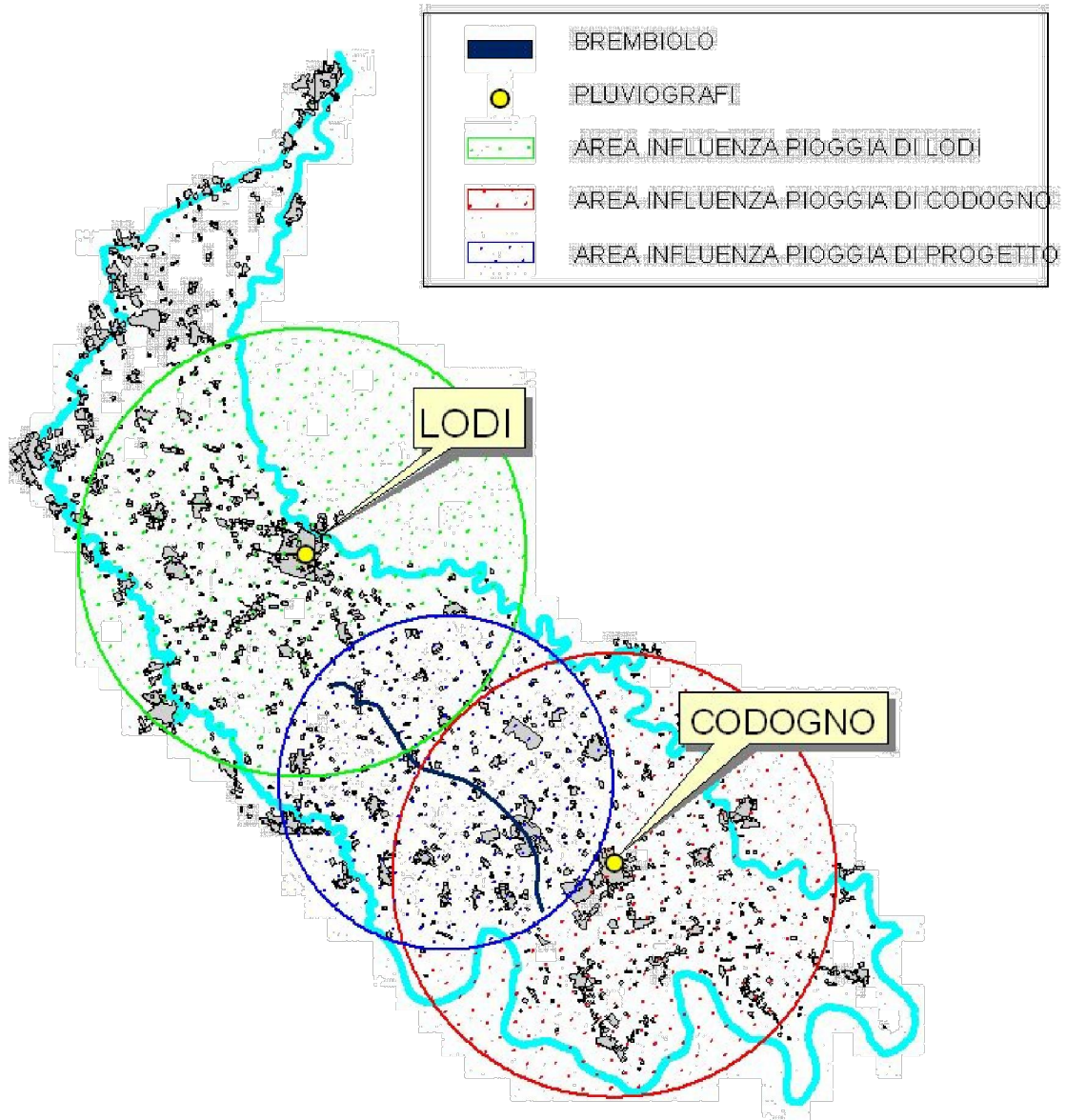


Analisi idrologica

Regime pluviometrico intenso nell'area del bacino

Il regime delle piogge intense viene usualmente sintetizzato nelle cosiddette curve di possibilità pluviometrica $h = at^n$ 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, la co-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. *Nel seguito sono riportati oltre ai tre bacini tributari alle altrettante sezioni di interesse, anche una planimetria riportante l'ubicazione dei due pluviometri.*



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, come fatto.

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.

In particolare la forma analitica della distribuzione di Gumbel è la seguente

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

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

Noto 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 le 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.

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).

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

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:

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 |

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 |

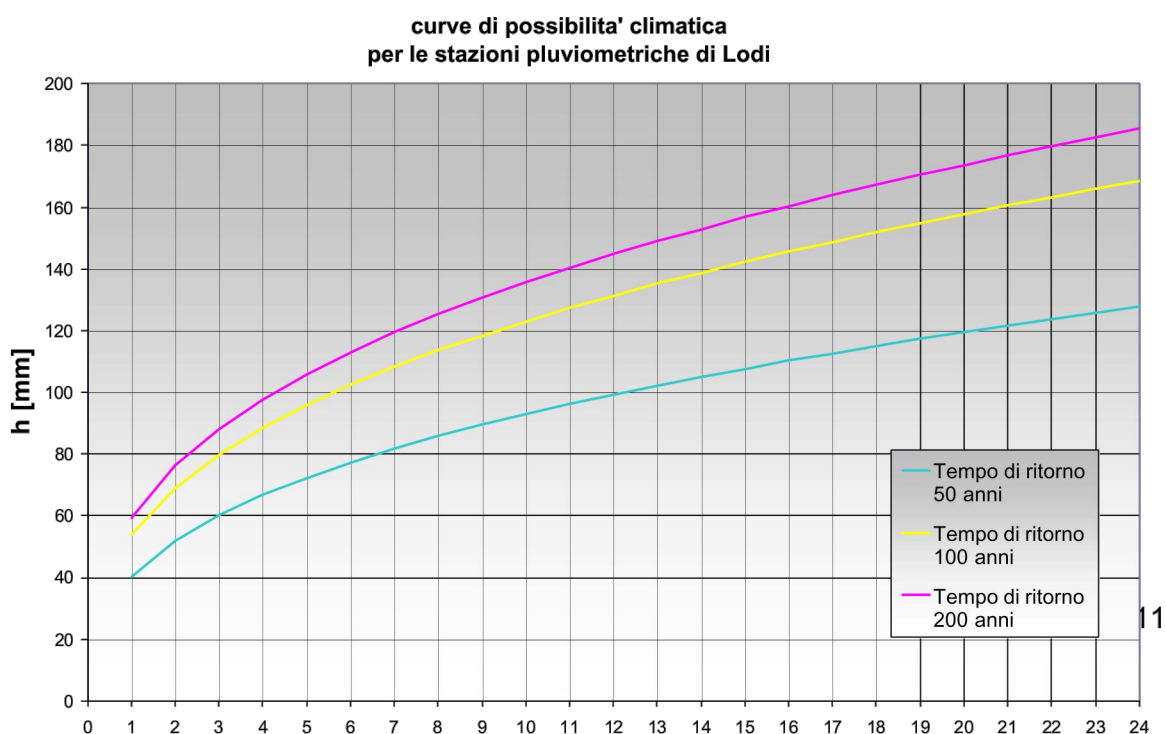
Come si può notare, sia per Codogno che per Lodi, i valori di χ^2 più bassi si ottengono per la distribuzione di Gumbel, che quindi meglio rappresenta la popolazione del campione esaminato. Alla luce di tali risultati è stata adottata la distribuzione di Gumbel nella costruzione delle curve di possibilità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

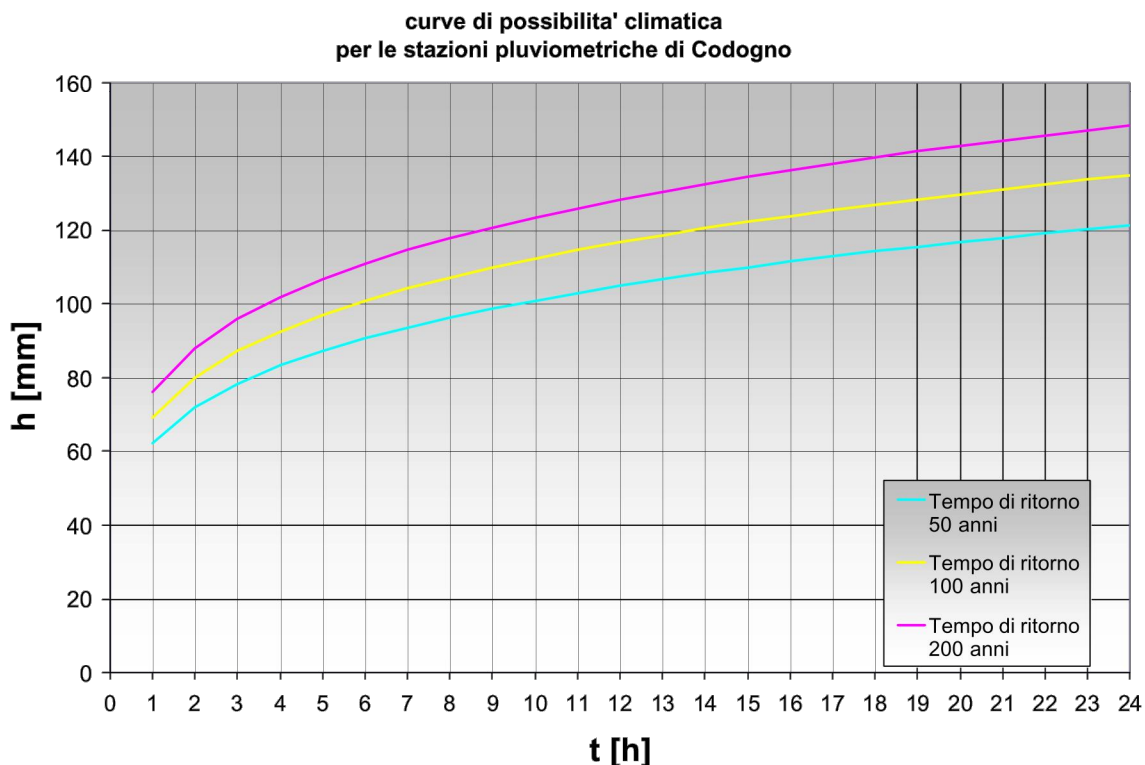
| Curva di possibilità climatica - Pluviometro di Lodi | | |
|--|-------|--------|
| tempo di ritorno T_r | a | n |
| 200 | 59,51 | 0,3575 |
| 100 | 53,81 | 0,3590 |
| 50 | 40,35 | 0,3625 |

| 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 pluviuale in direzione sud - nord.



Ai fini delle elaborazioni di simulazione idraulica di cui alla specifica relazione, nelle quali si deve fare riferimento ad una unica curva di possibilità pluviometrica, 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 difatto 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"*, verranno 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 Tr pari a 100 anni verranno assunti a vincolo geometrico secondo quanto previsto dalla medesima direttiva sopra citata. La simulazione con input di Tr = 200 anni è stata effettuata per la verifica dell'idoneità delle sezioni individuate al passaggio di deflussi contraddistinti da tale valore di Tr. La simulazione per Tr = 50 anni è infine stata condotta per completezza dell'indagine idrologico - idraulica.

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 ragguagliare le piogge all'area del bacino attraverso un coefficiente di ragguaglio 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:

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

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

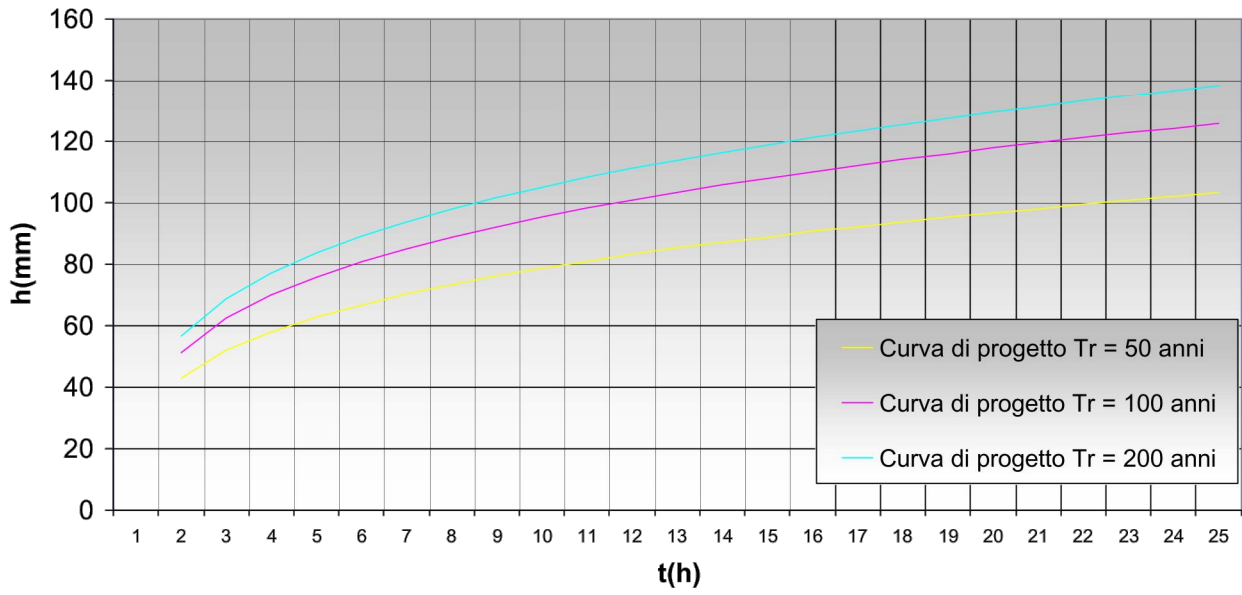
$$\gamma = 7,878 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-0,06801t}$$

Il valore del coefficiente di ragguaglio 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 possibilita' climatica di progetto
ragguagliata all'area



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

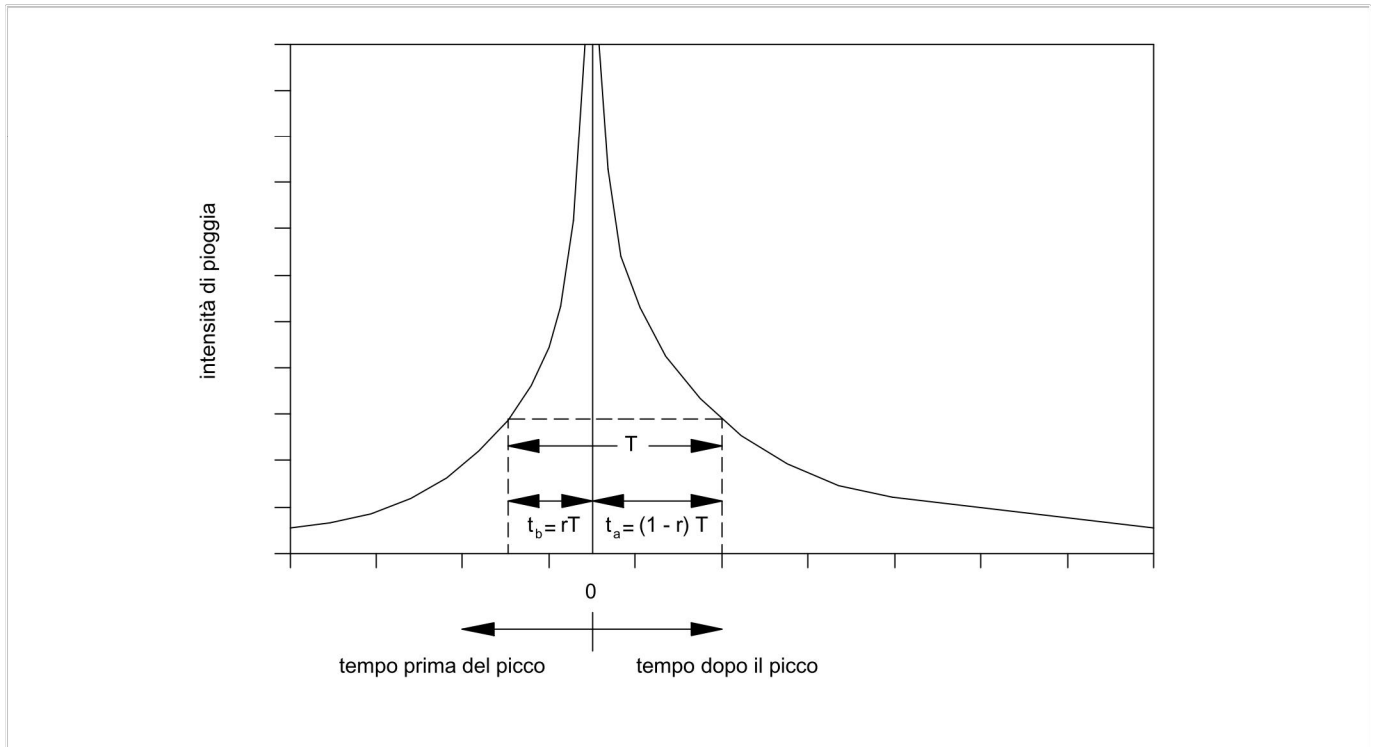
t_b = tempo contato dal picco verso l'inizio dell'evento

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

L'andamento tipologico - qualitativo dello ietogramma Chicago è riportato nella figura seguente



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").

Risposta del bacino: 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 la 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 simili del territorio consortile. La tabella che segue riassume i risultati ottenuti.

| parametri del bacino alle tre sezioni di chiusura | | | confronto metodi di determinazione 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]

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. La procedura, molto diffusa negli Stati Uniti, è di seguito descritta.

L'equazione di continuità assume la forma:

$$Q(t) = P(t) - S^l(t)$$

con

$Q(t)$ = volume defluito sino all'istante t in mm

$P(t)$ = volume affluito sino al medesimo istante t in mm

$S^l(t)$ = volume infiltrato sino al medesimo istante t in mm

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

$$S^l(t)/S = Q(t)/P(t)$$

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:

$$\text{CN} = 98 \Rightarrow \text{CN} = 99$$

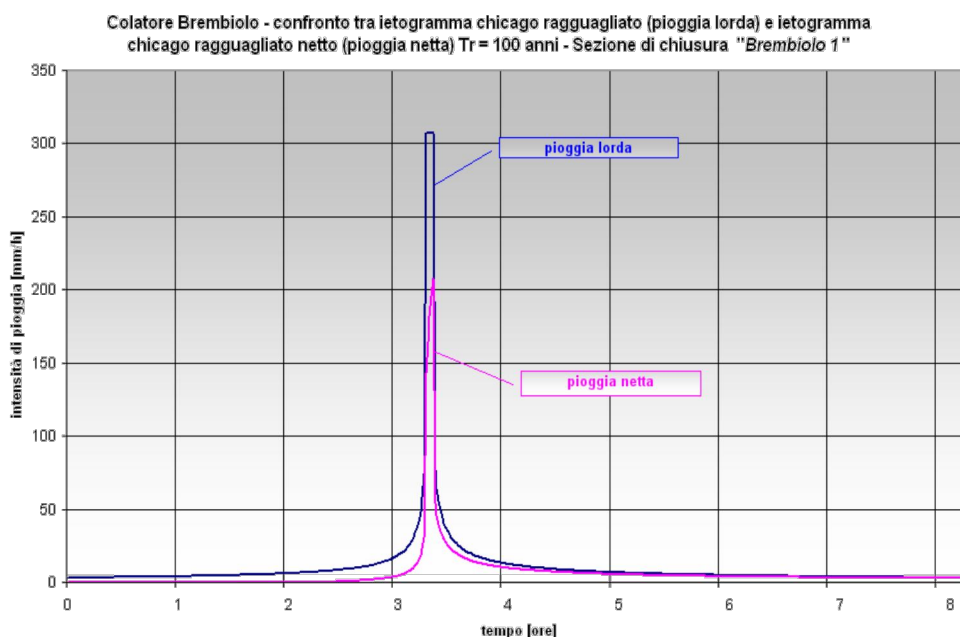
$$\text{CN} = 90 \Rightarrow \text{CN} = 96$$

$$\text{CN} = 65 \Rightarrow \text{CN} = 82$$

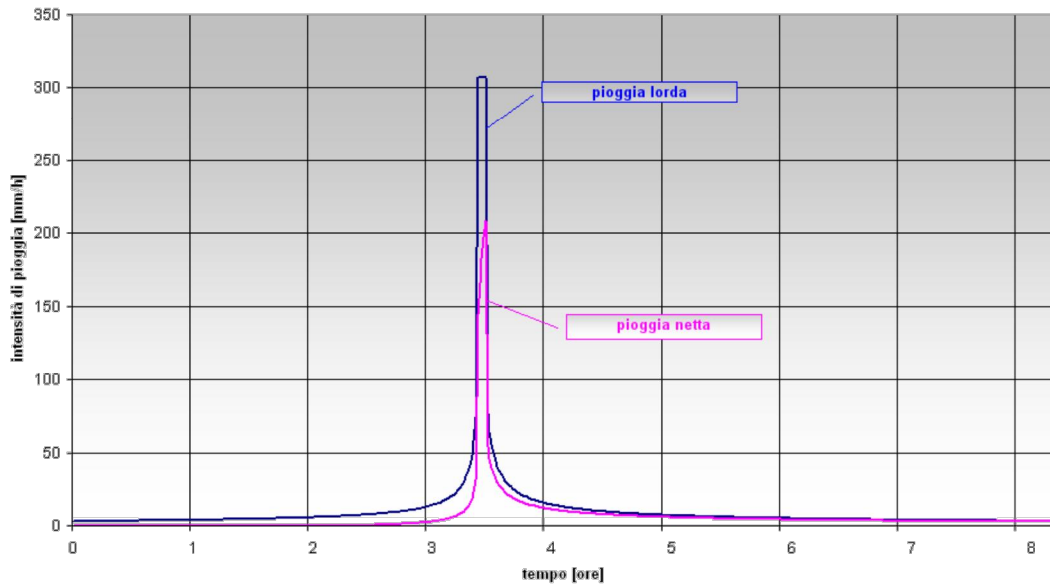
Con riferimento a ciascuna delle tre sezioni di interesse, i valori di CN attribuiti alle superfici individuate sono poi stati fatti oggetto di media pesata rispetto all'area, al fine di ottenere un unico valore medio ponderale valevole per tutto il bacino. I dati di riferimento per le tre sezioni di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

| Intersezione idraulica | Area Totale | tipologia Suolo | | CN pesato |
|------------------------|-----------------|--|-----------------|-----------|
| | | Urbanizzato (residenziale+cinematico) | 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 |

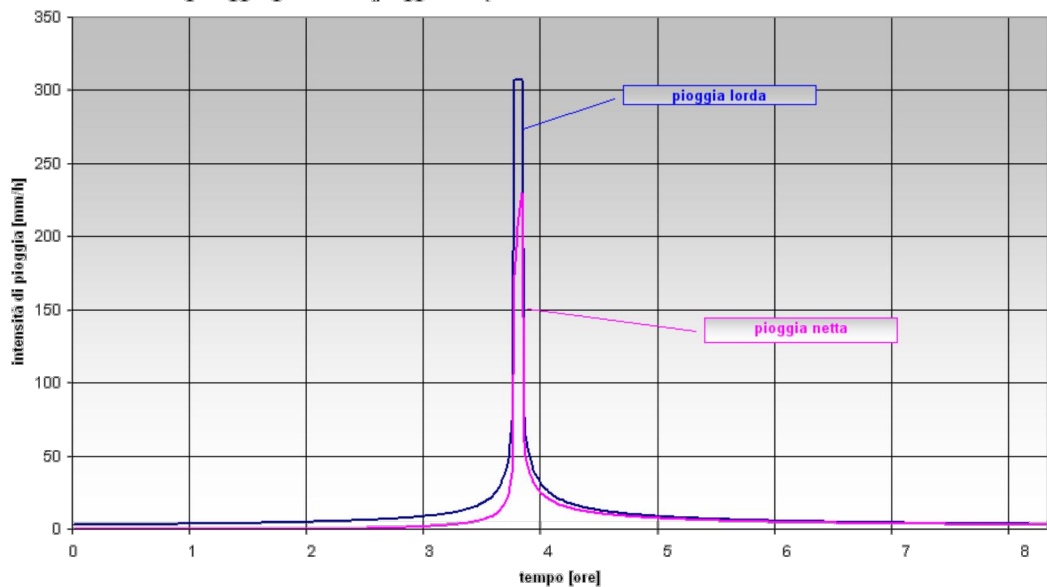
Nelle figure che seguono sono riportati il confronto tra gli ietogrammi di progetto lordi (come detto il tipo scelto è quello Chicago) e la pioggia netta, ovvero gli stessi ietogrammi ragguagliati alle rispettive aree (metodo di Columbo) e depurati delle perdite idrologiche secondo la metodologia CN 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.



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



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



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.

Modello idrologico di trasformazione afflussi netti - deflussi

Dopo la deduzione dello ietogramma di progetto e la successiva fase di ragguaglio all'area e di depurazione dalle perdite idrologiche occorre determinare l'idrogramma di piena generato da quell'evento 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 applica 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 invaso 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 invaso 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:

$$p(t) - q(t) = K dq(t) / d(t)$$

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:

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

con i seguenti limiti di integrazione

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

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

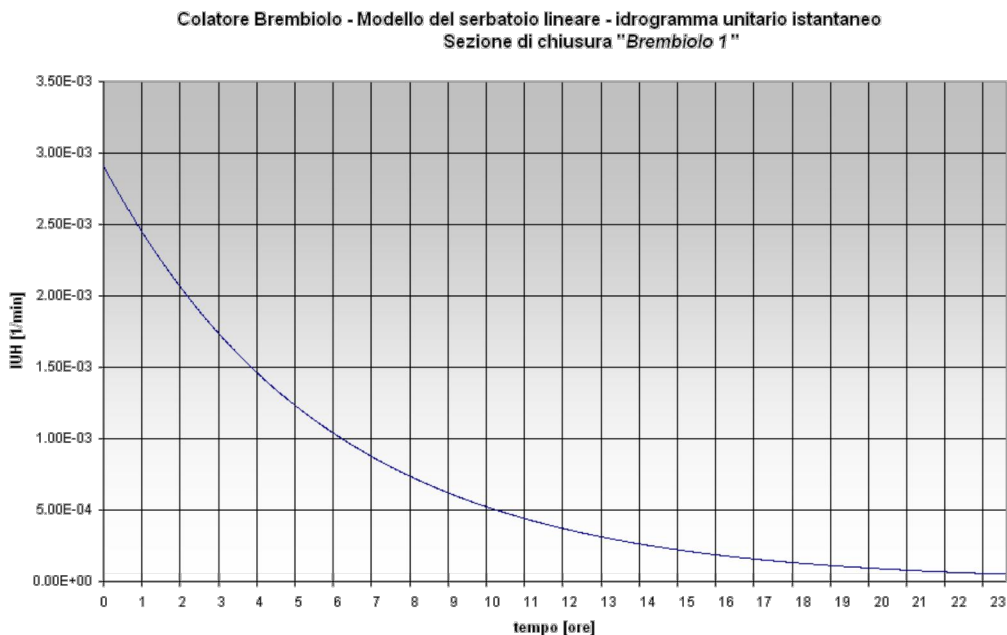
dove il termine $"1/K e^{-t/K}"$ è la forma analitica dell' IUH del metodo dell'invaso.

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:

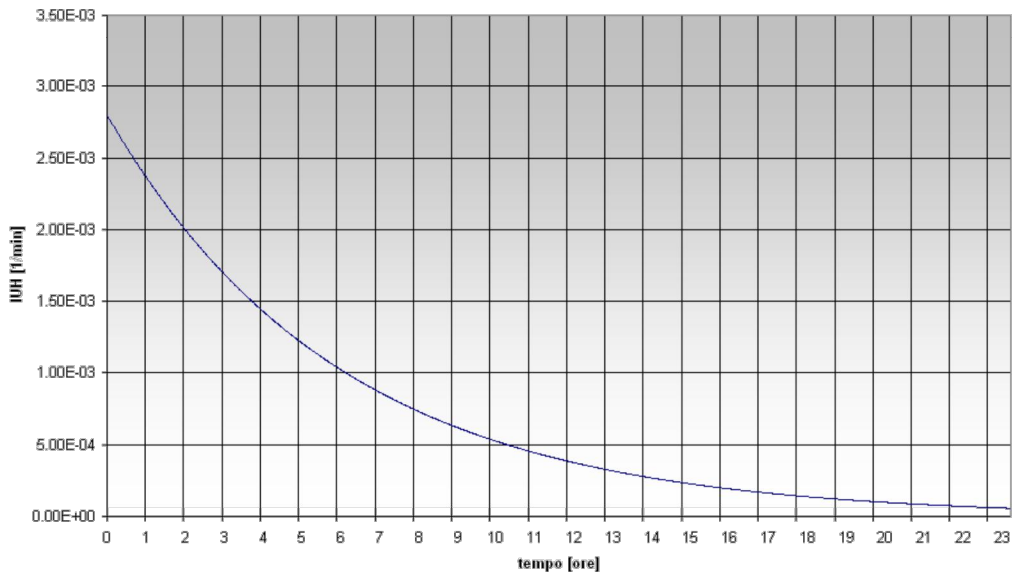
$$K = 0,7 t_c$$

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.

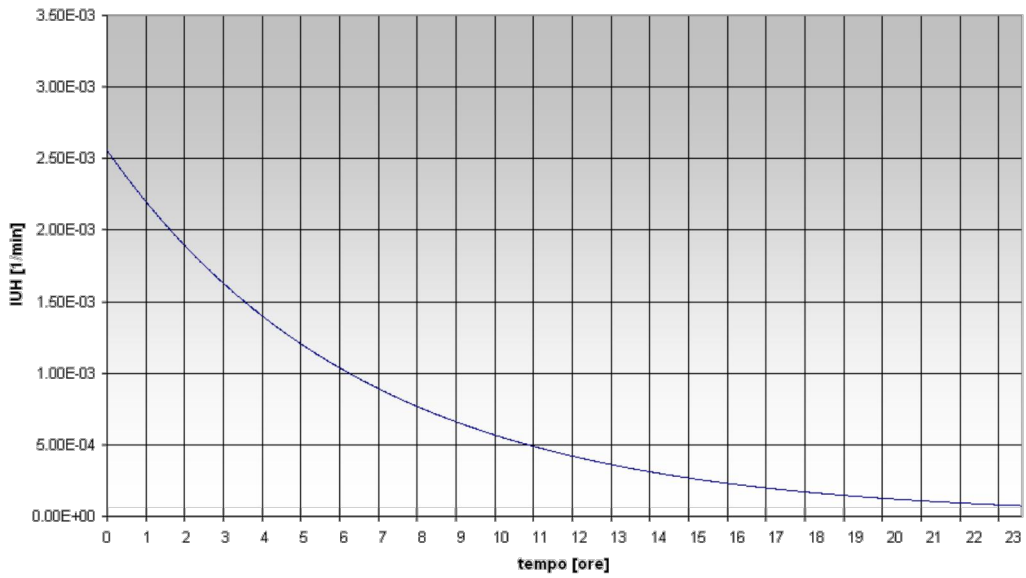
Di seguito sono riportate le diagrammazioni degli IUH determinati alle tre sezioni di interesse.



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



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



Calcolo delle portate 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 corrivazione 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.).

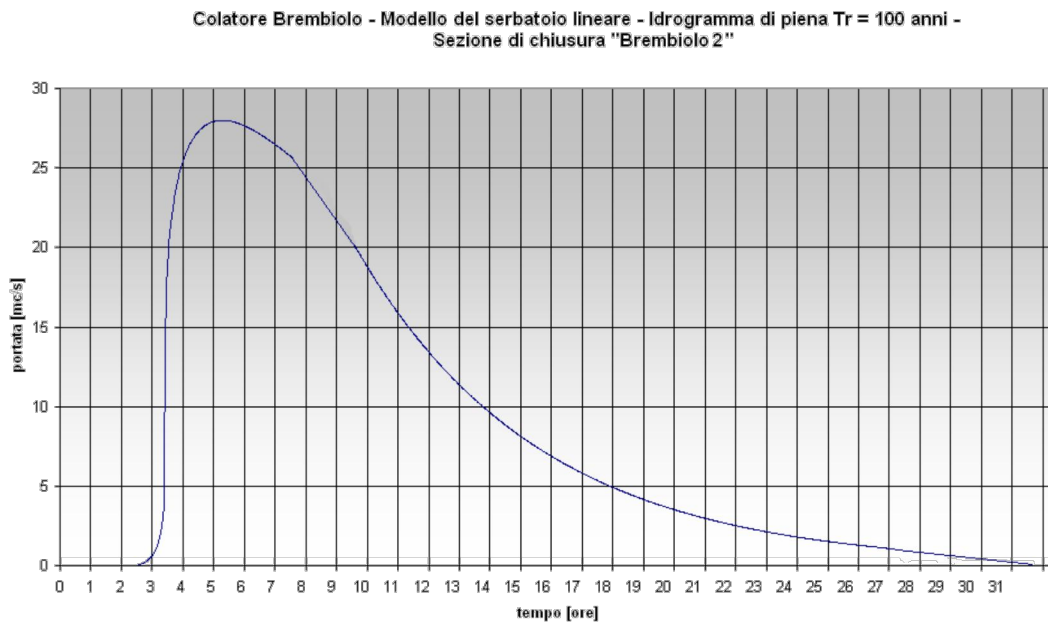
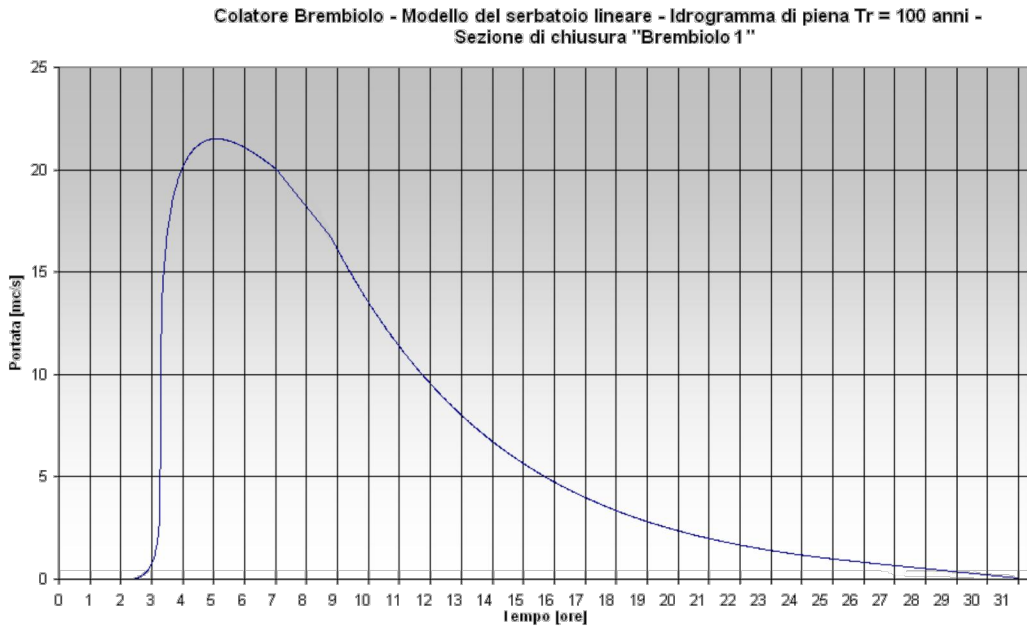
Trattandosi di un modello di tipo globale è stato valutato, come detto, il valore di CN medio ponderale riferito a ciascun bacino delle tre sezioni di interesse (vedasi la tabella riportata nell'ambito del paragrafo "perdite idrologiche modello di pioggia netta").

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.

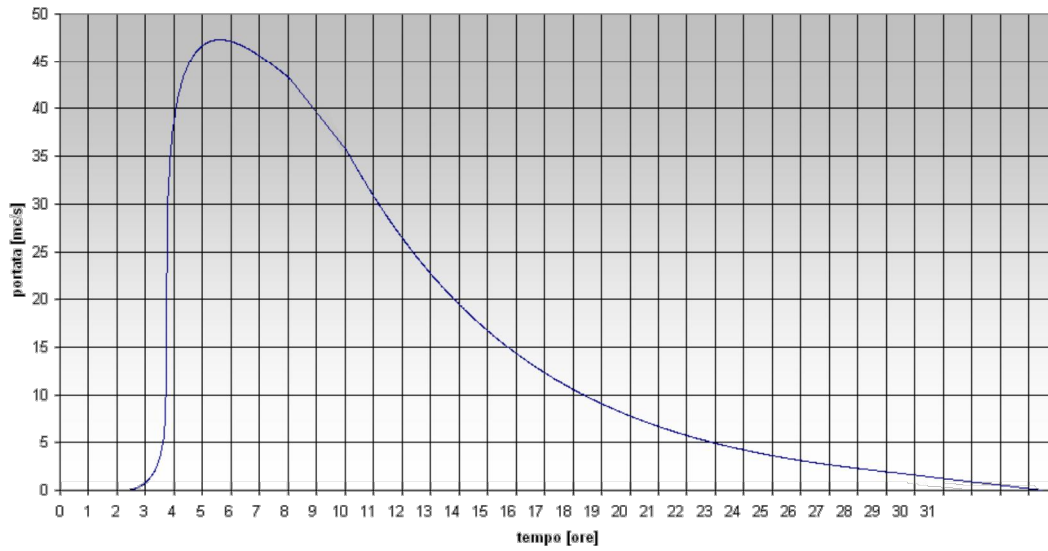
Nella tabella che segue sono riportati i valori di portata ottenuti nelle tre sezioni di chiusura per assegnato tempo di ritorno.

| Sezione di chiusura | 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] |
|----------------------------|--|---|---|
| Brembiolo 1 | 15,99 | 21,82 | 25,50 |
| Brembiolo 2 | 20,51 | 27,99 | 32,50 |
| Brembiolo 3 | 34,50 | 47,90 | 53,50 |

Nei grafici che seguono sono indicati gli idrogrammi di piena ottenuti per tempo di ritorno $Tr = 100$ 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 = 100 anni -
Sezione di chiusura "Brembiolo 3"



Appendice

Pluviometria di Lodi

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 |

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 | |

Test di adattabilità di Pearson

| Test di Pearson o del "chi quadro" | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|----|-------------|-----|-------------|
| gumbel | | | | | | | | | | | |
| 1h | 2h | 3h | 6h | 12h | 24h | 1h | 2h | 3h | 6h | 12h | 24h |
| 8 | 1.02857143 | 6 | 0.028571429 | 3 | 1.20714286 | 3 | 1.20714286 | 3 | 1.20714286 | 3 | 1.20714286 |
| 2 | 2.31428571 | 4 | 0.457142857 | 7 | 0.35 | 9 | 2.064285714 | 8 | 1.02857143 | 8 | 1.028571429 |
| 3 | 1.20714286 | 7 | 0.35 | 9 | 2.06428571 | 6 | 0.028571429 | 7 | 0.35 | 5 | 0.064285714 |
| 8 | 1.02857143 | 6 | 0.028571429 | 5 | 0.06428571 | 5 | 0.064285714 | 5 | 0.06428571 | 5 | 0.064285714 |
| 7 | 0.35 | 5 | 0.064285714 | 4 | 0.45714286 | 5 | 0.064285714 | 5 | 0.064285714 | 5 | 0.064285714 |
| chi*2 | 5.92857143 | 0.928571429 | 4.14285714 | 3.428571429 | 2.71428571 | 1.285714286 | | | | | |

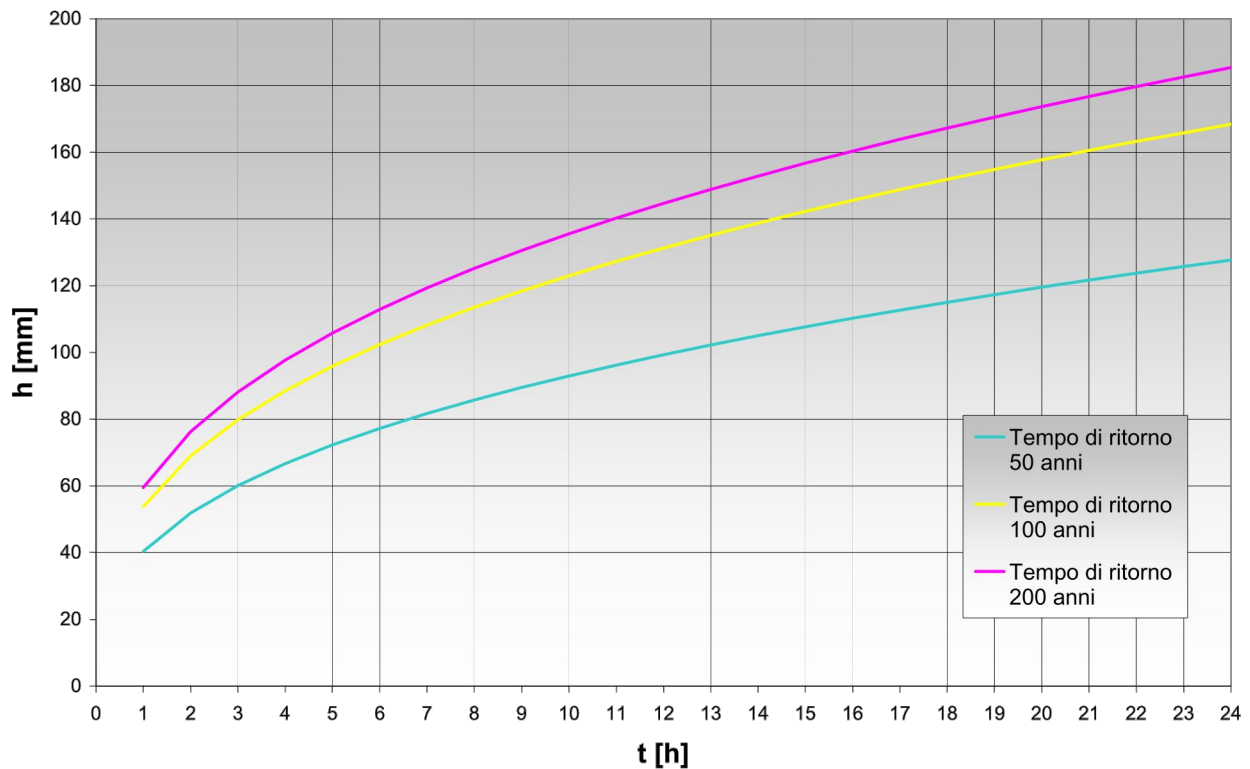
| lognormale | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|----|------------|-----|-------------|
| 1h | 2h | 3h | 6h | 12h | 24h | 1h | 2h | 3h | 6h | 12h | 24h |
| 9 | 2.06428571 | 8 | 1.028571429 | 8 | 1.02857143 | 8 | 1.028571429 | 11 | 5.20714286 | 10 | 3.457142857 |
| 2 | 2.31428571 | 7 | 0.35 | 10 | 3.45714286 | 9 | 2.064285714 | 5 | 0.06428571 | 6 | 0.028571429 |
| 8 | 1.02857143 | 7 | 0.35 | 5 | 0.06428571 | 6 | 0.028571429 | 6 | 0.02857143 | 5 | 0.064285714 |
| 8 | 1.02857143 | 3 | 1.207142857 | 3 | 1.20714286 | 3 | 1.207142857 | 3 | 1.20714286 | 4 | 0.457142857 |
| 1 | 3.77857143 | 3 | 1.207142857 | 2 | 2.31428571 | 2 | 2.314285714 | 3 | 1.20714286 | 3 | 1.207142857 |
| chi*2 | 10.2142857 | 4.142857143 | 8.07142857 | 6.642857143 | 7.71428571 | 5.214285714 | | | | | |

Curva di possibilità climatica

Si e' costruita la curva di possibilità climatica attraverso la distribuzione di Gumbel assunta come più aderente al campione

| 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



Pluviometria di Codogno

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 |

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 | |

Test di adattabilità di Pearson

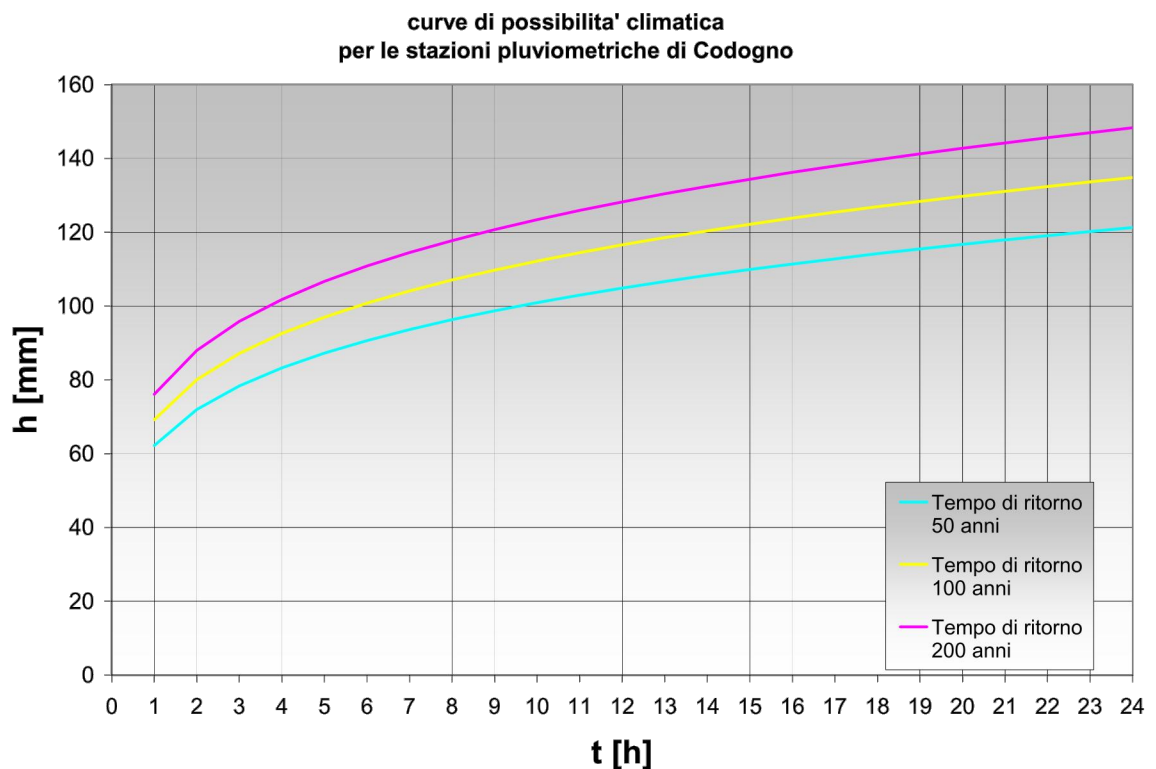
| Test di Pearson o del "chi quadro" | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-----|---|-----|---|-----|----|------|----|-----|
| gumbel | | | | | | | | | |
| 1h | 3h | | 6h | | 12h | | 24h | | |
| 5 | 0 | 3 | 0.8 | 5 | 0 | 2 | 1.8 | 2 | 1.8 |
| 3 | 0.8 | 2 | 1.8 | 6 | 0.2 | 10 | 5 | 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 |

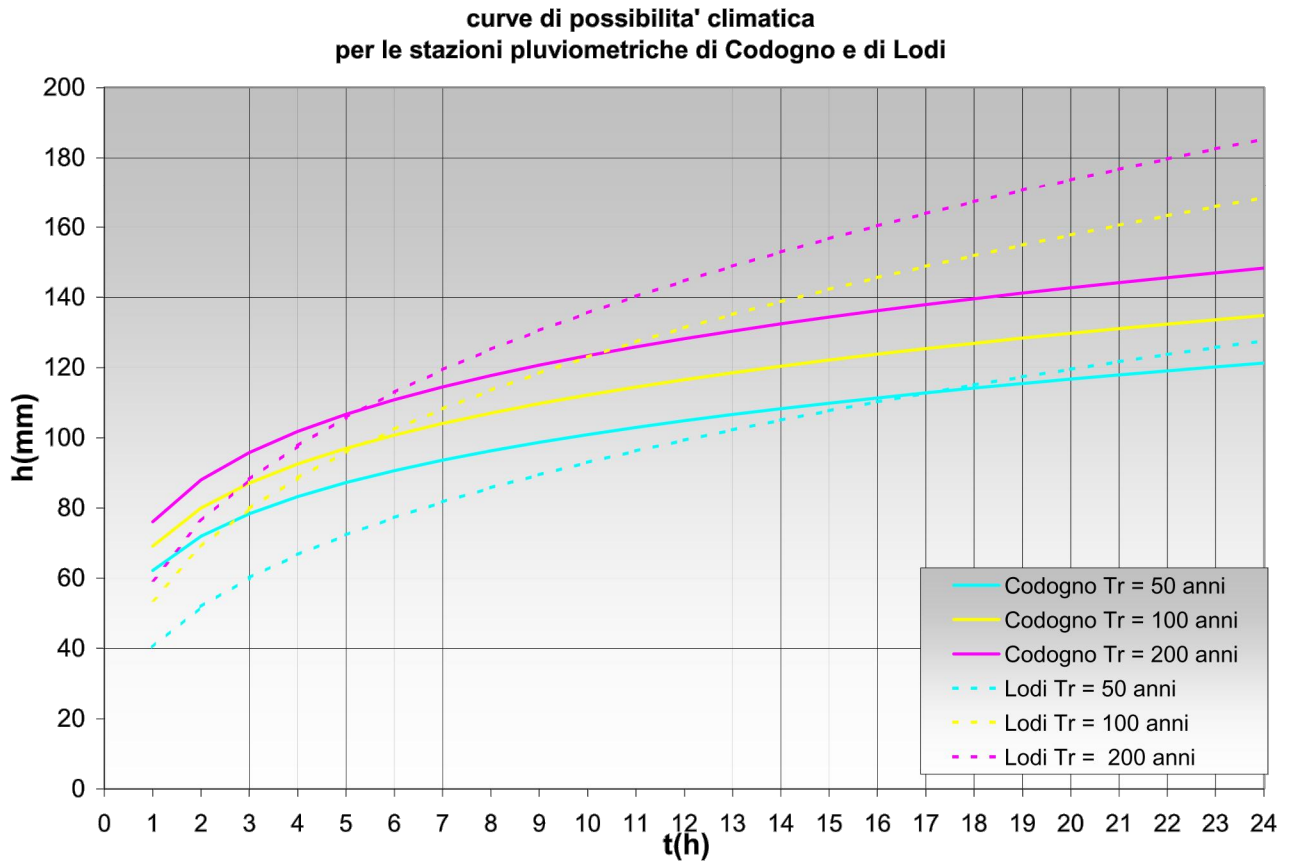
Curva di possibilità climatica

Si e' costruita la curva di possibilità climatica attraverso la distribuzione di Gumbel assunta come più aderente al campione

| 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 |



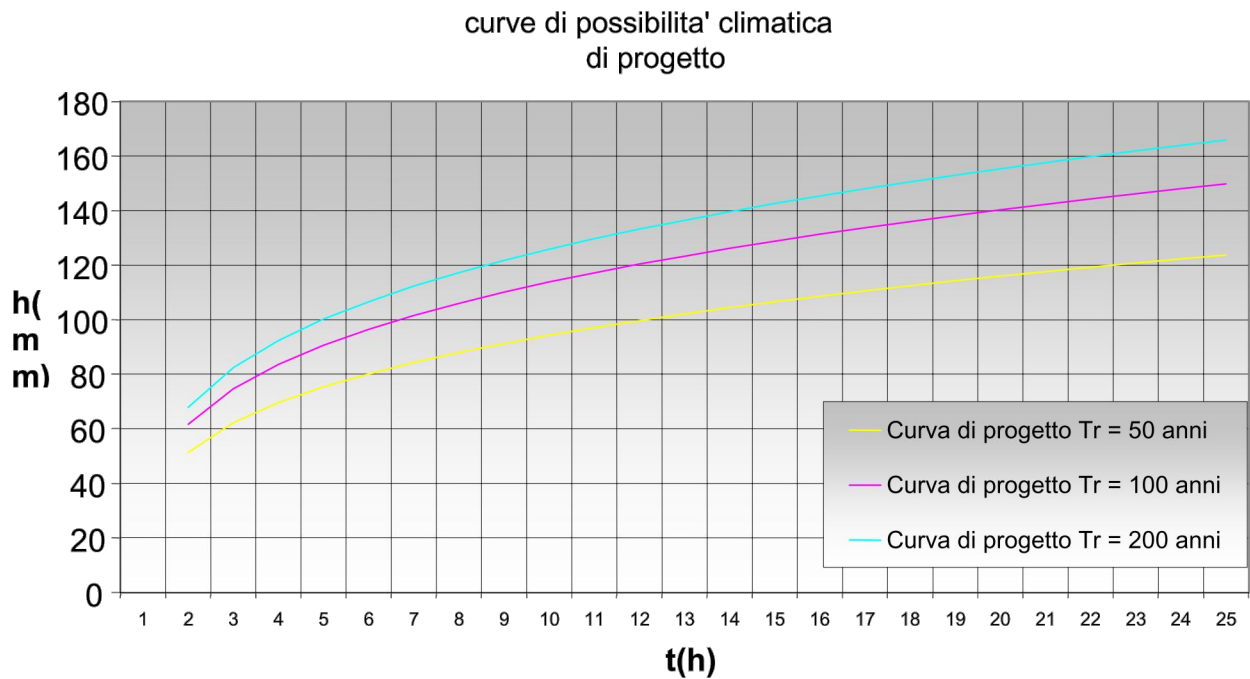
Confronto curve Lodi e Codogno



Curva di possibilità climatica di progetto

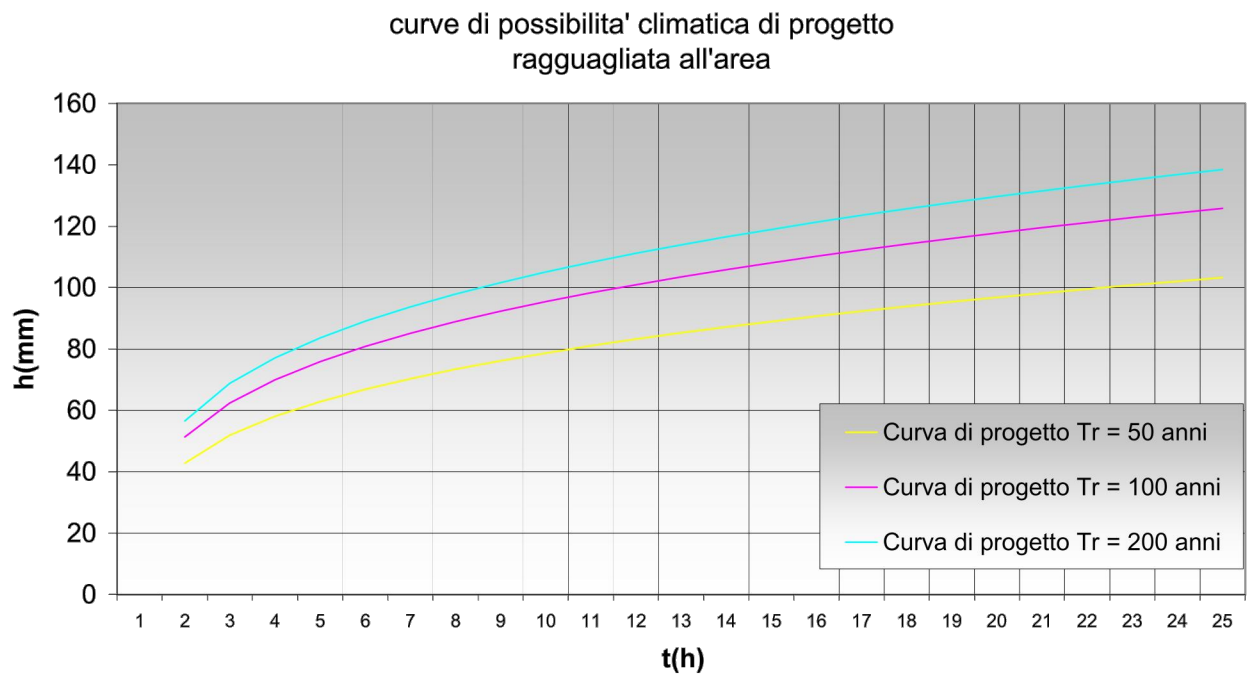
Facendo media delle altezze di pioggia di Lodi e Codogno e' stata determinata per interpolazione la curvadipossibilità pluviometrica che descrive meglio il regime pluviometrico sul bacino interessato.

| 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 |



Curva di progetto raggugiata all'area

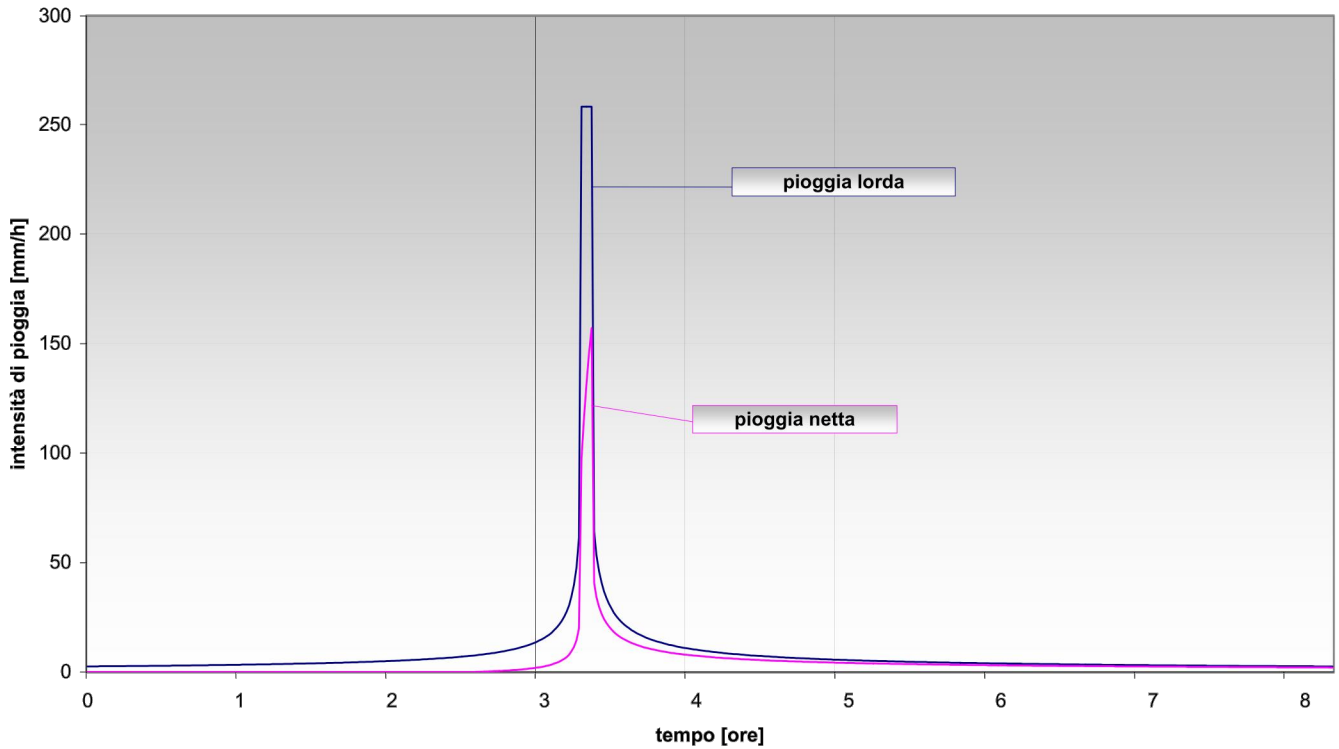
| Curva di possibilità climatica - Pluviometro di Codogno | | |
|---|-------|--------|
| tempo di ritorno T_r | a | n |
| 200 | 56,61 | 0,2815 |
| 100 | 51,35 | 0,2821 |
| 50 | 42,82 | 0,2771 |



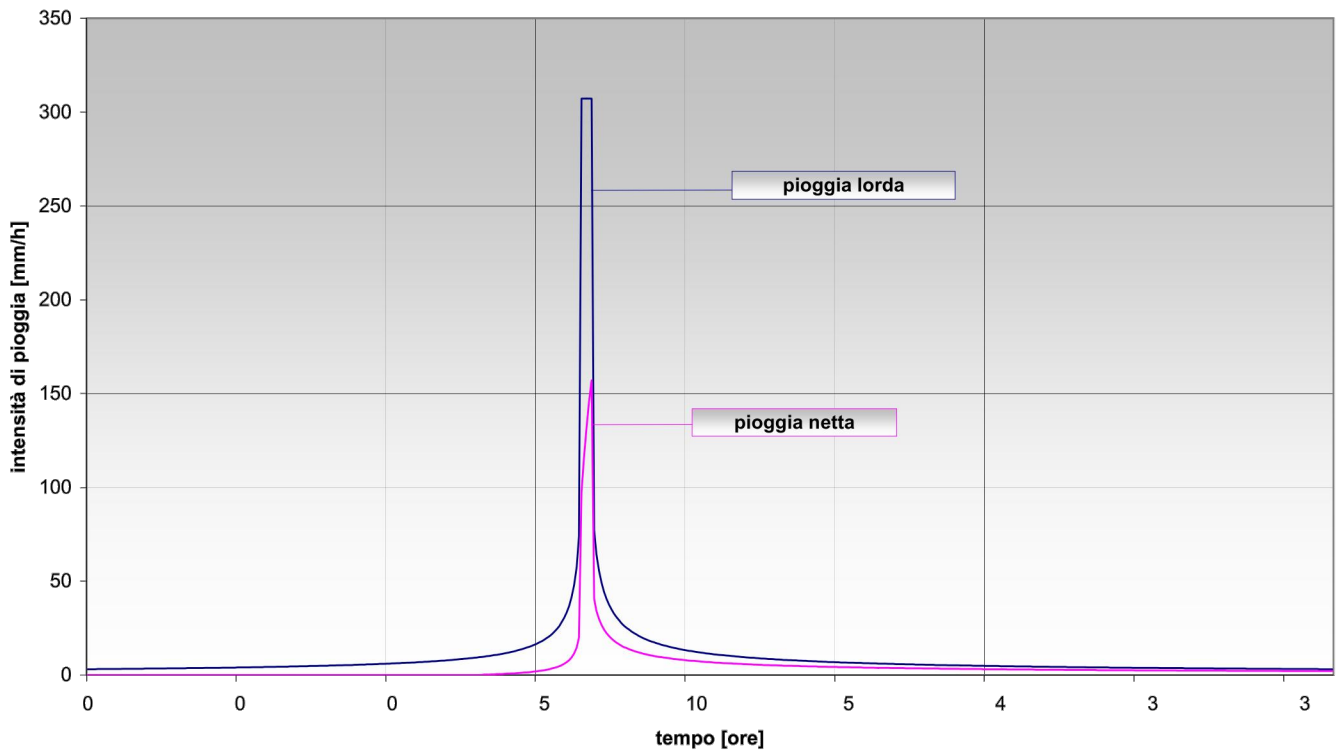
Ietogrammi Chicago ragguagliati e ragguagliati netti per $Tr = 50, 100, 200$

Sezione di chiusura "Brembiolo 1"

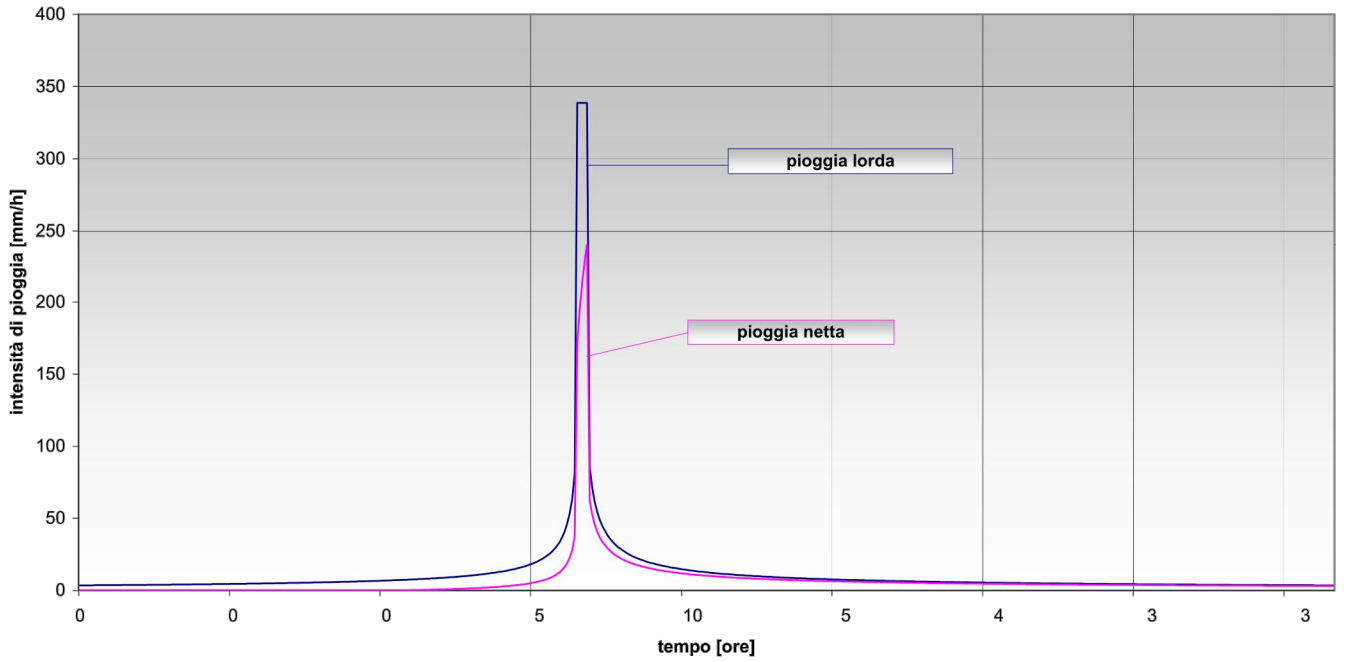
Colatore Brembiolo - confronto tra ietogramma chicago ragguagliato (pioggia lorda) e ietogramma chicago ragguagliato netto (pioggia netta) $Tr = 50$ anni- Sezione di chiusura "Brembiolo 1"



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

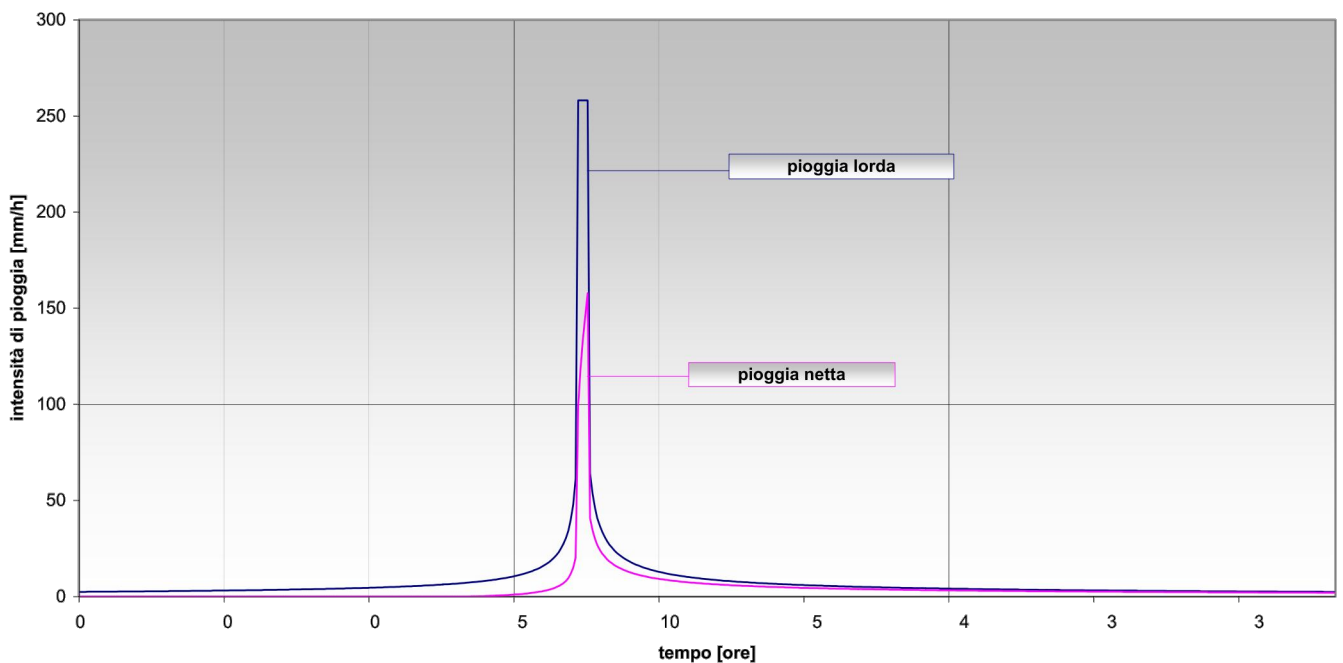


Colatore Brembiolo - confronto tra ietogramma chicao ragguagliato (pioggia lorda) e ietogramma chicao ragguagliato netto (pioggia netta) Tr = 200 anni- Sezione di chiusura "Brembiolo 1"

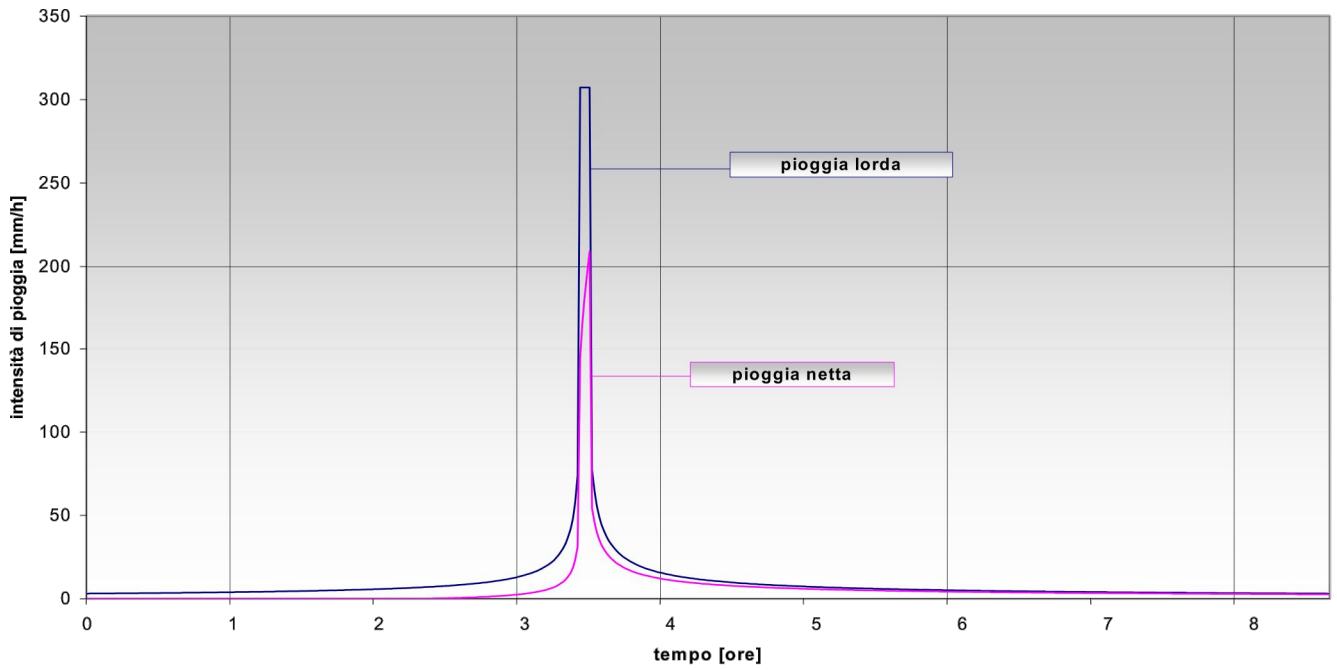


Sezione di chiusura "Brembiolo 2"

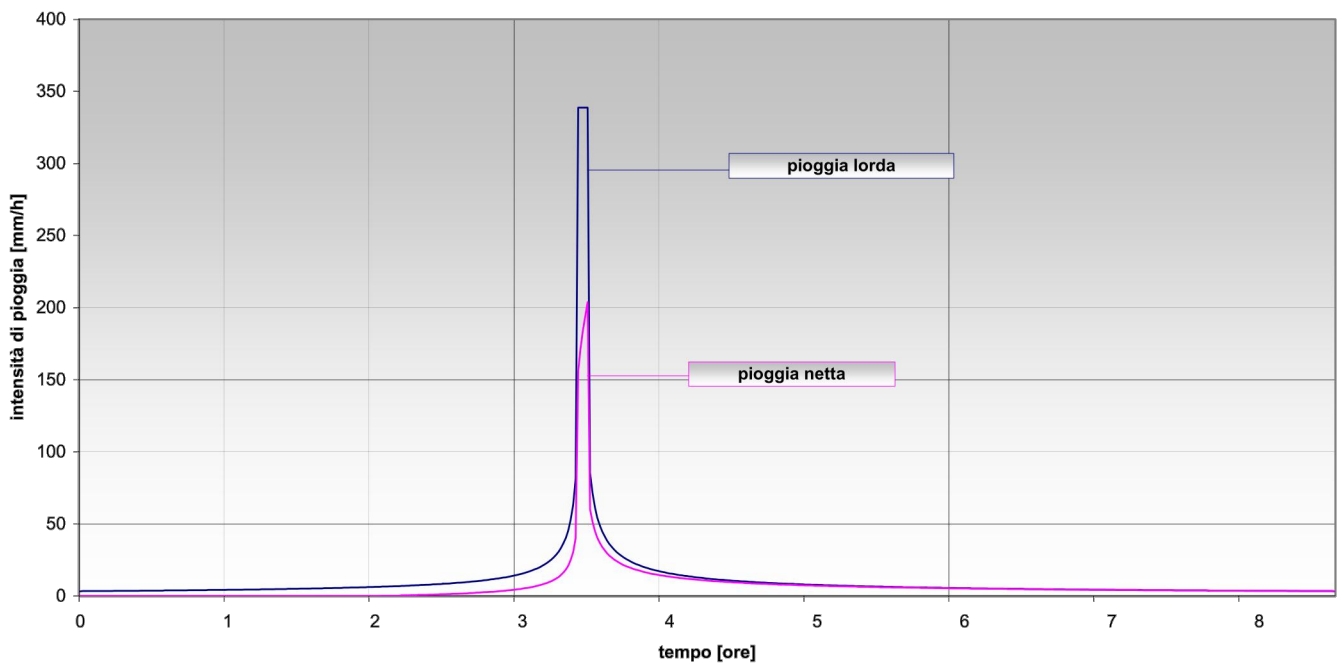
Colatore Brembiolo - confronto tra ietogramma chicao ragguagliato (pioggia lorda) e ietogramma chicao ragguagliato netto (pioggia netta) Tr = 50 anni- Sezione di chiusura "Brembiolo 2"



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

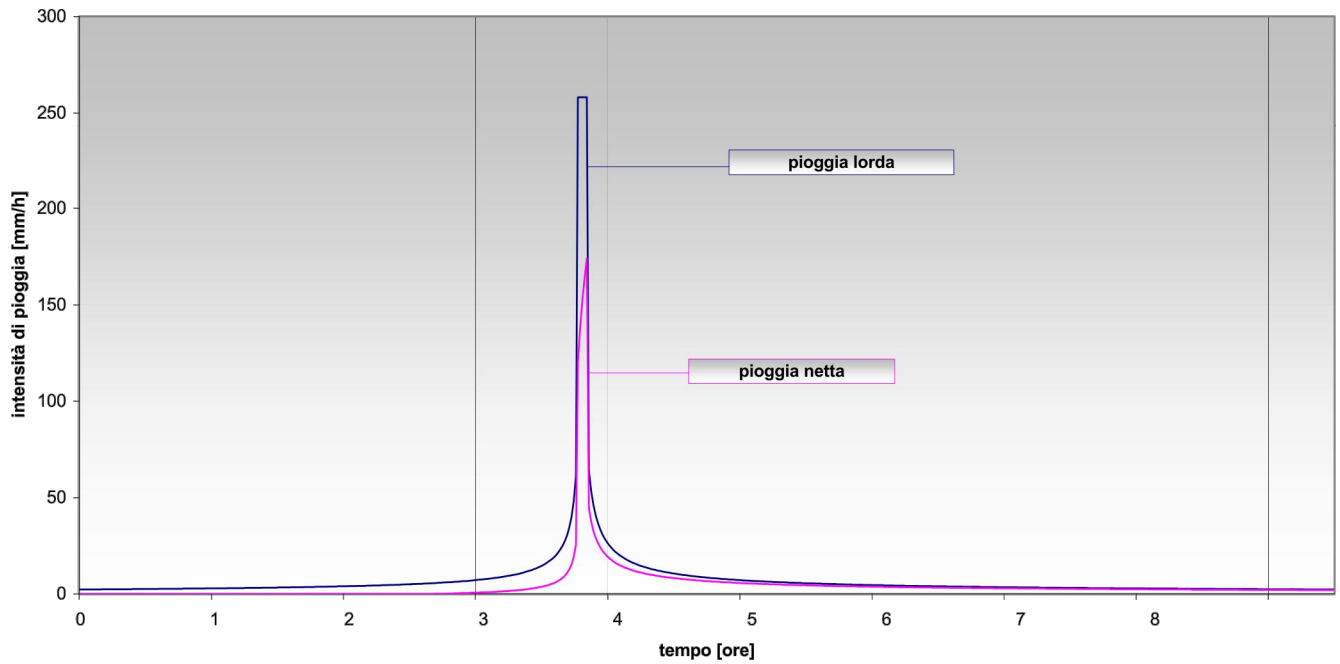


Colatore Brembiolo - confronto tra ietogramma chicago ragguagliato (pioggia lorda) e ietogramma chicago ragguagliato netto (pioggia netta) Tr = 200 anni- Sezione di chiusura "Brembiolo 2"

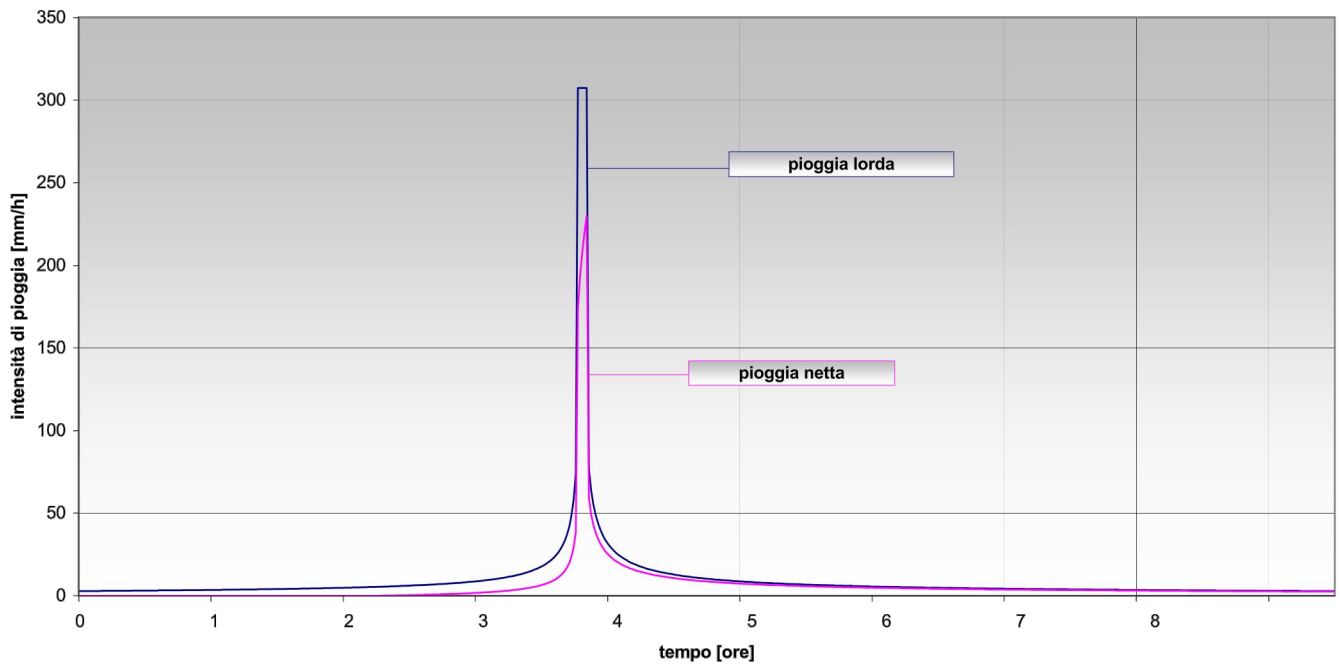


Sezione di chiusura "Brembiolo 3"

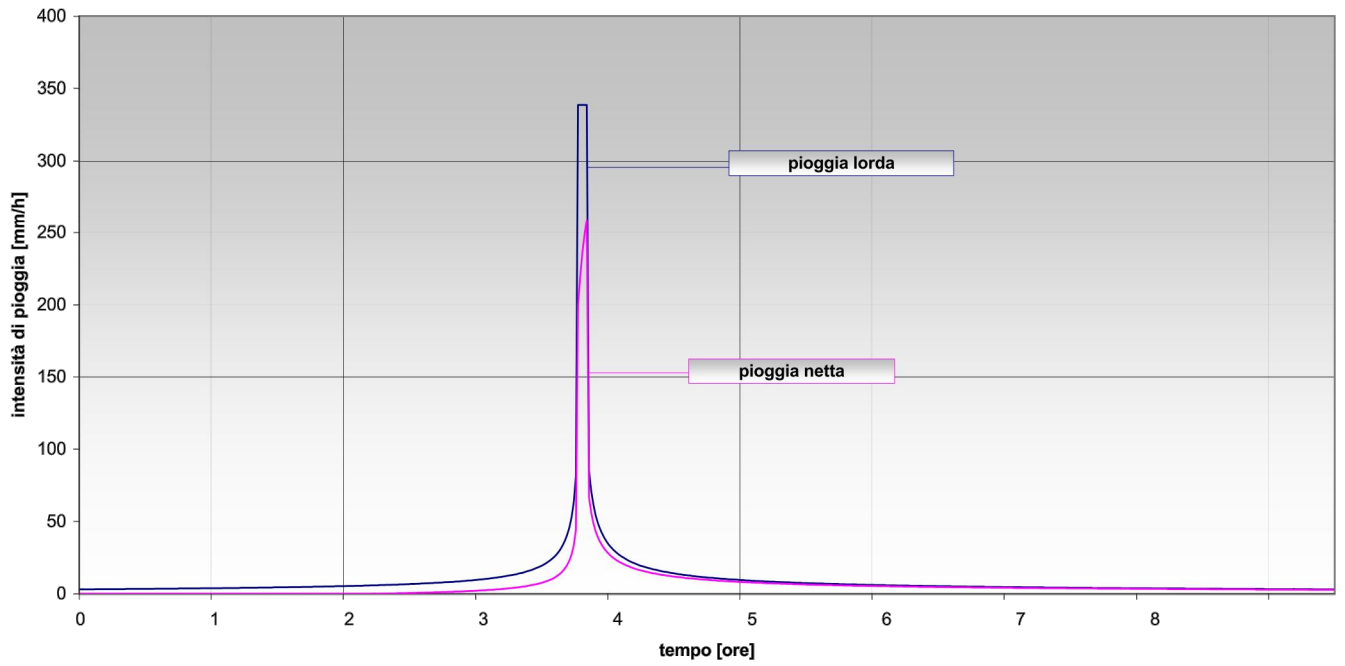
Colatore Brembiolo - confronto tra ietogramma chicao ragguagliato (pioggia lorda) e ietogramma chicao ragguagliato netto (pioggia netta) Tr = 50 anni- Sezione di chiusura "Brembiolo 3"



Colatore Brembiolo - confronto tra ietogramma chicao ragguagliato (pioggia lorda) e ietogramma chicao 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"

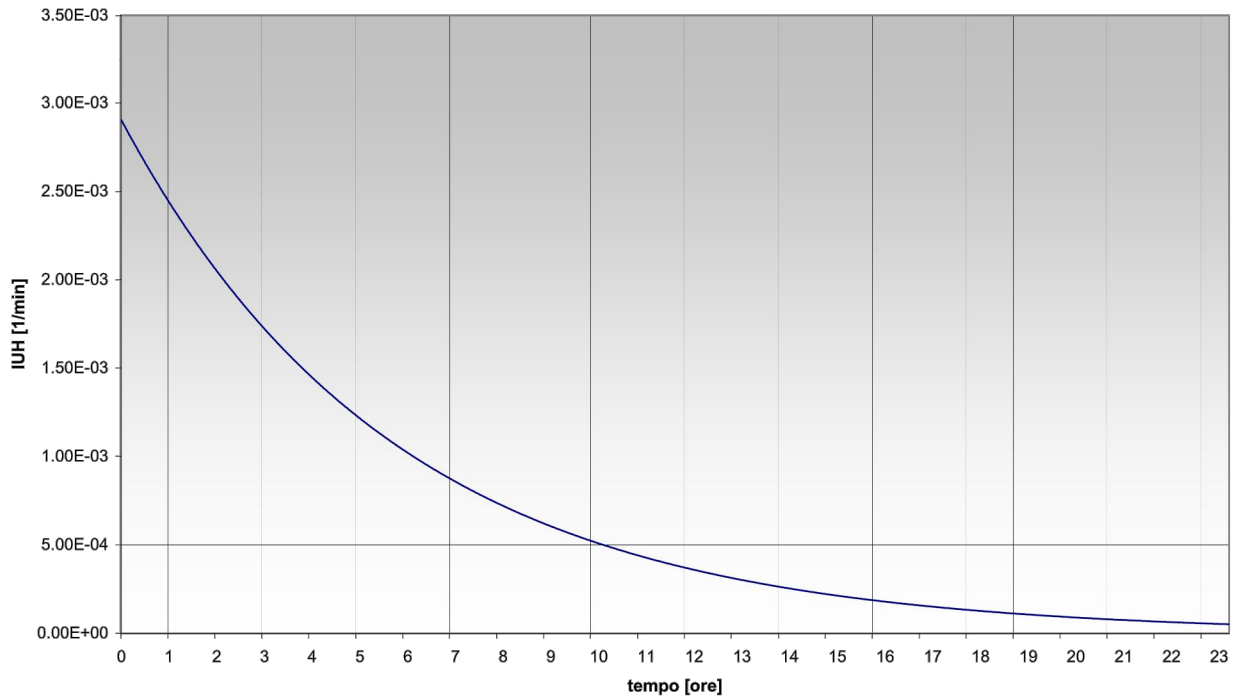


Modello afflussi - deflussi

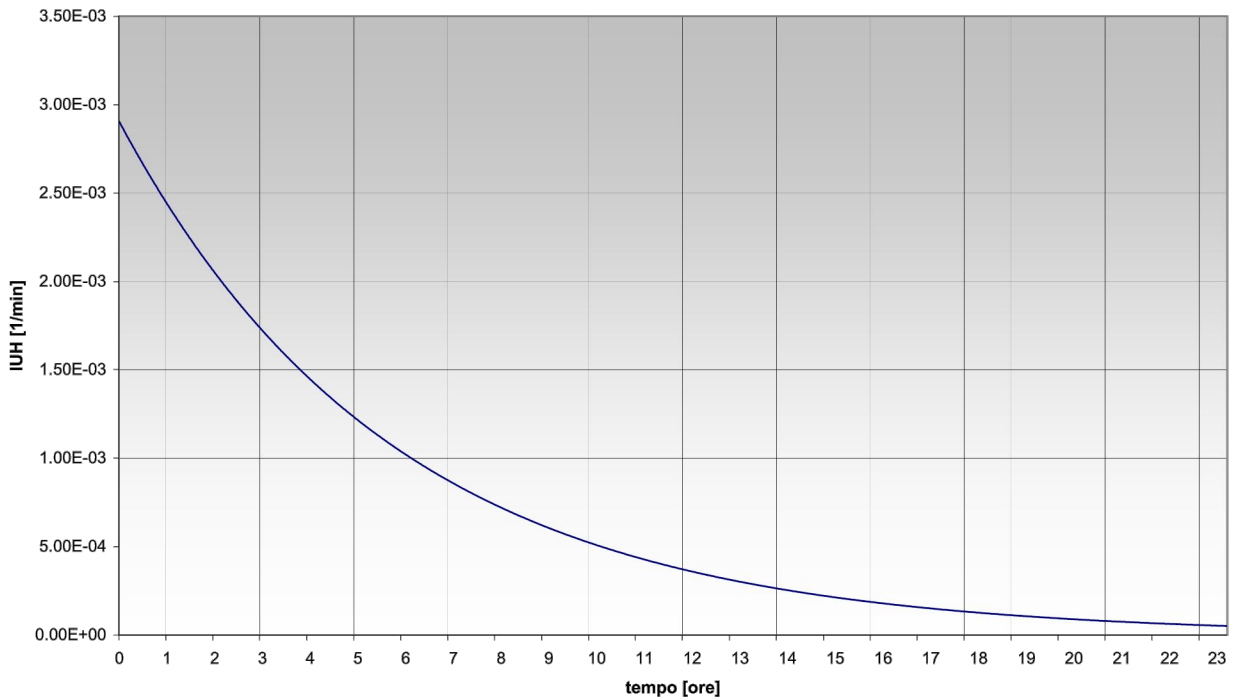
Idrogramma unitario istantaneo IUH del modello dell'invaso lineare

Sezione di chiusura "Brembiolo 1"

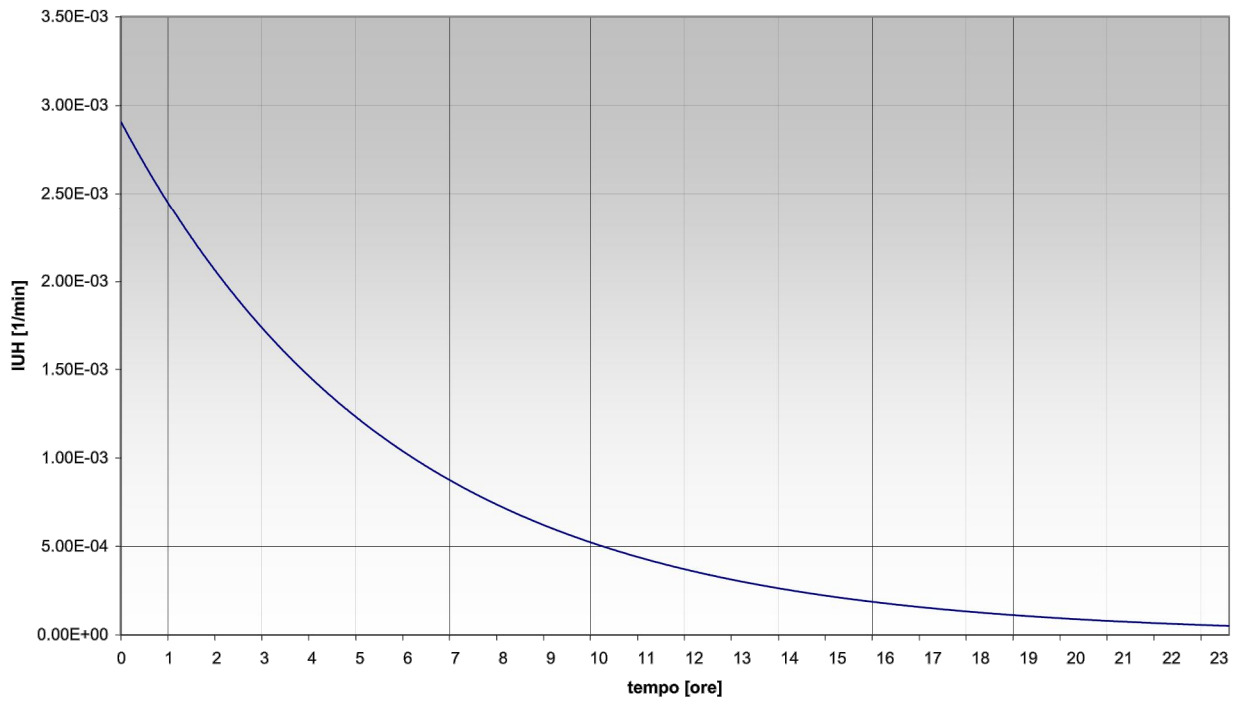
Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - idrogramma unitario istantaneo
Tr = 50 anni - Sezione di chiusura "Brembiolo 1"



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

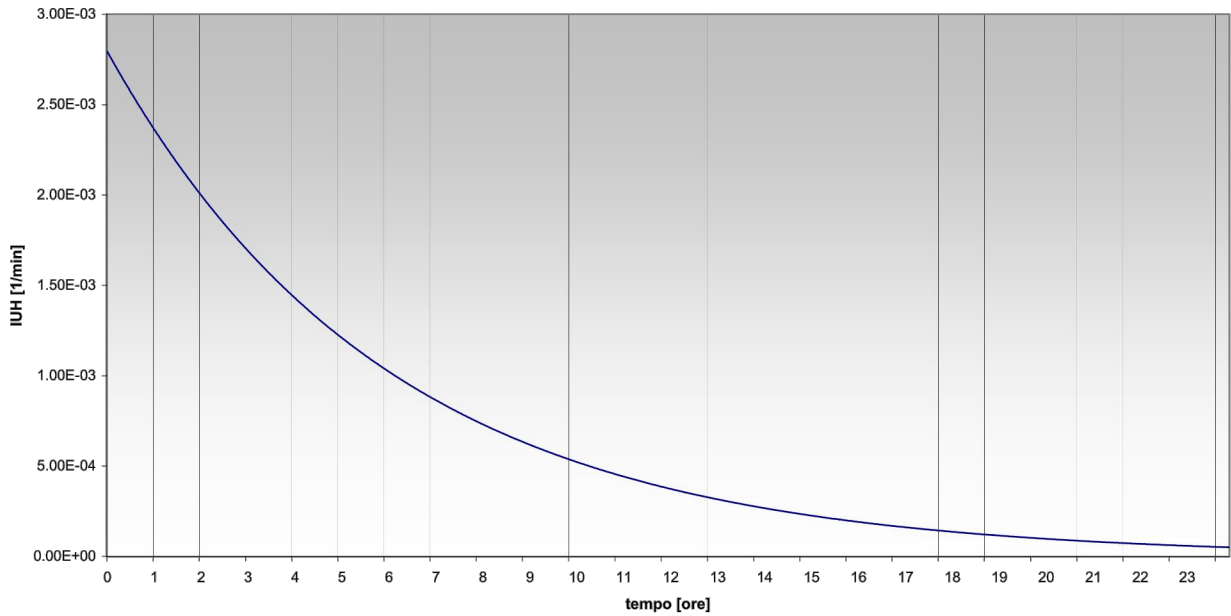


Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - idrogramma unitario istantaneo
Tr = 200 anni - Sezione di chiusura "Brembiolo 1"

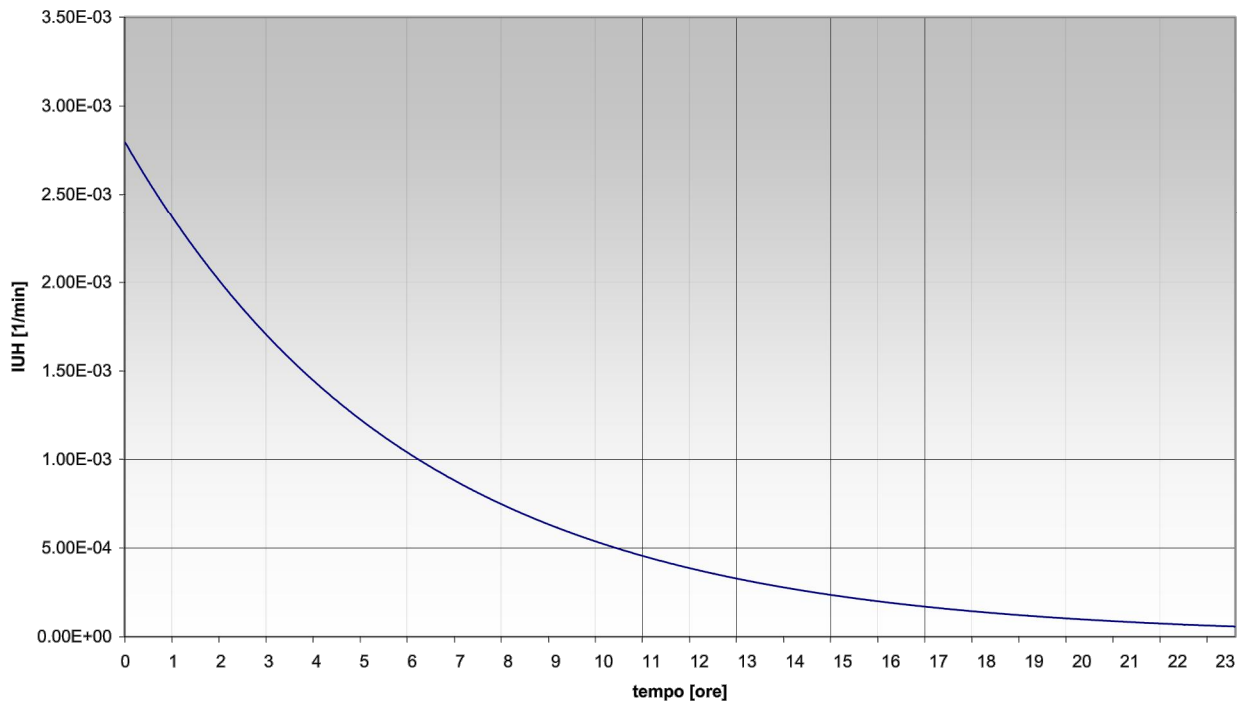


Sezione di chiusura "Brembiolo 2"

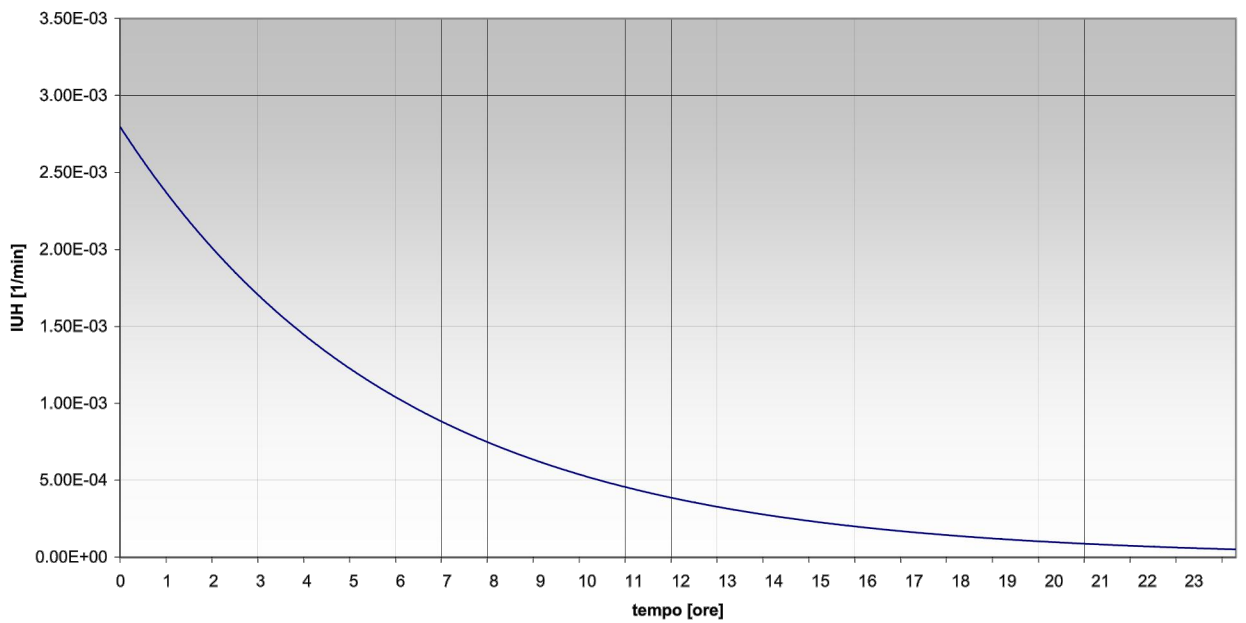
Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - idrogramma unitario istantaneo
Tr = 50 anni - Sezione di chiusura "Brembiolo 2"



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

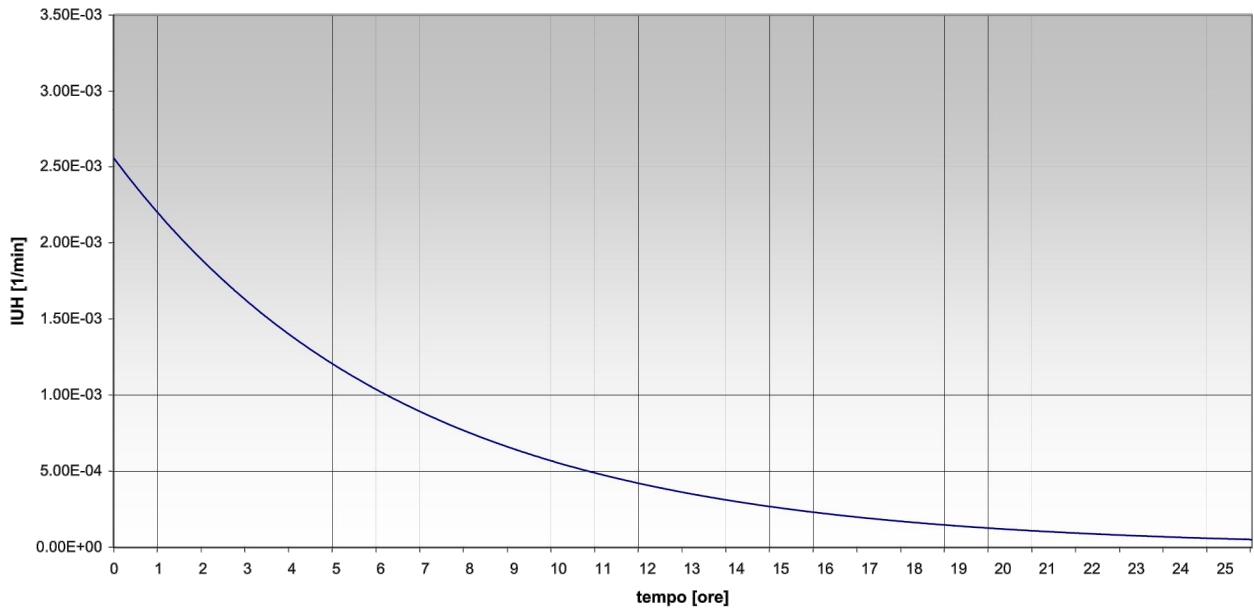


Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - idrogramma unitario istantaneo
Tr = 200 anni - Sezione di chiusura "Brembiolo 2"

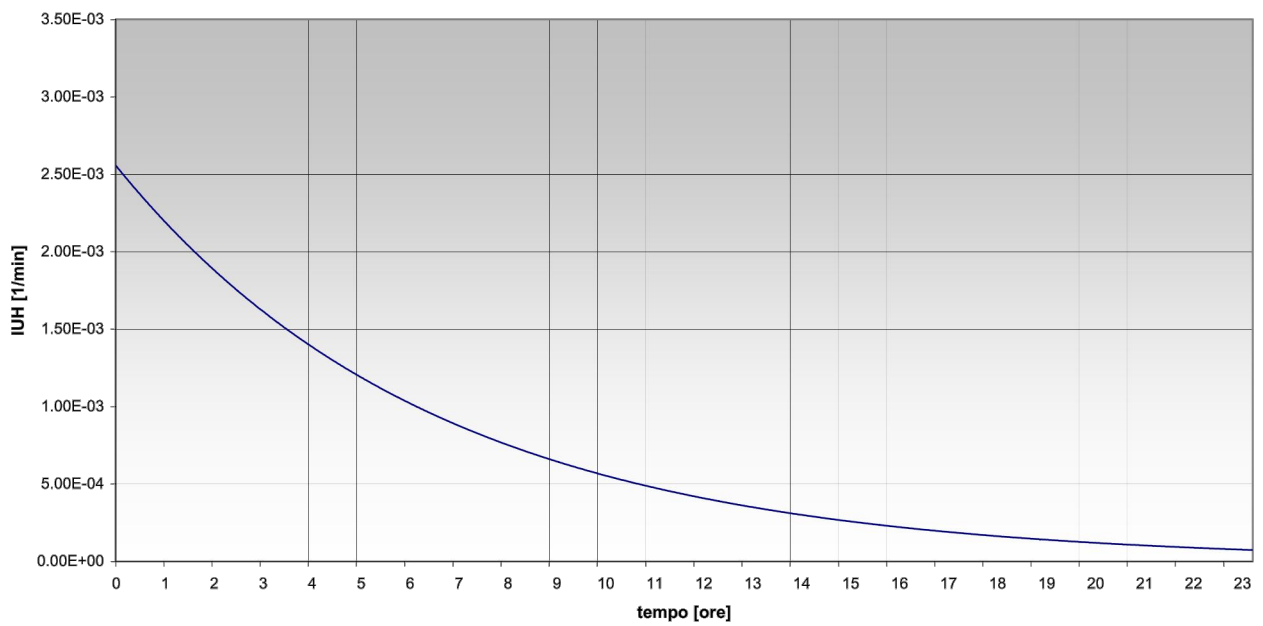


Sezione di chiusura "Brembiolo 3"

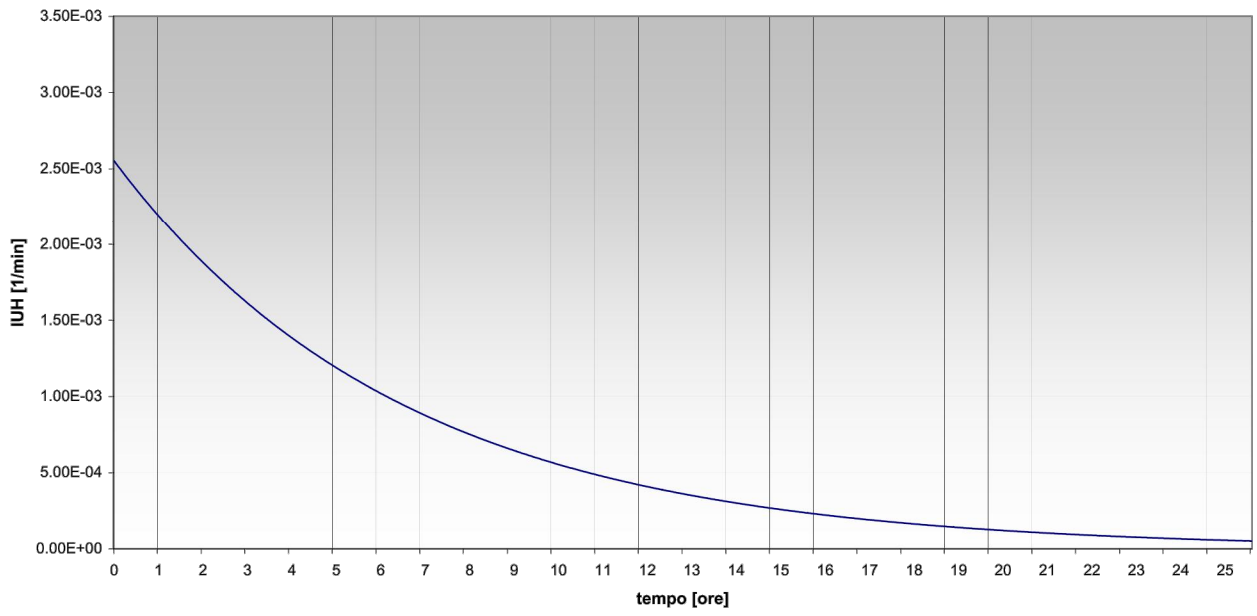
Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - idrogramma unitario istantaneo
Tr = 50 anni - Sezione di chiusura "Brembiolo 3"



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



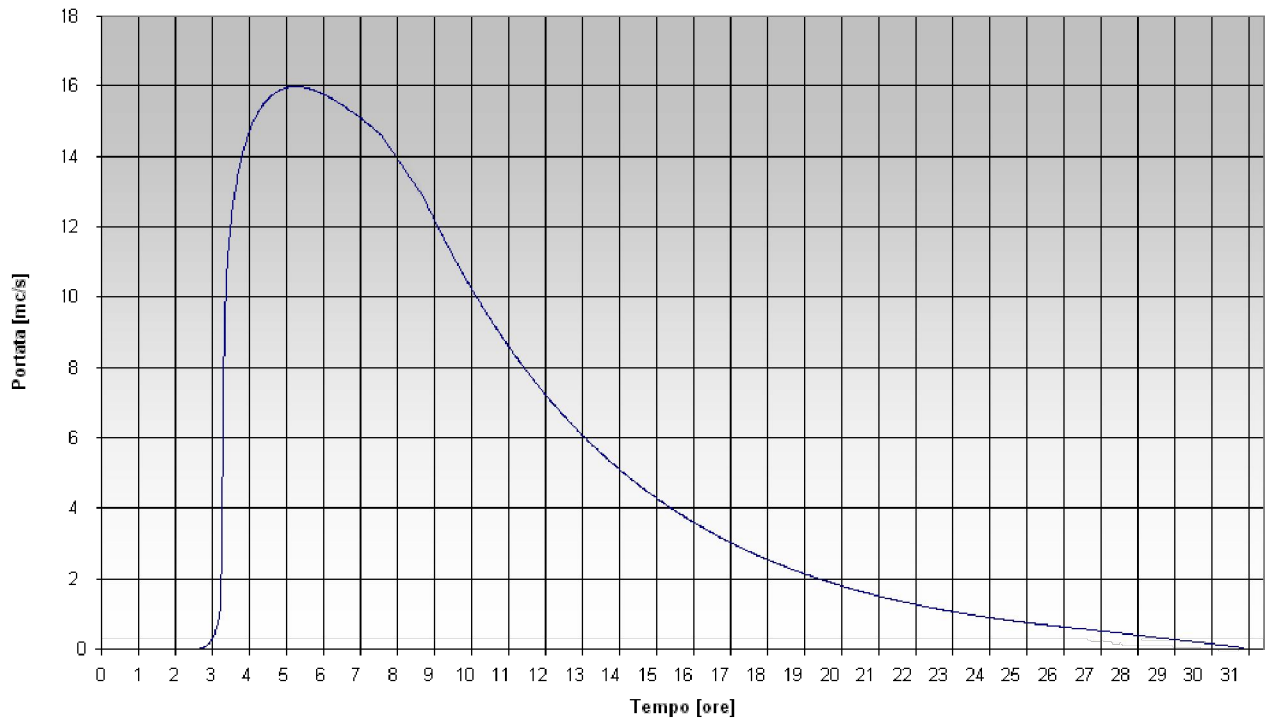
Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - idrogramma unitario istantaneo
Tr = 200 anni - Sezione di chiusura "Brembiolo 3"



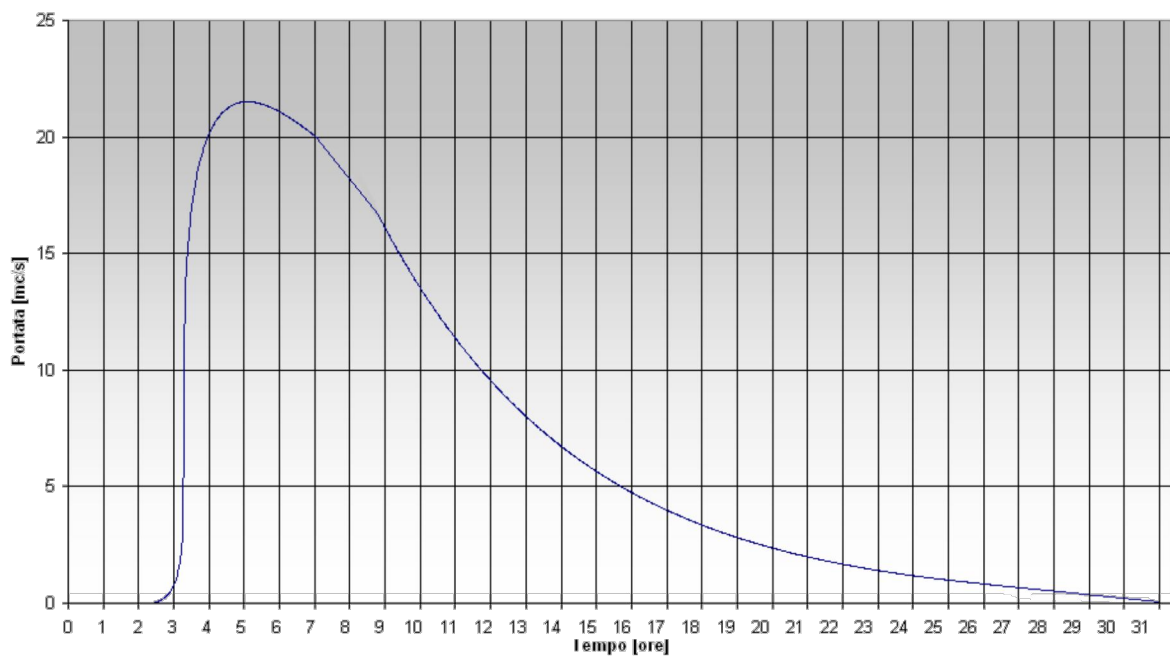
Idrogramma di piena

Sezione di chiusura "Brembiolo 1"

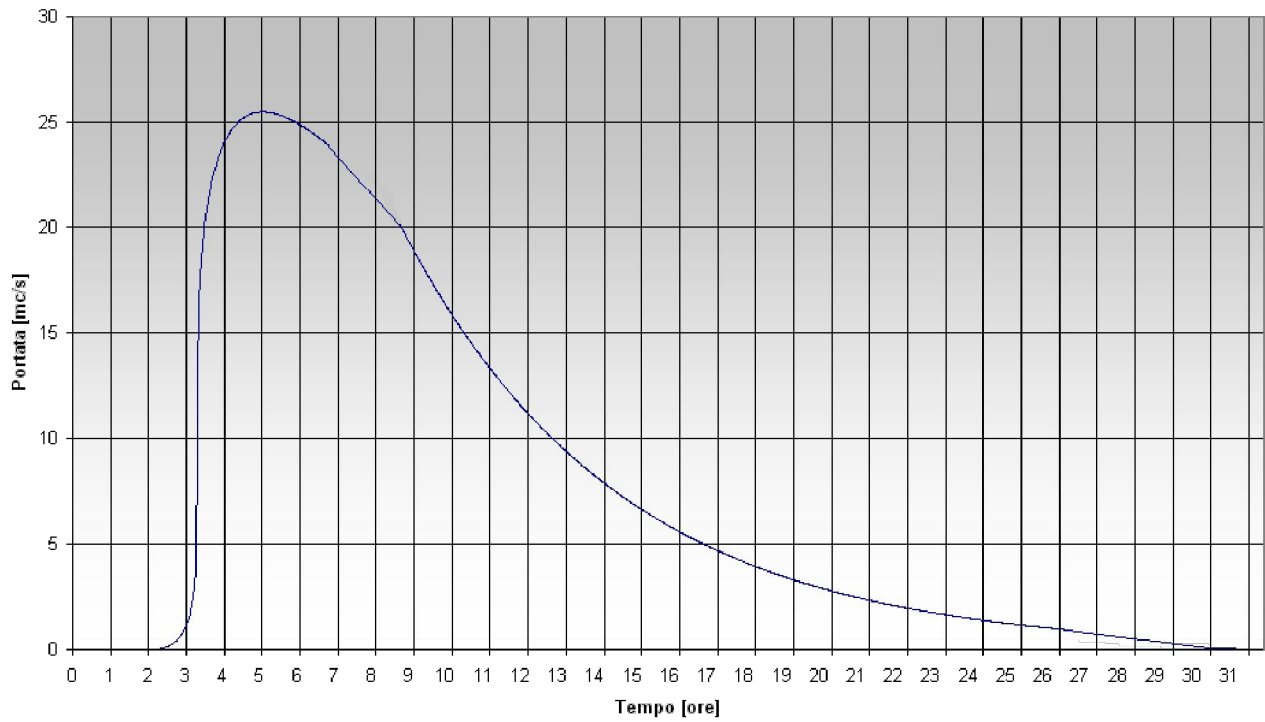
Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - Idrogramma di piena $T_r = 50$ anni -
Sezione di chiusura "Brembiolo 1"



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

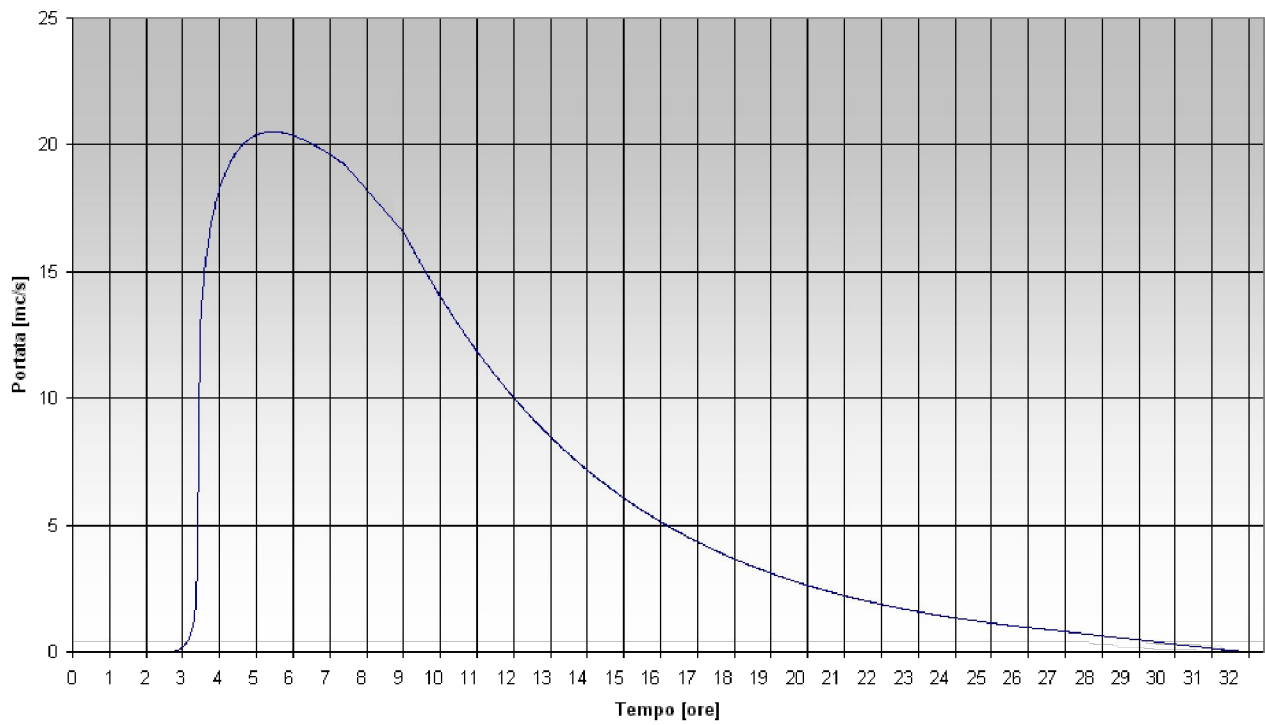


Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - Idrogramma di piena $T_r = 200$ anni -
Sezione di chiusura "Brembiolo 1"

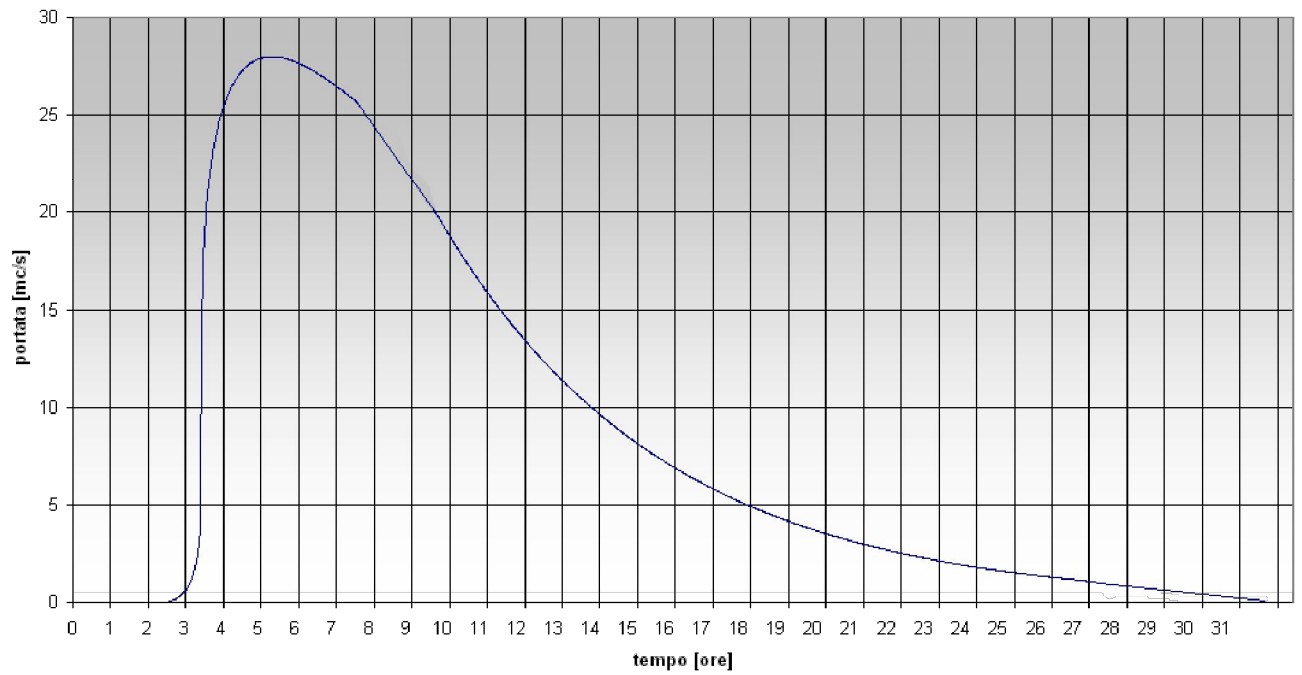


Sezione di chiusura "Brembiolo 2"

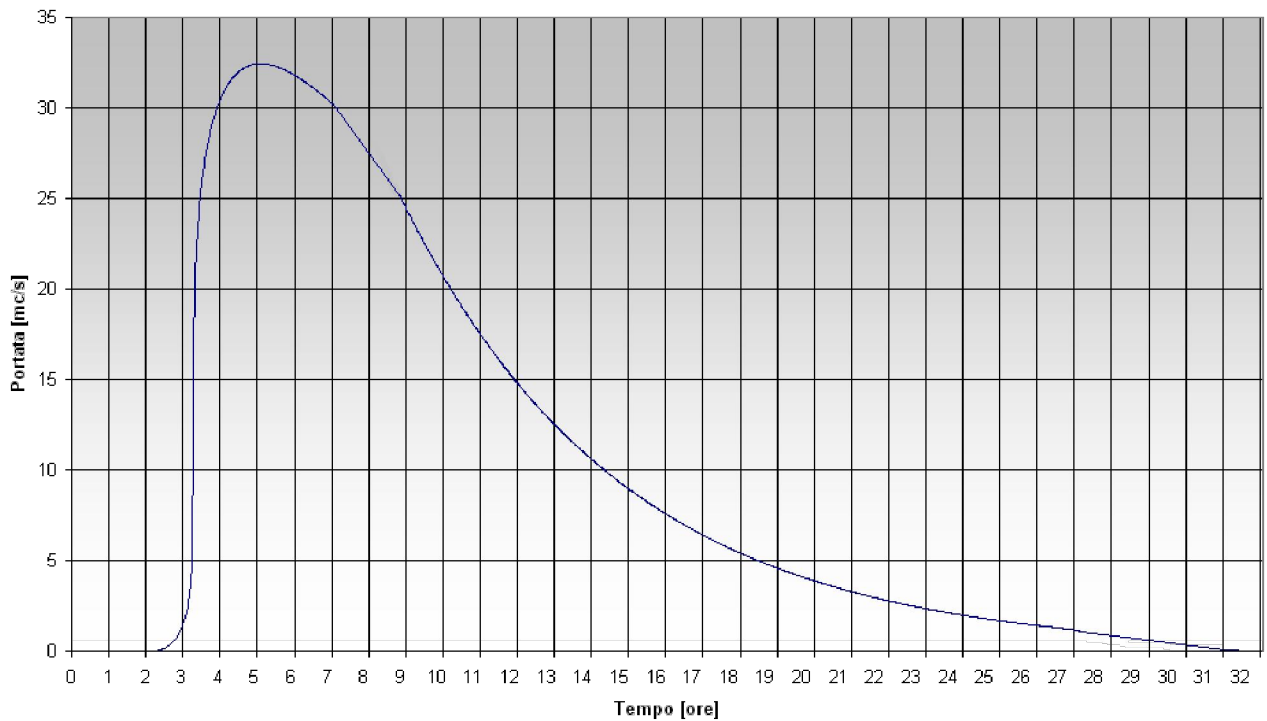
Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - Idrogramma di piena $T_r = 50$ anni -
Sezione di chiusura "Brembiolo 2"



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

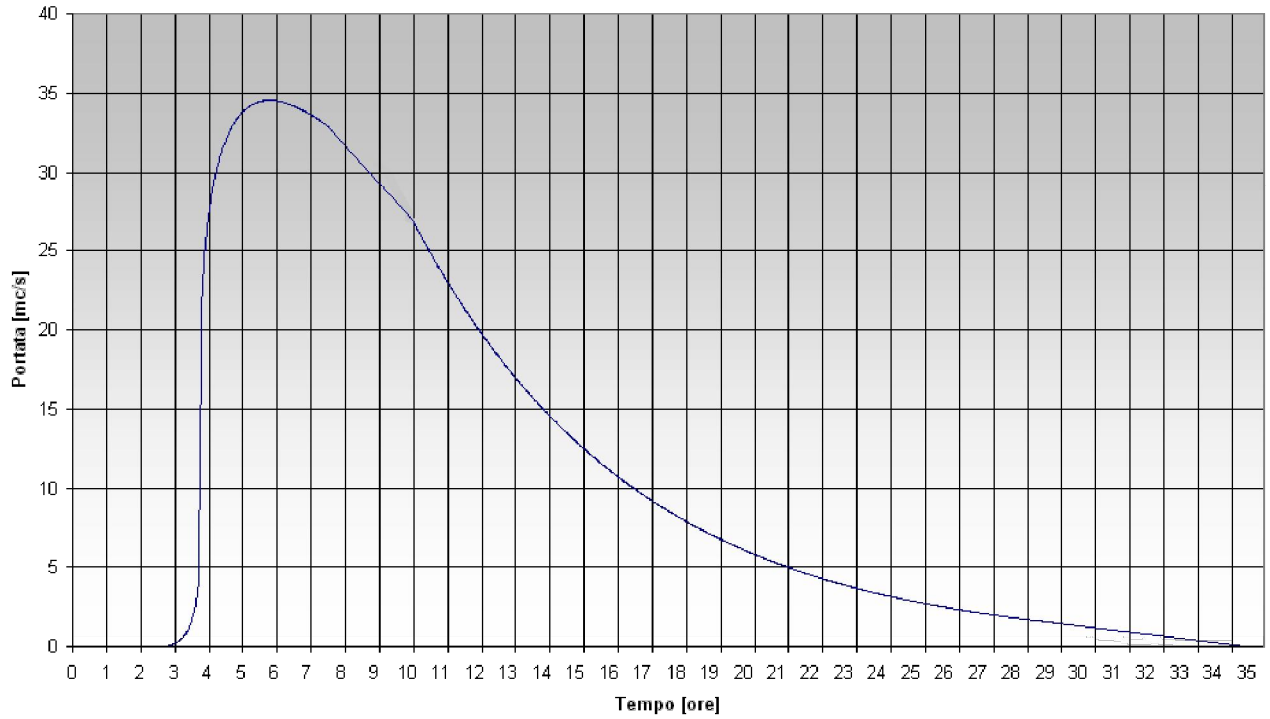


Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - Idrogramma di piena $Tr = 200$ anni -
Sezione di chiusura "Brembiolo 2"

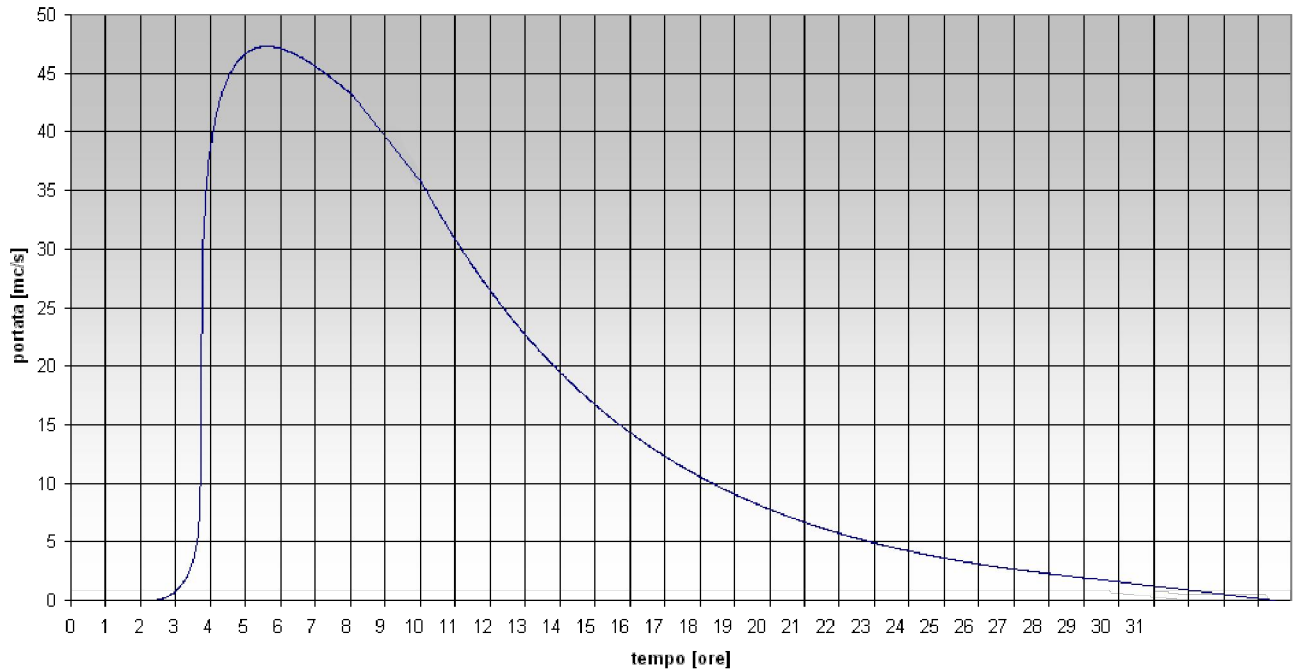


Sezione di chiusura "Brembiolo 3"

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



Colatore Brembiolo - Modello del serbatoio lineare - Idrogramma di piena Tr = 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"

