

Comune di Casale Monferrato

Settore Pianificazione Urbana e Territoriale

Provincia di Alessandria

Verifica di compatibilità idraulica delle previsioni del P.R.G.C.
ai sensi dell'art.18 comma 2 delle norme di attuazione del PAI
circolare del P.G.R. 8 maggio 1996 n.7/LAP



Commessa
det.n°57 del 04/10/2001

Elaborato
B

Scala
—

Data

Relazione idrologica

Dott. Ing. Cristiano CAVALLO

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino
Posizione n. 8177F
Cod. Fisc. CVL CST70 C02 E506S

Gruppo di lavoro

Dott. Ing. Roberto SESENNA
Dipl. Ing. Fabio AMBROGIO

Consulenza Geologica
Studio PROGEO – Dott. Stefano SARTINI

R&C Studio Associato – CONSULENZA E PROGETTAZIONE INGEGNERIA IDRAULICA
C.so Francia,171bis – 10139 – Torino – tel./fax. (011) 747285 – e-mail: RC_ingegneria@libero.it

Diritti riservati ex art. 2578 C.C. – Riproduzione e consegna a terzi solo su specifica autorizzazione.

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. PRINCIPALI CARATTERISTICHE DEI BACINI IDROGRAFICI.....	4
2.1 CONSIDERAZIONI SUI BACINI DEI SINGOLI CORSI D'ACQUA	4
2.2 PARAMETRI DI FORMA	6
2.3 ANALISI DELL'ACCLIVITÀ DEI BACINI	7
2.3.1 Pendenza media dei versanti dei bacini	8
2.3.2 Pendenza media dell'asta principale.....	9
2.4 ANALISI DELLA LITOLOGIA E PERMEABILITÀ DEI BACINI.....	9
2.5 USO DEL SUOLO.....	12
2.6 SINTESI DELLE PRINCIPALI CARATTERISTICHE DEI BACINI.....	15
3. TEMPI DI CORRIVAZIONE.....	17
4. ANALISI CLIMATICA DEL TERRITORIO DI CASALE MONFERRATO	21
4.1 STAZIONI METEOROLOGICHE DI CASALE MONFERRATO.....	21
4.1.1 Osservatorio del Genio Militare.....	21
4.1.2 Osservatorio del Seminario Vescovile.....	22
4.1.3 Osservatorio dell'Istituto di Sperimentazione per la pioppicoltura	22
4.2 CONSIDERAZIONE SULLA SERIE STORICA DEI DATI	22
4.3 ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI ANNUE E MENSILI	23
5. PLUVIOMETRIA DELLA ZONA DI INTERESSE	26
5.1 GENERALITÀ E UBICAZIONE DELLE STAZIONI PLUVIOMETRICHE	26
5.2 ELABORAZIONI STATISTICHE.....	27
5.2.1 Cenni di metodologia statistica	28
5.2.2 Leggi di probabilità.....	28
5.2.3 Stima dei parametri della distribuzione.....	29
5.2.4 Regolarizzazione secondo la Legge Log-normale 2 parametri	29
5.2.5 Regolarizzazione secondo la Legge di Gumbel	30
5.2.6 Test statistici per l'accettabilità dei risultati.....	31
5.3 CURVE DI MASSIMA POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA.....	32
6. CALCOLO DELLE ISOIETE E DEI VOLUMI DI AFFLUSSO	36
7. TRASFORMAZIONE AFFLUSSI - DEFLUSSI.....	38
7.1 GENERALITÀ	38
7.2 IETOGRAMMA DI PROGETTO RETTANGOLARE	38
8. CALCOLO DELLE PORTATE MEDIANTE MODELLO NUMERICO DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI.....	40
8.1 CALCOLO DELLE PERDITE.....	40
8.1.1 Calcolo del numero di curva adimensionale CN.....	41
8.2 TRASFORMAZIONE DELLA PRECIPITAZIONE NETTA IN DEFLUSSO.....	45
8.3 VALORI DI PORTATA CALCOLATI CON IL METODO NUMERICO.....	46
9. CALCOLO DELLE PORTATE CON METODI EMPIRICI.....	47
9.1.1 Stima del coefficiente di deflusso.....	49
9.1.2 Portate di piena calcolate con il metodo empirico.....	50
10. PORTATE DI VERIFICA CON TEMPO DI RITORNO 200 ANNI.....	51

ALLEGATI

Allegato 1 - Calcolo dei tempi di corrivazione dei bacini in studio

Allegato 2 - Serie storiche ed elaborazioni statistiche per le stazioni pluviometriche considerate

Allegato 3 - Idrogrammi di piena e ietogrammi di progetto per un tempo di ritorno di 200 anni

1. Premessa

Le elaborazioni idrologiche eseguite nella presente relazione riguardano i bacini della rete idrografica minore del territorio comunale di Casale Monferrato. La finalità delle elaborazioni eseguite consiste nel calcolo dei volumi di afflusso dei bacini considerati, al fine di individuare delle portate di riferimento per i principali corsi d'acqua che percorrono il territorio casalese, nelle sezioni di chiusura indicate nelle tavole grafiche.

La peculiarità delle caratteristiche fisiografiche del territorio studiato e la difficoltà insita nell'analisi idrologico - idraulica sono principalmente connesse alla complessità del reticolo idrografico minore, caratterizzato da una fitta rete di canali naturali e artificiali, per la maggior parte connessi tra di loro.

Lo studio è stato quindi condotto attraverso l'individuazione dettagliata del reticolo idrografico minore e approfondendo l'analisi idrologica per i principali elementi idrografici della rete esistente, ovvero per i corsi d'acqua che condizionano l'assetto idraulico del territorio e che possono determinare delle interferenze con il territorio stesso e quindi interessare e/o incidere sulle previsioni del Piano Regolatore.

Dal punto di vista idrologico, una particolare attenzione è stata dedicata alla determinazione dei solidi di pioggia relativi ai bacini in studio, valutando le condizioni di afflusso su un'area molto estesa. Il reperimento dei dati pluviometrici e la loro elaborazione statistica hanno consentito di raggiungere una conoscenza approfondita del regime pluviometrico relativo alle precipitazioni di notevole intensità e di breve durata.

Tale procedura è indispensabile quando non si dispone di misure dirette di portata, per cui la valutazione della portata di piena o di riferimento non può che essere ottenuta mediante l'utilizzo di metodi indiretti, che facciano riferimento alle altezze di pioggia di assegnata frequenza probabile.

Il calcolo statistico e la metodologia utilizzata per lo studio della trasformazione afflussi deflussi, basata sulle ipotesi del metodo della corrivazione e dell'idrogramma unitario di piena, hanno consentito, mediante l'impiego di un codice di calcolo appropriato, di ricavare le massime portate di piena dei corsi d'acqua considerati, in corrispondenza delle sezioni di riferimento, per i tempi di ritorno prescelti.

2. Principali caratteristiche dei bacini idrografici

Per le caratteristiche di carattere generale, relative agli aspetti geografici e morfologici dei bacini in studio, si rimanda all'**ELABORATO A**, in cui si è dato ampio spazio all'aspetto descrittivo dei corsi d'acqua considerati.

Nei paragrafi seguenti saranno invece analizzati gli aspetti fisiografici e le caratteristiche di acclività, litologia e uso del suolo dei bacini, che incidono direttamente sul modello di trasformazione afflussi – deflussi. La stessa metodologia è stata utilizzata per l'analisi dei singoli sottobacini individuati all'interno del bacino idrografico complessivo del corso d'acqua.

2.1 CONSIDERAZIONI SUI BACINI DEI SINGOLI CORSI D'ACQUA

Per semplicità e comodità, a tutti i bacini considerati viene assegnato un codice alfabetico identificativo. Di seguito sono indicati i corsi d'acqua analizzati con le considerazioni relative alle caratteristiche peculiari dei singoli bacini di competenza, data la complessità e diversità dei corsi d'acqua considerati. Nella **Tavola 1** - *Fiume Po e reticolo idrografico minore* sono stati tracciati i bacini e i sottobacini, individuati per i singoli corsi d'acqua analizzati nel presente studio.

- *Roggia Stura*: per tale corso d'acqua esistono già degli approfonditi studi di carattere idrologico – idraulico, poiché si tratta di un elemento fisiografico con caratteristiche complesse, legate alle influenze di utilizzo umano per finalità agricole e alle caratteristiche di alimentazione, legate anche a fonti di risorgenza; essendo inoltre in corso degli importanti lavori di sistemazione idraulica lungo tutto il suo percorso, in questa sede non verranno eseguite elaborazioni idrologico - idrauliche per tale corso d'acqua.
- *Torrente Rotaldo*: è costituito da un bacino molto ampio, che viene suddiviso in 4 sottobacini con caratteristiche morfologiche omogenee, interessando sia aree collinari che di pianura; per tale corso d'acqua è inoltre in corso di approvazione lo studio "*Sottoprogetto SP 1.4 – Rete idrografica minore naturale ed artificiale*" eseguito per conto dell'Autorità di Bacino del fiume Po.
- *Torrente Gattola*: viene suddiviso in 3 bacini con caratteristiche omogenee, distinguendo la parte collinare da quella pianeggiante; anche per tale corso

d'acqua è in corso un ulteriore studio idrologico – idraulico di approfondimento.

- *Canale di Lanza*: si tratta di un cavo irriguo artificiale, le cui condizioni di alimentazione non sono legate direttamente alle precipitazioni, bensì all'opera di presa sul fiume Po. Le portate defluite sono quindi strettamente legate alle manovre umane sull'opera di presa e quindi note; non occorre pertanto procedere ad uno studio idrologico.
- *Canale Mellana*: è un canale che nasce come fossato a difesa del nucleo storico della città, oggi destinato ad uso irriguo. E' alimentato dal canale di Lanza e quindi la sua portata effettiva non può essere calcolata direttamente con un modello idrologico di afflussi-deflussi; tuttavia in questa fase si effettua una valutazione introducendo il bacino di competenza in caso di piena.
- *Rio Gattolero e cavi minori*: si tratta di un bacino che raccoglie le acque meteoriche a sud dell'abitato di Casale e che è costituito da una rete di canali naturali e artificiali interconnessi che solcano l'area di pianura. Data la complessità dell'assetto idrografico, legato alle finalità agricole della zona, si considera l'afflusso sull'intero bacino e il deflusso lungo il cavo principale nelle sezioni di chiusura di maggior interesse.
- *Rio della Rizza*: è un rio collinare che interessa la parte occidentale del territorio casalese, caratterizzato da un bacino di piccole dimensioni, per il quale si analizzano le interferenze con i principali insediamenti.
- *Rio Gonin*: si tratta di un rio collinare, assimilabile, come caratteristiche, al precedente, per il quale non è necessario individuare dei sottobacini.
- *Roggia Castagna*: è un corso d'acqua il cui bacino è strettamente vincolato agli elementi artificiali presenti, quali rilevati stradali e arginali; sottende un bacino molto pianeggiante, che è stato suddiviso in 2 sottobacini.
- *Rio Cornasso*: si tratta di un corso d'acqua di origine naturale, ma legato anch'esso agli usi irrigui; il bacino è vincolato da elementi antropici e per la presenza di interconnessioni con cavi irrigui è anch'esso di non facile individuazione; si sono individuati 3 sottobacini.

- *Corsi d'acqua minori*: si sono individuati anche alcuni corsi d'acqua minori, di cui uno collinare con sbocco nel Po presso lo stabilimento Eternit e la località il Ronzone, il cui bacino è di facile individuazione, e due rii che drenano le zone di lanca in destra e sinistra Po, con bacini in parte legati alle strutture antropiche.

In generale, viste le caratteristiche peculiari di molti corsi d'acqua, legate alle interconnessioni tra cavi irrigui e allo sviluppo in zone molto pianeggianti, si deve tenere presente che la delimitazione dei bacini di competenza è molto difficoltosa e quindi i limiti considerati possono in alcuni casi essere un'approssimazione della situazione reale.

Infatti, come già indicato nell'Analisi della rete idrografica (**Elaborato A**), per i rii e i cavi irrigui minori in alcuni casi è di difficile individuazione il percorso effettivo del corso d'acqua, sia sulla base delle analisi delle foto aeree sia dai sopralluoghi mirati, per la vastità e complessità del territorio e per la presenza di tratti coperti e urbanizzati. La rete idrografica secondaria tracciata deve quindi essere considerata approssimativa in particolare nella parte a sud – est del centro urbano di Casale Monferrato, per la complessità del reticolo irriguo minore.

Vista quindi l'estensione dello studio su tutto il territorio comunale, non è possibile aumentare ulteriormente, in questa sede, la precisione della delimitazione effettuata. Si ritiene comunque che le approssimazioni introdotte portino a risultati utili e significativi per la valutazione della compatibilità idraulica degli strumenti urbanistici, avendo adottato delle condizioni cautelative.

Per ogni corso d'acqua analizzato, sono state inoltre predisposte delle tavole (**Tavole 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5**) con le principali caratteristiche fisiografiche, idrologiche e idrauliche, riportanti la rete idrografica, i limiti del bacino e dei sottobacini, gli schemi idraulici della rete di drenaggio, le criticità idrauliche rilevate (cfr. **Elaborati C e D**) e le sezioni idrauliche considerate nell'analisi.

2.2 PARAMETRI DI FORMA

I rapporti tra i parametri fisiografici di un bacino costituiscono un'indicazione sintetica e quantitativa della forma del bacino stesso; considerando la lunghezza L dell'asta principale, si definiscono quindi i seguenti coefficienti di forma, introducendo il

diametro D e il perimetro C corrispondenti ad un bacino di forma circolare avente la stessa estensione S del bacino in esame:

$$F_1 = \frac{L}{D} = \frac{L}{\sqrt{4S/\pi}} = 0,89 \frac{L}{\sqrt{S}}$$

$$F_2 = \frac{P}{C} = \frac{P}{2\sqrt{S\pi}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

Per i corsi d'acqua naturali, tali parametri sono strettamente legati alle condizioni di evoluzione e maturità del bacino e del corso d'acqua, in relazione alle caratteristiche morfologiche e litologiche del territorio inciso. Per i corsi d'acqua in zone pianeggianti, dove il territorio è strettamente condizionato dalla presenza umana, tali rapporti sono comunque indicativi della risposta idrologica dei bacini a un evento meteorologico.

Per i bacini in esame i risultati sono riassunti nella tabella 1:

TABELLA 1 – Parametri di forma dei bacini considerati.

Bacino	L (km)	S (km ²)	P (km)	F ₁ = L/D	F ₂ = P/C
1) R. Cornasso	19,2	23,0	39,2	3,6	2,3
2) R. Castagna	9,6	12,0	21,8	2,5	1,8
3) Lanca sx Po	8,9	4,6	15,9	3,7	2,1
4) R. Rizza	3,9	6,2	9,9	1,4	1,1
5) R. Gonin	3,0	3,7	7,7	1,4	1,1
6) R. Ronzone	2,3	1,8	5,6	1,5	1,2
7) Lanca dx Po	5,1	5,2	10,4	2,0	1,3
8) C. Mellana	6,8	5,2	13,3	2,7	1,6
9) T. Gattola	13,5	20,0	29,0	2,7	1,8
10) R. Gattolero	7,9	15,4	19,1	1,8	1,4
11) T. Rotaldo	24,6	90,5	54,5	2,3	1,6

2.3 ANALISI DELL'ACCLIVITÀ DEI BACINI

L'analisi dell'acclività, oltre a permettere l'individuazione delle aree a maggiore propensione al dissesto, essendo a parità di condizioni litologiche, geomeccaniche ed

idrogeologiche, il fattore dominante per le condizioni di stabilità dei versanti, è sicuramente un elemento fondamentale per lo studio morfologico della rete idrografica per determinare la “risposta del bacino” e cioè il legame afflussi - deflussi attraverso la definizione della capacità di invaso della rete idrografica.

L’acclività, inoltre, è un parametro importante per valutare i processi di erosione superficiale del suolo che condizionano la definizione del trasporto solido di un corso d’acqua nel periodo di piena.

L’analisi delle acclività dei bacini è stata effettuata suddividendo il territorio in aree di scolo a pendenza omogenea e assegnando il valore di acclività media a ciascuna area.

Tale valutazione è stata realizzata a livello dei singoli sottobacini. In tal modo, attraverso un’analisi pesata sulla percentuale delle aree di competenza, è stato possibile definire una pendenza media per i versanti di ogni sottobacino.

Per fornire anche un quadro grafico delle acclività dei bacini si è sviluppata una carta delle pendenze, individuando delle classi di acclività opportune:

- *Classe 1* – pendenze comprese tra il 0% e il 2%
- *Classe 2* – pendenze comprese tra il 2% e il 4%
- *Classe 3* – pendenze comprese tra il 4% e il 6%
- *Classe 4* - pendenze comprese tra il 6% e il 8%
- *Classe 5* - pendenze comprese tra il 8% e il 10%
- *Classe 6* - pendenze comprese tra il 10% e il 12%
- *Classe 7* - pendenze comprese tra il 12% e il 14%
- *Classe 8* - pendenze maggiori del 14%

2.3.1 PENDENZA MEDIA DEI VERSANTI DEI BACINI

La pendenza media dei versanti dei bacini (i_v) è stata calcolata attraverso la media pesata dei valori percentuali delle aree omogenee individuate nella carta delle pendenze (TAVOLA 5). Per tenere in conto il diverso comportamento dei corsi d’acqua nel territorio collinare e di pianura, per i torrenti Gattola e Rotaldo si sono già considerati in questa fase di studio i caratteri morfometrici dei singoli sottobacini. I risultati per i bacini complessivi dei singoli corsi d’acqua sono riassunti nelle tabelle 4 e 5.

2.3.2 PENDENZA MEDIA DELL'ASTA PRINCIPALE

La pendenza media dell'asta dei corsi d'acqua considerati è espressa dal rapporto tra la massima differenza di quota e la lunghezza totale dell'asta stessa per le aste a pendenza approssimativamente costante:

$$i_f = \frac{\Delta h_{\max}}{L}$$

Per i corsi d'acqua collinari è stata invece valutata la pendenza dell'asta principale, individuando la pendenza di compenso del profilo del corso d'acqua tracciato dallo spartiacque alla sezione di chiusura.

Nel caso dei torrenti Rotaldo e Gattola tale parametro è stato valutato per i singoli sottobacini, al fine di considerare la diversa morfologia del corso d'acqua nell'ambito collinare e in quello di pianura.

I risultati per i singoli bacini sono indicati nelle tabelle 4 e 5.

2.4 ANALISI DELLA LITOLOGIA E PERMEABILITÀ DEI BACINI

Lo studio ha preso in esame anche la permeabilità dei bacini in studio, che nell'analisi del fenomeno di trasformazione afflussi-deflussi risulta strettamente correlato alla valutazione della pioggia netta, da porre alla base del calcolo della massima portata di piena per il tempo di ritorno prescelto.

La permeabilità di ogni bacino è stata determinata attraverso l'analisi della carta tematica della litologia del Piemonte. La carta indica le diverse unità litologiche che costituiscono il substrato roccioso e le coperture quaternarie, relativamente all'intero territorio piemontese. Questo è stato suddiviso in 15 unità litologiche, in funzione delle caratteristiche litotecniche strutturali e della loro propensione alle diverse tipologie di dissesto.

La carta è stata elaborata dalla Regione Piemonte attraverso l'analisi della documentazione geologica esistente, tra cui la Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, associata a verifiche puntuali e al confronto con la distribuzione delle varie tipologie dei fenomeni d'instabilità lungo i versanti.

I dati e le informazioni che derivano da tale analisi consentono di ricavare un quadro conoscitivo a carattere territoriale che acquisisce comunque minore importanza laddove siano necessarie informazioni precise su aree ristrette.

Sulla citata carta le unità litologiche vengono espresse con una numerazione da 1 a 15 e per ciascuna classe viene dato un inquadramento geologico, come riportato di seguito:

- *classe 1*: depositi alluvionali a prevalenza di ghiaie e sabbie nell'area di pianura e lungo i fondovalle principali (quaternario);
- *classe 2*: depositi morenici a blocchi di ghiaie, sabbie e limi degli anfiteatri di Rivoli, Ivrea, lago Maggiore (quaternario);
- *classe 3*: banchi e livelli argillosi, talora in reciproca alternanza con sabbie da fine a grossolane e lenti ghiaioso-ciottolose, localmente solo ghiaie e sabbie ("Villafranchiano");
- *classe 4*: sabbie da fini a medie, localmente con banchi e lenti isolate di arenarie potenti da uno ad alcuni decimetri, talora con calcareniti ("sabbie di Asti");
- *classe 5*: argille e marne argillose prevalenti, con subordinate lenti gessose; marne con locali intercalazioni di conglomerati (miocene superiore-miocene medio);
- *classe 6*: strati di marne potenti da uno ad alcuni decimetri, con interstratificazioni ritmiche di sabbie e arenarie e sottili giunti argillosi;
- *classe 7*: siltiti marnose in strati mediamente potenti alcuni decimetri, subordinate intercalazioni arenacee e lenti conglomeratiche (oligocene superiore-miocene);
- *classe 8*: arenarie e conglomerati in potenti bancate con subordinati livelli marnosi e arenaceo marnosi ("formazione di Molare" ed "arenaria di Ranzano" oligocene);
- *classe 9*: alternanze di argille, marne e calcari complessi caotici a componente argillosa prevalente ("complesso indifferenziato" flysch cretaceo-eocene);

- *classe 10*: serpentiniti, lherzoliti, anfiboliti, prasiniti, metagabbri (“zona piemontese” giurassico-cretaceo);
- *classe 11*: calcescisti con intercalazioni filladiche e lenti di calcari cristallini e di prasiniti (“zona piemontese” giurassico-cretaceo);
- *classe 12*: dolomie e calcari microcristallini, calcari dolomitici ed arenaceo marnosi con subordinate intercalazioni di scisti andesiaci, breccie calcaree (unità mesozoiche autoctone e alloctone);
- *classe 13*: gneiss minuti; micascisti talora eclogitici, scisti filladici, scisti porfiroidi, quarzitoscisti (massicci cristallini del Dora-Maira permocarbonifero assiale, Sesia-Lanzo e serie dei laghi);
- *classe 14*: gneiss occhiadini per lo più massicci, gneiss migmatitici (massicci cristallini dell’Argentera, Dora-Maira, Gran Paradiso, Monte Rosa, valle d’Ossola);
- *classe 15*: graniti, sieniti, dioriti, magmatiti granitiche, gabbrodioriti, porfiriti, ignimbriti riolitiche (magmatiti erciniche e tardo alpine)

Per un maggiore approfondimento, la carta litologica è stata confrontata e integrata con la carta geologica predisposta dallo studio geologico PROGEO per lo studio di compatibilità in oggetto, ottenendo una carta più dettagliata e precisa. In particolare, rispetto alle classi individuate nella carta della Regione, è stata introdotta un’ulteriore suddivisione della classe 1 distinguendo:

- *classe 1A*: depositi alluvionali prevalentemente ghiaiosi;
- *classe 1B*: depositi alluvionali di natura limoso sabbiosa;
- *classe 1C*: depositi alluvionali di natura limoso argillosa;

in modo da considerare la diversa permeabilità del terreno alluvionale e determinare correttamente la pioggia netta.

La carta della litologia relativa al bacino in studio, riportata nella **TAVOLA 6**, è stata ottenuta digitalizzando il perimetro dei bacini e sovrapponendo gli stessi sul corrispondente foglio I.G.M. della citata Carta Regionale.

Si è ricavato per ciascun bacino l'area corrispondente a ogni unità litologica, esprimendola sia in km² che in percentuale dell'area totale del bacino stesso; i valori ottenuti sono riportati nella tabella 2.

TABELLA 2 - Distribuzione areale e percentuale di ogni classe litologica.

Bacino	Classe 1A		Classe 1B		Classe 1C		Classe 5		Classe 7		Classe 8		Classe 9	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
1) R. Cornasso	23,0	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2) R. Castagna	12,0	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3) Lanca sx Po	4,6	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4) R. Rizza	0,2	3	0,2	3	-	-	-	-	-	-	-	-	5,8	94
5) R. Gonin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,7	100
6) R. Ronzone	-	-	0,1	6	-	-	-	-	-	-	-	-	1,7	94
7) Lanca dx Po	3,0	58	2,2	42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8) C. Mellana	-	-	3,9	75	1,3	25	-	-	-	-	-	-	-	-
9) T. Gattola	-	-	3,0	15	6,3	32	0,3	2	3,8	19	2,3	12	4,3	22
10) R. Gattolero	-	-	2,1	14	9,3	60	3,4	22	0,6	4	-	-	-	-
11) T. Rotaldo	0,4*	0*	2,7	3	24,3	27	23,3	26	25,5	28	13,4	15	0,5	1

* = area relativa alla classe 4

2.5 USO DEL SUOLO

La carta tematica dell'uso del suolo è stata redatta utilizzando i dati che corrispondono alla classificazione dell'uso attuale del suolo indicato sulla carta fisionomica della vegetazione, prodotta dall'IPLA come strumento di lavoro per la successiva elaborazione della carta faunistica del Piemonte e del piano faunistico regionale.

La determinazione delle varie classi d'uso del suolo deriva da fotointerpretazione di foto aeree a colori e da rilievi diretti in sito utilizzando come base la carta topografica I.G.M. alla scala 1:100.000.

Per fare in modo che la fotointerpretazione fosse il più possibile precisa, è stato necessario impostare il lavoro su più livelli; prima si è divisa la zona a cui la foto aerea si riferiva in poligoni e si è assegnato ad ognuno di essi un codice di

riferimento relativo alla classe di appartenenza, individuando inizialmente le zone principali, vale a dire: bosco, fiume, prato, zona residenziale.

Successivamente si sono cercate informazioni più dettagliate, effettuando eventualmente delle ulteriori visite in sito per le zone di più difficile interpretazione, al fine di individuare il tipo di vegetazione, la presenza di zone coltivate o incolte e le eventuali aree di dissesto idrogeologico.

La carta d'uso del suolo realizzata dalla Regione per l'intero territorio piemontese è stata redatta in tale modo; il materiale raccolto è stato riportato su supporto informatico ottenendo in una prima fase delle immagini raster, quindi una carta tematica dotata di diversi attributi per i vari poligoni.

Le classi d'uso del suolo sono 23 e presentano ciascuna un codice d'identificazione, a cui corrisponde la seguente descrizione:

classe 1: faggeti;

classe 2: castagneti;

classe 3: querceti;

classe 4: conifere + latifoglie;

classe 5: conifere;

classe 6: rimboschimenti affermati;

classe 7: rimboschimenti recenti;

classe 8: latifoglie miste;

classe 10: pioppeti;

classe 11: arbusteti;

classe 20: pascoli;

classe 21: seminativi e prati avvicendati;

classe 22: seminativi con prevalenza di mais e/o grano;

classe 24: prati permanenti;

classe 25: vigneti, frutteti e nocioleti;

classe 26: incolti;

classe 27: rupi e pascoli rupestri, letto dei fiumi, calanchi, frane e discariche;

classe 30: misto prati permanenti + seminativi mais/grano;

classe 31: misto seminativi e prati avvicendati + vigneti, frutteti e nocioleti;

classe 32: misto seminativi e prati avvicendati + prati permanenti;

classe 33: misto prati permanenti + vigneti, frutteti e nocioleti;

ALLEGATO 1

Calcolo dei tempi di corrivazione
dei bacini in studio

classe 40: laghi;

classe 99: aree urbanizzate.

Considerato lo scopo per cui è stata prodotta (redazione della carta faunistica regionale), in essa si riscontra una maggiore accuratezza nella classificazione delle aree vegetate. Una precisazione deve essere fatta per la classe 26, in quanto sono stati considerati incolti tutti quegli appezzamenti che a quote inferiori ai 900 metri non presentavano all'indagine aerofotogrammetrica segni di lavorazioni recenti e che erano quindi più o meno interessati dalla presenza di vegetazione arbustiva o di invasione; sono stati inclusi inoltre i terreni sottoposti a vincoli militari.

I bacini in esame sono stati digitalizzati onde individuare la superficie totale destinata a ciascun uso specifico. Si è ottenuta così la carta riportata nella **TAVOLA 7**.

Le classi d'uso del suolo che rientrano nella zona oggetto di studio sono essenzialmente 10; in tabella 3 sono riportate la superficie in km² e la distribuzione percentuale di ogni classe tematica per ogni bacino.

Le informazioni già ricavate riguardo la litologia e quindi la permeabilità sono così correlate con le classi dell'uso del suolo individuate, per dare una stima della capacità di ritenzione e di infiltrazione del bacino e valutare così la pioggia netta da porre alla base del calcolo delle portate di piena.

TABELLA 3a - Distribuzione areale e percentuale di ogni classe d'uso del suolo.

Bacino	Classe 8		Classe 10		Classe 11		Classe 21		Classe 23	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
1) R. Cornasso	-	-	3,1	13	-	-	3,7	16	14,9	65
2) R. Castagna	-	-	2	17	-	-	9,2	77	0,4	3
3) Lanca sx Po	-	-	1,4	30	0,1	2	-	-	2,7	59
4) R. Rizza	0,3	5	-	-	-	-	-	-	-	-
5) R. Gonin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6) R. Ronzone	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7) Lanca dx Po	-	-	0,6	12	-	-	4,4	85	-	-
8) C. Mellana	-	-	-	-	-	-	3,7	71	0,8	15
9) T. Gattola	-	-	-	-	-	-	5,3	27	2,7	14
10) R. Gattolero	-	-	-	-	-	-	6,4	42	3,5	23
11) T. Rotaldo	1,4	2	-	-	-	-	25,8	28	3,1	3

TABELLA 3b - Distribuzione areale e percentuale di ogni classe d'uso del suolo.

Bacino	Classe 24		Classe 25		Classe 26		Classe 27		Classe 99	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
1) R. Cornasso	-	-	-	-	-	-	-	-	1,3	6
2) R. Castagna	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4	3
3) Lanca sx Po	-	-	-	-	-	-	0,3	7	0,1	2
4) R. Rizza	-	-	5,7	92	-	-	-	-	0,2	3
5) R. Gonin	-	-	3,6	97	-	-	-	-	0,1	3
6) R. Ronzone	-	-	1,7	94	-	-	-	-	0,1	6
7) Lanca dx Po	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	4
8) C. Mellana	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7	13
9) T. Gattola	-	-	11,4	57	-	-	-	-	0,6	3
10) R. Gattolero	-	-	5,1	33	-	-	-	-	0,4	3
11) T. Rotaldo	4,8	5	52,2	58	0,1	0	-	-	3,0	3

2.6 SINTESI DELLE PRINCIPALI CARATTERISTICHE DEI BACINI

Le principali caratteristiche dei bacini idrografici considerati nello studio idrologico per il territorio comunale di Casale M.to, in corrispondenza delle relative sezioni di chiusura dei bacini, indicate nella tavole grafiche (4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5), sono riassunte nella tabella 4.

Generalmente le sezioni di chiusura considerate per i bacini complessivi, sono quelle in corrispondenza del corso d'acqua ricettore (R. Cornasso, R. Castagna, Rio della Rizza, Rio Gonin, Rio Ronzone, canale Mellana), oppure il limite amministrativo comunale, qualora il corso d'acqua prosegua oltre tale confine (Lanca destra Po, T. Gattola, Rio Gattolero, T. Rotaldo); per la Lanca sinistra Po il limite è posto oltre il confine comunale, in corrispondenza della confluenza con il fiume Po.

Si precisa che per i corsi d'acqua con bacini caratterizzati da una morfologia variabile, di tipo sia collinare che pianeggiante, per le valutazioni di tipo idrologico e idraulico si farà riferimento ai parametri morfometrici dei singoli sottobacini omogenei, come individuati nelle tavole grafiche.

TABELLA 4 – Quadro delle principali caratteristiche dei bacini considerati.

Bacino	Superficie (Km ²)	Quota media (m s.l.m.)	Quota iniziale (m s.l.m.)	Quota chiusura (m s.l.m.)	Lunghezza asta (km)	Pendenza versanti %	Pendenza asta (tg α)
1) R. Cornasso	23,0	116	129	105	19,2	0,15	0,00125
2) R. Castagna	12,0	111	116	104	9,6	0,21	0,00125
3) Lanca sx Po	4,6	103	107	99	8,9	0,14	0,00090
4) R. Rizza	6,2	200	250	114	3,9	7,7	0,0278
5) R. Gonin	3,7	210	260	120	3,0	10	0,0320
6) R. Ronzone	1,8	190	250	114	2,3	7,3	0,0590
7) Lanca dx Po	5,2	107	110	103	5,1	0,2	0,00137
8) C. Mellana	5,2	120	180	106	6,8	0,3	0,0021
9) T. Gattola	20,0	130	230	107	13,5	3,7	0,0040
10) R. Gattolero	15,4	115	190	106	7,9	1,4	0,0037
11) T. Rotaldo	90,5	150	280	106	24,6	3,5	0,0033

3. Tempi di corrivazione

In molte schematizzazioni delle trasformazioni afflussi-deflussi, s'introduce l'ipotesi che il tempo impiegato da una particella d'acqua per raggiungere la sezione di chiusura del bacino scorrendo in superficie sia una costante, che dipende soltanto dalla posizione del punto in cui è caduta e dalle caratteristiche morfologiche del bacino.

Pur essendo una assunzione che presenta notevoli limiti, risulta comunque molto utile nella pratica progettuale in quanto, a prescindere dal metodo scelto per la determinazione della portata di piena, fornisce con calcoli relativamente semplici un'indicazione sul comportamento idrologico del bacino in studio.

Il tempo di corrivazione è il tempo impiegato da una particella d'acqua per raggiungere la sezione di chiusura del bacino, per cui ad ogni punto della zona esaminata corrisponde un valore del tempo di corrivazione. Un punto particolare è quello idraulicamente più lontano dalla sezione di chiusura, da cui ha origine l'asta principale della rete idrografica. Il tempo di corrivazione di questo punto, che è il tempo impiegato da una particella d'acqua per percorrere l'intera asta fluviale principale dall'origine alla sezione di chiusura, e che risulta il maggiore tra quelli dei diversi punti del bacino, prende il nome di *tempo di corrivazione del bacino*.

Quindi per ogni bacino esaminato si può determinare il tempo di corrivazione T_c corrispondente, tenendo conto che dipende da numerosi fattori che possono essere elencati nel modo seguente:

- parametri relativi alla topografia e alle caratteristiche planimetriche dei bacini, come la superficie, la lunghezza e la pendenza dell'asta principale, la larghezza media del bacino, la distanza del baricentro del bacino dal punto idraulicamente più lontano dalla sezione di chiusura, la pendenza media dei versanti;
- parametri che definiscono le caratteristiche della rete idrografica quali la densità della rete, la capacità d'invaso nella rete e in bacini naturali e artificiali, le scabrezze degli alvei;
- parametri relativi alla copertura vegetale che definiscono la maggiore o minore presenza di boschi, pascoli, seminativi o altra destinazione d'uso del suolo;

- parametri relativi alle caratteristiche geologiche e fisiche del suolo quali la permeabilità e la capacità di trattenuta dell'acqua.

Vista la notevole difficoltà a considerare tutti questi parametri, il tempo di corrivazione si stima in genere utilizzando formule che derivano dall'analisi di molti casi reali e che esprimono il legame mediamente esistente tra il tempo di corrivazione e alcune altre grandezze caratteristiche del bacino e di facile determinazione.

Siccome tale parametro è strettamente influenzato dalle caratteristiche morfometriche del bacino, è opportuno distinguere il comportamento del corso d'acqua nelle zone collinari da quelle pianeggianti. Si è quindi deciso di calcolare i tempi di corrivazione dei singoli sottobacini per i torrenti Gattola e Rotaldo, per i quali sono significative sia le superfici di territorio collinare che quelle pianeggianti.

Per stimare il tempo di corrivazione, data la varietà delle caratteristiche morfologiche dei corsi d'acqua, si sono utilizzate diverse formulazioni e in base al bacino considerato si è poi scelto quali valori assumere, anche in base alle ipotesi di applicabilità dei diversi metodi.

Una formulazione è stata determinata da Carlo Merlo, che ha svolto un'approfondita indagine sui fenomeni di piena verificatisi in nove piccoli bacini piemontesi con superficie inferiore 200 Km², appartenenti a zone montane o comunque a morfologia piuttosto accidentata.

Lo studio è stato effettuato attraverso l'analisi di molteplici idrogrammi e pluviogrammi settimanali, ottenendo una relazione matematica che interpreta in modo soddisfacente e prudentiale i valori sperimentali dei tempi di corrivazione dei bacini esaminati. Tale relazione è la seguente:

$$T_c = 0,396 \frac{L}{\sqrt{i_f}} \left(\frac{S}{L^2} \cdot \frac{\sqrt{i_f}}{\sqrt{i_v}} \right)^{0,72}$$

dove :

T_c = tempo di corrivazione (ore);

S = superficie del sottobacino (Km²);

L = lunghezza dell'asta principale (Km);

i_f = pendenza caratteristica dell'asta principale (m/m);

i_v = pendenza media dei versanti (m/m).

Una seconda formula per calcolare il tempo di corrivazione è quella fornita dal Soil Conservation Service (SCS, 1975), che è stata determinata analizzando dati provenienti da numerosi bacini agricoli americani, ed è espressa come:

$$T_c = \frac{0,00227 \cdot L^{0,8} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}}{\sqrt{i_v}}$$

dove:

- T_c = tempo di corrivazione (ore);
- L = lunghezza dell'asta principale (m);
- CN = numero di curva adimensionale;
- i_v = pendenza media dei versanti (%).

Altre formulazioni comunemente utilizzate per situazioni analoghe a quelle in esame sono le seguenti:

- Puglisi $T_c = 6 \frac{L^{0,667}}{\Delta H^{0,333}}$
- Pezzoli $T_c = 0,055 \frac{L}{\sqrt{i_f}}$
- Ventura $T_c = 0,1272 \sqrt{\frac{S}{i_f}}$
- Pasini $T_c = 0,108 \frac{\sqrt[3]{S \cdot L}}{\sqrt{i_f}}$

dove:

- T_c = tempo di corrivazione (ore);
- S = superficie del sottobacino (Km²);
- L = lunghezza dell'asta principale (Km);
- i_f = pendenza caratteristica dell'asta principale (m/m);
- ΔH = dislivello dell'asta principale (m).

Per l'utilizzo delle precedenti formule è necessario determinare per ciascun bacino i parametri morfologici necessari, vale a dire la superficie, la lunghezza dell'asta fluviale tra la quota della sezione iniziale e quella finale di chiusura del

bacino, la pendenza dell'asta principale, la pendenza media dei versanti e il parametro CN.

I valori utilizzati per il calcolo sono riassunti nella tabella 5; in particolare, per la determinazione della pendenza media dei versanti sono stati utilizzati i dati ricavati dall'analisi della carta delle pendenze per la zona in esame, mentre per il calcolo del coefficiente CN si rimanda al paragrafo 8.1.1.

TABELLA 5 - Parametri morfologici del bacino per il calcolo dei tempi di corrivazione.

Bacino	S	L	Q _i	Q ₀	ΔH	i _f	i _v	CN
	km ²	km	m s.l.m.	m s.l.m.	m	m/m	%	(III)
1) R. Cornasso	23,0	19,2	129	105	24	0,0013	0,15	80
2) R. Castagna	12,0	9,6	116	104	12	0,0013	0,21	66
3) Lanca sx Po	4,6	8,9	107	99	8	0,0010	0,14	77
4) R. Rizza	6,2	3,9	250	114	136	0,0278	7,7	87
5) R. Gonin	3,7	3,0	260	120	140	0,0320	9,96	87
6) R. Ronzone	1,8	2,3	250	114	136	0,0590	7,25	87
7) Lanca dx Po	5,2	5,1	110	103	7	0,0014	0,20	73
8) C. Mellana	5,2	6,8	180	106	74	0,0021	3,00	85
9) T. Gattola	20	13,5	230	107	123	0,0040	3,68	88
sottobac. 9A	8,7	5,2	230	130	100	0,0191	6,00	88
sottobac. 9B	3,1	2,7	270	130	140	0,0512	6,43	88
sottobac. 9C	8,2	7,9	130	107	23	0,0029	0,30	88
10) R. Gattolero	15,4	7,9	190	106	84	0,0037	1,46	89
11) T. Rotaldo	90,5	24,6	280	106	174	0,0033	3,52	87
sottobac. 11A	28,5	10,5	280	130	150	0,0143	5,27	87
sottobac. 11B	30,9	9,3	250	130	120	0,0128	3,90	87
sottobac. 11C	17,3	4,9	190	120	70	0,0142	2,52	87
sottobac. 11D	13,9	8,3	120	105	15	0,0018	1,32	87

Nell'**ALLEGATO 1** sono riportati i valori dei tempi di corrivazione dei bacini, calcolati con le formule prima elencate. Per ogni bacino si sono analizzati i valori ottenuti con i diversi metodi e si sono esclusi quelli poco significativi, legati alle ipotesi di base del metodo. Il valore del tempo di corrivazione adottato è stato valutato come media di tutti i valori significativi.

4. Analisi climatica del territorio di Casale Monferrato

In questo capitolo sono riportate alcune considerazioni di carattere climatico relative al territorio di Casale Monferrato, ottenute analizzando la stazione meteorologica di Casale. Per l'analisi pluviometrica utilizzata per i calcoli degli afflussi sui bacini dei corsi d'acqua in esame si rimanda al capitolo successivo, in cui sono state analizzate le precipitazioni di tutte le stazioni disponibili nell'intorno dell'area in esame, ottenendo un calcolo degli afflussi più preciso e realistico, sulla base della variazione delle precipitazioni lungo il territorio.

4.1 STAZIONI METEOROLOGICHE DI CASALE MONFERRATO

Le prime osservazioni meteorologiche giornaliere furono eseguite presso il Liceo di Casale Monferrato nel 1807, ma le letture termopluviometriche giornaliere con continuità temporale significativa iniziarono solo nel 1870, per cui da tale data comincia la serie storica dei dati¹.

Il complesso delle osservazioni termometriche e pluviometriche giornaliere è stato però rilevato da tre osservatori diversamente ubicati nell'area comunale, le cui attività di lettura nel tempo risultano comunque tali da consentire una ricostruzione temporale continua della serie di dati a partire appunto dal 1870. Si riporta di seguito una breve descrizione dei tre osservatori.

4.1.1 OSSERVATORIO DEL GENIO MILITARE

Questo osservatorio, gestito dal 2° Reggimento del Genio Militare di stanza a Casale Monferrato sulla sponda orografica destra del Po in località "Il Ronzone", ad Est del Canale Lanza, iniziò la sua attività di rilevamento giornaliero dei dati meteorologici nel 1870, terminando le relative letture termopluviometriche nel 1888.

Per tutto il periodo di funzionamento dal 1/1/1870 al 31/1/1888, le osservazioni termometriche riguardavano letture giornaliere delle temperature minima e massima e delle temperature sinottiche, mentre quelle pluviometriche venivano eseguite alle ore 9 ed assegnate all'intervallo delle 24 ore precedenti.

4.1.2 OSSERVATORIO DEL SEMINARIO VESCOVILE

Questo osservatorio, che posto all'interno del centro storico iniziò la sua attività nel 1888, si trovava ubicato nella torretta prospiciente i cortili interni del Seminario Vescovile. Le osservazioni termometriche avvennero all'inizio con letture giornaliere delle sole temperature estreme, mentre in seguito si aggiunsero le letture sinottiche.

4.1.3 OSSERVATORIO DELL'ISTITUTO DI SPERIMENTAZIONE PER LA PIOPPICOLTURA

Questo osservatorio, ubicato in località Martinotti e attualmente funzionante, iniziò ad inviare letture termopluviometriche all'Ufficio Idrografico di Torino dal 1/1/1958. Le osservazioni termometriche avvengono con letture giornaliere delle temperature estreme e quelle pluviometriche con lettura della quantità di pioggia giornaliera alle ore 9, assegnandola alle 24 ore precedenti l'ora di lettura e di registrazione del dato.

4.2 CONSIDERAZIONE SULLA SERIE STORICA DEI DATI

La raccolta dei dati termometrici e pluviometrici giornalieri dei vari osservatori succedutisi dal 1870 ad oggi è stata effettuata consultando le copie dei registri originali inviati a sua tempo dagli osservatori protempore del Seminario Vescovile e dell'Istituto di Sperimentazione per la pioppicoltura all'UCEA di Roma ed all'Ufficio Idrografico di Torino.

Relativamente invece all'osservatorio del Genio Militare i dati giornalieri sono stati reperiti in parte sui bollettini annuali ed in parte con la consultazione degli Annali dell'Ufficio Centrale Meteorologico e Geodinamico Italiano.

La raccolta dei dati giornalieri presenta però una lacuna dal 1/9/1888 al 31/12/1898, in quanto sia gli archivi cartacei sia le precitate pubblicazioni a stampa risultano prive di riferimenti a tale intervallo temporale, che rappresenta il periodo di attività iniziale dell'Osservatorio del Seminario Vescovile. La serie pluviometrica quindi utilizzata come base documentaria per l'analisi climatica si riduce pertanto, allo stato attuale delle conoscenze, al più limitato intervallo temporale 1899-1997.

¹ Fonte: Regione Piemonte, Università degli studi di Torino "Serie climatiche ultracentenarie", Studi climatici in Piemonte Volume 3, Torino 1999.

In tutti e tre gli osservatori succedutisi nel tempo dal 1870 ad oggi le misurazioni risultano eseguite in grandezze scalari termometriche e pluviometriche tra loro commensurabili, per cui la serie dei valori argomentali può ritenersi omogeneamente rilevata. Relativamente però alle rilevazioni termometriche, anche se l'insieme dei dati raccolti ha consentito di ottenere la serie completa e senza lacune delle temperature medie giornaliere dal 1/1/1915 ad oggi, lo spostamento dei bulbi dei termometri avvenuto il 1/1/1958 non consente di ritenere omogenea questa serie di valori argomentali. Si ritiene più opportuno, allo stato attuale delle risultanze, applicare l'analisi climatica alla sola serie pluviometrica.

4.3 ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI ANNUE E MENSILI

Il periodo 1899 – 1997 risulta privo di lacune di rilevazione delle precipitazioni mensili ed annue, per cui viene assunto come base documentaria per l'analisi climatica; mentre utilizzando tutti i dati a disposizione dal 1870 si può tracciare l'andamento delle precipitazioni annue riportato nella figura 1. S'individua una chiara tendenza negativa che, sulla base della relativa retta del trend, permette di stimare una diminuzione della precipitazione media annua di 30,62 mm, pari ad un gradiente negativo di 0,24 mm/anno.

In particolare poi, se si eseguono per questo stesso periodo temporale 1870-1997, gli andamenti delle precipitazioni per ogni mese dell'anno, si evince che questa tendenza negativa è presente significativamente nei mesi di aprile, con un gradiente negativo di 0,1 mm/anno, e di giugno, con un gradiente negativo di 0,2 mm/anno, mentre nei restanti mesi dell'anno si rilevano appena apprezzabili tendenze, negative per i mesi di ottobre, novembre e dicembre, e positive per tutti gli altri restanti mesi.

Il calcolo delle grandezze statistiche, permette di determinare per il periodo 1899-1997 una precipitazione media annua di 791,9 mm, che, con un numero medio annuo di 72 giorni piovosi, risulta compresa nel campo di variabilità del minimo di precipitazione annua dell'anno 1921 con 421,8 mm in 52 giorni piovosi e del massimo dell'anno 1911 con 1309,2 mm in 71 giorni piovosi.

La verifica della probabilità di evenienza di questi valori estremi annuali, attraverso la distribuzione di frequenza dei minimi e massimi di precipitazione annua

di questo periodo di 99 anni, consente di evidenziare per il minimo annuo di 421,8 mm, un tempo di ritorno di 34 anni, mentre per il massimo annuo di 1309,2 mm, ne consegue un tempo di ritorno di 244 anni, che va pertanto considerato come indicativo di larga massima risultando 2,5 volte la lunghezza della serie.

La distribuzione di frequenza delle precipitazioni annue dell'intervallo temporale 1899-1997 presenta un istogramma ad andamento unimodale, mentre l'andamento della curva di frequenza fornisce valori percentuali di distribuzione assimilabili ad una distribuzione gaussiana, per cui la serie può ritenersi affidabile per l'elaborazione statistica dei dati.

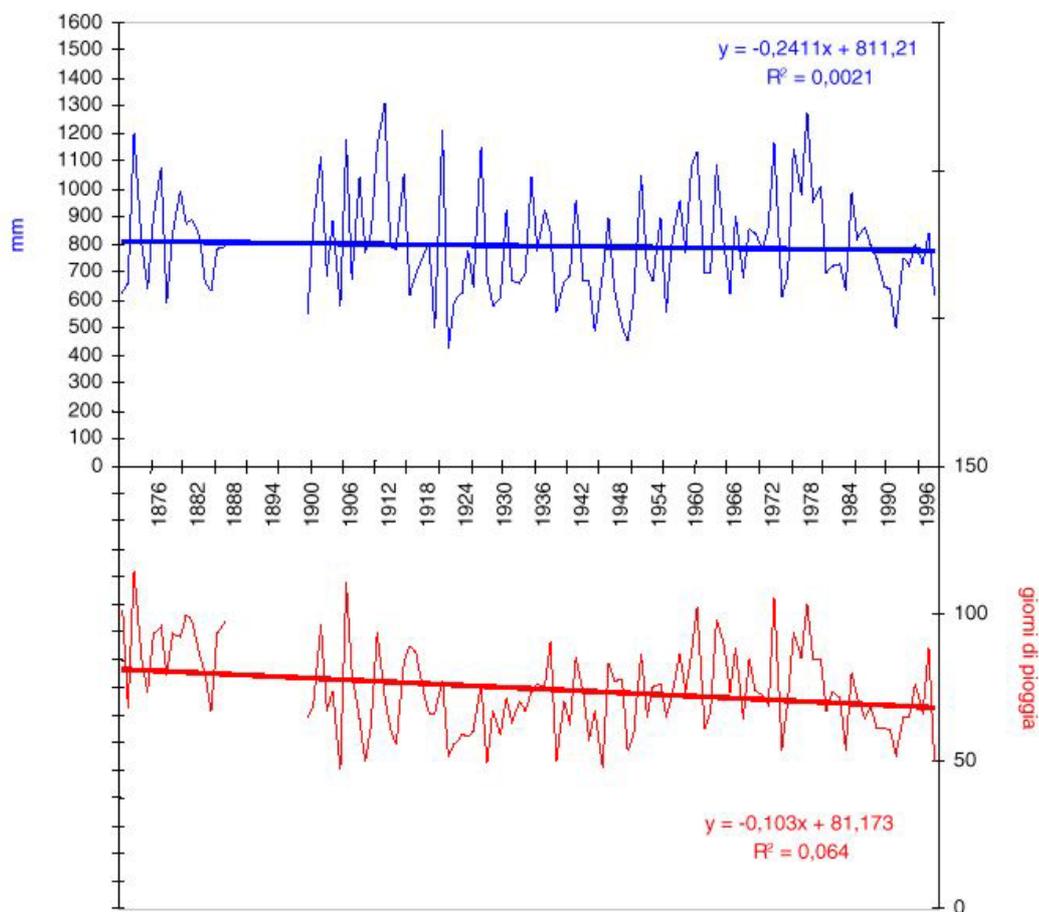


FIGURA 1 – Andamento delle precipitazioni e dei giorni piovosi di Casale Monferrato nel periodo 1870-1997.

L'andamento del numero di giorni piovosi annui per il periodo 1899-1997 (cfr. figura 1) evidenzia la presenza di due periodi di minimi in corrispondenza degli

intervalli temporali 1918-1921 e 1937-1948. Il modulo pluviometrico estremo di 3,1 e l'angolo medio annuo di Gams del valore di 9,2° individuano un regime pluviometrico con grado di continentalità <10°, quindi tipico dell'Europa occidentale oceanica a flora mediterranea, in cui gli anni secchi (precipitazione annua <694,3 mm) rappresentano il 39,4% del totale e quelli piovosi (precipitazione annua >801 mm) il 40,4% del totale.

L'analisi stagionale della serie di queste precipitazioni del periodo 1899-1997 evidenzia che la primavera più piovosa è stata quella del 1905 con 452,8 mm in 41 giorni piovosi e la più secca quella del 1997 con 5,4 mm in 2 giorni piovosi. L'estate più piovosa invece è risultata quella del 1977 con 404,4 mm in 27 giorni piovosi e la più secca quella del 1991 con 30 mm in 6 giorni piovosi. Inoltre l'autunno più piovoso è stato quello del 1911 con 598,5 mm in 25 giorni piovosi ed il più secco quello del 1983 con 23 mm in 7 giorni piovosi. Parimenti l'inverno più piovoso è risultato quello del 1972 con 439,6 mm in 35 giorni piovosi, mentre il più secco è stato il 1981 con 13,4 mm in 5 giorni piovosi.

5. Pluviometria della zona di interesse

5.1 GENERALITÀ E UBICAZIONE DELLE STAZIONI PLUVIOMETRICHE

Il calcolo degli afflussi sui bacini individuati è stato sviluppato sulla base dell'analisi statistica eseguita sulla serie delle massime precipitazioni orarie, registrate nelle stazioni pluviometriche presenti all'interno dei bacini stessi e nel territorio limitrofo.

L'unica stazione che ricade all'interno dei bacini in esame è quella di Casale Monferrato. Per determinare gli afflussi sui bacini secondo il regime pluviometrico dell'area casalese, si sono considerate anche le stazioni pluviometriche presenti attorno a Casale Monferrato, distanti alcune decine di chilometri. Il territorio compreso tra le stazioni pluviometriche considerate è infatti prevalentemente pianeggiante nella parte settentrionale e a morfologia collinare in quella meridionale. Le caratteristiche pluviometriche di tale zona devono quindi essere studiate a larga scala, individuando i centri di scroscio e la distribuzione delle precipitazioni tracciando le isoiete su un'area significativa, che comprenda interamente i bacini studiati.

Si ritiene quindi che le caratteristiche pluviometriche delle stazioni introdotte nello studio siano strettamente legate tra loro, poiché legate ad un regime pluviometrico tipico di un'area piuttosto estesa. Oltre alla stazione di Casale Monferrato, sono state studiate altre 8 stazioni, che consentono di tracciare il quadro pluviometrico di tutta l'area limitrofa al territorio di Casale; in particolare si sono utilizzati i dati pluviometrici delle stazioni di Vercelli, Novara, Bertignano Viverone, Mazzè, Chivasso, Asti, Alessandria e Voghera, per l'ubicazione favorevole rispetto ai bacini idrografici studiati e per la lunghezza delle serie storiche di dati disponibili.

I valori delle precipitazioni per durate comprese tra 1 e 24 ore sono stati dedotti dagli Annali Idrologici del S.I.M.N., dove sono riportate le massime altezze annuali di pioggia relative a durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

Le stazioni di Cocconato e Moncalvo, nonostante l'ubicazione favorevole nel territorio in esame, sono state escluse, poiché non dispongono di una serie storica di dati sufficientemente significativa.

Nella tabella 6 sono riportati alcuni dati caratteristici delle stazioni pluviometriche utilizzate nello studio degli afflussi, mentre nell'**ALLEGATO 2** sono riportate le serie complete dei dati pluviometrici utilizzati nelle successive

elaborazioni. L'altezza sul livello del mare delle stazioni considerate ricade all'incirca tra i 100 e i 400 m s.l.m.

Le serie storiche utilizzate si riferiscono generalmente ad un periodo di 30 - 40 anni, per un periodo compreso tra gli anni '30 e '80. Per la stazione di Casale M.to sono stati utilizzati anche i dati fino all'anno 1994. La serie storica più lunga risulta quella di Voghera, con 48 anni di osservazione, mentre la più corta è quella di Bertignano Viverone, con 28 anni.

TABELLA 6 - Stazioni di registrazione pluviometriche utilizzate per il calcolo degli afflussi.

Stazione	quota	N° osservazioni	Coordinate Gauss Boaga	
	m s.l.m.		anni	Est (m)
Alessandria	95	35	1469264	4972936
Voghera	96	48	1500841	4982119
Casale M.to	113	41	1454974	4998943
Vercelli	135	44	1451200	5019339
Asti	152	32	1437668	4971313
Novara	164	36	1470853	5032180
Chivasso	183	33	1413117	5004933
Mazzè	218	43	1417215	5017841
Bertignano Viverone	370	28	1426512	5030690

5.2 ELABORAZIONI STATISTICHE

Per calcolare le massime portate di piena per assegnati tempi di ritorno è indispensabile poter simulare gli effetti sul bacino di un evento di pioggia particolarmente gravoso, denominato *pioggia di progetto*. Tale evento può coincidere con un evento eccezionale effettivamente osservato in passato oppure, come sarà applicato nel presente studio, rappresentare un evento ipotetico definito considerando le caratteristiche pluviometriche e idrologiche dell'area in esame e la probabilità che lo stesso possa verificarsi in un assegnato intervallo di tempo definito appunto tempo di ritorno (T_r).

5.2.1 CENNI DI METODOLOGIA STATISTICA

Lo studio a carattere regionale del regime delle piogge di notevole intensità e di breve durata si propone di definire i legami funzionali tra le grandezze fondamentali che caratterizzano un evento pluviometrico:

- altezza di pioggia “ h ”
- durata della pioggia “ t ”
- frequenza probabile “ F ”
- distribuzione spaziale “ $h = h(t, F, x, y)$ ”

Limitando l'analisi ad una singola località si ottengono relazioni tra altezze di precipitazione, durate e frequenze probabili, esprimibili nella forma $h = h(t, F)$.

La rappresentazione di dette relazioni nel piano h, t a mezzo di una famiglia di curve $h = h(t)$ caratterizzate da valori costanti del parametro F è nota come "curva di possibilità pluviometrica".

Le curve di possibilità pluviometrica hanno una forma analitica del tipo $h = at^n$ con coefficiente a ed esponente n espressi in funzione del tempo di ritorno T_r considerato.

Per il presente studio sono state ricavate le curve di possibilità pluviometrica per tempi di ritorno di 10, 20, 50, 100, 200, e 500 anni. Dalle curve di possibilità pluviometrica è possibile, fissata la durata della precipitazione di progetto, risalire alla portata defluente massima (Q_{max}) nelle varie sezioni del corso d'acqua.

5.2.2 LEGGI DI PROBABILITÀ

È noto che gli eventi idrologici sono il risultato di un gran numero di fattori le cui interazioni sono difficilmente individuabili, o comunque che influiscono sui fenomeni con leggi poco note o del tutto incognite, tanto che risulta naturale considerare tali eventi come fenomeni casuali trattabili quindi con i metodi tipici del calcolo delle probabilità.

Un evento di pioggia di altezza “ h ” e di durata “ t ” può essere dunque considerato una variabile aleatoria intesa come una quantità variabile “ h ” a cui è

possibile associare una funzione di frequenza $F(h)$ che al tendere all'infinito del numero di osservazioni tende alla probabilità $P(h)$.

In base alle considerazioni anzidette sono state applicate due leggi per rappresentare la distribuzione di frequenza degli eventi idrologici: la log-normale a due parametri e la legge di Gumbel.

5.2.3 STIMA DEI PARAMETRI DELLA DISTRIBUZIONE

Per stimare i parametri delle leggi di distribuzione si è utilizzato il “metodo dei momenti”. Per un campione di N valori si ha media $\mu(x)$ e scarto quadratico medio $\sigma(x)$ espressi dalle seguenti relazioni :

$$\mu(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad \sigma(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N - 1}}$$

Relativamente ad ogni stazione pluviometrica, si ricavano quindi i parametri caratteristici delle distribuzioni di probabilità, derivati dai campioni disponibili di dati, per le diverse durate di precipitazione (1, 3, 6, 12, 24 ore).

5.2.4 REGOLARIZZAZIONE SECONDO LA LEGGE LOG-NORMALE 2 PARAMETRI

La probabilità di superamento dei valori di massima precipitazione h_t relativi ad una certa durata, secondo la legge log-normale a due parametri è espressa dalla seguente forma:

$$P(h_t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^y e^{-\frac{y^2}{2}} dy$$

dove y è la variabile ridotta espressa nella forma: $y = a \cdot \log(h_t) + b$.

I coefficienti a e b si esprimono per mezzo dei parametri della popolazione quali la media $\mu(x)$ e lo scarto quadratico medio $\sigma(x)$ con le relazioni:

$$a = \frac{1}{\sqrt{\ln \frac{\mu(x)^2 + \sigma^2}{\mu(x)^2}}} \quad b = \frac{1}{2a} - a \ln \mu(x)$$

I dati pluviometrici h_t relativi ad intervalli di tempo costante (1-3-6-12-24 ore) sono stati ordinati in modo crescente; a ciascuno di essi è stato attribuito un numero d'ordine (1,2,...,n) e una frequenza F di non superamento calcolata con la seguente formula:

$$F_{ns} = \frac{n}{N+1}$$

Avendo assunto una distribuzione di tipo Log-normale per rappresentare i campioni sperimentali, la retta regolatrice si presenta nella forma:

$$y = a \cdot \ln(x) + b$$

Determinate le medie e gli scarti quadratici medi relativi a ciascun campione omogeneo di altezze di precipitazione, le altezze h_t, T regolarizzate secondo la legge Log Normale si ricavano elaborando le espressioni precedentemente introdotte, attraverso le seguente formula:

$$h_t = e^{\frac{y-b}{a}}$$

ove, i valori della variabile ridotta “y” sono noti essendo nota la legge di distribuzione delle loro probabilità $P(y)$ in quanto di tipo normale (Gauss). Pertanto, introducendo la funzione di probabilità in funzione del tempo di ritorno assegnato:

$$P(y) = \frac{T_r - 1}{T_r}$$

si possono dedurre i valori y e da questi i valori massimi di precipitazione h_t, T , relativi ad una certa durata.

Nell'**ALLEGATO 2** sono riportati i risultati dell'analisi statistica secondo la Legge Log-normale per ogni stazione pluviometrica considerata.

5.2.5 REGOLARIZZAZIONE SECONDO LA LEGGE DI GUMBEL

Adottando il modello di Gumbel, per regolarizzare la distribuzione dei valori di massima precipitazione h_t relativi ad una certa durata, la funzione di ripartizione $P(h_t)$ è pari a:

$$P(h_t) = \exp \left\{ - \exp \left[- \alpha_t (h_t - \varepsilon_t) \right] \right\}$$

dove i parametri α_t e ε_t si calcolano in funzione dei parametri della popolazione, quali la media $\mu(x)$ e lo scarto quadratico medio $\sigma(x)$ con le seguenti relazioni:

$$\alpha_t = \frac{1,283}{\sigma(h_t)} \quad \varepsilon_t = \mu(h_t) - 0,450 \sigma(h_t)$$

Introducendo la definizione di tempo di ritorno T_r :

$$T_r = \frac{1}{1 - P(h_t)}$$

si ottiene la relazione che consente di calcolare i valori massimi di precipitazione relativi ad una certa durata, imposto il tempo di ritorno:

$$h_{t,T} = \varepsilon_t - \frac{1}{\alpha_t} \ln \ln \frac{T_r}{T_r - 1}$$

Nell'**ALLEGATO 2** sono riportati i risultati dell'analisi statistica secondo la Legge di Gumbel per ogni stazione pluviometrica considerata.

5.2.6 TEST STATISTICI PER L'ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI

Al fine di verificare se la distribuzione teorica scelta sia adatta a rappresentare la distribuzione sperimentale e quindi evitare eventuali incertezze che derivano da erronee valutazioni, si utilizzano opportuni criteri di accettabilità meglio noti come test statistici.

Per verificare la corrispondenza dei modelli delle regolarizzazioni secondo la legge Log-normale 2 parametri e quella di Gumbel con l'effettiva distribuzione della variabile casuale, si è applicato il test di adattamento di Kolmogorov. Lo scopo del test è di valutare se lo scostamento massimo D_N , ossia la massima differenza in valore assoluto tra la frequenza cumulata $F(x)$ e la funzione di probabilità $P(x)$, sia minore di un certo valore di riferimento.

La regione di accettazione è la seguente: $[0; (1-\alpha)]$, dove $\alpha = 0,05$ è il livello di significatività prefissato.

Per il suddetto valore di α , la regione di accettazione coincide con l'insieme dei valori per cui è vera la disuguaglianza:

$$D_N \leq \frac{1,3581}{\sqrt{N}}$$

Nell' **ALLEGATO 2** sono riportati i risultati del test statistico, considerando le serie di dati relativi alle diverse durate di precipitazioni, per tutte le stazioni considerate. Si ottiene che lo scarto massimo per ogni distribuzione di probabilità rientra nel campo di accettazione per entrambi le leggi di regolarizzazione.

5.3 CURVE DI MASSIMA POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA

Le elaborazioni statistiche adottate (legge log–normale e di Gumbel) permettono, per prefissati valori del T_r , di ricavare per la stazione pluviometrica considerata la funzione:

$$h = a t^n$$

dove i parametri “a” ed “n” sono determinati dall’analisi del campione di altezze di precipitazione considerato.

Detta funzione indica la legge di variazione dell’altezza di pioggia “h” in funzione della durata di pioggia “t” ed è denominata “curva di massima possibilità pluviometrica”.

Fissato T_r , per ognuna delle serie di campioni di dati meteorologici relativa ad un dato tempo di pioggia “t”, si valuta il corrispondente valore dell’altezza di pioggia con tempo di ritorno pari a quello prefissato.

I coefficienti a e gli esponenti n delle curve relative alle diverse stazioni pluviometriche, sono stati calcolati con il “Metodo dei minimi quadrati” e sono riassunti nelle tabelle 7 e 8, per le due leggi di regolarizzazione.

TABELLA 7 – Parametri delle curve di massima possibilità pluviometrica per T_r 10, 20 e 50.

Stazione	Distribuzione	$T_r = 10$ anni		$T_r = 20$ anni		$T_r = 50$ anni		Scelta
		a	n	a	n	a	n	
Alessandria	Log-Normale	29,38	0,264	33,70	0,255	39,32	0,244	X
	Gumbel	29,36	0,264	33,64	0,257	39,19	0,250	
Voghera	Log-Normale	39,10	0,231	46,01	0,217	55,25	0,200	X
	Gumbel	39,42	0,225	45,96	0,214	54,43	0,203	
Casale M.to	Log-Normale	45,58	0,213	55,02	0,193	68,00	0,170	X
	Gumbel	46,18	0,208	54,56	0,195	65,41	0,184	
Vercelli	Log-Normale	41,44	0,294	47,27	0,299	54,82	0,305	X
	Gumbel	41,42	0,295	47,26	0,299	54,80	0,302	
Asti	Log-Normale	34,22	0,243	39,67	0,224	46,86	0,203	X
	Gumbel	34,26	0,241	39,53	0,228	46,36	0,214	
Novara	Log-Normale	38,31	0,345	43,44	0,347	50,04	0,351	X
	Gumbel	38,25	0,345	43,47	0,347	50,23	0,349	
Chivasso	Log-Normale	34,50	0,298	38,82	0,290	44,33	0,280	X
	Gumbel	34,42	0,298	38,91	0,291	44,73	0,285	
Mazzè	Log-Normale	43,19	0,220	49,49	0,211	57,69	0,201	X
	Gumbel	43,16	0,219	49,42	0,213	57,53	0,207	
Bertignano Viverone	Log-Normale	47,34	0,335	54,41	0,341	63,64	0,348	X
	Gumbel	47,38	0,336	54,32	0,340	63,29	0,344	

TABELLA 8 – Parametri delle curve di massima possibilità pluviometrica per T_r 100, 200 e 500.

Stazione	Distribuzione	$T_r = 100$ anni		$T_r = 200$ anni		$T_r = 500$ anni		Scelta
		a	n	a	n	a	n	
Alessandria	Log-Normale	43,58	0,236	47,88	0,230	53,67	0,222	X
	Gumbel	43,34	0,245	47,49	0,242	52,96	0,238	
Voghera	Log-Normale	62,42	0,189	69,79	0,179	79,90	0,167	X
	Gumbel	60,78	0,197	67,12	0,191	75,48	0,186	
Casale M.to	Log-Normale	78,31	0,156	89,12	0,142	104,23	0,125	X
	Gumbel	73,56	0,177	81,68	0,172	92,39	0,166	
Vercelli	Log-Normale	60,51	0,309	66,24	0,313	73,91	0,317	X
	Gumbel	60,46	0,304	66,09	0,306	73,51	0,307	
Asti	Log-Normale	52,37	0,188	57,97	0,176	65,57	0,160	X
	Gumbel	51,48	0,206	56,58	0,200	63,31	0,193	
Novara	Log-Normale	54,98	0,353	59,94	0,355	66,54	0,357	X
	Gumbel	55,29	0,350	60,34	0,351	66,99	0,352	
Chivasso	Log-Normale	48,43	0,274	52,52	0,268	57,93	0,261	X
	Gumbel	49,09	0,281	53,44	0,277	59,17	0,273	
Mazzè	Log-Normale	63,90	0,195	70,16	0,189	78,58	0,182	X
	Gumbel	63,60	0,203	69,66	0,200	77,65	0,197	
Bertignano Viverone	Log-Normale	70,64	0,353	77,73	0,357	87,27	0,362	X
	Gumbel	70,01	0,346	76,71	0,348	85,54	0,350	

Nell' **ALLEGATO 2** sono inoltre riportati i grafici delle “curve di massima possibilità pluviometrica” riferite ai diversi tempi di ritorno, per le due leggi di distribuzione utilizzate. Applicando quindi i parametri calcolati alla legge $h = a t^n$ si ottengono i valori di massima precipitazione per le durate di tempo predefinite (1, 3, 6, 12, 24 ore), come riportato sempre negli allegati succitati, per ogni stazione pluviometrica e relativamente al tempo di ritorno considerato.

Nell'ultima colonna delle tabelle 7 e 8 sono indicate le leggi di distribuzione scelte per i calcoli idrologici successivi, per ogni stazione pluviometrica. Il criterio è stato quello di assumere i coefficienti a ed n più elevati, o comunque quelli che forniscono i valori di precipitazione più elevati per le durate di precipitazione. In effetti si osserva generalmente che a coefficienti “ a ” più elevati corrispondono viceversa parametri “ n ” leggermente più bassi in relazione alle due diverse distribuzioni; pertanto si possono avere valori più elevati o inferiori tra le due distribuzioni considerate, in relazione alla durata della precipitazione stessa.

In particolare si osserva generalmente che la distribuzione log normale a 2 parametri porta a valori di precipitazione maggiori per durate di precipitazione fino a 6 – 12 h. Per durate superiori, spesso la legge di Gumbel fornisce valori leggermente superiori. Dati i tempi di ritorno dei bacini considerati, che risultano generalmente inferiori a 6 h – 12 h, si sono scelti i parametri “ a ” ed “ n ” delle curve di possibilità pluviometriche calcolate con la legge log normale per tutte le stazioni, ad eccezione di Novara e Chivasso, per le quali risulta più cautelativo assumere i risultati ottenuti con la legge di Gumbel.

Si osserva che i coefficienti “ a ” ed “ n ” calcolati sono confrontabili con quelli riportati nella *Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica* proposta nel PAI dall'Autorità di Bacino. In tale direttiva, per le stazioni considerate nel presente studio, vengono assunti i coefficienti della curva di possibilità pluviometrica riportati nella tabella 9, calcolati sulla base di serie storiche meno estese.

Poiché in generale i parametri assunti nella direttiva sono inferiori a quelli calcolati nel presente studio e dato l'approfondimento idrologico raggiunto nello studio stesso per la zona in esame, si ritiene corretto e opportuno far riferimento alle curve di possibilità pluviometriche calcolate nelle elaborazioni precedenti.

TABELLA 9 – Parametri delle curve di massima possibilità pluviometrica secondo il PAI.

Stazione	T _r = 20 anni		T _r = 100 anni		T _r = 200 anni		T _r = 500 anni	
	a _{PAI}	n _{PAI}	a _{PAI}	n _{PAI}	a _{PAI}	n _{PAI}	a _{PAI}	n _{PAI}
Alessandria	32.80	0.290	42.18	0.282	46.23	0.279	51.57	0.276
Voghera	44.91	0.231	58.87	0.217	64.83	0.213	72.45	0.211
Casale M.to	56.19	0.166	74.69	0.142	82.60	0.134	93.10	0.126
Vercelli	49.46	0.255	63.52	0.248	69.52	0.246	77.42	0.243
Asti	38.23	0.259	50.93	0.230	56.40	0.221	63.60	0.211
Novara	46.84	0.296	59.82	0.293	65.35	0.292	72.66	0.291
Chivasso	43.86	0.288	55.79	0.277	60.99	0.273	67.75	0.269
Mazzè	46.85	0.243	58.29	0.242	63.17	0.242	69.67	0.241
Bertignano Viverone	51.02	0.312	64.16	0.312	69.79	0.312	77.22	0.312

6. Calcolo delle isoiete e dei volumi di afflusso

La principale caratteristica delle misure di precipitazione, così come sono state elaborate nei paragrafi precedenti, è di riferirsi al punto in cui è situato lo strumento di registrazione.

Il volume di pioggia che in un dato tempo affluisce ad una data area si deve pertanto stimare riferendosi ad un certo numero di misure locali, eseguite in stazioni appartenenti o nelle immediate vicinanze del bacino considerato e operando un opportuno ragguglio delle stesse all'area di competenza.

Occorre dunque introdurre, per il calcolo del volume di pioggia affluito durante l'evento considerato, il concetto di "solido di pioggia", inteso come un solido avente per base la proiezione orizzontale dell'area in esame e come limite superiore una superficie, la cui distanza dalla base è in ogni punto uguale all'altezza di pioggia caduta nel punto nell'intervallo di tempo considerato.

L'individuazione di tale superficie viene condotta attraverso il tracciamento delle *curve isoiete*, ossia le curve che uniscono tutti i punti ad ugual altezza di precipitazione.

Occorre precisare che le carte delle isoiete si costruiscono direttamente a partire dalle curve di possibilità pluviometrica calcolate nelle singole stazioni e consentono quindi di valutare la distribuzione delle altezze di precipitazione di una certa durata e con un assegnato tempo di ritorno su un'intera porzione di territorio, racchiusa dalle stesse stazioni utilizzate per le elaborazioni dei dati pluviometrici.

Per lo studio idrologico dell'area casalese, si sono considerate nove stazioni distribuite nel territorio, in modo da delimitare un'area estesa che copre tutti i bacini in esame. Per ogni stazione pluviometrica si sono quindi ottenuti i parametri idrologici in grado di fornire l'altezza di pioggia massima che può cadere in un certo tempo, con un assegnato tempo di ritorno. Si definisce quindi isoietta la linea, tracciata sul territorio considerato, che unisce tutti i punti di uguale precipitazione h nel tempo t .

Ricostruita la disposizione spaziale delle stazioni pluviometriche relativamente alla posizione della superficie S di un bacino, si collegano tutti i punti di misura con segmenti rettilinei. Viene quindi eseguito il tracciamento delle isoiete considerando un metodo di interpolazione della grandezza $h(t)$ lungo le congiungenti le diverse stazioni.

Tracciata la distribuzione delle curve isoiete, il solido di pioggia relativo ad una certa durata t e a una certa superficie S , può quindi essere calcolato nel seguente modo:

$$W(t) = \sum_i \bar{h}_i(t) \times S_i$$

dove:

$$\bar{h}_i(t) = (h_i + h_{i+1})/2$$

è l'altezza media di precipitazione sull'elemento di area S_i .

Il calcolo del volume del solido di pioggia col metodo delle isoiete è quello che fornisce i risultati migliori, perché si basa su un'individuazione delle precipitazioni che è la più precisa possibile.

Per ogni bacino considerato si sono calcolati i valori del solido di pioggia relativo ad un tempo di ritorno di 200 anni, a partire dalle isoiete calcolate e riportate nella **TAVOLA 8**.

7. Trasformazione afflussi - deflussi

7.1 GENERALITÀ

Uno dei metodi più utilizzati per calcolare le portate di piena relative ad una sezione di un corso d'acqua consiste nell'elaborazione statistica dei valori di portata desunti da misurazioni idrometriche dirette effettuate sul corso d'acqua nella sezione in esame o in sezioni poste sulla stessa asta principale (Metodo diretto). Tale metodo, quando si basa sull'analisi di dati misurati per un periodo di anni sufficientemente lungo e soprattutto tra loro omogenei, fornisce risultati molto attendibili.

Spesso però, a causa dell'insufficienza o totale mancanza di dati idrometrici, o della non omogeneità degli stessi, occorre fare riferimento ad osservazioni su altri corsi d'acqua appartenenti a bacini con caratteristiche idrologiche e morfologiche simili.

In alternativa si può fare riferimento ai dati pluviometrici ed elaborare statisticamente gli stessi, ricavando la portata con il metodo della corrivazione o con altri metodi indiretti.

Un ulteriore metodo, utilizzato per una conoscenza dei valori massimi di portate probabili, è quello di utilizzare formule empiriche desunte da precedenti studi idrologici, eseguiti considerando bacini imbriferi con caratteristiche simili a quelli in esame.

Il presente studio, basato unicamente sull'utilizzo di dati pluviometrici, è stato sviluppato seguendo le ipotesi che sono alla base dei metodi indiretti.

L'individuazione del contorno dei bacini idrografici è stata eseguita utilizzando una metodologia che prevede per la digitalizzazione numerica dello stesso, onde agevolare il successivo calcolo del volume di pioggia affluito sulla sua superficie.

7.2 IETOGRAMMA DI PROGETTO RETTANGOLARE

Per la previsione degli eventi idrologici, occorre necessariamente simulare gli effetti sul bacino di un evento di pioggia particolarmente gravoso preso a riferimento come pioggia di progetto.

Per pioggia di progetto corrispondente ad un assegnato periodo di ritorno, si intende quindi una certa distribuzione temporale della precipitazione, da utilizzare per

la progettazione o la verifica di specifiche opere idrauliche. Tale distribuzione può coincidere con un evento eccezionale effettivamente osservato oppure rappresentare un evento ipotetico definito artificialmente secondo una determinata procedura.

L'istogramma utilizzato per il calcolo delle portate è quello rettangolare, caratterizzato da un'intensità costante di precipitazione per tutta la durata dell'evento di pioggia, pari a:

$$i = \frac{h(t_p)}{t_p}$$

dove la durata " t_p " dell'evento critico è posta uguale al tempo di corrvazione del bacino in studio, in accordo con il metodo razionale.

Si introduce in tal modo uno ietogramma che si basa sul criterio concettuale del rispetto della curva di possibilità climatica; assegnata la durata dell'evento di pioggia, in modo che essa sia uguale o maggiore del tempo di corrvazione del bacino, si calcola l'altezza di pioggia corrispondente dalla curva di possibilità climatica e da questa la corrispondente intensità di precipitazione.

Tale metodo, pur trascurando gli effetti dei picchi di intensità mediando la precipitazione su tutta la durata dell'evento, consente di costruire un modello globale di afflussi-deflussi, introducendo la durata più critica dell'intera rete idrografica. In tal modo quindi si può analizzare il comportamento idraulico della rete soggetta ad un evento di pioggia di progetto valido per tutti i bacini.

8. Calcolo delle portate mediante modello numerico di trasformazione afflussi-deflussi

Per il calcolo delle portate e quindi per la stima dei prevedibili volumi liquidi legati ad un prescelto tempo di ritorno, si è utilizzato un approccio di tipo modellistico che consente, una volta assegnato lo ietogramma di progetto, di calcolare le portate defluenti alla sezione che sottende il bacino in esame, mediante la simulazione dei complessi fenomeni di trasformazione afflussi - deflussi.

Il software utilizzato, derivato dal noto codice di calcolo americano HEC-1 "Flood Hydrograph Package" sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers, consente mediante un'opportuna schematizzazione del reticolo idrografico in una serie di componenti idrologicamente interconnessi tra loro ed un'attenta definizione delle caratteristiche geometriche e di permeabilità del bacino, il calcolo degli idrogrammi di deflusso che competono a particolari eventi meteorici registrati.

Il modello fornisce risultati tanto più attendibili quanto più compiutamente sono definite le caratteristiche del bacino e degli ietogrammi che lo interessano. Per la taratura dello stesso si rendono comunque indispensabili non solo le registrazioni delle altezze di precipitazione ma anche le misure dei livelli idrometrici e delle portate ad essi associate.

Nel presente studio non è stato possibile effettuare una vera e propria taratura del modello idrologico sulla base delle portate registrate, in quanto non disponibili, ma ammettendo simili ipotesi di partenza, i valori di portata massimi calcolati con il modello idrologico sono comunque risultati in buon accordo con quelli ottenuti con altri metodi di calcolo.

8.1 CALCOLO DELLE PERDITE

Il calcolo della quota parte di precipitazioni perse in depressioni superficiali, intercettazione, evapotraspirazione, infiltrazione può essere eseguito utilizzando metodi diversi che richiedono la conoscenza di vari dati di ingresso spesso di difficile definizione, quali la specificazione della percentuale d'area di sottobacino impermeabile (percent impervious area), per la quale il codice di calcolo non tiene

conto di nessuna perdita, e molti altri parametri di difficile determinazione quali le perdite iniziali e a regime o l'umidità e la conduttività idraulica del terreno per citarne solo alcuni.

Il metodo del Soil Conservation Service Statunitense richiede la conoscenza del valore della perdita iniziale di pioggia (initial abstraction) e del numero di curva adimensionale CN (SCS curve number) definito dal Soil Conservation Service sulla base di numerosi dati raccolti con campagne di misure in campo.

Spesso però, per la necessità di semplificazione o per la difficoltà che si incontra nel definire i vari parametri, le perdite vengono considerate facendo riferimento ad un'unica equazione nonostante esistano numerosi metodi per il calcolo delle singole quote da attribuire a ciascun fenomeno. La ragione di tale semplificazione risiede nel fatto che le leggi che governano i singoli fenomeni fisici non sono tuttora ben conosciute e risulta pertanto molto difficile individuare i confini di competenza di ciascun processo.

Il calcolo della quota parte di precipitazioni perse nel bacino è stato eseguito con il metodo SCS curve number. I parametri necessari sono due ed il numero di curva adimensionale può essere valutato noti l'uso e la litologia del suolo.

Di più difficile determinazione è invece la stima della perdita di pioggia I_a che si ha all'inizio dell'evento meteorico, perché è funzione delle caratteristiche geologiche e di saturazione del terreno stesso; tuttavia tale parametro può essere calcolato, in funzione di CN (numero di curva adimensionale SCS curve number) definito dal Soil Conservation Service sulla base di numerosi dati raccolti con campagne di misure in campo, secondo la relazione proposta:

$$I_a = 0,2 \frac{(1000 - 10CN)}{CN}$$

8.1.1 CALCOLO DEL NUMERO DI CURVA ADIMENSIONALE CN

Il numero di curva adimensionale CN (runoff curve number) è un indice di ritenzione potenziale del suolo, che dipende dalla pedologia, dal tipo e grado di copertura del suolo e dal grado di umidità iniziale del terreno.

Tale indice ha un valore compreso tra 0 e 100 e, per la sua determinazione, il Soil Conservation Service propone delle classificazioni, in modo da far rientrate la

zona esaminata in una determinata categoria e ricavare da opportune tabelle il valore di CN corrispondente.

Nella tabella 10 è riportata la classificazione dei terreni secondo l'S.C.S. che distingue quattro classi di suolo in base alla potenzialità di deflusso: da terreni altamente permeabili, con scarsa potenzialità di deflusso (classe A) a terreni impermeabili con alta potenzialità di deflusso (classe D).

I terreni che costituiscono i bacini in esame devono essere ricondotti ad una delle classi elencate nella tabella 10 e per far questo si riporta anche la tabella 11, che definisce in funzione della tessitura del terreno la conducibilità idraulica a saturazione e il gruppo idrologico di appartenenza.

TABELLA 10 - Classificazione dei terreni secondo l'S.C.S.

CLASSE	TIPOLOGIA DI TERRENO
A	<i>Scarsa potenzialità di deflusso:</i> comprende strati profondi di sabbia con scarsissimo limo e argilla, strati profondi di limo calcareo, limi aggregati. Si ha un tasso d'infiltrazione elevato anche quando i terreni sono completamente bagnati.
B	<i>Potenzialità di deflusso mediamente bassa:</i> comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi di quelli appartenenti al gruppo A, strati sottili di limo calcareo, loam (mistura di sabbia, limo, argilla e humus).
C	<i>Potenzialità di deflusso mediamente alta:</i> comprende suoli sottili contenenti considerevoli quantità di argilla, loam argillosi, strati sottili di loam sabbiosi, terreni con ridotti contenuti organici.
D	<i>Potenzialità di deflusso molto alta:</i> comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, sabbie saline e suoli sottili con orizzonti impermeabili in vicinanza della superficie.

TABELLA 11– Parametri per la valutazione del tipo di terreno.

Tessitura del Terreno	Conducibilità idraulica a saturazione		Gruppo idrologico
	(cm/h)	(m/s)	
Sabbia	23,56	6,5E-05	A
Sabbia franca	5,98	1,7E-05	A
Franco sabbioso	2,18	6,1E-06	A
Franco limoso	1,32	3,7E-06	B
Franco	0,68	1,9E-06	B
Franco argillo sabbioso	0,30	8,3E-07	C
Franco argilloso	0,20	5,6E-07	D
Franco argillo limoso	0,20	5,6E-07	D
Argillo sabbioso	0,12	3,3E-07	D
Argillo limoso	0,10	2,8E-07	D
Argilla	0,06	1,7E-07	D

Nella tabella 2 (§2.4) sono elencate per i bacini in esame le percentuali di ogni

classe litologica. Comparando le informazioni fornite dalla litologia con i valori di permeabilità di vari tipi di terreno, si può associare ad ogni area un gruppo idrologico, da cui si può determinare il parametro CN, facendo riferimento alla tabella 12, in cui sono riportati i valori di CN per ciascuna classe d'uso del suolo e per ogni gruppo idrologico, forniti dal SCS.

Si calcola CN come media pesata, considerando come pesi le percentuali areali di ciascuna classe d'uso del suolo, riportate nella tabella 3 (§2.5); in tal modo i valori ottenuti si riferiscono ad un grado di umidità iniziale del terreno prima che si verifichi l'evento meteorico di tipo II, cioè a un terreno umido.

TABELLA 12 - Valori assunti dal parametro CN per condizione di umidità II.

USO DEL SUOLO	CLASSE	TIPOLOGIA DI TERRENO			
		Gruppo A	Gruppo B	Gruppo C	Gruppo D
<i>COLTURE ERBACEE</i>					
Seminativi e prati avvicendati	21	45	65	75	81
Seminativi con prevalenza di grano e/o mais	22	47	67	77	83
Risaie	23	72	81	88	91
Prati permanenti	24	30	58	71	78
Seminativi e prati avvicendati + vigneti, frutteti e noccioleti	31	41	63	74	80
Seminativi e prati avvicendati + prati permanenti	32	37	62	74	80
Seminativi con prevalenza di grano e/o mais + prati permanenti	30	53	70	79	84
Prati permanenti + vigneti, frutteti e noccioleti	33	41	63	74	80
<i>COLTURE ARBOREE</i>					
Vigneti, frutteti e noccioleti	25	41	63	74	81
Pioppeti	10	41	63	74	81
Boschi					
Conifere	5	30	55	70	77
Conifere e latifoglie	4	33	57	72	78
Latifoglie miste	8	33	57	72	78
Castagneti	2	33	57	72	78
Faggeti	1	33	57	72	78
Querceti	3	30	55	70	77
Rimboschimenti	6-7	36	60	73	79
Vegetazione naturale e seminaturale					
Pascoli	20	46	67	77	83
Arbusteti	11	35	59	74	80
<i>Altri elementi di uso</i>					
Incolti	26	40	63	75	82
Pascoli rupestri	27	40	62	75	81
Rocce, frane, rupi, calanchi	27	74	83	88	90
Aree urbanizzate	99	77	85	90	92

E' possibile prendere in considerazione anche situazioni di umidità del terreno all'inizio della precipitazione diverse da quella media; il metodo infatti classifica le condizioni di umidità in tre categorie:

- AMC – I: potenziale di scorrimento superficiale minimo; i suoli del bacino sono sufficientemente asciutti da permettere un'aratura o coltivazione soddisfacente;
- AMC – II: condizione media;
- AMC – III: potenziale di scorrimento superficiale massimo. Il bacino è stato praticamente saturato dalle piogge precedenti.

La categoria a cui fare riferimento si può individuare in base alla precipitazione totale dei 5 giorni precedenti quello dell'evento di pioggia e in base alla stagione (vegetativa o non vegetativa), come riportato nella tabella 13:

Tabella 13 – condizioni di umidità in funzione della precipitazione antecedente.

AMC	Precipitazione antecedente di 5 gg l'evento	
	Stagione di riposo	Stagione vegetativa
Categoria	(mm)	(mm)
I	< 12,7	< 35,6
II	12,7 – 27,9	35,6 – 53,3
III	> 27,9	> 53,3

I valori di CN corrispondenti alla categoria AMC I e AMC III si possono ricavare dal valore di CN che corrisponde alla categoria AMC II per mezzo delle seguenti relazioni (Chow et al., 1988):

$$CN(I) = \frac{4,2 \cdot CN(II)}{10 - 0,058 \cdot CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0,13 \cdot CN(II)}$$

Nella tabella 14 sono riportati i valori del parametro CN per tutti i bacini considerati, nelle condizioni di umidità AMC II e AMC III.

TABELLA 14 - Valori di CN per i bacini considerati.

Bacino	Parametro CN	
	AMC II	AMC III
A) R. Cornasso	64	80
B) R. Castagna	46	66
C) Lanca sx Po	60	77
D) R. Rizza	74	87
E) R. Gonin	74	87
F) R. Ronzone	75	87
G) Lanca dx Po	54	73
H) C. Mellana	71	85
I) T. Gattola	76	88
L) R. Gattolero	78	89
M) T. Rotaldo	75	87

8.2 TRASFORMAZIONE DELLA PRECIPITAZIONE NETTA IN DEFLUSSO

Il modello afflussi - deflussi permette di simulare la legge di trasformazione della pioggia netta in portata defluente attraverso le sezioni del reticolo modellato e in particolare attraverso la sezione di chiusura del bacino. Le tecniche utilizzate sono basate sulla teoria dell'idrogramma unitario o su quella dell'onda cinematica.

Il codice di calcolo consente la scelta tra diverse opzioni per la definizione dell'idrogramma unitario; questo, infatti, può essere fornito direttamente oppure descritto in funzione dei parametri di Clark, Snyder o dell' SCS (Soli Conservation Service).

L'opzione dell'onda cinematica consente invece di schematizzare il deflusso dal sottobacino con elementi che rappresentano uno o due superfici scolanti oppure con uno o due canali collettori e un canale principale.

Nel presente studio si è utilizzata la tecnica dell'S.C.S. che si basa sull'idrogramma unitario sintetico rappresentato in figura 2.

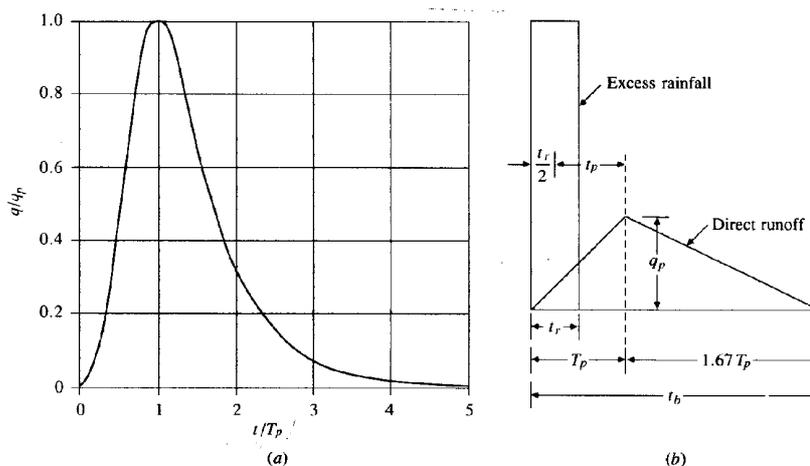


FIGURA 2 – Idrogramma unitario sintetico del Soil Conservation Service, 1972.
(a) Idrogramma adimensionale e (b) idrogramma unitario triangolare

8.3 VALORI DI PORTATA CALCOLATI CON IL METODO NUMERICO

Con il procedimento fin qui illustrato, per i diversi bacini nelle sezioni di chiusura considerate, si sono calcolate le seguenti portate di piena massime. Nell'**ALLEGATO 3** sono riportati gli idrogrammi di piena calcolati per un tempo di ritorno di 200 anni, insieme agli idrogrammi di progetto utilizzati nel calcolo.

TABELLA 15 - Portate di piena per un tempo di ritorno di 200 anni.

Bacino	$Q_{T=200}$ (m ³ /s)	
	AMC II	AMC III
1) R. Cornasso	18,1	30,2
2) R. Castagna	4,5	14,1
3) Lanca sx Po	3,3	6,8
4) R. Rizza	32,7	53,4
5) R. Gonin	14,3	24,6
6) R. Ronzone	16,6	27,1
7) Lanca dx Po	3,5	9,4
8) C. Mellana	10,2	16,6
9) T. Gattola		
sottobac. 9A	37,9	60,0
sottobac. 9B	24,0	37,4
sottobac. 9C	12,6	19,9
Alla chiusura	42,4	69,1
10) R. Gattolero	36,9	52,9
11) T. Rotaldo		
sottobac. 11A	68,0	106,6
sottobac. 11B	72,6	114,2
sottobac. 11C	57,5	90,9
sottobac. 11D	15,8	24,7
Alla chiusura	167,1	269,0

9. Calcolo delle portate con metodi empirici

Le portate di massima piena dei bacini considerati, con sezione di chiusura indicata nelle tavole grafiche (4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5), sono state calcolate anche il metodo empirico secondo due diverse formulazioni, per verificare la portata di progetto calcolata con il modello numerico di trasformazione afflussi-deflussi.

Si è fatto riferimento alle formulazioni più note e validate in letteratura, raccomandate anche nella “*Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica*” proposta dall’Autorità di Bacino nelle Norme di Attuazione del PAI in data 26/4/2001, per il calcolo delle portate di piena sui bacini idrografici di piccole dimensioni.

Un’importante formula empirica per determinare la portata al colmo corrispondente a una precipitazione di assegnato tempo di ritorno è rappresentata dal Soil Conservation Service Method, applicabile per bacini di dimensioni medio-piccole, privi di stazioni di misura. Il metodo adotta le seguenti assunzioni:

- la durata D della pioggia netta è inferiore o uguale di $0,133 t_c$,
- la durata D è minore di 0,2 volte il tempo crescita dell’onda di piena (t_p).

In queste condizioni il valore al colmo della portata si scrive:

$$Q_c = 0,28 R_o A / t_p \text{ (m}^3\text{/s)}$$

dove:

R_o = volume netto di pioggia per unità di superficie (mm)

A = superficie del bacino (km²)

t_p = tempo crescita dell’onda di piena (h)

Il valore di t_p è posto pari:

$$t_p = D/2 + t_{lag}$$

dove:

D = durata della pioggia (h),

t_{lag} = intervallo di tempo tra il centroide della pioggia e il colmo (h)

$$t_{lag} = 0,6 t_c \text{ e } t_{lag} = (2,587 L^{0,8} (1000/CN - 9)^{0,7}) / 1900 p^{0,5}$$

dove:

L = lunghezza idraulica del bacino (m)

CN = “curve number”, dipende dal tipo di suolo e di copertura vegetale

p = pendenza media del bacino (%)

$$L = 110 A^{0,6}$$

Dove A è la superficie del bacino espressa in ha.

Assumendo che l'invaso per infiltrazione nel suolo in ogni istante sia proporzionale al valore massimo dello stesso e che la precipitazione efficace sia proporzionale all'afflusso meteorico, si ha la seguente equazione (USDA – SCS, 1986):

$$R_o = (h - \alpha S)^2 / (h + (1 - \alpha)S)$$

dove:

h = precipitazione meteorica (mm)

S = valore massimo dell'invaso per infiltrazione (mm)

α = coefficiente di perdita assunto pari a 0.2 dall' SCS e dall'Autorità di Bacino, ma che in situazioni ambientali simili a quelle italiane in alcuni casi comporta una sottostima del deflusso. In ragione di ciò si possono anche assumere valori < di 0.1 (Colosimo & Mendico, 1993).

Il valore di S è calcolato dall'equazione:

$$S = 25400 / CN - 254 \text{ (mm)}$$

La seconda formulazione è quella classica basata sul metodo della corrivazione, nell'ipotesi che la durata della pioggia critica t_p sia pari al tempo di corrivazione T_c :

$$Q_{\max} = \frac{c \cdot V}{3600 \cdot T_c}$$

dove:

c = coefficiente di deflusso

V = volume affluito sul bacino (m³)

La relazione, dedotta da considerazioni di carattere cinematico, fornisce il valore della portata di piena al colmo, in funzione sia del volume d'acqua precipitato

durante l'evento meteorico, che delle caratteristiche fisiche e morfologiche del bacino.

L'ammettere che il massimo della portata si raggiunga quando il tempo di pioggia t_p (durata della precipitazione) eguagli il tempo di corrivazione T_c significa ricercare il contributo massimo che il bacino può fornire per una data precipitazione considerata costante e di durata sufficiente, affinché tutta la sua superficie contribuisca alla formazione dei deflussi nella sezione di chiusura. La precipitazione si ricava direttamente dalla curva di possibilità pluviometrica e viene quindi assunta un'intensità costante per tutta la durata della precipitazione.

9.1.1 STIMA DEL COEFFICIENTE DI DEFLUSSO

Dato che non tutto il volume di pioggia V che cade sul bacino raggiunge la sezione di chiusura contribuendo alla formazione della portata di massima piena, occorre ammettere che una parte del volume vada perduta agli effetti dei deflussi ed una parte non transiti nella sezione considerata nel periodo per cui permane l'onda di piena, ma si presenti alla sezione di chiusura con un certo ritardo.

Indicando quindi con "c" il coefficiente di deflusso o coefficiente di riduzione, che tiene conto di queste ed altre considerazioni (perdite per evaporazione, infiltrazione ecc), il volume d'acqua che contribuisce alla formazione dell'onda di piena, risulta essere:

$$V_D = c \cdot V$$

Il valore del coefficiente di deflusso adottato è stato ricavato considerando le caratteristiche di permeabilità che sono funzione sia del tipo di terreno che delle caratteristiche litologiche e di uso del suolo dei singoli sottobacini considerati, attribuendo un coefficiente di deflusso a ciascuna area di uguali caratteristiche e operando una media pesata dei valori ottenuti.

Si è fatto riferimento ai valori riportati nella Direttiva succitata proposta dall'Autorità di Bacino. Nelle indicazioni per il calcolo delle portate di piena sui bacini idrografici di piccole dimensioni, relativamente al metodo razionale si raccomanda di applicare i coefficienti di deflusso riportati nella tabella 16.

TABELLA 16 -Coefficients di deflusso raccomandati dall'Autorità di Bacino (da Handbook of Applied Hydrology, Ven Te Chow, 1964).

Tipo di suolo	Coefficiente C		
	Uso del Suolo		
	Coltivato	Pascolo	Bosco
Suolo con infiltrazione elevata, normalmente sabbioso o ghiaioso	0,20	0,15	0,10
Suolo con infiltrazione media, senza lenti argillose; suoli limosi e simili	0,40	0,35	0,30
Suolo con infiltrazione bassa, suoli argillosi e suoli con lenti argillose vicino alla superficie, strati di suolo sottile al di sopra di roccia impermeabile	0,5	0,45	0,40

9.1.2 PORTATE DI PIENA CALCOLATE CON IL METODO EMPIRICO

Applicando le due formulazioni empiriche si sono ottenute le portate relative ai tempi di ritorno di 100, 200 e 500 anni riportate nella tabella 17.

TABELLA 17 – Portate di piena calcolate con le formule empiriche.

Bacino	$h_{T=200}$ pioggia	$Q_{T=200}$		Coeff. deflusso	$Q_{T=200}$
	(mm)	SCS (m^3/s)			
		AMC II	AMC III	C	Corrivazione (m^3/s)
1) R. Cornasso	142,2	12,1	23,9	0,4	17,3
2) R. Castagna	135,4	9,4	10,2	0,4	13,5
3) Lanca sx Po	117,1	2,8	6,2	0,4	4,9
4) R. Rizza	97,1	27,2	56,7	0,35	28,1
5) R. Gonin	88,5	19,5	42,3	0,35	20,8
6) R. Ronzone	88,5	12,9	26,5	0,35	14,7
7) Lanca dx Po	114,9	2,7	7,1	0,4	8,0
8) C. Mellana	113,1	11,5	22,2	0,5	11,9
9) T. Gattola					
sottobac. 9A	102,6	36,9	70,6	0,35	33,3
sottobac. 9B	94,4	21,2	43,1	0,35	24,7
sottobac. 9C	102,1	9,2	18,3	0,5	14,9
10) R. Gattolero	108,2	30,2	53,4	0,5	34,3
11) T. Rotaldo					
sottobac. 11A	97,2	54,3	106,9	0,35	53,7
sottobac. 11B	98,2	52,8	105,3	0,35	57,2
sottobac. 11C	94,7	33,2	69,1	0,35	46,0
sottobac. 11D	109,3	18,8	34,0	0,5	21,3

10. Portate di verifica con tempo di ritorno 200 anni

La metodologia di calcolo ha permesso di ricavare per tutti i bacini in studio e tramite differenti approcci metodologici le portate di massima piena relative ad un tempo di ritorno di 200 anni, in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino idrografico e, per i torrenti Gattola e Rotaldo, anche lungo le sezioni intermedie.

La tabella 18 riassume tutti i valori di portata calcolati, evidenziando come pur applicando differenti metodologie di calcolo, per ogni bacino sono stati comunque ricavati valori simili. Pertanto, ai fini delle verifiche idrauliche si utilizzeranno i valori dedotti come media, indicati nell'ultima colonna della seguente tabella.

TABELLA 18 – Portate di verifica per $T_r = 200$ anni.

Bacino	$Q_{T=200}$						
	SCS (m^3/s)		Corrivazione (m^3/s)	Modello Numerico (m^3/s)		Portate di Verifica ⁽³⁾ AMC II (m^3/s)	Portate di Verifica ⁽⁴⁾ AMC III (m^3/s)
	AMC II ⁽¹⁾	AMC III ⁽²⁾		AMC II ⁽¹⁾	AMC III ⁽²⁾		
1) R. Cornasso	12,1	23,9	17,3	18,1	30,2	15,8	23,8
2) R. Castagna	3,6	10,2	13,5	4,5	14,1	7,2	12,6
3) Lanca sx Po	2,8	6,2	4,9	3,3	6,8	3,7	5,9
4) R. Rizza	27,2	56,7	28,1	32,7	53,4	29,3	46,1
5) R. Gonin	19,5	42,3	20,8	14,3	24,6	18,2	29,2
6) R. Ronzone	12,9	26,5	14,7	16,6	27,1	14,7	22,8
7) Lanca dx Po	2,7	7,1	8,0	3,5	9,4	4,7	8,2
8) C. Mellana	11,5	22,2	11,9	10,2	16,6	11,2	16,9
9) T. Gattola							
sottobac. 9A	36,9	70,6	33,3	37,9	60,0	36,0	54,6
sottobac. 9B	21,2	43,1	24,7	24,0	37,4	23,3	35,1
SEZIONE G1⁽⁵⁾	Considerando i colmi sfasati $Q=Q(t)$			42,2	68,4	42,2	68,4
Sottobac. 9C	9,2	18,3	14,9	12,6	19,9	12,2	17,7
SEZIONE G2	Alla sezione di chiusura del bacino del T. Gattola considerando i colmi sfasati $Q=Q(t)$			42,4	69,1	42,4	69,1
10) R. Gattolero	30,2	53,4	34,3	36,9	52,9	33,8	46,9
11) T. Rotaldo							
Sottobac. 11A	54,3	106,9	53,7	68,0	106,6	58,7	89,1
Sottobac. 11B	52,8	105,3	57,2	72,6	114,2	60,9	92,2
SEZIONE R1⁽⁶⁾	Considerando i colmi sfasati $Q=Q(t)$			140,6	220,84	140,6	220,8
Sottobac. 11C	33,2	69,1	46,0	57,5	90,9	45,6	68,7
SEZIONE R2⁽⁷⁾	Considerando i colmi sfasati $Q=Q(t)$			166,8	267,7	166,8	267,7
Sottobac. 11D	18,8	34,0	21,3	15,8	24,7	18,6	26,7
SEZIONE R3	Alla sezione di chiusura del bacino del T. Rotaldo considerando i colmi sfasati $Q=Q(t)$			167,1	269,0	167,1	269

- (1) AMC II: condizione media;
- (2) AMC III: potenziale di scorrimento superficiale massimo. Il bacino è stato praticamente saturato dalle piogge precedenti;
- (3) Portate di verifica: ottenute come media tra le portate calcolate con il metodo della corrivazione, quello empirico dell'SCS e quello numerico, con la condizione AMC II;
- (4) Portate di verifica: ottenute come media tra le portate calcolate con il metodo della corrivazione, quello empirico dell'SCS e quello numerico, con la condizione AMC III;
- (5) SEZIONE G1: sezione di chiusura del torrente Gattola a valle della confluenza dei sottobacini 9A e 9B (TAVOLA 4.3);
- (6) SEZIONE R1: sezione di chiusura del torrente Rotaldo a valle della confluenza dei sottobacini 11A e 11B (TAVOLA 4.1);
- (7) SEZIONE R2: sezione di chiusura del torrente Rotaldo a valle del sottobacino 11C (TAVOLA 4.1).

Per le ipotesi introdotte, si ritiene che i valori di portata di verifica calcolati con la condizione AMC II siano sufficientemente cautelativi per la maggior parte dei corsi d'acqua. La condizione AMC III conduce a valori più elevati, che in alcuni casi sono poco realistici; tale situazione può però essere assunta per la verifica dei corsi d'acqua in cui il metodo della corrivazione fornisce dei valori più elevati rispetto a quelli calcolati con la metodologia empirica e numerica con la condizione AMC II.

Per completezza, quindi, le verifiche idrauliche sono state condotte sia per i valori ottenuti con la situazione AMC II sia con quella AMC III, in modo da valutare i diversi effetti. Si è quindi poi deciso di applicare, caso per caso, una o l'altra condizione, sulla base della situazione più realistica, confrontando i risultati con le informazioni morfologiche e storiche sulle esondazioni che si sono effettivamente verificate lungo il corso d'acqua, in modo da ottenere un modello idrologico – idraulico calibrato e realistico.

ALLEGATO 1

Calcolo dei tempi di corrivazione
dei bacini in studio

BACINO		S (km2)	L (km)	L idr SCS (m)	H i (m)	H 0 (m)	Δ H (m)	if tga m/m	iv tga m/m	CN	Tc (Merlo) (ore)	Tc (SCS) (ore)	Puglisi (ore)	Pezzoli (ore)	Ventura (ore)	Pasini (ore)	media (ore)
1	cornasso	23.0	19.2	11440.1	129	105	24	0.0013	0.0015	80			14.9	29.3	16.9	22.8	21.0
2	castagna	12.0	9.6	7742.9	116	104	12	0.0013	0.0021	66			11.9	14.6	12.2	14.6	13.3
3	lanca sx po	4.6	8.9	4355.6	107	99	8	0.0010	0.0014	77			12.9	15.5	8.6	11.8	12.2
4	rizza	6.2	3.9	5209.9	250	114	136	0.0278	0.077	87	3.4	1.2	2.9	1.3	1.9	1.9	2.1
5	gonin	3.7	3.0	3822.2	260	120	140	0.0320	0.0996	87	2.3	0.8	2.4	0.9	1.4	1.3	1.5
6	ronzone	1.8	2.3	2480.6	250	114	136	0.0590	0.0725	87	1.6	0.8	2.0	0.5	0.7	0.7	1.1
7	lanca dx po	5.2	5.1	4688.1	110	103	7	0.0014	0.002	73			9.3	7.5	7.8	8.6	8.3
8	meilana	5.2	6.8	4688.1	180	106	74	0.0021	0.03	85			5.1	8.2	6.3	7.7	6.8
9	gattola TOTALE	20.0	13.5	10519.9	230	107	123	0.0040	0.0368	88							
	sottobac 9A	8.7	5.2	6384.2	230	130	100	0.0191	0.06	88		1.6	3.9	2.1	2.7	2.8	2.6
	sottobac 9B	3.1	2.7	3437.2	270	130	140	0.0512	0.0643	88		0.9	2.2	0.7	1.0	1.0	1.2
	sottobac 9C	8.2	7.9	6161.4	130	107	23	0.0029	0.003	88			8.4	8.1	6.8	8.1	7.8
10	gattolero	15.4	7.9	8993.0	190	106	84	0.0037	0.01456	89		4.3	5.4	7.1	8.2	8.8	6.8
11	rotaldo TOTALE	90.5	24.6	26024.5	280	106	174	0.0033	0.0352	87							
	sottobac 11A	28.5	10.5	13002.4	280	130	150	0.0143	0.0527	87		3.1	5.4	4.8	5.7	6.0	5.0
	sottobac 11B	30.9	9.3	13646.8	250	130	120	0.0128	0.038	87		3.3	5.4	4.5	6.2	6.3	5.2
	sottobac 11C	17.3	4.9	9639.8	190	120	70	0.0142	0.0252	87		2.4	4.2	2.3	4.4	4.0	3.5
	sottobac 11D	13.9	8.3	8445.8	120	105	15	0.0018	0.0132	87		5.1	10.0	10.8	11.2	12.4	9.9

ALLEGATO 2

Serie storiche
ed elaborazioni statistiche
per le stazioni pluviometriche considerate

Stazione pluviometrica di:

ALESSANDRIA

- Serie storica utilizzata
- Regolarizzazione secondo la legge di Gumbel
- Regolarizzazione secondo la legge log normale
- Curve di possibilità pluviometrica
- Risultati dei test statistici

Stazione di ALESSANDRIA					
(Quota 95 m s.l.m.)					
Anno	Massime Precipitazioni orarie				
	1ora	3ore	6ore	12ore	24ore
1933	25.6	29.4	29.4	29.8	30.8
1934	15.0	16.0	26.0	41.2	48.6
1935	20.2	28.8	35.2	35.8	39.4
1936	11.2	14.0	25.0	39.6	58.8
1937	21.2	28.4	32.4	51.0	70.0
1938	22.4	37.0	37.6	37.6	46.4
1939	36.4	37.2	37.2	42.0	60.2
1940	-	-	-	-	-
1941	-	-	-	-	-
1942	26.0	27.0	27.0	32.0	56.0
1947	27.2	27.2	27.2	33.2	42.8
1948	24.0	34.0	34.0	38.0	43.0
1949	29.0	43.0	50.6	50.6	50.6
1950	7.2	14.0	23.4	38.4	49.0
1951	22.0	30.6	34.0	54.0	66.4
1952	15.4	17.6	24.0	25.6	27.4
1953	18.4	27.0	38.4	45.8	48.4
1954	16.0	17.0	28.8	35.2	44.8
1955	14.8	17.0	18.0	27.8	44.6
1956	17.4	29.4	36.0	46.4	58.6
1957	30.0	30.0	34.6	47.6	57.0
1958	10.0	11.0	21.0	30.0	36.0
1959	34.4	48.6	48.6	50.4	84.0
1960	15.0	21.4	31.2	37.2	48.4
1961	17.6	19.0	37.4	55.0	62.8
1962	20.8	20.8	21.4	24.4	34.6
1963	18.2	22.4	23.4	29.2	46.4
1964	13.8	17.0	19.4	28.4	28.4
1965	29.0	33.0	33.6	45.2	68.4
1966	24.2	44.0	55.2	58.0	66.4
1967	-	-	-	-	-
1968	25.0	38.5	77.0	84.0	86.6
1969	17.0	23.0	36.4	37.4	38.6
1970	14.4	16.8	16.8	27.2	33.0
1971	-	-	-	-	-
1972	-	-	-	-	-
1974	6.6	12.8	18.2	22.8	37.8
1976	30.2	33.0	33.0	34.6	50.6
1979	-	-	-	-	-
1983	18.0	18.4	27.2	37.2	53.0
1985	11.0	16.8	21.2	33.2	45.8
1986	-	-	-	-	-

Stazione di ALESSANDRIA

Regolarizzazione secondo la legge Log Normale a 2 parametri

Analisi statistica del campione di dati

durata pioggia	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
media (x)	20.1	25.7	32.0	39.6	50.4
s.q.m. corr $\sigma(x)$	7.4	9.7	12.0	12.1	14.3
a	2.818	2.740	2.758	3.353	3.594
b	-8.284	-8.718	-9.377	-12.187	-13.949
media (y)	2.9	3.2	3.4	3.6	3.9
scarto (y)	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3

Altezze di precipitazione calcolate con la legge Log normale

durata pioggia	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	29.8	38.5	47.7	55.5	69.2
ht 20 anni	33.9	43.9	54.4	61.9	76.6
ht 50 anni	39.2	51.0	63.1	69.9	85.8
ht 100 anni	43.2	56.3	69.6	75.8	92.6
ht 200 anni	47.1	61.7	76.2	81.6	99.3
ht 500 anni	52.5	68.9	85.1	89.3	108.0

Parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica

	a	n
Tr 10	29.38	0.2643
Tr 20	33.70	0.2546
Tr 50	39.32	0.2437
Tr 100	43.58	0.2364
Tr 200	47.88	0.2297
Tr 500	53.67	0.2217

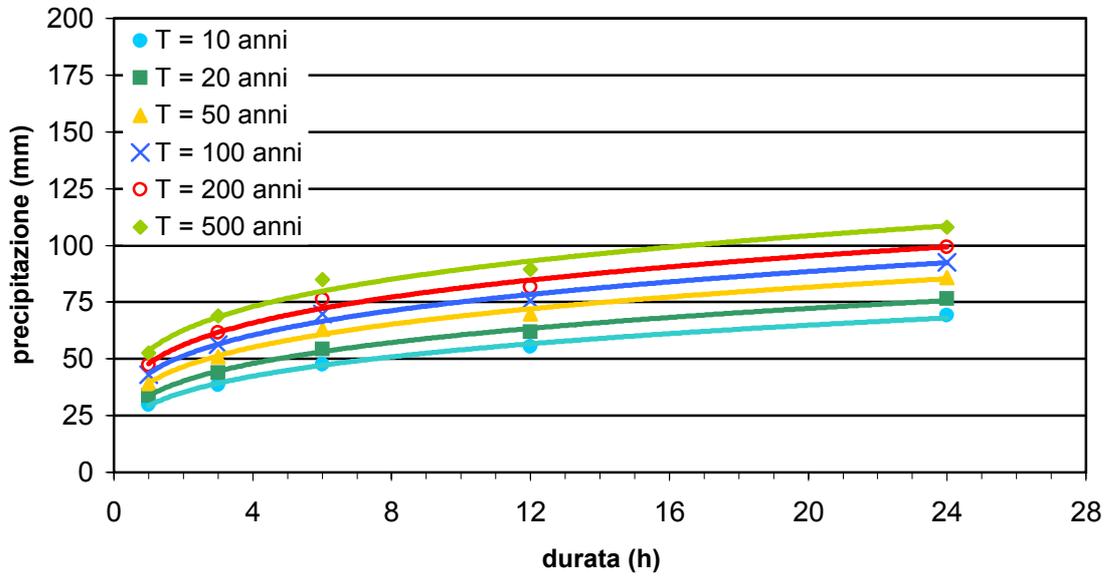
Altezze di precipitazione calcolate dalla curva di possibilità pluviometrica

coeff a e n	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	29.4	39.3	47.2	56.7	68.0
ht 20 anni	33.7	44.6	53.2	63.4	75.7
ht 50 anni	39.3	51.4	60.8	72.0	85.3
ht 100 anni	43.6	56.5	66.6	78.4	92.4
ht 200 anni	47.9	61.6	72.3	84.7	99.4
ht 500 anni	53.7	68.5	79.8	93.1	108.6

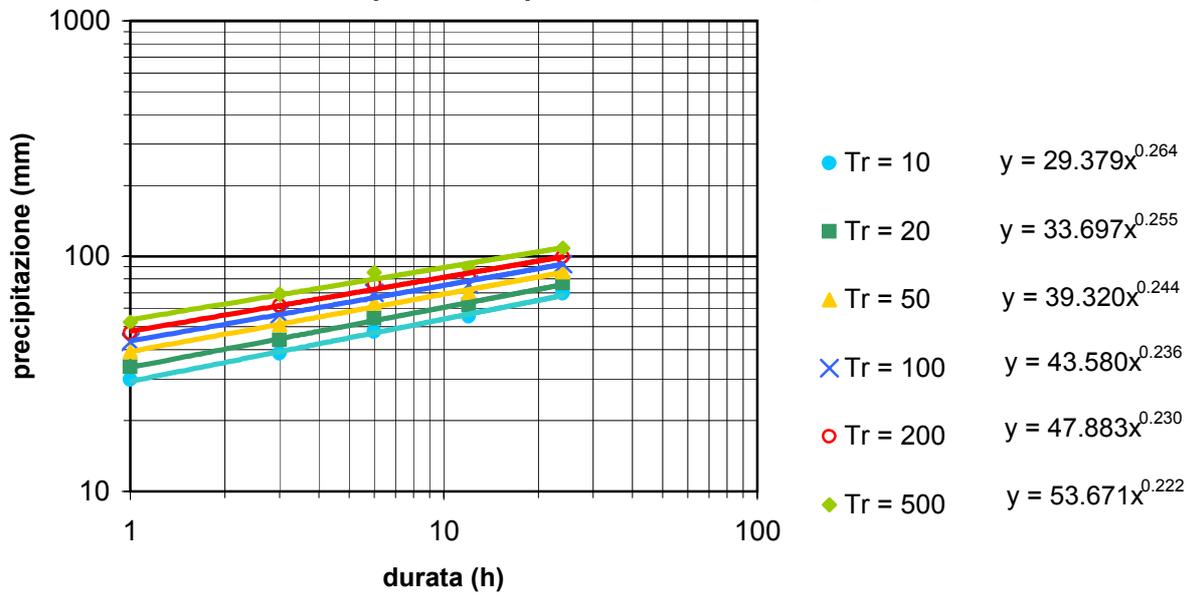
Stazione di ALESSANDRIA

Regolarizzazione secondo la legge Log Normale a 2 parametri

curve di possibilità pluviometrica



curve di possibilità pluviometrica (scala logaritmica)



Risultati del test di adattamento di Kolmogorov

	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h	Regione di accettazione
D_N	0.083	0.123	0.108	0.065	0.050	0.230

Stazione di ALESSANDRIA

Regolarizzazione secondo la legge di Gumbel

Analisi statistica del campione di dati

durata pioggia	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
media (x)	20.1	25.7	32.0	39.6	50.4
s.q.m. corr $\sigma(x)$	7.4	9.7	12.0	12.1	14.3
α	0.174	0.132	0.107	0.106	0.090
ε	16.813	21.373	26.598	34.161	43.955

Altezze di precipitazione calcolate con la legge di Gumbel

durata pioggia	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	29.7	38.4	47.6	55.3	69.0
ht 20 anni	33.9	43.9	54.4	62.1	77.1
ht 50 anni	39.2	50.9	63.1	70.9	87.4
ht 100 anni	43.3	56.2	69.6	77.5	95.2
ht 200 anni	47.2	61.5	76.1	84.0	103.0
ht 500 anni	52.5	68.4	84.7	92.6	113.2

Parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica

	a	n
Tr 10	29.36	0.2636
Tr 20	33.64	0.2566
Tr 50	39.19	0.2496
Tr 100	43.34	0.2454
Tr 200	47.49	0.2419
Tr 500	52.96	0.2381

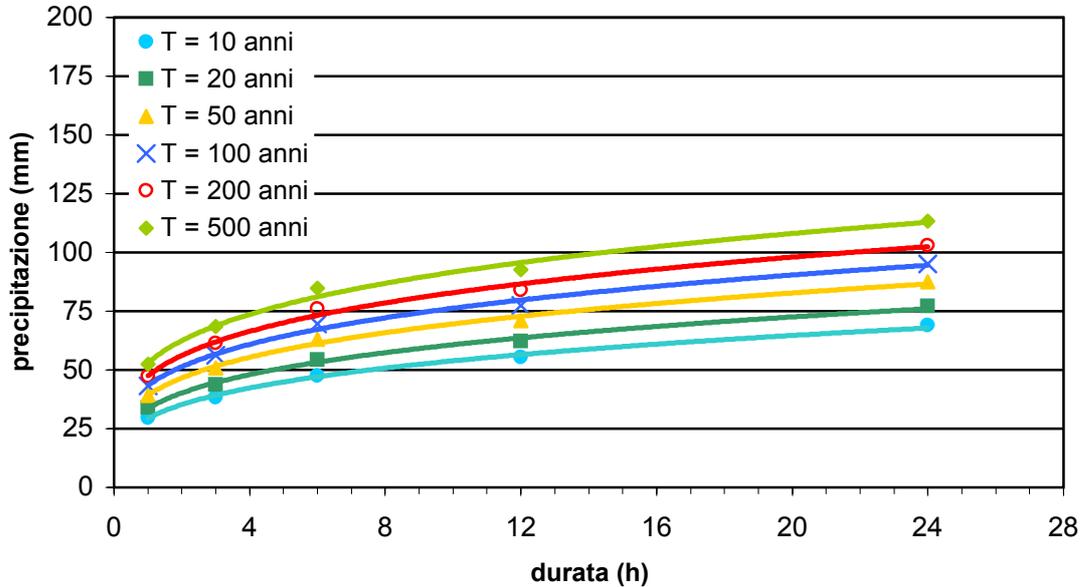
Altezze di precipitazione calcolate dalla curva di possibilità pluviometrica

coeff a e n	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	29.4	39.2	47.1	56.5	67.9
ht 20 anni	33.6	44.6	53.3	63.6	76.0
ht 50 anni	39.2	51.5	61.3	72.9	86.6
ht 100 anni	43.3	56.8	67.3	79.8	94.5
ht 200 anni	47.5	61.9	73.3	86.6	102.4
ht 500 anni	53.0	68.8	81.1	95.7	112.9

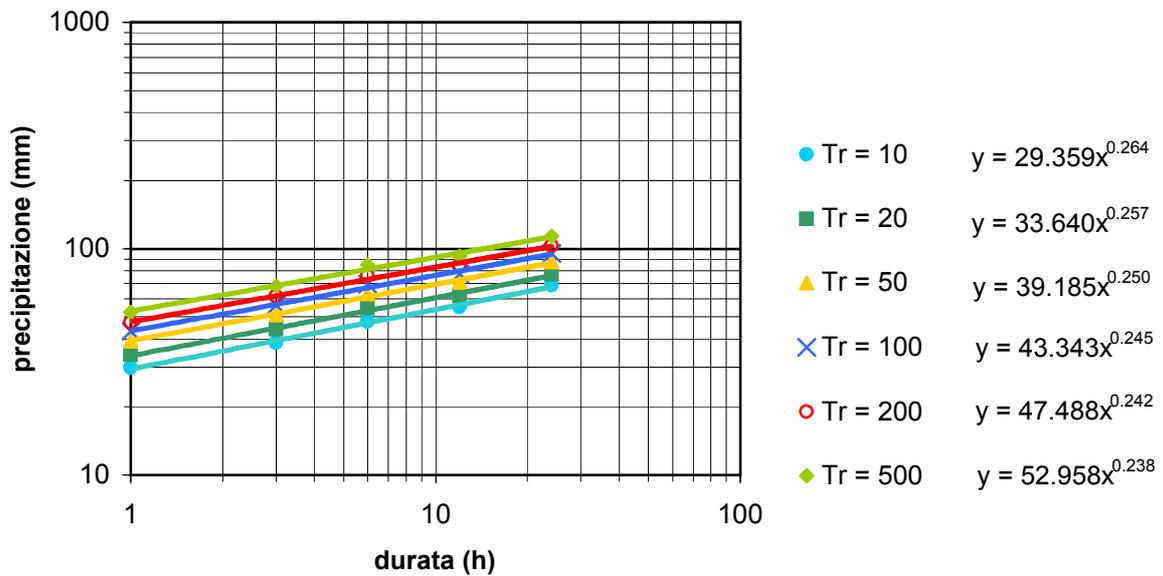
Stazione di ALESSANDRIA

Regolarizzazione secondo la legge di Gumbel

curve di possibilità pluviometrica



curve di possibilità pluviometrica (scala logaritmica)



Risultati del test di adattamento di Kolmogorov

	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h	Regione di accettazione
D_N	0.084	0.121	0.108	0.055	0.056	0.230

Stazione pluviometrica di:

VOGHERA

- Serie storica utilizzata
- Regolarizzazione secondo la legge di Gumbel
- Regolarizzazione secondo la legge log normale
- Curve di possibilità pluviometrica
- Risultati dei test statistici

Stazione di VOGHERA					
(Quota 96 m s.l.m.)					
Anno	Massime Precipitazioni orarie				
	1ora	3ore	6ore	12ore	24ore
1933	16.0	21.0	22.0	26.0	47.0
1934	60.0	76.0	85.0	85.0	85.0
1935	31.0	34.0	40.0	40.0	49.0
1936	26.0	28.0	28.0	28.0	33.0
1937	-	-	-	-	-
1938	-	-	-	-	-
1939	-	-	-	-	-
1940	-	-	-	-	-
1941	-	-	-	-	-
1942	20.0	29.0	37.0	50.0	57.0
1943	18.0	22.0	25.0	36.0	43.0
1944	22.0	31.0	33.0	45.0	48.0
1945	25.0	38.0	49.0	61.0	80.0
1946	11.0	20.8	31.0	35.4	44.0
1947	29.4	32.0	37.0	40.0	44.0
1948	18.0	21.0	26.0	30.0	42.0
1949	24.0	30.0	38.0	52.5	64.0
1950	14.0	18.0	23.0	43.0	45.5
1951	12.0	29.0	42.0	70.0	82.5
1952	18.2	25.9	26.7	30.2	37.2
1953	23.0	32.8	32.8	43.5	44.4
1954	31.7	32.4	32.4	33.0	49.1
1955	42.0	49.0	55.2	63.1	63.1
1956	28.2	34.0	42.0	57.0	60.0
1957	12.0	19.0	34.0	34.8	58.4
1958	11.0	17.0	21.0	37.4	44.6
1959	23.2	25.4	29.4	52.0	74.0
1960	13.6	22.0	38.0	55.0	71.0
1961	17.4	22.4	22.8	34.6	44.8
1962	16.4	19.0	21.0	29.8	32.2
1963	48.2	48.4	48.4	52.8	60.0
1964	27.8	31.0	31.2	31.2	31.2
1965	20.4	33.4	36.4	37.8	38.0
1966	14.0	24.6	29.8	37.8	49.8
1967	36.0	36.8	37.2	41.4	41.8
1968	25.6	62.4	71.8	76.8	76.8
1969	34.4	54.2	64.2	72.8	93.6
1970	9.4	14.4	19.0	35.6	46.0
1971	27.6	28.0	30.6	42.4	48.6
1972	22.8	22.8	22.8	33.0	48.2
1973	24.2	34.6	56.0	66.4	70.2
1974	37.4	50.2	50.6	50.6	52.0
1975	13.0	25.0	46.4	78.8	102.4
1976	50.4	87.2	99.6	101.4	102.6
1977	17.6	39.2	51.0	57.6	83.8
1978	32.6	33.0	39.8	46.0	64.0
1979	-	-	-	-	-
1980	23.4	29.4	41.4	63.4	74.6
1981	35.2	39.8	42.0	51.0	61.6
1982	17.2	24.0	26.8	38.0	49.2
1983	32.0	35.4	40.0	40.0	45.4
1984	25.0	30.2	35.0	53.4	58.0
1985	10.0	24.4	29.0	31.6	36.6
1986	26.0	30.2	32.4	44.8	63.2

Stazione di VOGHERA

Regolarizzazione secondo la legge Log Normale a 2 parametri

Analisi statistica del campione di dati

durata pioggia	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
media (x)	24.4	32.7	38.6	47.9	57.1
s.q.m. corr $\sigma(x)$	11.0	14.3	16.1	16.5	18.0
a	2.337	2.382	2.495	2.980	3.252
b	-7.256	-8.093	-8.916	-11.361	-12.998
media (y)	3.1	3.4	3.6	3.8	4.0
scarto (y)	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3

Altezze di precipitazione calcolate con la legge Log normale

durata pioggia	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	38.6	51.2	59.5	69.5	80.8
ht 20 anni	45.1	59.6	68.9	78.5	90.3
ht 50 anni	53.7	70.8	81.1	90.1	102.4
ht 100 anni	60.4	79.4	90.5	98.7	111.4
ht 200 anni	67.2	88.2	100.0	107.3	120.2
ht 500 anni	76.4	100.1	112.9	118.8	132.0

Parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica

	a	n
Tr 10	39.10	0.2312
Tr 20	46.01	0.2165
Tr 50	55.25	0.2000
Tr 100	62.42	0.1889
Tr 200	69.79	0.1788
Tr 500	79.90	0.1666

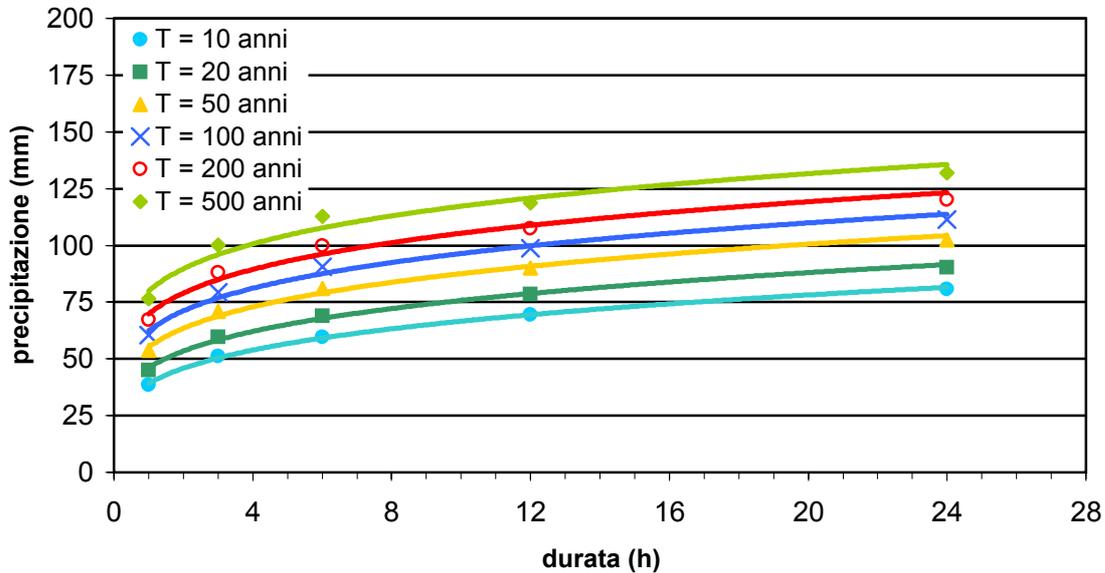
Altezze di precipitazione calcolate dalla curva di possibilità pluviometrica

coeff a e n	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	39.1	50.4	59.2	69.5	81.5
ht 20 anni	46.0	58.4	67.8	78.8	91.6
ht 50 anni	55.2	68.8	79.1	90.8	104.3
ht 100 anni	62.4	76.8	87.6	99.8	113.8
ht 200 anni	69.8	84.9	96.1	108.8	123.2
ht 500 anni	79.9	95.9	107.7	120.9	135.7

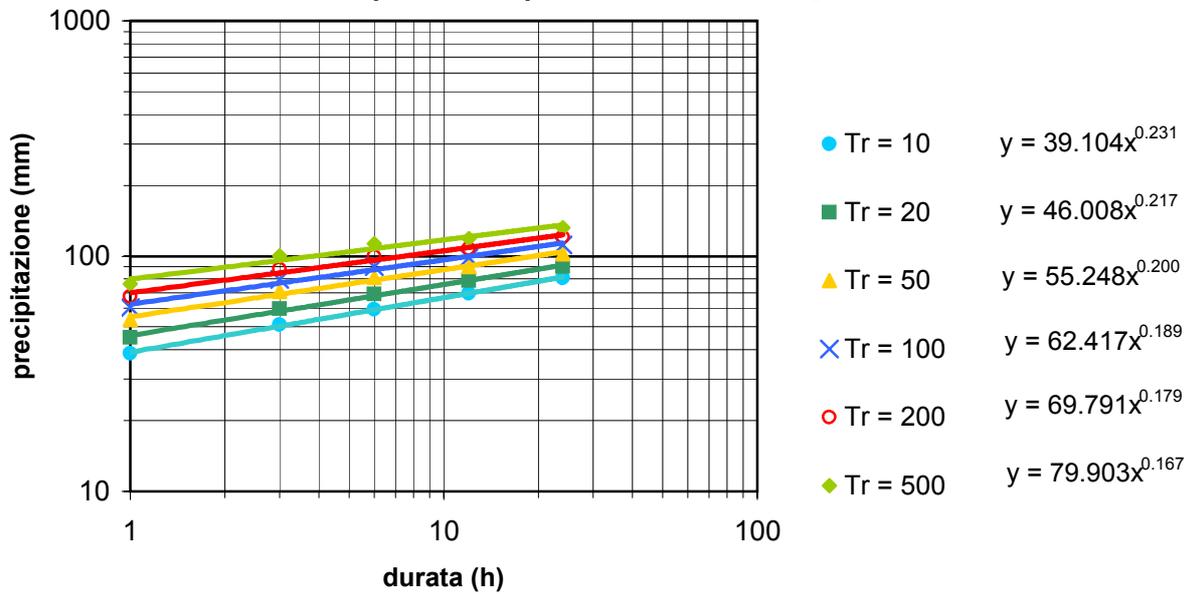
Stazione di VOGHERA

Regolarizzazione secondo la legge Log Normale a 2 parametri

curve di possibilità pluviometrica



curve di possibilità pluviometrica (scala logaritmica)



Risultati del test di adattamento di Kolmogorov

	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h	Regione di accettazione
D_N	0.071	0.099	0.075	0.072	0.125	0.196

Stazione di VOGHERA

Regolarizzazione secondo la legge di Gumbel

Analisi statistica del campione di dati

durata pioggia	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
media (x)	24.4	32.7	38.6	47.9	57.1
s.q.m. corr $\sigma(x)$	11.0	14.3	16.1	16.5	16.9
α	0.117	0.089	0.080	0.078	0.076
ε	19.513	26.201	31.348	40.419	49.503

Altezze di precipitazione calcolate con la legge di Gumbel

durata pioggia	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	38.7	51.3	59.6	69.4	79.1
ht 20 anni	44.9	59.4	68.6	78.7	88.5
ht 50 anni	52.8	69.8	80.3	90.7	100.8
ht 100 anni	58.8	77.6	89.1	99.6	110.0
ht 200 anni	64.7	85.4	97.8	108.6	119.1
ht 500 anni	72.6	95.6	109.4	120.4	131.2

Parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica

	a	n
Tr 10	39.42	0.2246
Tr 20	45.96	0.2136
Tr 50	54.43	0.2028
Tr 100	60.78	0.1965
Tr 200	67.12	0.1913
Tr 500	75.48	0.1856

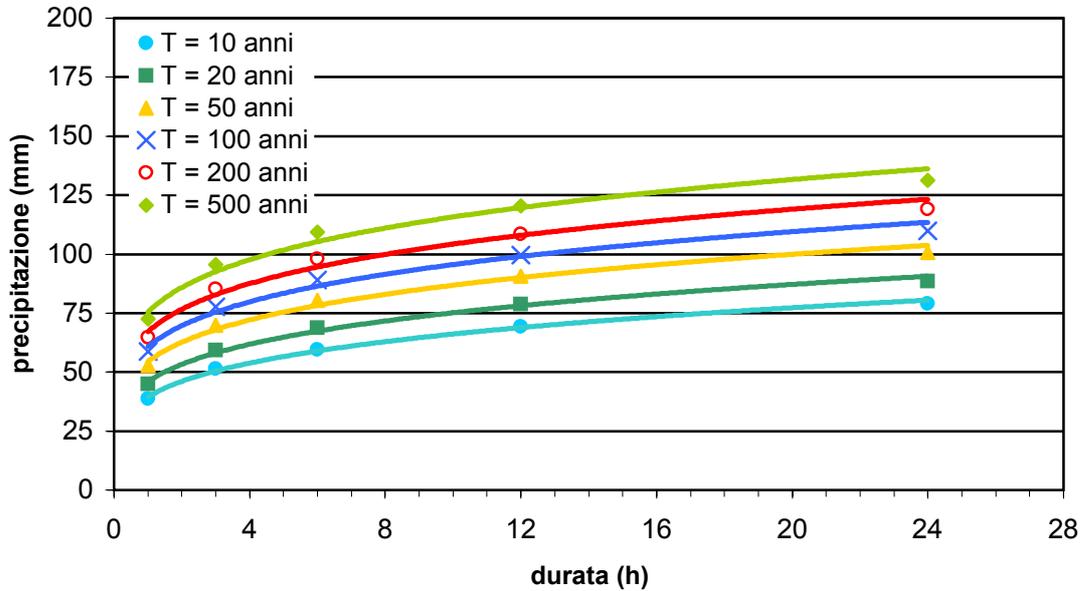
Altezze di precipitazione calcolate dalla curva di possibilità pluviometrica

coeff a e n	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	39.4	50.5	59.0	68.9	80.5
ht 20 anni	46.0	58.1	67.4	78.1	90.6
ht 50 anni	54.4	68.0	78.3	90.1	103.7
ht 100 anni	60.8	75.4	86.4	99.0	113.5
ht 200 anni	67.1	82.8	94.6	108.0	123.3
ht 500 anni	75.5	92.6	105.3	119.7	136.2

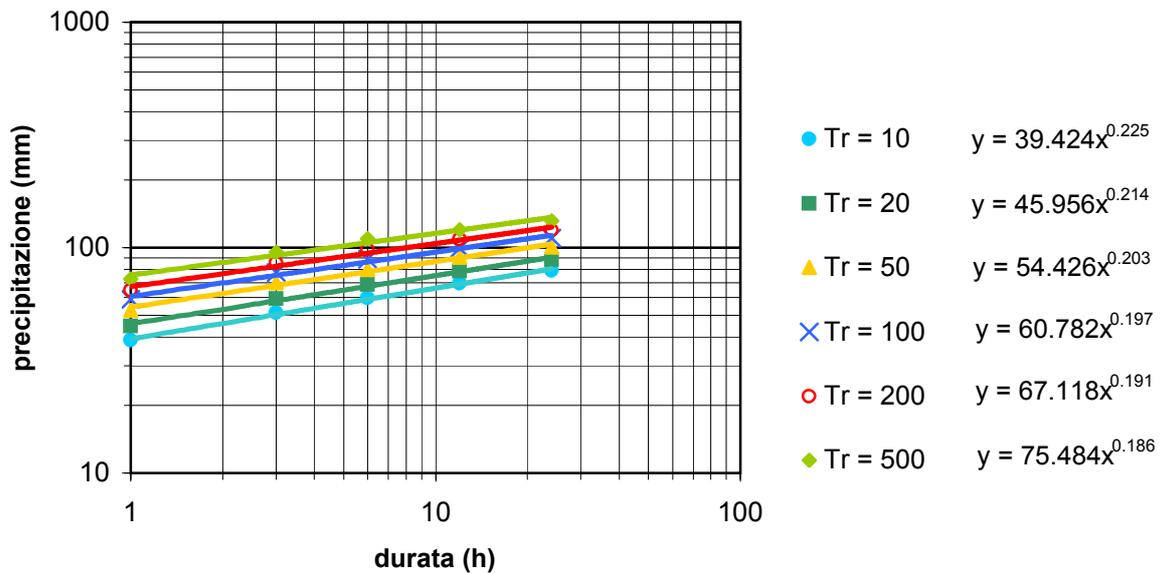
Stazione di VOGHERA

Regolarizzazione secondo la legge di Gumbel

curve di possibilità pluviometrica



curve di possibilità pluviometrica (scala logaritmica)



Risultati del test di adattamento di Kolmogorov

	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h	Regione di accettazione
D_N	0.057	0.111	0.083	0.073	0.134	0.196

Stazione pluviometrica di:

CASALE M.TO

- Serie storica utilizzata
- Regolarizzazione secondo la legge di Gumbel
- Regolarizzazione secondo la legge log normale
- Curve di possibilità pluviometrica
- Risultati dei test statistici

Stazione di CASALE M.TO					
(Quota 113 m s.l.m.)					
Anno	Massime Precipitazioni orarie				
	1ora	3ore	6ore	12ore	24ore
1952	49.0	53.0	55.0	55.0	60.0
1953	15.8	30.2	43.2	34.2	34.2
1954	-	-	-	-	-
1955	-	-	-	-	-
1956	12.0	29.5	40.0	46.0	46.0
1957	10.8	14.2	22.6	31.4	42.8
1958	18.0	21.6	24.4	40.8	56.2
1959	31.0	35.6	53.0	63.4	63.4
1960	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2
1961	17.4	21.8	23.6	23.6	23.6
1962	16.4	29.0	35.2	38.0	38.0
1963	49.6	49.6	52.0	82.2	90.8
1964	20.6	37.2	52.0	98.4	107.0
1965	22.6	26.1	52.2	40.6	45.8
1966	27.0	31.8	33.4	36.0	39.0
1967	22.8	23.4	23.4	27.0	40.4
1968	23.6	24.6	30.0	44.0	75.1
1969	17.0	27.0	30.0	55.0	99.0
1970	30.0	59.6	61.6	61.6	61.6
1971	24.0	45.0	52.0	55.8	70.0
1972	41.0	42.6	42.6	42.6	69.0
1973	15.0	32.5	65.0	101.4	101.4
1974	8.4	14.8	25.2	32.8	63.0
1975	40.2	40.8	40.8	53.4	70.4
1976	10.0	24.0	42.0	59.4	60.2
1977	47.0	106.0	111.0	111.0	111.0
1978	12.6	20.6	35.6	45.0	67.2
1979	31.8	33.6	33.6	47.2	68.0
1980	37.2	39.6	39.6	45.6	52.4
1981	17.8	24.2	31.6	33.8	49.0
1982	55.0	55.8	56.6	56.8	66.0
1983	16.6	25.0	32.0	45.0	62.0
1984	35.2	36.0	41.2	55.2	72.0
1985	16.6	28.0	30.8	37.8	48.8
1986	63.0	68.2	68.2	68.2	68.4
1987	10.0	21.0	25.6	37.0	37.8
1988	39.0	39.0	39.0	39.0	61.0
1989	29.6	52.2	52.2	52.2	52.2
1990	20.0	20.0	32.4	42.8	58.2
1991	11.0	21.8	29.2	33.4	33.4
1992	33.0	33.0	41.0	72.0	85.4
1993	59.0	77.2	86.0	87.2	87.2
1994	14.2	15.0	23.4	34.4	38.6

Stazione di CASALE M.TO

Regolarizzazione secondo la legge Log Normale a 2 parametri

Analisi statistica del campione di dati

durata pioggia	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
media (x)	26.8	35.6	42.4	51.1	61.1
s.q.m. corr $\sigma(x)$	14.5	18.3	17.9	20.6	21.3
a	1.974	2.069	2.463	2.576	2.946
b	-6.241	-7.150	-9.027	-9.942	-11.947
media (y)	3.2	3.5	3.7	3.9	4.1
scarto (y)	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3

Altezze di precipitazione calcolate con la legge Log normale

durata pioggia	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	45.2	58.8	65.7	77.9	89.1
ht 20 anni	54.3	70.1	76.1	89.7	100.8
ht 50 anni	66.8	85.4	89.8	105.2	115.8
ht 100 anni	76.7	97.5	100.3	116.9	127.0
ht 200 anni	87.0	110.0	111.0	128.8	138.2
ht 500 anni	101.4	127.3	125.5	144.8	153.2

Parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica

	a	n
Tr 10	45.58	0.2125
Tr 20	55.02	0.1927
Tr 50	68.00	0.1704
Tr 100	78.31	0.1555
Tr 200	89.12	0.1419
Tr 500	104.23	0.1254

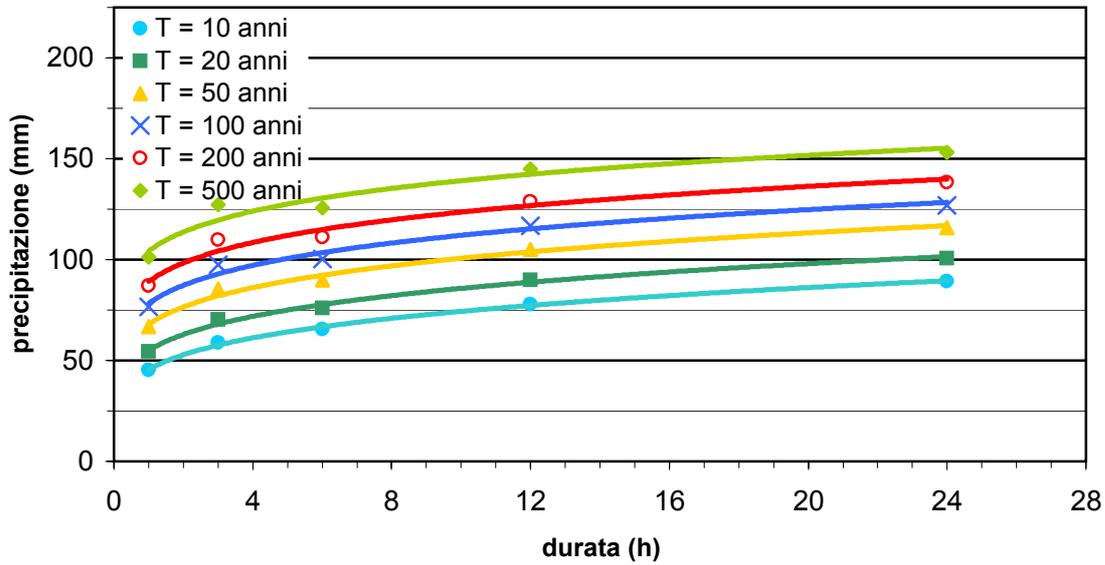
Altezze di precipitazione calcolate dalla curva di possibilità pluviometrica

coeff a e n	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	45.6	57.6	66.7	77.3	89.6
ht 20 anni	55.0	68.0	77.7	88.8	101.5
ht 50 anni	68.0	82.0	92.3	103.8	116.9
ht 100 anni	78.3	92.9	103.5	115.2	128.4
ht 200 anni	89.1	104.1	114.9	126.8	139.9
ht 500 anni	104.2	119.6	130.5	142.3	155.2

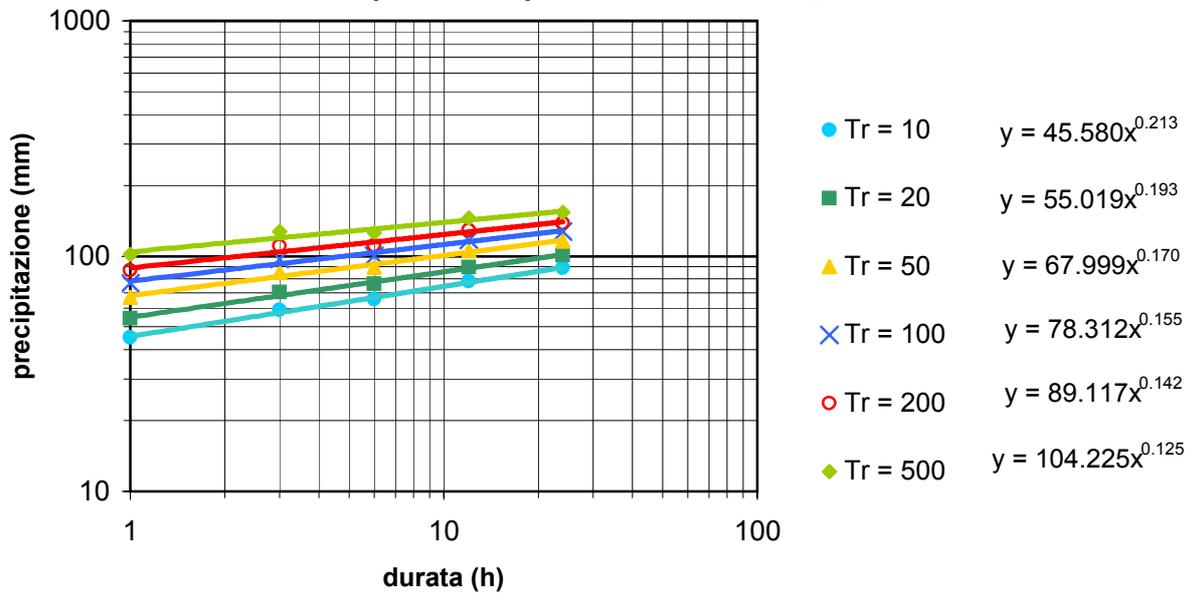
Stazione di CASALE M.TO

Regolarizzazione secondo la legge Log Normale a 2 parametri

curve di possibilità pluviometrica



curve di possibilità pluviometrica (scala logaritmica)



Risultati del test di adattamento di Kolmogorov

	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h	Regione di accettazione
D_N	0.108	0.076	0.070	0.078	0.094	0.212

Stazione di CASALE M.TO

Regolarizzazione secondo la legge di Gumbel

Analisi statistica del campione di dati

durata pioggia	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
media (x)	26.8	35.6	42.4	51.1	61.1
s.q.m. corr $\sigma(x)$	14.5	18.3	17.9	20.6	21.3
α	0.088	0.070	0.072	0.062	0.060
ε	20.300	27.378	34.305	41.834	51.485

Altezze di precipitazione calcolate con la legge di Gumbel

durata pioggia	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	45.7	59.4	65.8	78.0	88.9
ht 20 anni	53.9	69.6	75.8	89.5	100.9
ht 50 anni	64.4	82.9	88.9	104.5	116.4
ht 100 anni	72.3	92.8	98.6	115.7	128.0
ht 200 anni	80.2	102.7	108.3	126.9	139.6
ht 500 anni	90.6	115.8	121.2	141.6	154.9

Parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica

	a	n
Tr 10	46.18	0.2075
Tr 20	54.56	0.1954
Tr 50	65.41	0.1839
Tr 100	73.56	0.1773
Tr 200	81.68	0.1719
Tr 500	92.39	0.1661

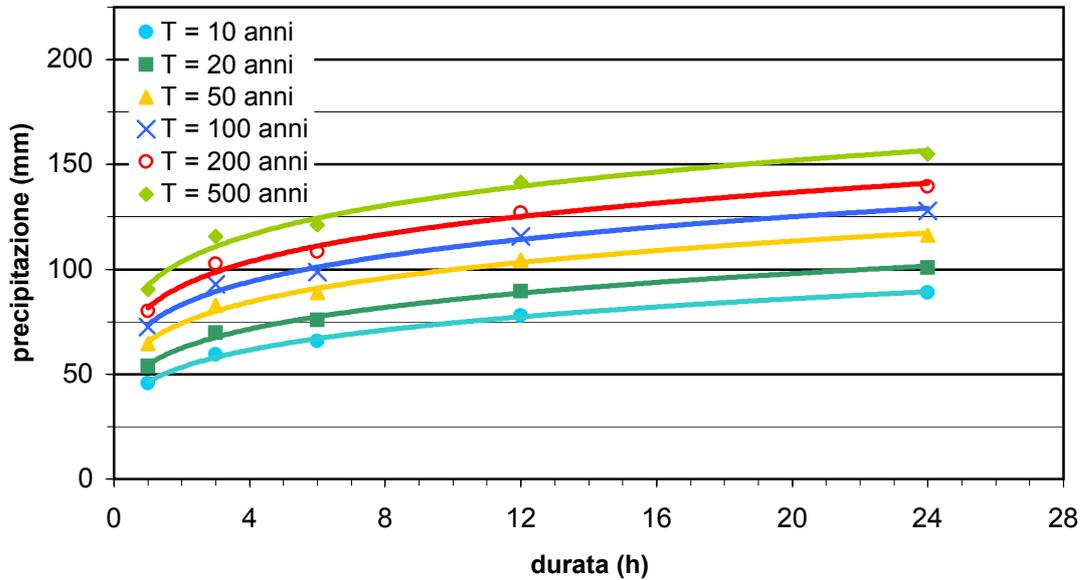
Altezze di precipitazione calcolate dalla curva di possibilità pluviometrica

coeff a e n	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	46.2	58.0	67.0	77.3	89.3
ht 20 anni	54.6	67.6	77.4	88.7	101.5
ht 50 anni	65.4	80.1	90.9	103.3	117.3
ht 100 anni	73.6	89.4	101.1	114.3	129.2
ht 200 anni	81.7	98.6	111.1	125.2	141.0
ht 500 anni	92.4	110.9	124.4	139.6	156.6

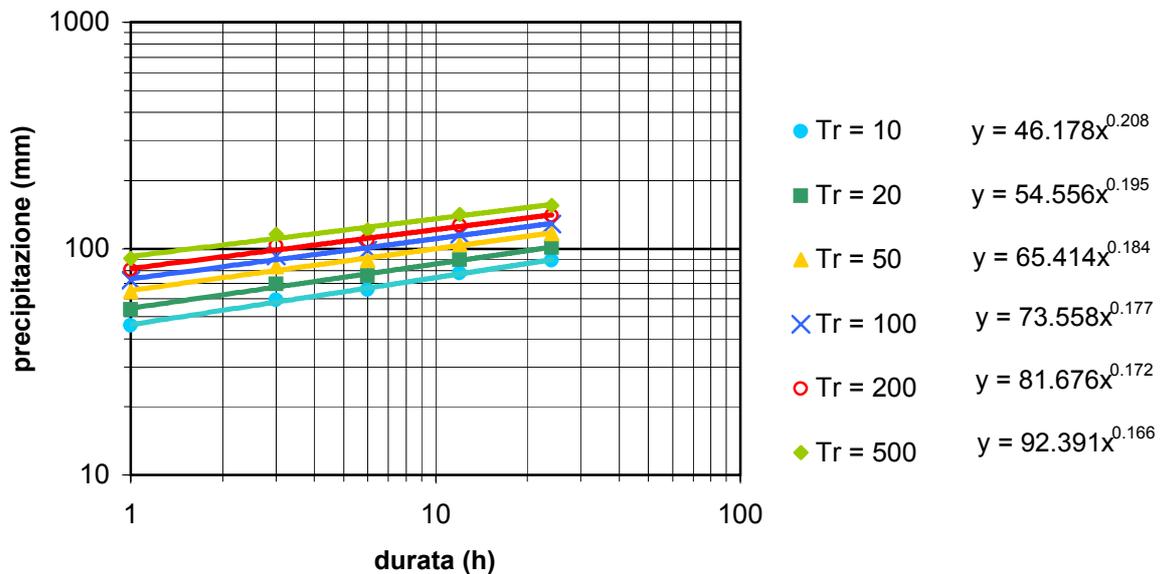
Stazione di CASALE M.TO

Regolarizzazione secondo la legge di Gumbel

curve di possibilità pluviometrica



curve di possibilità pluviometrica (scala logaritmica)



Risultati del test di adattamento di Kolmogorov

	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h	Regione di accettazione
D_N	0.111	0.091	0.078	0.085	0.097	0.212

Stazione pluviometrica di:

VERCELLI

- Serie storica utilizzata
- Regolarizzazione secondo la legge di Gumbel
- Regolarizzazione secondo la legge log normale
- Curve di possibilità pluviometrica
- Risultati dei test statistici

Stazione di VERCELLI					
(Quota 135 m s.l.m.)					
Anno	Massime Precipitazioni orarie				
	1ora	3ore	6ore	12ore	24ore
1940	29.0	37.6	40.2	44.0	56.4
1941	19.0	40.0	54.6	65.2	76.0
1942	28.0	41.0	46.0	46.0	46.0
1943	21.8	26.0	26.0	41.4	53.4
1944	22.4	28.0	28.6	41.0	43.2
1945	21.0	40.0	49.0	77.6	107.6
1946	15.6	18.2	27.2	44.0	63.6
1947	33.0	35.2	35.0	44.6	78.0
1948	46.0	51.4	60.4	60.4	61.0
1949	21.0	38.2	38.2	38.2	52.4
1950	55.0	55.0	55.0	55.0	58.0
1951	38.0	43.0	53.0	61.0	81.6
1952	29.4	29.4	29.4	39.0	45.0
1953	33.6	33.8	34.2	39.4	53.6
1954	30.6	36.4	53.8	65.8	69.0
1955	23.0	25.0	28.8	55.8	74.6
1956	21.2	42.8	62.6	71.6	87.0
1957	20.0	27.2	29.0	56.2	85.0
1958	11.0	17.0	22.4	39.0	54.0
1959	50.0	100.0	148.0	163.6	164.6
1960	21.2	36.4	63.6	74.4	107.2
1961	30.0	43.8	61.0	82.6	152.6
1962	16.2	37.2	49.6	50.6	62.2
1963	36.6	54.6	57.6	70.2	99.0
1964	27.0	41.4	41.6	41.6	41.6
1965	29.0	31.6	35.8	51.8	51.8
1966	31.8	34.2	51.8	53.8	54.0
1967	38.0	45.8	45.8	45.8	45.8
1968	30.0	40.0	69.8	86.8	137.4
1969	48.4	49.4	49.4	54.4	101.0
1970	37.4	41.0	45.0	45.4	45.4
1971	33.0	35.0	37.6	47.2	72.6
1972	13.4	19.0	22.0	37.0	82.0
1973	-	-	-	-	-
1974	-	-	-	-	-
1975	24.2	26.4	26.6	38.6	52.0
1976	36.8	36.8	36.8	51.2	63.0
1977	24.4	28.2	29.6	32.8	50.0
1978	-	-	-	-	-
1979	23.4	27.0	27.4	40.4	51.8
1980	34.2	36.6	36.6	48.6	66.4
1981	45.0	75.6	77.2	77.2	85.0
1982	22.2	32.4	45.0	55.8	73.6
1983	19.6	19.6	24.6	37.2	48.4
1984	29.6	30.0	37.6	54.0	75.8
1985	25.4	27.8	36.4	37.2	55.6
1986	17.4	28.4	30.0	30.0	48.8

Stazione di VERCELLI

Regolarizzazione secondo la legge Log Normale a 2 parametri

Analisi statistica del campione di dati

durata pioggia	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
media (x)	28.7	37.4	44.5	54.4	71.2
s.q.m. corr $\sigma(x)$	10.0	14.6	21.0	21.9	28.3
a	2.950	2.651	2.231	2.579	2.612
b	-9.732	-9.407	-8.247	-10.113	-10.951
media (y)	3.3	3.5	3.7	3.9	4.2
scarto (y)	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4

Altezze di precipitazione calcolate con la legge Log normale

durata pioggia	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	41.8	56.4	71.5	82.9	108.1
ht 20 anni	47.3	64.7	84.2	95.5	124.2
ht 50 anni	54.4	75.5	101.1	111.9	145.3
ht 100 anni	59.6	83.7	114.3	124.3	161.2
ht 200 anni	64.9	91.9	127.8	137.0	177.4
ht 500 anni	71.9	103.0	146.3	154.0	199.2

Parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica

	a	n
Tr 10	41.44	0.2942
Tr 20	47.27	0.2994
Tr 50	54.82	0.3053
Tr 100	60.51	0.3092
Tr 200	66.24	0.3128
Tr 500	73.91	0.3172

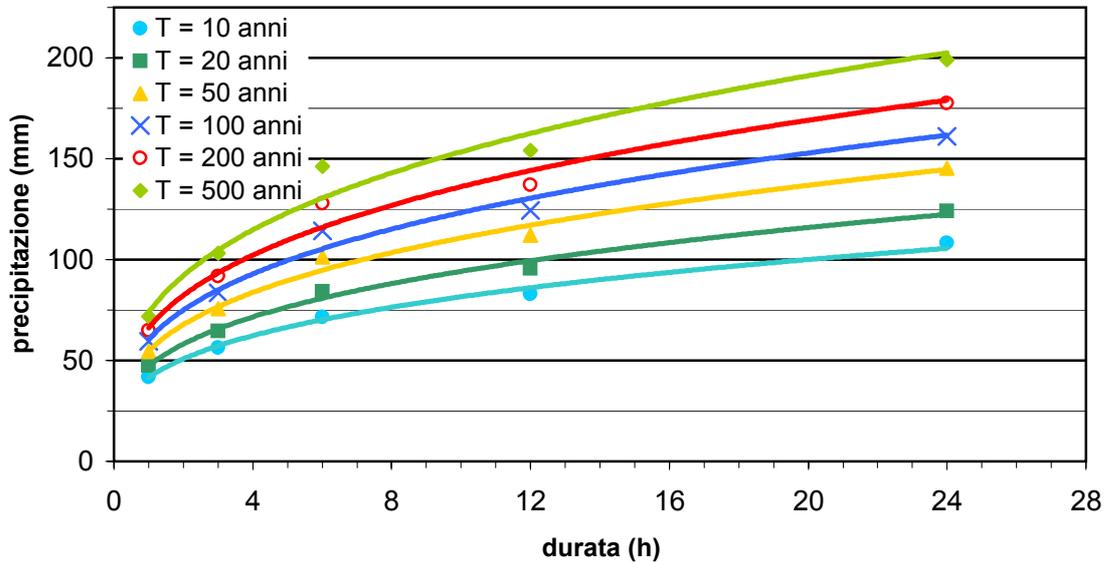
Altezze di precipitazione calcolate dalla curva di possibilità pluviometrica

coeff a e n	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	41.4	57.3	70.2	86.1	105.6
ht 20 anni	47.3	65.7	80.8	99.5	122.4
ht 50 anni	54.8	76.7	94.7	117.1	144.7
ht 100 anni	60.5	85.0	105.3	130.5	161.7
ht 200 anni	66.2	93.4	116.0	144.1	179.0
ht 500 anni	73.9	104.7	130.5	162.6	202.5

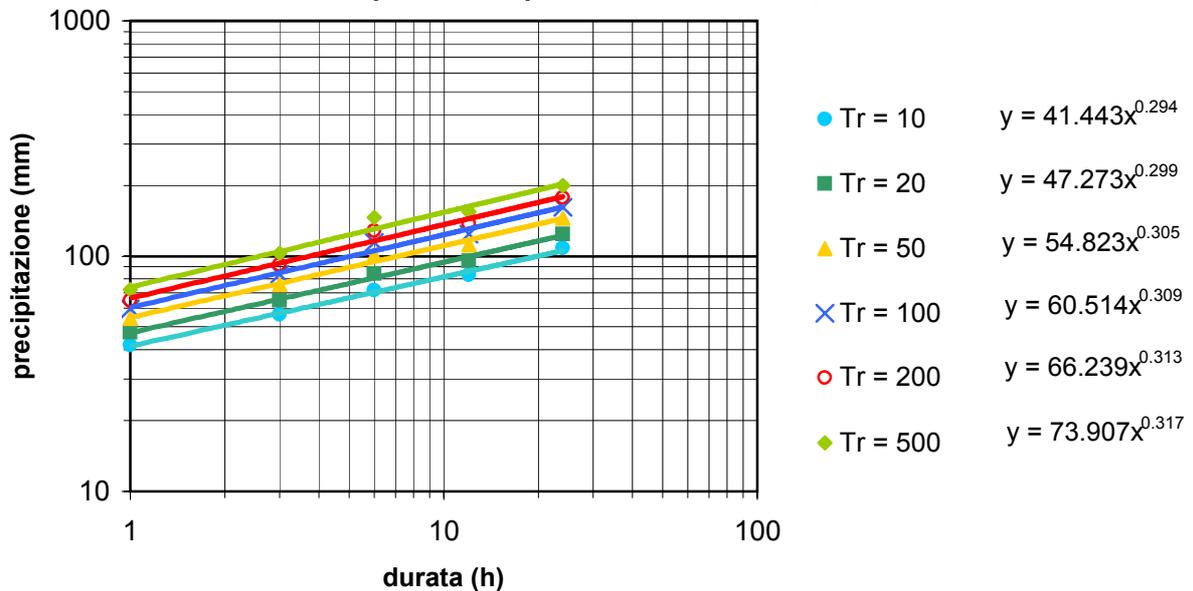
Stazione di VERCELLI

Regolarizzazione secondo la legge Log Normale a 2 parametri

curve di possibilità pluviometrica



curve di possibilità pluviometrica (scala logaritmica)



Risultati del test di adattamento di Kolmogorov

	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h	Regione di accettazione
D_N	0.068	0.087	0.075	0.145	0.090	0.205

Stazione di VERCELLI

Regolarizzazione secondo la legge di Gumbel

Analisi statistica del campione di dati

durata pioggia	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
media (x)	28.7	37.4	44.5	54.4	71.2
s.q.m. corr $\sigma(x)$	10.0	14.6	21.0	21.9	28.3
α	0.128	0.088	0.061	0.059	0.045
ε	24.193	30.776	35.088	44.537	58.475

Altezze di precipitazione calcolate con la legge di Gumbel

durata pioggia	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	41.8	56.4	71.9	83.0	108.1
ht 20 anni	47.4	64.6	83.7	95.3	124.0
ht 50 anni	54.7	75.2	99.0	111.2	144.5
ht 100 anni	60.1	83.2	110.4	123.1	159.9
ht 200 anni	65.5	91.1	121.8	135.0	175.2
ht 500 anni	72.7	101.5	136.8	150.6	195.5

Parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica

	a	n
Tr 10	41.42	0.2949
Tr 20	47.26	0.2984
Tr 50	54.80	0.3018
Tr 100	60.46	0.3038
Tr 200	66.09	0.3055
Tr 500	73.51	0.3073

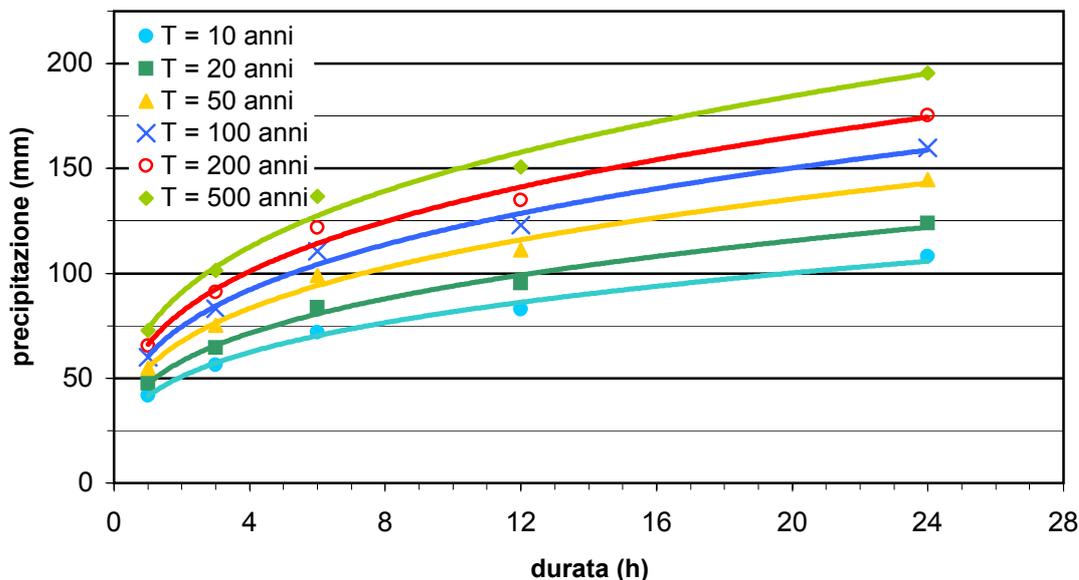
Altezze di precipitazione calcolate dalla curva di possibilità pluviometrica

coeff a e n	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	41.4	57.3	70.3	86.2	105.7
ht 20 anni	47.3	65.6	80.7	99.2	122.0
ht 50 anni	54.8	76.4	94.1	116.0	143.0
ht 100 anni	60.5	84.4	104.2	128.6	158.8
ht 200 anni	66.1	92.4	114.2	141.2	174.5
ht 500 anni	73.5	103.0	127.5	157.8	195.2

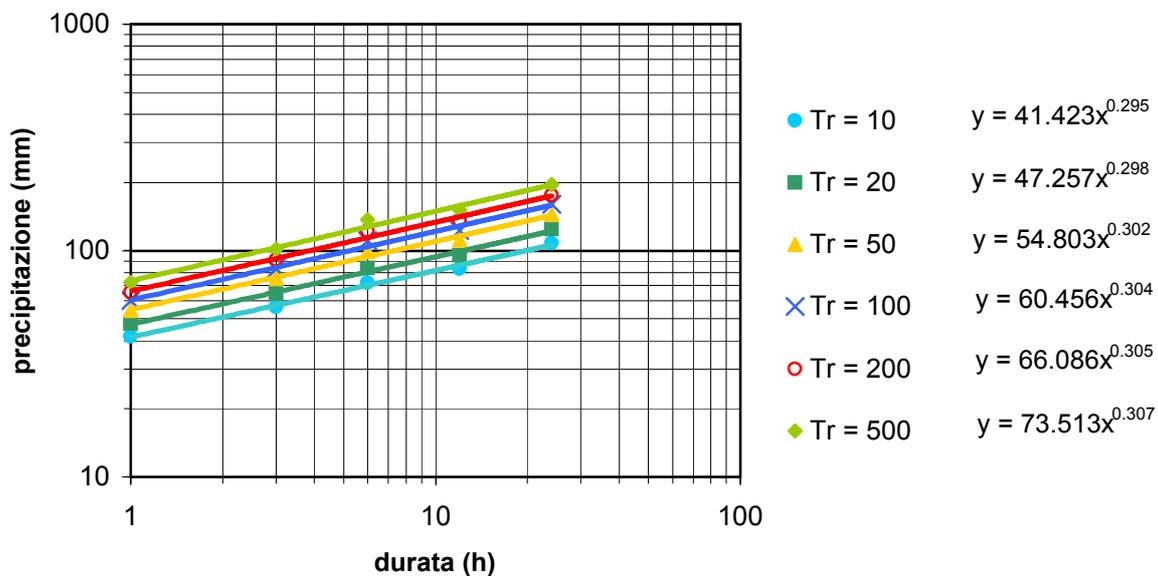
Stazione di VERCELLI

Regolarizzazione secondo la legge di Gumbel

curve di possibilità pluviometrica



curve di possibilità pluviometrica (scala logaritmica)



Risultati del test di adattamento di Kolmogorov

	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h	Regione di accettazione
D_N	0.072	0.089	0.086	0.145	0.094	0.205

Stazione pluviometrica di:

ASTI

- Serie storica utilizzata
- Regolarizzazione secondo la legge di Gumbel
- Regolarizzazione secondo la legge log normale
- Curve di possibilità pluviometrica
- Risultati dei test statistici

Stazione di ASTI					
(Quota 152 m s.l.m.)					
Anno	Massime Precipitazioni orarie				
	1ora	3ore	6ore	12ore	24ore
1938	27.0	35.0	37.8	37.8	39.6
1939	40.0	42.6	47.0	47.2	42.8
1940	48.0	54.2	54.2	54.2	54.2
1941	19.0	24.6	27.6	32.0	35.0
1942	-	-	-	-	-
1943	28.2	28.4	28.4	41.0	49.4
1944	20.0	32.0	40.6	51.6	55.0
1945	-	-	-	-	-
1946	19.0	27.5	28.4	29.6	30.0
1947	15.6	21.6	31.0	46.0	72.0
1948	29.6	40.0	51.8	56.4	56.8
1949	20.6	22.6	25.8	26.4	40.0
1950	-	-	-	-	-
1951	40.8	52.6	53.6	65.0	70.0
1952	17.6	19.0	27.4	31.0	41.6
1953	-	-	-	-	-
1954	26.6	36.6	38.0	38.0	46.2
1955	30.6	34.2	34.2	34.2	55.6
1956	16.0	28.8	29.6	46.4	72.0
1957	12.6	21.0	29.0	46.6	65.4
1958	19.2	32.4	38.0	40.6	56.4
1959	38.8	39.2	40.4	51.0	72.8
1960	-	-	-	-	-
1961	-	-	-	-	-
1962	-	-	-	-	-
1963	-	-	-	-	-
1964	-	-	-	-	-
1965	-	-	-	-	-
1966	-	-	-	-	-
1967	-	-	-	-	-
1968	-	-	-	-	-
1970	19.0	19.0	23.0	34.6	42.8
1971	30.0	33.4	33.4	37.8	55.2
1972	14.8	15.8	25.0	44.0	73.8
1973	27.0	34.0	55.0	84.8	105.0
1974	8.2	13.2	24.0	35.8	64.0
1975	26.8	28.4	41.4	69.4	82.6
1977	20.4	41.0	49.6	50.4	55.0
1980	11.4	24.8	31.4	41.8	60.2
1981	14.0	27.6	37.4	49.0	56.8
1982	15.8	17.4	23.2	35.4	46.6
1983	11.2	15.0	19.4	37.4	55.0
1984	13.0	25.0	31.2	50.4	59.6
1985	10.6	28.6	37.8	38.6	53.0
1986	25.4	54.0	60.4	60.6	60.8

Stazione di ASTI

Regolarizzazione secondo la legge Log Normale a 2 parametri

Analisi statistica del campione di dati

durata pioggia	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
media (x)	22.4	30.3	36.1	45.2	57.0
s.q.m. corr $\sigma(x)$	9.8	10.9	10.8	12.5	15.1
a	2.387	2.869	3.402	3.678	3.852
b	-7.213	-9.613	-12.052	-13.880	-15.447
media (y)	3.0	3.4	3.5	3.8	4.0
scarto (y)	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3

Altezze di precipitazione calcolate con la legge Log normale

durata pioggia	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	35.1	44.6	50.4	61.7	76.9
ht 20 anni	40.9	50.6	56.1	68.1	84.5
ht 50 anni	48.5	58.3	63.2	76.1	94.0
ht 100 anni	54.4	64.1	68.5	81.9	100.9
ht 200 anni	60.4	70.0	73.7	87.7	107.6
ht 500 anni	68.5	77.7	80.6	95.2	116.4

Parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica

	a	n
Tr 10	34.22	0.2427
Tr 20	39.67	0.2238
Tr 50	46.86	0.2026
Tr 100	52.37	0.1884
Tr 200	57.97	0.1755
Tr 500	65.57	0.1598

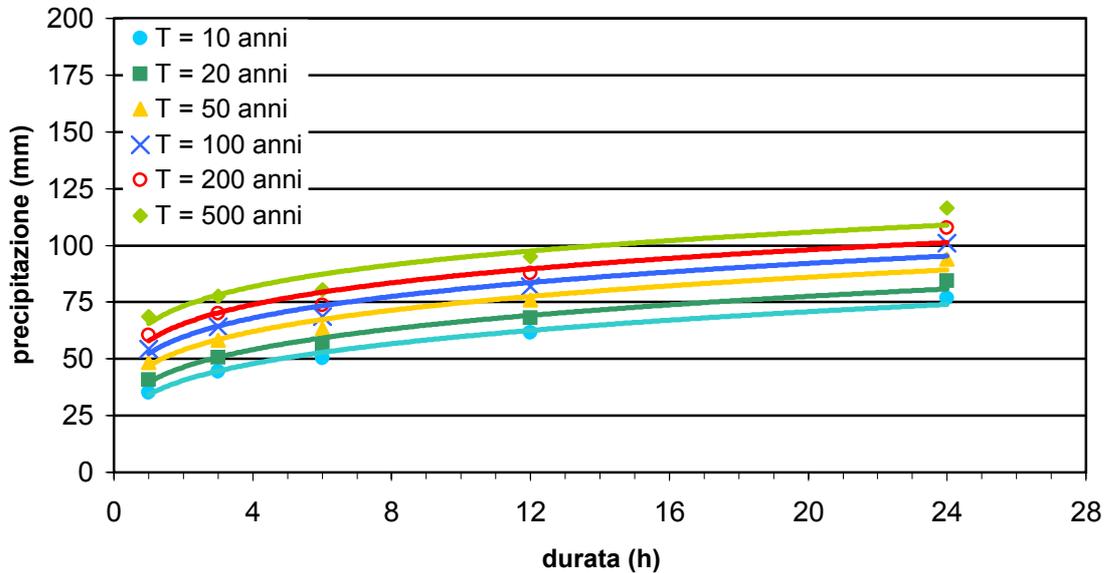
Altezze di precipitazione calcolate dalla curva di possibilità pluviometrica

coeff a e n	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	34.2	44.7	52.9	62.5	74.0
ht 20 anni	39.7	50.7	59.2	69.2	80.8
ht 50 anni	46.9	58.5	67.4	77.5	89.2
ht 100 anni	52.4	64.4	73.4	83.6	95.3
ht 200 anni	58.0	70.3	79.4	89.7	101.3
ht 500 anni	65.6	78.2	87.3	97.5	108.9

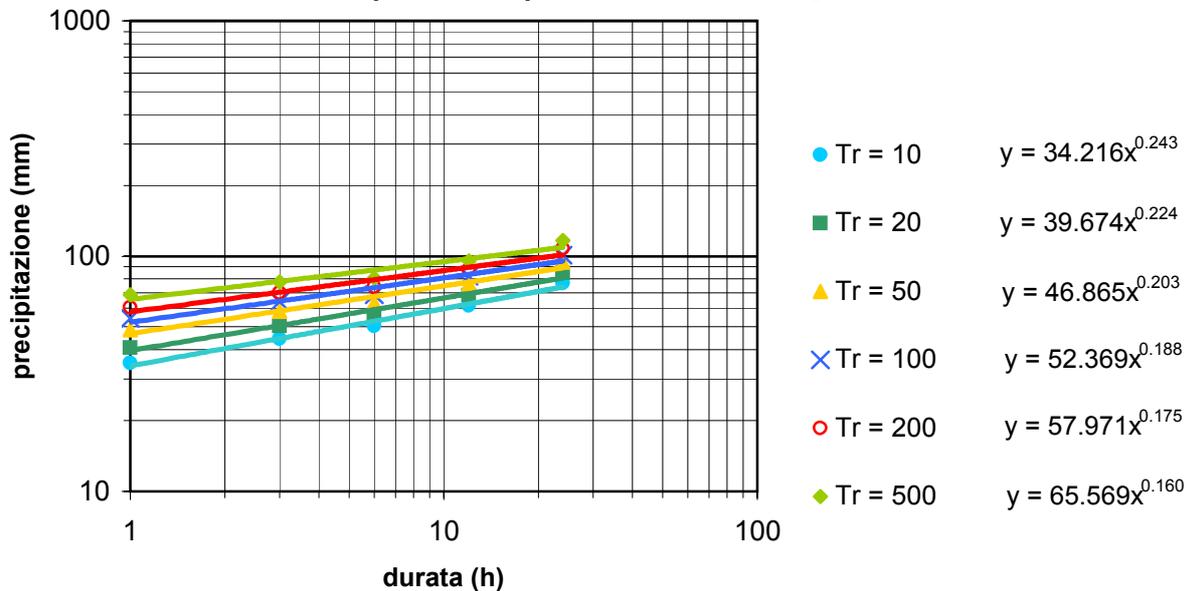
Stazione di ASTI

Regolarizzazione secondo la legge Log Normale a 2 parametri

curve di possibilità pluviometrica



curve di possibilità pluviometrica (scala logaritmica)



Risultati del test di adattamento di Kolmogorov

	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h	Regione di accettazione
D_N	0.096	0.065	0.083	0.064	0.110	0.240

Stazione di ASTI

Regolarizzazione secondo la legge di Gumbel

Analisi statistica del campione di dati

durata pioggia	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
media (x)	22.4	30.3	36.1	45.2	57.0
s.q.m. corr $\sigma(x)$	9.8	10.9	10.8	12.5	15.1
α	0.131	0.118	0.118	0.103	0.085
ε	17.986	25.397	31.214	39.528	50.261

Altezze di precipitazione calcolate con la legge di Gumbel

durata pioggia	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	35.2	44.5	50.2	61.5	76.7
ht 20 anni	40.7	50.6	56.3	68.5	85.1
ht 50 anni	47.8	58.5	64.2	77.6	96.1
ht 100 anni	53.2	64.4	70.1	84.4	104.3
ht 200 anni	58.5	70.3	76.0	91.1	112.4
ht 500 anni	65.5	78.1	83.7	100.1	123.2

Parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica

	a	n
Tr 10	34.26	0.2409
Tr 20	39.53	0.2275
Tr 50	46.36	0.2142
Tr 100	51.48	0.2064
Tr 200	56.58	0.1998
Tr 500	63.31	0.1926

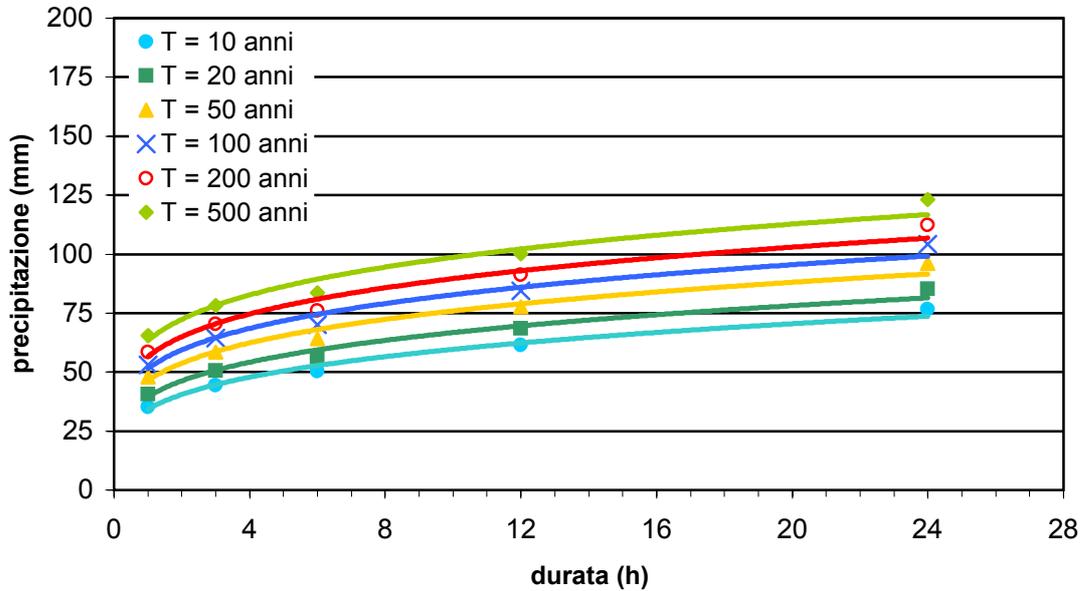
Altezze di precipitazione calcolate dalla curva di possibilità pluviometrica

coeff a e n	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	34.3	44.6	52.8	62.3	73.7
ht 20 anni	39.5	50.8	59.4	69.6	81.5
ht 50 anni	46.4	58.7	68.1	78.9	91.6
ht 100 anni	51.5	64.6	74.5	86.0	99.2
ht 200 anni	56.6	70.5	80.9	93.0	106.8
ht 500 anni	63.3	78.2	89.4	102.2	116.8

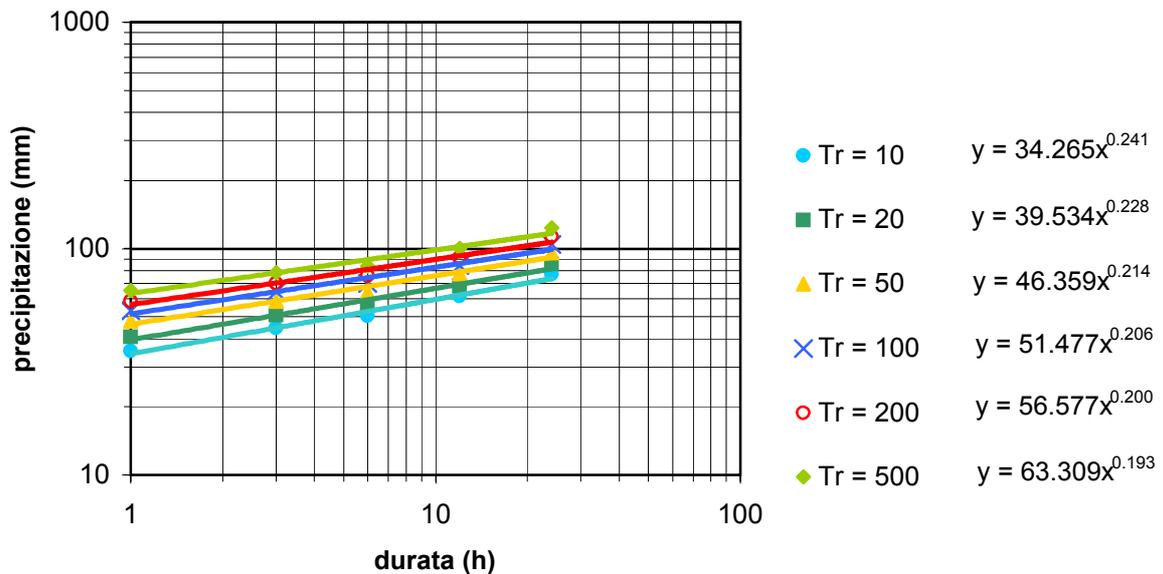
Stazione di ASTI

Regolarizzazione secondo la legge di Gumbel

curve di possibilità pluviometrica



curve di possibilità pluviometrica (scala logaritmica)



Risultati del test di adattamento di Kolmogorov

	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h	Regione di accettazione
D_N	0.087	0.064	0.079	0.061	0.126	0.240

Stazione pluviometrica di:

NOVARA

- Serie storica utilizzata
- Regolarizzazione secondo la legge di Gumbel
- Regolarizzazione secondo la legge log normale
- Curve di possibilità pluviometrica
- Risultati dei test statistici

Stazione di NOVARA					
(Quota 164 m s.l.m.)					
Anno	Massime Precipitazioni orarie				
	1ora	3ore	6ore	12ore	24ore
1930	26.0	30.0	54.5	70.0	91.5
1931	13.0	28.0	43.0	85.0	124.0
1932	-	-	-	-	-
1933	-	-	-	-	-
1934	-	-	-	-	-
1935	-	-	-	-	-
1936	24.0	30.4	52.4	73.0	80.6
1937	-	-	-	-	-
1938	-	-	-	-	-
1939	-	-	-	-	-
1940	-	-	-	-	-
1941	-	-	-	-	-
1944	24.4	29.8	31.0	41.3	67.8
1945	32.0	59.0	107.0	133.4	184.8
1947	39.0	50.8	59.0	89.0	108.0
1948	15.0	17.0	32.0	51.0	56.0
1950	18.6	19.8	28.6	50.0	74.0
1951	40.0	43.2	45.0	53.0	82.0
1952	-	-	-	-	-
1953	26.0	26.8	34.2	34.4	45.6
1954	24.4	42.2	74.0	92.4	95.8
1955	35.0	36.2	39.0	48.2	80.0
1956	45.5	53.8	53.8	56.4	69.0
1957	42.0	44.3	45.2	56.0	100.0
1958	21.0	36.8	41.4	51.4	67.8
1959	49.4	68.4	74.0	92.6	93.6
1960	28.4	40.0	47.0	54.4	75.6
1961	27.4	33.8	58.4	84.0	122.0
1962	14.0	23.0	41.0	45.6	73.4
1963	25.2	26.2	26.2	29.4	40.2
1964	36.2	42.4	45.0	46.8	48.0
1965	14.6	23.6	33.4	38.0	50.0
1966	30.6	46.0	49.0	59.8	64.8
1967	29.0	30.4	33.8	46.0	50.8
1968	48.0	55.2	55.2	68.0	87.6
1969	19.0	34.0	47.0	62.6	105.4
1970	39.2	45.8	46.2	46.2	46.2
1971	16.2	28.0	30.0	39.6	57.2
1972	25.0	35.6	41.2	41.6	47.0
1973	24.0	45.6	46.0	46.2	48.8
1974	18.2	20.6	39.6	67.8	84.8
1975	20.0	26.4	31.2	41.8	86.6
1976	19.0	22.8	38.2	55.0	68.8
1977	-	-	-	-	-
1978	25.2	54.4	98.6	120.0	127.0
1979	19.0	24.8	35.4	57.6	65.4
1980	21.0	29.4	36.0	41.2	48.4

Stazione di NOVARA

Regolarizzazione secondo la legge Log Normale a 2 parametri

Analisi statistica del campione di dati

durata pioggia	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
media (x)	27.1	36.2	47.0	60.2	78.3
s.q.m. corr $\sigma(x)$	9.9	12.4	17.8	23.2	29.9
a	2.815	3.001	2.732	2.685	2.712
b	-9.108	-10.606	-10.336	-10.818	-11.642
media (y)	3.2	3.5	3.8	4.0	4.3
scarto (y)	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4

Altezze di precipitazione calcolate con la legge Log normale

durata pioggia	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	40.1	52.5	70.3	90.6	117.3
ht 20 anni	45.6	59.3	80.3	103.7	134.1
ht 50 anni	52.7	68.0	93.2	120.8	156.0
ht 100 anni	58.1	74.4	103.0	133.7	172.5
ht 200 anni	63.5	80.9	112.9	146.7	189.1
ht 500 anni	70.6	89.5	126.1	164.2	211.4

Parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica

	a	n
Tr 10	38.31	0.3445
Tr 20	43.44	0.3474
Tr 50	50.04	0.3506
Tr 100	54.98	0.3527
Tr 200	59.94	0.3547
Tr 500	66.54	0.3570

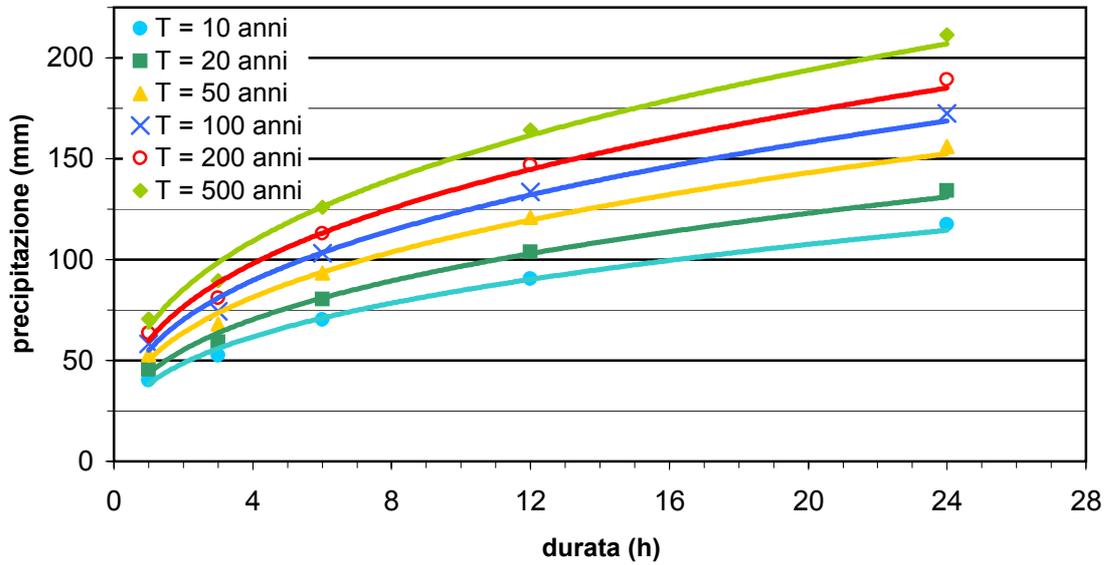
Altezze di precipitazione calcolate dalla curva di possibilità pluviometrica

coeff a e n	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	38.3	55.9	71.0	90.2	114.5
ht 20 anni	43.4	63.6	81.0	103.0	131.0
ht 50 anni	50.0	73.5	93.8	119.6	152.5
ht 100 anni	55.0	81.0	103.4	132.1	168.7
ht 200 anni	59.9	88.5	113.2	144.7	185.0
ht 500 anni	66.5	98.5	126.2	161.6	207.0

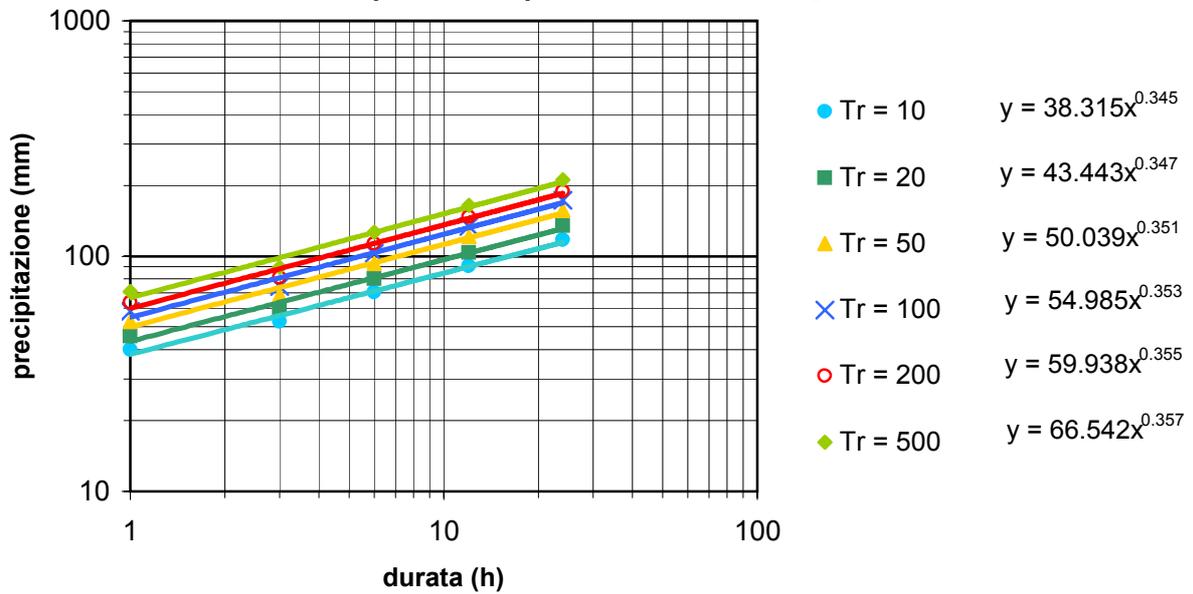
Stazione di NOVARA

Regolarizzazione secondo la legge Log Normale a 2 parametri

curve di possibilità pluviometrica



curve di possibilità pluviometrica (scala logaritmica)



Risultati del test di adattamento di Kolmogorov

	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h	Regione di accettazione
D_N	0.075	0.100	0.103	0.095	0.082	0.226

Stazione di NOVARA

Regolarizzazione secondo la legge di Gumbel

Analisi statistica del campione di dati

durata pioggia	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
media (x)	27.1	36.2	47.0	60.2	78.3
s.q.m. corr $\sigma(x)$	9.9	12.4	17.8	23.2	29.9
α	0.129	0.103	0.072	0.055	0.043
ε	22.602	30.647	39.003	49.785	64.847

Altezze di precipitazione calcolate con la legge di Gumbel

durata pioggia	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	40.0	52.4	70.2	90.5	117.3
ht 20 anni	45.6	59.4	80.2	103.6	134.0
ht 50 anni	52.8	68.4	93.1	120.5	155.7
ht 100 anni	58.2	75.2	102.8	133.1	172.0
ht 200 anni	63.6	81.9	112.5	145.7	188.2
ht 500 anni	70.7	90.8	125.2	162.3	209.5

Parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica

	a	n
Tr 10	38.25	0.3449
Tr 20	43.47	0.3468
Tr 50	50.23	0.3487
Tr 100	55.29	0.3498
Tr 200	60.34	0.3507
Tr 500	66.99	0.3517

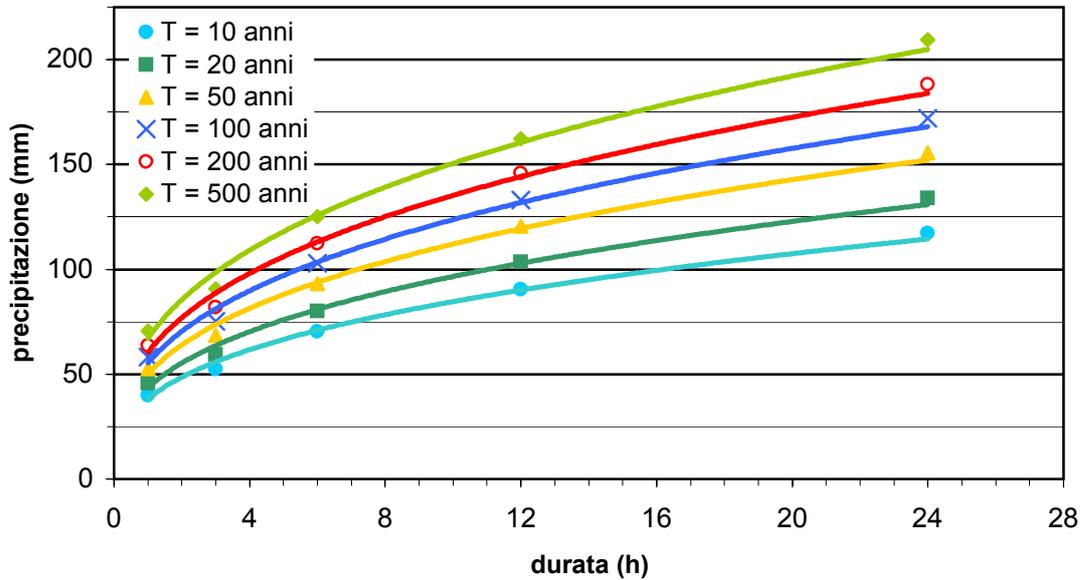
Altezze di precipitazione calcolate dalla curva di possibilità pluviometrica

coeff a e n	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	38.3	55.9	71.0	90.1	114.5
ht 20 anni	43.5	63.6	80.9	102.9	130.9
ht 50 anni	50.2	73.7	93.8	119.5	152.1
ht 100 anni	55.3	81.2	103.5	131.9	168.1
ht 200 anni	60.3	88.7	113.1	144.2	183.9
ht 500 anni	67.0	98.6	125.8	160.5	204.9

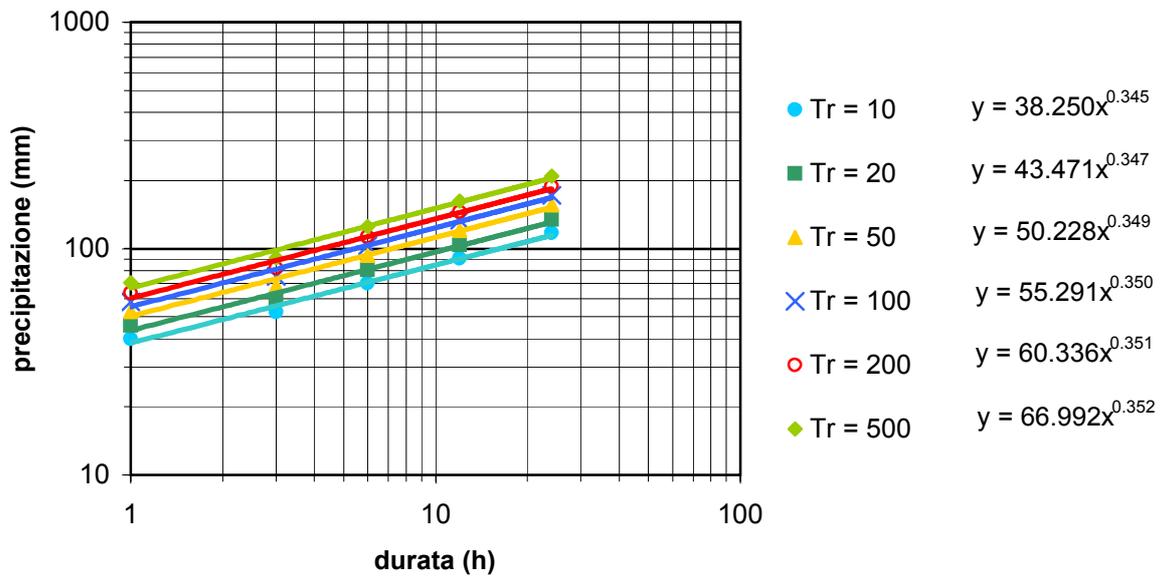
Stazione di NOVARA

Regolarizzazione secondo la legge di Gumbel

curve di possibilità pluviometrica



curve di possibilità pluviometrica (scala logaritmica)



Risultati del test di adattamento di Kolmogorov

	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h	Regione di accettazione
D_N	0.076	0.101	0.106	0.099	0.083	0.226

Stazione pluviometrica di:

CHIVASSO

- Serie storica utilizzata
- Regolarizzazione secondo la legge di Gumbel
- Regolarizzazione secondo la legge log normale
- Curve di possibilità pluviometrica
- Risultati dei test statistici

Stazione di CHIVASSO					
(Quota 183 m s.l.m.)					
Anno	Massime Precipitazioni orarie				
	1ora	3ore	6ore	12ore	24ore
1951	27.0	36.6	59.6	75.0	81.8
1952	29.0	32.0	40.0	64.0	83.8
1953	25.6	32.2	37.2	44.2	66.4
1954	22.2	24.6	27.4	42.4	58.0
1955	17.4	19.6	28.4	56.8	77.2
1956	31.4	40.8	48.0	48.0	75.8
1957	23.2	23.4	25.0	42.0	70.0
1958	13.8	24.4	29.4	47.6	70.0
1959	21.8	23.6	51.0	64.0	106.0
1960	21.4	33.4	33.4	39.0	56.6
1961	30.0	49.0	57.6	66.0	115.4
1962	11.0	22.6	31.6	51.4	75.4
1963	24.4	31.4	31.4	46.4	77.0
1964	40.0	67.2	72.8	78.6	78.8
1965	28.0	34.8	40.0	42.2	44.6
1966	21.2	38.0	40.2	65.4	78.0
1967	31.0	35.6	35.6	36.0	43.6
1968	30.0	41.0	59.0	79.6	132.6
1969	29.0	32.0	32.0	44.4	70.6
1970	23.0	23.2	24.0	30.0	40.0
1971	26.0	26.0	38.4	40.6	60.0
1972	19.0	34.2	36.4	42.0	70.4
1973	36.0	42.0	42.6	45.0	60.0
1974	13.6	20.2	21.4	36.8	63.8
1975	34.2	36.6	40.0	62.6	88.2
1976	47.4	60.0	60.0	60.0	66.8
1977	14.4	26.4	32.4	36.0	71.0
1978	-	-	-	-	-
1979	16.8	32.0	36.0	60.2	89.8
1980	17.2	25.0	41.8	45.0	60.4
1981	-	-	-	-	-
1982	24.0	36.4	38.0	50.2	73.0
1983	-	-	-	-	-
1984	25.4	26.6	41.4	46.6	66.4
1985	41.2	41.2	41.2	41.2	70.8
1986	21.6	31.0	37.6	45.6	56.2

Stazione di CHIVASSO

Regolarizzazione secondo la legge Log Normale a 2 parametri

Analisi statistica del campione di dati

durata pioggia	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
media (x)	25.4	33.4	39.7	50.8	72.7
s.q.m. corr $\sigma(x)$	8.3	10.6	11.6	12.8	19.0
a	3.129	3.239	3.483	4.019	3.893
b	-9.957	-11.211	-12.681	-15.657	-16.556
media (y)	3.2	3.5	3.6	3.9	4.3
scarto (y)	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3

Altezze di precipitazione calcolate con la legge Log normale

durata pioggia	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	36.3	47.3	55.1	67.7	97.7
ht 20 anni	40.8	53.0	61.1	74.1	107.3
ht 50 anni	46.5	60.1	68.7	82.0	119.2
ht 100 anni	50.7	65.4	74.3	87.8	127.8
ht 200 anni	54.9	70.6	79.9	93.4	136.3
ht 500 anni	60.5	77.5	87.1	100.7	147.3

Parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica

	a	n
Tr 10	34.50	0.2981
Tr 20	38.82	0.2896
Tr 50	44.33	0.2799
Tr 100	48.43	0.2735
Tr 200	52.52	0.2676
Tr 500	57.93	0.2605

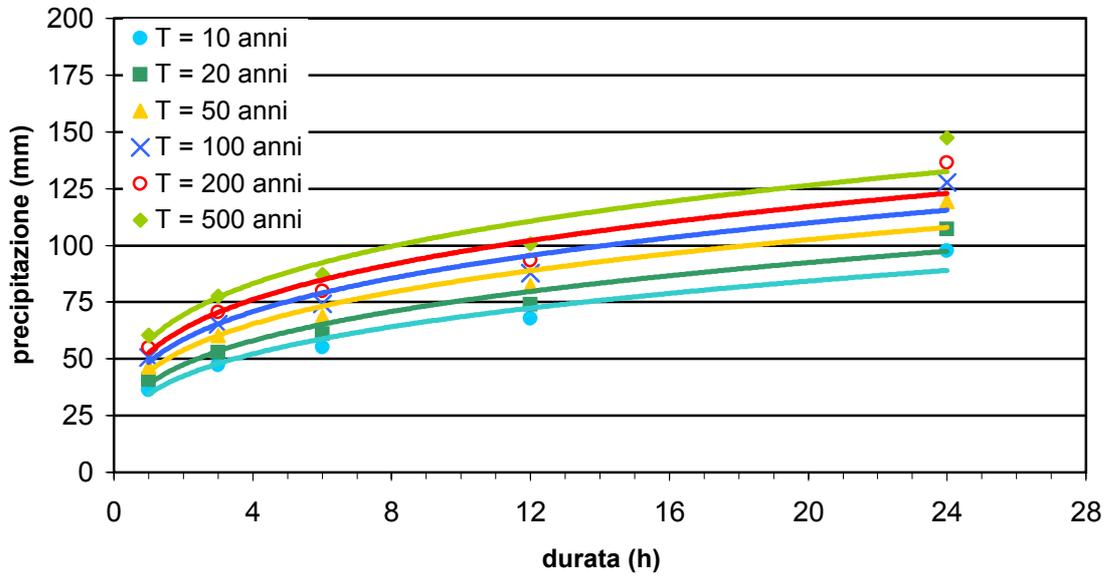
Altezze di precipitazione calcolate dalla curva di possibilità pluviometrica

coeff a e n	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	34.5	47.9	58.9	72.4	89.0
ht 20 anni	38.8	53.4	65.2	79.7	97.4
ht 50 anni	44.3	60.3	73.2	88.9	107.9
ht 100 anni	48.4	65.4	79.1	95.6	115.5
ht 200 anni	52.5	70.5	84.8	102.1	122.9
ht 500 anni	57.9	77.1	92.4	110.7	132.6

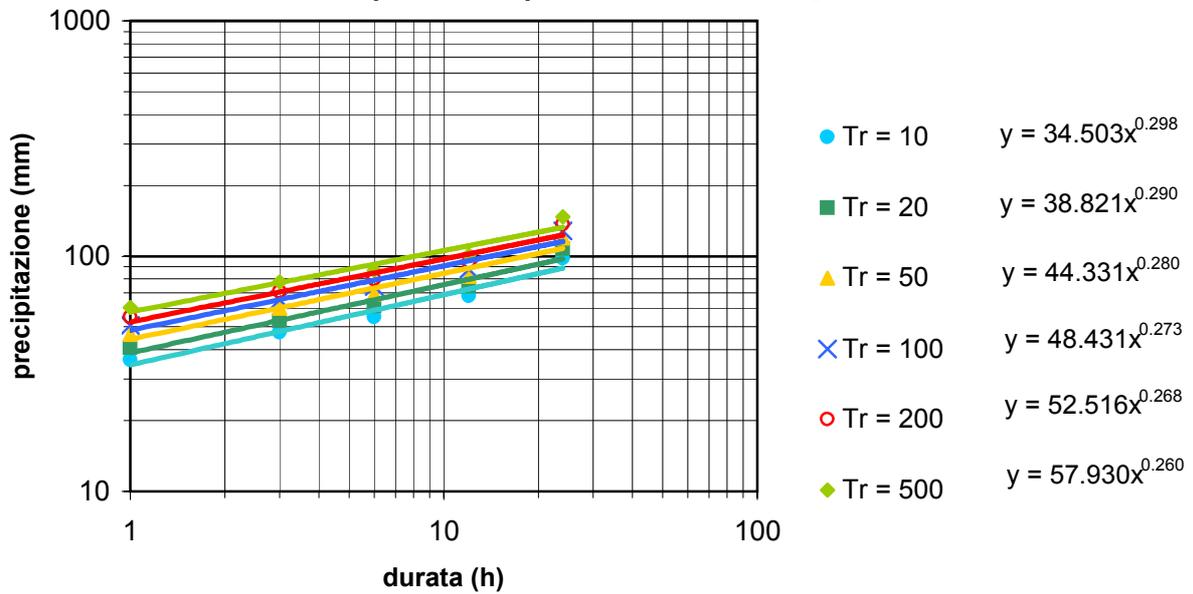
Stazione di CHIVASSO

Regolarizzazione secondo la legge Log Normale a 2 parametri

curve di possibilità pluviometrica



curve di possibilità pluviometrica (scala logaritmica)



Risultati del test di adattamento di Kolmogorov

	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h	Regione di accettazione
D_N	0.079	0.082	0.114	0.128	0.094	0.236

Stazione di CHIVASSO

Regolarizzazione secondo la legge di Gumbel

Analisi statistica del campione di dati

durata pioggia	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
media (x)	25.4	33.4	39.7	50.8	72.7
s.q.m. corr $\sigma(x)$	8.3	10.6	11.6	12.8	19.0
α	0.154	0.121	0.110	0.100	0.068
ε	21.626	28.667	34.482	44.979	64.136

Altezze di precipitazione calcolate con la legge di Gumbel

durata pioggia	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	36.2	47.2	54.9	67.5	97.4
ht 20 anni	40.9	53.1	61.4	74.7	108.1
ht 50 anni	46.9	60.8	69.9	84.0	121.9
ht 100 anni	51.5	66.6	76.2	91.0	132.2
ht 200 anni	56.0	72.3	82.5	97.9	142.5
ht 500 anni	61.9	79.9	90.9	107.1	156.1

Parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica

	a	n
Tr 10	34.42	0.2979
Tr 20	38.91	0.2913
Tr 50	44.73	0.2846
Tr 100	49.09	0.2805
Tr 200	53.44	0.2771
Tr 500	59.17	0.2733

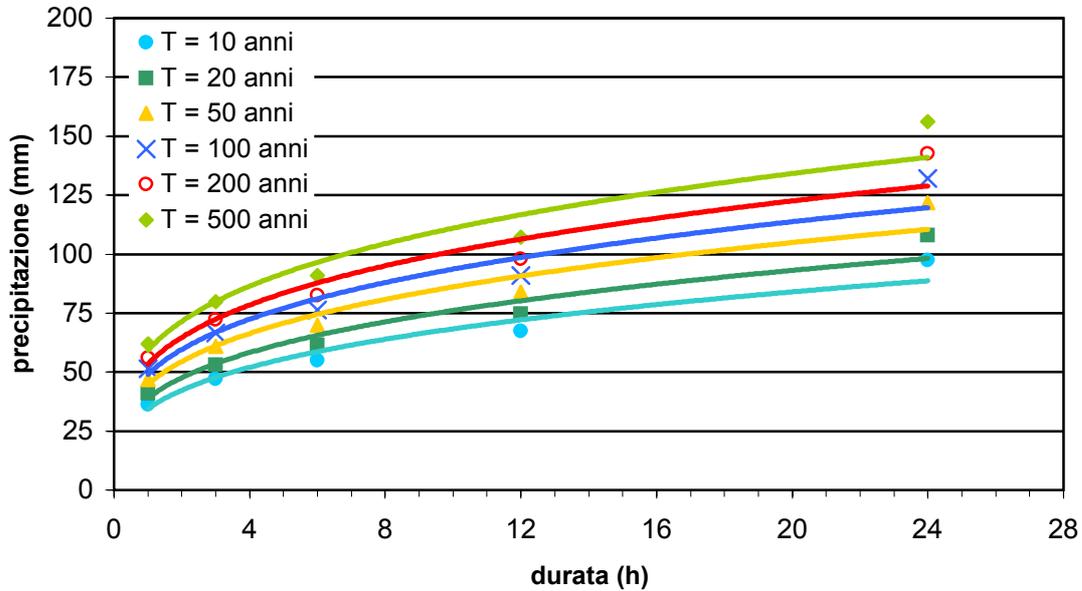
Altezze di precipitazione calcolate dalla curva di possibilità pluviometrica

coeff a e n	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	34.4	47.7	58.7	72.2	88.7
ht 20 anni	38.9	53.6	65.6	80.2	98.2
ht 50 anni	44.7	61.1	74.5	90.7	110.5
ht 100 anni	49.1	66.8	81.1	98.6	119.7
ht 200 anni	53.4	72.4	87.8	106.4	128.9
ht 500 anni	59.2	79.9	96.6	116.7	141.0

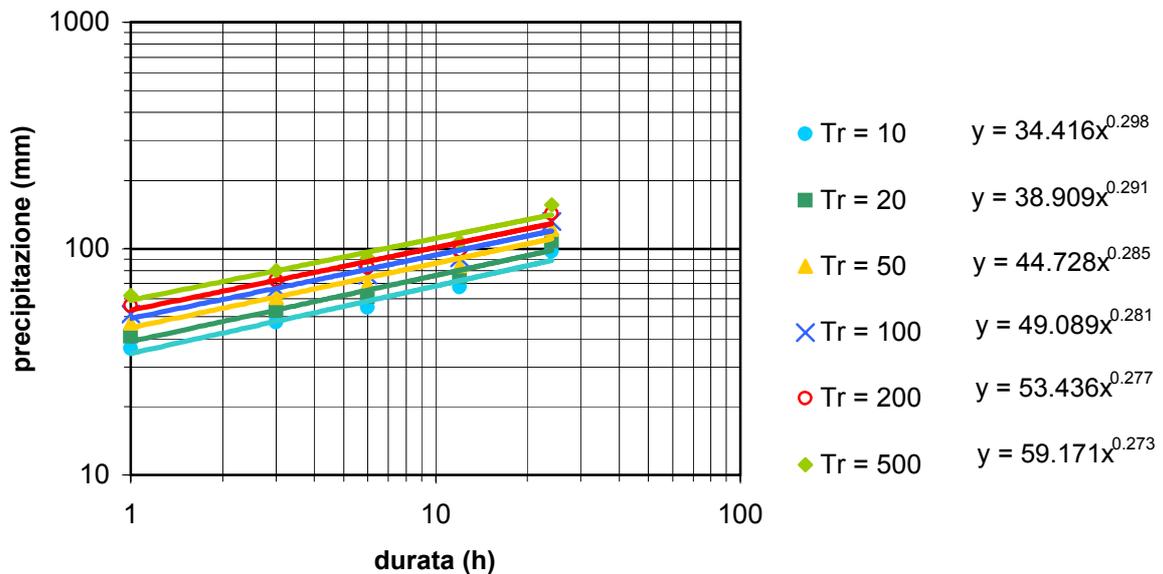
Stazione di CHIVASSO

Regolarizzazione secondo la legge di Gumbel

curve di possibilità pluviometrica



curve di possibilità pluviometrica (scala logaritmica)



Risultati del test di adattamento di Kolmogorov

	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h	Regione di accettazione
D_N	0.079	0.088	0.100	0.111	0.100	0.236

Stazione pluviometrica di:

MAZZE'

- Serie storica utilizzata
- Regolarizzazione secondo la legge di Gumbel
- Regolarizzazione secondo la legge log normale
- Curve di possibilità pluviometrica
- Risultati dei test statistici

Stazione di MAZZE'					
(Quota 218 m s.l.m.)					
Anno	Massime Precipitazioni orarie				
	1ora	3ore	6ore	12ore	24ore
1937	42.4	42.4	56.0	57.0	71.0
1938	37.0	37.0	39.0	40.0	59.0
1939	34.0	39.0	42.0	68.0	76.0
1940	-	-	-	-	-
1941	42.0	46.0	54.0	70.0	76.0
1942	-	-	-	-	-
1943	28.8	33.0	34.0	39.0	56.0
1944	26.0	37.0	53.0	64.0	64.0
1945	-	-	-	-	-
1946	28.0	37.0	43.0	43.0	51.0
1947	24.0	36.0	37.0	38.0	74.0
1949	30.0	30.0	30.0	49.0	64.0
1950	31.0	36.0	42.0	42.0	62.0
1951	34.0	42.0	52.0	84.0	90.0
1952	36.0	54.0	56.5	56.5	56.5
1953	28.0	28.0	39.0	45.0	58.0
1954	80.0	82.0	82.0	82.0	83.0
1955	28.0	36.0	36.0	48.0	74.0
1956	35.8	45.0	52.0	56.6	93.6
1957	37.2	37.2	37.2	39.0	46.6
1958	21.6	24.4	29.4	42.4	55.8
1959	28.4	31.0	33.8	66.0	77.0
1960	27.8	31.8	34.6	47.2	64.6
1961	42.2	46.2	46.8	52.4	87.4
1962	26.8	26.8	26.8	40.0	70.6
1963	23.2	27.4	30.6	51.6	83.2
1964	31.2	31.4	33.0	33.0	33.2
1965	28.6	28.6	28.6	33.4	37.6
1966	15.2	27.2	33.0	45.0	58.8
1967	19.0	20.0	25.0	41.0	41.0
1968	28.0	42.4	59.6	68.9	137.8
1969	29.0	29.6	29.6	31.0	67.0
1970	31.8	54.8	58.4	58.4	66.0
1971	31.4	31.6	31.8	35.6	53.0
1972	26.0	28.6	39.0	40.0	50.0
1973	25.0	49.0	70.8	98.8	102.8
1974	20.8	21.2	21.6	27.8	45.0
1975	17.2	24.8	31.6	34.4	49.2
1976	58.2	89.0	90.0	90.0	90.0
1977	22.6	24.8	37.6	50.2	65.6
1978	-	-	-	-	-
1979	22.4	36.4	53.0	63.4	73.0
1981	25.2	26.2	36.0	47.6	62.4
1982	21.6	28.0	28.0	38.6	60.6
1983	21.2	27.2	38.6	50.2	63.8
1985	25.2	26.8	26.8	31.8	51.2
1986	19.4	37.8	40.6	43.8	43.8

Stazione di MAZZE'

Regolarizzazione secondo la legge Log Normale a 2 parametri

Analisi statistica del campione di dati

durata pioggia	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
media (x)	30.0	36.5	41.8	50.8	66.2
s.q.m. corr $\sigma(x)$	11.1	13.8	14.8	16.5	19.2
a	2.786	2.747	2.913	3.156	3.514
b	-9.299	-9.701	-10.706	-12.238	-14.588
media (y)	3.3	3.5	3.7	3.9	4.2
scarto (y)	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3

Altezze di precipitazione calcolate con la legge Log normale

durata pioggia	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	44.6	54.5	61.2	72.5	91.5
ht 20 anni	50.8	62.2	69.4	81.3	101.5
ht 50 anni	58.8	72.2	79.8	92.6	114.0
ht 100 anni	64.9	79.7	87.7	100.9	123.2
ht 200 anni	71.0	87.3	95.5	109.2	132.3
ht 500 anni	79.1	97.5	106.0	120.2	144.1

Parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica

	a	n
Tr 10	43.19	0.2200
Tr 20	49.49	0.2113
Tr 50	57.69	0.2014
Tr 100	63.90	0.1949
Tr 200	70.16	0.1888
Tr 500	78.58	0.1816

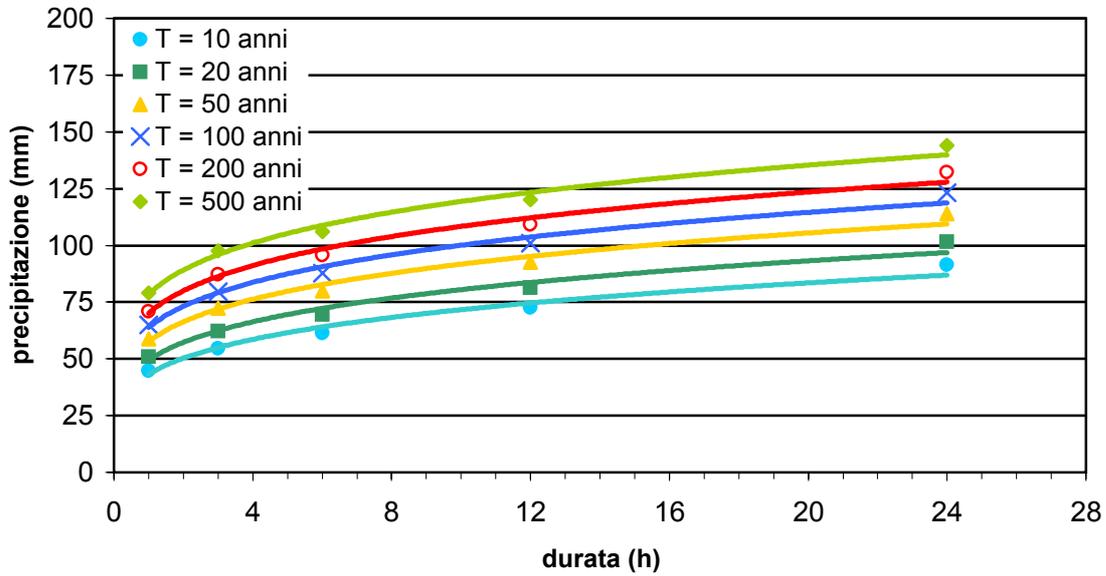
Altezze di precipitazione calcolate dalla curva di possibilità pluviometrica

coeff a e n	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	43.2	55.0	64.1	74.6	86.9
ht 20 anni	49.5	62.4	72.3	83.7	96.9
ht 50 anni	57.7	72.0	82.8	95.2	109.4
ht 100 anni	63.9	79.2	90.6	103.7	118.7
ht 200 anni	70.2	86.3	98.4	112.2	127.9
ht 500 anni	78.6	95.9	108.8	123.4	139.9

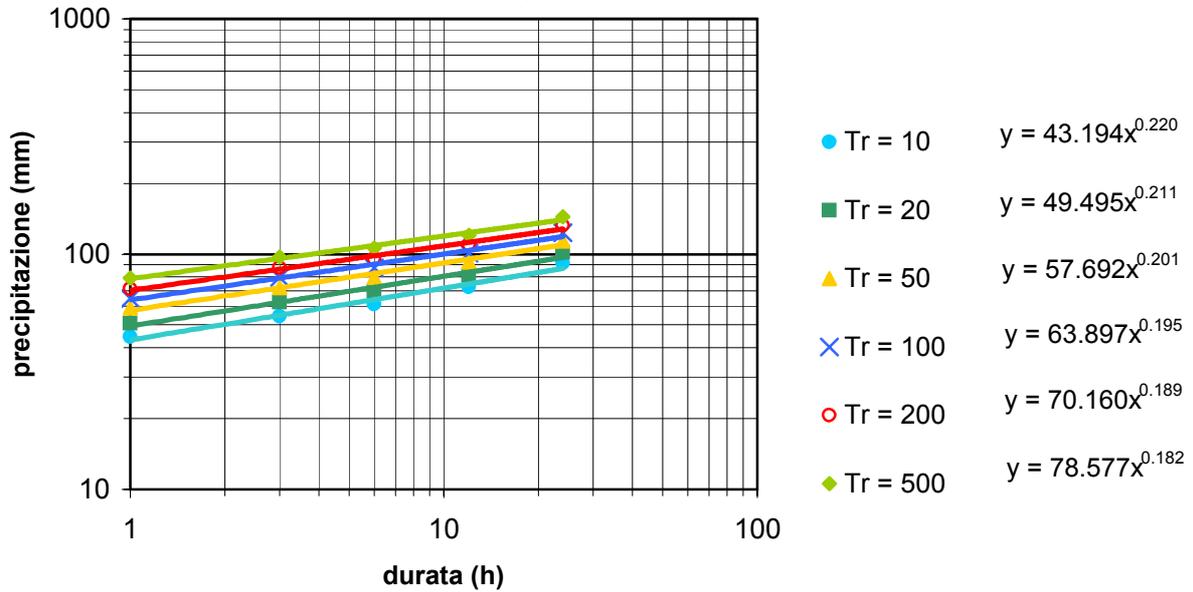
Stazione di MAZZE'

Regolarizzazione secondo la legge Log Normale a 2 parametri

curve di possibilità pluviometrica



curve di possibilità pluviometrica (scala logaritmica)



Risultati del test di adattamento di Kolmogorov

	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h	Regione di accettazione
D_N	0.094	0.109	0.104	0.066	0.051	0.207

Stazione di MAZZE'

Regolarizzazione secondo la legge di Gumbel

Analisi statistica del campione di dati

durata pioggia	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
media (x)	30.0	36.5	41.8	50.8	66.2
s.q.m. corr $\sigma(x)$	11.1	13.8	14.8	16.5	19.2
α	0.115	0.093	0.087	0.078	0.067
ε	25.017	30.338	35.185	43.356	57.517

Altezze di precipitazione calcolate con la legge di Gumbel

durata pioggia	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	44.5	54.5	61.1	72.3	91.2
ht 20 anni	50.8	62.2	69.4	81.6	102.0
ht 50 anni	58.9	72.2	80.2	93.5	116.0
ht 100 anni	64.9	79.6	88.2	102.5	126.4
ht 200 anni	71.0	87.1	96.3	111.5	136.8
ht 500 anni	78.9	96.9	106.9	123.3	150.6

Parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica

	a	n
Tr 10	43.16	0.2194
Tr 20	49.42	0.2131
Tr 50	57.53	0.2068
Tr 100	63.60	0.2031
Tr 200	69.66	0.2000
Tr 500	77.65	0.1966

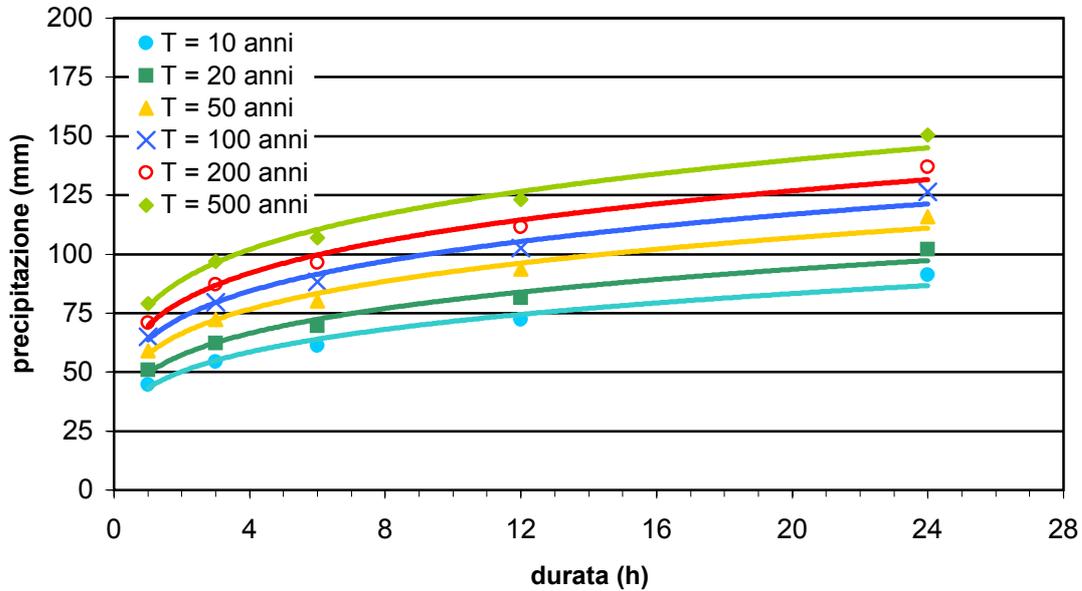
Altezze di precipitazione calcolate dalla curva di possibilità pluviometrica

coeff a e n	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	43.2	54.9	63.9	74.4	86.7
ht 20 anni	49.4	62.5	72.4	83.9	97.3
ht 50 anni	57.5	72.2	83.3	96.2	111.0
ht 100 anni	63.6	79.5	91.5	105.4	121.3
ht 200 anni	69.7	86.8	99.7	114.5	131.5
ht 500 anni	77.7	96.4	110.5	126.6	145.1

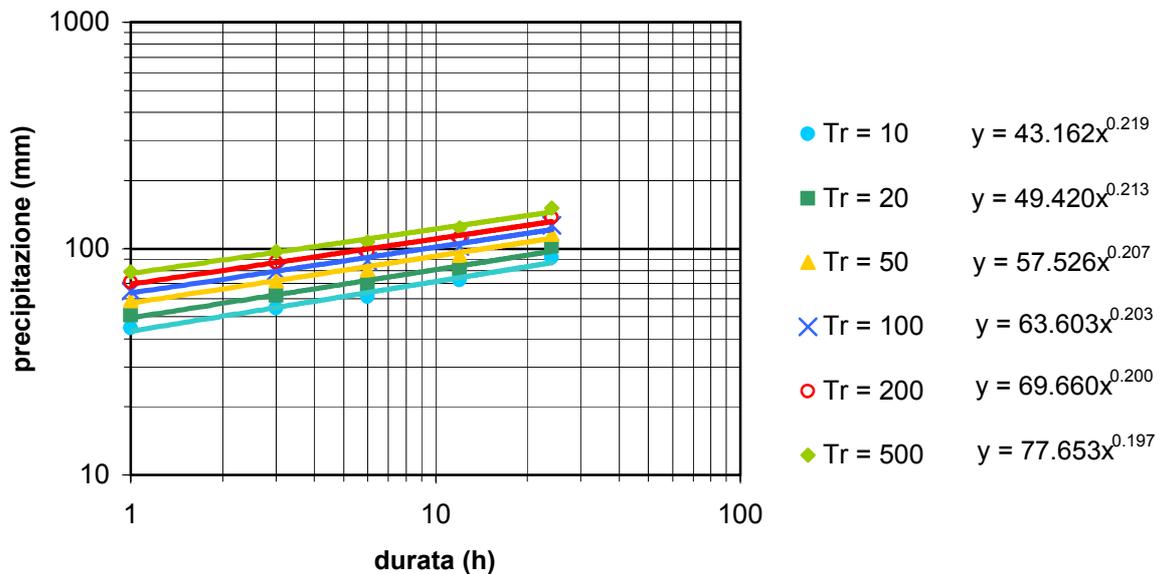
Stazione di MAZZE'

Regolarizzazione secondo la legge di Gumbel

curve di possibilità pluviometrica



curve di possibilità pluviometrica (scala logaritmica)



Risultati del test di adattamento di Kolmogorov

	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h	Regione di accettazione
D_N	0.095	0.107	0.103	0.062	0.053	0.207

Stazione pluviometrica di:

BERTIGNANO VIVERONE

- Serie storica utilizzata
- Regolarizzazione secondo la legge di Gumbel
- Regolarizzazione secondo la legge log normale
- Curve di possibilità pluviometrica
- Risultati dei test statistici

Stazione di VIVERONE					
(Quota 370 m s.l.m.)					
Anno	Massime Precipitazioni orarie				
	1ora	3ore	6ore	12ore	24ore
1940	31.0	43.4	51.6	59.4	78.0
1941	42.0	57.6	57.8	85.0	87.4
1942	-	-	-	-	-
1943	-	-	-	-	-
1944	34.0	46.0	52.0	59.2	64.0
1945	34.0	38.6	53.0	65.4	68.0
1946	19.4	30.6	56.6	56.6	73.6
1947	29.0	45.0	48.0	52.6	84.6
1948	-	-	-	-	-
1949	19.6	30.6	35.6	44.4	45.6
1950	-	-	-	-	-
1951	23.0	40.0	53.0	90.0	108.0
1952	39.6	52.0	54.0	54.0	57.0
1953	24.8	40.2	42.4	54.8	71.6
1954	40.0	44.2	48.4	70.4	78.0
1955	22.0	22.8	26.2	50.0	75.0
1956	-	-	-	-	-
1957	-	-	-	-	-
1958	56.0	57.4	62.0	62.0	62.0
1959	33.0	41.4	49.6	77.6	93.0
1960	32.0	53.0	63.8	77.6	80.0
1961	24.0	40.0	54.0	74.0	124.6
1962	16.0	22.8	33.0	54.4	92.0
1963	31.4	45.8	61.6	67.2	88.4
1964	21.2	26.0	32.6	43.2	46.8
1965	29.6	30.8	30.8	44.6	55.0
1966	25.0	40.0	52.2	64.4	72.2
1967	37.6	56.0	65.0	65.4	69.4
1968	25.0	47.0	94.0	138.0	245.0
1969	27.4	48.0	48.4	56.0	75.4
1970	24.0	35.0	41.0	46.0	59.6
1971	-	-	-	-	-
1972	-	-	-	-	-
1973	70.0	143.0	160.0	169.6	180.0
1974	-	-	-	-	-
1976	33.0	40.8	47.4	78.2	94.0
1977	29.0	35.0	58.0	66.4	90.0

Stazione di VIVERONE

Regolarizzazione secondo la legge Log Normale a 2 parametri

Analisi statistica del campione di dati

durata pioggia	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
media (x)	31.2	44.8	54.7	68.8	86.4
s.q.m. corr $\sigma(x)$	11.3	21.5	24.5	27.3	40.6
a	2.843	2.193	2.338	2.615	2.237
b	-9.602	-8.107	-9.143	-10.875	-9.751
media (y)	3.4	3.7	3.9	4.2	4.4
scarto (y)	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4

Altezze di precipitazione calcolate con la legge Log normale

durata pioggia	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	46.0	72.4	86.4	104.4	138.6
ht 20 anni	52.2	85.4	100.9	119.9	163.0
ht 50 anni	60.3	102.9	120.2	140.2	195.7
ht 100 anni	66.4	116.5	135.1	155.6	221.1
ht 200 anni	72.5	130.6	150.3	171.2	247.2
ht 500 anni	80.6	149.9	171.0	192.2	282.9

Parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica

	a	n
Tr 10	47.34	0.3346
Tr 20	54.41	0.3409
Tr 50	63.64	0.3480
Tr 100	70.64	0.3528
Tr 200	77.73	0.3571
Tr 500	87.27	0.3624

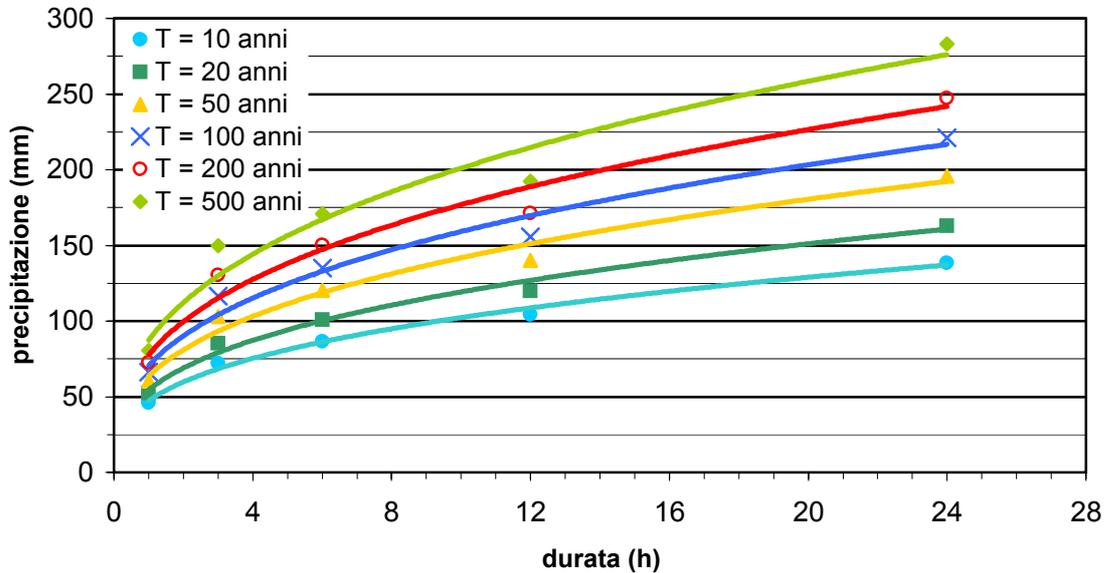
Altezze di precipitazione calcolate dalla curva di possibilità pluviometrica

coeff a e n	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	47.3	68.4	86.2	108.7	137.1
ht 20 anni	54.4	79.1	100.2	126.9	160.8
ht 50 anni	63.6	93.3	118.7	151.1	192.3
ht 100 anni	70.6	104.1	132.9	169.7	216.8
ht 200 anni	77.7	115.1	147.4	188.8	241.8
ht 500 anni	87.3	130.0	167.1	214.8	276.1

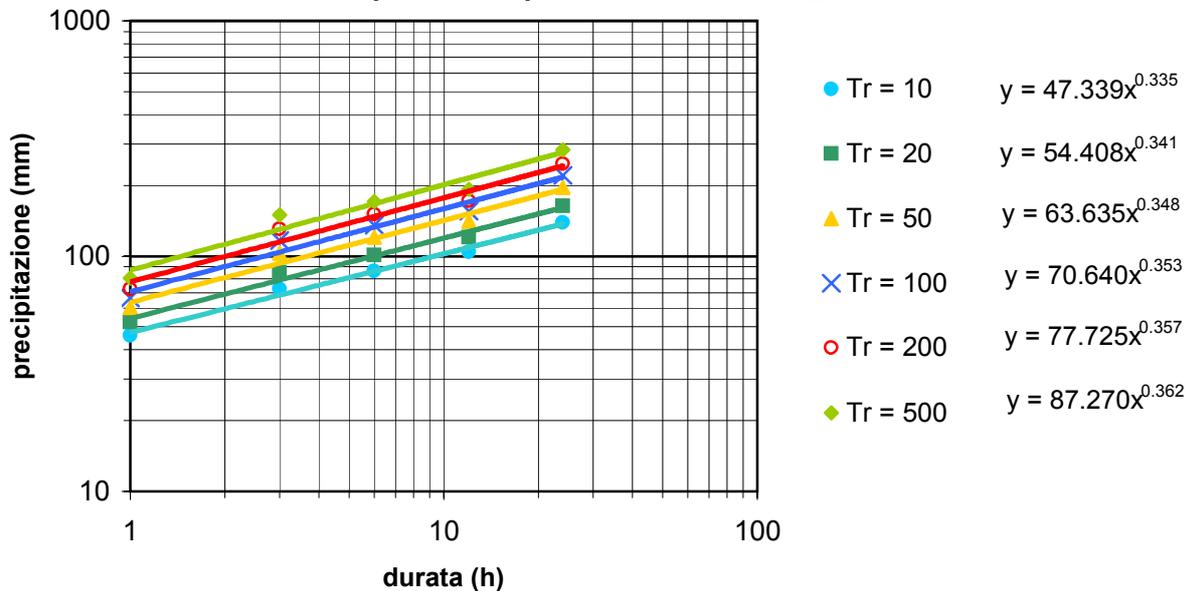
Stazione di VIVERONE

Regolarizzazione secondo la legge Log Normale a 2 parametri

curve di possibilità pluviometrica



curve di possibilità pluviometrica (scala logaritmica)



Risultati del test di adattamento di Kolmogorov

	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h	Regione di accettazione
D_N	0.095	0.151	0.176	0.127	0.167	0.257

Stazione di VIVERONE

Regolarizzazione secondo la legge di Gumbel

Analisi statistica del campione di dati

durata pioggia	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
media (x)	31.2	44.8	54.7	68.8	86.4
s.q.m. corr $\sigma(x)$	11.3	21.5	24.5	27.3	40.6
α	0.113	0.060	0.052	0.047	0.032
ε	26.075	35.068	43.683	56.516	68.088

Altezze di precipitazione calcolate con la legge di Gumbel

durata pioggia	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	45.9	72.8	86.7	104.4	139.3
ht 20 anni	52.3	84.9	100.4	119.7	162.1
ht 50 anni	60.5	100.5	118.2	139.5	191.6
ht 100 anni	66.6	112.2	131.6	154.4	213.7
ht 200 anni	72.8	123.9	144.9	169.2	235.7
ht 500 anni	80.9	139.3	162.4	188.7	264.8

Parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica

	a	n
Tr 10	47.38	0.3357
Tr 20	54.32	0.3398
Tr 50	63.29	0.3437
Tr 100	70.01	0.3460
Tr 200	76.71	0.3479
Tr 500	85.54	0.3500

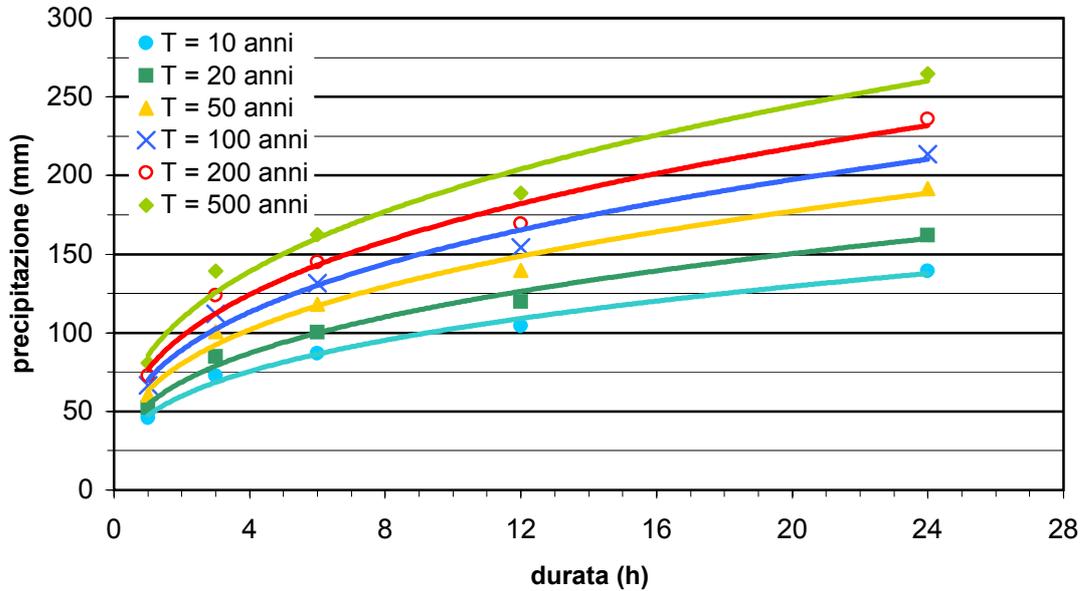
Altezze di precipitazione calcolate dalla curva di possibilità pluviometrica

coeff a e n	1 h (mm)	3 h (mm)	6 h (mm)	12 h (mm)	24 h (mm)
ht 10 anni	47.4	68.5	86.5	109.1	137.7
ht 20 anni	54.3	78.9	99.8	126.4	159.9
ht 50 anni	63.3	92.3	117.2	148.7	188.7
ht 100 anni	70.0	102.4	130.2	165.4	210.3
ht 200 anni	76.7	112.4	143.1	182.1	231.8
ht 500 anni	85.5	125.6	160.1	204.1	260.1

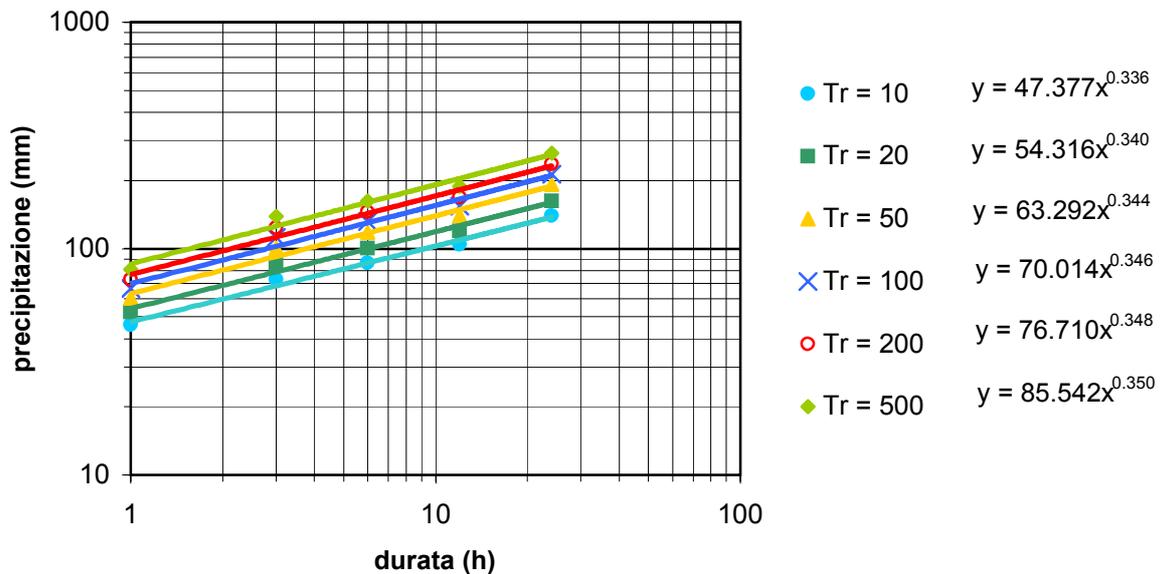
Stazione di VIVERONE

Regolarizzazione secondo la legge di Gumbel

curve di possibilità pluviometrica



curve di possibilità pluviometrica (scala logaritmica)



Risultati del test di adattamento di Kolmogorov

	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h	Regione di accettazione
D_N	0.093	0.161	0.176	0.131	0.184	0.257

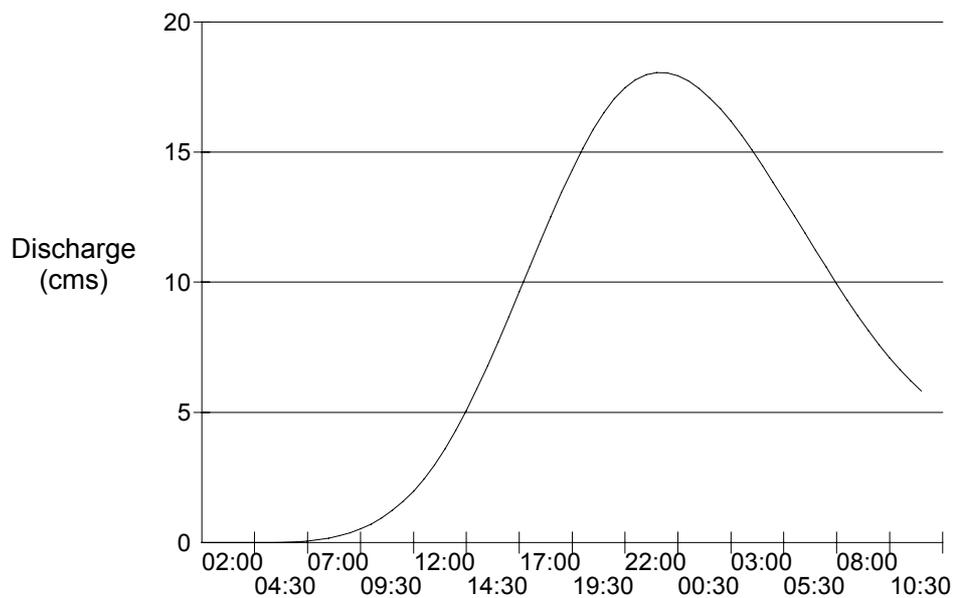
ALLEGATO 3

Idrogrammi di piena
e ietogrammi di progetto
per un tempo di ritorno di 200 anni

ROGGIA CORNASSO

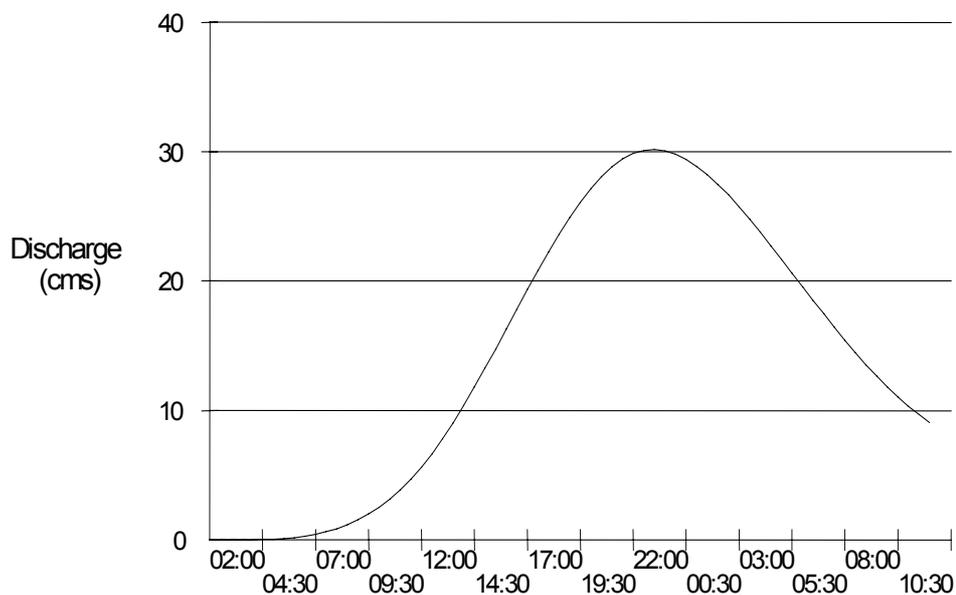
Idrogramma di piena per Tr = 200 anni (AMC II)

$Q_{\max} = 18,1 \text{ m}^3/\text{s}$ (confluenza Roggia Stura)

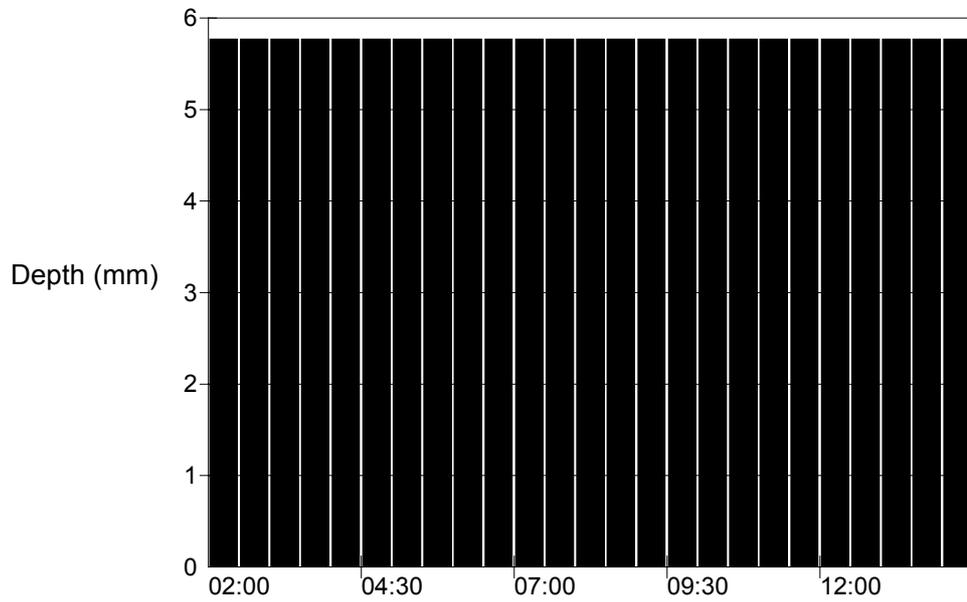


Idrogramma di piena per Tr = 200 anni (AMC III)

$Q_{\max} = 30,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (confluenza Roggia Stura)



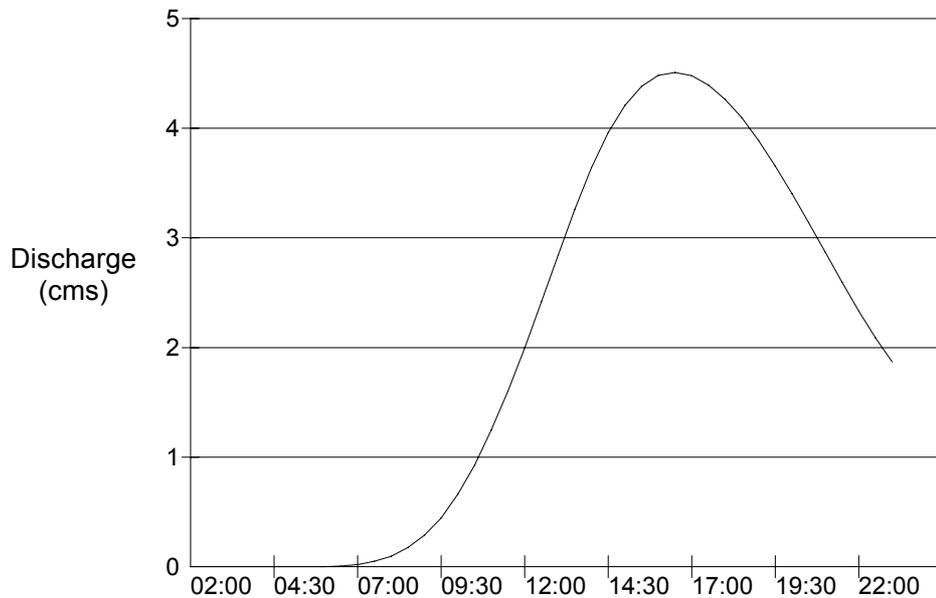
Ietogramma di progetto per $Tr = 200$ anni



ROGGIA CASTAGNA

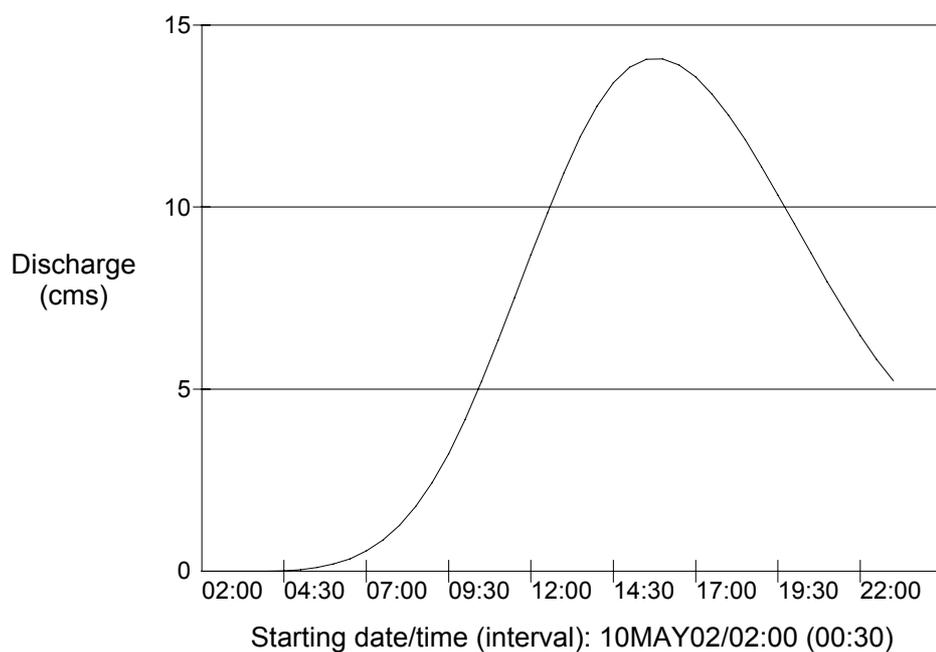
Idrogramma di piena per Tr=200 anni (AMC II)

$Q_{\max} = 4,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (alla confluenza nel fiume Po)

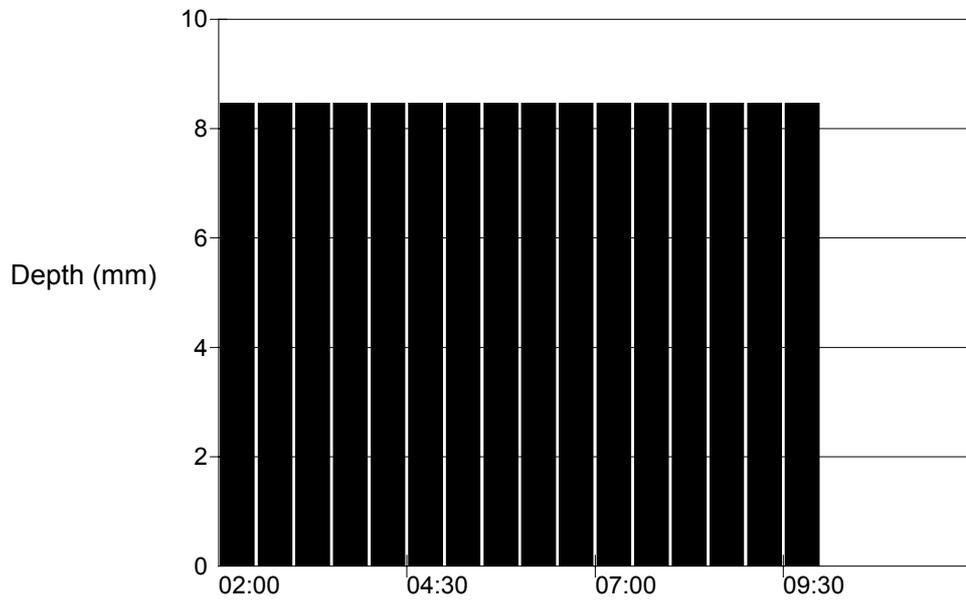


Idrogramma di piena per Tr=200 anni (AMC III)

$Q_{\max} = 14,1 \text{ m}^3/\text{s}$ (alla confluenza nel fiume Po)



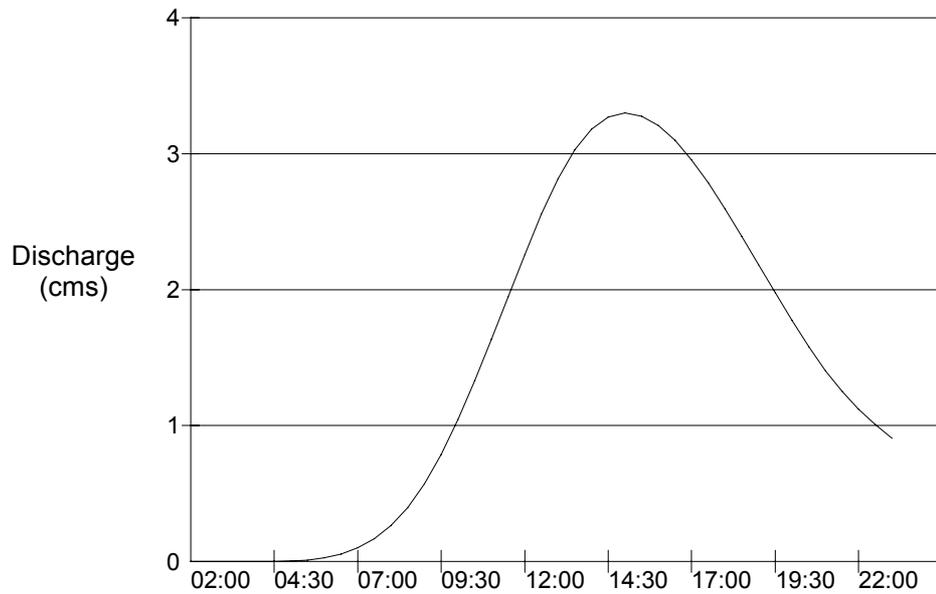
Ietogramma di progetto per $Tr=200$ anni



LANCA SX PO

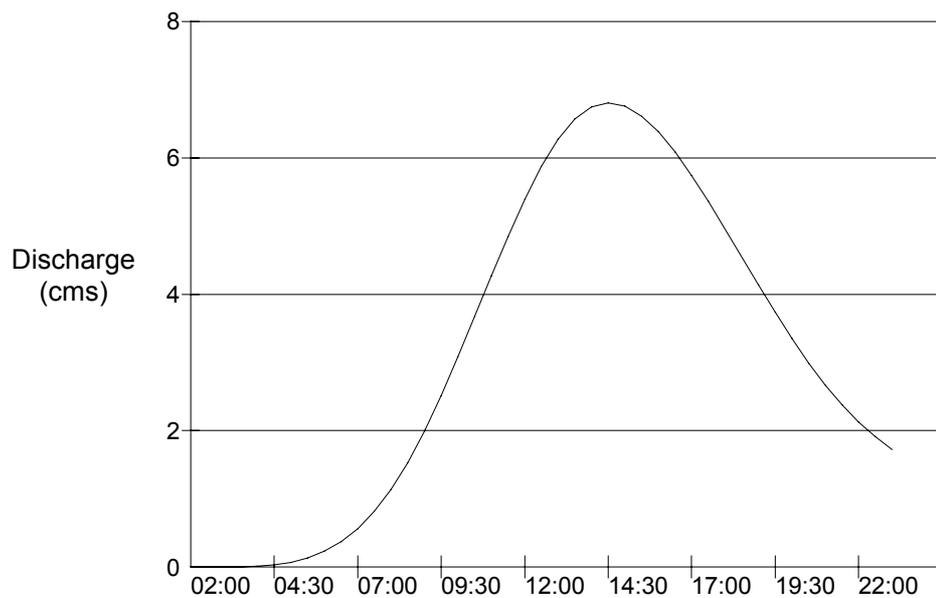
Idrogramma di piena per Tr=200 anni (AMC II)

$Q_{\max} = 3,3 \text{ m}^3/\text{s}$ (alla confluenza nel fiume Po)

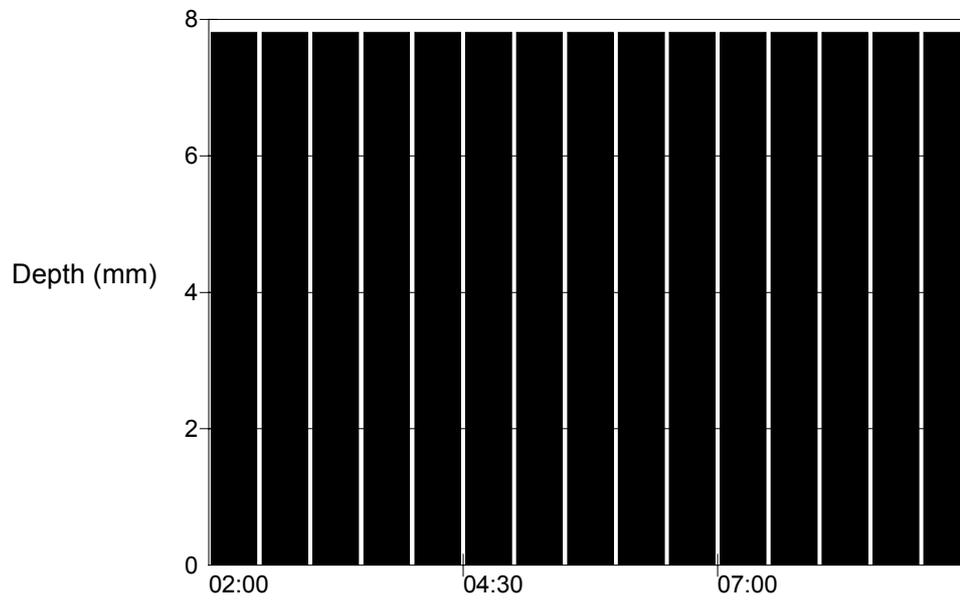


Idrogramma di piena per Tr=200 anni (AMC III)

$Q_{\max} = 6,8 \text{ m}^3/\text{s}$ (alla confluenza nel fiume Po)



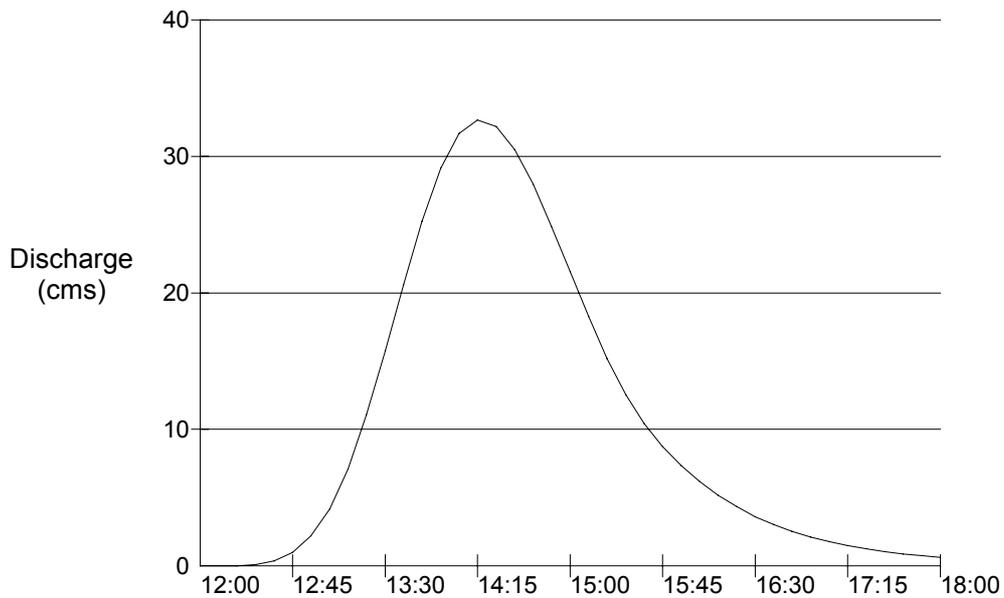
Ietogramma di progetto per $Tr=200$ anni



RIO RIZZA

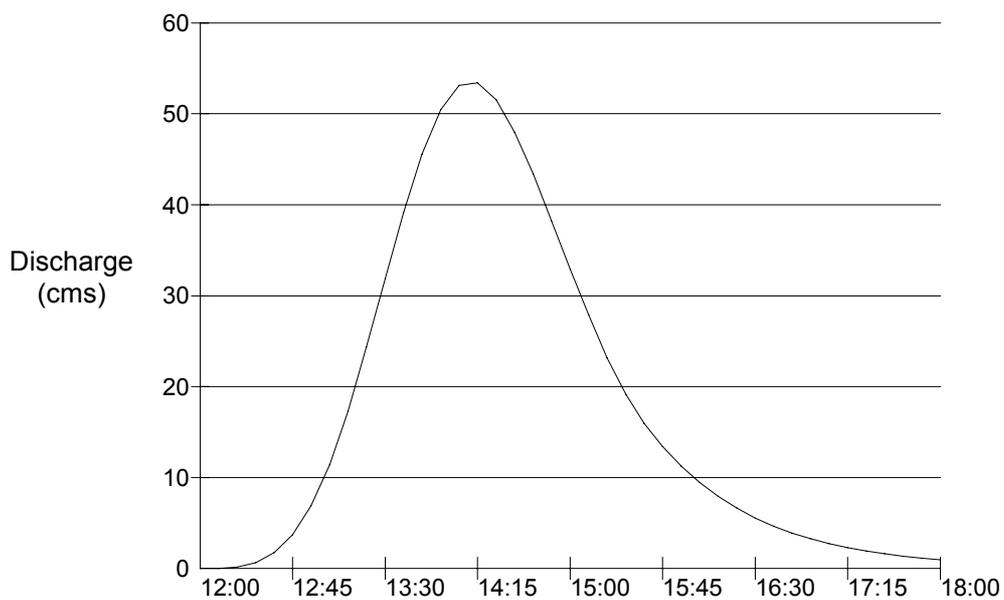
Idrogramma di piena per Tr=200 anni (AMC II)

$Q_{\max} = 32,7 \text{ m}^3/\text{s}$ (alla confluenza nel fiume Po)

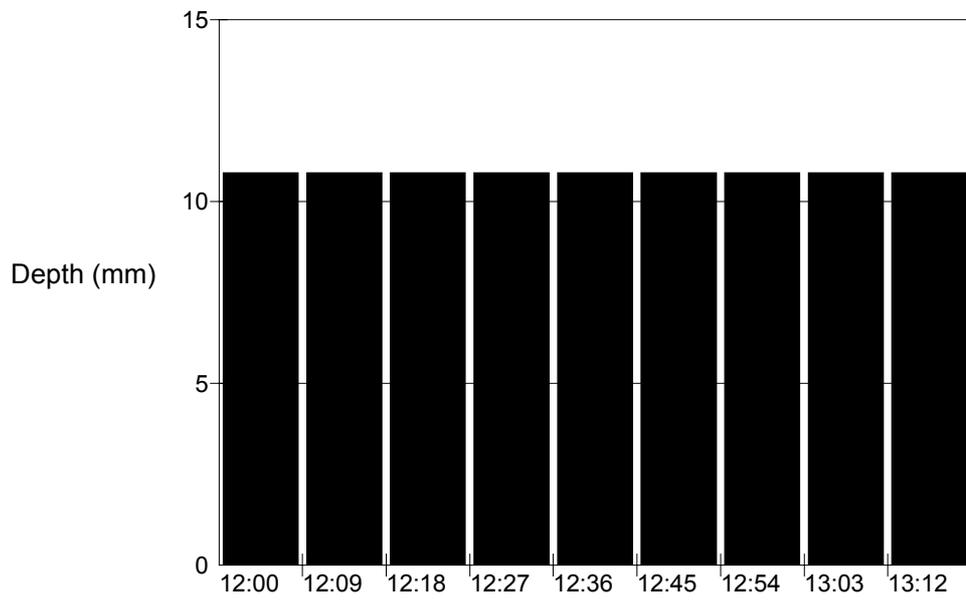


Idrogramma di piena per Tr=200 anni (AMC III)

$Q_{\max} = 53,4 \text{ m}^3/\text{s}$ (alla confluenza nel fiume Po)



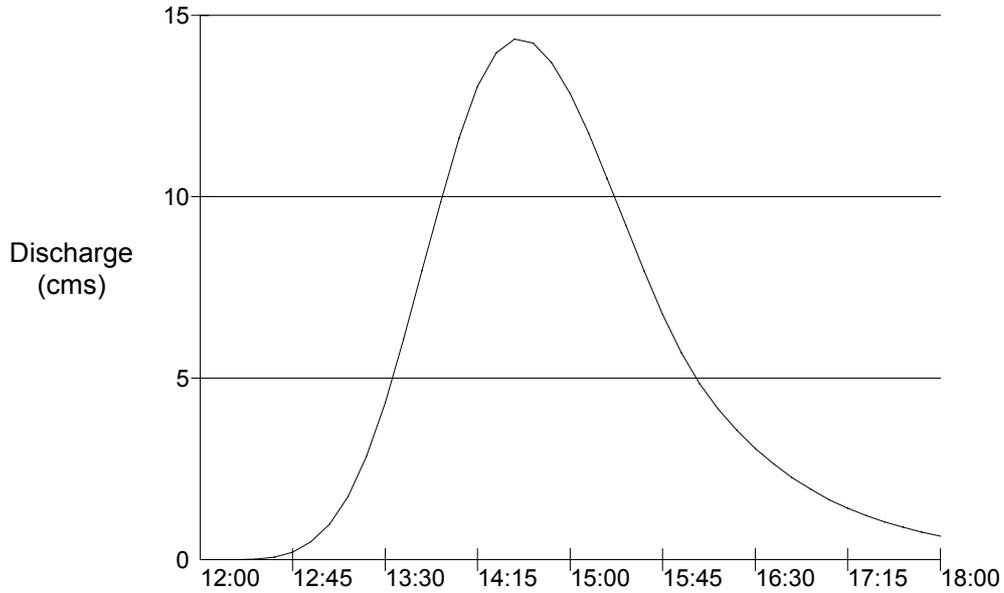
Ietogramma di progetto per $Tr=200$ anni



RIO GONIN

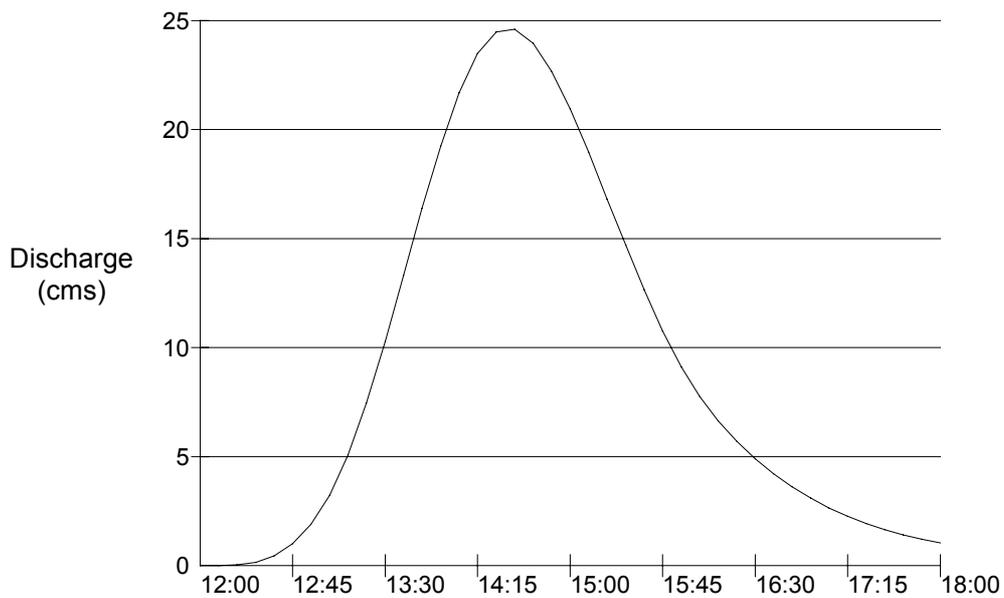
Idrogramma di piena per Tr=200 anni (AMC II)

$Q_{\max} = 14,3 \text{ m}^3/\text{s}$ (alla confluenza nel fiume Po)

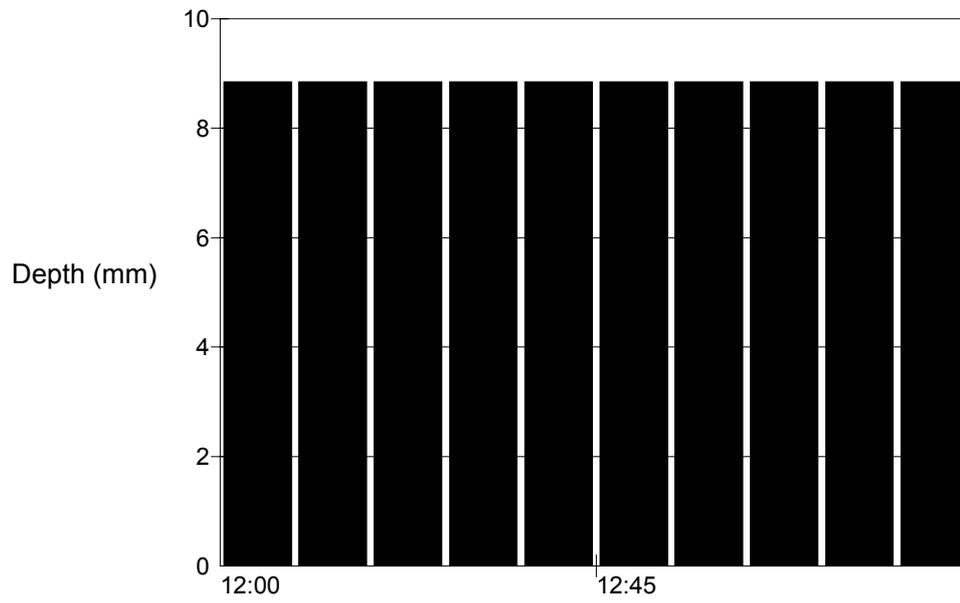


Idrogramma di piena per Tr=200 anni (AMC III)

$Q_{\max} = 24,6 \text{ m}^3/\text{s}$ (alla confluenza nel fiume Po)



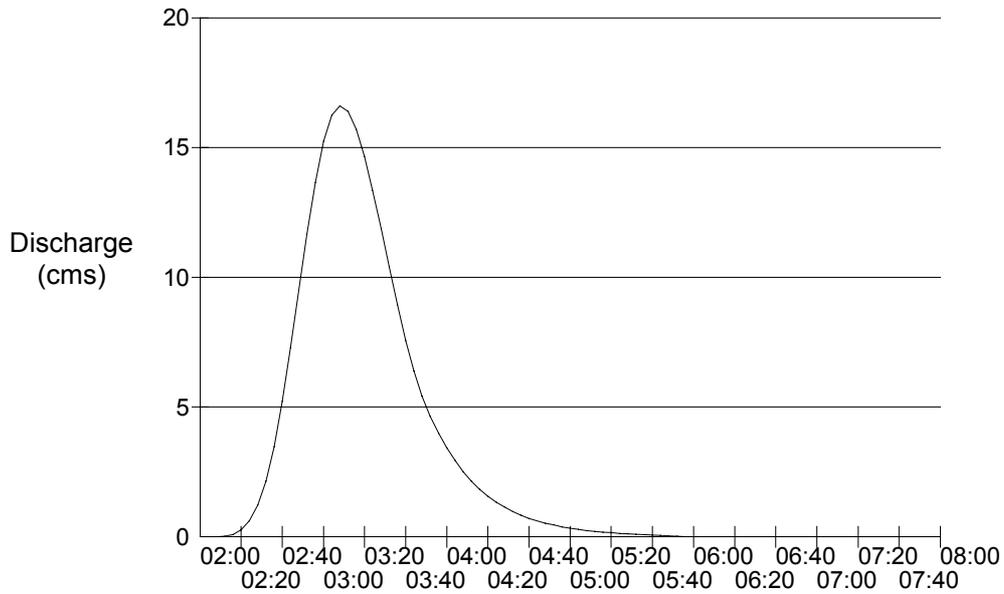
Ietogramma di progetto per $Tr = 200$ anni



RIO RONZONE

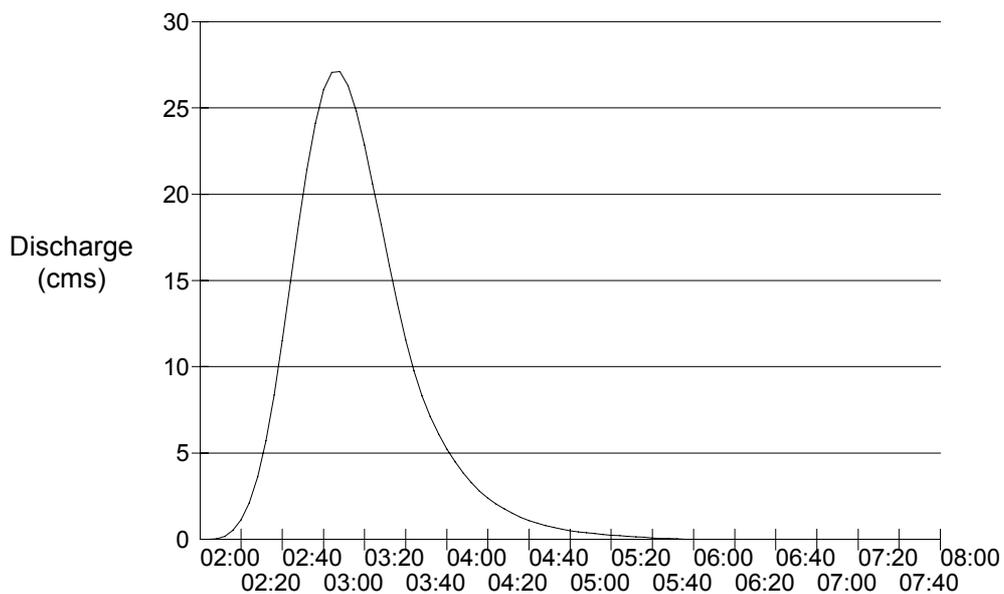
Idrogramma di piena per Tr=200 anni (AMC II)

$Q_{\max} = 16,6 \text{ m}^3/\text{s}$ (confluenza fiume Po)

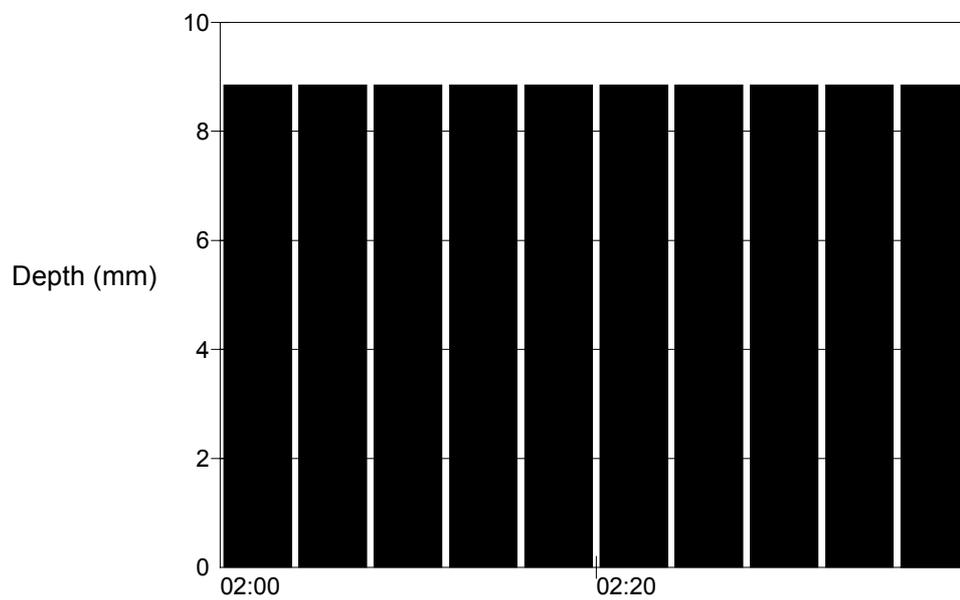


Idrogramma di piena per Tr=200 anni (AMC III)

$Q_{\max} = 27,1 \text{ m}^3/\text{s}$ (confluenza fiume Po)



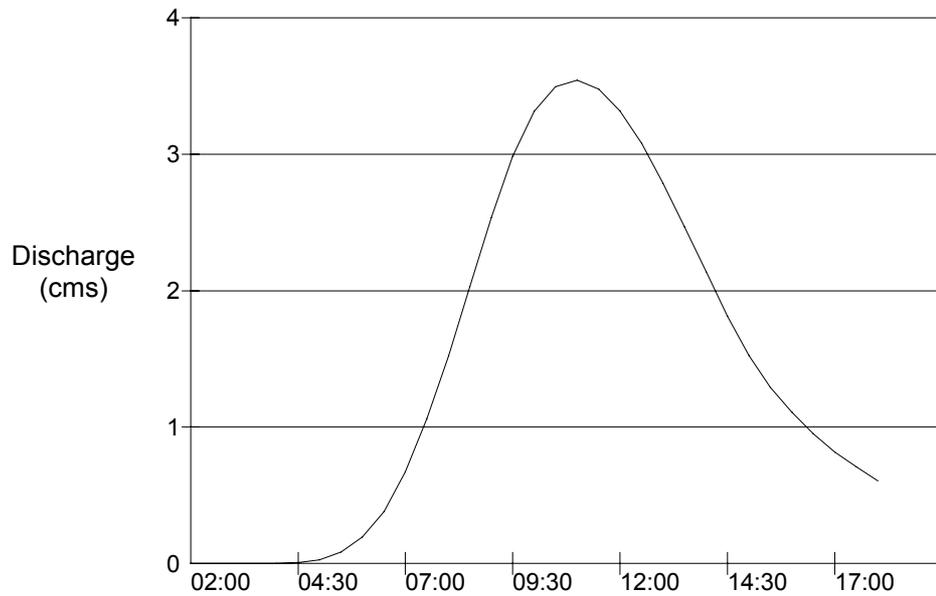
Ietogramma di progetto per $Tr=200$ anni



LANCA DX PO

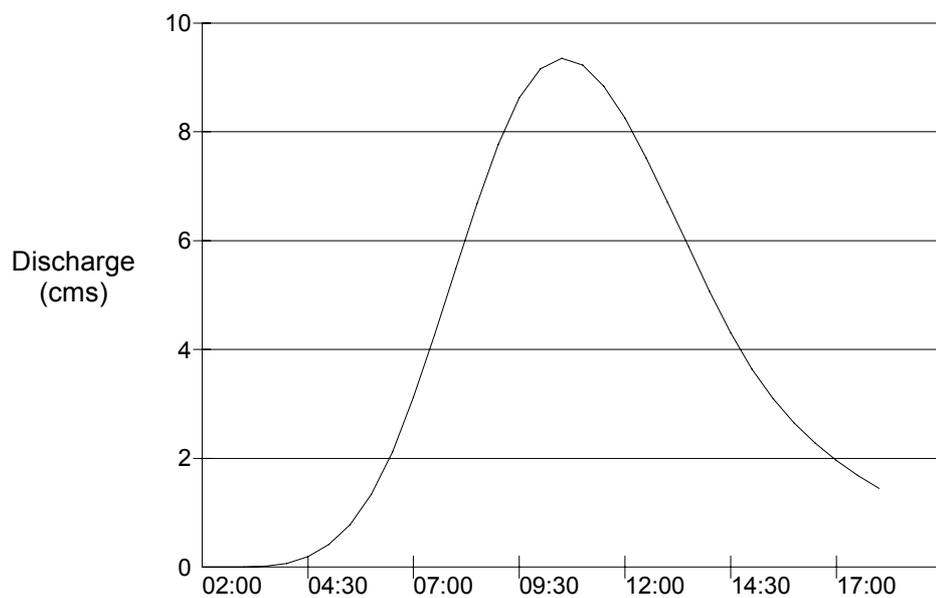
Idrogramma di piena per Tr=200 anni (AMC II)

$Q_{\max} = 3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (confluenza fiume Po)

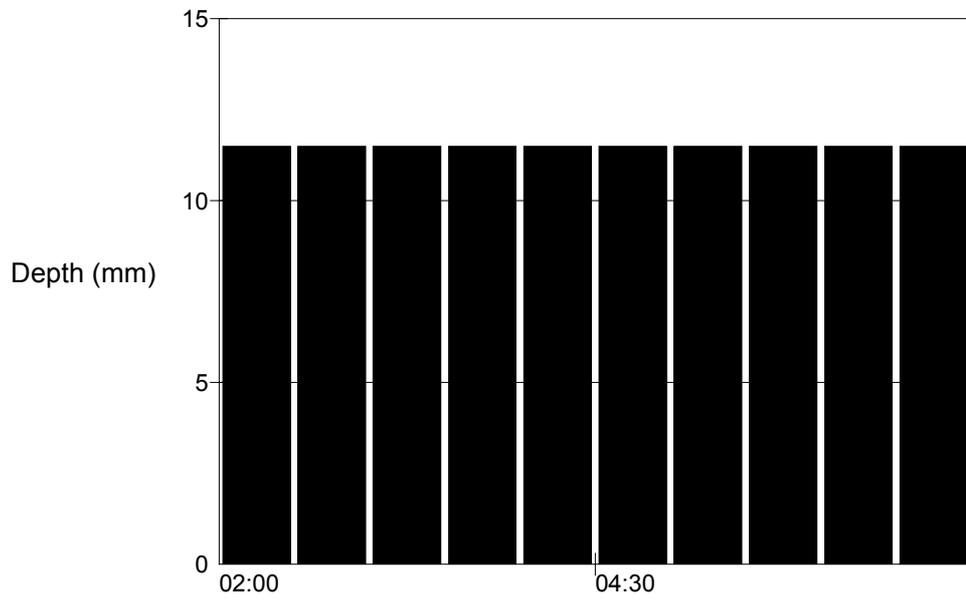


Idrogramma di piena per Tr=200 anni (AMC III)

$Q_{\max} = 9,4 \text{ m}^3/\text{s}$ (confluenza fiume Po)



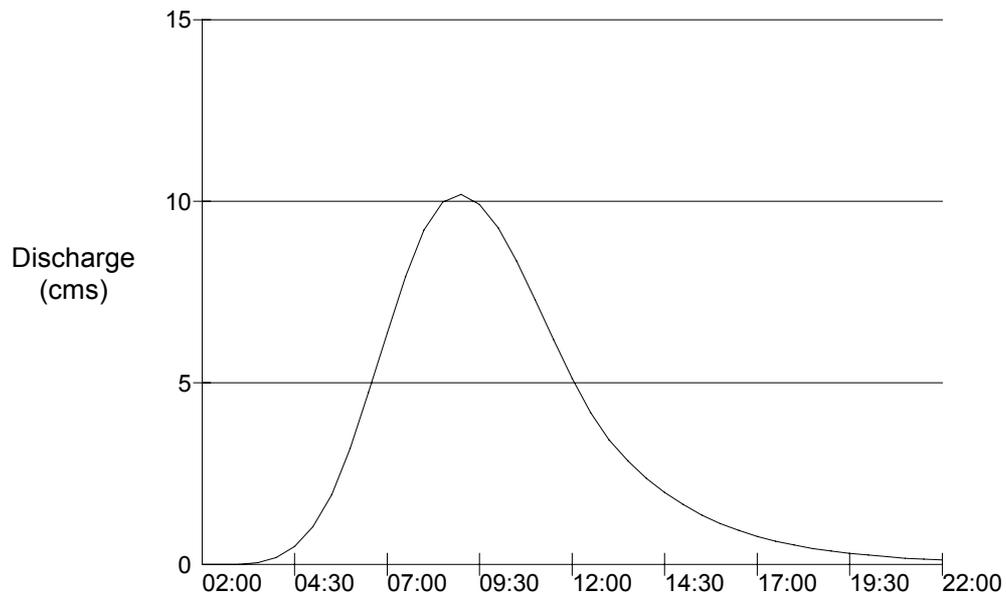
Ietogramma di progetto per $Tr=200$ anni



CANALE MELLANA

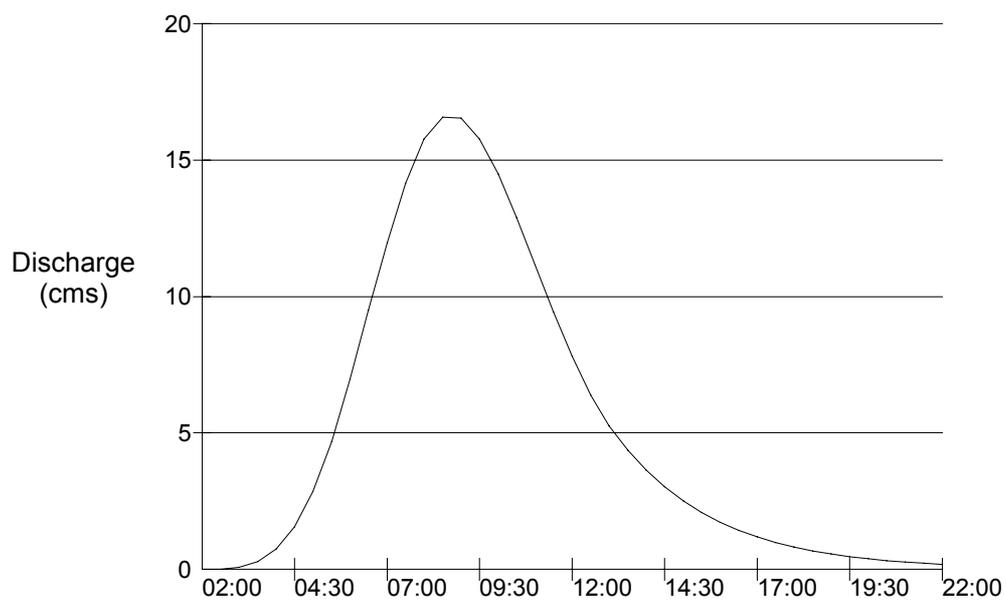
Idrogramma di piena per Tr=200 anni (AMC II)

$$Q_{\max} = 10,2 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (confine comunale)}$$

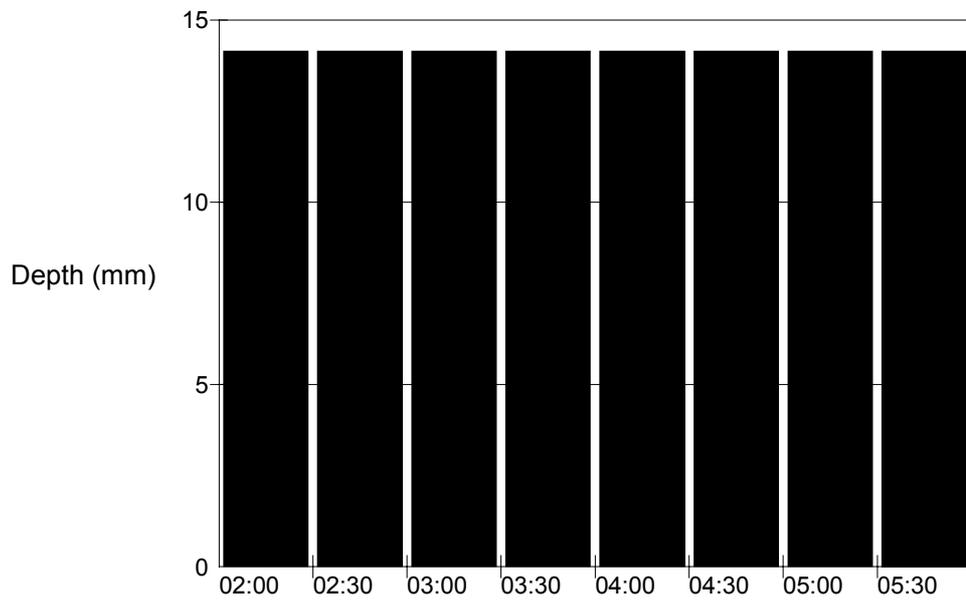


Idrogramma di piena per Tr=200 anni (AMC III)

$$Q_{\max} = 16,6 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (confine comunale)}$$

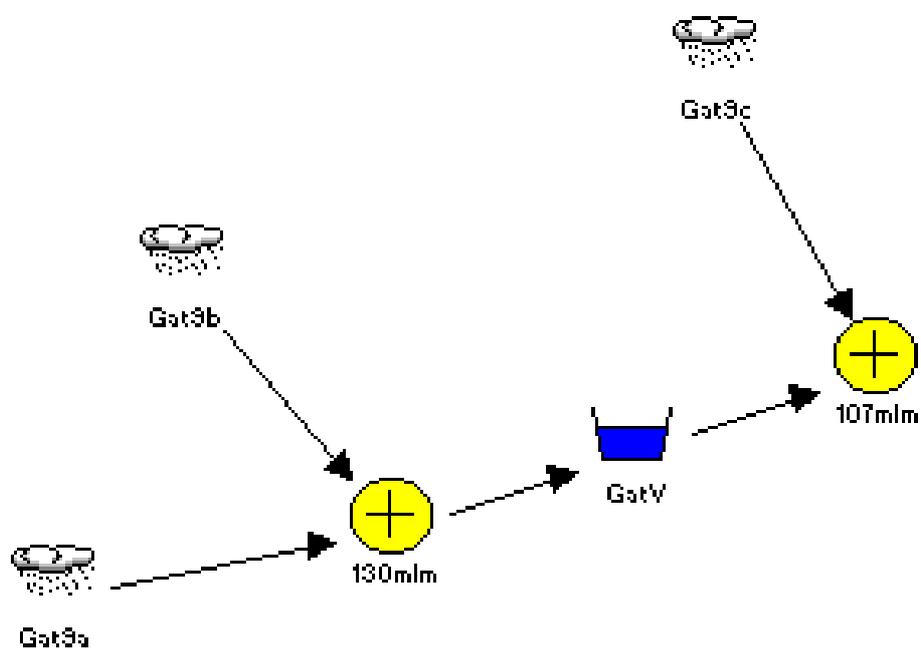


Ietogramma di progetto per $Tr=200$ anni



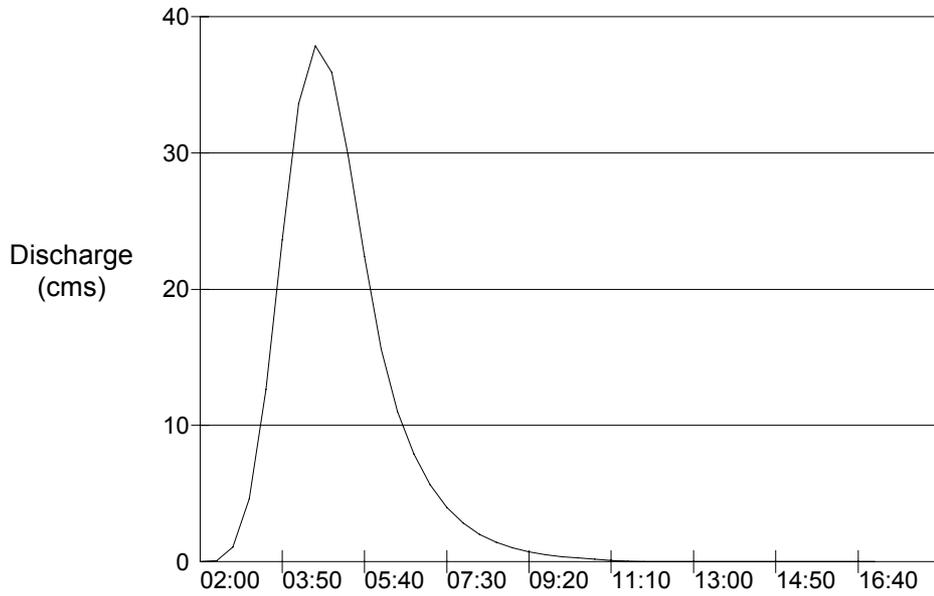
TORRENTE GATTOLA

Schema di calcolo

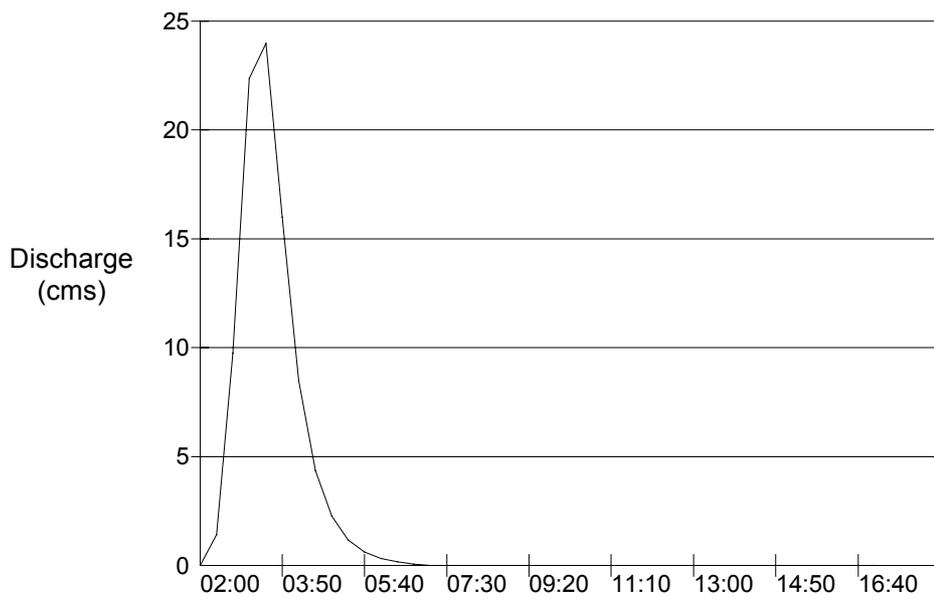


Idrogrammi di piena per Tr=200 anni (AMC II)

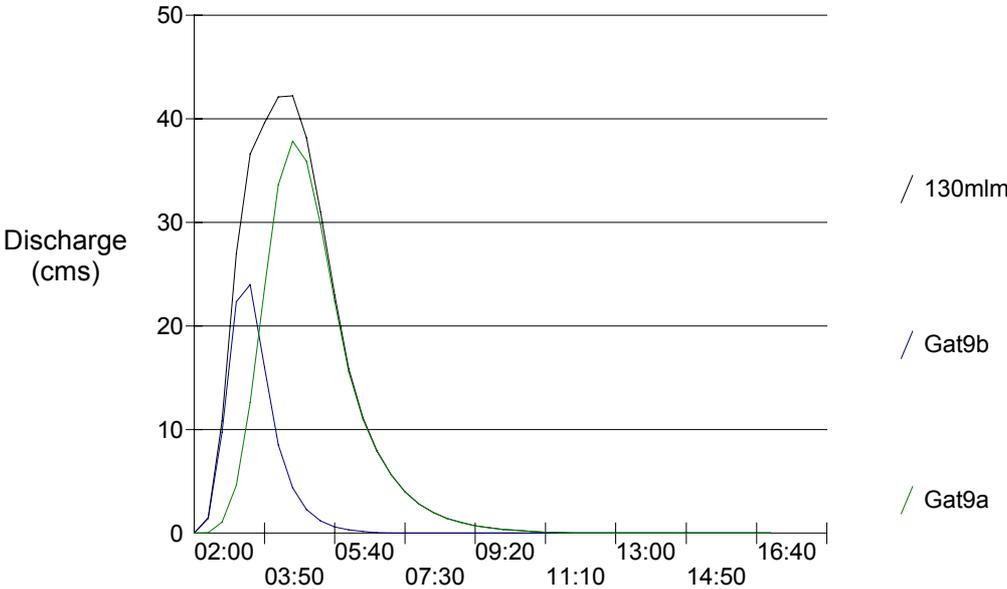
Bacino Gattola 9a - $Q_{\max} = 37,9 \text{ m}^3/\text{s}$



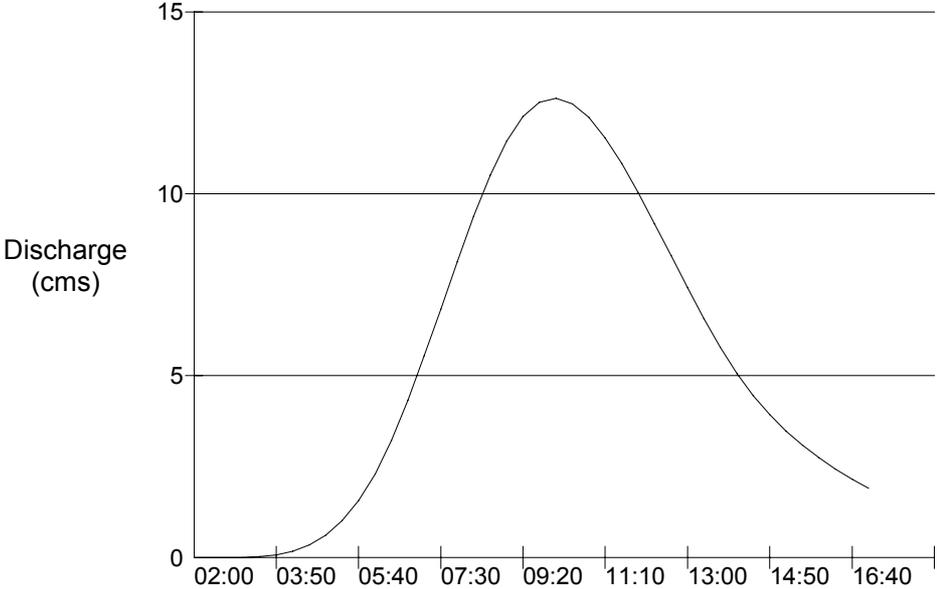
Bacino Gattola 9b - $Q_{\max} = 24,0 \text{ m}^3/\text{s}$



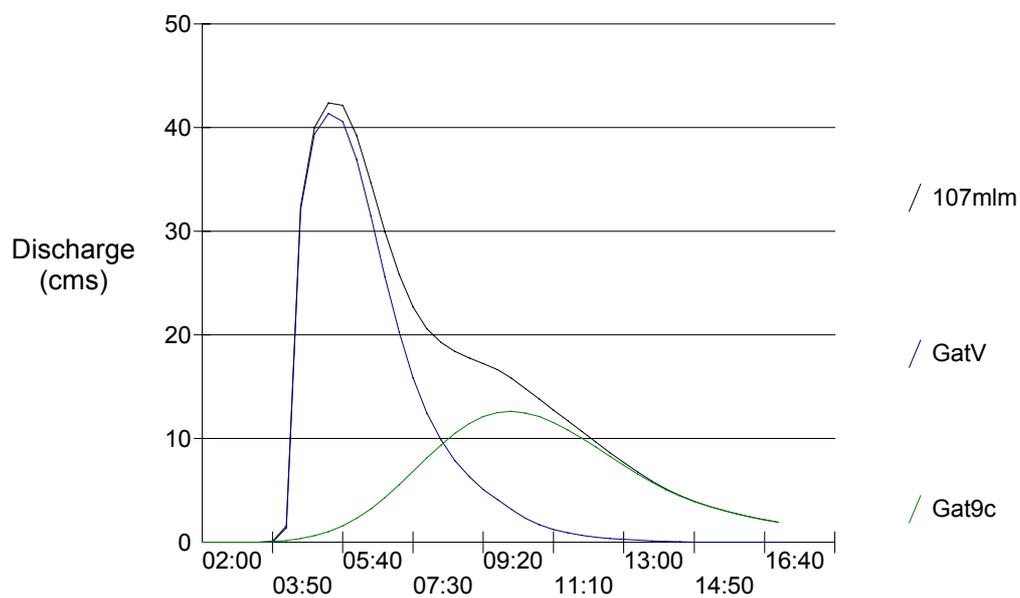
Confluenza a quota 130 m s.l.m (sezione G1)



Bacino Gattola 9c - $Q_{max} = 12,6 \text{ m}^3/\text{s}$

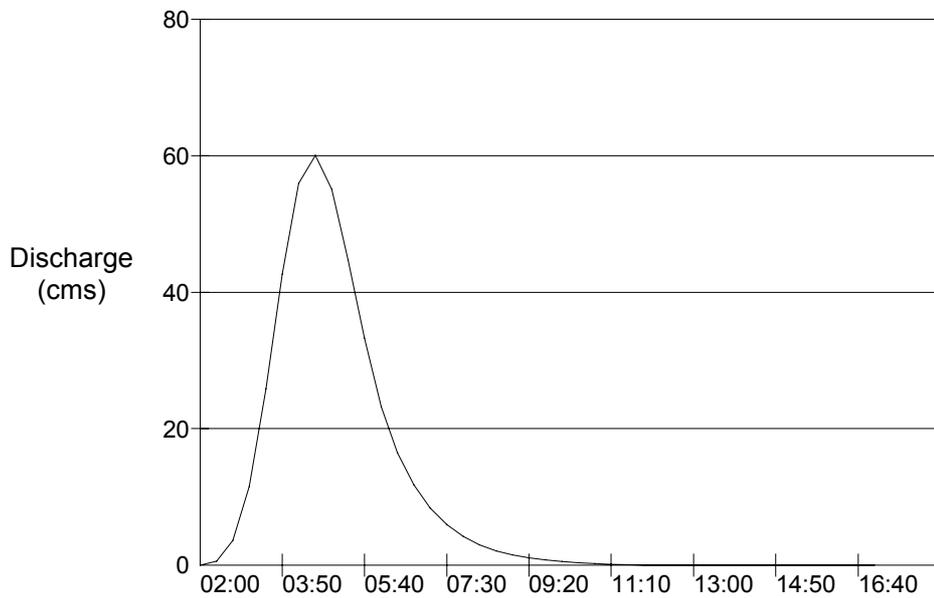


Chiusura bacino a quota 107 m s.l.m (sezione G2)

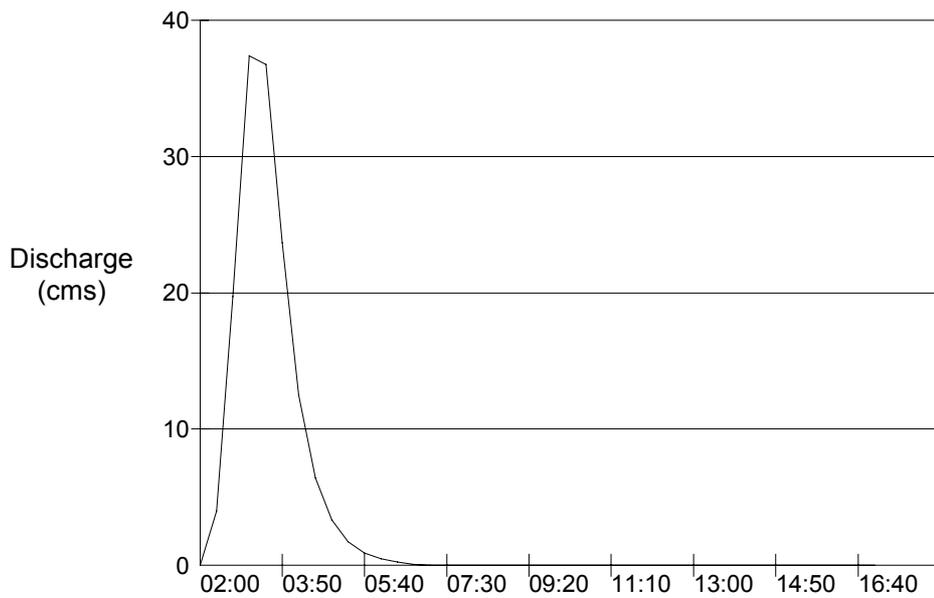


Idrogrammi di piena per Tr=200 anni AMC III

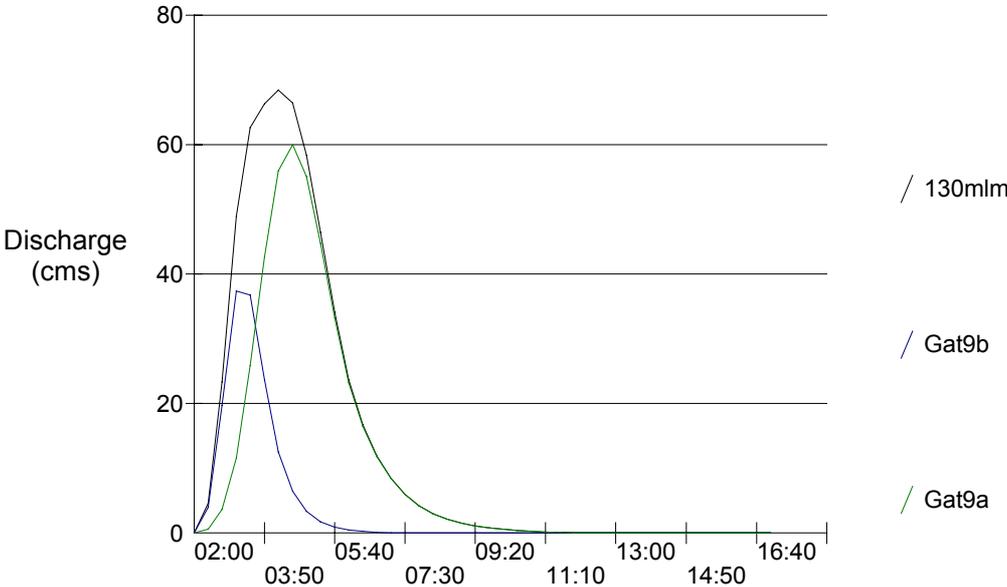
Bacino Gattola 9a - $Q_{\max} = 60,0 \text{ m}^3/\text{s}$



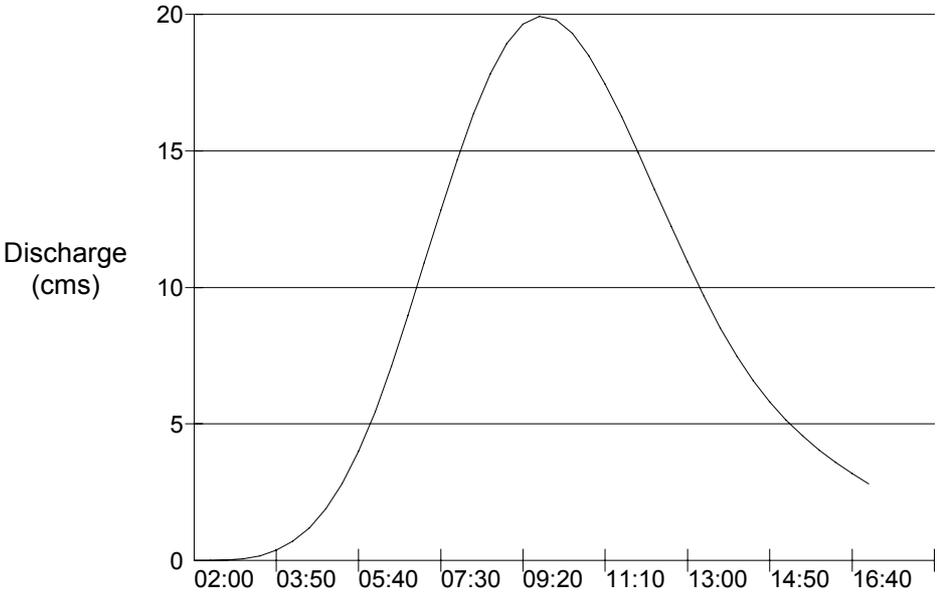
Bacino Gattola 9b - $Q_{\max} = 37,4 \text{ m}^3/\text{s}$



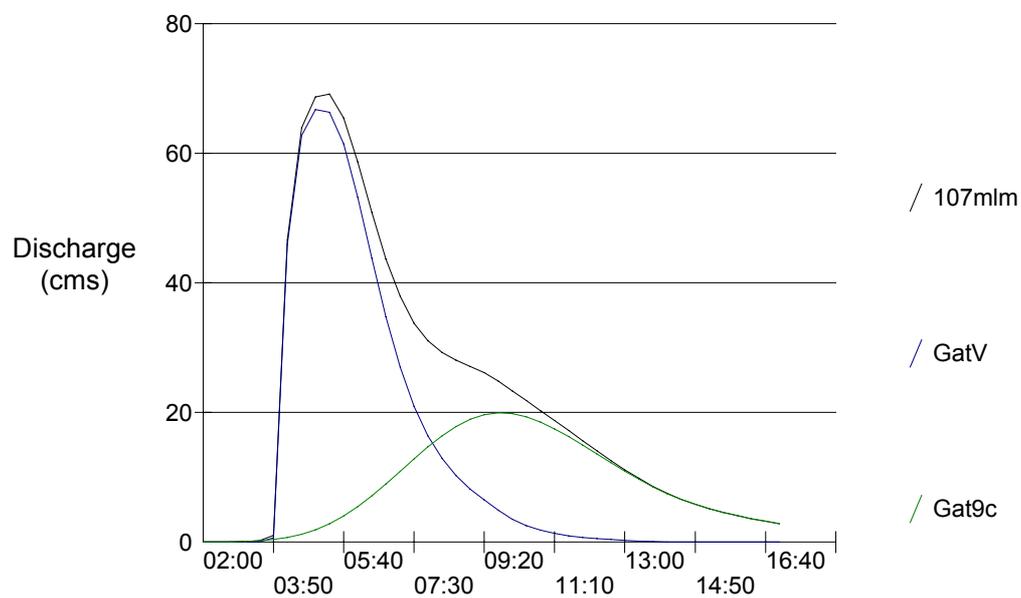
Confluenza a quota 130 m s.l.m (sezione G1)



Bacino Gattola 9c - $Q_{max} = 19,9 \text{ m}^3/\text{s}$



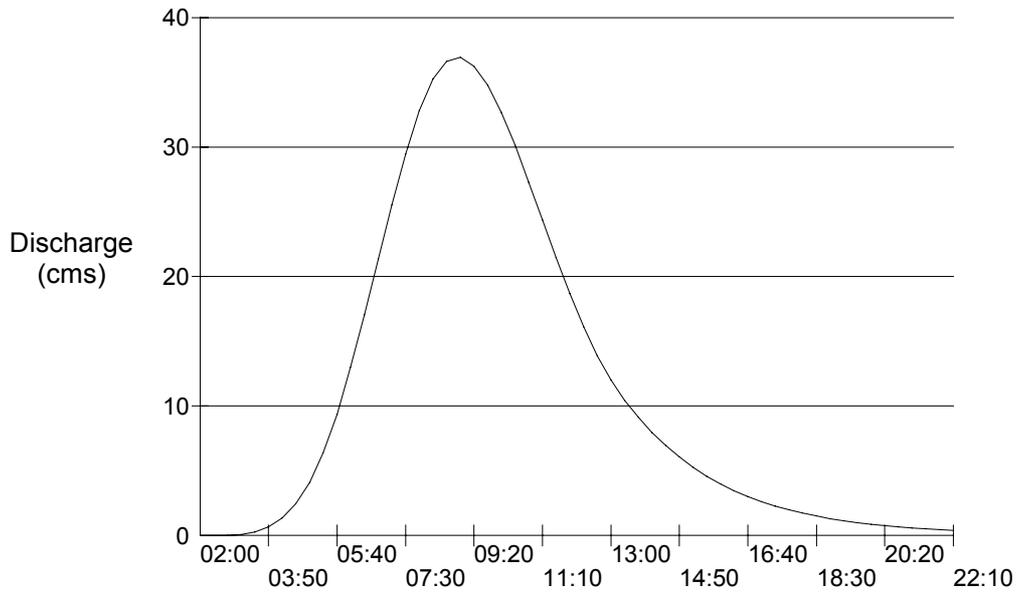
Chiusura bacino a quota 107 m s.l.m (sezione G2)



Rio Gattolero

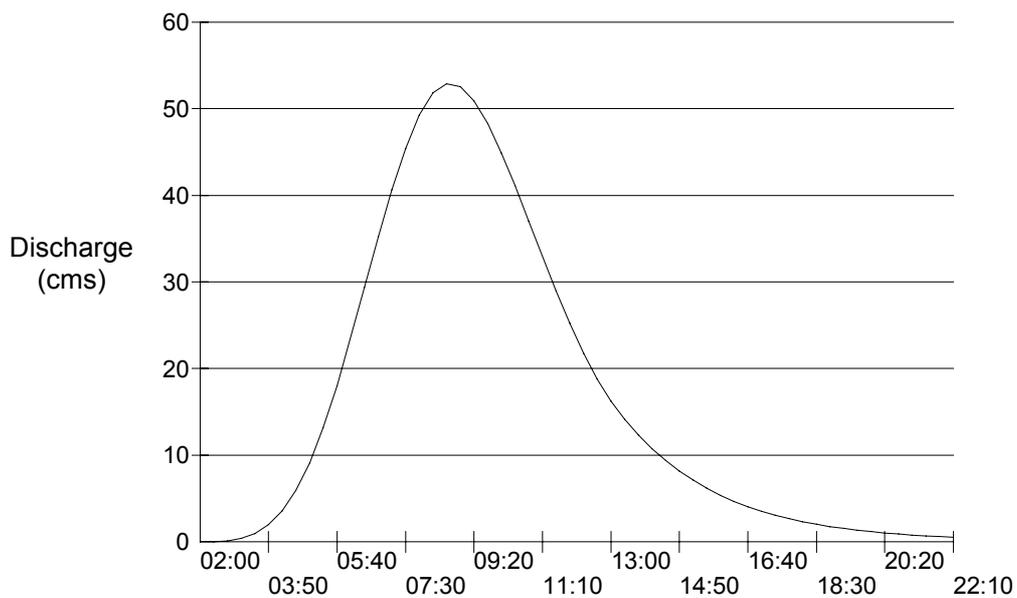
Idrogramma di piena per Tr=200 anni (AMC II)

$$Q_{\max} = 36,9 \text{ m}^3/\text{s}$$

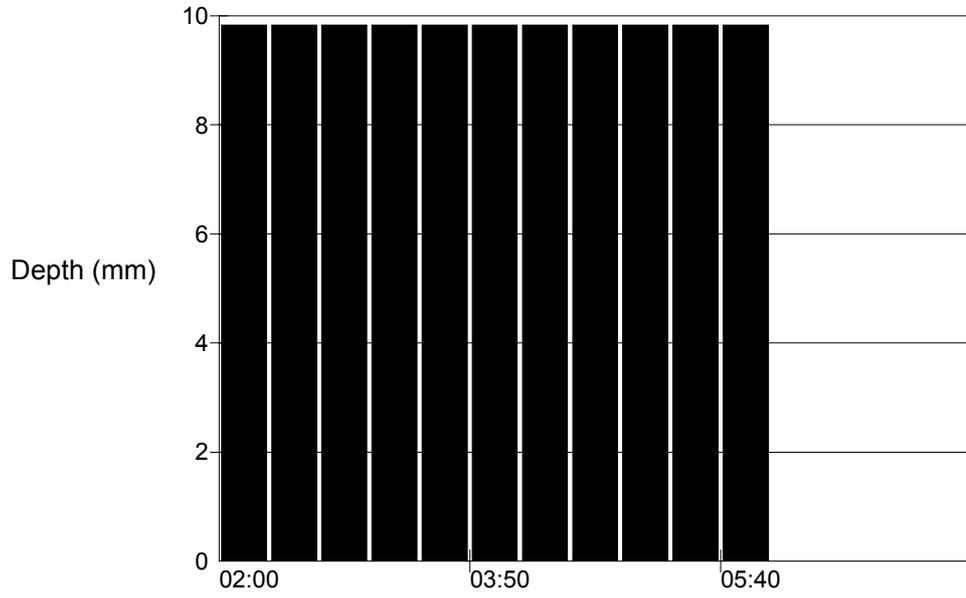


Idrogramma di piena per Tr=200 anni (AMC III)

$$Q_{\max} = 52,9 \text{ m}^3/\text{s}$$

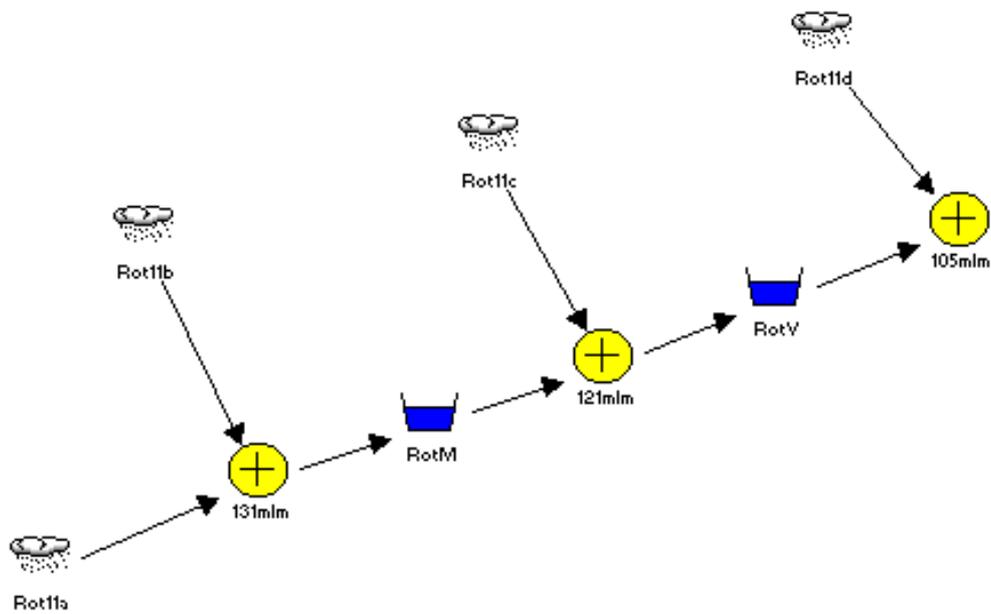


Ietogramma di progetto per $Tr=200$ anni



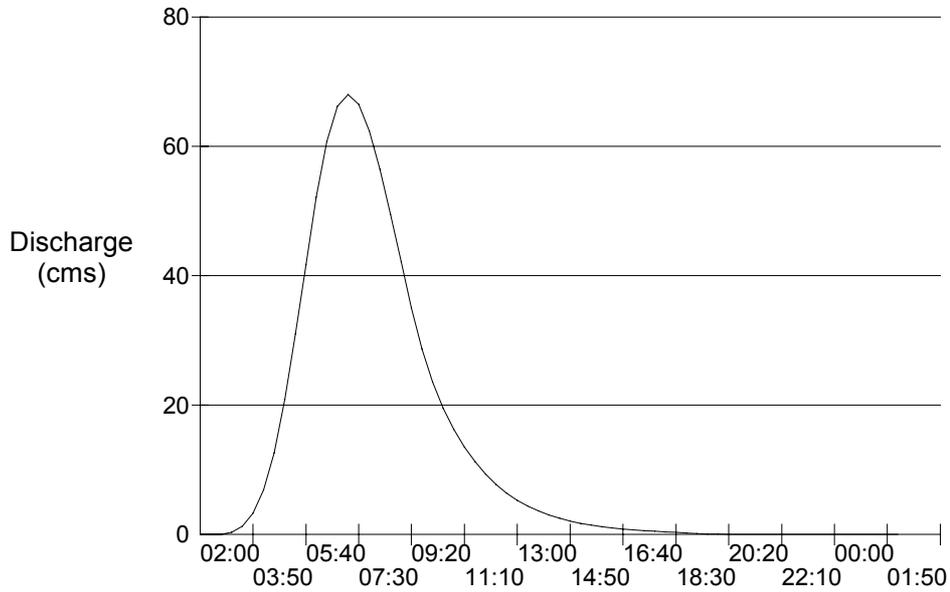
TORRENTE ROTALDO

Schema di calcolo

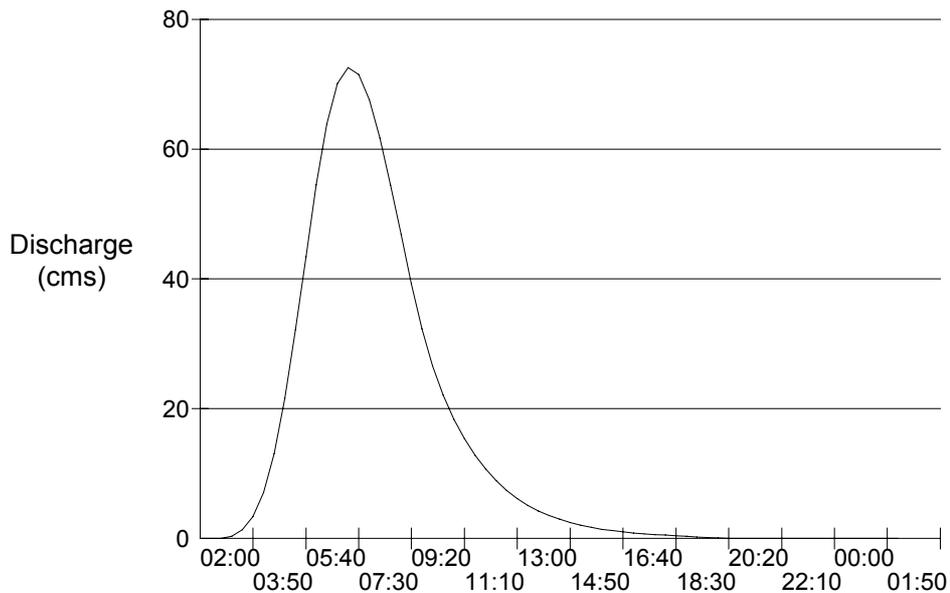


Idrogrammi di piena per $Tr = 200$ anni (AMC II)

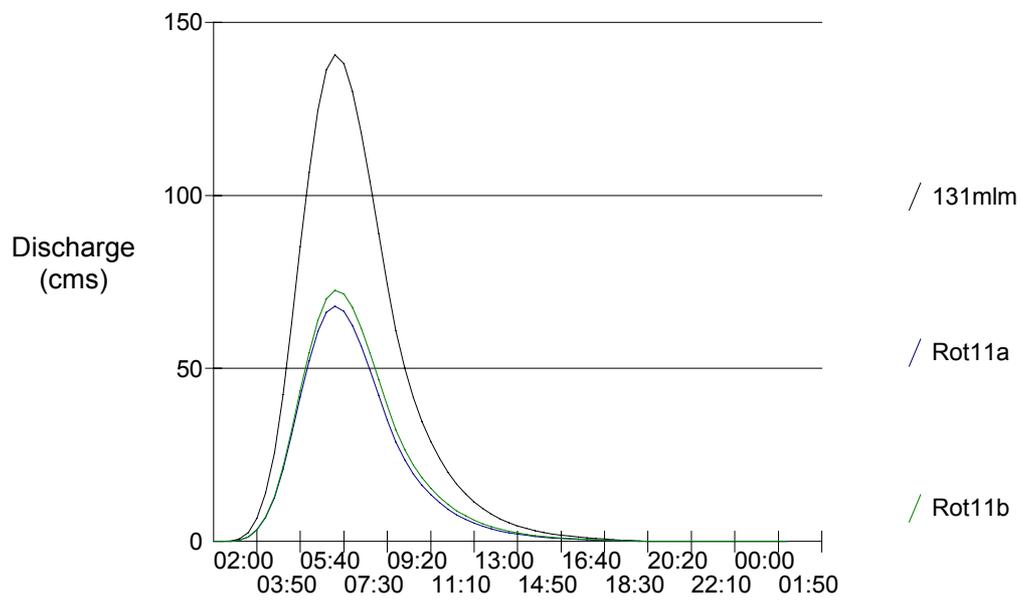
Bacino Rotaldo 11a - $Q_{max} = 68,0 \text{ m}^3/\text{s}$



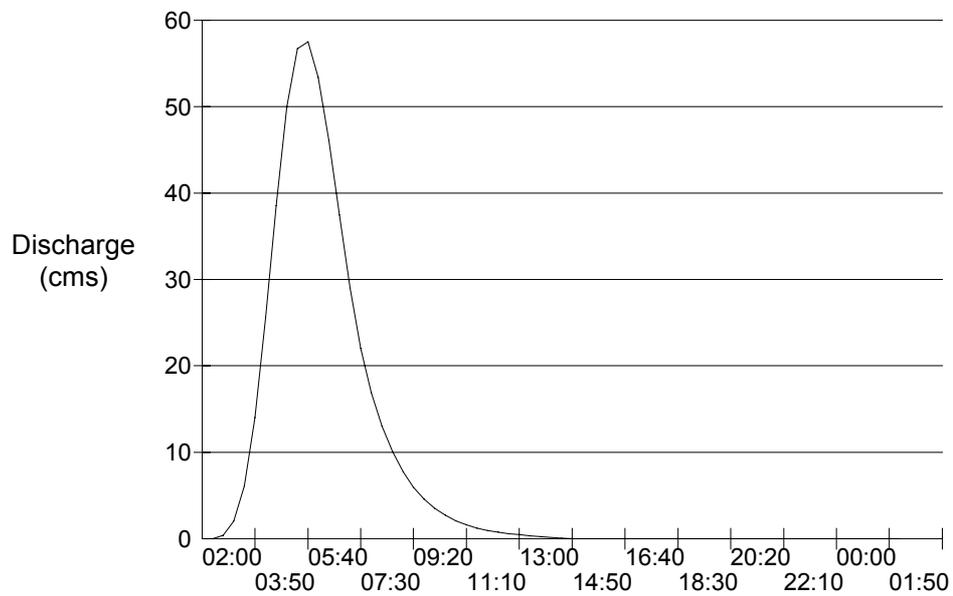
Bacino Rotaldo 11b - $Q_{max} = 72,6 \text{ m}^3/\text{s}$



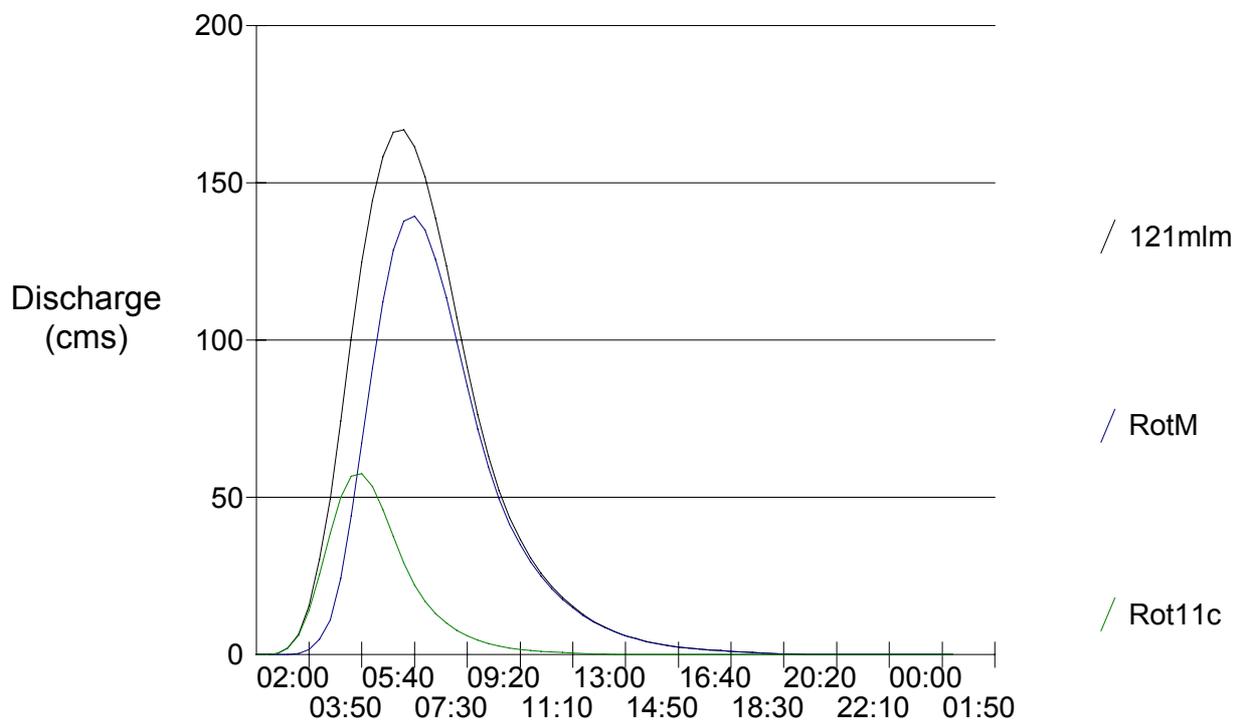
Confluenza a quota 131 m s.l.m (sezione R1)



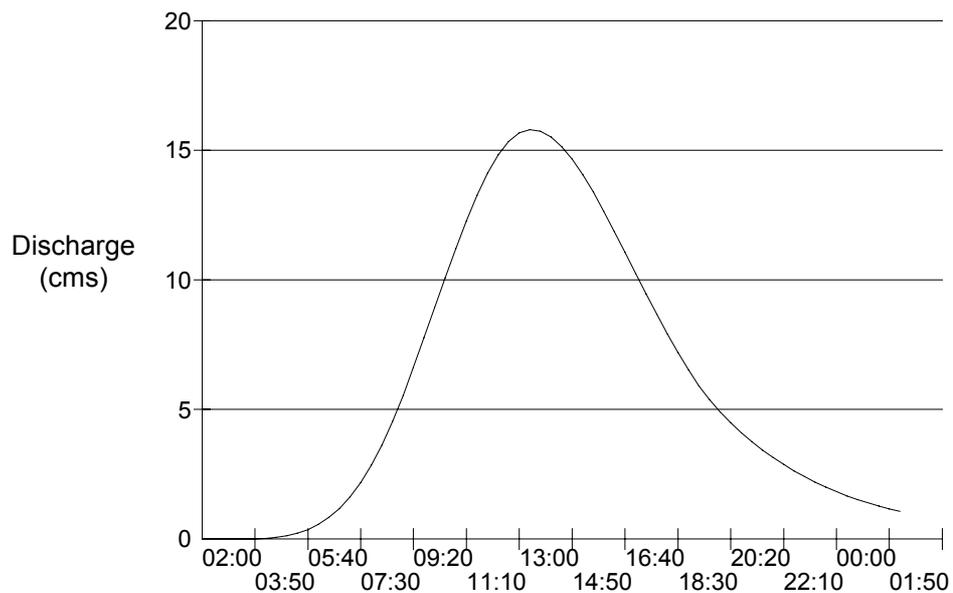
Bacino Rotaldo 11c - $Q_{\max} = 57,5 \text{ m}^3/\text{s}$



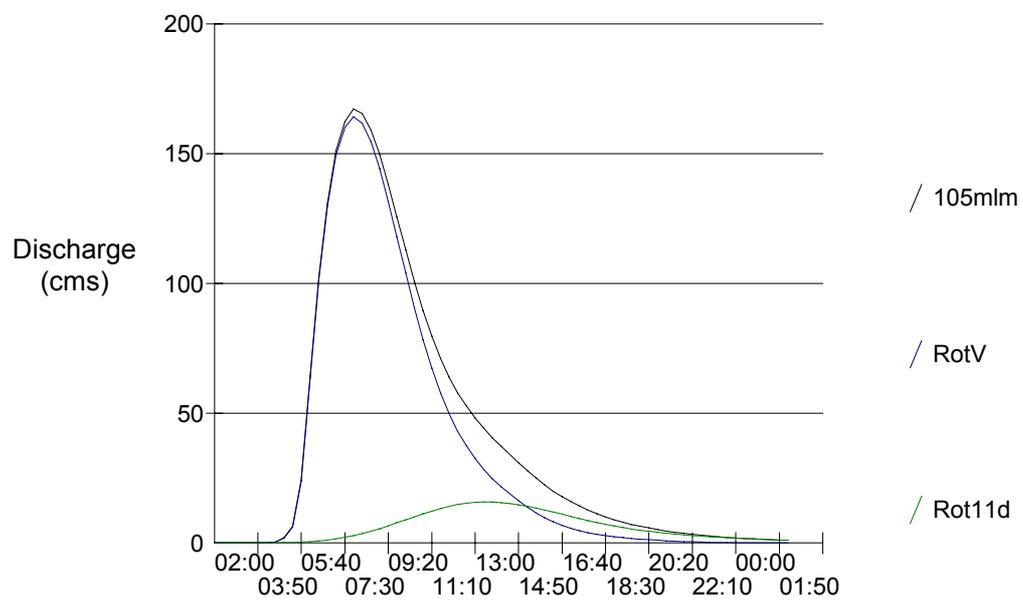
Confluenza a quota 121 m s.l.m (sezione R2)



Bacino Rotaldo 11d - $Q_{\max} = 15,8 \text{ m}^3/\text{s}$

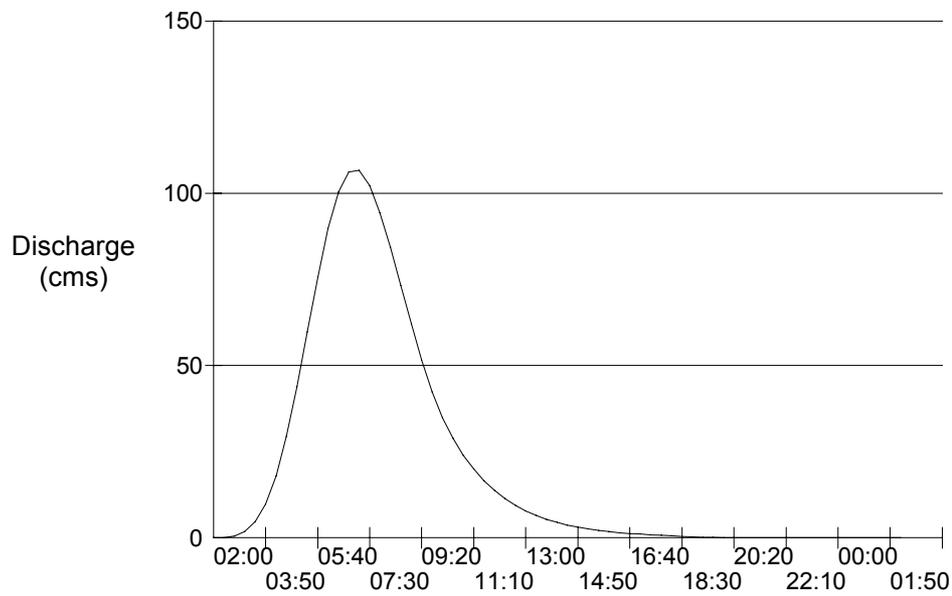


Alla chiusura a quota 105 m s.l.m (sezione R3)

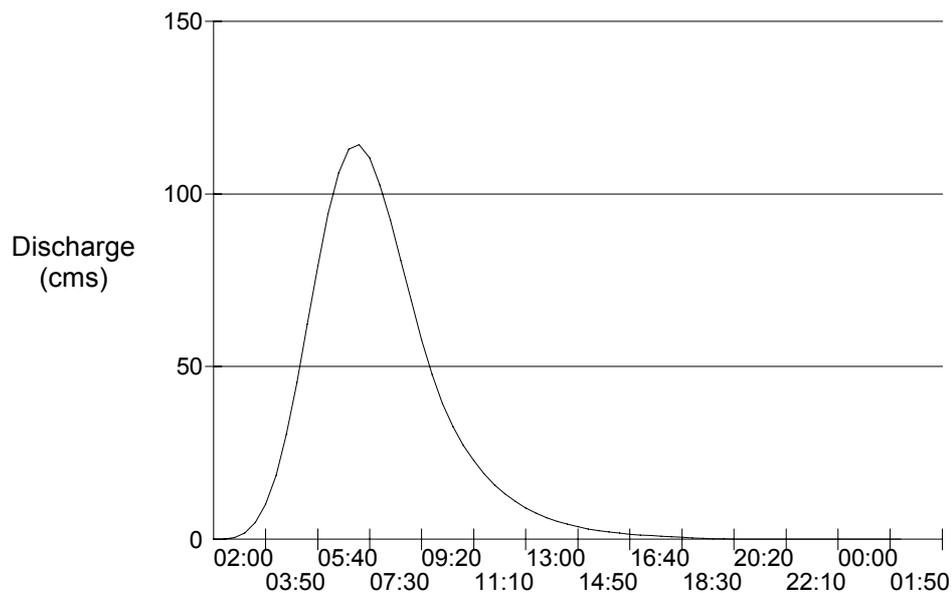


Idrogrammi di piena per Tr=200 anni (AMC III)

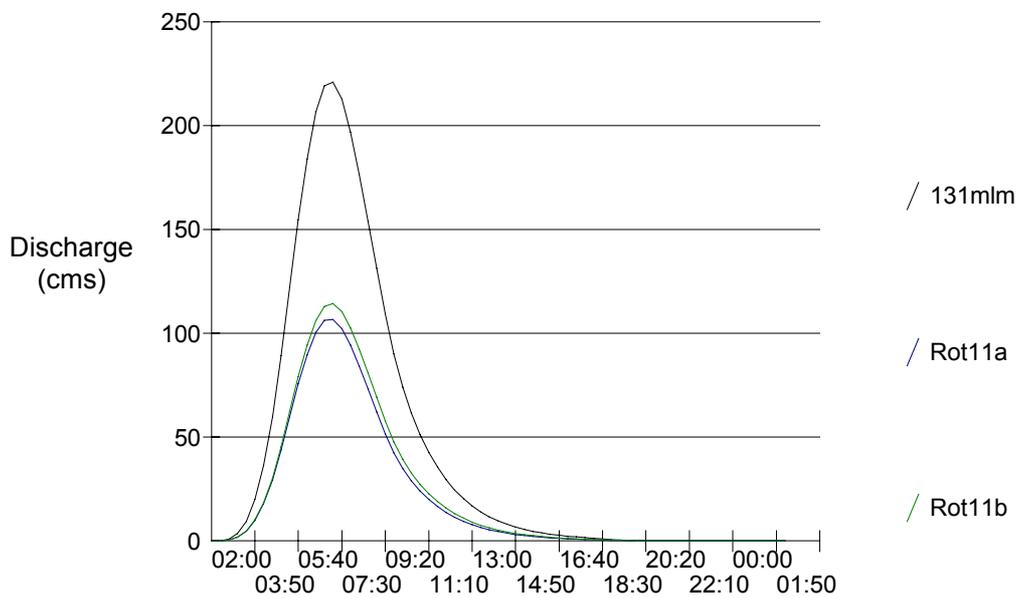
Bacino Rotaldo 11a - $Q_{\max} = 106,6 \text{ m}^3/\text{s}$



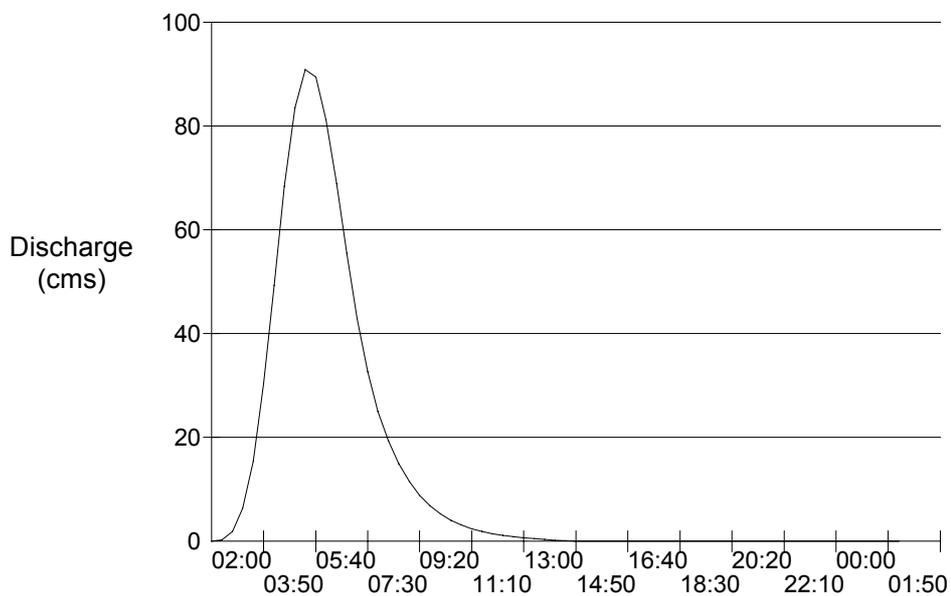
Bacino Rotaldo 11b - $Q_{\max} = 114,2 \text{ m}^3/\text{s}$



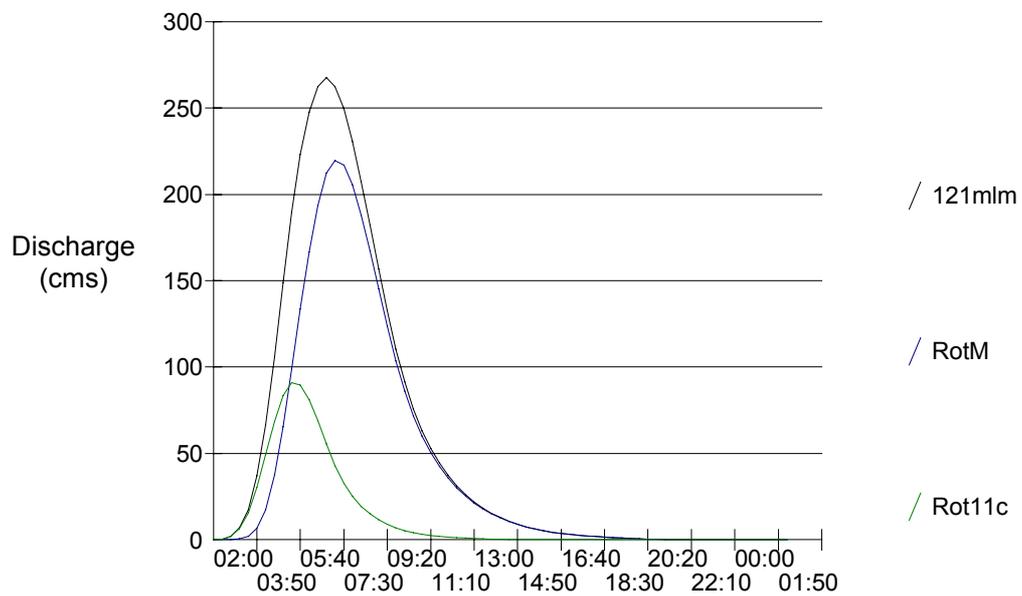
Confluenza a quota 131 m s.l.m (sezione R1)



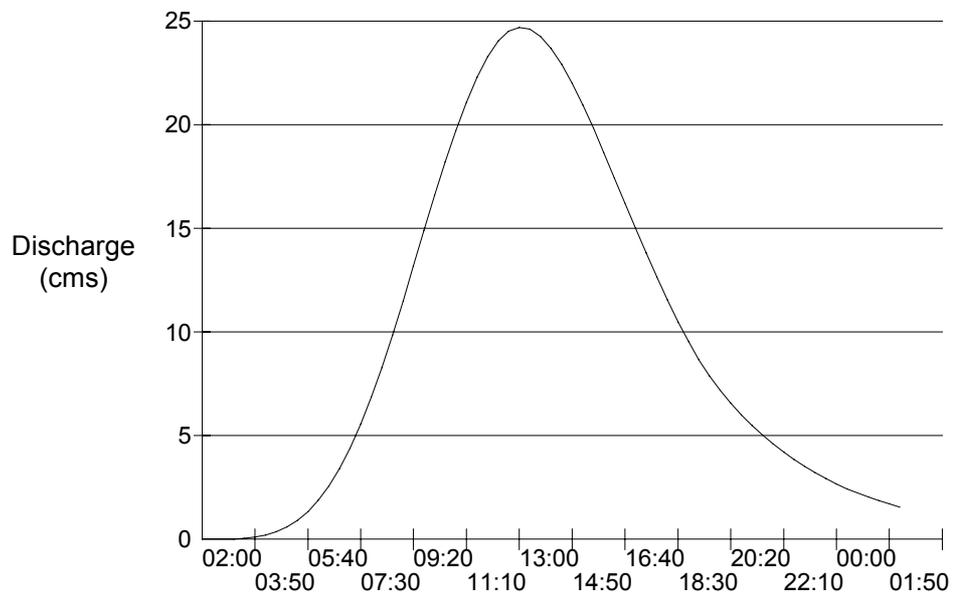
Bacino Rotaldo11c - $Q_{\max} = 90,9 \text{ m}^3/\text{s}$



Confluenza a quota 121 m s.l.m (sezione R2)



Bacino Rotaldo11d - $Q_{\max} = 24,7 \text{ m}^3/\text{s}$



Alla chiusura a quota 105 m s.l.m (sezione R3)

