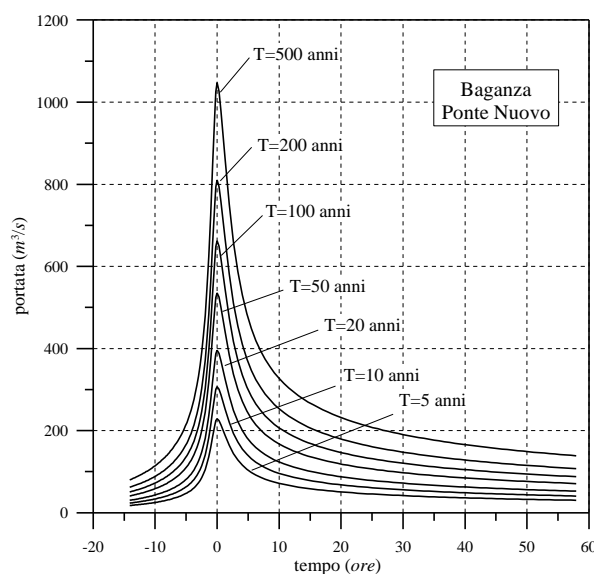
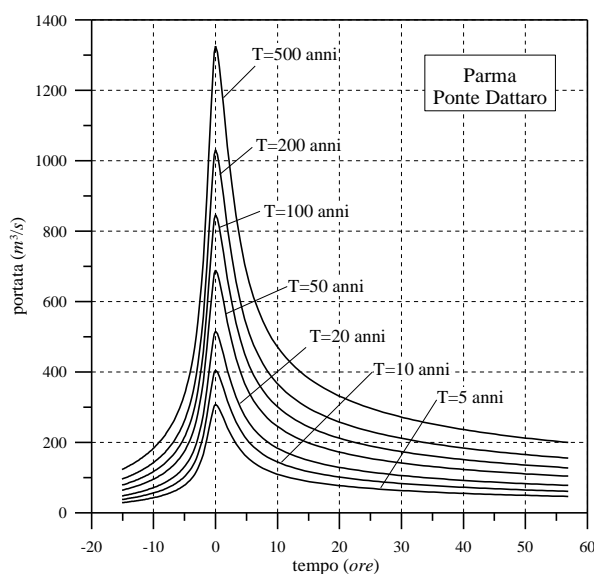


REGIONE EMILIA ROMAGNA
SERVIZIO PROVINCIALE DIFESA DEL SUOLO
RISORSE IDRICHE E FORESTALI - PARMA

***STUDIO DELLA MESSA IN SICUREZZA DEL
TERRITORIO PARMENSE, CON PARTICOLARE
RIFERIMENTO ALLA REALIZZAZIONE DELLA
CASSA DI ESPANSIONE DEL TORRENTE BAGANZA***

RELAZIONE IDROLOGICA



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
DELL'AMBIENTE, DEL TERRITORIO e ARCHITETTURA
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PARMA

Responsabile scientifico: Prof. Ing. Paolo Mignosa

Gruppo di lavoro: Ing. Massimo Ferraresi, Ing. Valerio Braglia,
Ing. Renato Vacondio.

Parma,
marzo 2003

INDICE

INTRODUZIONE	1
CAPITOLO 1	
RACCOLTA DATI	4
1.1 Dati Idrometrici	4
1.1.1 Parma a Ponte Bottego	4
1.1.2 Baganza a Ponte Nuovo	7
1.2 Recupero dei dati idrometrici mancanti	9
1.2.1 Ricostruzione della scala di deflusso per il teleidrometro	10
1.2.2 Ricostruzione dei livelli dell'idrometrografo a partire dai livelli registrati dal teleidrometro	13
CAPITOLO 2	
ANALISI E RICOSTRUZIONE DELLE SCALE DI DEFLUSSO PER LE SEZIONI DI PONTE BOTTEGO E PONTE NUOVO	16
2.1 Parma a Ponte Bottego	17
2.1.1 Scale di deflusso pubblicate	17
2.1.2 Misure di portata	17
2.1.3 Modello fisico	17
2.1.4 Modello matematico	20
2.1.5 Ricostruzione della scala di deflusso di Ponte Bottego attraverso il modello matematico	23
2.1.6 Verifiche indirette della scala di deflusso ricostruita	26
2.2 Baganza a Ponte Nuovo	29
2.2.1 Valutazione della portata transitante in Baganza in caso di rigurgito dal torrente Parma.	32
2.2.2 Considerazioni sul teleidrometro recentemente installato a Ponte Nuovo.	34
CAPITOLO 3	
DEFINIZIONE DEGLI IDROGRAMMI SINTETICI PER LE STAZIONI STRUMENTATE	35
3.1 Dati utilizzati	35
3.1.1 Stazione idrometrografica di Ponte Bottego	35
3.1.2 Ricostruzione dell'evento di piena del ottobre 1980 a Ponte Bottego	35
3.1.3 Stazione idrometrografica di Ponte Nuovo	37
3.1.4 Verifica attendibilità dei dati.	37

3.2 Metodologia di elaborazione dei dati	38
3.2.1 Determinazione delle curve di riduzione dei colmi di piena	40
3.2.2 Analisi statistica delle portate al colmo	42
3.2.3 Posizione del picco	45
3.2.4 Costruzione dell'idrogramma sintetico	46
3.3 Stazione idrometrografica di P.te Bottego	46
3.4 Stazione idrometrografica di P.te Nuovo	51
 CAPITOLO 4	
STIMA REGIONALE DEGLI IDEOGRAMMI DI PROGETTO	56
4.1 Stima regionale dei quantili delle portate al colmo $Q_0(T)$	57
4.2 Stima regionale del rapporto di riduzione dei colmi di piena	60
4.3 Stima regionale della posizione del colmo	61
4.4 Confronto tra stima locale e stima regionale degli idrogrammi sintetici per le sezioni strumentate	63
4.5 Applicazione del modello di stima regionale per determinare gli idrogrammi sintetici per il torrente Parma a monte della confluenza	66
 CAPITOLO 5	
TRASFERIMENTO DELLE ONDE SINTETICHE ATTRAVERSO DE-LAMINAZIONE	68
5.1 Laminazione in un tronco fluviale	69
5.2 Metodo Muskingum	70
5.2.1 Taratura dei parametri	71
5.2.2 Applicazione del metodo	72
5.3 De-laminazione in un tronco fluviale mediante il metodo Muskingum	73
5.4 Applicazione	75
5.4.1 Torrente Baganza	75
5.4.2 Torrente Parma	81
5.5 Considerazioni conclusive	85
 APPENDICE A	87
 APPENDICE B	94
 APPENDICE C	146
 APPENDICE D	153
 APPENDICE E	157
 APPENDICE F	168
 BIBLIOGRAFIA	179

1. RACCOLTA DATI

La determinazione per via diretta delle onde di piena sintetiche di assegnato tempo di ritorno richiede di elaborare le massime portate annue mediate su diverse durate, a partire dalla durata zero (portata al colmo) fino a durate comparabili con quelle dei fenomeni di piena (le cui portate medie sono quindi rappresentative dei volumi delle piene stesse). Non è quindi sufficiente fissare l'attenzione su un solo evento all'anno, ovvero su quell'evento che ha fatto registrare la massima portata al colmo, poiché non è garantito che in esso siano contenute anche le massime portate medie di tutte le altre durate. E' invece necessario reperire tutti gli idrogrammi di piena (in genere non più di due/tre l'anno) che potrebbero contenere i dati di interesse.

1.1 Dati Idrometrici

Grazie alla collaborazione tra l'Università degli Studi di Parma, il Servizio Provinciale Difesa del Suolo e Risorse Idriche Forestali della Regione Emilia Romagna ed alla disponibilità della Sezione di Parma dell'Ufficio Idrografico (Direttore Ing. Ciarmatori, Dott. Allodi e Geom. Picelli), si sono ricercati presso gli archivi di quest'ultimo:

- strisce idrometriche contenenti i diagrammi degli eventi di piena registrati a P.te Bottego nel periodo di funzionamento (dal 1956 al 2002);
- strisce idrometriche contenenti i digrammi degli eventi di piena registrati a P.te Nuovo nel periodo di funzionamento (dal 1975 al 2002).

1.1.1 Parma a Ponte Bottego

L'idrometrografo di P.te Bottego è ubicato sulla sponda sinistra dell'alveo di magra del torrente Parma, a valle della confluenza con il torrente Baganza e quasi al termine del tratto cittadino; lo zero idrometrico è posto a quota 49.31 *m s.l.m.*.

Per evitare di dover esaminare tutte le strisce idrometrografiche registrate alla stazione di Ponte Bottego, si sono ricercati preliminarmente i periodi durante i quali si

sono verificate le portate maggiori, sulla base dei dati pubblicati sulla parte II degli Annali Idrologici. Ciò è stato possibile fino al 1986, anno dell'ultima pubblicazione, mentre per gli anni successivi (1987-2002) si sono dovute reperire ed esaminare tutte le strisce, archiviate presso la sede di Parma dell'Ufficio Idrografico. Occorre però sottolineare come non sia stato possibile recuperare alcuni eventi di piena rilevanti, poiché le strisce registrate sono andate perdute (come per il 1966, per il 1983 e per il 1985), perché lo strumento è rimasto bloccato su un valore idrometrico costante, oppure perché la violenza delle piena ha divolto lo strumento (come nel 1980).

Per gli anni più recenti, in cui all'idrometrografo storico di Ponte Bottego è stato affiancato un teleidrometro, ci si è avvalsi ancora una volta della gentile collaborazione del Geom. Picelli, il quale ha fornito i dati dei livelli idrometrici teletrasmessi e dunque già digitalizzati. Purtroppo i dati telerilevati si riferiscono ad uno strumento ad ultrasuoni posto in corrispondenza della pila in sinistra idraulica di P.te Bottego, 40 m circa a monte della sezione in cui è collocato l'idrometro registratore, con evidenti differenze di misure di livello a causa del rigurgito del ponte. In seguito si è ricercata una legge empirica che mettesse in relazione i livelli registrati dai due strumenti (cfr. Par.1.2).

Dopo aver verificato che il dato della massima portata media giornaliera corrispondesse effettivamente ad un'onda di livello rilevante per la sezione di P.te Bottego, si è proceduto alla digitalizzazione delle strisce. Per far sì che i dati estratti risultassero di facile comprensione sono stati organizzati su fogli di lavoro Excel indicanti la data di inizio della piena (secondo lo schema gg/mm/aa h.mm), l'intervallo temporale tra una lettura e la successiva, ed il livello idrometrico. Si è utilizzata una scansione di lettura variabile da un minimo di 30 minuti ad un massimo di 24 ore, verificando che l'utilizzazione di un passo di campionamento inferiore non comportasse significativi miglioramenti descrittivi: confrontando il grafico dell'onda acquisita con quello riportato sulla strisce idrometriche, si è potuto verificare la bontà della lettura. A titolo di esempio in Figura 1.1 è riportato l'andamento dei livelli acquisiti per l'evento con inizio il 2 novembre 2000.

Nella Tabella 1.1 sono riportati gli eventi selezionati e digitalizzati per la stazione idrometrografica di Ponte Bottego.

N° evento	Data di inizio dell'evento			Max altezza idrometrica (cm)
	Anno	Giorno	Mese	
1	1956	28	Aprile	202
2	1957	8	Aprile	221
3	1957	7	Novembre	212
4	1958	13	Dicembre	264
5	1959	26	Marzo	240
6	1959	23	Dicembre	316
7	1960	14	Ottobre	366
8	1960	15	Aprile	308
9	1960	15	Dicembre	342
10	1961	3	Gennaio	308
11	1961	23	Aprile	301
12	1961	25	Novembre	269
13	1962	4	Marzo	254
14	1963	4	Marzo	294
15	1964	24	Marzo	267
16	1964	26	Novembre	264
17	1965	17	Novembre	310
18	1966	1	Dicembre	381
19	1967	3	Novembre	327
20	1968	20	Febbraio	278
21	1968	14	Novembre	340
22	1969	13	Gennaio	352
23	1970	5	Gennaio	257
24	1971	18	Marzo	297
25	1972	8	Settembre	302
26	1973	21	Gennaio	280
27	1973	21	Settembre	353
28	1974	27	Aprile	330
29	1975	3	Aprile	260
30	1975	14	Dicembre	298
31	1976	16	Dicembre	243
32	1977	28	Agosto	342
33	1977	20	Febbraio	292

N° evento	Data di inizio dell'evento			Max altezza idrometrica (cm)
	Anno	Giorno	Mese	
34	1978	11	Aprile	319
35	1978	24	Febbraio	280
36	1979	11	Ottobre	274
37	1980	31	Gennaio	257
38	1981	28	Dicembre	286
39	1982	8	Novembre	370
40	1984	2	Ottobre	284
41	1986	26	Aprile	172
42	1987	5	Ottobre	215
43	1987	9	Aprile	210
44	1988	11	Febbraio	180
45	1989	24	Febbraio	177
46	1989	21	Novembre	220
47	1990	22	Novembre	304
48	1990	15	Ottobre	233
49	1991	2	Maggio	239
50	1992	16	Ottobre	299
51	1992	16	Novembre	331
52	1993	16	Ottobre	271
53	1994	11	Giugno	308
54	1994	8	Settembre	313
55	1995	22	Dicembre	284
56	1996	2	Ottobre	291
57	1997	6	Novembre	303
58	1997	17	Dicembre	226
59	1997	26	Giugno	244
60	1998	30	Settembre	284
61	1998	4	Novembre	265
62	1998	7	Aprile	196
63	1999	18	Ottobre	466
64	2000	1	Novembre	412
65	2001	12	Marzo	315
66	2002	15	Ottobre	406

Tabella 1. 1 - Idrogrammi di livello registrati a P.te Bottego presi in considerazione nel presente studio.

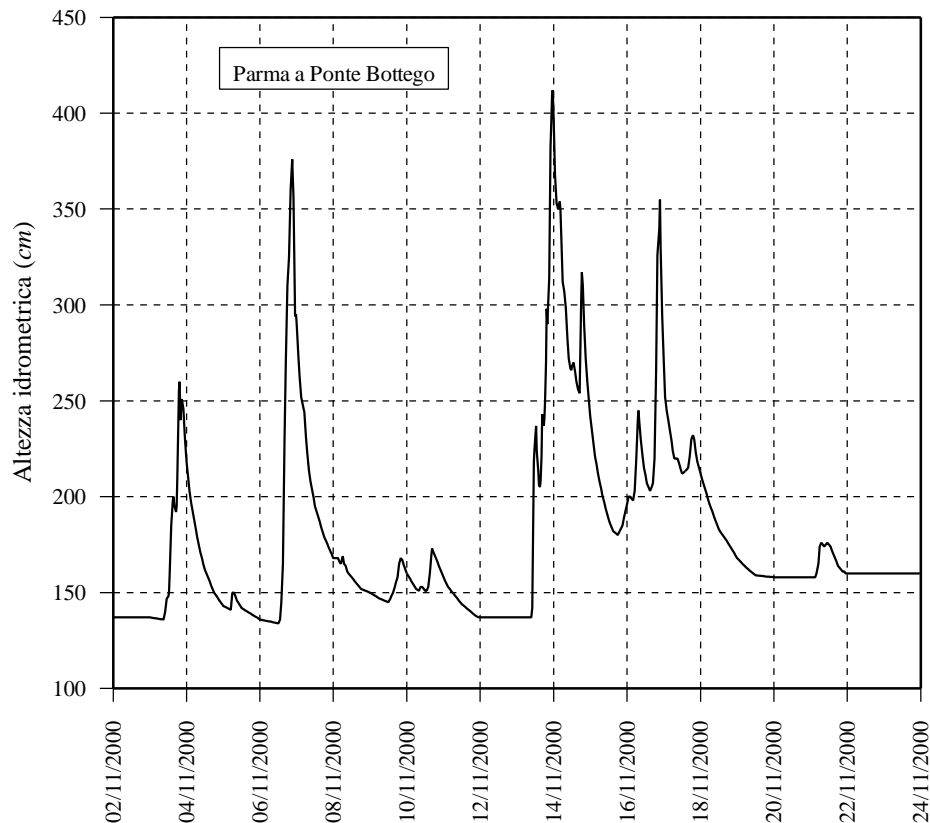


Figura 1. 1- Andamento temporale delle altezze idrometriche dell'evento con inizio il 2/11/2000 all'idrometrografo di Ponte Bottego sul torrente Parma.

1.1.2 Baganza a Ponte Nuovo

L'idrometrografo di P.te Nuovo è posto sul torrente Baganza, circa 610 metri a monte della confluenza in Parma; lo zero idrometrico è posto a 58.895 *m s.l.m.*.

Si è proceduto, per tale stazione, all'acquisizione dei dati riguardanti i livelli idrometrici per gli stessi eventi di piena che hanno dato luogo al massimo annuo a P.te Bottego; in questo modo sarà possibile studiare la contemporaneità degli eventi di piena che interessano i torrenti Parma e Baganza; si è inoltre digitalizzato, se diverso, anche l'evento che ha provocato il massimo livello idrometrico annuo nella sezione di P.te Nuovo. Purtroppo, anche nel raccogliere le informazioni relative all'idrometrografo di P.te Nuovo, sono emerse alcune lacune che riguardano gli anni 1977, 1978, 1979 e non sono state reperite le strisce degli eventi contemporanei ai massimi livelli idrici registrati a P.te Bottego per gli anni 1980, 1984, 1989, 1992.

A titolo di esempio in Figura 1.2 è riportato l'andamento dei livelli acquisiti per l'evento con inizio il 2 novembre 2000.

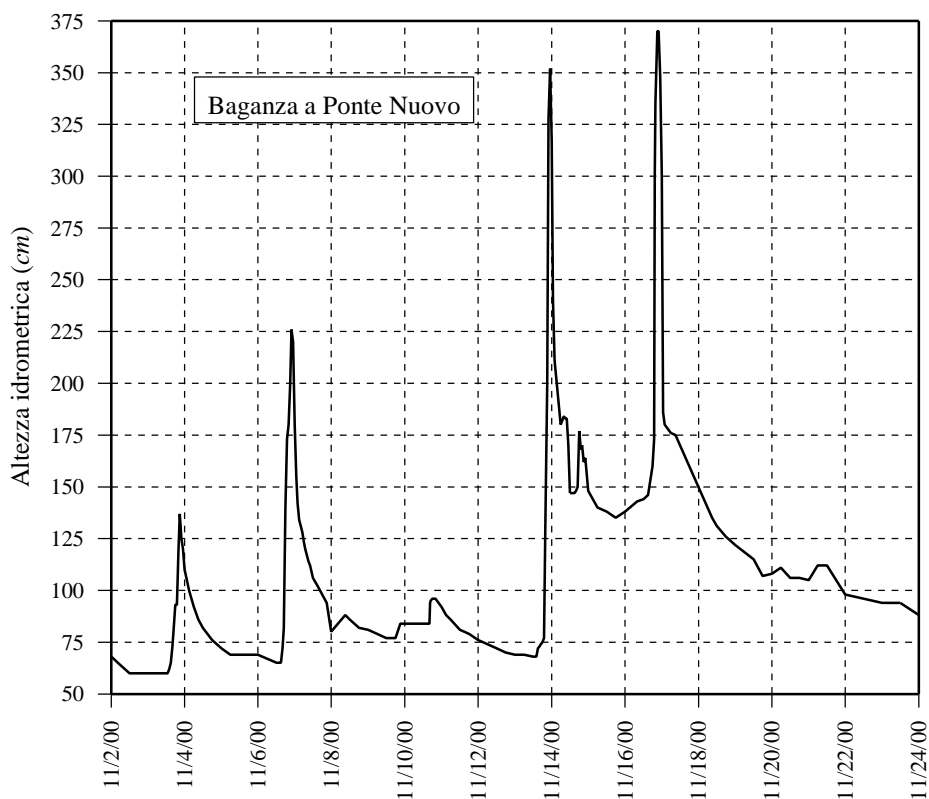


Figura 1. 2 - Andamento temporale delle altezze idrometriche dell'evento con inizio il 2/11/2000 all'idrometrografo di Ponte Nuovo sul torrente Baganza.

Nella Tabella 1.2 sono riportati gli eventi selezionati e digitalizzati per la stazione idrometrografica di Ponte Nuovo sul torrente Baganza.

N° evento	Data di inizio dell'evento			Max altezza idrometrica (cm)	N° evento	Data di inizio dell'evento			Max altezza idrometrica (cm)
	Anno	Giorno	Mese			Anno	Giorno	Mese	
1	1975	3	Aprile	165	18	1991	2	Maggio	264
2	1975	14	Dicembre	184	19	1992	16	Ottobre	258
3	1976	16	Dicembre	181	20	1993	1	Ottobre	153
4	1980	15	Ottobre	356	21	1994	8	Settembre	219
5	1981	28	Dicembre	148	22	1994	11	Giugno	193
6	1982	8	Novembre	249	23	1995	22	Dicembre	163
7	1983	16	Marzo	189	24	1996	2	Ottobre	224
8	1984	4	Giugno	158	25	1997	6	Novembre	164
9	1985	20	Gennaio	289	26	1997	17	Dicembre	187
10	1986	26	Aprile	205	27	1997	26	Giugno	234
11	1987	5	Ottobre	144	28	1998	4	Novembre	144
12	1987	9	Aprile	170	29	1998	7	Aprile	170
13	1988	11	Febbraio	177	30	1998	30	Settembre	94
14	1989	8	Novembre	160	31	1999	21	Ottobre	293
15	1989	24	Febbraio	164	32	2000	2	Novembre	370
16	1990	22	Novembre	242	33	2001	12	Marzo	200
17	1990	15	Ottobre	269	34	2002	21	Ottobre	290

Tabella 1. 2 - Idrogrammi di livello registrati a P.te Nuovo presi in considerazione nel presente studio.

1.2 *Recupero dei dati idrometrici mancanti*

Dal 1994 è in funzione, oltre all'idrometrografo storico con registrazione cartacea, anche un teleidrometro ad ultrasuoni in corrispondenza della pila in sinistra idraulica del P.te Bottego. A causa del mancato o dell'irregolare funzionamento dell'idrometrografo storico in occasione di alcuni eventi significativi si è cercato allora di ricostruirne i livelli idrometrici attraverso l'utilizzo dei dati registrati al teleidrometro, messi a disposizione dalla Sezione di Parma dell'Ufficio Idrografico. Per questo strumento non è però disponibile alcuna scala di deflusso: non è pertanto possibile convertire direttamente i dati di livello ivi registrati in portate ed integrare le lacune di registrazione dell'idrometrografo storico. Si è allora cercata una legge che correlasse le altezze idrometriche registrate nel medesimo istante dai due strumenti, mettendo in relazione:

1. le differenze di livello ottenute dai due strumenti con l'altezza idrometrica registrata dall'idrometrografo storico, in modo tale da ricostruire una scala di

deflusso per il teleidrometro sulla base della corrispondente scala di deflusso dell'idrometrografo.

2. le differenze di livello ottenute dai due strumenti con l'altezza idrometrica registrata dal teleidrometro, in modo tale da ricostruire i livelli idrometrici in corrispondenza dell'idrometrografo laddove esso risultava bloccato o palesemente malfunzionante.

Si sono considerati gli eventi di piena verificatisi negli anni 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 2000 e 2002, calcolando le differenze tra i livelli registrati dai due strumenti esclusivamente nei periodi in cui l'idrometrografo storico risultava non bloccato.

1.2.1 Ricostruzione della scala di deflusso per il teleidrometro

In Figura 1.3 è riportato l'insieme dei punti aventi per ascissa le altezze idrometriche registrate dall'idrometrografo storico h_i e in ordinata le differenze Δh tra le altezze idrometriche registrate dai due strumenti. Dal grafico si nota, come era lecito aspettarsi, una crescita della differenza al crescere dell'altezza idrometrica registrata all'idrometrografo ed, in definitiva, al crescere della portata transitante. Si nota però anche come la serie di punti sia piuttosto dispersa, evidenziando come vi siano anche altre cause ignote che influiscono sulla differenza di livello registrata dai due strumenti. Una possibile spiegazione può essere ricercata nella non perfetta fasatura temporale tra lo strumento che registra su supporto cartaceo (e che è quindi soggetto a maggiori incertezze nella collocazione temporale) ed il teleidrometro.

Quale che sia la causa della dispersione, interpolando la serie di punti con una curva polinomiale di terzo grado si ottiene un'equazione del tipo:

$$\Delta h = 0.0000058364 \cdot h_i^3 - 0.0041321 \cdot h_i^2 + 1.152 \cdot h_i + 5.0 \text{ [cm.]} \quad (1.1)$$

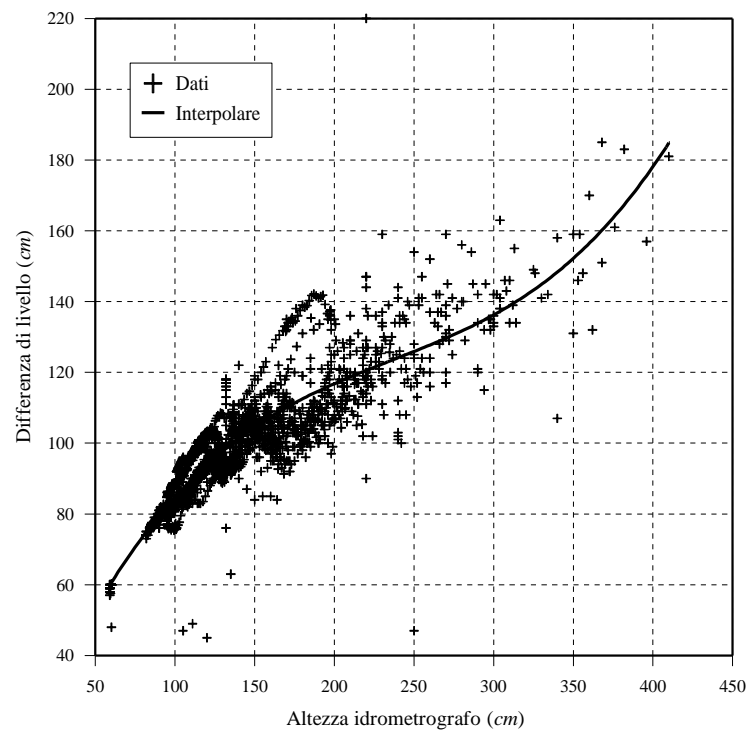
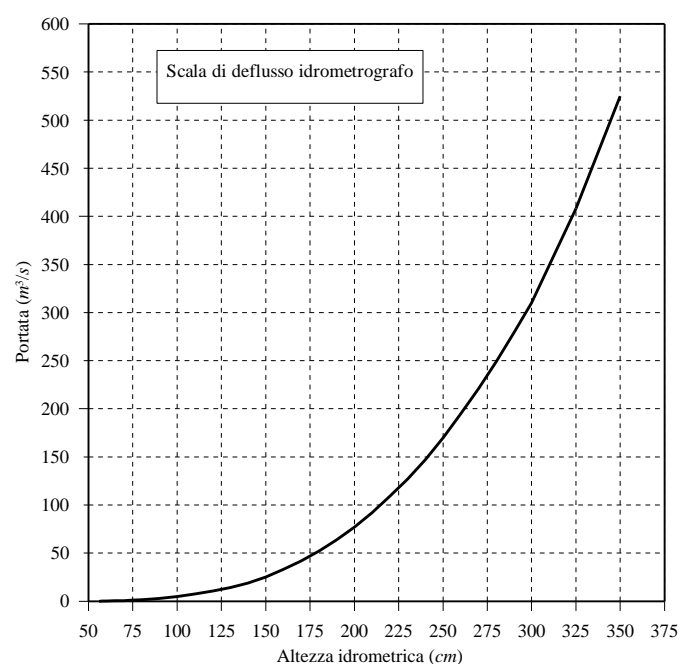


Figura 1.3 - Andamento delle differenze di livello fra idrometrografo e teleidrometro in funzione delle altezze idriche all'idrometrografo.

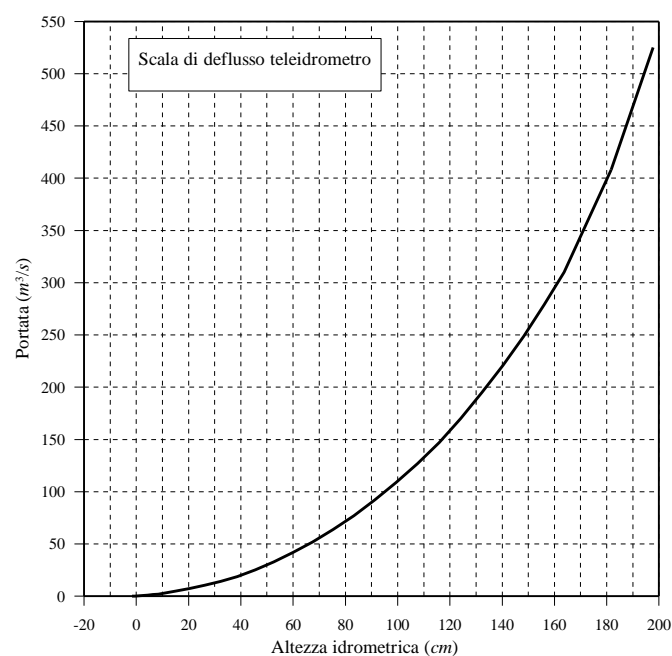
La (1.1) permette, partendo da una scala di deflusso nota per l'idrometrografo storico di Ponte Bottego di ricavare la corrispondente scala di deflusso del teleidrometro. A titolo di esempio nella Figura 1.4 e nella Tabella 1.3 sono riportati il grafico ed i valori della scala di deflusso dell'idrometrografo storico di Ponte Bottego per l'anno 1977¹, dedotti dalla parte II del corrispondente Annale Idrologico. La Figura 1.5 e la Tabella 1.4 riportano il grafico ed i valori ricostruiti per la scala di deflusso del teleidrometro, utilizzando l'Eq.1.1. Non essendo ivi mai state effettuate delle misure, è impossibile valutare l'attendibilità della suddetta scala, che contiene comunque tutte le incertezze della scala delle portate di partenza e quelle aggiunte dalla relazione interpolante (1.1).

¹ Il 1977 è l'ultimo anno in cui risultano pubblicati sugli Annali i bilanci idrologici e le scale di deflusso per la stazione di Ponte Bottego.



h (cm)	Q (m^3/s)	h (cm)	Q (m^3/s)
56	0.02	170	41.8
58	0.08	180	52.0
60	0.16	190	63.8
65	0.40	200	77.0
70	0.72	210	92.2
75	1.07	220	109
80	1.54	230	127
85	2.12	240	147
90	2.80	250	170
100	5.00	260	195
110	7.57	270	221
120	10.5	280	249
130	14.1	290	279
140	19.0	300	310
150	25.3	325	408
160	33.0	350	525

Figura 1. 4 e Tabella 1.3 -Scala di deflusso del 1977 per l'idrometrografo storico di P.te Bottego (Annali Idrologici del SIMN, parte II) .



h (cm)	Q (m^3/s)	h (cm)	Q (m^3/s)
-1.6	0.02	59.9	41.8
-1.1	0.08	67.5	52.0
-0.5	0.16	75.3	63.8
1.0	0.40	83.2	77.0
2.6	0.72	91.3	92.2
4.4	1.07	99.4	109
6.3	1.54	107.6	127
8.3	2.12	115.9	147
10.5	2.80	124.1	170
15.3	5.00	132.3	195
20.5	7.57	140.3	221
26.2	10.5	148.3	249
32.2	14.1	156.1	279
38.7	19.0	163.7	310
45.5	25.3	181.7	408
52.6	33.0	197.8	525

Figura 1. 5 e Tabella 1.4 - Scala di deflusso ricostruita per il teleidrometro.

1.2.2 Ricostruzione dei livelli dell'idrometrografo a partire dai livelli registrati dal teleidrometro

In Figura 1.6 è riportato l'insieme dei punti aventi per ascissa le altezze idrometriche registrate dal teleidrometro h_t e in ordinata le differenze Δh tra le altezze idrometriche registrate dai due strumenti. Le ordinate dei punti sono quindi le medesime della Figura 1.3, ma relazionati ad una variabile diversa (h_t anziché h_i). Ancora una volta la sola altezza idrometrica h_t non spiega completamente le differenze, anche se si nota una chiara tendenza alla crescita.

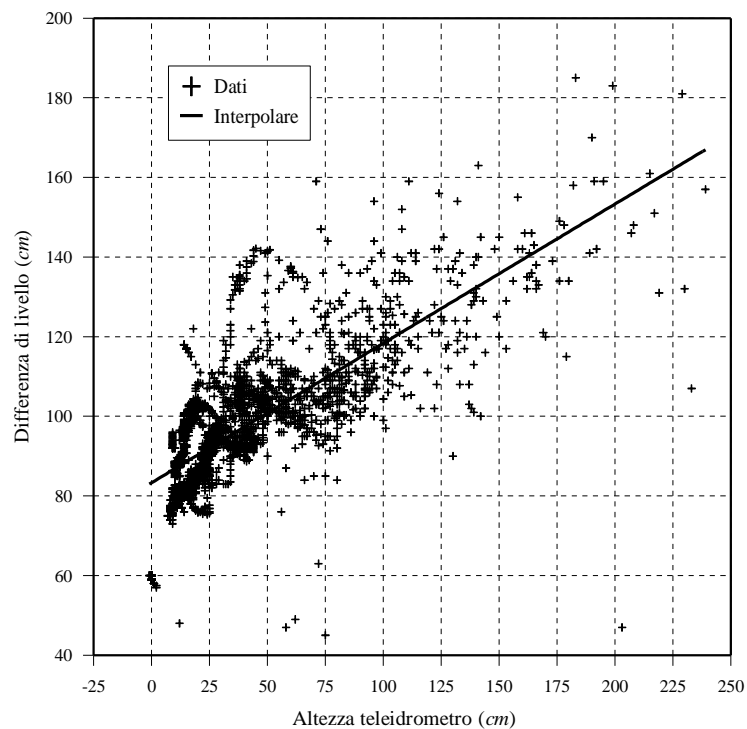


Figura 1.6 - Andamento delle differenze di livello fra idrometrografo e teleidrometro in funzione delle altezze idriche al teleidrometro.

Interpolando la serie di punti con una espressione lineare si ottiene un'equazione del tipo:

$$\Delta h = 0.34986 \cdot h_t + 83.35 \quad [\text{cm.}] \quad (1.2)$$

che permette di ricavare l'altezza idrometrica all'idrometrografo, quando risulta essere bloccato, partendo dalla misura del teleidrometro.

Le due modalità esposte per il recupero dei dati mancanti presentano analoghe incertezze, ma si è preferito seguire la seconda, ricostruendo i livelli idrometrici all'idrometrografo storico partendo dai dati registrati al teleidrometro. Ciò consente di svincolare totalmente la ricostruzione dei livelli dalla scala di deflusso, l'attendibilità della quale sarà oggetto di indagine nel Capitolo 2.

Nelle Figure 1.7-1.8 sono riportati gli idrogrammi di livello registrati dall'idrometrografo storico insieme a quelli dedotti dalla trasformazione dei dati del teleidrometro ad ultrasuoni attraverso l'Eq. (1.2): come si può notare, la ricostruzione risulta affidabile e permette di recuperare misure di livello quando l'idrometrografo storico risulta bloccato.

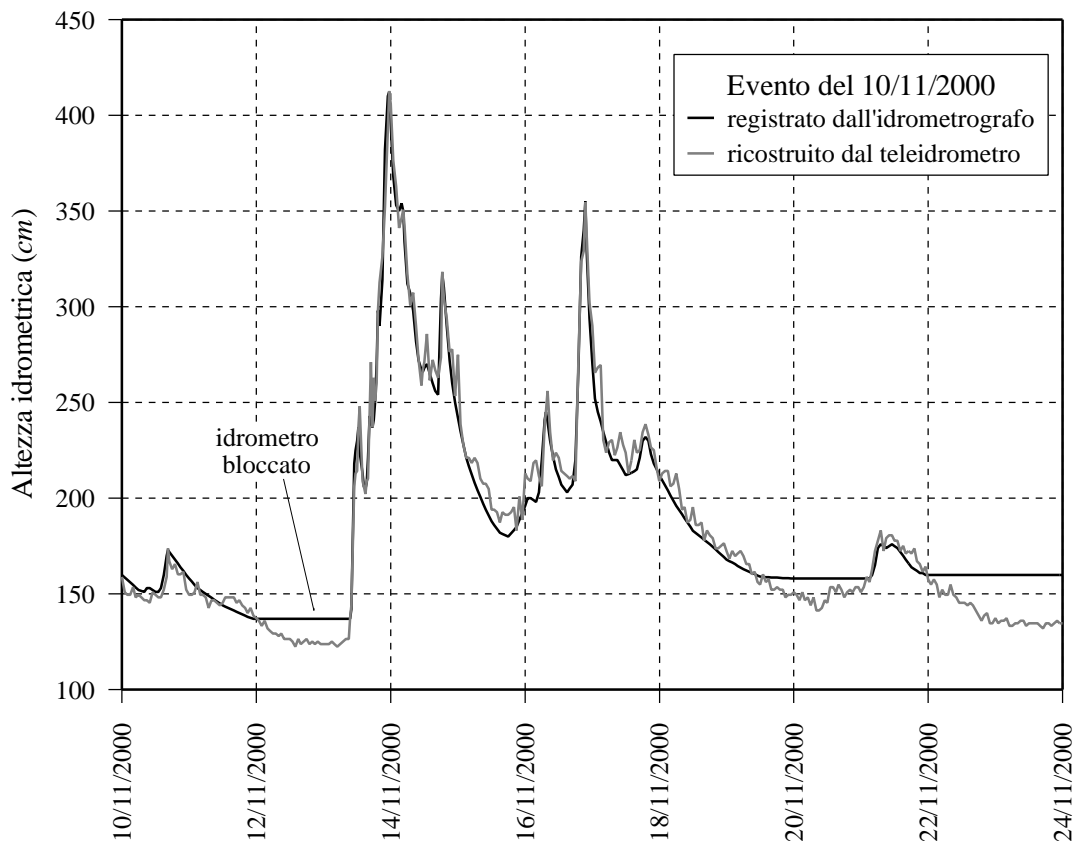


Figura 1.7 - Confronto tra i livelli registrati e ricostruiti all'idrometrografo di Ponte Bottego per l'evento del novembre 2000.

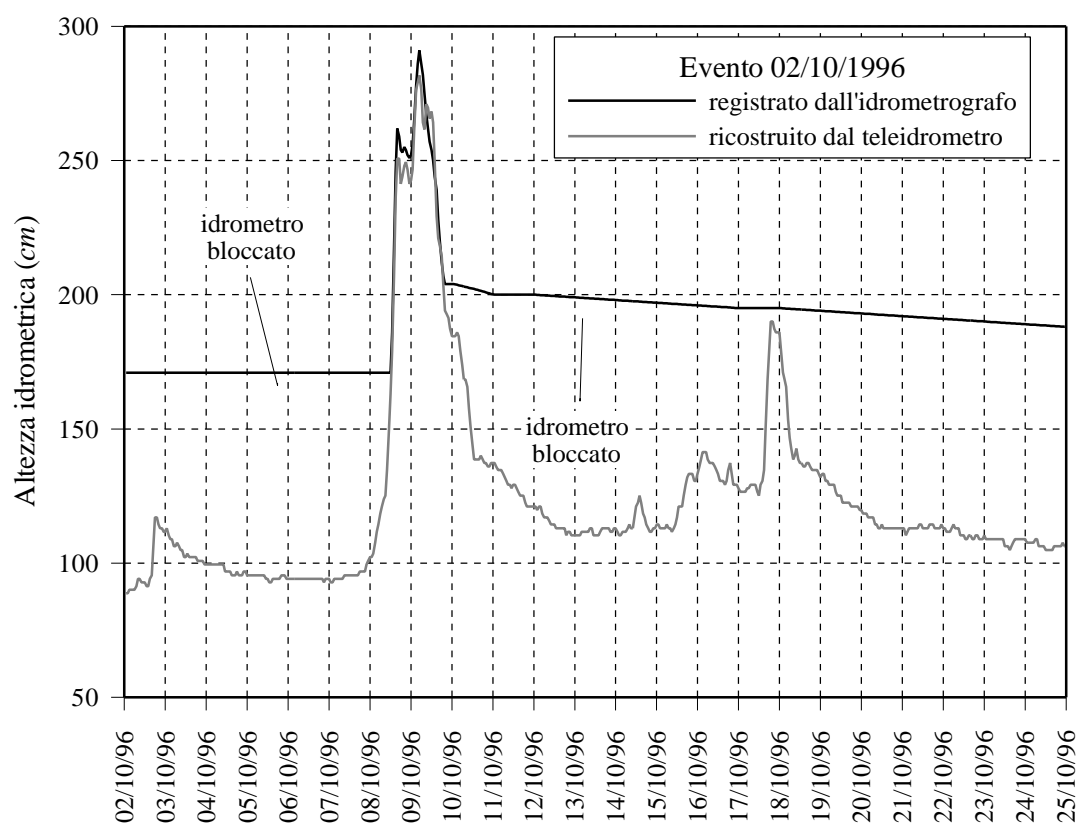


Figura 1.8 - Confronto tra i livelli registrati e ricostruiti all'idrometrografo di Ponte Bottego per l'evento dell'ottobre 1996.

2. ANALISI E RICOSTRUZIONE DELLE SCALE DI DEFLUSSO PER GLI IDROMETRI REGISTRATORI DI PONTE BOTTEGO E PONTE NUOVO

Per convertire le altezze idrometriche registrate (o ricostruite) in portata è necessario disporre della scala di deflusso valevole per il periodo corrispondente.

Nella Parte II degli Annali Idrologici relativi al bacino padano sono pubblicate le scale di deflusso in formato numerico per la stazione di P.te Bottego sul torrente Parma fino al 1977. Successivamente non sono più pubblicati i bilanci idrologici né le scale di deflusso. Si pone quindi il problema di quale scala utilizzare per convertire in portata le onde di livello registrate nella sezione di P.te Bottego per gli anni successivi al 1977. Escludendo a priori la possibilità di tarare la scala di deflusso attraverso misure contemporanee di livello e di velocità¹, le alternative possibili sono sostanzialmente due:

1. estendere la validità dell'ultima scala disponibile fino ai giorni nostri senza alcuna modifica;
2. ricavare la scala di deflusso attraverso simulazioni su modello matematico di un tratto di torrente sufficientemente esteso e comprendente la sezione di misura.

Per la stazione di P.te Nuovo sul torrente Baganza non è invece pubblicata sugli Annali Idrologici alcuna scala di deflusso. In assenza di misure dirette e contemporanee di livello e velocità, l'unica possibilità è quindi quella di ricavare la scala di deflusso attraverso simulazioni su modello matematico.

¹ La procedura più affidabile per determinare la scala di deflusso è quella di effettuare misure contemporanee di livello e di velocità; infatti approssimando l'integrale

$$Q = \int_A \vec{v} \times \vec{n} dA$$

con una sommatoria si ottiene la portata Q a partire da una serie di misure locali di velocità v in diversi punti della sezione opportunamente distribuiti (più fitti verso le rive e il fondo dove il gradiente di velocità è maggiore). Le coppie $Q-h$ così ricavate individuano sul piano cartesiano una serie di punti la cui interpolazione definisce la scala di deflusso.

Questo approccio si scontra però con le notevoli difficoltà operative di effettuare misure di velocità in condizioni di piena, e con la necessità di aspettare periodi di piena per effettuarle. Non è pertanto possibile procedere per questa via se non avendo a disposizione tempi medio-lunghi.

2.1 *Parma a Ponte Bottego*

2.1.1 *Scale di deflusso pubblicate*

Nelle Tabelle A.1-A.6 (Appendice A) sono riportate le scale di deflusso pubblicate sugli Annali Idrologici (sezione di Parma) per il periodo 1956-1977.

Dopo il 1977 sugli Annali Idrologici non sono più calcolati i bilanci idrologici per la stazione di Ponte Bottego e pertanto non sono riportate neppure le scale di deflusso.

2.1.2 *Misure di portata*

Pr verificare l'attendibilità delle scale pubblicate, si è cercato di reperire i dati di misura di portata (velocità) sulla base dei quali esse erano state costruite. Grazie ancora una volta alla gentile collaborazione del Geom. Picelli, del Servizio Idrografico di Parma, sono state ritrovate le misure di portata effettuate con una certa continuità nel periodo 1957-1972, oltre a due misure isolate nel 1982. Da questi dati, riportati in Tabella 2.1, si evince che non sono mai state effettuate misure di portata per valori superiori a $320 \text{ m}^3/\text{s}$ e quindi tutte le scale di deflusso sono estrapolate ben oltre i valori effettivamente misurati. Diventa quindi rilevante conoscere il criterio con il quale tali estrapolazioni sono state effettuate. Per quanto appreso da comunicazioni verbali dirette l'estrapolazione delle scale a partire dalle coppie di punti $Q-h$ effettivamente misurate sono state effettuate secondo una legge di potenza, stimando i parametri con una procedura ai minimi quadrati. Tale metodo ha però il difetto di non tenere conto in nessun modo né della geometria locale della sezione né di quella globale del torrente.

2.1.3 *Modello fisico*

Alla fine del 1970, presso il Centro Sperimentale di Boretto del Magistrato per il Po, è stato realizzato un modello fisico² del torrente Parma, con lo scopo principale di valutare la portata compatibile in corrispondenza dell'attraversamento del tratto

cittadino (Figura 2.1). Nel modello, realizzato a fondo fisso in scala indistorta 1:40 ed in similitudine di Froude, è stato riprodotto il tratto del torrente Parma compreso fra la confluenza con il Baganza e il ponte della ferrovia.

Data gg/mm/aa	h (m)	Area (m ²)	Q (m ³ /s)	V_m (m/s)	Data gg/mm/aa	h (m)	Area (m ²)	Q (m ³ /s)	V_m (m/s)
22 febbraio 1957	1.04	17.8	14.4	0.81	28 aprile 1961	1.45	23.7	26.2	1.11
27 febbraio 1957	1.41	38.1	45	1.18	27 novembre 1961	2.48	73.65	188.3	2.56
8 aprile 1957	1.5	46.86	58.4	1.25	17 marzo 1962	1.19	21.22	17.75	0.84
8 aprile 1957	1.77	57.39	87.1	1.52	7 gennaio 1963	1.81	48.63	77.96	1.60
9 aprile 1957	1.44	38.9	49.6	1.28	13 marzo 1963	1.94	48.85	81.23	1.66
10 aprile 1957	1.77	55.4	86	1.55	8 novembre 1963	1.62	34.16	43.4	1.27
10 aprile 1957	2.04	74.55	132	1.77	16 ottobre 1964	1.5	28.35	21.8	0.77
13 aprile 1957	1.475	37.8	50.9	1.35	29 ottobre 1964	2.15	55.75	91.6	1.64
15 aprile 1957	1.24	26.2	30.6	1.17	11 novembre 1964	1.34	15.8	14.2	0.90
7 maggio 1957	1.115	19.51	20.2	1.04	15 gennaio 1965	1.71	30.87	42.6	1.38
27 maggio 1957	1.38	34.32	46.5	1.35	25 gennaio 1965	1.28	11.7	9.54	0.82
1 giugno 1957	1.085	18.5	17.9	0.97	18 marzo 1966	1.68	21.76	23.1	1.06
25 giugno 1957	0.615	2.3	0.47	0.20	5 novembre 1966	2.09	52.74	98.1	1.86
8 novembre 1957	1.36	33.11	29.7	0.90	3 dicembre 1966	2.29	69.6	129.2	1.86
11 novembre 1957	1.285	30.86	32.1	1.04	7 marzo 1967	1.15	11.53	7.33	0.64
16 novembre 1957	0.62	2.72	0.34	0.13	17 novembre 1967	1.8	40.68	59.9	1.47
13 dicembre 1957	1.35	34.17	40.1	1.17	16 febbraio 1968	1.7	35.06	46.2	1.32
10 febbraio 1958	1.05	15.4	13.8	0.90	24 febbraio 1968	2.62	83.9	200	2.38
27 febbraio 1958	1.21	25.2	26.65	1.06	15 maggio 1968	1.28	15.85	16.1	1.02
5 aprile 1958	1.635	47.73	72.572	1.52	22 maggio 1968	1.3	17.8	16.7	0.94
14 aprile 1958	2.345	94.585	210.21	2.22	14 giugno 1968	1.51	27	34.9	1.29
13 novembre 1958	2.1	85.58	154.4	1.80	18 novembre 1968	1.93	39.3	70.2	1.79
21 dicembre 1958	1.82	61.9	103	1.66	14 novembre 1969	2.24	68.3	103	1.51
24 dicembre 1958	1.85	68.9	124	1.80	10 gennaio 1970	1.1	14.6	10.2	0.70
27 dicembre 1958	1.24	26.6	24.8	0.93	12 gennaio 1970	2.27	55	112	2.04
11 marzo 1959	1.15	23.77	16.34	0.69	20 novembre 1970	1.82	45.5	59	1.30
27 marzo 1959	1.455	37.39	43.36	1.16	23 gennaio 1971	1.49	28.1	29	1.03
31 marzo 1959	2.23	85.01	194	2.28	6 febbraio 1971	1.18	16.64	11	0.66
28 ottobre 1959	1.56	41.58	55.2	1.33	20 marzo 1971	2.36	72.6	138	1.90
29 ottobre 1959	1.83	56.5	77.3	1.37	30 novembre 1971	1.15	14.51	9.91	0.68
18 novembre 1959	2.3	89.4	198	2.21	21 gennaio 1972	1.32	20.86	17.3	0.83
24 dicembre 1959	2.8	125	320	2.56	11 febbraio 1972	1.6	27.69	36.27	1.31
17 settembre 1960	1.7	41.1	52.8	1.28	19 febbraio 1972	2.02	49.5	82.7	1.67
29 novembre 1960	1.94	52.7	93.8	1.78	18 aprile 1972	1.86	40.15	63	1.57
4 febbraio 1961	1.28	17.16	14.41	0.84	9 novembre 1982	2.31	89.8	210	2.34
24 aprile 1961	2.8	108.6	271.4	2.50	29 novembre 1982	1.86	73	127	1.74

Tabella 2. 1 - Misure di portata per la sezione di ponte Bottego sul torrente Parma.

² Crf. Ministero dei Lavori Pubblici. Magistrato per il Po. Ufficio Speciale del Genio Civile per il Po. Parma perizia 22.12.1970 n°2090 per lo studio sui modelli idraulici presso il centro sperimentale di Boretto. Modello torrente Parma.

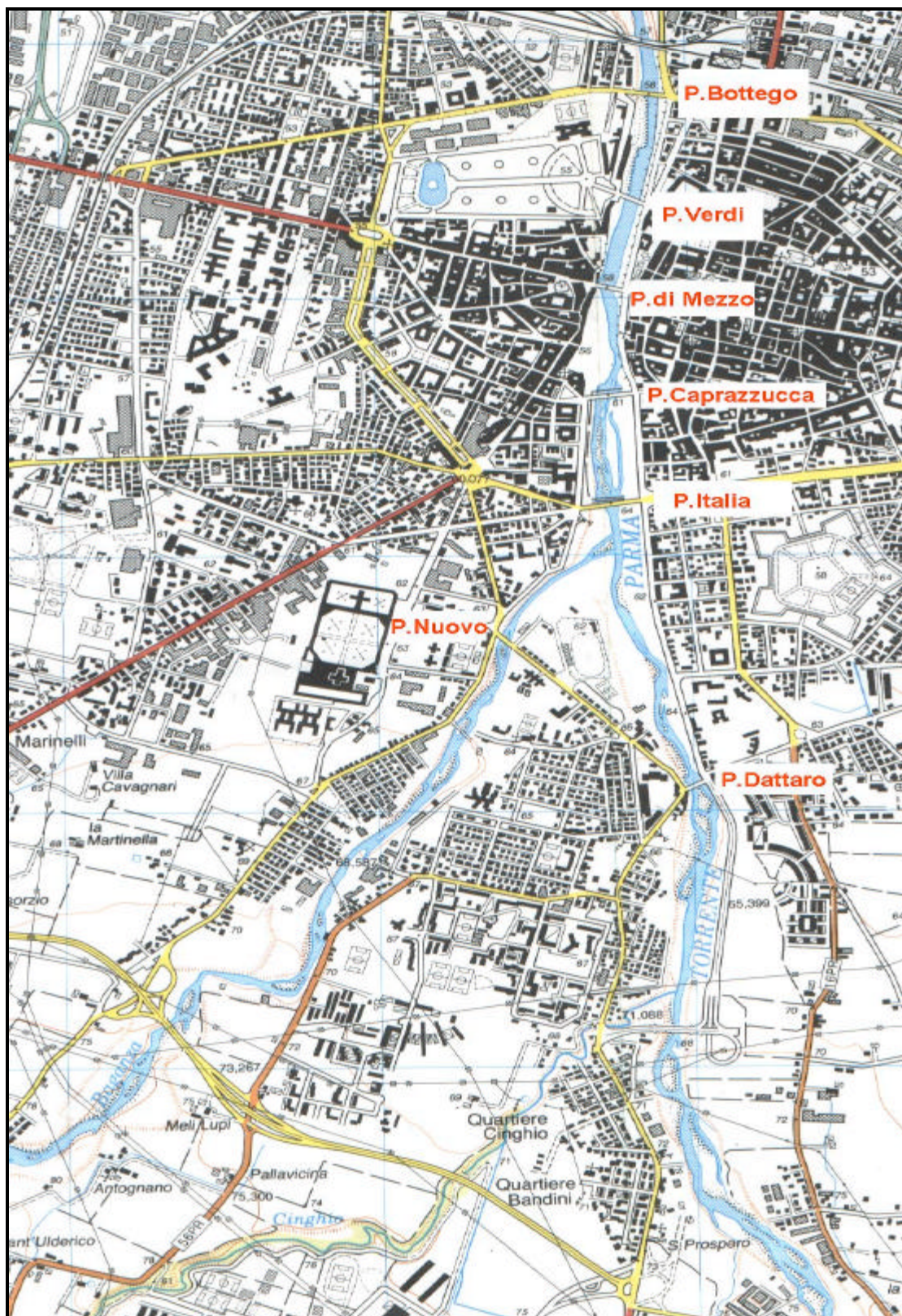


Figura 2.1 - Confluenza del torrente Baganza nel torrente Parma e tratto cittadino del torrente Parma.

Nella Tabella 2.2 sono riportate, per alcune sezioni significative del tratto cittadino, le progressive (secondo il riferimento del modello matematico esposto nel successivo paragrafo) e le quote idriche assolute, ottenute dalla conversione delle misure effettuate su modello al prototipo, per una portata sul reale pari a $1000 \text{ m}^3/\text{s}$.

In mancanza di altre indicazioni sulle altezze idrometriche corrispondenti a valori di portata così elevati, si è ritenuto importante verificare che la scala di deflusso a Ponte Bottego rispettasse sostanzialmente questo valore.

Sezione	Progressiva da monte (m)	h (m s.l.m.)
P.te Italia monte	62756	59.64
P.te Italia valle	62776	59.44
P.te Caprazzucca monte	63179	57.72
P.te Caprazzucca valle	63199	57.56
P.te Mezzo monte	63619	56.72
P.te Mezzo valle	63639	56.50
P.te Verdi monte	63880	55.88
P.te Verdi valle	63890	55.48
P.te Bottego monte	64287	54.89
Idrometro	64337	54.32
P.te Ferrovia monte	64500	53.40

Tabella 2. 2 - Profilo del pelo libero ottenuto dal modello fisico per una portata $Q=1000 \text{ m}^3/\text{s}$.

2.1.4 Modello matematico

Per verificare se la scala di deflusso ottenibile mediante modellazione numerica fosse comparabile con quelle pubblicate, si è proceduto alla implementazione di un modello matematico che comprendesse il tratto cittadino del torrente Parma e un tratto del torrente Baganza a monte della confluenza. Il codice di calcolo utilizzato è il ben noto MIKE11 del Danish Hydraulic Institute (ver.2002).

Il rilievo più completo delle sezioni del torrente Parma in questo tratto risale al 1972. Nel 2000 è stato effettuato un nuovo rilievo, ma le sezioni battute nel tratto cittadino sono in numero molto limitato, probabilmente perché si è ritenuto che l'alveo fosse sostanzialmente stabile. Si è allora utilizzato il rilievo del 1972, dopo aver verificato che

nelle sezioni comuni ai due rilievi le differenze non fossero rilevanti. Per quanto riguarda il torrente Baganza, si è utilizzato il rilievo del 1998. Nella Tabella 2.3 sono riportate le sezioni utilizzate e la loro progressiva.

n° sezione torrente Parma	Anno rilievo	Progressiva da monte(m.)	Quota max sponda sx (m s.l.m.)	Quota max sponda dx (m s.l.m.)	Quota fondo alveo (m s.l.m.)
15	1972	60851	68.71	68.63	61.26
14	1972	61496	67.70	67.70	60.13
P.te Dattaro m.	1972	61806	67.00	67.20	57.40
P.te Dattaro v.	1972	61826	67.00	67.20	57.40
13	1972	61902	62.65	64.50	57.18
12_bis	1972	62110	63.44	64.53	56.35
12	1972	62312	63.34	63.04	56.46
11 Confluenza	1972	62606	62.90	63.58	55.32
P.te Italia m.	1972	62756	64.40	64.00	56.40
P.te Italia v.	1972	62776	64.40	64.00	56.40
10	1972	62874	63.21	63.16	54.43
9	1972	63004	62.19	62.05	54.00
8 bis	1972	63164	61.00	61.76	54.48
P.te Caprazzucca m	1972	63179	60.80	60.80	53.20
P.te Caprazzucca v.	1972	63199	60.80	60.80	53.20
8	1972	63324	60.30	60.30	52.53
7	1972	63489	59.70	59.70	51.89
6 bis	1972	63609	59.46	59.46	52.23
P.te di Mezzo m	1972	63619	58.00	59.20	51.80
P.te di Mezzo v	1972	63639	58.00	59.20	51.80
6	1972	63669	58.90	58.90	50.89
5	1972	63799	58.44	58.44	50.89
4 bis	1972	63859	59.27	59.23	50.91
P.te Verdi m	1972	63880	58.22	58.16	51.42
P.te Verdi v	1972	63890	58.22	58.16	51.42
4	1972	64004	58.00	58.00	50.72
3	1972	64168	58.12	57.95	49.67
2 bis	1972	64227	57.61	59.04	49.66
P.te Bottego m	1972	64287	58.20	57.80	48.80
P.te Bottego v	1972	64297	58.20	57.80	48.80
Idrometro	1972	64337	56.70	55.45	49.31
2	1972	64362	56.71	55.66	49.52
1	1972	64432	55.48	55.48	49.72
0 bis	1972	64490	55.54	55.54	49.42
P.te Ferrovia m	1972	64500	57.40	57.40	49.40
P.te Ferrovia v	1972	64520	57.40	57.40	48.40
0	1972	64670	54.56	55.13	48.36
71	2000	65686	51.10	50.97	44.59
continua					

n° sezione torrente Baganza	Anno rilievo	Progressiva da monte(m.)	Quota max sponda sx (m s.l.m.)	Quota max sponda dx (m s.l.m.)	Quota fondo alveo (m s.l.m.)
13	1998	23561	91.94	90.94	87.50
12	1998	23951	88.99	89.14	83.73
11	1998	24403	85.44	85.73	80.68
10	1998	24841	83.19	83.22	78.01
9	1998	25286	79.91	81.20	74.78
8	1998	25625	76.85	78.15	71.93
7	1998	26037	74.95	74.49	68.52
6	1998	26286	72.89	72.90	66.92
5	1998	26765	69.69	67.49	63.90
4	1998	27062	67.77	67.79	62.19
3	1998	27431	65.33	65.44	59.73
1	1998	27682	64.50	64.10	59.37
Monte P.Nuovo	1998	27802	64.50	64.60	58.81
P.Nuovo	1998	27812	62.71	62.71	58.81
Valle P.Nuovo	1998	27822	64.50	64.60	58.81
2	1998	27840	64.34	64.04	58.19
3	1998	28015	62.74	62.50	57.60

Tabella 2. 3 – Sezioni del rilievo del 1972 (torrente Parma) e del 1998 (torrente Baganza) utilizzate per la implementazione del modello matematico.

Tra le tre opzioni per il calcolo del raggio idraulico previste nel codice MIKE11 si è utilizzata quella che definisce, tradizionalmente, il raggio idraulico come rapporto tra l'intera area bagnata ed il perimetro bagnato.

I ponti sono stati rappresentati come Culverts (tombini). In questo modo il modello è in grado di rappresentare anche l'eventuale funzionamento in pressione dei ponti stessi. Le perdite concentrate di imbocco e sbocco sono state assegnate in modo da riprodurre al meglio i livelli della simulazione effettuata col modello fisico per la portata di 1000 m^3/s .

Per evitare che la condizione al contorno di valle, necessariamente approssimata, influenzasse le simulazioni nel tratto di maggior interesse, si è proceduto a imporre una scala di deflusso di moto uniforme molto più a valle, in corrispondenza della sezione di progressiva 65686 m. Si è anche verificato che variazioni di questa scala di deflusso a seguito di una modifica del coefficiente di scabrezza non influenzasse i livelli del tratto cittadino.

Per ottenere la scala di deflusso in una sezione è necessario effettuare una serie di simulazioni in condizione di moto permanente. A questo scopo si è assegnato, quale

condizione al contorno di monte, un andamento di portata a gradini in modo da ottenere diversi profili di moto permanente con una sola simulazione. Si è poi verificato che, ponendo come condizione al contorno una portata linearmente crescente con una certa gradualità ($20 \text{ m}^3/\text{s}$ per *ora*), i risultati fossero uguali a quelli ottenuti con andamento a gradini. Alla fine si è adottata quest'ultima tipologia di condizione al contorno in modo da ridurre sensibilmente i tempi di simulazione.

2.1.5 Ricostruzione della scala di deflusso di Ponte Bottego attraverso il modello matematico

Si è dapprima assegnato un coefficiente di scabrezza pari a $c=40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (formula di Gauckler-Strickler) per l'intero tratto cittadino del Parma, e perdite nulle all'ingresso e dell'uscita dei ponti. In questo modo si è ottenuta la scala di deflusso riportata in Figura 2.2. Nella stessa figura è anche riportata, per un immediato confronto, la scala di deflusso pubblicata sull'Annale del 1977 (lo zero idrometrico è posto a 49.31 m s.l.m.).

Dalla Figura 2.2 si nota come le due scale siano sostanzialmente differenti ed in particolare la scala pubblicata sull'Annale del 1977 restituisca dei valori di altezza idrometrica inferiori per portate elevate. Ciò nonostante si sia assunta una scabrezza piuttosto bassa (ovvero un coefficiente di Gauckler-Strickler piuttosto alto) e sia irragionevole considerare nulle le perdite concentrate nei ponti. Si è verificato, attraverso diversi tentativi, che non esiste un valore di scabrezza fisicamente sensato che sia in grado di riprodurre la scala riportata sull'Annale del 1977.

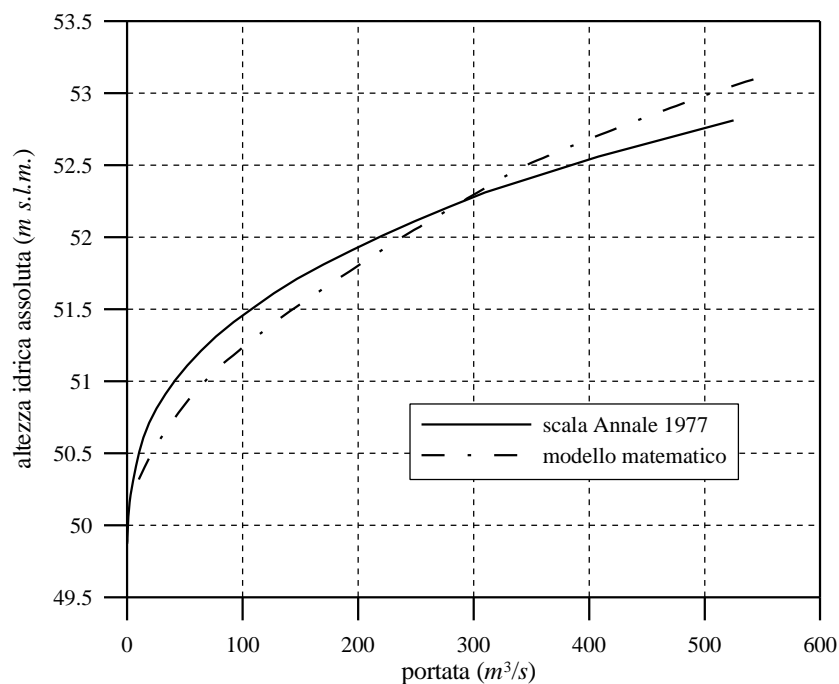


Figura 2.2 - Confronto fra la scala di deflusso pubblicata sull'Annale del 1977 e quella ottenuta con il modello matematico ($c=40 \text{ m}^{1/3}/s$, perdite nulle in ingresso ed in uscita dai ponti).

Considerato che le scale pubblicate sugli annali sono in realtà estrapolate ben oltre il campo delle misure di portata, si è deciso di confrontare la scala ottenuta dal modello con i punti (h, Q) effettivamente misurati. Poiché i massimi valori misurati non superano i $320 \text{ m}^3/s$ si è deciso di confrontare la scala ottenuta dal modello numerico anche con il risultato ottenuto dal modello fisico per una portata $Q=1000 \text{ m}^3/s$ ($h=54.32 \text{ m s.l.m.}$). In questo modo è possibile avere un punto di confronto anche per i valori di portata elevati.

Adottando un coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler pari a $c=35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ per l'intero tratto e ponendo pari a 0.25, 0.5 ($v^2/2g$) rispettivamente il coefficiente di perdita concentrata in ingresso e in uscita dai ponti si ottiene per la sezione dell'idrometrografo di Ponte Bottego la scala di deflusso riportata in Figura 2.3 che riproduce adeguatamente sia i punti misurati che quello ricavato dal modello fisico.

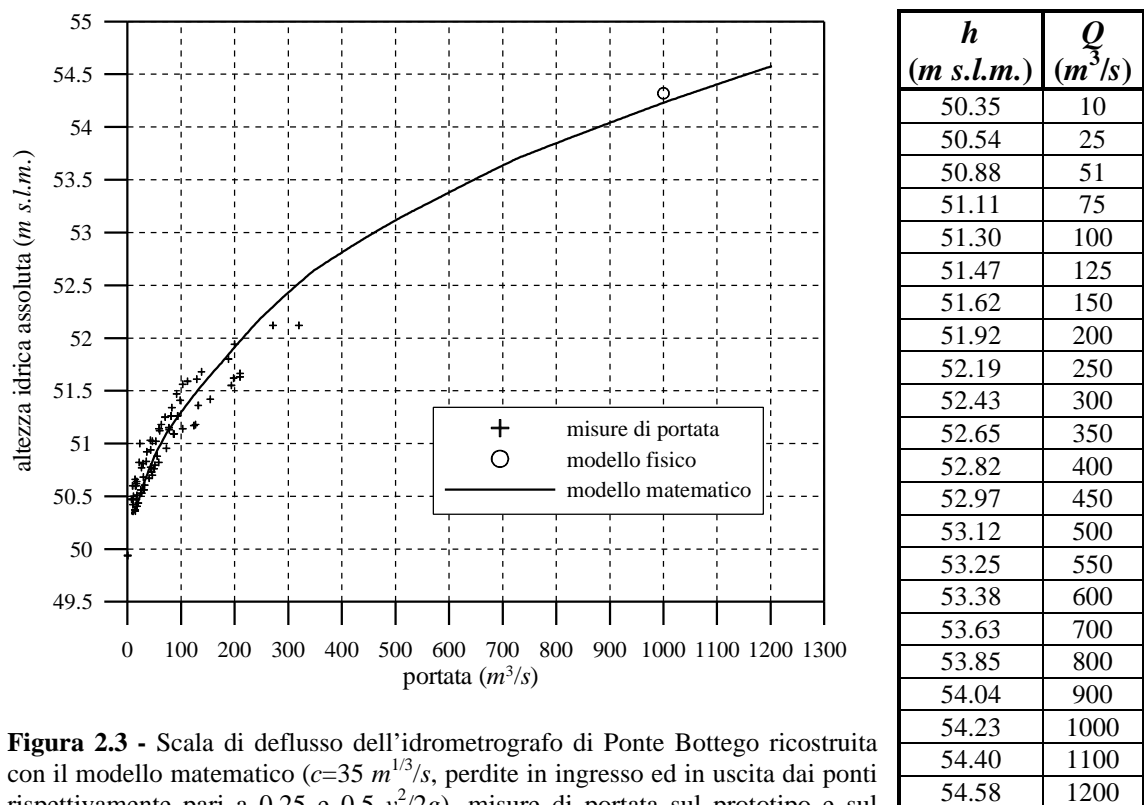


Figura 2.3 - Scala di deflusso dell'idrometrografo di Ponte Bottego ricostruita con il modello matematico ($c=35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, perdite in ingresso ed in uscita dai ponti rispettivamente pari a 0.25 e 0.5 $v^2/2g$), misure di portata sul prototipo e sul modello fisico.

Per controllare che la descrizione della geometria locale del modello matematico, ottenuta sulla base del rilievo del 1972, fosse confrontabile con quella dei periodi nei quali erano state effettuate le misure, si sono riportati in Figura 2.4 i valori dell'area della sezione bagnata e del tirante idrico misurati, confrontandoli con quelli ottenibili dalla sezione rilevata nel 1972. I risultati mostrano un discreto accordo, anche se i punti misurati non si dispongono su di un unico andamento.

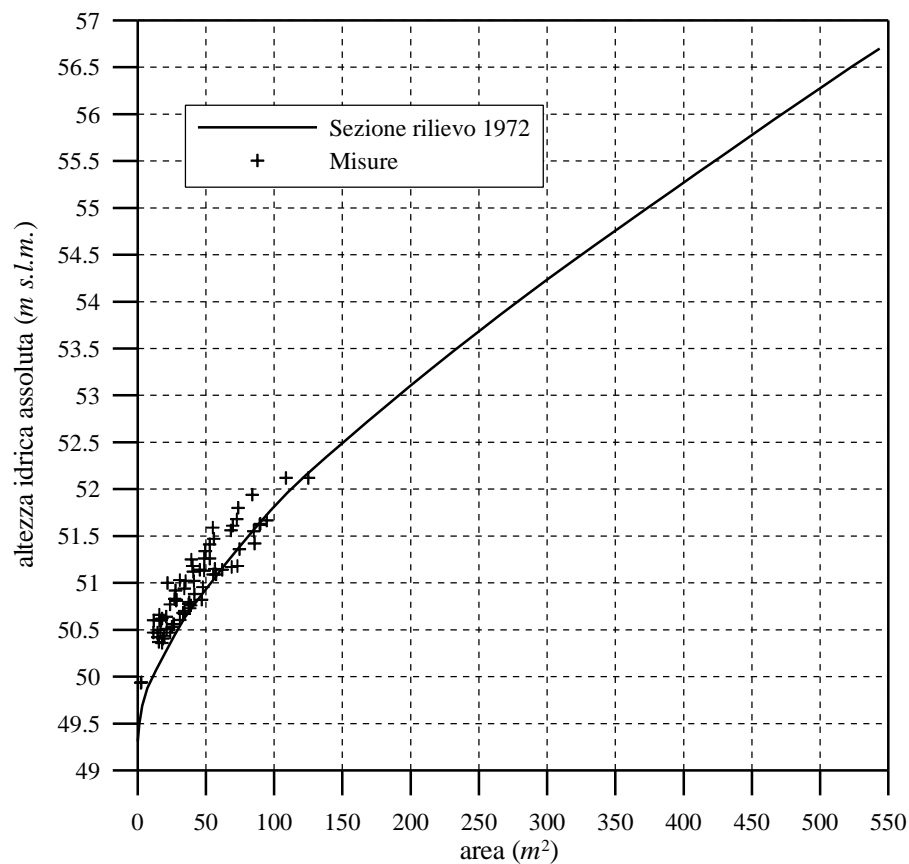


Figura 2.4 -Andamento della superficie bagnata in funzione dell'altezza del pelo libero.

2.1.6 Verifiche indirette della scala di deflusso ricostruita

Per verificare indirettamente la correttezza della scala di deflusso adottata per la sezione di P.te Bottego, si è proceduto al confronto, per un evento di piena significativo, tra il volume transitato nella sezione di misura ed il volume del solido di pioggia sul bacino.

A questo scopo si è scelto l'evento del 15 Ottobre 2002, per il quale era disponibile un numero adeguato di misure registrate da pluviometri e da pluviografi. Il volume complessivo di pioggia è stato calcolato attraverso il metodo dei topoieti. Nella Figura 2.5 è riportato il tracciamento dei topoieti, mentre nella Tabella 2.4 sono riportate, per ogni stazione, l'altezza di pioggia, l'area di competenza, il peso relativo ed il volume di pioggia.

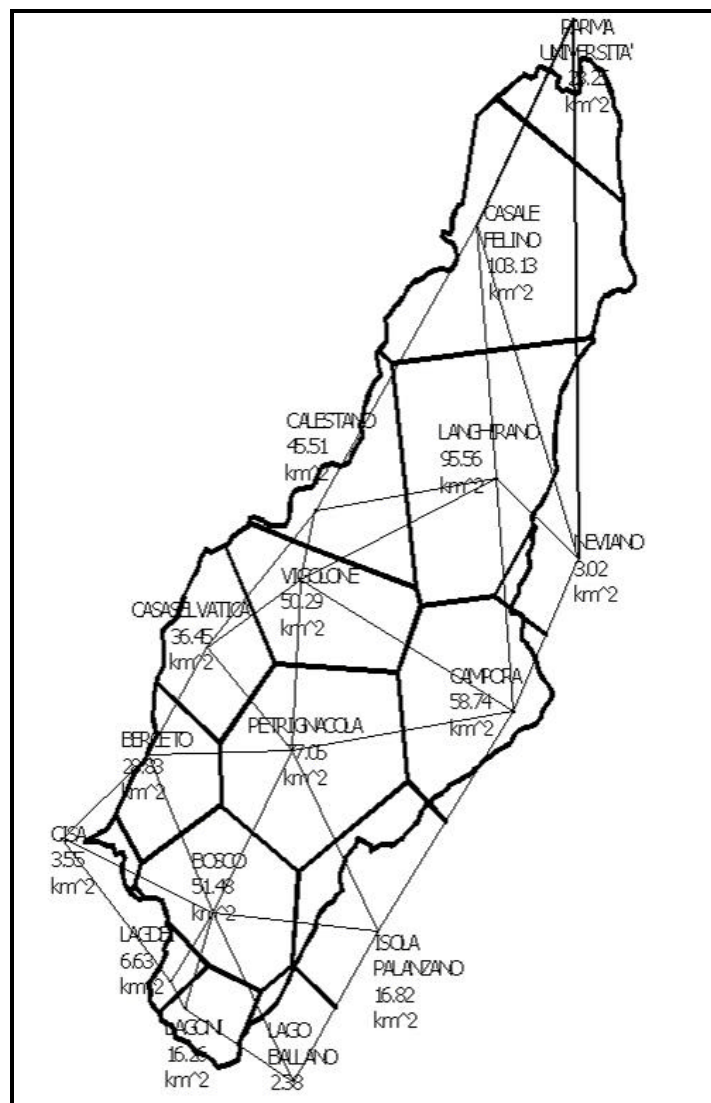


Figura 2.5 – Tracciamento dei topoi per le stazioni funzionanti durante l'evento del 15/10/2002

Il volume complessivo di pioggia risulta di 64496485 m^3 corrispondente ad una pioggia netta uniformemente distribuita sul bacino di 104 mm .

Si sono poi convertiti, per il medesimo evento, i livelli idrometrici registrati a Ponte Bottego con la scala di deflusso ricavata dal modello matematico. Si è così ottenuto un andamento dell'idrogramma di piena dal quale, per integrazione, si è calcolato il volume complessivo transitato nella sezione, pari a 25163811 m^3 .

Il coefficiente di deflusso medio dell'evento risulta pertanto:

$$j = \frac{\text{Volume transitato}}{\text{Volume di pioggia}} = 0.48$$

Denominazione Stazione	Altezza di pioggia (mm)	Area (km ²)	Peso (-)	Volume (m ³)
Pr Università	52	22.25	0.04	1157000
Casale Felino	75.6	103.13	0.17	7796628
Langhirano	86.2	95.56	0.15	8237272
Neviano	75.4	3.02	0.00	227708
Calestano	110.6	45.51	0.07	5033406
Vigolone	11.7	50.29	0.08	588393
Casaselvatica	153.6	36.45	0.06	5598720
Petrignacola	114	77.05	0.12	8783700
Campora	77.8	58.74	0.10	4569972
Berceto	140.4	28.83	0.05	4047732
Isola Palanzano	112.8	16.82	0.03	1897296
Cisa	80.2	3.55	0.01	284710
Lagdei	242.4	6.63	0.01	1607112
Lagoni	239.6	16.26	0.03	3895896
Lago Ballano	189	2.38	0.00	449820
Bosco	200.8	51.4	0.08	10321120
Totale		617.87	1.00	64496485

Tabella 2.4 – Altezze di pioggia, aree di competenza, pesi relativi e volumi di pioggia per le stazioni funzionanti durante l'evento del 15/10/2002

Considerato che l'evento è caratterizzato da uno scroscio molto intenso e isolato, non preceduto da altre piogge che avrebbero contribuito a saturare il bacino riducendo la sua capacità di infiltrazione, il valore calcolato del coefficiente di deflusso j appare congruo. L'adozione della scala di deflusso ottenuta attraverso il modello matematico conduce quindi a stimare dei valori di portata ragionevoli. E' comunque il caso di sottolineare che una procedura indiretta di questo tipo non consente di giungere a valutazioni quantitative, ma solo di verificare che non si ottengano risultati palesemente assurdi, come ad esempio coefficienti di deflusso eccessivamente modesti, oppure molto prossimi o addirittura superiori all'unità.

2.2 *Baganza a Ponte Nuovo*

Per la stazione idrometrografica di Ponte Nuovo, sul torrente Baganza, non è mai stata pubblicata alcuna scala di deflusso, né risultano essere state effettuate misure contemporanee di livello e velocità.

In analogia con quanto effettuato per la stazione di Ponte Bottego sul torrente Parma, si è allora ricavata la scala delle portate dell'idrometrografo di Ponte Nuovo attraverso il modello matematico. Lo zero idrometrico risulta essere posto a 58.895 *m s.l.m.*.

Confrontando le caratteristiche fisiche (pendenza, granulometria media) del torrente Parma nel tratto cittadino con quelle del torrente Baganza compreso tra la sezione di misura e la confluenza, si è deciso di attribuire a quest'ultimo un coefficiente di scabrezza $c=30 \text{ m}^{1/3}/s$ (Gauckler-Strickler).

L'idrometro registratore è posto circa 110 *m* a monte del Ponte Nuovo e 610 *m* a monte della confluenza con il torrente Parma (Tabella 2.3). Queste distanze non permettono di escludere a priori che un eventuale rigurgito del Parma sia in grado di influenzare i livelli nella sezione dello strumento³.

Per verificare in quali condizioni si può manifestare un rigurgito, si è effettuata una serie di simulazioni mediante il modello matematico. Nel torrente Baganza è stata imposta, come condizione al contorno di monte, una portata costante pari a 10 m^3/s , mentre nel torrente Parma, a monte della confluenza, è stata assegnata una portata linearmente crescente. In Figura 2.6 è raffigurato l'andamento delle quote idrometriche nella sezione in cui è collocato l'idrometrografo al variare della portata proveniente dal torrente Parma.

Dal grafico si evidenzia che la misura all'idrometrografo inizia ad essere influenzata dal rigurgito per una $Q_{\text{Parma}} > 700 \text{ m}^3/s$. Il rigurgito raggiunge i 20 *cm* per una portata proveniente dal Parma di circa 1000 m^3/s .

³ Il rigurgito potrebbe più probabilmente manifestarsi per bassi valori di portata in Baganza contemporanei ad elevate portate in Parma.

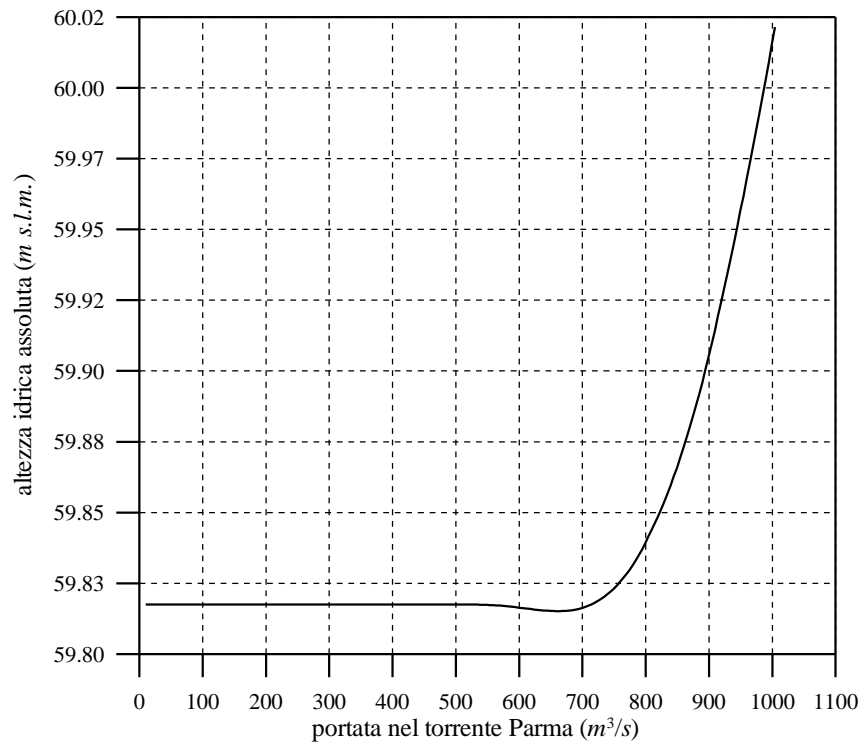


Figura 2.6 - Quota idrica all'idrometrografo di Ponte Nuovo con $Q_{Baganza}=10 \text{ m}^3/\text{s}$ al variare della portata in Parma a monte della confluenza.

Un'analoga simulazione con $Q_{Baganza}=500 \text{ m}^3/\text{s}$ costante mostra (Figura 2.7) come la misura all'idrometrografo non sia praticamente mai influenzata dalla portata contemporaneamente transitante in Parma: le differenze sono contenute in 3-4 cm.

Verificata la possibilità di un potenziale rigurgito, si è proceduto ad un'altra serie di simulazioni, finalizzate ad ottenere una scala di deflusso alla sezione dell'idrometrografo per ogni valore di portata contemporaneamente transitante in Parma. Le condizioni al contorno imposte per ognuna di queste simulazioni sono quindi state:

- in Parma a monte della confluenza una Q_{Parma} costante;
- In Baganza una portata linearmente crescente: $Q_{Baganza}(t) = \frac{(20 \text{ m}^3 / \text{s})}{1 \text{ ora}} \cdot (t)$

In questo modo si sono ottenute le scale di deflusso rappresentate in Figura 2.8.

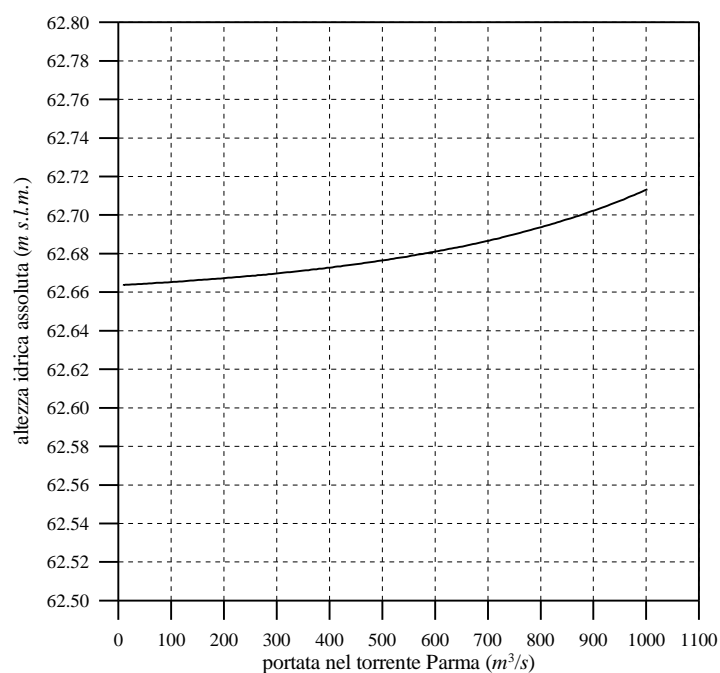


Figura 2.7 - Quota idrica all'idrometrografo di Ponte Nuovo con $Q_{Baganza}=500 \text{ m}^3/\text{s}$ al variare della portata in Parma a monte della confluenza.

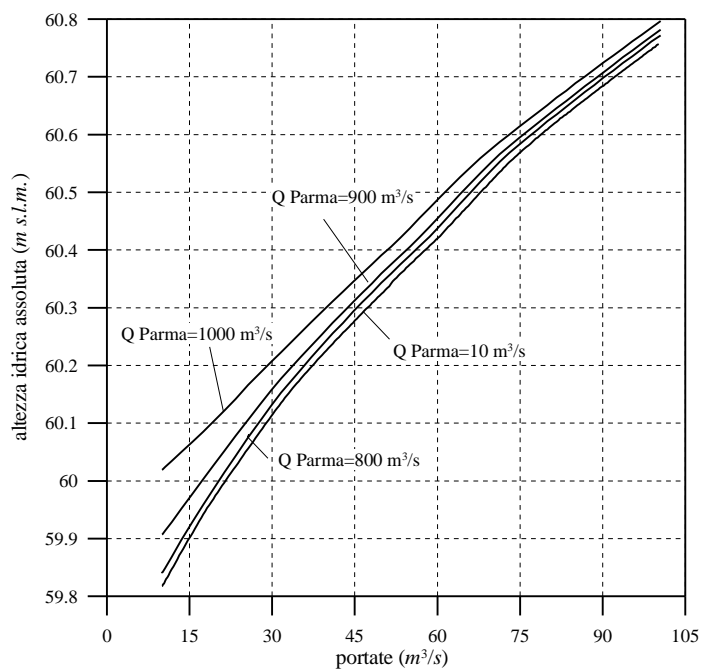


Figura 2.8 - Scale di deflusso per la sezione di P.te Nuovo con differenti portate transitive in Parma a monte della confluenza.

Dalla Figura 2.8 si può osservare come le varie scale di deflusso confluiscono praticamente in un'unica scala al crescere della portata in Baganza. In particolare, quando la $Q_{Baganza} > 350 \text{ m}^3/\text{s}$ il rigurgito della scala ottenuta con $Q_{Parma} = 1000 \text{ m}^3/\text{s}$ è attorno ai 2 cm, dunque trascurabile. Quindi il problema del rigurgito è presente soltanto quando sono verificate contemporaneamente le due seguenti condizioni:

$$Q_{Parma} > 750 \text{ m}^3/\text{s} \text{ e } Q_{Baganza} < 350 \text{ m}^3/\text{s} \quad (2.1)$$

Al di fuori da queste condizioni la scala di deflusso all'idrometrografo di Ponte Nuovo si può considerare unica, ed è riportata in Figura 2.9.

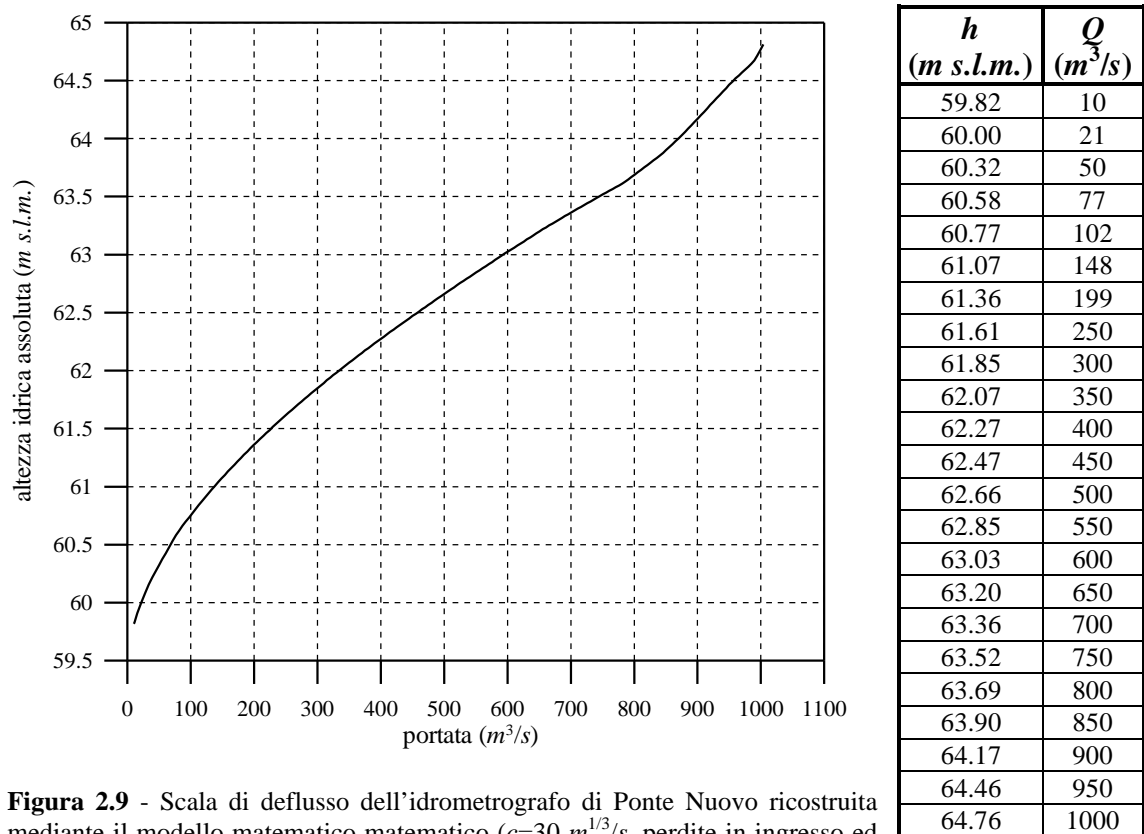


Figura 2.9 - Scala di deflusso dell'idrometrografo di Ponte Nuovo ricostruita mediante il modello matematico matematico ($c=30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, perdite in ingresso ed in uscita dai ponti rispettivamente pari a 0.25 e $0.5 \text{ v}^2/2g$).

2.2.1 Valutazione della portata transitante in Baganza in caso di rigurgito dal torrente Parma.

Per convertire i livelli registrati all'idrometrografo di Ponte Nuovo in portate nei casi in cui è presente il fenomeno del rigurgito, è necessario conoscere la portata

contemporaneamente transitante in Parma a monte della confluenza, ed adottare la scala di deflusso del Baganza valida per quel valore di portata. Recentemente è stato installato un teleidrometro a ultrasuoni su Ponte Dattaro adatto a questo scopo; ma fino ad oggi non è stata pubblicata alcuna scala di deflusso per questo strumento. Rimane comunque il problema di convertire i dati di livello storici all'idrometrografo di Ponte Nuovo, non conoscendo la portata in Parma a monte delle confluenze.

Per risolvere questo problema si può procedere in maniera iterativa: supponendo nota la portata a Ponte Bottego (quindi dopo la confluenza Parma-Baganza) si ritiene, inizialmente, che questo valore di portata provenga tutto dal torrente Parma a monte della confluenza (Ponte Dattaro):

$$Q_{Dattaro}^1 = Q_{Bottego}$$

Si procede poi a calcolare la portata transitante in Baganza utilizzando la registrazione idrometrografica e la scala valida per quel valore di portata a Ponte Dattaro:

$$Q_{Baganza}^1 = f(h_{Baganza}, Q_{Dattaro}^1)$$

Noto un primo valore di portata in Baganza, lo si sottrae alla portata a Ponte Bottego ottenendo così un secondo valore di portata a Ponte Dattaro:

$$Q_{Dattaro}^2 = Q_{Bottego} - Q_{Baganza}^1$$

È così possibile ricalcolare la portata transitante in Baganza con la scala valida per la nuova portata in Parma prima della confluenza. Questo procedimento iterativo ha termine quando la differenza fra le due successive portate del Baganza è inferiore ad un certo valore di tolleranza:

$$|Q_{Baganza}^{i+1} - Q_{Baganza}^i| < tolleranza .$$

Questo procedimento iterativo è necessario soltanto quando sono verificate le due condizioni (2.1) per cui è presente il fenomeno del rigurgito. Analizzando i dati storici raccolti per le elaborazioni, risulta che queste due condizioni non sono mai verificate contemporaneamente. Allo scopo di convertire i livelli all'idrometrografo di Ponte Nuovo nelle portate transittanti in Baganza è dunque sufficiente utilizzare la scala del Baganza non rigurgitato riportata in Figura 2.9.

2.2.2 Considerazioni sul teleidrometro recentemente installato a Ponte Nuovo.

Recentemente è stato installato sul torrente Baganza, sul Ponte Nuovo, un teleidrometro. Questo strumento risulta maggiormente soggetto al rischio del rigurgito dal Parma. Procedendo in maniera analoga a quanto riportato nel paragrafo precedente per l'idrometrografo registratore (che è posto circa 110 m più a monte) si è costruita la Figura 2.10. Da essa si nota che per una portata $Q_{Baganza} = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ il rigurgito inizia già per una $Q_{Parma} = 400 \text{ m}^3/\text{s}$.

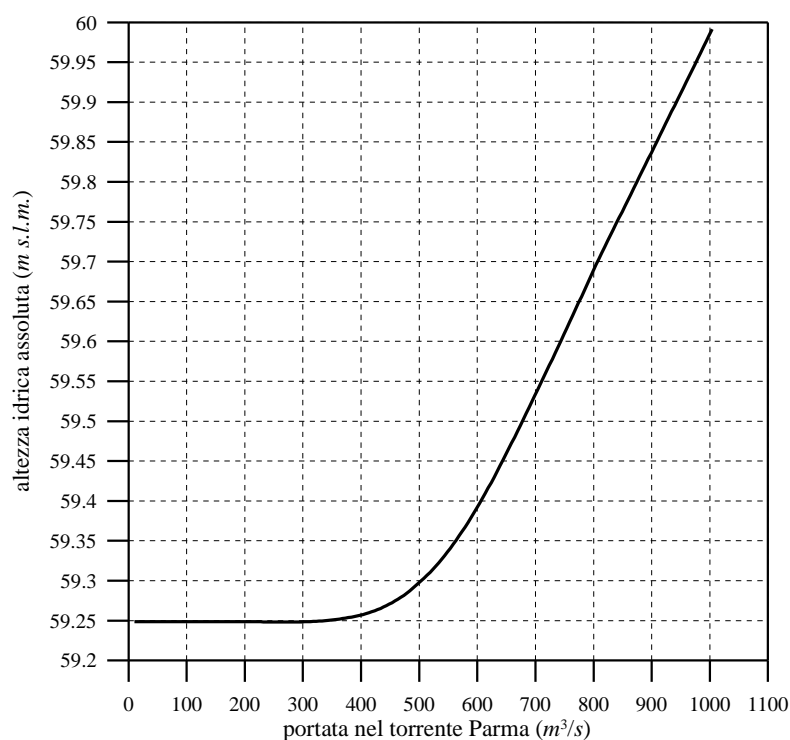


Figura 2.10 - Altezza idrica al teleidrometro in funzione della portata transitante in Parma ($Q_{Baganza} = 10 \text{ m}^3/\text{s}$).

Quindi, se si fossero dovuti convertire i dati di livello registrati al teleidrometro si sarebbe dovuta applicare, per certo numero di eventi o per un certo numero di istanti di tempo, la procedura iterativa esposta al paragrafo precedente.

Non si sono comunque elaborate scale di deflusso per questa sezione poiché si è scelto di utilizzare unicamente i dati registrati dall'idrometrografo a penna.

3. DEFINIZIONE DEGLI IDROGRAMMI SINTETICI PER LE STAZIONI STRUMENTATE

Nel presente capitolo sono esposte le procedure e riportati i risultati delle elaborazioni statistiche sui campioni delle onde di piena storiche allo scopo di elaborare le onde di piena sintetiche in corrispondenza delle sezioni di misura di P.te Bottego, sul torrente Parma, e di P.te Nuovo, sul torrente del Baganza.

3.1 *Dati utilizzati*

3.1.1 *Stazione idrometrografica di Ponte Bottego*

Per la stazione idrometrografica di P.te Bottego sono state digitalizzate le onde registrate nel periodo 1956-2002, estraendo un totale di 66 eventi. Per gli anni dal 1960 al 1963 e dal 1994 al 2002 si sono utilizzati gli idrogrammi di livelloi già digitalizzati forniti dalla sezione di Parma dell'Ufficio Idrografico del Magistrato del Po. Tali informazioni sono state utilizzate per integrare eventuali mancanze nei dati registrati dall'idrometrografo.

Si è poi proceduto, attraverso un programma approntato ad hoc, alla conversione dei livelli idrici in portata sulla base della scala di deflusso dedotta dal modello matematico (cfr.Capitolo 2), in quanto si sono ritenute di scarsa attendibilità le scale di deflusso pubblicate sulla Parte II degli Annali Idrologici per gli anni dal 1956 al 1977.

Per completezza, nonché per una semplice ed immediata consultazione, si allegano in APPENDICE B i grafici che riportano, per ogni evento studiato, gli idrogrammi di piena derivanti dalla conversione in portata delle registrazioni delle altezze idrometriche.

3.1.2 *Ricostruzione dell'evento di piena del ottobre 1980 a Ponte Bottego*

L'evento di piena del 1980 appare, sulla base di una serie di informazioni

indirette, il maggiore di tutta la serie storica analizzata. Esso infatti provocò la chiusura al traffico di molti ponti, la tracimazione delle acque in sponda destra nel tratto a valle di Parma ed alcuni allagamenti a causa del rigurgito della rete idraulica minore (Cavo Abbeveratoio e zone della bassa pianura). Fu in questa occasione che l'idrometrografo di P.te Bottego venne divelto e non esiste di conseguenza alcuna registrazione continua di livello. Le tracce lasciate dalla corrente, corrispondenti ad una quota idrometrica di 5,20 m nella sezione dell'idrometrografo, portano a stimare, in base alla scala di deflusso dedotta dal modello matematico, una portata al colmo pari a $1162 \text{ m}^3/\text{s}$.

Per queste ragioni si è ritenuto necessario ricostruire l'evento ed utilizzare questa ricostruzione nelle elaborazioni statistiche successive. L'onda di piena, rappresentata in Figura 3.1, è stata ricavata attraverso un modello afflussi-deflussi tarato in una precedente tesi di laurea¹. Il valore di portata al colmo sembra compatibile con quello dedotto dalla scala di deflusso sulla base delle tracce di piena.

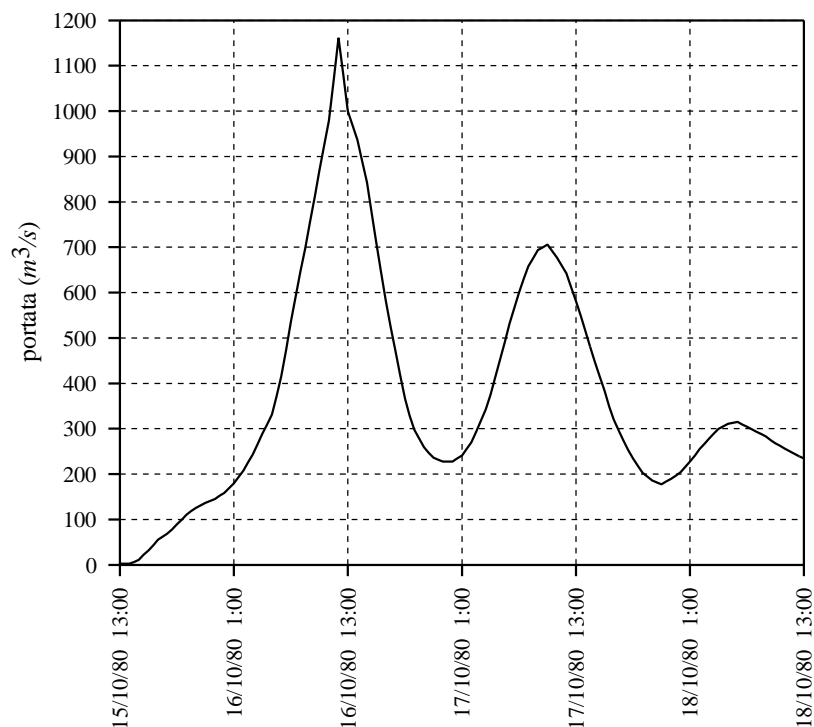


Figura 3.1 - Onda di piena ricostruita a P.te Bottego per l'evento del 1980.

¹ Università degli Studi di Parma, tesi di laurea: "Modello idrologico-idraulico dei Torrenti Parma e Baganza", autore Susanna Galloni, relatore Prof. Paolo Mignosa, a.a. 1994-95.

3.1.3 *Stazione idrometrografica di Ponte Nuovo*

Per la stazione idrometrografica di P.te Nuovo sono state digitalizzate le onde registrate nel periodo 1975-2002, estraendo un totale di 34 eventi. Gli eventi digitalizzati in termini di livello corrispondono nella maggior parte dei casi a quelli registrati a P.te Bottego, con alcune differenze; infatti si sono ricercate anche le massime onde di piena in termini di volumi.

La scala di deflusso per la sezione di P.te Nuovo è stata ricostruita attraverso il modello matematico (cfr. Capitolo 2). Per la conversione dei livelli in portate si è approntato un programma ad hoc che controlla, istante per istante, che il livello idrometrico registrato in tale stazione non sia eventualmente influenzato dal rigurgito del torrente Parma.

Per completezza, nonché per una semplice ed immediata consultazione, si allegano in APPENDICE B i grafici che riportano, per ogni evento studiato, gli idrogrammi di piena derivanti dalla conversione in portata delle registrazioni delle altezze idrometriche.

3.1.4 *Verifica attendibilità dei dati.*

Al fine di controllare l'attendibilità delle onde di portata ottenute, si è verificato, per gli eventi registrati da entrambi gli strumenti, che i volumi complessivi transitati nella sezione di P.te Nuovo fossero minori di quelli transitati a P.te Bottego. Tale verifica non ha avuto esito positivo per i seguenti eventi:

- 26 aprile 1986
- 11 febbraio 1988
- 24 febbraio 1989
- 15 ottobre 1990
- 2 maggio 1991

Ciò è palesemente assurdo in quanto a Ponte Bottego contribuiscono sia le portate provenienti dal Baganza che quelle provenienti dal Parma a monte della confluenza.

Si sono allora ricalcolati i volumi transitati a P.te Bottego utilizzando la scala di deflusso pubblicata sugli Annali Idrologici, al posto di quella dedotta dal modello matematico, ma anche in questo caso la verifica non ha dato esito positivo.

Per verificare l'influenza di questi eventi sulle elaborazioni statistiche riportate nel seguito, si è proceduto alla costruzione delle onde sintetiche per la stazione di P.te Bottego sia includendoli che escludendoli dal campione di dati. I risultati non hanno mostrato differenze sostanziali. La medesima verifica non è stata condotta per la sezione di Ponte Nuovo poiché, eliminando 5venti su 34, la numerosità del campione si riduce eccessivamente.

Alla luce di questi accertamenti, ma soprattutto nell'impossibilità di stabilire se siano errati i dati di Ponte Bottego, quelli di Ponte Nuovo o entrambi, si è deciso di utilizzare tutti gli eventi nelle elaborazioni.

3.2 *Metodologia di elaborazione dei dati*

Per ricavare l'informazione necessaria all'individuazione di un idrogramma di progetto di assegnato tempo di ritorno a partire dall'analisi delle onde di piena storiche è possibile procedere in differenti modi (Ballarin et al., 2001).

La procedura più conveniente si basa sull'elaborazione statistica delle massime portate medie in assegnata durata D

$$\bar{Q}_D = \max \left(\frac{1}{D} \int_{t-D}^D Q(t) dt \right) \quad (3.1)$$

dove il massimo è calcolato rispetto a tutte le possibili finestre temporali $(t-D, t)$ di ampiezza D contenute nel generico idrogramma di piena. Per ciascun idrogramma di piena viene calcolato il valore massimo assunto dalla portata media per n durate prefissate. Si ottengono così n serie di portate composte ciascuna da un numero di dati pari al numero di eventi.

La scelta delle durate D deve essere fatta in base ad un'analisi preliminare della durata della porzione più significativa degli idrogrammi di piena storici. Le onde di piena del sistema Parma - Baganza presentano una durata significativa degli eventi che,

nella maggior parte dei casi, non supera 1 o 2 giorni. Sono comunque presenti tra i dati utilizzati per l'elaborazione onde di durata più lunga.

Nelle elaborazioni successive sono state giudicate significative, per calcolo del valore massimo assunto dalla portata media, le durate pari a 0, 0.5, 1, 2, fino a 72 ore, con intervalli di un'ora, per un totale di 74 valori.

In Figura 3.2 è rappresentata, a scopo esemplificativo, la metodologia adottata per estrarre la portata media di assegnata durata da un evento generico, per il particolare caso $D=16$ ore.

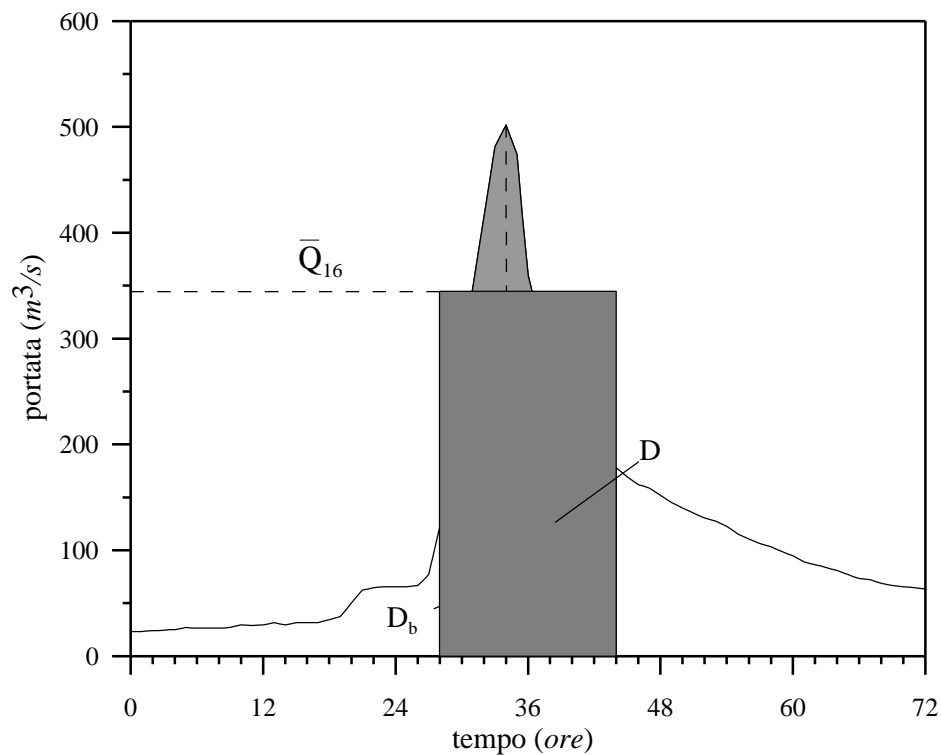


Figura 3.2 - Esempio di estrazione della portata media in assegnate durate e della posizione del picco r .

Le aree tratteggiate (di cui quella a tratteggio incrociato è comune) sono ovviamente uguali, per definizione di media. La massima portata media è indicata sull'asse delle ordinate con \bar{Q}_{16} . Per ciascuna durata viene anche calcolata la posizione r assunta dal picco ($0 \leq r \leq 1$), definita come rapporto tra la frazione della finestra temporale che precede il picco (D_b) e l'intera durata considerata (D). Questo

parametro, come si vedrà, è di fondamentale importanza nella determinazione della forma dell'onda sintetica.

Per ogni evento e per ciascuna durata sono quindi state estratte due informazioni: la massima portata media e la posizione del picco r . Complessivamente sono stati estratti ($n_{eventi} \cdot n_{durate}$) valori di portata e lo stesso numero di posizioni del picco r .

3.2.1 Determinazione delle curve di riduzione dei colmi di piena

Lo scopo delle elaborazioni statistiche è la determinazione della legge $\bar{Q}_D = \bar{Q}_D(T)$, che esprime l'equazione della cosiddetta curva di riduzione dei colmi di piena di assegnato tempo di ritorno, dalla quale possono poi essere ricavati gli idrogrammi di riferimento in corrispondenza dei tempi di ritorno di interesse.

Tale curva – analoga alla curva *IDF* (Intensità-Durata-Frequenza) per le precipitazioni – rappresenta la relazione che lega la portata media \bar{Q}_D alla corrispondente durata D , fissato il generico valore del tempo di ritorno T .

Se i coefficienti di variazione $CV = s(\bar{Q}_D)/m(\bar{Q}_D)$ dei campioni risultano poco variabili con la durata D ciascun elemento – una volta normalizzato rispetto alla media del campione di appartenenza – può essere considerato estratto dalla popolazione dell'unica variabile casuale $Q^* = \bar{Q}_D/m(\bar{Q}_D)$, avendo trascurato l'influenza dei momenti di ordine superiore al secondo.

Le serie corrispondenti alle diverse durate possono in questo caso essere normalizzate rispetto al valor medio e raggruppate a formare in unico campione della variabile Q^* di numerosità pari al prodotto del numero di durate considerate nell'analisi e della numerosità di ciascuna serie storica.

In tal modo la curva di riduzione dei colmi di piena viene ricavata adattando all'unico campione della variabile adimensionale Q^* una funzione di probabilità, stimando la quantità $Q^*(T)$ e moltiplicando tale valore per la media $m(\bar{Q}_D)$ stimata in base ai valori medi campionari delle serie storiche relative alle diverse durate:

$$\bar{Q}_D(T) = Q^*(T) m(\bar{Q}_D) \quad (3.2)$$

Questo modo di procedere garantisce un andamento assai regolare alla curva di riduzione, dato che la dipendenza dalla durata D è contenuta solo nel coefficiente $m(\bar{Q}_D)$ che varia in modo graduale con la durata; inoltre, poiché $m(\bar{Q}_D)$ è decrescente con la durata, la (3.2) assicura che la curva di riduzione risulti monotona decrescente². Per determinare la curva di riduzione dei colmi di piena nel presente caso si è adottata una procedura indiretta in quanto la metodologia prima descritta si è rivelata inadeguata. Infatti fra gli eventi presi in considerazione quello del 16 ottobre 1980 compare solo nel campione relativo alle portate di picco³, in quanto l'idrometrografo non è stato in grado di registrare l'evento perché distrutto dalla violenza della piena. Elaborando le curve di riduzione inserendo anche il valore del picco dell'evento dell'80 si ottengono valori di $m(\bar{Q}_D)$ falsati (cioè più piccoli) per tutte le durate diverse da zero, poiché per queste non è disponibile il dato del 1980, che è anche il massimo.

Per la stima indiretta della curva di riduzione delle portate medie, nel calcolo della quale non si è tenuto conto dell'evento del 1980, è allora conveniente, seguendo l'impostazione proposta dal *NERC* (1975), porre in relazione i quantili $\bar{Q}_D(T)$ con quelli della portata al colmo $Q_0(T)$ per mezzo del rapporto di riduzione $e_D(T)$:

$$e_D(T) = \frac{\bar{Q}_D(T)}{Q_0(T)} \quad (3.3)$$

In generale il rapporto di riduzione dipende dalla durata D , dal tempo di ritorno T e da un insieme di parametri rappresentativi delle caratteristiche del bacino idrografico che influenzano il fenomeno di piena. L'opportunità della posizione (3.3) è dovuta alla circostanza che numerosi studi, a partire proprio da quello condotto dal *NERC*, hanno

² Elaborando separatamente i campioni corrispondenti alle diverse durate può accadere, se i valori delle durate sono sufficientemente vicini, che le distribuzioni di probabilità i cui parametri sono stati tarati sulla base dei singoli campioni (e che quindi sono stati ottenuti considerando oltre alla media anche i momenti di ordine superiore dei campioni) per tempi di ritorno sufficientemente elevati forniscano in corrispondenza di qualche durata un valore della massima portata media più bassa di quella di durata maggiore. A questa condizione, ammettendo che le funzioni di probabilità adattate ai singoli campioni siano tutte dello stesso tipo, corrisponderebbe l'intersezione nella carta probabilistica di due (o più di due) delle rette che rappresentano tali distribuzioni.

³ Il valore di portata di picco è stato valutato sulla base delle tracce lasciate dalla piena.

evidenziato che i rapporti di riduzione dedotti sulla base dell'analisi statistica delle osservazioni idrometriche risultano praticamente indipendenti dal tempo di ritorno T .

In effetti l'ipotesi di base comune a tutte le formulazioni presentate in letteratura per il rapporto di riduzione è che esso possa essere considerato indipendente dal tempo di ritorno, cosa che si verifica se (trascurando l'influenza dei momenti di ordine superiore al secondo) il coefficiente di variazione $CV(\bar{Q}_D)$ e la funzione di distribuzione di \bar{Q}_D si mantengono costanti al variare della durata D .

Sotto queste ipotesi, che sono verificate con approssimazione accettabile nella gran parte dei casi, e_D si riduce al rapporto tra le medie di \bar{Q}_D e Q_0 :

$$e_D = \frac{m(\bar{Q}_D)}{m(Q_0)} \quad (3.4)$$

Tra i vari approcci proposti in letteratura per l'identificazione della forma della legge di riduzione (3.4) è stato adottato quello proposto da Bacchi et al. (1992). Da questa impostazione si ricava per il rapporto di riduzione l'espressione:

$$e_D = \sqrt{\frac{q}{2D} \left[2 + e^{-\frac{4D}{q}} - \frac{3q}{4D} \left(1 - e^{-\frac{4D}{q}} \right) \right]} \quad (3.5)$$

in cui il parametro temporale q viene dedotto attraverso una interpolazione ai minimi quadrati. Una volta ricavato l'andamento di e_D , l'equazione della curva di riduzione dei colmi di piena risulta essere:

$$\bar{Q}_D(T) = Q_0(T) e_D \quad (3.6)$$

e richiede quindi la determinazione della distribuzione di probabilità della portata al colmo $Q_0(T)$.

3.2.2 Analisi statistica delle portate al colmo

Per l'elaborazione statistica dei campioni delle portate al colmo Q_0 sono stati considerati inizialmente tre diversi modelli probabilistici tra i più usati nelle valutazioni

idrologiche di questo tipo: la distribuzione di Gumbel, la distribuzione GEV e la distribuzione Lognormale. Le principali caratteristiche di queste distribuzioni sono riportate in APPENDICE C.

La scelta della distribuzione da utilizzare dipende anche dal numero di osservazioni disponibili. Se il numero di osservazioni è modesto conviene servirsi di una distribuzione di probabilità caratterizzata da un numero di parametri non elevato, massimo due parametri (Moisello, 1998). Se si ricorre, per esempio, al metodo dei momenti per la stima dei parametri, ai momenti della distribuzione si sostituiscono gli stimatori, costituiti dai momenti calcolati dal campione delle osservazioni disponibili (momenti campionari). Alla media della distribuzione, $\mu(x)$, si sostituisce la media campionaria $m(x)$, e allo scarto, $\sigma(x)$, si sostituisce lo scarto campionario $s(x)$, e così via. Aumentando il numero dei parametri cresce l'ordine dei momenti da stimare e questo comporta, se si lavora con un campione di dimensioni ridotte, una precisione inferiore nella stima. La ragione principale di questo è che la varianza della stima del momento di un dato ordine di una distribuzione è tanto maggiore quanto più è elevato l'ordine del momento (Moisello, 1998).

Uno stesso campione può risultare descrivibile ugualmente bene da più di una distribuzione di probabilità: in questi casi, volendo operare scelte oggettive, si può ricorrere ad un test di adattamento, quale, per esempio, il test di Hosking.

L'attitudine di un dato tipo di legge probabilistica ad interpretare i dati disponibili si può valutare riportando le singole osservazioni su carte speciali, dette carte probabilistiche, nelle quali l'asse delle probabilità di non superamento è deformato in modo tale che la distribuzione per la quale la carta è stata predisposta sia rappresentata da una retta. Per costruire questa carta è necessario trasformare, attraverso un'espressione non lineare, la variabile casuale in una variabile ridotta (o standardizzata) y , funzione biunivoca della probabilità di non superamento.

Assumendo che la frequenza cumulata sia una buona approssimazione della probabilità di non superamento, la posizione di ogni valore del campione sulla carta probabilistica è definita dalla coppia di coordinate $[x, F(x)]$, dove x è il valore osservato

e $F(x)$ la corrispondente probabilità di non superamento. L'espressione di $F(x)$ adottata in questo studio è quella di Weibull:

$$F(x_i) = \frac{i}{N_c + 1} \quad (3.7)$$

dove i e N_c indicano rispettivamente la frequenza cumulata assoluta del generico valore osservato e la dimensione del campione.

Una volta attribuita alla probabilità di non superamento di un dato valore del campione la relativa frequenza cumulata, è possibile risalire al valore della variabile ridotta y corrispondente a ciascun valore osservato, invertendo la funzione di probabilità e considerando $F(x)$ in luogo di $P(y)$ incognito.

Per verificare se la distribuzione è adatta a rappresentare il campione di dati in esame, è necessario riportare sulla carta probabilistica anche le osservazioni, disponendo le portate in assegnata durata sull'asse delle ascisse, in ordine crescente.

A questo punto, la distribuzione di probabilità bene interpreta le osservazioni se queste ultime si allineano sulla retta teorica; di conseguenza la distribuzione più adatta a descrivere le osservazioni è quella a cui corrisponde un allineamento migliore in base al semplice confronto dei grafici.

Una volta stimati i parametri della distribuzione di probabilità è utile introdurre il concetto di tempo di ritorno T del valore x della variabile casuale X : esso viene definito come l'intervallo di tempo che intercorre mediamente fra due eventi consecutivi nei quali il valore x viene uguagliato o superato. In altri termini il tempo di ritorno rappresenta un indicatore del grado di rarità di un evento. In genere il tempo di ritorno viene espresso in anni. E' così possibile, nel caso in esame, individuare il valore della portata Q che può essere mediamente superato una volta ogni T anni. Tale valore è perciò quello con probabilità di non superamento:

$$P(Q) = 1 - \frac{1}{T} \quad (3.8)$$

Invertendo, per le distribuzioni che lo consentono, la $P(Q)$, si ottiene la variabile Q in funzione del tempo di ritorno $Q=Q(T)$.

La distribuzione Lognormale presenta una funzione di probabilità cumulata non invertibile: con tale distribuzione occorre servirsi dei valori di $P(Q)$ tabulati in tutti i testi di statistica o idrologia, oppure ricorrere ad inversioni numeriche approssimate.

Per l'analisi statistica delle portate al colmo Q_0 si è utilizzata la distribuzione GEV:

$$P(x) = \exp \left\{ - \left[1 - \frac{k(x - \mathbf{x})}{\mathbf{a}} \right]^{\frac{1}{k}} \right\} \quad (3.9)$$

poiché l'analisi delle carte probabilistiche (APPENDICE E) ha messo in luce una buona e sostanziale corrispondenza fra le curve teoriche ed i valori osservati. Sulle carte probabilistiche è riportato con simbolo differente, per ciascuna durata, anche il punto relativo all'evento dell'Ottobre 1980, ricostruito attraverso una modellazione afflussi deflussi (par. 3.1.2).

3.2.3 *Posizione del picco*

Come si è già accennato, per ricostruire la forma dell'onda di piena è necessario ricavare dagli idrogrammi di piena storici l'informazione sulla posizione r che la portata al colmo assume all'interno della finestra temporale che contiene il valore massimo delle portate medie di assegnata durata.

Per come è stato definito, il valore della posizione del picco r può variare tra 0 e 1. In particolare assume il valore 0 se il picco cade all'inizio della finestra temporale considerata mentre assume valore 1 se il picco cade alla fine della finestra temporale.

Si hanno così a disposizione tante serie temporali di posizione del picco quante sono le durate analizzate. Ai fini della ricostruzione dell'onda di piena è stato calcolato il valore medio di ogni serie.

Per ottenere una forma il più possibile regolare dell'onda sintetica i punti (D, r) , ottenuti con la procedura sopra descritta, sono stati interpolati, sia per la stazione di P.te Bottego che per la stazione di P.te Nuovo con una funzione del tipo:

$$r_D(D) = a + \frac{b}{c + (D)^d} \quad (3.10)$$

I valori delle quattro costanti a, b, c, d , sono stati determinati con il metodo dei minimi quadrati.

3.2.4 Costruzione dell'idrogramma sintetico

La costruzione dell'idrogramma sintetico si effettua imponendo che la massima portata media in ciascuna durata coincida con quella prevista dalla curva di riduzione dei colmi di piena; la forma dell'idrogramma è determinata dal coefficiente esprime la posizione del picco r . L'idrogramma sintetico è dunque definito dalle condizioni:

$$\int_{-r_D D}^0 Q(t; T) dt = r_D \bar{Q}_D(T) D; \quad \int_0^{(1-r_D)D} Q(t; T) dt = (1-r_D) \bar{Q}_D(T) D \quad (3.11)$$

le espressioni dei due rami dell'idrogramma $Q(t; T)$ prima e dopo il colmo si ottengono differenziando le Eq.ni (3.11) rispetto alla durata D :

$$Q(t; T) = \frac{\frac{d}{dD} (r_D \bar{Q}_D(T) D) \Big|_{D=D(t)}}{\frac{d}{dD} (r_D D) \Big|_{D=D(t)}}, t = -r_D D \quad (-r_{D_f} D_f \leq t \leq 0) \quad (3.12a)$$

$$Q(t; T) = \frac{\frac{d}{dD} ((1-r_D) \bar{Q}_D(T) D) \Big|_{D=D(t)}}{\frac{d}{dD} ((1-r_D) D) \Big|_{D=D(t)}}, t = (1-r_D) D \quad (0 \leq t \leq (1-r_{D_f}) D_f) \quad (3.12b)$$

3.3 Stazione idrometrografica di P.te Bottego

Le serie storiche dei valori massimi annuali delle portate medie in assegnata durata e della posizione del picco r sono riportate, per alcune durate significative, in APPENDICE D.

Si è proceduto dapprima a verificare la costanza del coefficiente di variazione CV con la durata D ; come risulta dalla Figura 3.3, CV presenta variazioni contenute nell'intervallo 0.52-0.63, sicché l'ipotesi $CV(D) = cost$ si può ritenere verificata con buona approssimazione, ma tale condizione non è stata sufficiente per procedere ad accorpare le serie storiche normalizzate rispetto al valor medio in un unico campione della variabile dimensionale Q^* , secondo la procedura descritta nel paragrafo 3.2.1.

Nella Tabella 3.1 sono riportati i parametri delle distribuzioni di Gumbel, GEV e Lognormale per alcune delle durate considerate. Nella stessa Tabella è anche riportato il risultato del test sul parametro di forma della GEV (Hosking, 1985) eseguito adottando un livello di significatività pari al 5%; il test, eseguito a partire dalla stima del parametro di forma k della GEV sull'ipotesi $k=0$, permette di giustificare l'utilizzo della distribuzione di Gumbel in luogo della GEV nei casi in cui k non assuma valori significativamente diversi da zero (per $k=0$ la GEV si riduce alla distribuzione di Gumbel). Poiché un valore positivo del parametro k comporta che la distribuzione sia limitata superiormente, questo risultato non viene generalmente accettato nell'idrologia di piena.

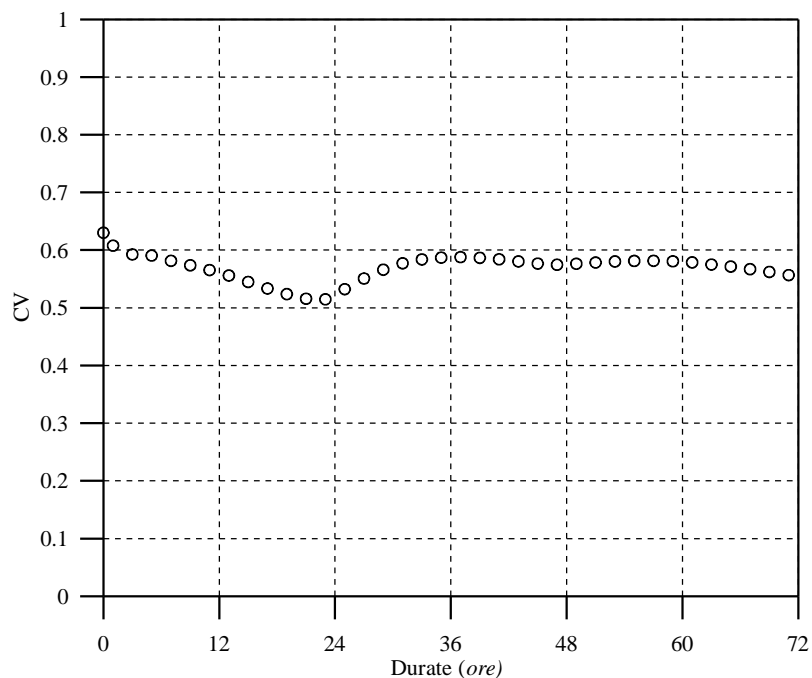


Figura 3.3 – Parma a Ponte Bottego: Coefficiente di variazione CV in funzione della durata D .

<i>D</i> (ore)	Lognormale		Gumbel		GEV			Test di Hosking		
	<i>m</i>	<i>s</i>	<i>a</i> (m ³ /s)	<i>u</i> (m ³ /s)	<i>k</i>	<i>a</i> (m ³ /s)	<i>x</i> (m ³ /s)	<i>Z</i>	<i>Z crit</i> -	<i>Z crit</i> +
0	5.58	0.58	153.77	224.54	-0.214	107.17	222.98	-1.91	-1.96	1.96
3	5.48	0.55	129.30	205.49	-0.172	95.53	205.61	-1.54	-1.96	1.96
6	5.38	0.54	115.05	185.33	-0.156	85.34	187.08	-1.39	-1.96	1.96
12	5.21	0.52	91.71	157.02	-0.103	72.44	159.97	-0.92	-1.96	1.96
24	4.96	0.49	65.73	123.50	-0.039	57.56	125.92	-0.35	-1.96	1.96
48	4.65	0.53	54.21	89.68	-0.101	41.71	92.30	-0.90	-1.96	1.96
72	4.47	0.52	43.13	75.04	-0.090	33.99	77.01	-0.81	-1.96	-1.96

Tabella 3.1 - Parma a Ponte Bottego: Parametri delle distribuzioni statistiche per alcune durate.

In APPENDICE E sono riportati i grafici con gli andamenti delle distribuzioni considerate sulla carta probabilistica della distribuzione di Gumbel; da essi si nota come l'adattamento della distribuzione GEV per la durata 0, riscalata sui valori numerici $e_D = \overline{Q}_D / \overline{Q}_0$ della curva di riduzione delle portate medie, ai punti sperimentali appaia complessivamente buono per tutte le durate prese in esame.

A questo proposito vale la pena osservare che, nella costruzione delle carte probabilistiche, le durate sono state analizzate separatamente perché i campioni relativi a durate diverse non sono tra loro indipendenti. Verificato il buon adattamento della distribuzione GEV, si è proceduto alla stima delle curve di riduzione per assegnato tempo di ritorno applicando la formula (3.6) con i valori di *k*, **a** e **x** riportati in Tab.3.1 per la durata 0.

Per semplificare le elaborazioni relative alla costruzione degli idrogrammi sintetici e delle curve di riduzione, la grandezza $e_D = \mathbf{m}(\overline{Q}_D) / \mathbf{m}(\overline{Q}_0)$ è stata espressa in funzione della durata mediante l'equazione 3.5 (Figura 3.4), ricavando per il parametro **q** con il metodo dei minimi quadrati il valore **q** = 7.1966 ore.

In Figura 3.5 sono riportati gli andamenti delle curve di riduzione dei colmi di piena per tempi di ritorno compresi tra 5 e 500 anni. I corrispondenti valori numerici sono riportati nella Tabella F.1 dell'APPENDICE F.

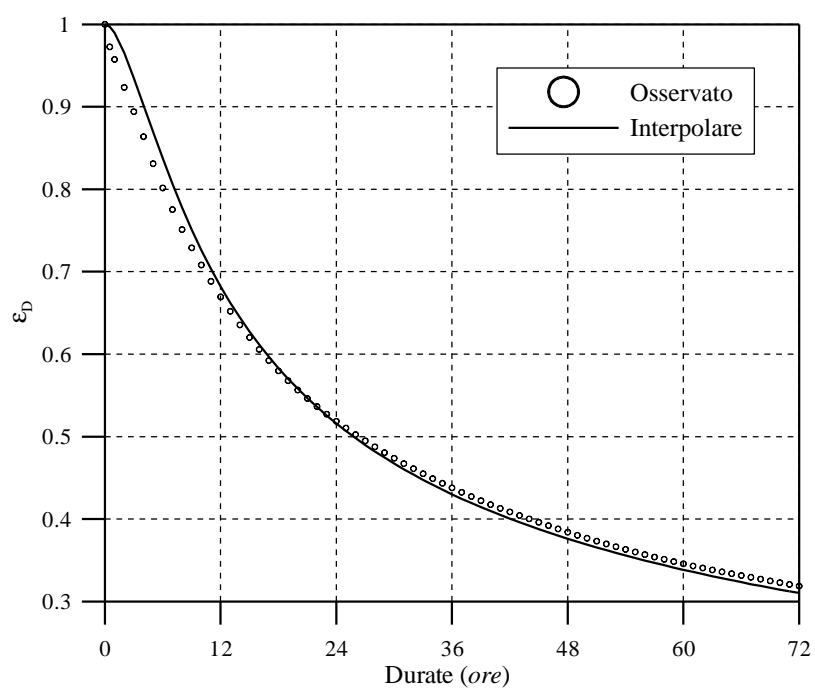


Figura 3. 4 - Parma a Ponte Bottego: rapporto di riduzione dei colmi di piena ed interpolante (eq. 3.5).

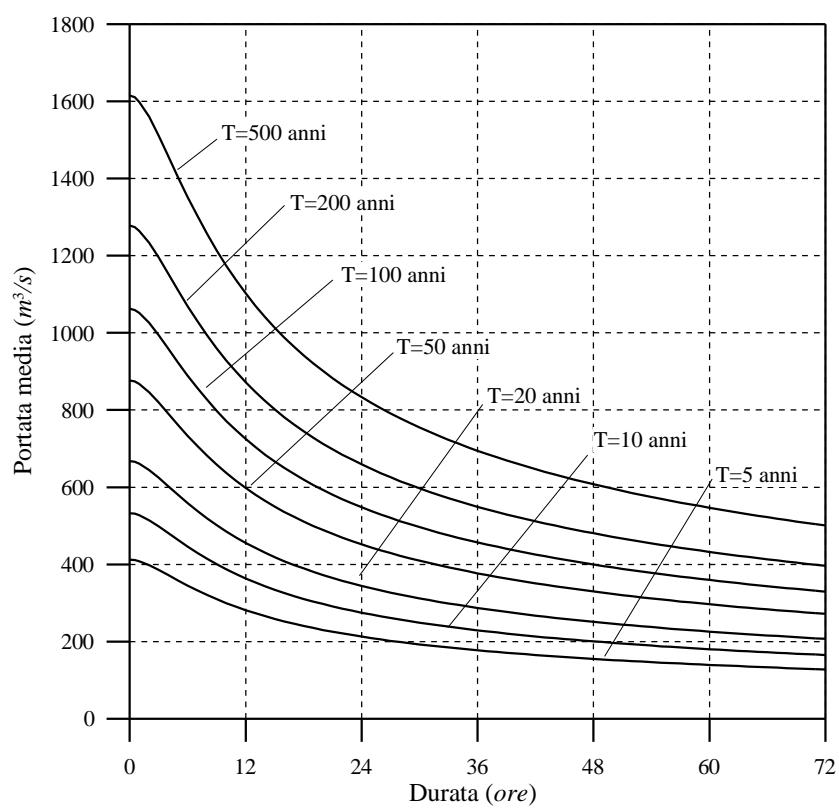


Figura 3. 5 - Curve di riduzione dei colmi di piena per la stazione di P.te Bottego

In Figura 3.6 è riportato, in funzione della durata, l'andamento del coefficiente r medio e della corrispondente funzione interpolante: si nota un andamento decrescente di r all'aumentare della durata, il che comporta una progressiva asimmetria dell'onda con una maggior ripidità, come già accennato, del ramo ascendente dell'idrogramma rispetto a quello d'esaurimento.

La curva interpolante la posizione media del picco risulta essere:

$$r_D(D) = 0.26031 + \frac{3.4323}{18.636 + (D)^{1.49}} \quad (3.10a)$$

Note le curve di riduzione dei colmi di piena e l'andamento del coefficiente r in funzione delle durate, è possibile ricavare l'andamento degli idrogrammi sintetici attraverso le formule (3.12 a, b). In Figura 3.7 sono riportati i grafici degli idrogrammi sintetici ricavati per la stazione di P.te Bottego. I corrispondenti valori numerici sono riportati nella Tabella F.2 dell'APPENDICE F.

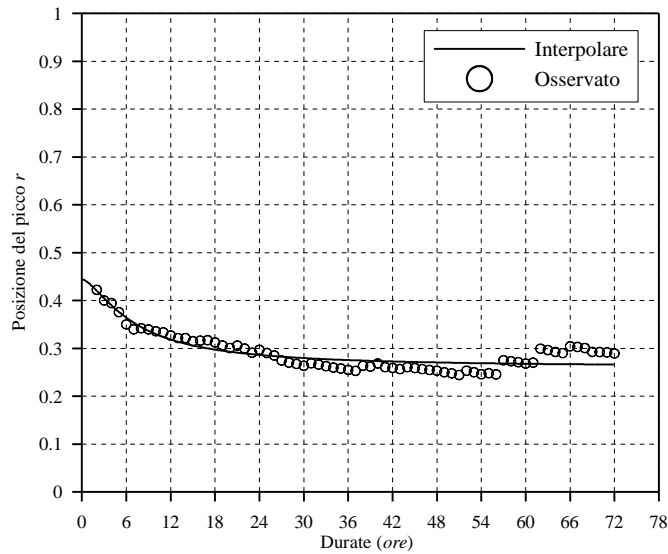


Figura 3. 6- Posizione del picco r in funzione della durata D e curva interpolante (eq. 3.10a) per la stazione di P.te Bottego.

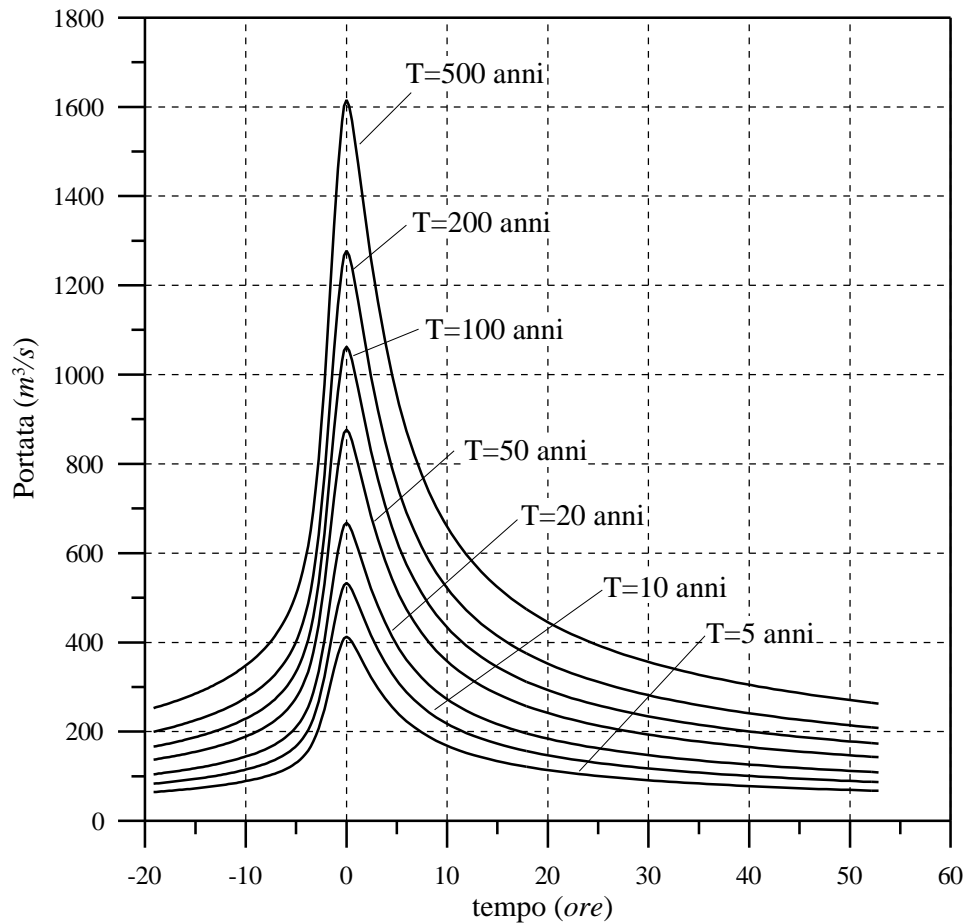


Figura 3.7 - Onde di piena sintetiche per la stazione di P.te Bottego.

3.4 Stazione idrometrografica di P.te Nuovo

Le serie storiche dei valori massimi annuali delle portate medie in assegnata durata e della posizione del picco r sono riportate, per alcune durate significative, in APPENDICE D.

Si è proceduto dapprima a verificare la costanza del coefficiente di variazione CV con la durata D ; come risulta dalla Figura 3.8, CV presenta variazioni contenute nell'intervallo 0.48-0.53 solo per durate superiori a 12 ore, sicché l'ipotesi $CV(D)=cost$ si può ritenere verificata con buona approssimazione solo oltre questa durata, ma tale condizione non è in ogni caso sufficiente per procedere ad accorpare le serie storiche normalizzate rispetto al valor medio in un unico campione della variabile adimensionale Q^* , secondo la procedura descritta nel paragrafo 3.2.1.

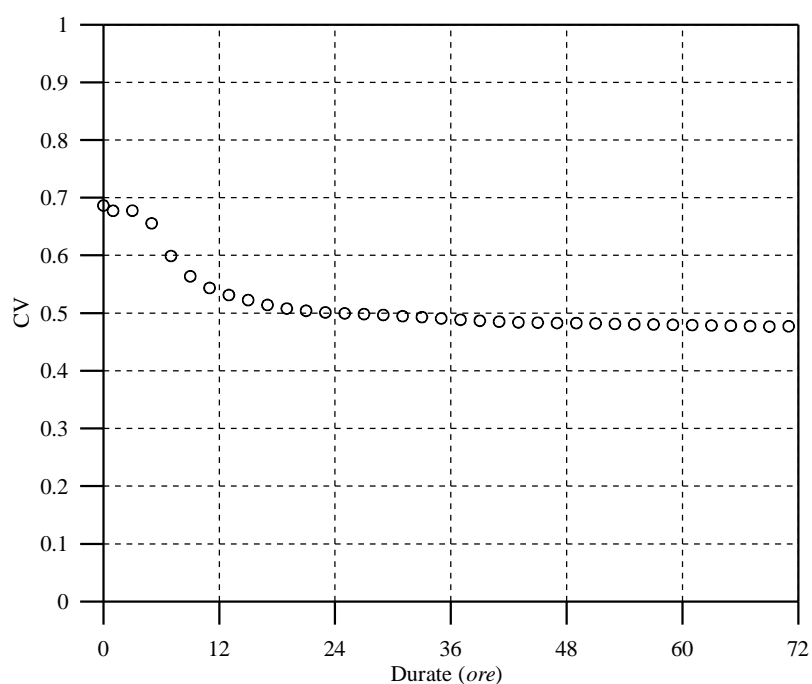


Figura 3.8 – Baganza a Ponte Nuovo: Coefficiente di variazione CV in funzione della durata D

Nella Tabella 3.2 sono riportati i parametri delle distribuzioni di Gumbel, GEV e Lognormale per alcune delle durate considerate. Nella stessa Tabella è anche riportato il risultato del test sul parametro di forma della GEV (Hosking, 1985) eseguito adottando un livello di significatività pari al 5%.

D (ore)	Lognormale		Gumbel		GEV			Test di Hosking		
	m	s	a (m^3/s)	u (m^3/s)	k	a (m^3/s)	x (m^3/s)	Z	Z_{crit-}	Z_{crit+}
0	4.93	0.62	89.39	115.59	-0.254	65.14	108.04	-1.69	-1.96	1.96
3	4.73	0.61	72.23	95.17	-0.275	48.89	90.63	-1.83	-1.96	1.96
6	4.59	0.58	57.02	83.73	-0.231	41.74	80.33	-1.54	-1.96	1.96
12	4.39	0.50	38.19	69.23	-0.149	32.63	66.86	-0.99	-1.96	1.96
24	4.13	0.47	27.18	54.06	-0.074	26.02	52.70	-0.49	-1.96	1.96
48	3.84	0.46	19.49	40.56	0.024	21.17	40.08	0.16	-1.96	1.96
72	3.66	0.46	16.12	33.69	0.053	18.02	33.48	0.35	-1.96	-1.96

Tabella 3.2 – Baganza a Ponte Nuovo: Parametri delle distribuzioni statistiche per alcune durate.

In APPENDICE E sono riportati i grafici con gli andamenti delle distribuzioni considerate sulla carta probabilistica di Gumbel; da essi si nota come l'adattamento

della distribuzione GEV per la durata 0, riscalata sui valori numerici $e_D = \bar{Q}_D / Q_0$ della curva di riduzione delle portate medie, ai punti sperimentali appaia complessivamente buono per per tutte le durate prese in esame.

Anche in questo caso nella costruzione delle carte probabilistiche le durate sono state analizzate separatamente perché i campioni relativi a durate diverse non sono tra loro indipendenti. Verificato il buon adattamento della distribuzione GEV, si è proceduto alla stima delle curve di riduzione per assegnato tempo di ritorno applicando la formula (3.6) con i valori di k , a e x riportati in Tabella 3.2 per la durata 0.

Per semplificare le elaborazioni relative alla costruzione degli idrogrammi sintetici e delle curve di riduzione, la grandezza $e_D = m(\bar{Q}_D) / m(Q_0)$ è stata espressa in funzione della durata mediante l'equazione 3.5 (Figura 3.9), ricavando per il parametro q con il metodo dei minimi quadrati il valore $q = 4.3765$ ore.

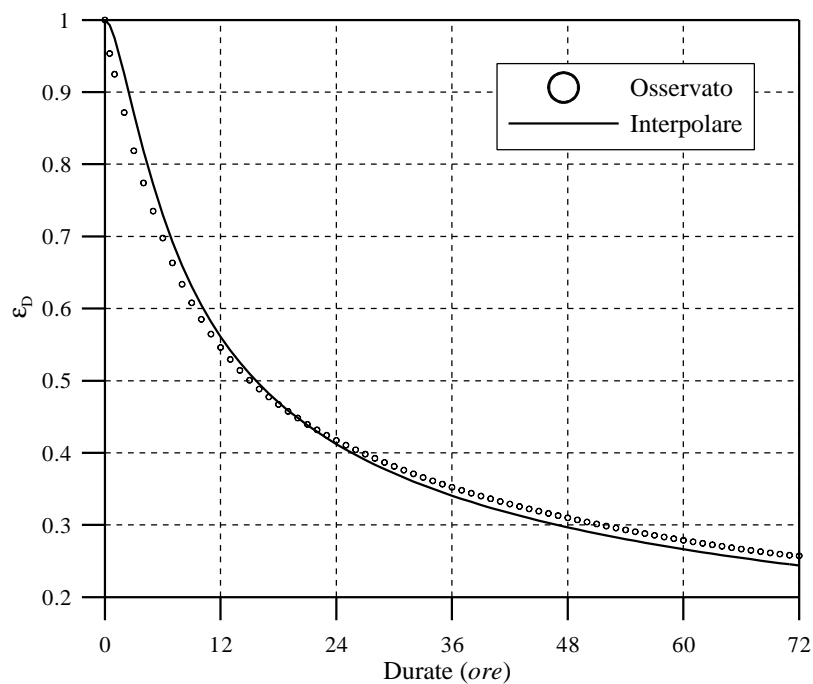


Figura 3.9 – Baganza a Ponte Nuovo: rapporto di riduzione dei colmi di piena ed interpolante (eq. 3.5).

In Figura 3.10 sono riportati gli andamenti delle curve di riduzione dei colmi di piena per tempi di ritorno compresi tra 5 e 500 anni. I corrispondenti valori numerici

sono riportati nella Tabella F.3 dell'APPENDICE F.

In Figura 3.11 è riportato, in funzione della durata, l'andamento del coefficiente r medio e della corrispondente funzione interpolante: anche in questo caso si nota un andamento decrescente di r all'aumentare della durata, il che comporta una progressiva asimmetria dell'onda con una maggior ripidità, come già accennato, del ramo ascendente dell'idrogramma rispetto a quello d'esaurimento.

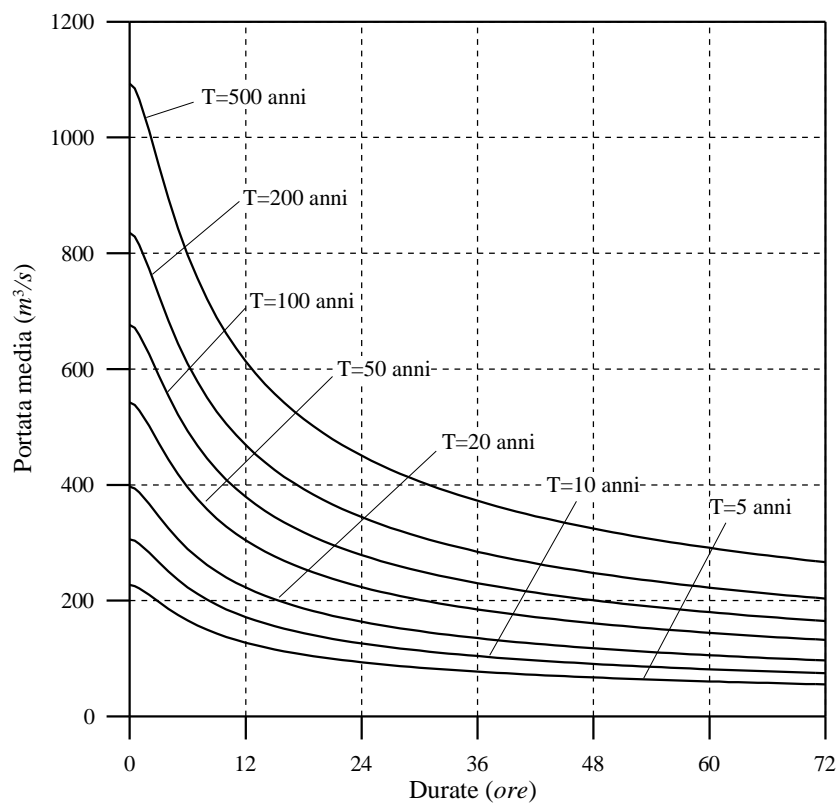


Figura 3.10 - Curve di riduzione dei colmi di piena per la stazione di P.te Nuovo.

La curva interpolante la posizione media del picco risulta essere:

$$r_D(D) = 0.036017 + \frac{4.4682}{14.42 + (D)^{0.65384}} \quad (3.10b)$$

Note le curve di riduzione dei colmi di piena e l'andamento del coefficiente r in funzione delle durate, è possibile ricavare l'andamento degli idrogrammi sintetici attraverso le formule (3.12 a, b). In Figura 3.12 sono riportati i grafici degli idrogrammi

sintetici ricavati per la stazione di P.te Nuovo. I corrispondenti valori numerici sono riportati nella Tabella F.4 dell'APPENDICE F.

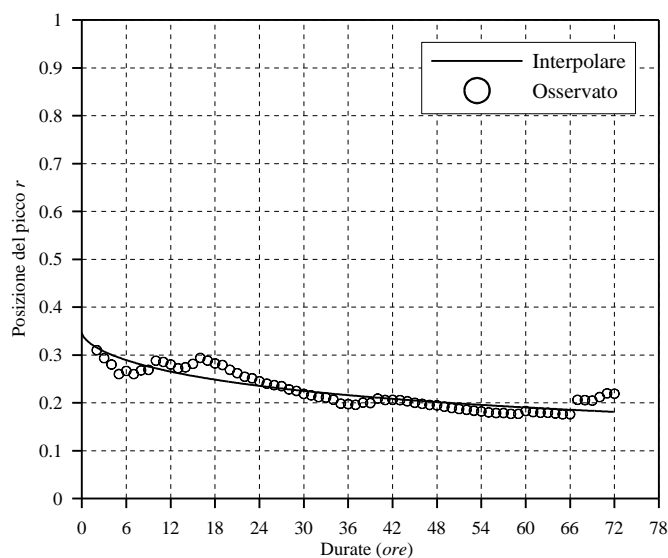


Figura 3.11 - Posizione del picco r in funzione della durata D e curva interpolante (eq. 3.10b) per la stazione di P.te Nuovo.

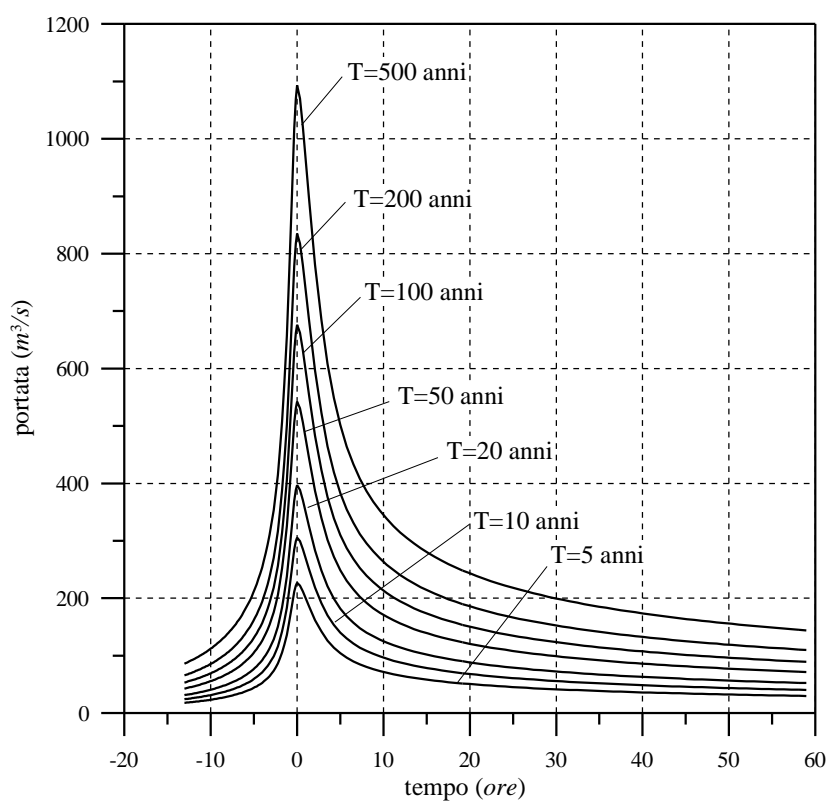


Figura 3.12- Onde di piena sintetiche per la stazione di P.te Nuovo.

4. STIMA REGIONALE DEGLI IDROGRAMMI DI PROGETTO

Per i casi in cui sia disponibile nella sezione di interesse una serie sufficientemente lunga e completa di registrazioni di idrogrammi di piena, è stata presentata nel Capitolo 3 una metodologia per la determinazione delle onde di progetto basata sulla costruzione della curva di riduzione dei colmi di piena e sulla individuazione della posizione media del picco in ciascuna durata a partire dall'analisi delle onde di piena storiche.

Molto spesso si presenta tuttavia la necessità di stimare l'onda di piena di progetto in sezioni prive di dati idrometrici adeguati sia per qualità che per quantità. E' anche molto frequente il caso in cui nella sezione di interesse non si disponga di alcuna misura idrometrica e non vi siano misure nemmeno in altre sezioni sufficientemente prossime da permettere operazioni di estrapolazione spaziale ragionevolmente affidabili.

Nel presente capitolo, seguendo l'impostazione proposta recentemente da Ballarin et al. (2001), viene presentata una metodologia per la stima indiretta degli idrogrammi sintetici a partire dalla stima regionale della legge di riduzione dei colmi di piena e della posizione del picco all'interno di ciascuna durata. La relazione esprime la posizione del picco in ciascuna durata è stata ottenuta regolarizzando gli andamenti osservati, avendo preventivamente adimensionalizzato la durata con il parametro di scala temporale del modello utilizzato per la stima della curva di riduzione.

La procedura di stima regionale degli idrogrammi sintetici è in ogni punto analoga a quella già descritta nel Capitolo 3 per la costruzione degli idrogrammi sintetici locali, e pertanto può essere schematizzata nei seguenti punti:

- stima regionale dei quantili delle portate al colmo $Q_0(T)$;
- stima regionale del rapporto di riduzione e_D ;
- stima regionale del coefficiente r_D di posizione del picco.

4.1 Stima regionale dei quantili delle portate al colmo $Q_0(T)$

Per la per la stima locale delle portate al colmo di piena $Q_0(T)$ è stato adottato, come già esposto nel Capitolo 2, il modello statistico GEV a tre parametri, poiché esso è quello che meglio interpreta le serie storiche delle portate al colmo nelle due stazioni strumentate.

Ne consegue che il problema della stima regionale di $Q_0(T)$ è ricondotto alla taratura di formule regressive per la stima indiretta di $a(Q_0)$, $x(Q_0)$, $k(Q_0)$, ricavando la portata al colmo di piena $Q_0(T)$ anche in questo caso con il modello GEV.

Nel caso specifico si è deciso di non regionalizzare tutti e tre i parametri della distribuzione GEV, ma di adottare come valore del parametro $k(Q_0)$, il valore medio ottenuto per le due sezioni:

$$k(Q_0) = \frac{k_{bottego} + k_{nuovo}}{2} = -0.234 \quad (4.1)$$

dove $k_{bottego}$ e k_{nuovo} sono i parametri delle distribuzioni GEV elaborate per le sezioni di Ponte Bottego e Ponte Nuovo. Questa scelta è resa possibile dal fatto che i due valori differiscono di poco (cfr. Tabelle 3.1, 3.2). I parametri $a(Q_0)$, $x(Q_0)$ sono stati ricalcolati per le due stazioni di Ponte Bottego e Ponte Nuovo in base alla (4.1) ottenendo i valori riportati in Tabella 4.1.

Stazione	Area(km ²)	$a(Q_0)$ (m ³ /s)	$x(Q_0)$ (m ³ /s)
Ponte Bottego	618	104.26	222.09
Ponte Nuovo	222.6	66.99	108.58

Tabella 4.1 - Stime di $a(Q_0)$, $x(Q_0)$ per $k=-0.234$.

La regionalizzazione è allora ricondotta alla determinazione di una relazione che legghi i rimanenti due parametri $a(Q_0)$, $x(Q_0)$ alle caratteristiche morfologiche del bacino. Essendo soltanto due le stazioni strumentate si sono cercate relazioni, in funzione esclusivamente dell'area drenata A , di tipo lineare:

$$\mathbf{a}(Q_0) = a + b \cdot A \quad \mathbf{x}(Q_0) = c + d \cdot A \quad (4.2)$$

o di potenza:

$$\mathbf{a}(Q_0) = a \cdot A^b \quad \mathbf{x}(Q_0) = c \cdot A^d \quad (4.3)$$

Sia che si adotti la (4.2) che la (4.3) i valori di a, b e di c, d si calcolano imponendo il passaggio per i due punti $(A_{Bottego}; \mathbf{a}_{Bottego})$, $(A_{Nuovo}; \mathbf{a}_{Nuovo})$ e $(A_{Bottego}; \mathbf{x}_{Bottego})$, $(A_{Nuovo}; \mathbf{x}_{Nuovo})$.

Nelle Figure 4.1 e 4.2 sono riportati i valori di $\mathbf{a}(Q_0)$, $\mathbf{x}(Q_0)$ per le due stazioni strumentate e l'andamento delle relazioni interpolanti (4.2) e (4.3).

Per i valori di area compresi fra quelli delle due stazioni strumentate, le due espressioni forniscono stime di $\mathbf{a}(Q_0)$, $\mathbf{x}(Q_0)$ molto simili. Si è scelto allora di utilizzare la relazione lineare (4.2) che fornisce le espressioni:

$$\mathbf{a}(Q_0) = 46.008 + 0.0943 \cdot A \quad \mathbf{x}(Q_0) = 44.677 + 0.2871 \cdot A \quad (4.2a)$$

nella quale i parametri \mathbf{a} e \mathbf{x} sono espressi in (m^3/s) e l'area A è espressa in km^2 .

Una volta ricavate le formule di stima regionale dei parametri $\mathbf{a}(Q_0)$ e $\mathbf{x}(Q_0)$ si può procedere agevolmente al calcolo delle portate al colmo in funzione del tempo di ritorno sulla base del modello GEV:

$$Q_0 = \mathbf{x} + \frac{\mathbf{a}}{k} \left\{ 1 - \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]^k \right\} \quad (k \neq 0) \quad (4.4)$$

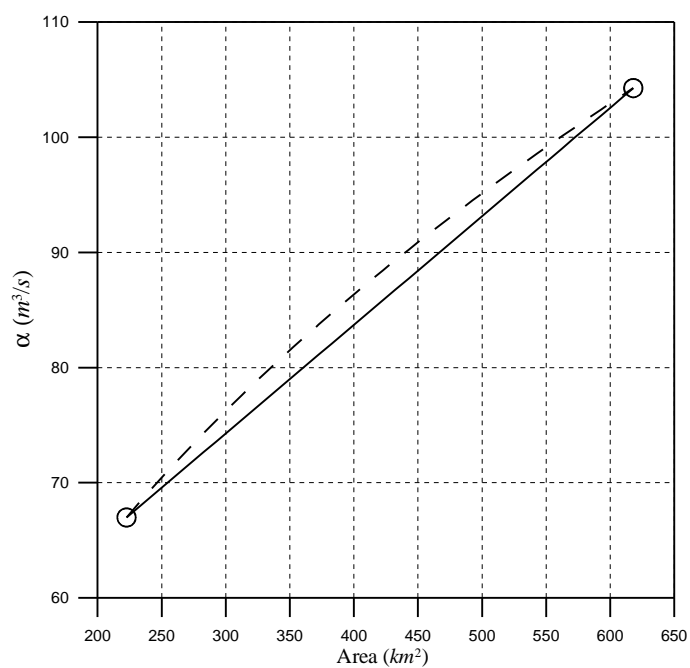


Figura 4. 1 - Interpolazione del parametro $\alpha(Q_0)$.

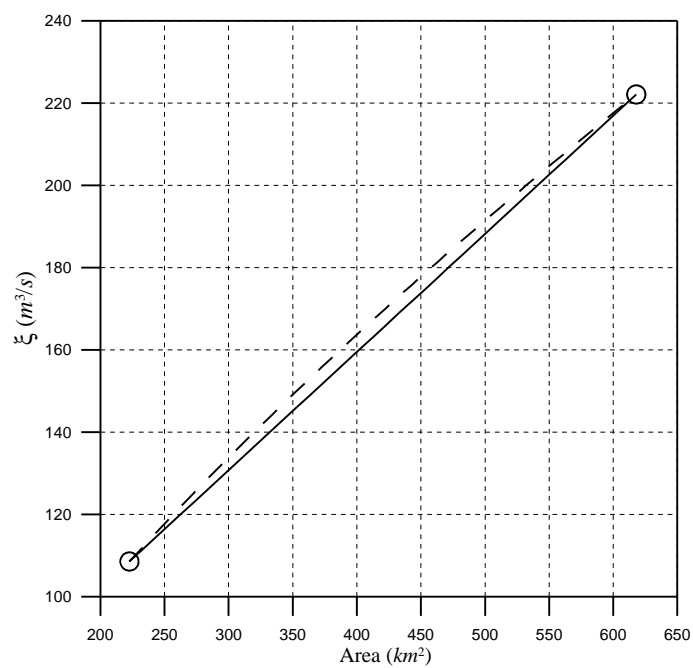


Figura 4. 2 - Interpolazione del parametro $\mathbf{x}(Q_0)$.

4.2 Stima regionale del rapporto di riduzione dei colmi di piena

In fase di elaborazione delle onde per le sezioni strumentate si è ricorso all'utilizzo della relazione monoparametrica (3.5) per la stima del rapporto di riduzione e_D . Per ottenere il rapporto di riduzione per una sezione non strumentata è pertanto necessario regionalizzare il parametro q .

Anche in questo caso si è assunta una relazione lineare con l'area drenata:

$$q = a \cdot A + b \quad (4.5)$$

o di potenza:

$$q = a \cdot A^b \quad (4.6)$$

calcolando poi i parametri a , b imponendo il passaggio per i punti $(A_{Bottego}; q_{Bottego})$, $(A_{Nuovo}; q_{Nuovo})$.

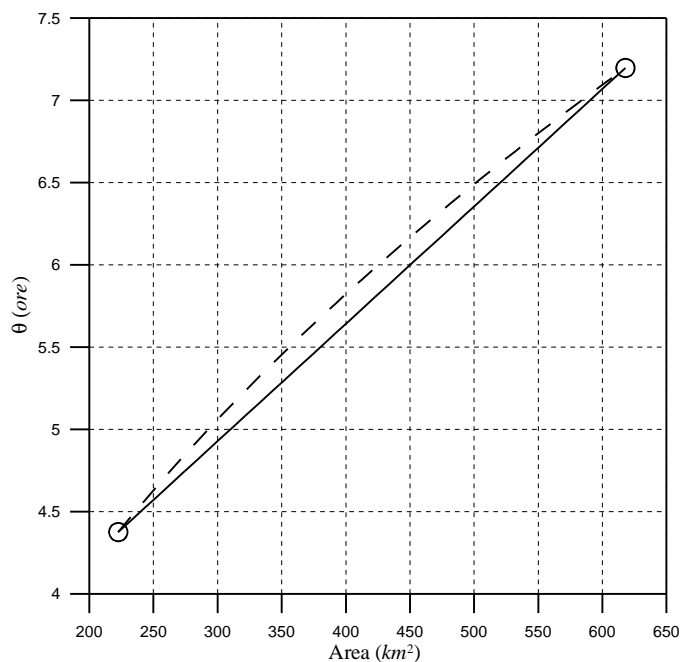


Figura 4.3 - Interpolazione del parametro q della formula (3.5).

Verificato che entrambe le leggi forniscono valori di q molto simili almeno per i valori di area compresi fra quelli delle due sezioni strumentate, si è scelto di utilizzare la legge lineare (4.5) che diventa:

$$q = 4.38 + 7.13 \cdot 10^{-3} (A - 222.6) \quad (4.5a)$$

nella quale il parametro q è espresso in *ore* e l'area A è espressa in km^2 .

4.3 Stima regionale della posizione del colmo

In analogia con il metodo di stima regionale del rapporto di riduzione, consistente nell'adottare un modello analitico uguale per tutti i bacini a meno di una trasformazione di scala della durata, si è proceduto alla taratura di una formula di stima indiretta della posizione del picco r_D . Ipotizzando che il parametro di scala temporale di r_D coincida con quello del corrispondente rapporto di riduzione, nel caso in esame il parametro q della curva (3.5), la funzione $r_D(D/q)$ è stata determinata raggruppando le coppie $(D/q_{loc}; r_D)$ relative alle due stazioni considerate e interpolandole con un'espressione del tipo:

$$r_D \left(\frac{D}{q} \right) = a + \frac{b}{c + \left(\frac{D}{q} \right)^d} \quad (4.7)$$

I valori delle quattro costanti a, b, c, d , sono stati determinati con il metodo dei minimi quadrati ottenendo la seguente espressione:

$$r_D \left(\frac{D}{?} \right) = -0.03071 + \frac{1.5551}{3.8118 + \left(\frac{D}{?} \right)^{0.49011}} \quad (4.7a)$$

Nel diagramma di Figura 4.4 è mostrato l'andamento del coefficiente di posizione del picco r_D per le due stazioni considerate in funzione della durata.

Nel diagramma di Figura 4.5 è mostrato invece l'andamento della funzione (4.7a), insieme con le coppie di valori $(D/q_{loc}; r_D)$ utilizzate per la sua taratura.

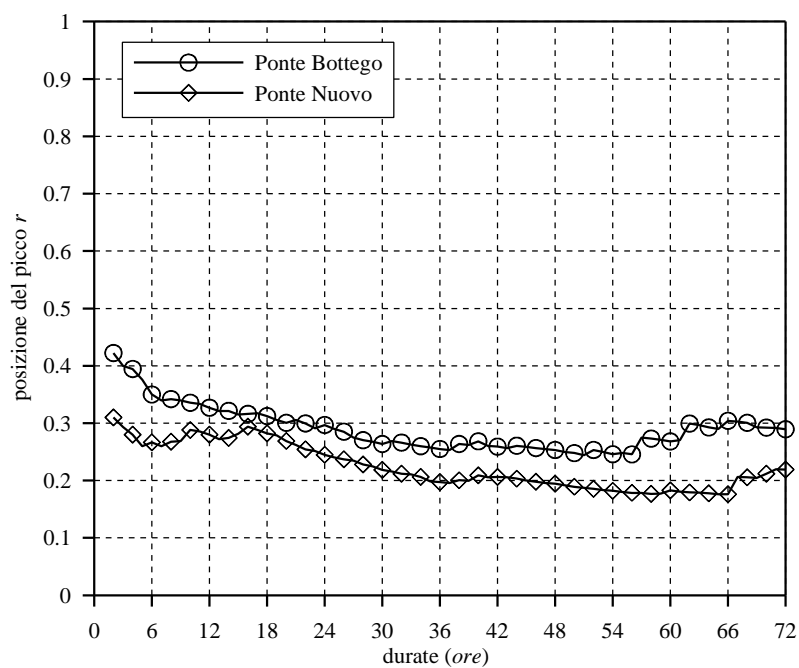


Figura 4.4 - Coefficiente r di posizione del picco in funzione della durata D .

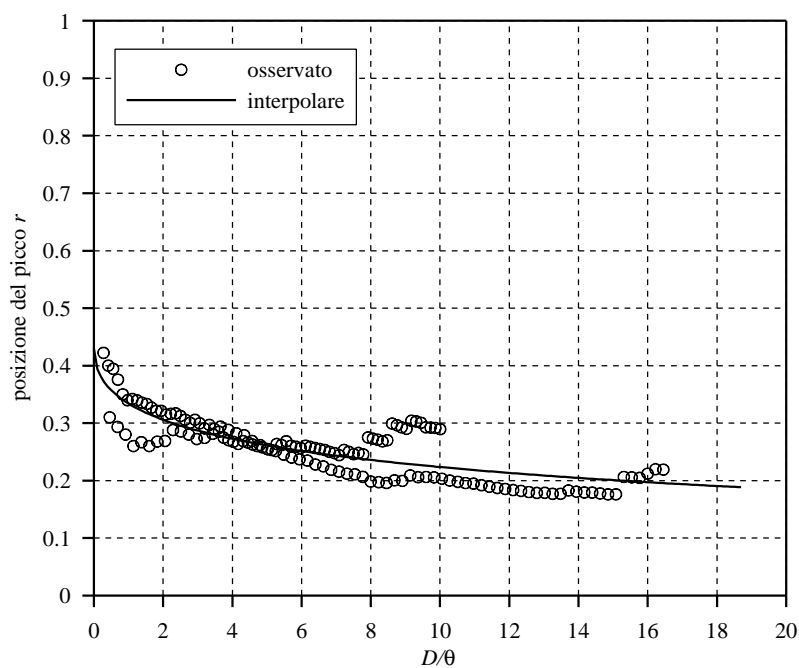


Figura 4.5 - Coefficiente r di posizione del picco in funzione della durata adimensionale D/q e relazione interpolare (4.7a).

4.4 Confronto tra stima locale e stima regionale degli idrogrammi sintetici per le sezioni strumentate

Come già ricordato, la costruzione degli idrogrammi sintetici si basa sulla stima della curva di riduzione dei colmi di piena $\bar{Q}_D(T)$ e sulla stima della posizione del colmo di piena in ciascuna durata.

La stima regionale della prima grandezza si ricava a partire dalla relazione $\bar{Q}_D(T) = e_D \cdot Q_o(T)$ attraverso l'applicazione delle formule (3.5) e (4.5a) e delle (4.2a), (4.4).

La stima regionale di $r_D(D)$ può essere ottenuta attraverso l'applicazione della formula (4.7a).

La stima regionale degli idrogrammi sintetici si ottiene infine dall'applicazione delle formule (3.12a, b).

Nelle Figg. 4.6, 4.7 sono rappresentati gli idrogrammi sintetici ottenuti dalla procedura di stima regionale per le 2 stazioni idrometrografiche considerate nell'analisi; accanto a questi sono rappresentati (con linea tratteggiata) gli idrogrammi locali ottenuti dalla elaborazione statistica diretta delle onde storiche sulla base dei valori massimi annui della variabile $\bar{Q}_D(T)$ e dei valori empirici di r_D , come già esposto nel Capitolo 3.

Nelle Tabelle F5, F6 dell'APPENDICE F sono riportati i corrispondenti valori numerici.

Dal confronto tra gli idrogrammi sintetici locali e quelli ricavati con la procedura di stima regionale si nota che la regionalizzazione non comporta apprezzabili deformazioni dei valori del picco. C'è invece una certa differenza nella forma delle onde dovuta alla regionalizzazione dell'andamento del coefficiente r di posizione del picco. I volumi complessivi delle onde rimangono invariati poiché dipendono unicamente dal valore di q .

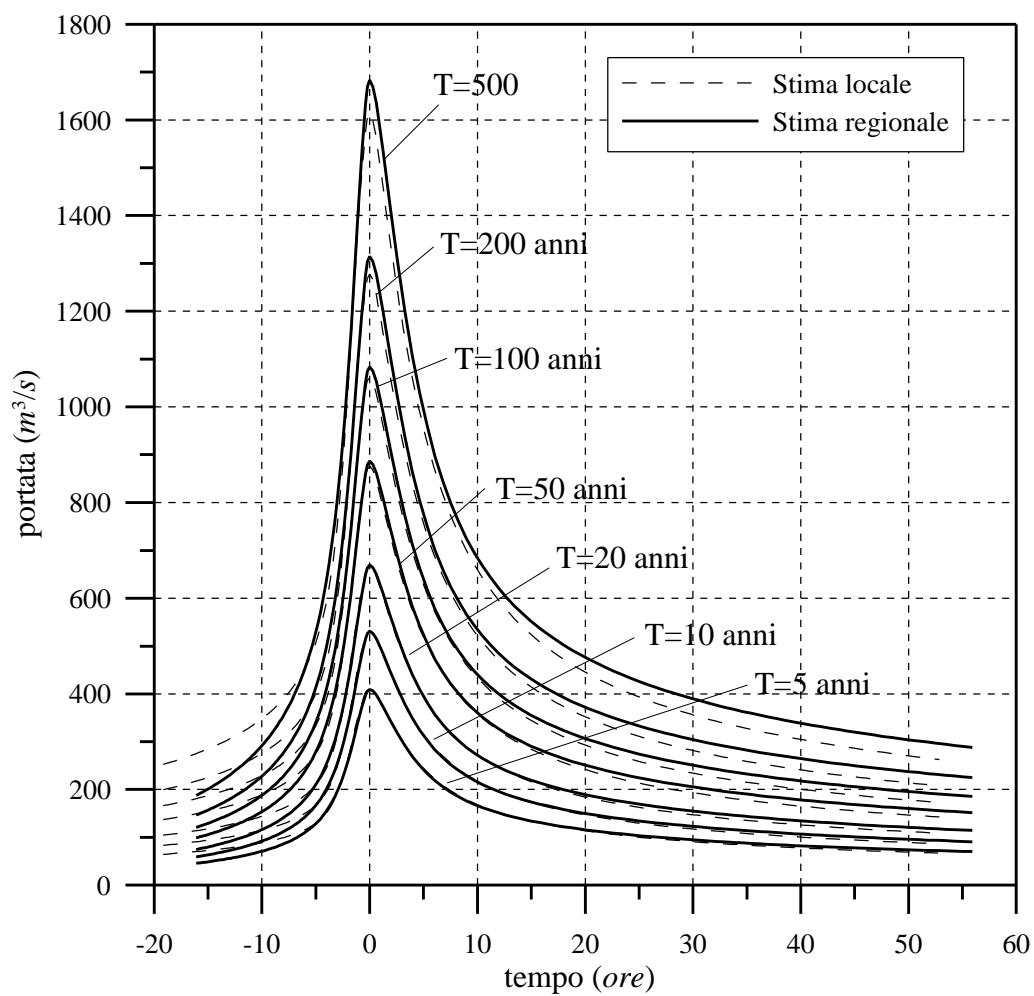


Figura 4.6 - Idrogrammi sintetici ottenuti dalla stima locale e dal modello regionale (Parma a P.te Bottego)

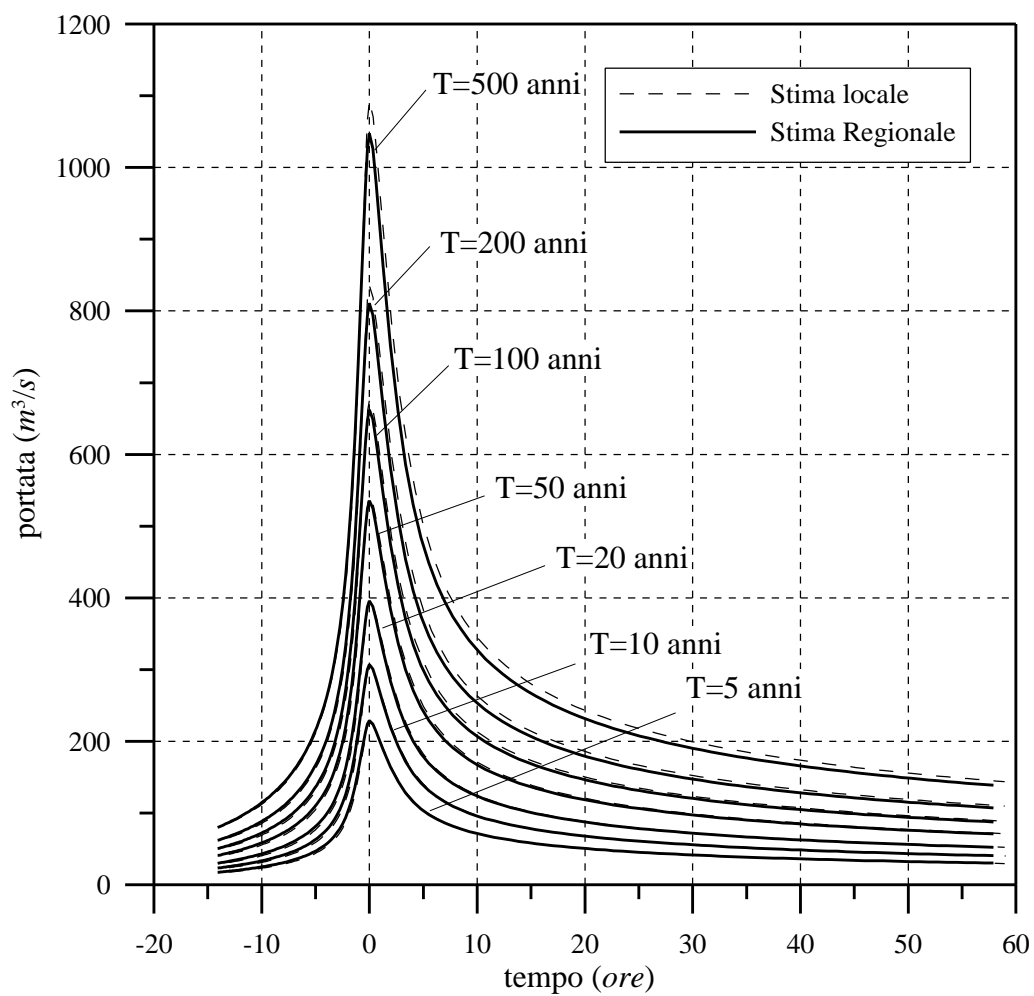


Figura 4.7: Idrogrammi sintetici ottenuti dalla stima locale e dal modello regionale (Baganza a P.te Nuovo)

4.5 *Applicazione del modello di stima regionale per determinare gli idrogrammi sintetici per il torrente Parma a monte della confluenza*

La procedura di regionalizzazione permette, in teoria, di ricavare gli idrogrammi di progetto in una qualsiasi sezione di chiusura del bacino fornendo come dato in ingresso l'area sottesa.

Occorre però tener presente che, a causa della disponibilità di solo due stazioni per la taratura del modello di stima regionale delle onde di progetto (cui è legata anche la scelta di adottare come unica variabile esplicativa l'area drenata), non è possibile descrivere effetti che si verificano per aree più piccole o più grandi rispetto a quelle delle due sezioni strumentate. Anche perché per valori di aree molto piccoli o molto grandi diventa rilevante la scelta del tipo di leggi di regionalizzazione (4.2), (4.3) e (4.5), (4.6).

Lo scopo dell'elaborazione di una metodologia di regionalizzazione è quello di ottenere degli idrogrammi sintetici validi per il torrente Parma immediatamente prima dell'immissione del Baganza (Ponte Dattaro). Non essendo ivi presente nessuna stazione di misura dei livelli idrometrici¹ l'unico modo di ottenere un ragionevole idrogramma è quello di utilizzare la procedura di stima regionale.

L'area del Parma chiuso in tale sezione è $A=395.4 \text{ km}^2$. Inserendo tale valore nelle Eq. (4.2a), (4.4), (4.5a) ed il valore di q ottenuto da quest'ultima nella (4.7a) è possibile ricavare tutte le grandezze necessarie.

Nelle Figure (4.8), (4.9) sono riportate le curve di riduzione dei colmi di piena e gli idrogrammi sintetici ottenuti con le formule precedentemente esposte, mentre le Tabelle F7 e F8 in APPENDICE F riportano i corrispondenti valori numerici.

¹ Recentemente è stato installato, proprio su Ponte Dattaro, un teleidrometro. La serie di registrazioni è però così breve da non consentire di effettuare alcuna analisi statistica diretta.

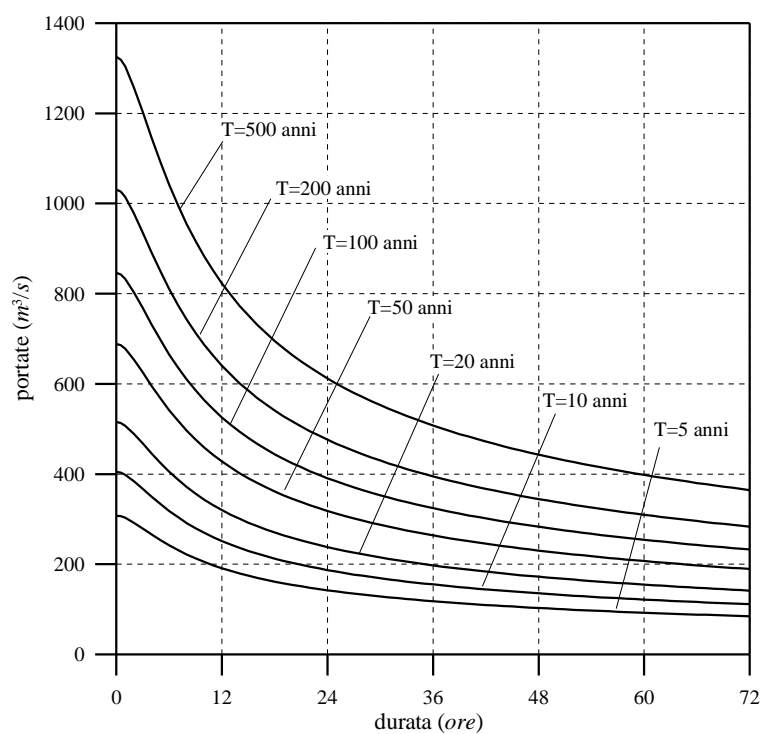


Figura 4.8 - Curve di riduzione dei colmi di piena ottenute dalla stima regionale per la sezione di Ponte Dattaro.

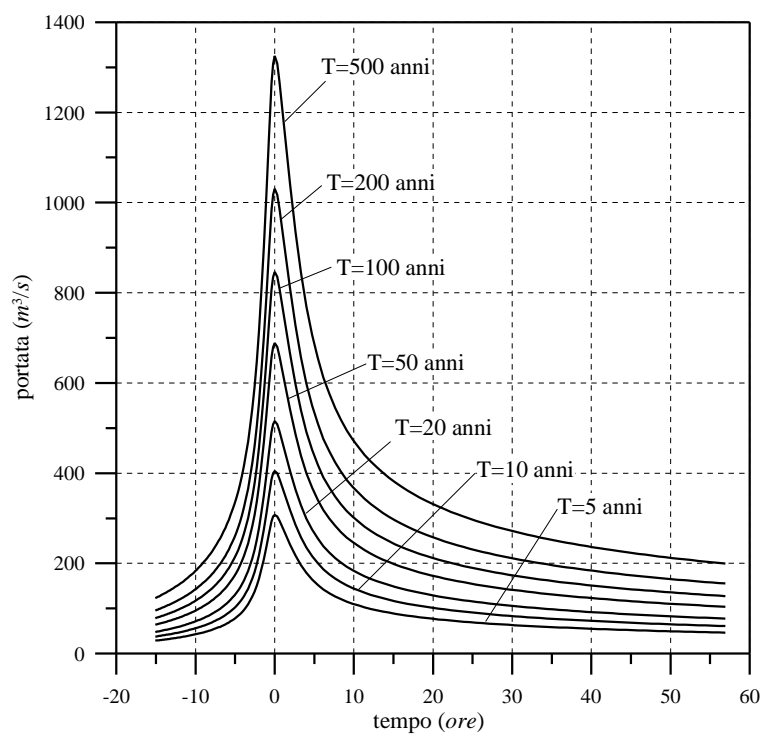


Figura 4.9 - Idrogrammi sintetici ottenuti dalla stima regionale per la sezione di Ponte Dattaro.

5. TRASFERIMENTO DELLE ONDE SINTETICHE VERSO MONTE LUNGO LE ASTE DEL SISTEMA PARMA-BAGANZA ATTRAVERSO PROCEDURE DI DE-LAMINAZIONE

Le onde di piena sintetiche riportate in Figura 4.7 e 4.9 sono relative rispettivamente alle sezioni di Ponte Nuovo e di Ponte Dattaro, ovvero a due sezioni sulle aste dei torrenti Baganza e Parma immediatamente a monte della loro confluenza.

Per il successivo studio che riguarda il progetto della cassa di espansione sul torrente Baganza, nonché per verificare gli effetti della costruenda cassa sul torrente Parma, si sono presi in considerazione e descritti mediante modello matematico i seguenti tratti a monte della confluenza Parma-Baganza:

- dal Ponte di Marzolaro alla confluenza in Parma;
- dal Ponte di Panocchia alla confluenza in Baganza.

E' necessario pertanto individuare le onde di piena sintetiche per i medesimi tempi di ritorno in corrispondenza delle sezioni di monte dei suddetti tratti (Ponte di Marzolaro e Ponte di Panocchia) da assegnare come condizioni al contorno al modello matematico.

In tali sezioni non esistono stazioni di misura con serie storiche di informazioni idrometriche sufficientemente prolungate da consentire l'applicazione di metodologie dirette di stima degli idrogrammi sintetici¹. Non è del resto neppure applicabile la metodologia di regionalizzazione esposta al precedente Capitolo 4 in quanto in questi tratti è preponderante l'effetto di propagazione su quello di formazione delle piene.

Nel due tratti non vi sono infatti apprezzabili variazioni dei bacini sottesi né prelievi od immissioni che possano sostanzialmente modificare il volume complessivo delle piene.

Non è invece escludibile a priori che l'effetto di laminazione operato dai volumi invasabili nei due tronchi fluviali possa modificare apprezzabilmente la forma delle

¹ In corrispondenza del Ponte di Marzolaro è stata recentemente (Giugno 1998) installata una stazione teleidrometrica da parte dell'Assessorato Ambiente della Provincia di Parma.

onde di piena e, di conseguenza, le portate al colmo e la distribuzione dei volumi².

Scopo del presente capitolo è quello di esporre le procedure applicate ed i risultati ottenuti per ricavare le onde di piena sintetiche in corrispondenza delle suddette sezioni iniziali dei due tronchi fluviali.

5.1 Laminazione in un tronco fluviale

Se il trasferimento dell'onda dovesse avvenire da una sezione di monte ad una più a valle (come è usuale ma al contrario del caso in studio) il modo più corretto di affrontare il problema sarebbe il seguente:

1. sulla base di un aggiornato rilievo delle sezioni d'alveo del tratto in studio, si costruisce un modello matematico dell'asta fluviale che integri numericamente le equazioni del moto vario a pelo libero (eq. di De Saint Venant);
2. si tarano i parametri di scabrezza del tratto fluviale, per tentativi mediante l'esecuzione ripetuta del programma di calcolo, in modo da ricostruire al meglio una o più piene reali di cui si disponga dell'idrogramma di portata alla sezione iniziale dell'asta fluviale (condizione al contorno di monte) e dell'idrogramma di livello nella sezione finale (condizione al contorno di valle)³; in alternativa, qualora tali informazioni non siano disponibili, i parametri di scabrezza possono essere dedotti da valori di letteratura;
3. si riesegue il programma, tante volte quanti sono i tempi di ritorno di interesse, attribuendo quale condizione al contorno di monte l'idrogramma di piena sintetico di assegnato tempo di ritorno (noto) ed imponendo a valle una ragionevole condizione al contorno (ad esempio una scala di deflusso di moto permanente);
4. gli andamenti della portata nel tempo risultanti dal calcolo in corrispondenza della sezione finale del tratto fluviale rappresentano le onde di piena cercate. Esse tengono conto, in maniera tanto più precisa quanto più corretta è stata la descrizione dell'asta e delle condizioni al contorno, dell'effetto di laminazione operato dal tratto fluviale.

² In realtà l'elevata pendenza e la scarsa disponibilità di aree golenali fanno ritenere che l'effetto di laminazione sia piuttosto modesto.

Nel caso in studio tale metodologia non è applicabile. Infatti le onde di piena incognite sono quelle in corrispondenza della sezione di monte del tratto fluviale (ovvero quelle in corrispondenza delle sezioni in località Marzolaro e Panocchia), mentre sono note quelle in corrispondenza delle sezioni di valle (Ponte Nuovo e Ponte Dattaro). Ma per l'esecuzione del programma di calcolo (di cui al punto 3 precedente) è necessario disporre già di una condizione al contorno di monte (andamento di livelli o portate nel tempo), che non sono noti né facilmente ipotizzabili. Per ragioni che non è il caso qui di approfondire, si può dimostrare che non è possibile attribuire come condizione al contorno di monte una scala di deflusso, né è possibile procedere a ritroso nel tempo, a causa della natura dissipativa del fenomeno di moto vario (Cunge et. al., 1982).

Un'alternativa sicuramente valida, che viene spesso utilizzata anche quando è agevole procedere alla risoluzione delle eq. di De Saint Venant, è rappresentata dall'applicazione di un modello idrologico, come ad esempio il metodo Muskingum, che rende conto, in maniera sintetica ma efficace, dei principali effetti che subisce un'onda di piena quando transita in un'asta fluviale (ritardo, attenuazione, deformazione).

Il metodo Muskingum può poi essere applicato, con le modalità che saranno esposte nel Paragrafo 5.3, per ricavare le onde di piena in una sezione di monte, note quelle in una sezione più a valle.

5.2 *Metodo Muskingum*

Il metodo Muskingum fa parte di quei modelli matematici di propagazione delle piene detti “idrologici” in quanto sostituiscono all'equazione della conservazione della quantità di moto una equazione di tipo “concettuale” che descrive in maniera globale il comportamento del tronco fluviale. Il modello è pertanto composto dall'equazione di continuità, scritta in forma globale tra le due sezioni estreme M (monte) e V (valle):

³ Si è ipotizzato che la corrente nel tratto fluviale sia ovunque lenta.

$$Q_M - Q_V = \frac{dW}{dt} \quad (5.1)$$

e da un'equazione che lega il volume invasato nel tronco fluviale alle portate nelle sezioni di estremità, secondo l'espressione:

$$W = k[x \cdot Q_M + (1-x) \cdot Q_V] \quad (5.2)$$

dove k [t] è una costante temporale ed x [-] è un coefficiente di peso, da determinarsi sperimentalmente.

5.2.1 Taratura dei parametri

La taratura dei parametri k ed x del metodo Muskingum viene normalmente effettuata in base alla osservazione contemporanea di un idrogramma di portata nelle sezioni di monte e di valle del tronco fluviale di interesse.

Il volume $W(t)$ invasato al tempo t nel tronco fluviale è uguale alla somma

$$W(t) = W_0 + W^*(t) \quad (5.3)$$

del volume W_0 invasato nel tronco all'inizio del fenomeno e del volume $W^*(t)$ invasato nel successivo intervallo di tempo $(0, t)$ che è dato dall'espressione:

$$W^*(t) = \int_0^t Q_M(t) dt - \int_0^t Q_V(t) dt \quad (5.4)$$

Posto

$$Q^*(t) = x \cdot Q_M(t) + (1-x) \cdot Q_V(t) \quad (5.5)$$

dalla (5.2) si ottiene:

$$W(t) = k \cdot Q^*(t) \quad (5.6)$$

Dalle (5.2) e (5.3) si deduce

$$W^*(t) = -W_0 + kQ^*(t) \quad (5.7)$$

equivalente, nel piano (Q^*, W^*) ad una retta di coefficiente angolare k . Fissando un valore di tentativo per il coefficiente x è possibile calcolare, per ogni coppia di valori contemporanei $Q_M(t)$ e $Q_V(t)$ noti, il corrispondente valore di $Q^*(t)$. Valutando altresì la differenza tra i volumi defluiti attraverso le sezioni di monte e di valle del tronco dall'inizio del fenomeno è possibile calcolare il volume invasato nel tronco in ogni istante t , a meno del volume iniziale W_0 . I punti così determinati, riportati sul piano (W^*, Q^*) si dispongono in generale secondo un andamento dalla caratteristica forma a cappio, più o meno ampio. La taratura si effettua variando il coefficiente x in modo da ottenere che la curva nel piano (W^*, Q^*) risulti il più possibile rettilinea ed univoca, come dovrebbe risultare a norma della (5.7). Dalla regressione lineare dei punti così ottenuti è possibile stimare il coefficiente k .

5.2.2 Applicazione del metodo

L'equazione (5.1), integrata in un intervallo generico $(t, t+Dt)$ diviene:

$$\int_t^{t+Dt} Q_M(t)dt - \int_t^{t+Dt} Q_V(t)dt = W(t + Dt) - W(t) \quad (5.8)$$

Ammissa, nell'intervallo Dt , una variazione lineare delle portate $Q_M(t)$ e $Q_V(t)$, la (5.8) diventa:

$$\frac{Dt}{2}(Q_M(t + Dt) + Q_M(t)) - \frac{Dt}{2}(Q_V(t + Dt) + Q_V(t)) = W(t + Dt) - W(t) \quad (5.9)$$

Scrivendo poi la (5.2) al tempo t e $t+Dt$ si ottiene:

$$W(t + Dt) - W(t) = k \cdot x(Q_M(t + Dt) - Q_M(t)) + k \cdot (1 - x) \cdot (Q_V(t + Dt) - Q_V(t)) \quad (5.10)$$

Sostituendo la (5.10) nella (5.9) si ottiene infine:

$$\begin{aligned} & \left[k \cdot x + \frac{Dt}{2} \right] \cdot Q_M(t) + \left[\frac{Dt}{2} - k \cdot x \right] \cdot Q_M(t + Dt) + \\ & \left[k(1 - x) - \frac{Dt}{2} \right] \cdot Q_V(t) + \left[k(1 - x) + \frac{Dt}{2} \right] \cdot Q_V(t + Dt) = 0 \end{aligned} \quad (5.11)$$

Di solito il metodo Muskingum viene applicato per determinare l'onda di piena al termine del tratto fluviale. In questo caso la (5.11) viene risolta rispetto a $Q_V(t+Dt)$ ottenendo la relazione seguente:

$$Q_V(t + \Delta t) = C_1 \cdot Q_M(t) + C_2 \cdot Q_M(t + \Delta t) + C_3 \cdot Q_V(t) \quad (5.12)$$

dove

$$C_1 = \left[\frac{k \cdot x + \frac{\Delta t}{2}}{k(1-x) + \frac{\Delta t}{2}} \right] \quad C_2 = \left[\frac{\frac{\Delta t}{2} - k \cdot x}{k(1-x) + \frac{\Delta t}{2}} \right] \quad C_3 = \left[\frac{k(1-x) - \frac{\Delta t}{2}}{k(1-x) + \frac{\Delta t}{2}} \right] \quad (5.13)$$

L' eq. (5.12) è una combinazione lineare delle portate entranti ed uscenti agli istanti t e $t+Dt$. Essa consente di calcolare la portata all'istante $t+Dt$ nella sezione di valle, essendo noti i valori della portata all'istante t nella sezione di monte e di valle ed all'istante $t+Dt$ nella sezione di monte.

Affinché il metodo sia stabile, è sufficiente che la successione ottenuta dividendo la (5.12) per $Q_V(t)$:

$$\frac{Q_V(t + \Delta t)}{Q_V(t)} = C_1 \cdot \frac{Q_M(t)}{Q_V(t)} + C_2 \cdot \frac{Q_M(t + \Delta t)}{Q_V(t)} + C_3 \quad (5.14)$$

sia convergente⁴. Ciò si verifica per $-1 < C_3 < 1$, ovvero, poiché il parametro k è sempre positivo, quando $x < 1$.

5.3 *De-laminazione in un tronco fluviale mediante il metodo Muskingum*

Nel caso in studio, poiché la funzione incognita è la portata Q_M (si ricorda che M sta per Monte) si potrebbe essere tentati di risolvere la (5.12) rispetto a $Q_M(t+Dt)$

$$Q_M(t + \Delta t) = D_1 \cdot Q_V(t) + D_2 \cdot Q_V(t + \Delta t) + D_3 \cdot Q_M(t) \quad (5.15)$$

dove

$$D_1 = \left[\frac{\frac{\Delta t}{2} - k(1-x)}{\frac{\Delta t}{2} - k \cdot x} \right] \quad D_2 = \left[\frac{k(1-x) + \frac{\Delta t}{2}}{\frac{\Delta t}{2} - k \cdot x} \right] \quad D_3 = \left[\frac{-kx - \frac{\Delta t}{2}}{\frac{\Delta t}{2} - k \cdot x} \right] \quad (5.16)$$

E' agevole però dimostrare che la successione che si ottiene dividendo la (5.15) per $Q_M(t)$:

$$\frac{Q_M(t + \Delta t)}{Q_M(t)} = D_1 \cdot \frac{Q_V(t)}{Q_M(t)} + D_2 \cdot \frac{Q_V(t + \Delta t)}{Q_M(t)} + D_3 \quad (5.17)$$

non è mai convergente. Infatti per esserlo occorrerebbe che fosse $-1 < D_3 < 1$, e questo si verifica solo per $x < 0$, campo di valori che non ha alcun significato fisico. Se si tenta quindi di ricavare l'onda di piena in ingresso Q_M con la (5.15) la successione diverge (a meno che x non sia strettamente nullo ed allora la successione oscilla).

La soluzione a questo problema si ottiene procedendo alla ricostruzione dell'onda di piena in ingresso a ritroso nel tempo. La (5.15) viene risolta rispetto a $Q_M(t)$

$$Q_M(t) = E_1 \cdot Q_V(t) + E_2 \cdot Q_V(t + \Delta t) + E_3 \cdot Q_M(t + \Delta t) \quad (5.18)$$

dove

$$E_1 = \left[\frac{\frac{\Delta t}{2} - k(1-x)}{kx + \frac{\Delta t}{2}} \right] \quad E_2 = \left[\frac{k(1-x) + \frac{\Delta t}{2}}{kx + \frac{\Delta t}{2}} \right] \quad E_3 = \left[\frac{kx - \frac{\Delta t}{2}}{kx + \frac{\Delta t}{2}} \right] \quad (5.19)$$

La successione che si ottiene dividendo la (5.18) per $Q_M(t + \Delta t)$:

$$\frac{Q_M(t)}{Q_M(t + \Delta t)} = E_1 \cdot \frac{Q_V(t)}{Q_M(t + \Delta t)} + E_2 \cdot \frac{Q_V(t + \Delta t)}{Q_M(t + \Delta t)} + E_3 \quad (5.20)$$

converge quando $-1 < E_3 < 1$. Perché ciò si verifichi è sufficiente che sia $x > 0$, rientrando così nel campo usuale dei valori del parametro.

⁴ Ulteriori limiti al parametro x vengono poi posti a garanzia che tutti e tre i coefficienti della combinazione lineare siano positivi. Si veda a questo proposito Mahamood e Yevjevich Eds, 1975, pp. 216-226.

L' eq. (5.18) è una combinazione lineare delle portate entranti ed uscenti agli istanti t e $t+Dt$. Essa consente di calcolare la portata all'istante t nella sezione di monte, essendo noti i valori della portata all'istante $t+Dt$ nella sezione di monte e di valle ed all'istante t nella sezione di valle. Il calcolo procede quindi a ritroso nel tempo ed è pertanto necessario, oltre che conoscere l'intera onda nella sezione di valle, attribuire un valore alla portata di monte al tempo $t=t_{max}$, ovvero all'istante terminale dell'onda. Nel giro di pochi intervalli di calcolo, l'influenza di tale condizione però scompare, ed i risultati ottenuti sono indipendenti da essa.

5.4 Applicazione

5.4.1 Torrente Baganza

Nel caso del torrente Baganza, la sezione di monte è posta in corrispondenza del ponte di Marzolarà (ove è ubicata anche una stazione di misura) e la sezione di valle è in corrispondenza della stazione di misura di Ponte Nuovo. Sulla base degli idrogrammi osservati degli eventi del 13 novembre 2000 e del 16 novembre 2000 si è potuto valutare in 90 minuti il ritardo tra i picchi transitanti nella sezione del ponte di Marzolarà e nella sezione dell'idrometrografo di Ponte Nuovo. Questo è l'unico dato che si è ritenuto utile per la taratura della scabrezza del tratto di fiume, poiché le due onde di piena hanno evidenziato macroscopiche incongruenze in termini di volumi che hanno reso impossibile qualsiasi procedura di taratura dei parametri del metodo Muskingum attraverso di esse. In mancanza di ulteriori informazioni attendibili si è pertanto deciso di procedere per altra via. La metodologia adottata è sintetizzata nei passi seguenti:

- sulla base del rilievo delle sezioni del torrente Baganza effettuato dall'Assessorato Ambiente della Provincia di Parma nel 1998, si è allestito il modello matematico del tratto di asta compreso tra le sezioni del Ponte di Marzolarà e di Ponte Nuovo;
- si è attribuito un coefficiente di scabrezza di Strickler variabile linearmente con la progressiva da $c=20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ a $c=30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ dal Ponte di Marzolarà fino alla sezione dell'idrometrografo di Ponte Nuovo. Tale incremento del coefficiente di Strickler

corrisponde ad una riduzione della scabrezza, giustificata da un progressivo addolcimento della pendenza del fiume a dalla conseguente riduzione della granulometria media del materiale d'alveo. I valori adottati hanno consentito inoltre di riprodurre adeguatamente il ritardo effettivamente registrato tra i colmi delle due onde;

- quale condizione al contorno di monte si è introdotta nel modello matematico l'onda di piena duecentennale ottenuta dalle elaborazioni statistiche effettuate sulle piene registrate a Ponte Nuovo; quale condizione al contorno di valle si è posta la portata costante nella Parma pari a $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ⁵;
- si è proceduto alla simulazione in condizioni di moto vario per la durata complessiva della piena, pari a 72 ore;
- le onda di piena in ingresso $Q_M(t)$ (imposta come condizione al contorno) ed in uscita $Q_V(t)$ (calcolata dal modello) dal tronco fluviale sono state utilizzate per la taratura dei parametri del metodo Muskingum, secondo quanto riportato nel par.5.2.1;

La Fig. 5.1 riporta, nel piano (W^*, Q^*) i risultati della taratura. Il valore di x ottimale è pari a 0.5; la retta ottenuta dalla regressione lineare dei punti ha coefficiente angolare $k=108 \text{ minuti}$.

⁵ Ai fini della taratura dei parametri si sarebbe potuto utilizzare una qualsiasi onda, purché sufficientemente impegnativa per l'alveo. La condizione al contorno di valle è invece irrilevante, in quanto rientra nel campo di valori di portata in Parma che non dà luogo ad alcun rigurgito.

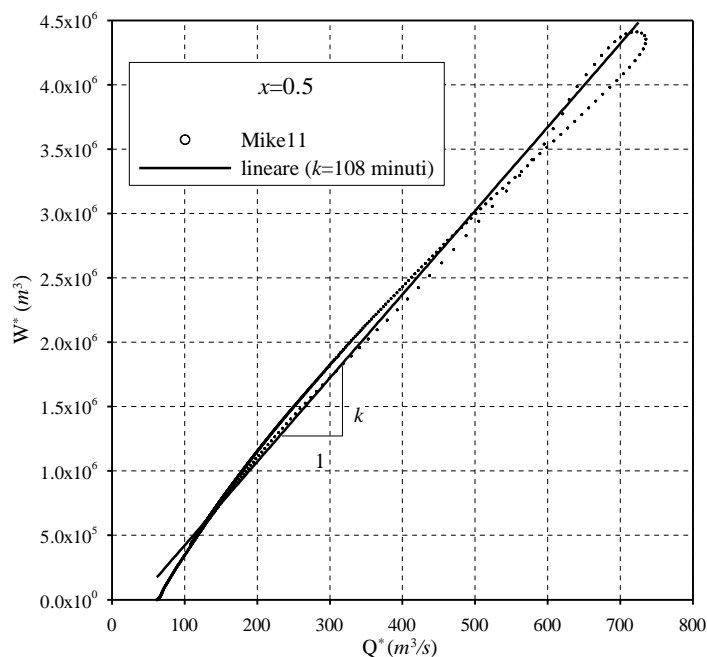


Figura 5.1 - Grafico per la taratura dei parametri del metodo Muskingum.

Con questi parametri e le modalità di de-laminazione riportate al precedente Paragrafo 5.3 si è proceduto alla ricostruzione dell'onda duecentennale alla sezione del ponte di Marzolarà, partendo da quella, nota, di medesimo tempo di ritorno a Ponte Nuovo. Per inizializzare il calcolo è necessario, a norma della (5.18), attribuire un valore alla portata di monte al tempo $t=t_{max}$, ovvero all'istante terminale dell'onda. Per verificare l'influenza di tale condizione si sono ricostruite le onde duecentennali di monte assegnando alla portata al tempo $t=72$ ore i valori $Q_M(72)=Q_V(72)$, $Q_M(72)=0.5 \cdot Q_V(72)$ e $Q_M(72)=0$. Nella Figura 5.2 sono mostrate le onde così ottenute. Come si apprezza meglio dal dettaglio riportato in Figura 5.3, già dal tempo $t=65$ ore e fino al tempo $t=0$ (si ricorda che il procedimento di calcolo è a ritroso) l'onda ricostruita non risulta minimamente influenzata da tale scelta. Si è pertanto deciso di adottare quel valore di $Q_M(72)$ che di volta in volta rendesse più regolare il tratto terminale del ramo di esaurimento della piena ricostruita.

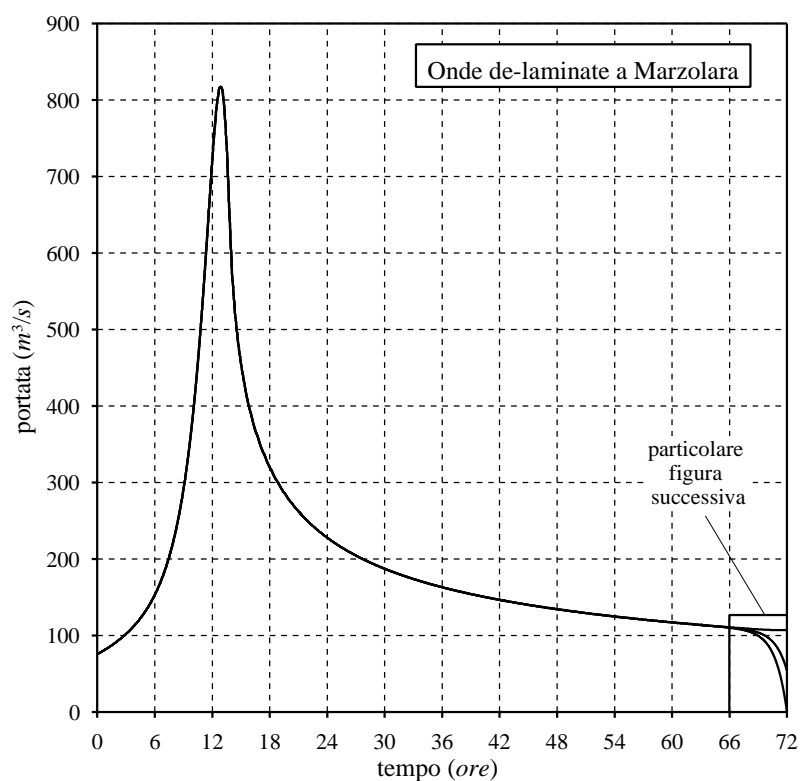


Figura 5.2 - Influenza della condizione finale sugli idrogrammi de-laminati.

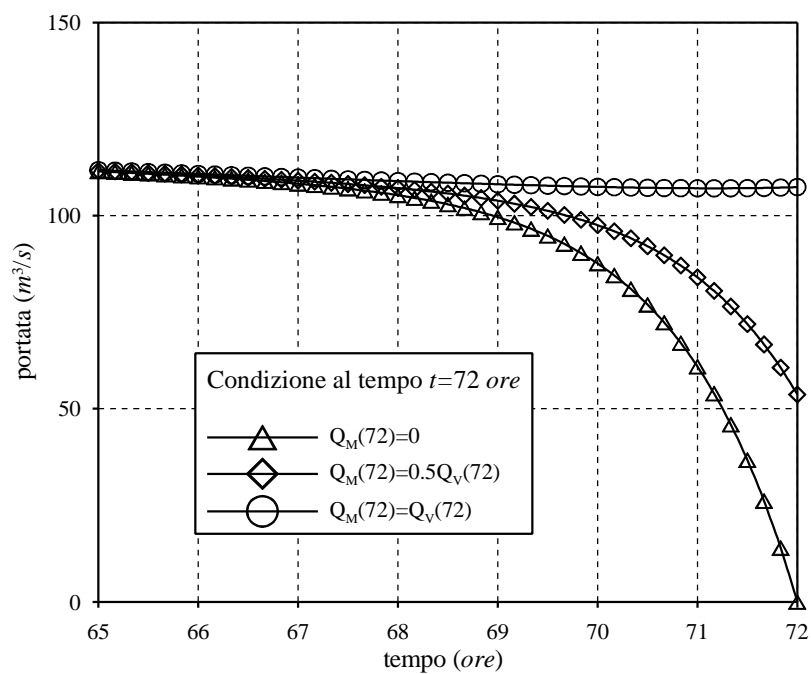


Figura 5.3 - Particolare dell'influenza della condizione finale sugli idrogrammi ricostruiti

Per verifica, l'onda ricostruita dalla procedura di de-laminazione è stata ri-inserita come condizione al contorno di monte nel modello matematico di moto vario ed è stata effettuata un'ulteriore simulazione. L'onda riprodotta a Ponte Nuovo dovrebbe idealmente sovrapporsi a quella originaria. Naturalmente questo non si verifica in quanto la metodologia di de-laminazione (che si appoggia sulle equazioni del metodo Muskingum) e di laminazione (che si appoggia sulle equazioni complete di De Saint Venant) non sono del tutto equivalenti. La Fig.5.4 riporta i risultati della procedura.

Con linea continua è indicata l'onda di piena a Ponte Nuovo ottenuta dalle elaborazioni statistiche di cui al Capitolo 4; con linea a tratto è riportata l'onda de-laminata in corrispondenza della sezione del ponte di Marzolarà; con linea a tratto e punto è indicata infine l'onda ri-ottenuta a Ponte Nuovo inserendo nel modello di moto vario come condizione al contorno l'onda de-laminata in corrispondenza del ponte di Marzolarà. Si può notare che la seconda e la terza onda sono praticamente coincidenti. Ciò conferma la validità della procedura adottata.

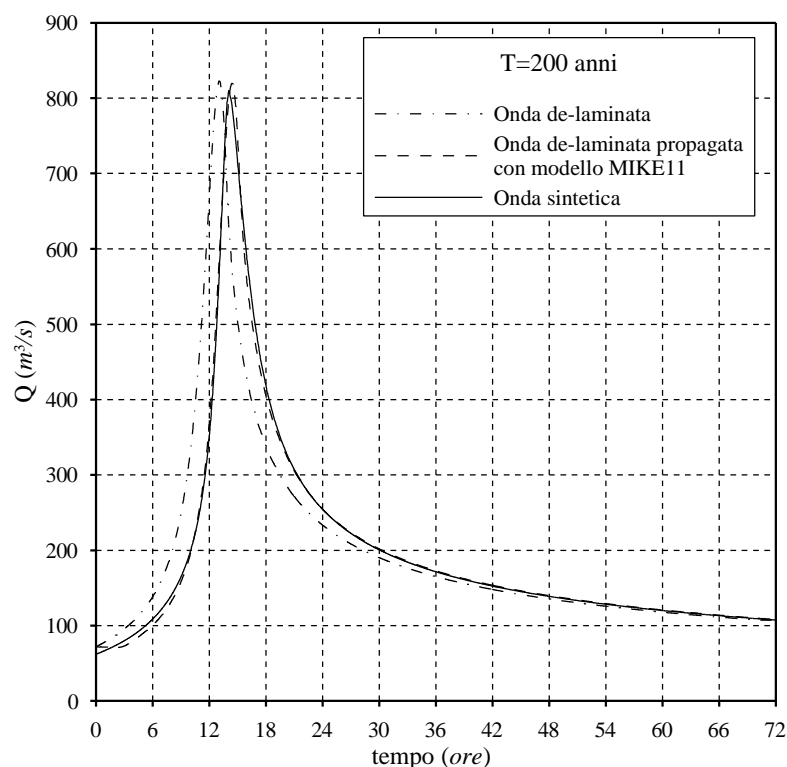


Figura 5.4 – Torrente Baganza tra Marzolarà e Ponte Nuovo: verifica della procedura di de-laminazione per T=200 anni.

Si è allora applicato il medesimo procedimento anche alle onde sintetiche di tempo di ritorno $T=20\div 100$ anni, ricalcolando volta per volta i parametri del metodo Muskingum. Si è deciso di mantenere costante il valore del coefficiente x pari a 0.5, verificando che per questo valore la curva nel piano (W^*, Q^*) risultasse il più possibile rettilinea ed univoca, andando poi a stimare mediante una regressione lineare il valore del parametro k per ogni tempo di ritorno.

Nelle Figure (5.5)-(5.7) sono riportati, in maniera analoga a quanto fatto in Figura 5.4 per l'onda sintetica di tempo di ritorno $T=200$ anni, i risultati della procedura di de-laminazione, insieme al valore del parametro k dedotto mediante taratura. Si nota, come era lecito attendersi, un graduale aumento del valore di k al ridursi del tempo di ritorno dell'onda considerata⁶.

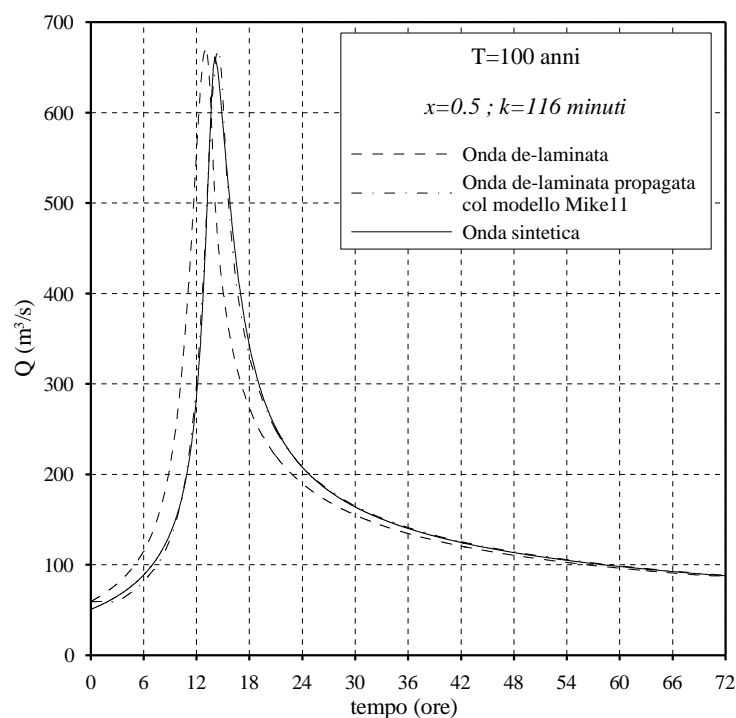


Figura 5.5 - Torrente Baganza tra Marzolaro e Ponte Nuovo: verifica della procedura di de-laminazione per $T=100$ anni..

⁶ Il valore del parametro k è confrontabile con il tempo di propagazione lungo l'asta fluviale; tale tempo aumenta al ridursi del tempo di ritorno dell'evento considerato.

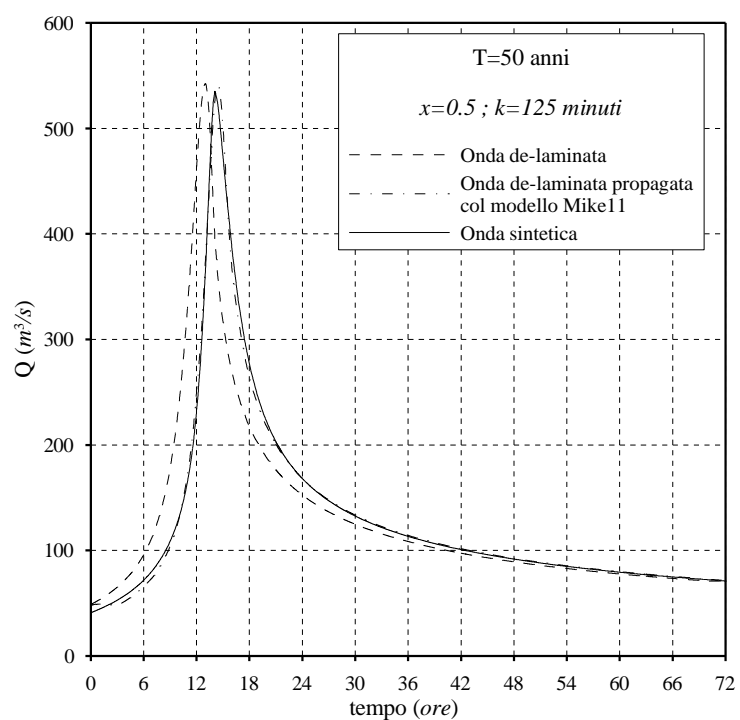


Figura 5.6 - Torrente Baganza tra Marzolarà e Ponte Nuovo: verifica della procedura di de-laminazione per $T=50$ anni.

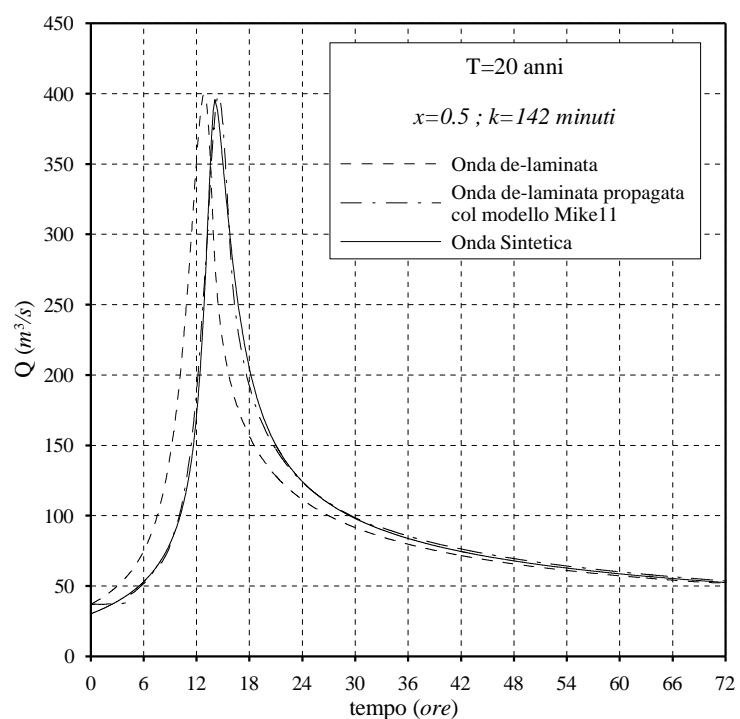


Figura 5.7 - Torrente Baganza tra Marzolarà e Ponte Nuovo: verifica della procedura di de-laminazione per $T=20$ anni.

5.4.2 Torrente Parma

Per ottenere le onde di piena sintetiche in corrispondenza del ponte di Panocchia sul torrente Parma si è proceduto in maniera analoga a quanto esposto per il torrente Baganza. Non si è però potuto tarare, per mancanza di dati, il coefficiente di scabrezza in base al ritardo osservato di un'onda di piena storica tra due stazioni di misura. Il valore di scabrezza è allora stato assunto per analogia ai valori ricavati per il Baganza.

La metodologia adottata è sintetizzata nei passi seguenti:

- sulla base dell'ultimo rilievo delle sezioni del torrente Parma⁷ si è allestito il modello matematico del tratto di asta compreso tra la sezione n° 98 (Ponte di Panocchia) e la sezione subito a monte della confluenza; si è attribuito un coefficiente di scabrezza di Strickler variabile linearmente da $c=20 \text{ m}^{1/3}/s$ a $c=35 \text{ m}^{1/3}/s$ dalla sezione n° 98 fino alla sezione subito a monte della confluenza, giustificato da un progressivo addolcimento della pendenza del fiume e dalla conseguente riduzione della granulometria media del materiale d'alveo;
- quale condizione al contorno di monte si è introdotta nel modello matematico l'onda di piena duecentennale ottenuta dalla regionalizzazione in corrispondenza della sezione di Ponte Dattaro; quale condizione al contorno di valle si è assunto un valore di portata costante nel torrente Baganza pari a $100 \text{ m}^3/s$;
- si è proceduto alla simulazione in condizioni di moto vario per la durata complessiva della piena, pari a 72 ore;
- le onde di piena in ingresso $Q_M(t)$ (imposta come condizione al contorno) ed in uscita $Q_V(t)$ (calcolata dal modello) dal tronco fluviale sono state utilizzate per la taratura dei parametri del metodo Muskingum;
- le due costanti k ed x sono state stimate con il consueto procedimento di taratura.

Si è poi applicato il medesimo procedimento per le onde sintetiche di $T=20\div 200$ anni, ricalcolando di volta i parametri del metodo Muskingum. Si è deciso di mantenere costante il valore del coefficiente x pari a 0.5, verificando che per questo valore la curva

⁷ Il rilievo è stato effettuato dal Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Parma in convenzione con l'Amministrazione Provinciale di Parma nel 2000.

nel piano (W^*, Q^*) risultasse il più possibile rettilinea ed univoca, andando poi a stimare mediante una regressione lineare il valore del parametro k per ogni tempo di ritorno.

Nelle Figure (5.8)-(5.11) vengono presentati i risultati della procedura. Anche in questo caso le onde ricostruite dalla procedura di de-laminazione sono state ri-inserite come condizione al contorno di monte nel modello di moto vario ed è stata effettuata un'ulteriore simulazione per ogni tempo di ritorno. Le onde riprodotte a Ponte Dattaro dovrebbero idealmente sovrapporsi a quelle originarie. Anche nel caso del torrente Parma si può notare la sostanziale sovrapposizione delle onde ricavate con i due metodi differenti.

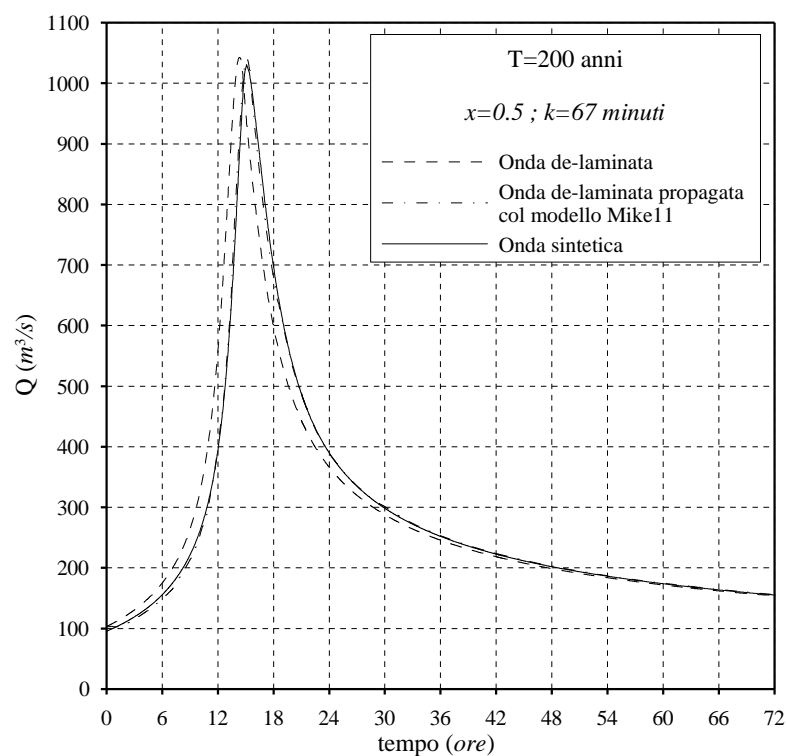


Figura 5.8 - Torrente Baganza tra Panocchia e Ponte Dattaro: verifica della procedura di de-laminazione per $T=200$ anni.

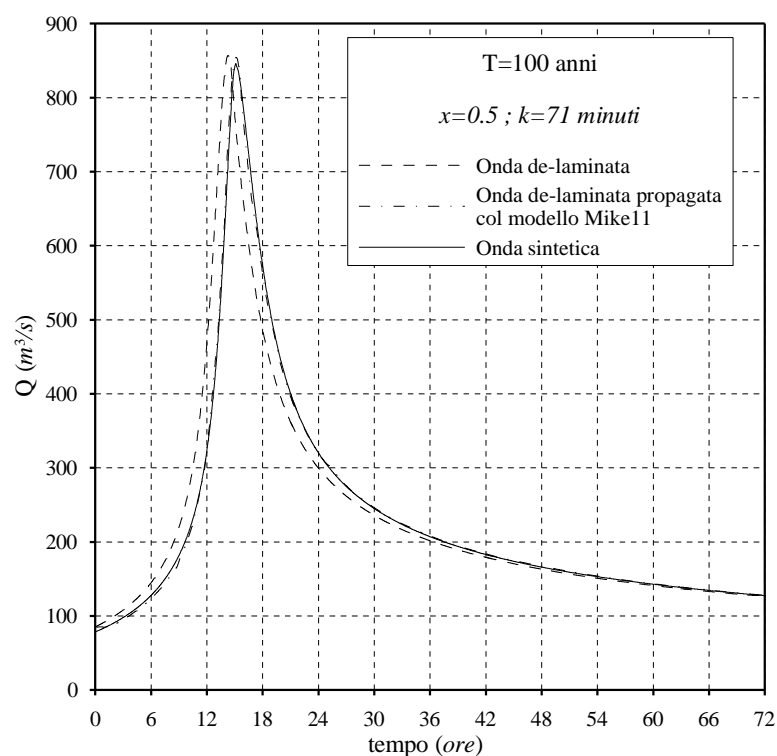


Figura 5.9 - Torrente Baganza tra Panocchia e Ponte Dattaro: verifica della procedura di de-laminazione per $T=100$ anni.

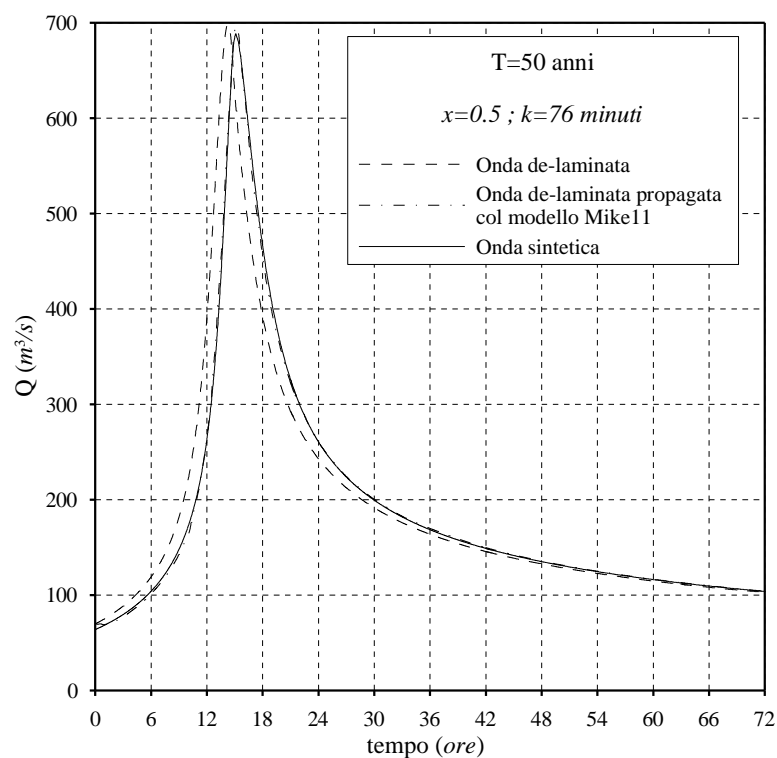


Figura 5.10 - Torrente Baganza tra Panocchia e Ponte Dattaro: verifica della procedura di de-laminazione per $T=50$ anni.

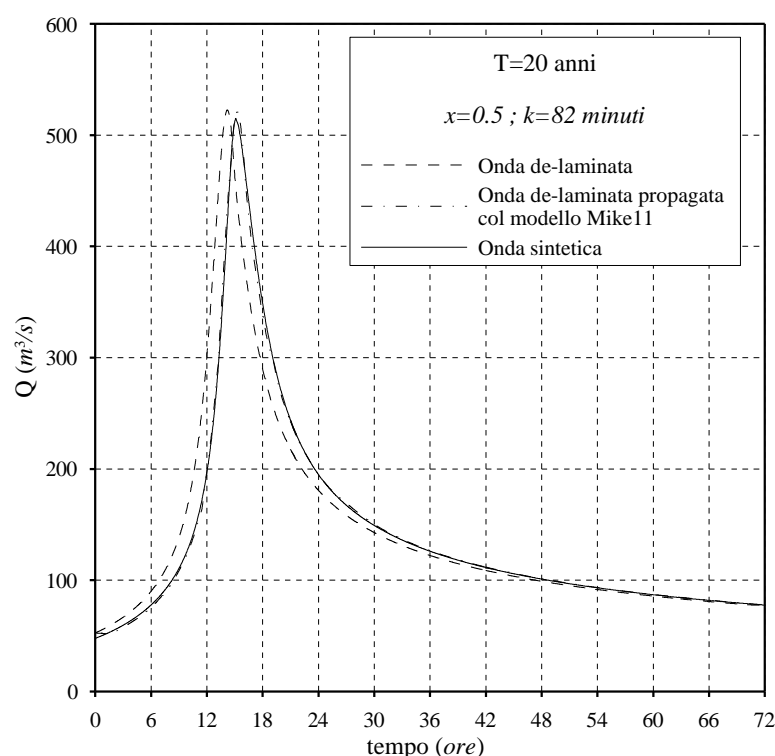


Figura 5.11 - Torrente Baganza tra Panocchia e Ponte Dattaro: verifica della procedura di de-laminazione per $T=20$ anni.

5.5 Considerazioni conclusive

A scopo riassuntivo, nelle Figure 5.12 e 5.13 sono riportati gli idrogrammi ottenuti con la procedura di *de-laminazione* precedentemente descritta in corrispondenza della sezione del ponte di Marzolarà sul torrente Baganza e del Ponte di Panocchia (sezione 98) sul torrente Parma. Le Tabelle F.9 e F.10 in Appendice F riportano i valori numerici.

Nei due casi in esame le onde subiscono un modesto effetto di laminazione e in definitiva vengono traslate da monte a valle senza attenuare apprezzabilmente né il valore delle portate al colmo, né allungare la durata, né in definitiva, modificare la distribuzione dei volumi.

Per questo motivo si potrà scegliere di utilizzare indifferentemente come onde in ingresso alle casse di espansione sia le onde sintetiche ricavate attraverso la regionalizzazione che le onde sintetiche ricavate attraverso la procedura di de-laminazione.

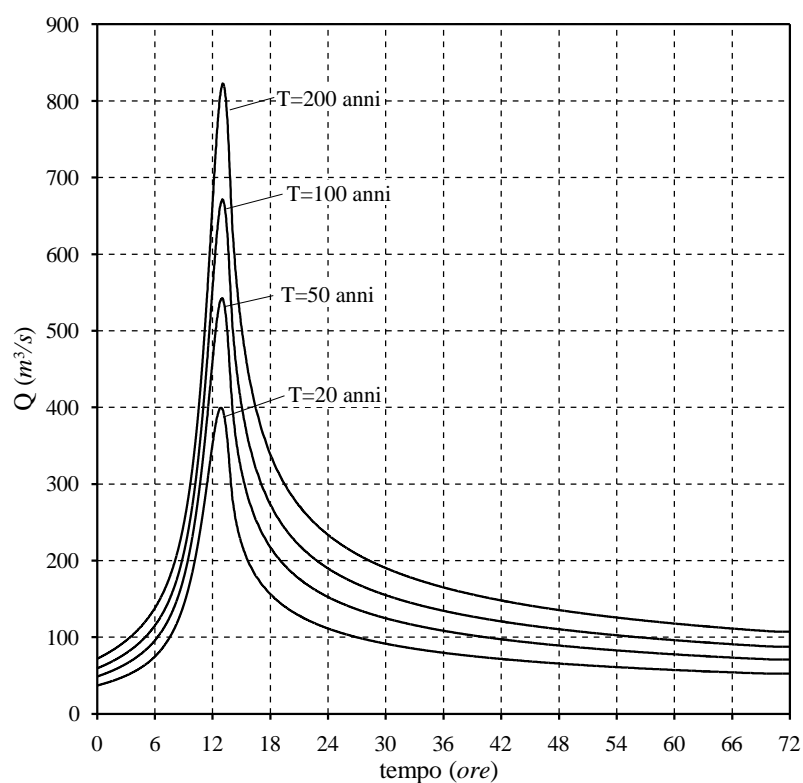


Figura 5.12 - Onde di piena sintetiche alla sezione del ponte di Marzolara per $T=20, 50, 100$ e 200 anni.

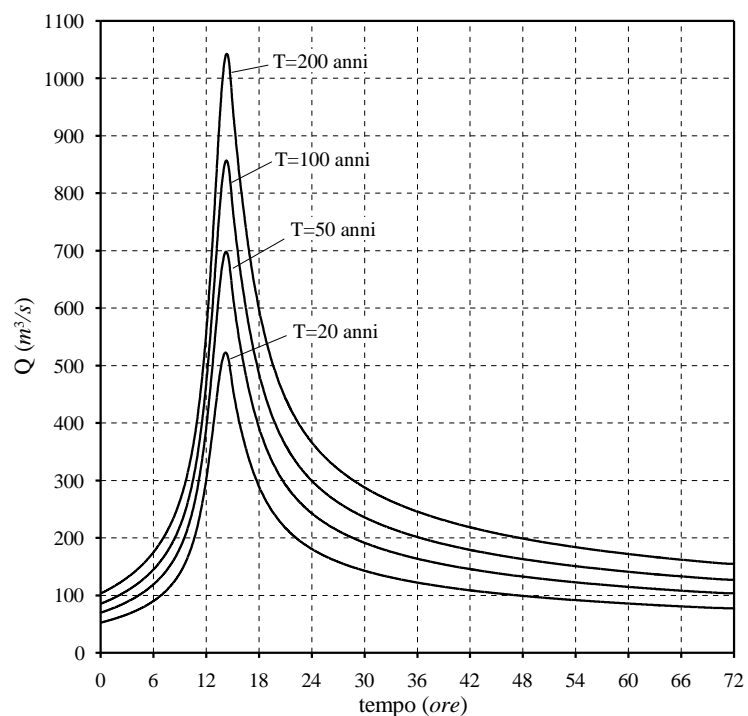


Figura 5.13 - Onde di piena sintetiche in corrispondenza del Ponte di Panocchia (Sez. n° 98 della Parma) per $T=20, 50, 100$ e 200 anni.

APPENDICE A

**Scale di deflusso pubblicate sugli Annali Idrologici per la
stazione di Ponte Bottego.**

1956		1957		1958		1959	
<i>h (cm)</i>	<i>Q (m³/s)</i>	<i>h (cm)</i>	<i>Q (m³/s)</i>	<i>h (cm)</i>	<i>Q (m³/s)</i>	<i>h (cm)</i>	<i>Q (m³/s)</i>
95	0	fino 12/12		fino 12/11		fino 27/10	
96	0.10	50	0	50	0	95	0
97	0.90	60	0.28	60	0.07	97	0.32
98	3.45	80	3.10	75	1.05	99	3.80
99	7.55	100	11.8	100	10.2	100	7.90
100	12.9	140	44.8	125	30.0	120	20.7
110	19.3	170	77.7	150	56.0	140	38.7
120	26.0	200	124	175	89.9	160	62.5
130	34.0	221	174	200	134	180	94.2
140	43.7	dal 3/12		239	223	200	133
150	55.2	50	0	dal 13/11		209	152
160	68.7	70	0.35	60	0.07	dal 28/10	
170	84.4	100	10.2	75	0.58	98	1.81
180	102	150	56.0	100	7.90	99	4.65
190	123	175	89.9	125	24.7	100	8.72
203	154	185	106	150	49.5	130	28.7
				175	85.7	150	48.2
				200	132	170	73.4
				230	200	200	121
				264	305	234	194

Tabella A. 1 - Scale di deflusso numeriche per la sezione di Ponte Bottego (torrente Parma) pubblicate sugli Annali Idrologici – Parte II per gli anni 1956-1959.

1960		1961		1962		1963	
<i>h (cm)</i>	<i>Q (m³/s)</i>	<i>h (cm)</i>	<i>Q (m³/s)</i>	<i>h (cm)</i>	<i>Q (m³/s)</i>	<i>h (cm)</i>	<i>Q (m³/s)</i>
fino 14/3		65	0	65	0	70	0
99	8.40	70	0.10	66	0.02	75	0.20
110	14.2	80	0.58	68	0.06	80	0.58
130	28.7	90	2.13	70	0.10	85	1.30
150	48.2	100	4.30	72	0.14	90	2.13
170	73.4	110	7.10	74	0.19	95	3.15
188	101	120	10.5	77	0.37	100	4.30
dal 15/3		130	16.0	81	0.72	105	5.65
53	0	140	22.5	85	1.30	110	7.10
80	1.20	150	30.0	90	2.13	115	8.85
100	4.60	160	40.0	95	3.15	120	10.5
120	10.5	170	52.8	100	4.30	125	13.3
140	22.5	180	64.7	105	5.65	130	16.0
160	40.0	190	77.9	110	7.10	135	19.3
180	64.7	200	92.7	115	8.85	140	22.5
200	92.7	210	109	120	10.5	150	30.0
220	127	220	127	125	13.3	160	40.0
240	168	230	147	130	16.0	170	52.1
260	216	240	168	135	19.3	180	64.7
286	290	251	193	140	22.5	190	77.9
				145	26.3	200	92.7
				150	30.0	210	109
				155	35.0	220	127
				160	40.0	230	147
				170	52.8	240	168
				180	64.7	250	191
				190	77.9	260	216
				200	92.7	270	243
				210	109	280	272
				220	127	290	302
				230	147	300	335
				236	161	301	338

Tabella A.2 - Scale di deflusso numeriche per la sezione di Ponte Bottego (torrente Parma) pubblicate sugli Annali Idrologici – Parte II per gli anni 1960-1963.

1964		1965		1966		1967	
<i>h (cm)</i>	<i>Q (m³/s)</i>	<i>h (cm)</i>	<i>Q (m³/s)</i>	<i>h (cm)</i>	<i>Q (m³/s)</i>	<i>h (cm)</i>	<i>Q (m³/s)</i>
fino 15/3		80	0	fino 21/2		56	0
83	1.01	85	0.28	93	0.73	58	0.02
90	2.13	90	0.55	100	1.50	60	0.06
100	4.30	95	0.85	110	3.60	62	0.13
110	7.10	100	1.50	120	6.90	64	0.21
120	10.5	105	2.40	125	8.90	66	0.28
130	16.0	110	3.60	dal 22/2		68	0.36
140	22.5	115	5.10	78	0	72	0.57
150	30.0	120	6.90	80	0.02	76	0.84
160	40.0	125	8.90	90	0.40	80	1.11
170	52.8	130	11.2	100	1.84	85	1.71
180	64.7	135	13.6	120	5.50	90	2.30
200	92.7	140	16.3	140	10.7	95	3.12
220	127	145	19.1	160	21.9	100	3.94
240	168	150	22.3	180	39.8	105	4.87
247	185	155	25.6	200	68.8	110	5.80
dal 16/3		160	29.1	225	128	115	7.40
80	0	170	37.1	250	190	120	9.0
90	0.55	180	46.2	275	258	125	11.1
100	1.50	190	56.8	300	335	130	13.2
110	3.60	200	69.1	325	420	140	19.0
120	6.90	210	83.5	350	520	150	25.8
130	11.2	220	101	375	647	160	34.0
140	16.3	230	124	381	680	170	43.7
150	22.3	240	153	dal 3/10		180	54.1
160	29.6	250	183	121	9.42	190	66.8
180	46.2	260	213	130	13.2	200	81.5
200	69.1	270	243	150	25.8	220	118
220	101	280	272	175	48.9	240	164
240	153	290	302	200	81.5	260	216
260	213	300	335	250	190	300	335
267	234	312	374	291	305	327	427

Tabella 2A.3 - Scale di deflusso numeriche per la sezione di Ponte Bottego (torrente Parma) pubblicate sugli Annali Idrologici – Parte II per gli anni 1964-1967.

1968		1969		1970		1971	
<i>h (cm)</i>	<i>Q (m³/s)</i>	<i>h (cm)</i>	<i>Q (m³/s)</i>	<i>h (cm)</i>	<i>Q (m³/s)</i>	<i>h (cm)</i>	<i>Q (m³/s)</i>
fino 23/2		56	0	56	0	56	0
68	0.36	60	0.16	60	0.16	57	0.04
80	1.11	70	0.72	70	0.72	58	0.08
100	3.94	80	1.54	80	1.54	59	0.12
125	11.1	90	2.80	90	2.80	60	0.16
150	25.8	100	5.00	100	5.00	65	0.44
200	81.5	110	7.50	110	7.50	70	0.72
246	?	120	10.5	120	10.5	75	1.13
dal 24/2		130	14.0	130	14.0	80	1.54
56	0	140	19.0	140	19.0	85	2.17
60	0.06	150	25.0	150	25.0	90	2.80
65	0.25	160	33.0	160	33.0	100	5.00
70	0.43	170	42.0	170	42.0	110	7.50
75	0.77	180	52.0	180	52.0	120	10.5
80	1.11	190	64.0	190	64.0	130	14.0
90	2.30	200	77.0	200	77.0	140	19.0
100	3.94	210	92.0	210	92.0	150	25.0
110	5.80	220	109	220	109	160	33.0
120	9.0	230	127	230	127	170	42.0
130	13.2	240	147	240	147	180	52.0
140	19.0	250	170	250	170	190	64.0
150	25.8	260	195	260	195	200	77.0
165	38.9	270	221	270	221	210	92.0
180	54.1	280	249	280	249	220	109
200	81.5	290	278	290	278	230	127
220	118	300	310	300	310	240	147
240	164	310	345	310	345	250	170
260	216	320	383	320	383	260	195
280	272	330	424	330	424	270	221
300	335	340	471	340	471	280	249
320	401	350	525	350	525	290	278
340	477	352	580	360	580	300	310

Tabella A.4 - Scale di deflusso numeriche per la sezione di Ponte Bottego (torrente Parma) pubblicate sugli Annali Idrologici – Parte II per gli anni 1968-1971.

1972		1973		1974		1975	
<i>h (cm)</i>	<i>Q (m³/s)</i>	<i>h (cm)</i>	<i>Q (m³/s)</i>	<i>h (cm)</i>	<i>Q (m³/s)</i>	<i>h (cm)</i>	<i>Q (m³/s)</i>
56	0	56	0	56	0	52	0
58	0.08	58	0.08	60	0.16	56	0.05
60	0.16	60	0.16	65	0.41	60	0.16
65	0.44	65	0.44	70	0.72	65	0.39
70	0.72	70	0.72	75	1.05	70	0.72
75	1.13	75	1.13	80	1.54	75	1.07
80	1.54	80	1.54	85	2.18	80	1.54
85	2.17	85	2.17	90	2.97	85	2.12
90	2.80	90	2.8	95	3.91	90	2.80
100	5.00	100	5.00	100	5.00	100	5.00
110	7.50	110	7.5	110	7.37	110	7.57
120	10.5	120	10.5	120	10.5	120	10.5
130	14.0	130	14.0	130	14.4	130	14.1
140	19.0	140	19.0	140	19.0	140	19.0
150	25.0	150	25.0	150	25.3	150	25.3
160	33.0	160	33.0	160	33.0	160	33.0
170	42.0	170	42.0	170	42.0	170	41.8
180	52.0	180	52.0	180	52.3	180	52.0
190	64.0	190	64.0	190	64.0	190	63.8
200	77.0	200	77.0	200	77.0	200	77.0
210	92.0	210	92.0	210	92.2	210	92.2
220	109	220	109	220	109	220	109
230	127	230	128	230	128	230	127
240	147	240	147	240	149	240	147
250	170	250	171	250	171	250	170
260	195	260	195	260	195	260	195
270	221	270	222	270	221	270	221
280	249	280	249	280	249	280	249
290	278	290	280	290	279	290	279
300	310	300	310	300	320	300	310
310	345	325	418	310	343	325	408
320	383	350	525	320	378	350	525

Tabella A.5 - Scale di deflusso numeriche per la sezione di Ponte Bottego (torrente Parma) pubblicate sugli Annali Idrologici – Parte II per gli anni 1972-1975.

1976				1977			
h (cm)	Q (m ³ /s)	h (cm)	Q (m ³ /s)	h (cm)	Q (m ³ /s)	h (cm)	Q (m ³ /s)
52	0	170	41.8	56	0.02	170	41.8
56	0.05	180	52.0	58	0.08	180	52.0
60	0.16	190	63.8	60	0.16	190	63.8
65	0.39	200	77.0	65	0.40	200	77.0
70	0.72	210	92.2	70	0.72	210	92.2
75	1.07	220	109	75	1.07	220	109
80	1.54	230	127	80	1.54	230	127
85	2.12	240	147	85	2.12	240	147
90	2.80	250	170	90	2.80	250	170
100	5.00	260	195	100	5.00	260	195
110	7.57	270	221	110	7.57	270	221
120	10.5	280	249	120	10.5	280	249
130	14.1	290	279	130	14.1	290	279
140	19.0	300	310	140	19.0	300	310
150	25.3	325	408	150	25.3	325	408
160	33.0	350	525	160	33.0	350	525

Tabella A.6: - Scale di deflusso numeriche per la sezione di Ponte Bottego (torrente Parma) pubblicate sugli Annali Idrologici – Parte II per gli anni 1976-1977.

APPENDICE B

**Idrogrammi di piena dei principali eventi osservati nelle
stazioni di Ponte Bottego (torrente Parma) e Ponte Nuovo
(torrente Baganza)**

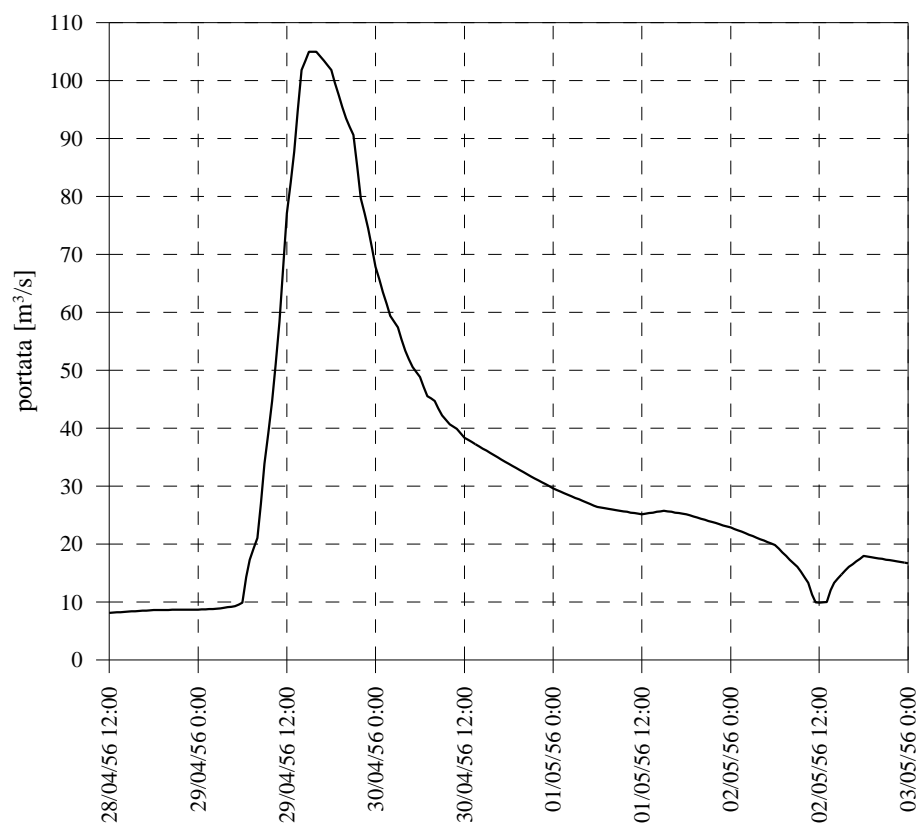


Figura B 1: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 28/04/1956 h. 12:00

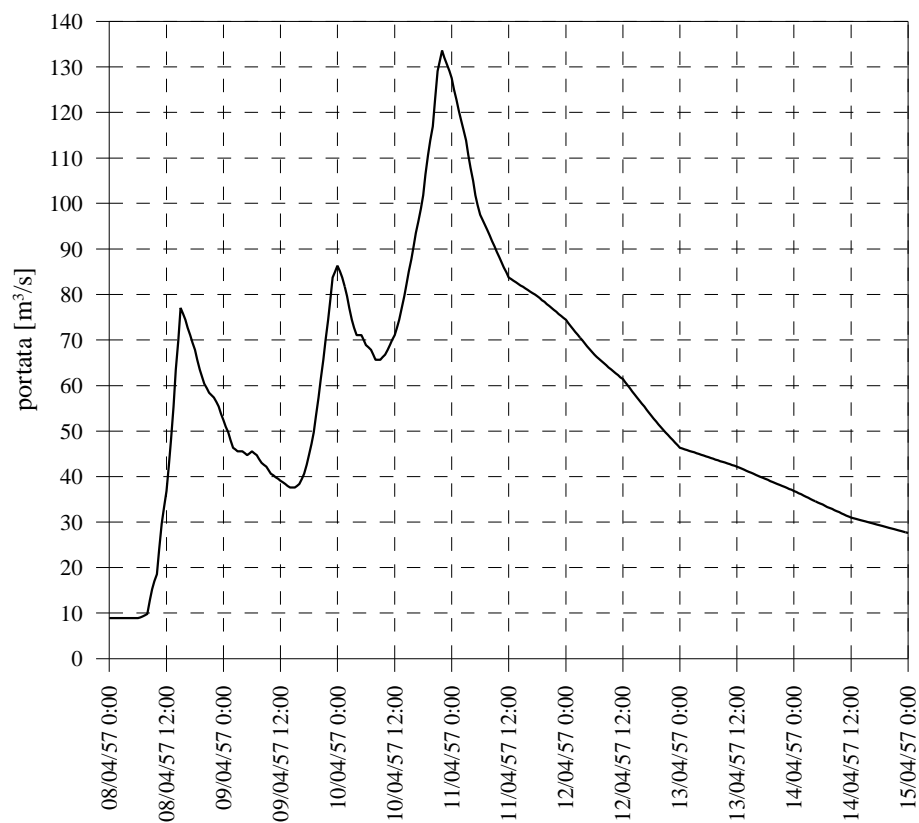


Figura B 2: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 08/04/1957 h. 00:00

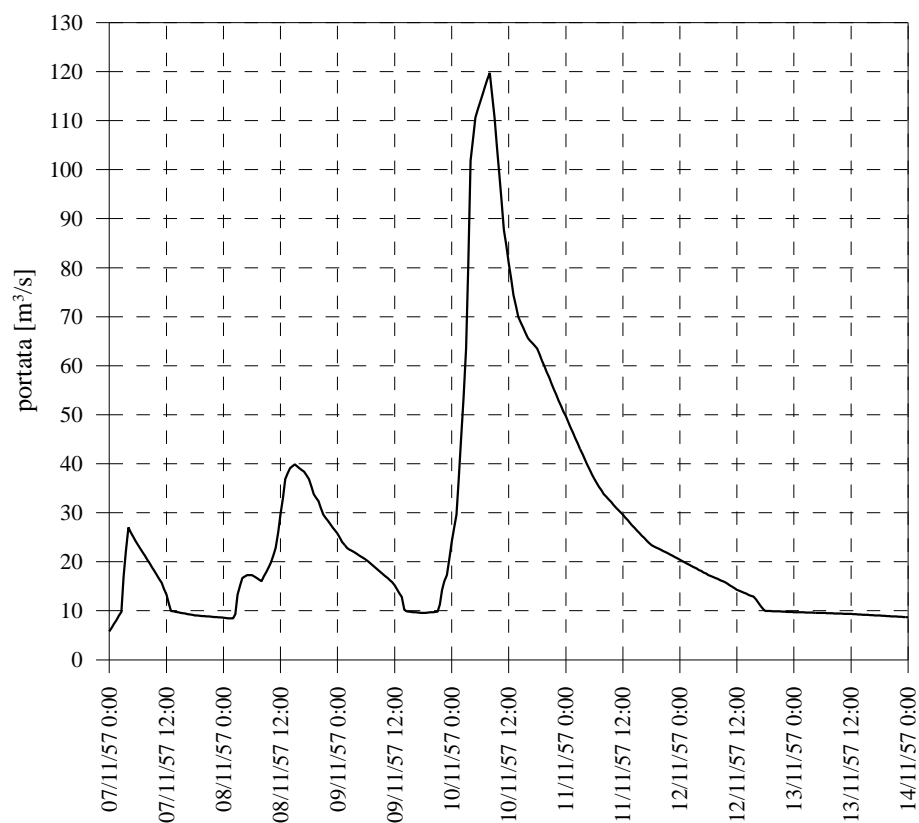


Figura B 3: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 07/11/1957 h. 00:00

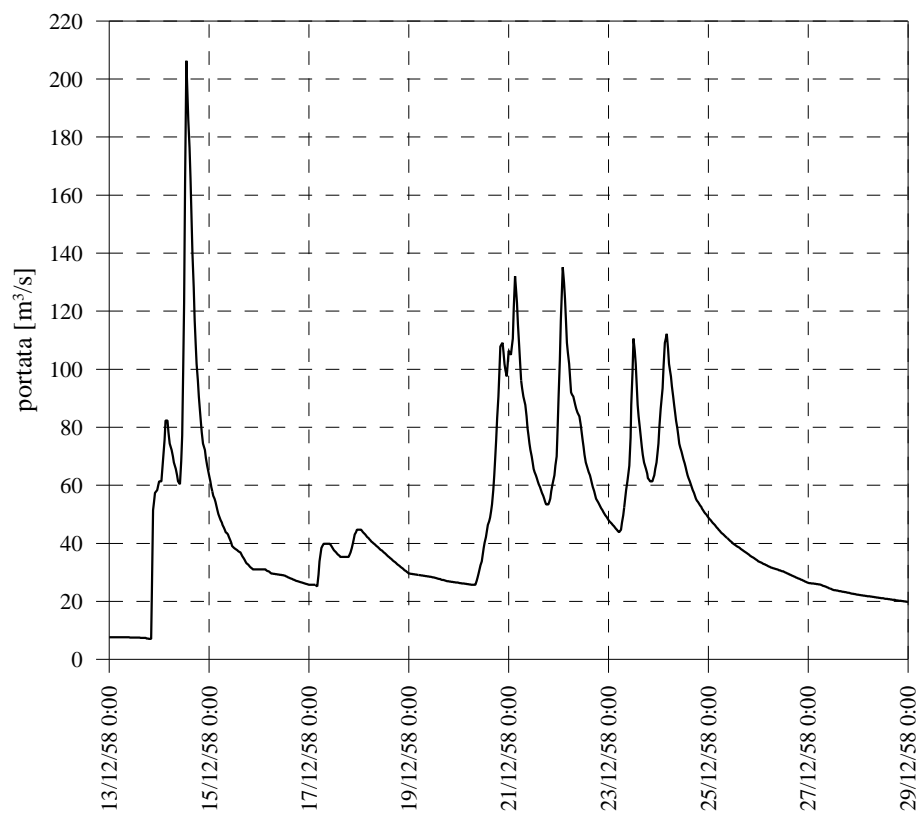


Figura B 4: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 13/12/1958 h. 00:00

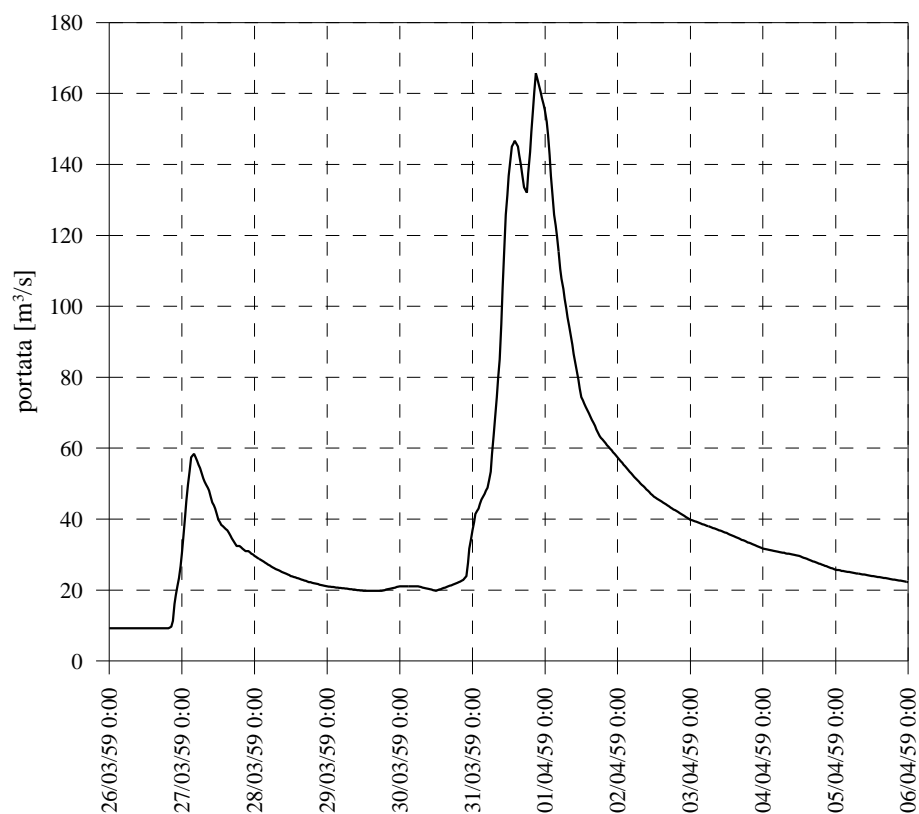


Figura B 5: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 26/03/1959 h. 00:00

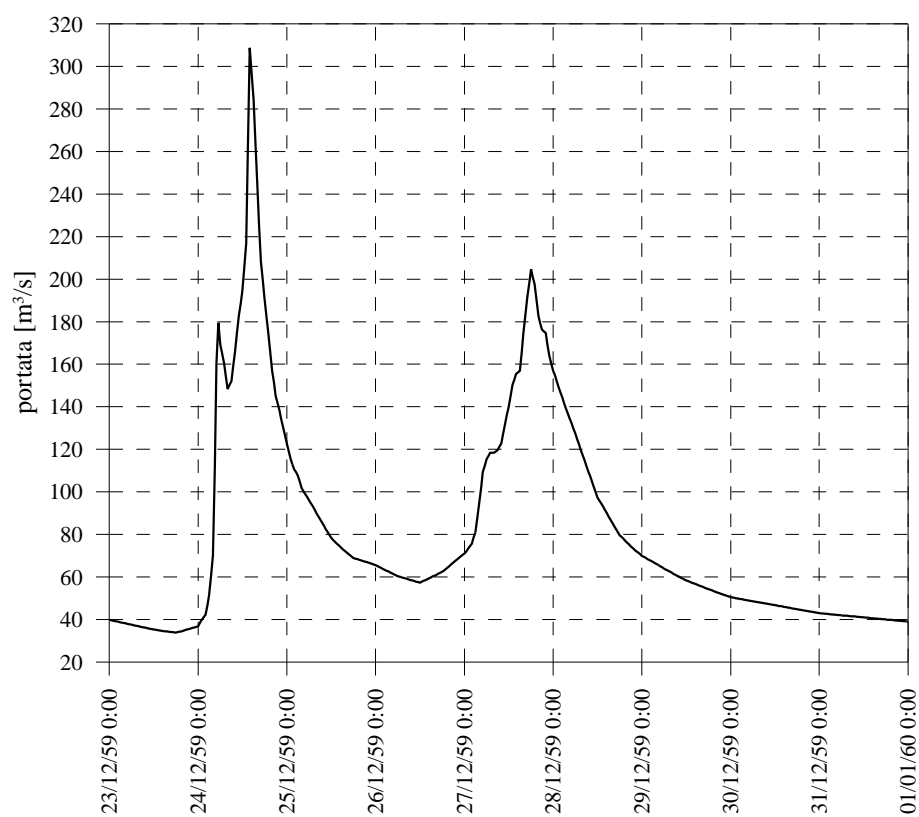


Figura B 6: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 23/12/1959 h. 00:00

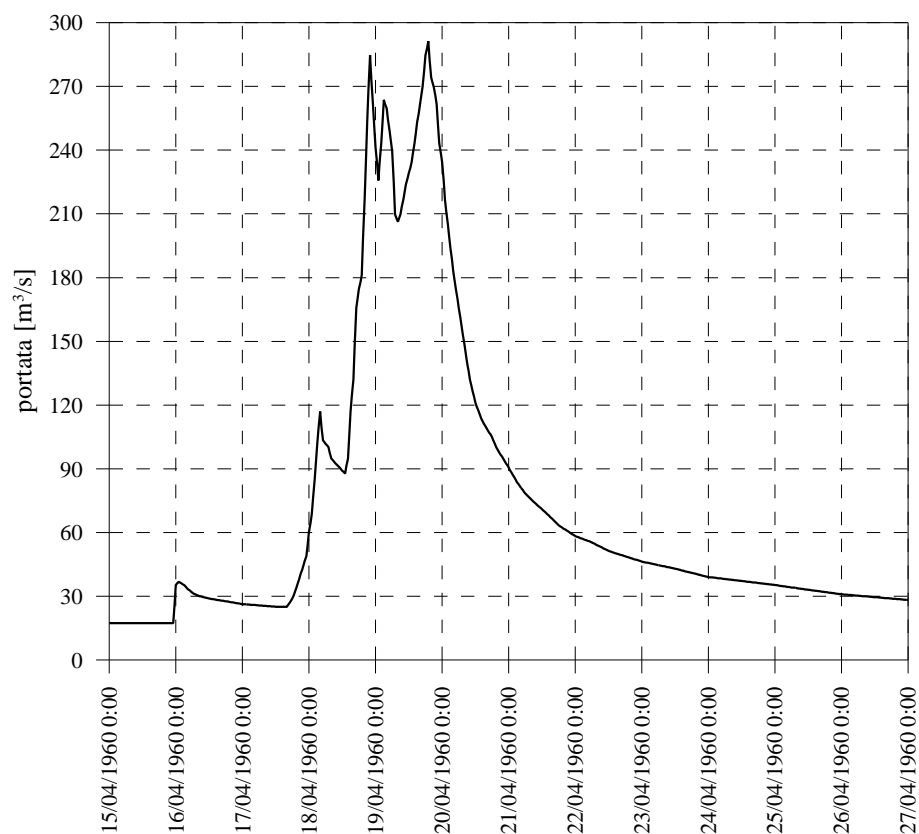


Figura B 7: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 15/04/1960 h. 00:00

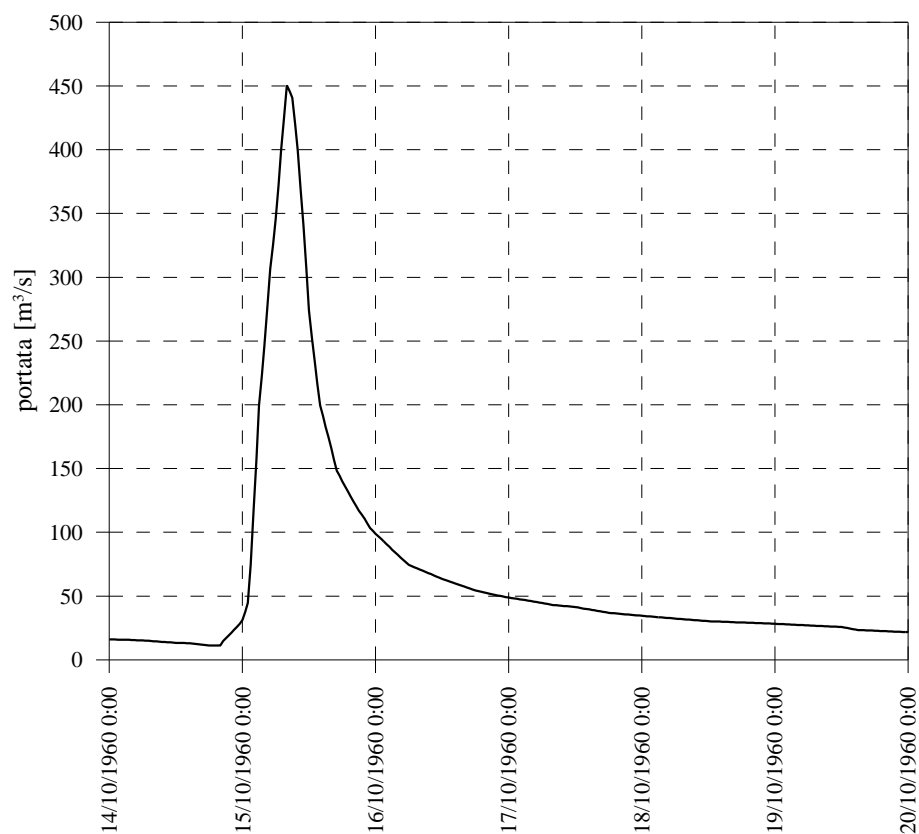


Figura B 8: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 14/10/1960 h. 00:00

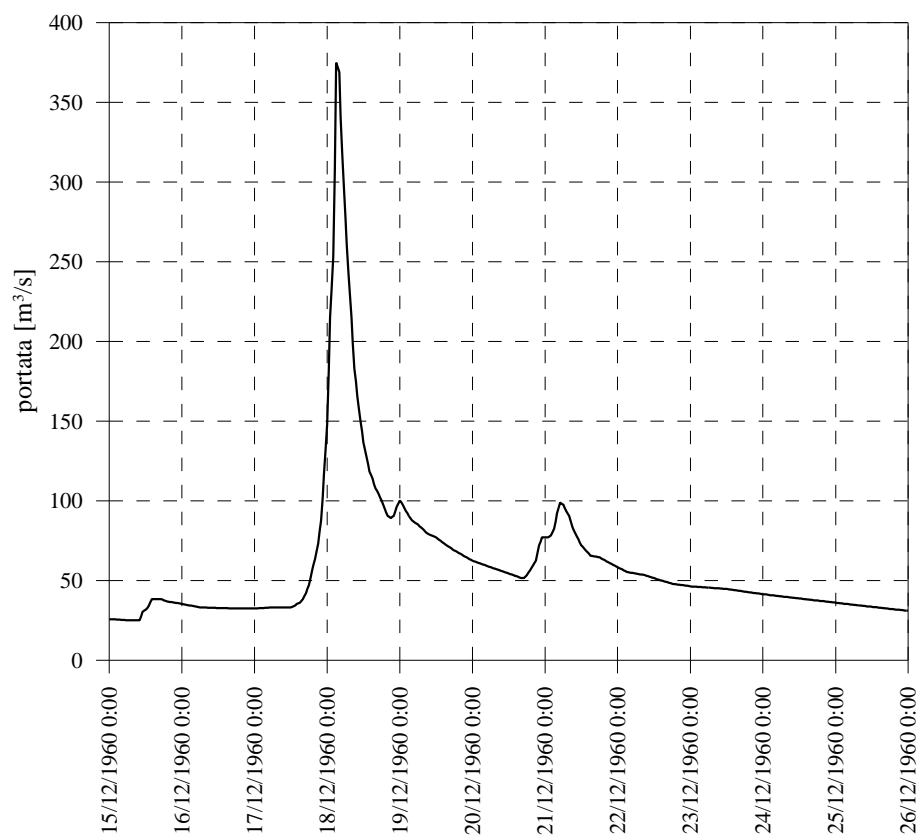


Figura B 9: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 15/12/1960 h. 00:00

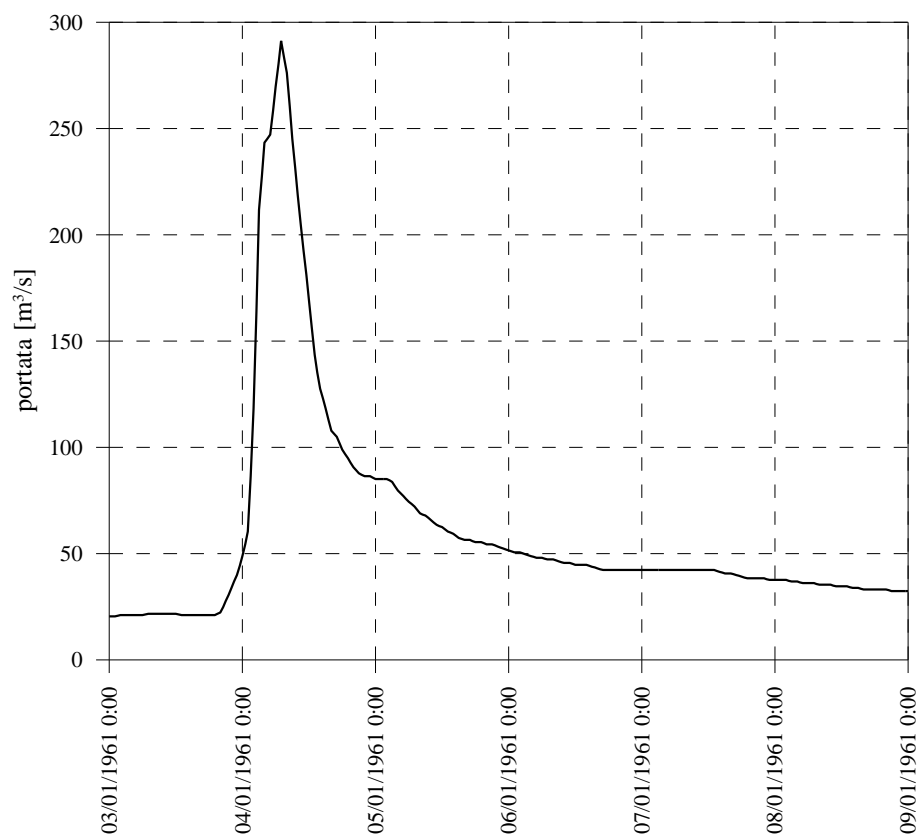


Figura B 10: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 03/01/1961 h. 00:00

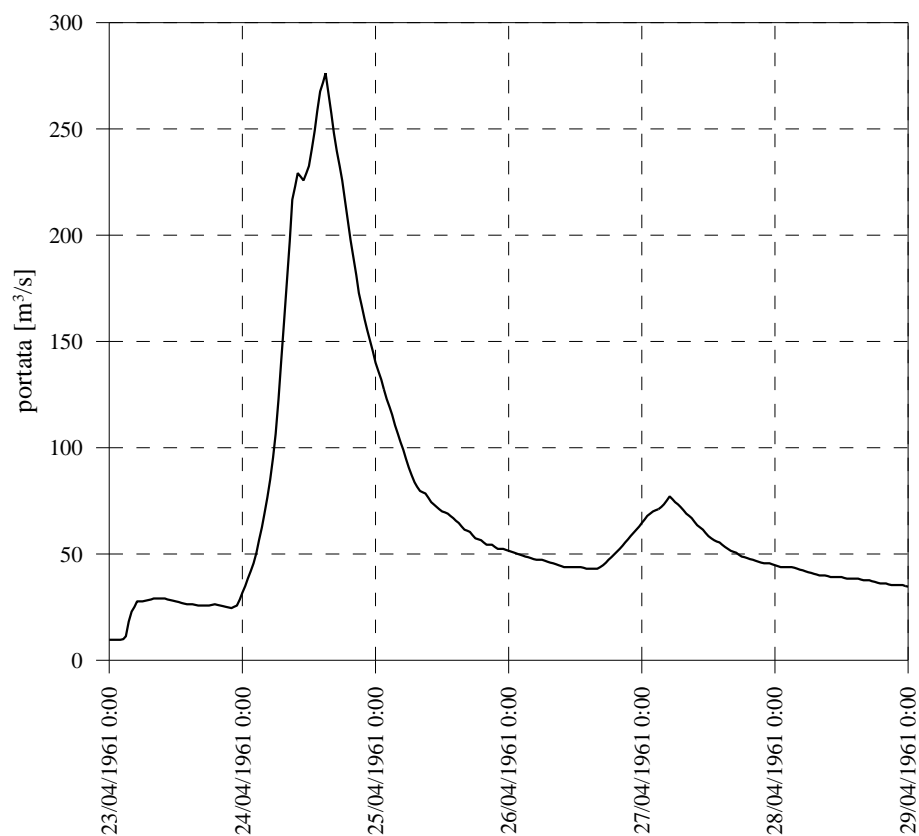


Figura B 11: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 23/04/1961 h. 00:00

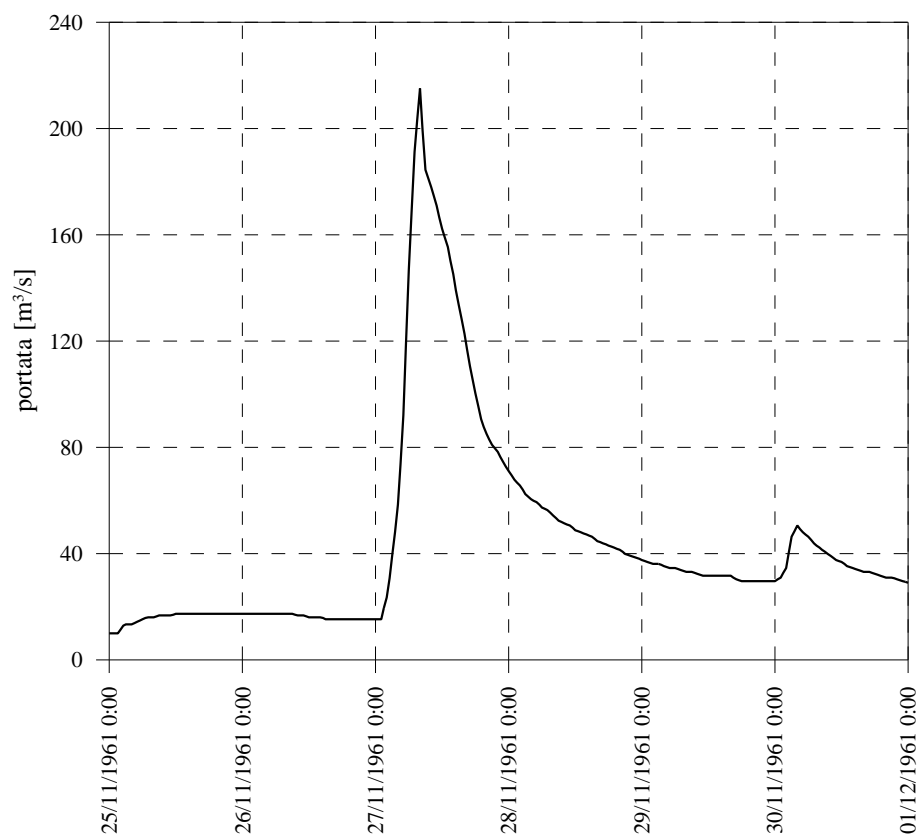


Figura B 12: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 25/11/1961 h. 00:00

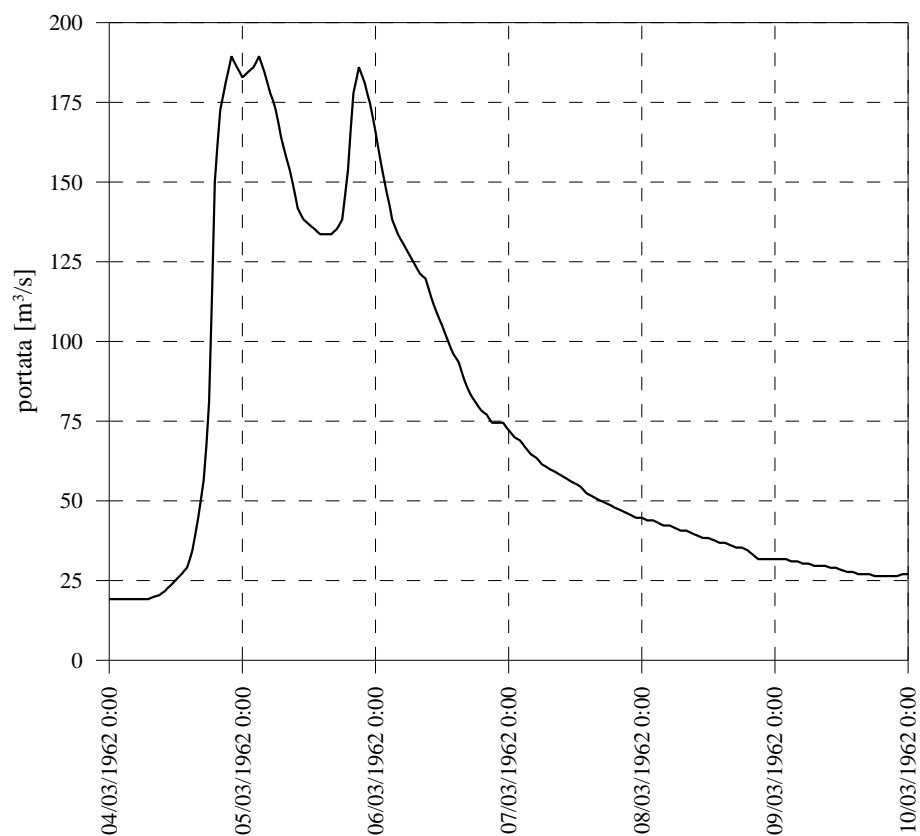


Figura B 13: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 04/03/1962 h. 00:00

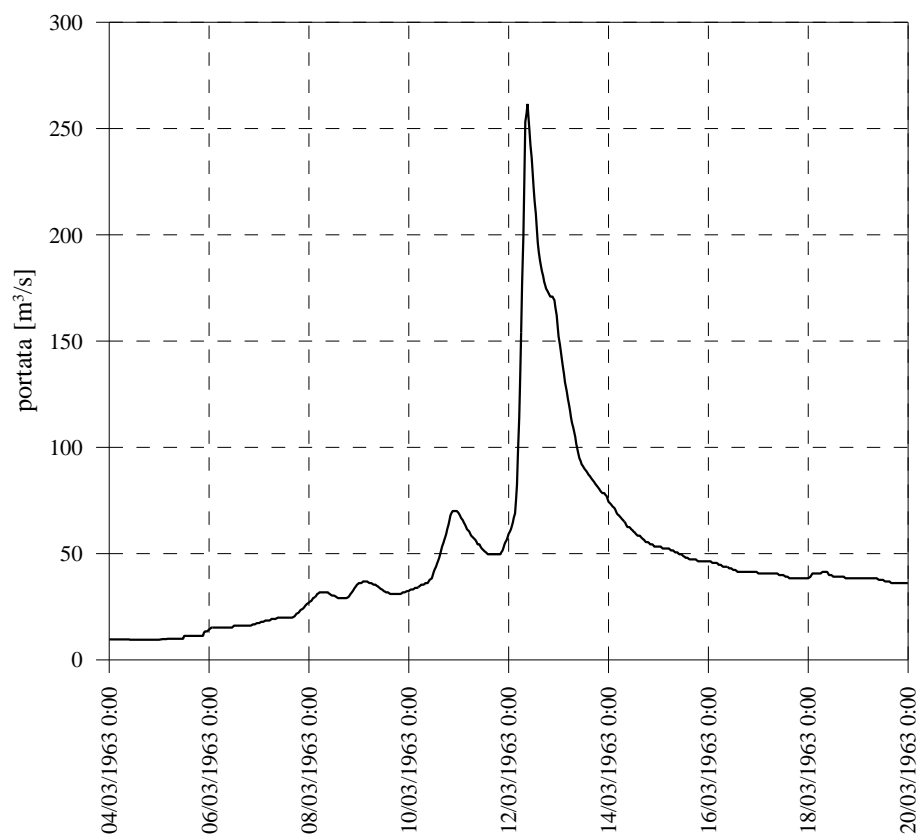


Figura B 14: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 04/03/1963 h. 00:00

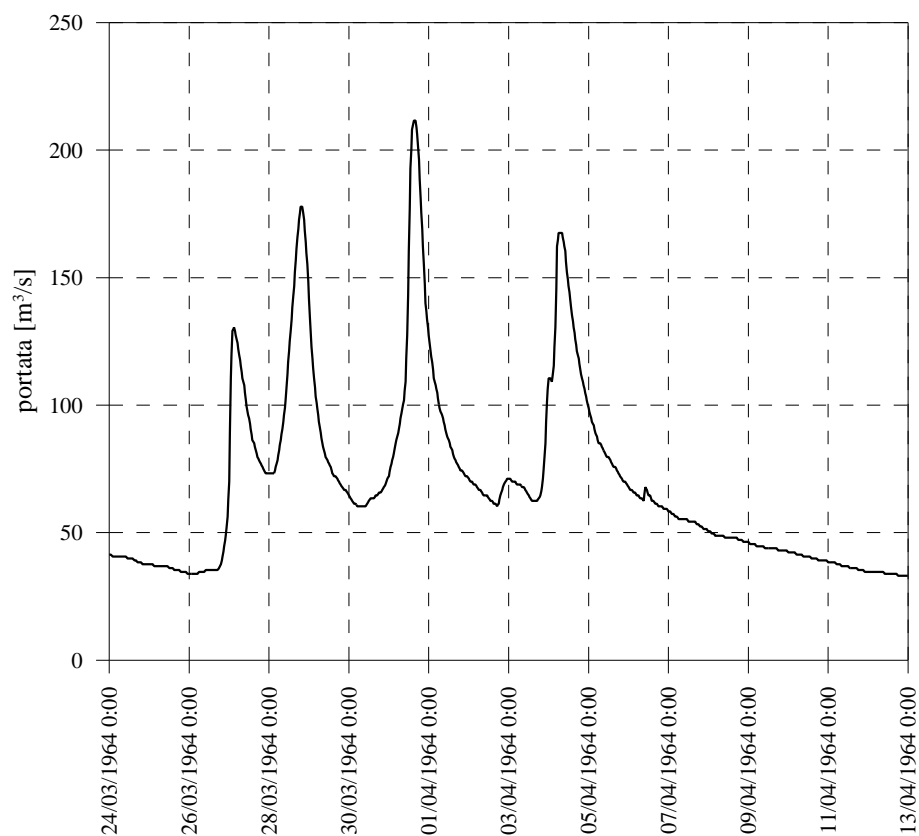


Figura B 15: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 24/03/1964 h. 00:00

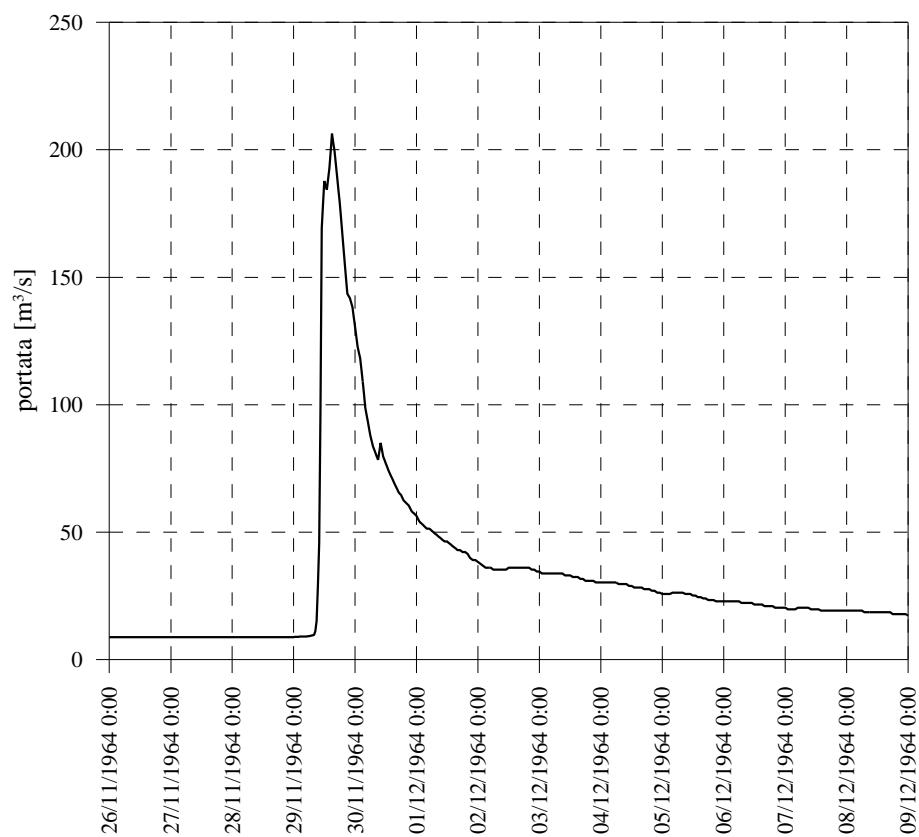


Figura B 16: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 26/11/1964 h. 00:00

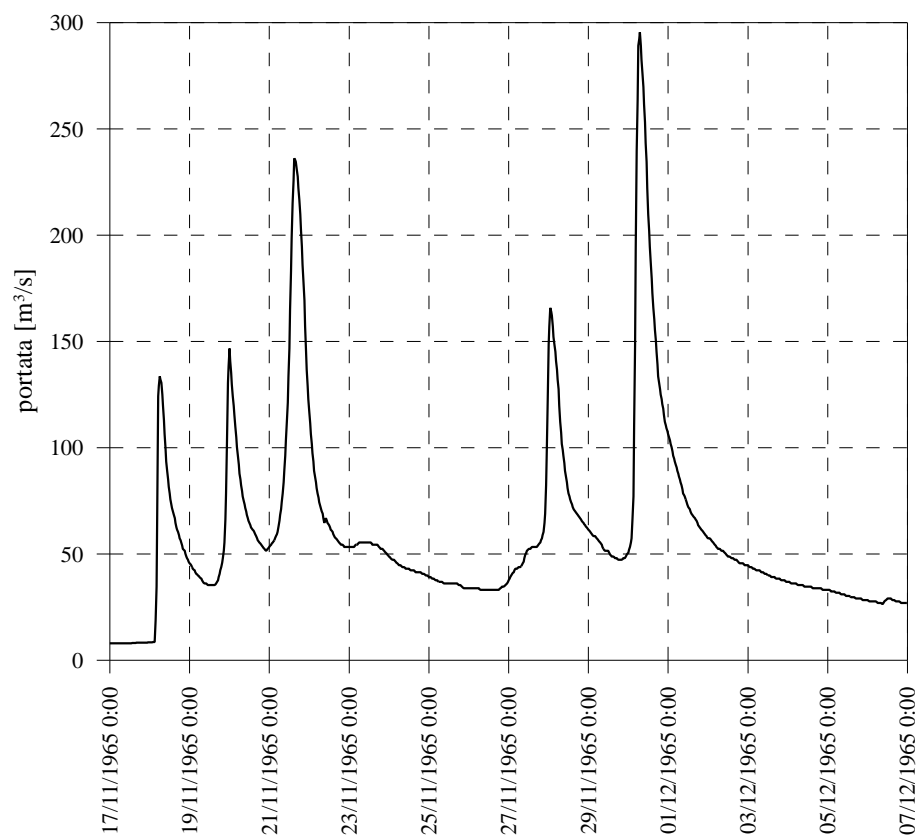


Figura B 17: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 17/11/1965 h. 00:00

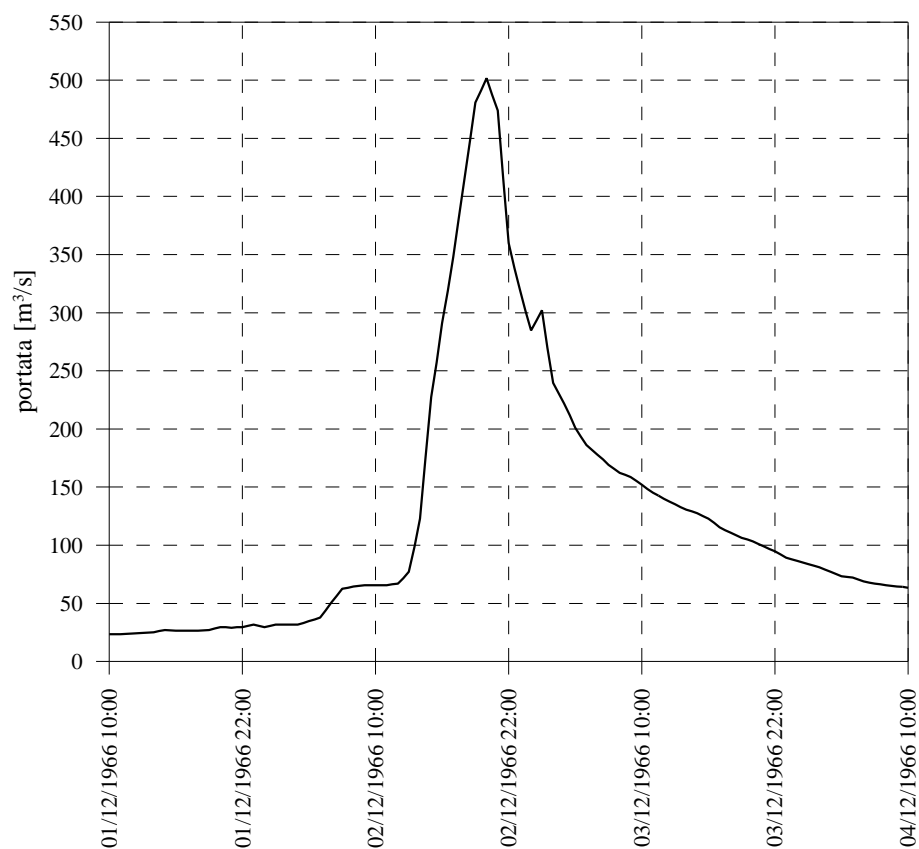


Figura B 18: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 01/12/1966 h. 00:00

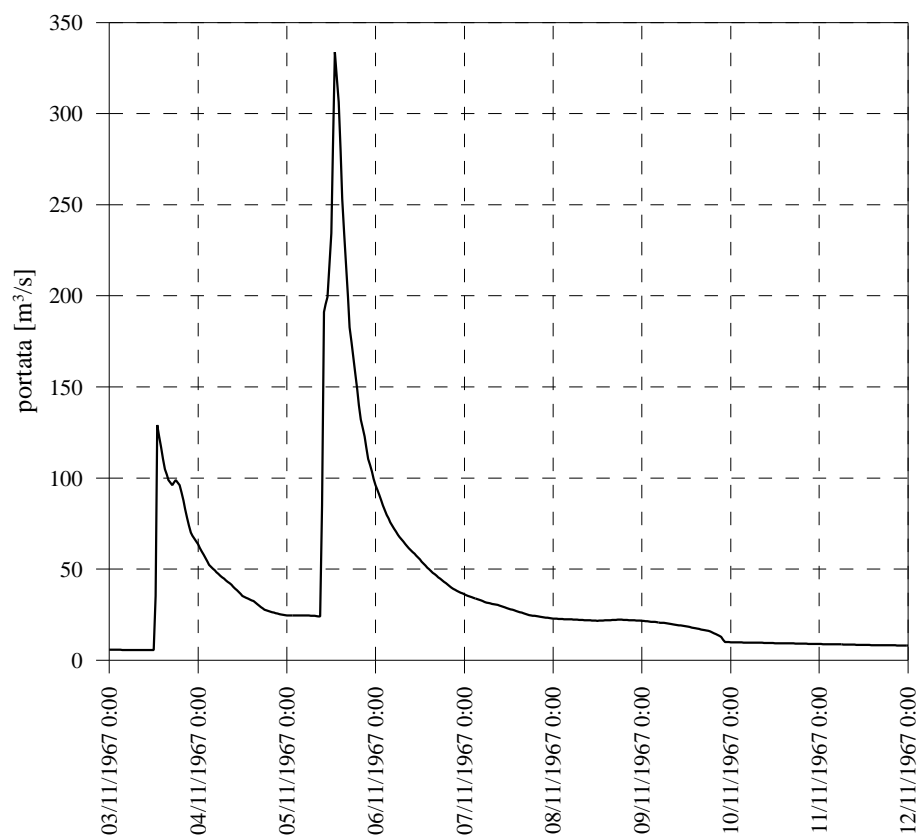


Figura B 19: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 03/11/1967 h. 00:00

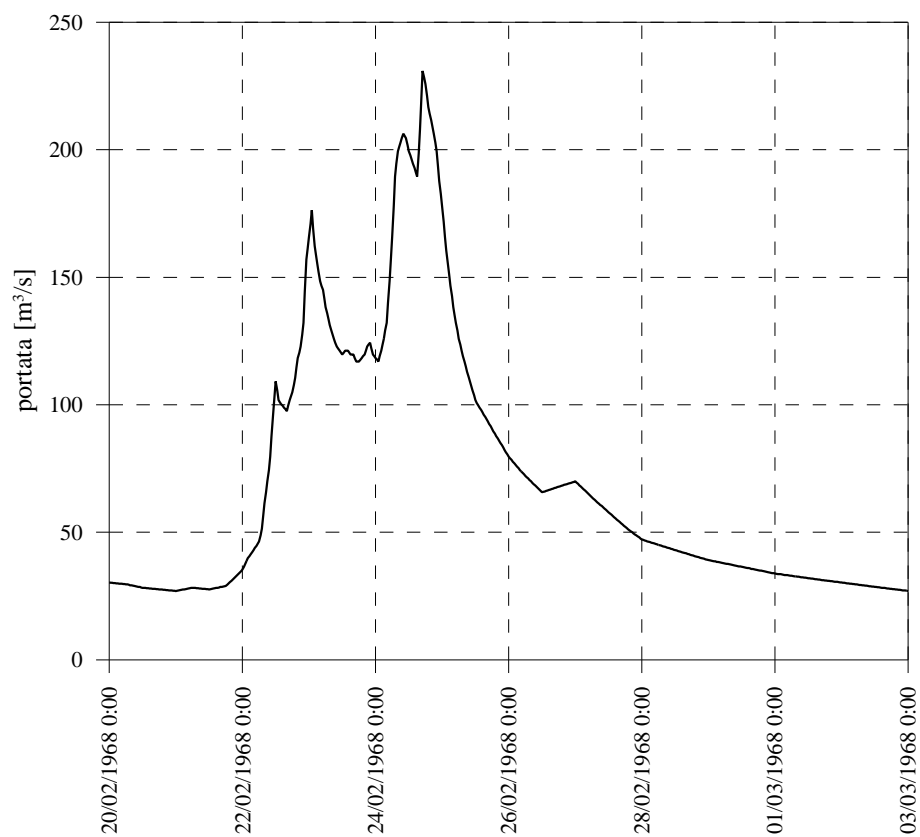


Figura B 20: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 20/02/1968 h. 00:00

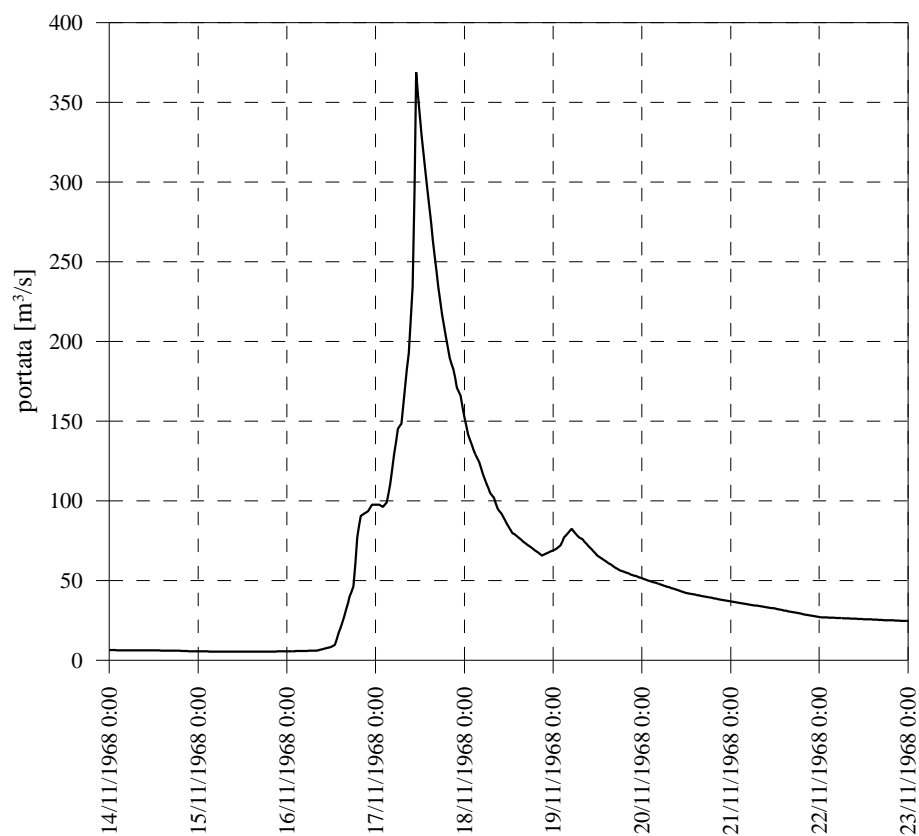


Figura B 21: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 14/11/1968 h. 00:00

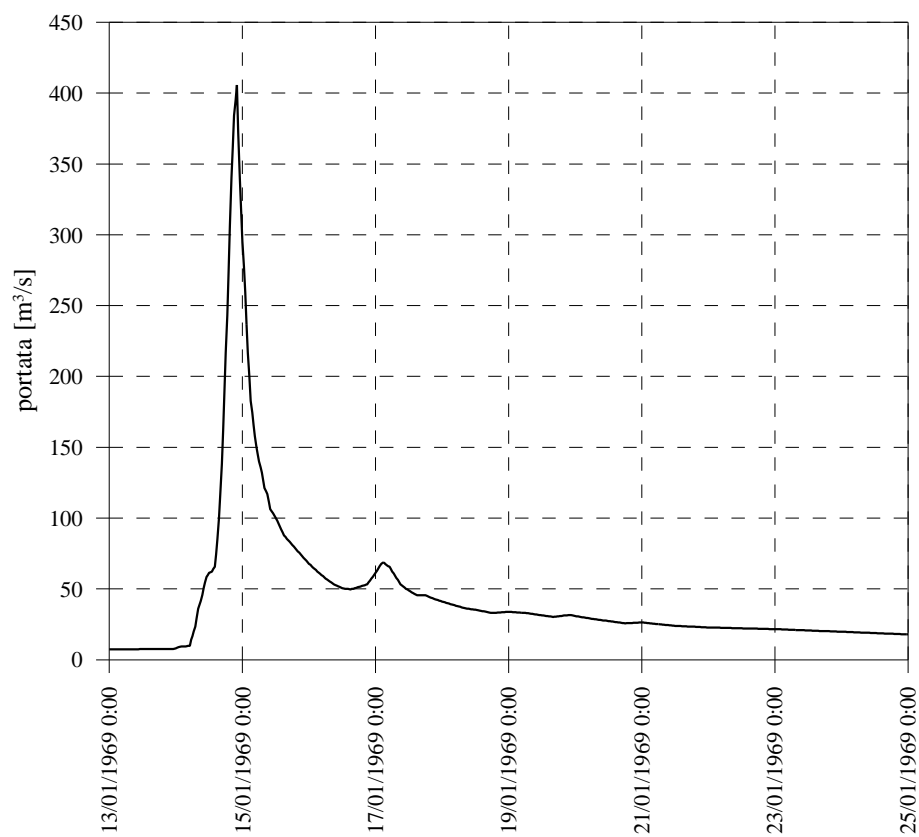


Figura B 22: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 13/01/1969 h. 00:00

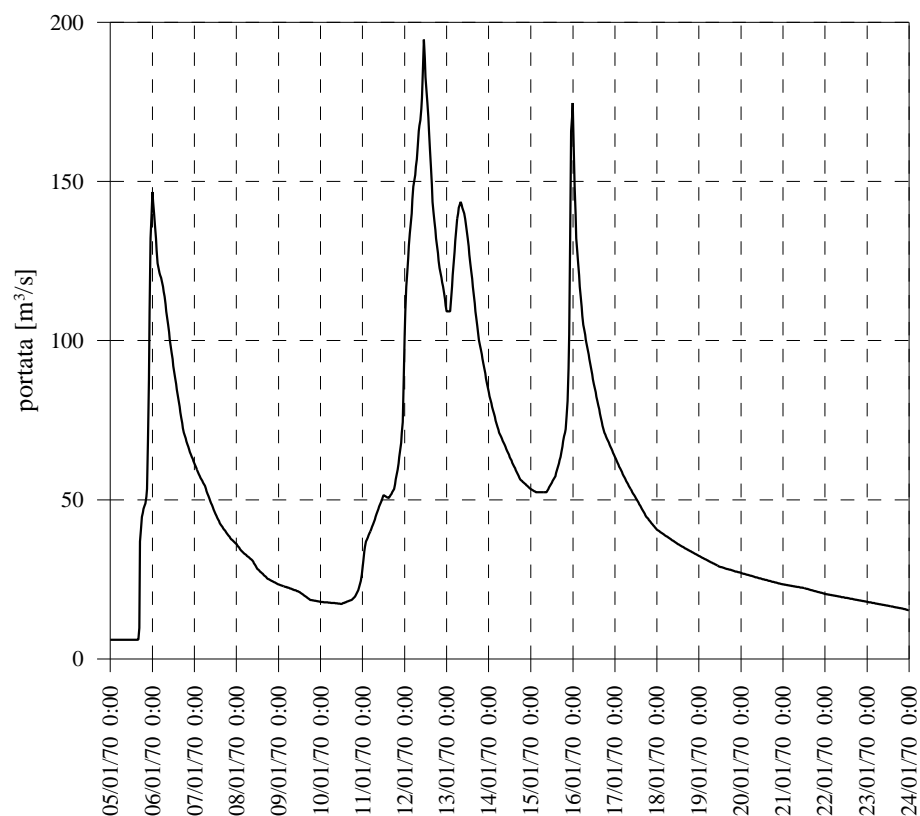


Figura B 23: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 05/01/1970 h. 00:00

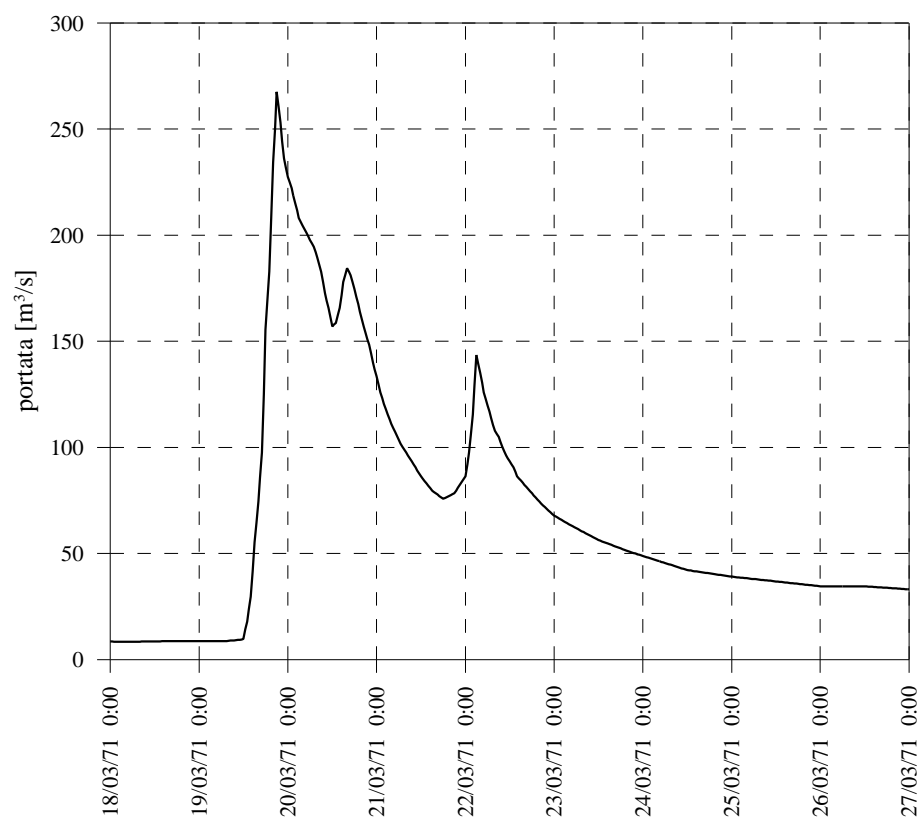


Figura B 24: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 18/03/1971 h. 00:00

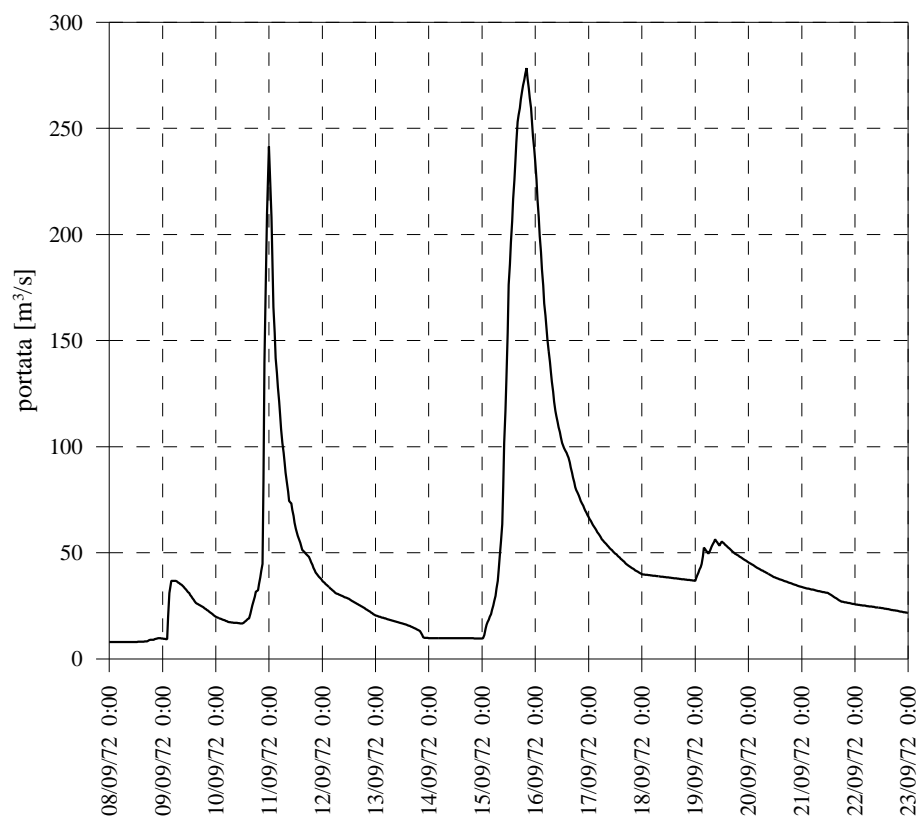


Figura B 25: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 08/09/1972 h. 00:00

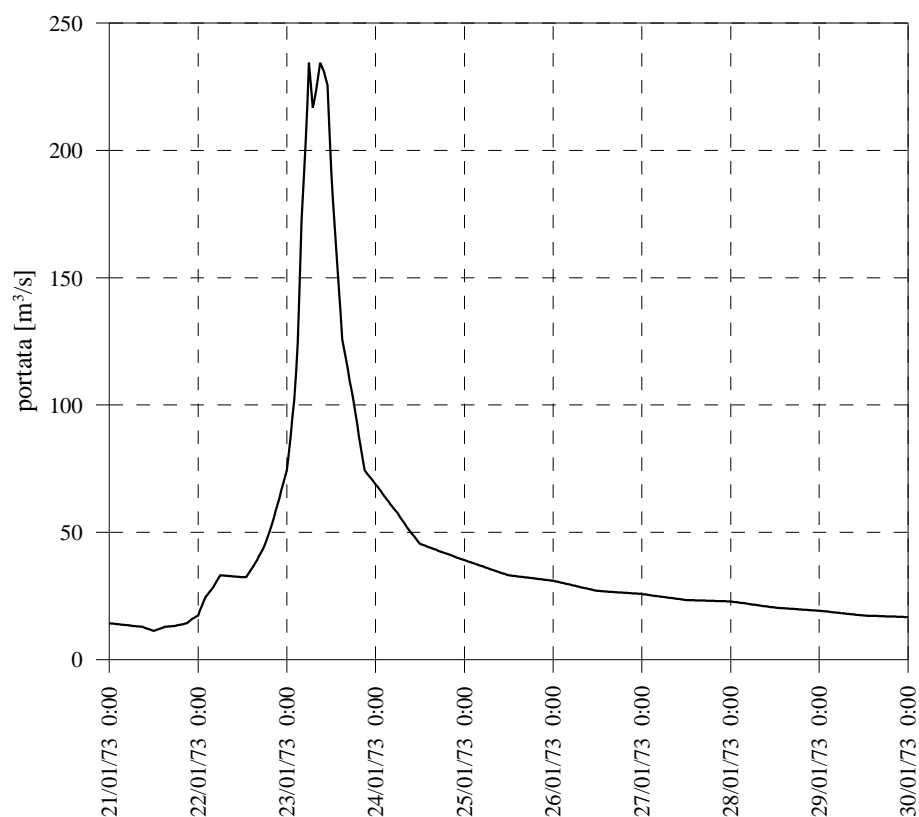


Figura B 26: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 21/01/1973 h. 00:00

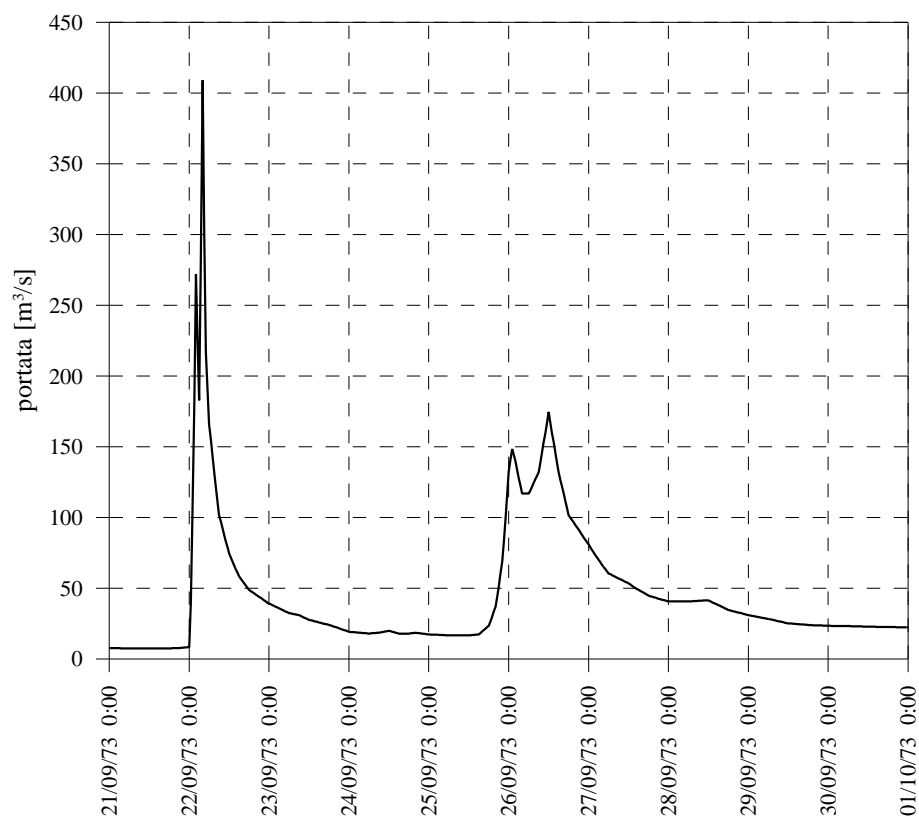


Figura B 27: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 21/09/1973 h. 00:00

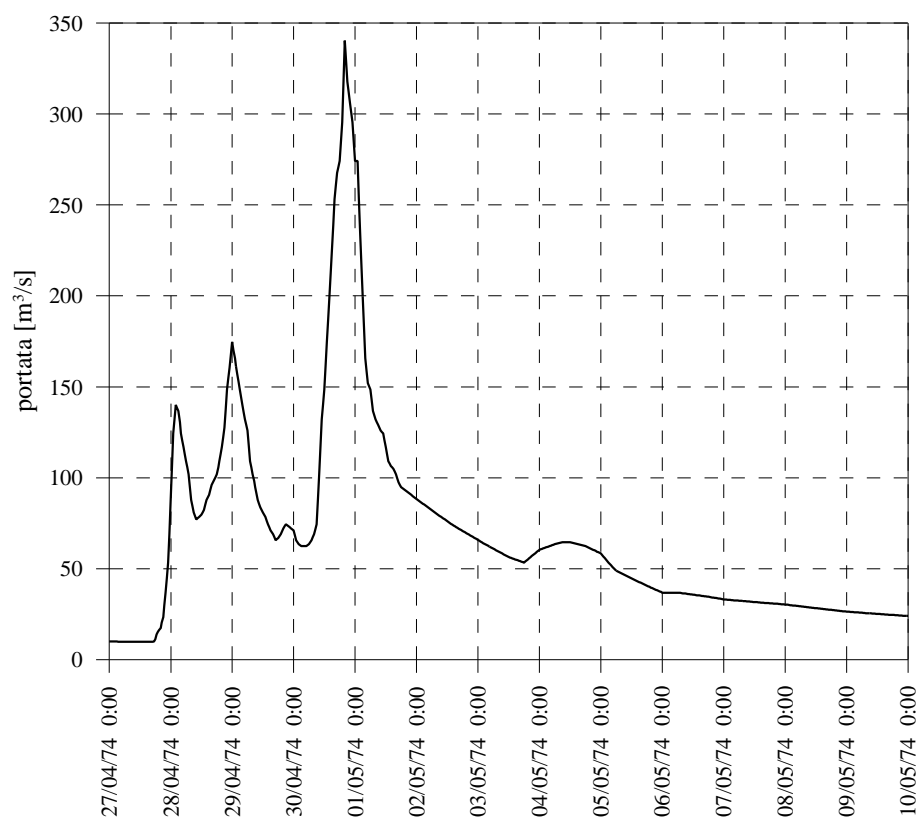


Figura B 28: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 27/04/1974 h. 00:00

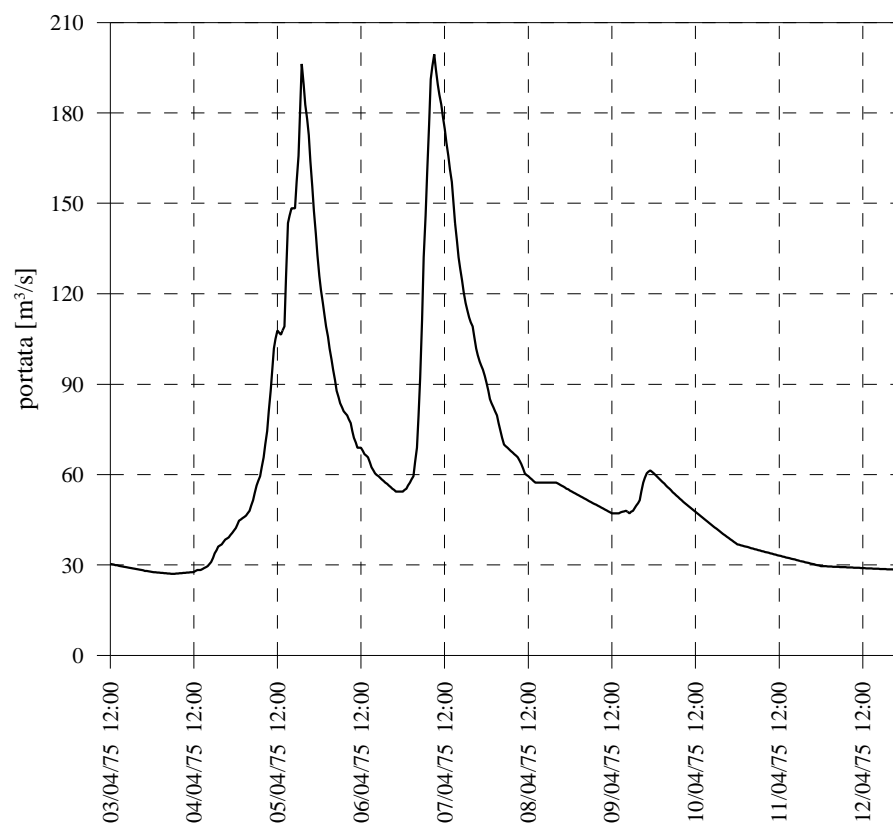


Figura B 29: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 03/04/1975 h. 00:00

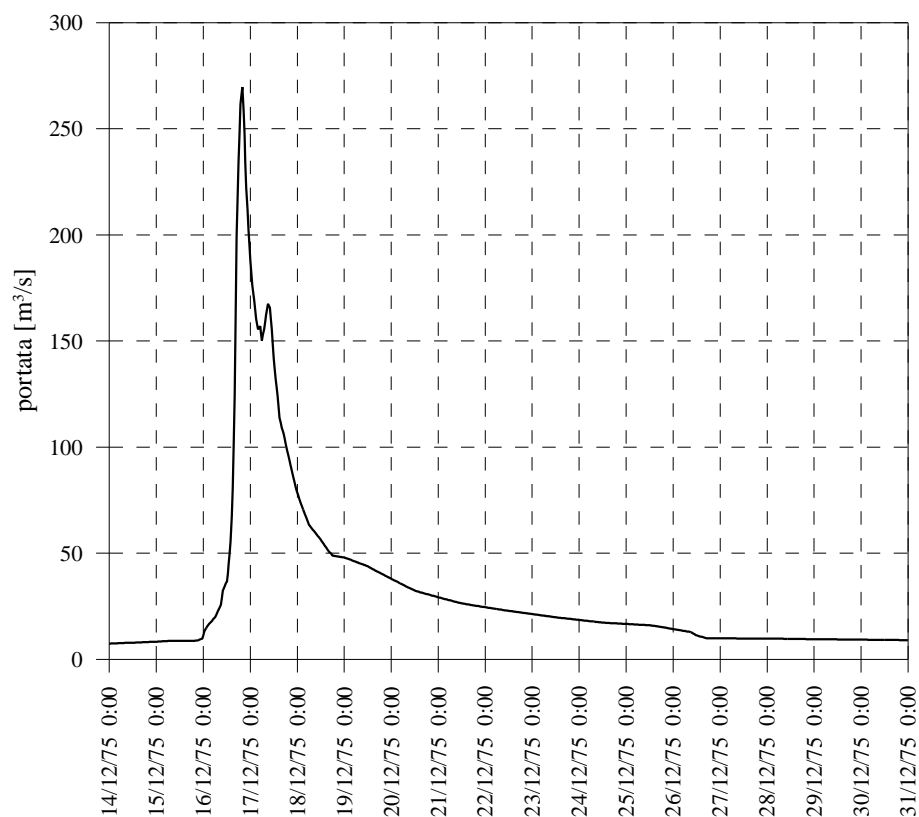


Figura B 30: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 14/12/1975 h. 00:00

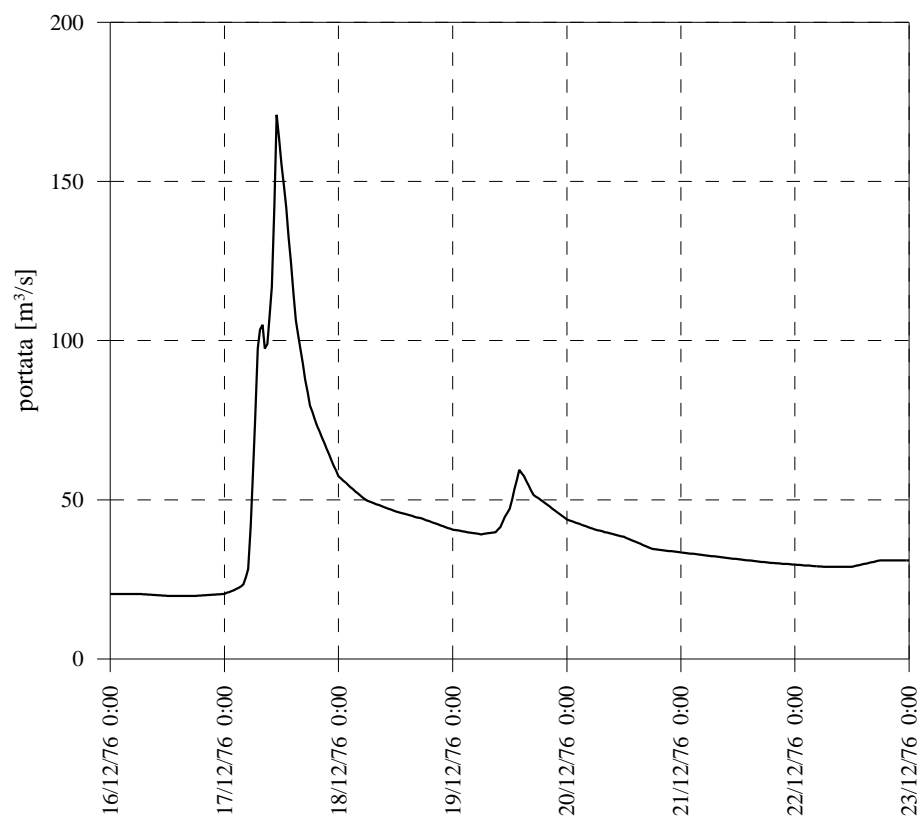


Figura B 31: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 16/12/1976 h. 00:00

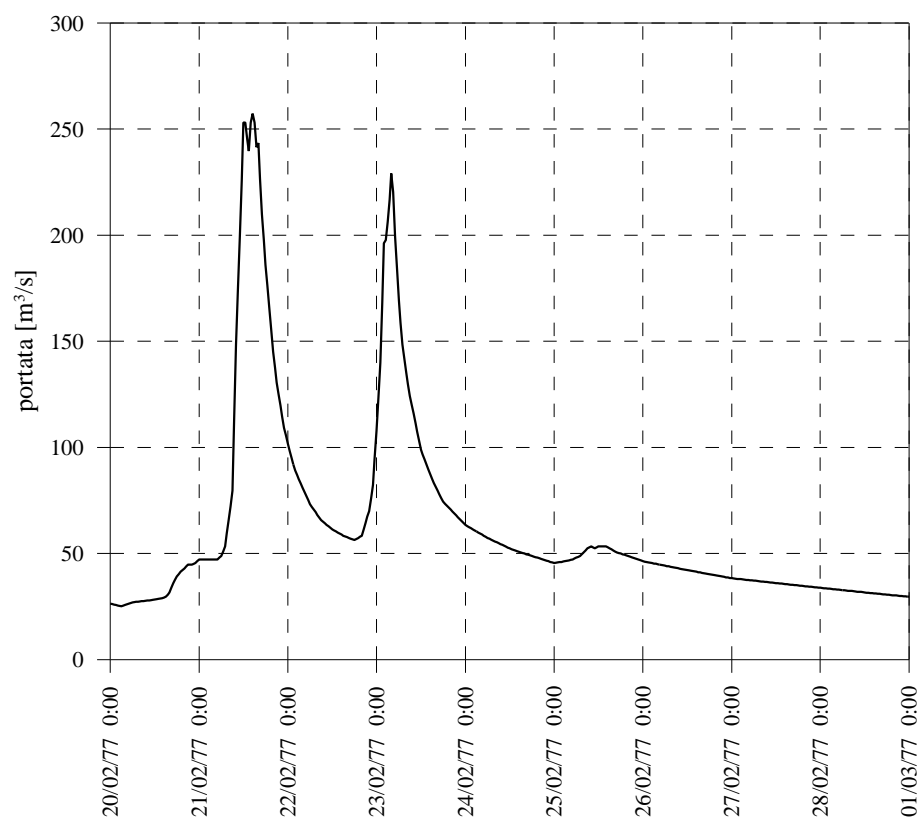


Figura B 32: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 20/02/1977 h. 00:00

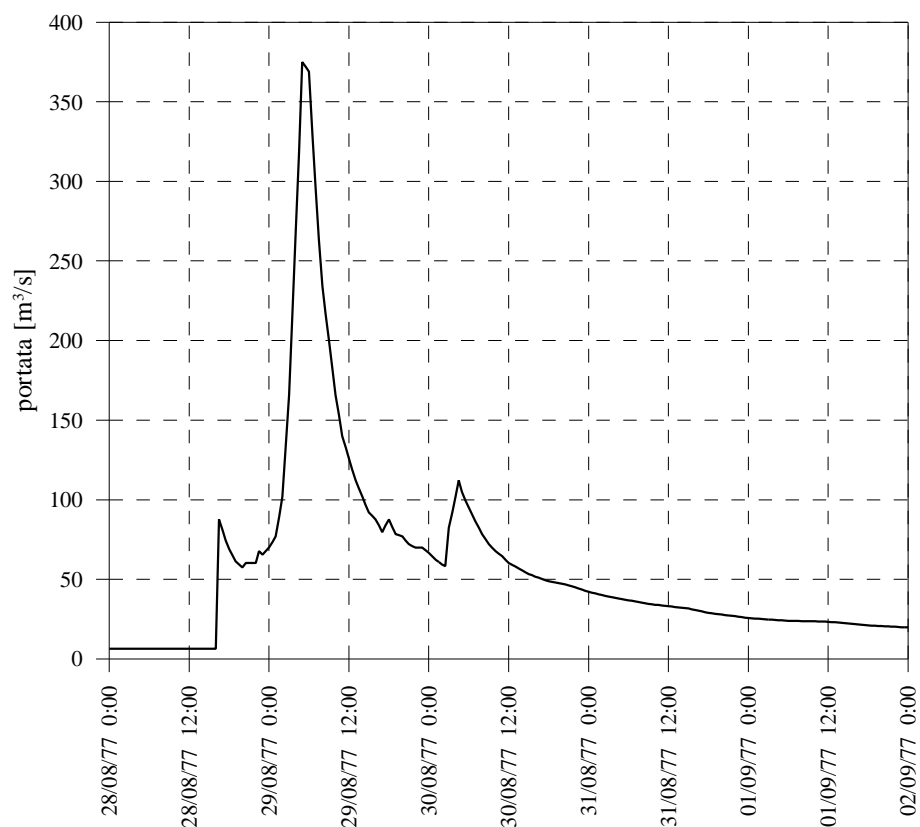


Figura B 33: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 28/08/1977 h. 00:00

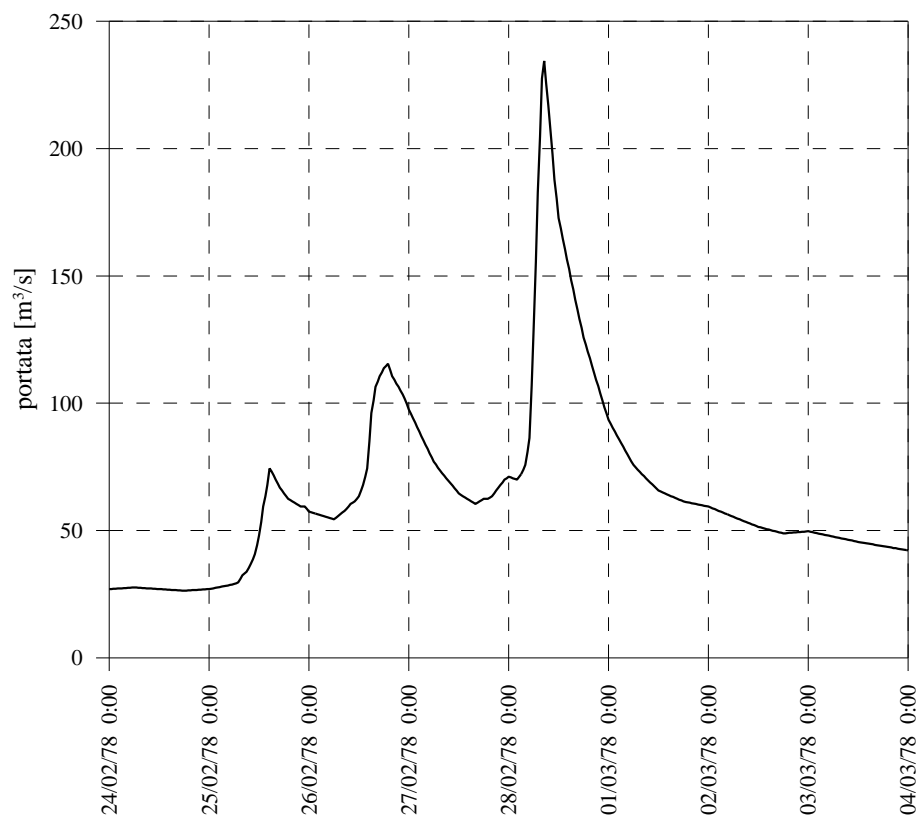


Figura B 34: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 24/02/1978 h. 00:00

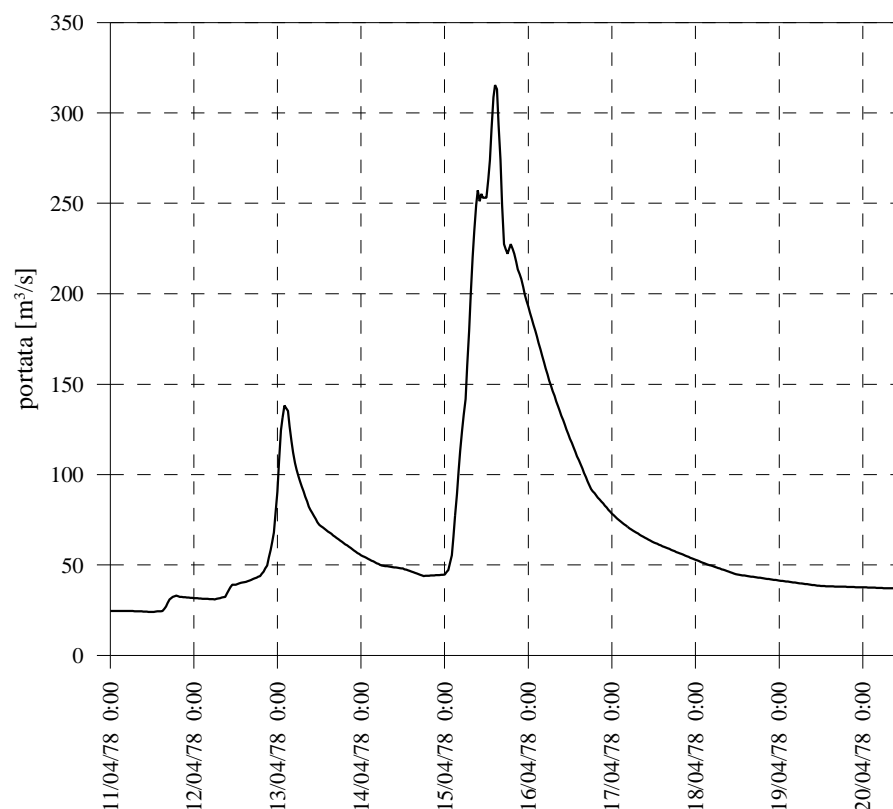


Figura B 35: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 11/04/1978 h. 00:00

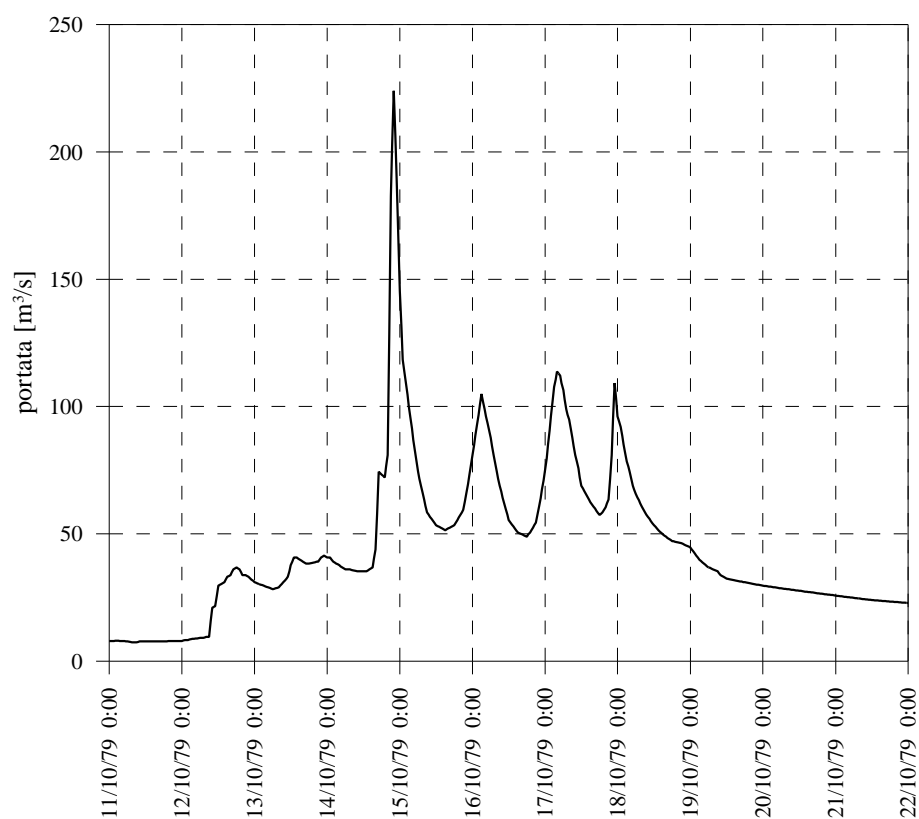


Figura B 36: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 11/10/1979 h. 00:00

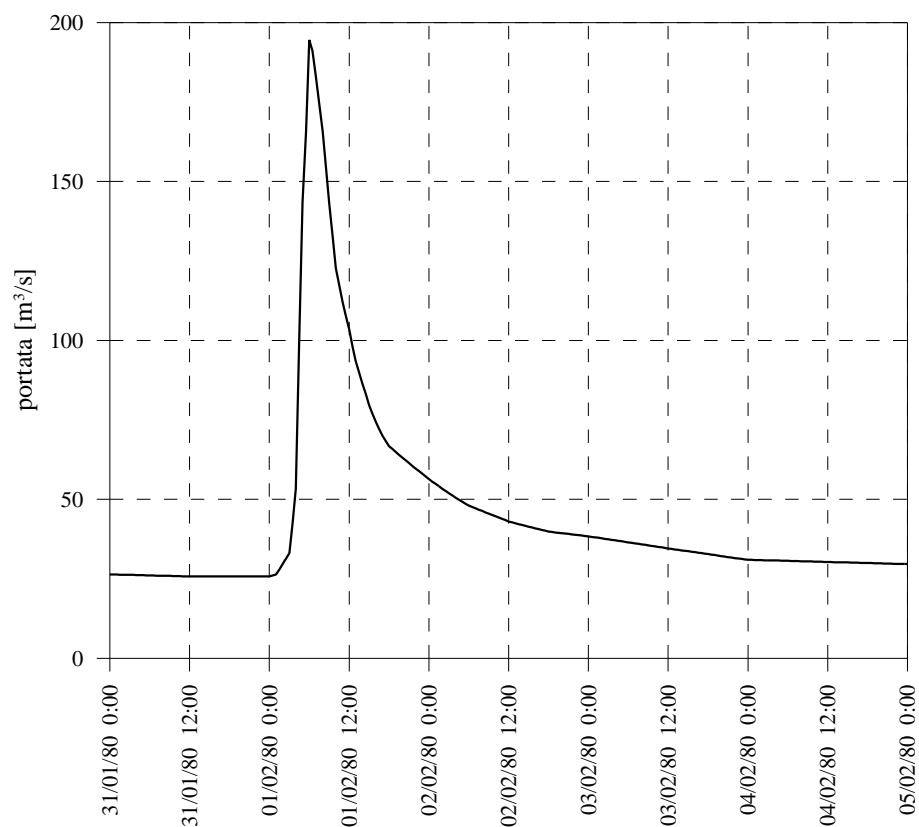


Figura B 37: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 31/01/1980 h. 00:00

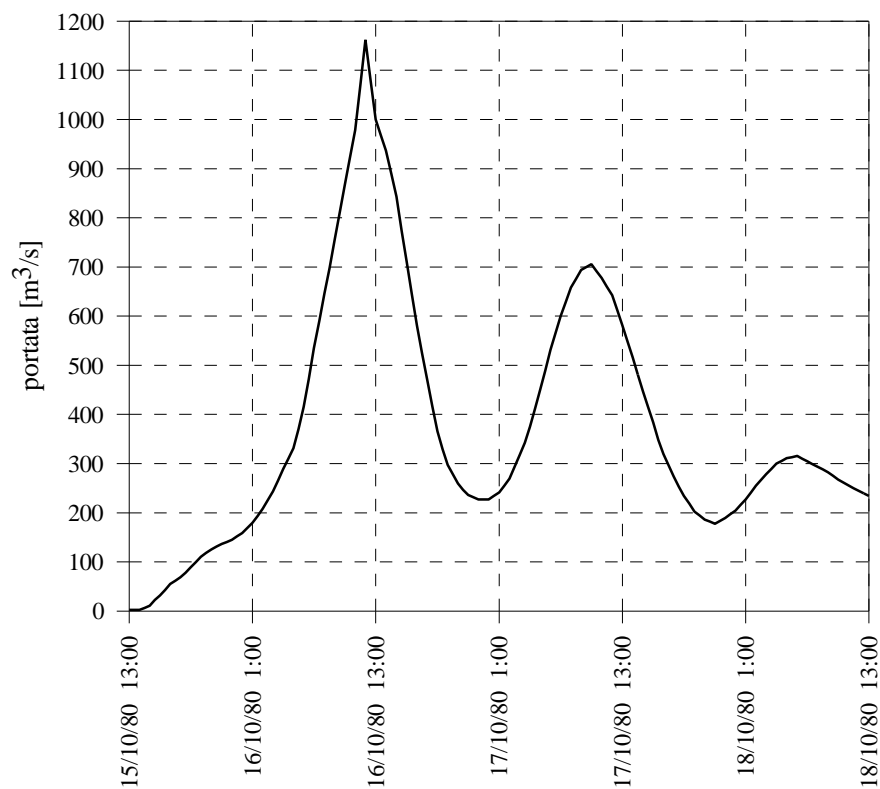


Figura B 38: Idrogramma di piena a P.te Bottego con inizio il 15/10/1980 h. 13:00

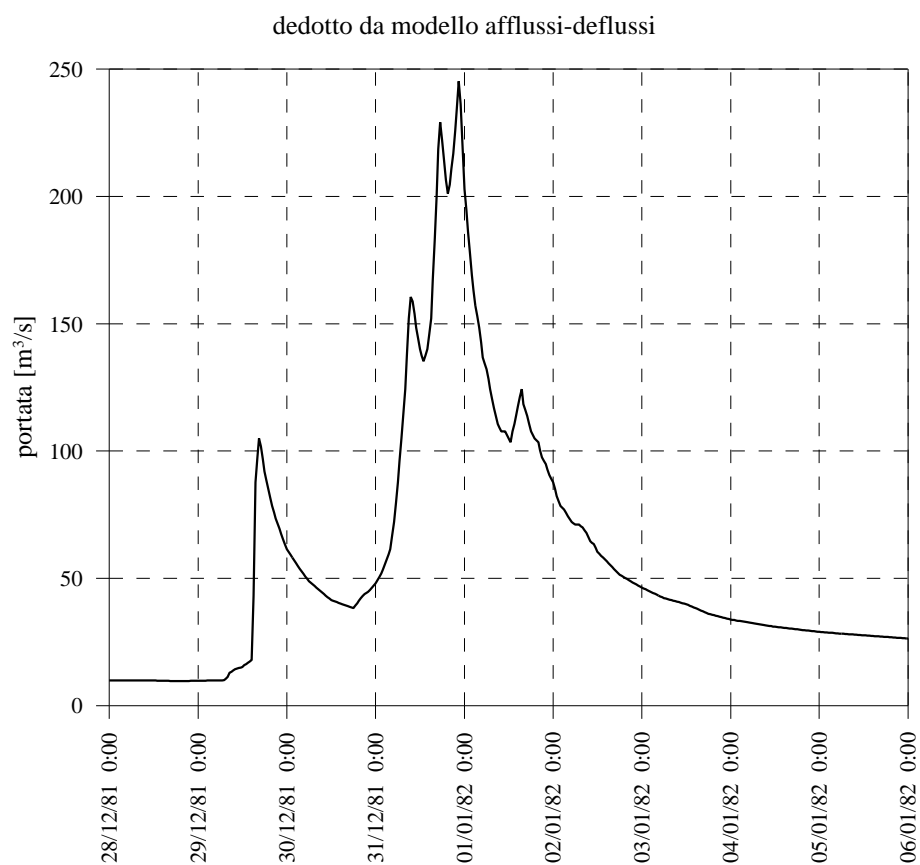


Figura B 39: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 28/12/1981 h 00:00

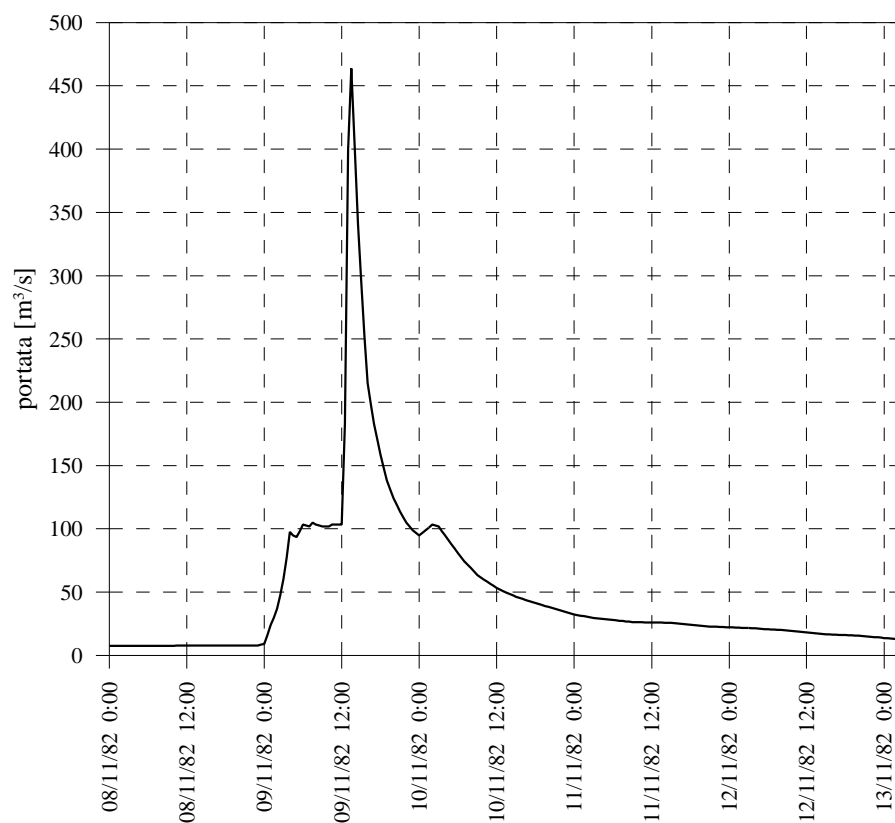


Figura B 40: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 08/11/1982 h 00:00

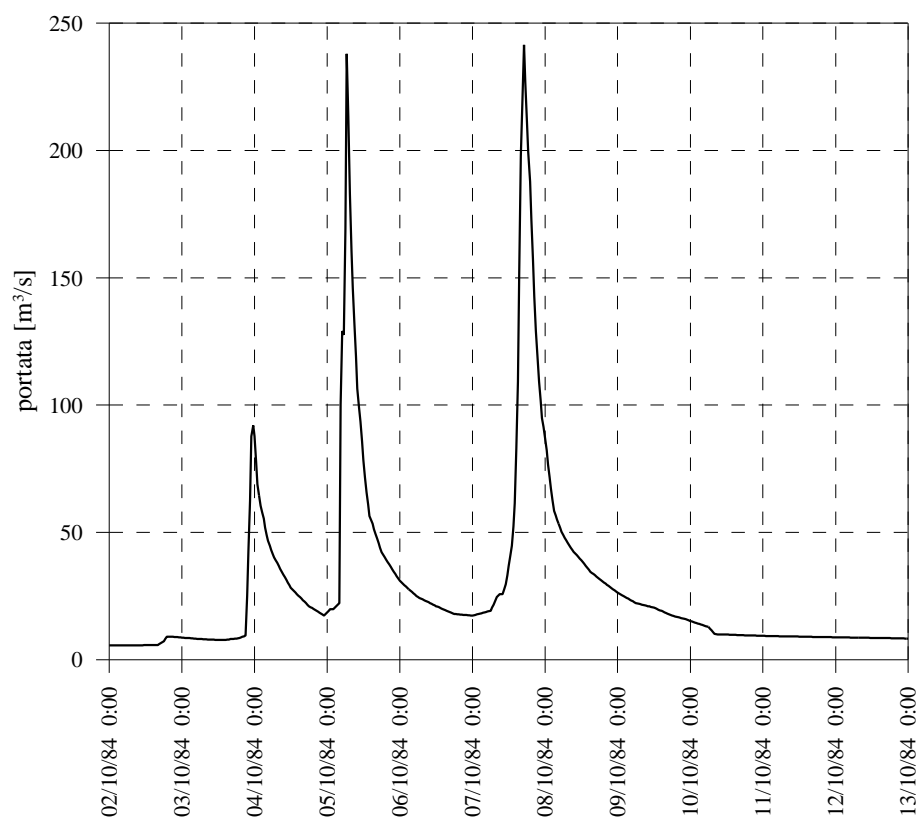


Figura B 41: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 02/10/1984 h 00:00

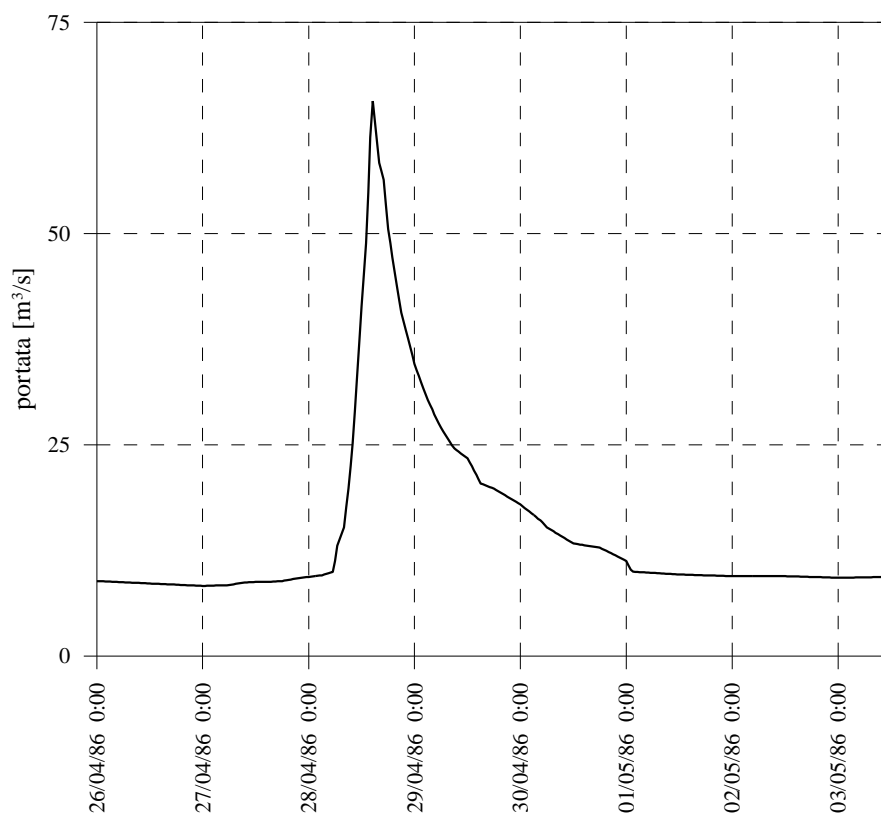


Figura B 42: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 26/04/1986 h 00:00

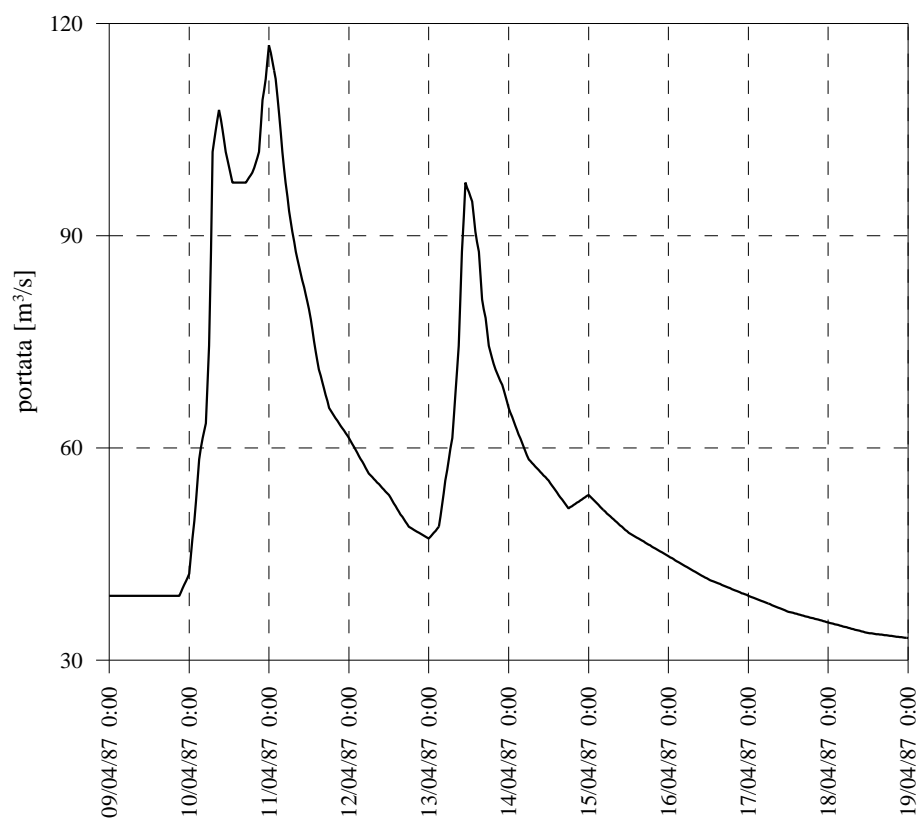


Figura B 43: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 09/04/1987 h 00:00

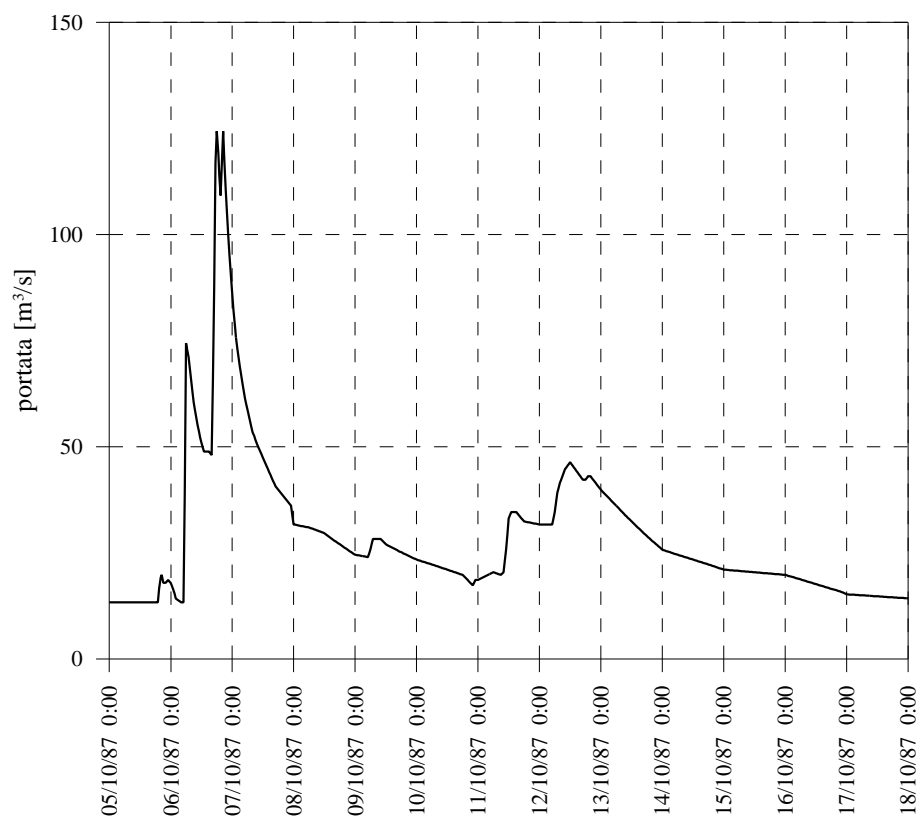


Figura B 44: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 05/10/1987 h 00:00

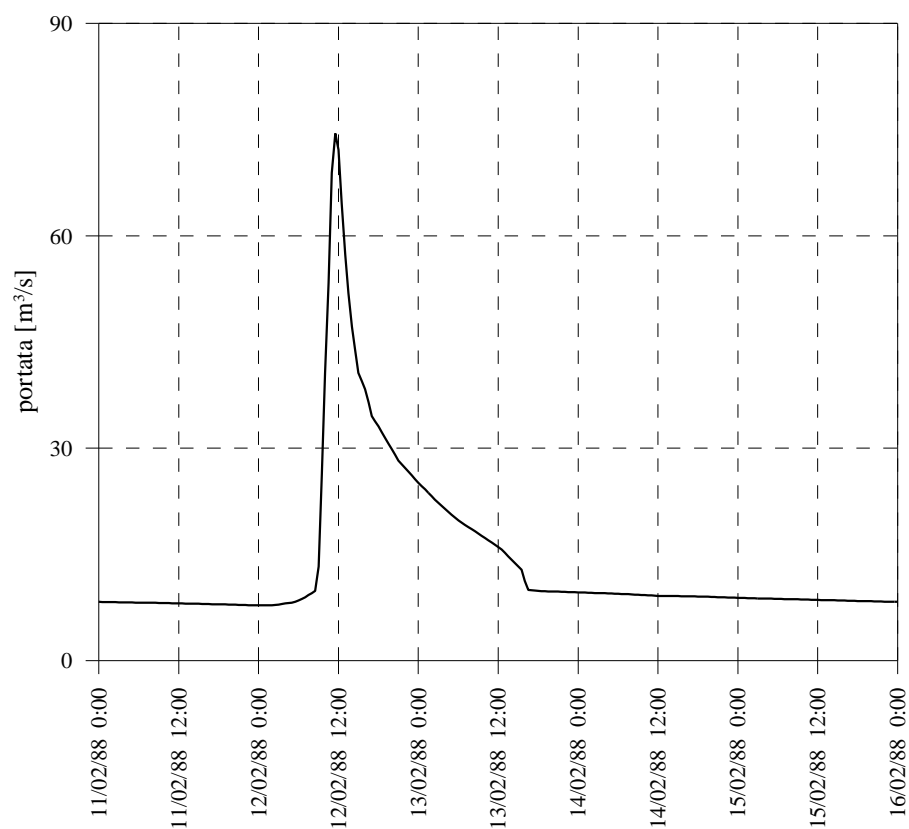


Figura B 45: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 11/02/1988 h 00:00

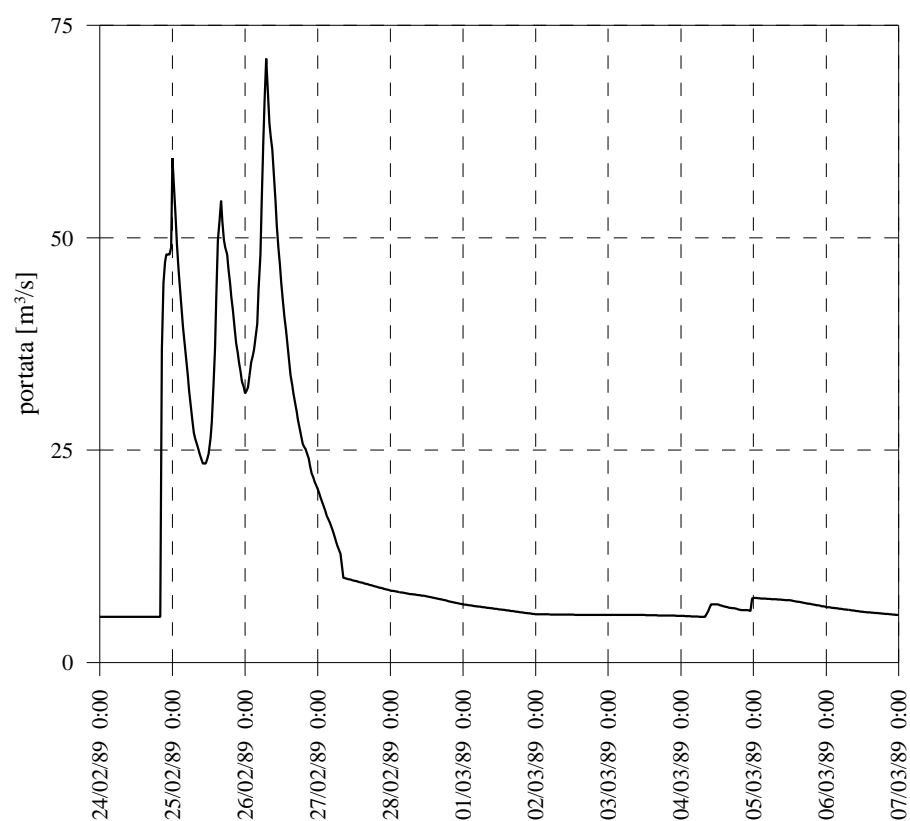


Figura B 46: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 24/02/1989 h 00:00

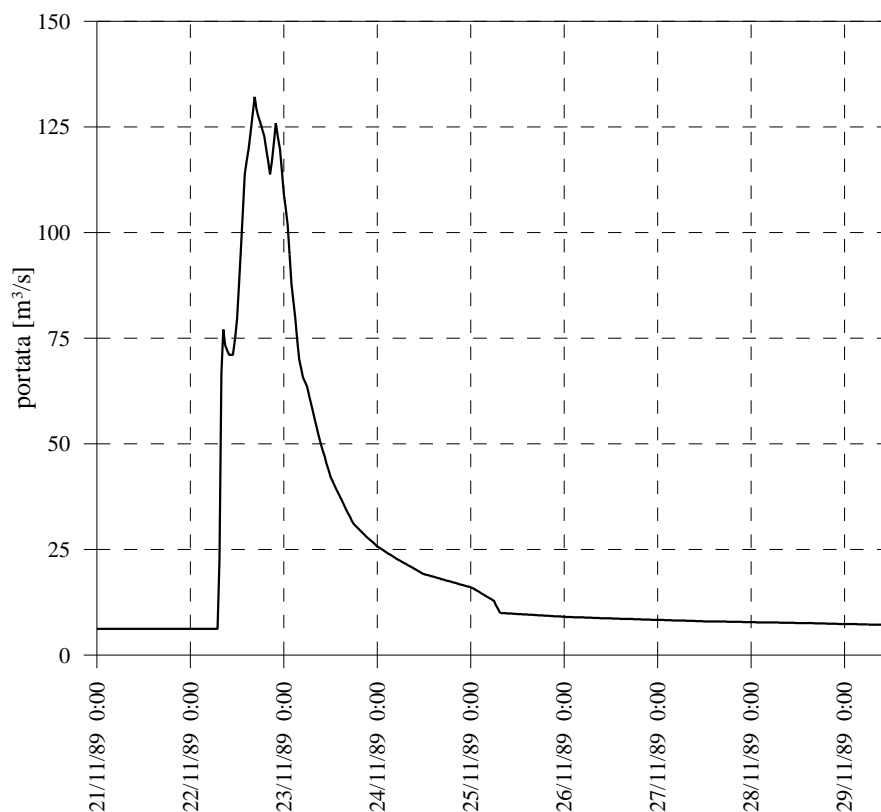


Figura B 47: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 21/11/1989 h 00:00

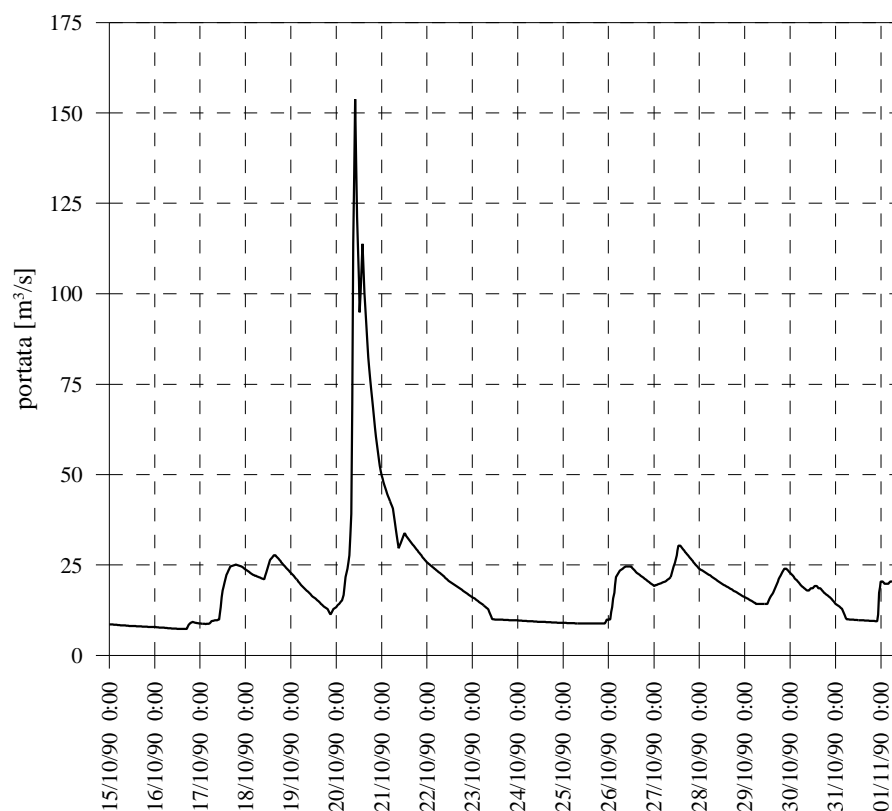


Figura B 48: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 15/10/1990 h 00:00

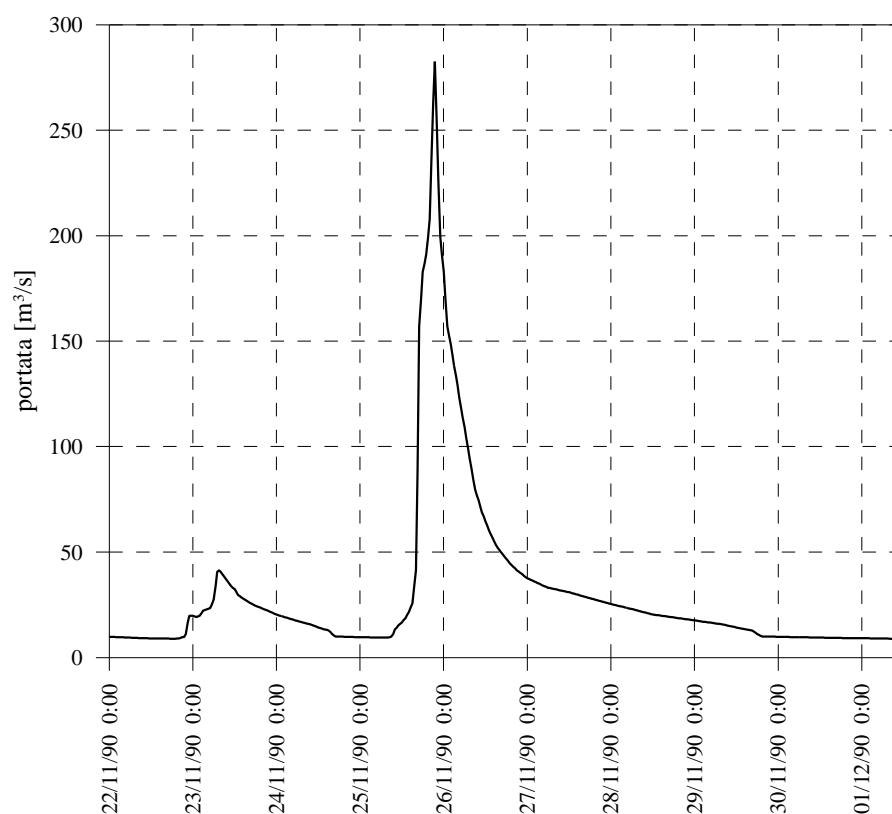


Figura B 49: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 22/11/1990 h 00:00

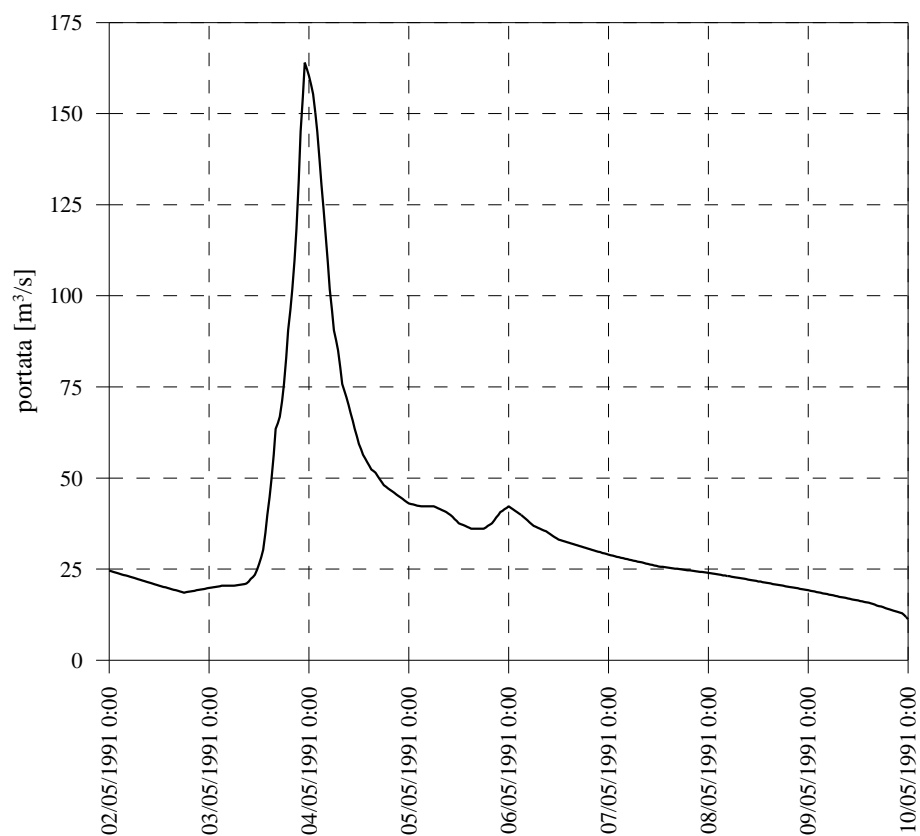


Figura B 50: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 02/05/1991 h 00:00

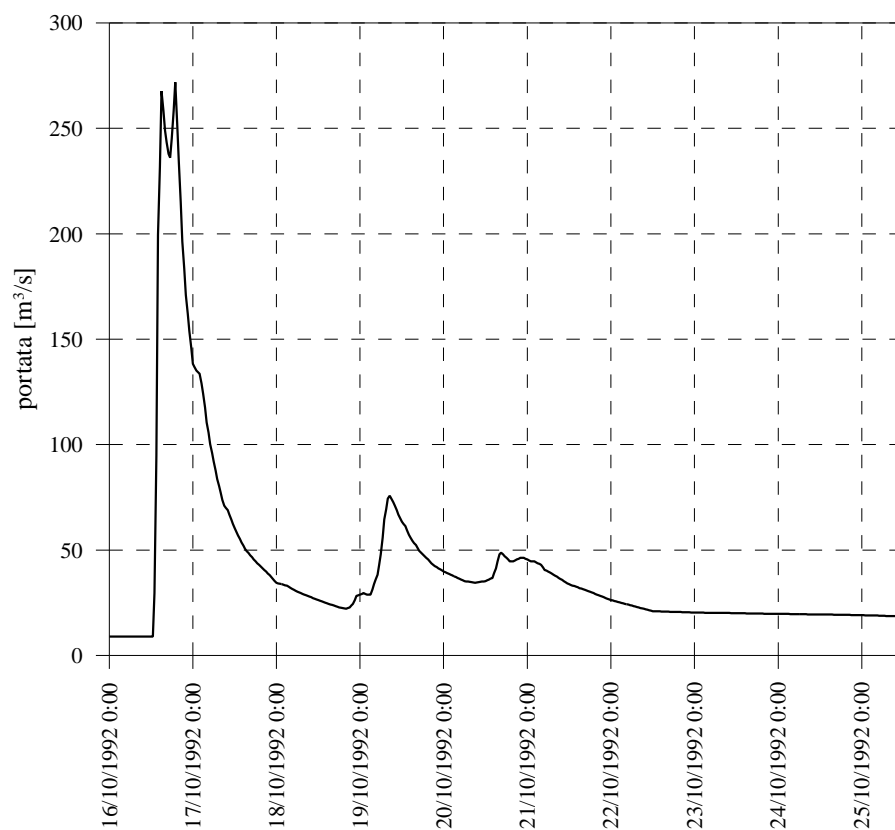


Figura B 51: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 16/10/1992 h 00:00

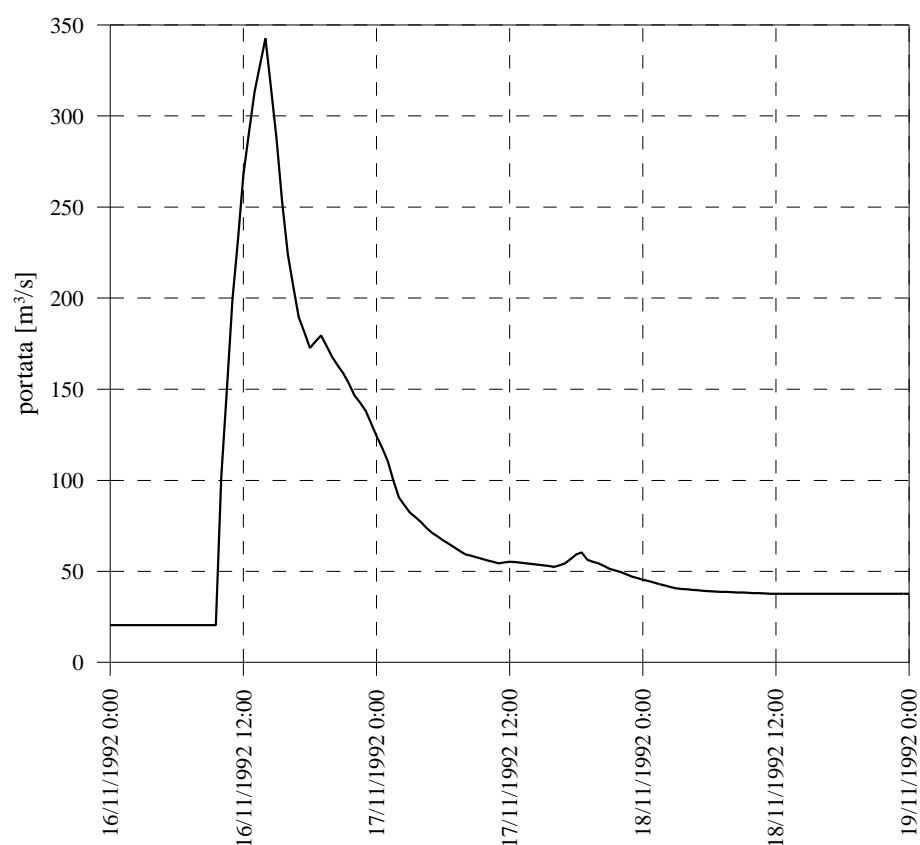


Figura B 52: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 16/11/1992 h 00:00

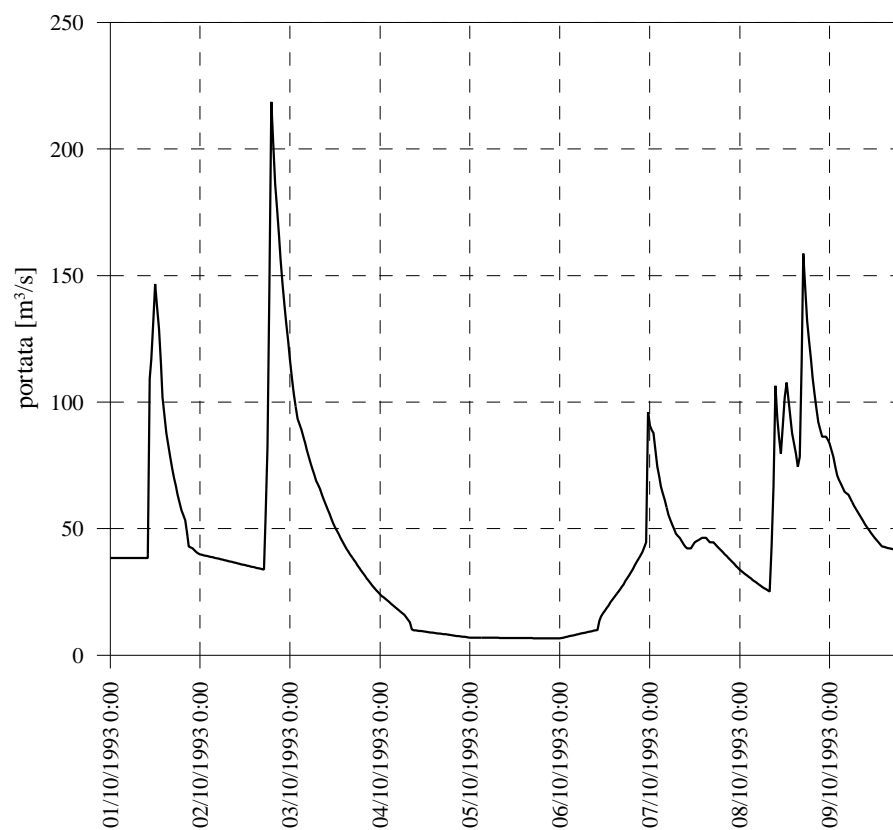


Figura B 53: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 01/10/1993 h 00:00

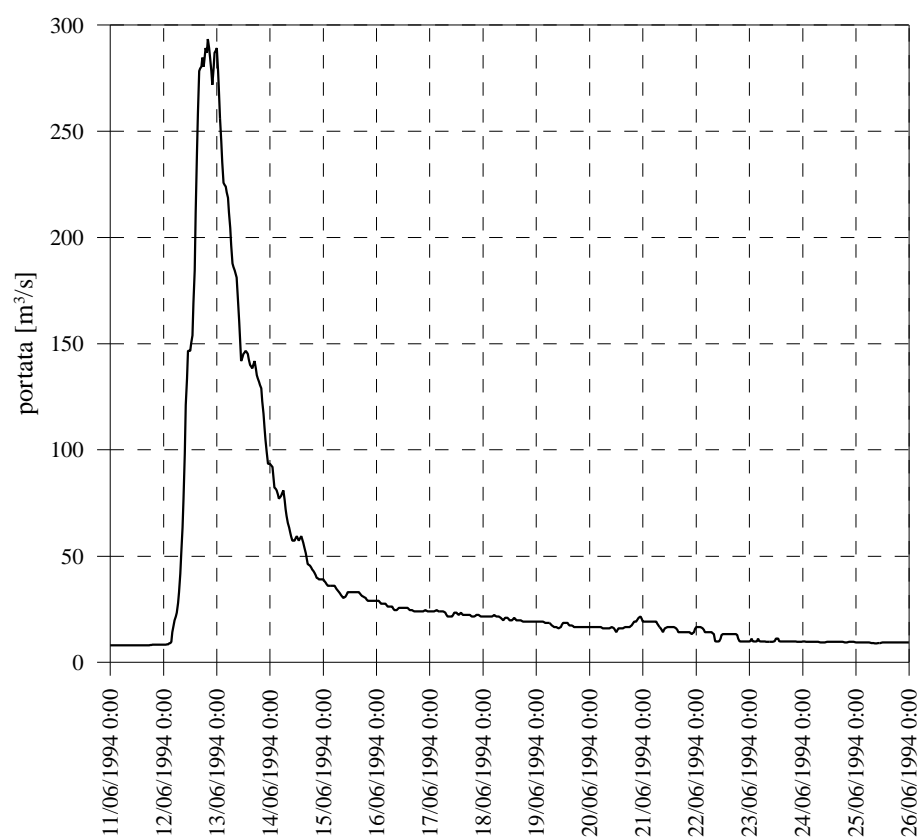


Figura B 54: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 11/06/1994 h 00:00

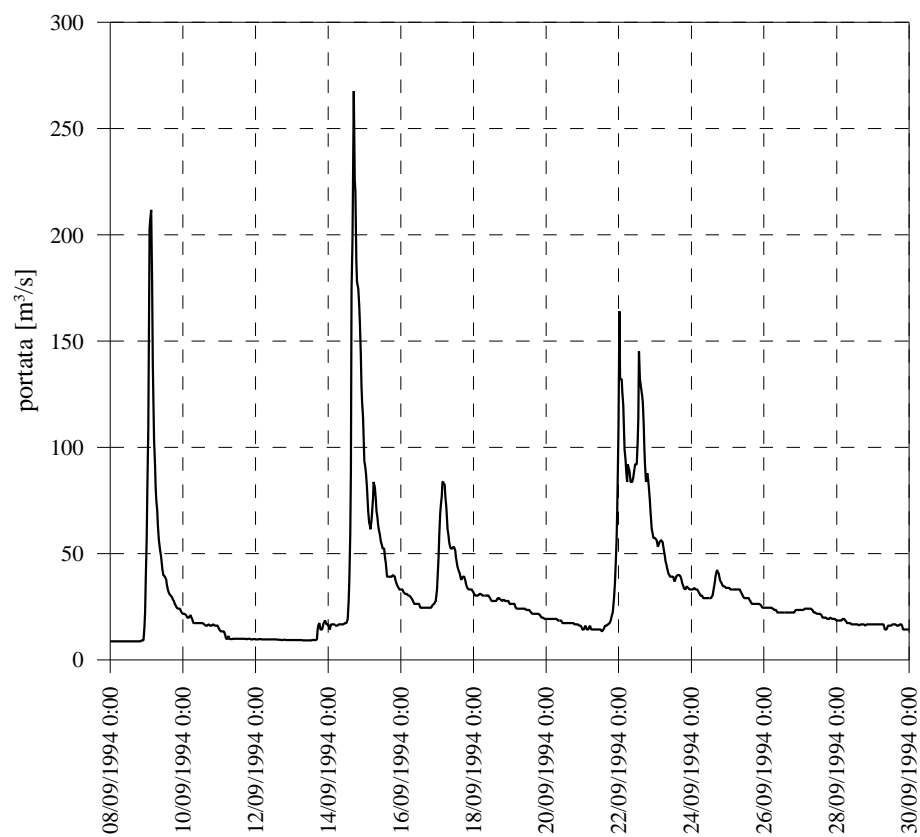


Figura B 55: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 08/09/1994 h 00:00

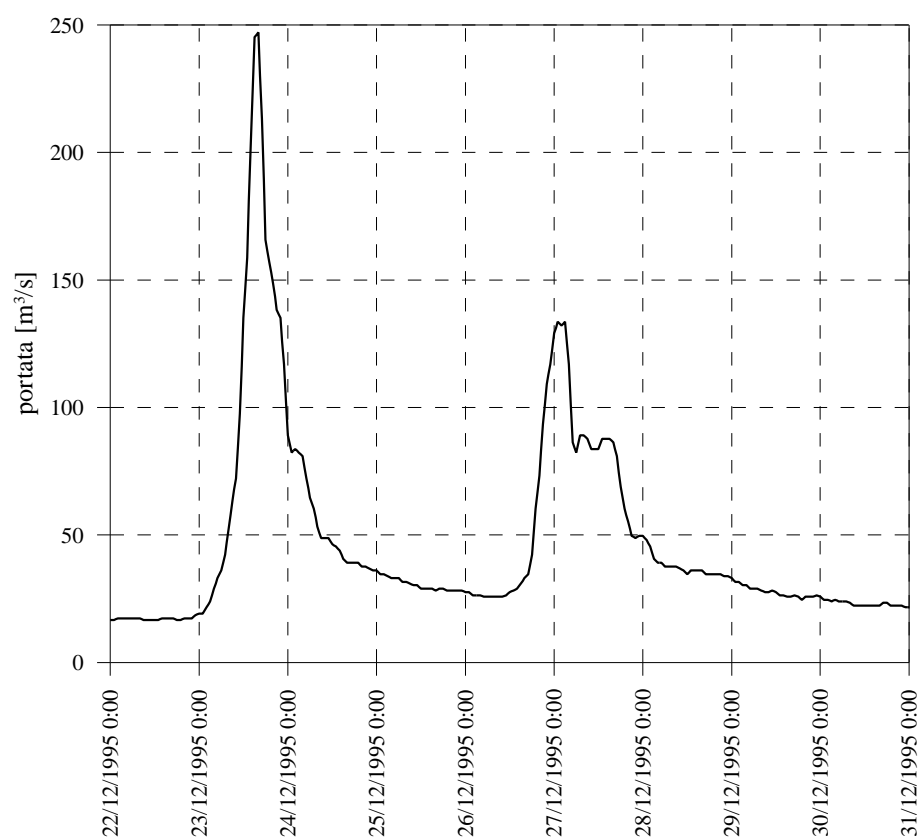


Figura B 56: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 22/12/1995 h 00:00

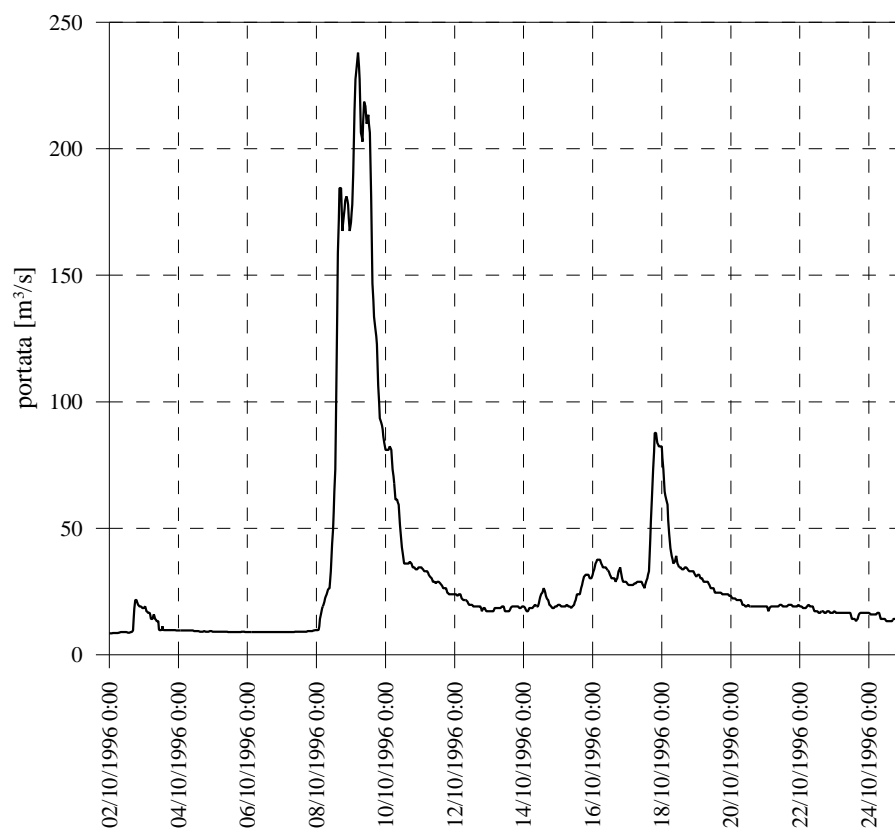


Figura B 57: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 02/10/1996 h 00:00

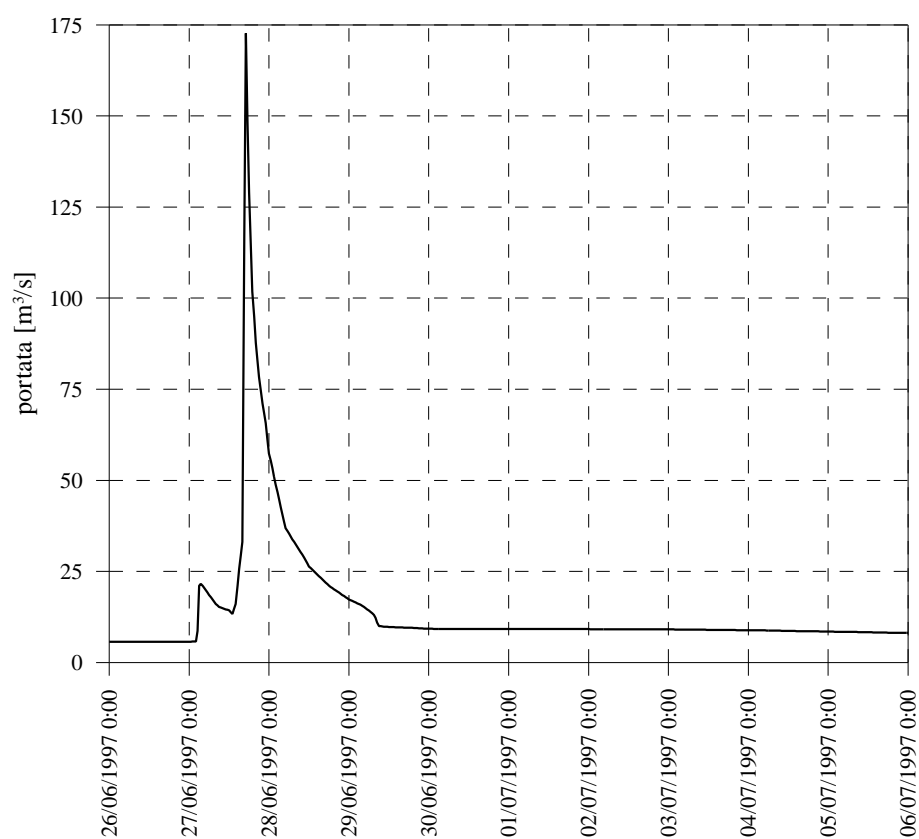


Figura B 58: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 26/06/1997 h 00:00

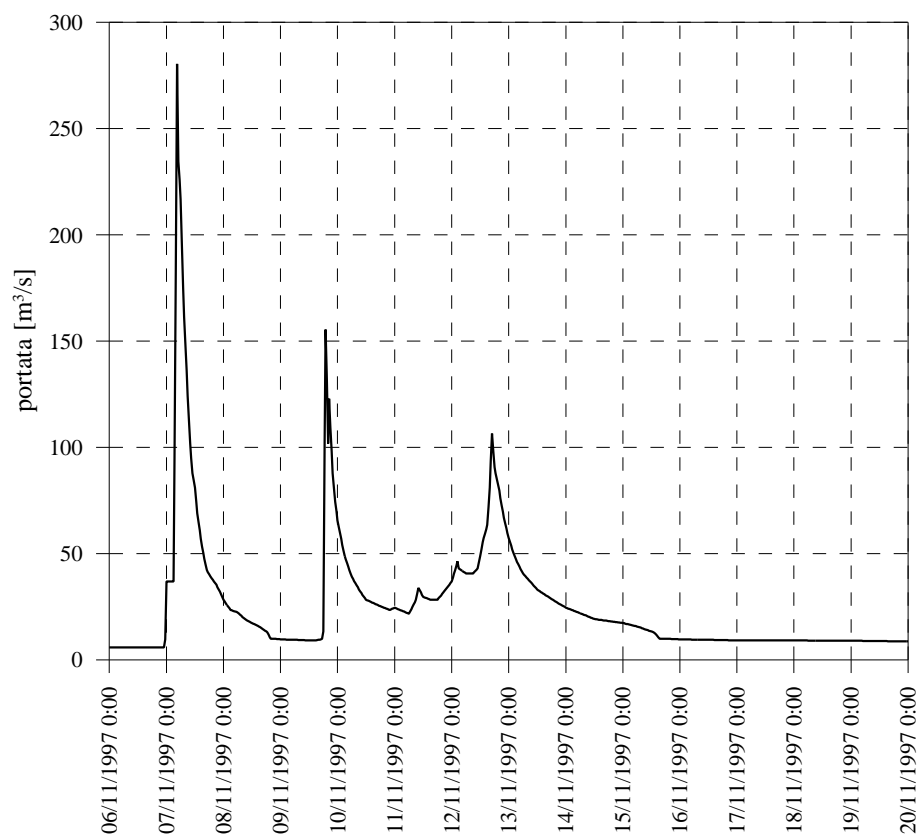


Figura B 59: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 06/11/1997 h 00:00

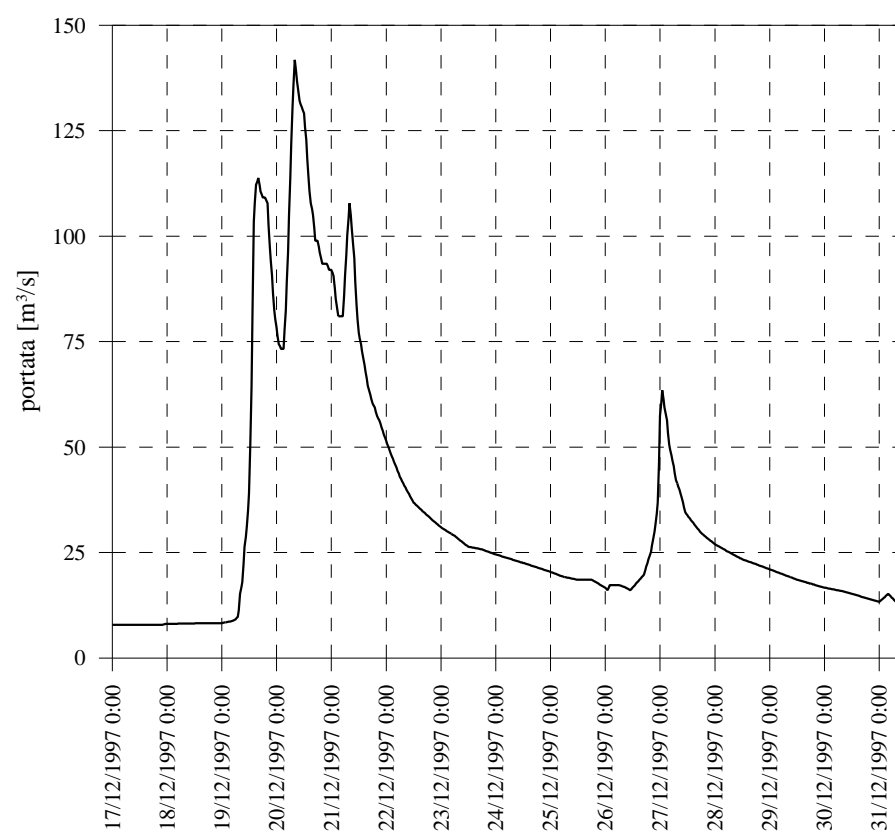


Figura B 60: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 17/12/1997 h 00:00

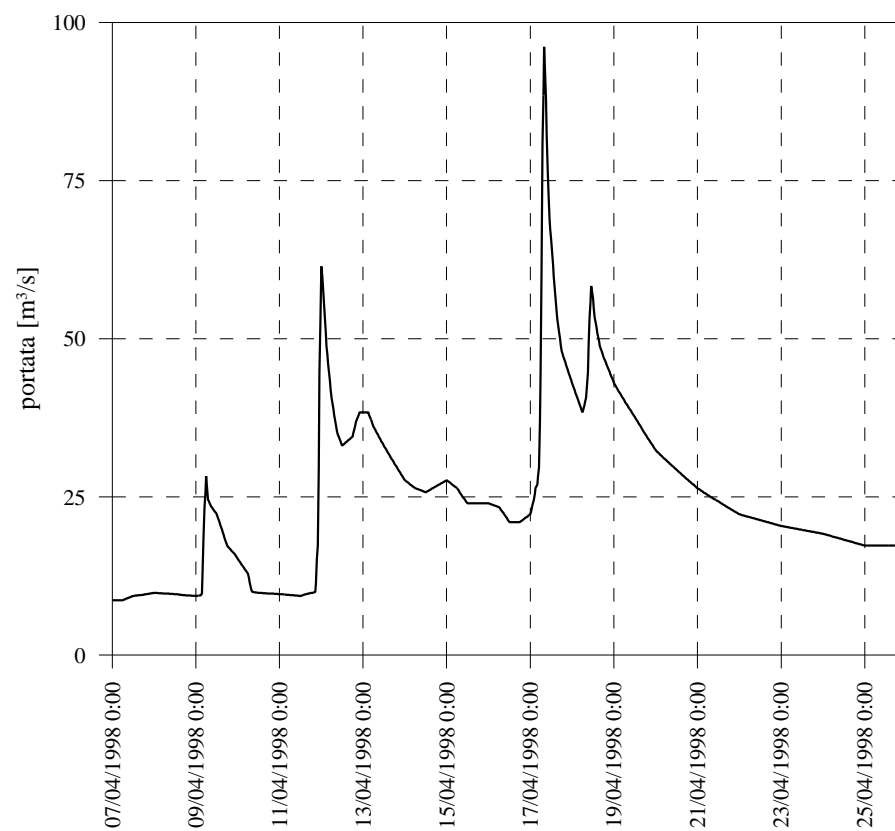


Figura B 61: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 07/04/1998 h 00:00

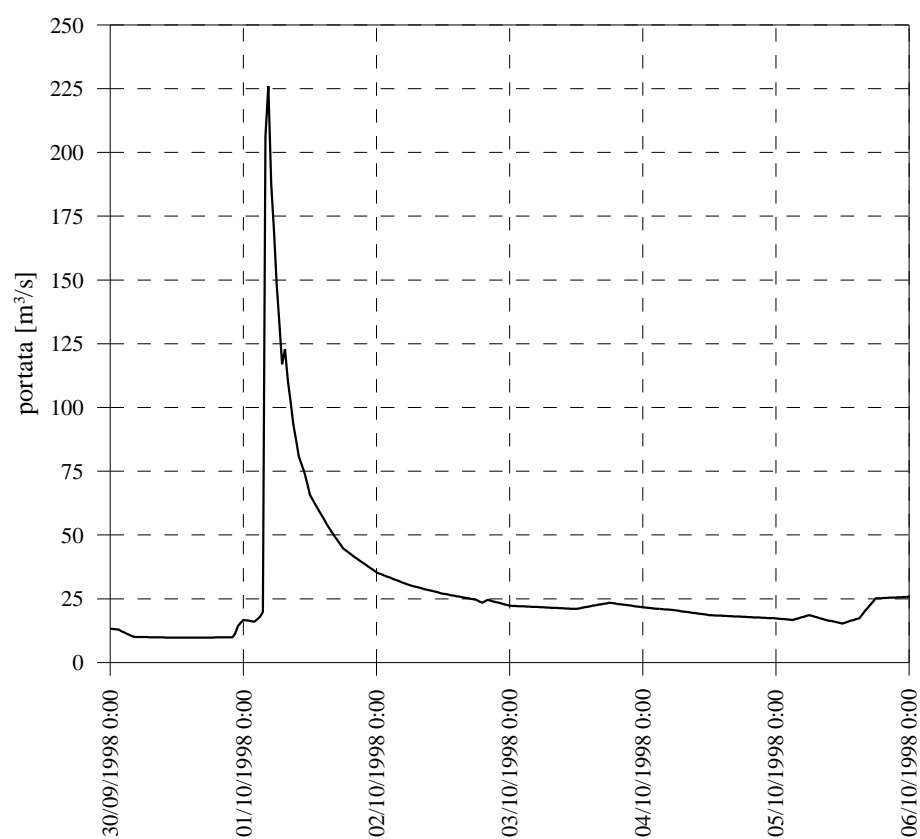


Figura B 62: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 30/09/1998 h 00:00

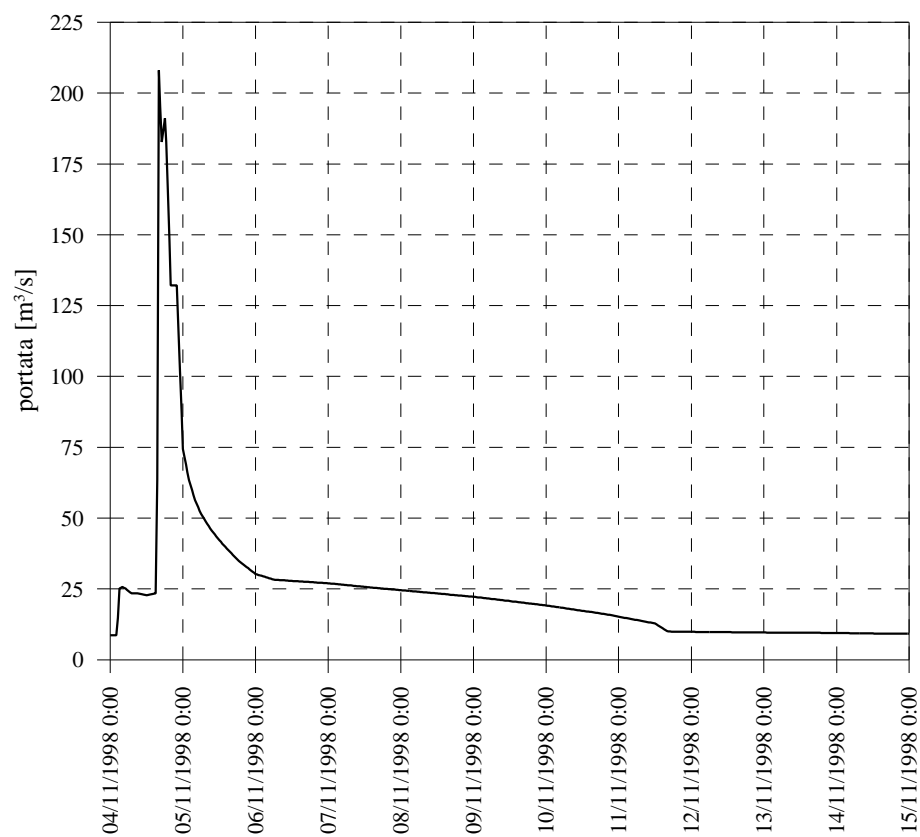


Figura B 63: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 04/11/1998 h 00:00

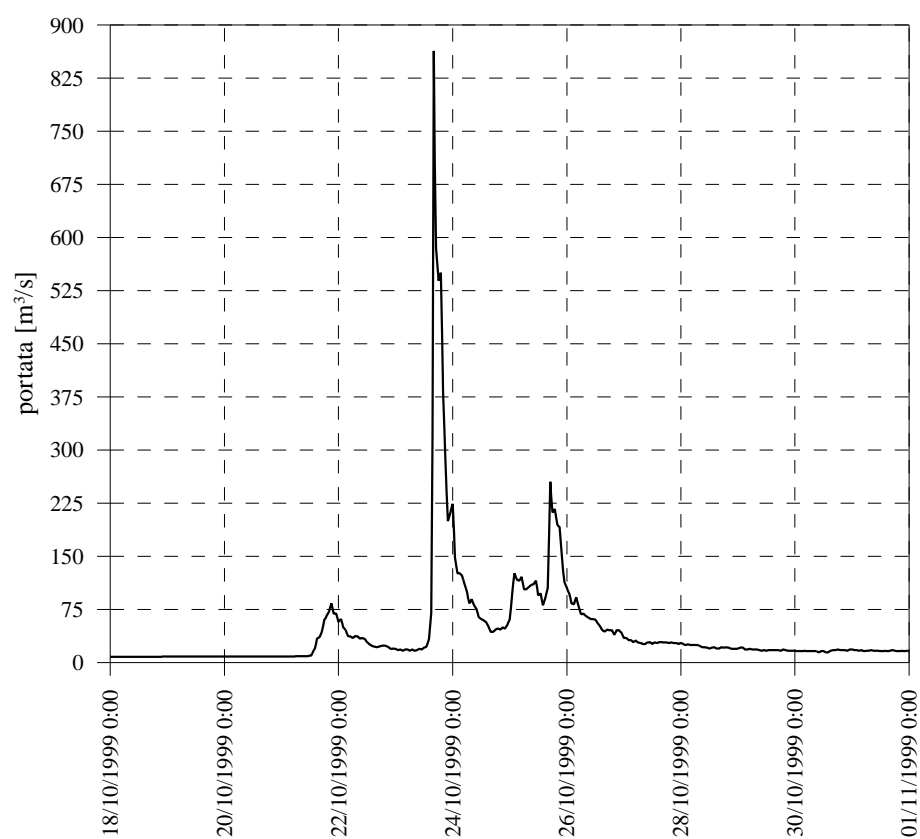


Figura B 64: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 18/10/1999 h 00:00

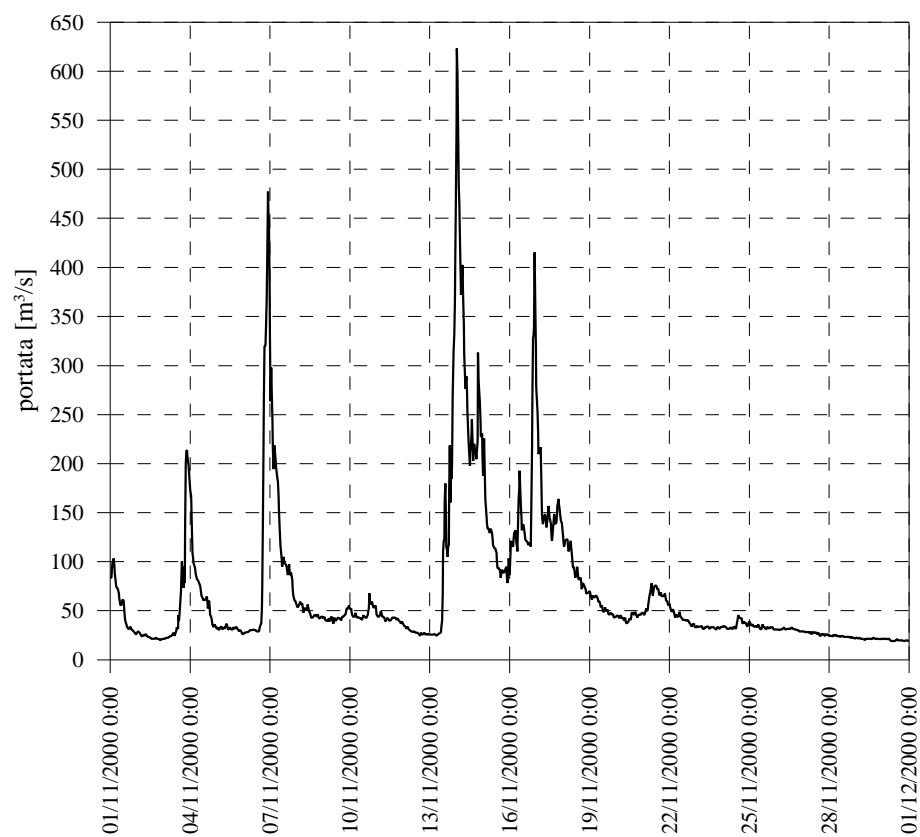


Figura B 65: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 01/11/2000 h 00:00

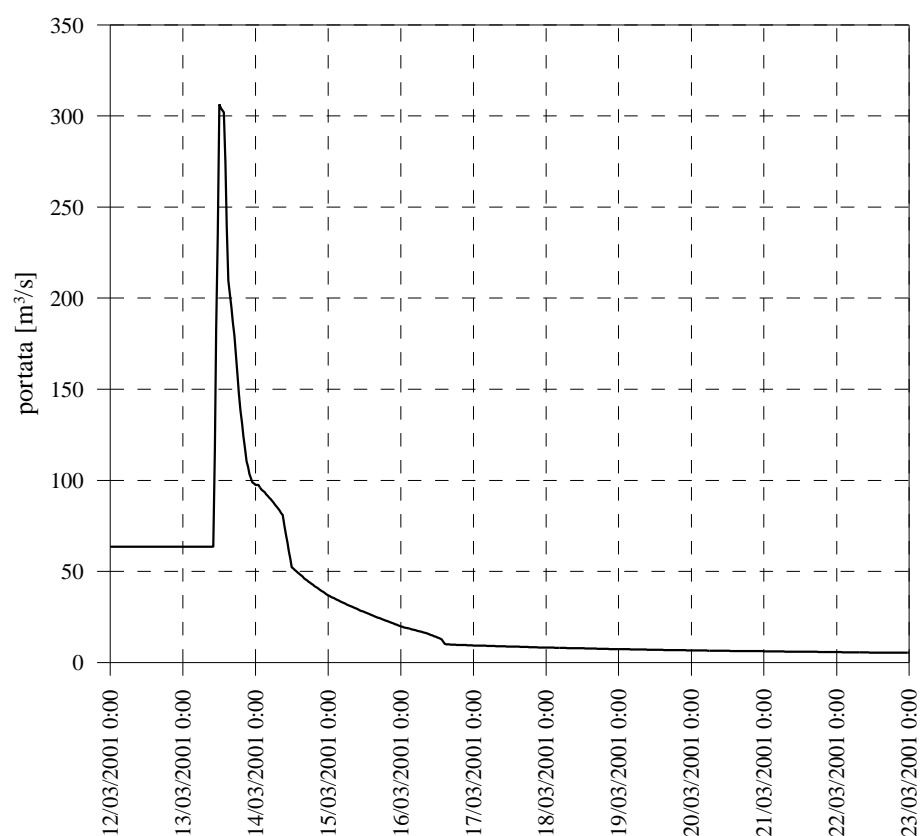


Figura B 66: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 12/03/2001 h 00:00

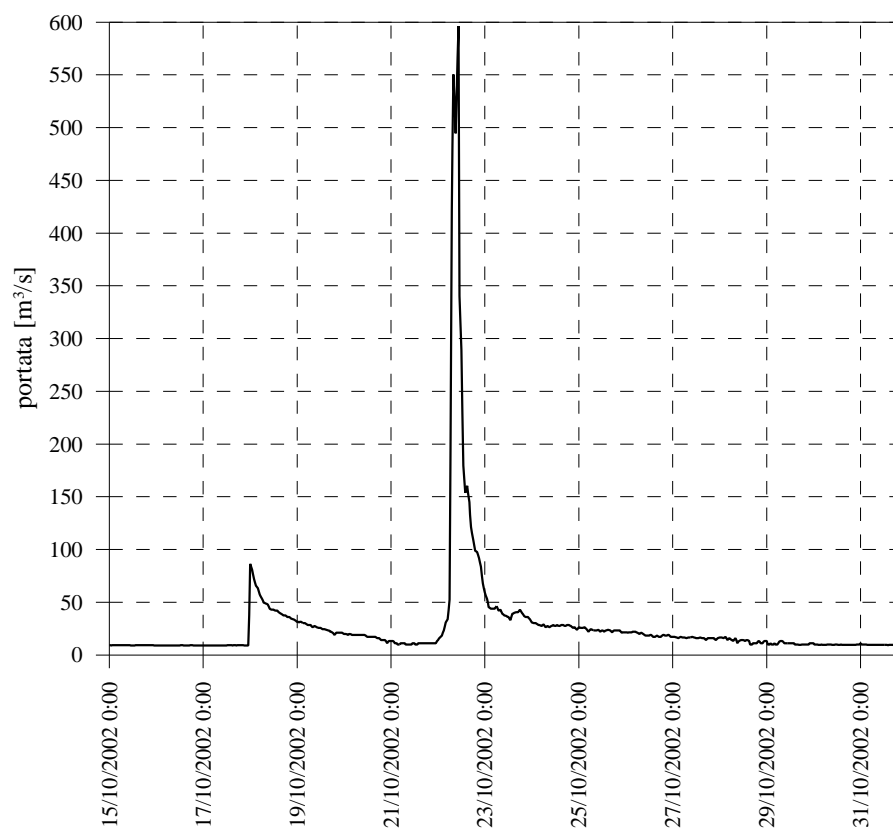


Figura B 67: Idrogramma di piena registrato a P.te Bottego con inizio il 15/10/2002 h 00:00

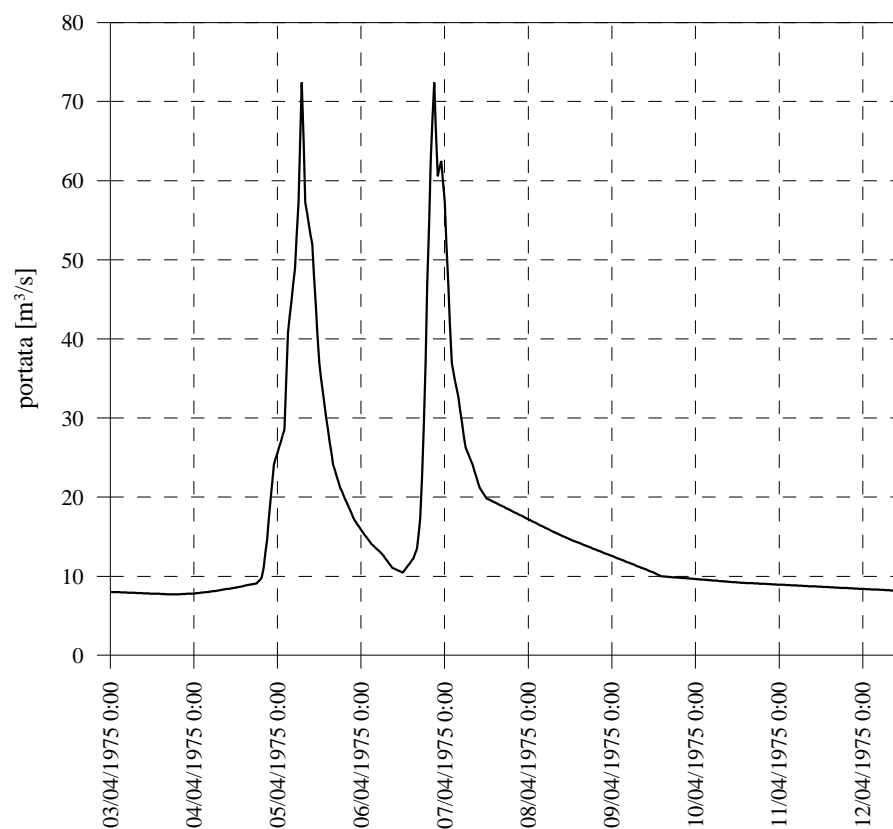


Figura B 68: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 03/04/1975 h 00:00

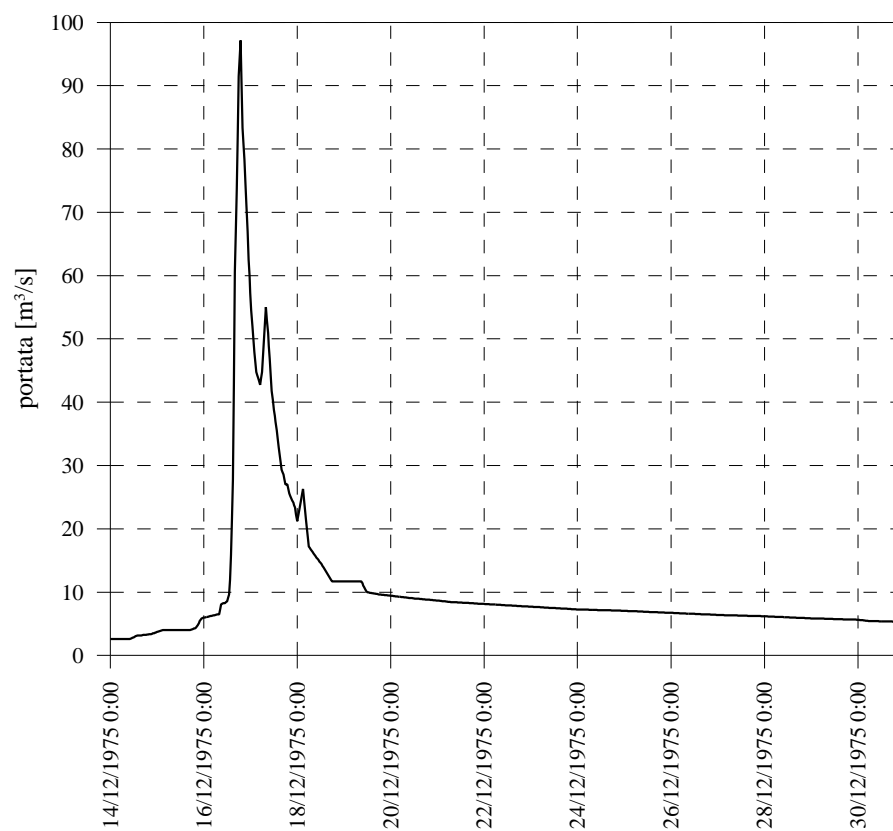


Figura B 69: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 14/12/1975 h 00:00

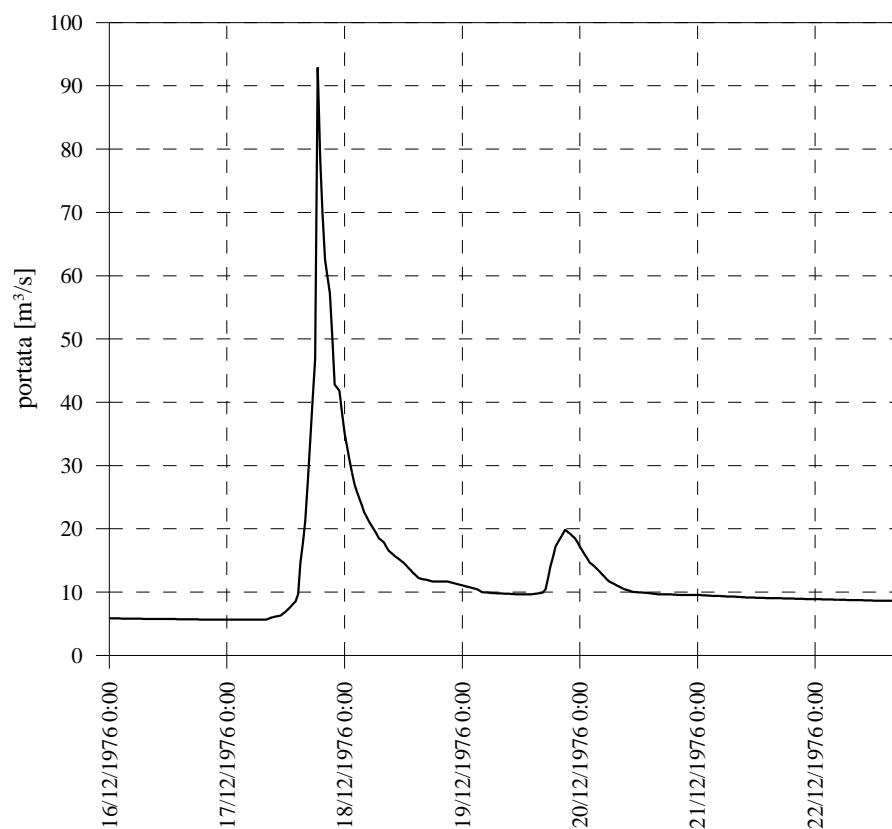


Figura B 70: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 16/12/1976 h 00:00

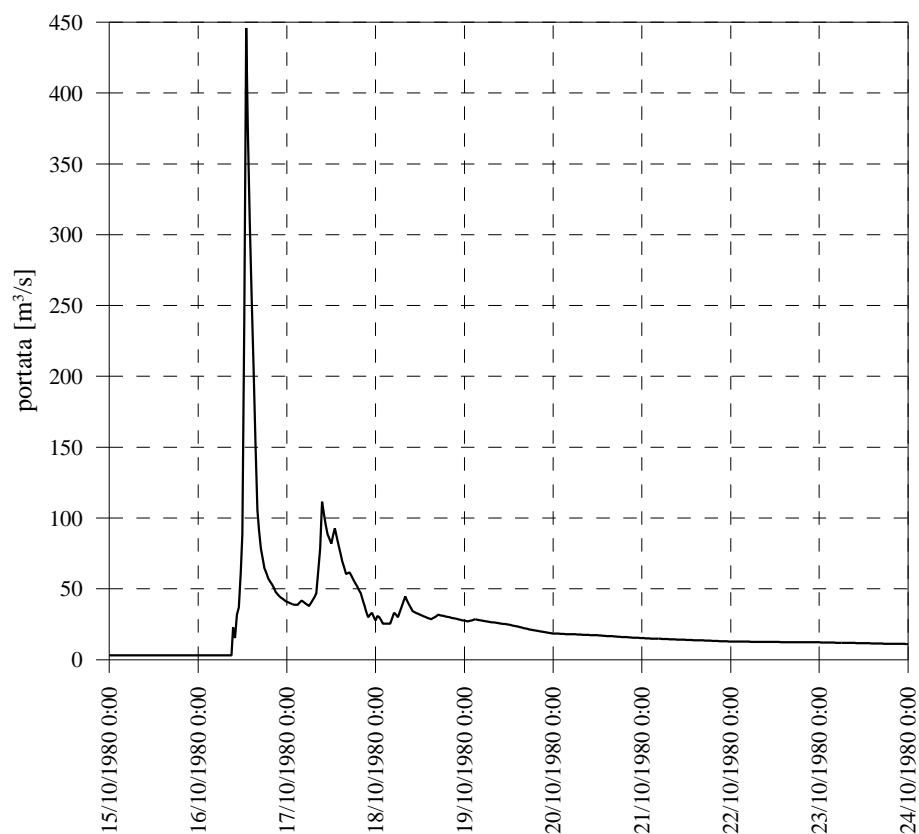


Figura B 71: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 15/10/1980 h 00:00

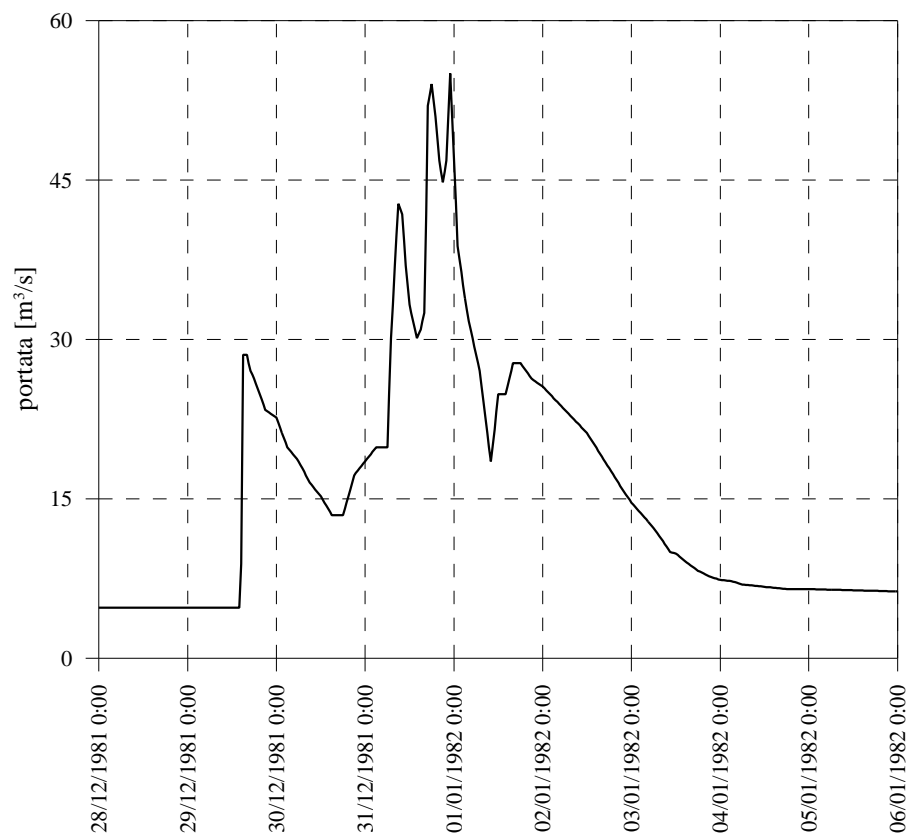


Figura B 72: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 28/12/1981 h 00:00

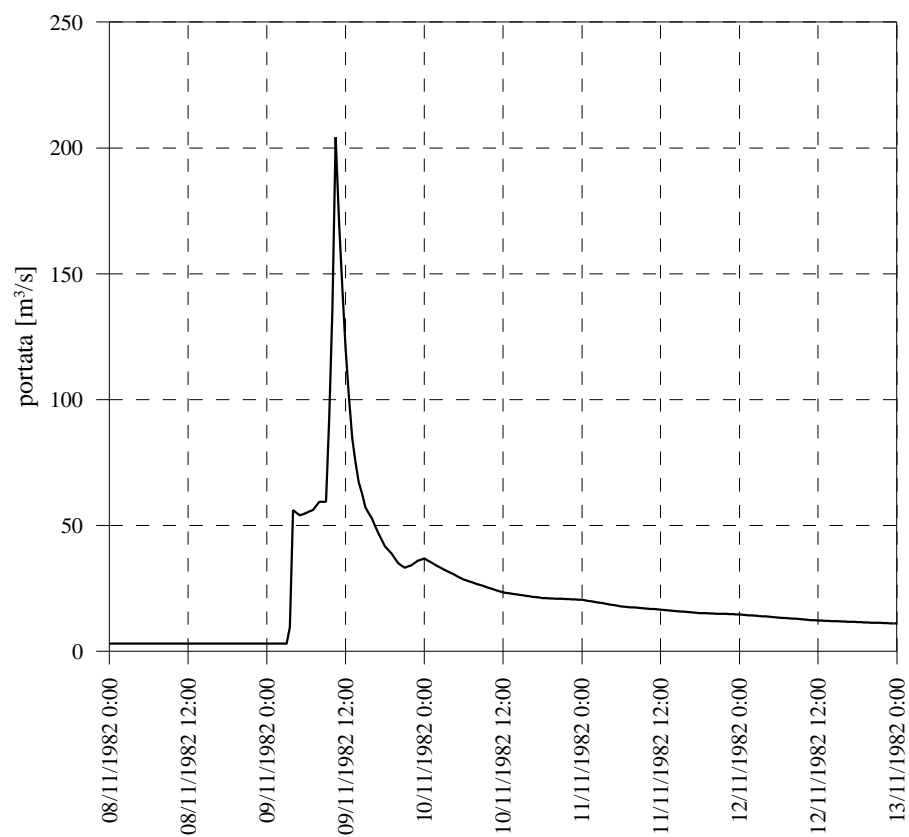


Figura B 73: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 08/11/1982 h 00:00

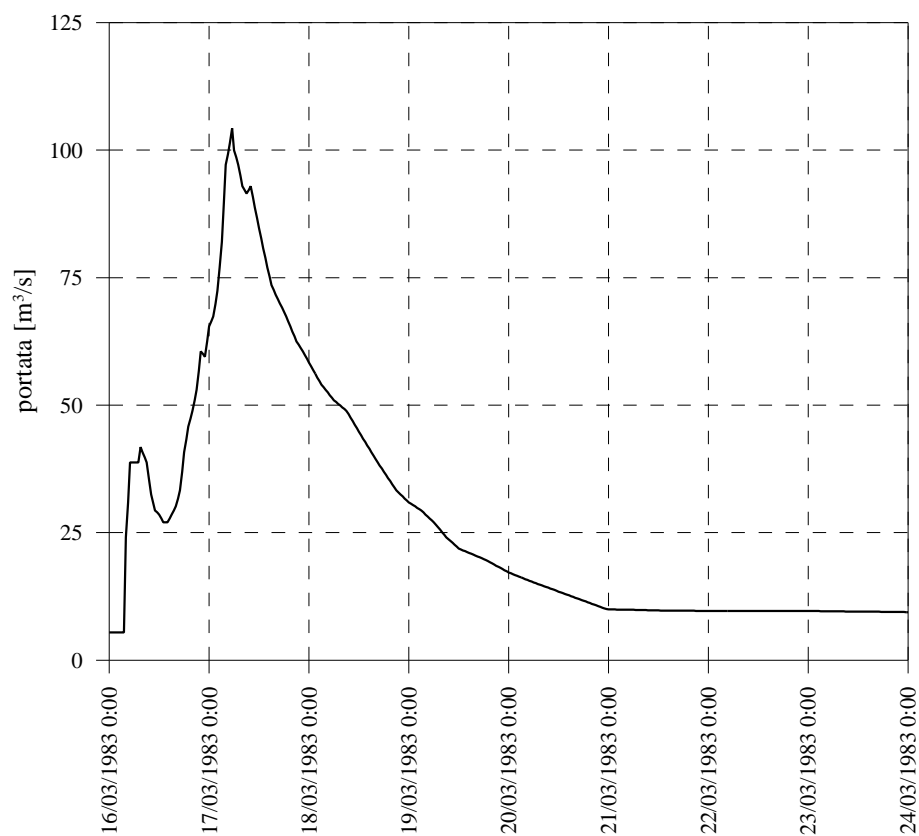


Figura B 74: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 16/03/1983 h 00:00

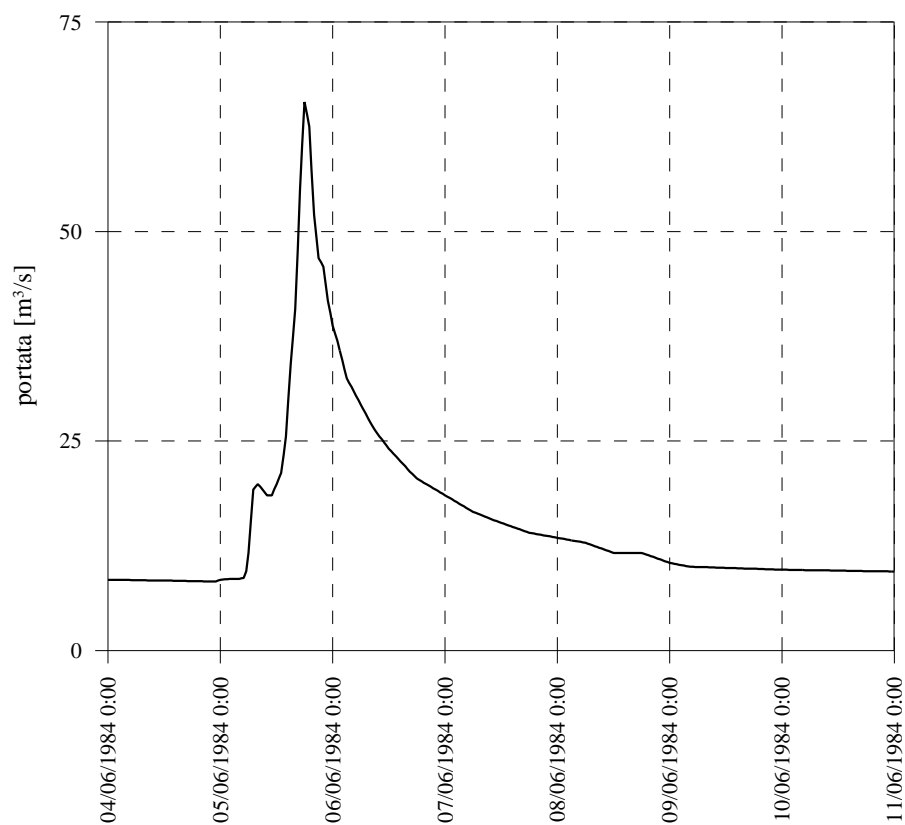


Figura B 75: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 04/06/1984 h 00:00

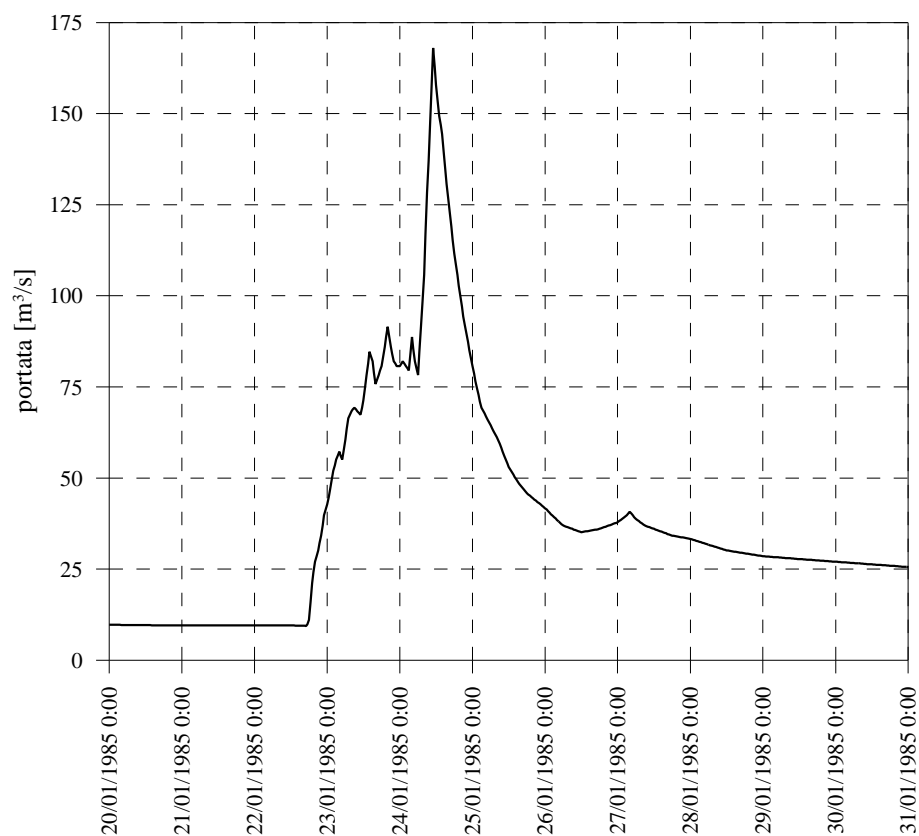


Figura B 76: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 20/01/1985 h 00:00

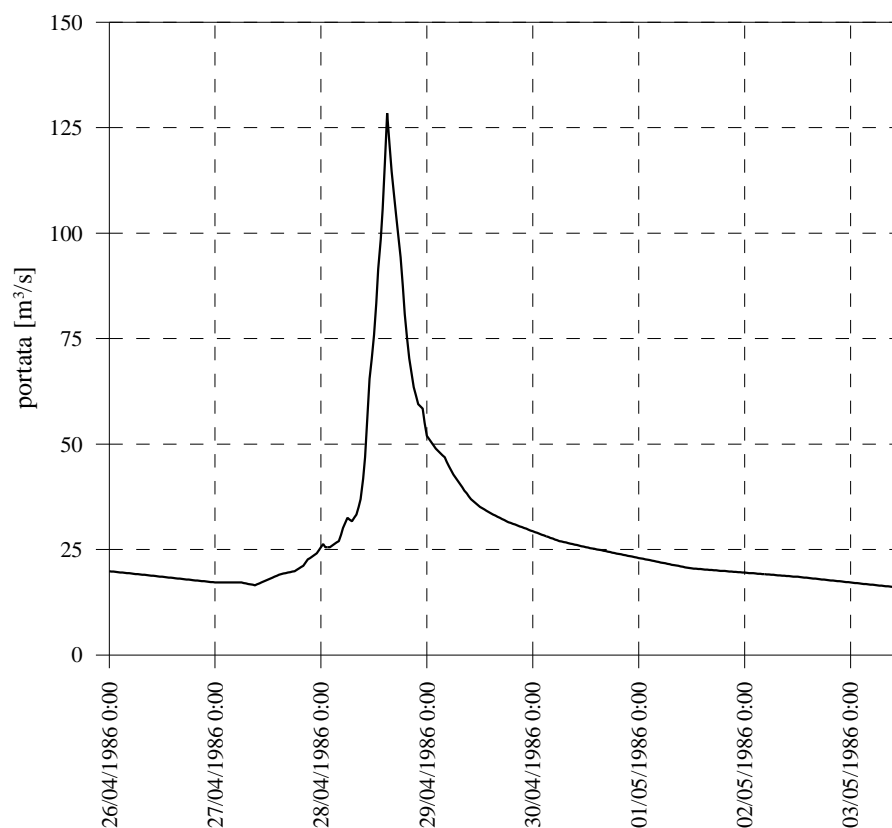


Figura B 77: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 26/04/1986 h 00:00

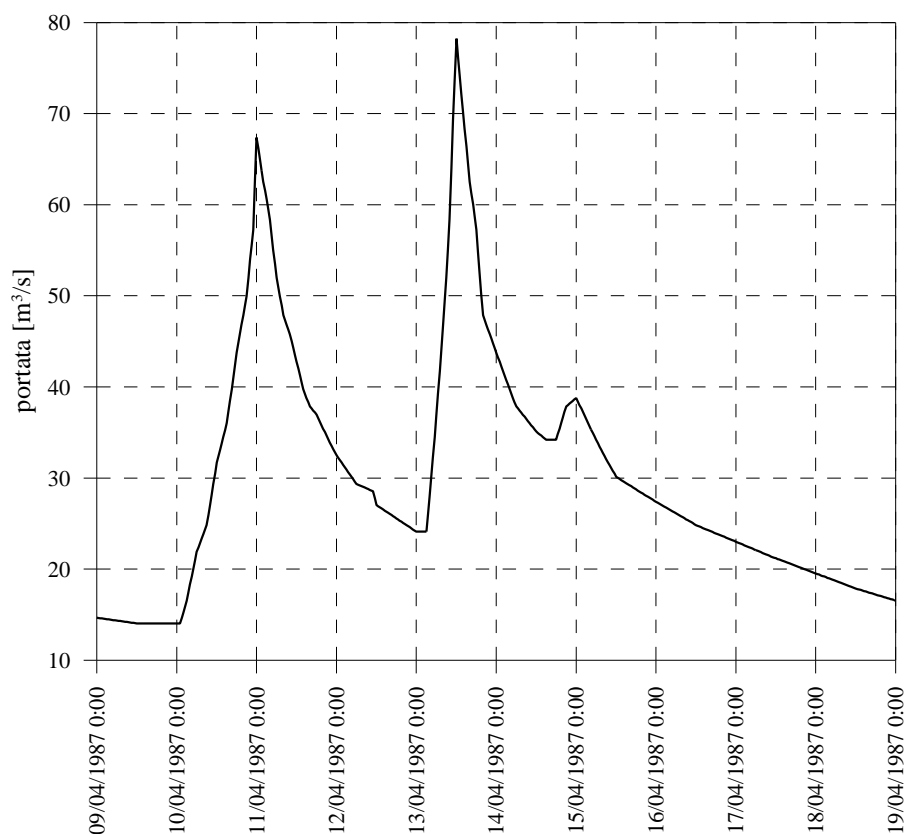


Figura B 78: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 09/04/1987 h 00:00

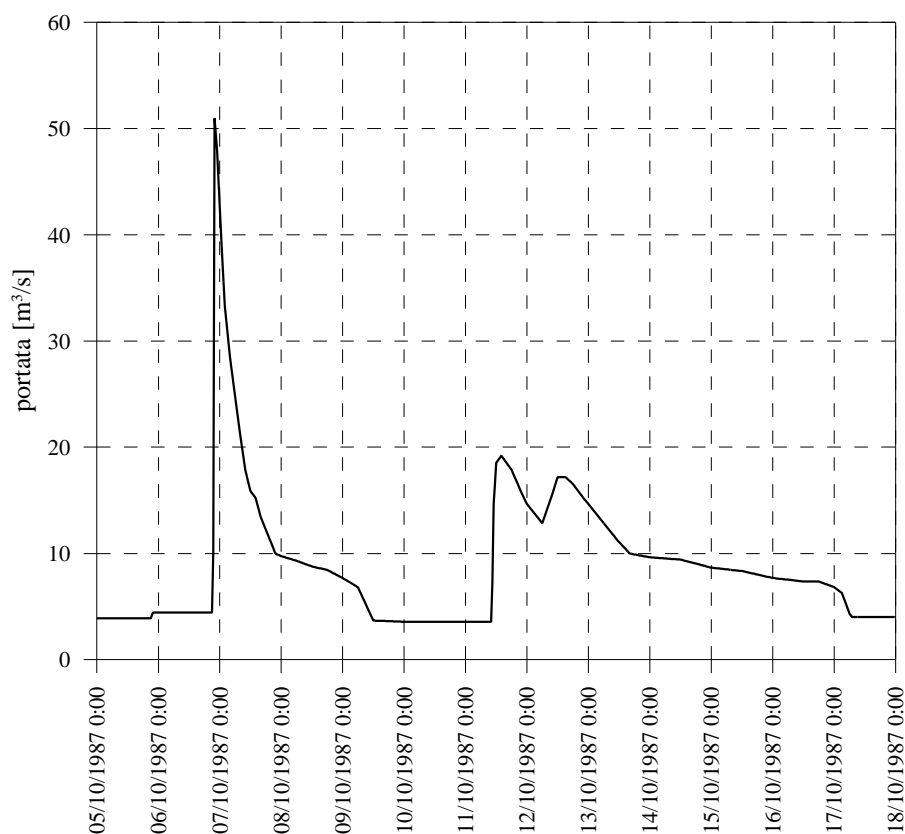


Figura B 79: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 05/10/1987 h 00:00

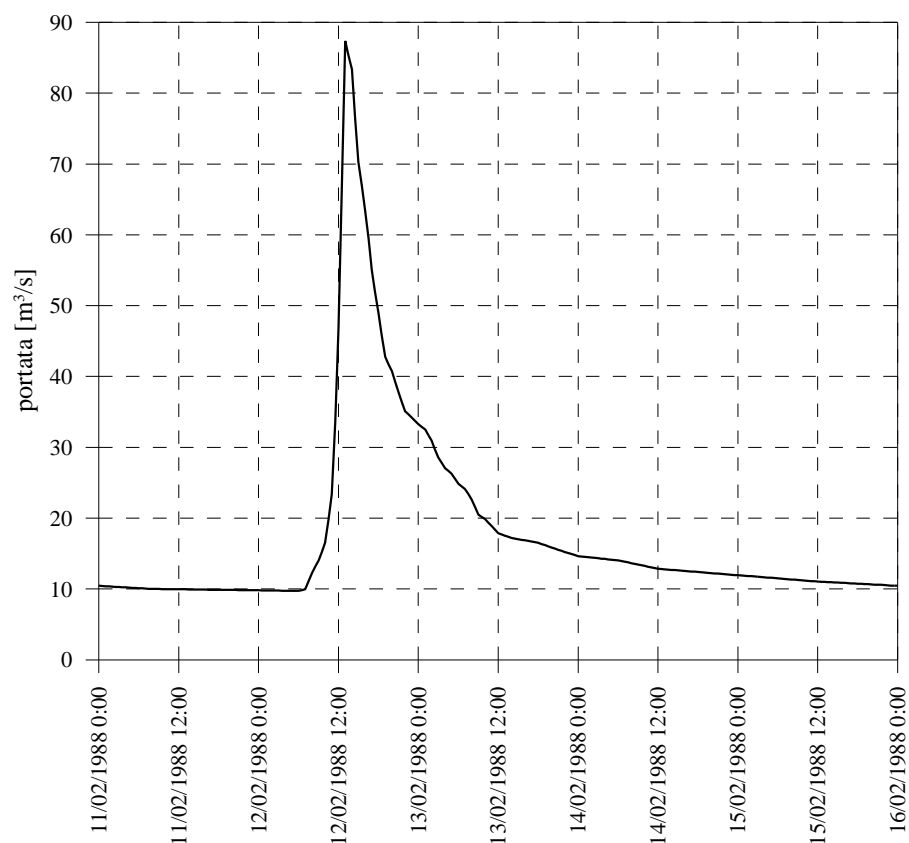


Figura B 80: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 11/02/1988 h 00:00

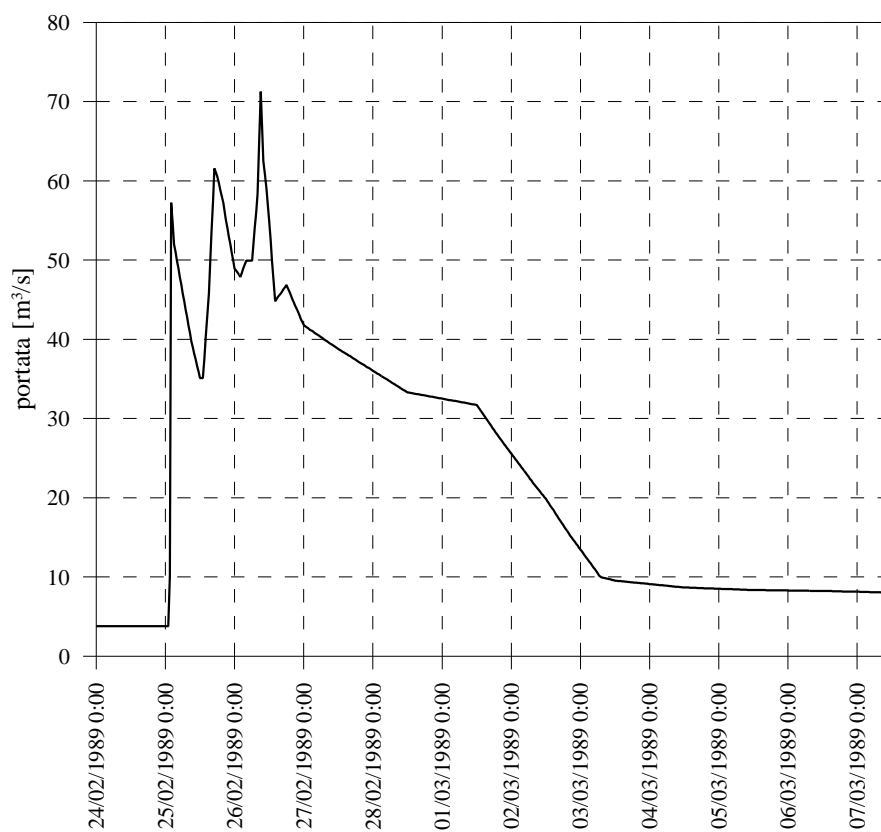


Figura B 81: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 24/02/1989 h 00:00

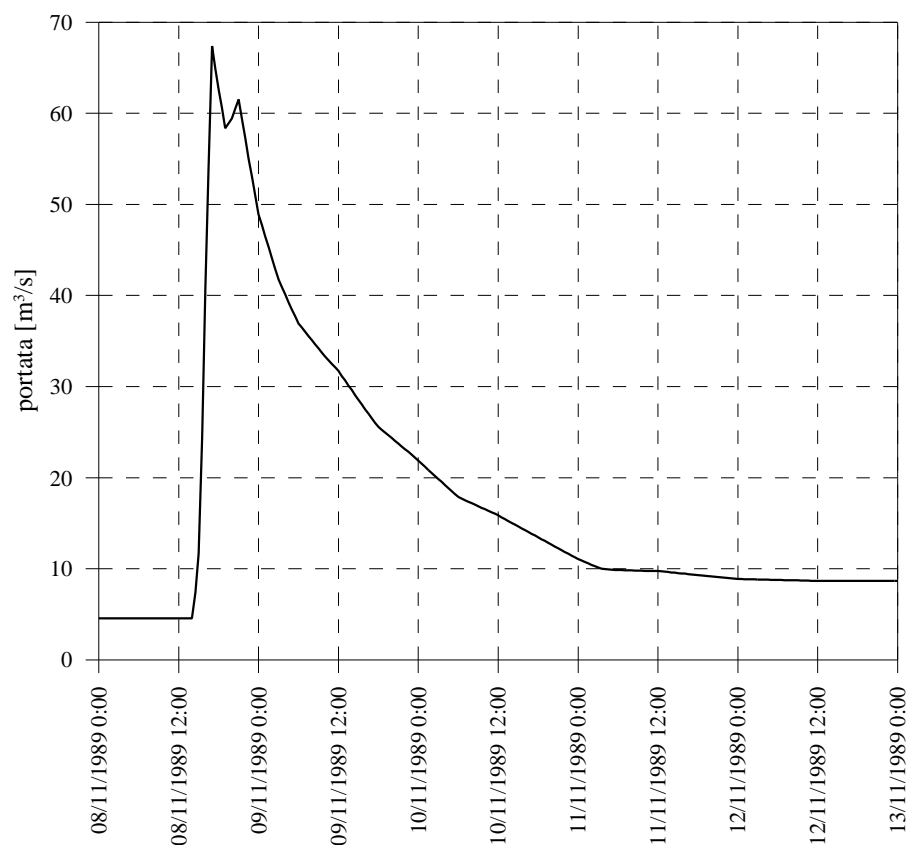


Figura B 82: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 08/11/1989 h 00:00

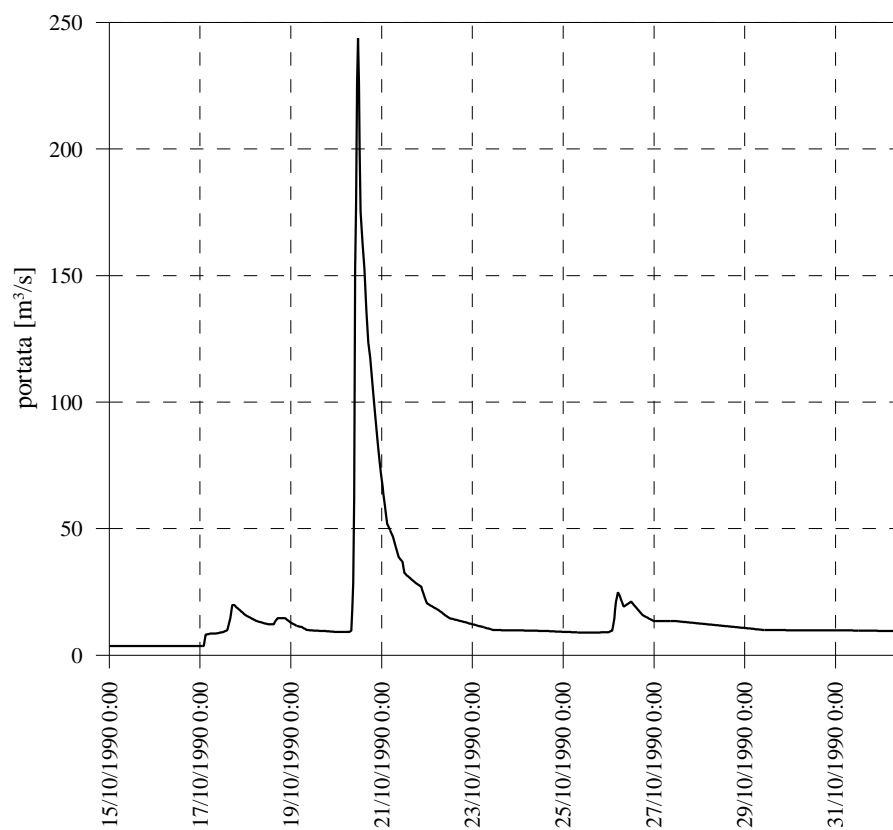


Figura B 83: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 15/10/1990 h 00:00

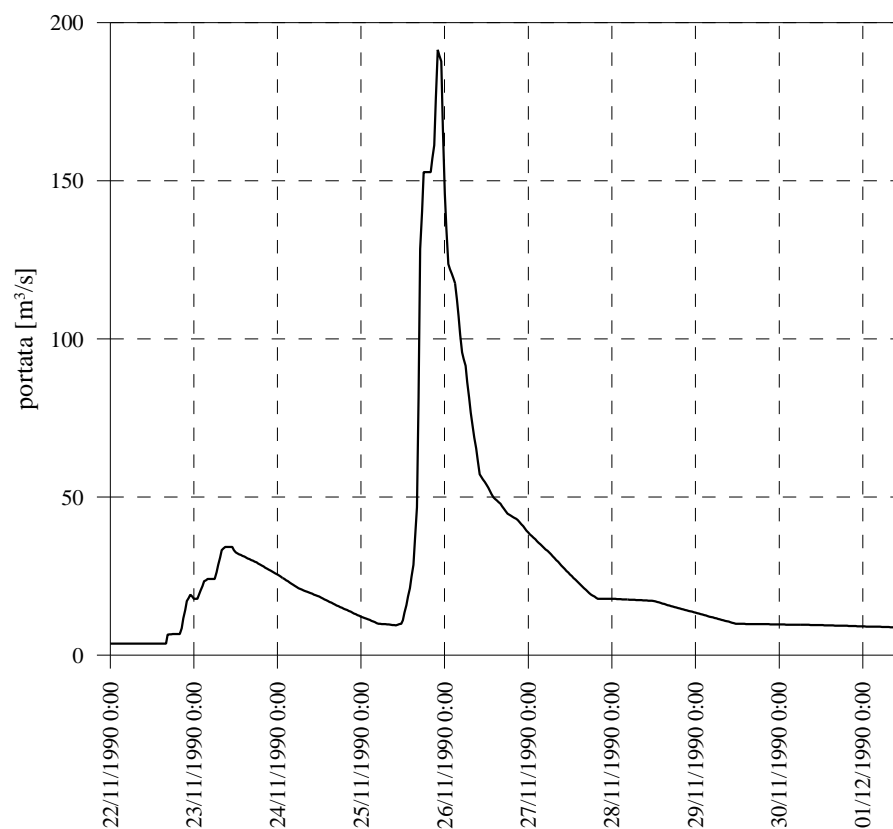


Figura B 84: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 22/11/1990 h 00:00

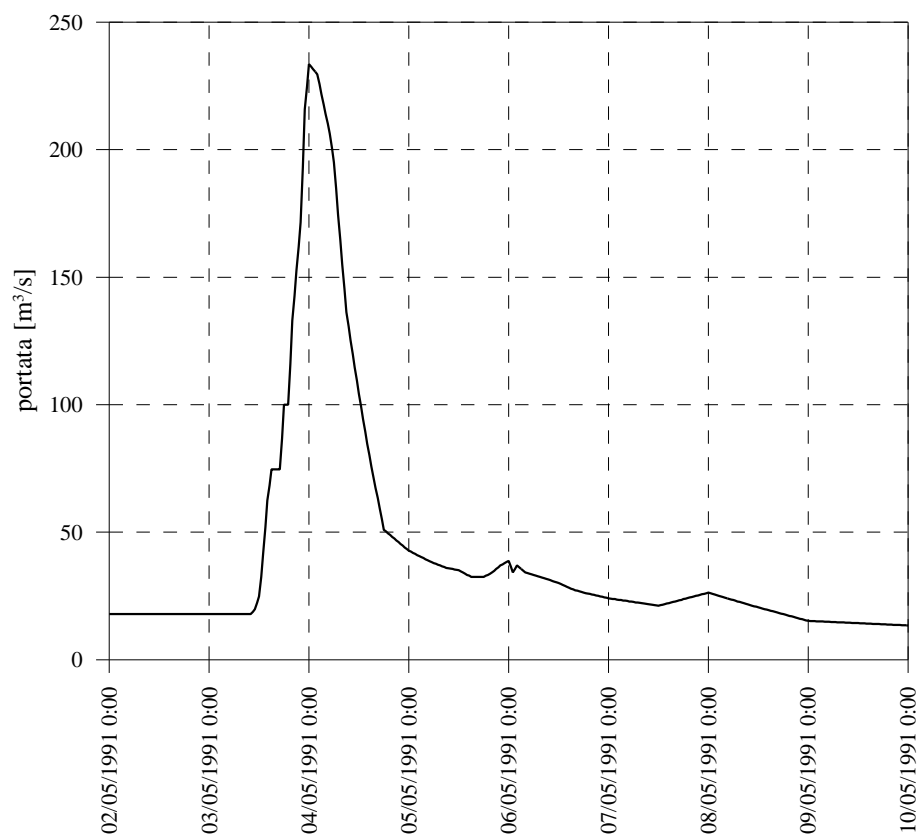


Figura B 85: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 02/05/1991 h 00:00

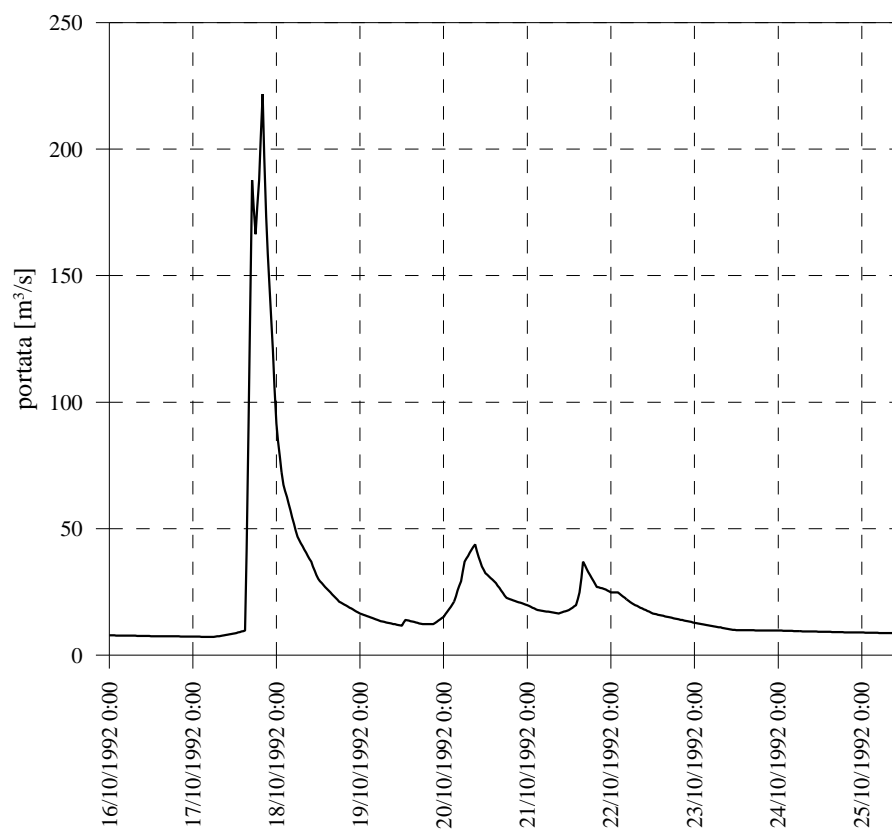


Figura B 86: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 16/10/1992 h 00:00

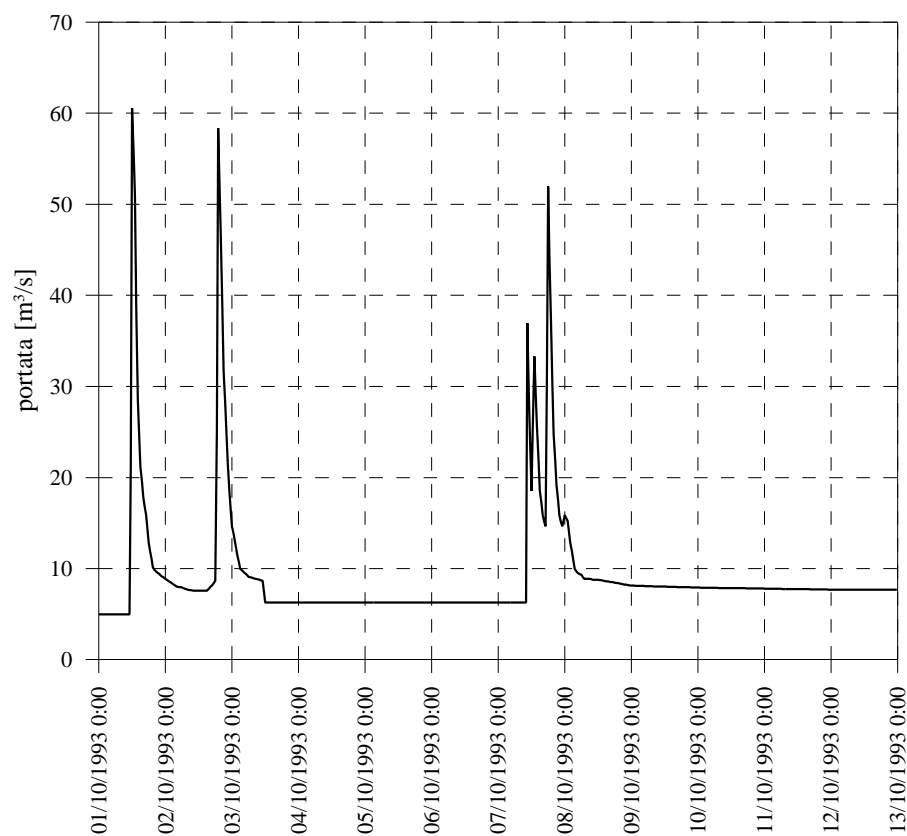


Figura B 87: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 01/10/1993 h 00:00

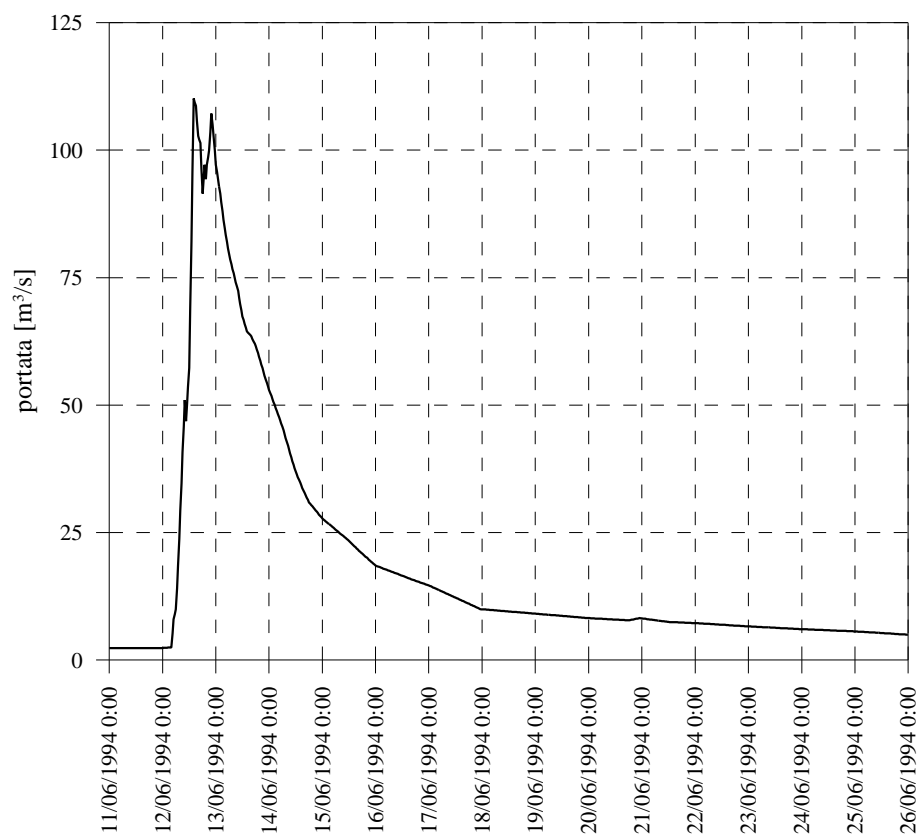


Figura B 88: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 11/06/1994 h 00:00

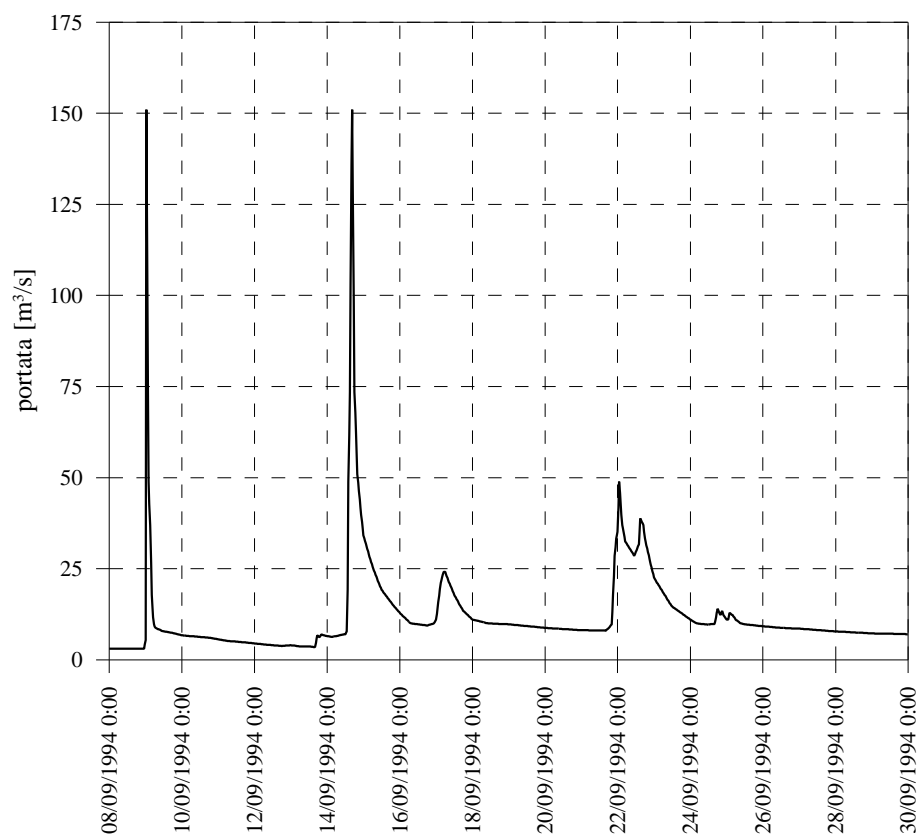


Figura B 89: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 08/09/1994 h 00:00

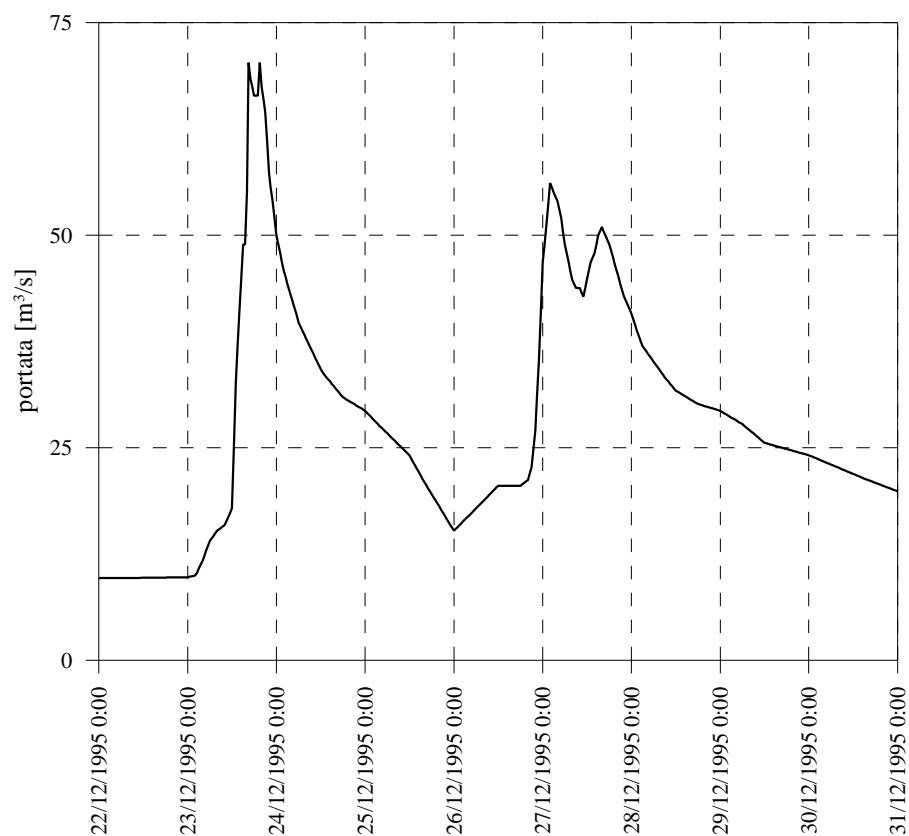


Figura B 90: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 22/12/1995 h 00:00

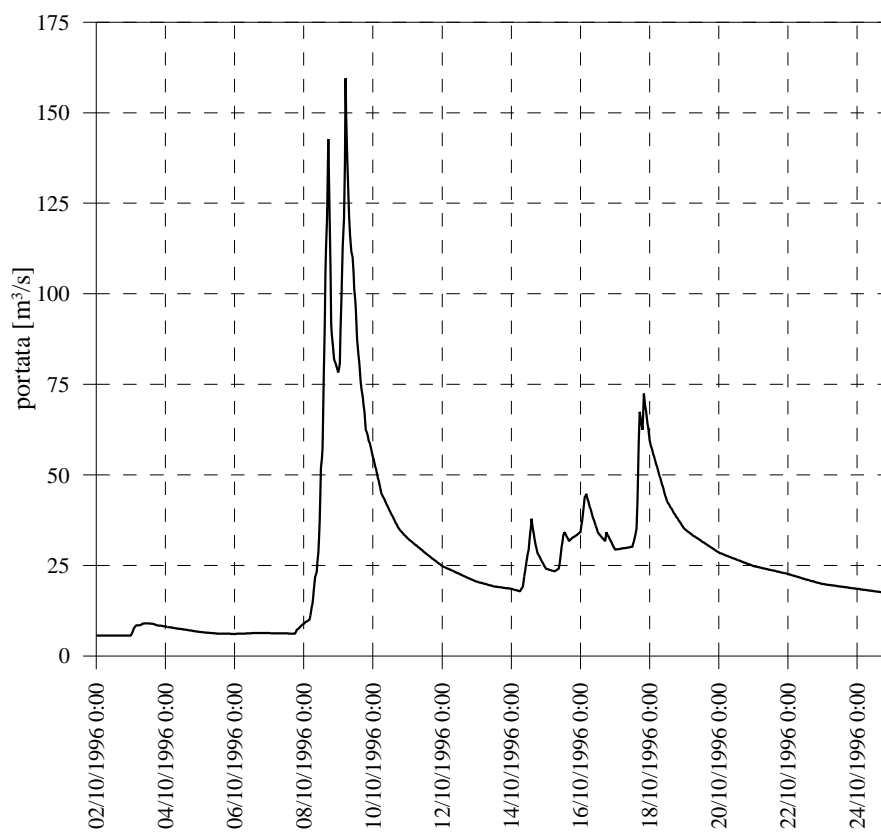


Figura B 91: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 02/10/1996 h 00:00

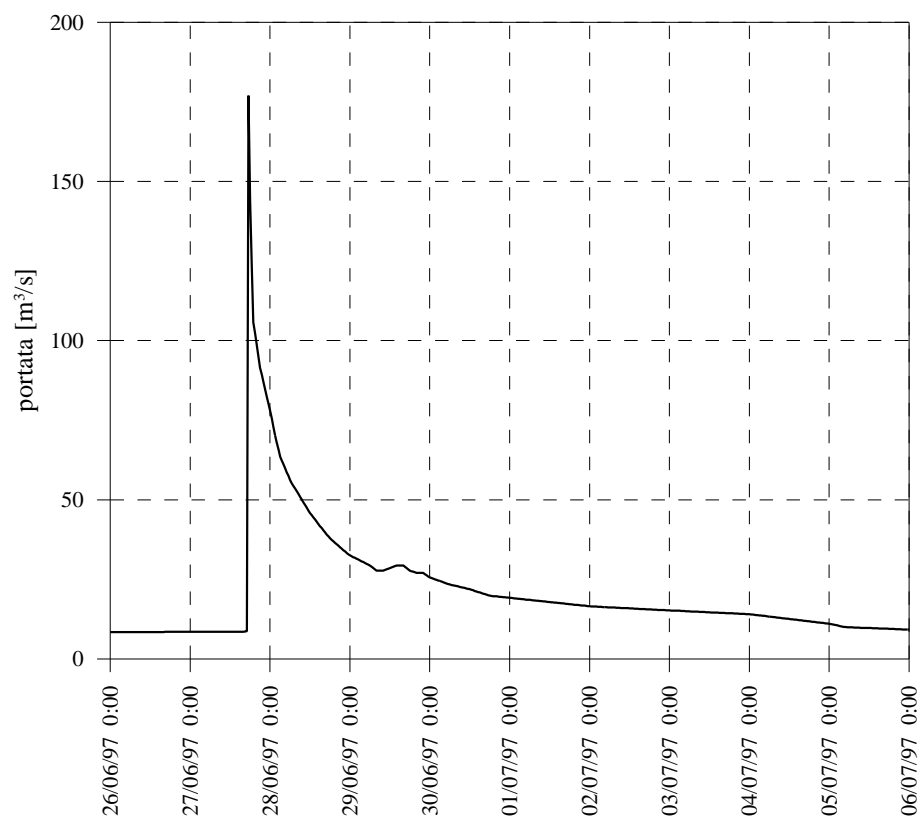


Figura B 92: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 26/06/1997 h 00:00

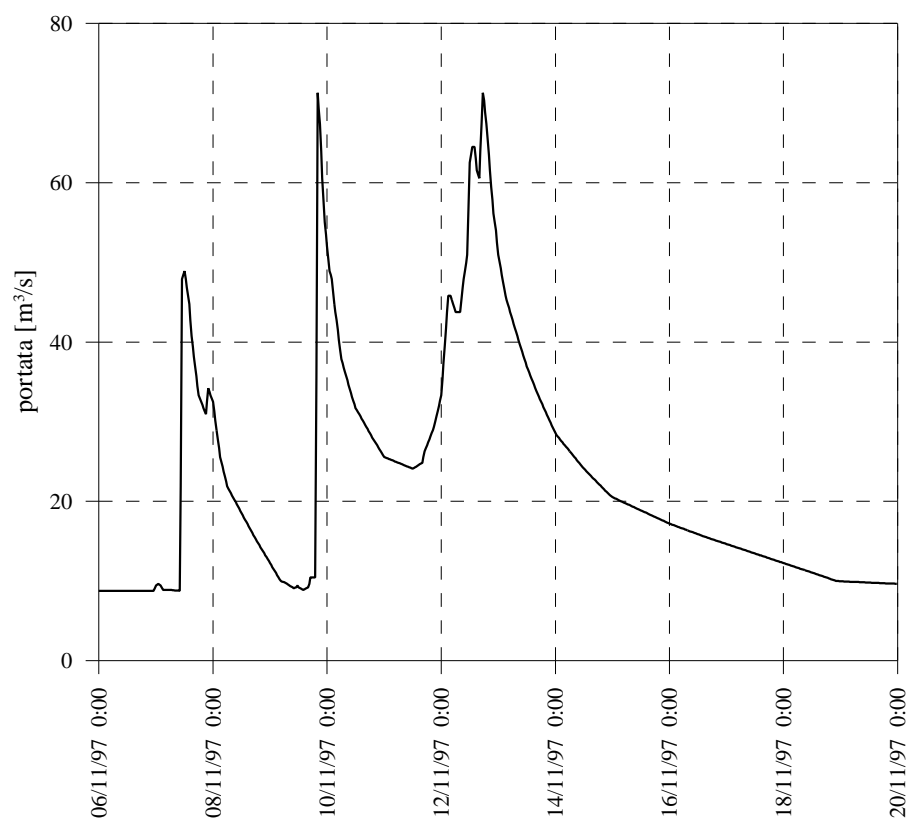


Figura B 93: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 06/11/1997 h 00:00

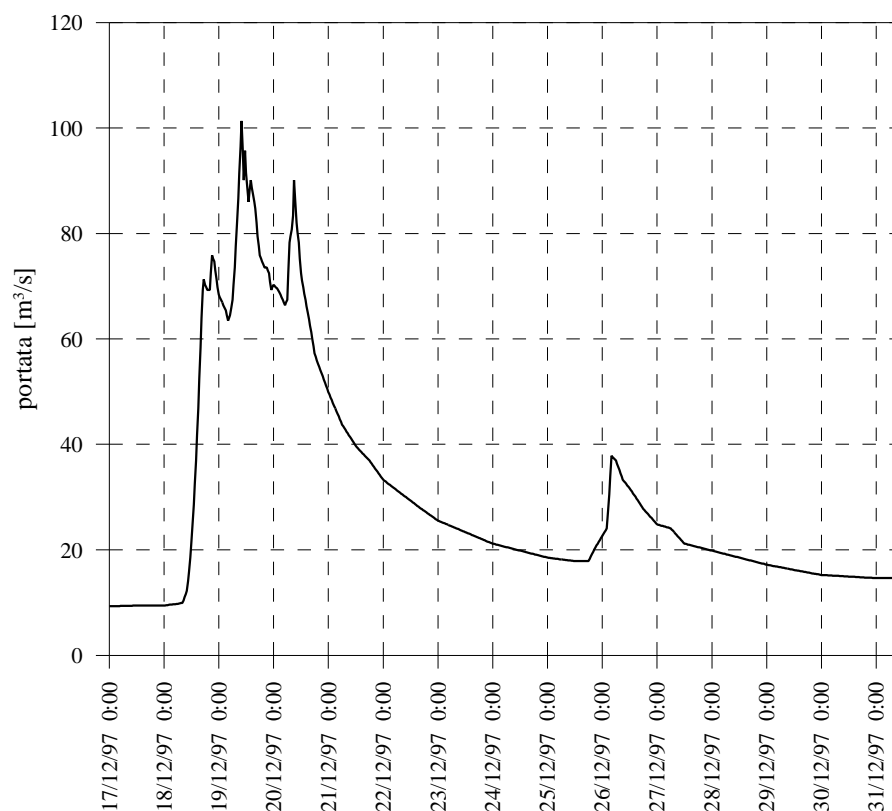


Figura B 94: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 17/12/1997 h 00:00

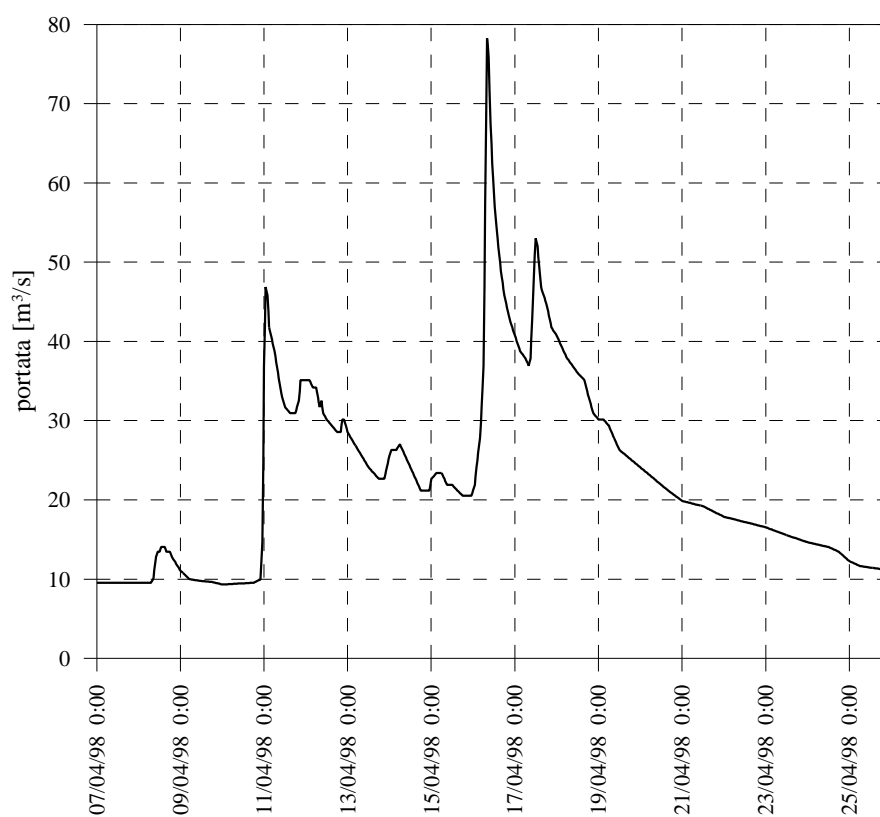


Figura B 95: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 07/04/1998 h 00:00

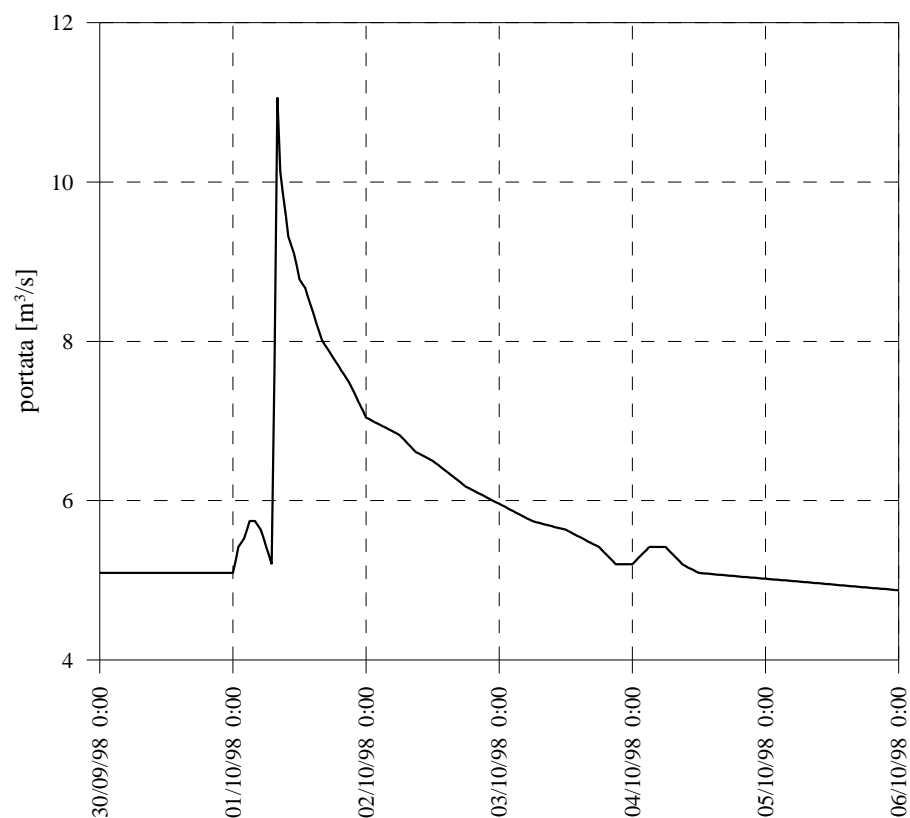


Figura B 96: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 30/09/1998 h 00:00

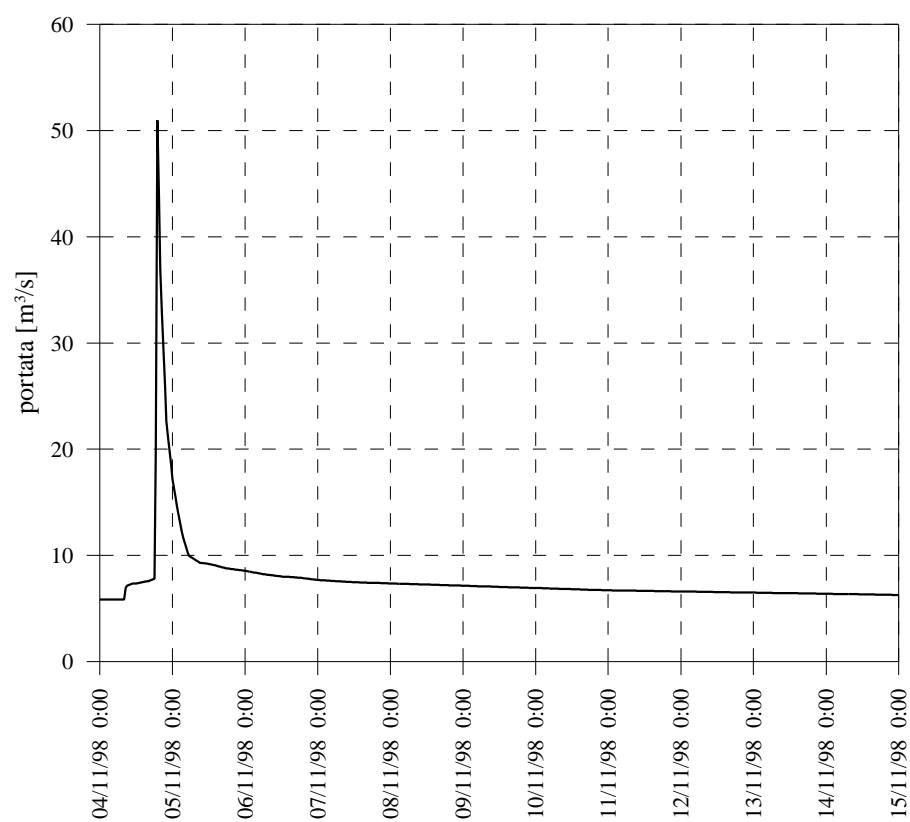


Figura B 97: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 04/11/1998 h 00:00

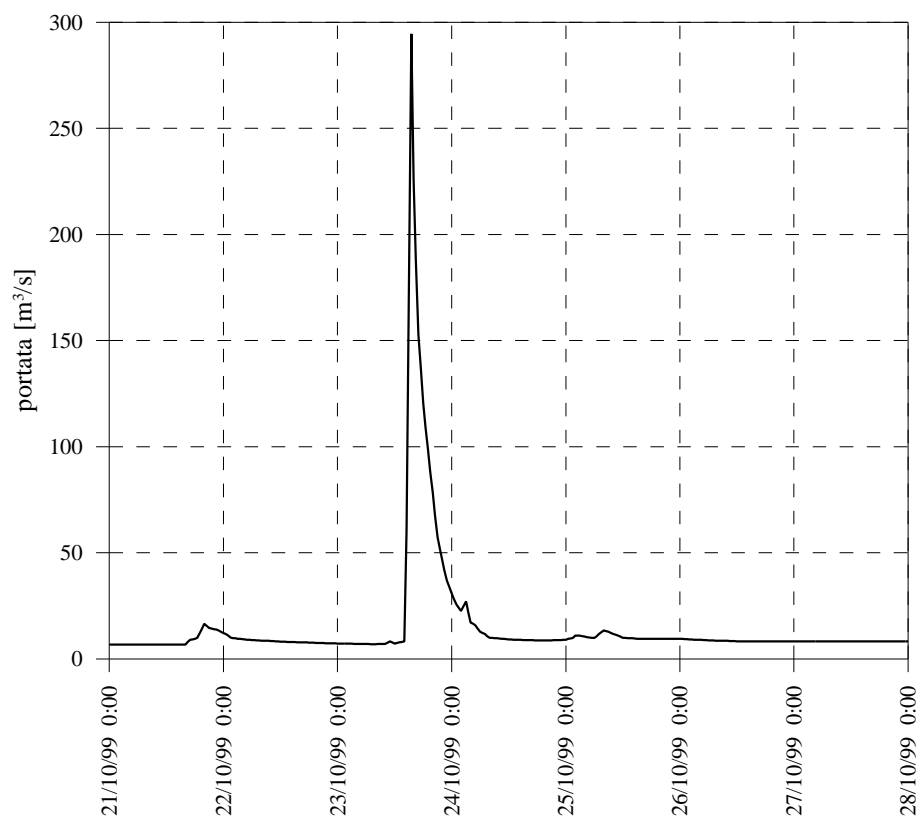


Figura B 98: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 21/10/1999 h 00:00

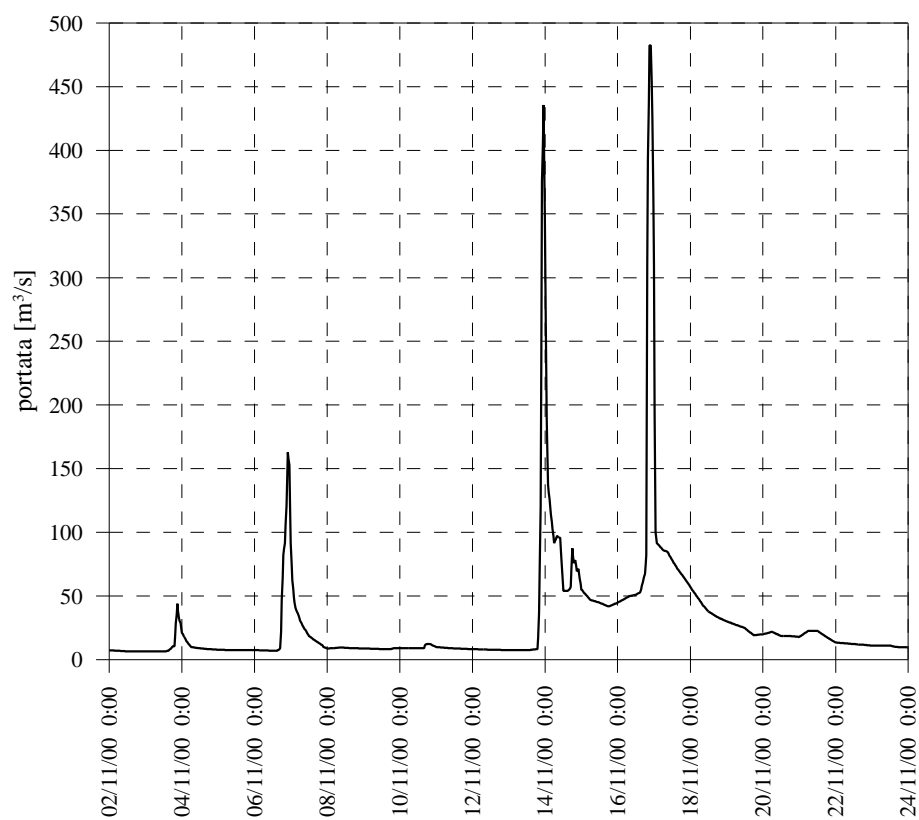


Figura B 99: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 02/11/2000 h 00:00

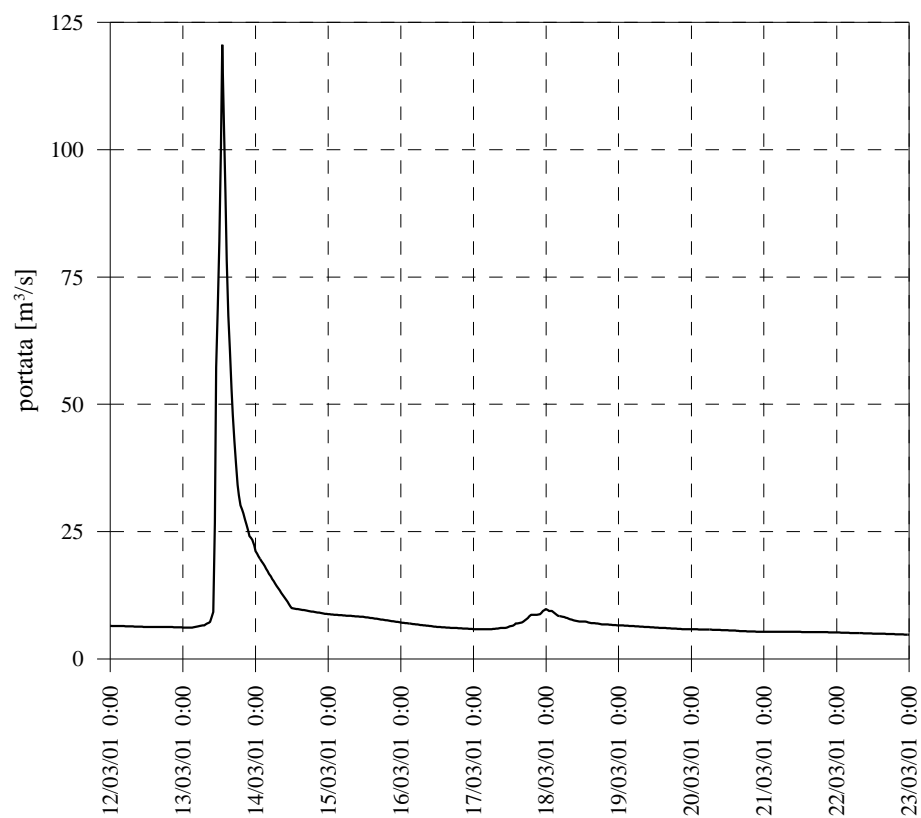


Figura B 100: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 12/03/2001 h 00:00

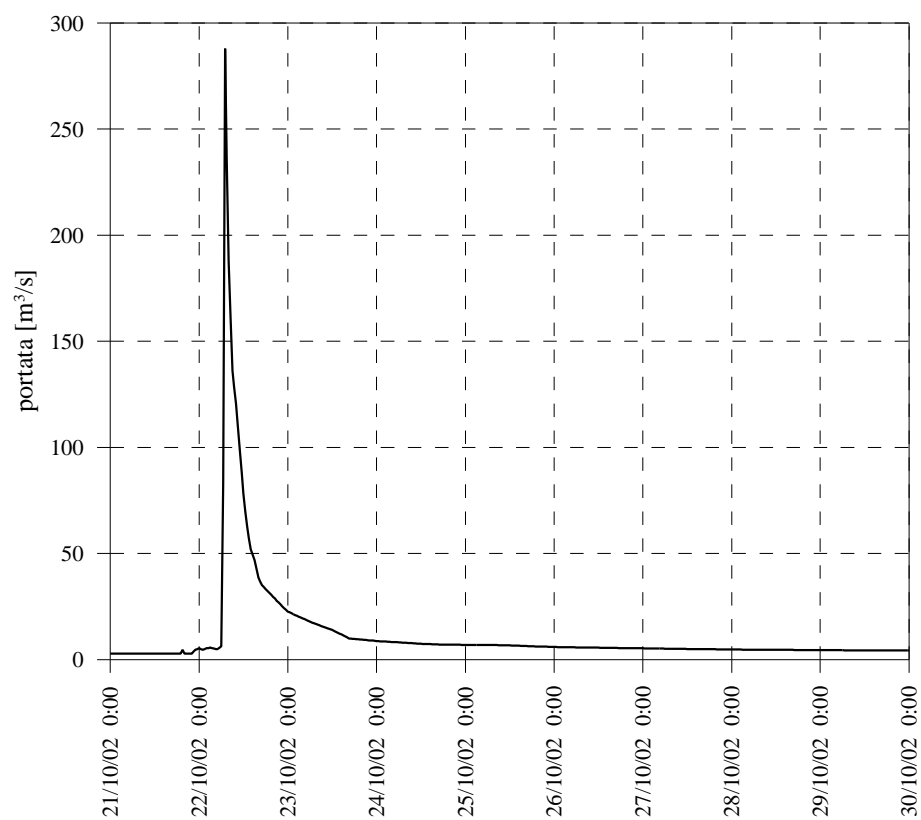


Figura B 101: Idrogramma di piena registrato a P.te Nuovo con inizio il 21/10/2002 h 00:00

APPENDICE C

Distribuzioni di probabilità utilizzate nelle elaborazioni statistiche

C.1 La distribuzione di Gumbel

La funzione di distribuzione di Gumbel (EV1) è definita dall'espressione:

$$P(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-u}{a}\right)\right] \quad \text{C.1.1}$$

introducendo la variabile ridotta

$$Y = \frac{X-u}{a} \quad \text{C.1.2}$$

la (C.1.1) assume la forma canonica

$$P(y) = \exp[-\exp(-y)] \quad \text{C.1.3}$$

con densità di probabilità

$$p(y) = \exp[-\exp(-y) - y] \quad \text{C.1.4}$$

La media e lo scarto quadratico medio della (C.1.4) sono

$$\mathbf{m}(Y) = \mathbf{g} \approx 0.5772, \quad \mathbf{s}(Y) = \frac{\mathbf{p}}{\sqrt{6}} \approx 1.283 \quad \text{C.1.5}$$

dove \mathbf{g} è la costante di Eulero.

Essendo poi

$$\mathbf{m}(Y) = \frac{\mathbf{m}(X) - u}{a}, \quad \mathbf{s}(Y) = \frac{1}{a} \mathbf{s}(X) \quad \text{C.1.6}$$

dalla (C.1.5) si ottiene, risolvendo le (C.1.6) rispetto a u e a ,

$$u = \mathbf{m}(X) - 0.5772a, \quad a = 0.779\mathbf{s}(X) \quad \text{C.1.7}$$

Invertendo la funzione di distribuzione (C.1.3) e introducendo il tempo di ritorno

$$T(x) = \frac{1}{1 - P(x)} \quad \text{C.1.8}$$

si trova

$$x(T) = u - \alpha \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \quad \text{C.1.9}$$

La stima dei parametri della distribuzione (C.1.3) viene generalmente condotta mediante il metodo dei momenti, sfruttando la (C.1.7) e sostituendo alla media μ ed allo scarto s i corrispondenti valori campionari.

Infine, essendo:

$$\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \cong -\frac{1}{T-1} \cong -\frac{1}{T} \quad \text{C.1.10}$$

per valori di T sufficientemente elevati ($T > 30$ anni) si può utilizzare, in via approssimata:

$$x(T) = u + \frac{1}{\alpha} \cdot \ln T \quad \text{C.1.11}$$

C.2 La distribuzione GEV

La distribuzione GEV (Generalized Extreme -Value), introdotta da Jenkinson (1955) permette di compendiare in un'unica espressione le tre diverse distribuzioni asintotiche dei valori estremi; l'espressione della funzione di probabilità è

$$P(x) = \exp \left\{ - \left[1 - \frac{k(x - \mathbf{x})}{\mathbf{a}} \right]^{\frac{1}{k}} \right\} \quad \text{C.2.1}$$

\mathbf{x} e \mathbf{a} sono rispettivamente i parametri di posizione e di scala, k è il parametro di forma che determina quale distribuzione asintotica del massimo valore è rappresentata. Solitamente il parametro k è compreso nell'intervallo di valori $-1/2 < k < 1/2$.

Per $k=0$ la (3.2.1) si riduce alla funzione di probabilità di Gumbel (EV1):

$$P(x) = \exp \left[- \exp \left(- \frac{x - u}{\alpha} \right) \right] \quad \text{C.2.2}$$

Per $k < 0$ la (3.2.1) è limitata inferiormente (EV2). In entrambi i casi il limite vale $\mathbf{x} + \mathbf{a}/k$.

Per $k > 0$ è invece limitata superiormente (EV3) e non è quindi utilizzata nella analisi di frequenza delle piene.

L'inversa della (C.2.1) espressa in funzione del tempo di ritorno attraverso la (C.1.8) è:

$$x = \xi + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[- \ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]^k \right\} \quad (k \neq 0)$$

mentre per $k=0$ si riduce alla (C.1.9).

Generalmente la stima dei 3 parametri della (C.2.1) viene effettuata con il metodo dei momenti pesati in probabilità, definiti dagli integrali:

$$\beta_r = \int_0^1 x(P) P^r dP \quad (r = 0, 1, \dots) \quad \text{C.2.3}$$

dove r e $x(P)$ indicano rispettivamente l'ordine del momento e l'inversa della funzione di distribuzione $P(x)$. Per $k \neq 0$ le relazioni fra i parametri della (C.2.1) ed i momenti sono \mathbf{b}_r (Hosking et al., 1985):

$$\mathbf{b}_r = \frac{1}{r+1} \left\{ \mathbf{x} + \frac{\mathbf{a}}{k} \left[1 - \frac{1}{(r+1)^k} \mathbf{G}(1+k) \right] \right\} \quad (k > -1) \quad \text{C.2.4}$$

dove $\Gamma(\cdot)$ indica la funzione Gamma di Eulero.

Dalla (C.2.4) discendono:

$$\begin{aligned} \mathbf{b}_0 &= \mathbf{x} + \mathbf{a} \cdot \frac{1 - \Gamma(1+k)}{k} \\ 2\mathbf{b}_1 - \mathbf{b}_0 &= \frac{\mathbf{a} \cdot \Gamma(1+k)(1 - 2^{-k})}{k} \\ \frac{(3\mathbf{b}_2 - \mathbf{b}_0)}{(2\mathbf{b}_1 - \mathbf{b}_0)} &= \frac{(1 - 3^{-k})}{(1 - 2^{-k})} \end{aligned} \quad \text{C.2.5}$$

Una stima indistorta b_r dei momenti \mathbf{b}_r è data dalla formula

$$b_r = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(i-1) \dots (i-r)}{(N-1) \dots (N-r)} x_i \quad \text{C.2.6}$$

dove x_i è l'i-ma osservazione nel campione ordinato in senso crescente (Hosking et al., 1985). La stima dei parametri si ottiene risolvendo il sistema formato dalle equazioni (C.2.5) per $r=0, 1, 2$, dopo aver rimpiazzato i momenti \mathbf{b}_r con le corrispondenti stime b_r . Naturalmente la determinazione di \mathbf{a} , \mathbf{x} e k richiederebbe metodi numerici iterativi; tuttavia Hosking et al., 1985, poiché la funzione (C.2.5 c) è lineare nell'intervallo dei valori di k che si incontrano nella pratica ($-1/2 < k < 1/2$), hanno ricavato per tale parametro la seguente formula approssimata,

$$k = 7.8590c + 2.955c^2, \quad c = \frac{2b_1 - b_0}{3b_2 - b_0} - \frac{\ln 2}{\ln 3} \quad \text{C.2.7}$$

che conduce a risultati assai accurati in detto intervallo.

Ricavato k , i parametri di scala \mathbf{a} e di posizione \mathbf{x} possono essere stimati mediante le (Eq. n° C.2.5 a,b) sostituendo b_r a \mathbf{b}_r :

$$\begin{aligned} \mathbf{x} &= b_0 + \mathbf{a} \cdot \frac{\Gamma(1+k) - 1}{k} \\ \mathbf{a} &= \frac{(2b_1 - b_0)k}{\Gamma(1+k)(1 - 2^{-k})} \end{aligned} \quad \text{C.2.8}$$

Come si è ricordato, la distribuzione GEV si riduce alla distribuzione di Gumbel per $k=0$. Un test statistico particolarmente semplice per stabilire se un campione di dati è meglio interpretato da una distribuzione di Gumbel piuttosto che da una distribuzione GEV è stato proposto da Hosking et al.

(1985) a partire dalla stima di k ottenuta dal campione attraverso il metodo dei momenti pesati in probabilità. Si può infatti dimostrare che nell'ipotesi che il campione sia generato da una Gumbel il valore stimato di k è asintoticamente distribuito secondo una normale con media 0 e varianza pari a $0.5633/N_c$.

Il test consiste dunque nel confrontare il valore della variabile $Z=k(N_c/0.5633)^{1/2}$ con i valori critici di una distribuzione normale standard; valori significativamente positivi di Z implicano il rifiuto dell'ipotesi $k=0$ in favore dell'ipotesi $k>0$, mentre valori significativamente negativi di k implicano il rifiuto dell'ipotesi $k=0$ in favore dell'ipotesi $k<0$.

Normalmente la distribuzione GEV viene rappresentata utilizzando la carta probabilistica di Gumbel; poiché il legame tra la portata al colmo X e la variabile ridotta di Gumbel Y ha l'espressione:

$$x = u + a \cdot \frac{1 - e^{-ky}}{k} \quad \text{C.2.9}$$

sulla carta di Gumbel la distribuzione GEV è rappresentata da una curva che presenta concavità differente a seconda che il parametro di forma k risulta maggiore o minore di zero, e che si riduce ovviamente ad una retta nel caso in cui risulta $k=0$. In particolare, nell'analisi di frequenza delle piene, risulta priva di senso la concavità in corrispondenza di $k>0$, poiché la distribuzione GEV è in tal caso limitata superiormente.

C.3 La distribuzione lognormale

Per completezza di trattazione è stata presa in considerazione anche la distribuzione probabilistica lognormale a due parametri, dove non la variabile originale X , ma il suo logaritmo, $Y=\ln X$, segue la legge di distribuzione normale. La X è limitata inferiormente (tale limite vale zero) e la sua funzione di probabilità cumulata (*Cumulative Distribution Function, CDF*) risulta essere:

$$P(x) = P(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} s(Y)} \int_{-\infty}^y \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y - m(Y)}{s(Y)}\right)^2\right] dy \quad \text{C.3.1}$$

in cui $m(Y)$ e $s(Y)$ indicano rispettivamente la media e la varianza della variabile trasformata y :

$$\begin{aligned} m(Y) &= \ln m(X) - \frac{1}{2} \ln\left(1 + \frac{s(X)^2}{m(X)^2}\right) \\ s(Y) &= \sqrt{\ln\left(1 + \frac{s(X)^2}{m(X)^2}\right)} \end{aligned} \quad \text{C.3.2}$$

La variabile ridotta assume la forma:

$$u = \frac{y - m(y)}{s(y)} \quad \text{C.3.3}$$

ed ha la proprietà di essere una funzione crescente della variabile originaria, con media nulla e varianza unitaria. L'espressione della *CDF* in forma canonica diventa:

$$P(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u \left[e^{-\frac{1}{2}u^2} \right] du \quad \text{C.3.4}$$

risulta lecito invertire la (C.3.1) adottando espressioni approssimate, comunemente riportate in letteratura (Abramowitz e Stegun). Anche in questo caso per la stima dei parametri si può fare ricorso al metodo dei momenti, grazie al quale risultano note la media campionaria m e lo scarto quadratico medio s della variabile $Y=\ln X$.

APPENDICE D

**Valori numerici delle massime portate medie in assegnata
durata e corrispondente posizione del picco r**

Appendice D – Valori numerici delle massime portate medie in assegnata durata e corrispondente posizione del picco r

N°	g	m	anno	0 ore	3 ore		12 ore		24 ore		36 ore		48 ore		72 ore	
				Q [m³/s]	Q [m³/s]	r	Q [m³/s]	r	Q [m³/s]	r	Q [m³/s]	r	Q [m³/s]	r	Q [m³/s]	r
1	28	4	1956	104.9	104.2	0.167	92.8	0.292	73	0.229	60.7	0.167	52.6	0.135	42.9	0.111
2	8	4	1957	133.6	130.8	0.333	117.8	0.375	103.5	0.313	95	0.264	89.5	0.5	81.1	0.368
3	7	11	1957	119.8	116.4	0.667	95.9	0.417	76.4	0.25	62.8	0.194	53.1	0.177	42.4	0.611
4	13	12	1958	206.3	181.5	0.167	119.4	0.208	94.3	0.521	88.3	0.861	84.8	0.698	77	0.451
5	26	3	1959	165.8	161.6	0.333	148.7	0.625	132.4	0.5	112.5	0.389	98.6	0.323	80.8	0.285
6	23	12	1959	308.6	273.9	0.333	206.3	0.458	170.1	0.396	141.6	0.278	122.9	0.219	103.5	0.132
7	14	10	1960	450.5	430.2	0.333	318.9	0.417	223.2	0.271	173.3	0.181	143.5	0.146	109.2	0.104
8	15	4	1960	291.2	282.6	0.667	259.8	0.583	247.5	0.896	235.6	0.708	210.8	0.583	173.2	0.569
9	15	12	1960	374.9	346.2	0.167	242	0.292	174.9	0.208	146.3	0.153	128	0.135	104.6	0.111
10	3	1	1961	291.2	276.8	0.5	219.2	0.417	158	0.229	129.4	0.167	110.9	0.146	89.1	0.104
11	23	4	1961	276.3	265.7	0.667	234.1	0.583	184.7	0.396	148.3	0.319	124.9	0.26	100.3	0.146
12	25	11	1961	215.1	194.7	0.5	159	0.208	118.4	0.167	96.4	0.125	82.4	0.104	65.7	0.063
13	4	3	1962	189.4	186.6	0.667	180.6	0.208	161.1	0.021	158.8	0.097	145	0.083	118	0.076
14	4	3	1963	261.5	251.7	0.5	212	0.208	181.6	0.167	153.5	0.139	134.6	0.125	109.9	0.16
15	24	3	1964	211.7	210.2	0.333	180.3	0.333	145.4	0.313	126.4	0.333	113.6	0.323	100.9	0.604
16	26	11	1964	206.3	198.9	0.333	175.1	0.333	138.6	0.188	115.2	0.139	99.4	0.104	79.6	0.076
17	17	11	1965	295.4	286.4	0.5	230.4	0.25	174.2	0.146	142.9	0.125	122.6	0.104	105.9	0.778
18	1	12	1966	501.8	477.9	0.5	353.1	0.417	259	0.25	207.7	0.194	173.5	0.24	127.2	0.472
19	3	11	1967	333.7	294.1	0.333	204.7	0.292	143	0.146	111.8	0.111	92.3	0.083	80.8	0.674
20	20	2	1968	230.8	223.3	0.167	207.2	0.625	190.1	0.521	167.9	0.597	157.7	0.844	146.1	0.743
21	14	11	1968	368.9	335.1	0.167	259.4	0.208	204.6	0.271	170.4	0.375	148	0.333	121.7	0.229
22	13	1	1969	405.7	376.4	0.667	269.6	0.417	191.7	0.292	153	0.236	129.4	0.25	105.1	0.167
23	5	1	1970	194.5	184.2	0.333	165.2	0.583	144.9	0.438	140.3	0.264	131.1	0.24	109.9	0.222
24	18	3	1971	267.6	251.8	0.333	221.3	0.167	197.9	0.104	177.4	0.111	155.7	0.104	136.2	0.063
25	8	9	1972	278.4	273.2	0.667	250.3	0.542	202.1	0.396	164.8	0.292	139.2	0.24	107.4	0.181
26	21	1	1973	234.4	230	0.333	197.6	0.25	145.1	0.292	117.3	0.278	99.6	0.271	78.9	0.236
27	21	9	1973	408.9	272.8	0.667	160.7	0.292	124.9	0.563	106.1	0.403	91.9	0.323	74.5	0.229
28	27	4	1974	340.4	319.7	0.333	279.2	0.458	216.6	0.375	178.7	0.292	155.2	0.229	137.2	0.708
29	3	4	1975	199.4	192	0.333	162.2	0.292	128.6	0.208	107.1	0.194	108.6	0.875	104.4	0.681
30	14	12	1975	269.7	257.2	0.667	206.3	0.292	176.2	0.188	147.4	0.153	125.9	0.125	99.7	0.097
31	16	12	1976	170.9	152.9	0.167	114.5	0.375	87.4	0.229	73.8	0.153	65.7	0.115	59.2	0.076
32	28	8	1977	374.9	340.9	0.333	212.3	0.25	146.2	0.229	123.7	0.181	108.1	0.26	85.2	0.181
33	20	2	1977	257.3	250.3	0.833	201.6	0.417	144.8	0.271	116.7	0.194	124.6	0.104	108.1	0.104
34	11	4	1978	315.5	299.3	0.5	256.7	0.542	221	0.354	189	0.292	163	0.24	129.1	0.181
35	24	2	1978	234.4	218.9	0.333	173.2	0.208	136.4	0.167	115.1	0.278	102.7	0.729	97.8	0.611
36	11	10	1979	223.9	192.3	0.333	122.3	0.333	90.7	0.229	86.3	0.069	80.3	0.125	79.1	0.076
37	15	10	1980	1161.9	1039.4	0.333	787.7	0.5	556.1	0.167	553.2	0.194	474.3	0.156	375.3	0.319
38	28	12	1981	245.2	228.9	0.667	203.5	0.625	172.3	0.625	152.1	0.431	136	0.365	109.9	0.319
39	8	11	1982	463.7	352.7	0.333	194.2	0.25	147.2	0.396	120.3	0.306	99.8	0.25	75.1	0.174
40	2	10	1984	241.4	215.2	0.333	138.7	0.25	93.4	0.188	73.1	0.181	61	0.208	59.6	0.847
41	26	4	1986	65.7	61	0.333	48.9	0.25	39	0.188	33.1	0.153	29	0.146	23.4	0.132

Appendice D – Valori numerici delle massime portate medie in assegnata durata e corrispondente posizione del picco r

N°	g	m	anno	0 ore	3 ore		12 ore		24 ore		36 ore		48 ore		72 ore	
				Q [m³/s]	Q [m³/s]	r	Q [m³/s]	r	Q [m³/s]	r	Q [m³/s]	r	Q [m³/s]	r	Q [m³/s]	r
42	5	10	1987	124.3	117.3	0.167	94.3	0.125	75.7	0.5	66.6	0.347	58.6	0.26	48.2	0.181
43	9	4	1987	116.9	114.6	0.333	105.9	0.583	102.9	0.729	94.8	0.514	86.7	0.438	75.2	0.319
44	11	2	1988	74.4	65	0.333	43.3	0.167	32.8	0.104	26.2	0.083	22.1	0.083	17.7	0.069
45	24	2	1989	71.1	65.2	0.333	50.5	0.375	45.8	0.708	41.4	0.889	40.1	0.719	31.4	0.486
46	21	11	1989	132.1	127.7	0.333	118.9	0.292	96.3	0.354	77.6	0.25	64.5	0.188	48.7	0.132
47	22	11	1990	282.6	243.9	0.5	183.6	0.417	130.7	0.229	100.8	0.167	83.6	0.135	63.9	0.111
48	15	10	1990	153.8	127.5	0.333	98.1	0.125	72.6	0.104	58.9	0.083	50.6	0.094	40.1	0.097
49	2	5	1991	164	158.7	0.167	126.4	0.375	96.3	0.333	79.6	0.236	69.8	0.198	59	0.132
50	16	10	1992	271.8	250	0.667	205.7	0.458	146.5	0.25	112.2	0.167	91.6	0.125	74.1	0.083
51	16	11	1992	342.6	310.9	0.667	219.4	0.292	152.8	0.188	120.1	0.125	100.6	0.094	77.3	0.194
52	1	10	1993	218.6	183.3	0.167	124	0.083	88.8	0.083	72.4	0.25	73.3	0.688	61.7	0.597
53	11	6	1994	293.3	287.6	0.667	274.9	0.417	230.1	0.375	198.6	0.292	169.8	0.24	128.5	0.181
54	8	9	1994	267.6	220.9	0.5	148.1	0.208	105.7	0.125	83.1	0.083	71.7	0.063	61.4	0.042
55	22	12	1995	247	233.4	0.667	171.3	0.375	123.5	0.333	97.2	0.264	81.8	0.229	64.3	0.174
56	2	10	1996	237.9	232.7	0.667	216.3	0.292	195.9	0.583	166	0.444	141.1	0.375	105.6	0.271
57	6	11	1997	280.5	221.9	0.167	129.5	0.125	83.8	0.188	63.2	0.139	50.7	0.104	45.1	0.021
58	17	12	1997	141.8	136.5	0.333	121.8	0.25	106.7	0.729	103.4	0.514	99.6	0.385	83.7	0.278
59	26	6	1997	172.7	128.9	0.167	79.4	0.083	54.9	0.083	43.2	0.083	36.6	0.292	28	0.201
60	30	9	1998	226	170.7	0.167	102.5	0.083	71.2	0.042	57	0.028	48.6	0.021	39.7	0.014
61	4	11	1998	208	187.7	0	123.1	0.042	84.8	0.042	67.6	0.028	57.7	0.021	47.4	0.014
62	7	4	1998	96.1	87.6	0.333	66.5	0.167	54.8	0.104	52.8	0.056	50.5	0.052	45.4	0.042
63	18	10	1999	863.4	614.9	0.167	343.9	0.083	213.5	0.063	162.9	0.028	148.5	0.021	135.1	0.021
64	1	11	2000	623	541.9	0.333	404.5	0.333	318.8	0.167	276.7	0.208	238.9	0.26	197	0.16
65	12	3	2001	306.4	287.8	0.167	188.9	0.125	139.5	0.083	114.2	0.375	101.6	0.531	85.5	0.5
66	15	10	2002	596.3	533.6	1	295.8	0.375	181.5	0.208	134.2	0.139	109.2	0.146	81.9	0.097

Tabella D.1: Valori numerici delle massime portate medie in assegnate durate e corrispondente posizione del picco r per la stazione idrometrografica sul torrente Parma a P.te Bottego

Appendice D – Valori numerici delle massime portate medie in assegnata durata e corrispondente posizione del picco r

N°	g	m	anno	0 ore	3 ore		12 ore		24 ore		36 ore		48 ore		72 ore	
				Q [m³/s]	Q [m³/s]	r	Q [m³/s]	r	Q [m³/s]	r	Q [m³/s]	r	Q [m³/s]	r	Q [m³/s]	r
1	3	4	1975	72.4	65.1	0.333	47.6	0.417	35.4	0.396	28.7	0.125	30.5	0.094	28.0	0.132
2	14	12	1975	97.1	89.6	0.5	67.9	0.292	55.6	0.167	45.6	0.111	38.6	0.115	29.6	0.083
3	16	12	1976	92.9	69.3	0.167	43.1	0.208	30.0	0.146	23.8	0.111	20.3	0.083	18.0	0.056
4	15	10	1980	446.0	298.3	0.167	126.9	0.167	90.4	0.042	80.0	0.069	68.0	0.052	55.0	0.035
5	28	12	1981	55.0	51.5	0.333	44.9	0.583	39.2	0.688	34.4	0.458	32.1	0.344	28.0	0.368
6	8	11	1982	204.4	145.5	0.333	83.1	0.542	60.2	0.292	48.7	0.194	41.7	0.146	33.2	0.097
7	16	3	1983	104.3	100.1	0.5	90.5	0.25	78.8	0.271	70.7	0.264	64.0	0.25	53.6	0.347
8	4	6	1984	65.4	60.5	0.333	46.2	0.25	36.8	0.188	31.4	0.194	28.1	0.24	23.5	0.167
9	20	1	1985	168.1	157.8	0.333	132.9	0.292	109.6	0.458	100.4	0.611	92.6	0.594	78.8	0.493
10	26	4	1986	128.4	115.9	0.333	87.6	0.375	67.1	0.25	56.1	0.264	49.5	0.229	41.5	0.236
11	5	10	1987	51.0	45.0	0	31.4	0.042	22.7	0.021	18.3	0.014	15.9	0.01	13.5	0.049
12	9	4	1987	78.3	74.0	0.333	62.3	0.333	52.5	0.25	46.8	0.181	44.3	0.135	41.2	0.889
13	11	2	1988	87.4	78.2	0.167	53.5	0.125	39.9	0.104	32.2	0.097	27.8	0.094	22.6	0.076
14	8	11	1989	67.4	61.7	0.167	53.4	0.083	43.5	0.063	36.8	0.042	31.9	0.042	24.9	0.035
15	24	2	1989	71.3	64.2	0.333	54.7	0.625	54.0	0.75	50.7	0.528	48.7	0.646	45.3	0.431
16	22	11	1990	191.3	177.9	0.5	144.0	0.458	104.6	0.25	83.5	0.181	69.9	0.156	52.7	0.125
17	15	10	1990	243.7	207.3	0.333	146.0	0.167	101.2	0.104	77.9	0.069	63.5	0.063	46.7	0.049
18	2	5	1991	233.6	230.5	0.167	199.7	0.292	150.7	0.375	118.1	0.306	98.0	0.24	76.6	0.16
19	16	10	1992	221.7	192.9	0.667	131.4	0.375	85.0	0.208	63.1	0.139	50.6	0.104	41.8	0.063
20	1	10	1993	60.6	42.9	0.167	25.5	0.667	18.5	0.333	15.9	0.014	14.5	0.021	11.8	0.014
21	8	9	1994	151.0	115.2	0.5	63.9	0.25	44.1	0.125	34.5	0.097	28.5	0.073	24.1	0.042
22	11	6	1994	110.1	105.9	0.167	100.4	0.042	89.6	0.063	79.9	0.069	71.9	0.104	58.2	0.09
23	22	12	1995	70.3	67.5	0	57.9	0.167	48.2	0.146	43.8	0.097	40.5	0.073	35.9	0.063
24	2	10	1996	159.5	139.7	0.333	114.5	0.292	105.3	0.625	91.9	0.458	80.5	0.375	64.9	0.264
25	6	11	1997	71.3	68.3	0.333	62.6	0.542	54.8	0.604	50.2	0.458	45.9	0.417	39.5	0.41
26	17	12	1997	101.4	95.1	0.333	86.4	0.25	78.4	0.083	76.6	0.208	74.7	0.365	65.7	0.278
27	26	6	1997	176.9	118.5	0	86.4	0.042	67.2	0.021	56.0	0.014	49.2	0.01	40.8	0.007
28	4	11	1998	51.0	36.1	0.167	20.3	0.083	14.8	0.042	12.7	0.028	11.5	0.021	10.2	0.069
29	7	4	1998	78.3	72.7	0.167	58.2	0.125	49.5	0.083	48.0	0.042	46.2	0.042	42.0	0.049
30	30	9	1998	11.1	9.7	0.167	8.7	0.042	7.9	0.021	7.4	0.028	7.0	0.021	6.5	0.104
31	21	10	1999	294.5	190.3	0.167	90.9	0.125	52.0	0.063	37.7	0.042	31.0	0.031	23.7	0.021
32	2	11	2000	482.4	457.8	0.333	229.1	0.167	153.1	0.125	122.0	0.181	104.1	0.333	87.8	0.972
33	12	3	2001	120.6	95.7	0.5	54.0	0.208	35.6	0.125	27.0	0.083	22.4	0.073	17.4	0.083
34	21	10	2002	287.8	185.7	0.167	94.2	0.083	59.1	0.042	44.0	0.028	35.2	0.021	25.9	0.014

Tabella D.2: Valori numerici della massima portata medie in assegnate durate e corrispondente posizione del picco r per la stazione idrometrografica sul torrente Baganza a P.te Nuovo

APPENDICE E

**Valutazione dell'adattamento delle massime portate medie
alle distribuzioni di probabilità considerate**

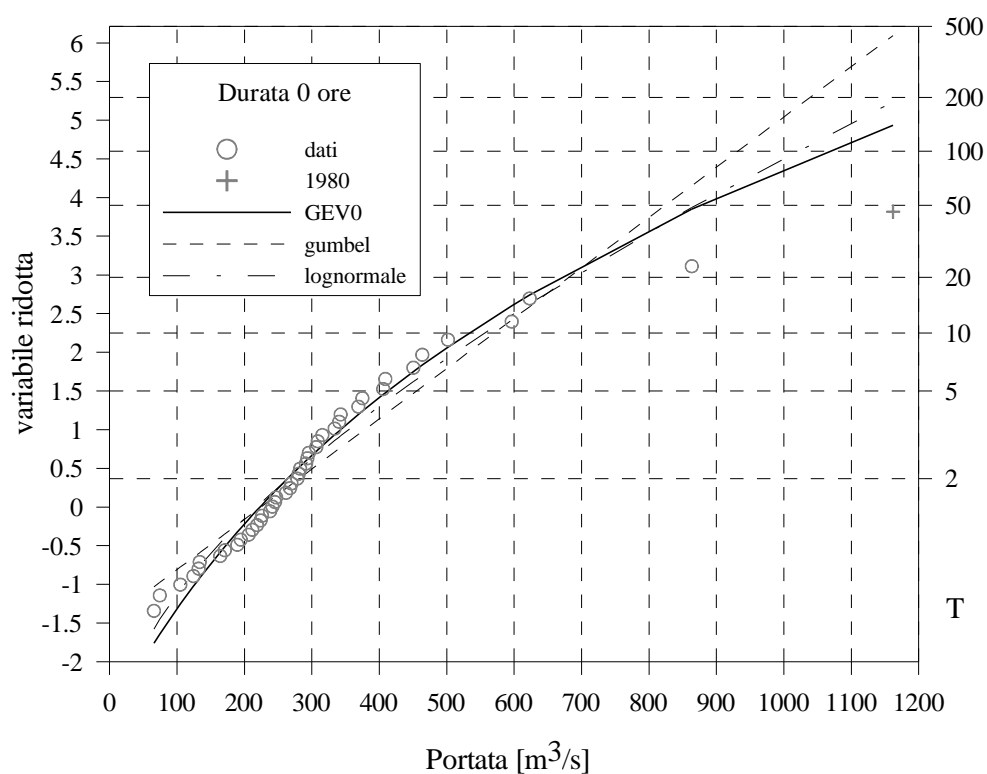


Figura E 1: P.te Bottego-distribuzioni teoriche e punti sperimentali per D=0 ore

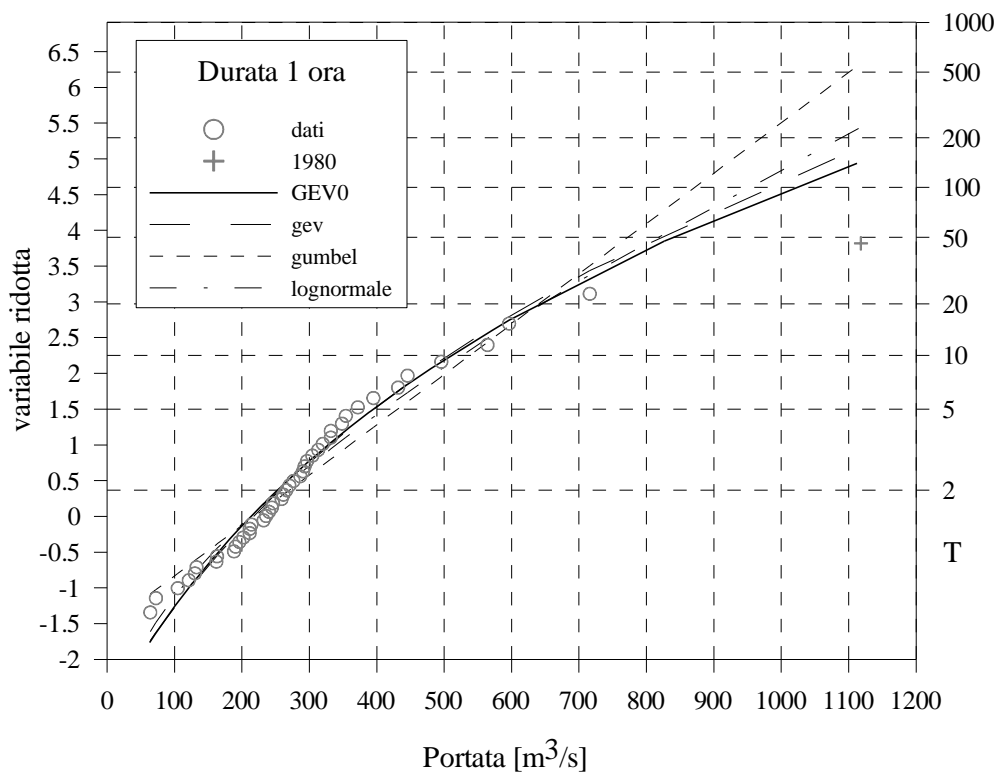


Figura E 2: P.te Bottego-distribuzioni teoriche e punti sperimentali per D=1 ora

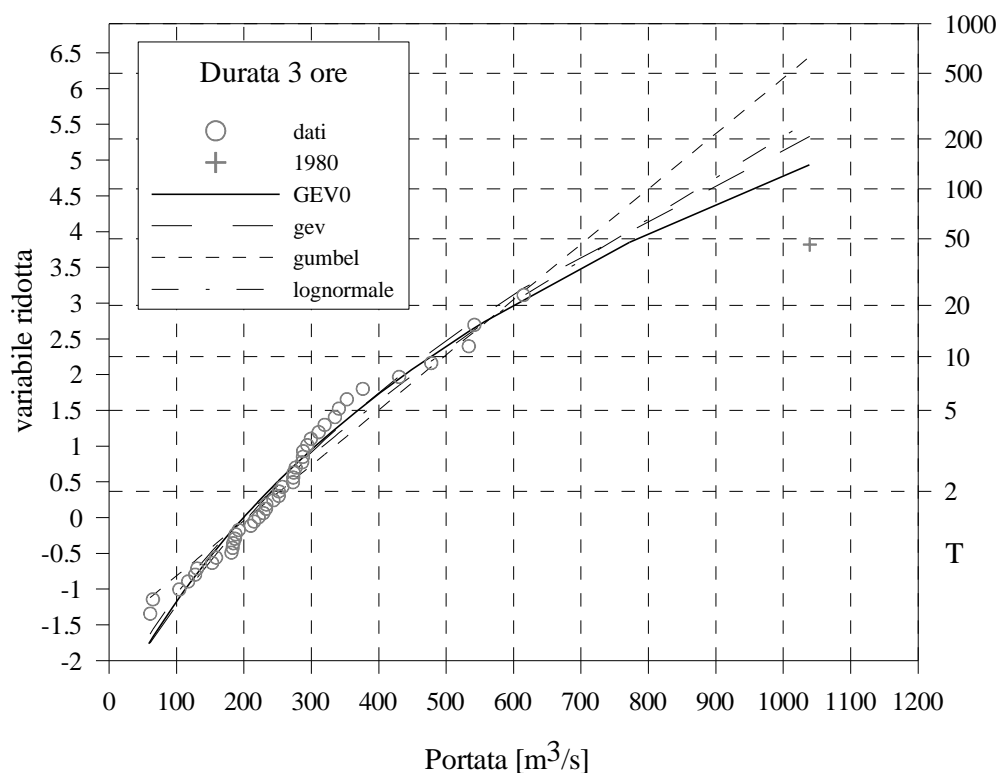


Figura E 3: P.te Bottego-distribuzioni teoriche e punti sperimentali per D=3 ore

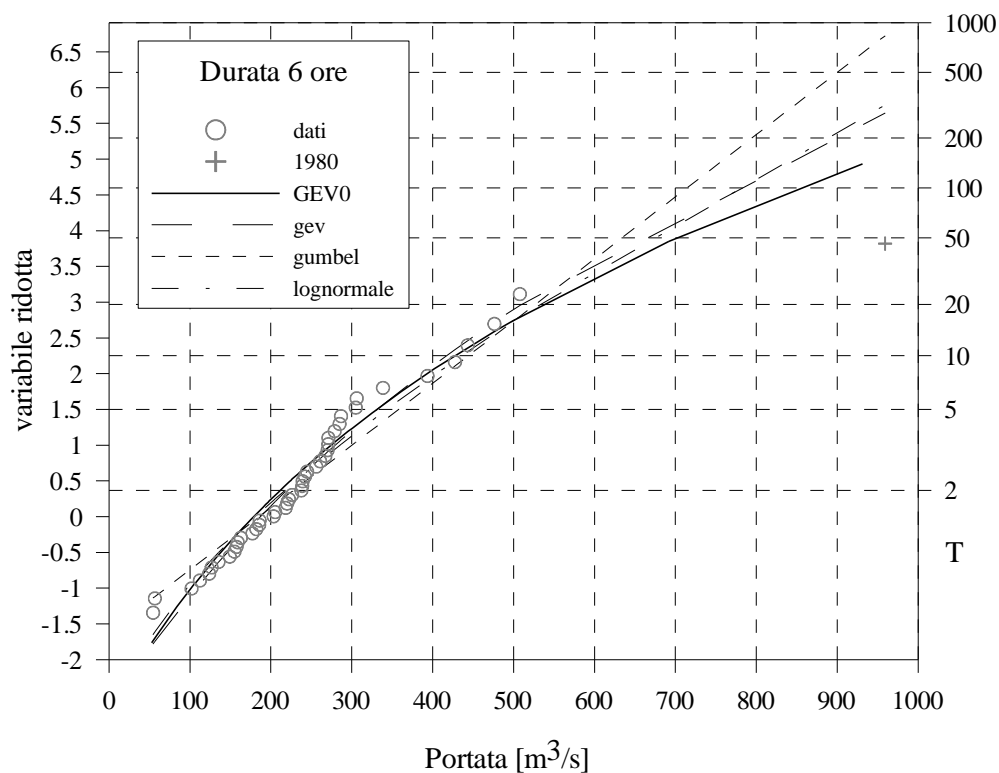


Figura E 4: P.te Bottego-distribuzioni teoriche e punti sperimentali per D=6 ore

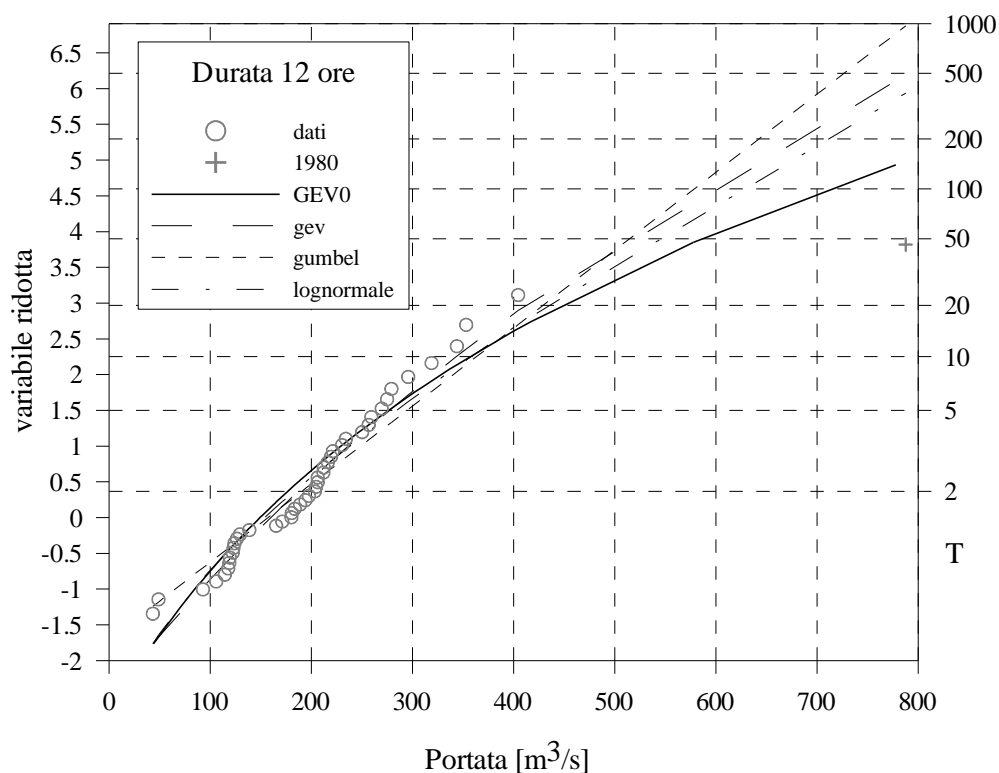


Figura E 5: P.te Bottego-distribuzioni teoriche e punti sperimentali per D=12 ore

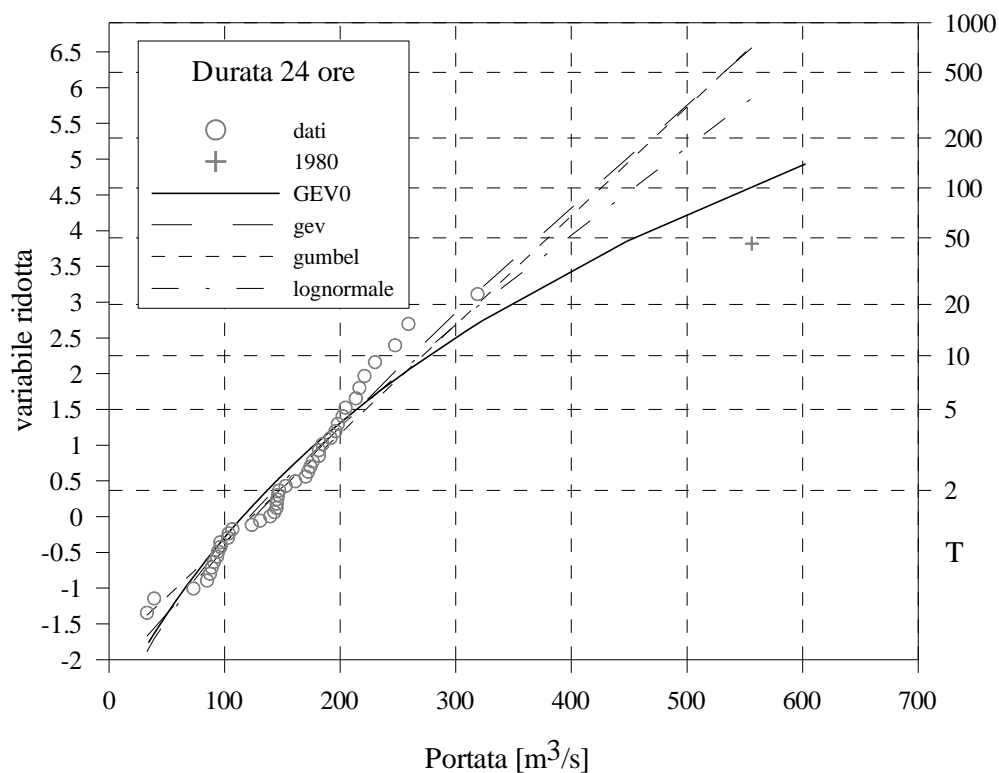


Figura E 6: P.te Bottego-distribuzioni teoriche e punti sperimentali per D=24 ore

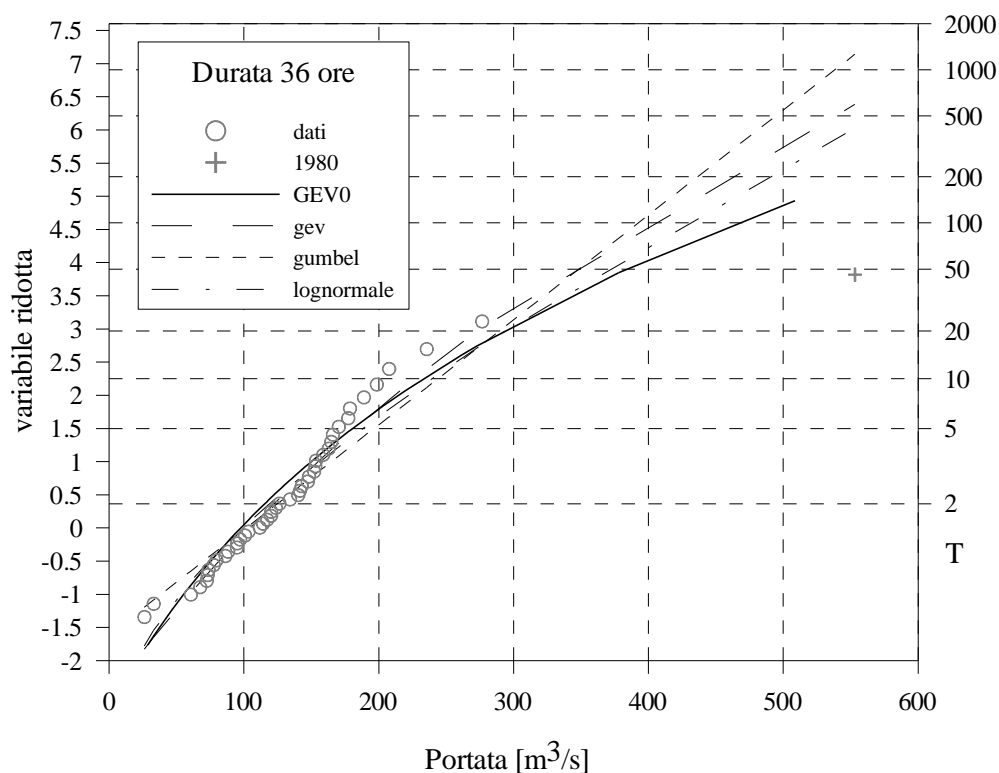


Figura E 7: P.te Bottego-distribuzioni teoriche e punti sperimentali per D=36 ore

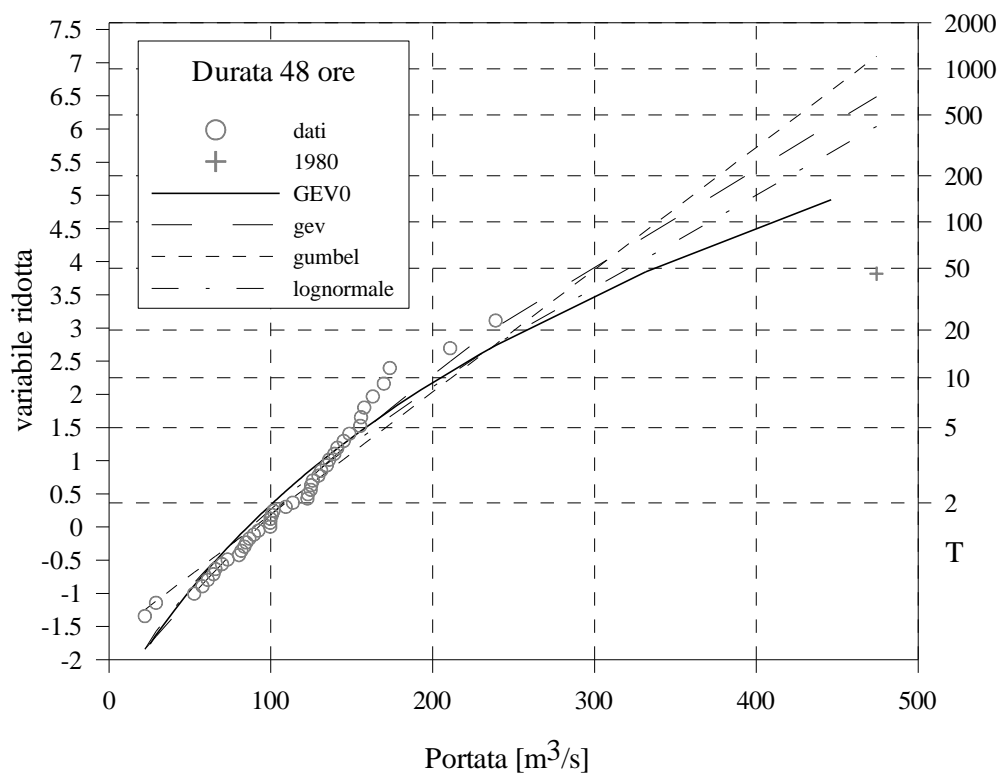


Figura E 8: P.te Bottego-distribuzioni teoriche e punti sperimentali per D=48 ore

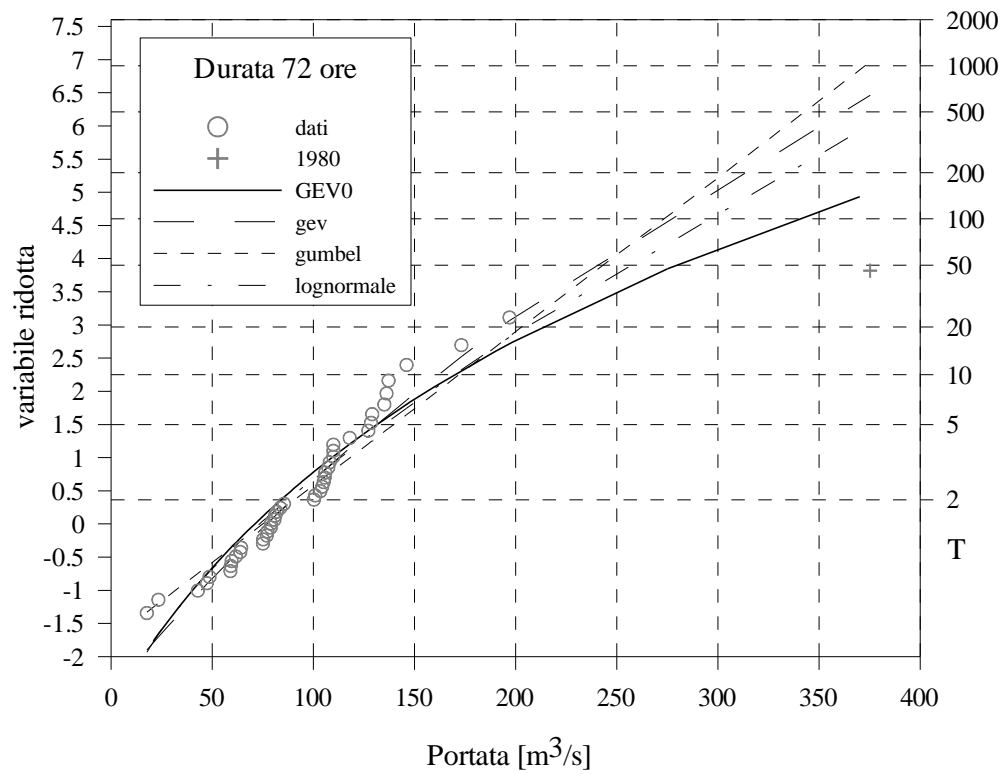


Figura E 9: P.te Bottego-distribuzioni teoriche e punti sperimentali per D=72 ore

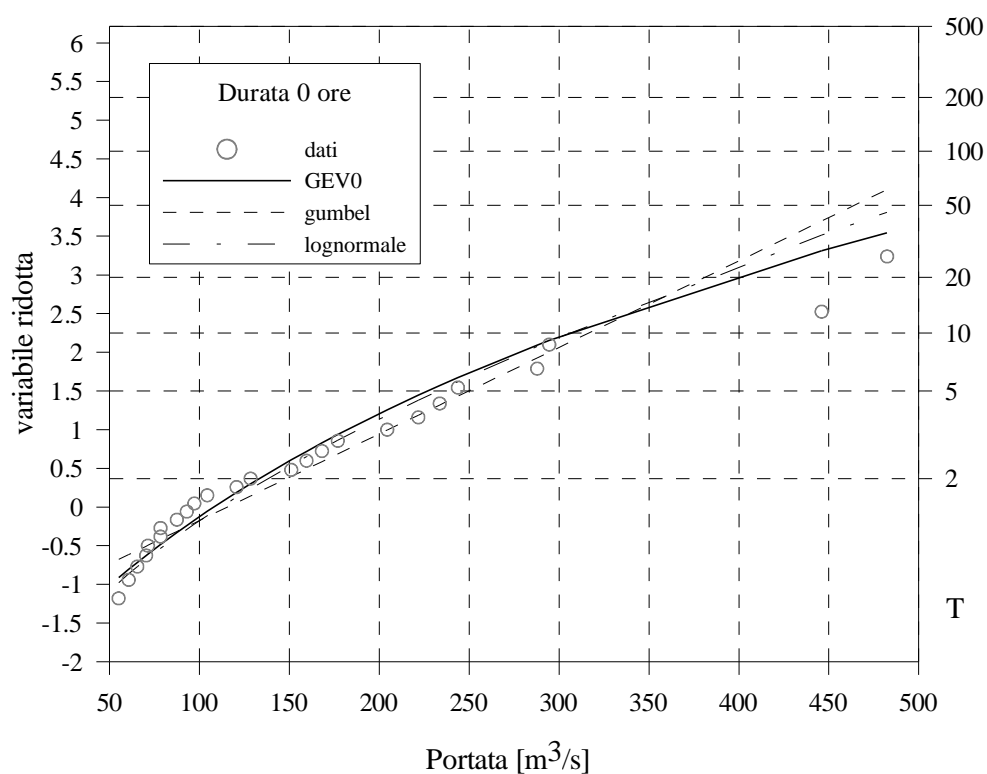


Figura E 10: P.te Nuovo-distribuzioni teoriche e punti sperimentali per D=0 ore

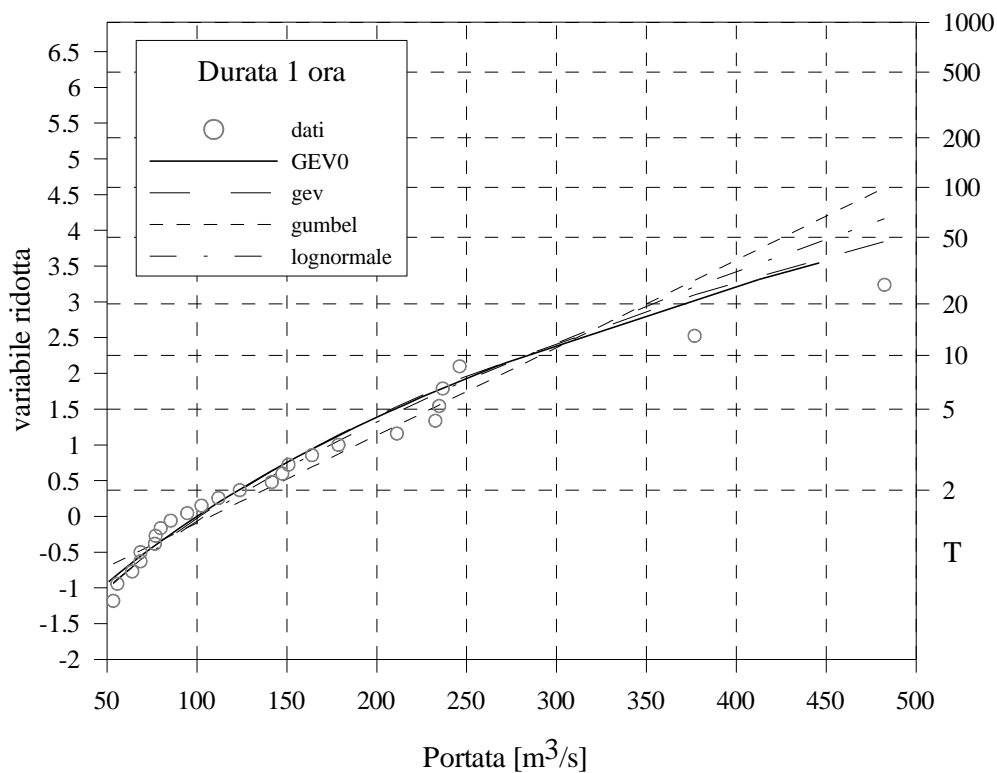


Figura E 11: P.te Nuovo-distribuzioni teoriche e punti sperimentali per D=1 ora

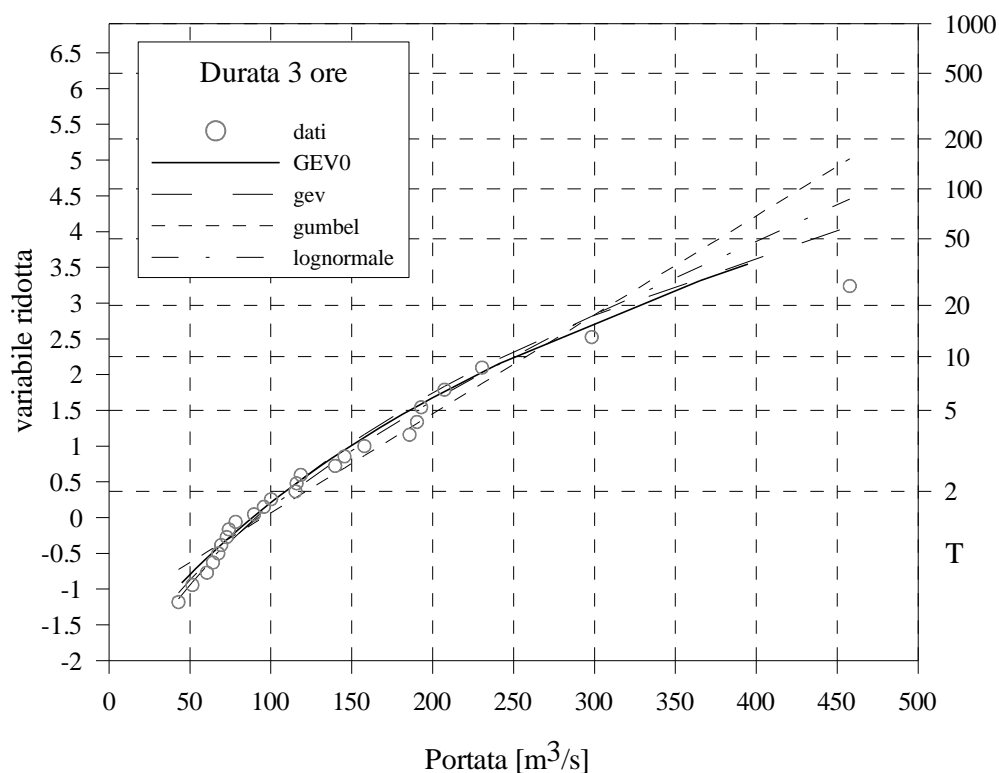


Figura E 12: P.te Nuovo-distribuzioni teoriche e punti sperimentali per D=3 ore

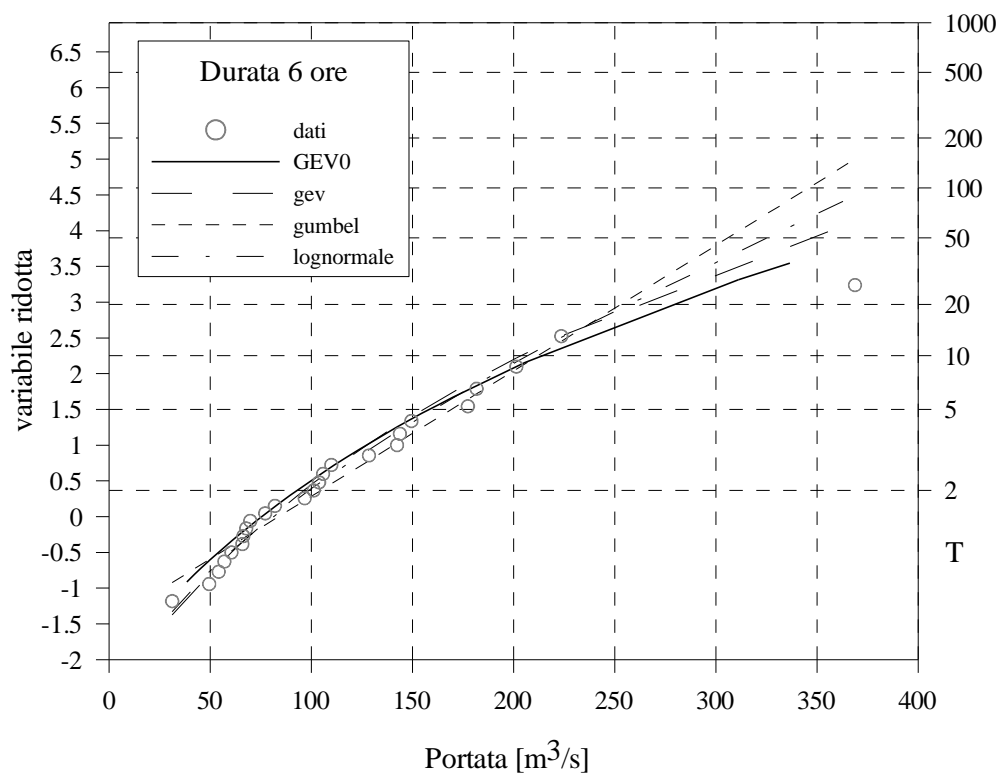


Figura E 13: P.te Nuovo-distribuzioni teoriche e punti sperimentali per D=6 ore

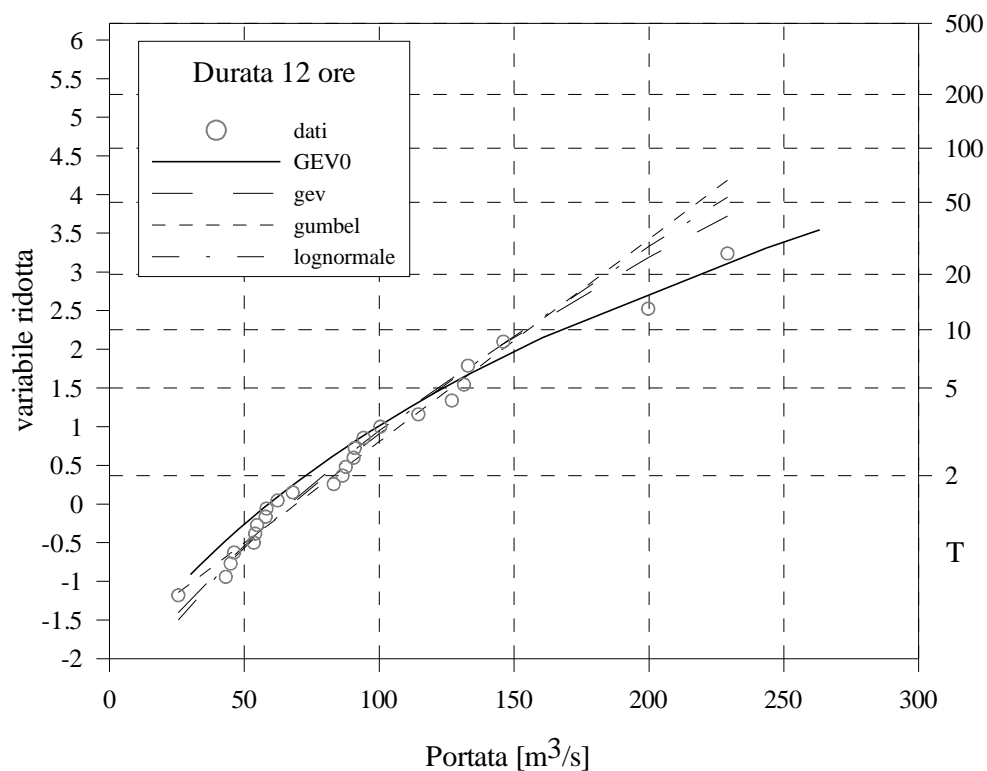


Figura E 14: P.te Nuovo-distribuzioni teoriche e punti sperimentali per D=12 ore

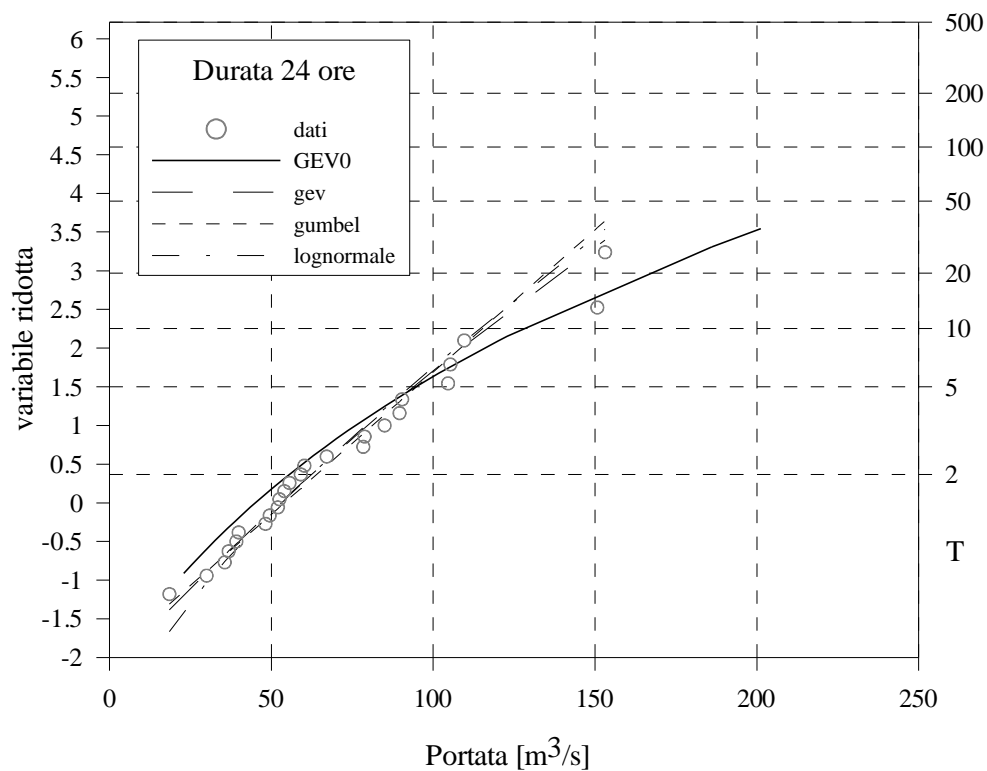


Figura E 15: P.te Nuovo-distribuzioni teoriche e punti sperimentali per D=24 ore

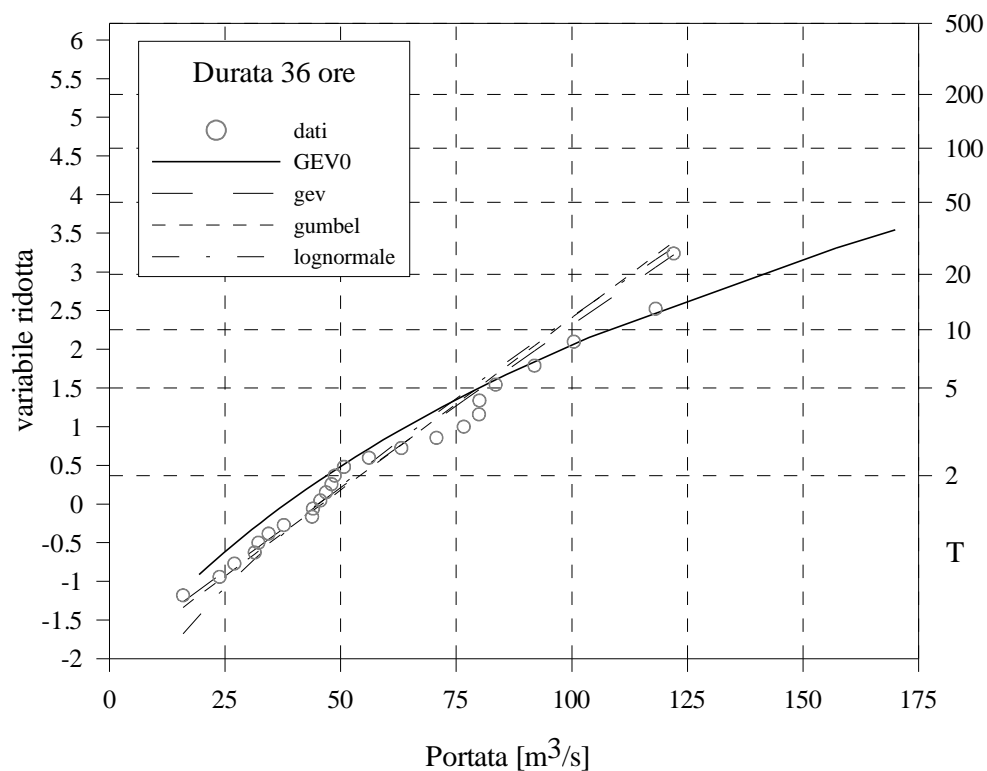


Figura E 16: P.te Nuovo-distribuzioni teoriche e punti sperimentali per D=36 ore

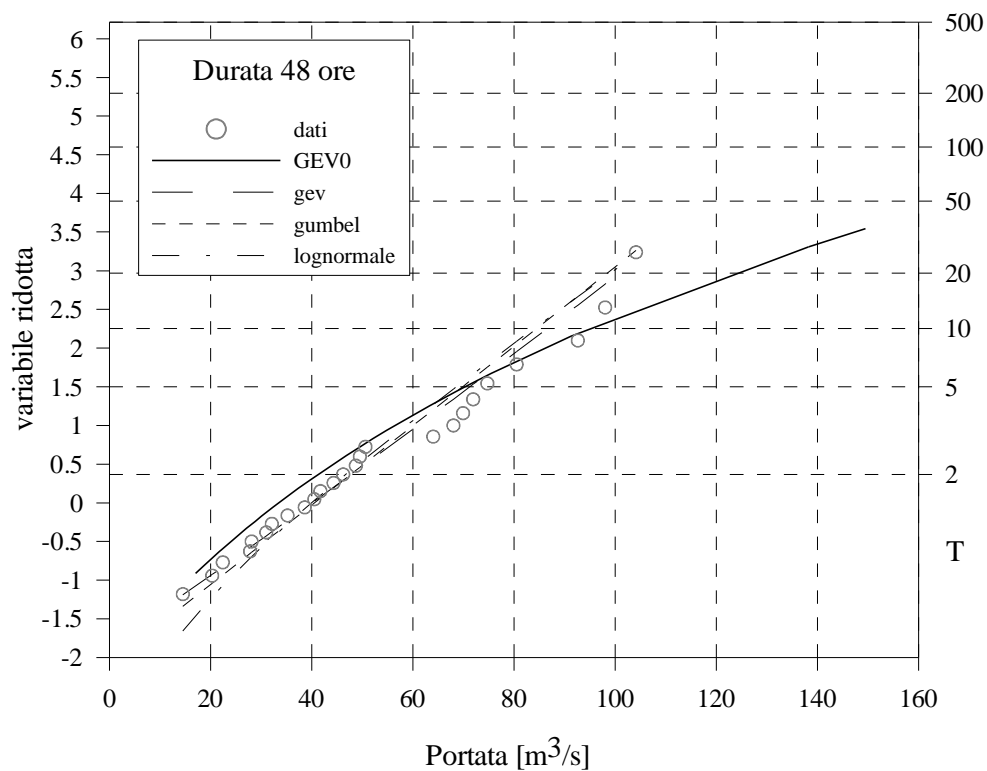


Figura E 17: P.te Nuovo-distribuzioni teoriche e punti sperimentali per D=48 ore

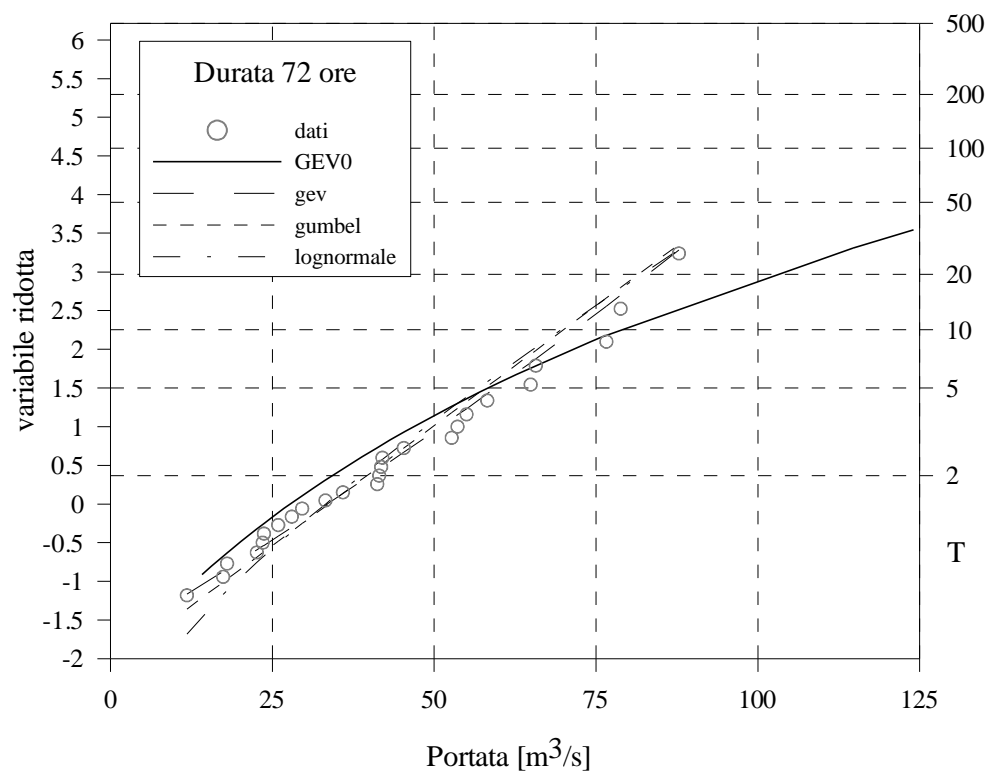


Figura E 18: P.te Nuovo-distribuzioni teoriche e punti sperimentali per D=72 ore

APPENDICE F

**Valori numerici delle curve di riduzione dei colmi di piena e
delle onde sintetiche**

Portata media (m ³ /s) per assegnate durate di tempo di ritorno (anni):								Portata media (m ³ /s) per assegnate durate di tempo di ritorno (anni):							
durata (ore)	5	10	20	50	100	200	500	durata (ore)	5	10	20	50	100	200	500
0	412.5	532.8	667.8	876.5	1062.5	1277.6	1615.2	36	177.4	229.1	287.2	376.9	456.9	549.4	694.6
0.5	411.3	531.3	665.9	873.9	1059.4	1273.9	1610.5	37	175.2	226.2	283.6	372.2	451.2	542.5	685.9
1	408.2	527.2	660.8	867.3	1051.4	1264.3	1598.4	38	173.0	223.5	280.1	367.6	445.7	535.9	677.5
2	398.3	514.5	644.8	846.3	1025.9	1233.7	1559.6	39	171.0	220.8	276.8	363.2	440.3	529.5	669.4
3	385.8	498.3	624.5	819.6	993.6	1194.8	1510.5	40	169.0	218.2	273.5	359.0	435.2	523.3	661.6
4	372.2	480.7	602.5	790.8	958.6	1152.8	1457.3	41	167.1	215.8	270.4	354.9	430.2	517.4	654.1
5	358.5	463.1	580.4	761.8	923.4	1110.4	1403.8	42	165.2	213.3	267.4	351.0	425.4	511.6	646.8
6	345.3	445.9	558.9	733.6	889.3	1069.3	1351.9	43	163.4	211.0	264.5	347.1	420.8	506.0	639.7
7	332.7	429.7	538.5	706.8	856.8	1030.3	1302.5	44	161.6	208.8	261.7	343.4	416.3	500.6	632.9
8	320.9	414.4	519.4	681.7	826.4	993.7	1256.3	45	160.0	206.6	258.9	339.8	412.0	495.4	626.3
9	309.9	400.2	501.6	658.3	798.0	959.6	1213.2	46	158.3	204.5	256.3	336.3	407.7	490.3	619.8
10	299.6	387.0	485.1	636.6	771.7	928.0	1173.2	47	156.7	202.4	253.7	333.0	403.6	485.4	613.6
11	290.2	374.8	469.7	616.5	747.4	898.7	1136.2	48	155.2	200.4	251.2	329.7	399.7	480.6	607.6
12	281.4	363.5	455.6	597.9	724.8	871.6	1101.9	49	153.7	198.5	248.8	326.5	395.8	476.0	601.7
13	273.3	353.0	442.4	580.7	703.9	846.5	1070.1	50	152.2	196.6	246.4	323.4	392.1	471.5	596.0
14	265.8	343.3	430.3	564.7	684.5	823.2	1040.6	51	150.8	194.8	244.1	320.4	388.4	467.1	590.5
15	258.8	334.2	418.9	549.8	666.5	801.5	1013.2	52	149.4	193.0	241.9	317.5	384.9	462.8	585.1
16	252.3	325.8	408.4	536.0	649.7	781.3	987.7	53	148.1	191.3	239.7	314.6	381.4	458.7	579.8
17	246.2	318.0	398.5	523.1	634.1	762.5	963.9	54	146.8	189.6	237.6	311.9	378.1	454.6	574.7
18	240.5	310.6	389.3	511.0	619.4	744.8	941.6	55	145.5	187.9	235.6	309.2	374.8	450.7	569.8
19	235.2	303.7	380.7	499.6	605.7	728.3	920.8	56	144.3	186.3	233.6	306.5	371.6	446.8	564.9
20	230.2	297.3	372.6	489.0	592.8	712.8	901.2	57	143.1	184.8	231.6	304.0	368.5	443.1	560.2
21	225.4	291.2	364.9	479.0	580.6	698.2	882.7	58	141.9	183.3	229.7	301.5	365.4	439.5	555.6
22	221.0	285.4	357.8	469.5	569.2	684.4	865.3	59	140.7	181.8	227.8	299.0	362.5	435.9	551.1
23	216.8	280.0	350.9	460.6	558.4	671.4	848.8	60	139.6	180.3	226.0	296.6	359.6	432.4	546.7
24	212.8	274.9	344.5	452.2	548.1	659.1	833.3	61	138.5	178.9	224.2	294.3	356.8	429.0	542.4
25	209.1	270.0	338.4	444.1	538.4	647.4	818.5	62	137.5	177.5	222.5	292.0	354.0	425.7	538.2
26	205.5	265.4	332.6	436.5	529.2	636.3	804.5	63	136.4	176.2	220.8	289.8	351.3	422.5	534.1
27	202.1	261.0	327.1	429.3	520.4	625.8	791.1	64	135.4	174.9	219.2	287.6	348.7	419.3	530.1
28	198.8	256.8	321.8	422.4	512.0	615.7	778.4	65	134.4	173.6	217.5	285.5	346.1	416.2	526.2
29	195.7	252.8	316.8	415.8	504.1	606.1	766.3	66	133.4	172.3	216.0	283.4	343.6	413.2	522.3
30	192.8	248.9	312.0	409.5	496.4	597.0	754.7	67	132.5	171.1	214.4	281.4	341.1	410.2	518.6
31	189.9	245.3	307.4	403.5	489.1	588.2	743.6	68	131.5	169.9	212.9	279.4	338.7	407.3	514.9
32	187.2	241.8	303.0	397.7	482.1	579.8	733.0	69	130.6	168.7	211.4	277.5	336.4	404.5	511.3
33	184.6	238.4	298.8	392.2	475.4	571.7	722.8	70	129.7	167.5	210.0	275.6	334.0	401.7	507.8
34	182.1	235.2	294.8	386.9	469.0	564.0	713.0	71	128.8	166.4	208.5	273.7	331.8	399.0	504.4
35	179.7	232.1	290.9	381.8	462.8	556.6	703.6	72	128.0	165.3	207.1	271.9	329.6	396.3	501.0

Tabella F. 1 - Valori numerici delle curve di riduzione dei colmi di piena per la stazione di P.te Bottego
(stima locale)

Portate (m³/s) per tempo di ritorno (anni):								Portate (m³/s) per tempo di ritorno (anni):							
t (ore)	5	10	20	50	100	200	500	t (ore)	5	10	20	50	100	200	500
-19.15	64.5	83.3	104.4	137.1	166.2	199.8	252.6	0.00	412.5	532.8	667.8	876.5	1062.5	1277.6	1615.2
-18.89	64.9	83.9	105.1	138.0	167.3	201.1	254.3	0.28	409.1	528.4	662.2	869.2	1053.6	1267.0	1601.8
-18.64	65.4	84.5	105.9	138.9	168.4	202.5	256.0	0.56	400.7	517.5	648.6	851.3	1031.9	1240.9	1568.8
-18.38	65.8	85.0	106.6	139.9	169.6	203.9	257.8	1.16	376.4	486.1	609.3	799.6	969.3	1165.6	1473.6
-18.12	66.3	85.6	107.3	140.9	170.8	205.3	259.6	1.79	348.9	450.6	564.8	741.2	898.5	1080.5	1366.0
-17.86	66.8	86.2	108.1	141.9	172.0	206.8	261.4	2.44	322.0	415.9	521.2	684.1	829.3	997.2	1260.7
-17.61	67.3	86.9	108.9	142.9	173.2	208.3	263.3	3.12	297.2	383.8	481.1	631.4	765.4	920.4	1163.6
-17.35	67.7	87.5	109.7	143.9	174.5	209.8	265.2	3.82	275.0	355.1	445.1	584.2	708.2	851.6	1076.6
-17.09	68.2	88.1	110.5	145.0	175.8	211.4	267.2	4.52	255.3	329.8	413.3	542.5	657.6	790.8	999.8
-16.83	68.8	88.8	111.3	146.1	177.1	212.9	269.2	5.24	238.1	307.6	385.5	506.0	613.3	737.5	932.4
-16.58	69.3	89.5	112.2	147.2	178.4	214.6	271.3	5.97	223.1	288.2	361.2	474.0	574.7	691.0	873.6
-16.32	69.8	90.2	113.0	148.3	179.8	216.2	273.4	6.70	210.0	271.2	339.9	446.2	540.9	650.4	822.2
-16.06	70.4	90.9	113.9	149.5	181.2	217.9	275.5	7.44	198.5	256.4	321.3	421.7	511.3	614.8	777.2
-15.81	70.9	91.6	114.8	150.7	182.7	219.7	277.7	8.18	188.4	243.3	305.0	400.3	485.2	583.5	737.7
-15.55	71.5	92.3	115.8	151.9	184.2	221.5	280.0	8.92	179.5	231.8	290.6	381.3	462.3	555.9	702.8
-15.29	72.1	93.1	116.7	153.2	185.7	223.3	282.3	9.67	171.6	221.6	277.7	364.5	441.9	531.4	671.8
-15.03	72.7	93.9	117.7	154.5	187.2	225.2	284.6	10.41	164.5	212.5	266.3	349.5	423.7	509.5	644.1
-14.78	73.3	94.7	118.7	155.8	188.8	227.1	287.1	11.16	158.2	204.3	256.0	336.0	407.4	489.8	619.3
-14.52	74.0	95.5	119.7	157.1	190.5	229.0	289.6	11.90	152.4	196.9	246.8	323.9	392.6	472.1	596.9
-14.26	74.6	96.4	120.8	158.5	192.2	231.1	292.1	12.65	147.3	190.2	238.4	312.9	379.3	456.1	576.6
-14.01	75.3	97.2	121.9	159.9	193.9	233.1	294.7	13.40	142.5	184.1	230.7	302.8	367.1	441.4	558.1
-13.75	76.0	98.1	123.0	161.4	195.6	235.3	297.4	14.14	138.2	178.5	223.7	293.6	356.0	428.0	541.1
-13.49	76.7	99.0	124.1	162.9	197.5	237.5	300.2	14.89	134.2	173.4	217.3	285.2	345.7	415.2	525.6
-13.24	77.4	100.0	125.3	164.4	199.3	239.7	303.0	15.64	130.6	168.6	211.4	277.4	336.3	404.4	511.2
-12.98	78.1	100.9	126.5	166.0	201.3	242.0	306.0	16.38	127.2	164.2	205.9	270.2	327.5	393.9	497.9
-12.73	78.9	101.9	127.8	167.7	203.3	244.4	309.0	17.13	124.0	160.2	200.8	263.5	319.4	384.1	485.6
-12.47	79.7	103.0	129.0	169.4	205.3	246.9	312.1	17.88	121.1	156.4	196.0	257.2	311.8	375.0	474.1
-12.21	80.5	104.0	130.4	171.1	207.4	249.4	315.3	18.63	118.3	152.8	191.5	251.4	304.8	366.5	463.3
-11.96	81.4	105.1	131.7	172.9	209.6	252.0	318.6	19.37	115.8	149.5	187.4	245.9	298.1	358.5	453.2
-11.70	82.2	106.2	133.1	174.7	211.8	254.7	322.0	20.12	113.3	146.4	183.5	240.8	291.9	351.0	443.7
-11.45	83.1	107.4	134.6	176.7	214.2	257.5	325.6	20.86	111.1	143.4	179.8	235.9	286.0	343.9	434.8
-11.19	84.1	108.6	136.1	178.6	216.5	260.4	329.2	21.61	108.9	140.7	176.3	231.4	280.5	337.3	426.4
-10.94	85.0	109.8	137.7	180.7	219.0	263.4	333.0	22.36	106.9	138.0	173.0	227.1	275.2	331.0	418.4
-10.68	86.0	111.1	139.3	182.8	221.6	266.5	336.9	23.10	104.9	135.5	169.9	223.0	270.3	325.0	410.9
-10.43	87.1	112.5	141.0	185.0	224.3	269.7	340.9	23.85	103.1	133.2	166.9	219.1	265.6	319.4	403.7
-10.17	88.2	113.9	142.7	187.3	227.0	273.0	345.2	24.59	101.4	130.9	164.1	215.4	261.1	314.0	396.9
-9.92	89.3	115.3	144.5	189.7	229.9	276.5	349.5	25.34	99.7	128.8	161.4	211.9	256.8	308.9	390.5
-9.66	90.4	116.8	146.4	192.1	232.9	280.1	354.1	26.08	98.1	126.8	158.9	208.5	252.8	304.0	384.3
-9.41	91.6	118.4	148.4	194.7	236.0	283.8	358.8	26.83	96.6	124.8	156.4	205.3	248.9	299.3	378.4
-9.15	92.9	120.0	150.4	197.4	239.3	287.8	363.8	27.58	95.2	123.0	154.1	202.3	245.2	294.9	372.8
-8.90	94.2	121.7	152.6	200.2	242.7	291.9	369.0	28.32	93.8	121.2	151.9	199.3	241.7	290.6	367.4
-8.64	95.6	123.5	154.8	203.2	246.3	296.2	374.4	29.06	92.5	119.5	149.7	196.5	238.3	286.5	362.2
-8.39	97.1	125.4	157.2	206.3	250.0	300.7	380.1	29.81	91.2	117.8	147.7	193.8	235.0	282.6	357.2
-8.14	98.6	127.4	159.6	209.5	254.0	305.4	386.1	30.55	90.0	116.3	145.7	191.3	231.9	278.8	352.5
-7.88	100.2	129.4	162.2	212.9	258.1	310.4	392.4	31.30	88.9	114.8	143.8	188.8	228.8	275.2	347.9
-7.63	101.9	131.6	165.0	216.6	262.5	315.7	399.1	32.04	87.7	113.3	142.0	186.4	225.9	271.7	343.5
-7.38	103.7	134.0	167.9	220.4	267.2	321.3	406.2	32.79	86.6	111.9	140.3	184.1	223.1	268.3	339.2
-7.12	105.7	136.5	171.0	224.5	272.1	327.2	413.7	33.53	85.6	110.6	138.6	181.9	220.5	265.1	335.1
-6.87	107.7	139.1	174.4	228.8	277.4	333.6	421.7	34.27	84.6	109.2	136.9	179.7	217.9	262.0	331.2
-6.62	109.9	142.0	177.9	233.5	283.1	340.4	430.4	35.02	83.6	108.0	135.4	177.6	215.3	259.0	327.4
-6.36	112.3	145.0	181.8	238.6	289.2	347.8	439.7	35.76	82.7	106.8	133.8	175.6	212.9	256.0	323.7
-6.11	114.9	148.4	186.0	244.1	295.9	355.8	449.8	36.51	81.8	105.6	132.4	173.7	210.6	253.2	320.1
-5.86	117.7	152.0	190.5	250.0	303.1	364.5	460.8	37.25	80.9	104.5	130.9	171.8	208.3	250.5	316.7
-5.60	120.8	156.0	195.5	256.6	311.0	374.0	472.9	37.99	80.0	103.4	129.5	170.0	206.1	247.8	313.3
-5.35	124.2	160.4	201.0	263.9	319.9	384.6	486.2	38.74	79.2	102.3	128.2	168.3	204.0	245.3	310.1
-5.10	128.0	165.3	207.2	272.0	329.7	396.5	501.2	39.48	78.4	101.3	126.9	166.6	201.9	242.8	306.9
-4.84	132.3	170.9	214.2	281.1	340.8	409.8	518.1	40.22	77.6	100.2	125.6	164.9	199.9	240.4	303.9
-4.59	137.2	177.2	222.1	291.6	353.4	425.0	537.3	40.97	76.9	99.3	124.4	163.3	198.0	238.0	300.9
-4.33	142.9	184.5	231.3	303.6	368.0	442.5	559.4	41.71	76.1	98.3	123.2	161.7	196.1	235.8	298.1
-4.08	149.5	193.1	242.0	317.6	385.0	462.9	585.2	42.45	75.4	97.4	122.1	160.2	194.2	233.6	295.3
-3.82	157.2	203.1	254.5	334.1	405.0	487.0	615.6	43.20	74.7	96.5	121.0	158.8	192.4	231.4	292.6
-3.56	166.5	215.0	269.5	353.7	428.7	515.5	651.7	43.94	74.0	95.6	119.9	157.3	190.7	229.3	289.9
-3.30	177.5	229.3	287.4	377.2	457.2	549.8	695.1	44.68	73.4	94.8	118.8	155.9	189.0	227.3	287.3
-3.03	190.9	246.5	309.0	405.6	491.6	591.2	747.4	45.42	72.7	94.0	117.8	154.6	187.4	225.3	284.8
-2.76	207.1	267.4	335.2	439.9	533.3	641.3	810.7	46.17	72.1	93.1	116.8	153.2	185.8	223.4	282.4
-2.48	226.6	292.6	366.7	481.3	583.5	701.6	887.0	46.91	71.5	92.4	115.8	151.9	184.2	221.5	280.0
-2.18	249.8	322.6	404.4	530.7	643.4	773.7	978.1	47.65	70.9	91.6	114.8	150.7	182.7	219.7	277.7
-1.88	277.0	357.8	448.4	588.6	713.5	857.9	1084.6	48.39	70.3	90.9	113.9	149.5	181.2	217.9	275.4
-1.56	307.8	397.5	498.3	654.0	792.7	953.3	1205.1	49.14	69.8	90.1	113.0	148.3	179.7	216.1	273.2
-1.21	340.8	440.2	551.7	724.1	877.8	1055.6	1334.5	49.88	69.2	89.4	112.1	147.1	178.3	214.4	271.1
-0.84	373.3	482.2	604.3	793.2	961.5	1156.2	1461.7	50.62	68.7	88.7	111.2	145.9	176.9	212.7	269.0
-0.44	400.3	516.9	647.9	850.4	1030.8	1239.6	1567.1	51.36	68.2	88.0	110.3	144.8	175.6	211.1	266.9
-0.22	409.1	528.3	662.2	869.1	1053.5	1266.9	1601.6	52.11	67.7	87.4	109.5	143.7	174.2	209.5	264.9
0.00	412.5	532.8	667.8	876.5	1062.5	1277.6	1615.2	52.85	67.1	86.7	108.7	142.7	172.9	208.0	262

Portata media (m ³ /s) per assegnate durate di tempo di ritorno (anni):								Portata media (m ³ /s) per assegnate durate di tempo di ritorno (anni):							
durata (ore)	5	10	20	50	100	200	500	durata (ore)	5	10	20	50	100	200	500
0	226.9	305.7	396.7	542.1	676.0	835.1	1093.0	36	77.3	104.1	135.1	184.7	230.3	284.5	372.3
0.5	225.3	303.5	393.8	538.2	671.1	829.0	1085.0	37	76.3	102.8	133.4	182.3	227.3	280.8	367.5
1	221.3	298.1	386.9	528.7	659.2	814.4	1065.8	38	75.3	101.5	131.7	180.0	224.4	277.2	362.8
2	210.1	283.0	367.3	501.9	625.8	773.2	1011.9	39	74.4	100.2	130.1	177.8	221.6	273.8	358.4
3	197.7	266.4	345.7	472.4	589.0	727.7	952.4	40	73.5	99.0	128.5	175.6	219.0	270.5	354.1
4	185.9	250.4	325.0	444.1	553.7	684.1	895.3	41	72.6	97.9	127.0	173.5	216.4	267.3	349.9
5	175.1	235.9	306.1	418.4	521.7	644.5	843.5	42	71.8	96.7	125.5	171.6	213.9	264.3	345.9
6	165.6	223.0	289.4	395.5	493.2	609.3	797.4	43	71.0	95.6	124.1	169.6	211.5	261.3	342.0
7	157.1	211.7	274.7	375.4	468.0	578.2	756.8	44	70.2	94.6	122.8	167.8	209.2	258.4	338.2
8	149.7	201.6	261.7	357.6	445.9	550.9	721.0	45	69.5	93.6	121.4	166.0	206.9	255.7	334.6
9	143.1	192.8	250.2	341.9	426.3	526.7	689.3	46	68.7	92.6	120.2	164.2	204.8	253.0	331.1
10	137.3	184.9	240.0	327.9	408.9	505.1	661.1	47	68.0	91.6	118.9	162.5	202.6	250.4	327.7
11	132.0	177.9	230.8	315.4	393.3	485.9	635.9	48	67.3	90.7	117.7	160.9	200.6	247.8	324.4
12	127.3	171.5	222.6	304.2	379.3	468.6	613.3	49	66.7	89.8	116.6	159.3	198.6	245.4	321.1
13	123.1	165.8	215.2	294.0	366.6	452.9	592.8	50	66.0	88.9	115.4	157.7	196.7	243.0	318.0
14	119.2	160.6	208.4	284.8	355.1	438.7	574.2	51	65.4	88.1	114.3	156.2	194.8	240.7	315.0
15	115.7	155.8	202.2	276.4	344.6	425.7	557.2	52	64.8	87.3	113.3	154.8	193.0	238.4	312.1
16	112.4	151.5	196.6	268.6	334.9	413.8	541.5	53	64.2	86.5	112.2	153.4	191.2	236.2	309.2
17	109.4	147.4	191.3	261.5	326.0	402.8	527.1	54	63.6	85.7	111.2	152.0	189.5	234.1	306.4
18	106.7	143.7	186.5	254.8	317.8	392.6	513.8	55	63.1	84.9	110.2	150.6	187.8	232.0	303.7
19	104.1	140.2	182.0	248.7	310.1	383.1	501.4	56	62.5	84.2	109.3	149.3	186.2	230.0	301.1
20	101.7	137.0	177.8	243.0	303.0	374.3	489.9	57	62.0	83.5	108.3	148.0	184.6	228.1	298.5
21	99.5	134.0	173.9	237.6	296.3	366.1	479.1	58	61.4	82.8	107.4	146.8	183.0	226.1	296.0
22	97.4	131.2	170.2	232.6	290.0	358.3	469.0	59	60.9	82.1	106.5	145.6	181.5	224.3	293.5
23	95.4	128.5	166.8	227.9	284.2	351.1	459.5	60	60.4	81.4	105.7	144.4	180.1	222.4	291.1
24	93.5	126.0	163.5	223.5	278.6	344.2	450.5	61	60.0	80.8	104.8	143.3	178.6	220.7	288.8
25	91.8	123.6	160.5	219.3	273.4	337.8	442.1	62	59.5	80.1	104.0	142.1	177.2	218.9	286.5
26	90.1	121.4	157.5	215.3	268.5	331.7	434.1	63	59.0	79.5	103.2	141.0	175.8	217.2	284.3
27	88.5	119.3	154.8	211.5	263.8	325.9	426.5	64	58.6	78.9	102.4	139.9	174.5	215.6	282.1
28	87.0	117.3	152.2	208.0	259.3	320.4	419.3	65	58.1	78.3	101.6	138.9	173.2	214.0	280.0
29	85.6	115.3	149.7	204.6	255.1	315.1	412.4	66	57.7	77.7	100.9	137.9	171.9	212.4	277.9
30	84.3	113.5	147.3	201.3	251.0	310.1	405.9	67	57.3	77.2	100.1	136.9	170.6	210.8	275.9
31	83.0	111.8	145.1	198.2	247.2	305.4	399.7	68	56.9	76.6	99.4	135.9	169.4	209.3	273.9
32	81.7	110.1	142.9	195.3	243.5	300.8	393.7	69	56.5	76.1	98.7	134.9	168.2	207.8	272.0
33	80.6	108.5	140.8	192.5	240.0	296.5	388.0	70	56.1	75.5	98.0	134.0	167.0	206.4	270.1
34	79.4	107.0	138.9	189.8	236.6	292.3	382.6	71	55.7	75.0	97.4	133.0	165.9	204.9	268.2
35	78.3	105.5	137.0	187.2	233.4	288.3	377.3	72	55.3	74.5	96.7	132.1	164.8	203.5	266.4

Tabella F. 3 - Valori numerici delle curve di riduzione dei colmi di piena per la stazione di P.te Nuovo
(stima locale)

Portate (m³/s) per tempo di ritorno (anni):								Portate (m³/s) per tempo di ritorno (anni):							
t (ore)	5	10	20	50	100	200	500	t (ore)	5	10	20	50	100	200	500
-13.04	17.9	24.1	31.2	42.7	53.2	65.8	86.1	0.00	226.9	305.7	396.7	542.1	676.0	835.1	1093.0
-12.91	18.1	24.3	31.6	43.1	53.8	66.4	87.0	0.33	222.3	299.4	388.6	531.0	662.1	818.0	1070.6
-12.78	18.2	24.6	31.9	43.6	54.3	67.1	87.9	0.67	211.9	285.5	370.5	506.3	631.3	780.0	1020.8
-12.64	18.4	24.8	32.2	44.0	54.9	67.8	88.8	1.37	186.3	251.0	325.7	445.1	555.0	685.6	897.3
-12.51	18.6	25.1	32.6	44.5	55.5	68.6	89.7	2.08	162.1	218.3	283.4	387.2	482.8	596.5	780.7
-12.38	18.8	25.4	32.9	45.0	56.1	69.3	90.7	2.80	142.1	191.4	248.4	339.4	423.2	522.9	684.3
-12.24	19.0	25.7	33.3	45.5	56.7	70.1	91.7	3.53	126.3	170.1	220.7	301.6	376.1	464.7	608.1
-12.11	19.3	25.9	33.7	46.0	57.4	70.9	92.8	4.26	113.9	153.4	199.1	272.1	339.2	419.1	548.5
-11.97	19.5	26.2	34.1	46.5	58.0	71.7	93.8	5.01	104.1	140.3	182.0	248.8	310.2	383.2	501.5
-11.83	19.7	26.5	34.4	47.1	58.7	72.5	94.9	5.76	96.3	129.8	168.4	230.1	286.9	354.5	464.0
-11.70	19.9	26.9	34.9	47.6	59.4	73.4	96.0	6.52	90.0	121.2	157.3	214.9	268.0	331.1	433.4
-11.56	20.2	27.2	35.3	48.2	60.1	74.2	97.2	7.28	84.7	114.1	148.1	202.4	252.3	311.7	408.0
-11.42	20.4	27.5	35.7	48.8	60.8	75.1	98.3	8.05	80.3	108.1	140.3	191.7	239.1	295.4	386.6
-11.28	20.7	27.8	36.1	49.4	61.6	76.1	99.6	8.82	76.4	103.0	133.6	182.6	227.7	281.3	368.2
-11.14	20.9	28.2	36.6	50.0	62.4	77.0	100.8	9.59	73.1	98.5	127.9	174.7	217.9	269.1	352.3
-11.00	21.2	28.6	37.1	50.6	63.2	78.0	102.1	10.37	70.2	94.6	122.8	167.8	209.2	258.4	338.2
-10.85	21.5	28.9	37.5	51.3	64.0	79.0	103.4	11.16	67.6	91.1	118.2	161.6	201.5	248.9	325.8
-10.71	21.8	29.3	38.0	52.0	64.8	80.1	104.8	11.94	65.3	88.0	114.2	156.0	194.6	240.4	314.6
-10.56	22.1	29.7	38.6	52.7	65.7	81.2	106.2	12.74	63.2	85.2	110.5	151.1	188.3	232.7	304.5
-10.42	22.4	30.1	39.1	53.4	66.6	82.3	107.7	13.53	61.3	82.6	107.2	146.5	182.7	225.7	295.4
-10.27	22.7	30.5	39.6	54.2	67.5	83.4	109.2	14.33	59.6	80.3	104.2	142.4	177.5	219.3	287.0
-10.12	23.0	31.0	40.2	54.9	68.5	84.6	110.8	15.13	58.0	78.1	101.4	138.5	172.7	213.4	279.3
-9.98	23.3	31.4	40.8	55.7	69.5	85.8	112.4	15.93	56.5	76.1	98.8	135.0	168.3	208.0	272.2
-9.83	23.7	31.9	41.4	56.6	70.5	87.1	114.0	16.73	55.1	74.3	96.4	131.7	164.3	202.9	265.6
-9.68	24.0	32.4	42.0	57.4	71.6	88.4	115.8	17.54	53.9	72.6	94.2	128.7	160.5	198.3	259.5
-9.52	24.4	32.9	42.7	58.3	72.7	89.8	117.5	18.35	52.7	71.0	92.1	125.9	156.9	193.9	253.8
-9.37	24.8	33.4	43.3	59.2	73.8	91.2	119.4	19.16	51.6	69.5	90.2	123.2	153.6	189.8	248.4
-9.22	25.2	33.9	44.0	60.2	75.0	92.7	121.3	19.98	50.5	68.1	88.3	120.7	150.5	185.9	243.4
-9.06	25.6	34.5	44.8	61.2	76.3	94.2	123.3	20.79	49.5	66.7	86.6	118.4	147.6	182.3	238.6
-8.91	26.0	35.1	45.5	62.2	77.5	95.8	125.4	21.61	48.6	65.5	85.0	116.1	144.8	178.9	234.1
-8.75	26.5	35.7	46.3	63.3	78.9	97.4	127.5	22.43	47.7	64.3	83.4	114.0	142.2	175.7	229.9
-8.59	26.9	36.3	47.1	64.4	80.3	99.2	129.8	23.26	46.9	63.2	82.0	112.0	139.7	172.6	225.9
-8.43	27.4	37.0	48.0	65.5	81.7	101.0	132.1	24.08	46.1	62.1	80.6	110.2	137.4	169.7	222.1
-8.27	27.9	37.6	48.8	66.7	83.2	102.8	134.6	24.91	45.4	61.1	79.3	108.4	135.1	166.9	218.5
-8.10	28.5	38.3	49.8	68.0	84.8	104.8	137.1	25.73	44.6	60.1	78.0	106.6	133.0	164.3	215.0
-7.94	29.0	39.1	50.7	69.3	86.4	106.8	139.8	26.56	44.0	59.2	76.8	105.0	130.9	161.8	211.7
-7.77	29.6	39.9	51.7	70.7	88.2	108.9	142.6	27.39	43.3	58.3	75.7	103.4	129.0	159.4	208.6
-7.61	30.2	40.7	52.8	72.2	90.0	111.2	145.5	28.23	42.7	57.5	74.6	102.0	127.1	157.1	205.5
-7.44	30.8	41.5	53.9	73.7	91.9	113.5	148.6	29.06	42.1	56.7	73.6	100.5	125.3	154.8	202.7
-7.27	31.5	42.4	55.1	75.3	93.9	116.0	151.8	29.90	41.5	55.9	72.5	99.1	123.6	152.7	199.9
-7.10	32.2	43.4	56.3	77.0	96.0	118.6	155.2	30.73	40.9	55.2	71.6	97.8	122.0	150.7	197.2
-6.92	33.0	44.4	57.6	78.7	98.2	121.3	158.7	31.57	40.4	54.4	70.7	96.6	120.4	148.7	194.7
-6.75	33.7	45.4	59.0	80.6	100.5	124.2	162.5	32.41	39.9	53.8	69.8	95.3	118.9	146.9	192.2
-6.57	34.6	46.6	60.4	82.6	103.0	127.2	166.5	33.25	39.4	53.1	68.9	94.2	117.4	145.0	189.8
-6.39	35.4	47.7	62.0	84.7	105.6	130.4	170.7	34.09	38.9	52.4	68.1	93.0	116.0	143.3	187.5
-6.21	36.4	49.0	63.6	86.9	108.3	133.8	175.2	34.94	38.5	51.8	67.3	91.9	114.6	141.6	185.3
-6.02	37.4	50.3	65.3	89.2	111.3	137.5	179.9	35.78	38.0	51.2	66.5	90.9	113.3	140.0	183.2
-5.84	38.4	51.7	67.2	91.8	114.4	141.4	185.0	36.63	37.6	50.7	65.7	89.8	112.0	138.4	181.1
-5.65	39.5	53.3	69.1	94.5	117.8	145.5	190.5	37.48	37.2	50.1	65.0	88.9	110.8	136.9	179.1
-5.46	40.7	54.9	71.2	97.4	121.4	150.0	196.3	38.32	36.8	49.6	64.3	87.9	109.6	135.4	177.2
-5.27	42.1	56.6	73.5	100.5	125.3	154.8	202.6	39.17	36.4	49.0	63.6	87.0	108.4	134.0	175.3
-5.07	43.5	58.5	76.0	103.8	129.5	159.9	209.3	40.02	36.0	48.5	63.0	86.1	107.3	132.6	173.5
-4.87	45.0	60.6	78.6	107.5	134.0	165.5	216.7	40.88	35.7	48.0	62.3	85.2	106.2	131.2	171.8
-4.67	46.6	62.8	81.5	111.4	138.9	171.6	224.6	41.73	35.3	47.6	61.7	84.3	105.2	129.9	170.1
-4.47	48.4	65.3	84.7	115.7	144.3	178.3	233.4	42.58	35.0	47.1	61.1	83.5	104.2	128.7	168.4
-4.26	50.4	67.9	88.2	120.5	150.3	185.6	242.9	43.44	34.6	46.6	60.5	82.7	103.2	127.4	166.8
-4.06	52.6	70.9	92.0	125.8	156.8	193.7	253.5	44.29	34.3	46.2	60.0	81.9	102.2	126.2	165.2
-3.84	55.1	74.2	96.3	131.6	164.1	202.7	265.3	45.15	34.0	45.8	59.4	81.2	101.2	125.1	163.7
-3.63	57.8	77.9	101.1	138.2	172.3	212.8	278.6	46.01	33.7	45.4	58.9	80.5	100.3	123.9	162.2
-3.41	60.9	82.1	106.5	145.6	181.5	224.3	293.5	46.86	33.4	45.0	58.4	79.7	99.4	122.8	160.8
-3.18	64.5	86.9	112.8	154.1	192.1	237.4	310.7	47.72	33.1	44.6	57.8	79.0	98.6	121.8	159.4
-2.95	68.6	92.4	119.9	163.9	204.4	252.5	330.5	48.58	32.8	44.2	57.3	78.4	97.7	120.7	158.0
-2.72	73.4	98.9	128.4	175.4	218.7	270.2	353.7	49.44	32.5	43.8	56.9	77.7	96.9	119.7	156.7
-2.48	79.2	106.6	138.4	189.1	235.8	291.3	381.3	50.31	32.3	43.4	56.4	77.1	96.1	118.7	155.4
-2.24	86.1	116.0	150.5	205.7	256.5	316.9	414.8	51.17	32.0	43.1	55.9	76.4	95.3	117.7	154.1
-1.99	94.7	127.5	165.5	226.2	282.0	348.4	456.0	52.03	31.7	42.7	55.5	75.8	94.5	116.8	152.8
-1.74	105.4	142.0	184.2	251.8	313.9	387.8	507.6	52.89	31.5	42.4	55.0	75.2	93.8	115.9	151.6
-1.47	119.0	160.3	208.0	284.2	354.4	437.9	573.1	53.76	31.2	42.1	54.6	74.6	93.0	114.9	150.4
-1.20	136.3	183.6	238.3	325.6	406.0	501.6	656.5	54.63	31.0	41.7	54.2	74.0	92.3	114.1	149.3
-0.92	158.1	213.0	276.4	377.7	470.9	581.8	761.5	55.49	30.8	41.4	53.8	73.5	91.6	113.2	148.1
-0.63	184.2	248.1	322.0	440.1	548.7	677.9	887.2	56.36	30.5	41.1	53.4	72.9	90.9	112.3	147.0
-0.33	211.4	284.8	369.6	505.0	629.7	778.0	1018.2	57.23	30.3	40.8	53.0	72.4	90.3	111.5	146.0
-0.17	222.2	299.3	388.4	530.7	661.8	817.6	1070.0	58.09	30.1	40.5	52.6	71.9	89.6	110.7	144.9
0.00	226.9	305.7	396.7	542.1	676.0	835.1	1093.0	58.96	29.9	40.2	52.2	71.3	89.0	109.9	143.9

Tabella F. 4- Valori numerici degli idrogrammi sintetici per la stazione di P.te Nuovo (stima locale)

Portate (m³/s) per tempo di ritorno (anni):								Portate (m³/s) per tempo di ritorno (anni):							
t (ore)	5	10	20	50	100	200	500	t (ore)	5	10	20	50	100	200	500
-16.09	45.7	59.2	74.7	98.9	120.9	146.7	187.8	0.00	409.4	530.9	669.3	886.8	1083.9	1315.0	1683.6
-15.93	46.1	59.8	75.4	99.9	122.1	148.2	189.7	0.30	406.1	526.6	663.8	879.5	1075.0	1304.2	1669.7
-15.76	46.6	60.5	76.2	101.0	123.4	149.7	191.7	0.61	397.7	515.7	650.2	861.4	1052.9	1277.4	1635.4
-15.59	47.1	61.1	77.0	102.0	124.7	151.3	193.7	1.25	373.2	484.0	610.1	808.4	988.0	1198.7	1534.7
-15.42	47.6	61.7	77.8	103.1	126.1	152.9	195.8	1.91	345.1	447.5	564.1	747.4	913.5	1108.3	1418.9
-15.24	48.1	62.4	78.7	104.3	127.4	154.6	197.9	2.58	317.4	411.6	518.9	687.5	840.2	1019.4	1305.1
-15.07	48.7	63.1	79.5	105.4	128.8	156.3	200.1	3.27	292.0	378.6	477.3	632.4	772.9	937.8	1200.6
-14.90	49.2	63.8	80.4	106.6	130.3	158.0	202.3	3.96	269.4	349.4	440.4	583.5	713.2	865.3	1107.8
-14.72	49.8	64.5	81.3	107.8	131.7	159.8	204.6	4.65	249.7	323.8	408.3	540.9	661.1	802.1	1026.9
-14.55	50.3	65.3	82.3	109.0	133.2	161.7	207.0	5.36	232.7	301.8	380.5	504.1	616.1	747.5	957.0
-14.37	50.9	66.0	83.2	110.3	134.8	163.5	209.4	6.07	218.1	282.8	356.5	472.3	577.3	700.3	896.6
-14.20	51.5	66.8	84.2	111.6	136.4	165.5	211.8	6.79	205.4	266.3	335.8	444.9	543.7	659.7	844.5
-14.02	52.1	67.6	85.2	112.9	138.0	167.5	214.4	7.51	194.4	252.1	317.8	421.1	514.6	624.4	799.4
-13.84	52.8	68.4	86.3	114.3	139.7	169.5	217.0	8.24	184.8	239.7	302.2	400.3	489.3	593.6	760.0
-13.66	53.4	69.3	87.3	115.7	141.4	171.6	219.7	8.97	176.4	228.8	288.4	382.2	467.1	566.7	725.5
-13.48	54.1	70.1	88.4	117.2	143.2	173.7	222.4	9.70	169.0	219.2	276.3	366.1	447.5	542.9	695.1
-13.30	54.8	71.0	89.6	118.7	145.0	176.0	225.3	10.44	162.5	210.7	265.6	351.9	430.1	521.8	668.0
-13.11	55.5	72.0	90.7	120.2	146.9	178.2	228.2	11.18	156.6	203.0	255.9	339.1	414.5	502.8	643.8
-12.93	56.2	72.9	91.9	121.8	148.9	180.6	231.2	11.93	151.3	196.1	247.3	327.6	400.4	485.8	622.0
-12.74	57.0	73.9	93.2	123.4	150.9	183.0	234.3	12.68	146.5	189.9	239.4	317.2	387.7	470.4	602.2
-12.56	57.8	74.9	94.4	125.1	152.9	185.5	237.5	13.43	142.1	184.2	232.3	307.8	376.1	456.3	584.2
-12.37	58.6	75.9	95.7	126.9	155.1	188.1	240.8	14.19	138.1	179.1	225.7	299.1	365.5	443.5	567.8
-12.18	59.4	77.0	97.1	128.7	157.3	190.8	244.3	14.95	134.4	174.3	219.7	291.1	355.8	431.7	552.6
-11.99	60.3	78.1	98.5	130.5	159.5	193.5	247.8	15.71	131.0	169.9	214.1	283.7	346.8	420.7	538.6
-11.80	61.1	79.3	100.0	132.4	161.9	196.4	251.4	16.47	127.8	165.8	209.0	276.9	338.4	410.6	525.7
-11.61	62.1	80.5	101.5	134.4	164.3	199.3	255.2	17.24	124.9	162.0	204.2	270.5	330.7	401.2	513.6
-11.41	63.0	81.7	103.0	136.5	166.8	202.4	259.1	18.01	122.2	158.4	199.7	264.6	323.4	392.4	502.3
-11.22	64.0	83.0	104.6	138.6	169.4	205.6	263.2	18.78	119.6	155.1	195.5	259.0	316.6	384.1	491.8
-11.02	65.0	84.3	106.3	140.8	172.1	208.9	267.4	19.55	117.2	152.0	191.6	253.8	310.2	376.4	481.9
-10.83	66.1	85.7	108.0	143.2	175.0	212.3	271.8	20.33	114.9	149.0	187.9	248.9	304.2	369.1	472.5
-10.63	67.2	87.1	109.8	145.5	177.9	215.8	276.3	21.10	112.8	146.2	184.4	244.3	298.5	362.2	463.7
-10.43	68.3	88.6	111.7	148.0	180.9	219.5	281.0	21.88	110.7	143.6	181.0	239.9	293.2	355.7	455.4
-10.23	69.5	90.2	113.7	150.6	184.1	223.4	286.0	22.66	108.8	141.1	177.9	235.7	288.1	349.5	447.5
-10.02	70.8	91.8	115.7	153.3	187.4	227.4	291.1	23.45	107.0	138.7	174.9	231.8	283.3	343.7	440.0
-9.82	72.1	93.5	117.9	156.2	190.8	231.5	296.4	24.23	105.3	136.5	172.1	228.0	278.7	338.1	432.8
-9.61	73.5	95.2	120.1	159.1	194.5	235.9	302.0	25.02	103.6	134.4	169.4	224.4	274.3	332.8	426.0
-9.40	74.9	97.1	122.4	162.2	198.2	240.5	307.9	25.81	102.0	132.3	166.8	221.0	270.1	327.7	419.5
-9.19	76.4	99.0	124.8	165.4	202.2	245.3	314.0	26.60	100.5	130.4	164.3	217.7	266.1	322.9	413.3
-8.98	77.9	101.1	127.4	168.8	206.3	250.3	320.5	27.39	99.1	128.5	162.0	214.6	262.3	318.2	407.4
-8.77	79.6	103.2	130.1	172.4	210.7	255.6	327.2	28.18	97.7	126.7	159.7	211.6	258.6	313.8	401.7
-8.55	81.3	105.4	132.9	176.1	215.3	261.2	334.4	28.98	96.4	125.0	157.5	208.7	255.1	309.5	396.3
-8.34	83.1	107.8	135.9	180.1	220.1	267.0	341.9	29.78	95.1	123.3	155.5	206.0	251.7	305.4	391.0
-8.12	85.1	110.3	139.1	184.3	225.2	273.2	349.8	30.57	93.9	121.7	153.5	203.3	248.5	301.5	386.0
-7.90	87.1	113.0	142.4	188.7	230.6	279.8	358.2	31.37	92.7	120.2	151.5	200.8	245.4	297.7	381.2
-7.67	89.3	115.8	146.0	193.4	236.3	286.7	367.1	32.17	91.6	118.7	149.7	198.3	242.4	294.1	376.5
-7.45	91.6	118.8	149.7	198.4	242.4	294.1	376.6	32.98	90.5	117.3	147.9	195.9	239.5	290.5	372.0
-7.22	94.0	121.9	153.7	203.7	248.9	302.0	386.7	33.78	89.4	115.9	146.2	193.7	236.7	287.2	367.6
-6.99	96.7	125.3	158.0	209.4	255.9	310.5	397.5	34.59	88.4	114.6	144.5	191.4	234.0	283.9	363.4
-6.76	99.5	129.0	162.6	215.5	263.3	319.5	409.0	35.39	87.4	113.3	142.9	189.3	231.4	280.7	359.4
-6.53	102.5	132.9	167.6	222.0	271.3	329.2	421.5	36.20	86.4	112.1	141.3	187.2	228.8	277.6	355.5
-6.29	105.8	137.1	172.9	229.1	280.0	339.7	434.9	37.01	85.5	110.9	139.8	185.2	226.4	274.7	351.7
-6.05	109.3	141.7	178.7	236.7	289.3	351.0	449.4	37.82	84.6	109.7	138.3	183.3	224.0	271.8	348.0
-5.81	113.1	146.7	185.0	245.1	299.5	363.4	465.2	38.63	83.8	108.6	136.9	181.4	221.7	269.0	344.4
-5.57	117.3	152.2	191.8	254.2	310.6	376.9	482.5	39.44	82.9	107.5	135.6	179.6	219.5	266.3	341.0
-5.32	122.0	158.1	199.4	264.1	322.8	391.7	501.5	40.26	82.1	106.5	134.2	177.8	217.3	263.7	337.6
-5.07	127.0	164.7	207.7	275.2	336.3	408.0	522.4	41.07	81.3	105.4	132.9	176.1	215.2	261.1	334.3
-4.82	132.7	172.1	216.9	287.4	351.3	426.2	545.6	41.89	80.5	104.4	131.7	174.4	213.2	258.7	331.2
-4.56	139.0	180.2	227.2	301.1	368.0	446.4	571.5	42.70	79.8	103.5	130.4	172.8	211.2	256.3	328.1
-4.30	146.1	189.4	238.8	316.4	386.7	469.2	600.7	43.52	79.1	102.5	129.2	171.2	209.3	253.9	325.1
-4.03	154.1	199.8	251.9	333.8	407.9	494.9	633.6	44.34	78.3	101.6	128.1	169.7	207.4	251.6	322.2
-3.76	163.2	211.7	266.8	353.6	432.1	524.3	671.2	45.16	77.7	100.7	127.0	168.2	205.6	249.4	319.3
-3.49	173.7	225.2	283.9	376.2	459.8	557.9	714.2	45.98	77.0	99.8	125.9	166.7	203.8	247.3	316.6
-3.21	185.8	240.9	303.7	402.3	491.7	596.6	763.8	46.80	76.3	99.0	124.8	165.3	202.1	245.2	313.9
-2.93	199.7	259.0	326.5	432.6	528.7	641.5	821.2	47.63	75.7	98.1	123.7	163.9	200.4	243.1	311.2
-2.64	215.9	280.0	353.0	467.7	571.7	693.6	887.9	48.45	75.1	97.3	122.7	162.6	198.7	241.1	308.7
-2.35	234.8	304.5	383.8	508.5	621.6	754.1	965.4	49.28	74.5	96.5	121.7	161.3	197.1	239.1	306.2
-2.04	256.6	332.7	419.5	555.8	679.3	824.1	1055.1	50.10	73.9	95.8	120.7	160.0	195.5	237.2	303.7
-1.73	281.6	365.1	460.3	609.9	745.4	904.4	1157.9	50.93	73.3	95.0	119.8	158.7	194.0	235.4	301.3
-1.42	309.7	401.6	506.2	670.7	819.8	994.6	1273.3	51.76	72.7	94.3	118.9	157.5	192.5	233.5	299.0
-1.09	340.1	441.0	555.9	736.6	900.3	1092.2	1398.4	52.58	72.2	93.6	118.0	156.3	191.0	231.8	296.7
-0.75	370.8	480.8	606.1	803.1	981.5	1190.8	1524.6	53.41	71.6	92.9	117.1	155.1	189.6	230.0	294.5
-0.39	397.1	514.9	649.2	860.1	1051.2	1275.4	1632.9	54.24	71.1	92.2	116.2	154.0	188.2	228.3	292.3
-0.20	405.9	526.4	663.6	879.2	1074.6	1303.7	1669.2	55.08	70.6	91.5	115.4	152.9	186.8	226.7	290.2
0.00	409.4	530.9	669.3	886.8	1083.9	1315.0	1683.6	55.91	70.1	90.9	114.5	151.8	185.5	225.0	288.1

Portate (m³/s) per tempo di ritorno (anni):								Portate (m³/s) per tempo di ritorno (anni):							
t (ore)	5	10	20	50	100	200	500	t (ore)	5	10	20	50	100	200	500
-14.08	17.5	23.5	30.3	41.0	50.6	62.0	80.1	0.00	229.0	307.0	395.9	535.7	662.3	810.8	1047.6
-13.94	17.7	23.7	30.6	41.4	51.2	62.7	81.0	0.30	224.3	300.8	387.9	524.8	648.8	794.3	1026.3
-13.80	17.9	24.0	31.0	41.9	51.8	63.4	81.9	0.62	214.0	286.9	370.1	500.7	619.0	757.8	979.1
-13.66	18.1	24.3	31.3	42.4	52.4	64.1	82.8	1.28	188.4	252.6	325.8	440.8	545.0	667.2	862.0
-13.52	18.3	24.6	31.7	42.8	53.0	64.8	83.8	1.96	164.2	220.1	283.9	384.1	474.9	581.4	751.2
-13.37	18.5	24.8	32.0	43.3	53.6	65.6	84.8	2.65	144.1	193.2	249.2	337.2	416.9	510.3	659.4
-13.23	18.7	25.1	32.4	43.8	54.2	66.4	85.8	3.36	128.2	171.9	221.7	300.0	370.9	454.0	586.6
-13.09	19.0	25.4	32.8	44.4	54.9	67.2	86.8	4.07	115.7	155.2	200.2	270.8	334.8	409.9	529.6
-12.94	19.2	25.7	33.2	44.9	55.5	68.0	87.8	4.79	105.9	142.0	183.1	247.7	306.3	375.0	484.5
-12.79	19.4	26.1	33.6	45.5	56.2	68.8	88.9	5.52	98.0	131.4	169.5	229.3	283.5	347.0	448.4
-12.65	19.7	26.4	34.0	46.0	56.9	69.7	90.0	6.26	91.5	122.8	158.3	214.2	264.8	324.2	418.9
-12.50	19.9	26.7	34.4	46.6	57.6	70.5	91.1	7.00	86.2	115.6	149.1	201.7	249.3	305.2	394.4
-12.35	20.2	27.0	34.9	47.2	58.3	71.4	92.3	7.75	81.7	109.5	141.2	191.1	236.3	289.2	373.7
-12.20	20.4	27.4	35.3	47.8	59.1	72.4	93.5	8.51	77.8	104.3	134.5	182.0	225.0	275.5	355.9
-12.05	20.7	27.8	35.8	48.4	59.9	73.3	94.7	9.26	74.4	99.8	128.7	174.1	215.3	263.5	340.5
-11.90	21.0	28.1	36.3	49.1	60.7	74.3	96.0	10.03	71.4	95.8	123.6	167.2	206.7	253.0	326.9
-11.74	21.3	28.5	36.8	49.7	61.5	75.3	97.3	10.79	68.8	92.3	119.0	161.0	199.1	243.7	314.9
-11.59	21.6	28.9	37.3	50.4	62.3	76.3	98.6	11.56	66.4	89.1	114.9	155.5	192.2	235.3	304.0
-11.44	21.9	29.3	37.8	51.1	63.2	77.4	100.0	12.34	64.3	86.2	111.2	150.5	186.0	227.8	294.3
-11.28	22.2	29.7	38.3	51.8	64.1	78.5	101.4	13.12	62.4	83.6	107.9	145.9	180.4	220.9	285.4
-11.12	22.5	30.1	38.9	52.6	65.0	79.6	102.9	13.90	60.6	81.3	104.8	141.8	175.3	214.6	277.3
-10.96	22.8	30.6	39.4	53.4	66.0	80.8	104.4	14.68	59.0	79.1	102.0	138.0	170.6	208.8	269.8
-10.80	23.1	31.0	40.0	54.2	67.0	82.0	105.9	15.47	57.5	77.1	99.4	134.4	166.2	203.5	262.9
-10.64	23.5	31.5	40.6	55.0	68.0	83.2	107.5	16.26	56.1	75.2	97.0	131.2	162.2	198.5	256.5
-10.48	23.9	32.0	41.3	55.8	69.0	84.5	109.2	17.05	54.8	73.4	94.7	128.1	158.4	193.9	250.6
-10.32	24.2	32.5	41.9	56.7	70.1	85.8	110.9	17.85	53.6	71.8	92.6	125.3	154.9	189.7	245.0
-10.16	24.6	33.0	42.6	57.6	71.2	87.2	112.7	18.65	52.4	70.3	90.6	122.6	151.6	185.6	239.8
-9.99	25.0	33.6	43.3	58.6	72.4	88.6	114.5	19.45	51.4	68.9	88.8	120.2	148.5	181.9	235.0
-9.82	25.4	34.1	44.0	59.5	73.6	90.1	116.4	20.25	50.3	67.5	87.1	117.8	145.6	178.3	230.4
-9.65	25.9	34.7	44.7	60.5	74.9	91.6	118.4	21.05	49.4	66.2	85.4	115.6	142.9	174.9	226.0
-9.49	26.3	35.3	45.5	61.6	76.2	93.2	120.5	21.86	48.5	65.0	83.9	113.5	140.3	171.8	221.9
-9.31	26.8	35.9	46.3	62.7	77.5	94.9	122.6	22.67	47.7	63.9	82.4	111.5	137.9	168.8	218.1
-9.14	27.3	36.6	47.2	63.8	78.9	96.6	124.8	23.48	46.8	62.8	81.0	109.6	135.5	165.9	214.4
-8.97	27.8	37.3	48.0	65.0	80.4	98.4	127.1	24.29	46.1	61.8	79.7	107.8	133.3	163.2	210.9
-8.79	28.3	38.0	49.0	66.2	81.9	100.3	129.5	25.11	45.4	60.8	78.4	106.1	131.2	160.6	207.5
-8.62	28.9	38.7	49.9	67.5	83.5	102.2	132.1	25.92	44.7	59.9	77.2	104.5	129.2	158.1	204.3
-8.44	29.4	39.5	50.9	68.9	85.2	104.3	134.7	26.74	44.0	59.0	76.1	102.9	127.2	155.8	201.3
-8.26	30.0	40.3	51.9	70.3	86.9	106.4	137.5	27.56	43.3	58.1	75.0	101.4	125.4	153.5	198.4
-8.08	30.7	41.1	53.0	71.8	88.7	108.6	140.3	28.38	42.7	57.3	73.9	100.0	123.6	151.4	195.6
-7.89	31.3	42.0	54.2	73.3	90.6	111.0	143.4	29.21	42.2	56.5	72.9	98.6	121.9	149.3	192.9
-7.71	32.0	42.9	55.4	74.9	92.7	113.4	146.6	30.03	41.6	55.8	71.9	97.3	120.3	147.3	190.3
-7.52	32.8	43.9	56.7	76.7	94.8	116.0	149.9	30.86	41.1	55.0	71.0	96.0	118.7	145.4	187.8
-7.33	33.5	45.0	58.0	78.5	97.0	118.8	153.4	31.69	40.5	54.3	70.1	94.8	117.2	143.5	185.5
-7.14	34.4	46.1	59.4	80.4	99.4	121.6	157.2	32.52	40.0	53.7	69.2	93.7	115.8	141.8	183.2
-6.95	35.2	47.2	60.9	82.4	101.9	124.7	161.1	33.35	39.5	53.0	68.4	92.5	114.4	140.0	180.9
-6.75	36.1	48.5	62.5	84.5	104.5	128.0	165.3	34.18	39.1	52.4	67.6	91.4	113.0	138.4	178.8
-6.55	37.1	49.8	64.2	86.8	107.3	131.4	169.8	35.01	38.6	51.8	66.8	90.4	111.7	136.8	176.8
-6.35	38.1	51.2	66.0	89.2	110.3	135.1	174.5	35.85	38.2	51.2	66.0	89.4	110.5	135.3	174.8
-6.15	39.3	52.6	67.9	91.8	113.6	139.0	179.6	36.68	37.8	50.7	65.3	88.4	109.3	133.8	172.8
-5.95	40.4	54.2	69.9	94.6	117.0	143.2	185.1	37.52	37.4	50.1	64.6	87.4	108.1	132.3	171.0
-5.74	41.7	56.0	72.2	97.6	120.7	147.8	190.9	38.36	37.0	49.6	63.9	86.5	106.9	130.9	169.2
-5.53	43.1	57.8	74.5	100.9	124.7	152.7	197.3	39.20	36.6	49.1	63.3	85.6	105.8	129.6	167.4
-5.32	44.6	59.8	77.1	104.4	129.0	158.0	204.1	40.04	36.2	48.6	62.6	84.7	104.8	128.3	165.7
-5.10	46.2	62.0	80.0	108.2	133.8	163.7	211.6	40.88	35.9	48.1	62.0	83.9	103.7	127.0	164.1
-4.88	48.0	64.4	83.0	112.4	138.9	170.1	219.7	41.72	35.5	47.6	61.4	83.1	102.7	125.7	162.5
-4.66	50.0	67.0	86.4	116.9	144.6	177.0	228.7	42.57	35.2	47.2	60.8	82.3	101.7	124.5	160.9
-4.44	52.1	69.9	90.2	122.0	150.9	184.7	238.6	43.41	34.8	46.7	60.2	81.5	100.8	123.4	159.4
-4.21	54.6	73.2	94.4	127.7	157.8	193.2	249.7	44.26	34.5	46.3	59.7	80.8	99.8	122.2	157.9
-3.97	57.3	76.8	99.1	134.0	165.7	202.8	262.1	45.10	34.2	45.9	59.1	80.0	98.9	121.1	156.5
-3.74	60.4	80.9	104.4	141.2	174.6	213.7	276.2	45.95	33.9	45.5	58.6	79.3	98.1	120.0	155.1
-3.50	63.9	85.7	110.5	149.5	184.8	226.2	292.3	46.80	33.6	45.1	58.1	78.6	97.2	119.0	153.8
-3.25	68.0	91.1	117.5	159.0	196.6	240.7	310.9	47.65	33.3	44.7	57.6	77.9	96.4	118.0	152.4
-3.00	72.8	97.6	125.8	170.2	210.5	257.6	332.9	48.50	33.0	44.3	57.1	77.3	95.5	117.0	151.1
-2.74	78.5	105.2	135.7	183.6	227.0	277.9	359.1	49.35	32.8	43.9	56.6	76.6	94.8	116.0	149.9
-2.48	85.4	114.6	147.8	199.9	247.1	302.6	390.9	50.21	32.5	43.6	56.2	76.0	94.0	115.1	148.7
-2.21	94.0	126.1	162.6	220.0	272.0	333.0	430.3	51.06	32.2	43.2	55.7	75.4	93.2	114.1	147.5
-1.93	104.9	140.6	181.3	245.3	303.3	371.3	479.7	51.91	32.0	42.9	55.3	74.8	92.5	113.2	146.3
-1.65	118.6	159.1	205.1	277.5	343.1	420.1	542.8	52.77	31.7	42.5	54.9	74.2	91.8	112.3	145.1
-1.35	136.2	182.7	235.6	318.7	394.1	482.4	623.3	53.63	31.5	42.2	54.4	73.6	91.1	111.5	144.0
-1.04	158.5	212.5	274.0	370.7	458.4	561.1	725.0	54.48	31.2	41.9	54.0	73.1	90.4	110.6	142.9
-0.72	185.2	248.3	320.2	433.2	535.6	655.7	847.3	55.34	31.0	41.6	53.6	72.5	89.7	109.8	141.9
-0.38	213.0	285.7	368.4	498.5	616.3	754.4	974.8	56.20	30.8	41.3	53.2	72.0	89.0	109.0	140.8
-0.20	224.1	300.5	387.5	524.3	648.2	793.5	1025.3	57.06	30.6	41.0	52.8	71.5	88.4	108.2	139.8
0.00	229.0	307.0	395.9	535.7	662.3	810.8	1047.6	57.92	30.3	40.7	52.5	71.0	87.8	107.4	138.8

Tabella F. 6- Valori numerici degli idrogrammi sintetici per la stazione di P.te Nuovo (stima regionale).

Portata media (m ³ /s) per assegnate durate di tempo di ritorno (anni):								Portata media (m ³ /s) per assegnate durate di tempo di ritorno (anni):							
durata (ore)	5	10	20	50	100	200	500	durata (ore)	5	10	20	50	100	200	500
0	307.8	404.9	515.4	689.1	846.5	1031.1	1325.5	36	117.9	155.1	197.4	264.0	324.2	394.9	507.7
0.5	306.4	403.0	513.0	686.0	842.6	1026.4	1319.4	37	116.4	153.1	194.9	260.6	320.1	389.9	501.2
1	302.8	398.3	507.0	678.0	832.8	1014.4	1304.0	38	114.9	151.2	192.5	257.3	316.1	385.0	495.0
2	292.1	384.2	489.0	653.9	803.2	978.4	1257.7	39	113.6	149.3	190.1	254.2	312.3	380.4	488.9
3	279.3	367.3	467.6	625.2	768.0	935.5	1202.6	40	112.2	147.6	187.9	251.2	308.6	375.8	483.1
4	266.2	350.1	445.7	596.0	732.1	891.7	1146.3	41	110.9	145.9	185.7	248.3	305.0	371.5	477.5
5	253.7	333.6	424.7	567.9	697.6	849.7	1092.3	42	109.6	144.2	183.6	245.5	301.5	367.3	472.1
6	242.0	318.3	405.2	541.8	665.6	810.7	1042.1	43	108.4	142.6	181.5	242.7	298.2	363.2	466.9
7	231.4	304.3	387.4	517.9	636.2	775.0	996.2	44	107.3	141.1	179.6	240.1	294.9	359.3	461.8
8	221.7	291.6	371.2	496.3	609.6	742.5	954.5	45	106.1	139.6	177.7	237.5	291.8	355.4	456.9
9	212.9	280.0	356.5	476.6	585.5	713.1	916.7	46	105.0	138.1	175.8	235.1	288.8	351.7	452.2
10	204.9	269.5	343.1	458.8	563.6	686.5	882.5	47	103.9	136.7	174.0	232.7	285.8	348.2	447.5
11	197.7	260.0	331.0	442.6	543.7	662.3	851.4	48	102.9	135.3	172.3	230.4	283.0	344.7	443.1
12	191.1	251.4	320.0	427.9	525.6	640.3	823.0	49	101.9	134.0	170.6	228.1	280.2	341.3	438.7
13	185.1	243.5	310.0	414.4	509.1	620.1	797.2	50	100.9	132.7	169.0	225.9	277.5	338.0	434.5
14	179.6	236.2	300.7	402.1	493.9	601.7	773.4	51	100.0	131.5	167.4	223.8	274.9	334.8	430.4
15	174.5	229.6	292.2	390.7	480.0	584.7	751.6	52	99.0	130.3	165.8	221.7	272.3	331.7	426.4
16	169.9	223.4	284.4	380.3	467.1	569.0	731.4	53	98.1	129.1	164.3	219.7	269.9	328.7	422.6
17	165.5	217.7	277.1	370.5	455.2	554.4	712.7	54	97.3	127.9	162.8	217.7	267.5	325.8	418.8
18	161.5	212.4	270.4	361.5	444.1	540.9	695.4	55	96.4	126.8	161.4	215.8	265.1	322.9	415.1
19	157.7	207.4	264.1	353.1	433.7	528.3	679.2	56	95.6	125.7	160.0	214.0	262.8	320.2	411.6
20	154.2	202.8	258.2	345.2	424.1	516.6	664.0	57	94.8	124.6	158.7	212.2	260.6	317.4	408.1
21	150.9	198.5	252.7	337.8	415.0	505.5	649.8	58	94.0	123.6	157.4	210.4	258.4	314.8	404.7
22	147.8	194.4	247.5	330.9	406.5	495.1	636.5	59	93.2	122.6	156.1	208.7	256.3	312.2	401.3
23	144.9	190.6	242.6	324.4	398.5	485.4	623.9	60	92.5	121.6	154.8	207.0	254.3	309.7	398.1
24	142.1	187.0	238.0	318.2	390.9	476.1	612.1	61	91.7	120.6	153.6	205.3	252.2	307.2	395.0
25	139.5	183.5	233.6	312.4	383.7	467.4	600.9	62	91.0	119.7	152.4	203.7	250.3	304.8	391.9
26	137.1	180.3	229.5	306.9	376.9	459.1	590.2	63	90.3	118.8	151.2	202.2	248.3	302.5	388.9
27	134.7	177.2	225.6	301.6	370.5	451.3	580.1	64	89.6	117.9	150.1	200.6	246.5	300.2	385.9
28	132.5	174.3	221.9	296.6	364.4	443.8	570.6	65	88.9	117.0	148.9	199.1	244.6	298.0	383.0
29	130.4	171.5	218.3	291.9	358.5	436.7	561.4	66	88.3	116.1	147.8	197.7	242.8	295.8	380.2
30	128.4	168.8	214.9	287.3	353.0	429.9	552.7	67	87.7	115.3	146.8	196.2	241.1	293.6	377.5
31	126.4	166.3	211.7	283.0	347.7	423.5	544.4	68	87.0	114.5	145.7	194.8	239.3	291.5	374.8
32	124.6	163.8	208.6	278.9	342.6	417.3	536.4	69	86.4	113.7	144.7	193.5	237.7	289.5	372.1
33	122.8	161.5	205.6	274.9	337.7	411.3	528.8	70	85.8	112.9	143.7	192.1	236.0	287.5	369.5
34	121.1	159.3	202.8	271.1	333.0	405.7	521.5	71	85.2	112.1	142.7	190.8	234.4	285.5	367.0
35	119.5	157.1	200.0	267.5	328.5	400.2	514.4	72	84.7	111.3	141.7	189.5	232.8	283.6	364.5

Tabella F.7 -Valori numerici delle curve di riduzione ottenute dal modello regionale (Parma a P.te Dattaro)

Portate (m³/s) per tempo di ritorno (anni):								Portate (m³/s) per tempo di ritorno (anni):							
t (ore)	5	10	20	50	100	200	500	t (ore)	5	10	20	50	100	200	500
-15.09	28.5	37.5	47.7	63.8	78.4	95.5	122.8	0.00	307.8	404.9	515.4	689.1	846.5	1031.1	1325.5
-14.93	28.8	37.9	48.2	64.5	79.2	96.5	124.1	0.30	303.8	399.6	508.7	680.2	835.5	1017.7	1308.3
-14.78	29.1	38.3	48.8	65.2	80.1	97.6	125.4	0.62	294.4	387.2	492.9	659.0	809.6	986.1	1267.6
-14.62	29.4	38.7	49.3	65.9	81.0	98.6	126.8	1.27	268.7	353.4	449.9	601.5	738.9	900.1	1157.0
-14.47	29.8	39.2	49.8	66.6	81.9	99.7	128.2	1.93	241.7	317.9	404.7	541.0	664.6	809.6	1040.7
-14.31	30.1	39.6	50.4	67.4	82.8	100.8	129.6	2.62	217.2	285.6	363.6	486.1	597.2	727.4	935.1
-14.15	30.4	40.0	51.0	68.2	83.7	102.0	131.1	3.31	196.2	258.0	328.4	439.1	539.4	657.1	844.7
-13.99	30.8	40.5	51.6	68.9	84.7	103.2	132.6	4.01	178.6	235.0	299.1	399.9	491.3	598.4	769.2
-13.83	31.2	41.0	52.2	69.7	85.7	104.4	134.1	4.72	164.1	215.9	274.8	367.4	451.4	549.8	706.8
-13.67	31.5	41.5	52.8	70.6	86.7	105.6	135.7	5.44	152.1	200.1	254.7	340.6	418.3	509.6	655.0
-13.51	31.9	42.0	53.4	71.4	87.7	106.9	137.4	6.16	142.1	186.9	237.9	318.1	390.8	476.0	611.9
-13.35	32.3	42.5	54.1	72.3	88.8	108.1	139.0	6.89	133.7	175.8	223.8	299.2	367.6	447.8	575.6
-13.19	32.7	43.0	54.7	73.2	89.9	109.5	140.7	7.63	126.5	166.4	211.8	283.2	347.9	423.7	544.7
-13.02	33.1	43.5	55.4	74.1	91.0	110.8	142.5	8.37	120.3	158.3	201.5	269.4	330.9	403.0	518.1
-12.86	33.5	44.1	56.1	75.0	92.2	112.3	144.3	9.11	115.0	151.2	192.5	257.4	316.1	385.1	495.0
-12.69	33.9	44.6	56.8	76.0	93.3	113.7	146.2	9.86	110.2	145.0	184.6	246.8	303.2	369.3	474.7
-12.52	34.4	45.2	57.6	77.0	94.6	115.2	148.1	10.61	106.1	139.5	177.6	237.4	291.7	355.3	456.7
-12.36	34.8	45.8	58.3	78.0	95.8	116.7	150.0	11.37	102.3	134.6	171.3	229.1	281.4	342.7	440.6
-12.19	35.3	46.4	59.1	79.1	97.1	118.3	152.1	12.13	99.0	130.1	165.7	221.5	272.1	331.5	426.1
-12.02	35.8	47.1	59.9	80.1	98.4	119.9	154.2	12.89	95.9	126.1	160.6	214.7	263.7	321.2	412.9
-11.84	36.3	47.7	60.8	81.3	99.8	121.6	156.3	13.66	93.1	122.5	155.9	208.5	256.1	311.9	400.9
-11.67	36.8	48.4	61.6	82.4	101.2	123.3	158.5	14.43	90.6	119.1	151.6	202.7	249.0	303.3	389.9
-11.50	37.3	49.1	62.5	83.6	102.7	125.1	160.8	15.20	88.2	116.0	147.7	197.5	242.6	295.5	379.8
-11.32	37.9	49.8	63.5	84.8	104.2	127.0	163.2	15.98	86.0	113.1	144.0	192.6	236.6	288.2	370.4
-11.15	38.5	50.6	64.4	86.1	105.8	128.9	165.6	16.76	84.0	110.5	140.6	188.0	231.0	281.4	361.7
-10.97	39.1	51.4	65.4	87.4	107.4	130.8	168.2	17.54	82.1	108.0	137.5	183.8	225.8	275.0	353.6
-10.79	39.7	52.2	66.4	88.8	109.1	132.9	170.8	18.32	80.3	105.7	134.5	179.9	220.9	269.1	346.0
-10.61	40.3	53.0	67.5	90.2	110.8	135.0	173.5	19.11	78.7	103.5	131.8	176.2	216.4	263.6	338.8
-10.43	41.0	53.9	68.6	91.7	112.6	137.2	176.3	19.89	77.1	101.4	129.1	172.7	212.1	258.4	332.1
-10.25	41.6	54.8	69.7	93.2	114.5	139.5	179.3	20.68	75.7	99.5	126.7	169.4	208.1	253.4	325.8
-10.06	42.3	55.7	70.9	94.8	116.4	141.8	182.3	21.48	74.3	97.7	124.4	166.3	204.3	248.8	319.8
-9.88	43.1	56.7	72.1	96.4	118.5	144.3	185.5	22.27	73.0	96.0	122.2	163.3	200.6	244.4	314.2
-9.69	43.8	57.7	73.4	98.1	120.6	146.8	188.8	23.07	71.7	94.3	120.1	160.5	197.2	240.2	308.8
-9.50	44.6	58.7	74.7	99.9	122.7	149.5	192.2	23.87	70.5	92.8	118.1	157.9	193.9	236.2	303.7
-9.31	45.5	59.8	76.1	101.8	125.0	152.3	195.8	24.67	69.4	91.3	116.2	155.4	190.8	232.5	298.8
-9.12	46.3	60.9	77.6	103.7	127.4	155.2	199.5	25.47	68.3	89.9	114.4	153.0	187.9	228.9	294.2
-8.93	47.2	62.1	79.1	105.8	129.9	158.2	203.4	26.27	67.3	88.5	112.7	150.6	185.1	225.4	289.8
-8.73	48.2	63.4	80.7	107.9	132.5	161.4	207.5	27.08	66.3	87.2	111.0	148.4	182.4	222.1	285.5
-8.53	49.2	64.7	82.4	110.1	135.3	164.8	211.8	27.88	65.4	86.0	109.5	146.3	179.8	219.0	281.5
-8.34	50.2	66.1	84.1	112.5	138.1	168.3	216.3	28.69	64.5	84.8	107.9	144.3	177.3	215.9	277.6
-8.14	51.3	67.5	85.9	114.9	141.2	172.0	221.0	29.50	63.6	83.6	106.5	142.4	174.9	213.0	273.9
-7.93	52.5	69.0	87.9	117.5	144.4	175.8	226.0	30.31	62.8	82.6	105.1	140.5	172.6	210.3	270.3
-7.73	53.7	70.6	89.9	120.3	147.7	179.9	231.3	31.13	62.0	81.5	103.8	138.7	170.4	207.6	266.8
-7.52	55.0	72.3	92.1	123.1	151.3	184.3	236.9	31.94	61.2	80.5	102.5	137.0	168.3	205.0	263.5
-7.32	56.4	74.1	94.4	126.2	155.0	188.8	242.8	32.76	60.5	79.5	101.2	135.3	166.2	202.5	260.3
-7.11	57.8	76.1	96.8	129.5	159.0	193.7	249.0	33.57	59.7	78.6	100.0	133.7	164.3	200.1	257.2
-6.89	59.4	78.1	99.4	132.9	163.3	198.9	255.7	34.39	59.0	77.7	98.9	132.2	162.4	197.8	254.2
-6.68	61.0	80.3	102.2	136.6	167.8	204.4	262.8	35.21	58.4	76.8	97.7	130.7	160.5	195.5	251.4
-6.46	62.8	82.6	105.2	140.6	172.7	210.4	270.4	36.03	57.7	75.9	96.7	129.2	158.8	193.4	248.6
-6.24	64.7	85.1	108.3	144.8	177.9	216.7	278.6	36.86	57.1	75.1	95.6	127.8	157.0	191.3	245.9
-6.02	66.7	87.8	111.8	149.4	183.6	223.6	287.4	37.68	56.5	74.3	94.6	126.5	155.4	189.3	243.3
-5.80	69.0	90.7	115.5	154.4	189.6	231.0	296.9	38.50	55.9	73.5	93.6	125.2	153.8	187.3	240.8
-5.57	71.4	93.8	119.5	159.7	196.2	239.0	307.3	39.33	55.3	72.8	92.7	123.9	152.2	185.4	238.3
-5.34	74.0	97.3	123.9	165.6	203.4	247.8	318.5	40.16	54.8	72.1	91.7	122.7	150.7	183.5	235.9
-5.11	76.8	101.1	128.7	172.0	211.3	257.4	330.9	40.99	54.3	71.4	90.8	121.5	149.2	181.7	233.6
-4.87	80.0	105.2	134.0	179.1	220.0	268.0	344.5	41.81	53.7	70.7	90.0	120.3	147.8	180.0	231.4
-4.63	83.5	109.8	139.8	186.9	229.6	279.7	359.6	42.65	53.2	70.0	89.1	119.2	146.4	178.3	229.2
-4.39	87.4	115.0	146.4	195.7	240.4	292.8	376.4	43.48	52.7	69.4	88.3	118.1	145.0	176.6	227.1
-4.14	91.8	120.8	153.7	205.6	252.5	307.6	395.4	44.31	52.3	68.7	87.5	117.0	143.7	175.0	225.0
-3.89	96.8	127.4	162.1	216.8	266.3	324.3	416.9	45.14	51.8	68.1	86.7	115.9	142.4	173.5	223.0
-3.63	102.6	134.9	171.7	229.6	282.0	343.5	441.6	45.98	51.3	67.5	85.9	114.9	141.2	171.9	221.0
-3.37	109.2	143.6	182.8	244.4	300.3	365.8	470.2	46.81	50.9	66.9	85.2	113.9	139.9	170.5	219.1
-3.11	117.0	153.8	195.8	261.8	321.6	391.8	503.6	47.65	50.5	66.4	84.5	113.0	138.8	169.0	217.3
-2.84	126.1	165.9	211.2	282.4	346.9	422.6	543.2	48.49	50.0	65.8	83.8	112.0	137.6	167.6	215.5
-2.56	137.1	180.4	229.6	307.0	377.1	459.3	590.5	49.33	49.6	65.3	83.1	111.1	136.5	166.2	213.7
-2.28	150.4	197.8	251.8	336.6	413.5	503.7	647.5	50.17	49.2	64.7	82.4	110.2	135.4	164.9	212.0
-1.99	166.4	218.9	278.6	372.5	457.6	557.4	716.6	51.01	48.8	64.2	81.8	109.3	134.3	163.6	210.3
-1.69	185.8	244.4	311.1	416.0	511.0	622.5	800.2	51.85	48.5	63.7	81.1	108.5	133.2	162.3	208.6
-1.38	209.1	275.0	350.1	468.1	575.0	700.4	900.3	52.69	48.1	63.2	80.5	107.6	132.2	161.1	207.0
-1.07	236.2	310.6	395.4	528.7	649.5	791.1	1017.0	53.53	47.7	62.8	79.9	106.8	131.2	159.8	205.5
-0.73	265.8	349.6	445.1	595.1	731.0	890.4	1144.6	54.38	47.4	62.3	79.3	106.0	130.2	158.6	203.9
-0.38	293.6	386.2	491.6	657.3	807.4	983.5	1264.3	55.22	47.0	61.8	78.7	105.2	129.3	157.5	202.4
-0.20	303.6	399.4	508.4	679.8	835.0	1017.1	1307.5	56.07	46.7	61.4	78.1	104.5	128.3	156.3	200.9
0.00	307.8	404.9	515.4	689.1	846.5	1031.1	1325.5	56.91	46.3	60.9	77.6	103.7	127.4	155.2	199.5

Tabella F.8 - Valori numerici degli idrogrammi sintetici ottenuti dal modello regionale (Ponte Dattaro)

Tempo (ore)	Portata (m^3/s) per le onde di tempo di ritorno (<i>anni</i>)				Tempo (ore)	Portata (m^3/s) per le onde di tempo di ritorno (<i>anni</i>)			
	200	100	50	20		200	100	50	20
0	71.9	59.4	48.7	37.0	37	161.8	131.8	106.3	78.2
1	78.6	64.9	53.3	40.6	38	158.7	129.3	104.3	76.7
2	86.3	71.4	58.7	44.8	39	155.8	127.0	102.4	75.3
3	95.5	79.1	65.2	49.9	40	153.1	124.8	100.7	74.0
4	106.6	88.4	73.0	56.2	41	150.5	122.7	99.0	72.8
5	120.3	100.1	82.9	64.2	42	148.0	120.7	97.4	71.6
6	138.1	115.2	95.8	74.8	43	145.7	118.8	95.8	70.5
7	161.9	135.6	113.5	89.5	44	143.4	117.0	94.4	69.5
8	195.9	165.0	139.0	110.6	45	141.3	115.2	93.0	68.5
9	247.7	209.7	177.7	142.4	46	139.3	113.6	91.7	67.5
10	331.1	281.0	238.5	190.8	47	137.3	112.0	90.4	66.5
11	467.6	395.4	333.2	262.5	48	135.5	110.5	89.2	65.7
12	666.4	556.1	460.8	352.4	49	133.7	109.0	88.0	64.8
13	821.3	671.2	542.4	398.3	50	132.0	107.6	86.9	64.0
14	650.6	521.0	410.2	289.4	51	130.3	106.3	85.8	63.2
15	505.1	403.1	316.9	222.6	52	128.7	105.0	84.8	62.4
16	427.3	342.7	270.4	191.5	53	127.2	103.7	83.8	61.7
17	375.0	301.6	239.2	170.8	54	125.7	102.6	82.8	61.0
18	338.5	273.1	217.4	156.2	55	124.3	101.4	81.9	60.3
19	311.1	251.6	200.8	145.0	56	122.9	100.3	81.0	59.7
20	289.0	234.0	187.2	135.7	57	121.6	99.2	80.1	59.0
21	271.5	220.2	176.4	128.2	58	120.3	98.2	79.3	58.4
22	256.8	208.4	167.2	121.7	59	119.1	97.1	78.5	57.8
23	244.3	198.4	159.2	116.2	60	117.9	96.2	77.7	57.3
24	233.6	189.8	152.5	111.4	61	116.7	95.2	76.9	56.7
25	224.2	182.3	146.5	107.1	62	115.6	94.3	76.2	56.2
26	215.9	175.6	141.2	103.3	63	114.5	93.4	75.4	55.6
27	208.5	169.6	136.4	99.9	64	113.4	92.5	74.7	55.1
28	201.9	164.3	132.2	96.9	65	112.4	91.7	74.1	54.6
29	195.8	159.4	128.3	94.1	66	111.4	90.9	73.4	54.1
30	190.3	154.9	124.7	91.5	67	110.4	90.1	72.8	53.7
31	185.2	150.8	121.5	89.2	68	109.4	89.3	72.2	53.2
32	180.6	147.1	118.5	87.0	69	108.5	88.6	71.6	52.8
33	176.3	143.6	115.7	85.0	70	107.7	88.0	71.1	52.5
34	172.2	140.3	113.1	83.1	71	107.2	87.6	70.8	52.3
35	168.5	137.3	110.7	81.3	72	107.4	87.7	71.0	52.5
36	165.1	134.5	108.4	79.7					

Tabella F.9 -Valori numerici delle idrogrammi sintetici in corrispondenza della sezione del Ponte di Marzolarà.

Tempo (ore)	Portata (m^3/s) per le onde di tempo di ritorno (anni)				Tempo (ore)	Portata (m^3/s) per le onde di tempo di ritorno (anni)			
	200	100	50	20		200	100	50	20
0	103.2	85.2	69.7	52.5	37	245.8	201.5	163.7	122.2
1	111.1	91.8	75.1	56.6	38	240.5	197.1	160.2	119.6
2	120.2	99.3	81.3	61.3	39	235.6	193.1	156.9	117.1
3	130.6	108.0	88.5	66.7	40	230.9	189.3	153.9	114.9
4	142.8	118.1	96.9	73.1	41	226.5	185.7	150.9	112.7
5	157.4	130.2	106.8	80.7	42	222.4	182.3	148.2	110.7
6	175.0	144.8	119.0	90.0	43	218.5	179.1	145.6	108.7
7	196.9	163.3	134.2	101.8	44	214.8	176.1	143.2	106.9
8	225.2	187.2	154.2	117.1	45	211.3	173.2	140.9	105.2
9	263.9	219.7	181.6	138.4	46	208.0	170.5	138.7	103.5
10	320.3	267.6	221.8	170.1	47	204.8	167.9	136.5	102.0
11	409.3	343.6	286.0	220.0	48	201.8	165.4	134.5	100.5
12	558.1	469.8	391.8	301.6	49	198.9	163.1	132.6	99.0
13	789.8	661.3	548.6	419.6	50	196.1	160.8	130.8	97.7
14	1020.2	842.8	689.5	518.4	51	193.4	158.6	129.0	96.4
15	954.9	777.2	627.3	463.8	52	190.9	156.6	127.3	95.1
16	802.7	651.5	524.3	386.3	53	188.5	154.6	125.7	93.9
17	686.6	557.6	448.7	331.0	54	186.1	152.6	124.1	92.7
18	597.9	486.1	391.8	289.5	55	183.8	150.8	122.7	91.6
19	532.4	433.4	349.9	259.0	56	181.7	149.0	121.2	90.5
20	482.5	393.3	317.9	235.8	57	179.6	147.3	119.8	89.5
21	443.2	361.7	292.7	217.4	58	177.6	145.7	118.5	88.5
22	412.8	337.2	273.1	203.0	59	175.6	144.1	117.2	87.5
23	387.2	316.5	256.5	190.7	60	173.7	142.5	115.9	86.6
24	366.2	299.5	242.8	180.7	61	171.9	141.0	114.7	85.7
25	348.6	285.2	231.4	172.2	62	170.1	139.6	113.5	84.8
26	333.1	272.6	221.2	164.7	63	168.4	138.2	112.4	84.0
27	319.7	261.7	212.4	158.3	64	166.7	136.8	111.3	83.1
28	308.0	252.1	204.7	152.6	65	165.1	135.5	110.2	82.3
29	297.4	243.5	197.7	147.4	66	163.6	134.2	109.2	81.6
30	287.8	235.8	191.4	142.8	67	162.1	133.0	108.2	80.8
31	279.3	228.8	185.8	138.6	68	160.6	131.7	107.2	80.1
32	271.4	222.4	180.6	134.8	69	159.1	130.6	106.2	79.4
33	264.2	216.5	175.9	131.2	70	157.8	129.4	105.3	78.7
34	257.6	211.1	171.5	128.0	71	156.4	128.4	104.4	78.1
35	251.5	206.1	167.5	125.0	72	155.3	127.5	103.7	77.6
36	103.2	85.2	69.7	52.5					

Tabella F.10 -Valori numerici delle idrogrammi sintetici in corrispondenza del Ponte di Panocchia (sezione 98 della Parma).

BIBLIOGRAFIA

- ABRAMOWITZ, M. AND I.A. STEGUN (1965): *Handbook of Mathematical Functions*, National Bureau of Standards, Applied Math. Series #55, Dover Publications, sec. 6.5B.
- BACCHI, A. BRATH. (1990): *Stima delle leggi di attenuazione delle massime portate in assegnata durata*, L'Energia Elettrica, 67 (4), pp.157-170.
- B. BACCHI, A. BRATH, N.T. KOTTEGODA (1988): *Analysis of the Relationships Between Flood Peaks and Flood Volumes Based on Crossing Properties of River Flow Processes*, Water Resources Research, 28 (10), pp.2773-2782.
- B. BACCHI, M. FRANCHINI, G. GALEATI, R. RANZI (2000): *Parametrizzazione e regionalizzazione della curva di riduzione dei massimi annuali delle portate medie su assegnata durata*, Atti del XXVII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Genova, 12-15 Settembre 2000, vol.2, pp.129-136.
- C. BALLARIN, U. MAIONE, P. MIGNOSA, M. TOMIROTTI (2001): *Una metodologia di stima indiretta degli idrogrammi sintetici per il progetto di opere di difesa idraulica del territorio*, L'Acqua, n.3, pp. 9-16.
- A. BRATH. (1992): *Un'impostazione stocastica del problema di previsione dei volumi di piena*, L'Energia Elettrica, 67 (10), pp.411-426C.
- A. BRATH, M. FIORENTINO, P. VILLANI (1992): *Identificazione di alcune proprietà dei fenomeni di piena attraverso l'analisi delle leggi di riduzione dei volumi*, Atti del XXIII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Firenze, 31 Agosto-4 Settembre 1992, vol.3, pp.D.51-D.62.
- M. FIORENTINO, M.R. MARGIOTTA (1999): *La valutazione dei volumi di piena e il calcolo semplificato dell'effetto di laminazione di grandi invasi*. In G. Frega (ed.), *Tecniche per la difesa dall'inquinamento*, Editoriale Bios, Cosenza, pp.203-222.
- J. R. M. HOSKING, J. R. WALLIS, E. F. WOOD (1985): *Estimation of the Generalized Extreme-Value Distribution by the Method of Probability-Weighted Moments*, Technometrics, vol. 27, n. 3, pp. 251-261.
- A. F. JENKINSON (1955): *The Frequency Distribution of the Annual Maximum (or Minimum) of Meteorological Elements*, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, vol. 81, pp.158-171.
- MAHAMOOD K. E V. YEVJEVICH (Eds): *Unsteady Flow in Open Channels*, Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, USA, 1975.
- U. MAIONE, U. MOISELLO (1993): *Elementi di Statistica per l'Idrologia*, La Goliardica Pavese, Pavia.
- U. MAIONE (1995): *Le Piene Fluviali*, La Goliardica Pavese, Pavia.
- U. MAIONE, P. MIGNOSA, M. TOMIROTTI (2000): *Idrogrammi sintetici per la progettazione di opere di difesa idraulica del territorio*, Atti del XXVII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Genova 12-15 Settembre 2000, vol.3, pp.397-405.
- U. MAIONE, P. MIGNOSA, M. TOMIROTTI (2000): *Synthetic Design Hydrographs for River Flood Management, Proceedings of the International Symposium on Flood Defence*, 20-23 Settembre 2000, Kassel, Germania, Herkules Verlag, Kassel, vol.1, pp.F-131-F-140.
- U. MAIONE, P. MIGNOSA, M. TOMIROTTI (2000): *Sul calcolo del volume degli invasi di laminazione*, L'Acqua, n.5, pp. 19-28.
- MOISELLO U. (1998): *Idrologia Tecnica*, La Goliardica Pavese, Pavia.
- Ministero dei Lavori Pubblici. Magistrato per il Po. Ufficio Speciale del Genio Civile per il Po. Parma perizia 22.12.1970 n°2090 per lo studio sui modelli idraulici presso il centro sperimentale di Boretto. Modello torrente Parma.