

RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA
- LITORALE DI CALOPEZZATI -



Prof. Ing. Francesco Aristodemo
Ing. Danilo Algieri Ferraro

INDICE

1. STUDIO MORFOMETRICO, IDROLOGICO E IDRAULICO.....	3
1.1. Caratteri morfometrici del bacino del torrente Fiumarella.....	3
1.1.1. Valutazione della permeabilità.....	5
1.2. Stima della massima portata al colmo di piena per T = 50, 200 e 500 anni e della curva di durata.....	7
1.2.1. Calcolo del tempo di corrivazione.....	7
1.2.2. Curve di probabilità pluviometriche.....	8
1.2.3. Pluviogrammi di calcolo.....	13
1.2.4. Modello afflussi/deflussi.....	15
1.3. Stima della curva di durata.....	18

1. STUDIO MORFOMETRICO, IDROLOGICO E IDRAULICO

1.1 Caratteri morfometrici del bacino del torrente Fiumarella

Per delimitare il bacino idrografico in esame (Fig. 1) ci si è avvalsi di DTM (Digital Terrain Model) con risoluzione 5 m x 5 m, considerando come sezione di chiusura la foce del torrente Fiumarella. In questo contesto, è stata misurata l'area, A , della superficie topografica. È stata quindi ricavata la curva ipsografica, dalla quota massima, $H_{\max} = 645$ m alla quota della sezione di chiusura, $H_0 = 0$ m, e si è calcolata l'altitudine media, H_m , come quota di compenso della curva stessa, ottenendo $H_m = 204.20$ m (Fig. 2) attraverso la seguente relazione:

$$H_m = \frac{\sum_{i=1}^N H_{mi} A_i}{A}$$

dove A (superficie totale del bacino) = 31.41 km^2 .



Fig. 1. Delimitazione del bacino idrografico del torrente Fiumarella

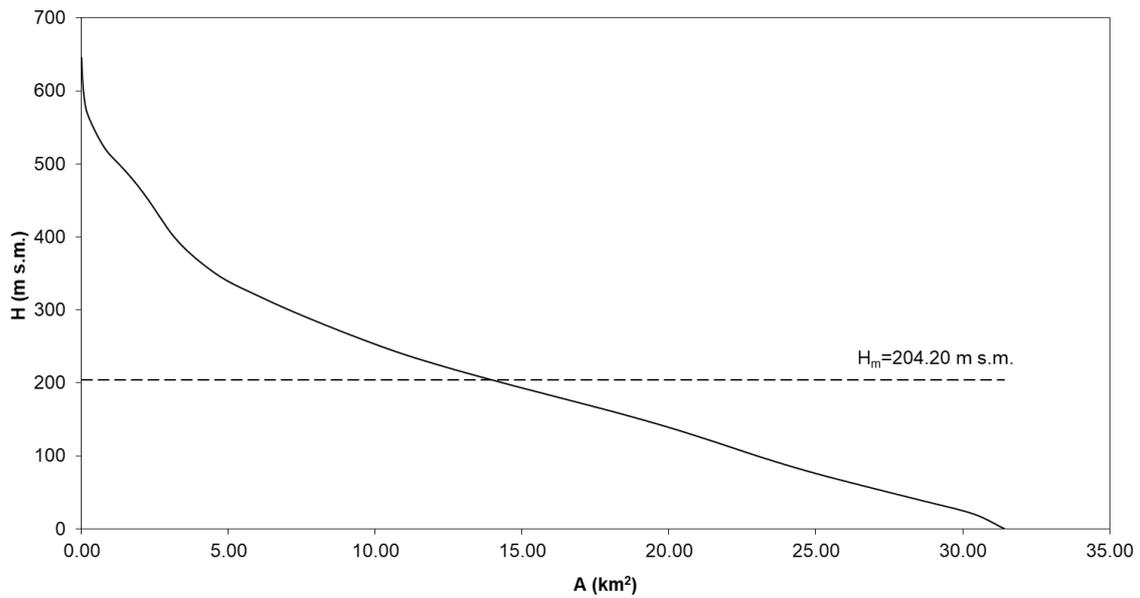


Fig. 2. Curva ipsografica del bacino del torrente Fiumarella

Inoltre, si è tracciato il profilo longitudinale dell'asta principale e si è ricavata la pendenza media, $i_a = 1.50 \%$, secondo la formula di Taylor e Schwarz (Fig. 3):

$$i_a = \left(\frac{L}{\sum_j \frac{L_j}{\sqrt{i_j}}} \right)^2$$

essendo L_j e i_j rispettivamente la lunghezza e la pendenza del j -esimo tratto fluviale ed L la lunghezza totale dell'asta principale, pari a 16.64 km.

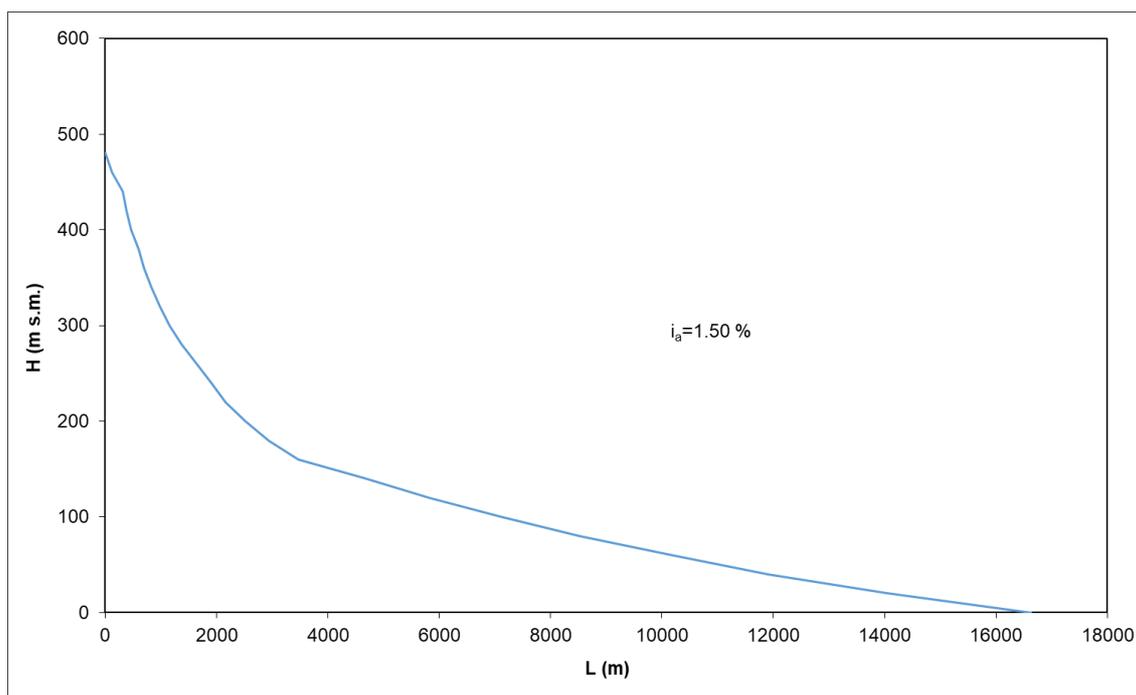


Fig. 3. Profilo longitudinale del torrente Fiumarella

1.1.1 Valutazione della permeabilità

Ai fini delle successive elaborazioni idrauliche e idrologiche, è stata valutata la permeabilità del bacino del torrente Fiumarella.

Si è fatto riferimento alla copertura e all'uso del territorio secondo il Corine Land Cover 2006 (Tabella 1).

Tabella 1. Copertura e uso del territorio secondo il Corine Land Cover 2006

Copertura/uso del territorio	Area (%)
Tessuto urbano discontinuo	0.92%
Seminativi in area non irrigua	8.02%
Frutteti e frutti minori	2.11%
Uliveti	23.80%
Prati stabili	2.77%
Colture annuali associate e colture permanenti	8.21%
Sistemi colturali e particellari permanenti	0.81%
Aree prev. occup. da colture agrarie, con spazi nat.	5.62%
Boschi di latifoglie	9.86%
Boschi di conifere	1.22%
Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota	23.06%
Aree a vegetazione sclerofilia	4.36%
Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	9.24%

Alle varie tipologie di Copertura/uso del territorio è stato associato un valore del Curve Number CN (USDA SCS, 19721) secondo la Tabella 2.

Tabella 2. Corrispondenza Corine Land Cover – Curve Number in funzione delle caratteristiche idrologiche del suolo (A, B, C, D)

CODICE	Descrizione	CN II			
		A	B	C	D
111	Tessuto urbano continuo	77	85	90	92
112	Tessuto urbano discontinuo	57	72	81	86
121	Aree industriali o commerciali	89	90	94	94
122	Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori	98	98	98	98
123	Aree portuali	89	92	94	94
124	Aeroporti	81	88	91	93
131	Aree esrattive	46	69	79	84
132	Discariche	46	69	79	84
133	Cantieri	46	69	79	84
141	Aree verdi urbane	39	61	74	80
142	Aree sportive e ricreative	39	61	74	80
211	Seminativi in aree non irrigue	70	80	86	90
212	Seminativi in aree irrigue	85	90	92	94
213	Risaie	100	100	100	100
221	Vigneti	45	66	77	83
222	Frutteti e frutti minori	45	66	77	83
223	Uliveti	45	66	77	83
231	Prati stabili	30	58	71	78
241	Colture annuali associate e colture permanenti	58	73	82	87
242	Sistemi culturali e particellari permanenti	58	73	82	87
243	Aree prev. occup.da colture agrarie, con spazi nat.	52	70	80	84
244	Aree agroforestali	58	73	82	87
311	Boschi di latifoglie	36	60	73	79
312	Boschi di conifere	36	60	73	79
313	Boschi misti	36	60	73	79
321	Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota	49	69	79	84
322	Brughiere e cespuglieti	49	69	79	84
323	Aree a vegetazione sclerofilia	49	69	79	84
324	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	36	60	73	79
331	Spiagge, dune, sabbie	76	85	89	91
332	Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti	77	86	91	94
333	Aree con vegetazione rada	49	69	79	84
334	Aree percorse da incendi	77	86	91	94
335	Ghiacciai e nevi perenni	100	100	100	100
411	Paludi interne	100	100	100	100
412	Torbiere	100	100	100	100
421	Paludi salmastre	100	100	100	100
422	Saline	100	100	100	100
423	Zone intertidali	100	100	100	100
511	Corsi d'acqua, canali e idrovie	100	100	100	100
512	Bacini d'acqua	100	100	100	100
521	Lagune	100	100	100	100
522	Estuari	100	100	100	100

In base alla natura dei suoli, è stato considerato il gruppo idrologico intermedio C. In aggiunta, si ritiene che la migliore stima della permeabilità si ottenga tramite del CN II, corrispondente ad una *Antecedent Moisture Condition* intermedia.

Il valore risultante determinato è pari a $CN = 77.95$.

¹ USDA Soil Conservation Service (1972). National engineering handbook, Section 4: Hydrology, Chapters 4–10, Washington, DC., 15-7–15-11.

1.2 Stima della massima portata al colmo di piena per T= 50, 100 e 200 anni

La massima portata al colmo di piena sarà calcolata attraverso un metodo di trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi superficiali.

Preliminarmente, si è proceduto al calcolo del tempo di corrivazione dei bacini, alla determinazione delle curve di probabilità pluviometrica per i tempi di ritorno T = 50, 200 e 500 anni e, quindi, alla costruzione dei pluviogrammi di calcolo necessari per l'applicazione del metodo afflussi/deflussi.

1.2.1 Calcolo del tempo di corrivazione

Per il calcolo del tempo di corrivazione, t_c , dei bacini, sono state adoperate diverse formule, tra le numerose presenti in letteratura, ritenute di buona capacità predittiva.

1) Formula di Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m - H_0}},$$

essendo t_c (ore) il tempo di corrivazione, A (km²) l'area della superficie topografica, L (km) la lunghezza dell'asta principale, H_m (m) l'altitudine media del bacino, H_0 (m) la quota della sezione di chiusura.

2) Formula di Puglisi e Zanframundo:

$$t_c = 6 \frac{L^{2/3}}{d^{1/3}},$$

essendo L (km) e d (m) rispettivamente la lunghezza e il dislivello dell'asta principale.

3) Formula di Viparelli:

$$t_c = L/V$$

essendo L (m) la lunghezza dell'asta principale e V (m/s) la velocità di scorrimento dell'acqua nel percorso relativo sia ai versanti che alla rete idrografica, ritenuta dal Viparelli pari a 1÷1.5 m/s.

Nella Tabella 3 sono mostrati i risultati ottenuti, il valore medio e il valore di progetto (il più basso), scelto a vantaggio di sicurezza poiché induce portate idriche maggiori nell'applicazione della modellazione afflusso-deflusso.

Tabella 3. Valori del tempo di corrivazione del bacino del torrente Fiumarella

Bacino	t _c (ore)				
	Giandotti	Puglisi e Zanframundo	Viparelli (V=1,5 m/s)	Media	Valore di progetto
Torrente Fiumarella	4.14	4.56	3.08	3.93	3.08

1.2.2 Curve di probabilità pluviometriche

La curva di probabilità pluviometrica viene rappresentata da un formula di tipo monomio del tipo:

$$h_{t,T} = a \cdot t^n$$

dove:

a ed n , parametri della distribuzione e dipendenti dal tempo di ritorno T , rappresentano, rispettivamente, intercetta e coefficiente angolare della curva di probabilità pluviometrica in un diagramma bilogarithmico.

La legge di distribuzione probabilistica prescelta per la variabile casuale h_t è la *Two Component Extreme Value* (TCEV),² secondo cui i valori estremi di una grandezza idrologica provengono da due diverse popolazioni: una degli eventi normali e un'altra degli eventi eccezionali (*outliers*), legati a differenti fenomeni meteorologici. Tale modello è in grado di riprodurre i principali caratteri statistici delle serie storiche delle piogge e viene utilizzato nelle direttive del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Regione Calabria.

Visto che non sono disponibili misurazioni dirette della portata al colmo di piena, si è reso necessario adottare un modello idrologico afflussi-deflussi, seguendo un approccio di tipo regionalizzato per lo studio delle piogge.

La funzione di distribuzione di probabilità (*Cumulative Distribution Function*, CDF) della variabile casuale X è espressa come segue:

$$F_x(x) = \exp\left(-\Lambda_1 e^{-\frac{x}{\theta_1}} - \Lambda_2 e^{-\frac{x}{\theta_2}}\right)$$

essendo Λ_1 , θ_1 , Λ_2 e θ_2 i quattro parametri della distribuzione. Essa equivale al prodotto di due CDF della legge del valore estremo di Gumbel, con cui coincide per $\Lambda_2=0$.

² Rossi F., Versace P. (1982), *Criteri e metodi per l'analisi statistica delle piene*, Valutazione delle piene, C.N.R. – P.F. Conservazione del suolo, 165, 63-130.

I quattro parametri esprimono: il numero medio annuo di eventi indipendenti superiori a una soglia delle due popolazioni (Λ_1 e Λ_2) e il loro valore medio (θ_1 e θ_2). Se si pone $\theta^*=\theta_2/\theta_1$ e $\Lambda^*=\Lambda_2/\Lambda_1^{1/\theta^*}$, si può considerare la quaterna di parametri Λ^* , θ^* , Λ_1 e θ_1 .

La stima dei parametri può avvenire a differenti livelli:

- 0) livello di regionalizzazione zero, in cui i parametri sono tutti stimati dalla singola serie di dati, qualora se ne possiedano nel sito d'interesse;
- 1) livello di regionalizzazione uno, in cui i parametri Λ^* e θ^* sono stimati regionalmente e i parametri Λ_1 e θ_1 sono stimati puntualmente;
- 2) livello di regionalizzazione due, in cui i parametri Λ^* , θ^* e Λ_1 sono stimati regionalmente e il parametro θ_1 è stimato puntualmente;
- 3) livello di regionalizzazione tre, in cui tutti i parametri sono stimati regionalmente.

Il valore x_T corrispondente a un 'tempo di ritorno' T (durata media fra due superamenti consecutivi) si ricava in funzione di T e dei quattro parametri comunque stimati. Nel presente studio, x_T indica l'altezza di pioggia di durata t per T assegnato, $h_{t,T}$.

Nella *Valutazione delle piene in Calabria (VAPI)*, l'analisi delle piogge giornaliere ha portato alla verifica dell'ipotesi che la Calabria sia una zona pluviometricamente omogenea, ossia nella quale si possa ritenere costante il coefficiente di asimmetria, γ_1 ; ciò implica la costanza dei parametri $\Lambda^*=0.418$ e $\theta^*=2.154$. Si sono, quindi, individuate tre sottozone in cui si ritiene costante il coefficiente di variazione, γ , e di conseguenza il parametro Λ_1 (sottozona tirrenica, T: $\Lambda_1=48.914$; sottozona centrale, C: $\Lambda_1=22.878$; sottozona ionica, I: $\Lambda_1=10.987$). Infine, sono state delimitate 13 aree omogenee, in ciascuna delle quali si ritiene valido un legame di correlazione tra la media delle altezze di pioggia giornaliere massime annuali e la quota sul mare.

Ritenendo valida la suddivisione in sottozone e aree omogenee del VAPI³ anche per le piogge di breve durata t , si è proceduto a effettuare l'analisi delle stesse, pervenendo alla valutazione dei parametri Λ^* , θ^* e Λ_1 per le diverse durate, $t=1, 3, 6, 12, 24$ ore (Tabella 4), attraverso il metodo della massima verosimiglianza (*Maximum Likelihood*, ML).⁴

³ Le aree pluviometricamente omogenee della Calabria sono state individuate in precedenti indagini idrologiche (Versace P., Ferrari E., Gabriele S., Rossi F., *Valutazione delle piene in Calabria*, bozza finale, C.N.R.-I.R.P.I. Rende – Geodata 30, Cosenza, dicembre 1989).

⁴ Gabriele, S., Iiritano, G., *Alcuni aspetti teorici ed applicativi nella regionalizzazione delle piogge con il modello TCEV*, GNDICI – Linea 1 U.O. 1.4 – Pubblicazione n. 1089, CNR-IRPI Rende (CS), maggio 1994.

Tabella 4. Valori dei parametri Λ^* , θ^* e Λ_1 della TCEV per durate orarie

Durata (ore)	Calabria zona omogenea		Λ_1 per sottozone omogenee (Calabria)		
	Λ^*	θ^* (mm)	tirrenica	centrale	ionica
1	0.1997	2.0735	13.03	12.84	12.26
3	0.2614	2.41	21.26	17.77	14.02
6	0.2834	2.3103	25.17	18.97	14.17
12	0.2915	2.2148	31.85	17.6	12.91
24	0.3610	1.942	31.54	13.42	10.26

Per le 13 aree omogenee il valor medio delle intensità di pioggia massime annuali di breve durata, μ_i , per una durata della pioggia, t , con stazione di misura posta alla quota sul mare, H , viene determinato mediante la seguente espressione:

$$\mu_i(t, H) = \frac{i_0}{(1 + t/t_{car})^{C+D \cdot H}}$$

in cui i_0 è il valore finito dell'intensità di pioggia per durate tendenti a zero, t_{car} è una durata caratteristica che rende massimo il coefficiente di correlazione multipla, C e D sono dei coefficienti.

Il bacino idrografico oggetto di studio ricade nell'area omogenea centrale Sila Grande (C3); pertanto, si è pervenuti alla seguente espressione:

$$\mu_i(t, H) = \frac{41.36}{(1 + t/2.338)^{0.988984 + 0.0000159 \cdot H}}$$

Al terzo livello di regionalizzazione, partendo da tale espressione si può pervenire alla stima di $\theta_1(t)$, al variare della durata della pioggia, nota l'altitudine media del bacino. Essendo già stati stimati i parametri $\Lambda^*(t)$, $\theta^*(t)$ e $\Lambda_1(t)$, ciò consente di caratterizzare completamente la CDF della distribuzione TCEV. Infatti, nota l'altitudine media del bacino, si ottiene la media $\mu_i(t)$ in funzione della sola durata e, di conseguenza, la media delle altezze di pioggia massime annuali di breve durata, $\mu_h(t) = \mu_i(t) \cdot t$, da cui si ricava $\theta_1(t) = \mu_h(t) / \eta(t)$, essendo:

$$\eta(t) = \ln[\Lambda_1(t)] + 0.5772 - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j [\Lambda_*(t)]^j}{j!} \Gamma\left[\frac{j}{\mathcal{G}_*(t)}\right]$$

Di seguito vengono riportati i parametri della distribuzione utilizzata:

Tabella 5. Valori dei parametri θ_1 , θ_2 e Λ_2 della TCEV per le durate orarie considerate

Durata (ore)	θ_1 (mm)	θ_2 (mm)	Λ_2
1	8.556	17.741	0.68
3	14.391	34.682	0.86
6	18.355	42.406	1.01
12	22.110	48.968	1.06
24	25.883	50.265	1.37

Pertanto, definiti i 4 parametri che caratterizzano la distribuzione TCEV (A_1 , A_2 , θ_1 e θ_2) per le piogge relative a 1, 3, 6, 12 e 24 ore, si ottengono le seguenti equazioni.

- Distribuzione probabilistica TCEV per piogge di durata 1 ora:

$$F_h(h) = e^{-12.84e^{-\frac{h}{8.556}} - 0.68e^{-\frac{h}{17.741}}}$$

- Distribuzione probabilistica TCEV per piogge di durata 3 ore:

$$F_h(h) = e^{-17.77e^{-\frac{h}{14.391}} - 0.86e^{-\frac{h}{34.682}}}$$

- Distribuzione probabilistica TCEV per piogge di durata 6 ore:

$$F_h(h) = e^{-18.97e^{-\frac{h}{18.355}} - 1.01e^{-\frac{h}{42.406}}}$$

- Distribuzione probabilistica TCEV per piogge di durata 12 ore:

$$F_h(h) = e^{-17.60e^{-\frac{h}{22.11}} - 1.06e^{-\frac{h}{48.968}}}$$

- Distribuzione probabilistica TCEV per piogge di durata 24 ore:

$$F_h(h) = e^{-13.42e^{-\frac{h}{25.883}} - 1.37e^{-\frac{h}{50.265}}}$$

La procedura di calcolo al terzo livello di regionalizzazione prevede, pertanto, la scelta di un valore del tempo di ritorno, T, la valutazione della probabilità di non superamento a esso legata, $F(T)=1-1/T$, e il calcolo di $x_T=h_{t,T}$ dalla CDF della TCEV, massimo annuale dell'altezza di pioggia di durata t per un fissato tempo di ritorno.

Le curve di probabilità pluviometrica per i tempi di ritorno T=50, 200 e 500 anni sono state ricavate interpolando, con una funzione di potenza del tipo $y=a*x^n$, le altezze di pioggia $h_{1,T}$, $h_{3,T}$, $h_{6,T}$, $h_{12,T}$ e $h_{24,T}$ ottenute con la procedura suddetta, e ricavando quindi i coefficienti di taratura a ed n che rappresentano i parametri della curva di probabilità pluviometrica.

Tabella 6. Altezze di pioggia di durata pari a 1, 3, 6, 12 e 24 ore per un fissato tempo di ritorno

t (ore)	$h_{t,T=50 \text{ anni}}$ (mm)	$h_{t,T=200 \text{ anni}}$ (mm)	$h_{t,T=500 \text{ anni}}$ (mm)
1	67.39	88.71	104.10
3	133.24	179.04	210.52
6	169.98	225.85	264.26
12	199.54	263.53	307.70
24	219.57	284.51	329.36

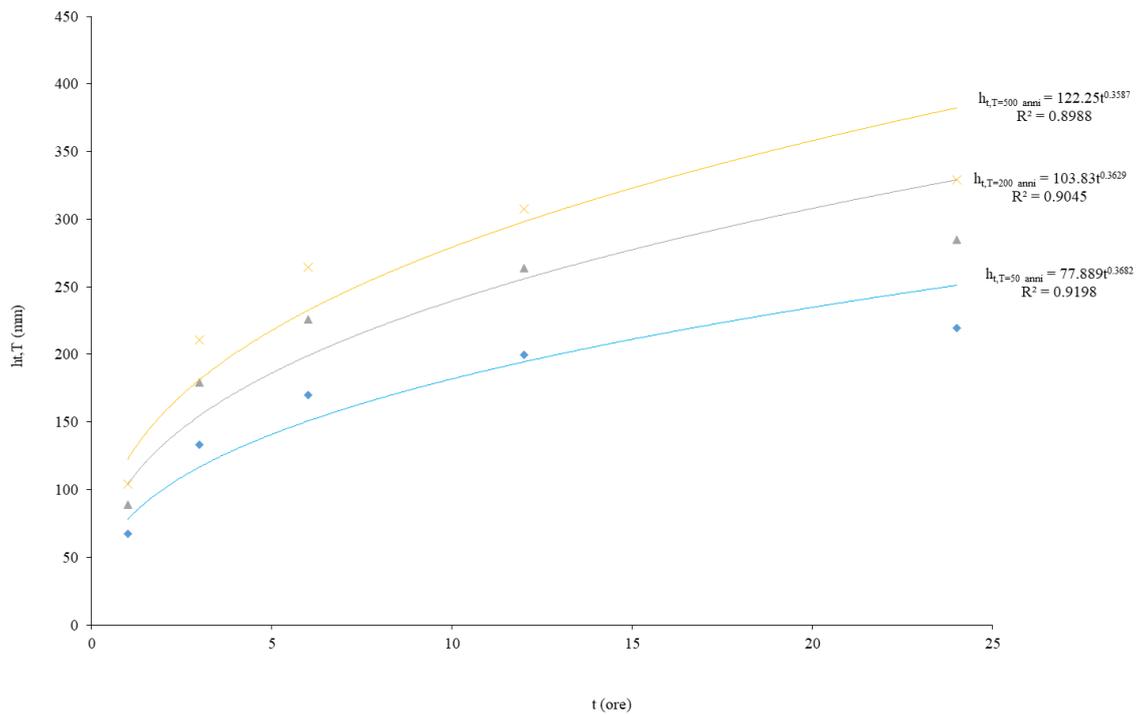


Fig. 4. Curve di probabilità pluviometrica per il bacino del torrente Fiumarella per tempi di ritorno $T = 50, 200$ e 500 anni

Pertanto, le equazioni delle curve di probabilità pluviometrica individuate sono le seguenti:

- Tempo di ritorno di 50 anni:

$$h_{T=50anni} = 77.889t^{0.3682}$$

- Tempo di ritorno di 200 anni:

$$h_{T=200anni} = 103.83t^{0.3629}$$

- Tempo di ritorno di 500 anni:

$$h_{T=500anni} = 122.25t^{0.3587}$$

1.2.3 Pluviogrammi di calcolo

Il pluviogramma di calcolo, che costituisce il principale dato d'ingresso del metodo afflussi/deflussi, è stato costruito a partire dalle altezze di pioggia cumulate, $h_{t,T}$, e parziali, $\Delta h_{t,T}$, stimate attraverso la curva di probabilità pluviometrica a intervalli di 1 minuto.

Al fine di ottenere un pluviogramma a un solo picco, si è adottato il metodo della composizione, riordinando gli incrementi di pioggia, $\Delta h_{t,T}$, in modo da presentare un picco centrale e un andamento a campana, così come mostrato nelle seguenti Figg. 5 - 7, relative rispettivamente a tempi di ritorno $T = 50, 200$ e 500 anni.

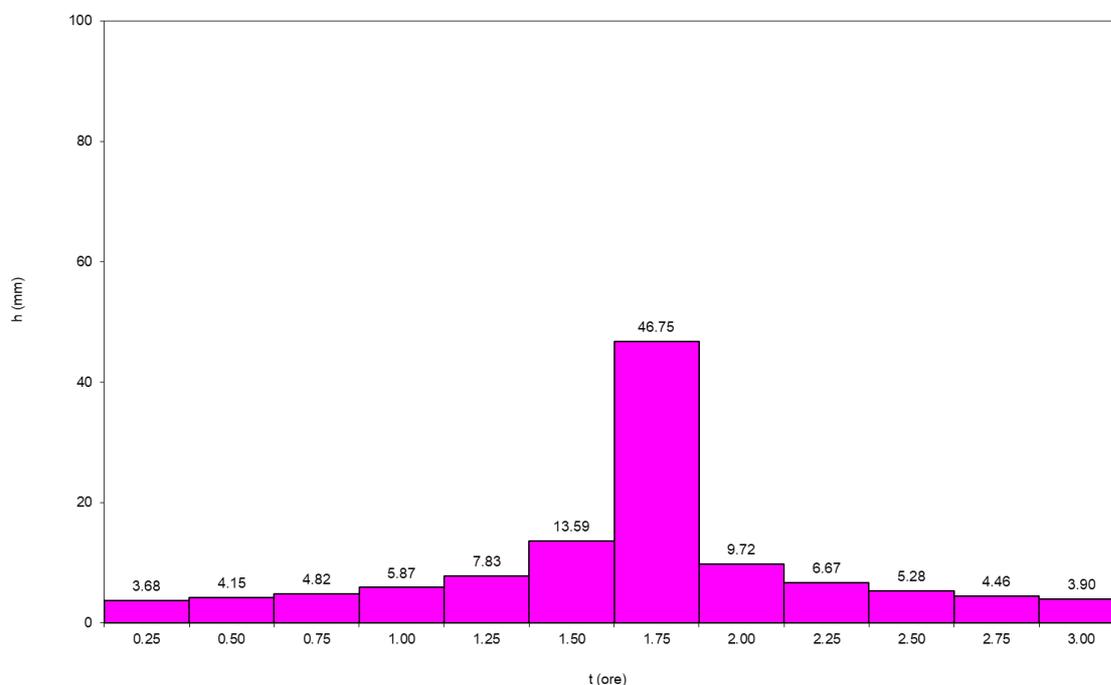


Fig. 5. Pluviogramma di calcolo per il bacino del Torrente Fiumarella, $T=50$ anni

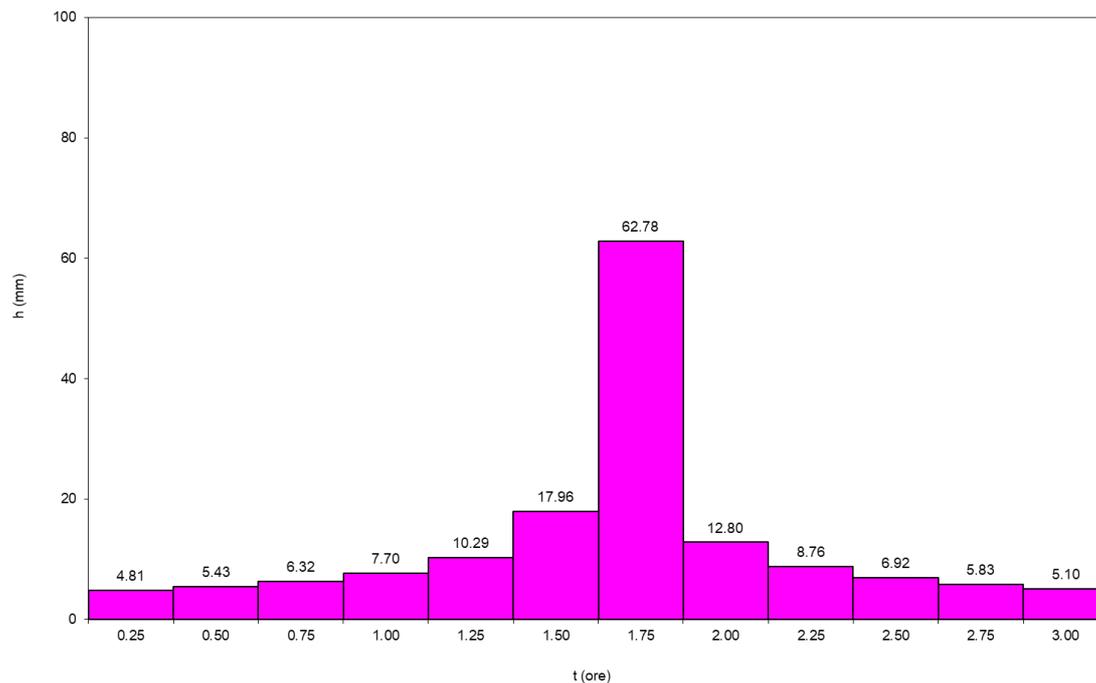


Fig. 6. Pluviogramma di calcolo per il bacino del Torrente Fiumarella, T=200 anni

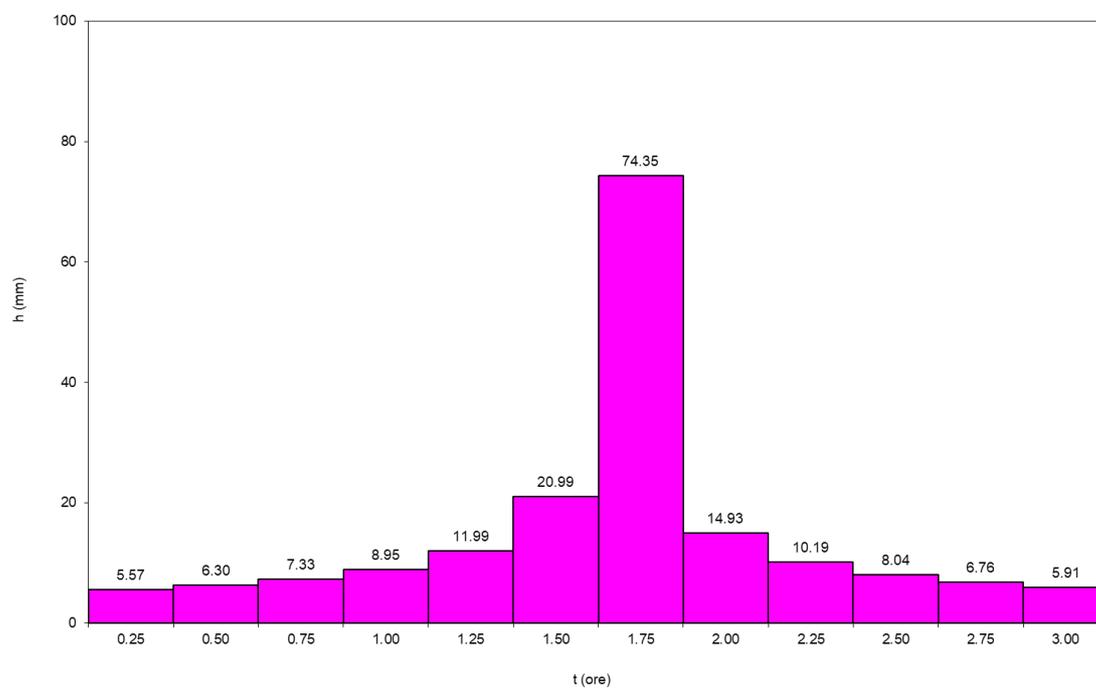


Fig. 7. Pluviogramma di calcolo per il bacino del Torrente Fiumarella, T=500 anni

1.2.4 Modello afflussi/deflussi

Per la trasformazione degli afflussi meteorici (pluviogrammi di calcolo) in deflussi superficiali, si è utilizzato il programma di calcolo HEC-HMS *The Hydrologic Modeling System* del *US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center*.

Gli afflussi vengono considerati, a vantaggio di sicurezza, uniformemente distribuiti sull'intero bacino chiuso alla foce. Dapprima essi vengono depurati per ottenere le piogge nette; infatti, non tutto il volume affluito si trasforma in deflusso, poiché parte di esso viene intercettato dalla vegetazione, parte evapotraspira, parte s'invasa nelle piccole depressioni superficiali del suolo e parte s'infiltra nel terreno.

Il calcolo delle piogge nette è stato effettuato col metodo del *Curve Number* (CN) del *Soil Conservation Service* (SCS). Partendo dall'equazione di continuità:

$$R = P - S$$

in cui, all'istante t , R (mm) rappresenta l'altezza d'acqua complessivamente defluita, P (mm) l'altezza di pioggia affluita e S (mm) le perdite, si ipotizza la seguente relazione di proporzionalità tra le perdite, S , e la massima altezza immagazzinabile nel terreno a saturazione, S' (mm):

$$S/S' = R/P$$

ottenendo:

$$R = \frac{P^2}{P + S'}$$

Considerando una perdita iniziale, I_a (mm), *initial abstraction*, antecedente all'inizio dei deflussi, risulta:

$$R = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S'}$$

Poiché l'altezza massima immagazzinabile nel terreno a saturazione, S' , è ricavabile in funzione dell'indice CN, variabile tra 0 e 100 e tabulato dal SCS in funzione del tipo di terreno, dell'utilizzazione del suolo e delle condizioni antecedenti di umidità:

$$S' = \frac{25400}{CN} - 254$$

il deflusso R è ricavabile, nota l'altezza di pioggia, se si conoscono i valori di I_a e CN.

Per la stima di I_a , il SCS suggerisce la relazione empirica $I_a = 0.2S'$, ma Wisner ritiene più cautelativo porre $I_a = 2 \div 3$ mm.

La trasformazione delle piogge nette in deflussi superficiali è stata effettuata adoperando il

metodo dell'idrogramma unitario del SCS, che richiede come unico parametro d'ingresso il tempo di ritardo, t_{lag} (ore), pari all'intervallo di tempo che separa i baricentri del pluviogramma efficace e dell'idrogramma. Si può porre $t_{lag}=0.6 \cdot t_c$, essendo t_c il tempo di corrivazione del bacino.

L'istante e la portata di picco sono espressi come segue:

$$t_{picco} = 0.5\Delta t + t_{lag}$$

$$Q_{picco} = 0.208 \frac{A}{t_{picco}}$$

essendo t_{picco} (ore) il tempo cui si manifesta il picco dell'idrogramma, Δt (ore) la durata della pioggia netta, Q_{picco} (m^3/s) la portata massima dell'idrogramma riferita all'unità di pioggia e A (km^2) l'area del bacino.

La portata è ottenuta con la seguente espressione, che rappresenta la discretizzazione dell'integrale di convoluzione:

$$Q(i) = \sum_{j=1}^i U(j)P(i-j+1)$$

dove $Q(i)$ è la portata alla fine dell'intervallo i -esimo, $U(j)$ è la j -esima ordinata dell'idrogramma unitario e $P(i)$ è l'afflusso netto all'intervallo i -esimo.

I dati d'ingresso di HEC-HMS, per le applicazioni presenti, sono stati il pluviogramma di calcolo determinato per i tempi di ritorno $T= 50, 200$ e 500 anni, il tempo di ritardo $t_{lag}=0.6 \cdot t_c$, la depurazione iniziale delle piogge $I_a=2$ mm e il numero di curva CN, posto pari a 77.95 (vedi par. 2.1.1). Sono stati ottenuti gli idrogrammi di piena (Figg. 8 - 10 e Tabella 7), dove compaiono i valori delle altezze di pioggia nette, della massima portata al colmo di piena, Q_c , del contributo unitario, $q_c=Q_c/A$.

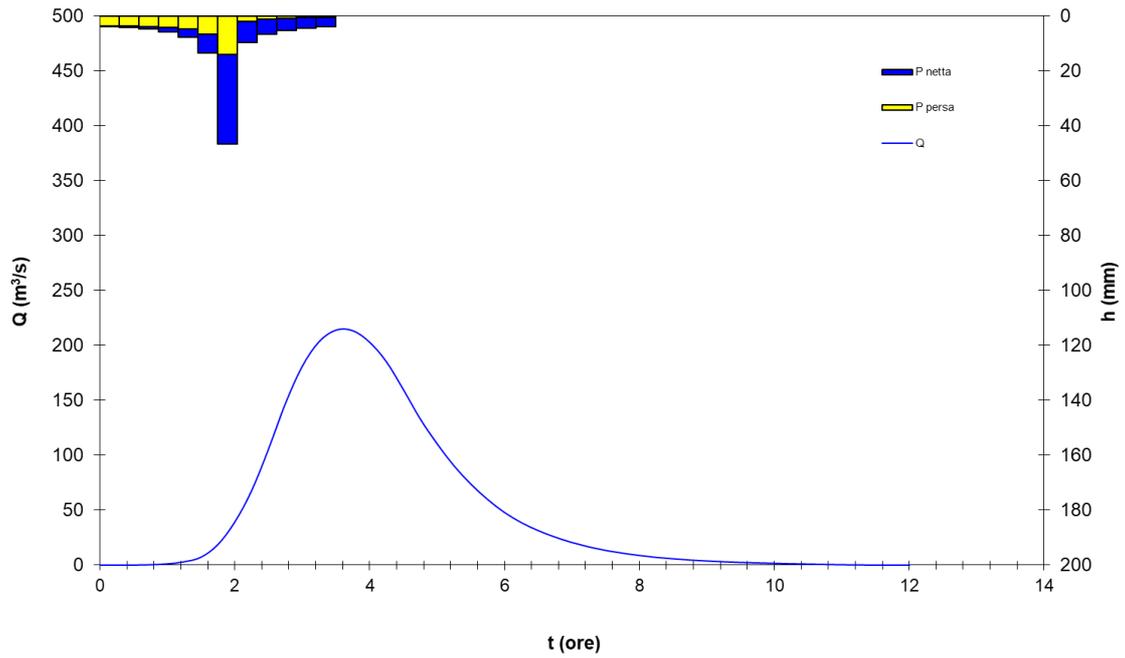


Fig. 8. Idrogramma di piena, piogge totale e piogge perse per il bacino del Torrente Fiumarella, T=50 anni

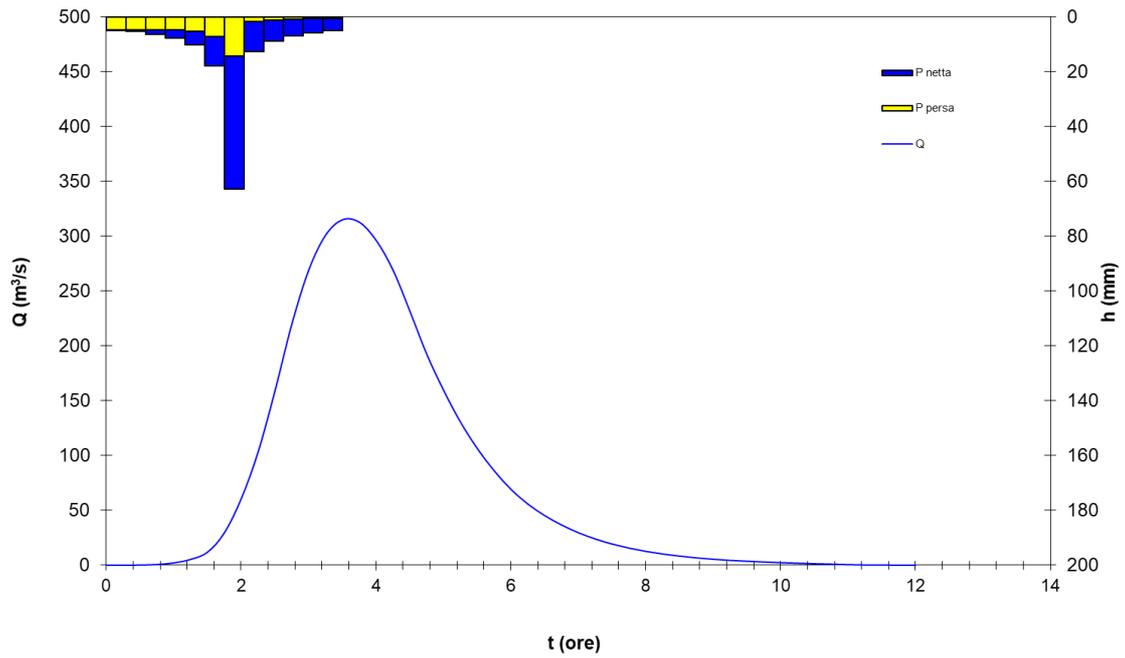


Fig. 9. Idrogramma di piena, piogge totale e piogge perse per il bacino del Torrente Fiumarella, T=200 anni

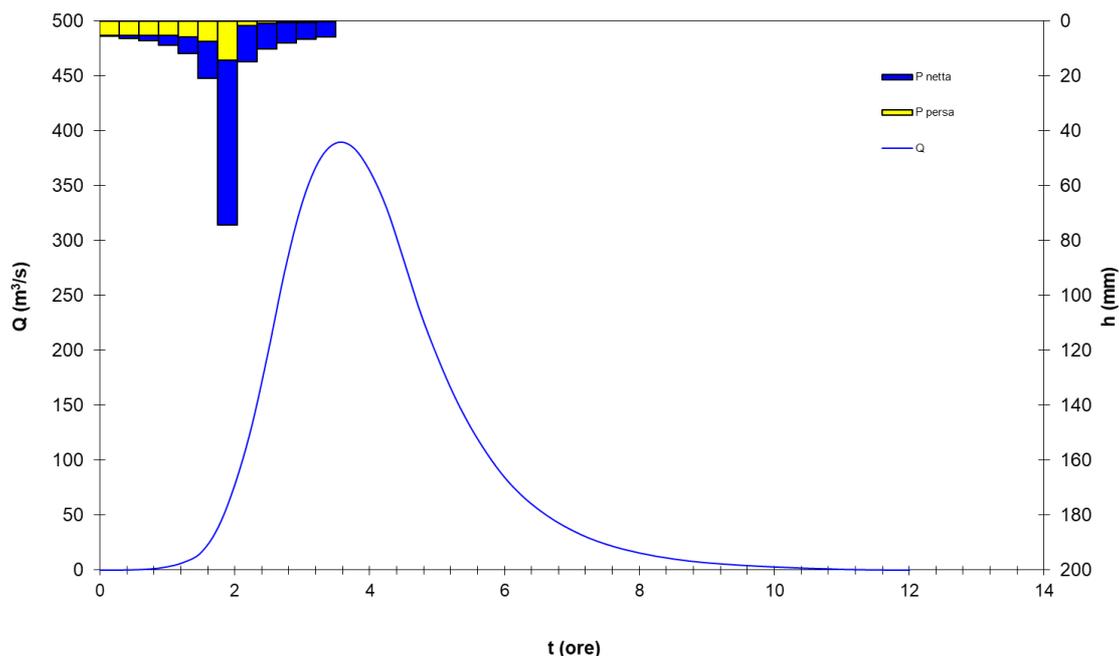


Fig. 10. Idrogramma di piena, piogge totale e piogge perse per il bacino del Torrente Fiumarella, T=500 anni

Tabella 7. Valori delle altezze di pioggia nette, della massima portata al colmo di piena, del contributo unitario, del volume defluito, del volume affluito e del coefficiente di afflusso.

T (anni)	Pnetta (mm)	Q _c (m ³ /s)	q _c (m ³ /s/km ²)
50	71	214	6.80
200	104	315	10.04
500	128	389	12.38

1.3 Stima della curva di durata

La curva di durata delle portate rappresenta uno degli strumenti grafici fra i più significativi e di più ampio utilizzo per valutare la portata attesa in una sezione fluviale.

Essa può essere costruita utilizzando valori di portata orari, giornalieri, mensili o relativi ad altri intervalli temporali di riferimento, anche se la maggior parte delle applicazioni ingegneristiche delle curve di durata si avvale dei valori giornalieri.

La curva di durata esprime, infatti, nella maggior parte dei casi, la relazione tra i valori osservati delle portate medie giornaliere e il numero di giorni in cui tali valori sono superati o eguagliati nell'arco del generico anno.

Non essendo disponibili dati di portata sul torrente Fiumarella, per la stima della curva di durata sono stati utilizzati i dati di altezza di pioggia giornaliera registrati presso la stazione termopluviometrica del Centro Funzionale Multirischi denominata "Cropolati" (cod. 1380) (Fig.

12).



Fig. 12. Stazione pluviografica di Cropalati, cod. 1380

Della suddetta stazione sono state utilizzati le registrazioni dal 1970 ad oggi, ovvero 50 anni di osservazioni.

I dati pluviometrici sono stati elaborati mediante il software HEC-HMS per la trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi superficiali. I dati d'ingresso di HEC-HMS, utilizzando sempre il metodo SCS-Curve number, sono i medesimi dell'analisi già effettuata per le portate a diversi tempi di ritorno. Dalle serie ricavate, considerando i valori massimi e medi giornalieri sono state determinate, rispettivamente, le curve di durata massima (Fig. 13) e media (Fig. 14) alla foce del torrente Fiumarella. La tabella 8 mostra i valori di portata delle curve di durata massima e media e il numero di giorni in cui tali valori sono superati o eguagliati nell'arco del generico anno.

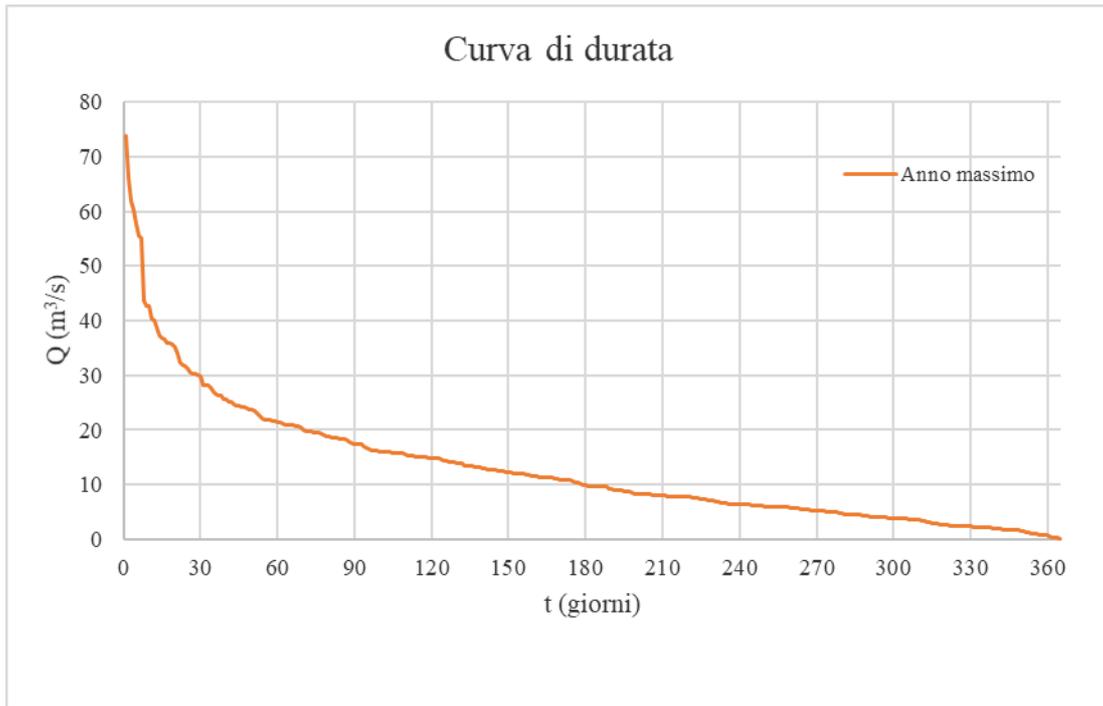


Fig. 13. Curve di durata massima alla foce del torrente Fiumarella

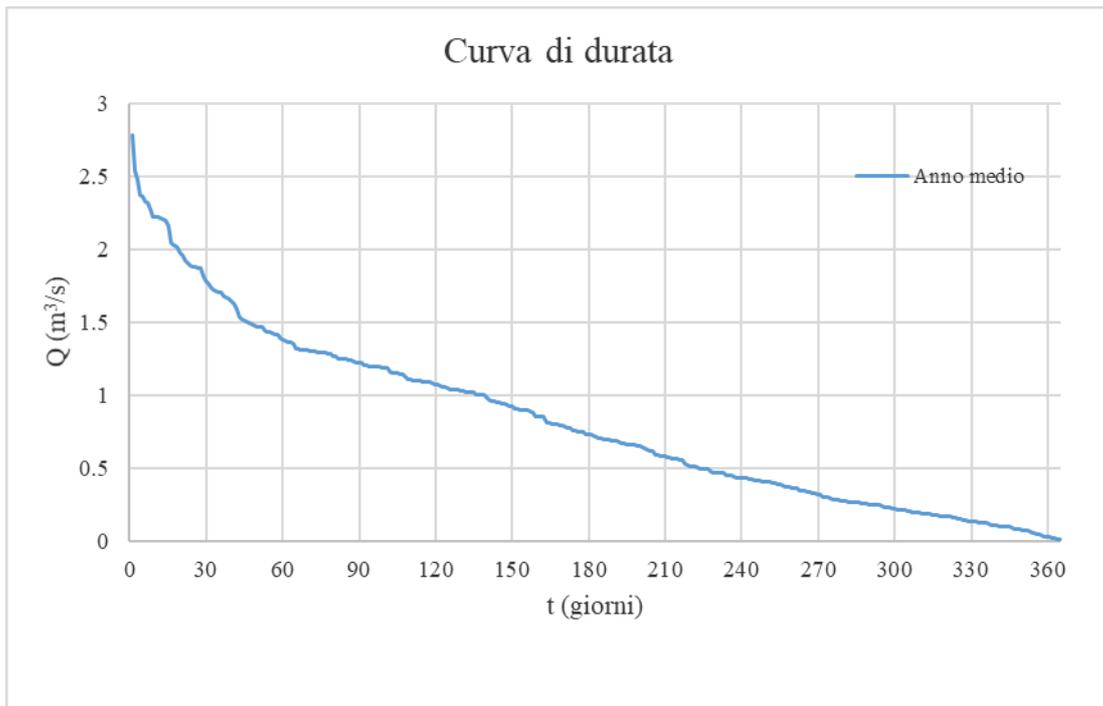


Fig. 14. Curve di durata media alla foce del torrente Fiumarella

Tabella 8. Curve di durata massima e media alla foce del torrente Fiumarella

tempo (giorni)	Q _{Anno medio} (m ³ /s)	Q _{Anno massimo} (m ³ /s)	tempo (giorni)	Q _{Anno medio} (m ³ /s)	Q _{Anno massimo} (m ³ /s)	tempo (giorni)	Q _{Anno medio} (m ³ /s)	Q _{Anno massimo} (m ³ /s)	tempo (giorni)	Q _{Anno medio} (m ³ /s)	Q _{Anno massimo} (m ³ /s)	tempo (giorni)	Q _{Anno medio} (m ³ /s)	Q _{Anno massimo} (m ³ /s)
1	2.79	73.80	74	1.30	19.50	147	0.94	12.40	220	0.51	7.70	293	0.25	4.10
2	2.54	66.20	75	1.30	19.50	148	0.93	12.40	221	0.51	7.70	294	0.25	4.10
3	2.48	61.90	76	1.29	19.50	149	0.92	12.30	222	0.51	7.60	295	0.24	4.00
4	2.38	60.20	77	1.29	19.20	150	0.92	12.20	223	0.51	7.60	296	0.23	4.00
5	2.37	57.70	78	1.28	19.00	151	0.91	12.20	224	0.50	7.50	297	0.23	4.00
6	2.33	55.60	79	1.28	18.90	152	0.91	12.10	225	0.50	7.40	298	0.23	3.90
7	2.32	55.20	80	1.27	18.70	153	0.90	12.10	226	0.49	7.40	299	0.22	3.90
8	2.27	43.60	81	1.26	18.60	154	0.90	11.90	227	0.49	7.30	300	0.22	3.80
9	2.22	42.80	82	1.25	18.50	155	0.90	11.90	228	0.48	7.00	301	0.22	3.80
10	2.22	42.60	83	1.25	18.50	156	0.89	11.90	229	0.47	7.00	302	0.21	3.80
11	2.22	40.40	84	1.25	18.30	157	0.89	11.80	230	0.47	7.00	303	0.21	3.80
12	2.21	40.20	85	1.25	18.30	158	0.88	11.70	231	0.47	6.90	304	0.21	3.70
13	2.21	38.60	86	1.24	18.30	159	0.86	11.60	232	0.47	6.80	305	0.21	3.70
14	2.19	37.40	87	1.24	18.20	160	0.86	11.60	233	0.47	6.70	306	0.20	3.60
15	2.16	36.90	88	1.23	17.80	161	0.85	11.50	234	0.45	6.70	307	0.20	3.60
16	2.05	36.60	89	1.23	17.70	162	0.85	11.40	235	0.45	6.60	308	0.20	3.60
17	2.03	35.80	90	1.23	17.40	163	0.84	11.30	236	0.45	6.50	309	0.19	3.50
18	2.02	35.80	91	1.22	17.40	164	0.81	11.30	237	0.44	6.50	310	0.19	3.50
19	2.01	35.60	92	1.20	17.40	165	0.81	11.30	238	0.44	6.50	311	0.19	3.30
20	1.98	35.10	93	1.20	17.30	166	0.80	11.30	239	0.43	6.40	312	0.19	3.30
21	1.96	34.10	94	1.20	16.90	167	0.80	11.20	240	0.43	6.40	313	0.18	3.10
22	1.92	32.30	95	1.20	16.70	168	0.80	11.10	241	0.43	6.40	314	0.18	3.00
23	1.91	31.90	96	1.20	16.40	169	0.80	11.10	242	0.43	6.40	315	0.18	2.90
24	1.89	31.60	97	1.19	16.20	170	0.79	10.90	243	0.42	6.30	316	0.18	2.90
25	1.89	31.30	98	1.19	16.20	171	0.78	10.90	244	0.42	6.30	317	0.18	2.80
26	1.88	30.50	99	1.19	16.20	172	0.78	10.90	245	0.42	6.20	318	0.17	2.70
27	1.88	30.20	100	1.19	16.10	173	0.78	10.90	246	0.42	6.20	319	0.17	2.70
28	1.87	30.20	101	1.19	15.90	174	0.76	10.80	247	0.41	6.20	320	0.17	2.60
29	1.82	30.00	102	1.17	15.90	175	0.76	10.60	248	0.41	6.20	321	0.17	2.60
30	1.79	29.70	103	1.15	15.90	176	0.75	10.30	249	0.41	6.20	322	0.17	2.50
31	1.77	28.20	104	1.15	15.90	177	0.75	10.30	250	0.41	6.00	323	0.16	2.50
32	1.74	28.20	105	1.15	15.80	178	0.74	10.10	251	0.40	5.90	324	0.16	2.50
33	1.72	28.20	106	1.14	15.80	179	0.73	9.80	252	0.40	5.90	325	0.16	2.50
34	1.71	27.80	107	1.14	15.70	180	0.73	9.80	253	0.40	5.90	326	0.15	2.30
35	1.71	26.90	108	1.12	15.70	181	0.73	9.70	254	0.39	5.90	327	0.15	2.30
36	1.70	26.50	109	1.11	15.70	182	0.72	9.70	255	0.39	5.90	328	0.14	2.30
37	1.68	26.20	110	1.11	15.60	183	0.71	9.70	256	0.38	5.90	329	0.14	2.30
38	1.67	26.20	111	1.10	15.30	184	0.71	9.60	257	0.38	5.90	330	0.14	2.30
39	1.67	25.70	112	1.10	15.30	185	0.70	9.60	258	0.38	5.80	331	0.13	2.20
40	1.65	25.50	113	1.10	15.20	186	0.70	9.60	259	0.37	5.80	332	0.13	2.20
41	1.63	25.10	114	1.10	15.10	187	0.70	9.60	260	0.37	5.70	333	0.13	2.20
42	1.59	25.10	115	1.09	15.10	188	0.69	9.60	261	0.36	5.70	334	0.12	2.20
43	1.54	24.60	116	1.09	15.10	189	0.69	9.20	262	0.36	5.70	335	0.12	2.10
44	1.52	24.50	117	1.09	15.00	190	0.69	9.10	263	0.35	5.70	336	0.12	2.10
45	1.51	24.50	118	1.09	15.00	191	0.68	9.00	264	0.35	5.50	337	0.12	2.10

46	1.50	24.20	119	1.08	14.90	192	0.68	9.00	265	0.34	5.40	338	0.11	2.10
47	1.50	24.20	120	1.08	14.90	193	0.67	8.90	266	0.34	5.40	339	0.11	2.00
48	1.49	24.00	121	1.07	14.90	194	0.67	8.90	267	0.33	5.40	340	0.10	2.00
49	1.48	23.80	122	1.07	14.80	195	0.66	8.80	268	0.33	5.30	341	0.10	2.00
50	1.47	23.70	123	1.06	14.80	196	0.66	8.70	269	0.32	5.30	342	0.10	1.90
51	1.47	23.40	124	1.06	14.60	197	0.66	8.70	270	0.32	5.10	343	0.10	1.80
52	1.47	22.90	125	1.05	14.30	198	0.66	8.40	271	0.32	5.10	344	0.10	1.80
53	1.44	22.50	126	1.04	14.30	199	0.66	8.30	272	0.30	5.10	345	0.10	1.80
54	1.43	22.10	127	1.04	14.20	200	0.65	8.30	273	0.30	5.10	346	0.09	1.70
55	1.43	21.90	128	1.04	14.10	201	0.64	8.30	274	0.30	5.00	347	0.08	1.70
56	1.42	21.80	129	1.04	14.00	202	0.64	8.30	275	0.29	5.00	348	0.08	1.60
57	1.42	21.80	130	1.03	13.90	203	0.62	8.30	276	0.28	4.90	349	0.08	1.60
58	1.42	21.70	131	1.03	13.80	204	0.62	8.20	277	0.28	4.90	350	0.08	1.50
59	1.39	21.60	132	1.02	13.80	205	0.62	8.20	278	0.28	4.90	351	0.07	1.40
60	1.38	21.40	133	1.02	13.50	206	0.59	8.10	279	0.28	4.80	352	0.07	1.30
61	1.37	21.30	134	1.02	13.40	207	0.59	8.10	280	0.27	4.80	353	0.06	1.20
62	1.36	21.20	135	1.02	13.30	208	0.58	8.10	281	0.27	4.60	354	0.06	1.10
63	1.36	21.00	136	1.01	13.30	209	0.58	8.00	282	0.27	4.60	355	0.05	1.00
64	1.36	21.00	137	1.01	13.20	210	0.58	8.00	283	0.27	4.50	356	0.05	1.00
65	1.32	20.90	138	1.00	13.20	211	0.57	8.00	284	0.27	4.50	357	0.04	0.80
66	1.32	20.80	139	1.00	13.20	212	0.57	7.90	285	0.27	4.50	358	0.04	0.70
67	1.31	20.70	140	0.98	13.00	213	0.57	7.90	286	0.27	4.40	359	0.03	0.70
68	1.31	20.60	141	0.97	12.90	214	0.57	7.90	287	0.26	4.40	360	0.03	0.70
69	1.31	20.40	142	0.96	12.80	215	0.56	7.90	288	0.25	4.30	361	0.03	0.60
70	1.31	20.00	143	0.96	12.70	216	0.56	7.90	289	0.25	4.30	362	0.02	0.30
71	1.31	19.80	144	0.95	12.70	217	0.55	7.90	290	0.25	4.20	363	0.02	0.30
72	1.30	19.80	145	0.95	12.60	218	0.53	7.80	291	0.25	4.10	364	0.01	0.30
73	1.30	19.70	146	0.94	12.50	219	0.52	7.80	292	0.25	4.10	365	0.01	0.10